

责任编辑：李 琪
封面设计：刘 雨

 VITU ACADEMIC
PUBLISHING PTE.LTD
维图学术出版社

水利工程建设与工程管理研究

SHUI LI GONG CHENG JIAN SHE YU GONG CHENG GUAN LI YAN JIU

朱赛 仇卫东 方延◎主编

水利工程建设与工程管理研究
朱赛 仇卫东 方延 主编



ISBN 978-981-17733-5-8



9 789811 773358 >

定价：S\$39.80

 VITU ACADEMIC
PUBLISHING PTE.LTD
维图学术出版社

水利工程建设与工程管理研究

朱赛 仇卫东 方延 主编



图书在版编目(OCN) 数据

水利工程建设与工程管理研究 / 朱赛 仇卫东 方延 主编. -新加坡:维图学术出版社, 2025.01

ISBN: 978-981-17733-5-8

I.①水... II.①朱... III.①水利工程建设概述②水利工程项目施工组织③水利工程基础施工技术④水利工程地基处理 IV.①

书 名: 水利工程建设与工程管理研究

SHUI LI GONG CHENG JIAN SHE YU GONG CHENG GUAN LI YAN JIU

主 编: 朱 赛 仇卫东 方 延

责任编辑: 李 琪

封面设计: 刘 雨

社 址: 73 UPPER PAYA LEBAR ROAD #07-02B CENTRO BIANCO SINGAPORE

出版发行: 维图学术出版社 (VITU ACADEMIC PUBLISHING PTE.LTD)

联系电话: (65) 82047573

网 址: www.vitu-pub.com

电子邮箱: vitupub@gmail.com **邮编:** 534818

开 本: 188mm×265mm 1/16 **印张:** 15.4 **字数:** 230 千字

版 次: 2025 年 01 月第一版

印 次: 2025 年 01 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-981-17733-5-8

定 价: S\$39.80 元

本书如有破损、缺页、装订错误, 请与本社联系更换。服务热线: (65) 91481671

版权所有、侵权必究

作者简介

朱赛，男，1991年1月出生，江苏省新沂市人，本科毕业于河北工程大学水务工程专业。从事水利工程施工与管理工作的十余年，先后取得一级建造师（水利、建筑工程专业）、水利工程监理工程师、水利工程中级工程师等证书。发表过《坡地工程桩施工方法》《水利施工建设中的质量管理与控制体系研究》《水利施工建设中的度汛方案与措施研究》等水利工程类论文。现就职于宿迁市水务勘测设计研究有限公司，工作期间多次获得全市水务工作先进个人、公司年度先进个人等荣誉称号，先后参与了“宿迁市马陵河综合整治2016年度工程”“南水北调宿迁市尾水导流工程”“沭阳县柴南河治理工程”“江苏省淮河流域重点平原洼地近期治理工程宿迁市境内工程”等多项水利部重大水利工程及省、市重点工程等，参与工程多次获得治淮文明工地、省文明工地、市文明工地等奖项。

仇卫东，男，1988年11月出生，江苏省宿迁宿豫区人，大专毕业于中国石油大学（北京）。从事工程施工与管理工作的十余年。现就职于宿迁市水务勘测设计研究有限公司，工作期间多次获得公司先进个人荣誉称号，先后参与了“宿迁市黄河故道干河治理工程”“宿迁市西民便河（钟洼~毕沟）治理工程”“江苏省淮河流域重点平原洼地近期治理工程宿迁市境内工程”等多项市重点、省重点工程，参与工程多次获得省、市文明工地、优质工程等奖项。

方延，男，1992年9月出生，江苏省沭阳县人，大专毕业于沈阳农业大学水利水电建筑工程专业，本科毕业于东北大学公司管理专业。从事工程施工与管理工作的十余年，先后取得水利工程监理工程师、水利工程中级工程师等证书。发表过《浅谈无溶剂环氧涂料在预应力钢筒混凝土管中的应用》《水利工程管理与养护问题的研究》《水利工程管理现代化与精细化建设探讨》等水利工程类论文。现就职于宿迁市水务勘测设计研究有限公司，工作期间多次获得公司先进个人荣誉称号，先后参与了《宿迁市宿城段黄河故道干河治理工程》《南水北调宿迁市尾水导流工程》《宿迁市宿豫区嶂山泵站更新改造工程》《淮河流域及沂沭泗地区2019年旱涝灾后应急治理工程（宿豫区境内）》《沙集泵站加固改造工程》及《宿迁市安东河（G343以上段）治理工程》等多项市重点、省重点工程，参与工程多次获得省、市文明工地、优质工程等奖项。

内容简介

本书是一部全面探讨水利工程建设及其管理领域的学术著作。该书从水利基础知识出发，系统阐述了水利工程的基本认知，进而深入分析了水利建设项目的施工组织、基础施工技术、地基处理、水闸和渠系建筑物施工、土石坝与混凝土坝施工等关键环节。同时，著作还着重探讨了水利建设工程项目的施工管理，包括施工进度、成本、质量和安全管理等方面。此外，该书还关注了水利建设工程项目管理的环境保护，详细论述了环境管理概述、环境保护要求、水土保持管理以及文明施工等重要议题。整体而言，本书为水利工程建设与管理领域的专业人员提供了宝贵的理论参考和实践指导，具有极高的学术价值和实用价值。

前言

水利工程建设与工程管理是确保水资源有效利用、防洪抗旱、促进农业灌溉、保障城乡供水安全及推动经济社会可持续发展的重要基石。这一领域涵盖了从项目规划、勘察设计、施工建设到运行维护的全过程。水利工程建设需科学选址，合理布局，采用先进技术与方法，确保工程结构安全稳固，功能高效发挥。而工程管理则强调对建设进度、质量、成本及安全的严格把控，通过建立健全管理制度，采用信息化手段，实现项目全生命周期的高效管理与监控。同时，还需注重环境保护与生态修复，确保水利工程在发挥经济效益的同时，兼顾社会效益与环境效益，实现人与自然的和谐共生。因此，水利工程建设与工程管理是一项系统性、综合性强的工作，对于促进经济社会发展具有重要意义。

本书是一部全面探讨水利工程建设及其管理领域的学术著作。该书从水利基础知识出发，系统阐述了水利工程的基本认知，进而深入分析了水利建设工程项目的施工组织、基础施工技术、地基处理、水闸和渠系建筑物施工、土石坝与混凝土坝施工等关键环节。同时，著作还着重探讨了水利建设工程项目的施工管理，包括施工进度、成本、质量和安全管理等方面。此外，该书还关注了水利建设工程项目管理的环境保护，详细论述了环境管理概述、环境保护要求、水土保持管理以及文明施工等重要议题。整体而言，本书为水利工程建设与管理领域的专业人员提供了宝贵的理论参考和实践指导，具有极高的学术价值和实用价值。

本书框架新颖，内容丰富，具有新颖性、时代性、理论性、实践性、操作性、示范性和可读性等特点，便于从事相关行业的读者们参考，具有一定的学术价值和使用价值。

在本书撰写的过程中，我们得到了很多宝贵的建议，谨在此表示感谢。同时参阅了大量的相关著作和文献，在参考文献中未能一一列出，在此向相关著作和文献的作者表示诚挚的感谢和敬意，同时也请对撰写工作中的不周之处予以谅解。由于作者水平有限，编写时间仓促，书中难免会有疏漏不妥之处，恳请专家、同行不吝批评指正。

目录

第一章 水利工程建设概述	1
第一节 水利基础知识.....	1
第二节 水利工程的基本认知.....	13
第二章 水利工程项目施工组织	16
第一节 水利工程项目施工组织设计.....	16
第二节 施工项目准备工作.....	25
第三节 工程项目组织管理.....	33
第三章 水利工程基础施工技术	41
第一节 施工导流.....	41
第二节 基坑排水.....	52
第三节 爆破技术.....	55
第四章 水利工程地基处理	79
第一节 岩基处理方法.....	79
第二节 防渗墙.....	89
第三节 沙砾石地基处理.....	99
第四节 灌注桩工程.....	106
第五章 水闸和渠系建筑物施工	117
第一节 水闸施工技术.....	117
第二节 渠系主要建筑物的施工技术.....	125
第三节 橡胶坝.....	131
第四节 渠道混凝土衬砌机械化施工.....	137
第五节 生态护坡.....	148
第六章 土石坝与混凝土坝施工	154
第一节 土石坝施工.....	154
第二节 混凝土坝施工.....	163
第七章 水利建设工程项目施工管理	188
第一节 水利建设工程项目施工进度管理.....	188

第二节	水利建设工程项目施工成本管理	192
第三节	水利建设工程项目施工质量管理	196
第四节	水利建设工程项目施工安全管理	218
第八章	水利建设工程项目管理的环境保护	233
第一节	水利工程建设环境管理概述	233
第二节	水利建设工程项目环境保护要求	237
第三节	水利建设工程项目水土保持管理	241
第四节	水利建设工程的文明施工	244
参考文献	246

第一章 水利工程建设概述

第一节 水利基础知识

一、水利枢纽知识

为了综合利用和开发水资源，常需在河流适当地段集中修建几种不同类型和不同功能的水工建筑物以控制水流，并便于协调运行和管理。这种由多种水工建筑物组成的综合体，称为水利枢纽。

（一）水利枢纽的分类

水利枢纽的规划、设计、施工和运行管理应尽量遵循综合利用水资源的原则。

水利枢纽的类型很多。为实现多种目标而兴建的水利枢纽，建成后能满足国民经济不同部门的需要，称为综合利用水利枢纽。以某一单项目标为主而兴建的水利枢纽，常以主要目标命名，如防洪枢纽、水力发电枢纽、航运枢纽、取水枢纽等。在很多情况下水利枢纽是多目标的综合利用枢纽，如防洪—发电枢纽，防洪—发电—灌溉枢纽，发电—灌溉—航运枢纽等。按拦河坝的型式还可分为重力坝枢纽、拱坝枢纽、土石坝枢纽及水闸枢纽等。根据修建地点的地理条件不同，有山区、丘陵区水利枢纽和平原滨海区水利枢纽之分。根据枢纽上下游水位差的不同，有高、中、低水头之分，世界各国对此无统一规定。我国一般水头在 70m 以上的是高水头枢纽，水头在 30~70m 的是中水头枢纽，水头在 30m 以下的是低水头枢纽。

（二）水利枢纽工程基本建设程序及设计阶段划分

水利是国民经济的基础设施和基础产业。水利工程建设要严格按照建设程序进行。根据《水利工程建设项目管理规定》和其他有关规定，水利工程建设程序一般分为项目建议书、可行性研究报告、初步设计、施工准备（包括招标设计）、建设实施、生产准备、竣工验收、最后评价等阶段。建设前期根据国家总体规划以及流域综合规划，开展前期工作，包括提出项目建议书、可行性研究报告和初步设计（或扩大初步设计）。水利工程建设项目的实施，必须通过基本建设程序立项。水利工程建设项目的立项过程包括项目建议书和可行性研究报告阶段。根据目前管理现状，项目建议书、可行性

研究报告、初步设计由水行政主管部门或项目法人组织编制。

项目建议书应根据国民经济和社会发展规划、流域综合规划、区域综合规划、专业规划，按照国家产业政策和国家有关投资建设方针进行编制，是对拟进行工程项目的初步说明。项目建议书编制一般由政府委托有相应资质的设计单位承担，并按国家现行规定权限向主管部门申报审批。

可行性研究应对项目进行方案比较，对项目在技术上是否可行和经济上是否合理进行科学的分析和论证。经过批准的可行性研究报告，是项目决策和进行初步设计的依据。可行性研究报告，由项目法人（或筹备机构）组织编制。可行性研究报告经批准后，不得随意修改和变更，在主要内容上有重要变动的，应经原批准机关复审同意。项目可行性报告批准后，应正式成立项目法人，并按项目法人责任制实行项目管理。

初步设计是根据批准的可行性研究报告和必要而准确的设计资料，对设计对象进行全面研究，阐明拟建工程在技术上的可行性和经济上的合理性，规定项目的各项基本技术参数，编制项目的总概算。初步设计任务应择优选择有相应资质的设计单位承担，依照有关初步设计编制规定进行编制。

建设项目初步设计文件已批准，项目投资来源基本落实，可以进行主体工程招标设计和组织招标工作以及现场施工准备。项目的主体工程开工之前，必须完成各项施工准备工作，其主要内容包括：施工现场的征地拆迁；完成施工用水、用电、通信、电路和场地平整等工程；必需的生产、生活临时建筑工程；组织招标设计、工程咨询、设备和物资采购等服务；组织建设监理和主体工程招标投标，并择优选定建设监理单位和施工承包商。

建设实施阶段是指主体工程的建设实施，项目法人按照批准的建设文件，组织工程建设，保证项目建设目标的实现。项目法人或建设单位向主管部门提出主体工程开工申请报告，按审批权限，经批准后，方能正式开工。随着社会主义市场经济机制的建立，工程建设项目实行项目法人责任制后，主体工程开工，必须具备以下条件：前期工程各阶段文件已按规定批准，施工详图设计可以满足初期主体工程施工需要；建设项目已列入国家年度计划，年度建设资金已落实；主体工程招标已经决标，工程承包合同已经签订，并得到主管部门同意；现场施工准备和征地移民等建设外部条件能够满足主体工程开工需要。

生产准备应根据不同类型的工程要求确定，一般应包括如下内容：生产组织准备，建立生产经营的管理机构及相应管理制度；招收和培训人员；生产技术准备；生产物

资准备；正常的生活福利设施准备。

竣工验收是工程完成建设目标的标志，是全面考核基本建设成果、检验设计和工程质量的重要步骤。竣工验收合格的项目即从基本建设转入生产或使用。

工程项目竣工投产后，一般经过 1~2 年生产营运后，要进行一次系统的项目后评价，主要包括：影响评价——项目投产后对各方面的影响进行评价；经济效益评价——对项目投资、国民经济效益、财务效益技术进步和规模效益、可行性研究深度等进行评价；过程评价——对项目的立项设计施工、建设管理竣工投产、生产营运等全过程进行评价。项目后评价一般按三个层次组织实施，即项目法人的自我评价、项目行业的评价、计划部门（或主要投资方）的评价。

设计工作应遵循分阶段、循序渐进、逐步深入的原则进行。以往大型枢纽工程常按三个阶段进行设计，即可行性研究、初步设计和施工详图设计。对于工程规模大、技术上复杂而又缺乏设计经验的工程，经主管部门指定，可在初步设计和施工详图设计之间，增加技术设计阶段。对水电工程设计阶段的划分做如下调整。

第一，增加预可行性研究报告阶段。在江河流域综合利用规划及河流（河段）水电规划选定的开发方案基础上，根据国家与地区电力发展规划的要求，编制水电工程预可行性研究报告。预可行性研究报告经主管部门审批后，即可编报项目建议书。预可行性研究是在江河流域综合利用规划或河流（河段）水电规划以及电网电源规划基础上进行的设计阶段。其任务是论证拟建工程在国民经济发展中的必要性、技术可行性、经济合理性。本阶段的主要工作内容包括：河流概况及水文气象等基本资料的分析；工程地质与建筑材料的评价；工程规模、综合利用及环境影响的论证；初拟坝址、厂址和引水系统线路；初步选择坝型、电站、泄洪、通航等主要建筑物的基本形式与枢纽布置方案；初拟主体工程的施工方法，进行施工总体布置、估算工程总投资、工程效益的分析和经济评价等。预可行性研究阶段的成果，为国家和有关部门做出投资决策及筹措资金提供了基本依据。

第二，将原有可行性研究与初步设计两阶段合并，统称为可行性研究报告阶段。加深原有可行性研究报告深度，使其达到原有初步设计编制规程的要求，并以《水利水电工程初步设计报告编制规程》（DL 5021—93）为准编制可行性研究报告。可行性研究阶段的设计任务在于进一步论证拟建工程在技术上的可行性和经济上的合理性，并要解决工程建设中重要的技术经济问题。主要设计内容包括：对水文、气象、工程地质以及天然建筑材料等基本资料做进一步分析与评价；论证本工程及主要建筑

物的等级；进行水文水利计算，确定水库的各种特征水位及流量，选择电站的装机容量、机组机型和电气主结线以及主要机电设备；论证并选定坝址、坝轴线、坝型、枢纽总体布置及其他主要建筑物的形式和控制性尺寸；选择施工导流方案，进行施工方法、施工进度和总体布置的设计；提出主要建筑材料、施工机械设备、劳动力、供水、供电的数量和供应计划；提出水库移民安置规划；提出工程总概算，进行技术经济分析，阐明工程效益。最后提交可行性研究报告文件，包括文字说明和设计图纸及有关附件。

第三，招标设计阶段。暂按原技术设计要求进行勘测设计工作，在此基础上编制招标文件。招标文件分三类：主体工程、永久设备和业主委托的其他工程的招标文件。招标设计是在批准的可行性研究报告的基础上，将确定的工程设计方案进一步具体化，详细定出总体布置和各建筑物的轮廓尺寸、材料类型、工艺要求和技术要求等。其设计深度要求做到可以根据招标设计图较准确地计算出各种建筑材料的规格、品种和数量，混凝土浇筑、土石方填筑和各类开挖回填的工程量，各类机械电气和永久设备的安装工程量等。根据招标设计图所确定的各类工程量和技术要求，以及施工进度计划，监理工程师可以进行施工规划并编制出工程概算，作为编制标底的依据。编标单位则可以据此编制招标文件，包括合同的一般条款、特殊条款、技术规程和各项工程的工程量表，满足以固定单价合同形式进行招标的需要。施工投标单位，也可据此进行投标报价和编制施工方案及技术保证措施。

第四，施工详图阶段。配合工程进度编制施工详图。施工详图设计是在招标设计的基础上，对各建筑物进行结构和细部构造设计；最后确定地基处理方案，进行处理措施设计；确定施工总体布置及施工方法，编制施工进度计划和施工预算等；提出整个工程分项分部的施工、制造、安装详图。施工详图是工程施工的依据，也是工程承包或工程结算的依据。

（三）水利工程的影响

水利工程是防洪、除涝、灌溉、发电供水、围垦、水土保持、水资源保护等工程及其配套和附属工程的统称，是人类改造自然、利用自然的工程。修建水利工程，是为了控制水流、防止洪涝灾害，并进行水量的调节和分配，从而满足人民生活和生产对水资源的需要。因此，大型水利工程往往显现出显著的社会效益和经济效益，带动地区经济发展，促进流域以至整个中国经济社会的全面可持续发展。但是也必须注意到，水利工程建设可能会破坏河流或河段及其周围地区在天然状态下的相对平衡。

特别是具有高坝大库的河川水利枢纽的建成运行，对周围的自然和社会环境都将产生重大影响。

修建水利工程对生态环境的不利影响：河流中筑坝建库后，上下游水文状态将发生变化。可能出现泥沙淤积、水库水质下降、淹没部分文物古迹和自然景观，还可能会改变库区及河流中下游水生生态系统的结构和功能，对一些鱼类和植物的生存和繁殖产生不利影响；水库的“沉沙池”作用，使过坝的水流成为“清水”，冲刷能力加大。由于水势和含沙量的变化，还可能改变下游河段的河水流向和冲积程度，造成河床被冲刷侵蚀，也可能影响到河势变化乃至河岸稳定。大面积的水库还会引起小气候的变化，库区蓄水后，水域面积扩大，水的蒸发量上升，因此会造成附近地区昼夜温差缩小，改变库区的气候环境，例如，可能增加雾天的出现频率。兴建水库可能会增加库区地质灾害发生的频率，例如，兴建水库可能会诱发地震，增加库区及附近地区地震发生的频率；山区的水库由于两岸山体下部未来长期处于浸泡之中，发生山体滑坡、塌方和泥石流的频率可能会有所增加；深水库底孔下放的水，水温会较原天然状态有所变化，可能不如原来更适合农作物生长。此外，库水化学成分改变，营养物质浓集导致水的异味或缺氧等，也会对生物带来不利影响。

修建水利工程对生态环境的有利影响：防洪工程可有效地控制上游洪水，提高河段甚至流域的防洪能力，从而有效地减免洪涝灾害带来的生态环境破坏；水力发电工程利用清洁的水能发电，与燃煤发电相比，可以较少排放大量的二氧化碳、二氧化硫等有害气体，减轻酸雨、温室效应等大气危害以及燃煤开采、洗选、运输、废渣处理所导致的严重环境污染；能调节工程中下游的枯水期流量，有利于改善枯水期水质；有些水利工程可为调水工程提供水源条件；高坝大库的建设较天然河流大大增加了水库面积与容积，可以开发渔业养殖，对渔业有利；水库调蓄的水量增加了农作物灌溉的机会。

此外，由于水位上升，使库区被淹没，需要进行移民，并且由于兴建水库导致库区的风景名胜和文物古迹被淹没，需要进行搬迁、复原等。在国际河流上兴建水利工程，等于重新分配了水资源，间接地影响了水库所在国家与下游国家的关系，还可能会造成外交上的影响。

上述这些水利工程在经济、社会、生态方面的影响，有利有弊。因此，兴建水利工程，必须充分考虑其影响，精心研究，针对不利影响应采取有效的对策及措施，促进水利工程所在地区经济、社会和环境的协调发展。

二、水库与水电站知识

（一）水库知识

1. 水库的概念

水库是指在山沟或河流的峡口处建造拦河坝形成的人工湖泊。水库建成后，可发挥防洪、蓄水、灌溉供水、发电、养鱼等效益。有时天然湖泊也称为水库（天然水库）。

水库规模通常按总库容大小划分：水库总库容 $\geq 10 \times 10^8 \text{m}^3$ 的为大型（1）型水库，水库总库容为 $(1.0 \sim 10) \times 10^8 \text{m}^3$ 的是大型（2）型水库，水库总库容为 $(0.10 \sim 1.0) \times 10^8 \text{m}^3$ 的是中型水库；水库总库容为 $(0.01 \sim 0.10) \times 10^8 \text{m}^3$ 的是小型（1）型水库，水库总库容为 $(0.001 \sim 0.01) \times 10^8 \text{m}^3$ 的是小型（2）型水库。

2. 水库的作用

河流天然来水在一年间及各年间一般都会有所变化，这种变化与社会工农业生产及人们生活用水在时间和水量分配上往往存在矛盾。兴建水库是解决这类矛盾的主要措施之一，兴建水库也是综合利用水资源的有效措施。水库不仅可以使水量在时间上重新分配，满足灌溉、防洪、供水的要求，还可以利用大量的蓄水和抬高了的水头来满足发电、航运及渔业等其他用水部门的需要。水库在来水多时把水存蓄在水库中，然后根据灌溉、供水、发电、防洪等综合利用要求适时适量地进行分配。这种把来水按用水要求在时间和数量上重新分配的作用，称为水库的调节作用。水库的径流调节是指利用水库的蓄泄功能有计划地对河川径流在时间和数量上进行控制和分配。

径流调节通常按水库调节周期分类，根据调节周期的长短，水库也可分为无调节、日调节、周调节、年调节和多年调节水库。无调节水库没有调节库容，按天然流量供水；日调节水库按用水部门一天内的需水过程进行调节；周调节水库按用水部门一周内的需水过程进行调节；年调节水库将一年中的多余水量存蓄起来，用以提高缺水期的供水量；多年调节水库将丰水年的多余水量存蓄起来，用以提高枯水年的供水量，调节周期超过一年。水库径流调节的工程措施是修建大坝（水库）和设置调节流量的闸门。

水库还可按水库所承担的任务，划分为单一任务水库及综合利用水库；按水库供水方式，可分为固定供水调节及变动供水调节水库；按水库的作用，可分为反调节、补偿调节、水库群调节及跨流域引水调节等。补偿调节是指两个或两个以上水库联合工作，利用各库水文特性、调节性能及地理位置等条件的差别，在供水量、发电出力、泄洪量上相互协调补偿。通常，将其中调节性能高的、规模大的、任务单纯的水库作

为补偿调节水库，而以调节性能差、用水部门多的水库作为被补偿水库（电站），考虑不同水文特性和库容进行补偿。一般是上游水库作为补偿调节水库补充放水，以满足下游电站或给水、灌溉引水的用水需要。反调节水库又称再调节水库，是指同一河段相邻较近的两个水库，下一级反调节水库在发电、航运、流量等方面利用上一级水库下泄的水流。例如，西霞院水库是小浪底水库的反调节水库，位于小浪底水利枢纽下游 16km 处，当小浪底水电站执行频繁的电调指令时，其下泄流量不稳定，会对大坝下游至花园口间河流生命指标以及两岸人民生活生产用水和河道工程产生不利的影响。通过西霞院水库的再调节作用，既保证发电调峰，又能有效保护下游河道。

3.水量平衡原理

水量平衡是水量收支平衡的简称。对于水库而言，水量平衡原理是指任意时刻，水库（群）区域收入（或输入）的水量和支出（或输出）的水量之差，等于该时段内该区域储水量的变化。如果不考虑水库蒸发等因素的影响，某一时段内存蓄在水库中的水量（体积）。

4.水库的特征水位和特征库容

水库的库容大小决定着水库调节径流的能力和它所能提供的效益。因此，确定水库特征水位及其相应库容是水利水电工程规划和设计的主要任务之一。水库工程为完成不同任务，在不同时期、不同任务和各种水文情况下，需控制达到或允许消落的各种水库水位称为水库的特征水位。相应于水库特征水位以下或两特征水位之间的水库容积称为水库的特征库容。水库的特征水位主要有正常蓄水位、死水位、防洪限制水位、校核洪水位等；主要特征库容有兴利库容、死库容、重叠库容、防洪库容、调洪库容、总库容等。

（1）水库的特征水位

正常蓄水位是指水库在正常运用情况下，为满足兴利要求在开始供水时应该蓄到的水位，又称正常水位、兴利水位或设计蓄水位。它是决定水工建筑物的尺寸、投资、淹没、水电站出力等指标的重要因素。选择正常蓄水位时，应根据电力系统和其他部门的要求及水库淹没、坝址地形、地质、水工建筑物布置、施工条件、梯级影响、生态与环境保护等因素拟定不同方案，通过技术经济论证及综合分析比较确定。

死水位是指水库在正常运用情况下，允许消落到的最低水位。选择死水位，应比较不同方案的电力、电量效益和费用，并应考虑灌溉、航运等部门对水位、流量的要求和泥沙冲淤、水轮机运行工况，以及闸门制造技术对进水口高程的制约等条件，经

综合分析比较确定。正常蓄水位到死水位间的水库深度称为消落深度或工作深度。

防洪限制水位是指水库在汛期允许兴利蓄水的上限水位，又称汛前限制水位。防洪限制水位也是水库在汛期防洪运用时的起调水位。选择防洪限制水位，要兼顾防洪和兴利的需要，应根据洪水及泥沙特性，研究对防洪、发电及其他部门和对水库淹没、泥沙冲淤及淤积部位、水库寿命、枢纽布置，以及水轮机运行条件等方面的影响，通过对不同方案的技术经济比较，经综合分析确定。

设计洪水是指当水库遇到大坝设计洪水标准时，水库经调洪后（坝前）达到的最高水位。它是水库在正常运用情况下允许达到的最高洪水，可采用相应于大坝设计标准的各种典型洪水，按拟定的调度方式，自防洪限制水位开始进行调洪计算求得。

校核洪水是指水库遇到大坝的校核洪水时，在坝前达到的最高水位。它是水库在非常运用情况下，允许临时达到的最高洪水，可采用相应于大坝校核标准的各种典型洪水，按拟定的调洪方式，自防洪限制水位开始进行调洪计算求得。

（2）水库的特征库容

最高水位以下的水库静库容，称为总库容，一般指校核洪水位以下的水库容积。它是表示水库工程规模的代表性指标，可作为划分水库等级、确定工程安全标准的重要依据。

防洪高水位至防洪限制水位之间的水库容积，称为防洪库容。它用以控制洪水，满足水库下游防护对象的防洪要求。校核洪水位至防洪限制水位之间的水库容积，称为调洪库容。正常蓄水位至死水位之间的水库容积，称为兴利库容或有效库容。

当防洪限制水位低于正常蓄水位时，正常蓄水位至防洪限制水位之间汛期用于蓄洪、非汛期用于兴利的水库容积，称为共用库容或重复利用库容。

死水位以下的水库容积，称为死库容。除特殊情况外，死库容不参与径流调节。

（二）水电站知识

水电站是将水能转换为电能的综合工程设施，又称水电厂。它包括为利用水能生产电能而兴建的一系列水电站建筑物及装设的各种水电站设备。利用这些建筑物集中天然水流的落差形成水头，汇集、调节天然水流的流量，并将它输向水轮机，经水轮机与发电机的联合运转，将集中的水能转换为电能，再经变压器、开关站和输电线路等将电能输入电网。

在通常情况下，水电站的水头是通过适当的工程措施，将分散在一定河段上的自然落差集中起来而构成的。就集中落差形成水头的措施而言，水能资源的开发方式可

分为坝式、引水式和混合式三种基本方式。根据三种不同的开发方式，水电站也可分为坝式、引水式和混合式三种基本类型。

1.坝式水电站

在河流峡谷处拦河筑坝，坝前壅水，形成水库，在坝址处形成集中落差，这种开发方式称为坝式开发。用坝集中落差的水电站称为坝式水电站。其特点为以下几方面。

第一，坝式水电站的水头取决于坝高。坝越高，水电站的水头越大，但坝高往往受地形、地质、水库淹没、工程投资、技术水平等条件的限制，因此与其他开发方式相比，坝式水电站的水头相对较小。目前坝式水电站的最大水头不超过 300m。

第二，拦河筑坝形成水库，可用来调节流量。坝式水电站的引用流量较大，电站的规模也大，水能利用比较充分。目前世界上装机容量超过 2000MW 的巨型水电站大都是坝式水电站。此外坝式水电站水库的综合利用效益高，可同时满足防洪、发电、供水等兴利要求。

要求工程规模大，水库造成的淹没范围大，迁移人口多，因此坝式水电站的投资大，工期长。坝式开发适用于河道坡降较缓，流量较大，有筑坝建库条件的河段。坝式水电站按大坝和发电厂的相对位置的不同又可分为河床式、坝后式、闸墩式、坝内式、溢流式等。在实际工程中，较常用的坝式水电站是河床式和坝后式水电站。

(1) 河床式水电站

河床式水电站一般修建在河流中下游河道纵坡平缓的河段上，为避免大量淹没，坝建得较低，故水头较小。大中型河床式水电站水头一般在 30~40m；中小型水电站水头一般为 10m 以下。河床式电站的引用流量一般都较大，属于低水头大流量型水电站，其特点是厂房与坝（或闸）一起建在河床上，厂房本身承受上游水压力，并成为挡水建筑物的一部分，一般不设专门的引水管道，水流直接从厂房上游进水口进入水轮机。我国湖北葛洲坝、浙江富春江、广西大化等水电站，均为河床式水电站。

(2) 坝后式水电站

坝后式水电站一般修建在河流中上游的山区峡谷地段，受水库淹没限制相对较小，所以坝建得较高，水头也较大，在坝的上游形成了可调节天然径流的水库，有利于发挥防洪、灌溉、航运及水产等综合效益，并给水电站运行创造了十分有利的条件。由于水头较高，厂房不能承受上游过大水压力而建在坝后（坝下游）。其特点是水电站厂房布置在坝后，厂坝之间常用缝分开，上游水压力全部由坝承受。三峡水电站、福建水口水电站等，均属坝后式水电站。

坝后式水电站厂房的布置形式很多，当厂房布置在坝体内时，称为坝内式水电站；当厂房布置在溢流坝段之后时，通常称为溢流式水电站。当水电站的拦河坝为土坝或堆石坝等当地材料坝时，水电站厂房可采用河岸式布置。

2.引水式开发和引水式水电站

在河流坡降较陡的河段上游，通过人工建造的引入道（渠道、隧洞、管道等）引水到河段下游，集中落差，这种开发方式称为引水式开发。用引水道集中水头的水电站，称为引水式水电站。

引水式开发的特点：由于引水道的坡降（一般取 $1/1000\sim 1/3000$ ）小于原河道的坡降，因而随着引水道的增长，逐渐集中水头；与坝式水电站相比，引水式水电站由于不存在淹没和筑坝技术上的限制，水头相对较高。目前最大水头已达 2000m 以上；引水式水电站的引用流量较小，没有水库调节径流，水量利用率较低，综合利用价值较差，电站规模相对较小，工程量较小，单位造价较引水式开发适用于河道坡降较陡且流量较小的山区河段。根据引水建筑物中的水流状态不同，可分为无压引水式水电站和有压引水式水电站。

（1）无压引水式水电站

无压引水式水电站的主要特点是具有较长的无压引水道，水电站引水建筑物中的水流是无压流。无压引水式水电站的主要建筑物有低坝、无压进水口、沉沙池、引水渠道（或无压隧洞）、日调节池、压力前池、溢水道、压力管道、厂房和尾水渠等。

（2）有压引水式水电站

有压引水式水电站的主要特点是有较长的有压引水道，如有压隧洞或压力管道，引水建筑物中的水流是有压流。有压引水式水电站的主要建筑物有拦河坝、有压进水口、有压引水隧洞、调压室、压力管道、厂房和尾水渠等。

3.混合式开发和混合式水电站

在一个河段上，同时采用筑坝和有压引水道共同集中落差的开发方式称为混合式开发。坝集中一部分落差后，再通过有压引水道集中坝后河段上另一部分落差，形成了电站的总水头。用坝和引水道集中水头的水电站称为混合式水电站。

混合式水电站适用于上游有良好坝址，适宜建库，而紧邻水库的下游河道突然变陡或河流有较大转弯的情况。这种水电站同时兼有坝式水电站和引水式水电站的优点。

混合式水电站和引水式水电站之间没有明确的分界线。严格说来，混合式水电站的水头是由坝和引水建筑物共同形成的，且坝一般构成水库。而引水式水电站的水头，

只由引水建筑物形成，坝只起抬高上游水位的作用。但在工程实际中常将具有一定长度引水建筑物的混合式水电站，统称为引水式水电站，而较少采用混合式水电站这个名称。

4. 抽水蓄能电站

随着国民经济的迅速发展以及人民生活水平的不断提高，电力负荷和电网日益扩大，电力系统负荷的峰谷差越来越大。

在电力系统中，核电站和火电站不能适应电力系统负荷的急剧变化，且受到技术最小出力的限制，调峰能力有限，而且火电机组调峰煤耗多，运行维护费用高。而水电站启动与停机迅速，运行灵活，适宜担任调峰、调频和事故备用负荷。

抽水蓄能电站不是为了开发水能资源向系统提供电能，而是以水体为储能介质，起调节作用。抽水蓄能电站包括抽水蓄能和放水发电两个过程，它有上下两个水库，用引水建筑物相连，蓄能电站厂房建在下水库处。在系统负荷低谷时，利用系统多余的电能带动泵站机组（电动机+水泵）将下库的水抽到上库，以水的势能形式储存起来；当系统负荷高峰时，将上库的水放下来推动水轮发电机组（水轮机+发电机）发电，以补充系统中电能的不足。

随着电力行业的改革，实行负荷高峰高电价、负荷低谷低电价后，抽水蓄能电站的经济效益将是显著的。抽水蓄能电站除了产生削峰填谷的静态效益外，还由于其特有的灵活性而产生动态效益，包括同步备用、调频、负荷调整、满足系统负荷急剧爬坡的需要、同步调相运行等。

5. 潮汐水电站

海洋水面在太阳和月球引力的作用下，发生一种周期性涨落的现象，称为潮汐。从涨潮到涨潮（或落潮到落潮）之间间隔的时间，即潮汐运动的周期（亦称潮期），约为 12 小时零 25 分。在一个潮汐周期内，相邻高潮位与低潮位间的差值，称为潮差，其大小受引潮力、地形和其他条件的影响因时因地而异，一般为数米。有了这样的潮差，就可以在沿海的港湾或河口建坝，构成水库，利用潮差所形成的水头来发电，这就是潮汐能的开发。据计算，世界海洋潮汐能蕴藏量约为 $27 \times 10^6 \text{ MW}$ ，若全部转换成电能，每年发电量大约为 1.2 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

利用潮汐能发电的水电站称为潮汐水电站。潮汐电站多修建于海湾。其工作原理是修建海堤，将海湾与海洋隔开，并设泄水闸和电站厂房，然后利用潮汐涨落时水位的升降，使海水流经水轮机，通过水轮机的转动带动发电机组发电。涨潮时外海水位

高于内库水位，形成水头，这时引海水入湾发电；退潮时外海水位下降，低于内库水位，可放库中的水入海发电。海潮昼夜涨落两次，因此海湾每昼夜充水和放水也是两次。潮汐水电站可利用的水头为潮差的一部分，水头较小，但引用的海水流量可以很大，是一种低水头大流量的水电站。

潮汐能与一般水能资源不同，是取之不尽，用之不竭的。潮差较稳定，且不存在枯水年与丰水年的差别，因此潮汐能的年发电量稳定，但由于发电的开发成本较高和技术上的原因，所以发展较慢。

6.水电站布置

水力发电站一般划分为低水头电站，中水头电站和高水头电站。这种划分有相当灵活性，三种分类并无明确界线。

(1) 低水头电站

低水头水电开发工程的水头通常在约 15.24m 范围之内。由于水头较低。厂房（包括进水口、蜗壳和尾水管）也起到坝的作用。由于低水头开发多半在河流下游段见到，所以它是利用比较大的流量，这就需要比较大的厂房。厂房之外，我们还常见有溢洪道，将不能通过水轮机使用的河道所有水流流过。因为流量大和有效水头低，溢洪道尺度也需要有余。在低水头水电开发工程中厂房和溢洪道占据河道全部宽度，而且没有正规坝段，这样的情况也并不少见。事实上，河道正常宽度不足以容纳厂房和溢洪道，因而必须将厂房设于异常宽的河段，即开挖河道。

(2) 中水头电站

中水头发电站水头在 15~61m 范围。由于建造一座厂房同时起到高坝的作用是不适宜的，因此我们通常看到坝和厂房分开建筑。如果坝址河底没有明显的陡降，则坝高度将与电厂有效水头为同一数量级。如果河底明显陡然降落，则有可能将坝建在跌水边缘，而厂房则建在跌水底部，其间修一条短引水管道。如果河底下降相当大但坡度较缓，这种情况适合做出多种不同的布局。坝可以建在急流上游而厂房建在跌水底脚，并以任何组合方式在其间建造明渠、隧洞或压力水管。坝和厂房可以建在跌水半途，尾水处需要广泛开挖。坝和厂房，可以建在急流底脚，但需要较高的坝。还可建造两座坝，每一座坝都有其厂房。所有可能规划在选定之前，都必须对其造价成本进行研究考虑。中水头电站水头直到高达 55m 均可设置旋桨式水轮机，或者在水头超过 25m 时，装设法兰西斯水轮机。

(3) 高水头电站

高水头水电站开发工程的水头可在 61~1524m 范围之内。虽然在开发工程中，有些与中水头型相像，即高坝带有厂房和溢洪坝，但是常见的布局是在适当的地方拦截河流，将河水引经至一条稍有坡降的明渠，找到明渠和河道之间的水头尽可能大的一个地点，且渠道和河流间的水平向距离尽可能较小。水由渠道借压力水管输送到位于河岸上的厂房再送到河流。当然，电站布局可无限变化。明渠或压力管道，或两者皆可用隧道替代；或者可以用低压闭合管路替代明渠。高水头制导高达约 244m，均可在其厂房装置法兰西斯水轮机，或在水头为 122m 以上时可装设冲击式水轮机。由于高水头水电站大致是在坡降陡的河流流域上游来水处，所以它的流量是低的。高水头和低流量结合将减小水轮机的相对尺寸和水轮机的成本费。虽然这方面的节约会因压力水管和渠道或隧洞费用而抵消，但是我们看到每千瓦装机容量成本费用最少的开发工程之中列有高水头电站，是常有的事。

第二节 水利工程的基本认知

一、水利工程管理的概念

从专业角度看，水利工程管理分为狭义水利工程管理和广义水利工程管理。狭义的水利工程管理是指对已建成的水利工程进行检查观测、养护修理和调度运用，保障工程正常运行并发挥设计效益的工作。广义的水利工程管理是指除以上技术管理工作外，还包括水利工程行政管理、经济管理和法治管理等方面，例如水利事权的划分。显然，我们更关注广义水利工程管理，即在深入区别各种水利工程的性质和具体作用的基础上，尽最大可能趋利避害，充分发挥水利工程的社会效益、经济效益和生态效益，加强对水利工程的引导和管理只有通过科学管理，才能发挥水利工程最佳的综合效益；保护和合理运用已建成的水利工程设施，调节水资源，为社会经济发展和人民生活服务。

二、工程技术视角下我国水利工程管理的主要内容

从利用和保障水利工程的功能出发，我国水利工程管理工作的主要内容包括：水利工程的使用，水利工程的养护工作，水利工程的检测工作，水利工程的防汛抢险工作，水利工程扩建和改建工作。

（一）水利工程的使用

水利工程与河川径流有着密切的关系，其变化同河川径流一样是随机的，具有多变性和复杂性，但径流在一定范围内有一定的变化规律，要根据其变化规律，对工程进行合理运用，确保工程的安全和发挥最大效益工程的合理运用主要是制定合理的工程防汛调度计划和工程管理运行方案等。

（二）水利工程的养护工作

由于各种主观原因和客观条件的限制，水利工程建筑物在规划、设计和施工过程中难免会存在薄弱环节，使其在运用过程中，出现这样或那样的缺陷和问题：特别是水利工程长期处在水下工作，自然条件的变化和管理运用不当，将会使工程发生意外的变化。所以，要对工程进行长期的监护，发现问题及时维修，消除隐患，保持工程的完好状态和安全运行，以发挥其应有的作用。

（三）水利工程的检测工作

水利工程的检测工作也是水利工程的重要工作内容。要做到定期对水利工程进行检查，在检查中发现问题，要及时进行分析，找出问题的根源，尽快进行整改，以此来提高工程的运用条件，从而不断提高科学技术管理水平。

（四）水利工程的防汛抢险工作

防汛抢险是水利工程的一项重点工作。特别是对于那些大中型的病险工程，要注意日常的维护，以避免危情的发生。同时，防汛抢险工作要立足于大洪水，提前做好防护工作，确保水利工程的安全。

（五）水利工程扩建和改建工作

对于原有水工建筑物不能满足新技术、新设备、新的管理水平的要求时，在运用过程中发现建筑物有重大缺陷需要消除时，应对原有建筑物进行改建和扩建，从而提高工程的基础能力，满足工程的运行管理的发展和需求。

基于我国水利工程的特点及分类，我国水利工程管理也成立了相应的机构、制定了相应的管理规则。从流域来说，成立了七大流域管理局，负责相应流域水行政管理职责，包括长江水利委员会、黄河水利委员会、淮河水利委员会、海河水利委员会、松辽水利委员会、珠江水利委员会、太湖流域管理局。对于特大型水利工程成立专门管理机构，如三峡工程建设委员会、小浪底水利枢纽管理中心、南水北调办公室等，以及针对各种水利设施的管理，如农村农田水利灌溉管理、水库大坝安全管理等。

三、我国水利工程管理的目标

水利工程管理的目标是确保项目质量安全，延长工程使用寿命，保证设施正常运

转，做好工程使用全程维护，充分发挥工程和水资源的综合效益，逐步实现工程管理科学化、规范化，为国民经济建设提供更好的服务。

（一）确保项目的质量安全

因水利工程涉及防洪、抗旱、治涝、发电、调水、农业灌溉、居民用水、水产经济、水运、工业用水、环境保护等重要内容，一旦出现工程质量问题，所有与水利相关的生活生产活动都将受到阻碍，沿区上游和下游都将受到威胁。因此工程的质量安全不仅关系着一方经济的发展，更承担着人民身体健康与安全。

（二）延长工程的使用寿命

由于水利工程消耗资金较多，施工规模较大，影响范围较广，所以一项工程的运转就是百年大计。因此水利工程管理要贯穿项目的始末，从图纸设计到施工内容、竣工验收、工程使用等各个方面在科学合理的范围内对如何延长使用寿命进行管理，以减少资源的浪费，充分发挥最大效益。

（三）保证设施的正常运转

水利工程管理具有综合性、系统性特征，因此水利工程项目的正常运转需要各个环节的控制、调节与搭配，正确操作器械和设备，协调多样功能的发挥，提高工作效率、加强经营管理，提高经济效益，减少事故发生，确保各项事业不受影响。

（四）做好工程使用的全程维护

对于综合性的大型项目或大型组合式机械设备来说，都需要定期进行保养与维护——由于设备某一部分或单一零件出现问题，都会对工程的使用和寿命造成影响，因此水利工程管理工作还要对出现的问题在使用的整个过程中进行维护，更新零部件，及时发现隐患，促进工程的正常使用。

（五）最大限度发挥水利工程的综合效益

除了从工程方面保障水利工程的正常运行和安全外，水利工程管理还应当通过不断深化改革，最大限度地发挥水利工程的综合效益。我国必须坚持社会主义市场经济改革方向，充分考虑水利公益性、基础性、战略性特点，构建有利于增强水利保障能力、提升水利社会管理水平、加快水生态文明建设的科学完善的水利制度体系。

第二章 水利工程项目施工组织

第一节 水利工程项目施工组织设计

一、施工组织设计的基础认知

（一）施工组织设计的意义

在施工组织设计工作中，施工总组织设计最早开始，最晚结束，贯穿设计施工全过程。在水工建筑物设计初期，施工总组织设计参与坝址、坝型选择，参与选择和评价水工枢纽布置方案；导流设计中，施工总组织设计配合选择导流方案，对导道、截流建筑物的布置，提出指导性的建议；在其他各单项工程施工组织设计中，从拟订方案，经过论证、调整、充实和完善，到得出各项综合技术经济指标的整个过程中，总组织设计工作始终起着指导、配合、协调、综合平衡的作用。同时通过施工组织设计者的深入工作，总组织设计的成果有了可靠的基础。

施工组织设计，既有技术经济问题，又有方针政策问题；既有承上启下、瞻前顾后配合协调的作用，又有研究和汇总施工组织设计各单项设计成果的责任。施工总组织设计内容丰富、涉及面广、综合性强，其设计成果综合地体现在施工总进度、施工总体布置、施工技术供应等图表上。

（二）施工组织设计的分类

按照编制的对象或范围不同，可以分为施工组织设计、单项工程施工组织设计和分部（分项）工程施工组织设计三类。

1. 施工组织设计

施工组织设计是以整个水利水电枢纽工程为编制对象，用以指导整个工程项目施工全过程的各项施工活动的综合性技术经济文件。它根据国家政策和上级主管部门的指示，分析研究枢纽工程建筑物的特点、施工特性及其施工条件，制定出符合工程实际的施工总体布置、施工总进度计划、施工组织和劳动力、材料、机械设备等技术供应计划，用以指导施工。

2. 单项工程施工组织设计

单项工程施工组织设计是以一个单项（单位）工程为编制对象。

3.分部（分项）工程施工组织设计

分部（分项）工程施工组织设计主要指以分部（分项）工程为对象，编制较详细、具体。

按照基本建设程序，一般在工程设计阶段要编制施工组织设计，相对比较宏观、概括和粗略，对工程施工起指导作用，但可操作性差；在工程项目招投标或施工阶段要编制单项工程施工组织设计或分部分项工程施工组织设计，编制对象具体，内容也比较翔实，具有实施性，可以作为落实施工措施的依据。

（三）编制施工组织设计所需要的主要资料

1.技术施工阶段施工规划需进一步搜集的基本资料

基本资料如下：

- （1）初步设计中的施工组织设计文件及初步设计阶段搜集到的基本资料。
- （2）技术施工阶段的水工及机电设计资料与成果。
- （3）进一步搜集国内基础资料和市场资料。
- （4）补充搜集国外基础资料与市场信息（国际招标工程需要）。

施工组织设计是工程设计的一部分，其设计需要依托水文、测量、地质、水工、机电等专业的设计，本专业还需要给其他专业提供相关资料，比如给环评、水保、移民、概算专业提供相关资料等等。

2.主要参考资料及设计手册

主要参考资料及设计手册如下：

- （1）《水利水电工程施工组织设计规范》。
- （2）《水利水电工程施工组织设计手册》（5卷）。
- （3）《水利水电工程施工手册》（5卷）。
- （4）《水利水电工程设计范本》（施工专业部分）。
- （5）《水利水电工程设计导则》。
- （6）《水利水电工程……施工规范》……表示防渗墙、灌浆、土石坝、水电站等。
- （7）对于单项道路、桥梁、供水工程，需要研究交通行业、给排水专业相关规范。

二、施工组织设计的方案

（一）拟定施工程序的注意事项

1.注意施工顺序的安排

施工顺序是指互相制约的工序在施工组织上必须加以明确而又不可调整的安排。建筑施工活动由于建筑产品的固定性，必须在同一场地上进行，如果没有前一阶段的工作，后一阶段就不能进行。在施工过程中，即使它们之间交错搭接地进行，也必须遵守一定的顺序。

施工顺序一般要求：

(1) 先地下后地上：主要指先完成基础工程、土方工程等地下部分，然后再进行地面结构施工；即使单纯的地下工程也应执行先深后浅的程序。

(2) 先主体后围护：指先对主体框架进行施工，再施工围护结构。

(3) 先土建后设备安装：先对土建部分进行施工，再进行机电金属结构设备等安装的施工。

2.注意施工季节的影响

不同季节对施工有很大影响，它不仅影响施工进度，而且还影响工程质量和投资效益，在确定工程开展程序时，应特别注意。

(二) 施工方法与施工机械的选择

施工方案编制的主要内容包括：确定主要的施工方法、施工工艺流程、施工机械设备等。

要加快施工进度、提高施工质量，就必须努力提高施工机械化程度。在确定主要工程施工方法时，要充分利用并发挥现有机械能力，针对施工中的薄弱环节，在条件许可的情况下，尽量制定出配套的机械施工方案，购置新型的高效能施工机械，提高机械动力的装备程度。

在安排和选用机械时，应注意以下几点：

(1) 主导施工机械的型号和性能，既能满足构件的外形、重量、施工环境、建筑轮廓、高度等的需要，又能充分发挥其生产效率。

(2) 选用的施工机械能够在几个项目上进行流水作业，以减少施工机械安装、拆除和运输的时间。

(3) 建设项目的工程量大而又集中时，应选用大型固定的机械设备；施工面大而又分散时，宜选用移动灵活的施工机械。

(4) 选用施工机械时，还应注意贯彻土洋结合、大中小型机械相结合的方针。

三、施工组织设计的总体布置

(一) 施工总布置的原则、基本资料和基本步骤

1.施工总布置的作用

施工总平面图是拟建项目施工场地的总布置图,是施工组织设计的重要组成部分,它是根据工程特点和施工条件,对施工场地上拟建的永久建筑物、施工辅助设施和临时设施等进行平面和高程上的布置。施工现场的布置应在全面了解掌握枢纽布置、主体建筑物的特点及其他自然条件等基础上,合理地组织和利用施工现场,妥善处理施工场地内外交通,使各项施工设施和临时设施能最有效地为工程服务。保证施工质量,加快施工进度,提高经济效益。另外,将施工现场的布置成果标在一定比例的施工地区地形图上,绘制的比例一般为1:1000或者1:2000,就构成施工现场布置图。

2.施工总布置的基本步骤

施工总布置的基本步骤如下:

- (1) 收集分析整理资料。
- (2) 编制并确定临时工程项目明细及规模。
- (3) 施工总布置规划。
- (4) 施工分区布置。
- (5) 场内运输方案。
- (6) 施工辅助企业及辅助设施布置。
- (7) 各种施工仓库布置。
- (8) 施工管理。
- (9) 总布置方案比较。
- (10) 修正完善施工总布置并编写文字说明。

3.现场布置总规划

这是施工现场布置中的最关键一步。应该着重解决施工现场布置中的重大原则问题,具体包括以下几点:

- (1) 施工场地是一岸布置还是两岸布置。
- (2) 施工场地是一个还是几个,如果有几个场地,哪一个为主要场地。
- (3) 施工场地怎样分区。
- (4) 临时建筑物和临时设施采取集中布置还是分散布置,哪些集中哪些分散。
- (5) 施工现场内交通线路的布置和场内外交通的衔接及高程的分布等。

(二) 施工分区布置

1.施工分区原则

在进行各分区布置时，应满足主体工程施工的要求。对以混凝土建筑物为主体的工程枢纽，应该以混凝土系统为重点，即布置时以砂石料的生产，混凝土的拌和、运输线路和堆弃料场地为主，重要的施工辅助企业集中布置在所服务的主体工程施工工区附近，并妥善布置场内运输线路，使整个枢纽工程的施工形成最优工艺流程。对于其他设施的布置，则应围绕重点来进行，确保主体工程施工。

2. 施工分区布置需考虑的事项

施工分区布置需考虑的事项有：

(1) 制冷厂主要任务是供应混凝土建筑物冷却用水、骨料预冷用水、混凝土搅拌用冷水和冰屑。冷水供应最好采用自流方式，输送距离不宜太远，以减少提水加压设备和冷耗。制冷厂的位置应布置在混凝土建筑物和混凝土系统附近的适当地方为宜。

(2) 破碎筛分和砂石筛分系统，应布置在采石场、砂石料场附近，以减少废料运输。若料场分散或受地形条件限制，可将上述系统尽量靠近混凝土搅拌系统。

(3) 钢筋加工厂、木材加工厂、混凝土预制构件厂，三厂统一管理时称综合厂。其位置可布置在第二线场地范围内，并具备运输成品和半成品上坝的运输条件。

(4) 制氧厂具有爆炸的危险性，应布置在安全地区。

(5) 供水系统。生产用水主要服务对象是砂石筛分系统、电厂、制冷厂、混凝土系统等，根据水源和取水条件、水质要求、供水范围和供水高程，合理布置。

(6) 机械修配厂、汽车修配厂是为工地机械设备和汽车修配、加工零件服务的。它的服务面广，有笨重的机械运出运入，占地面积较大，以布置在第二线或后方为宜，且靠近工地交通干线。

(7) 工地房屋建筑和维修系统，它是为全工地房屋建筑和维修服务的，应布置在第二线或后方生活区的适当地点。

(8) 砂石堆场、钢筋仓库、木材堆场、水泥仓库等都是专为企业储备、供应材料的，储存数量大，并与企业生产工艺有不可分割的关系，因此，这类仓库和堆场必须靠近它所服务的企业。

3. 分区布置方式

根据工程特点、施工场地的地质、地形、交通条件、施工管理组织形式等，施工总布置一般除建筑材料开采区、转运站及特种材料仓库外，可分为分散式、集中式和混合式 3 种基本形式。

(1) 分散式布置

分散式布置有两种情况。一种情况是枢纽建筑物布置分散，如引水式工程主体建筑物施工地段长达几公里甚至几十公里，因此常在枢纽首部、末端和引水建筑物中间地段设置主要施工分区，负责该地段的施工，此时应合理选择布置交通线路，妥善解决跨河桥渡位置等，尽量与其组成有机整体。我国鲁布革水利枢纽就是因为枢纽建筑物布置分散，而采用分散布置。另一种情况是枢纽永久建筑物集中布置在坝轴线附近，附属项目远离坝址，例如：坝址位于峡谷地区，地形狭窄，施工场地沿河的一岸或两岸冲沟延伸的工程，常把密切相关的主要项目靠近坝址布置，其他项目依次远离坝址布置。我国新安江水利枢纽就是因为地形狭窄而采取分散式布置的实例。

(2) 集中式布置

集中式布置的基本条件是枢纽永久建筑物集中在坝轴线附近，坝址附近两岸场地开阔，可基本上满足施工总布置的需要，交通条件比较方便，可就近与铁路或公路连接。因此，集中布置又可分为一岸集中布置和两岸集中布置的方式，但其主要施工场地选择在对外交通线路引入的一岸。我国黄河龙羊峡水利枢纽是集中一岸式布置，而葛洲坝、青铜峡、丹江口等水利枢纽是集中两岸式布置的实例。

(3) 混合式布置

混合式布置有较大的灵活性，能更好地利用现场地形和不同地段的场地条件，因地制宜选择内部施工区域划分。以各区的布置要求和工艺流程为主，协调内部各生产环节，就近安排职工生活区，使该区组成有机整体。黄河三门峡水利枢纽工程，就是因坝区地形特别狭窄，而采用混合式布置。把现场施工分区和辅助企业、仓库及居住区分开，施工临时设施，第一线布置在现场，第二线布置在远离现场 17km 的会兴镇后方基地，现场与基地间用准轨铁路专线和公路连接。此外，刘家峡、碧口等枢纽工程也是混合式布置的实例。

4. 分区布置顺序

在施工场地分区规划以后，进行各项临时设施的具体布置。包括：

(1) 当对外交通采用标准轨铁路和水运时，首先确定车站、码头的位置，然后布置场内交通干线、辅助企业和生产系统，再沿线布置其他辅助企业、仓库等有关临时设施，最后布置风、水、电系统及施工管理和生活福利设施。

(2) 当对外交通采用公路时，应与场内交通连接成一个系统，再沿线布置辅助企业、仓库和各项临时设施。

(三) 场内运输方案

场内运输方案：一是选择运输方式；二是确定工地内交通路线。本着方便生活、有利生产、安全畅通的原则，场内交通的布置要正确选择运输方式，合理布置交通线路。

1.运输方案的内容

运输方案的内容有：

运输方式选择及其联运时的相互衔接，设备及其数量；

选定运输方式的线路等级、标准及线路布置；

运输量及运输强度计算，物料流向分析；

与选定方式有关的设施及其规模；

运输组织及运输能力复核。

2.运输方案编制步骤

运输方案编制步骤如下：

按运输方案的内容要求初拟几个运输方案；

计算各方案的技术经济指标；

对各方案进行综合比较后，选择最优方案。

3.场内运输方式选择

在选择主要运输方式时，要重点考虑以下两点：

(1) 场内外运输方式尽可能一致，场内运输尽量接近施工和用料地点，减少转运次数，使运输和管理方便。

(2) 选定的运输方式除应满足运输量之外，还必须满足运输强度和施工工艺的要求。

4.场内交通线路布置

(1) 公路线路布置

①确定线路走向。

将运输量大、流向基本一致的供需单位和必经、必绕的控制点，按工艺布置的首尾顺序和物料流向用一条或几条线路联系起来，组成不同的干、支线布置方案；

在画有分区布置的地形图上，标明两岸联系的桥渡位置、地形、地物、地质上的控制点，如掘口、滑塌区、对外交通线入场区位置等；

用支线、联络线将其他各供需单位与上述干、支线相联系。

②图上定线。

根据线路走向和等级标准，用一定的平均坡度先在地形图上定线；

按路段量出图上线路长度，切纵剖面作纵剖面设计，切典型横剖面，计算工程量；确定大、中、小桥及涵洞工程量。

③线路测量设计。

公路线路经实地测量设计最后定线；

实地测定线路各转角点的坐标值，将线路画到分区布置图上。

(2) 铁路线路布置

铁路的平面、纵剖面要求高，在施工场地总平面布置时，一般先考虑铁路线路的技术要求留有余地，并在线路布置和设站的同时，调整并修正施工场地的分区布置。

①场内铁路布置方式。

根据地形条件，场内铁路布置方式基本有 4 种。

单、复线直通式布置。适用于场地狭窄的工程。土石坝的土、石料运输，混凝土原材料的砂、石骨料运输，拌制混凝土料上坝的运输等。在运输量不大时，采用单线。若运距较远，可在适当位置设避让站，以提高运输能力，必要时可布置复线。

弧形式布置。适用于场地开阔、运输量大的工程。能组织流水作业，高度简单，车站咽喉处无对流交叉，但超越行驶距离大。

通过式布置。适用于场地面积大、运输量大的工程。

尽头式布置。适用于场地面积较小、运输量小的工程。布置较简单，能连接具有一定高差的场地。

②场内铁路线路布置原则。

根据场地的特点和分区布置的设想方案，决定布置方式；

在地形图上研究线路的具体布置方案，必要时进行草测。提出方案比较时所需要的工程量；

确定各线路拟达到的主要供需单位；

按地形及分区布置顺序，决定线路走向；

根据工地地形、地貌、地质上必须的制约点布置；

实地测量设计定线。

(3) 两岸交通桥渡位置选择

跨河桥渡位置是场内交通线路的重要控制点，在施工中起着重要的保证作用，因此，应重点研究，妥善处理。

①建桥位置选择。

服从生产干线的总方向，并满足线路的一般要求；

两岸有较好的岩层条件，避开溶洞、滑塌等不良的地质、水文地质地段；

桥位选在河道顺直、水流稳定、河槽较窄的河段上；轴线尽量垂直高水位主流方向，避开支流汇合处及回流、浅滩等水流不稳定的河段；

考虑施工方便，两岸联系快捷，距离施工区既近又满足安全要求，并避免干扰。

根据实践经验，桥址选在坝轴线下游 1~2km 为宜；

考虑主河流及较大支流在施工导流、泄洪等不同水力条件下河道的变化，把桥位选在其影响范围以外，或采取相应措施下，不阻碍水流、不抬高尾水位为宜；

满足通航要求。桥位选择要与桥型选择相结合。

②渡口位置选择。

在满足两岸运输强度的条件下，可选择渡口形式作为临时或永久的两岸联系方式；

河道流速一般为 1~3m/s 的河段；

山涧河谷水位骤涨骤落幅度较大，低水位水深不能过渡的河段，没有合适地形以修建不同水位码头的河段，都不宜作为渡口位置。

5.场内运输方案比较内容

运输方案的比较主要从以下几方面进行：

主要建设工程量；

运输线路的技术条件；

主要建筑材料需用量；

主要设备数量及其来源情况；

能源消耗量；

占地面积；

建设时间；

运输安全可靠，工人劳动条件；

直接及辅助生产工人数、全员数；

与生产或施工工艺衔接、对施工进度保证情况；

建设费用和运营费用。

第二节 施工项目准备工作

一、施工现场平面布置

(一) 施工总布置的内容

施工总布置的内容主要有：

配合选择对外运输方案，选择场内运输方式以及两岸交通联系的方式，布置线路，确定渡口、桥梁位置，组织场内运输；

选择合适的施工场地，确定场内区域划分原则，布置各施工辅助企业及其他生产辅助设施，布置仓库站场、施工管理及生活福利设施；

选择给水、供电、压气、供热以及通信等系统的位置，布置干管、干线；

确定施工场地排水、防洪标准，规划布置排水、防洪沟槽系统；

规划弃渣、堆料场地，做好场地土石方平衡以及开挖土石方调配；

规划施工期环境保护和水土保持措施。

施工总布置的内容概括起来包括：原有地形已有的地上、地下建筑物、构筑物、铁路、公路和各种管线等；一切拟建的永久建筑物、构筑物、道路和管线；为施工服务的一切临时设施；永久、半永久性的坐标位置，料场和弃渣场位置。

(二) 施工总布置原则

施工总布置应根据工程总体布置结合现场环境，遵循因地制宜、因时制宜、有利生产、方便生活、易于管理、安全可靠、经济合理的原则。

1.施工总布置应综合分析水工枢纽布置、主体建筑物规模、型式、特点、施工条件和工程所在地区社会、自然条件等因素，妥善处理好环境保护和水土保持与施工场地布局的关系，合理确定并统筹规划为工程施工服务的各种临时设施。

2.施工总布置方案应贯彻执行十分珍惜和合理利用土地的方针，遵循因地制宜、因时制宜、有利生产、方便生活、易于管理、安全可靠、注重环境保护、减少水土流失、充分体现人与自然和谐相处以及经济合理的原则，经全面系统比较论证后选定。

3.施工总布置设计时应考虑以下各点：

第一，施工临时设施与永久性设施，应研究相互结合、统一规划的可能性。临时性建筑设施不要占用拟建永久性建筑或设施的位置。

第二，确定施工临时性建筑设施项目及其规模时，应研究利用已有企业设施为施

工服务的可能性与合理性。

第三，主要施工工厂设施和临时设施的布置应考虑施工期洪水的影响，防洪标准根据工程规模、工期长短、河流水文特性等情况，分析不同标准洪水对其危害程度，在5~20年重现期范围内酌情采用。高于或低于上述标准时，应进行充分论证。

第四，场内交通规划必须满足施工需要，适应施工程序、工艺流程；全面协调单项工程、施工企业、地区间交通运输的连接与配合，运输方便，费用少，尽可能减少二次转运；力求使交通联系简便，运输组织合理，节省线路和设施的工程投资，减少管理运营费用。

第五，施工总布置应做好土石方挖填平衡，统筹规划堆、弃渣场地；弃渣应符合环境保护及水土保持要求。在确保主体工程施工顺利的前提下，要尽量少占农田。

第六，施工场地应避免不良地质区域、文物保护区。

第七，避免在以下地区设置施工临时设施：严重不良地质区域或滑坡体危害地区；泥石流、山洪、沙尘暴或雪崩可能危害地区；重点保护文物、古迹、名胜区或自然保护区；与重要资源开发有干扰的地区；受爆破或其他因素严重影响的地区。

施工总布置应该根据施工需要分阶段逐步形成，做好前后衔接，尽量避免后阶段拆迁。初期场地平整范围按施工总布置最终要求确定。

（三）施工平面的布置

1. 收集基本资料

当地国民经济现状及发展的前景；

可为工程施工服务的建筑、加工制造、修配、运输等企业的规模、生产能力及其发展规划；

现有水陆交通运输条件和通过能力，近远期发展规划；

水、电以及其他动力供应条件；

邻近居民点、市政建设状况和规划；

当地建筑材料及生活物资供应情况；

施工现场土地状况和征地的有关问题；

工程所在地区行政区域规划图、施工现场地形图及主要临时工程剖面图，三角水准网点等测绘资料；

施工现场范围内的工程地质与水文地质资料；

河流水文资料、当地气象资料；

规划、设计各专业设计成果或中间资料；
主要工程项目定额、指标、单价、运杂费率等；
当地及各有关部门对工程施工的要求；
施工现场范围内的环境保护要求。

2.编制临时建筑物的项目清单

在充分掌握基本资料的基础上，根据施工条件和特点，结合类似工程经验或有关规定，编制临时建筑物的项目单，并初步确定它们的服务对象、生产能力、主要设备、风水电等需要量及占地面积、建筑面积和布置的要求。

以混凝土工程为主体的枢纽工程，临建工程项目一般包括以下内容：

混凝土系统（包括搅拌楼、净料堆场、水泥库、制冷楼）；

砂石加工系统（包括破碎筛分厂、毛料堆场、净料堆场）；

金属结构机电安装系统（包括金属结构加工厂、金属结构拼装场、钢管加工厂、钢管拼装场、制氧厂）；

机械修配系统（包括机械修配厂、汽车修配厂、汽车停放保养场、船舶修配厂、机车修配厂）；

综合加工系统（包括木材加工厂、钢筋加工厂、混凝土预制构件厂）；

风、水、电、通信系统（包括空压站、水厂、变电站、通信总机房）；

基础处理系统（包括基地、灌浆基地）；

仓库系统（包括基地冲击钻机仓库、工区仓库、现场仓库、专业仓库）；

交通运输系统（包括铁路场站、公路汽车站、码头港区、轮渡）；

办公生活福利系统（办公房屋、单身宿舍房屋、家属宿舍房屋、公共福利房屋、招待所）。

3.现场布置总规划

现场布置总规划是施工现场布置中的最关键一步。应该着重解决施工现场布置中的重大原则问题，具体包括：

施工场地是一岸布置还是两岸布置；

施工场地是一个还是几个，如果有几个场地，哪一个是主要场地；

施工场地怎样分区；

临时建筑物和临时设施采取集中布置还是分散布置，哪些集中、哪些分散；

施工现场内交通线路的布置和场内外交通的衔接及高程的分布等。

一般施工现场为了方便施工，利于管理，都将现场划分成主体工程施工区，辅助企业区，仓库、站、场、转运站，码头等储运中心，当地建筑材料开采区，机电金属结构和施工机械设备的停放修理场地，工程弃料堆放场，施工管理中心和主要施工分区，生活福利区等。各区域用场内公路沟通，在布置上相互联系，形成统一的、高度灵活的、运行方便的整体。

在进行各分区布置时，应满足主体工程施工的要求：对以混凝土建筑物为主体的工程枢纽，应该以混凝土系统为重点，即布置时以砂石料的生产、混凝土的拌和、运输线路和堆弃料场地为主，重要的施工辅助企业集中布置在所服务的主体工程施工区附近，并妥善布置场内运输线路，使整个枢纽工程的施工形成最优工艺流程。对于其他设施的布置，则应围绕重点来进行，确保主体工程施工。

在区域规划时，围绕集中布置、分散布置和混合布置等三种方式，水利水电工程一般多采用混合布置。

第一，地形较狭窄时，可沿河流一岸或两岸冲沟绵延布置，按临时建筑物及其设施对施工现场影响程序分类排队，对施工影响大的靠近坝址区布置，其他项目按对工程影响程序大小顺序逐渐远离布置，如水布垭工程采用了这种布置方式。

第二，地形特别狭窄时，可把与施工现场关系特别密切的设施（如混凝土生产系统）布置在坝址附近，而其他一些施工辅助企业等布置在离大坝较远的基地，这是典型的混合布置，如三门峡水库等。

对于引水式水电站或大型输水工程，常在取水口、中间段和厂房段设立施工场地，即形成“一条龙”的布置形式，又称分散布置。其缺点是施工管理不便、场内运输量大等。

在现场规划布置时，要特别注意场内运输干线的布置，如两岸交通联系的线路，砂石骨料运输线路，上、下游联系地过坝线路等。

4.施工现场布置

施工总平面布置图应根据设计资料和设计原则，结合工程所在地的实际情况，编制出几种可能方案进行比较，然后选择较好的布置方案。

（1）施工交通运输的布置。

施工交通包括对外交通和场内交通两部分。对外交通是指联系施工工地与国家公路或地方公路、铁路车站、水运港口及航空港之间的交通，一般应充分利用现有设施，选择较短的新建、改建里程，以减少对外交通工程量，场内交通是联系施工工地

内部各工区、料场、堆料场及各生产生活区之间的交通，一般应与对外交通衔接。

在进行施工交通运输方案的设计时，应主要解决的问题有：选定施工场内外的交通运输方式和场内外交线路的连接方式；进行场内运输线路的平面布置和纵剖面设计；确定路基、路面标准及各种主要的建筑物（如桥涵、车站、码头等）的位置、规模和形式；提出运输工具和运输工程量、材料和劳动力的数量等。

确定对外交通和场内交通的范围。对外交通方案应确保施工工地与国家公路或地方公路、铁路车站、水运港口之间的交通联系，具备完成施工期间外来物资运输任务的能力；场内交通方案应确保施工工地内部各工区、当地材料产地、堆渣场、各生产生活区之间的交通联系，主要道路与对外交通的衔接。

场内交通规划的任务。场内交通规划的任务是正确选择场内运输主要和辅助的运输方式，合理布置线路，合理规划和组织场内运输。各分区间交通道路布置合理、运输方便可靠、能适应整个工程施工进度和工艺流程要求，尽量避免或减少反向运输和二次倒运。

场内运输的特点是：物料品种多、运输量大、运距短；物料流向明确，车辆单向运输；运输不均衡；对运输保证性要求高；场内交通的临时性；个别情况允许降低标准；运输方式多样性等。

运输方式的选择应考虑工程所在地区可资利用的交通运输设施情况，施工期总运输量、分年度运输量及运输强度，重大件运输条件，国家（地方）交通干线的连接条件以及场内、外交通的衔接条件，交通运输工程的施工期限及投资，转运站以及主要桥涵、渡口、码头、站场、隧道等的建设条件。

场外运输方式的选择，主要取决于工程所在地区的交通条件、施工期的总运输量及运输强度、最大运件重量和尺寸等因素。中、小型水利工程一般情况下应优先采用公路运输方式，对于水运条件发达的地区，应以水运方式为主，其他运输方式为辅。

场内运输方式的选择，主要根据各运输方式自身的特点，场内物料运输量，运输距离对外运输方式、场地分区布置、地形条件和施工方法等。中、小型工程一般采用以汽车运输为主，其他运输为辅的运输方式。对外交通运输专用线或场内公路设计时，应结合具体情况，参照国家有关的公路标准来进行。

场内运输方式分水平运输和垂直运输方式两大类。垂直运输方式和永久建筑物施工场地、各生产系统内部的运输组织等，一般由各专业施工设计考虑，场内交通规划主要考虑场区之间的水平运输方式。水电工程常采用公路和铁路运输作为场内主要水

平运输方式。

(2) 仓库与材料堆场的布置。

当采用铁路运输时，仓库通常沿铁路线布置，并且要留有足够的装卸前线；如果没有足够的装卸前线，必须在附近设置转运仓库。布置铁路沿线仓库时，应将仓库设置在靠近工地一侧，以免内部运输跨越铁路。同时，仓库不宜设置在弯道处或坡道上。

当采用水路运输时，一般应在码头附近设置转运仓库，以缩短船只在码头上的停留时间。

当采用公路运输时，仓库的布置较灵活，一般中心仓库布置在工地中央或靠近使用的地方，也可以布置在靠近外部交通连接处。砂石、水泥、石灰、木材等仓库或堆场宜布置在施工对象附近，以免二次搬运。一般笨重设备应尽量布置在车间附近，其他设备仓库可布置在其外围或其他空地上。

炸药库应布置在僻静的位置，远离生活区；汽油库应布置在交通方便之处，且不得靠近其他仓库和生活设施，并注意避开多发的风向。

(3) 加工厂布置。

一般应将加工厂集中布置在同一个地区，且多处于工地边缘。各种加工厂应与相应仓库或材料堆场布置在同一地区。

污染较大的加工厂，如砂石加工厂、沥青加工厂和钢筋加工厂，应尽量远离生活区和办公区，并注意风向。

(4) 布置内部运输道路。

根据加工厂、仓库及各施工对象的相对位置，研究货物转运图，区分主要道路和次要道路。

在规划临时道路时，应充分利用拟建的永久性道路，提前修建永久性道路或者修路基和简易路面作为施工所需的道路，以达到节约投资的目的。

道路应有两个以上进出口，道路末端应设置回车场；场内道路干线应采用环形布置，主要道路宜采用双车道，宽度不小于 6 m；次要道路宜采用单车道，宽度不小于 3.5m。

一般场外与省、市公路相连的干线，因其以后会成为永久性道路。因此，一开始就应建成高标准路面。场区内的干线和施工机械行驶路线，最好采用碎石级配路面，以利于修补；场内支线一般为土路或砂石路。

(5) 行政与生活临时设施布置。

应尽量利用建设单位的生活基地或其他永久性建筑，不足部分另行建造，还可考虑租用当地的民房。

一般全工地性行政管理用房宜设在全工地入口处，以便对外联系；也可设在工地中间，便于对全工地进行管理；工人用的福利设施应设置在工人较集中的地方，或工人必经之处；生活基地应设在场外，距工地 500~1000 m 为宜；食堂可布置在工地内部或工地与生活区之间。其位置应尽量避免开危险品仓库和砂石加工厂等，以利于安全和减少污染。

(6) 临时水电管网及其他动力设施的布置。

临时水电管网沿主要干道布置干管、主线；临时总变电站应设置在高压电引入处，不应设置在工地中心；设置在工地中心或工地中心附近的临时发电设备，沿干道布置主线；施工现场供水管网有环状、枝状和混合式三种形式。

根据工程防火要求，应设立消防站。一般设置在易燃物（木材、仓库、油库、炸药库等）附近，并须有通畅的出口和消防车道，其宽度不宜小于 6 m；沿道路布置消防栓时，其间距不得大于 100 m，消防栓到路边的距离不得大于 2m。

工地电力网：一般 3~10 kV 高压线采用环状，380/220 V 低压线采用枝状布置。工地上通常采用架空布置，距路面或建筑物不小于 6 m。

应该指出，上述各设计步骤不是截然分开、各自孤立进行的，而是互相联系、互相制约的，需要综合考虑、反复修正才能确定下来。

二、施工现场准备

(一) 施工现场控制网测量

根据给定永久性坐标和高程，按照建筑总平面图要求，进行施工现场控制网测量，设置场区永久性控制测量标桩。

(二) 做好“四通一平”

确保施工现场“四通一平”，并尽可能使永久性设施与临时性设施结合起来。拆除场地上妨碍施工的建筑物或构筑物，并根据建筑总平面图规定的标高和土方竖向设计图纸，进行平整场地的的工作。

(三) 建设施工临时设施

按照施工平面布置图和工程进度安排，进行设施建设。

(四) 组织施工机具进场

根据施工机具需要量计划，按施工平面图要求，组织施工机械、设备和工具进场，

按规定地点和方式存放，并应进行相应的保养和试运转等工作。土石方施工以挖运填筑机械为主，混凝土施工以拌和设备 and 水平运输及垂直运输机械为主。

(五) 组织建筑材料进场

根据建筑材料、构（配）件和制品需要量计划，组织其进场，根据施工场地布置地点和方式储存或堆放。

(六) 拟订有关试验、试制项目计划

建筑材料进场后，应进行各项材料的试验、检验。对于新技术项目，应拟订相应试验和试制计划，并均应在开工前实施。

(七) 做好季节性施工准备

按照施工组织设计要求，认真落实冬、雨季和高温季节施工项目的施工设施和技术组织措施。

(八) 设置消防、保安设施

按照施工组织设计的要求，根据施工总平面图的布置，建立消防、保安等组织机构和有关的规章制度，布置安排好消防、保安等措施。

三、施工场外协调

(一) 材料加工和订货

根据各项资源需求量计划，同建材加工和设备制造部门或单位取得联系，签订供货合同，保证按时供应。

(二) 施工机械租赁或订购

对于缺少且需用的施工机械，应根据资源需求量计划，同相关单位签订租赁合同或订购合同。

(三) 安排好分包或劳务

通过经济效益分析，适合分包或委托劳务而本单位难以承担的专业工程，如大型土石方、结构安装和设备安装工程，应尽早做好分包或劳务安排；采用招标或委托方式，同相应承担单位签订分包或劳务合同，保证合同实施。

第三节 工程项目组织管理

一、工程项目业主方的项目管理规划

业主的任务是对整个项目进行总体的控制。在工程项目被批准立项后，业主应根据工程项目的任务书对项目的管理工作进行规划，以保证全面完成任务书所规定的各项任务。

项目管理规划作为项目管理的一个重要的工作，在项目立项后编制。由于项目的特殊性和项目管理规划的独特作用，它应符合以下要求。

（一）符合项目总目标要求

管理规划是为了保证实现项目管理总目标而做的各种安排，所以目标是规划的灵魂。首先必须详细地分析目标，弄清总任务。如果对目标和任务理解有误，或不完全，必然会导致项目管理规划的失误。项目管理规划应包括对目标的研究与分解，并与相关各方就总目标达成共识。

（二）符合全面性要求

管理规划要有可行性，要符合实际情况要求。在项目管理规划的制定中应进行充分的调查研究，大量地占有资料，并充分利用调查结果，按工程规模、复杂程度、质量水平、工程项目自身的逻辑性和规律性做计划。

（三）符合全过程要求

由于项目管理对实施运营的重要作用，应着眼于项目管理的全过程，考虑项目的组织，以及项目管理的各个方面，通常应包括项目的目标分解、环境调查、项目的范围管理和结构分解、项目的实施策略、项目组织和项目管理组织设计，以及对关键工作的总体安排（如功能策划、技术设计、实施方案和组织、建设、融资、交付、运行的全部）。

（四）符合集成化要求

项目管理规划应是集成化，规划所涉及的各项工作中应有良好的接口。项目管理规划的体系应反映规划编制的基础工作、规划包括的各项工作中，以及规划编制完成后的相关工作之间的系统联系。

（五）符合弹性要求

管理规划要有弹性，必须留有余地。由于投资者的环境变化、市场变化、行政干

预、设计考虑不周等，原目标和规划内容有可能不符合实际，必须做相应的调整。

（六）考虑风险防范措施

规划中必须包括相应的风险分析的内容，对可能发生的困难、问题和干扰做出预估，并提出相应的防范措施。

二、工程项目施工方的管理规划

（一）施工方的项目管理规划大纲

项目管理规划大纲是由企业管理层在投标之前编制的，旨在作为投标依据，满足招标文件要求及签订合同要求的文件。

在工程项目中，项目管理规划大纲应由项目管理层依据招标文件及发包人对招标文件的解释、企业管理层对招标文件的分析研究结果、工程现场情况、发包人提供的信息和资料、有关市场信息以及企业法定代表人的投标决策意见编写。

1.项目管理规划大纲的编制程序

项目管理规划大纲的编制程序一般分为7步：①明确项目目标；②分析项目环境和条件；③收集项目相关资料和信息；④确定项目管理组织模式、结构和职责；⑤明确项目管理内容；⑥编制项目目标计划和资源计划；⑦汇总整理，报送审批。这个程序中，关键程序是第六步。前面的5步是为它服务的，最后一步是例行管理手续。

2.项目管理规划大纲的内容

项目管理规划大纲包括以下13项内容。

（1）项目概况。项目概况包括项目范围描述、项目实施条件分析和项目管理基本要求等。

（2）项目范围规划。项目范围规划要通过工作分解结构图实现，并对分解的各单元进行编码及编制说明。既要对项目过程范围进行描述，又要对项目的最终可交付成果进行描述。项目管理规划大纲的项目工作结构分解可以粗略一些。

（3）项目管理目标规划。业主项目管理的目标是组织自身要完成的目标。项目管理目标规划应明确进度、质量、职业健康安全与环境、成本等的总目标，并进行可能的分解。这些目标是项目管理的努力方向，也是管理成果的体现，故必须进行可行性论证，提出纲领性的措施。

（4）项目管理组织规划。项目管理组织规划应包括组织结构形式、组织构架图、项目经理、职能部门、主要成员人选、拟建立的规章制度等。项目的组织规划应符合业主的项目组织策略，有利于项目管理的运作。

(5) 项目成本管理规划。项目管理组织应提出完成任务的预算和成本计划。成本计划应包括项目的总成本目标,按照主要成本项目进行成本分解的子目标,保证成本目标实现的技术、组织、经济和合同措施。成本计划目标应留有一定的余地,并有一定的浮动区间,以便激发生产和管理者的积极性。

(6) 项目进度管理规划。项目进度管理规划应包括进度的管理体系、管理依据、管理程序、管理计划、管理实施和控制、管理协调等内容的规划。应明确总工期目标,总工期目标的分解,主要的里程碑事件及主要的工程活动的进度安排、进度计划表。应规划出保证进度目标实现的组织、经济、技术、合同措施。

(7) 项目质量管理规划。项目管理规划大纲确定的质量目标应符合法律、法规、规范的要求,应体现组织的质量追求。对有关各方质量进行管控的方法、措施都要进行规划,以保证质量目标的实现。

(8) 项目职业健康安全与环境管理规划。对职业健康安全与环境管理体系的建立和运行进行规划,也要对环境管理体系的建立和运行进行规划。对危险源进行预测,对其控制方法进行粗略规划。要编制有战略性和针对性的安全技术措施计划和环境保护措施计划。

(9) 项目采购与资源管理规划。项目采购规划要识别与采购相关的资源和过程,包括采购什么、何时采购、询价、评价并确定参加投标的分包人、分包合同结构策划、采购文件的内容和编写等。项目资源管理规划包括识别、估算、分配相关资源,安排资源使用进度,进行资源控制的策划等。

(10) 项目信息管理规划。项目信息管理规划的内容包括:信息管理体系的建立,信息流的设计,信息收集、处理、储存、调用等的构思,软件和硬件的获得及投资等。它服务于项目的过程管理。

(11) 项目沟通管理规划。项目沟通管理规划的内容包括:项目沟通关系,项目沟通体系,项目沟通网络,项目沟通方式和渠道,项目沟通计划,项目沟通依据,项目沟通障碍与冲突管理方式,项目协调组织、原则和方式等。

(12) 项目风险管理规划。应根据工程的实际情况对项目的主要风险因素做出预测,并提出相应的对策措施,提出风险管理的主要原则。项目管理规划大纲阶段对风险的考虑较为宏观,应着眼于市场、宏观经济、政治、竞争对手、合同、发包人资信等。在项目管理规划大纲中可根据预测风险选择相应的对策措施。

(13) 项目收尾管理规划。项目的收尾管理规划包括工作成果的验收和移交、费

用的决算和结算、合同终结、项目审计、项目管理组织解体和项目经理解职、文件归档、项目管理总结等。项目管理规划大纲应作出预测和原则性安排。这个阶段涉及问题较多，不能面面俱到，但重点问题不能忽略。

（二）施工方项目管理实施规划

1.项目管理实施规划的编制程序

项目管理实施规划的编制一般遵循以下程序。

（1）进行合同和实施条件分析。

（2）确定项目管理实施规划的目录及框架。

（3）分工编写。项目管理实施规划必须按照专业和管理职能分别由项目经理部的各部门（或各职能人员）编写。有时需要组织管理层的一些职能部门参与。

（4）汇总协调。由项目经理协调上述各部门（人员）的编写工作，给他们以指导，最后由项目经理定人汇总编写内容，形成初稿。

（5）统一审查。组织管理层出于对项目控制的需要，必须对项目管理实施规划进行审查，并在执行过程中进行监督和跟踪。审查、监督和跟踪的具体工作可由组织管理层的职能部门负责。

（6）修改定稿。由原编写人修改，由汇总人定稿。

（7）报批。由项目经理部报给组织的领导批准项目管理实施规划。它将作为一份有约束力的项目管理文件，不仅对项目经理部有效，而且对组织各个相关职能部门进行服务和监督也有效。

2.项目管理实施规划的编制依据

项目管理实施规划的编制依据有以下 6 个方面。

（1）项目管理规划大纲。

从原则上讲，项目管理实施规划是规划大纲的细化和具体化，但在依据规划大纲时应注意在做标、招标、开标后的澄清，以及合同谈判过程中获得的新的信息、过去所掌握的信息的错误、不完备的地方，投标人提出的新的优惠条件等。因此，项目管理实施规划肯定比项目管理规划大纲多一些新的内容。

（2）项目条件和环境分析资料。

编制项目管理实施规划的时候，项目条件和环境应当比较清晰，因此要获得这两方面的详细信息。这些信息越清楚、可靠，据以编制的项目管理实施规划越有用。一方面，通过广泛收集和调查获得项目条件和环境的资料；另一方面，进行科学的去粗

取精分析，使资料和信息可用、适用、有效。

(3) 合同及相关文件。

合同内容是项目管理任务的源头，是项目管理实施规划编制的背景和任务的来源，也是项目管理实施规划结果是否有用的判别标准，因此这项依据更具有规定性乃至强制性。相关文件是指法规文件、设计文件、标准文件、政策文件、指令文件、定额文件等，它们都是编制项目管理实施规划不可或缺的。

(4) 同类项目的相关资料。

同类项目的相关资料具有可模仿性，因此借鉴具有相似性的项目的经验或教训可以避免走弯路。所以，积累工程项目资料也是极其重要的。

(5) 项目管理目标责任书。

组织管理层与项目经理之间签订的项目管理目标责任书规定着项目经理的权力、责任和利益，项目的目标管理过程，在项目实施过程中组织管理层与项目经理部之间的工作关系等，编制项目管理实施规划也应以此为依据。项目管理目标责任书体现组织的总体经营战略，符合组织的根本利益，保证组织对项目的有力控制，防止项目失控，能够充分发挥项目经理和项目经理部各部门（人员）的积极性和创造性，保证在项目上能够利用组织的资源和组织的总体优势，对项目管理实施规划的成功编制和发挥作用具有重要意义。

(6) 其他。

其他依据还有项目经理部的自身条件及管理水平，项目经理部掌握的新的其他信息，组织的项目管理体系，项目实施中项目经理部的各个职能部门（或人员）与组织的其他职能部门的关系，工作职责的划分等。

3. 项目管理实施规划的编制内容

项目管理实施规划应包括以下 16 项内容。

(1) 项目概况。

应在项目管理规划大纲项目概况的基础上，根据项目实施的需要进一步细化。由于此时临近项目实施，项目各方面的情况进一步明朗化，故对项目管理规划大纲中项目概况是有条件细化的。项目管理实施规划的项目概况具体包括项目特点具体描述，项目预算费用和合同费用，项目规模及主要任务量，项目用途及具体使用要求，工程结构与构造，地上、地下层数，具体建设地点和占地面积，合同结构图、主要合同目标，现场情况，水、电、暖气、煤气、通信、道路情况，劳动力、材料、设备、构件

供应情况，资金供应情况，说明主要项目范围的工作清单，任务分工，项目管理组织体系及主要目标。

(2) 总体工作计划。

总体工作计划包括项目管理工作总体目标，项目管理范围，项目管理工作总体部署，项目管理阶段划分和阶段目标，保证计划完成的资源投入、技术路线、组织路线、管理方针和路线等。

(3) 组织方案。

组织方案包括项目结构图、组织结构图、合同结构图、编码结构图、重点工作流程图、任务分工表、职能分工表和必要的说明。

(4) 技术方案。

技术方案指处理项目技术问题的安排，包括项目构造与结构、工艺方法、工艺流程、工艺顺序、技术处理、设备选用、能源消耗和技术经济指标等。

(5) 进度计划。

进度计划包括进度图、进度表、进度说明，与进度计划相应的人力计划、材料计划。进度计划应合理分级，即注意使每份计划的范围大小适中，不要使计划范围过大或过小，也不要只用一份计划包含所有的内容。

(6) 质量计划。

质量计划应确定下列内容：质量目标和要求，质量管理组织和职责，所需的过程、文件和资源，产品（或过程）所要求的评审、验证、确认、监视、检验和试验活动以及接收准则，记录的要求，所采取的措施。

(7) 职业健康安全与环境管理计划。

职业健康安全与环境管理计划在项目管理规划大纲中，在职业健康安全与环境管理规划的基础上细化下列内容：项目的职业健康安全管理点识别危险源，判别其风险等级（可忽略风险和不允许风险、可允许风险、中度风险、重大风险），对不同等级的风险采取不同的对策，制订安全技术措施计划，制订安全检查计划，根据污染情况制订防治污染、保护环境计划。

(8) 成本计划。

在项目管理实施规划中，成本计划是在项目目标规划的基础上，结合进度计划、成本管理措施、市场信息、组织的成本战略和策略，具体确定主要费用项目的成本数量以及降低成本的数量，确定成本控制措施与方法，确定成本核算体系，为项目经理

部实施项目管理目标责任书提出实施方案和方向。

(9) 资源需求计划。

资源需求计划的编制首先要用预算的办法得到资源需要量，列出资源计划矩阵，然后结合进度计划进行编制，列出资源数据表，画出资源横道图、资源负荷图和资源累积曲线图。

(10) 风险管理计划。

列出项目过程中可能出现的风险因素清单，并对风险出现的可能性（概率）以及如果出现将会造成的损失做出估计。对各种风险做出确认，根据风险量列出风险管理的重点，或按照风险对目标的影响确定风险管理的重点。对主要风险提出防范措施，并落实风险管理责任人，风险管理责任人通常与风险防范措施相联系。对特别大或特别严重的风险应进行专门的风险管理规划。

(11) 信息管理计划。

信息管理计划应包括项目的信息需求种类，项目管理中的信息流程、信息来源和传递途径，信息管理人员的职责和工作程序。

(12) 项目沟通管理计划。

项目沟通管理计划应包括项目的沟通方式和途径，沟通障碍与冲突管理计划，项目协调方法。

(13) 项目收尾管理计划。

项目收尾管理计划应主要包括项目收尾计划、项目结算计划、文件归档计划、项目创新总结计划。

(14) 项目现场平面布置图。

应按照国家或行业规定的制图标准绘制，不得有随意性。现场平面布置图应包括以下内容：在现场范围内现存的永久性建筑；拟建的永久性建筑；永久性道路和临时道路；垂直运输机械；临时设施，包括办公室、仓库、配电房、宿舍、料场、搅拌站等；水电管网；水电管网平面布置图说明。

(15) 项目目标控制措施。

项目目标控制措施包括保证进度目标的措施、保证质量目标的措施、保证安全目标的措施、保证成本目标的措施、保证季节性工作的措施及保护环境的措施等。

(16) 技术经济指标。

项目技术经济指标是计划目标和完成目标的数量表现，用以评价组织的项目管理

实施规划的水平和质量。在项目管理实施规划中应列出规划所达到的技术经济指标。这些指标是规划的结果，体现规划的水平。它们又是项目管理目标的进一步分解，可以验证项目目标的完成程度和完成的可能性。规划完成后作为确定项目经理部责任的依据。组织对项目经理部，以及项目经理部对其职能部门或人员的责任指标应以这些指标为依据。

第三章 水利工程基础施工技术

第一节 施工导流

一、施工导流概述

（一）施工导流概念

水工建筑物一般都在河床上施工，为避免河水对施工的不利影响，创造干地施工条件，需要修建围堰围护基坑，并将原河道中各个时期的水流按预定方式加以控制，并将部分或者全部水流导向下游。这种工作就叫施工导流。

（二）施工导流的意义

施工导流是水利工程建设中必须妥善解决的重要问题。主要表现是：

直接关系工程的施工进度和完成期限；

直接影响工程施工方法的选择；

直接影响施工场地的布置；

直接影响工程的造价；

与水工建筑物的型式和布置密切相关。

因此，合理的导流方式，可以加快施工进度，缩短工期，降低造价，考虑不周，不仅达不到目的，有可能造成很大危害。例如：选择导流流量过小，汛期可能导致围堰失事，轻则使建筑物、基坑、施工场地受淹，影响施工正常进行，重则主体建筑物可能遭到破坏，威胁下游居民生命和财产安全；选择流量过大，必然增加导流建筑物的费用，提高工程造价，造成浪费。

（三）影响施工导流的因素

影响因素比较多，如水文、地质、地形特点；所在河流施工期间的灌溉、供水、通航、过木等要求；水工建筑物的组成和布置；施工方法与施工布置；当地材料供应条件等。

（四）施工导流的设计任务

综合分析研究上述因素，在保证满足施工要求和用水要求的前提下，正确选择导

流标准，合理确定导流方案，进行临时结构物设计，正确进行建筑物的基坑排水。

（五）施工导流的基本方法

1.基本方法

（1）全段围堰导流法

用围堰拦断河床，全部水流通过事先修好的导流泄水建筑物流走。

（2）分段围堰导流法

水流通过河床外的束窄河床下泄，后期通过坝体预留缺口、底孔或其他泄水建筑物下泄。

2.施工导流的全段围堰法

（1）基本概念

利用围堰拦断河床，将河水逼向在河床以外临时修建的泄水建筑物，并流往下游。因此，该法也叫河床外导流法。

（2）基本做法

全段围堰法是在河床主体工程的上、下游一定距离的地方分别各建一道拦河围堰，使河水经河床以外的临时或者永久性泄水道下泄，主体工程就可以在排干的基坑中施工，待主体工程建成或者接近建成时，再将临时泄水道封堵。该法一般应用在河床狭窄、流量较小的中小河道上。在大流量的河道上，只有地形、地质条件受限，明显采用分段围堰法不利时才采用此法导流。

（3）主要优点

施工现场的工作面比较大，主体工程在一次性围堰的围护下就可以建成。如果在枢纽工程中，能够利用永久泄水建筑物结合施工导流时，采用此法往往比较经济。

（4）导流方法

导流方法一般根据导流泄水建筑物的类型区分：如明渠导流，隧洞导流，涵管导流，还有的用渡槽导流等。

①明渠导流。

A，概念

河流拦断后，河道的水流从河岸上的人工渠道下泄的导流方式叫明渠导流。

B，适宜条件

它多选在岸坡平缓、有较宽广的滩地，或者岸坡上有溪沟可以利用的地方。当渠道轴线上是软土，特别是当河流弯曲，可以用渠道裁弯取直时，采用此法，比较经济，

更为有利。在山区建坝，有时由于地质条件不好，或者施工条件不足，开挖隧洞比较困难，往往也可以采用明渠导流。

C, 施工顺序

一般在坝头岸上挖渠，然后截断河流，使河水由明渠下泄，待主体工程建成以后，拦断导流明渠，使河水按预定的位置下泄。

D, 导流明渠布置要求

开挖容易，挖方量小，有条件时，充分利用山垭、洼地旧河槽，使渠线最短，开挖量最小。

水流通畅，泄水能力强，渠道进出口水流与河道主流的夹角不大于 30 度为好，渠道的转弯半径要大于 5 倍渠道底部的宽度。

泄水时应该安全，渠道的进出口与上、下游围堰要保持一定的距离，一般上游为 30~50m，下游为 50~100m。导流明渠的水边到基坑内的水边最短距离，一般要大于 $2.5\sim 3.0H$ ， H 为导流明渠水面与基坑水面的高差。

运用方便，一般将明渠布置在一岸，避免两岸布置，否则，泄水时，会产生水流干扰，也影响基坑与岸上的交通运输。

导流明渠断面，一般为梯形断面，只有在岩石完整，渠道不深时，才采用矩形断面。渠道的断面面积应满足防冲和保证通过设计施工流量的要求。

②隧洞导流。

A, 方案原则

在河谷狭窄的山区，岩石往往比较坚实，多采用隧洞导流。由于隧洞开挖与衬砌费用较大，施工困难，因此，要尽可能将导流隧洞与永久性隧洞结合考虑布置，当结合确有困难时，才考虑设置专用导流隧洞，在导流完毕后，应立即堵塞。

B, 布置说明

在水工建筑物中，对隧洞选线、工程布置、衬砌布置等都做了详细介绍，只不过，导流隧洞是临时性建筑物，运用时间不长，设计级别比较低，其考虑问题的思路和方法是相同的，有关内容知识可以互相补充。

C, 线路选择

因影响因素很多，重点考虑地质和水力条件。

D, 地质条件

一般要避免隧洞穿过断层、破碎带，无法避免时，要尽量使隧洞轴线与断层和破

碎带的交角要大一些。为使隧洞结构稳定，洞顶岩石厚度至少要大于洞径的 2~3 倍。

E, 水力条件

为使水流顺畅，隧洞最好直线布置，必须转弯时，进口处要设直线段，并且直线段的长度应大于 10 倍的洞径或者洞宽，转弯半径应大于 5 倍的洞径或者洞宽，转角一般控制在 60°，隧洞进口轴线与河道主流的夹角一般在 30°以内。同时，进出口与上下游围堰之间要有适当的距离，一般大于 50m，以防止进出口水流冲刷围堰堰体。隧洞进出口高程，从截流要求看，越低越好，但是，从洞身施工的出渣、排水、土石方开挖等方面考虑，则高一些为好。因此，对这些问题，应看具体条件，综合考虑解决。

F, 断面选择

隧洞的断面常用形式有圆形、马蹄形、城门洞形，从过水、受力、施工等方面各有特点，选择时可参考水工课介绍的有关方法进行。

G, 衬砌和糙率

由于导流洞的临时性，故其衬砌的要求比一般永久性隧洞低，但是，考虑方法是相同的。当岩石比较完整，节理裂隙不发育的，一般不衬砌。当岩石局部节理发育，但是，裂隙是闭合的，没有充填物和严重的相互切割现象，同时岩层走向与隧洞轴线的交角比较大时，也可以不衬砌，或者只进行顶部衬砌。如果岩石破碎，地下水又比较丰富的要考虑全断面衬砌。为了降低隧洞的糙率，开挖时最好采用光面爆破。

③涵管导流。

在土石坝枢纽工程中，采用涵管进行导流施工的比较。涵管一般布置在枯水位以上的河岸的岩基上。多在枯水期先修建导流涵管，然后再修建上下游围堰，河道的水经过涵管下泄。涵管过水能力低，一般只能担负小流量的施工导流。如果能与永久性涵管结合布置，往往是比较好的方案。涵管与坝体或者防渗体的结合部位，容易产生集中渗漏，一般要设截流环，并控制好土料的填筑质量。

3.施工导流的分段围堰法

(1) 基本概念

分段围堰法施工导流，就是利用围堰将河床分期分段围护起来，让河水从缩窄后的河床中下泄的导流方法。分期，就是从时间上将导流划分成若干个时间段，分段，就是用围堰将河床围成若干个地段。一般分为两期两段。

(2) 适宜条件

一般适用于河道比较宽阔，流量比较大，工程施工时间比较长的工程，在通航的

河道上，往往不允许出现河道断流，这时，分段围堰法就是唯一的施工导流方法。

(3) 围堰修筑顺序

一般情况下，总是先在第一期围堰的保护下修建泄水建筑物，或者建造期限比较长的复杂建筑物，例如水电站厂房等，并预留低孔、缺口，以备宣泄第二期的导流流量。第一期围堰一般先选在河床浅滩一岸进行施工，此时，对原河床主流部分的泄流影响不大，第一期的工程量也小。第二期的部分纵向围堰可以在第一期围堰的保护下修建。拆除第一期围堰后，修建第二期围堰进行截流，再进行第二期工程施工，河水从第一期安排好了的地方下泄。

二、围堰工程

(一) 围堰概述

1. 主要作用

它是临时挡水建筑物，用来围护主体建筑物的基坑，保证在干地上顺利施工。

2. 基本要求

它完成导流任务后，若对永久性建筑物的运行有妨碍，还需要拆除。因此，围堰除满足水工建筑物稳定、不透水、抗冲刷的要求外，工程量要小，结构简单，施工方便，有利于拆除等。如果能将围堰作为永久性建筑物的一部分，对节约材料，降低造价，缩短工期无疑更为有利。

(二) 基本类型及构造

按相对位置不同，分纵向围堰和横向围堰；按构造材料分为土围堰、土石围堰、草土围堰、混凝土围堰、板桩围堰，木笼围堰等多种形式。下面介绍几种常用类型。

1. 土围堰

土围堰与土坝布置内容、设计方法、基本要求、优缺点大体相同，但因其临时性，故在满足导流要求的情况下，力求简单，施工方便。

2. 土石围堰

这是一种石料作支撑体，黏土作防渗体，中间设反滤层的土石混合结构。抗冲能力比土围堰大，但是拆除比土围堰困难。

3. 草土围堰

这是一种草土混合结构。该法是将麦秸、稻草、芦苇、柳枝等柴草绑成捆，修围堰时，铺一层草捆，铺一层土料，如此筑起围堰。该法就地取材，施工简单，速度快，造价低，拆除方便，具有一定的抗渗、抗冲能力，容重小，特别适宜软土地基。但是

不宜用于拦挡高水头，一般限于水深不超过 6m，流速不超过 3~4m/s，使用期不超过 2 年的情况。该法过去在灌溉工程中，现在在防汛工程中采用比较多。

4. 混凝土围堰

混凝土围堰常用于在岩基土修建的水利枢纽工程，这种围堰的特点是挡水水头高，底宽小、抗冲能力大，堰顶可溢流，尤其是在分段围堰法导流施工中，用混凝土浇筑的纵向围堰可以两面挡水，而且可与永久建筑物相结合作为坝体或闸室体的一部。混凝土纵向或横向围堰多为重力式，为减小工程量，狭窄河床的上游围堰也常采用拱型结构。混凝土围堰抗冲防渗性能好，占地范围小，既适用于挡水围堰，更适用于过水围堰，因此，虽造价较土石围堰相对较高，仍为众多工程所采用。混凝土围堰一般需在低水土石围堰保护下干地施工，但也可创造条件在水下浇筑混凝土或预填骨料灌浆，中型工程常采用浆砌块石围堰。

混凝土围堰按其结构型式有重力式、空腹式、支墩式、拱式、圆筒式等。按其施工方法有干地浇筑、水下浇筑、预填骨料灌浆、碾压式混凝土及装配式等。常用的型式是干地浇筑的重力式及拱形围堰。此外还有浆砌石围堰，一般采用重力式居多。混凝土围堰具有抗冲、防渗性能好、底宽小、易于与永久建筑物结合，必要时还允许堰顶过水，安全可靠等优点，因此，虽造价较高，但在国内外仍得到较广泛地应用。例如三峡、丹江口、三门峡、潘家口、石泉等工程的纵向围堰都采用了混凝土重力式围堰，其下游段与永久导墙相结合，刘家峡、乌江渡、紧水滩、安康等工程也均采用了拱形混凝土围堰。

混凝土围堰一般需在低水土石围堰围护下施工，也有采用水下浇筑方式的。前者质量容易保证，后者也有许多成功的经验。

5. 钢板桩围堰

钢板桩围堰是最常用的一种板桩围堰。钢板桩是带有锁口的一种型钢，其截面有直板形、槽形及 Z 形等，有各种大小尺寸及连锁形式。常见的有拉尔森式，拉克万纳式等。

其优点为：强度高，容易打入坚硬土层；可在深水中施工，必要时加斜支撑成为一个围笼。防水性能好；能按需要组成各种外形的围堰，并可多次重复使用，因此，它的用途广泛。

在桥梁施工中常用于沉井顶的围堰，它的用途广泛。管柱基础、桩基础及明挖基础的围堰等。这些围堰多采用单壁封闭式，围堰内有纵横向支撑，必要时加斜支撑成

为一个围笼。如中国南京长江桥的管柱基础，曾使用钢板桩圆形围堰，其直径 21.9m，钢板桩长 36m，有各种大小尺寸及连锁形式。待水下混凝土封底达到强度要求后，抽水筑承台及墩身，抽水设计深度达 20m。

在水工建筑中，一般施工面积很大，则常用以做成构体围堰。它系由许多互相连接的单体所构成，每个单体又由许多钢板桩组成，单体中间用土填实。围堰所围护的范围很大，不能用支撑支持堰壁，因此每个单体都能独自抵抗倾覆、滑动和防止连锁处的拉裂。常用的有圆形及隔壁形等形式。

(1) 围堰高度应高出施工期间可能出现的最高水位（包括浪高）0.5~0.7m。

(2) 围堰外形一般有圆形、圆端形、矩形、带三角的矩形等。围堰外形还应考虑水域的水深，以及流速增大引起水流对围堰、河床的集中冲刷，对航道、导流的影响。

(3) 堰内平面尺寸应满足基础施工的需要。

(4) 围堰要求防水严密，减少渗漏。

(5) 堰体外坡面有受冲刷危险时，应在外坡面设置防冲刷设施。

(6) 有大漂石及坚硬岩石的河床不宜使用钢板桩围堰。

(7) 钢板桩的机械性能和尺寸应符合规定要求。

(8) 施打钢板桩前，应在围堰上下游及两岸设测量观测点，控制围堰长、短边方向的施打定位。施打时，必须备有导向设备，以保证钢板桩的正确位置。

(9) 施打前，应对钢板桩锁口用防水材料捻缝，以防漏水。

(10) 施打顺序从上游向下游合龙。

(11) 钢板桩可用锤击、振动、射水等方法下沉，但黏土中不宜使用射水下沉办法。

(12) 经过整修或焊接后钢板桩应用同类型的钢板桩进行锁口试验、检查。接长的钢板桩，其相邻两钢板桩的接头位置应上下错开。

(13) 施打过程中，应随时检查桩的位置是否正确、桩身是否垂直，否则应立即纠正或拔出重打。

6.过水围堰

过水围堰（overflow cofferdam）是指在一定条件下允许堰顶过水的围堰。过水围堰既担负挡水任务，又能在汛期泄洪，适用于洪枯流量比值大，水位变幅显著的河流。其优点是减小施工导流泄水建筑物规模，但过流时基坑内不能施工。

根据水文特性及工程重要性，提出枯水期 5%~10%频率的几个流量值，通过分析

论证，力争在枯水年能全年施工。中国新安江水电站施工期，选用枯水期 5% 频率的挡水设计流量 $4650\text{m}^3/\text{s}$ ，实现了全年施工。对于可能出现枯水期有洪水而汛期又有枯水的河流上施工时，可通过施工强度和导流总费用（包括导流建筑物和淹没基坑的费用总和）的技术经济比较，选用合理的挡水设计流量。为了保证堰体在过水条件下的稳定性，还需要通过计算或试验确定过水条件下的最不利流量，作为过水设计流量。

水围堰类型：通常有土石过水围堰、混凝土过水围堰、木笼过水围堰 3 种。后者由于用木材多，施工、拆除都较复杂，现已少用。

（1）土石过水围堰

①型式。

土石过水围堰堰体是散粒体，围堰过水时，水流对堰体的破坏作用有两种：一是过堰水流沿围堰下游坡面宣泄的动能不断增大，冲刷堰体溢流表面；二是过堰水流渗入堰体所产生的渗透压力，引起围堰下游坡连同堰体一起滑动而导致溃堰。因此，对土石过水围堰溢流面及下游坡脚基础进行可靠的防冲保护，是确保围堰安全运行的必要条件。土石过水围堰型式按堰体溢流面防冲保护使用的材料，可分为混凝土面板溢流堰、混凝土楔形体护面板溢流堰、块石笼护面溢流堰、块石加钢筋网护面溢流堰及沥青混凝土面板溢流堰等。按过流消能防冲方式为镇墩挑流式溢流堰及顺坡护底式溢流堰。通常，可按有无镇墩区分土石过水围堰型式。

A，设镇墩的土石过水围堰

在过水围堰下游坡脚处设混凝土镇墩，其镇墩建基在岩基上，堰体溢流面可视过流单宽流量及溢流面流速的大小，采用混凝土板护面或其他防冲材料护面。若溢流护面采用混凝土板，围堰溢流防冲结构可靠，整体性好，抗冲性能强，可宣泄较大的单宽流量。但镇墩混凝土施工需在基坑积水抽干，覆盖层开挖至基岩后进行，混凝土达到一定强度后才允许回填堰体块石料，对围堰施工干扰大，不仅延误围堰施工工期，且存在一定的风险性。

B，无镇墩的土石过水围堰

围堰下游坡脚处无镇墩堰体溢流面可采用混凝土板护面或其他防冲材料护面，过流护面向下游延伸至坡脚处，围堰坡脚覆盖层用混凝土块、钢筋石笼或其他防冲材料保护，其顺流向保护长度可视覆盖层厚度及冲刷深度而定，防冲结构应适应坍塌变形，以保护围堰坡脚处覆盖层不被淘刷。这种形式地过水围堰防冲结构较简单，避免了镇墩施工的干扰，有利于加快过水围堰施工，争取工期。

②型式选择。

A, 设镇墩的土石过水围堰

适用于围堰下游坡脚处覆盖层较浅, 且过水围堰高度较高的上游过水围堰。若围堰过水单宽流量及溢流面流速较大, 堰体溢流面宜采用混凝土板护面。若围堰过水单宽流量及溢流面流速较小, 可采用钢筋网块石护面。单宽流量及溢流面流速较大, 堰体溢流面采用混凝土板护面, 围堰坡脚覆盖层宜采用混凝土块柔性排或钢丝石笼、

B, 无镇墩的土石过水围堰

适用于围堰下游坡脚处覆盖层较厚且过水围堰高度较低的下流过水围堰。若围堰过水大块石体等适应坍塌变形的防冲结构。若围堰过水单宽流量及溢流面流速较小, 堰体溢流面可采用钢筋网块石保护, 堰脚覆盖层采用抛块石保护。

(2) 混凝土板

①型式。

常用的为混凝土重力式过水围堰和混凝土拱型过水围堰。

②选择。

A, 混凝土重力式过水围堰

混凝土重力式过水围堰通常要求建基在岩基上, 对两岸堰地质条件要求较拱形围堰低。但堰体混凝土量较拱形围堰多。因此, 混凝土重力式过水围堰适用于坝址河床较宽、堰基岩体较差的工程。

B, 混凝土拱型过水围堰

混凝土拱型过水围堰较混凝土重力式过水围堰混凝土量减少, 但对两岸拱座基础的地质条件要求较高, 若拱座基础岩体变形, 对拱圈应力影响较大。因此, 混凝土拱形过水围堰适用于两岸陡峻的峡谷河床, 且两岸基础岩体稳定, 岩石完整坚硬的工程。通常以 L/H 代表地形特征 (L 为围堰顶的河谷宽度, H 为围堰最大高度), 判别采用何种拱形较为经济。一般 $L/H \leq 1.5 \sim 2.0$ 时, 适用于拱形; $L/H \leq 3.0 \sim 3.5$ 时, 适用于重力拱形; $L/H > 3.5$ 时, 不宜采用拱形围堰。拱形围堰也有修建混凝土重力墩作为拱座; 也有一端支承于岸坡, 另一端支承于坝体或其他建筑物上。因此, 拱形过水围堰不仅用于一次断流围堰, 也用于分期围堰, 如安康水电站二期上游过水围堰, 采用混凝土拱形过水围堰。

(3) 结构设计

①混凝土过水围堰过流消能。

混凝土过水围堰过流消能型式为挑流、面流、底流消能，常用的为挑流消能和面流消能型式。对大型水利工程混凝土过水围堰的消能型式，尚需经水工模型试验研究比较后确定。

②混凝土过水围堰结构断面设计。

混凝土重力式过水围堰结构断面设计计算，可参照混凝土重力式围堰设计；混凝土拱形过水围堰结构断面设计，可参照混凝土拱形围堰设计。在围堰稳定和堰体应力分析时，应计算围堰过流工况。围堰堰顶形状应考虑过流及消能要求。

7.纵向围堰

平行于水流方向的围堰为纵向围堰。围堰作为临时性建筑物，其特点为：

- (1) 施工期短，一般要求在一个枯水期内完成，并在当年汛期挡水。
- (2) 一般需进行水下施工，而水下作业质量往往不易保证。
- (3) 围堰常需拆除，尤其是下游围堰。

因此，除应满足一般挡水建筑物的基本要求外，围堰还应具有足够的稳定性、防渗性、抗冲性和一定的强度要求，在布置上应力求水流顺畅，不发生严重的局部冲刷。围堰基础及其与岸坡连接的防渗处理措施要安全可靠，不致产生严重集中渗漏和破坏。围堰结构宜简单，工程量小，便于修建和拆除，便于抢进度。围堰型式选择要尽量利用当地材料，降低造价，缩短工期。

围堰虽是一种临时性的挡水建筑物，但对工程施工的作用很重要，必须按照设计要求进行修筑。否则，轻则渗水量大，增加基坑排水设备容量和费用；重则可能造成溃堰的严重后果，拖延工期，增加造价。这种严重的教训，以往也曾发生过，应引起足够的重视。

8.横向围堰

拦断河流的围堰或在分期导流施工中围堰轴线基本与流向垂直且与纵向围堰连接的上下游围堰。

三、导流标准选择

(一) 导流标准的作用

导流标准是选定的导流设计流量，导流设计流量是确定导流方案和对导流建筑物进行设计的依据。标准太高，导致建筑物规模大，投资大，标准太低，可能危及建筑物安全。因此，导流标准的确定必须根据实际情况进行。

(二) 导流标准确定方法

一般用频率法，也就是，根据工程的等级，确定导流建筑物的级别，根据导流建筑物的级别，确定相应的洪水重现期，作为计算导流设计流量的标准。

（三）标准使用注意问题

确定导流设计标准，不能没有标准而凭主观臆断；但是，由于影响导流设计的因素十分复杂，也不能将规定看成固定的，一成不变而套用到整个施工过程中去。因此在导流设计中，一方面要依据所列的数据，更重要的是，具体分析工程所在河流的水文特性，工程的特点，导流建筑物的特点等，经过不同方案的比较论证，才能确定出比较合理的导流标准。

四、导流时段的选择

（一）导流时段的概念

它是按照施工导流的各个阶段划分的时段。

（二）时段划分的类型

一般根据河流的水文特性划分为：枯水期、中水期、洪水期。

（三）时段划分的目的

因为导流是为主体工程安全、方便、快速施工服务的，它服务的时间越短，标准可以定的越低，工程建设越经济。若尽可能地安排导流建筑物只在枯水期工作，围堰可以避免拦挡汛期洪水，就可以做得比较矮，投资就少；但是，片面追求导流建筑物的经济，可能影响主体工程施工，因此，要对导流时段进行合理划分。

（四）时段划分的意义

导流时段划分，实质上就是解决主体工程在全部建成的整个施工过程中，枯水期、中水期、洪水期的水流控制问题。也就是确定工程施工顺序、施工期间不同时段宣泄不同导流流量的方式，以及与之相适应的导流建筑物的高程和尺寸，因此，导流时段的确定，与主体建筑物的型式、导流的方式、施工的进度有关。

（五）土石坝的导流时段

土石坝施工过程不允许过水，若不能在一个枯水期建成拦洪，导流时段就要以全年为标准，导流设计流量就应以全年最大洪水的一定频率进行设计。若能让土石坝在汛期到来之前填筑到临时拦洪高程，就可以缩短围堰使用期限，在降低围堰的高度，减少围堰工程量的同时，又可以达到安全度汛，经济合理、快速施工的目的。这种情况下，导流时段的标准可以不包括汛期的施工时段，那么，导流的设计流量即为该时段按某导流标准的设计频率计算的最大流量。

（六）砼和浆砌石坝的导流时段

这类坝体允许过水，因此，在洪峰到来时，让未建成的主体工程过水，部分或者全部停止施工，待洪水过后再继续施工。这样，虽然减少了一年中的施工时间，但是，由于可以采用较小的导流设计流量，因而节约了导流费用，减少了导流建筑物的工期，可能还是经济的。

（七）导流时段确定注意问题

允许基坑淹没时，导流设计流量确定是一个必须认真对待的问题。因为，不同的导流设计流量，就有不同的年淹没次数，就有不同的年有效施工时间。每淹没一次，就要做一次围堰检修、基坑排水处理、机械设备撤退和复工返回等工作。这些都要花费一定的时间和费用。当选择的标准比较高时，围堰做得高，工程量大，但是，淹没次数少，年有效施工时间长，淹没损失费用少；反之，当选择的标准比较低时，围堰可以做得低，工程量小，但是，淹没的次数多，年有效施工时间短，淹没损失费用多。由此可见，正确选择围堰的设计施工流量，有一个技术经济比较问题，还有一个国家规定的完建期限，更是一个必须考虑的重要因素。

第二节 基坑排水

一、基坑排水概述

（一）排水目的

在围堰合龙闭气以后，排除基坑内的存水和不断流入基坑的各种渗水，以便使基坑保持干燥状态，为基坑开挖、地基处理、主体工程正常施工创造有利条件。

（二）排水分类及水的来源

按排水的时间和性质不同，一般分两种排水。

1.初期排水

围堰合龙闭气后接着进行的排水，水的来源是修建围堰时基坑内的积水、渗水、雨天的降水。

2.经常排水

在基坑开挖和主体工程施工过程中经常进行的排水工作，水的来源是：基坑内的渗水、雨天的降水，主体工程施工的废水等。

（三）排水的基本方法

基坑排水的方法有两种：明式排水法（明沟排水法）、暗式排水法（人工降低地下水水位法）。

二、初期排水

（一）排水能力估算

选择排水设备，主要根据需要排水的能力，而排水能力的大小又要考虑排水时间安排的长短和施工条件等因素。通常按下式估算：

$$Q = KV / T$$

式中：

Q ——排水设备的排水能力， sm^3 ；

K ——积水体积系数，大中型工程用 4~10.小型工程用 2~3；

V ——基坑内的积水体积， m^3 ；

T ——初期排水时间， s 。

（二）排水时间选择

排水时间的选择受水面下降速度的限制，而水面下降允许速度要考虑围堰的型式、基坑土壤的特性，基坑内的水深等情况，水面下降慢，影响基坑开挖的开工时间；水面下降快，围堰或者基坑的边坡中的水压力变化大，容易引起塌坡。因此水面下降速度一般限制在每昼夜 0.5~1.0m 的范围内。当基坑内的水深已知，水面下降速度选择好的情况下，初期排水所需要的时间也就确定了。

（三）排水设备和排水方式

根据初期排水要求的能力，可以确定所需要的排水设备的容量。排水设备一般用普通的离心水泵或者潜水泵。为了便于组合，方便运转，一般选择容量不同的水泵。排水泵站一般分固定式和浮动式两种，浮动式泵站可以随着水位的变化而改变高程，比较灵活，若采用固定式，当基坑内的水深比较大的时候，可以采取，将水泵逐级下放到基坑内，不同高程的各个平台上，进行抽水。

三、经常性排水

主体工程在围堰内正常施工的情况下，围堰内外水位差很大，外面的水会向基坑内渗透，雨天的雨水，施工用的废水，都需要及时排除，否则会影响主体工程的正常施工。因此经常性排水是不可缺少的工作内容。经常性排水一般采用明式排水或者暗

式排水法（人工降低地下水位的方法）。

（一）明式排水法

1.明式排水的概念

指在基坑开挖和建筑物施工过程中，在基坑内布设排水明沟、设置集水井，抽水泵站，而形成的一套排水系统。

2.排水系统的布置

（1）基坑开挖排水系统

该系统的布置原则是不能妨碍开挖和运输，一般布置方法是：为了两侧出土方便，在基坑的中线部位布置排水干沟，而且要随着基坑开挖进度，逐渐加深排水沟，干沟深度一般保持1~1.5米，支沟0.3~0.5米，集水井的底部要低于干沟的沟底。

（2）建筑物施工排水系统

排水系统一般布置在基坑的四周，排水沟布置在建筑物轮廓线的外侧，为了不影响基坑边坡稳定，排水沟离开基坑边坡坡脚0.3~0.5m。

（3）排水沟布置

内容包括断面尺寸的大小，水沟边坡的陡缓、水沟底坡的大小等，主要根据排水量的大小来决定。

（4）集水井布置

一般布置在建筑物轮廓线以外比较低的地方，集水井、干沟与建筑物之间也应保持适当距离，原则是，不能影响建筑物施工和施工过程中材料的堆放、运输等。

（二）暗式排水法（人工降低地下水位法）

1.基本概念

在基坑开挖之前，在基坑周围钻设滤水管或滤水井，在基坑开挖和建筑物施工过程中，从井管中不断抽水，以使基坑内的土壤始终保持干燥状态的做法叫暗式排水法。

2.暗式排水的意义

在细砂、粉砂、亚沙土地基上开挖基坑，若地下水位比较高时，随着基坑底面的下降，渗透水位差会越来越大，渗透压力也必然越来越大，因此，容易产生流沙现象，一边开挖基坑，一边冒出流沙，开挖非常困难，严重时，会出现滑坡，甚至危及邻近结构物的安全和施工的安全。因此，人工降低地下水位是必要的。常用的暗式排水法分管井法和井点法两种。

3.管井排水法

（1）基本原理

在基坑的周围钻造一些管井，管井的内径一般 20~40cm，地下水在重力作用下，流入井中，然后，用水泵进行抽排。抽水泵有普通离心泵、潜水泵、深井泵等，可根据水泵的不同性能和井管的具体情况选择。

（2）管井布置

管井一般布置在基坑的外围或者基坑边坡的中部，管井的间距应视土层渗透系数的大小，渗透系数小的，间距小一些，渗透系数大的，间距大一些，一般为 15~25 米。

（3）管井组成

管井施工方法就是农村打机井的方法。管井包括井管、外围滤料、封底填料三部分。井管无疑是最重要的组成部分，它对井的出水量和可靠性影响很大，要求其过水能力大，进入泥沙少，应有足够的强度和耐久性。因此一般用无砂混凝土预制管，也有的用钢制管。

（4）管井施工

管井施工多用钻井法和射水法。钻井法先下套管，再下井管，然后一边填滤料，一边拔出套管。射水法是用专门的水枪冲孔，井管随着冲孔下沉。这种方法主要是注意根据不同的土壤性质选择不同的射水压力。

（5）井点排水法

井点排水法分为轻型井点、喷射井点、电渗井点三种类型，它们都适用于渗透系数比较小的土层排水，其渗透系数都在 0.1~50 米/天。但是它们的组成比较复杂，如轻型井点就有井点管、集水总管、普通离心式水泵、真空泵、集水箱等设备组成。当基坑比较深，地下水位比较高时，还要采用多级井点，因此，需要设备多，工期长，基坑开挖量大，一般不经济。

第三节 爆破技术

一、浅孔爆破

炮孔深度小于 5m，孔径小于 75mm 的炮孔爆破，炮孔布置的主要技术参数为：

（一）最小抵抗线（ W_p ）

浅孔爆破的最小抵抗线 W 。通常根据钻孔直径和岩石性质来确定，即

$$W_p = kWd$$

式中

W_p ——最小抵抗线 (m)，通常取药包中心到临空面的最短距离；

kW ——系数，一般采用 15~30。对于坚硬岩石取较小值，中等坚硬岩石取较大值；

d ——钻孔最大直径 (cm)

(二) 台阶爆破中的台阶高度 (H)

$$H = (1.2 \sim 2.0) W_p$$

(三) 炮孔深度 (h)

在坚硬岩石中 $h = (1.1 \sim 1.15) H$

在松软岩石中 $h = (0.85 \sim 0.95) H$

在中硬岩石中 $h = H$

(四) 炮孔间距 (a) 及排距 (b)

火雷管起爆时 $a = (1.2 \sim 2.0) W_p$

电雷管起爆时 $a = (0.8 \sim 2.0) W_p$

排距一般采用： $b = (0.8 \sim 1.2) W_p$

(四) 装药及起爆

药量计算公式： $Q = 0.33Kab$

炮孔装药长度通常相当于孔深的 1/3~1/2，当装填散装药时，需用木棍捣实，增大装药密度以提高爆破效果，装药卷时，将雷管装入一个药卷中，制成起爆药卷，放在装药全长的 1/3~1/2 处（由上部算起），浅孔爆破中，堵塞长度不能小于最小抵抗线。

二、深孔爆破

孔深大于 5m，孔径大于 75mm 的钻孔爆破叫作深孔爆破。深孔爆破炮孔布置的主要技术参数。

(一) 计算抵抗线 W_p (m)

$$W_p = HDnd / 150$$

式中

H ——阶梯高度 (m)

D ——岩石硬度系数, 一般取 0.46~0.56

n ——阶梯高度影响系数

(二) 超钻深度 ΔH (m)

$$\Delta H = (0.12 \sim 0.3) H \text{ 或 } \Delta H = (0.15 \sim 0.35) W_p$$

岩石越坚硬超钻深度越大

(三) 炮孔间距 a

$$a = (0.7 \sim 1.4) W_p \text{ 或 } a = m W_p \text{ (对于宽孔距爆破 } m=2 \sim 5)$$

(四) 炮孔排距 b

$$b = a \sin 60 = 0.87a$$

(五) 药包重量

$$Q = 0.33 K H W_p a$$

(六) 堵塞长度

$$L = (0.5 \sim 0.7) H \text{ 或 } L = (20 \sim 30) D$$

三、孔眼爆破

根据孔径的大小和孔眼的深度可分为浅孔爆破法和深孔爆破法。前者孔径小于 75mm, 孔深小于 5m; 后者孔径大于 75mm, 孔深大于 5m。前者适用于各种地形条件和工作面的情况, 有利于控制开挖面的形状和规格, 使用的钻孔机具较简单, 操作方便, 但生产效率低, 孔耗大, 不适合大规模的爆破工程。而后者恰好弥补了前者的缺点, 适用于料场和基坑的规模大、强度高的采挖工作。

(一) 炮孔布置原则

无论是浅孔还是深孔爆破, 施工中均须形成台阶状以合理布置炮孔, 充分利用天然临空面或创造更多的临空面。这样不仅有利于提高爆破效果, 降低成本, 也便于组织钻孔、装药、爆破和出碴的平行流水作业, 避免干扰, 加快进度。布孔时, 宜使炮孔与岩石层面和节理面正交, 不宜穿过与地面贯穿的裂缝, 以防漏气, 影响爆破效果。深孔作业布孔, 尚应考虑不同性能挖掘机对掌子面的要求。

(二) 改善深孔爆破的效果的技术措施

一般开挖爆破要求岩块均匀，大块率低；形成的台阶面平整，不留残垣；较高的钻孔延米爆落量和较低的炸药单耗。改善深孔爆破效果的主要措施有以下几个方面。

1.合理利用或创造人工自由面

实践证明，充分利用多面临空的地形，或人工创造多面临空的自由面，有利于降低爆破单位耗药量。适当增加梯段高度或采用斜孔爆破，均有利于提高爆破效率。平行坡面的斜孔爆破，由于爆破时沿坡面的阻抗大体相等，且反射拉力波的作用范围增大，通常可较竖孔的能量利用率提高 50%。斜孔爆破后边坡稳定，块度均匀，还有利于提高装渣效率。

2.改善装药结构

深孔爆破多采用单一炸药的连续装药，且药包往往处于底部、孔口部装药段较长，导致大块的产生。采用分段装药虽增加了一定施工难度，但可有效降低大块率；采用混合装药方式，即在孔底装高威力炸药、上部装普通炸药，有利于减少超钻深度；在国内外矿山部门采用的空气间隔装药爆破技术也证明是一种改善爆破破碎效果、提高爆炸能量利用率的有效方法。

3.优化起爆网路

优化起爆网路对提高爆破效果，减轻爆破振动危害起着十分重要的作用。选择合适的起爆顺序和微差间隔时间对于增加药包爆破自由面，促使爆破岩块相互撞击以减小块度，防止爆破公害具有十分重要的作用。

4.采用微差挤压爆破

微差挤压爆破是指爆破工作面前留有渣堆的微差爆破。由于留有渣堆，从而促使爆岩在运动过程中相互碰撞，前后挤压，获得进一步破碎，改善了爆破效果。微差挤压爆破可用于料场开挖及工作面小、开挖区狭长的场合如溢洪道、渠道开挖等。它可以使钻孔和出渣作业互不干扰，平行连续作业，从而提高工作效率。

5.保证堵塞长度和堵塞质量

实践证明，当其他条件相同时，堵塞良好的爆破效果及能量利用率较堵塞不良的场合可以大幅提高。

四、光面爆破和预裂爆破

20 世纪 50 年代末期，由于钻孔机械的发展，出现了一种密集钻孔小装药量的爆破新技术。在露天堑壕、基坑和地下工程的开挖中，使边坡形成比较陡峻的表面；使地下开挖的坑道面形成预计的断面轮廓线，避免超挖或欠挖，并能保持围岩的稳定。

实现光面爆破的技术措施有两种：一是开挖至边坡线或轮廓线时，预留一层厚度为炮孔间距 1.2 倍左右的岩层，在炮孔中装入低威力的小药卷，使药卷与孔壁间保持一定的空隙，爆破后能在孔壁面上留下半个炮孔痕迹；另一种方法是先在边坡线或轮廓线上钻凿与壁面平行的密集炮孔，首先起爆以形成一个沿炮孔中心线的破裂面，以阻隔主体爆破时地震波的传播，还能隔断应力波对保留面岩体的破坏作用，通常称预裂爆破。这种爆破的效果，无论在形成光面或保护围岩稳定，均比光面爆破好，是隧道和地下厂房以及路堑和基坑开挖工程中常用的爆破技术。

五、定向爆破

20 世纪 50 年代末和 20 世纪 60 年代初期，在中国推行过定向爆破筑坝，3 年左右时间内用定向爆破技术筑成了 20 多座水坝，其中广东韶关南水大坝（1960），一次装药 1394.3t，爆破 226 万立方米，填成平均高为 62.5m 的大坝，技术上达到了国际先进水平。

定向爆破是利用最小抵抗线在爆破作用中的方向性这个特点，设计时利用天然地形或人工改造后的地形，使最小抵抗线指向需要填筑的目标。这种技术已广泛地应用在水利筑坝、矿山尾矿坝和填筑路堤等工程上。它的突出优点是在极短时期内，通过一次爆破完成土石方工程挖、装、运、填等多道工序，节约大量的机械和人力，费用省，工效高；缺点是后续工程难于跟上，而且受到某些地形条件的限制。

六、控制爆破

不同于一般的工程爆破，对由爆破作用引起的危害有更加严格的要求，多用于城市或人口稠密、附近建筑物群集的地区拆除房屋、烟囱、水塔、桥梁以及厂房内部各种构筑物基座的爆破，因此，又称拆除爆破或城市爆破。

（一）控制爆破所要求控制的内容

控制爆破破坏的范围，只爆破建筑物需要拆除的部位，保留其余部分的完整性；

控制爆破后建筑物的倾倒方向和坍塌范围；

控制爆破时产生的碎块飞出距离，空气冲击波强度和音响的强度；

控制爆破所引起的建筑物地基震动及其对附近建筑物的震动影响，也称爆破地震效应。

爆破飞石、滚石控制产生爆破飞石的主要原因是地质条件调查不充分、炸药单耗太大或偏小造成冲炮、炮孔偏斜抵抗线太小、防护不够充分、毫秒起爆网路安排特别是排间毫秒延迟时间安排不合理造成冲炮等。

（二）控制爆破时需要采取的相应措施

监理工程师会同施工单位爆破工程师，现场严格要求施工人员按爆破施工工艺要求进行爆破施工，并考虑采取以下措施：

1.严格监督对爆破飞石、滚石的防护和安全警戒工作，认真检查防护排架、保护物体近体防护和爆区表面覆盖防护是否达到设计要求，人员、机械的安全警戒距离是否达到了规程的要求等。

2.对爆破施工进行信息化管理，不断总结爆破经验、教训，针对具体的岩体地质条件，确定合理的爆破参数。严格按照设计和具体地质条件选择单位炸药消耗量，保证堵塞长度和质量。

3.爆破最小抵抗线方向应尽量避免避开保护物。

4.确定合理的起爆模式和延迟起爆时间，尽量使每个炮孔有侧向自由面，防止因前排带炮（岳冲）而造成后排最小抵抗线大小和方向失控。

5.钻孔施工时，如发现节理、裂隙发育等特殊地质构造，应积极会同施工单位调整钻孔位置、爆破参数等；爆破装药前验孔，特别要注意前排炮孔是否有裂缝、节理、裂隙发育，如果存在特殊地质构造，应调整装药参数或采用间隔装药形式、增加堵塞长度等措施；装药过程中发现装药量与装药高度不符时，应说明该炮孔可能存在裂缝并及时检查原因，采取相应措施。

6.在靠近建（构）筑物、居民区及社会道路较近的地方实施爆破作业，必须根据爆破区域周围环境条件，采取有效的防护措施。常用的飞石、滚石安全防护方法有：

（1）立面防护

在坡脚、山体与建筑物或公路等被保护物间搭设足够高度的防护排架进行遮挡防护。在坡脚砌筑防滚石堤或挖防滚石沟。

（2）保护物近体防护

在被保护物表面或附近空间用竹排、沙袋或铁丝网等进行防护。

（3）爆区表面覆盖防护

根据爆区距离保护物的远近，可采用特种覆盖防护、加强覆盖防护、一般防护等。

7.由于本工程有多处陡壁悬崖，要及时清理山体上的浮石、危石，确保施工安全。

七、松动爆破

松动爆破技术是指充分利用爆破能量，使爆破对象成为裂隙发育体，不产生抛掷现象的一种爆破技术。它的装药量只有标准抛掷爆破的40%~50%。松动爆破又分普

通松动及加强松动爆破。松动爆破后岩石只呈现破裂和松动状态，可以形成松动爆破漏斗，爆破作用指数 $n \leq 0.75$ 。该项技术已广泛应用于各类工程爆破之中，并取得了显著的经济效益。在煤炭开采中，松动爆破为多种采煤方法的应用起助采作用，属于助采工艺，特别是在煤层中含有夹研带的开采中。因此，研究松动爆破技术对于提高煤炭开采效果具有重要意义。

松动爆破是炸药爆炸时，岩体被破碎松动但不抛掷。它的装药量只有标准抛掷爆破的 40%~50%。松动爆破的爆堆比较集中，对爆区周围未爆部分的破坏范围较小。

（一）爆破机理

1.煤岩体松动爆破的机理

由钻孔爆破学可知，钻孔中的药卷（包）起爆后，爆轰波就以一定的速度向各个方向传播。爆轰后的瞬间，爆炸气体就已充满整个钻孔。爆炸气体的超压同时作用在孔壁上，压力将达几千到几万兆帕。爆源附近的煤岩体因受高温高压的作用而压实。强大的压力作用结果，使爆破孔周围形成压应力场。压应力的作用使周围煤体产生压缩变形，使压应力场内的煤岩体产生径向位移，在切向方向上将受到拉应力作用，产生拉伸变形。

由于煤岩的抗拉伸能力远远低于抗压能力，故当拉应变超过破坏应变值时，就会首先在径向方向上产生裂隙。在径向方向上，由于质点位移不同，其阻力也不同，因此，必然产生剪应力。如果剪应力超过煤岩的抗剪强度，则产生剪切破坏，产生径向剪切裂隙。此外，爆炸是一个高温高压的过程，随着温度的降低，原来由压缩作用而引起的单元径向位移，必然在冷却作用下使该单元产生向心运动，于是单元径向呈拉伸状态，产生拉应力。当拉应力大于煤岩体的抗拉强度时，煤岩体将呈现拉伸破坏，从而在切向方向上形成拉伸裂隙，钻孔附近形成了破碎带和裂隙带。

另外，由于钻孔附近的破碎带和裂隙带的影响，破坏了煤岩体的整体性，使周围的煤岩体由原来的三向受力状态变为双向受力状态，靠近工作面同时又变为单向受力状态，从而使煤岩体的抗压强度大为降低，在顶板超前支承压力作用下，增大了煤岩的破碎程度，采煤机的切割阻力减小，加快了割煤速度，从而起到了松动煤体的作用。

2.不耦合装药的机理

利用不耦合装药（即药包和孔壁间有环状空隙），空隙的存在削减了作用在孔壁上的爆压峰值，并为孔间提供了聚能的临空面。削减后的爆压峰值不致使孔壁产生明显的压缩破坏，只切向拉力使炮孔四周产生径向裂纹，加之临空而聚能作用使孔间连

线产生应力集中，孔间裂纹发展，而滞后的高压气体沿缝产生“气刀”劈裂作用，使周边孔间连线上裂纹全部贯通。

（二）安全要求

1. 凿岩

（1）凿岩前清除石方顶上的余渣，按设计位置清出炮孔位。

（2）凿岩人员应戴好安全帽，穿好胶鞋。

（3）凿岩应按本方案设计，对掏槽眼（辅助眼）、周边眼应根据孔距、排距、孔眼深和孔眼倾斜角进行操作。

（4）孔眼钻凿完毕后，应清除岩浆，并用堵塞物临时封口，以防碎石等杂物掉入孔内。

2. 装药

（1）本工程采用乳化装药，各单孔采用非电毫秒微差雷管，集中后由微差电雷管引爆。

（2）单孔药量和分药量，分段情况应按本设计方案进行，装药后应认真做好堵塞工作，留足堵塞长度，保证堵塞质量。

3. 起爆

（1）各单孔内分段和各单孔间分段应严格按设计施工，严禁混装和乱装。

（2）孔外电雷管均为串联连接，电雷管应使用同厂同批产品，连接前应用爆破欧姆表量测每只电雷管电阻值，并保证在 ± 0.2 的偏差内。

（3）起爆电雷管应用胶布扎紧，并将其短路后置于孔边，待覆盖完成后再次导通，并进行全网连接。

（4）网络连接后，应测出网路总电阻，并与计算值相比较，若差值不相符合，应查明原因，排除故障，防止错接、漏接。

（5）起爆电源若为直流电，则通过每只电雷管的电流不得小于 2.5A，若为交流电则不少于 4A。

（6）起爆前，网络连接好的爆破组线应短路并派专人看管，待警戒好后指挥起爆人员下达命令后方可接上起爆电源，下达起爆指令后方可充电起爆。若发生拒爆，应立即切断电源，并将组线短路；若使用延期雷管，应在短路不少于 15min 方可进入现场，待查出原因，排除故障后再次起爆。

4. 警戒

做好安全警戒工作是保证安全生产的重要措施，所有警戒人员应听从警戒指导小组下达的指令，做好各警点的警戒工作，具体的安全警戒措施如下：

(1) 做好安民告示，向周围单位和居民送发爆破通知书，说明爆破及有关注意事项，并在明显地段张贴公安局、业主、施工单位联合发布的《爆破通知》。

(2) 当爆破作业开始警戒时，应吹哨，各警戒人员各就各位，通知工地所有人员撤离到爆破现场以外安全区。

(3) 当起爆指挥员接到警戒员已做好警戒工作的通知，起爆员接到指令，应吹三声长哨，开始充电，后再次吹三声短哨起爆。

(4) 起爆后，经过 5min 后，爆破作业员方可进入爆区检查爆破情况确认安全起爆无险情后，吹一声长哨解除警戒放行。

八、硐室爆破

硐室爆破是指将大量炸药集中装填于设计开挖成的药室内，达成一次起爆大量炸药、完成大量土石方开挖或抛填任务的爆破技术。硐室爆破的主要特点是效率高，但对周围环境和地质环境要求较高。通过形成缓冲垫层处理采空区的硐室爆破实践，将单层单排几个硐室爆破方案改进为双层双排层硐室群爆破方案，并拓展采用了纵向立体错位、同向诱导崩塌的硐室群爆破技术，同时改进硐室工程布置和填塞形式，形成了条形药包准空腔装药结构。

(一) 技术方案

1. 最小废石缓冲垫层厚度的确定

当采空区上部的岩体发生冒落时，冒落体的势能转化为对空区内部空气压缩做功和对采空区下部结构体的冲击做功。在采空区的底部保留一定厚度的废石缓冲垫层，可以起到消减风速风压和吸收冲击能的作用。

从消减风速风压和吸收冲击能两种角度分别进行了废石缓冲垫层厚度的理论计算，结合矿山 900m 中段以上的空区实际，最终确定废石缓冲垫层厚度最小值为 20m。

2. 硐室爆破方案

根据采空区的形状和位置，基于强制诱导崩落的思路，提出了以空区本身作为自由面，采用硐室爆破崩落上盘围岩使空区顶板处于拉应力状态的技术方案。工程实施中将整个硐室由中心向两翼集中爆破分次完成，先形成散体中心垫层，以防止在空区最大拉应力处产生的零星冒落冲击下部采场顶柱。同时按照拱形冒落原理，选取 980m 水平、950m 中段作为诱导空区冒落的主要水平，采用双层单排混合方式布置硐室。

（二）方案评述

1. 相邻两侧硐室堵塞和清除任务繁重

以首次三个硐室爆破为例，其爆区相邻两侧的两个硐室均位于爆破的地震波破坏范围内，为避免破坏，爆破前必须将其堵塞；而下次爆破前又需将其堵塞料清除，然后再装药、堵塞，如此，加重了堵塞和清除任务。

2. 缓冲垫层形成厚度不均，增加了矿石的贫化损失

矿柱回收是在按自然安息角堆积成锥体形状废石缓冲垫层下进行的，采用单层单排几个硐室爆破时，间柱和底柱上部缓冲垫层存在着厚度和块度不均的情形。按照放矿规律，在回收这部分矿石时，同厚度均匀但高差相对较小的台体缓冲垫层相比，锥体形状废石缓冲垫层中块度较小的废石容易首先获得能量向放矿口移动，造成矿石贫化；当矿石贫化到一定程度后放出的矿石品位小于截止放矿品位，导致放矿结束，这样不仅降低了矿石的回收率，也增加了矿石的损失。

3. 施工组织频繁，缓冲垫层形成进度缓慢

因硐室爆破使用炸药量较大，为确保爆破成功，从运药、装药、堵塞、模拟试验、安保、警戒等环节安全要求极高；但由于空区处理工作的紧迫性，必须频繁组织实施爆破，势必会与矿山正常生产相互干扰；此外，由于单层单排几个硐室一次爆破时形成的缓冲垫层废石量较小，必将延长了缓冲垫层形成的进度。

正是因为以上不足，需要在后期的爆破实践中对硐室爆破方案进行改进。

（三）方案改进

1. 将几个硐室爆破方案改进为硐室群爆破方案

（1）采用群药包的联合微差爆破，进一步加强应力波的叠加作用，提高缓冲垫层形成的质量。

采用硐室群的爆破可充分利用微差爆破的原理，相邻、上下药包是在先爆药包的应力波尚未完全消失时起爆的，几组硐室的爆炸应力波相互叠加，形成了极高的复杂应力场，有利于岩石破裂并形成了很强的抛掷能力；同时，岩块在空中相遇，相互碰撞作用加强，产生补充破碎作用。正是上述两种作用，岩石得到充分破碎，可改善爆破效果，降低岩石大块率，提高缓冲垫层形成的质量。

（2）减少爆破次数，实现平行作业，加快缓冲垫层形成进度

和前期的单层单排几个硐室爆破方案相比，双层单排硐室群集中爆破时，可减少爆破次数，不需对相邻的硐室进行频繁的堵塞和清除，能有效地降低作业强度；同时，

由于双层单排硐室群存在两个独立通道,可实现两个水平的运药和填塞工序平行作业。这样,不仅加快了整体缓冲垫层形成进度,而且有效促进矿山下部开采安全环境的形成。

2.采用纵向立体错位、同向诱导崩塌的硐室群爆破技术

硐室群爆破时,尽可能使爆破的硐室在纵向上形成立体错位,从而实现同一自由面方向上围岩的诱导崩塌,达到有效增加爆破散体岩量、提高横向上缓冲垫层厚度均匀分布的目的。

(1)能充分发挥药包连心线上裂纹的产生和扩展作用,有利于增加爆破散体岩量。正是在以上分析的基础上,和纵向上下对应的硐室群布置方式相比,采用纵向立体错位的硐室群布置方式,裂纹沿药包连心线开裂和扩展的空间更大,裂纹作用发挥得更充分,有利于增加爆破散体岩量。

(2)有利于增加新的自由面,充分实现硐室群间围岩的诱导崩塌,增加爆破散体岩量。由于硐室工程设计时,考虑充分利用地下已有采矿工程和新实施硐室工程的排渣、通风、掘进等因素,选取的两层硐室工程高程相差为30m,最小抵抗线为15~19m,但由于硐室剖面形态各异,无法实现两层药包的上下破裂半径方向上相切贯通,导致爆破岩量不能大幅度增加。但分析几个错位对应的硐室剖面,由于其破裂半径之间相互叠加,可利用上层硐室爆破后新形成的爆破漏斗侧边及漏斗体外的裂纹来增加下层后爆硐室的自由面,从而增加爆破散体岩量;此外,由于爆破应力波和爆生气体的作用,错位对应的硐室群间围岩已形成了不同程度的贯穿裂纹,随着时间的推移,这部分围岩已被诱导将会产生失稳冒落,也必然会增加散体岩量。

(3)可提高缓冲垫层横向上厚度分布的均匀性,为覆岩下矿柱的回收创造良好条件。由于高程的不同,相同药量条件下,上层硐室群比下层硐室群爆破后岩石抛掷距离远,这将对缓冲垫层在空区上、下盘间的形成十分有利。但由于硐室间隔的存在和岩石按自然安息角形态堆积的影响,在空区横向上会存在缓冲垫层厚度不连续的情形,而采用纵向立体错位布置的硐室群恰好弥补了这一缺陷,可提高缓冲垫层在横向上厚度分布的均匀性,满足放矿时对覆盖层的要求,为矿柱的回收创造良好条件。

3.改进硐室工程布置和填塞形式,形成条形药包准空腔装药结构

条形药包因具有爆破方量多,能量分布均匀,相对地减少矿岩大块率和过粉碎等特点被广泛采用。由于硐室布置在空区的上盘,为保证施工安全和堵塞方便,无法采用标准的条形药包布置形式。通过改进硐室工程布置,将爆破硐室平行于平巷设计,

在横巷和硐室间增加联络道，并将前期的“T”形堵塞改进为“L”形堵塞，可达到有效减少填塞工作量的目的；同时通过控制堵塞长度，达到条形药包的最优空腔比，即硐室体积与药室体积之比达到4~5之间（相当于不耦合系数为2~2.24），这样便形成了条形药包准空腔装药结构。改进后的条形药包准空腔装药结构在爆破作用过程中，一方面降低了爆炸冲击波的峰值压力，避免了对围岩地过破碎；另一方面延长了应力作用时间，由于冲击波往返的多次作用，使得应力场增强的同时，获得了更大的爆破冲量，提高了爆破有效能量利用率；同时在爆炸作用过程中产生二次和后续系列应力波，使岩体裂隙得到进一步扩展。因此，采用条形药包准空腔装药结构能使岩石块度更加均匀，为进一步提高缓冲垫层质量创造了有利条件。

（四）效果分析

1.硐室爆破自实施以来，按照“精心设计、严格施工、精细化管理”的要求，没有发生任何事故，爆破有害效应得到了严格的控制。

2.根据爆破实际散体量统计，900m中段以上已形成了约26m厚的缓冲垫层，大于设计厚度20m。分析散体岩量增大的原因主要有两点：

（1）爆破后应力重新分布造成围岩零星冒落

爆破后，由于硐室群药包的作用，距离炸药作用较远区域的围岩会产生部分未完全扩展到围岩断裂的微裂隙，随着时间推移，围岩应力重新分布达到新的平衡，在此过程中，这部分围岩会在重力作用下，产生零星冒落，从而增大散体岩量。

（2）硐室群空腔布药推动其间围岩移动

炸药爆炸后，上下药室的高压气体独自膨胀，在一定的时间内，气腔膨胀有可能击穿其间的岩石迅速连通成整体气腔，继续推动错位布置硐室间岩石向空区方向做功、移动，不仅改善了爆破质量，还诱导增加了围岩的崩落量。这两点在现场980m水平28和950m中段26、28号硐室爆破，表现较为明显。

3.改进后的硐室群爆破

从2012年开始，经历了3次较大规模的爆破，目前整个工程已基本完成。现场通过放矿统计，大块率基本控制在7%~10%之间；缓冲垫层的堆积形状在横向、纵向和空区宽度方向上相对比较平整；900m中段下盘穿脉口已被废石完全堵塞，这些技术要素均达到了构建空场开采安全工程体系的要求，也为消除空区灾害隐患，营造矿山下部开采安全环境奠定了良好的基础。

（五）总结

通过形成缓冲垫层处理采空区的硐室爆破实践，将单层单排几个硐室爆破方案改进为双层双排层硐室群爆破方案，并拓展采用了纵向立体错位、同向诱导崩塌的硐室群爆破技术，同时改进硐室工程布置和填塞形式，形成了条形药包准空腔装药结构。实践证明，这些技术改进不但改善了爆破效果，增加了围岩的崩落量，提高了缓冲垫层形成的质量，也丰富了硐室爆破技术体系，具有一定的推广价值。

九、毫秒爆破

利用毫秒雷管或其他毫秒延期引爆装置，实现装药按顺序起爆的方法称为毫秒爆破。毫秒爆破有以下主要优点：

增强破碎作用，减小岩石爆破块度，扩大爆破参数，降低单位炸药消耗量；

减小抛掷作用和抛掷距离，防止周围设备损坏，提高装岩效率；

降低爆破产生的振动，防止对周围建筑物造成破坏；

可以在地下有瓦斯的工作面内使用，实现全断面一次爆破，缩短爆破作业时间，提高掘进速度，并有利于工人健康。

十、水下爆破

水下爆破，指在水中、水底或临时介质中进行的爆破作业。水下爆破常用的方法有裸露爆破法、钻孔爆破法以及洞室爆破法等。水下爆破原理就是利用乳化炸药爆炸时产生的爆轰现象，主要由其中的冲击波能（冲击破坏）和高能量密度气体（能产生破坏力极强的气泡脉动效应）所产生的剧烈破坏作用将船体钢板和结构破坏爆破工程的主要材料是炸药，炸药是易燃易爆物品，在特定条件下，其性能是稳定的，储存、运输、使用时也是安全的。进行爆破作业时，最重要的是怎样使效率提高、完全发生爆炸并且能安全进行操作。

水下爆破原理就是利用乳化炸药爆炸时产生的爆轰现象，主要由其中的冲击波能（冲击破坏）和高能量密度气体（能产生破坏力极强的气泡脉动效应）所产生的剧烈破坏作用将船体钢板和结构破坏，达到能清理沉船的目的。

爆破工程的主要材料是炸药，炸药是易燃易爆物品，在特定条件下，其性能是稳定的，储存、运输、使用时也是安全的。进行爆破作业时，最重要的是怎样使效率提高、完全发生爆炸并且能安全进行操作。参与爆破工程施工作业人员应当要掌握、熟悉所用炸药的性能，在适合的炸药中选择最便宜的炸药，熟悉掌握爆破技术的理论，用最合适的方法进行作业；参与爆破工程施工作业人员应当遵守法律所规定的安全规则，从而积极地按照实际情况进行安全操作。

任何工程，都是以安全第一为目标。所以在现场使用炸药和接触炸药的人员，在从事操作过程中首先必须事事考虑的是安全第一，尽量避免或杜绝爆炸事故的发生。

需要爆破的介质自由面位于水中的爆破技术。主要用于河床和港口的扩宽加深、清除暗礁，水下构筑物的拆除、水下修建隧洞的进水口（见岩塞爆破）等。水下爆破和陆地爆破的原理大致相同。但因水的不可压缩性以及压力、水深、流速的影响，它又具有许多特点，要求爆破器材具有良好的抗水性能，在水压作用下不失效，并不过分降低其原有性能；由于水的传爆能力较大，在爆破参数设计时要注意殉爆影响；施工方法上必须考虑水深、流速、风浪的影响，钻孔定位、操作、装药、连接爆破网路要做到准确可靠都较困难；水能提高裸露药包的破碎效果，但炸药的爆炸威力随水深、水压的增加而降低，爆破效果较差；在等量装药的情况下，水下爆破产生的地震波比陆地爆破要大，水中冲击波的危害较突出。

（一）水下爆破工程作业流程

水下爆破是一项复杂的工程，涉及的因素很多，诸如天气、海水能见度、海潮状况、水流状态、水下作业深度等，特别是爆炸物品均储放在作业船上，其安全性尤为重要。因此，进行水下爆破作业时必须严格按照制定的安全规则、作业方案、海情状况进行爆破作业。

（二）水下爆破作业流程

1.资质的审核

立项做水下爆破工程时，首先要对承接爆破作业单位及其工程技术人员的资格进行资质审核（该项工作需要工程甲方单位协助到当地公安部门进行审核），并办理水下爆破工程的相关手续，只有在当地公安部门（县、市级）批准的情况下，才能实施水下爆破工程；在通航的海域进行水下爆破时，一般应在三天之前由港监发布爆破施工通告。

2.探摸

在实施水下爆破工程前，首先要了解需爆破清除船只的有关具体情况（沉船的结构参数、沉船姿态、所处水深、淤泥掩埋状况、沉船海域的海况等一系列相关情况）。

3.制定爆破方案

根据潜水员的水下探摸情况及对清航的要求，制定出切实可行的爆破方案。方案中包括工程所需的爆破器材的需求量和品种、爆破指挥机构和作业人员的组成（包括在爆破技术专业人员在指导下参与工作的甲方人员）及分工、安全作业规则等。

4.采购爆炸器材

到当地公安部门批准的单位（指定的商业部门和工厂）预定或采购定制爆破器材（主要是根据水深定制生产相适合的炸药）；爆破器材到位后，应将所有的爆破器材按其功能和危险等级分别放置在作业船舶规定的安全区域内（炸药可以码放在甲板上，并用苫布苫盖好，起爆器材放到距离炸药安全距离外的专用船舱内的可锁铁皮柜子内），炸药和起爆器材必须严格分离存放，其距离必须在符合规定的安全距离之外。

5.爆破作业前的准备工作

到达作业海域后，作业船舶应在有利于爆破作业（探摸和下炸药）的地方定位抛锚停泊。根据爆破方案准备爆破器材（甲方人员可以在爆破技术专业人员的指导下协助捆扎炸药条和其他的准备工作）；按爆破方案潜水员进行水下探摸及布设炸药前期的其他准备工作（如：对布放炸药线路上的船体钢板进行电焊打孔，安放捆扎固定炸药条的物品、安置布设炸药网络的标识物等）。

6.布放炸药作业

在完成所有爆破作业前的准备工作后（尤其是要了解作业海域的天气是否能连续作业多天的可行性。因为一旦布放了炸药就要在最短的时间内进行爆破，炸药长时间在水下浸泡将影响炸药的性能甚至完全失效。这一点非常重要）才能实施布放炸药的作业。布放炸药时，必须严格按照爆破专业技术人员制定的工艺要求进行布放；炸药布放完毕后，需指派有经验的潜水员对安放的炸药进行复查（主要检查炸药条是否按要求进行布放、捆绑；有无漏捆、断接的地方；炸药网络“T”字型处炸药的搭接方向是否一致等重要部位的情况），在潜水员出水报告布放的炸药达到作业规定要求后，才能安放最终起爆装置（起爆头）实施爆破作业。

7.点火起爆

作业母船驶离爆破作业点并在安全距离之外巡海等候，爆破现场只留执行爆破点火作业的小船，小船上只留有必要的作业人员。作业母船按照有关规定在爆破海域施放警报，瞭望巡视附近海面确无其他船只航行时，工程总指挥方能下令点火作业人员实施起爆作业。

8.清除油污

爆破作业实施后，作业母船返回作业地点，如果作业海域有油污的话，则首先需进行油污清除工作。

9.探摸爆炸效果

等作业海域的海况符合作业条件后（主要指海水能见度达到一定的清晰度），派潜水员下水对爆破效果进行探摸（爆破后沉船体将产生许多锋利破碎钢板，为确保潜水员的安全，严禁重潜人员下水探摸，探摸任务应由背气瓶的轻潜人员担任）。

10.再次爆破的准备或收工撤场

根据潜水员的探摸情况，制定出下一步的方案：

需进行再次爆破，则需制定出下一步的爆破方案，进行下一轮的爆破准备工作。已完成爆破工程任务则收工撤离现场返回基地港口。

（三）水下爆破的安全规则

炸药是易燃易爆物品，在特定条件下，其性能是稳定的，储存、运输、使用时也是安全的。由于水下爆破工程的特殊性，爆破器材一般集中存放在作业船上指定的安全区域（炸药和起爆器材必须严格分别放置在规定的安全距离之外），不排除意外的爆炸事件也会发生，所以安全工作特别重要。为确保作业人员和作业船舶的安全，在实施爆破工程过程中，必须严格按照有关的安全规则进行爆破作业。

装载爆破器材的船舶的船头和船尾要按规定悬挂危险品标志，夜间和雾天要有红色安全灯；

遇浓雾、大风、大浪无法作业驶回锚地时，停泊地点距其他船只和岸上建筑物不少于 250~500m；

从装药条开始至爆破警报解除的时间内，作业母船需要加强瞭望、注意过往船舶的航向，防止无关船只误入危险区；过往船只不得进入爆破危险区域或靠近爆破作业船；

爆破器材必须按照其功能和危险等级分别存放，与爆破器材无关的杂物不得共同存放。在存放炸药的甲板区域，不得有尖锐的突出物。炸药必须码放整齐并用苫布苫盖，严禁任何人员在区域抽烟和其他的明火作业；

潜水爆破工程作业时，尤其是在海上作业，为确保作业安全，起爆装置必须采用非电起爆系统。起爆系统必须由专业人员制作，必须放置在离炸药安全距离之外的专用舱室内的可锁铁皮柜子内，由爆破技术专业人员保管；

在水下布设炸药作业时、完成后，禁止进行电氧切割、电焊或其他与爆破无关的水下作业；

必须使用锋利的刀具切割导火索、导爆索，严禁使用钝的刀具进行切割作业；

起爆点火作业船上的人员，作业时穿好救生衣，禁止无关人员乘坐起爆点火

作业船只；

导火索必须使用暗火（如香烟）或专用点火器具进行点火作业；

盲炮应及时处理，遇有难处理而又危及航行船舶安全的盲炮，应延长警戒时间，继续处理直至排除盲炮；

炸药和起爆器材严禁重摔、拍砸；用于深水区域的爆破器材必须具有足够的抗压性能，或采取有效的抗压措施（起爆器材必须密封防水）；传爆网络的塑料导爆管严禁有打结、压扁、表皮划破、拉伸变细等现象；爆破工程完成后的剩余爆破器材，必须采用适当的方式进行销毁处理，炸药严禁带回作业船舶的基地港口。

十一、岩塞爆破

岩塞爆破形成的进水口常年在水下运行，需要有良好的运行条件。岩塞的位置和几何形状确定后，才能进行爆破设计。岩塞爆破一般有两类方法：铜室爆破法和钻孔爆破法。

其中铜室爆破法又分为集中药室铜室爆破法和条形药室铜室爆破法；而钻孔爆破法又包括大孔径深孔爆破法和小孔径炮眼爆破法；还有就是上述方法的组合。

岩塞爆破形成的进水口常年在水下运行，需要有良好的运行条件。岩塞的位置和几何形状确定后，才能进行爆破设计。岩塞爆破一般有两类方法：铜室爆破法和钻孔爆破法。

其中铜室爆破法又分为集中药室铜室爆破法和条形药室铜室爆破法；而钻孔爆破法又包括大孔径深孔爆破法和小孔径炮眼爆破法；还有就是上述方法的组合。

（一）岩塞位置的选择

对于岩塞的位置，既要水力学条件好，又要具有良好的爆破条件。因此，岩塞位置要求选择在岩性单一、整体性好、构造简单、裂隙不大发育的地方，且岩面平顺，岸坡坡度在 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 宜。另外，还要考虑与已成建筑物的关系，尽可能远离已建成的建筑物。

（二）岩塞形状

岩塞的形状有马蹄型、圆形、椭圆形、矩形等等，包括内口形状和外口形状，一般外端呈喇叭状，里端开口尺寸小于外端开口尺寸。岩塞的形状一般是根据隧洞的形状和功能选择，要求满足进水的流态要求。从理论上说，岩塞形状可以任意选择，但实际工程中的岩塞一般为圆形，岩塞轴线与岩塞外的水下地形基本垂直。国内外成功实施的岩塞爆破，也大部分选择圆形岩塞，针对圆形岩塞国内外进行了大量的模型试

验和数值计算，属于比较成熟的岩塞体型。

（三）岩塞倾角

岩塞的倾角有上倾角、水平和下倾角三种。三种倾角的爆炸处理方式是不一样的：上倾角岩塞的爆渣一般以集渣或泄渣的方式进入隧洞；下倾角岩塞的爆渣以进入库区水中为主；水平岩塞的爆渣一般部分进入库区，部分进入隧洞。

由于水平岩塞和下倾角岩塞的爆渣要往库区中去，受水压的作用，实现起来有很多不确定因素，因此选择这两种岩塞倾角的工程实例不多，一般还是以上倾角岩塞为主。对于上倾角岩塞方案，上倾角度越陡，越有利于岩渣进入集渣坑，但角度越大，施工难度越大；而坡度越缓，则岩渣滑入集渣坑的难度就越大。

（四）岩塞开口尺寸

岩塞开口尺寸要满足过水断面要求。对于聚渣方案，在岩塞段后方的过渡段断面要适当扩大，使聚渣坑满足积渣容积要求，且过渡平顺，以保证水流顺畅。在满足以上条件的情况下尽量减小岩塞尺寸，以减少爆破震动破坏和贯通难度。

（五）岩塞厚度和体型

岩塞厚度的选定是确保施工安全与设计合理的主要影响因素。岩塞厚度的选取与地质条件、岩塞尺寸、上覆水深度等因素有关，岩层结构越稳定、越完整，则选择的岩塞厚度就可以适当减小。国内几个工程岩塞厚度 H 与岩塞直径（或跨度） D 之比在 1.0~1.4 之间，国外工程的比值一般也在 1.0~1.5 之间，个别的也有在 2.0 之上的。当岩塞采用药室爆破方案时，在塞体内开挖导洞和药室具有一定的危险性，为了施工安全，故所选的 H 值较大；对于钻孔爆破的岩塞，施工相对安全， H 值可以适当减小。

（六）集渣坑的设计

对于上倾角岩塞，岩塞体爆破后产生的石渣必随水冲流入隧洞，如果不能通过隧洞泄渣，为保证水流畅通和过水断面，必须在岩塞后方取水洞段挖一集渣坑。集渣坑的容积根据岩塞体体积计算确定，松散系数按 1.6 倍计算，集渣坑体积按松散体的 2 倍计算，同时，还必须考虑岩塞外的松渣和岩塞爆破时的超挖因素。

（七）岩塞爆破的设计原则与要求

岩塞爆破形成的进水口常年在水下运行，需要有良好的运行条件。因此，岩塞爆破的设计原则与要求如下：

必须一次爆破成型，不允许出现拒爆或爆破不完全；

爆破后岩塞四周的围岩应当有一定的完整性和稳定性，不遗留可能发生滑坡坍塌

等隐患；

岩塞顶部和底部的开口应满足进水流态的要求，具有良好的水力学条件；

岩塞爆破时必须确保周围保护物的安全；

岩塞厚度应满足岩塞体在水压力作用下的稳定，保证爆破施工安全；

泄渣时应尽力减轻岩渣对隧洞结构产生的磨损；

岩塞体底部集渣坑的容积应满足爆落岩渣顺畅下泄，不允许岩渣在洞内发生瞬时堵塞事故。

（八）岩塞爆破方法的设计

岩塞的位置和几何形状确定后，才能进行爆破设计。岩塞爆破一般有 2 类方法：硐室爆破法和钻孔爆破法。其中铜室爆破法又分为集中药室铜室爆破法和条形药室铜室爆破法；而钻孔爆破法又包括大孔径深孔爆破法和小孔径炮眼爆破法；还有就是上述方法的组合。这里需要强调一点，岩塞不能采用水下裸露药包爆破，这种爆破办法是不能爆通岩塞的，充其量仅使岩塞体表面产生一些裂缝和零星破碎而已，原因是爆炸能量大部分转化为水中冲击波了。因此，只能将药包置于岩体内部去实现“爆通”和“成型”。

1. 铜室爆破法

在岩塞体内开挖铜室，装药爆破，根据装药的集中程度，分为集中药室硐室爆破法和条形药室硐室爆破法。硐室爆破的优点是装药集中，抛掷能力强，相应的计算公式也较多，起爆网路简单。缺点是开挖药室安全性差，爆破漏斗破裂线不易控制，爆破振动影响较大。硐室爆破适用于直径较大的岩塞工程，如国内 211 工程、310 工程及 250 工程及汾河水库等岩塞爆破工程。

2. 钻孔爆破法

包括深孔和炮孔爆破法两种（孔径 D ）75mm、孔深 h ，4m 的称为深孔，小于以上数值的称为炮孔）。钻孔爆破优点是：施工安全，机械操作施工方便，药量分散，爆破振动影响小，爆破的岩石块度均匀；同时，它还可以通过试探钻孔打穿岩塞，更清楚地确定岩塞真实厚度。但是钻孔爆破法的孔位布置、炮孔装药、网路连接等工作量较大，施工技术要求高。

3. 铜室和钻孔爆破相结合的方法

有的设计将岩塞体分为两部分，前部分用铜室爆破，后部分用钻孔爆破。有得很明确，以硐室爆破为主，钻孔装药仅作为辅助手段。

除了上述三种方法外，就铜室爆破而言，还有集中药室铜室爆破和条形药室铜室爆破的组合，钻孔爆破里面也有大孔径深孔爆破和小孔径炮眼爆破的组合。上述大部分方法在国内外工程中均有实施，在实际设计中应根据工程规模大小、施工设备条件和人员开挖经验等各种因素，经过综合比较确定具体的爆破方法。

十二、拆除爆破

拆除爆破是指将爆破技术应用于建筑物的拆解。与以岩石为工程对象的各种其他爆破技术相比，拆除爆破工程对象的结构与力学性质均有显著差异，工程的环境条件与要求，以及对爆破效果的要求，都会产生一定的变化。因此，从事拆除爆破，如何选择爆破的方法，科学制定爆破方案，合理选取爆破技术参数，都是需要学习和讨论的问题。

拆除爆破是一门跨学科的工程技术，它需要对爆炸力学、材料力学、结构力学和断裂力学等工程学科有深入了解，在设计施工中要同时解决好这对矛盾，拆除爆破必须达到五项基本技术要素。

（一）控制炸药用量

拆除爆破一般在城市复杂环境中进行，炸药释放的多余能量往往会对周围环境造成有害影响，因此拆除爆破尽可能少用炸药，将其能量集中于结构失稳，而充分利用剪切和挤压冲击力，使建（构）筑结构解体。

（二）控制爆破界限

拆除爆破必须视具体工程要求进行设计与施工，例如对于需要部分保留、部分拆除的建筑物，则需要严格控制爆破的边界，既要达到拆除目的，同时又要确保被保留部分不受影响。

（三）控制倒塌方向

拆除爆破一般环境比较复杂，周围空间有限，特别是对于高层建（构）筑物，如烟囪、水塔等，往往只能有一个方向的夺地可供倾倒。这就要求定向非常准确，因为发生侧偏或反向都将造成严重事故，因此，准确定向是拆除爆破成功的前提。

（四）控制堆渣范围

随着拆除建（构）筑物越来越高，体量越来越大，爆破解体后碎渣的堆积范围远大于建（构）筑物原先的占地面积，另外，高层建筑爆破后，重力作用下的挤压冲击力很大，其触地后的碎渣具有很大的能量，爆破解体后渣堆超出允许范围，将导致周边被保护的建（构）筑物、设施的严重破坏。

（五）有害效应控制

上述关键技术要素，并非每一项拆除爆破都会碰到。要依据爆破的对象、环境、外部条件和保护要求逐一针对性地解决，但爆破本身对环境产生的影响，也称为“爆破的负效应”，即爆破产生的振动、飞石、噪声、冲击波和粉尘，以及建（构）筑物解体时的触地振动，却是每一个工程都会遇到的，必须加以严格控制。

1. 一般特点

拆除爆破的对象都是人工建构物。与岩体开挖爆破相比，拆除爆破的特点主要体现在两个方面：一是工程所处的环境；二是爆破对象自身的结构与力学性质。前者对爆破安全提出了更高的要求，飞石和震动等爆破有害效应必须控制在可以接受的程度，而后者则对爆破方法及爆破技术参数的选取提出了要求。

2. 环境特点

与矿山爆破相比，拆除爆破的对象往往是位于城镇或工业厂区。在城镇或工业厂区内进行爆破作业，必须充分考虑爆破对周围环境内的人身财产安全的影响及可能对环境产生的消极影响，这些影响可包括：

（1）飞石

所谓飞石是指爆破可能产生的砖石和混凝土碎块在爆破作用下的飞散、抛散现象。飞石现象是爆破作业导致人身伤亡事故和设备设施、建构物破坏的首要因素。因此，拆除爆破，特别是在人口密集区，必须极力避免出现飞石现象，并在爆破时划定足够大的警戒区。除必要的爆破工程技术及相关人员外，其他人员须在爆破警戒期间疏散至警戒区外。

（2）爆破震动

爆破震动可对一定距离范围内的建构物造成某种程度的破坏，且这种震动效应可对周围人造成惊扰和不适。

特别是在邻近医院、学校和居民区等较敏感区域，爆破震动尤其容易引起人们的反感和抱怨。但是，一般无法彻底避免爆破震动。为避免或降低爆破震动使人（尤其是心脏病人对突然的震动和声响敏感的人群）产生的不适，应在实施拆除爆破之前若干天将准确的爆破日期和时间书面通知相关单位，并予以确认。必要时，须在实施爆破之前若干小时当面知会医院、学校、教堂等对突然的震动和声响敏感的人群。当然，这些工作并不能取代起爆前的鸣笛示警等其他安全警戒措施。

（3）噪声

噪声是拆除爆破时无法真正避免的另一有害效应。与震动类似，特别是在邻近医院、学校和居民区等较敏感区域，噪声也很容易引起人们的反感和抱怨。

(4) 烟尘与有害气体

拆除爆破过程中一般很难避免烟尘与有害气体的产生，而烟尘和有害气体对周围环境都是有害的，会对周围一定范围内人们的工作和生活产生有害影响。因此，拆除爆破时也必须尽量减少烟尘与有害气体的生成量，将其对周围环境的危害降低到最低程度。

(5) 落地冲击效应

当待拆对象具有一定高度时，爆落物将在自重作用下落地，且伴有一定程度的水平向运动。爆落物落地瞬间将对地表产生一定的冲击力，若此时此处的地表以下有涵管、线缆等地下设施，即有可能对这些设施造成破坏。爆落物的水平向运动，则有可能使紧邻的建构筑物产生破坏。

总之，在拆除爆破工程实践中，准确全面地获取待拆对象一定距离范围内的地表与地下各种建筑与设施的相关信息和数据，对实现安全爆破和人性化爆破，具有极为重要的意义。

3. 结构特点

拆除爆破工程的对象一般是人造的墙、柱、梁、筒等结构体。与矿山爆破时的矿体和岩体相比，这些结构体的几何特征与力学性质一般都是可知的，这一点对拆除爆破十分重要，利于爆破技术方案的科学制定和技术参数的准确计算，利于实现对爆破效果的精确控制。换句话说，在拆除爆破工程实践中，准确全面地获取待拆对象本身的结构特点和物理力学性质，是科学进行爆破设计和严格控制爆破效果的重要前提。

4. 理论

各种建构筑物作为拆除爆破的对象，其结构的几何要素和材料的物理力学性质往往都是基本准确、具体、全面和可知的。因此，相对于岩体爆破，拆除爆破可以做到基本的准确量化，实现所谓的“精确爆破”，而在拆除爆破实践中真正实现精确爆破，需要在爆破设计与施工中科学运用以下原理。

(1) 最小抵抗线原理

最小抵抗线是指药包中心到自由面的最小距离。最小抵抗线的方向则是该药包爆破时周围介质破碎后发生抛掷的主导方向。

在设计药包位置和确定药量大小时合理和充分地利用最小抵抗线的作用，其目的

有两个：

- ①控制爆破破坏和抛掷的方向与范围。
- ②避免最小抵抗线指向需保护的目标，保证爆破安全。

（2）等能原理

在设计爆破破坏范围内，炸药量的大小与实际需要相符，既能保证介质的破碎充分，同时尽量减少或避免飞石、震动、噪声、烟尘等有害效应。换言之，所谓的等能原理，是指药包爆炸产生的能量正好与药包抵抗线范围内介质破坏所需要的能量相等。

（3）分散化原理

所谓分散化，是指炸药在爆破范围内尽量分散，尽量“多钻孔，少装药”。且鉴于介质的均质性，均布药包和药量，使炸药能量的分布更为均匀。其作用有二：

- ①保证范围内介质的破碎均匀，破坏范围边界规整，利于实现精确爆破。
- ②利于减小飞石等有害效应。

（4）失稳原理

在建筑物的承重部位钻孔爆破，之后利用建筑物的自重使之失去原有的稳定性，在自重作用下倾倒坍塌，最终触地解体，达至拆除爆破的效果。

显然，在进行拆除爆破时，准确判定建筑物的承重部位，合理确定布孔范围，是确保获得预期爆破工程效果的重要根本。

（5）缓冲原理

拆除爆破，特别是具有一定高度的建构筑物的拆除爆破，其主要特征之一是建筑物本身在自重作用下以一定速度与地表发生碰撞冲击而发生一定程度的解体效应。当地表坚硬平整时，触地瞬间的冲击作用可极为强烈，从而可能引起若干块体的飞溅，导致触地震动和飞石两种现象的发生，不利于周围其他建构筑物、设备设施及人身安全。因此，实践中一般需要在预定倾倒坍塌的范围内采取相应的缓冲措施，用以减弱塌落体与地表的碰撞冲击作用，降低震动和减弱块体飞溅，保证爆破安全。

5.工序

（1）了解情况

了解工程内容、工期要求和安全要求；了解爆破可能影响的房屋、地下管线及构筑物、空中线路、线杆、道路、桥梁、设备、仪器、居民、学校、医院等情况；了解建筑物本身的结构、材料、完好程度、欠缺点、影响解体的内外部构造；了解当地公

安部门对拆除爆破的有关规定和要求。

(2) 可行性分析

合同签订之前，一定要对以下几点做到心里有数：

- ①拆除方案。用钻孔、水压还是其他爆破方式以及采用何种倒塌方式。
- ②工程量。预拆除工程量及钻孔与防护工程量。
- ③周围环境的难点问题。
- ④可能发生的意外及风险费用。
- ⑤工程等级。
- ⑥工程总价及工期。

(3) 签署工程合同

与甲方商谈并签订工程合同。

(4) 工程技术设计及上报

一般在工程技术设计之前应详细了解拆除对象的现状，有许多建筑物经多次改造其尺寸乃至形态与图纸不符，要现场绘制有关图纸，在详细勘察的基础上做出的设计才能保证设计质量，完成技术设计后，再做出施工组织设计。全部设计完成后，按《爆破安全规程》（GB 6722）的规定和当地公安部门的要求报批。

(5) 组织施工

组织施工主要包括钻孔和防护工程两大部分。

(6) 爆破

应在现场指挥部领导下进行施工。主要内容包括：装药、堵塞、连接起爆网路、警戒、防护工程、起爆及爆后检查、解除警戒等。

第四章 水利工程地基处理

第一节 岩基处理方法

任何建筑物都要用基础稳固在地基上，因此建筑物的结构要与基础形式及所处的地基相适应。地基与基础处理得好坏是工程能否长期安全运行的关键。如果处理不好，轻则增加工程投资，延长工期，被迫降低使用标准，达不到预期的工程效益；重则由于基础变形使结构破坏，甚至倒塌报废，给人民的生命和国家财产造成巨大危害。

水工建筑物的基础有两类，即岩基和软基，其中软基包括土基与沙砾石地基。由于受地质构造变化及水文地质的影响，天然地基往往存在不同形式与程度的缺陷，需要经过人工处理，才能作为水工建筑物的可靠地基。基础的质量是水工建筑物安全可靠的根本保证，根据统计，历史上由地基原因引起大坝失事的比例近 40%，影响工程正常发挥效益的则为数更多。基础处理工程在水利水电工程建设中占有重要地位，是施工的重要环节。

软弱地基根据其含水量和某些土力学特性指标，可划分为一般软土地基和超软基。软土和超软土地基的处理，可大致根据软土层的埋置深度，采用表层或深层的处理方法。一般来说，处理深度不超过 3m 的叫浅层（或称表层）处理。

各种类型的水工建筑物对地基基础的要求：第一，具有足够的强度，能够承担上部结构传递的应力；第二，具有足够的整体性和均一性，能够防止基础的滑动和不均匀沉陷；第三，具有足够的抗渗性，以免发生严重的渗漏和渗透破坏；第四，具有足够的耐久性，以防在地下水长期作用下发生侵蚀破坏。

若天然地层的地质条件好，建筑物基础可以直接建造其上；若地基很软弱，或者与建筑物基础对地基的要求相差较大时，就不能直接在天然地基上建造建筑物，必须对其进行人工加固处理。

地基处理的方法有很多种，要视地质情况，建筑物的类型、级别、使用要求、结构，以及施工期限、施工方法，施工设备、材料和经济条件等，通过技术经济比较确定。

水工建筑物的基础处理，就是根据建筑物对地基的要求，采用特定的技术手段来减少或消除地基的某些天然缺陷，改善和提高地基的物理力学性能，使地基具有足够的强度、整体性、抗渗性及稳定性，保证工程的安全可靠和正常运行。随着水利水电建设事业的发展，对基础处理的方法与技术提出了越来越高的要求。

由于天然地基的性状复杂多样，不同类型水工建筑物对地基的要求也各不相同，在实际施工中，就必然有各种不同的基础处理方案与技术措施。采用爆破或机械挖掘等手段，将不符合要求的地层挖除以形成设计要求的建基面，是最通用可靠的基础处理方法。

但是，天然地基的缺陷分布范围一般大而深，并且均一性差，采用开挖的方法，既难彻底清除，又不一定经济。为了取得符合设计要求的基础，往往必须对建基面下更大范围的地层采用各种技术措施进行处理。基础处理在地层中进行，其施工过程及处理的实际效果无法直观掌握，故具有地下隐蔽工程的特点。

根据建筑物地基条件，地基处理的目的大体可归纳为以下几个方面：第一，提高地基的承载能力，改善其变形特性；第二，改善地基的剪切特性，防止剪切破坏，减少剪切变形；第三，改善地基的压缩特性，减少不均匀沉降；第四，减少地基的透水特性，降低扬压力和地下水位，提高地基的稳定性；第五，改善地基的动力特性，防止液化；第六，防止地下洞室围岩坍塌和边坡危岩、陡坡滑落；第七，在地基中置入人工基础建筑物，使其与地基共同承受各种荷载。

地基处理的工程种类很多，按处理方法可分为以下五种。第一，灌浆：防渗帷幕灌浆、固结灌浆、接触灌浆、回填灌浆及化学灌浆等。第二，防渗墙：钢筋混凝土防渗墙、素混凝土防渗墙、黏土混凝土防渗墙、固化水浆防渗墙和泥浆槽防渗墙等。第三，桩基：钻孔灌注桩、振冲桩和旋喷桩等。第四，预应力锚固：建筑物地基锚固、挡土边墙锚固及高边坡山体锚固等。第五，开挖回填：坝基截水槽、防渗竖井、沉箱、混凝土塞和抗滑桩等。

地基处理工程的施工特点：第一，地基处理工程属于地下隐蔽工程。地质条件情况复杂多变，一般难以全面了解，因此施工前必须充分地调查研究，掌握比较准确的勘测试验资料，必要时应进行补充。第二，施工质量要求高。水工建筑物地基处理关系到工程的安危，发生事故难以补救。第三，工程技术复杂、施工难度大。第四，工艺要求严格、施工连续性要求强。第五，工期紧、施工干扰大。

若岩基处于严重风化或破碎状态，首先考虑清除至新鲜的岩基为止。若风化层或

破碎带很厚，无法清除彻底，则考虑采用灌浆的方法加固岩层和截止渗流。对于防渗，有时从结构上进行处理，设截水墙和排水系统。

灌浆方法是钻孔灌浆（在地基上钻孔，用压力把浆液通过钻孔压入风化或破碎的岩基内部），待浆液胶结或固结后，就能达到防渗或加固的目的。最常用的灌浆材料是水泥。当岩石裂隙多、空洞大，吸浆量很大时，为了节省水泥，降低工程造价，改善浆液性能，常加沙或其他材料；当裂隙细微，水泥浆难以灌入，基础的防渗不能达到设计要求或者有大的集中渗流时，可采用化学材料灌浆的方法处理。化学灌浆是一种以高分子有机化合物为主体材料的新型灌浆方法。这种浆材呈溶液状态，能灌入 0.1 mm 以下的微细裂缝，浆液经过一定时间起化学作用，可将裂缝黏合起来或形成凝胶，起到堵水防渗及补强的作用。

除上述灌浆材料外，还有热柏油、黏土等，但是由于本身存在一些缺陷，其应用受到一定限制。

一、基岩灌浆的分类

水工建筑物的岩基灌浆按其作用，可分为固结灌浆、帷幕灌浆和接触灌浆。灌浆技术不仅大量运用于建筑物的基岩处理，而且也是进行水工隧洞围岩固结、衬砌回填、超前支护，混凝土坝体接缝，以及建（构）筑物补强、堵漏等方面的主要措施。

（一）帷幕灌浆

帷幕灌浆布置在靠近建筑物上游迎水面的基岩内，形成一道连续的平行建筑物轴线的防渗幕墙。其目的是减少基岩的渗流量，降低基岩的渗透压力，保证基础的渗透稳定。帷幕灌浆的深度主要由作用水头及地质条件等确定，较之固结灌浆要深得多，有些工程的帷幕深度超过百米。在施工中，通常采用单孔灌浆，所使用的灌浆压力比较大。

帷幕灌浆一般安排在水库蓄水前完成，这样有利于保证灌浆的质量。由于帷幕灌浆的工程量较大，与坝体施工在时间安排上有矛盾，所以通常安排在坝体基础灌浆廊道内进行。这样既可实现坝体上升与基岩灌浆同步进行，也使灌浆施工具备了一定厚度的混凝土压重，有利于提高灌浆压力、保证灌浆质量。

（二）固结灌浆

固结灌浆的目的是提高基岩的整体性与强度，降低基础的透水性。当基岩地质条件较好时，一般可在坝基上、下游应力较大的部位布置固结灌浆孔；在地质条件较差而坝体较高的情况下，则需要对坝基进行全面的固结灌浆，甚至在坝基以外上下游一

定范围内也要进行固结灌浆。灌浆孔的深度一般为 5~8m，也有深达 40m 的，各孔在平面上呈网格交错布置。通常采用群孔冲洗和群孔灌浆。

固结灌浆宜在一定厚度的坝体基层混凝土上进行，这样可以防止基岩表面冒浆，并采用较大的灌浆压力，提高灌浆效果，同时也兼顾坝体与基岩的接触灌浆。如果基岩比较坚硬、完整，为了加快施工速度，也可直接在基岩表面进行无混凝土压重的固结灌浆。在基层混凝土上进行钻孔灌浆，必须在相应部位混凝土的强度达到设计强度 50% 后，方可开始。或者先在岩基上钻孔，预埋灌浆管，待混凝土浇筑到一定厚度后再灌浆。同一地段的基岩灌浆必须按先固结灌浆后帷幕灌浆的顺序进行。

（三）接触灌浆

接触灌浆的目的是加强坝体混凝土与坝基或岸肩之间的结合能力，提高坝体的抗滑稳定性。一般是通过混凝土钻孔压浆或预先在接触面上埋设灌浆盒及相应的管道系统，也可结合固结灌浆进行。

接触灌浆应安排在坝体混凝土达到稳定温度以后进行，以防混凝土收缩产生拉裂。

二、灌浆的材料

岩基灌浆的浆液，一般应该满足如下要求。

第一，浆液在受灌的岩层中应具有良好的可灌性，即在一定的压力下，能灌入裂隙、空隙或孔洞中，充填密实。

第二，浆液硬化成结石后，应具有良好的防渗性能、必要的强度和黏结力。

第三，为便于施工和增大浆液的扩散范围，浆液应具有良好的流动性。

第四，浆液应具有较好的稳定性，吸水率低。

基岩灌浆以水泥灌浆最普遍。灌入基岩的水泥浆液，由水泥与水按一定配比制成，水泥浆液呈悬浮状态。水泥灌浆具有灌浆效果可靠，灌浆设备与工艺比较简单，材料成本低廉等优点。

水泥浆液所采用的水泥品种，应根据灌浆目的和环境水的侵蚀作用等因素确定。一般情况下，可采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐大坝水泥，如有耐酸等要求，选用抗硫酸盐水泥。矿渣水泥与火山灰质硅酸盐水泥由于其吸水快、稳定性差、早期强度低等缺点，一般不宜使用。

水泥颗粒的细度对于灌浆的效果有较大影响。水泥颗粒越细，越能够灌入细微的裂隙中，水泥的水化作用也越完全。帷幕灌浆对水泥细度的要求为通过 80 μm 方孔筛的筛余量不大于 5%。灌浆用的水泥要符合质量标准，不得使用过期、结块或细度不

合要求的水泥。

对于岩体裂隙宽度小于 $200\mu\text{m}$ 的地层，普通水泥制成的浆液一般难以灌入。为了提高水泥浆液的可灌性，20 世纪 80 年代以来，许多国家陆续研制出各类超细水泥，并在工程中得到广泛采用。超细水泥颗粒的平均粒径 $4\mu\text{m}$ ，比表面积 $8000\text{ cm}^2/\text{g}$ ，它不仅具有良好的可灌性，同时在结石体强度、环保及价格等方面都具有很大优势，特别适合细微裂隙基岩的灌浆。

在水泥浆液中掺入一些外加剂（如速凝剂、减水剂、早强剂及稳定剂等），可以调节或改善水泥浆液的一些性能，满足工程对浆液的特定要求，提高灌浆效果。外加剂的种类及掺入量应通过试验确定。

在水泥浆液里掺入黏土、沙、粉煤灰，制成水泥黏土浆、水泥砂浆、水泥粉煤灰浆等，可用于注入量大、对结石强度要求不高的基岩灌浆。这主要是为了节省水泥、降低材料成本。沙砾石地基的灌浆主要采用此类浆液。

当遇到一些特殊的地质条件如断层、破碎带、细微裂隙等，采用普通水泥浆液难以达到工程要求时，也可采用化学灌浆，即灌注以环氧树脂、聚氨酯、甲凝等高分子材料为基材制成的浆液。其材料成本比较高，灌浆工艺比较复杂。在基岩处理中，化学灌浆仅起辅助作用，一般先进行水泥灌浆，再在其基础上进行化学灌浆，这样既可提高灌浆质量，也比较经济。

三、水泥灌浆的施工

在基岩处理施工前一般需要进行现场灌浆试验。通过试验，可以了解基岩的可灌性、确定合理的施工程序与工艺、提供科学的灌浆参数等，为进行灌浆设计与施工准备提供重要依据。

基岩灌浆施工中的主要工序包括钻孔、钻孔（裂隙）冲洗、压水试验、灌浆、回填封孔等工作。

（一）钻孔

钻孔质量要求如下。

第一，确保孔位、孔深、孔向符合设计要求。钻孔的方向与深度是保证帷幕灌浆质量的关键。如果钻孔方向有偏斜，钻孔深度达不到要求，则通过各钻孔所灌注的浆液，不能连成一体，将形成漏水通路。

第二，力求孔径上下均一、孔壁平顺。孔径均一、孔壁平顺，则灌浆栓塞能够卡紧卡牢，灌浆时不会产生绕塞返浆。

第三，钻进过程中产生的岩粉细屑较少。钻进过程中如果产生过多的岩粉细屑，容易堵塞孔壁的缝隙，影响灌浆质量，同时也影响工人的作业环境。

根据岩石的硬度完整性和可钻性的不同，分别采用硬质合金钻头、钻粒钻头和金刚钻头。7级以下的岩石多用硬质合金钻头；7级以上用钻粒钻头；石质坚硬且较完整的用金刚石钻头。

帷幕灌浆的钻孔宜采用回转式钻机和金刚石钻头或硬质合金钻头，其钻进效率较高，不受孔深、孔向、孔径和岩石硬度的限制，还可钻取岩芯。钻孔的孔径一般为75~91mm。固结灌浆则可采用各式合适的钻机与钻头。

孔向的控制相对较困难，特别是钻设斜孔，掌握钻孔方向更加困难。在工程实践中，按钻孔深度不同规定了钻孔偏斜的允许值。当深度大于60m时，则允许的偏差不应超过钻孔的间距。钻孔结束后，应对孔深、孔斜和孔底残留物等进行检查，不符合要求的应采取补救处理措施。

为了有利于浆液的扩散和提高浆液结合的密实性，在确定钻孔顺序时应和灌浆次序密切配合。一般是当一批钻孔钻进完毕后，随即进行灌浆。钻孔次序则以逐渐加密钻孔数和缩小孔距为原则。对排孔的钻孔顺序，先下游排孔，后上游排孔，最后中间排孔。对统一排孔而言，一般2~4次序孔施工，逐渐加密。

（二）钻孔冲洗

钻孔后，要进行钻孔及岩石裂隙的冲洗。冲洗工作通常分为：1.钻孔冲洗，将残存在钻孔底和黏滞在孔壁的岩粉铁屑等冲洗出来；2.岩层裂隙冲洗，将岩层裂隙中的充填物冲洗出孔外，以便浆液进入腾出的空间，使浆液结石与基岩胶结成整体。在断层、破碎带和细微裂隙等复杂地层中灌浆与冲洗的质量对灌浆效果影响极大。

一般采用灌浆泵将水压入孔内循环管路进行冲洗。将冲洗管插入孔内，用阻塞器将孔口堵紧，用压力水冲洗。也可采用压力水和压缩空气轮换冲洗或压力水和压缩空气混合冲洗的方法。

岩层裂隙冲洗方法分为单孔冲洗和群孔冲洗两种。在岩层比较完整，裂隙比较少的地方，可采用单孔冲洗，冲洗方法有高压压水冲洗、高压脉动冲洗和扬水冲洗等。当节理裂隙比较发育且在钻孔之间互相串通的地层中时，可采用群孔冲洗。将两个或两个以上的钻孔组成一个孔组，轮换地向一个孔或几个孔压进压力水或压力水混合压缩空气，从另外的孔排出污水，这样反复交替冲洗，直到各个孔出水洁净为止。群孔冲洗时，沿孔深方向冲洗段的划分不宜过长，否则冲洗段内钻孔通过的裂隙条数增多，

这样不仅分散冲洗压力和冲洗水量，并且一旦有部分裂隙冲通以后，水量将相对集中在这几条裂隙中流动，使其他裂隙得不到有效的冲洗。

为了提高冲洗效果，有时可在冲洗液中加入适量的化学剂，如碳酸钠，氢氧化钠或碳酸氢钠等，以促进泥质充填物的溶解。加入化学剂的品种和掺量，宜通过试验确定。

采用高压水或高压水气冲洗时，要注意观测，防止冲洗范围内岩层的抬动和变形。

（三）压水试验

在冲洗完成并开始灌浆施工前，一般要对灌浆地层进行压水试验。压水试验的主要目的是测定地层的渗透特性，为基岩的灌浆施工提供基本技术资料。压水试验也是检查地层灌浆实际效果的主要方法。

压水试验的原理：在一定的水头压力下，通过钻孔将水压入孔壁四周的缝隙中，根据压入的水量和压水的时间，计算出代表岩层渗透特性的技术参数。一般可采用透水率表示岩层的渗透特性。所谓透水率，是指在单位时间内，通过单位长度试验孔段，在单位压力作用下所压入的水量。

（四）灌浆的方法与工艺

为了确保岩基灌浆的质量，必须注意以下问题。

1. 钻孔灌浆的次序

基岩的钻孔与灌浆应遵循分序加密的原则进行。一方面可以提高浆液结石的密实性；另一方面，通过后灌序孔透水率和单位吸浆量的分析，可推断先灌序孔的灌浆效果，同时还有利于减少相邻孔串浆现象。

2. 注浆方式

按照灌浆时浆液灌注和流动的特点，灌浆方式有纯压式和循环式两种。对于帷幕灌浆，应优先采用循环式。

纯压式灌浆，就是一次将浆液压入钻孔，并扩散到岩层裂隙中。灌注过程中，浆液从灌浆机向钻孔流动，不再返回。这种灌注方式设备简单，操作方便，但浆液流动速度较慢，容易沉淀，造成管路与岩层缝隙的堵塞，影响浆液扩散。纯压式灌浆多用于吸浆量大，有大裂隙存在，孔深不超过 15m 的情况。

循环式灌浆，灌浆机把浆液压入钻孔后，浆液一部分被压入岩层缝隙中，另一部分由回浆管返回拌浆筒中。这种方法一方面可使浆液保持流动状态，减少浆液沉淀；另一方面可根据进浆和回浆浆液比重的差别，来了解岩层吸收情况，并作为判定灌浆

结束的一个条件。

3. 钻灌方法

按照同一钻孔内的钻灌顺序，有全孔一次钻灌和全孔分段钻灌两种方法。全孔一次钻灌系将灌浆孔一次钻到全深，并沿全孔进行灌浆。这种方法施工简便，多用于孔深不超过 6m，地质条件良好，基岩比较完整的情况。

全孔分段钻灌又分为自上而下法、自下而上法、综合钻灌法及孔口封闭灌浆法等。

1. 自上而下法。其施工顺序是：钻一段，灌一段，待凝一定时间以后，再钻灌下一段，钻孔和灌浆交替进行，直到设计深度。其优点是：随着段深的增加，可以逐段增加灌浆压力，借以提高灌浆质量；由于上覆岩层经过灌浆，形成结石，下部岩层灌浆时，不易产生岩层抬动和地面冒浆等现象；分段钻灌，分段进行压水试验，压水试验的成果比较准确，有利于分析灌浆效果，估算灌浆材料的需用量。但缺点是钻灌一段以后，要待凝一定时间，才能钻灌下一段，钻孔与灌浆必须交替进行，设备搬移频繁，影响施工进度。

2. 自下而上法。一次将孔钻到全深，然后自下而上逐段灌浆，这种方法的优缺点与自上而下分段灌浆刚好相反。一般多用在岩层比较完整或基岩上部已有足够压重不致引起地面抬动的情况。

3. 综合钻灌法。在实际工程中，通常是接近地表的岩层比较破碎，越往下岩层越完整。因此，在进行深孔灌浆时，可以兼取以上两种方法的优点，上部孔段采用自上而下法钻灌，下部孔段则采用自下而上法钻灌。

4. 孔口封闭灌浆法。其要点是：先在孔口镶嵌不小于 2m 的孔口管，以便安设孔口封闭器；采用小孔径的钻孔，自上而下逐段钻孔与灌浆；上段灌后不必待凝，进行下段的钻灌，如此循环，直至终孔；可以多次重复灌浆，可以使用较高的灌浆压力。其优点是：工艺简便、成本低、效率高，灌浆效果好。其缺点是：当灌注时间较长时，容易造成灌浆管被水泥浆凝住的现象。

一般情况下，灌浆孔段的长度多控制在 5~6m。如果地质条件好，岩层比较完整，段长可适当放长，但也不宜超过 10m；在岩层破碎，裂隙发育的部位，段长应适当缩短，可取 3~4m；而在破碎带、大裂隙等漏水严重的地段及坝体与基岩的接触面，应单独分段进行处理。

(4) 灌浆压力

灌浆压力通常是指作用在灌浆段中部的压力。灌浆压力是控制灌浆质量、提高灌

浆经济效益的重要因素。确定灌浆压力的原则是，在不破坏基础和建筑物的前提下，尽可能采用比较高的压力。高压灌浆可以使浆液更好地压入细小缝隙内，增大浆液扩散半径，析出多余的水分，提高灌注材料的密实度。灌浆压力的大小，与孔深、岩层性质、有无压重及灌浆质量要求等有关，可参考类似工程的灌浆资料，特别是现场灌浆试验成果确定，并且在具体的灌浆施工中结合现场条件进行调整。

（5）灌浆压力的控制

在灌浆过程中，合理地控制灌浆压力和浆液稠度，是提高灌浆质量的重要保证。灌浆过程中灌浆压力的控制基本上有两种类型，即一次升压法和分级升压法。

①一次升压法。

灌浆开始后，一次将压力升高到预定的压力，并在这个压力作用下，灌注由稀到浓的浆液。当每一级浓度的浆液注入量和灌注时间达到一定限度以后，就变换浆液配比，逐级加浓。随着浆液浓度的增加，裂隙将被逐渐充填，浆液注入率将逐渐减少，当达到结束标准时，就结束灌浆。这种方法适用于透水性不大，裂隙不甚发育，岩层比较坚硬完整的地方。

②分级升压法。

将整个灌浆压力分为几个阶段，逐级升压直到预定的压力。开始时，从最低一级压力起灌，当浆液注入率减少到规定的下限时，将压力升高一级，如此逐级升压，直到预定的灌浆压力。

（6）浆液稠度的控制

灌浆过程中，必须根据灌浆压力或吸浆率的变化情况，适时调整浆液的稠度，使岩层的大小缝隙既能灌饱，又不浪费。浆液稠度的变换按先稀后浓的原则控制，这是由于稀浆的流动性较好，宽细裂隙都能进浆，使细小裂隙先灌饱，而后随着浆液稠度逐渐变浓，其他较宽的裂隙也能逐步得到良好的充填。

（7）灌浆的结束条件与封孔

灌浆的结束条件，一般用两个指标来控制，一个是残余吸浆量，又称最终吸浆量，即灌到最后的限定吸浆量；另一个是闭浆时间，即在残余吸浆量不变的情况下保持设计规定压力的延续时间。

帷幕灌浆时，在设计规定的压力之下，灌浆孔段的浆液注入率小于 0.4L/min 时，再延续灌注 60 min（自上而下法）或 30 min（自下而上法）；或浆液注入率不大于 1.0 L/min 时，继续灌注 90 min 或 60 min，就可结束灌浆。

对于固结灌浆，其结束标准是浆液注入率不大于 0.4 L/min，延续时间 30 min，灌浆可以结束。

灌浆结束以后，应随即将灌浆孔清理干净。对于帷幕灌浆孔，宜采用浓浆灌浆法填实，再用水泥砂浆封孔；对于固结灌浆，孔深小于 10m 时，可采用机械压浆法进行回填封孔，即通过深入孔底的灌浆管压入浓水泥浆或砂浆，顶出孔内积水，随浆面的上升，缓慢提升灌浆管。当孔深大于 10m 时，其封孔与帷幕孔相同。

（五）灌浆的质量检查

基岩灌浆属于隐蔽性工程，必须加强灌浆质量的控制与检查。一方面，要认真做好灌浆施工的原始记录，严格灌浆施工的工艺控制，防止违规操作；另一方面，要在一个灌浆区灌浆结束以后，进行专门性的质量检查，做出科学的灌浆质量评定。基岩灌浆的质量检查结果，是整个工程验收的重要依据。

灌浆质量检查的方法很多，常用的有：在已灌地区钻设检查孔，通过压水试验和浆液注入率试验进行检查；通过检查孔，钻取岩芯进行检查，或进行钻孔照相和孔内电视，观察孔壁的灌浆质量；开挖平洞、竖井或钻设大口径钻孔，检查人员直接进去观察检查，并在其中进行抗剪强度、弹性模量等方面的试验；利用地球物理勘探技术，测定基岩的弹性模量、弹性波速等，对比这些参数在灌浆前后的变化，借以判断灌浆的质量和效果。

四、化学灌浆

化学灌浆是在水泥灌浆基础上发展起来的新型灌浆方法。它是将有机高分子材料配制成的浆液灌入地基或建筑物的裂缝中经胶凝固化后，达到防渗、堵漏、补强、加固的目的。

它主要用于裂隙与空隙细小（0.1mm 以下），颗粒材料不能灌入，对基础的防渗或强度有较高要求，渗透水流的速度较大，其他灌浆材料不能封堵等情况。

（一）化学灌浆的特性

化学灌浆材料有很多品种，每种材料都有其特殊的性能，按灌浆的目的可分为防渗堵漏和补强加固两大类。属于防渗堵漏的有水玻璃、丙凝类、聚氨酯类等，属于补强加固的有环氧树脂类、甲凝类等。化学浆液有以下特性。

第一，化学浆液的黏度低，有的接近于水，有的比水还小。其流动性好，可灌性高，可以灌入水泥浆液灌不进去的细微裂隙中。

第二，化学浆液的聚合时间可以比较准确地控制，从几秒到几十分钟，有利于机

动灵活地进行施工控制。

第三，化学浆液聚合后的聚合物，渗透系数很小，一般为 $10^6 \sim 10^{-5} \text{cm/s}$ ，防渗效果好。

第四，有些化学浆液聚合物本身的强度及黏结强度比较高，可承受高水头。

第五，化学灌浆材料聚合体的稳定性和耐久性均较好，能抗酸、碱及微生物的侵蚀。

第六，化学灌浆材料都有一定毒性，在配制、施工过程中要十分注意防护，并切实防止对环境的污染。

2. 化学灌浆的施工

化学材料配制的浆液为真溶液，不存在粒状灌浆材料所存在的沉淀问题，故化学灌浆都采用纯压式灌浆。

化学灌浆的钻孔和清洗工艺及技术要求，与水泥灌浆基本相同，也遵循分序加密的原则。

化学灌浆的方法，按浆液的混合方式区分，有单液法灌浆和双液法灌浆。一次配制成的浆液或两种浆液组分在泵送灌注前先行混合的灌浆方法称为单液法。两种浆液组分在泵送后才混合的灌浆方法称为双液法。前者施工相对简单，在工程中使用较多。为了保持连续供浆，现在多采用电动式比例泵提供压送浆液的动力。比例泵是专用的化学灌浆设备，由两个出浆量能够任意调整，可实现按设计比例压浆的活塞泵构成。对于小型工程和个别补强加固的部位，也可采用手压泵。

第二节 防渗墙

防渗墙是一种修建在松散透水底层或土石坝中起防渗作用的地下连续墙。防渗墙技术在 20 世纪 50 年代起源于欧洲，因其结构可靠、施工简单、适应各类底层条件、防渗效果好及造价低等优点，在国内外得到了广泛应用。

我国防渗墙施工技术的发展始于 1958 年，此前我国在坝基处理方面对较浅的覆盖层大多采用大开挖后再回填黏土截水墙的办法。对于较深的覆盖层，难以采用大开挖的办法，因而采用水平防渗的处理办法，即在上游填筑黏土铺盖，下游坝脚设反滤排水及减压设施，用延长渗径和排水减压的办法控制渗流。这种处理办法虽可以保证坝

基的渗流稳定，但局限性较大。

多年来，我国的防渗墙施工技术不断发展，现已成为水利水电工程覆盖层及土石围堰防渗处理的首选方案。

一、防渗墙特点

第一，适用范围较广：适用于多种地质条件，如沙土、沙壤土、粉土及直径小于 10 mm 的卵砾石土层，都可以做连续墙，对于岩石地层可以使用冲击钻成槽。

第二，实用性较强：广泛应用于水利水电、工业民用建筑、市政建设等各个领域。塑性混凝土防渗墙可以在江河、湖泊、水库堤坝中起到防渗加固作用；刚性混凝土连续墙可以在工业民用建筑、市政建设中起到挡土、承重作用。混凝土连续墙深度可达 100m。三峡二期围堰轴线全长 1439.6m，最大高度 82.5m，最大填筑水深达 60m，最大挡水水头达 85m，防渗墙最大高度 74m。

第三，施工条件要求较宽：地下连续墙施工时噪声低、振动小，可在较复杂条件下施工，可昼夜施工，加快施工速度。

第四，安全、可靠：地下连续墙技术自诞生以来有了较大发展，在接头的连接技术上也有了很大进步，较好地完成了段与段之间的连接，其渗透系数可达到 10^{-7} cm/s 以下。作为承重和挡土墙，可以做成刚度较大的钢筋混凝土连续墙。

二、防渗墙的分类及适用条件

按结构形式划分，防渗墙可分为桩柱型、槽板型和板桩灌注型等。

按墙体材料划分，防渗墙可分为混凝土、黏土混凝土、钢筋混凝土、自凝灰浆、固化灰浆和少灰混凝土等。

三、防渗墙的作用与结构特点

（一）防渗墙的作用

防渗墙是一种防渗结构，但其实际的应用已远远超出了防渗的范围，可用来解决防渗、防冲、加固、承重及地下截流等工程问题。具体的运用主要有如下几个方面：第一，控制闸、坝基础的渗流；第二，控制土石围堰及其基础的渗流；第三，防止泄水建筑物下游基础的冲刷；第四，加固一些有病害的土石坝及堤防工程；第五，作为一般水工建筑物基础的承重结构；第六，拦截地下潜流，抬高地下水位，形成地下水库。

（二）防渗墙的构造特点

防渗墙的类型较多，但从其构造特点来说，主要是两类，即槽孔（板）型防渗墙

和桩柱型防渗墙。前者是我国水利水电工程中混凝土防渗墙的主要形式。防渗墙系垂直防渗措施，其立面布置有两种形式，即封闭式与悬挂式。封闭式防渗墙是指墙体插入基岩或相对不透水层一定深度，以实现全面截断渗流的目的。而悬挂式防渗墙，墙体只深入地层一定深度，仅能加长渗径，无法完全封闭渗流。对于高水头的坝体或重要的围堰，有时设置两道防渗墙，共同作用，按一定比例分担水头。这时应注意水头的合理分配，避免使单道墙承受水头过大而损坏，这对另一道墙来说也是很危险的。

防渗墙的厚度主要由防渗要求、抗渗耐久性、墙体的应力与强度及施工设备等因素确定。其中，防渗墙的耐久性是指抵抗渗流侵蚀和化学溶蚀的性能，这两种破坏作用均与水力梯度有关。

不同的墙体材料具有不同的抗渗耐久性，其允许水力梯度值也就不同。如普通混凝土防渗墙的允许水力梯度值一般为 80~100。而塑性混凝土因其抗化学溶蚀性能较好，可达 300。水力梯度值一般为 50~60。

（三）防渗性能

根据混凝土防渗墙深度、水头压力及地质条件的不同，混凝土防渗墙可以采用不同的厚度，从 1.5~0.20m 不等。在长江监利县南河口大堤用过的混凝土防渗墙深度为 15~20m，墙体厚度为 7.5cm。渗透系数 $K < 10^{-7} \text{cm/s}$ ，抗压强度大于 1.0MPa。目前，塑性混凝土防渗墙越来越受到重视，它是在普通混凝土中加入黏土、膨润土等掺合材料，大幅度降低水泥掺量而形成的一种新型塑性防渗墙体材料。塑性混凝土防渗墙因其弹性模量低，极限应变大，使得塑性混凝土防渗墙在荷载作用下，墙内应力和应变都很低，可提高墙体的安全性和耐久性，而且施工方便，节约水泥，降低工程成本，具有良好的变形和防渗性能。

四、防渗墙的墙体材料

防渗墙的墙体材料，按其抗压强度和弹性模量，一般分为刚性材料和柔性材料。可在工程性质与技术经济比较后，选择合适的墙体材料。

刚性材料包括普通混凝土、黏土混凝土和掺粉煤灰混凝土等，其抗压强度大于 5MPa，弹性模量大于 10000 MPa。柔性材料的抗压强度则小于 5MPa，弹性模量小于 10000 MPa，包括塑性混凝土、自凝灰浆和固化灰浆等。另外，现在有些工程开始使用强度大于 25MPa 的高强混凝土，以适应高坝深基础对防渗墙的技术要求。

（一）普通混凝土

普通混凝土是指强度在 7.5~20 MPa，不加其他掺合料的高流动性混凝土。防渗

墙的混凝土是在泥浆下浇筑，故要求混凝土能在自重下自行流动，并有抗离析与保持水分的性能。其坍落度一般为 18~22cm，扩散度为 34~38 cm。

（二）黏土混凝土

在混凝土中掺入一定量的黏土（一般为总量的 12%~20%），不仅可以节省水泥，还可以降低混凝土的弹性模量，改变其变形性能，增加其和易性，改善其易堵性。

（三）粉煤灰混凝土

在混凝土中掺加一定比例的粉煤灰，能改善混凝土的和易性，降低混凝土发热量，提高混凝土密实性和抗侵蚀性，并具有较高的后期强度。

（四）塑性混凝土

塑性混凝土是以黏土和（或）膨润土取代普通混凝土中的大部分水泥所形成的一种柔性墙体材料。

塑性混凝土与黏土混凝土有本质区别，因为后者的水泥用量降低并不多，掺黏土的主要目的是改善和易性，并未过多改变弹性模量。塑性混凝土的水泥用量仅为 80~100 kg/m³，这使得其强度低，特别是弹性模量值低到与周围介质（基础）相接近。这时，墙体适应变形的能力大大提高，几乎不产生拉应力，减少了墙体出现开裂现象的可能性。

（五）自凝灰浆

自凝灰浆是在固壁浆液（以膨润土为主）中加入水泥和缓凝剂所制成的一种灰浆。凝固前作为造孔用的固壁泥浆，槽孔造成后则自行凝固成墙。

（六）固化灰浆

在槽锻造孔完成后，向固壁的泥浆中加入水泥等固化材料，沙子、粉煤灰等掺合料，水玻璃等外加剂，经机械搅拌或压缩空气搅拌后，凝固成墙体。

五、防渗墙的施工工艺

槽孔（板）型的防渗墙，是由一段段槽孔套接而成的地下墙。尽管在应用范围、构造形式和墙体材料等方面存在各种类型的防渗墙，但其施工程序与工艺是类似的，主要包括：①造孔前的准备工作；②泥浆固壁与造孔成槽；③终孔验收与清孔换浆；④槽孔浇筑；⑤全墙质量验收。

（一）造孔准备

造孔前的准备工作是防渗墙施工的一个重要环节。

必须根据防渗墙的设计要求和槽孔长度的划分，做好槽孔的测量定位工作，并在

此基础上设置导向槽。

导墙是控制防渗墙各项指标的基准，导墙和防渗墙的中心线必须一致，导墙宽度一般比防渗墙的宽度多 3~5cm，它指示挖槽位置，为挖槽起导向作用；导墙竖向面的垂直度是决定防渗墙垂直度的首要条件，导墙顶部应平整，保证导向钢轨的架设和定位；导墙可防止槽壁顶部坍塌，保持泥浆压力，防止坍塌和阻止废浆脏水倒流入槽，保证地面土体稳定，在导墙之间每隔 1~3m 加设临时木支撑；导墙经常承受灌注混凝土的导管、钻机等静、动荷载，可以起到重物支撑台的作用；导墙还可以起到维持稳定液面的作用，特别是地下水位很高的地段，为维持稳定液面，至少要高出地下水位 1m；导墙内的空间有时可作为稳定液的贮藏槽。

导向槽可用木料、条石、灰拌土或混凝土制成。导向槽沿防渗墙轴线设在槽孔上方，导向槽的净宽一般等于或略大于防渗墙的设计厚度，高度以 1.5~2.0m 为宜。为了维持槽孔的稳定，要求导向槽底部高出地下水位 0.5m 以上。为了防止地表积水倒流和便于自流排浆，其顶部高程应比两侧地面略高。

钢筋混凝土导墙常用现场浇筑法。其施工顺序：平整场地、测量位置、挖槽与处理弃土、绑扎钢筋、支模板、灌注混凝土、拆模板并设横撑、回填导墙外侧空隙并碾压密实。

导墙的施工接头位置，应与防渗墙的施工接头位置错开。另外还可设置插铁以保持导墙连续性。

导向槽安设好后，在槽侧铺设凿孔钻机的轨道，安装钻机，修筑运输道路，架设动力和照明路线及供水供浆管路，做好排水排浆系统，并向槽内充灌泥浆，保持泥浆液面在槽顶以下 30~50cm。做好这些准备工作以后，就可开始造孔。

（二）固壁泥浆和泥浆系统

在松散透水的地层和坝体内进行造孔成墙，维持槽孔孔壁的稳定是防渗墙施工的关键技术之一。工程实践表明，泥浆固壁是解决这类问题的主要方法。泥浆固壁的原理：槽孔内的泥浆压力要高于地层的水压力，使泥浆渗入槽壁介质中，其中较细的颗粒进入空隙，较粗的颗粒附在孔壁上，形成泥皮。泥皮对地下水的流动形成阻力，使槽孔内的泥浆与地层被泥皮隔开。泥浆一般具有较大的密度，所产生的侧压力通过泥皮作用在孔壁上，就保证了槽壁的稳定。

泥浆除固壁作用外，在造孔过程中，还有悬浮和携带岩屑、冷却润滑钻头的作用；成墙以后，渗入孔壁的泥浆和胶结在孔壁的泥皮，还对防渗起辅助作用。由于泥浆的

特殊重要性，在防渗墙施工中，国内外工程对于泥浆的制浆土料、配比及质量控制等方面均有严格的要求。

泥浆的制浆材料主要有膨润土、黏土、水，以及改善泥浆性能的掺合料，如加重质、增黏剂、分散剂和堵漏剂等。制浆材料通过搅拌机进行拌制，经筛网过滤后，放入专用储浆池备用。

我国根据大量的工程实践，提出制浆土料的基本要求是黏粒含量大于 50%，塑性指数大于 20.含沙量小于 5%，氧化硅与三氧化二铝含量的比值以 3~4 为宜。配制而成的泥浆，其性能指标，应根据地层特性、造孔方法和泥浆用途等，通过试验选定。

（三）造孔成槽

造孔成槽工序约占防渗墙整个施工工期的一半。槽孔的精度直接影响防渗墙的质量。选择合适的凿空机具与挖槽方法对于提高施工质量、加快施工速度至关重要。混凝土防渗墙的发展和广泛应用，也是与造孔机具的发展和造孔挖槽技术的改进密切相关的。

用于防渗墙开挖槽孔的机具，主要有冲击钻机、回转钻机、钢绳抓斗及液压锐槽机等。它们的工作原理、适用的地层条件及工作效率有一定差别。对于复杂多样的地层，一般要多种机具配套使用。

进行凿空挖槽时，为了提高工效，通常要先划分槽段，然后在一个槽段内，划分主孔和副孔，采用钻劈法、钻抓法或分层钻进等方法成槽。

各种造孔挖槽的方法，都采用泥浆固壁，在泥浆液面下钻挖成槽。在造孔过程中，要严格按操作规程施工，防止掉钻、卡钻、埋钻等事故发生；必须经常注意泥浆液面的稳定，发现严重漏浆，要及时补充泥浆，采取有效的止漏措施；要定时测定泥浆的性能指标，并控制在允许范围以内；应及时排除废水、废浆、废渣，不允许在槽口两侧堆放重物，以免影响工作，甚至造成孔壁坍塌；要保持槽壁平直，保证孔位、孔斜、孔深、孔宽及槽孔搭接厚度、嵌入基岩的深度等满足规定的要求，防止漏钻漏挖和欠钻欠挖。

（四）终孔验收和清孔换浆

终孔验收的项目和要求。验收合格方准进行清孔换浆，清孔换浆的目的是在混凝土浇筑前，对留在孔底的沉渣进行清除，换上新鲜泥浆，以保证混凝土和不透水地层连接的质量。清孔换浆应该达到的标准是：经过 1h 后，孔底淤积厚度不大于 10 cm，孔内泥浆密度不大于 1.3，黏度不大于 30s，含沙量不大于 10%。一般要求清孔换浆以

后 4h 内开始浇筑混凝土。如果不能按时浇筑，应采取措施，防止落淤，否则，在浇筑前要重新清孔换浆。

（五）墙体浇筑

防渗墙的混凝土浇筑和一般混凝土浇筑不同，是在泥浆液面下进行的。泥浆下浇筑混凝土的主要特点：第一，不允许泥浆与混凝土掺混形成泥浆夹层；第二，确保混凝土与基础及一、二期混凝土之间的结合；第三，连续浇筑，一气呵成。

泥浆下浇筑混凝土常用直升导管法。清孔合格后，立即下设钢筋笼、预埋管、导管和观测仪器。导管由若干节管径 20~25cm 的钢管连接而成，沿槽孔轴线布置，相邻导管的间距不宜大于 3.5m，一期槽孔两端的导管距端面以 1.0~1.5m 为宜，开浇时导管口距孔底 10~25cm，把导管固定在槽孔口。当孔底高差大于 25cm 时，导管中心应布置在该导管控制范围的最低处。这样布置导管，有利于全槽混凝土面的均衡上升，有利于一、二期混凝土的结合，并可防止混凝土与泥浆掺混。槽孔浇筑应严格遵循先深后浅的顺序，即从最深的导管开始，由深到浅一个一个导管依次开浇，待全槽混凝土面浇平以后，再全槽均衡上升。

每个导管开浇时，先下入导注塞，并在导管中灌入适量的水泥砂浆，准备好足够数量的混凝土，将导注塞压到导管底部，使管内泥浆挤出管外。然后将导管稍微上提，使导注塞浮出，一举将导管底端被泻出的砂浆和混凝土埋住，保证后续浇筑的混凝土不会与泥浆掺混。

在浇筑过程中，应保证连续供料，一气呵成；保持导管埋入混凝土的深度不小于 1m；维持全槽混凝土面均衡上升，上升速度不应小于 2m/h，高差控制在 0.5m 范围内。

混凝土上升到距孔口 10m 左右，常因沉淀砂浆含沙量大，稠度增浓，压差减小，浇筑困难增加，这时可用空气吸泥器、沙泵等抽排浓浆，以便浇筑顺利进行。

浇筑过程中应注意观测，做好混凝土面上升的记录，防止堵管、埋管、导管漏浆和泥浆掺混等事故的发生。

六、防渗墙的质量检查

对混凝土防渗墙的质量检查应按规范及设计要求进行，主要有如下几个方面。

第一，槽孔的检查，包括几何尺寸和位置、钻孔偏斜、入岩深度等。

第二，清孔检查，包括槽段接头、孔底淤积厚度、清孔质量等。

第三，混凝土质量的检查，包括原材料、新拌料的性能、硬化后的物理力学性能等。

第四，墙体的质量检测，主要通过钻孔取芯、超声波及地震透射层析成像（CT）技术等方法全面检查墙体的质量。

七、双轮铣成槽技术

（一）双轮铣成槽技术工作原理

双轮铣设备的成槽原理是通过液压系统驱动下部两个轮轴转动，水平切削、破碎地层，反循环出碴。双轮铣设备主要由三部分组成：起重设备、铣槽机、泥浆制备及筛分系统等。铣槽时，两个铣轮低速转动，方向相反，其铣齿将地层围岩铣削破碎，中间液压马达驱动泥浆泵，通过铣轮中间的吸沙口将钻掘出的岩渣与泥浆混合物排到地面泥浆站进行集中除沙处理、然后将净化后的泥浆返回槽段内，如此往复循环，直至终孔成槽。在地面通过传感器控制液压千斤顶系统伸出或缩回导向板、纠偏板，调整铣头的姿态，并调慢铣头下降速度，从而有效地控制槽孔的垂直度。

（二）主要优缺点

双轮铣成槽技术具有以下优点：

第一，对地层适应性强，从软土到岩石地层均可实施切削搅拌，更换不同类型的刀具即可在淤泥、沙、砾石、卵石及中硬强度的岩石、混凝土中开挖。

第二，钻进效率高，在松散地层中钻进效率 20~40m³/h，双轮铣设备施工进度与传统的抓槽机和冲孔机在土层、沙层等软弱地层中为抓槽机的 2~3 倍，在微风岩层中可达到冲孔成槽效率的 20 倍以上，同时也可以在岩石中成槽。

第三，孔形规则（墙体垂直度可控制在 3% 以下）。

第四，运转灵活，操作方便。

第五，排碴同时即清孔换浆，减少了混凝土浇筑准备时间。

第六，低噪声、低振动，可以贴近建筑物施工。

第七，设备成桩深度大，远大于常规设备。

第八，设备成桩尺寸、深度、注浆量、垂直度等参数控制精度高，可保证施工质量，工艺没有“冷缝”概念，可实现无缝连接，形成无缝墙体。

但同时由于工艺和设备限制，其存在一定的局限。

第一，不适用于存在孤石、较大卵石的地层，在此类地层需要和冲击钻或爆破配合使用。

第二，受设备限制，连续墙槽段划分不灵活，尤其是二期槽段。

第三，设备维护复杂且费用高。

第四，设备自重较大，对场地硬化条件要求较传统设备高。

（三）施工准备

1.测量放样

施工前使用 GPS 放样防渗墙轴线，然后延轴线向两侧分别引出桩点，便于机械移动施工。

2.机械设备

主要施工机械有双轮铣、水泥罐、空气压缩机、制浆设备、挖掘机等。

3.施工材料

水泥选用强度等级为 42.5 级矿渣水泥。进场水泥必须具备出厂合格证，并经现场取样送试验室复检合格，水泥罐储量要充分满足施工需要。

（四）施工工艺

工艺流程包括清场备料、放样接高、安装调试、开沟铺板、移机定位、铣削掘进搅拌、浆液制备、输送、铣体混合输送等、回转提升、成墙移机等。

（五）造墙方式

液压双轮铣槽机和传统深层搅拌的技术特点结合起来，在掘进注浆、供气、铣、削和搅拌的过程中，四个铣轮相对相向旋转，铣削地层；同时通过矩形方管施加向下的推进力向下掘进切削。在此过程中，通过供气、注浆系统同时向槽内分别注入高压气体、固化剂和添加剂（一般为水泥和膨润土），直至达到设备要求的深度。此后，四个铣轮做相反方向相向旋转，通过矩形方管慢慢提起铣轮，并通过供气、注浆管路系统再向槽内分别注入气体和固化液，并与槽内的基土相混合，从而形成由基土、固化剂、水、添加剂等形成的水泥石混合物的固化体，成为等厚水泥石连续墙。幅间连接为完全铣削接合，第二幅与第一幅搭接长度为 20~30 cm，接合面无冷缝。

（六）造墙

第一，铣头定位：根据不同的地质情况选用适合该地层的铣头，随后将双轮铣机的铣头定位于墙体中心线和每幅标线上。

第二，垂直的精度：对于矩形方管的垂直度，采用经纬仪做三支点桩架垂直度的初始零点校准，由支撑矩形方管的三支点辅机的垂直度来控制。从而有效地控制槽形的垂直度。其墙体垂直度可控制在 3‰以内。

第三，铣削深度：控制铣削深度为设计深度的 $\pm 0.2\text{m}$ 。

第四，铣削速度：开动双轮铣主机掘进搅拌，并徐徐下降铣头与基土接触。按设

计要求注浆、供气。控制铣轮的旋转速度为 22~26 r/min，一般铣进控速为 0.4~1.5m/min。根据地质情况可适当调整掘进速度和转速，以免形成真空负压，孔壁坍塌，造成墙体空隙。在实际铣进过程中，由于地层 35m 以下土质较为复杂，需要进行多次上提和下沉掘进动作，满足设计进尺及注浆要求。

第五，注浆：制浆桶制备的浆液放入到储浆桶，经送浆泵和管道送入移动车尾部的储浆桶，再由注浆泵经管路送至挖掘头。注浆量的大小由装在操作台的无极电机调速器和自动瞬时流速计及累计流量计监控；一般根据钻进尺速度与掘削量在 100~350 L/min 内调整。在掘进过程中按设计要求进行一二次注浆，注浆压力一般为 2.0~3.0 MPa。若中途出现堵管、断浆等现象，应立即停泵，查找原因进行修理，待故障排除后再掘进搅拌。当因故停机超过半小时时，应对泵体和输浆管路妥善清洗。

第六，供气：由装在移动车尾部的空气压缩机制成的气体经管路压至钻头，其量大小由手动阀和气压表配给；全程气体不得间断；控制气体压力为 0.3~0.7MPa。

第七，成墙厚度：为保证成墙厚度，应根据铣头刀片磨损情况定期测量刀片外径，当磨损达到 1 cm 时必须对刀片进行修复。

第八，墙体均匀度：为确保墙体质量，应严格控制掘进过程中的注浆均匀性，以及由气体升扬置换墙体混合物的沸腾状态。

第九，墙体连接：每幅间墙体的连接是地下连续墙施工最关键的一道工序，必须保证充分搭接。液压铣削施工工艺形成矩形槽段，在施工时严格控制墙（桩）位并做出标识，确保搭接在 30 cm 左右，以达到墙体整体连续作业；严格与轴线平行移动，以确保墙体平面的平整（顺）度。

第十，水泥掺入比：水泥掺入量按 20%控制，一般为下沉空搅部分占有效墙体部位总水泥量的 70%左右。

第十一，水灰比：下沉过程水灰比一般控制在 1.4~1.5 范围内；提升过程水灰比为 1。

第十二，浆液配制：浆液不能发生离析，水泥浆液严格按预定配合比制作，用比重计或其他检测手法量测控制浆液的质量。为防止浆液离析，放浆前必须搅拌 30s 再倒入存浆桶。浆液性能试验的内容为比重、黏度、稳定性、初凝、终凝时间。凝固体的物理性能试验为抗压、抗折强度。现场质检员对水泥浆液进行比重检验，监督浆液质量存放时间，水泥浆液随配随用，搅拌机和料斗中的水泥浆液应不断搅动。施工水泥浆液严格过滤，在灰浆搅拌机与集料斗之间设置过滤网。

第十三，特殊情况处理：供浆必须连续。一旦中断，将铣削头掘进至停供点以下0.5m（因铣削能力远大于成墙体的强度），待恢复供浆时再提升1~2m复搅成墙。当因故停机超过30 min时，对泵体和输浆管路妥善清洗。遇地下构筑物时，采取高喷灌浆对构筑物周边及上下地层进行封闭处理。

第十四，施工记录与要求：及时填写现场施工记录，每掘进1幅位记录一次在该时刻的浆液比重、下沉时间、供浆量、供气压力、垂直度及桩位偏差。

第十五，出泥量的管理：当提升铣削刀具离基面时，将置存于储留沟中的水泥土混合物导回，以补充填墙料之不足。多余混合物待干硬后外运至指定地点堆放。

第三节 沙砾石地基处理

一、沙砾石地基灌浆

（一）沙砾石地基的可灌性

沙砾石地基的可灌性是指沙砾石地基能否接受灌浆材料灌入的一种特性，是决定灌浆效果的先决条件。其主要取决于地层的颗粒级配、灌浆材料的细度、灌浆压力和灌浆工艺等。

（二）灌浆材料

多用水泥黏土浆液。一般水泥和黏土的比例为1:1~1:4，水和干料的比例为1:1~1:6。

（三）钻灌方法

沙砾石地基的钻孔灌浆方法有：①打管灌浆；②套管灌浆；③循环钻灌；④预埋花管灌浆。

1.打管灌浆

打管灌浆就是将带有灌浆花管的厚壁无缝钢管，直接打入受灌地层中，并利用它进行灌浆。其程序：先将钢管打入设计深度，再用压力水将管内冲洗干净，然后用灌浆泵灌浆，或利用浆液自重进行自流灌浆。灌完一段以后，将钢管起拔一个灌浆段高度，再进行冲洗和灌浆，如此自下而上，拔一段灌一段，直到结束。

这种方法设备简单，操作方便，适用于沙砾石层较浅、结构松散、颗粒不大、容易打管和起拔的场合。用这种方法所灌成的帷幕，防渗性能较差，多用于临时性工程

(如围堰)。

2. 套管灌浆

套管灌浆的施工程序是一边钻孔，一边跟着下护壁套管。或者一边打设护壁套管，一边冲掏管内的沙砾石，直到套管下到设计深度。然后将钻孔冲洗干净，下入灌浆管，起拔套管到第一灌浆段顶部，安好止浆塞，对第一段进行灌浆。如此自下而上，逐段提升灌浆管和套管，逐段灌浆，直到结束。

采用这种方法灌浆，由于有套管护壁，不会产生第二段灌浆坍孔埋钻等事故。但是，在灌浆过程中，浆液容易沿着套管外壁向上流动，甚至产生地表冒浆。如果灌浆时间较长，则又会胶结套管，造成起拔的困难。

3. 循环钻灌

循环钻灌是一种自上而下，钻一段灌一段，钻孔与灌浆循环进行的施工方法。钻孔时用黏土浆或最稀一级水泥黏土浆固壁。钻孔长度也就是灌浆段的长度，视孔壁稳定和沙砾石层渗漏程度而定，容易坍孔和渗漏严重的地层，分段短一些，反之则长一些，一般为1~2m。灌浆时可利用钻杆做灌浆管。

用这种方法灌浆，做好孔口封闭，是防止地面抬动和地表冒浆，提高灌浆质量的有效措施。

4. 预埋花管灌浆

预埋花管灌浆的施工程序如下。

第一，用回转式钻机或冲击钻钻孔，跟着下护壁套管，一次直达孔的全深。

第二，钻孔结束后，立即进行清孔，清除孔壁残留的石渣。

第三，再套管内安设花管，花管的直径一般为73~108 mm，沿管长每隔33~50 cm钻一排3~4个射浆孔，孔径1 cm，射浆孔外面用橡皮箍紧。花管底部要封闭严密牢固，花管要垂直对中，不能偏在套管的一侧。

第四，在花管与套管之间灌注填料，边下填料边起拔套管，连续灌注，直到全孔填满套管拔出为止。

第五，填料待凝10d左右，达到一定强度，严密牢固地将花管与孔壁之间的环形圈封闭起来。

第六，在花管中下入双栓灌浆塞，灌浆塞的出浆孔要对准花管上准备灌浆的射浆孔。然后用清水或稀浆逐渐升压，压开花管上的橡皮圈，压穿填料，形成通路，为浆液进入沙砾石层创造条件，这称为开环。开环以后，继续用稀浆或清水灌注5~10 min，

再开始灌浆。每排射浆孔就是一个灌浆段。灌完一段，移动双栓灌浆塞，使其出浆孔对准另一排射浆孔，进行另一灌浆段的开环灌浆。由于双栓灌浆塞的构造特点，可以在任一灌浆段进行开环灌浆，必要时还可以进行复灌，比较机动灵活。

用预埋花管法灌浆，由于有填料阻止浆液沿孔壁和管壁上升，很少发生冒浆、串浆现象，灌浆压力可相对提高，灌浆比较机动，可以重复灌浆，灌浆质量较有保证。国内外比较重要的沙砾石层灌浆，多采用这种方法，其缺点是花管被填料胶结以后，不能起拔，耗用管材较多。

二、水泥土搅拌桩

在处理淤泥、淤泥质土、粉土、粉质黏土等软弱地基时，经常采用深层搅拌桩进行复合地基加固处理。深层搅拌是利用水泥类浆液与原土通过叶片强制搅拌形成墙体的技术。

（一）技术特点

多头小直径深层搅拌桩机的问世，使防渗墙的施工厚度变为8~45cm，在江苏、湖北、江西、山东、福建等省广泛应用并已取得很好的社会效益。该技术使各幅钻孔搭接形成墙体，使排柱式水泥土地下墙连续性、均匀性都有大幅度的提高。从现场检测结果看，墙体搭接均匀、连续整齐、美观、墙体垂直偏差小，满足搭接要求。该工法适用于黏土、粉质黏土、淤泥质土及密实度中等以下的沙层，且施工进度和质量不受地下水位的影响。从浆液搅拌混合后形成“复合土”的物理性质分析，这种复合土属于“柔性”物质，从防渗墙的开挖过程中还可以看到，防渗墙与原地基土无明显的分界面，即“复合土”与周边土胶结良好。因而，目前防洪堤的垂直防渗处理，在墙身不大于18m的条件下优先选用深层搅拌桩水泥土防渗墙。

（二）防渗性能

防渗墙的功能是截渗或增加渗径，防止堤身和堤基的渗透破坏。影响水泥搅拌桩渗透性的因素主要有流体本身的性质、水泥搅拌土的密度、封闭气泡和孔隙的大小及分布。因此，从施工工艺上看，防渗墙的完整性和连续性是关键，当墙厚不小于20cm时，成墙28d后渗透系数 $K < 10^{-6} \text{cm/s}$ ，抗压强度 $R > 0.5 \text{MPa}$ 。

（三）复合地基

当水泥土搅拌桩用来加固地基，形成复合地基用以提高地基承载力时，应符合以下规定。

第一，竖向承载搅拌桩的长度应根据上部结构对承载力和变形的要求确定，并应

穿透软弱土层到达承载力相对较高的土层；设置的搅拌桩同时提高抗滑稳定性，其桩长应超过危险滑弧 2.0m 以上。干法的加固深度不宜大于 15m；湿法及型钢水泥土搅拌墙（桩）的加固深度应考虑机械性能的限制。单头、双头加固深度不宜大于 20m，多头及型钢水泥土搅拌墙（桩）的深度不宜超过 35m。

第二，竖向承载力水泥土搅拌桩复合地基的承载力特征值应通过现场单桩或多桩复合地基荷载试验确定。初步设计时也可按《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79—2012）的相关公式进行估算。

第三，竖向承载搅拌桩复合地基中的桩长超过 10m 时，可采用变掺量设计。在全桩水泥总掺量不变的前提下，桩身上部 1/3 桩长范围内可适当增加水泥掺量及搅拌次数；桩身下部 1/3 桩长范围内可适当减少水泥掺量。

第四，竖向承载搅拌桩的平面布置可根据上部结构特点及对地基承载力和变形的要求，采用柱状、壁状、格栅状或块状等加固形式。桩可只在刚性基础平面范围内布置，独立基础下的桩数不宜少于 3 根。柔性基础应通过验算在基础内、外布桩。柱状加固可采用正方形、等边三角形等布桩形式。

三、高压喷射灌浆

高压喷射灌浆首创于日本，将高压水射流技术应用于软弱地层的灌浆处理，成为一种新的地基处理方法。它利用钻机造孔，然后将带有特制合金喷嘴的灌浆管下到地层预定位置，以高压把浆液或水、气高速喷射到周围地层，对地层介质产生冲切、搅拌和挤压等作用，同时被浆液置换、充填和混合，待浆液凝固后，就在地层中形成一定形状的凝结体。20 世纪 70 年代初我国铁路及冶金系统引进，水利系统首先将此技术用于山东省白浪水库土石坝中。目前，已在水利系统广泛采用。该技术既可用于低水头土坝坝基防渗，也可用于松散地层的防渗堵漏、截潜流和临时性围堰等工程，还可进行混凝土防渗墙断裂，以及漏洞、隐患的修补。

高压喷射灌浆是利用旋喷机具造成旋喷桩以提高地基的承载能力，也可以做连锁桩施工或定向喷射成连续墙用于防渗。其适用于沙土、黏性土、淤泥等地基的加固，对砂卵石（最大粒径小于 20cm）的防渗也有较好的效果。

通过各孔凝结体的连接，形成板式或墙式的结构，不仅可以提高基础的承载力，而且成为一种有效的防渗体。由于高压喷射灌浆具有对地层条件适用性广、浆液可控性好、施工简单等优点，近年来在国内外都得到了广泛应用。

（一）技术特点

高压喷射灌浆防添加固技术适用于软弱土层，包括第四纪冲积层、洪积层、残积层及人工填土等。实践证明，对沙类土、黏性土、黄土和淤泥等土层，效果较好。对粒径过大和含量过多的砾卵石及有大量纤维质的腐殖土地层，一般应通过现场试验确定施工方法，对含有粒径 2~20cm 的沙砾石地层，在强力的升扬置换作用下，仍可实现浆液包裹作用。

高压喷射灌浆不仅在黏性土层、沙层中可用，在沙砾卵石层中也可用。经过多年的研究和工程试验证明，只要控制措施和工艺参数选择得当，在各种松散地层均可采用，以烟台市夹河地下水库工程为例，采用高喷灌浆技术的半圆相向对喷和双排摆喷菱形结构的新的施工方案，成功地在夹河卵砾石层中构筑了地下水库截渗坝工程。

该技术可灌性、可控性好，接头连接可靠，平面布置灵活，适应地层广，深度较大，对施工场地要求不高。

（二）高压喷射灌浆作用

高压喷射灌浆的浆液以水泥浆为主，其压力一般为 10~30 MPa，对地层的作用和机理有如下几个方面。

第一，冲切掺搅作用。高压喷射流通过对原地层介质的冲击、切割和强烈扰动，使浆液扩散充填地层，并与土石颗粒掺混搅和，硬化后形成凝结体，从而改变原地层结构和组分，达到防添加固的目的。

第二，升扬置换作用。随高压喷射流喷出的压缩空气，不仅对射流的能量有维持作用，而且能造成孔内空气扬水的效果，使冲击切割下来的地层细颗粒和碎屑升扬至孔口，空余部分由浆液代替。

第三，挤压渗透作用。高压喷射流的强度随射流距离的增加而衰减，至末端虽不能冲切地层，但对地层仍能产生挤压作用；同时，喷射后的静压浆液对地层还产生渗透凝结层，有利于进一步提高抗渗性能。

第四，位移握裹作用。对于地层中的小块石，由于喷射能量大，以及升扬置换作用，浆液可填满块石四周空隙，并将其握裹；对大块石或块石集中区，如降低提升速度，提高喷射能量，可以使块石产生位移，浆液便深入空（孔）隙。

总之，在高压喷射、挤压、余压渗透及浆气升串的综合作用下，可以产生握裹凝结作用，从而形成连续和密实的凝结体。

（三）防渗性能

在高压喷射流的作用下切割土层，被切割下来的土体与浆液搅拌混合，进而固结，

形成防渗板墙。不同地层及施工方式形成的防渗体结构体的渗透系数稍有差别，一般说来其渗透系数小于 10^{-7} cm/s。

（四）高压喷射凝结体

1. 凝结体的形式

凝结体的形式与高压喷射方式有关。

第一，喷嘴喷射时，边旋转边垂直提升，简称旋喷，可形成圆柱形凝结体。

第二，喷嘴的喷射方向固定，则称定喷，可形成板状凝结体。

第三，喷嘴喷射时，边提升边摆动，简称摆喷，形成哑铃状或扇形凝结体。

为了保证高压喷射防渗板（墙）的连续性与完整性，必须使各单孔凝结体在其有效范围内相互可靠连接，这与设计的结构布置形式及孔距有很大关系。

2. 高压喷射灌浆的施工方法

目前，高压喷射灌浆的基本方法有单管法、二管法、三管法及多管法等几种，它们各有特点，应根据工程要求和地层条件选用。

第一，单管法。采用高压灌浆泵，以大于 2.0 MPa 的高压将浆液从喷嘴喷出，冲击、切割周围地层，并产生搅和、充填作用，硬化后形成凝结体。该方法施工简易，但有效范围小。

第二，双管法。有两个管道，分别将浆液和压缩空气直接射入地层，浆压 45~50 MPa，气压 1~1.5 MPa。由于射浆具有足够的射流强度和比能，易于将地层加压密实。这种方法工效高，效果好，尤其适合处理地下水丰富、含大粒径块石及孔隙率大的地层。

第三，三管法。用水管、气管和浆管组成喷射杆，水、气的喷嘴在上，浆液的喷嘴在下。随着喷射杆的旋转和提升，先有高压水和气的射流冲击扰动地层，再以低压注入浓浆进行掺混搅拌。常用参数为：水压 38~40 MPa，气压 0.6~0.8 MPa，浆压 0.3~0.5 MPa。如果将浆液也改为高压（浆压 20~30 MPa）喷射，浆液可对地层进行二次切割、充填，其作用范围就更大。

第四，多管法。其喷管包含输送水、气、浆管、泥浆排出管和探头导向管。采用超高压水射流（40 MPa）切削地层，所形成的泥浆由管道排出，用探头测出地层中形成的空间，最后由浆液、砂浆、砾石等置换充填。多管法可在地层中形成直径较大的柱状凝结体。

（五）施工程序与工艺

高压喷射灌浆的施工程序主要有造孔、下喷射管、喷射提升（旋转或摆动）、成桩或墙。

1.造孔

在软弱透水的地层进行造孔，应采用泥浆固壁或跟管（套管法）的方法确保成孔。造孔机有回转式钻机、冲击式钻机等，目前用得较多的是立轴式液压回转钻机。

为保证钻孔质量，孔位偏差应不大于 1~2cm，孔斜率小于 1%。

2.下喷射管

用泥浆固壁的钻孔，可以将喷射管直接下入孔内，直到孔底。用跟管钻进的孔，可在拔管前向套管内注入密度大的塑性泥浆，边拔边注，并保持液面与孔口齐平，直至套管拔出，再将喷射管下到孔底。

将喷嘴对准设计的喷射方向，不偏斜，是确保喷射灌浆成墙的关键。

3.喷射灌浆

根据设计的喷射方法与技术要求，将水、气、浆送入喷射管，喷射 1~3min 待注入的浆液冒出后，按预定的速度自上而下边喷射边转动、摆动，逐渐提升到设计高度。

进行高压喷射灌浆的设备由凿空、供水、供气、供浆和喷灌等五大系统组成。

4.施工要点

第一，管路、旋转活接头和喷嘴必须拧紧，达到安全密封；高压水泥浆液、高压水和压缩空气各管路系统均应不堵不漏不串。设备系统安装后，必须经过运行试验，试验压力达到工作压力的 1.5~2.0 倍。

第二，旋喷管进入预定深度后，应先进行试喷，待达到预定压力、流量后，再提升旋喷。中途发生故障，应立即停止提升和旋喷，以防止桩体中断，同时进行检查，排除故障。发现浆液喷射不足，影响桩体质量时，应进行复喷。施工中应做好详细记录。旋喷水泥浆应严格过滤，防止水泥结块和杂物堵塞喷嘴及管路。

第三，旋喷结束后要进行压力注浆，以补填桩柱凝结收缩后产生的顶部空穴。每次施工完毕后，必须立即用清水冲洗旋喷机具和管路，检查磨损情况，如有损坏零部件应及时更换。

（六）旋喷桩的质量检查

旋喷桩的质量检查通常采取钻孔取样、贯入试验、荷载试验或开挖检查等方法。对于防渗的连锁桩、定喷桩，应进行渗透试验。

第四节 灌注桩工程

灌注桩是先用机械或人工成孔，再下钢筋笼后灌注混凝土形成的基桩。其主要作用是提高地基承载力、侧向支撑等。

灌注桩根据其承载性状可分为摩擦型桩、端承摩擦桩、端承型桩及摩擦端承桩；根据其使用功能分为竖向抗压桩、竖向抗拔桩、水平受荷桩、复合受荷桩；根据其成孔形式主要分为冲击成孔灌注桩、冲抓成孔灌注桩、回转钻成孔灌注桩、潜水钻成孔灌注桩和人工挖扩成孔灌注桩。

一、灌注桩的适应地层

第一，冲击成孔灌注桩：适用于黄土、黏性土或粉质黏土和人工杂填土层中应用，特别适合于有孤石的沙砾石层、漂石层、坚硬土层、岩层，对流沙层亦可克服，但对淤泥及淤泥质土，则应慎重使用。

第二，冲抓成孔灌注桩：适用于一般较松软黏土、粉质黏土、沙土、沙砾层及软质岩层。

第三，回转钻成孔灌注桩：适用于地下水位较高的软、硬土层，如淤泥、黏性土、沙土、软质岩层。

第四，潜水钻成孔灌注桩：适用于地下水位较高的软、硬土层，如淤泥、淤泥质土、黏土、粉质黏土、沙土、沙夹卵石及风化页岩层，不得用于漂石。

第五，人工扩挖成孔灌注桩：适用于地下水位较低的软、硬土层，如淤泥、淤泥质土、黏土、粉质黏土、沙土、沙夹卵石及风化页岩层。

二、桩型的选择

桩型与工艺选择应根据建筑结构类型、荷载性质、桩的使用功能、穿越土层、桩端持力层土类、地下水位、施工设备、施工环境、施工经验、制桩材料供应条件等，选择经济合理、安全适用的桩型和成桩工艺。排列基桩时，宜使桩群承载力合力点与长期荷载重心重合，并使桩基受水平力和力矩较大方向有较大的截面模量。

三、设计原则

桩基采用以概率理论为基础的极限状态设计法，以可靠指标度量桩基的可靠度，采用以分项系数表达的极限状态设计表达式进行计算。按两类极限状态进行设计，即承载能力极限状态和正常使用极限状态。

（一）设计等级

根据建筑规模、功能特征、对差异变形的适应性、场地地基和建筑物体型的复杂性，以及由于桩基问题可能造成建筑破坏或影响正常使用的程度，应将桩基设计分为三个设计等级。

甲级：重要的建筑；30层以上或高度超过100m的高层建筑；体型复杂且层数相差超过10层的高低层（含纯地下室）连体建筑；20层以上框架-核心筒结构及其他对差异沉降有特殊要求的建筑；场地和地基条件复杂的7层以上的一般建筑及坡地、岸边建筑；对相邻既有工程影响较大的建筑。

乙级：除甲级、丙级外的建筑。

丙级：场地和地基条件简单、荷载分布均匀的7层及7层以下的一般建筑。

（二）桩基承载力计算

应根据桩基的使用功能和受力特征分别进行桩基的竖向承载力计算和水平承载力计算；应对桩身和承台结构承载力进行计算；对于桩侧土不排水抗剪强度小于10kPa，且长径比大于50的桩应进行桩身压屈验算；对于混凝土预制桩应按吊装、运输和锤击作用进行桩身承载力验算；对于钢管桩应进行局部压屈验算；当桩端平面以下存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层承载力验算；对位于坡地、岸边的桩基应进行整体稳定性验算；对于抗浮、抗拔桩基，应进行基桩和群桩的抗拔承载力计算；对于抗震设防区的桩基应进行抗震承载力验算。

（三）桩基沉降计算

设计等级为甲级的非嵌岩桩和非深厚坚硬持力层的建筑桩基；设计等级为乙级的体型复杂、荷载分布显得不均匀或桩端平面以下存在软弱土层的建筑桩基；软土地基多层建筑减沉复合疏桩基础。

四、灌注桩设计

（一）桩体

第一，配筋率：当桩身直径为300~2000mm时，正截面配筋率可取0.65%~0.2%（小直径桩取高值）；对受荷载特别大的桩、抗拔桩和嵌岩端承桩应根据计算确定配筋率，并不应小于上述规定值。

第二，配筋长度：1.端承型桩和位于坡地岸边的基桩应沿桩身等截面或变截面通长配筋；2.桩径大于600mm的摩擦型桩配筋长度不应小于2/3桩长；3.对于受地震作用的基桩，桩身配筋长度应穿过可液化土层和软弱土层，进入稳定土层的深度不应小

于相关规定的深度；4.受负摩阻力的桩、因先成桩后开挖基坑而随地基土回弹的桩，其配筋长度应穿过软弱土层并进入稳定土层，进入的深度不应小于2~3倍桩身直径；5.专用抗拔桩及因地震作用、冻胀或膨胀力作用而受拔力的桩，应等截面或变截面通长配筋。

第三，对于受水平荷载的桩，主筋不应小于 $8\phi 12$ ；对于抗压桩和抗拔桩，主筋不应少于 $6\phi 10$ 。纵向主筋应沿桩身周边均匀布置，其净距不应小于60mm。

第四，箍筋应采用螺旋式，直径不应小于6mm，间距宜为200~300mm；受水平荷载较大桩基、承受水平地震作用的桩基，以及考虑主筋作用计算桩身受压承载力时，桩顶以下5d范围内的箍筋应加密，间距不应大于100mm；当桩身位于液化土层范围内时箍筋应加密；当考虑箍筋受力作用时，箍筋配置应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）的有关规定；当钢筋笼长度超过4m时，应每隔2m设一道直径不小于12mm的焊接加劲箍筋。

第五，桩身混凝土及混凝土保护层厚度应符合下列要求：1.桩身混凝土强度等级不得小于C25，混凝土预制桩尖强度等级不得小于C30；2.灌注桩主筋的混凝土保护层厚度不应小于35mm，水下灌注桩的主筋混凝土保护层厚度不得小于50mm。

（二）承台

第一，桩基承台的构造，应满足抗冲切、抗剪切、抗弯承载力和上部结构要求，尚应符合：独立柱下桩基承台的最小宽度不应小于500mm，边桩中心至承台边缘的距离不应小于桩的直径或边长，且桩的外边缘至承台边缘的距离不应小于150mm。对于墙下条形承台梁，桩的外边缘至承台梁边缘的距离不应小于75mm。承台的最小厚度不应小于300mm。

第二，桩与承台的连接构造应符合下列规定：1.桩嵌入承台内的长度对中等直径桩不宜小于50mm；对大直径桩不宜小于100mm。2.混凝土桩的桩顶纵向主筋应锚入承台内，其锚入长度不宜小于35倍纵向主筋直径。3.对于抗拔桩，桩顶纵向主筋的锚固长度应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB50010—2010）确定。4.对于大直径灌注桩，当采用一柱一桩时可设置承台或将桩与柱直接连接。

第三，承台与承台之间的连接构造应符合下列规定：1.一柱一桩时，应在桩顶两个主轴方向上设置联系梁。当桩与柱的截面直径之比大于2时，可不设联系梁。2.两桩桩基的承台，应在其短向设置联系梁。3.有抗震设防要求的柱下桩基承台，宜沿两个主轴方向设置联系梁。4.联系梁顶面宜与承台顶面位于同一标高。联系梁宽度不宜

小于 250 mm, 其高度可取承台中心距的 $1/10 \sim 1/15$, 且不宜小于 400 mm。⑤联系梁配筋应按计算确定, 梁上下部配筋不宜小于 2 根直径 12 mm 钢筋; 位于同一轴线上的联系梁纵筋宜通长配置。

第四, 柱与承台的连接构造应符合下列规定: 1. 对于一柱一桩基础, 柱与桩直接连接时, 柱纵向主筋锚入桩身内长度不应小于 35 倍纵向主筋直径。2. 对于多桩承台, 柱纵向主筋应锚入承台不应小于 35 倍纵向主筋直径; 当承台高度不满足锚固要求时, 竖向锚固长度不应小于 20 倍纵向主筋直径, 并向柱轴线方向呈 90° 弯折。3. 当有抗震设防要求时, 对于一、二级抗震等级的柱, 纵向主筋锚固长度应乘以 1.15 的系数; 对于三级抗震等级的柱, 纵向主筋锚固长度应乘以 1.05 的系数。

五、施工前的准备工作

(一) 施工现场

施工前应根据施工地点的水文、工程地质条件及机具、设备、动力、材料、运输等情况, 布置施工现场。

第一, 场地为旱地时, 应平整场地、清除杂物、换除软土、夯打密实。钻机底座应布置在坚实的填土上。

第二, 场地为陡坡时, 可用木排架或枕木搭设工作平台。平台应牢固可靠, 保证施工顺利进行。

第三, 场地为浅水时, 可采用筑岛法, 岛顶平面应高出水面 $1 \sim 2\text{m}$ 。

第四, 场地为深水时, 根据水深、流速、水位涨落、水底地层等情况, 采用固定式平台或浮动式钻探船。

(二) 灌注桩的试验(试桩)

灌注桩正式施工前, 应先打试桩。试验内容包括荷载试验和工艺试验。

第一, 试验目的。选择合理的施工方法、施工工艺和机具设备; 验证桩的设计参数, 如桩径和桩长等; 鉴定或确定桩的承载能力和成桩质量能否满足设计要求。

第二, 试桩施工方法。试桩所用的设备与方法, 应与实际成孔成桩所用者相同; 一般可用基桩做试验或选择有代表性的地层或预计钻进困难的地层进行成孔、成桩等工序的试验, 着重查明地质情况, 判定成孔、成桩工艺方法是否适宜; 试桩的材料与截面、长度必须与设计相同。

第三, 试桩数目。工艺性试桩的数目根据施工具体情况决定; 力学性试桩的数目, 一般不少于实际基桩总数的 3%, 且不少于 2 根。

第四，荷载试验。灌注桩的荷载试验，一般应做垂直静载试验和水平静载试验。垂直静载试验的目的是测定桩的垂直极限承载力，测定各土层的桩侧极摩擦阻力和桩底反力，并查明桩的沉降情况。试验加载装置，一般采用油压千斤顶。千斤顶的加载反力装置可根据现场实际条件而定。一般均采用锚桩横梁反力装置。加载与沉降的测量与试验资料整理，可参照有关规定。水平静载试验的目的是确定桩的允许水平荷载作用下的桩头变位（水平位移和转角），一般只有在设计要求时才进行。加载方式、方法、设备、试验资料的观测、记录整理等，参照有关规定。

（三）编制施工流程图

为确保钻孔灌注桩施工质量，使施工按规定程序有序地进行作业，应编制钻孔灌注桩施工流程图。

（四）测量放样

根据建设单位提供的测量基线和水准点，由专业测量人员制作施工平面控制网。采用极坐标法对每根桩孔进行放样。为保证放样准确无误，对每根桩必须进行三次定位：第一次定位挖、埋设护筒；第二次校正护筒；第三次在护筒上用十字交叉法定出桩位。

（五）埋设护筒

埋设护筒应准确稳定。护筒内径一般应比钻头直径稍大。用冲击或冲抓方法时，大约 20cm；用回转法者，大约 10cm。护筒一般有木质、钢质与钢筋混凝土三种材质。

护筒周围用黏土回填并夯实。当地基回填土松散、孔口易坍塌时，应扩大护筒坑的挖掘直径或在护筒周围填砂浆混凝土。护筒埋设深度一般为 1~1.5m；对于坍塌较深的桩孔，应增加护筒埋设深度。

（六）制备泥浆

制浆用黏土的质量要求、泥浆搅拌和泥浆性能指标等，均应符合有关规定。泥浆主要性能指标：比重 1.1~1.15，黏度 10~25s，含沙率小于 6%，胶体率大于 95%，失水量小于 30 mL/min，pH7~9。

泥浆的循环系统主要包括制浆池、泥浆池、沉淀池和循环槽等。开动钻机较多时，一般集中制浆与供浆。用抽浆泵通过主浆管和软管向各孔桩供浆。

泥浆的排浆系统由主排浆沟、支排浆沟和泥浆沉淀池组成。沉淀池内的泥浆采用泥浆净化机净化后，由泥浆泵抽回泥浆池，以便再次利用。

废弃的泥浆与渣应按环境保护的有关规定进行处理。

六、造孔

（一）造孔方法

钻孔灌注桩造孔常用的方法有冲击钻进法、冲抓钻进法、冲击反循环钻进法、泵吸反循环钻进法、正循环回转钻进法等，可根据具体的情况进行选用。

（二）造孔

施工平台应铺设枕木和台板，安装钻机应保持稳固、周正、水平。开钻前提钻具，校正孔位。造孔时，钻具对准测放的中心开孔钻进。施工中应经常检测孔径、孔形和孔斜，严格控制钻孔质量。出渣时，及时补给泥浆，保证钻孔内浆液面的泥浆稳定，防止塌孔。

根据地质勘探资料、钻进速度、钻具磨损程度及抽筒排出的钻渣等情况，判断换层孔深。如钻孔进入基岩，立即用样管取样。经现场地质人员鉴定，确定终孔深度。终孔验收时，桩位孔口偏差不得大于 5cm，桩身垂直度偏斜应小于 1%。当上述指标达到规定要求时，才能进入下一道工序施工。

（三）清孔

1.清孔的目的

清孔的目的是抽、换孔内泥浆，清除孔内钻渣，尽量减少孔底沉淀层厚度，防止桩底存留过厚沉淀沙土而降低桩的承载力，确保灌注混凝土的质量。

终孔检查后，应立即清孔。清孔时应不断置换泥浆，直至灌注水下混凝土。

2.清孔的质量要求

清孔的质量要求是应清除孔底所有的沉淀沙土。当技术上确有困难时，允许残留少量不成浆状的松土，其数量应按合同文件的规定。清孔后灌注混凝土前，孔底 500 mm 以内的泥浆性能指标：含沙率为 8%。比重应小于 1.25，漏斗黏度不大于 28s。

3.清孔方法

根据设计要求、钻进方法、钻具和土质条件决定清孔方法。常用的清孔方法有正循环清孔、泵吸反循环清孔、空压机清孔和掏渣清孔等。

正循环清孔，适用于淤泥层、沙土层和基岩施工的桩孔。孔径一般小于 800 mm。其方法是在终孔后，将钻头提离孔底 10~20 cm 空转，并保持泥浆正常循环。输入比重为 1.10~1.25 的较纯的新泥浆循环，把钻孔内悬浮钻渣较多的泥浆换出。根据孔内情况，清孔时间一般为 4~6h。

泵吸反循环清孔，适用于孔径 600~1500 mm 及更大的桩孔。清孔时，在终孔后

停止回转，将钻具提离孔底 10~20 cm，反循环持续到满足清孔要求为止。清孔时间一般为 8~15min。

空压机清孔，其原理与空压机抽水洗井的原理相同，适用于各种孔径、深度大于 10m 各种钻进方法的桩孔。一般是在钢筋笼下入孔内后，将安有进气管的导管吊入孔中。导管下入深度距沉渣面 30~40 cm。由于桩孔不深，混合器可以下到接近孔底以增加沉没深度。清孔开始时，应向孔内补水。清孔停止时，应先关风后断水，防止水头损失而造成塌孔。送风量由小到大，风压一般为 0.5~0.7 MPa。

掏渣清孔，干钻施工的桩孔，不得用循环液清除孔内虚土，应采用掏渣等或加碎石夯实的办法。

七、钢筋笼制作与安装

（一）一般要求

第一，钢筋的种类、钢号、直径应符合设计要求。钢筋的材质应进行物理力学性能或化学成分的分析试验。

第二，制作前应除锈、调直（螺旋筋除外）。主筋应尽量用整根钢筋。焊接的钢材，应做可焊性和焊接质量的试验。

第三，当钢筋笼全长超过 10m 时，宜分段制作。分段后的主筋接头应互相错开，同一截面内的接头数目不多于主筋总根数的 50%，两个接头的间距应大于 50 cm。接头可搭接、绑条或坡口焊接。加强筋与主筋间采用点焊连接，箍筋与主筋间采用绑扎的方法。

（二）钢筋笼的制作

制作钢筋笼的设备与工具有电焊机、钢筋切割机、钢筋圈制作台和钢筋笼成型支架等。钢筋笼的制作程序如下：第一，根据设计，确定箍筋用料长度。将钢筋成批切割好备用。第二，钢筋笼主筋保护层厚度一般为 6~8cm。绑扎或焊接钢筋混凝土预制块，焊接环筋。环的直径不小于 10 mm，焊在主筋外侧。第三，制作好的钢筋笼在平整的地面上放置，应防止变形。第四，按图纸尺寸和焊接质量要求检查钢筋笼（内径应比导管接头外径大 100 mm 以上）。不合格者不得使用。

（三）钢筋笼的安装

钢筋笼安装用大型吊车起吊，对准桩孔中心放入孔内。如桩孔较深，钢筋笼应分段加工，在孔口处进行对接。采用单面焊缝焊接，焊缝应饱满，不得咬边夹渣。为了保证钢筋笼的垂直度，钢筋笼在孔口按桩位中心定位，使其悬吊在孔内。

下放钢筋笼应防止碰撞孔壁。如下放受阻，应查明原因，不得强行下插。一般正反旋转，缓慢逐步下放。安装完毕后，经有关人员钢筋笼的位置、垂直度、焊缝质量、箍筋点焊质量等全面进行检查验收，合格后才能下导管灌注混凝土。

八、混凝土的配置与灌注（一）一般规定

第一，桩身混凝土按条件养护 28d 后应达到下列要求。抗压强度达到相应标号的标准强度。

凝结密实，胶结良好，不得有蜂窝、空洞、裂缝、稀释、夹层和夹泥渣等不良现象。水泥砂浆与钢筋黏结良好，不得有脱黏露筋现象。

有特殊要求的混凝土或钢筋混凝土的其他性能指标，应达到设计要求。

第二，配制混凝土所用材料和配合比除应符合设计规定外，并应满足下列要求。

水泥除应符合国家标准外，其按标准方法规定的初凝时间不宜小于 3~4h。

桩身混凝土，容重一般为 2300~2400 kg/m³、水泥强度等级不低于 42.5、水泥用量不得少于 360kg/m³。

混凝土坍落度一般为 18~22cm。

粗骨料可选用卵石或碎石，最大粒径应小于 40mm，并不得大于导管的 1/6 和钢筋最小净距的 1/3，一般以 5~40mm 为宜。细骨料宜采用质地坚硬的天然中、粗沙。

为使混凝土有较好的和易性，混凝土含沙率宜为 40%~45%，并宜选用中、粗沙。水灰比应小于 0.5。

混凝土拌合用水，与水泥起化学作用的水达到水泥质量的 15%~20%即可。多余的水只起润滑作用，即搅成混凝土具有和易性。混凝土灌注完毕后，多余水逐渐蒸发，在混凝土中留下小气孔，气孔越多，强度越低，因此要控制用水量。洁净的天然水和自来水都可使用。

添加剂为改善水下混凝土的工艺性能，加速施工进度和节约水泥，可在混凝土中掺入添加剂。其种类、加入量按设计要求确定。

（二）水下混凝土灌注

灌注混凝土要严格按照有关规定进行施工。混凝土灌注分为干孔灌注和水下灌注，一般均采用导管灌注法。

混凝土灌注是钻孔灌注桩的重要工序，应予特别注意。钻孔应经过质量检验合格后，才能进行灌注工作。

第一，灌注导管。灌注导管用钢管制作，导管壁厚不宜小于 3mm，直径宜为 200~

300 mm，每节导管长度，导管下部第一根为 4000~6000 mm，导管中部为 1000~2000 mm，导管上部为 300~500 mm。密封形式采用橡胶圈或橡胶皮垫。适用桩径为 600~1500 mm。

第二，导管顶部应安装漏斗和贮料斗。漏斗安装高度应适应操作，在灌注到最后阶段时，能满足对导管内混凝土柱高度的需要，以保证上部桩身的灌注质量。混凝土柱的高度，一般在桩底低于桩孔中水面时，应比水面至少高出 2m。漏斗与贮料斗应有足够的容量来贮存混凝土，以保证首批灌入的混凝土量能达到 1~1.2m 的埋管高度。

第三，灌注顺序。灌注前，应再次测定孔底沉渣厚度。如厚度超过规定，应再次进行清孔。当下导管时，导管底部与孔底的距离以能放出隔水碱和混凝土为原则，一般为 30~50 cm。桩径小于 600 mm 时，可适当加大导管底部至孔底距离。

1.首批混凝土连续不断地灌注后，应有专人测量孔内混凝土面深度，并计算导管埋置深度，一般控制在 2~6m，不得小于 1m 或大于 6 m。严禁将导管提出混凝土面。应及时填写水下混凝土灌注记录。如发现导管内大量进水，应立即停止灌注，查明原因，处理后再灌注。

2.水下灌注必须连续进行，严禁中途停灌。灌注中，应注意观察管内混凝土下降和孔内水位变化情况，及时测量管内混凝土面升高高度和分段计算充盈系数（充盈系数应为 1.1~1.2），不得小于 1。

3.导管提升时，不得挂住钢筋笼，可设置防护三角形加筋板或设置锥形法兰护罩。

4.灌注将结束时，由于导管内混凝土柱高度减小，超压力降低，而导管外的泥浆及所含渣土稠度增加，比重增大，出现混凝土顶升困难时，可以小于 300 mm 的幅度上下串动导管，但不允许横向摆动，以确保灌注顺利进行。

5.终灌时，考虑到泥浆层的影响，实灌桩顶混凝土面应高于设计桩顶 0.5m 以上。

6.施工过程中，要协调混凝土配制、运输和灌注各道工序的合理配合，保证灌注连续作业和灌注质量。

九、灌注桩质量控制

混凝土灌注桩是一种深入地下的隐蔽工程，其质量不能直接进行外观检查。如果在上部工程完成后发现桩的质量问题，再想采取补救措施以消除隐患是非常困难的。所以在施工的全过程中，必须采取有效的质量控制措施，以确保灌注桩质量完全满足设计要求。灌注桩质量包括桩位、桩径、桩斜、桩长、桩底沉渣厚度、桩顶浮渣厚度、桩的结构、混凝土强度、钢筋笼，以及有否断桩夹泥、蜂窝、空洞、裂缝等内容。

（一）桩位控制

施工现场泥泞较多，桩位定好后，无法长期保存，护筒埋设以后尚需校正。为确保桩位质量，可采取精密测量方法，即用经纬仪定向，钢皮尺测距的办法定位。埋设护筒时，再次进行复测。采用焊制的坐标架校正护筒中心，使其同桩位中心保持一致。

（二）桩斜控制

埋设护筒采用护筒内径上下两端十字交叉法定心，通过两中心点，能确保护筒垂直。钻机就位后，钻杆中心悬垂线通过护筒上下两中心点，开孔定位即能确保准确、垂直。回转钻进时要匀速给进。当土层变硬时应轻压、慢给进、高转速；钻具跳动时，应轻压、低转速。必要时，采用加重块配合减压钻进。遇较大块石，可用冲抓锥处理。冲抓时提吊钢绳不能过度放松。及时测定孔斜，保证孔率小于 1%。发现孔斜过大时，立即采取纠斜措施。

（三）桩径控制

根据地层情况，合理选择钻头直径，对桩径控制有重要作用。在黏性土层中钻进，钻孔直径应比钻头直径大 5cm 左右。随着土层中含沙量的增加，孔径可比钻头直径大 10 cm。在沙层、沙卵石等松散地层，为防止坍塌掉块而造成超径现象，应合理使用泥浆。

（四）桩长控制

施工中对护筒口高程与各项设计高程都要搞清，正确进行换算。土层中钻进，锥形钻头的起始点要准确无误，根据不同土质情况进行调整。机具长度丈量要准确。冲击钻进或冲击反循环钻进要正确丈量钢绳长度，并考虑负重后的伸长值，发现错误应及时更正。

（五）桩底沉渣控制

土层、沙层或沙卵石层钻进，一般用泥浆换浆方法清孔。应合理选择泥浆性能指标，换浆时，返出钻孔的泥浆比重应小于 1.25。才能保持孔底清洁无沉渣。清孔确有困难时，孔底残留沉渣厚度，应按合同文件规定执行，防止沉渣过多而影响桩长和灌注混凝土质量。

（六）桩顶控制

灌注的混凝土，通过导管从钻孔底部排出，把孔底的沉渣冲起并填补其空间，随着灌注的继续，混凝土柱不断升高。沉渣比重较混凝土小，始终浮在最上面，会形成桩顶浮渣。浮渣的密实性较差，与混凝土有明显区别。当混凝土灌注至最后一斗时，

应准确探明浮渣厚度。计算调整末斗混凝土容量。灌注完以后再复查桩顶高度，达到设计要求时将导管拆除，否则应补料。

（七）混凝土强度控制

根据设计配合比，进行混凝土试配，快速保养检测，对混凝土配合比设计进行必要的调整。严格按规范把好水泥、沙、石的质量关，有质量保证书的也要进行核对。

灌注过程中，经常观察分析混凝土配合比，及时测试坍落度。为节约水泥可加入适量的添加剂，减少加水量，提高混凝土强度。

按规定试块，应在拌合机出料口取样，保证取样质量。

（八）桩身结构控制

制作钢筋笼不能超过规范允许的误差，包括主筋的搭接方式、长度。定心块是控制保护层厚度的主要措施，不能省略。钢筋笼的全部数据都应按隐蔽工程进行验收、记录。钢筋笼底应制成锥形，底面用环筋封端，以便顺利下放。起吊部位可增焊环筋，提高强度。起吊钢绳应放长。以减少两绳夹角，防止钢盘笼起吊进变形。确保导管密封良好，灌注时串动导管进提高不能过多，防止夹泥、断桩等质量事故发生。如发生这些事故，应将导管全部提出，处理好以后再下入孔内。

（九）原材料控制

第一，对每批进场的钢筋应严格检查其材质证明文件，抽样复核钢筋的机械性能，各项性能指标均符合设计要求才能使用。

第二，认真检查每批进场的水理标号、出厂日期和出厂实验报告。使用前，对出厂水泥、沙、石的性能进行复核，并出水下混凝土试验。严禁使用不合格或过期硬化水泥。

十、工程质量检查验收

工程施工结束后，应按《建筑地基基础工程施工质量验收标准》（GB 50202—2018）有关规定，对桩基工程验收应提交的图纸、资料进行绘制、整理、汇总及施工质量的自检评价工作。同时会同建设、设计和监理单位，根据现场施工情况、施工记录与混凝土试块抗压强度报告表，选定适量的单桩若干根，委托建筑工程质量检测中心进行单桩垂直静载试验检查和桩基动测试验检查，评价桩的承载力和混凝土强度是否满足设计要求。

第五章 水闸和渠系建筑物施工

第一节 水闸施工技术

渠系建筑物布置应符合所在渠道总体设计、水土保持和环境保护等方面的要求，选线时要搜集和分析基本资料，进行必要的勘测和科学试验，积极采用新结构、新技术、新材料、新工艺、新方法。本章将对水闸和渠系建筑物施工的相关内容展开分析。

一、水闸主体结构的施工技术

水闸主体结构施工主要包括闸身上部结构预制构件的安装以及闸底板、闸墩、止水设施和门槽等方面的施工内容。

为了尽量减少不同部位混凝土浇筑时的相互干扰，在安排混凝土浇筑施工次序时，可从以下几个方面考虑：

先深后浅。先浇深基础，后浇浅基础，以避免浅基础混凝土产生裂缝。

先重后轻。荷重较大的部位优先浇筑，待其完成部分沉陷后，再浇相邻荷重较小的部位，以减少两者之间的不均匀沉陷。

先主后次。优先浇筑上部结构复杂、工种多、工序时间长、对工程整体影响大的部位或浇筑块。

穿插进行。在优先安排主要关键项目、部位的前提下，见缝插针，穿插安排一些次要、零星的浇筑项目或部位。

（一）底板施工

水闸底板有平底板与反拱底板两种，平底板为常用底板。这两种闸底板虽都是混凝土浇筑，但施工方法不一样，下面分别予以介绍。

1. 平底板的施工

（1）浇注块划分

混凝土水闸常由沉降缝和温度缝分为许多结构块，施工时应尽量利用结构缝分块。当永久缝间距很大，所划分浇筑块面积太大，以致混凝土拌和运输能力或浇筑能力满足不了需要时，则可设置一些施工缝，将浇筑块面积划小些。浇注块的大小，可根据

施工条件，在体积、面积及高度三个方面进行控制。

(2) 混凝土浇筑

闸室地基处理后，软基上多先铺筑素混凝土垫层 8~10cm，以保护地基，找平基面。浇筑前先进行扎筋、立模、搭设舱面脚手架和清仓等工作。

浇筑底板时，运送混凝土入仓的方法很多。可以用载重汽车装载立罐通过履带式起重机吊运入仓，也可以用自卸汽车通过卧罐、履带式起重机入仓。采用上述两种方法时，都不需要在舱面搭设脚手架。

一般中小型水闸采用手推车或机动翻斗车等运输工具运送混凝土入仓，且需在舱面设脚手架。

水闸平板的混凝土浇筑，一般采用平层浇筑法。但当底板厚度不大，拌和站的生产能力受到限制时，可采用斜层浇筑法。

底板混凝土的浇筑，一般先浇上、下游齿墙，然后再从一端向另一端浇筑。当底板混凝土方量较大，且底板顺水流长度在 12m 以内时，可安排两个作业组分层浇筑。

钢筋混凝土底板，往往有上下两层钢筋。在进料口处，上层钢筋易被砸变形。故开始浇筑混凝土时，该处上层钢筋可暂不绑扎，待混凝土浇筑面将要到达上层钢筋位置时，再进行绑扎，以免因矫正钢筋变形而延误浇筑时间。

2. 反拱底板的施工

(1) 施工程序

由于反拱底板对地基的不均匀沉陷反应敏感，因此必须注意施工程序。目前采用有下述两种方法。

① 先浇筑闸墩及岸墙，后浇反拱底板。

为减少水闸各部分在自重作用下产生不均匀沉陷，造成底板开裂破坏，应尽量将自重较大的闸墩、岸墙先浇筑到顶（以基底不产生塑性为限）。接缝钢筋应预埋在墩墙底板中，以备今后浇入反拱底板内。岸墙应及早夯填到顶，使闸墩岸墙地基预压沉实。此法目前采用较多，对于黏性土或砂性土均可采用。

② 反拱底板与闸墩岸墙底板同时浇筑。此法适用于地基较好的水闸，虽然对反拱底板的受力状态较为不利，但其保证了建筑的整体性，同时减少了施工工序，便于施工安排。对于缺少有效排水措施的砂性土地基，采用此法较为有利。

(2) 施工要点

① 由于反拱底板采用土模，因此必须做好基坑排水工作。尤其是沙土地基，不做

好排水工作，土模控制将很困难。

②挖模前将基土夯实，再按设计要求放样开挖，土模挖好后，在其上先铺一层约10Cm厚的砂浆，具有一定强度后加盖保护，以待浇筑混凝土。

③采用第一种施工程序，在浇筑岸、墩墙底板时，应将接缝钢筋一头埋在岸、墩墙底板之内，另一头插入土模中，以备下一阶段浇入反拱底板。岸、墩墙浇筑完毕后，应尽量推迟底板的浇筑，以便岸、墩墙基础有更多的时间夯实。反拱底板尽量在低温季节浇筑，以减小温度应力，闸墩底板与反拱底板的接缝按施工缝处理，以保证其整体性。

④当采用第二种施工程序时，为了减少不均匀沉降对整体浇筑的反拱底板的不利影响，可在拱脚处预留一缝，缝底设临时铁皮止水，缝顶设“假铰”，待大部分上部结构荷载施加以后，便在低温期用二期混凝土封堵。

⑤为了保证反拱底板的受力性能，在拱腔内浇筑的门槛、消力坎等构件，需在底板混凝土凝固后浇筑二期混凝土，且不应使两者成为一个整体。

（二）闸墩施工

由于闸墩高度大、厚度小，门槽处钢筋较密，闸墩位置要求严格，所以闸墩的立模与混凝土浇筑是施工中的主要难点。

1. 闸墩模板安装

为使闸墩混凝土一次浇筑达到设计高程，闸墩模板不仅要有足够的强度，而且要有足够的刚度。所以闸墩模板安装以往采用“铁板螺栓、对拉撑木”的立模支撑方法。

此法虽需耗用大量木材（对于木模板而言）和钢材，工序繁多，但对中小型水闸施工较为方便。有条件的施工单位，在闸墩混凝土浇筑中逐渐采用翻模施工方法。

（1）“铁板螺栓、对拉撑木”的模板安装

立模前，应准备好固定模板的对销螺栓及空心钢管等。常用的对销螺栓有两种形式：一种是两端都车螺纹的圆钢；另一种是一端带螺纹另一端焊接上一块5mm×40mm×400mm的扁铁的螺栓，扁铁上钻两个圆孔，以便将其固定在对拉撑木上。空心圆管可用长度等于闸墩厚度的毛竹或混凝土空心撑头。

闸墩立模时，其两侧模板要同时相对进行。先立平直模板，后立墩头模板。在闸底板上架立第一层模板时，必须保持模板上口水平。在闸墩两侧模板上，每隔1m左右钻与螺栓直径相应的圆孔，并于模板内侧对准圆孔撑以毛竹或混凝土撑头，然后将螺栓穿入，且两头穿出横向围圈和竖向围圈，然后用螺帽固定在竖向围圈上。铁板螺

栓带扁铁的一端与水平拉撑木相接，与两端均车螺丝的螺栓相间布置。

(2) 翻模施工

翻模施工法立模时一次至少立三层，当第二层模板内混凝土浇至腰箍下缘时，第一层模板内腰箍以下部分的混凝土须达到脱模强度，这样便可拆掉第一层，去架立第二层模板，并绑扎钢筋。依次类推，保持混凝土浇筑的连续性，以避免产生冷缝。

2.混凝土浇筑

闸墩模板立好后，随即进行清仓工作。清仓用高压水冲洗模板内侧和闸墩底面，污水则由底层模板的预留孔排出，清仓完毕堵塞小孔后，即可进行混凝土浇筑。闸墩混凝土浇筑，主要是解决好两个问题，一是每块底板上闸墩混凝土的均衡上升；二是流态混凝土的入仓方式及仓内混凝土的铺筑方法。

当落差大于 2m 时，为防止流态混凝土下落产生离析，应在仓内设置溜管，可每隔 2~3m 设置一组。仓内可把浇筑面分划成几个区段，分段进行浇筑，每坯混凝土厚度可控制在 30cm 左右。

(三) 止水设施的施工

为了适应地基的不均匀沉降和伸缩变形，在水闸设计中均设置温度缝与沉陷缝，并常用沉陷缝代替温度缝作用。缝有铅直和水平的两种，缝宽一般为 1.0~2.5cm。缝中填料及止水设施，在施工中应按设计要求确保质量。

1.沉陷缝填料的施工

沉陷缝的填充材料，常用的有沥青油毛毡、沥青杉木板及泡沫板等。填料的安装有两种方法。

一种是先将填料用铁钉固定在模板内侧后，再浇混凝土，拆模后填料即粘在混凝土面上，然后再浇另一侧混凝土，填料即牢固地嵌入沉降缝内。如果沉陷缝两侧的结构需要同时浇灌，则沉陷缝的填充材料在安装时要竖立平直，浇筑时沉陷缝两侧流态混凝土的上升高度要一致。

另一种是先在缝的一侧立模浇混凝土，并在模板内侧预先钉好安装填充材料的长铁钉数排，并使铁钉的 1/3 留在混凝土外面，然后安装填料，敲弯铁尖，使填料固定在混凝土面上，再立另一侧模板和浇混凝土。

2.止水的施工

凡是位于防渗范围内的缝，都有止水设施，止水包括水平止水和垂直止水，常用的有止水片和止水带。

(1) 水平止水

水平止水大都采用塑料止水带，其安装与沉陷缝安装方法一样。

(2) 垂直止水

止水部分的金属片，重要部分用浆铜片，一般用铝片、镀锌铁皮或镀铜铁皮等。

对于需灌注沥青的结构形式，可按照沥青井的形状预制混凝土槽板，每节长度可为 0.3~0.5m，与流态混凝土的接触面应凿毛。安装时需涂抹水泥砂浆，随缝的上升分段接高。沥青并可一次灌注，也可分段灌注。止水片接头要进行焊接。

(3) 接缝交叉的处理

止水交叉有两类：一是铅直交叉（指垂直缝与水平缝的交叉），二是水平交叉（指水平缝与水平缝的交叉）。交叉处止水片的连接方式也可分为两种：一种是柔性连接，即将金属止水片的接头部分埋在沥青块体中；另一种是刚性连接，即将金属止水片剪裁后焊接成整体。在实际工程中可根据交叉类型及施工条件决定连接方法，铅直交叉常用柔性连接，而水平交叉则多用刚性连接。

(四) 门槽二期混凝土施工

采用平面闸门的中小型水闸，在闸墩部位都设有门槽。为了减小闸门的启闭力及闸门封水，门槽部分的混凝土中埋有导轨等铁件，如滑动导轨、主轮、侧轮及反轮导轨、止水座等。这些铁件的埋设可采取预埋及留槽后浇混凝土两种方法。小型水闸的导轨铁件较小，可在闸墩立模时将其预先固定在模板的内侧。闸墩混凝土浇筑时，导轨等铁件即浇入混凝土中。由于大、中型水闸导轨较大、较重，在模板上固定较为困难，宜采用预留槽后，浇二期混凝土的施工方法。

1. 门槽垂直度控制

门槽及导轨必须铅直无误，所以在立模及浇筑过程中应随时用吊锤校正。校正时，可在门槽模板顶端内侧钉一根大铁钉（钉入 2/3 长度），然后把吊锤系在铁钉端部，待吊锤静止后，用钢尺量取上部与下部吊锤线到模板内侧的距离，如相等则该模板垂直，否则按照偏斜方向予以调整。

2. 门槽二期混凝土浇筑

在闸墩立模时，于门槽部位留出较门槽尺寸大的凹槽。闸墩浇筑时，预先将导轨基础螺栓按设计要求固定于凹槽的侧壁及正壁模板，模板拆除后基础螺栓即埋入混凝土中。

导轨安装前，要对基础螺栓进行校正，安装过程中必须随时用垂球进行校正，使

其铅直无误，导轨就位后即可立模浇筑二期混凝土。

闸门底槛设在闸底板上，在施工初期浇筑底板时，若铁件不能完成，可在闸底板上留槽以后浇二期混凝土。

浇筑二期混凝土时，应采用较细骨料混凝土，并细心捣实，不要振动已装好的金属构件。门槽较高时，不要直接从高处下料，可以分段安装和浇筑。二期混凝土拆模后，应对埋件进行复测，并做好记录，同时检查混凝土表面尺寸，清除遗留杂物、钢筋头，以免影响闸门启闭。

3. 弧形闸门的导轨安装及二期混凝土浇筑

弧形闸门的启闭绕水平轴转动，转动轨迹由支臂控制，所以不设门槽，但为了减小启闭门力，在闸门两侧亦设置转轮或滑块，因此也有导轨的安装及二期混凝土施工。

为了便于导轨安装，在浇筑闸墩时，根据导轨的设计位置预留 20cm×80cm 的凹槽，槽内埋设两排钢筋，以使用焊接方法固定导轨。安装前应对预埋钢筋进行校正，并在预留槽两侧，设立垂直闸墩侧面并能控制导轨安装在直度的若干对称控制点。安装时，先将校正好的导轨分段与预埋的钢筋临时点焊接数点。待按设计坐标位置逐一校正无误，并根据垂直平面控制点，用样尺检验调整导轨垂直度后，再电焊牢固，最后浇筑二期混凝土。

二、闸门的安装方法

闸门是水工建筑物的孔口上用来调节流量，控制上下游水位的活动结构，它是水工建筑物的一个重要组成部分。

闸门主要由三部分组成：主体活动部分，用以封闭或开放孔口，通称闸门或门叶；埋固部分，是预埋在闸墩、底板和胸墙内的固定件，如支承行走埋设件、止水埋设件和护砌埋设件等；启闭设备，包括连接闸门和启闭机的螺杆或钢丝绳索和启闭机等。

闸门按其结构形式可分为平面闸门、弧形闸门及人字闸门三种。闸门按门体的材料可分为钢闸门。钢筋混凝土或钢丝水泥闸门，木闸门及铸铁闸门等。

所谓闸门安装是将闸门及其埋件装配，安置在设计部位。由于闸门结构的不同，各种闸门的安装，如平面闸门安装、弧形闸门安装、人字闸门安装等、略有差异，但一般可分为埋件安装和门叶安装两部分。

（一）平面闸门安装

主要介绍平面钢闸门的安装。

平面钢闸门的闸门主要由面板、梁格系统、支承行走部件、止水装置和吊具等组

成。

1.埋件安装

闸门的埋件是指埋设在混凝土内的门槽固定构件。包括底槛、主轨、侧轨、反轨和门棚等。安装顺序一般是设置控制点线，清理，校正预埋螺栓，吊入底槛并调整其中心、高程、里程和水平度，经调整，加固、检查合格后，浇筑底槛二期混凝土。设置主、反、侧轨安装控制点，吊装主轨、侧轨、反轨和门相并调整各部件的高程、中心、里程、垂直度及相对尺寸，经调整、加固、检查合格，分段浇筑二期混凝土。二期混凝土拆模后，复测埋件的安装精度和二期混凝土槽的断面尺寸，超出允许误差的部位进行处理，以防闸门关闭不严，出现漏水或启闭时出现卡阻现象。

2.门叶安装

如门叶尺寸小，则在工厂制成整体运至现场，经复测检查合格，装上止水橡皮等附件后，直接吊入门槽。如门叶尺寸大，由工厂分节制造，运到工地后，在现场组装。

(1) 闸门组装

组装时，要严格控制门叶的平直性和各部件的相对尺寸，分节门叶的节间联结通常采用焊接、螺栓联结、销轴联结三种方式。

(2) 闸门吊装

分节门叶的节间如果是螺栓和销轴联结的闸门，若起吊能力不够，在吊装时需将已组成的门叶拆开，分节吊入门槽，在槽内再联结成整体。

3.闸门启闭试验

闸门安装完毕后，需做全行程启闭试验，要求门叶启闭灵活无卡阻现象，闸门关闭严密，漏水量不超过允许值。

(二) 弧形闸门安装

弧形闸门由弧形面板、梁系和支臂组成。弧形闸门的安装，根据其安装高低位置不同，分为露顶式弧形闸门安装和潜孔式闸门安装。

1.露顶式弧形闸门安装。

露顶式弧形闸门包括底槛、侧止水座板、侧轮导板、铰座和门体。安装顺序：

(1) 在二期混凝土浇筑时预埋铰座基础螺栓，为保证铰座的基础螺栓安装准确，可用钢板或型钢将每个铰座的基础螺栓组焊在一起，进行整体安装、调整、固定。

(2) 埋件安装，先在闸孔混凝土底板和闸墩边墙上放出各埋件的位置控制点，接着安装底槛、侧止水导板、侧轮导板和铰座，并浇筑二期混凝土。

(3) 门体安装, 有分件安装和整体安装两种方法。分件安装是先将铰链吊起, 插入铰座, 于空间穿轴, 再吊支臂用螺栓与铰链连接; 也可先将铰链和支臂组成整体, 再吊起插入铰座进行穿轴; 若起吊能力许可, 可在地面穿轴后, 再整体吊入。2 个直臂装好后, 将其调至同一高程, 再将面板分块装于支臂上, 调整合格后, 进行面板焊接和将支臂端部与面板相连的连接板焊好。门体装完后起落 2 次, 使其处于自由状态, 然后安装侧止水橡皮, 补刷油漆, 最后再启闭弧门检查有无卡阻和止水不严现象。整体安装是在闸室附近搭设的组装平台上进行, 将 2 个已分别与铰链连接的支臂按设计尺寸用撑杆连成一体, 再于支臂上逐个吊装面板, 将整个面板焊好, 经全面检查合格, 拆下面板, 将 2 个支臂整体运入闸室, 吊起插入铰座, 进行穿轴, 而后吊装面板。此法一次起吊重量大, 2 个支臂组装时, 其中心距要严格控制, 否则会给穿轴带来困难。

2. 潜孔式弧形闸门安装

设置在深孔和隧洞内的潜孔式弧形闸门, 顶部有混凝土顶板和顶止水, 其埋件除与露顶式相同的部分外, 一般还有铰座钢梁和顶门楣。安装顺序:

(1) 铰座钢梁宜和铰座组成整体, 吊入二期混凝土的预留槽中安装。

(2) 埋件安装。深孔弧形闸门是在闸室内安装, 故在浇筑闸室一期混凝土时, 就需将锚钩埋好。

(3) 门体安装方法与露顶式弧形闸门的基本相同, 可分体装, 也可整体装。门体装完后要起落数次, 根据实际情况, 调整顶门楣, 使弧形闸门在启闭过程中不发生卡阻现象, 同时门楣上的止水橡皮能和面板接触良好, 以免启闭过程中门叶顶部发生涌水现象。调整合格后, 浇筑顶门楣二期混凝土。

(4) 为防止闸室混凝土在流速高的情况下发生空蚀和冲蚀, 有的闸室内壁设钢板衬砌。钢衬可在二期混凝土时安装, 也可在一期混凝土时安装。

(三) 人字闸门安装

人字闸门由底枢装置、顶枢装置、支枕装置、止水装置和门叶组成。人字闸门分埋件和门叶两部分进行安装。

1. 埋件安装

包括底枢轴座、顶枢埋件、枕座、底槛和侧止水座板等。其安装顺序: 设置控制点, 校正预埋螺栓, 在底枢轴座预埋螺栓上加焊调节螺栓和垫板, 将埋件分别布置在不同位置, 根据已设的控制点进行调整, 符合要求后, 加固并浇筑二期混凝土。为保证底止水安装质量, 在门叶全部安装完毕后, 进行启闭试验时安装底槛, 安装时以门

叶实际位置为基准，并根据门叶关闭后止水橡皮的压缩程度适当调整底槛，合格后浇筑二期混凝土。

2. 门叶安装

首先在底枢轴座上安装半圆球轴（蘑菇头），同时测出门叶的安装位置，一般设置在与闸门全开位置呈 $120^{\circ}\sim 130^{\circ}$ 的夹角处，门叶安装时需有 2 个支点，底枢半圆球轴为一支点，在接近斜接柱的纵梁隔板处用方木或型钢铺设另一临时支点，根据门叶大小、运输条件和现场吊装能力，通常采用整体吊装、现场组装和分节吊装等三种安装方法。

第二节 渠系主要建筑物的施工技术

渠系建筑物主要包括渠道、渡槽、涵洞、倒虹吸管、联水与陡坡、水闸等。本部分着重介绍渠道、渡槽、倒虹吸管的施工方法。

一、渠道施工

渠道施工包括渠道开挖、渠堤填筑和渠道衬砌。渠道施工的特点是工程量大，施工线路长，场地分散，但工种单纯，技术要求较低。

（一）渠道开挖

渠道开挖的施工方法有人工开挖、机械开挖和爆破开挖等。开挖方法的选择取决于技术条件、土壤特性、渠道模断面尺寸、地下水位等因素。渠道开挖的土方多堆在渠道两侧用作渠堤。因此，铲运机、推土机等机械得到广泛的应用。

1. 人工开挖

① 施工排水。

渠道开挖首先要解决地表水或地下水对施工的干燥问题，办法是在渠道中设置排水沟，排水沟的布置既要方便施工，又要保证排水的通畅。

② 开挖方法。

在干地上开挖，应自渠道中心向外，分层下挖，先深后宽。为方便施工，加快工程进度，边坡处可先按设计坡度要求挖成台阶状，待挖至设计深度时再进行削坡，开挖后的弃土，应先行规划，尽量做到挖填平衡。开挖方法有一次到底法和分层下挖法。

一次到底法适用于土质较好，挖深 $2\sim 3\text{m}$ 的渠道，开挖时先将排水沟挖到低于渠

底设计高程 0.5m 处，然后按阶梯状向下逐层开挖至渠底。

分层下挖法适用于土质较软，含水量较高，渠道挖深较大的情况。可将排水沟布置在渠道中部，逐层下挖排水沟，直至渠底。当渠道较宽时，可采用翻滚排水沟法，用此法施工，排水沟断面小，施工安全，施工布置灵活。

③边坡开挖与削坡。

开挖渠道如一次开挖成坡，将影响开挖进度。因此，一般先按设计坡度要求挖成台阶状，其高宽比按设计坡度要求开挖，最后进行削坡。

2.机械开挖

①推土机开挖。

推土机开挖。渠道深度一般不宜超过 1.5~2.0m，填筑渠堤高度不宜超过 2~3m，其边坡不宜超于 1:2。推土机还可用于平整渠底，清除腐殖土层，压实渠堤等。

②铲运机开挖。铲运机最适宜开挖全挖方渠道或半挖半填渠道，对需要在纵向调配土方的渠道，如运距不远，也可用砂运机开挖，护运机开挖渠道的开行方式有：

环形开行：当渠道开挖宽度大于铲土长度，而填土或弃土宽度又大于卸土长度，可采用横向环形开行，反之，则采用纵向环形开行，铲土和填土位置可逐渐错动，以完成所需断面。

“8”字形开行：当工作前线较长，填挖高差较大时，则应采用“8”字形开行。其进口坡道与挖方轴线间的夹角以 40°~60°为宜，过大则重车转弯不便，过小则加大运距。

③爆破开挖。采用爆破法开挖渠道时，药包可根据开挖断面的大小沿渠线布置成一排或几排。当渠底宽度大于深度的 2 倍以上时，应布置 2~3 排以上的药包，但最多不宜超过 5 排，以免爆破后回落土方过多，单个药包装药量及间，排距应根据爆破试验确定。

(二) 渠堤城筑

渠堤填筑前要进行清基。清除基础范围内的块石、树根、草皮、淤泥等杂质，并将基面略加平整，然后进行刨毛，如基础过于干燥，还应洒水湿润，然后再填筑。

筑堤用的土料。以土块小的湿润散土为宜，如沙质壤土或沙质黏土。如用几种土料，应将透水性小的土料填筑在迎水面，透水性大的填筑在背水面，土料中不得掺有杂质，并应保持一定的含水量，以利压实，严禁使用冻土、淤泥、净砂等。

填方渠道的取土坑与堤脚应保持一定距离。挖土深度不宜超过 2m，取土宜先远后

近，并留有斜坡道以便运土。半填半挖渠道应尽量利用挖方填堤，只有土料不足或土质不能满足填筑要求时，才在取土坑取土。

渠堤填筑应分层进行。每层铺土厚度以 20~30cm 为宜，并应铺平铺匀，每层铺土宽度应保证土堤断面略大于设计宽度，以免削坡后断面不足，堤顶应做成坡度为 2%~4% 的坡面，以利排水。填筑高度应考虑沉陷，一般可预加 5% 的沉陷量。

（三）渠道衬护

渠道衬护就是用灰土、水泥石、块石、混凝土、沥青、塑料薄膜等材料在渠道内壁铺砌一衬护层。在选择衬护类型时，应考虑以下原则，防漆效果好，因地制宜，就地取材，施工简便，能提高渠道输水能力。

1. 灰土衬护

灰土是由石灰和土料混合而成。衬护的灰土比一般为 1:2~1:6（重量比）。衬护厚度一般为 20~40cm，灰土施工时，先将过筛后的细土和石灰粉干拌均匀，再加水拌和，然后堆放一段时间，使石灰粉充分熟化，稍干后即可分层铺筑夯实，拍打坡面消除裂缝，灰土夯实后应养护一段时间再通水。

2. 砌石衬护

砌石衬护有三种形式：干砌块石、干砌卵石和浆砌块石。干砌块石用于土质较好的渠道，主要起防冲作用；浆砌块石用于土质较差的渠道，起抗冲防渗作用。

用干砌卵石衬砌施工时，应先按设计要求铺设垫层，然后再砌卵石。砌筑卵石以外形稍带自平面大小均匀的为好。砌筑时应采用直砌法，即要求卵石的长边垂直于边坡或渠底，并砌紧、砌平、错缝，且坐落在垫层上。为了防止砌面被局部冲毁而扩大，每隔 10~20m 距离，用较大的卵石干砌或浆砌一道隔墙，隔墙探 60~80cm，宽 40~50cm，以增加渠底和边坡的稳定性。渠底隔墙可砌成拱形，其拱顶迎向水流方向，以提高抗冲能力。

砌筑顺序应遵循“先渠底、后边坡”的原则。

块石衬砌时，石料的规格一般以长 40~50cm，宽 30~40cm，厚度不小于 8~10cm 为宜，要求有一面平整。

3. 混凝土衬护

混凝土衬护由于防漆效果好，一般能减少 90% 以上渗漏量，耐久性强、糙度小、强度高，便于管理，适应性强。因而成为一种广泛采用的衬护方法。

混凝土衬护有现场浇筑和预制装配两种形式。前者接缝少，造价低，适用于挖方

渠段，后者受气候条件影响小，适用于填方渠段。

大型渠道的混凝土衬护多采用现浇施工。在渠道开挖和压实后，先设置排水，铺设垫层，然后浇筑混凝土。浇筑时按结构缝分段，一般段长为 10m 左右，先浇渠底，后浇渠面，渠底一般多采用跳仓法浇筑。

装配式混凝土衬护，是在预制厂制作混凝土衬护板，运至现场后进行安装，然后覆注填缝材料。装配式混凝土预制板衬护，具有质量容易保证，施工受气候条件影响较小的特点，但接缝较多且防漏，抗冻性较差，故多用于中小型渠道。

4. 沥青材料衬护

沥青材料渠道衬砌有沥青薄膜与沥青混凝土两大类。

沥青薄膜防渗按施工方法可分为现场浇筑和装配式两种。现场浇筑又可分为喷洒沥青和沥青砂浆两种。

现场喷洒沥青薄膜施工，首先要求将渠床整平，压实，并洒水少许，然后将温度为 200°C 的软化沥青用喷洒机具，在 354kPs 压力下均匀地喷洒在渠床上，形成厚 6~7mm 的防渗薄膜。一般需喷洒两层以上，各层间需结合良好，喷洒沥青薄膜后，应及时进行质量检查和修补工作，最后在薄膜表面铺设保护层。

沥青砂浆防渗多用于渠底。施工时先将沥青和砂分别加热，然后进行拌和，排好后保持在 160~180°C，即行现场摊铺，然后用大方铤反复适压，蒸至出油，再作保护层。

5. 塑料薄膜衬护

用于渠道防渗的塑料薄膜厚度以 0.12~0.20mm 为宜。塑料薄膜的铺设方式有表面式和埋藏式两种。表面式是将塑料薄膜铺于渠床表面，埋藏式是在铺好的塑料薄膜上铺筑土料或砌石作为保护层，保护层厚度一般不小于 30cm，在寒冷地区加厚。

塑料薄膜衬砌渠道施工。大致可分为渠床开挖和修整、塑料薄膜的加工和铺设、保护层的填筑等三个施工过程、塑料薄膜的接缝可采用焊接或搭接。

二、渡槽施工

渡槽按施工方法分为装配式渡槽和现浇式渡槽两种类型。装配式渡槽具有简化施工、缩短工期、提高质量、减轻劳动强度、节约钢木材料、降低工程造价的特点，所以被广泛采用。

（一）装配式渡槽施工

装配式渡槽施工包括预制和吊装两个过程。

1. 构件的预制

(1) 排架的预制。槽架是渡槽的支承构件，为了便于吊装，一般选择靠近槽址的场地预制。制作的方式有地面立模和砖土胎模两种。

地面立模：在平坦夯实的地面上用 1:3:8 的水泥、黏土、砂浆抹面，立上侧模后就地自制，拆模后，当强度达到 70% 时，即可移出存放，以便重复利用场地。

砖土胎模：其底模和侧模均采用砌砖或夯实土做成，与构件接触面用水泥、黏土、砂浆抹面，并涂上脱模剂即可，使用土模应做好四周的排水工作。

(2) 槽身的预制。槽身的预制宜在两排架之间或排架一侧进行。槽身的方向可以垂直或平行于槽的纵向轴线，根据吊装设备和方法而定，要避免因预制位置选择不当，造成起吊时发生摆动或冲击现象。

(3) 预应力构件的制造。在制造装配式梁、板及柱时采取预应力钢筋混凝土结构。不仅能提高混凝土的抗裂性与耐久性，减轻构件自重，并可节约钢筋 20%~40%。预应力就是在构件使用前，预先加一个力，使构件产生应力，以抵消构件使用时荷载产生相反的应力。制造预应力钢筋混凝土构件的方法甚多，基本上可分为先张法和后张法两大类。

先张法就是在浇筑混凝土之前，先将钢筋拉张固定，然后立模浇筑混凝土，等混凝土完全硬化后，去掉拉张设备或剪断钢筋，利用钢筋弹性收缩的作用，通过钢筋与混凝土间的黏结力把压力传给混凝土，使混凝土产生预应力。

后张法就是在混凝土浇好以后再张拉钢筋。这种方法是在设计配置预应力钢筋的部位，预先留出孔道，等到混凝土达到设计强度后，再穿入钢筋进行拉张。拉张锚固后，让混凝土获得压应力，并在孔道内灌浆，最后卸去锚固外面的拉张设备。

2. 渡槽的吊装

(1) 排架的吊装。槽渠下部结构有支柱、槽渠和整体排架等。支柱和排架的吊装通常有垂直吊插法和就地旋转立装法两种。

垂直吊铺法是用吊装机具将整个排架垂直吊离地面后，再对准并插入基础预留的杯口中校正固定的吊装方法。

就地旋转立装法是把支架当作一旋转杠杆，其旋转轴心设于架脚，并于基础铰接好，吊装时用起重机吊钩拉吊排架顶部，排架就地旋转立于基础上。

(2) 槽身的吊装。槽身的吊装，基本上可分为两类，即起重设备架立于地面上吊装及起重设备架立于槽墩或槽身上吊装。

（二）现浇式渡槽施工

现浇式渡槽的施工主要包括槽墩和槽身两部分。

1. 槽墩的施工

渡槽槽墩的施工，一般采用常规方法，也可采用滑升模板施工，同时还需要在混凝土内掺速凝剂，以保证浇灌随滑升，不致使混凝土坍塌。

2. 槽身的施工

渡槽槽身的混凝土浇筑，就整座渡槽的浇筑顺序而言，有从一端向另一端推进或从两端向中部推进以及从中部增加两个工作面向两端推进等几种方式。槽身如采取分层浇筑时，必须合理选取分层高度，应尽量减小层数，并提高第一层的浇筑高度。对于断面较小的梁式渡槽，一般均采用全断面一次平起浇筑的方式。对于 U 形薄壳双悬臂梁式渡槽，一般采用全断面一次平起浇筑。

三、倒虹吸管施工

介绍现浇钢筋混凝土倒虹吸管的施工。

现浇倒虹吸管施工顺序一般为放样、清基和地基处理、管座施工、管模板的制作与安装、管钢筋的制作与安装、管道接头止水施工、混凝土浇筑、混凝土养护与拆模。

（一）管座施工

在清基和地基处理之后，即可进行管座施工。

管座的形式主要有刚性弧形管座、两节点式及中空式刚性管座。

1. 刚性弧形管座

刚性弧形管座通常是一次做好后，再进行管道施工。当管径较大时，管座事先做好，在浇筑管底混凝土时，则需在内模底部开置活动口，以便进料浇捣。为了避免在内模底部开口，也可采用管座分次施工的方法，先做好底部范围（中心角约 80° ）的小弧座，以作为外模的一部分。待管底混凝土浇到一定程度时，开始在边砌小弧座旁的浆砌管座边浇混凝土，直到砌成整个管座为止。

2. 两点式及中空式刚性管座

两点式及中空式刚性管座均事先砌好管座，在基座底部挖空处可用土模代替外模。施工时，对底部回填土要仔细夯实，以防止在浇筑过程中，土壤产生压缩变形而导致混凝土开裂。

（二）混凝土的浇筑

在浦区建筑物中，倒虹吸管混凝土对抗拉、抗渗要求比一般结构的混凝土要严格

得多。

要求混凝土的水灰比一般控制在 0.5~0.6,有条件时可达到 0.4 左右,坍落度用机械振捣时为 4~6cm,人工振捣不应大于 6~9cm,含砂率常用值为 30%~38%,以采用偏低值为宜。

1.浇筑顺序

为便于整个管道施工,可每次间隔一节进行浇筑。

2.浇筑方式

一般常见的倒虹吸管有卧式和立式两种。在卧式中,又可分平卧或斜卧,平卧大都是管道通过水平或缓坡地段所采用的一般方式,斜卧多用于进出口山坡陡峻地区,至于立式管道则多采用预制管安装。

(1)平卧式浇筑。此浇筑有两种方法,一种是浇筑层与管轴线平行,一般由中间向两端发展,以避免仓中积水,从而增大混凝土的水灰比。这种浇捣方式的缺点是混凝土浇筑接缝皆与管轴线平行,刚好和水压产生的拉力方向垂直。一旦发生冷缝,管道最易沿浇筑层(冷缝)产生纵向裂缝,为了克服这一缺点,有采用斜向分层浇筑的,以避免浇筑接缝与水压产生的拉力正交,当斜度较大时,浇筑接缝的长度可缩短,浇筑接缝的间隙时间也可缩短,但这样浇筑的混凝土都呈斜向增高,使砂浆和粗骨料分布不太均匀,加上振捣器都是斜向振捣,不如竖向振捣能保证质量。因此,两种浇筑方法各有利弊。

(2)斜卧式浇筑。进出口山坡上常有斜卧式管道,混凝土浇筑时应由低处开始逐渐向高处浇筑,使每层混凝土浇筑层保持水平。

不论平卧还是斜卧,在浇筑时,都应注意两侧或周围进料均匀,快慢一致。否则,将产生模板位移,导致管壁厚薄不一,会严重影响管道质量。

第三节 橡胶坝

橡胶坝是水利工程应用较为广泛的河道挡水建筑物,是用高强度合成纤维织物做受力骨架,内外涂敷橡胶作保护层,加工成胶布,再将其锚固于底板上成封闭状的坝袋,通过充管路用水(气)将其充胀形成的袋式挡水坝。坝顶可以溢流,并可根据需要调节坝高,控制上游水位,以发挥灌溉、发电、航运、防洪、挡潮等效益。

在应用时以水或气充胀坝袋，形成挡水坝。不需要挡水时，泄空坝内水或气，恢复原有河渠的过流断面，在行洪河道的水或气应进行强排，以满足河道行洪在时间的要求。

一、坝址选择

设计时应根据橡胶坝特点和运用要求，综合考虑地形、地质、水流、泥沙、环境影响等因素，经过技术经济比较后确定坝址，宜选在河段相对顺直、水流常态平顺及岸坡稳定的河段，不宜选在冲刷和淤积变化大，断面变化频繁的河段；同时，应考虑施工导流、交通运输、供水供电、运行管理、坝袋检修等条件。

二、工程布置

力求布局合理、结构简单、安全可靠、运行方便、造型美观、宜包括土建、坝体、充排和安全观测系统等；坝长应与河（渠）宽度相适应，坍塌时应能满足河道设计行洪要求。单路坝长度应满足坝袋制造，运输，安装，检修以及管理要求，取水工程应保证进水口取水和防沙的可靠性。

三、坝袋

作用在坝袋上的主要设计荷载为坝袋外的静水压力和坝袋内的充水（气）压力。

设计内外压比 a 值的选用应经技术经济比较后确定。充水橡胶坝内外压比值宜选用 1.25~1.60；充气橡胶坝内外压比值宜选用 0.75~1.10。

坝袋胶布除必须满足强度要求外，还应具有耐老化、耐腐蚀、耐磨损、抗冲击、抗屈挠、耐水、耐寒等性能。

四、锚固结构

锚固结构形式可分为螺栓压板锚固、楔块挤压锚固以及胶囊充水锚固三种。应根据工程规模、加工条件、耐久性、施工、维修等条件，经过综合经济比较后选用。锚固构件必须满足强度与耐久性的要求。

锚固线布置分单锚固线和双锚固线两种。采用岸墙锚固线布置的工程应满足坍塌时坝袋平整不阻水，充坝时坝袋褶皱较少的要求。对于重要的橡胶坝工程，应做专门的锚固结构试验。

五、控制系统

坝袋的充胀与排放所需时间必须与工程的运用要求相适应。

坝袋的充排有动力式和混合式。应根据工程现场条件和使用要求等确定，充水坝的充水水源应水质洁净，充排系统的设计包括动力设备、管路、进出水（气）口装置

等。

(1) 动力设备的设计应根据工程情况、运用管理的可靠性,操作方便等因素,经济合理地选用水装或空压机的容量及台数,重要的橡胶坝工程应配置备用动力设备。

(2) 管路设计应与充排水(气)时间相适应,做到布置合理,运行可靠及维修方便,具有足够的充排能力。

(3) 充水坝袋内的充(排)水口宜设置两个水帽,出口位置应放在能排尽水(气)的地方并在坝内设置导水(气)装置。

(4) 寒冷地区管路埋设应满足防冻要求。

六、安全与观测设备

安全设备设置应满足下列要求:

(1) 充水坝设置安全溢流设备和排气阀。坝袋内压不超过设计值,排气阀装设在坝袋两端顶部。

(2) 充气坝设置安全阀,水封管或U形管等充气压力监测设备。

(3) 对建在山区河道、渗流坝上或有突发洪水情况出现的充水式橡胶坝,宜设自动坍塌袋置。

观测装置设置宜满足下列要求:橡胶坝上,下游水位观测,设置连通管或水位标尺,必要时亦可采用水位传感器,坝袋内压力观测设置,充水坝采用坝内连通管,充气坝安装压力表,对重要工程应安装自动监测设备。

七、土建工程

橡胶坝土建工程应包括基础底板、边墩(岸墙)、中墩(多跨式)、上下游翼墙、上下游护坡、上游防渗铺盖或截渗墙、下游消力池、海漫等。

作用在橡胶坝上的设计荷载可分为基本荷载和特殊荷载两类。

基本荷载:结构自重、水重、正常挡水位或坝顶溢流水位时的静水压力、扬压力(包括浮托力和渗透压力)、土压力、泥沙压力等。

特殊荷载:地震荷载及温度荷载等。

坝底板、岸墙(中墩)应根据地基条件,坝高及上、下游水位差等确定其地下轮廓尺寸,其应力分析应根据不同的地基条件,参照其他规范进行计算,稳定计算可只作防渗抗滑动计算。

橡胶坝应尽量建在天然地基上,对建在较弱地基上的橡胶坝应进行基础处理。

上、下游护坡工程应根据河岸土质及水流流态分别验算边坡稳定及抗冲能力,护

坡长度应大于河底防护的范围。

消力池（护坦）、海漫、铺盖除应满足消能防冲外，还应考虑减轻和防止坝袋振动。对经常溢流的橡胶坝工程，宜设陡坡段与下游消力池（护坦）衔接，应根据运用条件选择最不利的水位和流量组合进行消能防冲计算。

充气橡胶坝的消能防冲计算，应考虑坍塌时坝袋出现凹口引起单宽流量增大的因素。

控制室应满足机电设备布置和操作运行及管理需要，室内地面高程应高于校核洪水位，地下泵房应作防渗、防潮处理。

在已建拦河坝顶或溢洪道上加建橡胶坝时，应对原工程抬高水位后进行稳定及应力校核，并应考虑上游淹没影响和不得降低原有防洪标准。

八、坝袋安装

（一）安装前检查

坝袋安装前的检查主要有：

- 1.模块，基础底板及岸墙混凝土的强度必须达到设计要求。
- 2.坝袋与底板及岸墙接触部位应平整光滑。
- 3.充排管道应畅通，无渗漏现象。
- 4.预埋螺栓，垫板、压板、螺帽（或锚固槽、模块、模芯），进出水（气）口排气孔、超压溢流孔的位置和尺寸应符合设计要求。
- 5.坝袋和底垫片运到现场后，应结合就位安装首先复查其尺寸和搬运过程中有无损伤，如有损伤应及时修补或更换。

（二）坝袋安装顺序及要求

1.底垫片就位（指双铺线型坝袋）

对准底板上的中心线和锚固线的位置，将底垫片临时固定于底板锚固槽内和岸墙上，按设计位置开挖进出水口和安装水帽，孔口垫片的四周作补强处理，补强范围为孔径的3倍以上，为避免止水胶片在安装过程中移动，最好将止水胶片粘贴在底垫片上。

2.坝袋就位

底垫片就位后，将坝袋胶布平铺在底垫片上，先对齐下游墙相应的锚固线和中心线，再使其与上游端锚固线和中心线对齐吻合。

3.双线锚固型坝袋安装

按先下游，后上游，最后岸墙的顺序进行。先从下游底板中心线开始，向左右两侧同时安装，下游锚固好后，将坝袋胶布翻向下游，安装导水胶管，然后再将胶布翻向上游，对准上游锚固中心线，从底板中心线开始向左右两侧同时安装。锚固两侧边墙时，须将坝袋布挂起撑平，从下部向上部锚固。

4.单线锚固型坝袋的安装

单线锚固只有上游一条锚固线，锚固时从底板中心线开始，向两侧同时安装，先安装底层，装设水帽及导水胶管，放置止水胶，再安装面层胶布。

5.堵头式橡胶坝袋的安装

先将两侧堵头裙脚锚固好，从底板中线开始，向两侧连续安装锚固。为了避免误差集中在一个小段上，坝袋产生褶皱，不论采用何种方法锚固，锚固时必须严格控制误差的早均分配。

6.螺栓压板锚固施工步骤

压板要首尾对齐，不平整时要用橡胶片垫平；紧螺帽时，要进行多次拧紧，坝袋充水试验后，再次拧紧螺帽；紧螺帽时宜用扭力扳手，按设定的扭力矩逐个螺栓进行拧紧；卷入的压轴（木芯或钢管）的对接缝应与压板接缝处错开，以免出现软缝，造成局部漏水。

7.混凝土模块锚固施工步骤

将坝袋胶布与底垫片卷入模芯，推至锚固槽的半圆形小槽内，逐个入前模块。一个前模块在两头处打入木楔块，在前模块中间放入后楔块。用大铁锤边打木楔块，边打后楔块，反复敲打使后楔块达到设计深度并挤紧时，才将木楔块撬起换上另两块后楔块，如此反复进行；当锚固到岸墙与底板转角处，应以锚固槽底高程为控制点，坝袋胶布可在此处放宽 300mm 左右，这样坝袋胶布就可以满足槽底最大弧度要求。

九、控制安全和观测系统

（一）控制系统

控制系统由水泵（鼓风机或空压机）。机电设备、传感器、管道和阀门等组成，其施工安装要求较高。任何部位漏水气都会影响坝袋的使用，在安装中应注意下列事项。

1.所有闸阀在安装前。都要做压力试验，不水（气）才能安装使用，所有井表在安装前应该经调试校验。

2.充水式橡胶坝的管道大部分用钢管其弯头。三通和闸阀的连接处均用法兰，橡

胶圈止水连接，尽可能用厂家产品，管道在底板分缝处，应加橡胶伸缩节与固定法兰连接。

3.充气式橡胶坝的管道均采用无缝钢管，为节省管道，进气和排气管路可采用一条主供排气管。管与管之间尽可能用法兰连接，坝袋内支管与坝袋内总管连接采用三通或弯头，排气管道上设置安全阀，当主供气管内压力超过设计压力时开始动作，以防坝袋超压破坏。另外要在管道上设置压力表，以监测坝袋内压力，总管与支管均设阀门控制。

（二）安全系统

安全系统由超压溢流孔、安全阀、压力表、排气孔等组成，该系统的施工要求严密，不得有漏水（气）现象。安装时注意以下几点：

- 1.密封性高的设备都要在安装前进行调试，符合设计要求方能安装使用。
- 2.安全装置应设置在控制室内或控制室旁，以利随时控制。
- 3.超压管的设置，其超压排水（气）能力应不小于进坝的供水（气）量。

（三）观测系统

观测系统由压力表、内压检测、上下游水位观测装置等组成，施工中应注意以下几点：

- 1.施工安装时一定要掌握仪器精度，要保证其灵活性、可靠性和安全性。
- 2.坝袋内压的观测要求独立管理，直接从坝内引管观测上、下游水位观测要求独立埋管引水，取水点尽量离上下游远点。
- 3.坝袋的经纬向拉力观测，要求厂家提供坝袋胶布的伸长率曲线。

十、工程检查与验收

1.施工期间应检查坝袋。锚固螺栓或模块标号及外形尺寸、安装构件、管道、操作设备的性能。

2.检查施工单位提供的质量检验记录和分部分项工程质量评定记录，同时需进行抽样检查。

3.坝袋安装后，必须进行全面检查，在无挡水的条件下。应做坝袋充坝试验；若条件许可，还应进行挡水试验。整个过程应进行下列项目的检查：

坝袋及安装处的密封性；

锚固构件的状况；

坝袋外观观察及变形观测；

充排观测系统情况；

充气坝袋内的压力下降情况。

4.充坝检查后，应排除坝袋内水（气）体，重新紧固锚固件。

5.坝袋以设计坝高为验收标准。验收前的管理维护工作如下：

工程验收前，应由施工单位负责管理维护；

对工程施工遗留问题，施工单位必须认真加以处理，并在验收前完成；

工程竣工后，建设单位应及时组织验收。

第四节 渠道混凝土衬砌机械化施工

国外无论是长距离输水渠还是灌区渠道衬砌混凝土工程，多采用机械化衬砌施工。

渠道衬砌机从衬砌成型技术方面可分为两类。一类是内置式插入振捣滑模成型衬砌技术；一类是表面振动滚筒碾压成型技术。相应也产生了两类不同衬砌设备。振捣滑模衬砌机大多采用液压振捣棒，而德国采用电动振捣棒。

渠道修整机分类：在渠坡修整技术方面分为三种，即精修坡面旋转铣刨技术；螺旋旋转滚动铣刨技术；回转链斗式精修坡面技术，与其对应产生了不同的渠坡修整机。

混凝土布料技术：有螺旋布料机和皮带布料机技术，螺旋布料机有单螺旋和双螺旋之分。

集面衬砌：有全断面衬砌，半断面衬砌和渠底衬砌。

自动化程度：有全自动履带行走、自动导向、自动找正、半自动、导轮行走、电气控制、手动操作找正。

成套设备：有修整机、衬砌垫层布料机、衬砌机、分缝处理机、人工台车。

通过大型调水工程，在衬砌技术、机械设备、施工工艺等诸多方面进行了有益的探讨，并取得了很好的效果。随着科技的发展和新材料，新技术的应用，渠道机械化衬砌施工工艺的逐步完善，渠道机械化衬砌设备的国产化程度的提高，渠道机械化衬砌的成本将越来越低。

一、混凝土机械衬砌的优点

大断面渠道衬砌，衬砌混凝土厚度一般较小，8~15cm，混凝土面积较大。但不同于大体积混凝土施工，目前国内外基本可以分为人工衬砌和机械衬砌。由于人工衬

砌速度较慢，质量不均一，施工缝多，逐渐被机械化衬砌所取代。

渠道混凝土机械衬砌施工的优点可归纳如下：

衬砌效率高，一般可达到 $200\text{m}^2/\text{h}$ ，约 2.0m ；

衬砌质量好，混凝土表面平整、光滑，坡脚过度圆滑、美观，密实度、强度也符合设计要求；

后期维修费用低。

机械化衬砌又分为滚筒式、滑模式和复合式。一般在坡长较短的渠道上，可以采用滑模式。滚筒式的使用范围较广，可以应用于各种坡长要求。根据衬砌混凝土施工工序，在渠道已经基本成型时，坡面预留一定厚度的原状土（可视土方施工者的能力，预留 $5\sim 20\text{cm}$ ）。

二、衬砌坡面修整

渠道开挖时，渠坡预留约 30cm 的保护层，在衬砌由混凝土浇筑前，需要根据渠坡地质条件选用不同的施工方法进行修整。

坡脚齿墙按要求砌筑完成后，方可进行削坡，削坡分三步进行。

粗削。削坡前先将河底塑料薄膜铺设好，然后，在每一个伸缩缝处，按设计坡面挖出一条槽，并挂出标准坡面线，按此线进行粗削找平，防止削过。

细削。是指将标准坡面线下混凝土板厚的土方削掉，相削大致平整后，在两条伸缩缝中间的三分点上加挂两条标准坡面线，从上到下挂水平线依次倒平。

刮平。细削完成后，坡面基本平整，这时要用 $3\sim 4\text{m}$ 长的直杆（方木或方铝），在垂直于河中心线的方向上来回刮动，直至刮平。

清坡的方法：

人工清坡。在没有机械设备的条件下，可以使用人工清坡，在需要清理的坡面上设置网格线，根据网格线和坡面的高差，控制坡面高程。根据以往的施工经验，在大坡面上即使严格控制施工质量，误差也在 $\pm 3\text{cm}$ ，这个误差对于衬砌厚度只有 $8\sim 10\text{cm}$ 厚度的混凝土来说，是不允许的，即使是有垫层，也不能满足要求，对于坡长更长的坡面，人工清坡质量是难以控制的。

螺旋式清坡机。该机械在较短的坡面上（不大于 10m ）效果较好。通过一镶嵌合金的连续螺旋体旋转，将土体进行切削，弃土可以直接送至渠顶。但在过长的坡面上不适应，因为过长的螺旋需要的动力较大，且挠度问题难以解决。

滚齿式。该清坡机沿轨道顺渠道轴线方向行走。一定长度的镶齿能转切削土体，

切削下来的土体抛向渠底，形成平整的原状土坡面。一幅结束后，整机前移，进行下一幅作业。

先由一台削坡机粗削坡，削坡机保留 4~8mm 的保护层。待具备浇筑条件时，由另一台削坡机精削坡一次修至设计尺寸，并及时铺设保温防渗层。

超挖的部位用与建基面同质的土料或沙砾料补坡，采用人工或小型最压机械压实。对于因雨水冲刷或局部坍塌的部位，先将坡面清理成锯齿状，再进行补坡。补坡厚度高出设计断面，并按设计要求压实，可采用人工方式也可以使用与衬砌机配套使用的专用渠道修整机精削坡面。

修整后，渠坡上，下边线允许偏差要求控制在 $\pm 20\text{mm}$ （直线段）或 $\pm 50\text{mm}$ （曲线段），坡面平整度 $\leq 1\text{cm}/2\text{m}$ ，当上覆沙砾料垫层时平整度 $2\leq 2\text{cm}/2\text{m}$ ，高程偏差 $\leq 20\text{mm}$ 。

渠坡修整后的平整度对保温板铺设的影响较大，土质边坡宜采用机械削坡以保证良好的平整度。

三、砂砾或者胶结砂砾垫层，保温层、防渗层铺设

（一）砂砾或者胶结砂砾垫层铺设

根据设计要求渠坡需要铺设沙砾料垫层。垫层沙砾料要求质地坚硬，清洁级配良好。铺料厚度、含水率、碾压方法及遍数通常根据现场试验确定。铺料及碾压可采用横向振动碾压衬砌机一次完成，表面平整度要求不大于 $1\text{cm}/2\text{m}$ 。

采用垫层摊铺机可连续将沙砾或者胶结沙砾料摊铺在坡面和坡脚上，摊铺机振动梁系统同步将其密实成型，工效高、质量好。摊铺后，垫层密实度和坡面、坡脚表面形状误差均可满足设计要求。

垫层铺设后采用灌水（砂）法取样做相对密度检验。每 600m^2 或每压实班至少检测一次，每次测点不少于 3 个，坡肩、坡脚部位均设测点，检查处人工分层回填捣实，砂砾料或沙料削坡按渠道削坡的有关要求执行。

（二）保温层铺设

为满足抗冻（胀）要求，北方冬季低温地区的渠道混凝土衬砌下铺设保温层，保温材料通常采用聚苯乙烯泡沫塑料板。保温板是否紧贴建基面对衬砌面板混凝土能否振捣密实有较大影响。

外观完整，色泽与厚度均匀，表面平整清洁，无缺角、断裂、明显变形。保温板应错缝铺设，平整牢固，板面紧贴渠床，接缝紧密平顺，两板接缝处的高差不大于 2mm 。板与板之间、板与坡面基础之间紧密结合，聚苯乙烯保温板位置放好后用 U 形卡从板

面钉入砂砾料层固定（梅花状布置），铺好的板上面严禁穿戴钉鞋行走，铺板完成后，铺设复合土工膜之前同样对保温板的接缝、平整度进行检查，平整度控制在 $\pm 5\text{mm}$ ，使用 2m 靠尺进行检查，接缝控制在 0~2mm。

（三）防渗层铺设

防渗层采用复合土工膜（两布一膜）。接缝处土工膜采用双焊缝热熔焊法拼接，充气法检查，土工布采用缝接法拼接。防渗层铺设、焊接完成后应禁止踩踏，以防损坏。

1. 复合土工膜铺设

复合土工膜施工之前首先做焊接试验，焊接抗拉强度至少不能低于母材的 80%，从试验得出适应与现场实际操作、施工的一些技术参数。

铺设时由坡肩自上而下滚铺至坡脚，中间不出现纵向连接缝。渠坡和渠底结合部以及和下段待铺的复合土工膜部位预留 50~80cm 搭接长度，坡肩处根据设计蓝图预留 80cm 复合土工膜的长度。复合土工膜在铺设时先将土工膜按尺寸、匹幅铺好，膜与膜之间不能有褶皱，复合土工膜垂直于水流方向铺设，膜与膜重合 10cm 进行焊接。铺时将焊接接头预留好后用剪刀剪断，土工膜铺好后进行固定，使用沙袋或其他重物将其压紧。

2. 复合土工膜裁剪

复合土工膜裁剪时以长木条作参照画线引导，保证裁剪后边缘整齐平顺，使用记号笔按照要求的最少搭接界限标识在接缝处上下两张膜上，保证焊接后的搭接宽度。

遇到建筑物时根据建筑物尺寸在复合土工膜上进行标识，并根据土工膜与建筑物的黏结宽度进行裁剪。

3. 复合土工膜与建筑物粘接

若复合土工膜与墩、柱、墙等建筑物进行粘接，粘接宽度不小于设计要求，建筑物周围复合土工膜充分松弛。保证土工膜与建筑物黏结牢固，防水密封可靠，对土工膜或墩柱进行涂胶之前，将涂胶基面清理干净，保持干燥。涂胶均匀布满黏结面，不出现过厚、漏涂现象。黏结过程和黏结后 2h 内黏结面不承受任何拉力，并保证黏结面不发生错动。

4. 复合土工膜连接

（1）连接顺序

缝合底层土工布、热熔焊接或粘接中层土工膜、缝合上层土工布。

(2) 土工膜热熔焊接

采用热合爬行机焊接。每天施工前均先做工艺试验,确定当天焊机的温度、速度、档位等工作参数。施工时应根据天气情况适时调整,环境气温在 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$,进行正常焊接。气温低于 5°C 时,焊接前对搭接面进行加热处理。当环境温度和不利天气条件严重影响土工膜焊接时,不进行作业。焊接机械采用 ZPH-501 或 ZPH-210 型土工膜焊接机。温度控制在 $420\sim 450^{\circ}\text{C}$,焊机档位控制在 $3\sim 3.5$,焊机行走速度控制在 $4.4\sim 4.8\text{m}/\text{min}$,保证不出现虚焊、漏焊和超量焊等现象。

土工膜焊接前将:土工膜焊接面上的尘土、现土、油污等杂物清理干净,水汽用吹风机吹干,保证焊接面清洁干燥。多块土工膜连接时,接头缝相互错开 100cm 以上,焊接形成“T”字形结点,而不出现“十”字形。

采用双焊缝焊接。双焊缝宽度采用 $2\times 10\text{mm}$,搭接宽度 10cm ,焊缝间留有约 1cm 的空腔。在焊接过程中和焊接后 $2b$ 内,保证焊接面不承受任何拉力及焊接面错位。

当施工中焊缝出现脱空、收缩起皱及扭曲鼓包等现象时,将其裁剪剔除后重新进行焊接出现虚焊、漏焊时,用特制焊枪补焊。焊机定期进行保养和维护,及时清理杂物。

(3) 土工布缝合

将上层土工布和中层土工膜向两侧翻叠,先将底层土工布铺平。搭接,对齐,进行缝合。土工布缝合采用手提缝包机,缝合时针距控制在 6mm 左右。保证连接面松紧适度、自然平顺,土工膜与土工布联合受力。上层土工布缝合方法与下层土工布缝合方法相同,土工布缝合强度不低于母材的 70% 。

5.复合土工膜保护措施

复合土工膜专车运输、装卸、搬运时不拖拉、硬拽,不使用任何可能对复合土工膜造成损伤的机具,避免尖锐物刺伤,复合土工膜铺设人员穿软底鞋,严禁穿硬底鞋或穿钉鞋作业、铺设好的复合土工膜由专人看管。严禁在复合土工膜上进行一切可能引起复合土工膜损坏的施工作业,提顶预留的土工膜及时挖槽用土封压。坡脚部位土工膜用彩条布包裹并用沙袋覆压保护,衬砌混凝土浇筑时,保证模板的支立和固定不造成复合土工膜破坏,采用在模板的辅助装置上压置重物、设置支撑等方法支立和固定模板;铺设过程中,采用砂袋或软性重物压重的方法。防止大风对已铺设土工膜造成破坏,施工现场严禁烟火。电气焊作业远离复合土工膜。

四、浇筑衬砌

渠坡混凝土浇筑衬砌是渠道工程的核心工作内容。

渠道衬砌按部位不同可分为渠坡衬砌和渠底衬砌。按地质条件不同可分为石渠、土渠、砂砾石渠道衬砌以及膨胀土。湿陷性黄土地区的渠道衬砌，石渠段由于边坡较陡，现有渠道衬砌机尚不能满足使用要求。土质渠段和砂砾石渠段边坡通常较暖（1:2~1:3），采用衬砌机可取得良好效果。对于渠底衬砌，采用传统的人工拖模施工方法或专用的推铺设备即可满足进度和质量要求。

针对渠道衬砌混凝土面板超薄无筋，施工强度高、速度快、受气候因素影响大等特点，采用机械化施工的衬砌混凝土配合比应专门研究确定，保证混凝土下料后不分离，振捣后密实均匀。衬砌混凝土浇筑前宜进行生产性施工检验，以便验证混凝土配合比、衬砌设备工作参数及施工工艺的合理性。施工过程中，各类技术参数应根据地质、气候等实际情况适时调整。

（一）准备工作

砂砾料防冻胀层、聚苯乙烯保温板和复合土工膜经验收合格；校核基准线；拌和系统运转正常，运输车辆准备就绪；工作台车、养护洒水车等辅助施工设备运转正常；衬砌机设定到正确高度和位置；检查衬砌板厚的设置。板厚与设计值的允许偏差为-5%~+20%。

（二）衬砌机的安装

国内衬砌机均为采用轨道式，控制好轨道线是衬砌机定位的关键。根据设计渠道纵轴线、渠道断面尺寸和衬砌机的特性，用全站仪放出渠顶和渠底的轨道中心线，及轨道顶面高程，人工精心铺设，轨道基底要求平整，密实便于控制渠坡衬砌厚度。渠底有地下水的情况必须先对地基进行相应处理（局部换填或浇筑混凝土垫层），难免轨道基底沉陷影响衬砌质量。

（三）模板安装

完成土工膜铺设后开始侧模安装。测量放样出面板横缝位置线和面板顶面及底面线，应严格按设计线控制其平整度，不出现陡坎接头。侧模及端头模板均采用10”槽钢安装模板时，在背面钢筋上加压砂袋对模板进行固定。齿槽和坡肩侧模板采用定型钢模板，混凝土衬砌施工过程中测量人员随时对模板进行校核，保证混凝土分缝顺直。

（四）混凝土拌制

渠道混凝土所用的原材料如水泥、粉煤灰、砂石骨料、外加剂等原材料要符合设

计和有关规范要求。衬砌混凝土配合比由试验室提供，保证满足耐久性、强度和经济性等基本要求，并适应机械化施工的工作性要求。骨料的最大粒径不大于衬砌混凝土板厚度的 1/3，混凝土拌合物的坍落度为 7~9m。

衬砌混凝土的用水量、砂率、水灰比及掺和料比例通过优化试验确定。配合比参数不得随意变更，当气候和运输条件变化时，微调水量，但是维持入仓坍落度不变，以此保证衬砌混凝土机械化施工的工作性。

外加剂采用后掺法掺入，以液体形式掺加，其浓度和掺量根据配合比试验确定。混凝土的拌制时间通过试验确定，混凝土随拌，随运随用，因故发生分离、灌浆、严重泌水、坍落度降低等问题时，在浇筑现场重新拌和。若混凝土已初凝，作废料处理。

衬砌厚度的控制由衬砌机的液压升降支腿和内置的模板进行调节控制，轨道铺设纵坡比率与渠道的纵坡比率一致。在衬砌过程中使用自制的高程标签插入已铺好的混凝土中检查衬砌厚度（包括虚铺厚度及压光后的厚度）、坡肩、坡面、坡脚处均设侧点，如发现厚度有误差及时进行调整。

（五）衬砌混凝土浇筑

在混凝土衬砌基层检查合格后，进行混凝土衬砌施工。混凝土熟料由混凝土搅拌车运输至布料机进料口，采用螺旋布料器布料，开动螺旋输料器均匀布置。开动振动器和纵向行走开关，边输料边振动、边行走。布料较多时，开动反转功能，将混凝土料收回。布料宽度达到 2~3m 时，开动成型机。启动工作部分开始二次振捣、提浆、整平、施工时料位的正常高度应在螺旋布料器叶片最高点以下，保证不缺料。30cm 段护顶混凝土与架坡混凝土一次成型，使用滑膜衬砌机时完成一段渠坡衬砌后生前行进。用同衬砌厚度相同的槽钢作为上下边模板，安装在上口设计水平段外边线和坡脚齿槽外边线处，并用钢筋桩与底基定位，防止边脚混凝土坍塌变形。

滑膜衬砌机施工出现的局部混凝土面缺陷由人工进行修补，保证衬砌面的平整。

混凝土浇筑过程中应高度重视振捣工艺，确保混凝土振捣密实、表面出浆，避免漏振、过振或欠振。浇筑后应避免扰动，严禁踩踏。渠底混凝土浇筑时，要避免用水、渠坡养护水、地下水等外来水流入仓位，影响混凝土浇筑质量或对已浇筑完成的混凝土造成破坏。渠底混凝土严重的部水问题通常会导致成品混凝土遭受冻融或表面剥蚀损坏，施工时应采取恰当的处理措施。

当衬砌机出现故障时，立即通知拌和站停止生产，在故障排除衬砌机内混凝土尚未初凝时继续衬砌。若停机时间超过 2h，及时将衬砌机驶离工作面，清理仓内混凝土，

故障出现后对已浇筑的混凝土进行严格的质量检查，并清除分缝位置以外的浇筑物，为恢复衬砌作业做好准备。混凝土终凝后及时铺盖棉毡洒水养护，制缝完成后，进行第二次覆盖。

（六）衬砌混凝土表面成型

衬砌混凝土初凝前应采用与混凝土衬砌机配套的专用抹面压光机及时进行抹面压光，表面平整度控制在 $5\text{mm}\sim 2\text{m}$ 。

混凝土浇筑完成后要及时提浆抹面，确定合理的收面时机和抹面遍数，既要保证衬砌混凝土面板的平整度，又要避免过度抹充，严禁扰动已初凝的混凝土，杜绝二次洒水、撒灰抹面。

1. 采用混凝土抹光机+人工进行表面成型

抹光机抹盘抹面具有对混凝土挤压及提浆整平功能。压光由人工完成，并配备 2m 靠尺跟踪检测平整度，混凝土表面平整度控制在 $5\text{mm}\sim 2\text{m}$ ，人工采用钢抹子抹面，一般为 $2\sim 3$ 遍。初凝前及时进行压光处理，清除表面气泡，使混凝土表面平整、光滑、无抹痕。衬砌林面施工严禁洒水、撒水泥、涂抹砂浆，抹光机将自下而上，由左到右按顺序有搭接的进行。

抹光机整面后，人工用钢抹子随后进行压光出面，压光由渠坡横断面最初施工的一侧向另一侧推行，在施工时及时用 2m 靠尺检查，对不符合要求的及时处理，确保出面光滑平整。表面平整度要求控制在 $5\text{mm}\sim 2\text{m}$ 以内。

2. 采用多功能混凝土表面成型机进行表面成型

多功能混凝土表面成型机具有对混凝土表面挤压。提浆整平及压光功能，工作方式与振动碾压成型机基本相同。

（七）伸缩缝施工

1. 一般规定

伸缩缝按缝深分为半缝和通缝。半缝深度为混凝土板厚的 $0.5\sim 0.75$ 倍，通缝深度、预留缝为贯穿混凝土板厚度，制缝为混凝土板厚的 0.9 倍。

伸缩缝按方向可分为横缝和纵缝。横缝垂直于渠轴线，纵缝平行干渠轴线。

伸缩缝宽度为 $1\sim 2\text{cm}$ 。

伸缩缝下部用聚乙烯闭孔泡沫板填充，顶部 2cm 用聚硫密封胶填充。

2. 施工方法

（1）伸缩缝形成

通缝可采取预留方法。按设计通缝位置支立模板，浇筑模板内混凝土，混凝土达到一定强度后，拆除模板，在混凝土立面上粘贴聚乙烯闭孔泡沫板和顶部 2cm 的预留物（聚乙烯闭孔泡沫板、泡沫保温板等材料），再浇筑聚乙烯闭孔泡沫塑料板另一侧的混凝土，待伸缩缝两侧的衬砌混凝土达到一定强度后，取上部 2cm 的预留物，填充聚硫密封胶。

半缝及通缝均可采取混凝土切割机切割。切缝前应按设计分缝位置，用墨斗在衬砌混凝土表面弹出切缝线。混凝土切割机宜采用桁架支撑导向，以保证切缝顺直，位置准确。如果无法使用桁架支撑导向部位（如坡肩、齿槽、桥梁、排水井等部位）人工导向切割，宜先切割通缝，后切割半缝。

混凝土切割：桁架与衬砌机共用轨道，设置自行走系统。

纵缝切割：根据纵缝数量配备混凝土切割机，调整桁架的升降系统控制切割深度，通过桁架自行走控制桁架沿纵缝方向的行走速度，一次完成多条纵缝的切割。

横缝切割：调整桁架的升降系统控制切割深度，通过牵引系统控制混凝土切割机沿横缝方向的行走速度（在支撑桁架内设置混凝土切割机的行走系统），一次完成一条横缝的切割。

人工切割：切割时通过手柄连杆机构，转动手轮使前轮升降，进行切割深度的调节。

坡面横缝一般由坡脚向坡肩切割。坡肩上固定一手动辘轳，将辘轳上的钢丝绳与切割机相连。切割时，一人操作切割机，控制切割深度和直线度。另一人控制切割速度，匀速摇动坡肩上的辘轳，牵引切割机以适宜的速度向坡肩移动。

切缝施工宜在衬砌混凝土抗压强度不低于 5MPa，且施工人员及切割机在切缝作业时不造成混凝土表面损坏时切割。可在渠道浇筑过程中，做一组或二组同条件养护的试块，根据试块的抗压强度，确定切缝的最佳时机。可参考：当日平均气温 $< 10^{\circ}\text{C}$ 时，最长时间不宜超过 2d；当日平均气温在 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ 时，开始切割时间一般不超过 24h；当日平均气温 $> 15^{\circ}\text{C}$ 时，混凝土表面人可以行走时就开始切割。为防止混凝土初裂，采取隔缝切割方法，未切缝在 2d 以后补切。

（2）伸缩缝清理。

切割缝的缝面应用钢丝刷、手提式砂轮机修整，用空气压缩机将缝内的灰尘与余渣吹净，填充前缝面应洁净干燥，闭孔泡沫塑料板应采用专用工具压入缝内，并保证上层填充密封胶的深度符合设计要求。

(3) 填充密封胶。

明渠专用聚硫密封胶由 A、B 两组分组成，施工时按厂家说明书进行配制与操作。

在清理完成的伸缩缝两侧粘贴胶带，胶带宽一般为 3~5cm 胶带距伸缩缝边缘为 0.5cm。用毛刷在伸缩缝两侧均匀地刷除一层底涂料，20~30min 后用刮刀向涂胶面上涂 3~5mm 密封胶，并反复挤压，使密封胶与被黏结界面更好地浸润。用注胶枪向伸缩缝中注胶，注胶过程中使胶料全部压入并压实，保证除胶深度。

3. 质量控制

(1) 切缝质量控制

按设计伸缩缝宽度购买混凝土切割片。在切割片上用红色油做好切制深度标识。切缝时锯片磨损较大，施工过程中应当经常用钢板尺检查切缝的宽度和深度，当不能满足设计要求时及时更换锯片。

(2) 注胶质量控制

伸缩缝缝面必须用手提砂轮机或钢丝刷进行表面处理，用空气压缩机将缝内的灰尘与余渣吹净，黏结面必须干燥、清洁、无油污和粉尘。

注胶前必须进行缝深、缝宽的检查，确保聚硫密封胶充填厚度。

施胶完毕的伸缩缝，其胶层表面应无裂缝和气泡，表面平整光滑，涂胶饱满且无脱胶和洞胶现象，胶体颜色均匀一致。

密封胶与伸缩缝粘接牢固，粘接缝按要求整齐平滑，经养护完全硫化成弹性体后，胶体硬度应达到设计要求。

混合后的密封胶要确保在要求的时间内用完，过期的胶料不能再同新的密封胶一起使用。

若要进行密封效果满水或带压试验，必须待密封胶完全硫化后（7~14d）方可进行。

(八) 养护

衬砌混凝土养护时间与普通混凝土一样，养护方式大致可分为喷雾养护、洒水养护、铺塑料薄膜养护、毡布等保湿养护及养护剂养护等。由于渠道衬砌施工速度快、线路长、面积大、混凝土面板厚度薄、所处环境气候变化大，因此如果养护不到位易使混凝土水分散失加快，造成水化作用不充分，从而导致混凝土强度不足、裂缝大量产生。因此，养护工作至关重要，应引起高度重视。

混凝土面层浇筑完毕后及时养护。在纵、横方向均匀洒布养护剂，喷洒要均匀，

成膜厚度一致，喷洒时间在表面混凝土泌水完毕后进行，喷洒高度控制在 0.5~1m。除喷洒上表面外，板两侧也要喷洒。然后喷洒一次水，覆盖薄膜，养护不少于 28d。

（九）特殊天气施工

在渠道混凝土衬砌施工过程中如遇到特殊气候条件，要采取应急措施，保证衬砌混凝土施工质量。

1. 风天施工

采取必要的防范措施，防止塑性收缩裂缝产生。适当调整混凝土用水量，增加混凝土出机口的坍落度 1~2cm。在衬砌的作业要及时收面并立即养护，对已经衬砌完成并出面的浇筑段及时采取覆盖塑料布等养护措施。

2. 雨天施工

雨季施工要收集气象资料，并制定雨季雨天衬砌施工应急预案。砂石料场做好排水通道，运输工具增加防雨及防滑措施，浇筑仓面准备防雨覆盖材料，以备突发阵雨时遮盖混凝土表面。当浇筑期间降雨时，启动应急预案，浇筑仓面搭棚建档防雨水冲刷。降雨停止后必须清除仓面积水，不得带水抹面压光作业。降雨过后若衬砌混凝土尚未初凝，对混凝土表面进行适当的处理后才能继续施工；否则应按施工缝处理。雨后继续施工，需重新检测骨料含水率，并适时调整混凝土配合比中的水量。

3. 高温季节施工

日最高气温超过 30℃时，应采取相应措施保证入仓混凝土温度不超过 28℃。加强混凝土出机口和入仓混凝土的温度检测频率，并应有专门记录。

高温季节施工可增加骨料堆高、骨料场搭设防晒遮阳棚、骨料表面洒水降温等措施降低混凝土原材料的温度，并合理安排浇筑时间，掺加高效缓凝减水剂，采用加冰或加冰水拌和，对骨料进行预冷等方法降低混凝土的入仓温度。混凝土运输罐车采取防晒措施，混凝土输送带搭建防晒棚等措施降低入仓温度。

4. 低温施工

当日平均气温连续 5d 稳定在 5℃以下或现场最低气温在 0℃以下时，不宜施工。如因需要继续施工，应采取措​​施保证混凝土拌合物的入仓温度不低于 5℃，当日平均气温低于 0℃时，应停止施工。

低温季节施工可增加骨料堆高和覆盖保温方式，掺加防冻剂、热水拌和等措施。拌和水温一般不超过 60℃，当超过 60℃时，改变拌和加料顺序，将骨料与水先拌和，然后加入水泥拌和，以免水泥假凝。在混凝土拌和前，用热水冲洗拌和机，并将积水

或冰水排除，使拌和机体处于正温状态。混凝土拌和时间比常温季节适当延长 20%~25%。对混凝土运输车车罐采取保温措施，尽量缩短混凝土运输时间，对衬砌成型的混凝土及时覆盖保温或采取蓄热保温措施保温养护。

五、衬砌质量控制与检测

在衬砌过程中经常检查衬砌厚度，如有误差及时调整。

混凝土初凝前用 2m 靠尺随时检测平整度、注意坡肩、坡脚模板的保护，确保坡肩\坡脚的顺直。现场混凝土质量检查以抗压强度为主，并以 150mm 立方体试件的抗压强度为标准。混凝土试件以出机口随机取样为主。每组混凝土的 3 个试件应在同一储料斗或运输车箱内的混凝土中取样制作。浇筑地点试件取样数量宜为机口取样数量的 10%。同一强度等级混凝土试件取样数量应符合下列要求：一是抗压强度。每次开盘宜取样一组，并满足以 28d 龄期，每 100m³成型一组，设计龄期每 200m³成型一组的的要求；二是抗冻、抗渗指标：其数量可按每季度施工的主要部位取样成型 1~2 组；三是抗拉强度：对于 28d 龄期每 2000m³成型一组，设计龄期每 3000m³成型一组。混凝土浇筑施工现场应按班次详细记录本班组衬砌施工的情况。

第五节 生态护坡

生态护坡处于河流生态系统和陆地生态系统的交错带，具有明显的边缘效应。它在满足河流泄洪、排涝以及稳定堤岸的同时，对于维持河床稳定，增加动植物物种来源，提高生物多样性和生态系统生产力，提高河流自净能力，改进邻近地区的微气候，开展休闲娱乐活动等方面均有重要的现实意义和潜在价值。

生态护坡是综合工程力学、土壤学、生态学和植物学等学科的基本知识对斜坡或边坡进行防护，形成由植物成工程和植物组成的综合护坡系统的护坡技术。开挖边坡形成以后，通过种植植物，利用植物与岩土体的相互作用（根系锚固作用）对边坡表层进行防护、加固，使之既能满足对边坡表层稳定的要求，又能恢复被破坏的自然生态环境的护坡方式，是一种有效的护坡、固坡手段。

生态护坡技术应该是既满足河道护坡功能，又有利于恢复河道护坡系统生态平衡的系统工程。生态护坡技术可以分为植物护坡和植物工程措施复合护坡技术。植物护坡主要通过植被根系的力学效应（深根锚固和浅根加筋）和水文效应（降低孔压、削

弱溅蚀和控制径流)来固土,防止水土流失,在满足生态环境需要的同时,还可以进行景观造景。植物工程复合护坡技术有铁丝网与碎石复合种植基、土木材料固土种植基、三维植被网、水泥生态种植基等形式。

一、生态混凝土施工

(一)生态混凝土的配合比

生态混凝土的配合比应符合下列规定:

1.生态混凝土的骨料品种和粒径、水灰比应满足防护安全要求和构建不同生态系统的需要。

2.骨料粒径宜为 20~40mm,水泥用量宜为 280~320kg/m³,水灰比不宜大于 0.5.必要时应加入减水剂。

3.采用碎石或砾石作为骨料的生态混凝土,其抗压强度不应小于 5MPa。

4.盐碱改良材料用量应根据营养基和盐碱改良材料的性能综合确定,确保植物一次播种绿化年限不应少于 5 年。

(二)生态混凝土的配制

生态混凝土的配制应符合下列规定:

1.生态混凝土的拌和宜采取两次加水方式,即先将骨料倒入搅拌设备中,加入用水量的 50%,使骨料表面湿润,再加入水泥进行搅拌混合,然后陆续加入的 50%用水量继续进行搅拌,以骨料被水泥浆充分包裹,表面无流淌为度。

2.生态混凝土在运送途中,应避免阳光暴晒、风吹、雨淋,防止形成表面初凝或脱浆。如有表团初凝现象,应进行人工拌和,符合要求后方可入仓。

(三)坡式结构施工

坡式结构清基及修坡应符合下列规定:

1.坡式结构施工前应进行清基和修坡处理,不得有树根、杂草、垃圾、废渣、洞穴及粒径 50mm 以上的土块。

2.坡面应平整、无软基,坡面修整的坡比,表面压实度应满足设计要求和生态修复要求。

3.修整后的坡面无天然可耕作表土时,应根据设计要求,覆盖适合植物生长的土料。

4.对清除的表土应外运至弃土场,不得重新用于填筑边坡;对可利用的种植土料宜进行集中储备,并采取防护措施。

营养土工布铺设应符合下列规定：铺设营养土工布作为反滤层时，营养层应在上侧，反滤层在底侧；营养土工布应遮光保护，施工时应避免被阳光长时间照射，防止老化；营养土工布铺设宜采用铁丝制成的 U 形钉将其固定在坡面上，防止滑移；施工人员应穿软底鞋进行铺设；并严禁吸烟。

预制生态混凝土构件铺设应符合下列规定：预制生态混凝土块体或混凝土外框内填生态混凝土构件，应采用专用的构件成型机一次浇筑成型；构件铺设时应整齐摆放，确保平整、稳定；缝隙应紧密、规则，间隙不宜大于 4mm 相邻构件边沿宜无错位，相对高差不宜大于 3mm；在整体护砌面铺设后四周空缺处，应采用相应几何形状的一半块构件完成生态混凝土现浇补充；当遭到坡面局部不平整时，可于铺设构件前，在营养型无纺布表面用土找平或夯平；搬运、摆放时应避免磕碰、摔打、撞击；铺设时严禁采用砸、跺、摔等方式找平。

现场浇筑生态混凝土应符合下列规定：现场浇筑生态混凝土应根据设计的分仓形式先进行分仓施工，浇筑生态混凝土前应预先在底面铺设一层小粒径碎石；生态混凝土进入框架、格室内后，应及时平整，可采用微型电动抹具压平或人工压实表面，保证与框架梁或格室紧密结合，不宜采用大功率振捣器进行振捣；生态混凝土浇筑厚度应满足设计要求，浇筑作业时间不宜过长，以避免骨料表面风干。

生态混凝土生态孔隙填充应符合下列要求：填充前应按生态混凝土盐碱改良要求和营养供应要求配制好填充材料，并摊铺在生态混凝土表面，厚度为生态混凝土厚度的 25%~30%。

生态孔隙填充方式可视具体情况选用下列方法。吹填法：用空气压缩机、吹风机吹填，吹填时应减少飞溅量，以填充材料无法继续吹入为度；水填法：采用低水压喷水，使填充材料随水流注入生态孔隙内，水量不宜过大，避免水流将填充材料流走；振填法：生态混凝土预制构件可采用振填方法，可采用微型平板振动器制动构件外沿，使填充材料沉入生态孔径内。

生态混凝土表面种植土回填应符合下列规定：生态混凝土表面回填种植土采用可耕作土壤；回填种植土前应在基面撒一层土，然后在生态混凝土基面施用 15~20g/m² 的速效底肥，速效底肥宜采用磷酸二铵、尿素等氮肥；回填土料含水率不应小于 15%，土料过干时，可在回填后的土料表面喷洒少量水；回填土时可人工摊平并轻压，摊平后的土料平均厚度不宜大于 20mm。

预制生态混凝土块体和构件的运输及安装应符合下列规定：块体和构件装运时应

轻撒、轻放、轻码；运输中防止刚烈颠额，严禁抛掷和倾倒自卸；安装前坡面修整及反能材料铺设应按规定执行；安装时应从护坡基脚开始，由护坡底部向护坡顶部有序安装；安装应保持坡面平整，高差应控制在设计允许偏差范围内，不得凹凸过大；安装要符合外观质量要求，纵、横及斜向线条应平直；构件安装应稳固，不得晃动，错动，预制构件间的缝隙应紧密；在基脚、封顶处，两预制构件碰接处的空缺应用生态混凝土填实。

（四）墙式结构施工

生态混凝土墙式结构的箱式砌块制作应符合下列规定：预制混凝土箱体应采用专用设备制作。

生态混凝土箱式砌块的内芯填浇方式可采，底层浇注生态混凝土 140mm，中间放置营养包 60~70mm，上层浇注生态混凝土 150mm。

用于水上挡墙的生态混凝土箱式砌块内，应在内芯生态混凝土浇筑并养护 7d 后，向孔隙内充灌盐碱改良材料。

生态混凝土墙式结构基础处理应符合下列规定：

应根据不同工程地质要求，选用混凝土或钢筋混凝土、浆砌石或干砌石、石笼等进行基础处理，并满足设计要求。除石笼基础外，其他形式基础应采用预留或预埋孔道方式保持水——土生态系统的联通。

采用混凝土基础时，当顶面达到设计高程面后，应保持表面平整或采用砂浆找平；采用浆砌石或干砌石基础时，应采用砂浆找平；采用石笼基础时，可在石笼顶层浇筑钢筋混凝土基础梁。

生态混凝土砌块或构件安装应符合下列规定：

生态混凝土砌块或构件宜采用水泥砂浆砌筑，砌缝宽度宜为 20~30mm，砂浆饱满度不应小于 80%。

在不影响挡墙安全稳定性的条件下，砌块或构件可采用适当错位方式摆放，提高挡墙空间一致性程度，增加生态修复效果。

砌块或构件安装应稳固，不得有错动、晃动现象，而块顶部应设混凝土压顶，保持整体稳定。

质量检验与评定：各种原材料、配合比，施工各个主要环节均应进行检查和控制。应建立健全质量管理和保证体系，并根据工程规模和质量控制管理的需要，配备相应的技术人员和必要的检验、试验设备。建立健全必要的技术管理与质量控制制度。

（五）柔性生态护坡

柔性生态护坡工程系统的根植土厚度达 0.3m 以上，完全达到园林规范要求，植被土层的厚度，可为各种草本和木本植物提供良性生长的土壤环境。

- 1.适合当地气候条件的植物，尽量选用乡土植物；
- 2.选择不易退化的品种，尽量选择乔、灌、花、草等的立体植被形式；
- 3.抗病虫害能力强，对周围环境的危害性小，选择易成活少维护的植被；
- 4.寿命或者效果发挥时间长；
- 5.具有足够美化环境的效果；
- 6.容易维护管理。柔性生态护坡优点：

（1）结构稳定

自锁结构、整体受力、有很好的稳定性、对冲击力有很好的缓冲作用、抗震性好。生态袋具有透水、透气、不透土的性能。有很好的水环境和潮湿环境的适应性，基本不对结构产生反渗水压力。结构面通过植被的根系同原自然坡面结合成一个有机的整体，不会产生分离和坍塌等现象。对基础处理要求低。对不均匀沉降有很好的适应性，结构不产生温度应力，不需要设置伸缩缝。是永久性有生命的工程，随着时间的延续。植被根系进一步发达，结构的稳定性和牢固性也会进一步地加强。

（2）生态环保

良好的生态环境系统，乔、灌、藤，花、草结合，植被不退化。不使用传统的高耗能材料，不产生建筑垃圾，没有施工噪音污染，能与生态环境很好地融合。植物种源选择多样化，在乡土植物、地带性的前提下，充分发挥植物根系的保土、挡水、改良环境等功能。绿化生态护坡的广泛应用，比传统做法节约 80%以上的能源消耗，可为国家节约数以亿万计的二氧化碳等有害气体排污治理费。

（3）施工快捷

施工快捷方便，施工人员专业技术要求低。管理方便，材料轻便易运易储，运输量比传统做法减少 95%以上。

（4）维护费低

良好的生态边坡，植被持久不会退化，不需后期维护费。相比于传统护坡，延长了植被生长时间，减少了修复次数费用。植物土壤改良方便，肥效利用明显提高，减少多次补肥费用，节省维护费用。就地取土，进行土壤改良，节省二次搬运费用。

二、生态袋

生态袋护坡系统针对开挖坡度 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ，甚至更大坡度，易发生滑坡和坍塌的边坡，宜采用生态袋生态护坡系统进行防护施工。其核心技术是不可替代的商分子生态袋：用由来丙烯及其他高分子材料复合制成的材料编织而成，耐腐蚀性强，耐微生物分解，抗紫外线，易于植物生长，使用寿命长达 70 年的高科技材料制成的护坡材料。主要特点是：它允许水从袋体渗出，从而减小袋体的静水压力，它不允许袋中土壤泻出袋外，达到了水土保持的目的。成为植被赖以生存的介质，袋体柔软，整体性好。

生态袋护坡系统通过将装满植物生长基质的生态袋沿边坡表面层层堆叠的方式在边坡表面形成一层适宜植物生长的环境，同时通过连接配件将袋与袋之间，层与层之间，达到牢固的护坡作用，同时随着植物在其上的生长，进一步地将边坡固定然后在堆叠好的袋面采用绿化手段播种或栽植植物，进而达到恢复植被的目的。由于采用生态袋护坡系统所创查的边坡表面生长环境较好（可达到 $30\sim 40\text{cm}$ 厚的土层），草本植物、小型灌木，甚至一些小乔木都可以非常好地生长，能够形成茂盛的植被效果。近年来广泛应用于各种恶劣情况下的边坡防护施工以及其他一些防护和生态修复领域。

施工程序：施工准备，做好人员、机具、材料准备、挖好基础、清坡，清除坡面浮石，尽可能平坡面。生态袋填充，将基质材料填充入生态袋内，采用封口扎带或现场用小型封口机封制，生态袋和生态袋结构扣及加筋格栅的施工，基础和上层形成的结构将生态袋结构扣水平放置两个袋之间在靠近袋子边缘的地方，摇晃扎实袋子以便每一个标准扣刺穿袋子的正下面，每层袋子铺设完成后在上面放置木板并由人在上面行走踩踏，这一操作是用来确保生态袋结构扣和生态袋之间良好的联结。铺设袋子时，注意把袋子的缝线结合一侧向内竖放，每垒砌三层生态袋便铺设一层加筋格栅，加筋格栅一墙固定在生态袋结构扣。在墙的顶部，将生态袋的长边方向水平垂直于墙面覆盖，以确保压顶稳固。**喷播：**采用液压喷播的方式对构筑好的生态袋墙面进行喷播绿化施工，然后加盖无纺布，洒水养护。**栽植灌木：**对照苗木带的土球大小，用刀把生态袋切割一“T”字小口，同时揭开被切的袋片，用花铲将被切位置土壤取出至合适所带土球大小，被取土壤堆置于切口旁边用枝剪把苗木的营养袋剪开，完全露出土球，适当修剪苗木根系与枝叶；把苗木放到土穴中，然后用花铲将土壤回填到土穴缝边，同时扎土，直到回填完好，并且盖好袋片，对于刚种植完的苗木，必须浇透淋根水，后期按绿化规范管养。

第六章 土石坝与混凝土坝施工

第一节 土石坝施工

一、料场规划

土石坝施工中，料场的合理规划和使用的关键技术之一，它不仅关系坝体的施工质量、工期和工程造价，甚至还影响周围的农林业生产。

施工前，应配合施工组织设计，对各类料场做进一步的勘探和总体规划、分期开采计划，使各种坝料有计划、有次序地开采出来，满足坝体施工的要求。

选用料场材料的物理力学性质，应满足坝体设计施工质量要求，勘探中的可供开采量不少于设计需要量的两倍。在储量集中的主要料区，布置大型开采设备，避免经常性的转移，保留一定的备用料场（为主要料场总储量的 20%~30%）和近料场作为坝体合龙以及抢筑拦洪高工程用。

在料场的使用时间及程序上，应考虑施工期河水位的变化及施工导流使上游水位抬高的影响。供料规划上要近料、上游易淹料先用，远料及下游不淹料后用。含水量高料场夏季用，含水量低料场雨季用。施工强度高时利用近料，强度低时利用远料，应平衡运输强度，避免窝工。对料场高程与相应的填筑部位，应选择恰当、布置合理，有利于重车下坡。做到就近取料、低料低用、高料高用，避免上下游料过坝的交叉运输，减少干扰。

充分合理地利用开挖弃渣料，这对降低工程造价和保证施工质量具有重要意义。做到弃渣无隐患，不影响环保。在料场规划中应考虑到挖、填各种坝料的综合平衡，做好土石方的调度规划，合理用料。料场的覆盖剥离层薄，有效料层厚，便于开采，获得率高。减少料物堆存、倒运，做好料场的防洪、排水，防止料物污染和分离。不占或少占农业耕地，做到占地还地、占田还田。

总之，料场的规划和开采，考虑的因素很多而且又很灵活，对拟定的规划、供料方案，在施工中不合适的进行调整，以便取得最佳的技术经济效果。

二、土石料开挖运输

土石坝施工中，从料场的开挖、运输，到坝面的平料和压实等各项工序，都可由互相配套的工程机械来完成，构成“一条龙”式的施工工艺流程，即综合机械化施工。在大中型土石坝，尤其在高土石坝中，实现综合机械化施工对提高施工技术水平，加快土石坝工程建设速度，具有十分重要的意义。

坝料的开挖与运输是保证上坝强度的重要环节之一。开挖运输方案，主要依据坝体结构布置特点、坝料性质、填筑强度、料场特性、运距远近、可供选择的机械型号等多种因素综合分析比较确定。土石坝施工中开挖运输方案主要有以下几种：

（一）正向铲开挖，自卸汽车运输上坝

正向铲开挖、装载，自卸汽车运输直接上坝，通常运距小于 10km。自卸汽车具有可运各种坝料、运输能力高、设备通用、能直接铺料、机动灵活、转弯半径小、爬坡能力较强、管理方便、设备易于获得等优点，在国内外的高土石坝施工中获得了广泛的应用，且挖运机械朝着大斗容量、大吨位方向发展。在施工布置上，正向铲一般都采用立面开挖，汽车运输道路可布置成循环路，装料时停在挖掘机一侧的同一平面上，即汽车鱼贯式地装料与行驶。这种布置形式，可避免或减少汽车的倒车时间，正向铲采用 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 的转角侧向卸料，回转角度小、生产率高，能充分提高正向铲与汽车的效率。

（二）正向铲开挖，胶带机运输

国内外很多水利工程施工中，广泛采用了胶带机运输土、砂石料，国内的大伙房、岳城、石头河等土石坝施工，胶带机成为主要的运输工具。胶带机的爬坡能力大，架设简易，运输费用较低，比自卸汽车可降低运输费用 $1/3\sim 1/2$ 。运输能力也较高，胶带机合理运距小于 10km，胶带机可直接从料场运输上坝；也可与自卸汽车配合，做长距离运输，在坝前经漏斗由汽车转运上坝；与有轨机车配合，用胶带机转运上坝做短距离运输。目前，国外已发展到可用胶带机运输块径为 400~500mm 的石料，甚至向运输块径达 700~1000mm 的更大堆石料发展。

（三）斗轮式挖掘机开挖，胶带机运输，转自卸汽车上坝

当填筑方量大、上坝强度高的土石坝，料场储量大而集中时，可采用斗轮式挖掘机开挖，它的生产率高，具有连续挖掘、装载的特点，斗轮式挖掘将料转入移动式胶带机，其后接长距离的固定式胶带机至坝面或坝面附近，经自卸汽车运至填筑面。这种布置方案，可使挖、装、运连续进行，简化了施工工艺，提高了机械化水平和生产

率。

(四) 采砂船开挖, 有轨机车运输, 转胶带机(或自卸汽车)上坝

国内一些大中型水电工程施工中, 广泛采用采砂船开采水下的砂砾料, 配合有轨机车运输。在我国大型载重汽车尚不能充分满足需要的情况下, 有轨机车仍是一种效率较高的运输工具, 它具有机械结构简单、修配容易的优点。当料场集中、运输量大、运距较远(大于 10km)时, 可用有轨机车进行水平运输。有轨机车运输的临建工程量较大, 设备投资较高, 对线路坡度和转弯半径的要求也较高, 但有轨机车不能直接上坝, 在坝脚经卸料装置至胶带机或自卸汽车转运上坝。

坝料的开挖运输方案很多, 但无论采用何种方案, 都应结合工程施工的具体条件。组织好挖、装、运、卸的机械化联合作业, 提高机械利用率, 减少坝料的转运次数。各种坝料铺填方法及设备应尽量一致, 减少辅助设施。充分利用地形条件, 统筹规划和布置。运输道路的质量标准, 对提高工效降低车辆设备损耗具有重要作用。

三、土料压实

土石料的压实是土石坝施工质量的关键。维持土石坝自身稳定的土料内部主力(黏结力和摩擦力)、土料的防渗性能等, 都是随土料密实度的增加而提高。例如, 干表观密度为 $1.4\text{t}/\text{m}^3$ 的沙壤土, 压实后若提高到 $1.7\text{t}/\text{m}^3$, 其抗压强度可提高 4 倍, 渗透系数将降低至 $1/2000$ 。土料压实, 可使坝坡加陡, 加快施工进度, 降低工程投资。

(一) 土料压实特性

土料压实特性与土料自身的性质, 颗粒组成情况、级配特点、含水量大小以及压实功能等有关。

黏性土和非黏性土的压实有显著的差别。一般黏性土的黏结力较大, 摩擦力较小, 具有较大的压缩性, 但由于它的透水性小, 排水困难, 压缩过程慢, 所以很难达到固结压实。非黏性土料则相反, 它的黏结力小、摩擦力大、有较小的压缩性, 但由于它的透水性大、排水容易、压缩过程快, 因此能很快压实。

土料颗粒粗细、组成也影响压实效果。颗粒越细, 空隙比越大, 含矿物分散度越大, 就越不容易压实, 所以黏性土的压实干表观密度低于非黏性土的压实干表观密度。颗粒不均匀的沙砾料, 比颗粒均匀的细砂可能达到的干表观密度要大一些。土料的含水量是影响压实效果的重要因素之一。用原南京水利实验处击实仪(南实仪)对黏性土的击实试验, 得到一组击实次数、干表观密度与含水量的关系曲线。

非黏性土料的透水性大、排水容易、压实过程快, 能够很快达到压实, 不存在最

优含水量，含水量不做专门控制，这是非黏性土料与黏性土料压实特性的根本区别。压实功能大小也影响着土料干表观密度的大小，击实次数增加，干表观密度也随之增大而最优含水量则随之减小，说明同一种土料的最优含水量和最大干表观密度并不是一个恒定值，而是随压实功能的不同而异。

一般说来，增加压实功能可增加干表观密度，这种特性对于含水量较低（小于最优含水量）的土料比对于含水量较高（大于最优含水量）的土料更为显著。

（二）土石料的压实标准

土料压实得越好，物理力学性能指标越高，坝体填筑质量就越有保证。但土料过分压实，不仅提高了压实费用，而且会产生剪力破坏，反而达不到应有的技术经济效果，可见对坝料的压实应有一定的标准。坝料性质不同，压实的标准也各异。

1.黏性土料（防渗体）

黏性土的压实标准，主要以压实干表观密度和施工含水量这两个指标来控制。（1）用击实试验来确定压实标准；（2）用最优饱和度与塑限的关系，计算最大干表观密度；（3）施工含水量确定。

2.砂土及砂砾石

砂土及砂砾石是填筑坝体或坝壳的主要材料之一，对其填筑密度也应严格要求。对砂性土，还要求颗粒不能太小和过于均匀，级配要适当，并有较高的密实度，防止产生液化。

3.石渣及堆石体（坝壳料）

石渣或堆石体作为坝壳材料，可用空隙率作为压实指标。根据国内外的工程实践经验，碾压式堆石体空隙率应小于 30%，控制空隙率在适当范围内，有利于防止过大的沉陷和湿陷裂缝。

（三）压实机械

压实机械对工程进度、工程质量和造价有很大的影响。压实机械的选择原则：应根据筑坝材料的性质、原状土的结构状态、填筑方法、施工强度及作业面积的大小等，选择性能达到设计施工质量标准的碾压设备类型。如按不同材料分别配置不同的压实机械，就会出现机械闲置的情况。所以确定机械种类和台数时，还应从填筑整体出发，考虑互相配合使用的可能。

1.羊脚碾

羊脚碾的羊脚插入土中，不仅使羊脚底部的土料受到压实，而且使侧向上方土料

也受到挤压，从而达到均匀的压实效果。羊脚碾仅适用于压实黏性土料和黏土，不适合压非黏性土。土料压实层在一定深度的范围内，可以获得较高的压实干表观密度，但土体的干表观密度沿深度方向的分布不均匀。羊脚碾的独特优点是能够翻松表面土层，可省去刨毛工序，保证了上下土层的结合质量，此外，羊脚碾还能起到混合土料的作用，可以使土料级配和含水量比较均匀。羊脚顶端接触应力地过大或过小，都会降低碾压效果。

2.气胎碾

气胎碾适用于压实黏土料，也适合于压实非黏性土料，如黏性土、黏土、沙质土和沙砾料等，都可以获得较好的压实效果。气胎碾的充气轮胎，在压实过程中具有一定的弹性，可以和压实的土料同时发生变形，轮胎与土料的接触应力主要取决于轮胎的充气压力，与轮胎的荷载大小无关。

3.振动碾

振动碾是一种以碾重静压和振动力共同作用的压实机械，较之没有振动的压实机械，土中应力可提高4~5倍，能有效压实堆石体、沙砾料和砾质土，也可用于压实黏性土和黏土。

4.夯实机械（重锤）

夯板适用于压实沙砾料、砾质土和黏性土，也可用于压实黏土。

四、坝体填筑

土石坝的坝基开挖、基础处理及隐蔽工程等验收合格后，就可以全面展开坝体填筑。坝体填筑包括基本作业（卸料、平料、压实及质检）和辅助作业（洒水、刨毛、清理坝面和接触缝处理）。

（一）坝面流水作业

土石坝填筑必须严密组织，保证各工序的衔接，通常采用分段流水作业。分段流水作业是根据施工工序数目将坝面分段，组织各工种的专业队伍，依次进入各工段施工。对同一工段来讲，各专业队按工序依次连续施工；对各专业队来讲，依次连续地在各工段完成固定的专业工作。进行流水作业，有利于施工队伍技术水平的提高，保证施工过程中人、地和机具的充分利用，避免施工干扰，有利于坝面连续有序的施工。

组织流水作业原则：

1.流水作业方向和工作段大小的划分要与相应高程的坝面面积相适应，并满足施工机械正常作业要求。宽度应大于碾压机械能错车与压实的最小宽度，或卸料汽车最

小转弯半径的两倍,一般为 10~20m;长度主要考虑碾压机械的作业要求,一般为 40~100m。其布置形式主要有三种:垂直坝轴线流水;平行坝轴线流水;交叉流水。

2.坝体填筑工序按基本作业内容进行划分(辅助作业可穿插进行,不过多占用基本作业时间),其数目与填筑面积大小铺料方式、施工强度和季节等有关。一般多划分为铺料和压实两个工序,也可划分为铺料、压实、质检三个工序,还可划分为铺料、平料、压实、质检四个工序。为保证个工序能同时施工,坝面划分的工作段数目至少应等于相应的工序数目,在坝面较大或强度较低的情况下,工作段数可大于工序数。

3.完成填筑土料的作业时间,应控制在一个班以内,最多不超过一个半班,冬夏季施工为防止热量和水分散失应尽量缩短作业循环时间。

4.应将反滤料和防渗料的施工紧密配合,统一安排。

(二) 卸料及平料

通常采用自卸汽车、胶带机直接进入坝面卸料,由推土机平铺成要求的厚度。自卸汽车倒土的间距应使后面的平料工作减少,便于铺成要求的厚度。在坝面各料区的边界处,铺料会有出入,通常规定其他材料不准进入防渗区边界线的内侧,边界外侧铺土距边界线的距离不能超过 5cm。

为配合碾压施工,防渗体土料铺筑应平行于坝轴线方向进行。

1. 自卸汽车卸料

自卸汽车可分为后卸、底卸和侧卸三种。底卸式汽车可边行驶边卸料,但不能运输大粒径的块石或漂石;侧卸式汽车适用运输反滤料及有固定卸料点的运输。自卸汽车上坝的运输线路布置取决于坝址两岸地形条件、枢纽布置、坝的高低、上坝强度等因素,主要有两种布置方式:一种为汽车自两岸(或一岸)岸坡上坝公路上坝,因此采用由两岸向中央(或一岸向另一岸)进占方式;另一种为汽车沿坝坡“之”字形公路上坝。

(1) 土料

当用自卸汽车运输防渗土料时,为了避免重型汽车多次反复在已压实的填筑土层上行驶,会使土层产生弹簧土、光面与剪力破坏,严重影响结合层的质量,应采取进占法卸料与平料。即汽车一边沿卸料方向向前进展,一边卸料,推土机也随即平料,交替作业,汽车在刚平好的松土上行驶,重车行驶坝面路线应尽量不重复。

(2) 沙砾料

一般粒径较小,推土机很容易在料堆上平土,因此,可采用常规的后退法卸料,

即汽车沿卸料方向后退扩展。

(3) 堆石料

堆石料往往含大量的大块径石料，不仅影响推土机、汽车在卸料上行驶，还容易损坏推土机履带和汽车的轮胎，而且也难以将堆石料散开。可采用进占法卸料，推土机随即平料，这样大粒径块石就易推至铺料前沿的下部，细粒料填入堆石体上部的空隙，使表面平整，便于车辆通行。

2. 胶带上坝布置及卸料

(1) 上坝布置

上坝胶布应根据地形、坝长、施工场地具体条件、运输强度以及施工分期等因素进行布置。布置方式主要有：①岸坡式布置；②坝坡式布置。

(2) 胶布坝面卸料

与铺土厚度或压实工具有关，适用于黏性土、沙砾料、沙质土。其优点是可以利用坝坡直接上坝，不需专门道路，但要配合专门机械或人工散料。随着坝体升高，应经常移动胶布，一般有以下两种卸、散料方式：①摇臂胶布卸料、推土机散料；②摇臂胶布卸料，人工——手推车散料。

(三) 碾压方法

坝面的填筑压实应按一定的次序进行，避免发生漏压与超压。防渗体土料的碾压方向应平行坝轴线方向进行，不得垂直于坝轴线方向碾压，避免局部漏压形成横穿坝体的集中渗流带。碾压机械行驶的行与行之间必须重叠 20~30cm 左右，以免产生漏压。此外，坝料分区之间的边界也容易成为漏压的薄弱带，必须重叠碾压。

根据工程实践经验，碾压机械行驶速度大小对坝料（如黏性土）压实效果有一定的影响，各种碾压机械的行驶速度一般应通过试验确定，自行式碾压机械的行驶速度以 1~2 档为宜。羊脚碾、气胎碾可采用进退错距法或转圈套压法两种。

(四) 结合部位施工

土石坝施工中，坝体的防渗土料不可避免地要与地基、岸坡、周围其他建筑的边界相结合。由于施工导流、施工方法、分期分段分层填筑等的要求，必须设置纵横向的接坡、接缝。这些结合部位，都是影响坝体整体性和质量的关键部位，也是施工中的薄弱环节，处理工序复杂，施工技术要求高，且多系手工操作，质量不易控制。接坡、接缝过多，还会影响坝体填筑速度，特别是影响机械化施工。对结合部位的施工，必须采取可靠的技术措施，加强质量控制和管理，确保坝体的填筑质量满足设计要求。

（五）反滤层施工

反滤层的填筑方法，大体可分为削坡体，挡板法及土、砂松坡接触平起法三类。土、砂松坡接触平起法能适应机械化施工，填筑强度高，可做到防渗体、反滤料与坝壳料平起填筑，均衡施工，被广泛采用。根据防渗体土料和反滤层填筑的次序、搭接形式的不同，可分为先土后砂法和先砂后土法。

无论是先砂后土法或先土后砂法，土砂之间必然出现犬牙交错的现象。反滤料的设计厚度，不应将犬牙厚度计算在内，不允许过多削弱防渗体的有效断面，反滤料一般不应伸入心墙内，犬牙大小由各种材料的休止角决定，且犬牙交错带不得大于其每层铺土厚度的 1.5~2 倍。

五、砼面板堆石坝垫层与面板的施工

（一）垫层施工

垫层为堆石体坡面上最上游部分可用人工碎料或级配良好的沙砾料填筑。垫层须与其他堆石体平起施工，要求垫层坡面必须平整密实，坡面偏离设计坡面线最大不应超过 5cm，避免面板厚薄不均，有利于面板应力分布。施工程序：①先沿坡面上下无振碾压数遍，随即将突出及凹陷处加以平整；②然后用振动碾沿坡面自下而上用振动碾压数遍，再次对凹凸处进行平整；③在坡面上涂抹三次阳离子沥青乳胶，每涂抹一次用手或机械喷洒一些粒径小于 3mm 的砂子，再在坡面上自下向上用振动碾碾压。涂抹沥青乳胶的目的是黏结垫层坡面的松散材料不被振动滚落，防止雨水对垫层坡面的冲刷，提高垫层的阻水性和使面板易于沿垫层坡面滑移，避免开裂。

（二）砼面板的分缝止水及施工

砼防渗面板包括主面板及砼底座。面板砼应满足设计和施工强度、抗渗、抗侵蚀、抗冻及温度控制的要求：

1. 面板的分缝止水：

2. 砼面板施工，底座的基坑开挖、处理、锚筋及灌浆等项目，应按设计及有关规范要求，并在坝体填筑前施工。砼面板是面板堆石坝挡水防渗的主要部位，同时也是影响进度与工程造价的关键。在确保质量的前提下，还必须进一步研究快速经济的施工技术，如施工机具的研制、砼输送和浇筑方案的选择、施工工艺及技术措施等方面的问题。

六、质量检查控制及事故处理

土石坝施工的整个过程中，加强施工质量的检查与控制是保证施工质量的重要措

施，同时，对施工中出现的的质量事故，必须及时地认真处理，确保坝体的安全运用。

（一）质量检查控制

施工质量是直接影响坝体土料物理力学性质，从而影响大坝安全的重要因素。土石坝施工中，质量检查控制的项目较多，从坝基的开挖及处理，直到坝体的填筑，都应按国家和部门颁发的有关标准、工程的设计和施工图、技术要求以及工地制定的施工规定进行。

（二）事故处理

最常见的事故是土石坝的防渗土体发生裂缝、滑坡、坝体及坝基漏水等。

1.干缩、冻融裂缝

干缩裂缝多发生在施工期上下游坝坡或坝顶的填筑面上，其特征是规律性差、呈龟裂状。如不及时处理，将加速水力劈裂或不均匀沉陷裂缝的产生和发展，造成严重的危害。其防治方法是及时做好护坡和保护层，对已出现的裂缝，可视深浅的不同，采用开挖回填或将裂缝全部铲除重新回填处理。

2.沉陷裂缝

由于岸坡过陡或坡率变差大、地基不均匀沉降、黄土湿陷变形、坝体施工期填筑高度过大及坝体压实不够等原因而产生沉陷裂缝，这种裂缝有横向和纵向两种，而以横向裂缝危害更大。对横向裂缝，不论其大小，都应进行严格处理，防止贯穿坝体漏水失事，如裂缝深度在 1.5m 以内，可沿缝开挖成梯形断面，应挖至裂缝尖灭后再加深 0.2~0.5m，以防止遗漏“多”字形成或“纺锤形”裂缝的存在；在裂缝水平方向的开挖宽度，应延伸裂缝尖灭后再加长 1~2m。裂缝开挖后应避免日晒雨淋，防止雨水渗入缝内，回填时要注意新老土料的结合。

3.滑坡裂缝

土坝的滑坡多出现在均质土坝的施工期或初期运行中，根据裂缝的不同特点，可分成滑弧形式和溯流滑动两大类。

七、雨季和冬季施工

受外界气象环境的影响，雨季和冬季施工对防渗土料影响更大。雨季会给土料增大含水量，而冬季土料又会冻结成块，影响压实效果和施工质量。此外，为了保证坝体的施工速度、降低工程造价，也需要解决好雨季和冬季中的施工措施问题。

（一）雨季施工

土石坝防渗体土料，在雨季施工总的原则是“避开、适应和保护”。一般情况下

应尽量避免在雨季进行土料施工，选择对含水量不敏感的非黏性土料适应雨季施工，争取小雨日施工，增加施工天数；在雨日不太多、降低强度大、花费不大的情况下，采取一般性的防护措施也能奏效。

运输道路也是雨季施工的关键之一。一般的泥结碎石路面，遇雨水浸泡时，路面容易破坏，即使天晴坝面可复工，但因道路影响了运输而不能及时复工，不少工程有过此教训，所以应加强雨季路面维护和排水措施，在多雨地区的主要运输道路，可考虑采用砼路面。

（二）冬季施工

寒冷地区，当日平均气温低于 0°C 时，黏性土料按低温季节施工；日平均气温低于 -10°C 时，一般不宜填筑土料，否则应进行技术论证。冬季施工的主要问题在于：土的冻结使土体强度增高，不易压实，而冻土的融化却使土体的强度、土坡的强度和土坡的稳定性降低，处理不好，将使土体产生渗漏或溯流滑动。外界气温降低时，土料中水分开始结冰的温度低于 0°C ，即所谓过冷现象。

第二节 混凝土坝施工

混凝土坝按结构特点可分为重力坝、大头坝和拱坝；按施工特点可分为常态混凝土坝、碾压混凝土坝和装配式混凝土坝；按是否通过坝顶溢流可分为非溢流混凝土坝和溢流混凝土坝。混凝土坝泄水方式除坝顶溢流外，还可在坝身中部设泄水孔（中孔）以便洪水来临前快速预泄，或在坝身底部设泄水孔（底孔）用以降低库水位或进行冲砂。

混凝土坝的主要优点：①可以通过坝身泄水或取水，省去专设的泄水和取水建筑物；②施工导流和施工度汛比较容易；③枢纽布置较土石坝紧凑，便于运用和管理；④遇偶然事故时，即使非溢流坝顶漫流，也不一定失事，安全性较好。主要缺点：①对地基要求比土石坝高，混凝土坝通常建在地质条件较好的岩基上，其中混凝土拱坝对坝基和两岸岸坡岩体强度、刚度、整体性的要求更高，同时要求河谷狭窄对称，以充分发挥拱的作用（当坝高较低时，通过采取必要的结构和工程措施，也可在土基上修建混凝土坝，但技术比较复杂）；②混凝土坝施工中需要温控设施，甚至在炎热气候情况下不能浇筑混凝土；③利用当地材料较土石坝少。

拱坝要求地基岩石坚固完整、质地均匀，有足够的强度、不透水性和耐久性，没有不利的断裂构造和软弱夹层，特别是坝肩岩体，在拱端力系和绕坝渗流等作用下能保持稳定，不产生过大的变形。拱坝地基一般需做工程处理，通常对坝基和坝肩做帷幕灌浆、固结灌浆，设置排水孔幕，如有断层破碎带或软弱夹层等地质构造，需做加固处理。

混凝土坝的安全可靠性计算主要体现在两个方面：①坝体沿坝基面、两岸岸坡坝座或沿岩体中软弱构造面的滑动稳定有足够的可靠度；②坝体各部分的强度有足够的保证。

混凝土坝在 19 世纪后期才开始出现，并得到迅速发展。美国建成坝高 221.4m、体积 336 万 m³的胡佛（Hoover）坝，是现代混凝土坝建成的典型代表，其主要标志：①建立了较实用的坝体应力分析法；②采用较合理的坝体构造；③提出了较完整的施工方法和采用了相应的施工设备；④制定了较完善的控制混凝土开裂措施；⑤用安全系数来协调安全与经济的关系等。全世界已建的坝高在百米以上的大坝中，大部分是混凝土坝。20 世纪 60 年代以后，由于施工技术和机械化有所提高，土石坝的建设技术得到了发展，混凝土坝的比重有所下降，但随着混凝土坝设计理念的不断创新，特别是碾压混凝土筑坝技术的发展，混凝土坝建设将开创更广阔的前景。

一、碾压混凝土施工

（一）原材料控制与管理

1. 碾压混凝土所使用原材料的品质必须符合国家标准和设计文件及本工法所规定的技术要求。

2. 水泥品质除符合现行国家标准普通硅酸盐水泥要求外，且必须具有低热、低脆性、无收缩的性能。

3. 高温条件下施工时，为降低水化热及延长混凝土的初凝时间，粉煤灰掺量可适当增加，但总量应控制在 65% 以内。

4. 砂石骨料绝大部分采用红河天然砂石骨料。开采砂、石的质量需满足规范要求，粗骨料粒径不大于 5%，超径 10%，RCC 用砂细度模数必须控制在 2.3 ± 0.2 ，且细粉料要达到 18%。不许有泥团混在骨料中。试验室负责对生产的骨料按规定的项目和频数进行检测。

5. 为满足碾压混凝土层间结合时间的要求，必须根据温度变化的情况对混凝土外加剂品种及掺量进行适当调整，平均温度不高于 20℃ 时，采用普通型缓凝高效减水剂

掺量，按基本掺量执行；温度高于 30℃时，采用高温型缓凝高效减水剂掺量，掺量调整为 0.7~0.8%。在施工大仓面时，若间隔时不能保证在砼初凝时间内覆盖第二层，宜采用在 RCC 表喷含有 1%的缓凝剂水溶液，并在喷后立即覆上彩条布，以防砼被晒干，保证上下层砼的结合。外加剂配置必须按试验室签发的配料单配制外加剂溶液，要求计量准确、搅拌均匀，试验室负责检查和测试。

6.水与混凝土拌和，养护用水必须洁净、无污染。

7.凡用于主体工程的水泥、粉煤灰、外加剂、钢材均须按照合同及有关规定，作抽样复检，抽样项目及频数按抽样规定表执行。

8.混凝土公司应根据月施工计划（必要时根据周计划）制定水泥、粉煤灰、外加剂、氧化镁、钢材等材料物资计划，物资部门保障供应。

9.每一批水泥、粉煤灰、外加剂及钢筋进场时，物资部必须向生产厂家索取材料质保（检验）单，并交试验室，由物资部通知试验室及时取样检验。检验项目：水泥细度、安定性、标准稠度、抗压、抗折强度、粉煤灰。严禁不符合规范要求材料入库。

10.仓库要加强对进场水泥、粉煤灰、外加剂等材料的保管工作，严禁回潮结块。袋装水泥贮藏期超过 3 个月、散装水泥超过 6 个月时，使用前进行试验，并根据试验结果确定是否可以使用。

11.混凝土开盘前须检测砂、石料含水率、砂细度模数及含泥量，并对配合比作相应调整，即细度 ± 0.2 、砂率 $\pm 1\%$ 。对原材料技术指标超过要求时，应及时通知有关部门立即纠正。

12.拌和车间对外加剂的配置和使用负责，严格按照试验室要求配置外加剂，使用时搅拌均匀，并定期校验计量器具，保证计量准确，混凝土外加剂浓度每天抽检一次。

13.试验室负责对各种原材料的性能和技术指标进行检验，并将各项检测结果汇入月报表中，并报送监理部门。所有减水剂、引气剂、膨胀剂等外加剂需在保质期内使用，进场后按相应材料保质保存措施进行，严禁使用过期失效外加剂。

（二）配合比的选定

1.碾压混凝土、垫层混凝土、水泥砂浆、水泥浆的配合比和参数选择按审批后的配合比执行。

2.碾压混凝土配合比通过一个月施工统计分析后，如有需要，由工程处试验室提出配合比优化设计报告，报相关方审核批准后使用。

（三）施工配料单的填写

1.每仓混凝土浇筑前由工程部填写开仓证，注明浇筑日期，浇筑部位，混凝土强度等级、级配、方量等，交予现场试验室值班人员，由试验员签发混凝土配料单。

2.施工配料单由试验室根据混凝土开仓证和经审批的施工配合比制定、填写。

3.试验室对所签发的施工配料单负责，施工配料单必须经校核无误后使用，除试验室根据原材料变化按规范规定调整外，任何人无权擅自更改。

4.试验室在签发施工配料单之前，必须对所使用的原材料进行检查及抽样检验，掌握各种原材料质量情况。

5.试验室在配料单校核无误后，立即送交拌和楼，拌和楼应严格按施工配料单进行拌制混凝土，严禁无施工配料单情况下拌制混凝土。

（四）碾压混凝土施工前检查与验收

1.准备工作检查

（1）由前方工段（或者值班调度）负责检查 RCC 开仓前的各项准备工作，如机械设备、人员配置、原材料、拌和系统、入仓道路（冲洗台）、仓内照明及供排水情况检查、水平和垂直运输手段等。

（2）自卸汽车直接运输混凝土入仓时，冲洗汽车轮胎处的设施符合技术要求，距大坝入仓口应有足够的脱水距离，进仓道路必须铺石料路面并冲洗干净、无污染。指挥长负责检查，终检员将其列入签发开仓证的一项内容进行检查。

（3）若采用溜管入仓时，检查受料斗弧门运转是否正常，受料斗及溜管内的残渣是否清理干净、结构是否可靠、能否满足碾压混凝土连续上升的施工要求。

（4）施工设备的检查工作应由设备使用单位负责（如运输车间）。

2.仓面检查验收工作

（1）工程施工质量管理

实行三检制：班组自检，作业队复检，质检部终检。

（2）基础或混凝土施工缝处理的检查项目

建基面、地表水和地下水、岩石清洗、施工缝面毛面处理、仓面清洗、仓面积水。

（3）模板的检查项目

①是否按整体规划进行分层、分块和使用规定尺寸的模板。②模板及支架的材料质量。③模板及支架结构的稳定性、刚度。④模板表面相邻两面板高差。⑤局部不平。⑥表面水泥砂浆黏结。⑦表面涂刷脱模剂。⑧接缝缝隙。⑨立模线与设计轮廓线偏差。

⑩留孔、洞尺寸及位置偏差。⑪测量检查、复核资料。

(4) 钢筋的检查项目

①审批号、钢号、规格。②钢筋表面处理。③保护层厚度局部偏差。④主筋间距局部偏差。⑤箍筋间距局部偏差。⑥分布筋间距局部偏差。⑦安装后的刚度及稳定性。⑧焊缝表面。⑨焊缝长度。⑩焊缝高度。⑪焊接试验效果。钢筋直螺纹连接的接头检查。

(5) 止水、伸缩缝的检查项目

①是否按规定的技术方案安装止水结构（如加固措施、混凝土浇筑等）。②金属止水片和橡胶止水带的几何尺寸。③金属止水片和橡胶止水带的搭接长度。④安装偏差。⑤插入基础部分。⑥敷沥青麻丝料。⑦焊接、搭接质量。⑧橡胶止水带塑化质量。

(6) 预埋件的检查项目

①预埋件的规格。②预埋件的表面。③预埋件的位置偏差。④预埋件的安装牢固性。⑤预埋管子的连接。

(7) 混凝土预制件的安装

①混凝土预制件外形尺寸和强度应符合设计要求。②混凝土预制件型号、安装位置应符合设计要求。③混凝土预制件安装时底部及构件间接触部位连接应符合设计要求。④主体工程混凝土预制构件制作必须按试验室签发的配合比施工，并由试验室检查，出厂前应进行验收，合格后方可出厂使用。

(8) 灌浆系统的检查项目

①灌浆系统埋件（如管路、止浆体）的材料、规格、尺寸应符合设计要求。②埋件位置要准确、固定，并连接牢固。③埋件的管路必须畅通。

(9) 入仓口

汽车直接入仓的入仓口道路回填及预浇常态混凝土道路的强度（横缝处），必须在开仓前准备就绪。

(10) 仓内施工设备

包括振动碾、平仓机、振捣器和检测设备，必须在开仓前按施工要求的台数就位，并保持良好的机况，无漏油现象发生。

(11) 冷却水管

采用导热系数 $\lambda \geq 1.0 \text{KJ/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ，内径 28mm，壁厚 2mm 的高密度聚乙烯塑料管，按设计图蛇行布置。单根循环水管的长度不大于 250m，冷却水管接头必须密封，开仓

之前检查水管不得堵塞或漏水，否则应进行更换。

3.验收合格证签发和施工中的检查

(1) 未签发开仓合格证，严禁开仓浇筑混凝土，否则按严重违章处理。

(2) 在碾压混凝土施工过程中，应派人值班并认真保护，发现异常情况及时认真检查处理，如损坏严重应立即报告质检人员，通知相关作业队迅速采取措施纠正，并需重新进行验仓。

(3) 在碾压混凝土施工中，仓面每班专职质检人员包括质检员 1 人，试验室检测员 2 人，质检人员应相互配合，对施工中出现的问题，需尽快反映给指挥长，指挥长负责协调处理。仓面值班监理工程师或质检员发现质量问题时，指挥长必须无条件按监理工程师或质检员的意见执行，如有不同意见可在执行后向上级领导反映。

(五) 混凝土拌和与管理

1.拌和管理

(1) 混凝土拌和车间应对碾压混凝土拌和生产与拌和质量全面负责。值班试验工负责对混凝土拌和质量全面监控，动态调整混凝土配合比，并按规定进行抽样检验和成型试件。

(2) 为保证碾压混凝土连续生产，拌和楼和试验室值班人员必须坚守岗位，认真负责和填写好质量控制原始记录，严格坚持现场交接班制度。

(3) 拌和楼和试验室应紧密配合，共同把好质量关，对混凝土拌和生产中出现的质量问题应及时协商处理，当意见不一致时，以试验室的处理意见为准。

(4) 拌和车间对拌和系统必须定期检查、维修保养，保证拌和系统正常运转和文明施工。

(5) 工程处试验室负责原材料、配料、拌和物质量的检查检验工作，负责配合比的调整优化工作。

2.混凝土拌和

(1) 混凝土拌和楼计量必须经过计量监督站检验合格才能使用。拌和楼称量设备精度检验由混凝土拌和车间负责实施。

(2) 每班开机前（包括更换配料单），应按试验室签发的配料单定称，经试验室值班人员校核无误后方可开机拌和。用水量调整权属试验室值班人员，未经当班试验员同意，任何人不得擅自改变用水量。

(3) 碾压混凝土料应充分搅拌均匀，满足施工的工作度要求，其投料顺序按砂+

小石+中石+大石→水泥+粉煤灰→水+外加剂,投料完后,强制式拌和楼拌和时间为 75S (外掺氧化镁加 60S),自落式拌和楼拌和时间为 150S (外掺氧化镁加 60S)。

(4) 混凝土拌和过程中,试验室值班人员对出机口混凝土质量情况加强巡视、检查,发现异常情况应查找原因并及时处理,严禁不合格的混凝土入仓。

(5) 拌和过程中,拌和楼值班人员应经常观察灰浆在拌和机叶片上的黏结情况,若黏结严重应及时清理。交接班之前,必须将拌和机内黏结物清除。

(6) 配料、拌和过程中出现漏水、漏液、漏灰和电子秤频繁跳动现象后,应及时检修,严重影响混凝土质量时应临时停机处理。

(7) 混凝土施工人员均必须在现场岗位上交接班,不得因交接班中断生产。

(8) 拌和楼机口混凝土 VC 值控制,应在配合比设计范围内,根据气候和途中损失情况由指挥长通知值班试验员进行动态控制,如若超出配合比设计调整值范围,值班试验员需报告工程处试验室,由工程处试验室对 VC 值进行合理的变更,变更时应保持 W/C+F 不变。

(六) 混凝土运输

1. 自卸汽车运输

(1) 由驾驶员负责自卸汽车运输过程中的相关工作,每一仓块混凝土浇筑前后应冲洗汽车车厢,使之保持干净,自卸汽车运输 RCC 应按要求加盖遮阳棚,减少 RCC 温度回升,仓面混凝土带班负责检查执行情况。

(2) 采用自卸汽车运输混凝土时,车辆行走的道路必须平整,自卸汽车入仓道路采用道路面层用小碎渣填平,防止坑洼及路基不稳,道路面层铺设洁净卵(碎)石。

(3) 混凝土浇筑块开仓前,由前方工段负责进仓道路的修筑及其路况的检查,发现问题及时安排整改。冲洗人员负责自卸汽车入仓前用洗车台或人工用高压水将轮胎冲洗干净,并经脱水路面以防将水带入仓面,轮胎冲洗情况由砼值班人员负责检查。

(4) 汽车装运混凝土时,司机应服从放料人员指挥。由集料斗向汽车放料时,自卸汽车驾驶员必须坚持分两次受料,防止高堆骨料分离,装满料后驾驶室应挂标识牌,标明所装混凝土的种类后方可驶离拌和楼,未挂标识牌的汽车不得驶离拌和楼进入浇筑仓内。装好的料必须及时运送到仓面,倒料时必须按要求带条依次倒料,混凝土进仓采用进占式,倒料叠压在已平仓的混凝土面上,倒完料后车辆必须立即开出仓外。

(5) 驾驶员负责在仓面运输混凝土的汽车应保持整洁,加强保养、维修,保持车况良好,无漏油、漏水。

(6) 自卸汽车进仓后, 司机应听从仓面指挥长的指挥, 不得擅自乱倒。自卸汽车在仓面上应行驶平稳、严格控制速度, 无论是空车还是载重, 其行驶速度必须控制在 5Km/h 之内, 行车路线尽量避开已铺砂浆或水泥浆的部位, 避免急刹车、急转弯等有损 RCC 质量的操作。

2.溜管运行管理

(1) 溜管安装应符合设计要求。溜管由受料斗、溜管、缓解降器、阀门、集料斗(或转向溜槽、或运输汽车)等几部分组成。

(2) 溜管在安装后必须经过测试、验收合格, 方可投入生产。

(3) 仓面收仓后、RCC 终凝前, 如需对溜槽冲洗保养, 其出口段设置水箱接水, 防止冲洗水洒落仓内。

(七) 仓内施工管理

1.仓面管理

(1) 碾压混凝土仓面施工由前方工段负责, 全面安排、组织、指挥、协调碾压混凝土施工, 对进度、质量、安全负责。前方工段应接受技术组的技术指导, 遇到处理不了的技术问题时, 应及时向工程部反映, 以便尽快解决。

(2) 实验室现场检测员对施工质量进行检查和抽样检验, 按规定填写记录。发现问题应及时报告指挥长和仓面质检员, 并配合查找原因且做详细记录, 如发现问题不报告则视为失职。

(3) 所有参加碾压混凝土施工的人员, 必须遵守现场交接班制度, 坚守工作岗位, 按规定做好施工记录。

(4) 为保持仓面干净, 禁止一切人员向仓面抛掷任何杂物(如烟头、矿泉水瓶等)。

2.仓面设备管理

(1) 设备进仓

①仓面施工设备应按仓面设计要求配置齐全。②设备进仓前应进行全面检查和保养, 使设备处于良好运行状态方可进入仓面, 设备检查由操作手负责, 要求做详细记录并接受机电物资部的检查。③设备在进仓前应进行全面清洗, 汽车进仓前应把车厢内外、轮胎、底部、叶子板及车架的污泥冲洗干净, 冲洗后还必须脱水干净方可入仓, 设备清洗状况由前方工段不定期检查。

(2) 设备运行

①设备的运行应按操作规程进行, 设备专人使用, 持证上岗, 操作手应爱护设备,

不得随意让别人使用。②驾驶员驾驶车辆在碾压混凝土仓面行驶时,应避免紧急刹车、急转弯等有损混凝土质量的操作,汽车卸料应听从仓面指挥,指挥必须采用持旗和口哨方式。③施工设备应尽可能利用 RCC 进仓道路在仓外加油,若在仓面加油必须采取铺垫地毡等措施,以保护仓面不受污染,质检人员负责监督检查。

(3) 设备停放

①仓面设备的停放由调度安排,做到设备停放文明整齐,操作手必须无条件服从指挥,不使用的设备应撤出仓面。②施工仓面上的所有设备、检测仪器工具,暂不工作时,均应停放在指定的位置或不影响施工的地方。

(4) 设备维修

①设备由操作手定期维修保养,维修保养要求作详细记录,出现设备故障情况应及时报告仓面指挥长和机电物资部。②维修设备应尽可能利用碾压混凝土入仓道路开出仓面,或吊出仓面,如必须在仓面维修时,仓面须铺垫地毡,保护仓面不受污染。

(5) 允许进入仓面人员的规定

①凡进入碾压混凝土仓面的人员必须将鞋子上黏着的污泥洗净,禁止向仓面抛掷任何杂物。②进入仓面的其他人员行走路线或停留位置不得影响正常施工。

(6) 施工人员的培训与教育

①施工人员必须经过培训并经考核合格、具备施工能力方可参加 RCC 施工。②施工技术人员要定期进行培训,加强继续教育,不断提高素质和技术水平。③培训工作由混凝土公司负责,工程部协助,各种培训工种按一体化要求进行计划、登记和考核。

3. 卸料

(1) 铺筑

180 高程以下碾压混凝土采用汽车直接进仓,大仓面薄层连续铺筑,每层间隔层为 3m,为了缩短覆盖时间,采用条带平推法,铺料厚度为 35cm,每层压实厚度为 30m。高温季节或雨季应考虑斜层铺筑法。

(2) 卸料

①在施工缝面铺第一碾压层卸料前,应先均匀摊铺 1~1.5cm 厚水泥砂浆,随铺随卸料,以利层面结合。②采用自卸汽车直接进仓卸料时,为了减少骨料分离,卸料宜采用双点叠压式卸料。卸料尽可能均匀,料堆旁出现的少量骨料分离,应由人工或其他机械将其均匀地摊铺到未碾压的混凝土面上。③仓内铺设冷却水管时,冷却水管铺设在第一个碾压混凝土坯层“热升层”30cm 或 1.5m 坯层上,避免自卸汽车直接碾压

HDPE 冷却水管,造成水管破裂渗漏。④采用吊罐入仓时,由吊罐指挥人员负责指挥,卸料自由高度不宜大于 1.5m。⑤卸料堆边缘与模板距离不应小于 1.2m。⑥卸料平仓时应严格控制三级配和二级配混凝土分界线,分界线每 20m 插一面红旗作为标识,混凝土摊铺后的误差对于二级配不允许有负值,也不得大于 50cm,并由专职质检员负责检查。

4.平仓

(1)测量人员负责在周边模板上每隔 20m 画线放样,标识桩号、高程,每隔 10m 绘制平仓厚度 35cm 控制线,用于控制摊铺层厚等;对二级配区和三级配区等不同混凝土之间的混凝土分界线每 20m 放样一个点,放样点用红旗标识。

(2)采用平仓机平仓,运行时履带不得破坏已碾好的混凝土,人工辅助边缘部位及其他部位的堆卸与平仓作业。平仓机采用 TBS80 或 D50.平仓时应严格控制二级配及三级配混凝土的分界线,二级配平仓宽度小于 2.0m 时,卸料平仓必须从上游往下游推进,保证防渗层的厚度。

(3)平仓开始时采用串联式摊铺法及深插中间料分散于两边粗料中,来回三次均匀分布粗骨料后,才平整仓面,部分粗骨料集中应用人工分散于细料中。

(4)平仓后仓面应平顺没有显著凹凸起伏,不允许仓面向下游倾斜。

(5)平仓作业采取“少刮、浅推、快提、快下”操作要领平仓,RCC 平仓方向应按浇筑仓面设计的要求,摊铺要均匀,每碾压层平仓一次,质检员根据周边所画出的平仓线进行拉线检查,每层平仓厚度为 35cm,检查结果超出规定值的部分必须重新平仓,局部不平部位用人工辅助推平。

(6)混凝土卸料应及时平仓,以满足由拌和物投料起至拌和物在仓面上于 1.5h 内碾压完毕的要求。

(7)平仓过程出现在两侧和坡脚集中的骨料,由人工均匀分散于条带上,在两侧集中的大骨料未做人工分散时,不得卸压新料。

(8)平仓后层面上若发现层面有局部骨料集中,可用人工铺洒细骨料予以分散均匀处理。

5.碾压

(1)对计划采用的各类碾压设备,应在正式浇筑 RCC 前,通过碾压试验来确定满足混凝土设计要求的各项碾压参数,并经监理工程师批准。

(2)由碾压机手负责碾压作业,每个条带铺筑层摊平后,按要求的振动碾压遍数

进行碾压，采用 BM202AD、BM203AD 振动碾。VC 值在 4~6S 时，一般采用无振 2 遍+有振 6 遍+静碾 2 遍；VC 值大于 15S 时，采用无振 2 遍+有振 8 遍+静碾 2 遍；当 VC 值超过 20S，或平仓后 RCC 发白时，先采用人工造雾使混凝土表面湿润，在无振碾时振动碾自喷水，振动后使混凝土表面泛浆。碾压遍数是控制砼质量的重要环节，一般采用翻牌法记录遍数，以防漏压，碾压机手在每一条带碾压过程中，必须记点碾压遍数，不得随意更改。砼值班人员和专职质检员可以根据表面泛浆情况和核子密度仪检测结果决定是否增加碾压遍数。专职质检员负责碾压作业的随机检查，碾压方向应按仓面设计的要求，碾压方向应为顺坝轴线方向，碾压条带间的搭结宽度为 20cm，端头部位搭结宽度不少于 100cm。

(3) 由试验室人员负责碾压结果检测，每层碾压作业结束后，应及时按网格布点检测混凝土压实容重，核子密度计按 100~200m²的网格布点且每一碾压层面不少于 3 个点，相对压实度的控制标准为：三级配混凝土应 $\geq 97\%$ 、二级配应 $\geq 98\%$ 。若未达到，应重新碾压达到要求。

(4) 碾压机手负责控制振动碾行走速度在 1.0~1.5km/h 范围内。

(5) 碾压混凝土的层间间隔时间应控制在混凝土的初凝时间之内。若在初凝与终凝之间，可在表层铺砂浆或喷浆后，继续碾压；达到终凝时间，必须当冷缝处理。

(6) 由于高温、强烈日晒等因素的影响，已摊铺但尚未碾压的混凝土容易出现表面水分损失，碾压混凝土如平仓后 30min 内尚未碾压，宜在有振碾的第一遍和第二遍开启振动碾自带的水箱进行洒水补偿，水分补偿的程度以碾压后层面湿润和碾压后充分泛浆为准，不允许过多洒水而影响混凝土结合面的质量。

(7) 当密实度低于设计要求时，应及时通知碾压机手，按指示补碾，补碾后仍达不到要求，应挖除处理。碾压过程中仓面质检员应做好施工情况记录，质检人员做好质检记录。

(8) 模板、基岩周边采用 BM202AD 振动碾直接靠近碾压，无法碾压到的 50~100cm 或复杂结构物周边，可直接浇筑富浆混凝土。

(9) 碾压混凝土出现有弹簧土时，检测的相对密实度达到要求，可不处理，未达到要求，应挖开排气并重新压实达到要求。混凝土表层产生裂纹、表面骨料集中部位碾压不密实时，质检人员应要求砼值班人员进行人工挖除，重新铺料碾压达到设计要求。

(10) 仓面的 VC 值根据现场碾压试验，VC 值以 3~5s 为宜，阳光暴晒且气温高

于 25°C 时取 3s，出现 3mm/h 以内的降雨时，VC 值为 6~10s，现场试验室应根据现场气温、昼夜、阴晴、湿度等气候条件适当动态调整出机口 VC 值。碾压混凝土以碾压完毕的混凝土层面达到全面泛浆、人在层面上行走微有弹性、层面无骨料集中为标准。

6. 缝面处理

(1) 施工缝处理

①整个 RCC 坝块浇筑必须充分连续一致，使之凝结成一个整体，不得有层间薄弱面和渗水通道。②冷缝及施工缝必须进行缝面处理，处理合格后方可继续施工。③缝面处理应采用高压水冲毛等方法，清除混凝土表面的浮浆及松动骨料（以露出砂粒、小石为准），处理合格后，先均匀刮铺一层 1~1.5cm 厚的砂浆（砂浆强度等级与 RCC 高一级），然后才能摊铺碾压混凝土。④冲毛时间根据施工时段的气温条件、混凝土强度和性能等因素，经现场试验确定，混凝土缝面的最佳冲毛时间为碾压混凝土终凝后 2~4h，不得提前进行。⑤RCC 铺筑层面收仓时，基本上达到同一高程，或者下游侧略高、上游侧略低（ $i=1\%$ ）的斜面。因施工计划变更、降雨或其他原因造成施工中断时，应及时对已摊铺的混凝土进行碾压，停止铺筑处的混凝土面碾压成不大于 1:4 的斜面。⑥由仓面混凝土带班人应在浇筑过程中保持缝面洁净和湿润，不得有污染、干燥区和积水区。为减少仓面二次污染，砂浆宜逐条分段依次铺浆。已受污染的缝面待铺砂浆之前应清扫干净。

(2) 造缝

由仓面指挥长负责安排切缝时间，在混凝土初凝前完成。切缝采用 NPFQ-1 小型振动式切缝机，宜采用“先碾后切”的方法，切缝深度不小于 25cm，成缝面积每层应不小于设计面积的 60%，填缝材料用彩条布，随刀片压入。

(3) 层面处理

①水泥砂浆铺设全过程，应由仓面混凝土带班安排，在需要洒铺作业前 1h，应通知值班人员进行制浆准备工作，保证需要灰浆时可立即开始作业。

②砂浆铺设与变态混凝土摊铺同步连续进行，防止砂浆的黏结性能受水分蒸发的影响，砂浆摊铺后 20~30min 内必须覆盖。

③洒铺水泥浆前，仓面混凝土带班必须负责监督洒铺区干净、无积水，并避免出现水泥砂浆晒干的现象。

7. 埋件施工

止水结构施工由机电车间负责，位置要有测量放样数据（测量大队提供），要求

放样和埋设准确，止水片埋设必须采用“一字形”且以结构缝为对称的安装方法，禁止采用贴模板内的“7字形”的安装方法。在止水材料周围 1.5m 范围采用一级配混凝土和软轴振捣器振捣密实，以免产生任何渗水通道，质检人员应把止水设施的施工作为重要质控项目加以检查和监督。

8.入仓口施工

(1)采用自卸汽车直接运输碾压混凝土入仓时，入仓口施工是一个重要施工环节，直接影响 RCC 施工速度和坝体混凝土施工质量。

(2) RCC 入仓口应精心规划，一般布置在坝体横缝处，且距坝体上游防渗层下游 15~20m。

(3)入仓口采用预先浇筑仓内斜坡道的方法，其坡度应满足自卸汽车入仓要求。

(4)入仓口施工由仓面指挥长负责指挥，采用常态混凝土，其强度等级不低于坝体混凝土设计强度等级，应与坝体混凝土一样确保振捣密实(特别是斜坡道边坡部分)。施工时段应有计划地充分利用混凝土浇筑仓位间歇期，提前安排施工，以便斜坡道混凝土有足够强度行走自卸汽车。

(八) 变态混凝土施工

1.富浆混凝土浇筑

(1)电站变态混凝土施工的第一方案采用在拌和楼生产富浆混凝土，运输至工作采用高频振捣器振捣密实，主要施工部位为上游面 50cm 变态混凝土区域，以及岸坡 60cm、廊道周边 50cm、下游斜面模板边等。

(2)富浆混凝土采用在拌和二级配碾压混凝土中掺 50L/m³的胶浆，胶浆水胶比控制在 0.5.粉煤灰掺量为 50%，外加剂掺量为 0.7%，使砼坍落度达到 1~1.5cm 左右。

(3)针对上游模板或沿基岩边坡振动碾无法碾压地区，采用富浆混凝土施工，其铺筑宽度为 50cm，采用φ100 高频振捣器，沿模板边由外到里，依次振捣，防止超捣及漏振，若砼稠度偏小时，用力尽快将振捣器插入砼，直到砼表面翻浆粗骨多数下沉时缓慢拔起，边拔边用脚踏平孔洞。为了防止边部有气泡，可采用软轴振捣器，沿模板边进行二次振捣，待全部振实后用平板振捣器拖平。

2.加浆混凝土浇筑

(1)加浆混凝土为 XX 电站变态混凝土施工的第二方案。加浆混凝土采用在摊铺好的碾压混凝土面上，用φ100 的振捣棒人工造孔，造孔按矩形或梅花形布置，孔距约为 30cm，孔深 20cm，然后人工手提桶定量定孔数进行顶面加浆的方式，加浆量控制

在 $50\text{L}/\text{m}^3$ ，最大不得大于 $60\text{L}/\text{m}^3$ ，加浆 $5\sim 10\text{min}$ 后进行振捣。

(2) 加浆混凝土主要用于两岸坡基岩面、大坝上下游模板面、伸缩缝、上、下游止水位置、廊道、电梯井周边及振动碾压不到的地方，也可用在常态混凝土与 RCC 交接部位。变态混凝土与 RCC 可同步或交叉浇筑，并应在两种混凝土规定时间内振捣或碾压完毕。

(3) 根据现场情况，宜采用先变态混凝土后碾压混凝土的方式。如采用先碾压后变态的方式，在变态混凝土与 RCC 交接处，用振捣器向 RCC 方向振捣，使两者互相融混密实。

(4) 对于上游面 30cm 变态混凝土区域，以及岸坡 60cm 、廊道周边 50cm 、下游斜面模板边的变态混凝土施工，采用在摊铺好的碾压混凝土面上用 $\phi 100$ 的振捣棒人工造孔，造孔按矩形或梅花形布置，孔距约为 30cm ，孔深 20cm ，先变态混凝土后碾压混凝土时的振捣时间 $\geq 20\text{s}$ ，先碾压混凝土后变态混凝土时的振捣时间 $\geq 30\text{s}$ 。对于变态混凝土与碾压混凝土搭接凸出部分，用振动碾把搭接部位碾平。

(5) 对于岸坡部位的基础面垫层混凝土，应与坝体 RCC 同步浇筑，先施工碾压混凝土，后加浆振捣基础变态混凝土，两种混凝土均在 1.5h 内振捣完毕。

(6) 制浆站接到浇筑工区的通知后即可制浆，水泥浆的配比由试验室提供，制浆应做到配料准确、均匀，特别要控制好外加剂掺量。

(7) 加浆混凝土的浇筑控制在变态混凝土区，不得在仓内出现灰浆漫溢、飞溅等现象。

3. 防渗层施工

(1) 电站碾压混凝土坝的上游面，设置二级配 RCC 混凝土作为防渗结构体，它的厚度根据上游面所承受的水压力和水位变化情况做适当变化。

(2) 大坝上游面变态混凝土、二级配 RCC 混凝土防渗体尤其要严格控制混凝土施工质量，防渗体的渗透系数要求小于坝体垂直向的渗透系数，这是目前碾压混凝土坝防渗工作的难点之一。

(3) 实际碾压混凝土工程整体的抗渗能力主要受水平施工缝面抗渗性能所控制，要特别注意对碾压混凝土坝上游区二级配混凝土层面进行抗渗处理，确保层面有良好的结合，达到防渗的目的。

(4) 防渗体变态混凝土采用拌和楼集中搅拌富浆混凝土、现场振捣密实的浇筑方法。当采用加浆混凝土时，应在模板边缘人工铺料的基础上进一步剔除大石，以利于

水泥浆的渗入和振捣棒插入操作，确保掺浆变态混凝土质量，上游防渗体变态混凝土必须加强振捣（亦应防止过振），确保混凝土密实。

（九）斜层平推法施工

1.碾压混凝土坝在高气温、强烈日照的环境条件下，碾压混凝土放置时间越长质量越差，所以大幅度缩减层间间隔时间是提高层间结合质量的最有效、最彻底的措施。而采用斜层铺筑法，浇筑作业面积比仓面面积小，可以灵活地控制层间间隔时间的长短，在质量控制上有着特殊重要的意义。

2.每一仓块由工程部绘制详细的仓面设计，仓面指挥长、质检员等必须在开仓前熟悉浇筑要领，并按仓面设计的要求组织实施。

3.浇筑工区测量员负责在周边模板上按浇筑要领图上的要求和测量放样，在每隔10m画出碾压层控制线上，标识桩号、高程和平仓控制线，用于控制斜面摊铺层厚度。

4.按1:10~1:15坡度放样，砂浆摊铺长度与碾压混凝土条带宽度相对应。

5.下一层RCC开始前，挖除坡脚放样线以外的RCC，坡脚切除高度以切除到砂浆为准，已初凝的混凝土料作废料处理。

6.采用斜层平推法浇筑碾压混凝土时，“平推”方向分为两种：一种方向垂直于坝轴线，即碾压层面倾向上游，混凝土浇筑从下游向上游推进；另一种是平行于坝轴线，即碾压层面从一岸倾向另一岸。碾压混凝土铺筑层以固定方向逐条带铺筑，坝体迎水面8~15m范围内，平仓、碾压方向应与坝轴线方向平行。

7.开仓段碾压混凝土施工。碾压混凝土拌和料运输到仓面，按规定的尺寸和规定的顺序进行开仓段施工，其要领在于减少每个铺筑层在斜层前进方向上的厚度，并要求使上一层全部包容下一层，逐渐形成倾斜面。沿斜层前进方向每增加一个升程H，都要对老混凝土面（水平施工缝面）进行清洗并铺砂浆，碾压时控制振动碾不得行驶到老混凝土面上，以避免压碎坡角处的骨料，影响该处碾压混凝土的质量。

8.碾压混凝土的斜层铺筑。这是碾压混凝土的核心部分，其基本方法与水平层铺筑法相同。为防止坡角处的碾压混凝土骨料被压碎而形成质量缺陷，施工中应采取预铺水平垫层的方法，并控制振动碾不得行驶到老混凝土面上去，施工中按图中的序号施工。首先清扫、清洗老混凝土面（水平施工缝面），摊铺砂浆，然后沿碾压混凝土宽度方向摊铺并碾压混凝土拌和物，形成水平垫层，水平垫层超出坡脚前缘30~50cm，第一次不予碾压而与下一层的水平垫层一起碾压，以避免坡脚处骨料压碎，接下来进行下一个斜层铺筑碾压，如此往复，直至收仓段施工。

9.收仓段碾压混凝土施工。首先进行老混凝土面的清扫、冲洗、摊铺砂浆，然后采用折线形状施工，其中折线的水平段长度为8~10m，当浇筑面积越来越小时，水平层和折线层交替铺筑，满足层间间歇的时间要求。

(十) 特殊气候条件下的施工

1.高温气候条件下的施工

(1) 改善和延长碾压混凝土拌和物的初凝时间

针对碾压混凝土坝高温条件下连续施工的特点，比较了不同的高效缓凝剂对碾压混凝土拌和物缓凝的作用效果，研究掺用高效缓凝减水剂对碾压混凝土物理力学性能的影响。长期试验和较多工程实践表明，掺用高温型缓凝高效剂效果显著、施工方便，是一种有效的高温施工措施。

(2) 采用斜层平推法

在高温环境条件下，由于层面暴露时间短，预冷混凝土的冷量损失也将减少；施工过程遇到降雨时，临时保护的层面面积小，有利于斜层表面排水，对雨季施工同样有利。因此，碾压混凝土坝应优先采用该方法。

(3) 允许间隔时间

日平均气温在25℃以上时（含25℃），应严格按高温条件下经现场试验确定的直接铺筑允许间隔时间施工，一般不超过5h。

(4) 碾压混凝土仓面覆盖

①在高温环境下，对RCC仓面进行覆盖，不仅可以起到保温、保湿的作用，还可以延缓RCC的初凝时间，减少VC值的增加。现场试验表明，碾压混凝土覆盖后的初凝时间比裸露的覆盖时间延缓2h。②仓面覆盖材料要求具有不吸水、不透气、质轻、耐用、成本低廉等优点，工地使用经验证明，采用聚乙烯气垫薄膜和PT型聚苯乙烯泡沫塑料板条复合制作而成的隔热保温具有上述特点。③仓面混凝土带班、专职质检员应组织专班作业人员及时进行仓面覆盖，不得延误。④除了全面覆盖、保温、保湿外，对自卸汽车、下料溜槽等应设置遮阳防雨棚，尽可能减少运输、卸料时间和RCC的转运次数。

(5) 碾压混凝土仓面喷雾

①仓面喷雾是高温气候环境下，碾压混凝土坝连续施工的主要措施之一。采用喷雾的方法，可以形成适宜的人工小气候，起到降温保湿、减少VC值的增长、降低RCC的浇筑温度以及防晒作用。②仓面喷雾采用冲毛机配备专用喷嘴。仓面喷雾以保持混

凝土表面湿润，仓面无明显集水为准。③仓面混凝土带班、专职质检员一定要高度重视仓面喷雾，真正改善 RCC 高温的恶劣环境，使 RCC 得到必要的连续施工条件。

（6）降低浇筑温度，增加拌和用水量和控制 VC 值

①降低混凝土的浇筑温度。②在高温环境下，RCC 拌和物摊铺后，表层 RCC 拌和物由于失水迅速而使 VC 值增大，混凝土初凝时间缩短，以致难以碾压密实。因此，可适当增加拌和用水量，降低出机口的 VC 值，为 RCC 值的增长留有余地，从而保证碾压混凝土的施工质量。③在高温环境条件下，根据环境气温的高低，混凝土拌和楼出机口 VC 值按偏小、动态控制。

（7）避开白天高温时段

在高温环境条件下，尽量避开白天高温时段（11：00~16：00）施工，做好开仓准备，抢阴天、夜间施工，以减少预冷混凝土的温度回升，从而降低碾压混凝土的浇筑温度。

2.雨天施工

（1）加强雨天气象预报信息的搜集工作，应及时掌握降雨强度、降雨历时的变化，妥善安排施工进度。

（2）要做好防雨材料准备工作，防雨材料应与仓面面积相当，并备放在现场。雨天施工应加强降雨量的测试工作，降雨量测试由专职质检员负责。

（3）当每小时降雨量大于 3mm 时，不开仓混凝土浇筑，或浇筑过程中遇到超过 3mm/h 降雨强度时，停止拌和，并尽快将已入仓的混凝土摊铺碾压完毕或覆盖妥善，用塑料布遮盖整个新混凝土面，塑料布的遮盖必须采用搭接法，搭接宽度不少于 20cm，并能阻止雨水从搭接部流入混凝土面。雨水集中排至坝外，对个别无法自动排出的水坑用人工处理。

（4）暂停施工令发布后，碾压混凝土施工一条龙的所有人员，都必须坚守岗位，并做好随时复工的准备工作。暂停施工令由仓面指挥长首先发布给拌和楼，并汇报给生产调度室和工程部。

（5）当雨停后或者每小时降雨量小于 3mm，持续时间 30min 以上，且仓面未碾压的混凝土尚未初凝时，可恢复施工。

（十一）碾压混凝土温度控制

1.遮阳、喷雾降温措施

（1）砼料仓搭设敞开式遮阳雨篷。

(2) 在水泥和煤灰储罐顶部、罐身外围环形布置塑料花管喷水,对粉罐进行淋水降温处理。

(3) 上料皮带机搭设敞开式遮阳篷。

(4) 晴天气温超过 25°C或工区风速达到 1.5m/s 时, 砼开仓前半小时应对仓面进行喷雾降温。在完成砼浇筑 6h 后, 方能改用其他砼养护方式或措施, 养护至上一层混凝土开始浇筑(或 28d)。喷雾用水采用基坑内渗出的洁净地下水。

2.通水冷却

(1) 水管布置。在砼开仓前技术组提供冷却水管布置图,并严格按图放样,层间距偏差 $\pm 10\text{cm}$ 。采用 U 型钢筋固定在碾压层面上。接头部位应严格按照操作规程施工,保证质量,做到滴水不漏。水管通水前,管口采用封口塞封闭,严禁采用无封闭管头的冷却管在仓面施工。

(2) 冷却水管可以边碾压(浇筑)边布置。施工时禁止使用任何设备或重物直接积压水管。

(3) 冷却水管完成一个单元施工后,不论水管完全覆盖与否,应在半小时内即开始通水保压或冷却,并做好相应的记录。

(4) 通水过程严格按设计要求控制。

3.MgO 砼施工

基础强约束区常态砼外掺 4%MgO,强约束区碾压态砼外掺 4.5%MgO。要求计量准确,拌和均匀,控制均匀性离差系数 ≤ 0.2 。并按试验操作规程要求做好原材料品质检测,仓面测量和取样。

4.混凝土表面保护

在混凝土表面覆盖保温材料,以减少内外温差、降低表面温度梯度。低温季节施工未滿 28d 龄期混凝土的暴露面均应进行表面保护。

5.测量混凝土入仓、浇筑温度

混凝土浇筑过程中,施工单位专职质检员每隔 2h(高温时段 1h)测量混凝土入仓温度、浇筑温度,每 100m²仓面面积不少于一个测点,每一浇筑层不少于三个测点,及时、准确记录,情况有异常时应及时向质检员反映。

(十二) 质量检测与控制

1.原材料

(1) 碾压混凝土所使用的各类原材料,必须有相关的质量检测合格证明,并按规

定进行使用前质量检测试验，原材料质量检验和控制由试验室负责。如发现较大的质量问题，试验室应将试验成果及处理意见报工程部，再由工程部向上反映，并提出整改措施。

(2) 严格控制细骨料的含水率。砂子细度模数允许偏差为 0.2.超过时应调整碾压混凝土的配合比。细骨料必须有一定的脱水时间，搅拌前含水率不大于 6%，含水率允许偏差为 0.5%。

(3) 严格控制各级骨料超、逊径含量。原孔筛检验时，其控制标准为：超径小于 5%，逊径小于 10%。石子含水率的允许偏差为 0.2%。

(4) 外加剂需按品种、进场日期分别存放，存放场所应通风、干燥。检验合格的外加剂存储期超过 6 个月，使用前必须重新检验。

2.拌和

(1) 当称量误差超过偶然波动范围时，操作人员应采用手动添加或扣除。当情况严重，对混凝土质量影响大时，则应作为废料处理。当频繁发生且波动范围大，混凝土质量失控时，应立即报告值班领导，停机检修。

(2) 碾压混凝土拌和质量检测，在拌和楼出机口进行取样，检测项目和频率按规定的检测表确定。

(3) 混凝土抗拉、抗渗、抗冻及其他性能检测频率按规范及技术要求取样检验。

3.仓面施工质量检测

(1) 碾压混凝土施工中，质检人员、试验室值班人员应按规定的项目对仓面施工进行检查、测试，并做好记录。

(2) 质检人员、试验人员应按规定做好各自分管的检测项目的检查和质检记录。对重要问题的产生原因及处理过程必须记录清楚。

(3) 仓面施工质量控制：在碾压混凝土施工中，质检部门、试验室值班人员应按规定的项目检查、测试并做好记录。

(4) 碾压混凝土的每一升层作为一个单元工程，当一个升层的碾压混凝土施工结束后，质检员和试验室应根据现场质检记录，按不同项目依次对每一碾压层进行评定，根据各项目的质量评定结果，质量部会同试验室对该升层的碾压混凝土施工质量等级做出评定，作为混凝土单元工程质量评定的依据。

(5) 碾压混凝土施工中，对较大的质量问题必须及时处理不得遗留下来，否则要追究责任，属于施工人员不执行质检和试验人员意见造成的，由施工人员负全部责任，

属于质检和试验漏检或未及时提出的，施工人员负施工责任，质检和试验负检查责任。

(6) 本工法要求仓面指挥长对 RCC 作业人员有直接行政处罚权，处罚包括批评、罚款和解除施工资格（退场）。对仓面指挥长指挥失误或拒绝执行质检员整改意见造成质量事故的，首先解除其指挥长职务，并按有关规定处罚。

4.混凝土表面质量缺陷检查

(1) 大坝上、下游表面及其他外露面质量情况，在拆模后由工程部负责检查，并记录拆模时间，对缺陷的比例进行统计。

(2) 质量部应对混凝土表面质量缺陷产生的原因进行分析，会同有关部门提出处理措施。并对处理后的质量情况进行评定。

(3) 混凝土表面蜂窝、麻面、气泡密集区、错台、挂帘、狗洞、表面裂缝等，由工程部提出处理措施报监理审批后，应及时予以处理。

5.钻孔取样

(1) 钻孔取样是检验混凝土质量的综合方法，对评价混凝土的各项技术指标十分重要。钻孔在碾压混凝土浇筑 3 个月后进行，钻孔的位置、数量根据现场施工情况由监理工程师审定。

(2) 钻孔应能保证最大限度地取得芯样。为保证混凝土芯样的施工质量，确定使用金刚石钻头双套管单动钻孔取样，混凝土芯样直径为 150~250mm。钻孔时钻机必须固定牢靠，不得摆动，应严格控制钻孔压力与钻进速度。

(3) 钻孔芯样应按顺序编号装箱，连同芯样素描，送交试验室对混凝土芯样进行外观描述和照相，并按要求对混凝土的各种力学性能进行试验，撰写混凝土芯样检测试验报告，评定碾压混凝土的均质性和力学性能。

(4) 利用混凝土芯样的钻孔，按监理通知要求进行分段压水试验，撰写压水试验报告，评价碾压混凝土抗渗性。

(5) 坝体碾压混凝土压水试验，按有关条文的规定进行。

(十三) 安全与文明施工

1.施工安全

(1) 所有进入施工现场的工作人员，必须穿着劳保工作服，正确佩戴安全帽。

(2) 所有特殊工种操作人员必须经过培训，持证上岗。

(3) 仓内所有机械设备的行驶均应遵从仓面指挥长的指挥，不得随意改变行驶方向，防止发生设备碰撞事故。

(4) 浇筑共振捣、电焊工焊接时均应佩戴绝缘手套，防止触电。

(5) 施工现场电气设备和线路，必须配置漏电保护器，并有可靠的防雨措施，以防止因潮湿漏电和绝缘损坏引起触电及设备事故。

(6) 电气设备的金属外壳应采用接地或接零保护。汽车运输必须执行交通规则和有关规定，严禁无证驾驶、酒后开车、无证开车。

(7) 翻转模板、悬臂模板的提升、安装，必须采用吊车吊装。起重人员必须熟悉模板的安装要求，提升前，必须检查确认预埋螺栓是否已拆除，不得强行起吊。

(8) 利用调节螺杆进行模板调节时，螺帽必须满扣，且螺杆伸出螺帽的长度不得少于两个丝扣。

(9) 悬臂模板的外悬工作平台每周必须检查一次，发现变形、螺丝松动时，要及时校正、加固，工作平台网板要确保牢固、满铺。

(10) 入仓道路必须保证路面良好，以便车辆行驶安全。栈桥或跳板必须架设牢固，表面必须采取防滑措施。

(11) 运输混凝土的车辆，车速控制在 25km/h 以内，进入仓道路及仓内后，车速不得大于 5km/h。

(12) 夜间施工仓内必须有充足的照明。仓面指挥人员必须持手旗，且配明显标志。

(13) 振捣棒必须保持良好的绝缘，每台振捣棒均应配备漏电保护器。平仓及碾压设备应定期检查保养，灯光及警示灯信号必须完好、齐全。

(14) 其他未尽事宜参照相关安全规定执行。

2. 文明施工

(1) 从沙石系统、拌和系统，到浇筑仓面，每一道工序的工作部位，均应设置施工作业牌、安全标志牌及其他指示牌，明确责任范围、责任人，以警示进入工作部位的各方面人员。所有施工人员必须佩戴“工卡”上岗。

(2) 筛分楼作业区、拌和楼区等部位，常产生泥浆、废渣、洒料等，必须随时派人清理干净，以保持清洁的工作环境。

(3) 混凝土运输道路应平顺，无障碍物，排水有效。当路面洒料后，应及时清理。如遇天晴路面扬灰时，应及时洒水。

(4) 施工过程中，仓内设备应服从仓面指挥人员的指挥，各行其道，有条不紊。设备加油必须行驶出仓外，严禁设备在仓内加油。

(5) 在施工过程中,汽车直接入仓的,入仓道路应经常清理和维护,以保证整洁安全。

(6) 仓面收仓后,必须做到工完场清,施工机具摆放整齐,不出仓的设备应在仓面上停放整齐,出仓的设备应在指定的停放点停放整齐。

(7) 施工现场文明施工的关键在措施落实,应将现场划分若干责任区,挂牌标示,配有专人负责清洁打扫,施工废料运往指定的弃渣场,对文明施工有突出贡献的单位和个人给予适当奖励,对不文明行为应予处罚。

二、混凝土水闸施工

(一) 施工准备

1.按施工图纸及招标文件要求制定混凝土施工作业措施计划,并报监理工程师审批;

2.完成现场试验室配置,包括主要人员、必要试验仪器设备等;

3.选定合格原材料供应源,并组织进场,进行试验检验;

4.设计各品种、各级别混凝土配合比,并进行试拌、试验,确定施工配合比;

5.选定混凝土搅拌设备,进场并安装就位,进行试运行;

6.选定混凝土输送设备,修筑临时浇筑便道;

7.准备混凝土浇筑、振捣、养护用器具、设备及材料;

8.进行特殊气候下混凝土浇筑准备工作;

9.安排其他施工机械设备及劳动力组合。

(二) 混凝土配合比

工程设计所采用的混凝土品种主要为 C30.二期混凝土为 C40.在商品混凝土厂家选定后分别进行配合比的设计,用于工程施工的混凝土配合比,应通过试验并经监理工程师审核确定,在满足强度耐久性、抗渗性、抗冻性及施工要求的前提下,做到经济合理。

(三) 混凝土运输

工程商品混凝土使用泵送混凝土,运输方式为混凝土罐车陆路运输,从出厂到工地现场距离约为 30km,用时约为 40min。

(四) 混凝土浇筑

工程主体结构以钢筋混凝土结构为主,施工安排遵循“先主后次、先深后浅、先重后轻”的原则,以闸室、翼墙、导流墩、便桥为施工主线,防渗铺盖、护底、护坡、

护面等穿插进行。

（五）部位施工方法

1.水闸施工内容

- （1）地基开挖、处理及防渗、排水设施的施工。
- （2）闸室工程的底板、闸墩、胸墙及工作桥等施工。
- （3）上、下游连接段工程的铺盖、护坦、海漫及防冲槽的施工。
- （4）两岸工程的上、下游翼墙、刺墙及护坡的施工。
- （5）闸门及启闭设备的安装。

2.平原地区水闸施工特点

- （1）施工场地开阔，现场布置方便。
- （2）地基多为软基，受地下水影响大，排水困难，地基处理复杂。
- （3）河道流量大，导流困难，一般要求一个枯水期完成主要工程量的施工，施工强度大。

- （4）水闸多为薄而小的混凝土结构，仓面小，施工有一定干扰。

3.水闸混凝土浇筑次序

混凝土工程是水闸施工的主要环节（占工程历时一半以上），必须重点安排，施工时可按下述次序考虑：

- （1）先浇深基础，后浅基础，避免浅基础混凝土产生裂缝。
- （2）先浇影响上部工程施工的部位或高度较大的工程部位。
- （3）先主要后次要，其他穿插进行。

4.闸室施工（平底板）

由于受运用条件和施工条件等的限制，混凝土被结构缝和施工缝划分为若干筑块。一般采用平层浇筑法。当混凝土拌和能力受到限制时，亦可用斜层浇筑法。

- （1）搭设脚手架，架立模板

利用事先预制的混凝土柱，搭设脚手架。底板较大时，可采用活动脚手浇筑方案。

- （2）混凝土的浇筑

可分两个作业组，分层浇筑。先一、二组同时浇筑下游齿墙，待齿墙浇平后，将一组调到上游浇齿墙，二组则从下游向上游开始浇第一坯混凝土。

5.闸墩施工

- （1）“铁板螺栓，对拉撑木”的模板安装

采用对销螺栓、铁板螺栓保证闸墩的厚度，并固定横、纵围圈，铁板螺栓还有固定对拉撑木之用，对销螺栓与铁板螺栓间隔布置。对拉撑木保证闸墩的铅直度和不变形。

(2) 混凝土的浇筑

需解决好同一块闸底板上混凝土闸墩的均衡上升和流态混凝土的入仓及仓内混凝土的铺筑问题。

6. 止水设施的施工

为了适应地基的不均匀沉降和伸缩变形，水闸设计应设置温度缝和沉陷缝（一般用沉陷缝代替温度缝）。沉陷缝有铅直和水平两种，缝宽 1.0~2.5cm，缝内设填料和止水。

(1) 沉陷缝填料的施工

常用的填料有沥青油毛毡、沥青杉木板、沥青芦席等。

(2) 止水的施工

位于防渗范围内的缝，都应设止水设施。止水缝应形成封闭整体。

7. 门槽二期混凝土施工

大中型水闸的导轨、铁件等较大、较重，在模板上固定较为困难，宜采用预留槽，浇二期混凝土的施工方法。

(六) 混凝土养护

混凝土的养护对强度增长、表面质量等至关重要，混凝土的养护期时间应符合规范要求，在养护期前期应始终保持混凝土表面处于湿润状态，其后养护期内应经常进行洒水养护，确保混凝土强度的正常增长条件，保证建筑物在施工期和投入使用初期的安全性。

工程底部结构采用草包、塑料薄膜覆盖养护，中上部结构采用塑料喷膜法养护，即将塑料溶液喷洒在混凝土表面上，溶液挥发后，混凝土表面形成一层薄膜，阻止混凝土中的水分不再蒸发，完成混凝土的水化作用。为达到有效养护目的，塑料喷膜要保持完整性，若有损坏应及时补喷，喷膜作业要与拆模同步进行，模板拆到哪里就喷到哪里。

(七) 施工缝处理

在施工缝处继续浇筑混凝土前，首先对混凝土接触面进行凿毛处理，然后清除混凝土废渣、薄膜等杂物，以及表面松动砂石和混凝土软弱层，再用水冲洗干净并充分

湿润，浇筑前清除表面积水，并在表面铺一层与混凝土中砂浆配合比一致的砂浆，此时方可开始混凝土浇筑，浇筑时要加强对施工缝处混凝土的振捣，使新老混凝土结合严密。

施工缝位置的钢筋回弯时，要做到钢筋根部周围的混凝土不致受到影响而造成松动和破坏，钢筋上的油污、水泥浆及浮锈等杂物应清除干净。

（八）二期混凝土施工

二期混凝土浇筑前，应详细检查模板、钢筋及预埋件尺寸、位置等是否符合设计及规范的要求，并做检查记录，报监理工程师检查验收。一期混凝土彻底打毛后，用清水冲洗干净并浇水保持 24 小时湿润，以使二期混凝土与一期混凝土牢固结合。

二期混凝土浇筑空间狭小，施工较为困难，为保证二期混凝土的浇筑质量，可采取减小骨料粒径、增加坍落度，使用软式振捣器，适当延长振捣时间等措施，确保二期混凝土浇筑质量。

（九）大体积混凝土施工技术

工程混凝土块体较多，如闸身底板、泵站底板、墩墙等，均属大体积混凝土。混凝土在硬化期间，水泥的水化过程释放大量的水化热，由于散热慢，水化热大量积聚，造成混凝土内部温度高、体积膨胀大，而表面温度低，产生拉应力。当温差超过一定限度时，使混凝土拉应力超过抗拉强度，就会产生裂缝。混凝土内部达到最高温度后，热量逐渐散发而达到使用温度或最低温度，二者之差便形成内部温差，促使了混凝土内部产生收缩。再加上混凝土硬化过程中，由于混凝土拌和水的水化和蒸发，以及胶质体的胶凝作用，促进了混凝土的收缩。这两种收缩在进行时，受到基底及结构自身的约束，而产生收缩力，当这种收缩应力超过一定限度时，就会贯穿混凝土断面，成为结构性裂缝。

第七章 水利建设工程项目施工管理

第一节 水利建设工程项目施工进度管理

水利工程事关国民经济和社会发展，是重要的基础设施建设项目。水利工程的安全保障和工程施工管理是保证水利工程质量上乘的关键所在。

一、工程项目进度控制的基本原理

工程进度控制是一个不断变化的动态过程。在项目开始阶段，实际进度按照计划进度的规划进行运动，但由于外界因素的影响，实际进度的开展往往会与计划进度出现偏差，产生超前或滞后的现象。这时通过分析偏差产生的原因，采取相应的改进措施，调整原来的计划，使两者在新的起点上重合，并通过发挥组织管理作用，使实际进度继续按照计划进行。在一段时间后，实际进度和计划进度又会出现新的偏差。如此，工程进度控制出现了一个动态的调整过程。

为了对施工项目进度实施有效的控制，首先必须明确进度控制的基本环节，并采取不同的进度控制方式，使施工项目按期完成。

（一）工程进度控制的环节

工程进度的控制是一个不断进行的动态循环控制过程，是指在限定的工期内，以事先拟定的、合理且经济的施工进度计划为依据，对整个施工过程的实施进行监督、检查、指导和纠正的行为过程，包括收集和整理进度资料、对计划进度和实际进度进行比较和分析、确定进度偏差、分析影响因素、采取措施等基本环节。

当实际进度按照计划进度进行时，两者相吻合。当实际进度与计划进度不一致时，便产生超前或落后的偏差。此时，需分析偏差的原因，采取相应的措施，调整原来的计划，使两者在新的起点上重合，继续按计划进行施工活动，并且尽量发挥组织管理的作用，使实际工作按计划进行。但是，在新的干扰因素作用下，进度又会产生新的偏差，因此进度控制是反复循环的过程。

（二）施工进度控制的方式

按照施工进展的阶段，工程施工进度控制方式可以分为前馈控制（事前控制）、

过程控制（同步控制）和反馈控制（事后控制）。

1.前馈控制

前馈控制主要是根据经验对工程施工过程中可能产生的偏差进行预测和估计，并采取相应的防范措施，尽可能地消除并缩小偏差的控制方式。这是一种防患于未然的控制方法。施工项目参与方不仅要审查和确认各自的进度目标和计划安排，而且要分析施工方案和技术方法的可行性，分析影响施工进度的各种风险因素，掌握主要关键线路上施工项目的资源配置，也要进一步分析非关键线路施工上的机动时间，留有余地。尤其重要的是，要对施工过程中可能的设计变更和地质条件的变化进行预测。

2.过程控制

过程控制主要是根据施工进度的实际调查结果和收集的数据，分析计划值与实际值之间的偏差，协调各种影响，采取赶工措施或对计划进度进行调整的控制方式。实际调查和数据收集的方法包括：通过现场的值班记录，核算工程量的完成情况；通过定期例会、专题会、协调会和各级管理人员之间的会谈等措施，分析和通报工程施工进展状况。另外，除总体施工进度计划外，还应当根据施工项目的分解结构将年度计划分解成月计划、周计划和日计划，便于检查和落实。

3.反馈控制

反馈控制是在工程施工的阶段性工作或全部工作结束后或出现进度偏差后进行纠偏的控制方式。反馈控制主要是通过对工程施工月度、季度和半年度的工程施工进度报告的分析，发现已完施工中存在的进度问题以及对工期的影响，提交和处理工期索赔事宜，为下一阶段进度计划的反馈控制和过程控制提供决策依据。例如，进度延误、资源浪费、质量不合格、方案不合理等都将给工程进度带来一定的影响，需要采取事后补救措施。因此，反馈控制是一种被动的而非主动采取的控制方法。

为了对施工进度目标实行有效的控制，需要建立一个科学的施工进度计划来控制工作流程。通用性的施工进度计划控制工作流程：

在计划编制阶段，承包商按照合同工期和施工条件，通过资源优化配置和满足质量指标要求的措施，编制工程总进度计划，并向监理工程师提交，经监理工程师审查批准，提出预控方案，进入工程实施阶段。

在工程实施阶段，承包商定期收集施工进度信息并填写工作日志，每隔一定时间（每周、每旬或每月），就比较实际进度与计划进度，若发生偏离（拖延或超前），应找出发生偏离的工作和偏离的数据。若实际进度拖延，应分析进度拖延对总工期的

影响，找出拖延的原因。

若为承包商之责任，需由其采取补救措施或对计划进行必要的修正。补救措施包括：加大资源投入，提高施工强度，压缩关键工作持续时间，改变施工方法、施工工艺等。调整后的施工进度计划，必须申报监理工程师审批，经同意后方可执行。

若非承包商责任，并且该项目拖延影响到总工期的实现，则由承包商提请延期，报监理工程师和业主审批，监理工程师和业主同意后，承包商对工程总进度计划进行调整，并重复上述过程。

二、进度控制的系统过程

建设工程实施过程中，监理工程师应经常地、定期地对进度计划的进行情况进行跟踪检查，发现问题后，及时采取措施加以解决。

（一）进度计划执行中的跟踪检查

对进度计划中的执行情况进行跟踪检查是计划执行信息的主要来源，是进度分析和调整的依据，也是进度控制的关键步骤。跟踪检查的主要工作是定期收集反映工程实际进度的有关数据，收集的数据应当全面、真实、可靠，应认真做好以下三个方面的工作：

第一，定期收集进度报表资料。进度报表是反映工程实际进度的主要方法之一。进度执行单位应按进度监理制度规定的时间和报表内容，定期填写进度报表。监理工程师通过收集进度报表资料掌握实际进度情况。

第二，现场实地检查工程进展情况。派监理人员常驻现场，随时检查进度计划的实际情况，这样可以加强进度监测工作，掌握工程实际进度的第一手资料，使获取的数据更加及时、准确。

第三，定期召开现场会议。定期召开现场会议，监理工程师通过与进度计划执行单位的有关人员面对面地交谈，既可以了解工程实际进度状况，同时也可以协调有关方面的进度关系。

一般来说，进度控制的效果与收集数据资料的时间间隔有关。究竟多长时间进行一次进度检查，这是监理工程师应当确定的问题。如果不经常地、定期地收集实际进度数据，就难以有效地控制实际进度。进度检查的时间间隔与工程项目的类型、规模、监理对象及有关条件等多方面因素相关，可视工程的具体情况，每月、每半月或每周进行一次检查。特殊情况下，甚至需要每日进行一次进度检查。

（二）实际进度数据的加工处理

为了进行实际进度与计划进度的比较，必须对收集到的实际进度数据进行加工处理，形成与进度计划具有可比性的数据。例如，对检查时段实际完成工作量的进度数据进行整理、统计分析，确定本期累计完成的工作量、本期已完成的工作量占计划总工作量的百分比等。

（三）实际进度数据处理

将实际进度数据与计划进度数据进行比较，可以确定建设工程实际执行情况与计划目标之间的差距。为了直观反映实际进度偏差，通常采用表格或图形进行实际进度与计划进度的对比分析，从而得出实际进度比计划超前、滞后还是一致的结论。

（四）进度调整的系统过程

在建设工程实施进度监测过程中，一旦发现实际进度偏离计划进度，即出现进度偏差时，必须认真分析产生偏差的原因及其对后续工作和总工期的影响，必要时采取合理、有效的进度计划调整措施，确保进度总目标的实现。

1.分析进度偏差产生的原因

通过实际进度与计划进度的比较，发现进度产生偏差时，为了采取有效措施调整进度计划，必须深入现场进行调查，分析产生进度偏差的原因。

2.分析进度偏差对后续工作和总工期的影响

当查明进度偏差产生的原因之后，要分析进度偏差对后续工作和总工期的影响程度，以确定是否应采取措施调整进度计划。

3.确定后续工作和总工期的限制条件

当出现的进度偏差影响到后续工作或总工期而需要采取进度调整措施时，应当首先确定可调整的进度范围，主要指关键节点、后续工作的限制条件以及总工期允许变化的范围。这些限制条件往往与合同条件有关，需要认真分析后确定。

4.采取措施调整进度计划

采取进度调整措施，应以后续工作和总工期的限制条件为依据，确保要求的进度目标得到实现。

5.实施调整后的进度计划

进度计划调整之后，应采取相应的组织、经济、技术措施执行它，并继续监测其执行情况。

第二节 水利建设工程项目施工成本管理

由于工程项目周期长、规模大、造价高，产品的形成过程可以分为相互关联、相互作用的多个阶段。前序阶段的资金投入与策划直接影响到后序工作的进程与效果，资金的不断投入过程即是项目费用逐步实现的过程。

工程项目成本的计划是指在对工程项目所需成本总额做出合理估计的前提下，为了确定项目实际执行情况的基准而把整个费用分配到各个工作单元上去。它是以货币形式编制工程项目在计划期内的生产费用、成本水平、成本降低率以及为降低成本所采取的主要措施和规划的书面方案，它是建立施工项目成本管理责任制、开展成本控制和核算的基础，它根据项目规模和施工方案确定人员、资金、资源的总量，根据项目的进度计划确定人员和资源的进场时间及相应的数量，确定资金的供应情况。根据确定的施工项目成本目标编制实施计划，以确定工程项目的计划费用。成本计划是工程项目建设全过程中进行成本控制的基本依据。它是对项目费用进行计划管理的工具，是施工项目降低成本的指导文件，也是设立目标成本的依据，既是全过程的管理又是一个动态控制的过程。

一、编制工程项目成本计划的原则

积极的成本计划是对技术设计、合同、工期、实施方案的工程成本的预算；包含对不同方案的技术经济分析，实现全寿命期内投资费用和运营费用的最小化；为了使费用计划能够发挥积极作用，编制计划时应掌握以下原则：

（一）立足实际原则

编制成本计划要严格遵守国家的财经政策，严格按照成本开支范围，严格遵守成本计算规定。要结合工程特点，确定合理的施工程序与进度，科学地选择施工机械，优化人力资源管理，采用合理的方法和程序核算各项成本费用。要从企业的实际情况出发，充分挖掘企业潜力，使降低成本指标既积极可靠又切实可行。

（二）考虑其他相关资料原则

编制成本计划，必须与施工项目的其他各项计划如施工组织设计、工程质量、资源配置计划等匹配，保持平衡。施工组织设计能够协调施工单位之间、单项工程之间、资源使用时间和资金投入时间的关系，有利于保证工期、保障质量、优化投资的整体目标的实现。施工项目管理部门要注意优化施工方案，合理组织施工；优化资源配置；

提高项目管理班子素质，节约施工管理费用等。同时要避免为降低成本而偷工减料，忽视质量，片面增加劳动强度，忽视安全生产，忽视文明施工等。

另外，上述各项计划的确定，又影响着成本计划，都应考虑其适应降低成本的要求，而不能单纯考虑每一种计划本身的需要。

（三）考虑多种风险因素原则

编制成本计划，应考虑项目实施过程中可能出现的各种风险因素对资金使用计划的影响。如设计变更与工程量的调整、施工条件变化、有关施工政策规定的变化、建筑材料价格变化、不可抗力自然灾害以及多方面因素造成实际工期的变化等。因此，编制项目成本计划必须以各种先进的技术经济定额为依据，并针对工程的具体特点，以切实可行的技术组织措施做保证。同时，考虑计划工期与实际工期、计划投资与实际投资、资金供给与资金调度等多方面的关系。只有这样，才能使编制成本计划科学、合理。

（四）统一领导、分级管理原则

编制成本计划，应实行统一领导、分级管理的原则，以财务和计划部门为中心，发动全体职工共同总结降低成本的经验，找出降低成本的正确途径，使目标成本的制定和执行具有广泛的群众基础。

（五）弹性原则

应留有充分余地，保持目标成本的一定弹性。在制定期内，项目经理部的内部或外部的技术的经济状况和供产销条件，很可能发生一些在编制计划时所未预料的变化，尤其是材料的市场价格千变万化，给计划拟定带来很大困难，因而在编制计划时应充分考虑到这些情况，使计划保持一定的适应能力。

此外，工程项目成本计划在工程项目实施方案确定和不断优化的前提下进行编制，因为不同实施方案将导致直接工程费、措施费和企业管理费的差异。

二、编制成本计划的程序及其内容

计划成本是指具体成本项目（成本对象）的预期成本值，成本计划需要清楚地列出项目各个成本对象的各项计划（预算）成本值。其结果和计算的依据应形成文件，并能追溯其来源。通过编制项目成本使用计划，合理确定工程造价和施工阶段的目标值，使工程造价的控制有所依据，并为资金的筹集与协调打下基础；并且可以对未来工程项目的资金使用和进度控制有所预测，消除不必要的资金浪费和进度失控，使现有资金充分发挥作用；在工程项目的进行过程中，通过对成本使用计划的严格执行，

可以有效地控制工程造价，最大限度地节省投资，提高投资效益。

（一）搜集和整理资料

广泛搜集资料并进行归纳整理是编制成本计划的必要步骤。所需搜集的资料主要包括以下几类。

- 1.国家和上级部门有关编制成本计划的规定。
- 2.项目经理部与企业签订的承包合同及企业下达的成本降低额、降低率和其他有关技术经济指标。
- 3.有关成本预测、决策的资料。
- 4.施工项目的施工图预算、施工预算计划。
- 5.施工组织设计。
- 6.施工项目使用的机械设备生产能力及其利用情况。
- 7.施工项目的材料消耗、物资供应、劳动工资及劳动效率等计划资料。
- 8.计划期内的物资消耗定额、劳动工时定额、费用定额等资料。
- 9.以往同类项目的成本计划的实际执行情况及有关技术经济指标完成情况的分析资料。
- 10.同行业同类项目的成本、定额、技术经济指标资料及增产节约的经验和有效措施。
- 11.本企业的历史先进水平和当时的先进经验及采取的措施。
- 12.国外同类项目的先进成本水平情况。

此外，还应深入分析当前情况和未来的发展趋势，了解影响成本升降的各种有利和不利因素，研究克服不利因素和降低成本的具体措施，为编制过程成本计划提供丰富、具体、可靠的成本资料。

（二）确定工程项目目标成本

财务部门在掌握了丰富的资料，并加以整理分析，特别是在对前期成本计划完成情况进行分析的基础上，根据有关的设计、施工等计划，按照工程项目应投入的物资、材料、劳动力、机械、能源及各种设施等，结合计划期内各种因素的变化和准备采取的各种增产节约措施，进行反复测算、修订、平衡后，估算生产费用支出的总水平，进而提出全项目的成本计划控制指标，最终确定目标成本。

目标成本是项目经理或企业对未来时期产品成本所规定的奋斗目标，它比已经花费的实际成本要低，但又是经过努力可以达到的成本目标。目标成本管理是现代化企

业经营管理的重要组成部分，是市场竞争的需要，是企业挖掘内部潜力、不断降低产品成本、不断提高企业整体工作质量的需要，是衡量企业实际成本节约或超支，考核企业在一定时期内成本管理水平的依据。

工程目标成本有很多形式，可能以工程项目的计划成本、定额成本或标准成本作为目标成本，它随成本计划编制方法的不同而表现为不同的形式。

确定目标成本以及把总的目标分解落实到各相关部门、班组大多采用工作分解法。工作分解法又称工程分解结构，在国外被简称为 WBS (Work Breakdown Structure)，它的特点是以设计施工图为基础，以本企业做出的项目施工组织设计和技术方案为依据，以实际价格和计划的物资、材料、人工、机械等消耗量为基准，估算工程项目的实际成本费用，据以确定成本目标。其具体步骤是首先把整个工程项目逐级分解为内容单一、便于进行单位工料成本估算的小项或工序，然后按小项自下而上估算、汇总，从而得到整个工程项目的估算。估算汇总后还要考虑风险系数与物价指数，对估算结果加以修正。

(三) 编制过程成本计划草案

对大、中型项目，经项目经理部批准下达成本计划指标后，各职能部门应充分调动员工进行认真的讨论，在总结上期成本计划完成情况的基础上，结合本期计划指标，找出完成本期成本计划的有利和不利因素，提出挖掘潜力、克服不利因素的具体措施，以保证成本计划任务的完成。为了使指标真正落实，各部门应尽可能将指标分解落实到各班组及个人，使得目标成本的降低额和降低率得到充分讨论、反馈再修订，使成本计划既切合实际，又成为员工共同奋斗的目标。各职能部门也应认真讨论项目经理部下达的费用控制指标，拟定用于具体实施的技术经济措施方案，编制各部门的费用预算计划。

(四) 综合平衡，编制工程项目成本计划

在各职能部门上报了部门成本计划和费用预算后，项目经理部首先应结合各项技术经济措施，检查各计划和费用预算是否合理可行，并进行综合平衡，使各部门计划和费用预算之间相互协调、衔接；其次，要从全局出发，在保证企业下达的成本降低任务或本目标成本实现的情况下，以生产计划为中心，分析研究工程成本计划与生产计划、劳动工时计划、材料成本与物资供应计划、工资成本与工资基金计划、资金计划等的相互协调平衡。经反复讨论、多次综合平衡，最后确定的工程成本计划指标，即可作为编制工程成本计划的依据，项目经理部正式编制完成的工程成本计划，上报

企业有关部门后即可正式下达至各职能部门执行。

工程项目成本计划具体包括以下内容。

1.编制说明。指对工程的范围、投标竞争过程及合同条件、承包人对项目经理提出的责任成本目标、施工成本计划编制的指导思想和依据等的具体说明。

2.施工成本计划的指标。施工成本计划的指标应经过科学的分析预测确定，可以采用对比法、因素分析法等方法来进行测定。

3.按工程量清单列出的单位工程计划成本汇总表。

4.按成本性质划分的单位工程成本汇总表，根据清单项目的造价分析，分别对人工费、材料费、机械费、措施费、企业管理费和税费进行汇总，形成单位工程成本计划表。

成本计划应在项目实施方案确定并不断优化的前提下进行编制，因为不同的实施方案将导致直接工程费、措施费和企业管理费的差异。编制是施工成本预控的重要手段。应在工程开工前编制完成，以便将计划成本目标分解落实，为各项成本的执行提供明确的目标、控制手段和管理措施。

第三节 水利建设工程项目施工质量管理

一、质量管理与质量控制的基础知识

(一) 质量管理和质量控制的相关概念

1.质量管理

在质量方面指挥和控制组织协调活动。与质量有关的活动，通常包括质量方针和质量目标的建立、质量策划、质量控制、质量保证和质量改进等。所以，质量管理就是确定和建立质量方针、质量目标及职责，并在质量管理体系中通过质量策划、质量控制、质量保证和质量改进等手段来实施并实现全部质量管理职能的所有活动和目标。

工程项目质量管理（quality management）是指在质量方面指导和控制组织的协调活动。质量管理方面的指导和控制活动通常包括制定质量方针和质量目标，以及进行质量策划、质量控制、质量保证和质量改进。这些活动构成质量管理的“闭环”。工程项目质量管理包括了承包方和发包方的质量管理。发包方质量管理的主要任务是确定工程项目的质量标准、编制质量计划、进行质量监督和验收等；承包方的质量管理

与一般产品生产法的质量管理类似，主要活动包括确立质量方针和目标、进行质量策划和质量控制，以及质量保证和质量的持续改进。

施工质量管理是指在工程项目施工安装和竣工验收阶段，指挥和控制施工组织关于质量的相互协调的活动，是工程施工项目围绕着使施工产品满足质量要求而开展的策划、组织、计划、实施、检查、监督和审核等所有管理活动的总和。它是工程项目施工各级职能部门领导的共同职责，而工程项目施工的最高领导即施工项目经理应负全责。施工项目经理必须调动与施工质量有关的所有人员的积极性，共同做好本职工作，才能完成施工质量管理的任务。

2.质量控制

质量控制是质量管理的一部分，致力于满足质量要求的一系列相关活动。

质量控制包括采取作业技术和进行管理活动。作业技术是直接产生产品或服务质量的条件，但并不是只要具备相关作业技术能力就能产生合格的质量，在社会化大生产的条件下，还必须通过科学的管理来组织协调作业技术活动的过程，以充分发挥其质量形成能力，实现预期的质量目标。

质量控制的目标就是确保产品的质量能满足顾客、法律法规等方面所提出的质量要求。质量控制的范围涉及产品质量形成全过程的各个环节。任何一个环节的工作没做好，都会使产品质量受到损害，从而不能满足质量的要求。因此，质量控制是通过采取一系列的作业技术和行动对各个过程实施控制的。

(1) 质量控制可从五个方面进行理解：第一，质量控制的对象是过程，结果是能使被控制的对象达到规定的质量要求。第二，作业技术是指将专业技术和管理技术结合在一起，作为控制手段和方法的总称。第三，质量控制应贯穿于质量形成的全过程（即质量环的所有环节）。第四，质量控制的目的在于以预防为主，采取预防措施来排除质量环节各个阶段产生的问题，以获得期望的经济效益。第五，质量控制的具体实施主要是通过参考影响产品质量的各环节、各因素，制定相应的计划和程序，对发现的问题和不合格情况进行及时处理，并采取有效的纠正措施。

(2) 质量控制的工作内容包括作业技术和活动。这些活动主要包括：①确定控制对象，如一道工序、设计过程、制造过程等；②规定控制标准，即详细说明控制对象应达到的质量要求；③确立具体的控制方法，如工艺规程；④明确所采用的检验方法，包括检验手段；⑤实际进行检验。⑥说明实际与标准之间有差异的原因；⑦为解决差异而采取的行动。

质量控制具有动态性，因为质量要求随着时间的推进而在不断变化，为了满足不断更新的质量要求，持续改进质量控制。

3.质量管理与质量控制的关系思辨

质量管理包括质量控制，质量控制是质量管理的一部分而不是全部，通过对与质量相关的环节因素进行合理分析并进行适宜的控制，以确保在成本一定的前提下质量的稳定和提升。

质量管理与质量控制的区别在于概念不同、职能范围不同和作用不同。质量管理是指确立质量方针及实施质量方针的全部职能及工作内容，并对其工作效果进行评价和改进的一系列工作；质量控制是在明确的质量目标和具体的条件下，通过行动方案和资源配置的计划、实施、检查和监督，进行对质量目标的事前预控、事中控制和事后纠偏控制，实现预期质量目标的系统过程。质量管理是宏观的管理，而质量控制是微观具体的管理手段。

（二）全面质量管理

全面质量管理（Total Quality Management，简称 TQM）是指一个组织以质量为中心，以全员参与为基础，目的在于通过顾客满意和本组织所有成员及社会受益而达到长期成功的管理途径。具体说，它就是根据提高产品（工程）质量的要求，充分发动全体职工，综合运用现代科学和管理技术的成果，把积极改善组织管理、研究革新专业技术和应用数理统计等科学方法结合起来，实现对生产（施工）全过程各因素的控制，多快好省地研制和生产（施工）出用户满意的优质产品（工程）的一套科学管理方法。全面质量管理代表了质量管理发展的最新阶段。20 世纪 80 年代后期以来，全面质量管理得到了进一步的扩展和深化，逐渐由早期的全面质量控制（Total Quality Control，简称 TQC）演化成为 TQM，其含义远远超出了一般意义上的质量管理，而成为一种综合的、全面的经营管理方式和理念。我国从 1978 年推行全面质量管理以来，使其在理论和实践上都有一定的发展，并取得了成效，这为在我国贯彻实施 ISO 9000 族国际标准奠定了基础；反之 ISO 9000 族国际标准的贯彻和实施又为全面质量管理的深入发展创造了条件。应该在推行全面质量管理和贯彻实施 ISO 9000 族国际标准的实践中，进一步探索、总结和提高，为形成有中国特色的全面质量管理而努力。

一个组织以质量为中心，以全员参与为基础，目的在于通过让顾客满意和本组织所有成员及社会受益而达到长期成功的管理途径。这一定义反映了全面质量管理概念的最新发展，也得到了质量管理界的广泛认同。全面质量管理的基本思想，是通过一

定的组织措施和科学手段，来保证企业经营管理全过程的工作质量，以工作质量来保证产品（工程）质量，提高企业的经济效益和社会效益。我国专家总结实践中的经验，提出了“三全一多样”的观点，即推行全面质量管理，必须要满足“三全一多样”的基本要求。

“三全”管理，即全面的质量管理、全过程的质量管理和全员参加的质量管理。

“一多样”管理，即多方法的质量管理。

1.全面的质量管理

全面质量管理中的“质量”是一个广义的质量概念。它不仅包括一般的质量特性，而且包括了成本质量和服务质量。它就是工程的好坏，是保证产品质量的能力，而产品质量则是工程质量的综合反映。工程质量是原因，产品质量是结果。因为影响产品质量的五大因素（人、机、料、法、环）都需要人去把握，而工程质量又取决于人的工作质量。所以全面质量管理就是对产品质量、工程质量和工作质量的管理。要保证产品质量，就必须保证工程质量。要保证工程质量，则必须保证工作质量。

2.全过程的质量管理

全过程主要是指产品的设计过程、生产过程、辅助过程和使用过程。全过程的质量管理，就是指对上述各个过程的有关质量进行管理。设计过程中的质量管理，包括从市场调查开始，经过形制（或选型）、设计、试制，一直到正式投入生产时为止这一段时间内有关质量的所有管理工作。这一过程对于产品质量有方针性的、决定性的和先天性的的重要意义。

生产过程中的质量管理，包括从原材料进厂，一直到成品出厂以前整个生产过程中的质量把关和质量控制，工人要用最经济的方法达到设计规定的质量要求。主要工作内容有：建立合理检查审核制度，严格工艺纪律，保证各工序有足够的工序能力，加强对不合格品的管理，对工序实行质量控制，做好质量信息的反馈，建立现场的质量保证体系等。

辅助过程的质量管理，包括保质、保量和按期提供生产所需要的原材料、设备、工具工装（如模具、夹具等）和技术文件，保证足够的动力供应，保证良好的运输和存储条件，保证良好的环境和各项有关的组织工作。

使用过程的质量管理，一方面要做好使用过程中的技术服务工作，另一方面要了解使用过程中的问题，收集用户的意见，做好信息反馈工作，以利于及时改进设计和制造方法。

质量管理全过程中的各个环节，一环扣一环，一个循环完了，又开始一个新的循环。这样就形成了一个螺旋上升的过程。

3.全员参加的质量管理

产品和服务质量是企业各方面、各部门、各环节工作质量的综合反映。企业中任何一个环节，任何一个人的工作质量都会不同程度地直接或间接地影响到产品质量或服务质量。因此，提倡产品质量人人有责，人人关心产品质量和服务质量，人人做好本职工作，全体参加质量管理，确保生产出顾客满意的产品。要实现全员的质量管理，应当做好三个方面的工作：

第一，必须抓好对全员的生产意识质量教育和培训。教育和培训的目的有两个方面：一方面是增强职工的质量意识，牢固树立“质量第一”的思想；另一方面是提高员工的技术能力和管理能力，增强参与意识。在教育和培训过程中，要分析不同层次员工的需求，有针对性地开展教育和培训。

第二，要确立各部门、各级各类人员的质量责任制，明确任务和职权，各司其职，密切配合，以形成一个高效、协调、严密的质量管理工作的系统。这就要求企业的管理者要勇于授权、敢于放权。授权是现代质量管理的基本要求之一。原因在于：其一，顾客和其他相关方能否满意，企业能否对市场变化做出迅速反应决定企业能否生存，而提高反应速度的有效方式就是授权；其二，企业的职工有强烈的参与意识，同时也有很高的聪明才智，赋予他们权力和相应的责任，也能够激发他们的积极性和创造性。在明确职权和职责的同时，还应该要求各部门和相关人员对于质量做出相应的承诺。当然，为了激发他们的积极性和责任心，企业应该将质量责任同奖惩机制挂钩。只有这样，才能够确保责、权、利三者的统一。

第三，要开展多种形式的群众性质量管理活动，充分发挥广大职工的聪明才智。群众性质量管理活动的重要形式之一是质量管理小组（QC小组）。除了质量管理小组之外，还有很多群众性质量管理活动，如合理化建议制度与质量相关的劳动竞赛等。总之，企业应该发挥创造性，采取多种形式激发全员参与的积极性。

4.多种方法的质量管理

影响产品质量和服务质量的因素也越来越复杂：既有物质的因素，又有人的因素；既有技术的因素，又有管理的因素；既有企业内部的因素，又有随着现代科学技术的发展，还有对产品质量和服务质量提出了越来越高要求的企业外部的因素。要把这一系列的因素系统地控制起来，全面管好，就必须根据不同情况，区别不同的影响因素，

广泛、灵活地运用多种多样的现代管理办法来解决当代质量问题。

（三）质量管理的 PDCA 循环

质量管理工作的运转方式是 PDCA 循环，即质量管理工作体系按计划（Plan）、实施（Do）、检查（Check）、处理（Action）的 4 个阶段，开展企业管理工作。PDCA 循环是美国质量管理专家戴明（W, E, Demin）根据质量管理工作经验总结出来的一种科学的质量管理工作方法和工作程序，因此 PDCA 循环也称戴明环。

PDCA 循环的内容包括 4 个阶段、8 个步骤。分述如下：

1. 计划阶段

提出明确的质量管理方针目标，制定改进措施和计划。计划阶段包括 4 个步骤。

第一步：调查分析质量现状，找出存在的质量问题。

第二步：分析产生质量问题的各种原因或影响因素。

第三步：找出影响质量的主要原因或影响因素。

第四步：针对主要原因或影响因素制定改进措施计划。

2. 实施阶段

按制定的改进措施计划组织贯彻执行。实施阶段只有一个步骤，即第五步，按计划组织实施。

3. 检查阶段

通过对计划要求和实施结果的对比，检查计划是否得以实现。检查阶段只有一个步骤，即第六步：对照计划，检查实施结果。

4. 处理阶段

就是对检查结果好的，给予肯定；对检查结果差的，找出原因，准备改进。处理阶段有两个步骤。

（1）第七步：总结成功经验，制定标准。

（2）第八步：将遗留问题转入下一个 PDCA 循环中去。

作为质量管理工作体系运转方式的 PDCA 循环，有四个特点：一是完整性。4 个阶段 8 个步骤一个不少地做完，才算完成了一件工作，缺少任何一个内容都不是 PDCA 循环。二是程序性。4 个阶段 8 个步骤必须按次序进行，既不能颠倒着做，也不能跳跃着做。三是连续性与渐进性。计划、实施、检查、处理不间断地循环进行，这就是 PDCA 循环的连续性。每经过一个 PDCA 循环，质量都会有所提高，即下一个 PDCA 循环是在上一个 PDCA 循环已经提高了的质量水平之上进行的。这样，PDCA 循环的

连续运转,就使质量水平得到提高,这就是 PDCA 循环的渐进性。四是系统性。PDCA 循环作为一种科学工作程序,可应用于企业各方面的管理工作。企业有 PDCA 循环,项目经理部有 PDCA 循环,施工队、班组以及个人都有 PDCA 循环,并且下面的 PDCA 循环服从上面的 PDCA 循环,上面的 PDCA 循环指导约束下面的 PDCA 循环。企业上下形成一个大环套小环,小环保大环的 PDCA 循环系统。

(四) 质量控制体系

工程项目施工质量控制过程既有施工承包方的质量控制职能,也有业主方、设计方、监理方、供应方及政府的工程质量监督部门的控制职能,他们具有各自不同的地位、责任和作用。施工承包方和供应方在施工阶段是质量自控主体,不能因为监控主体的存在和监控责任的实施而减轻或免除他们的质量责任。业主、监理、设计方及政府的工程质量监督部门,在施工阶段依据法律和合同对自控主体的质量行为和效果实施监督控制。自控主体和监控主体在施工全过程中相互依存、各司其职,共同推动着施工质量控制过程的发展和最终工程质量目标的实现。

工程项目质量控制体系一般包括控制的组织体系、对象体系和过程体系。

1. 工程项目质量控制组织体系

相对于工程项目的进度、费用控制而言,工程项目质量控制是一项既复杂又十分具体的重要工作。在合同环境下,其组织体系包括承包商的质量保证体系和业主/监理工程师的质量控制体系两个方面。承包商的质量保证体系和监理工程师的质量控制体系相辅相成,构成了施工质量控制的组织体系,正是这一组织体系的正常运转,才得以保证工程项目质量目标的实现。

2. 工程项目质量控制对象体系

工程项目的施工阶段,其质量控制对象包括两个方面:一是对影响因素的控制;二是对施工结果的质量控制,即对工程产品质量的控制。影响工程质量的因素概括为操作人员、建筑材料、施工机械、施工方法或工艺和施工环境等。这 5 个方面是首先要进行控制的对象。

3. 工程项目施工质量控制过程体系

施工是形成工程实体的动态过程,施工质量控制是一个由选择施工人员和施工方案、投入材料的质量控制开始,直到完成工程检查验收为止的全过程的控制体系。这个过程大致可分成施工前质量控制、施工中质量控制及施工后期质量控制 3 个阶段。

(五) 施工质量控制的系统过程

施工阶段的质量控制是一个经由对投入的资源和条件的质量控制（事前控制），进而对生产过程各环节质量进行控制（事中控制），直到对所完成的工程产出品质量检验与控制（事后控制）为止的全过程系统控制过程。这个过程可以根据在施工阶段工程实体质量形成的时间阶段不同来划分；也可以根据施工阶段工程实体形成过程中物质形态的转化来划分。

1.根据时间阶段划分

根据施工阶段工程实体质量形成过程的时间阶段，质量控制划分为事前控制、事中控制、事后控制三个阶段。在这三个阶段中，工作的重点是工程质量的事前控制和事中控制。

（1）事前控制

在施工前的准备阶段进行质量控制。它是指在各工程对象，各项准备工作及影响质量的各因素和有关方面进行质量控制。

（2）事中控制

施工过程中进行的所有与施工过程有关各方面的质量控制，中间产品（工序产品或部分分项工程产品）的质量控制。

（3）事后控制

它是指对于通过施工过程所完成的具有独立的功能和使用价值的最终产品（单位工程或整个工程项目）及其有关方面（如质量文档）的质量进行控制。

2.根据物质形态转化划分

由于工程对象的施工是一项物质生产活动，所以施工阶段的质量控制的系统过程也是一个系统控制过程，按工程实体形成的物质转化形态进行划分，可以分为以下三个阶段：

第一阶段：对投入的物质资源质量的控制。施工企业资源的投入对质量控制效果至关重要，资源投入的多少、投入的质量对工程质量有着直接影响。施工企业不能为了节约成本，盲目减少资源投入。

第二阶段：施工及安装生产过程质量控制。即在使投入的物质资源转化为工程产品的过程中，对影响产品质量的各因素、各环节及中间产品的质量进行控制。

第三阶段：对完成的工程产出品质量的控制与验收。

（六）不同阶段质量控制的内容

1.事前控制

事前质量控制内容是指正式开工前所进行的质量控制工作。作为施工企业在事前控制时要预先制订周密的质量计划。具体在施工阶段，制订质量计划或编制施工组织设计或施工项目管理实施规划（目前通常3种方式并用），制定的质量计划或编制施工组织设计或施工项目管理实施规划必须切实可行，能有效实现预期质量目标，将其作为行动方案进行施工部署。

目前，很多施工企业，往往把项目经理责任制曲解成“以包代管”的模式，或直接外包给个人（包括技术管理），忽略了技术质量管理的系统控制，失去企业整体技术或管理经验对项目施工计划的指导和支撑作用，这将造成质量预控的先天性缺陷。

事前控制，其内涵包括两层意思：一是强调质量目标的计划预控；二是按质量计划进行质量活动前的准备工作状态的控制。

2.事中控制

事中控制首先是对质量活动的行为约束，即对质量产生过程中各项技术作业活动操作在相关制度的管理下的自我行为约束的同时，充分发挥其技术能力，去完成预定质量目标的作业任务；其次是对质量活动过程和结果，来自他人的监督控制，包括来自企业内部管理者的检查检验和来自企业外部的工程监理和政府质量监督部门等的监控。

事中控制虽然包括自控和监控两大环节，但其关键还是要增强质量意识，发挥操作者自我约束和自我控制的作用，即坚持质量标准是根本，监控或他人控制是必要的补充，没有前者或用后者取代前者都是不正确的，施工企业不应将质量控制的主要任务转嫁给监理或其他监督部门。因此，在施工企业组织的质量活动中，通过监督机制和激励机制相结合的管理方法，来发挥操作者更好的自我控制能力，以达到质量控制的效果，是非常必要的。施工企业只有通过建立质量体系实施来达到事中控制的目的。

3.事后控制

事后控制包括对质量活动结果的评价认定和对质量偏差的纠正。从理论上分析，如果计划预控过程中所制定的行动方案考虑得越周密，事中约束监控的能力越强，实现质量预期目标的可能性就越大，理想的状况就是希望做到各项作业活动“一次成功”“一次交验合格率100%”，但客观上相当部分的工程不可能达到，因为在实施过程中不可避免地会存在一些计划时难以预料的影响因素，包括系统因素和偶然因素。因此当出现质量实际值与目标值之间超出允许偏差时，必须分析原因采取措施纠正偏差，保持质量处于受控状态。

事前控制、事中控制及事后控制，不是孤立和截然分开的，它们之间构成有机的系统过程，实质上也就是 PDCA 循环具体化，并在每一次滚动循环中不断提高，达到质量管理或质量控制的持续改进。

二、工程项目施工质量控制

（一）施工阶段的质量控制目标

施工质量控制的总体目标是贯彻执行建设工程质量法规和强制性标准，正确配置施工生产要素并采用科学管理的方法，达到工程项目预期的使用功能和质量标准。这是建设工程参与各方面共同的责任。

建设单位的质量控制目标是通过施工全过程的全面质量监督管理、协调和决策，保证竣工项目达到投资决策所确定的质量标准。

设计单位在施工阶段的质量控制目标，是通过施工质量的验收签证、设计变更控制及纠正施工中所发现的设计问题，采纳变更设计的合理化建议等，保证竣工项目的各项施工结果与设计文件（包括变更文件）所规定的标准相一致。

施工单位的质量控制目标是通过全过程的全面质量自控，保证交付满足施工合同及设计文件所规定的质量标准（含工程质量创优要求）的建设工程产品。

供货单位的控制目标是建筑材料、设备、机构配件等供应厂商，其应按照采购供货合同约定的质量标准提供货物及其质量保证、检验试验单据、产品规格和使用说明书，以及其他必要的数据和资料，并对其产品质量负责。

监理单位在施工阶段的质量控制目标是，通过审核施工质量文件、报告报表及现场旁站检查、平行检测、施工指令和结算支付控制等手段的应用，监控施工承包单位的质量活动行为，协调施工关系，正确履行工程质量的监督责任，以保证质量达到施工合同和设计文件所规定的质量标准。

（二）施工准备的质量控制

施工企业应依据工程项目质量管理策划的结果进行施工准备。施工企业应按规定向监理方或发包方进行报审、报验。施工企业应确认项目施工已具备开工条件，按规定提出开工申请，经批准后方可开工。

1. 施工企业组织机构和人员

（1）建立健全项目管理组织机构

施工企业最高管理者应确定适合施工企业自身工程特点的质量管理体系组织机构项目经理部，合理划分管理层次和职能部门，确保各项活动高效、有序地运行。施工

企业项目经理部的设置均应与质量管理制度相一致。施工企业应根据质量管理的需要，明确管理层次，设置相应的部门和岗位。施工企业应在各管理层次中明确质量管理的组织协调部门和岗位，并规定其职责和权限。项目经理部应配备相应质量管理人员，规定相应的职责和权限并形成文件。

施工企业最高管理者在质量管理方面的职责和权限应包括组织制定质量方针和目标、建立质量管理的组织机构、培养和提高员工的质量意识、建立施工企业质量管理体系并确保其有效实施、确定和配备质量管理所需的资源、评价并改进质量管理体系。

施工企业应规定各级专职质量管理部门和岗位的职责和权限，形成文件并传递到各管理层次。施工企业应规定其他相关职能部门和岗位的质量管理职责和权限，形成文件并传递到各管理层次。施工企业应以文件的形式公布组织机构的变化和人员职责的调整，并对相关的文件进行更改。

(2) 加强项目部人员管理

施工企业应建立并实施人力资源管理制度，施工企业的人力资源管理应满足质量管理需要，应根据质量管理长远目标制定人力资源发展规划。施工企业应以文件的形式确定与质量管理岗位相适应的任职条件，包括专业技能、所接受的培训及所取得的岗位资格、能力、工作经历，应按照岗位任职条件配置相应的人员。项目经理、施工质量检查人员、特种作业人员等应按照国家法律、法规的要求持证上岗。施工企业应建立员工绩效考核制度，规定考核的内容、标准、方式、频度，并将考核结果作为资源管理评价和改进的依据。

施工企业应识别培训需求，根据需要制定员工培训计划，对培训对象、内容、方式及时间做出安排。施工企业对员工的培训应包括：质量管理方针、目标、质量意识，相关法律、法规和标准规范，施工企业质量管理制度，专业技能和继续教育。施工企业应对培训效果进行评价，并保存相应的记录。将评价结果应用于增强培训的有效性。

施工企业应做到组织机构完备，技术与管理人员熟悉各自的专业技术，有类似工程的长期经历和丰富经验，能够胜任所承包项目的施工、完工与工程保修；配备有能力对工程进行有效监督的工长和领班；投入顺利施工所需的技工和普工。施工企业必须保证施工现场具有技术合格和数量足够的下述人员：①具有合格证明的各类专业技工和普工。②具有相应理论、技术知识和施工经验各类专业技术人员及有能力进行现场施工管理和指导施工，作业的工长。③具有相应岗位资格的管理人员。

技术岗位和特殊工种的工人均必须持有通过国家或有关部门统一考试或考核的资

格证明，经监理单位审查合格者才准上岗，如爆破工、电工、焊工等工种均要求持证上岗。

2. 施工企业工地试验室和试验计量设备

施工企业检测试验室必须具备与所承接工程相适应并满足合同文件和技术规范、规程、标准要求的检测手段和资质。施工企业在工地建立的试验室，包括试验设备和用品、试验人员数量和专业水平，核定其试验方法和程序等。施工企业应按合同规定及相应规范进行各项材料试验。施工企业工地试验室应具有符合要求的检测试验室的资质文件（包括资格证书、承担业务范围及计量认证文件）。检测试验室人员配备情况（专业或工种等）满足工程项目试验需要。检测试验室仪器设备数量足够、性能完好，仪器仪表均已确定，并具有检验合格证。试验室具有各类检测、试验记录表和报表的式样。试验室制定了检测试验人员守则及试验室工作规程。

3. 施工企业进场施工设备

为了保证施工的顺利进行，施工企业在开工前应将施工设备准备完好，具体要求如下：

一是施工企业进场施工设备的数量和规格、性能以及进场时间应能满足施工需要。

二是施工企业应按照施工组织设计保证施工设备按计划及时进场。应避免不符合要求的设备被投入使用。在施工过程中，施工企业应对施工设备及时进行补充、维修、维护，以满足施工需要。

三是旧施工设备进入工地前，施工企业应对该设备的使用和检修记录进行检查，并由具有设备鉴定资格的机构进行检修并出具检修合格证。

4. 对基准点、基准线和水准点的复核和工程放线

施工企业应及时申请监理单位提供测量基准点、基准线和水准点及其平面资料，并由“勘察、设计、监理、建设、施工”等单位会签《工程测量交桩签证单》。施工企业应依照基准点、基准线以及国家测绘标准和工程项目精度要求，测设自己的施工控制网，并将资料报送监理单位审批。施工企业应负责施工过程中的全部施工测量工作，包括地形测量、放样测量、断面测量、支付收方测量和验收测量等，并应由施工企业自行配置合格的人员、仪器、设备和其他物品。施工企业在各项目施工测量前还应编制措施方案。

施工企业应负责管理好施工控制网点，若设备有丢失或损坏情况，应及时修复，其所需管理和修复费用由施工企业承担。

5.对原材料、构配件的检查

施工企业进场原材料、构配件的质量、规格、性能应符合有关技术标准和技术条款的要求，原材料的储存量应满足工程开工及随后施工的需要。

6.施工辅助设施的准备

砂石料生产系统的配置，是根据工程设计图纸的混凝土用量及各种混凝土的级配比例，计算出各种规格混凝土骨料的需用量，主要考虑日最大强度及月最大强度，确定系统设备的配置。砂石厂应设在料场附近；多料场供应时，应设在主料场附近；经论证也可分别设厂；砂石利用率高、运距近、场地许可时，也可设在混凝土工厂附近。主要设施的地基应稳定，有足够的承载力。混凝土拌和系统选址，尽量选在地质条件良好的部位，拌和系统布置注意进出料高程、运输距离短、生产效率高。

对于场内交通运输，对外交通方案确保施工工地与国家或地方公路、铁路车站、水运港口之间的交通联系，具备完成施工期间外来物资运输任务的能力。场内交通方案确保施工工地内部各工区、当地材料场地、堆渣场、各生产区、各生活区之间的交通联系，主要道路与对外交流衔接。

工地施工用水、生活用水和消防用水的水压、水质应满足相应的规定。施工供水量应满足不同时期日高峰生产用水和生活用水需要，并按消防用水量进行校核。生活和生产用水宜按水质要求、用水量、用户分布、水源、管道和取水建筑物的布置情况，通过技术经济比较后确定集中或分散供水。

各施工阶段用电最高负荷宜按需要系数法计算。通信系统组成与规模应根据工程规模的大小、施工设施布置及用户分布情况确定。

7.施工企业分包人的管理

施工企业应建立并实施分包管理制度，明确各管理层次和部门在分包管理活动中的职责和权限，对分包方实施分类管理，并分类制定管理制度。施工企业应对分包工程承担相关责任。

(1) 分包方的选择和分包合同

施工企业应按照管理制度中规定的标准和评价办法，根据所需分包内容的要求，经评价依法通过适当方法（如招标、组织相关职能部门实施评审、分包方提供的资料评价、分包方施工能力现场考察）选择合适的分包方，并保存评价和选择分包方的记录。对分包方的评价内容应包括经营许可和资质证明，专业能力，人员结构和素质，机具装备，技术、质量、安全、施工管理的保证能力，工程业绩和信誉。

（2）分包项目实施过程的控制

施工企业应在分包项目实施前对从事分包的有关人员进行分包工程施工或服务要求的交底，审核批准分包方编制的施工或服务方案，并据此对分包方的施工或服务条件进行确认和验证，包括：确认分包方从业人员的资格与能力；验证分包方的主要材料、设备和设施。

施工企业对项目分包管理活动的监督和指导应符合分包管理制度的规定和分包合同约定的内容。施工企业应对分包方的施工和服务过程进行控制，包括：对分包方的施工和服务活动进行监督检查，发现问题及时提出整改要求并跟踪复查；依据规定的步骤和标准对分包项目进行验收。

施工，企业应对分包方的履约情况进行评价并保存记录，作为重新评价、选择分包方和改进分包管理工作的依据。施工企业应采取切实可行的措施，防止分包方将分包工程再分包。

（四）施工过程的质量控制

1.技术交底

做好技术交底是保证施工质量的重要措施之一。项目开工前应由项目技术负责人向承担施工的负责人或分包人进行书面技术交底，技术交底资料应办理签字手续并对其归档保存。每一分部工程开工前均应进行作业技术交底。技术交底书应由施工项目技术人员编制，并经项目技术负责人批准实施。技术交底的内容主要包括：任务范围、施工方法、质量标准和验收标准，施工中应注意的问题，可能出现意外的预防措施及应急方案，文明施工和安全防护措施以及成品保护要求等。技术交底应围绕施工材料、机具、工艺、工法、施工环境和具体的管理措施等方面进行，应明确具体的步骤、方法、要求和完成的时间等。技术交底的形式有书面、口头、会议、挂牌、样板、示范操作等。

2.测量控制

项目开工前应编制测量控制方案，经项目技术负责人批准后实施。对相关部门提供的测量控制点应在施工准备阶段做好复核工作，经审批后进行施工测量放线，并保存测量记录。在施工过程中应对设置的测量控制点、线妥善保护，不准擅自移动。施工过程中必须认真进行施工测量复核工作，这是施工单位应履行的技术工作职责，其复核结果应报送监理工程师复验确认后，方能进行后续相关工序的施工。常见的施工测量复核有以下几种：

(1) 工业建筑测量复核

包括厂房控制网测量、桩基施工测量、柱模轴线与高程测量、厂房结构安装定位检测、设备基础与预埋螺栓定位检测等。

(2) 民用建筑测量复核

包括建筑物定位测量、基础施工测量、墙体皮数杆检测、楼层轴线检测、楼层间高程传递检测等。

(3) 高层建筑测量复核

包括建筑场地控制测量、基础以上的平面与高程控制、建筑中垂准检测和施工过程中沉降变形观测等。

(4) 管线工程测量复核

管网或输配电线路定位测量、地下管线施工检测、架空管线施工检测、多管线交汇点高程检测等。

3. 计量控制

计量控制是工程项目质量保证的重要内容,是施工项目质量管理的一项基础工作。施工过程中的计量工作,包括施工生产时的投料计量、施工测量、监测计量以及对项目、产品或过程的测试、检验、分析计量等。其主要任务是统一计量单位制度,组织量值传递,保证量值统一。计量控制的工作重点是:建立计量管理部门并配置计量人员;建立健全计量管理的规章制度;严格按照规定有效控制计量器具的使用、保管、维修和检验;监督计量过程的实施,保证计量的准确。

4. 工序施工控制

施工过程是由一系列相互联系与制约的工序构成,工序是人、材料、机械设备、施工方法和环境因素对工程质量综合起作用的过程,所以对施工过程的质量控制,必须以工序质量控制为基础和核心。因此,工序的质量控制是施工阶段质量控制的重点。只有严格控制工序质量,才能确保施工项目的实体质量。工序施工质量控制主要包括工序施工条件质量控制和工序施工效果质量控制。

(1) 工序施工质量控制

工序施工条件是指从事工序活动的各生产要素质量及生产环境条件。工序施工条件控制就是控制工序活动的各种投入要素的质量和条件质量。控制的手段主要有检查、测试、试验、跟踪监督等。控制的依据主要有设计质量标准、材料质量标准、机械设备技术性能标准、施工工艺标准以及操作规程等。

(2) 工序施工效果控制

工序施工效果主要反映在工序产品的质量特征和特性指标上。对工序施工效果的控制就是控制工序产品的质量特征和特性指标达到设计质量标准以及施工质量验收标准的要求。工序施工质量控制属于事后质量控制,其控制的主要途径是实测获取数据、统计分析所获取的数据、判断认定质量等级和纠正质量偏差。

5.特殊过程的质量控制

特殊过程是指该施工过程或工序的施工质量不易或不能通过其后的检验和试验而得到充分的验证,或者发生质量事故而难以挽回的施工过程。特殊过程的质量控制是施工阶段质量控制的重中之重,对在项目质量计划中界定的特殊过程,应设置工序质量控制点,抓住影响工序施工质量的主要因素进行强化控制。

(1) 选择质量控制点的原则

质量控制点的选择应以那些保证质量的难度大、对质量影响大或是发生质量问题时危害大的对象进行设置。选择的原则是:对工程质量形成过程产生直接影响的关键部位、工序或环节及隐蔽工程;施工过程中的薄弱环节,或者质量不稳定的工序、部位或对象;对下道工序有较大影响的上道工序;采用新技术、新工艺、新材料的部位或环节;施工上无把握的、施工条件困难的或技术难度大的工序或环节;用户反馈指出和过去有过返工的不良工序。

(2) 质量控制点的重点控制对象

质量控制点的设置要正确、有效,要根据对重要质量特性进行重点控制的要求,选择施工过程的重点部位、重点工序和重点质量因素作为质量控制的对象,进行重点预控和过程控制,从而有效地控制和保证施工质量。质量控制点中重点控制的对象主要包括以下几个方面:

第一,人的行为。某些操作或工序,应以人为重点控制对象,如高空、高温、水下、易燃易爆、重型构件吊装作业以及操作要求高的工序和技术难度大的工序等,都应从人的生理、心理、技术能力等方面进行控制。

第二,材料的质量与性能。这是直接影响工程质量的重要因素,在某些工程中应作为控制的重点。例如,钢结构工程中使用的高强螺栓、某些特殊焊接使用的焊条,都应作为重点控制其材质与性能。又如,水泥的质量是直接影响混凝土工程质量的关键因素,施工中就应对进场的水泥质量进行重点控制,必须检查核对其出厂合格证,并按要求进行强度和安定性的复试等。

第三，施工方法与关键操作。某些直接影响工程质量的关键操作应作为控制的重点，如预应力钢筋的张拉工艺操作过程及张拉力的控制，是可靠地建立预应力值和保证预应力构件质量的关键过程。同时，那些易对工程质量产生重大影响的施工方法，也应列为控制的重点，如大模板施工中模板的稳定和组装问题、液压滑模施工时支撑杆稳定问题、升板法施工中提升差的控制等。

第四，施工技术参数。如混凝土的外加剂掺量、水灰比，回填土的含水量，砌体的砂浆饱满度，防水混凝土的抗渗等级、钢筋混凝土结构的实体检测结果及混凝土冬期施工受冻临界强度等技术参数都是应重点控制的质量参数与指标。

第五，技术间歇。有些工序之间必须留有必要的技术间歇时间。例如，砌筑与抹灰之间，应在墙体砌筑后留 6~10d 时间，让墙体充分沉陷、稳定、干燥，再抹灰；抹灰层干燥后，才能喷白、刷浆；混凝土浇筑与模板拆除之间，应保证有一定的硬化时间，混凝土达到规定拆模强度后方可拆除等。

第六，施工顺序。对于某些工序必须严格控制施工的先后顺序，比如对冷拉的钢筋应当先焊接后冷拉，否则会失去冷强；屋架的安装固定，应采取对角同时施焊的方法，否则会由于焊接应力导致校正好的屋架发生倾斜。

第七，易发生或常见的质量通病。例如，混凝土工程的蜂窝、麻面、空洞，墙、地面、屋面防水工程渗水、漏水、空鼓、起砂、裂缝等情况，都与工序操作有关，均应事先研究对策，提出预防措施。

第八，新技术、新材料及新工艺的应用。由于缺乏经验，施工时应将其作为重点进行控制。

第九，产品质量不稳定和不合格率较高的工序应列为重点，认真分析、严格控制。

第十，特殊地基或特种结构。对于湿陷性黄土、膨胀土、红黏土等特殊土地基的处理，以及大跨度结构、高耸结构等技术难度较大的施工环节和重要部位，均应予以特别重视。

(3) 特殊过程质量控制的管理

特殊过程的质量控制除按一般过程质量控制的规定执行外，还应由专业技术人员编制作业指导书，经项目技术负责人审批后执行。作业前施工员、技术员应做好交底和记录。使操作人员在明确工艺标准、质量要求的基础上进行作业。为保证质量控制点的目标实现，应严格按照三级加查制度进行检查控制。在施工中发现质量控制点有异常时，应立即停止施工，召开分析会，查找原因并采取对策予以解决。

6.成品保护的控制

成品保护一般是指在项目施工过程中,某些部位已经完成,而其他部位还在施工,在这种情况下,施工单位必须负责对已完成部分采取妥善的措施进行保护,以免因成品缺乏保护或保护不善而受到损伤或污染,影响工程的实体质量。加强成品保护,首先要加强教育,增强全体员工的成品保护意识,同时要合理安排施工顺序,采取有效的保护措施。

成品保护的措施一般有防护(就是提前保护,针对被保护对象的特点采取各种保护的措施,防止对成品的污染及破坏)、包裹(就是将被保护物包裹起来,以防损伤或污染)、覆盖(就是用表面覆盖的方法,防止堵塞或损伤)、封闭(就是采取局部封闭的办法进行保护)等几种方法。

四、工程项目质量验收

工程项目施工质量验收是施工质量控制的重要环节,其内容包括施工过程的工程质量验收和施工项目竣工质量验收。

质量验收基本术语如下:

(1) 抽样检验。按照规定的抽样方案,随机地从进场的材料、构配件、设备或建筑工程检验项目中,按检验批次抽取一定数量的样本所进行的检验。

(2) 抽样方案。根据检验项目的特性所确定的抽样数量和方法。

(3) 检验批。按统一的生产条件或按规定的方式汇总起来供检验用的,由一定数量样本组成的检验体。

(4) 检验。对检验项目的性能进行量测、检查、试验等,并将结果与标准规定要求进行比较,以确定每项性能是否适于所进行的活动。

(5) 见证取样检测。在监理单位或建设单位监督下,由施工单位有关人员现场取样,并送至具备相应资质的检测单位所进行的检测。

(6) 交接检验。由施工的承接方与完成方检查并对可否继续施工做出确认的活动。

(7) 主控项目。建筑工程中的对安全、卫生、环境保护和公众利益起决定性作用的检验项目。

(8) 一般项目。除主控项目以外的检验项目。

(9) 计数检验。在抽样的样本中,记录每一个体有某种属性或计算每一个体中的缺陷数目的检查方法。

(10) 计量检验。在抽样检验的样本中,对每一个个体测量其某个定量特性的检

查方法。

(11) 观感质量。通过观察和必要的量测反映出的工程外在质量。

(一) 施工过程质量验收

工程施工质量验收是工程项目质量控制的重要环节。不同类型工程其施工质量验收办法略有差异，此处主要结合建筑工程质量验收对此加以介绍。

1. 工程施工质量验收的划分原则

(1) 单位工程的划分原则

第一，具备独立施工条件并能形成独立使用功能的建筑物及构筑物为一个单位工程。第二，建筑规模较大的单位工程，可将其能形成独立使用功能的部分作为一个子单位工程。

(2) 分部工程的划分原则

第一，分部工程的划分应按专业性质、建筑部位确定。第二，当分部工程较大或较复杂时，可按材料种类、施工特点、施工程序、专业系统及类别等将其划分为若干子分部工程。

(3) 分项工程应按主要工种、材料、施工工艺、设备类别等进行划分

分项工程可由一个或若干个检验批组成，检验批可根据施工及质量控制和专业验收需要按楼层、施工段、变形缝等进行划分。室外工程可根据专业类别和工程规模划分单位（子单位）工程。

2. 施工质量验收的依据

(1) 工程施工承包合同

工程施工承包合同所规定的有关施工质量方面的条款，是发包方所要求的施工质量目标，是承包方对施工质量责任的明确承诺，是施工质量验收的重要依据。

(2) 工程施工图纸

由发包方确认并提供的工程施工图纸，以及按规定程序和手续实施变更的设计和施工变更图纸，是工程施工合同文件的组成部分，也是直接指导施工和进行施工质量验收的重要依据。

(3) 工程施工质量验收统一标准

根据我国现行的工程建设管理体制，国务院各工业交通部门负责对全国专业建设工程质量的监督管理，因此，其相应的专业建设工程施工质量验收统一标准是各专业工程建设施工质量验收的依据。

（4）专业工程施工质量验收规范

专业工程施工质量验收规范是在工程施工质量验收统一标准的指导下，结合专业工程的特点和要求编制的，是施工质量验收统一标准的进一步深化和具体化，作为专业工程施工质量验收的依据。“验收规范”和“统一标准”必须配合使用。

（5）建立法律、法规、管理标准和技术标准

现行的建设法律、法规、管理标准和相关的技术标准，是制定施工质量验收“统一标准”和“验收规范”的依据，而且其中包括了相应的强制性条文，也是组织和指导施工质量验收、评判工程质量责任行为的重要依据。

3. 施工过程的质量验收

建筑工程质量验收的划分有检验批、分项工程、分部（子分部）工程、单位（子单位）工程。其中，检验批和分项工程是质量验收的基本单元，分部工程是在对所含全部分项工程验收的基础上进行的验收，它们是在施工过程中随完工随验收的。单位工程是完整的具有独立使用功能的建筑产品，须进行最终的竣工验收。因此，施工过程的质量验收包括检验批质量验收、分项工程质量验收和分部工程质量验收。

（1）检验批质量验收

检验批是指按同一生产条件或按规定的方式汇总起来供检验用的，由一定数量样本组成的检验体。检验批可根据施工及质量控制和专业验收需要按楼层、施工段、变形缝等进行划分。

检验批应由监理工程师（建设单位项目技术负责人）组织施工单位项目专业质量（技术）负责人等进行验收。

检验批合格质量应符合相关规定：一是主控项目和一般项目的质量经抽样检验合格。二是具有完整的施工操作依据、质量检查记录。

（2）分项工程质量验收

分项工程应按主要工种、材料、施工工艺、设备类别等进行划分。分析工程可由一个或若干检验批组成。

分项工程应由监理工程师（建设单位项目技术负责人）组织施工单位项目专业质量（技术）负责人进行验收。

分项工程质量验收合格应符合相关规定：一是分项工程所含的检验批均应符合合格质量的规定。二是分项工程所含的检验批的质量验收记录应完整。

（3）分部工程质量验收

分部工程的划分应按专业性质、建筑部位确定；当分部工程较大或较复杂时，可按材料种类、施工特点、施工程序、专业系统及类别等分为若干子分部工程。

分部工程应由总监理工程师（建设单位项目负责人）组织施工单位项目负责人和技术、质量负责人等进行验收；地基与基础、主体结构分部工程的勘察、设计单位工程项目负责人和施工单位技术、质量部门负责人也应参加相关分部工程验收。

分部（子分部）工程质量验收合格应符合相关规定：①所含分项工程的质量均应验收合格；②质量控制资料应完整；③结果应符合有关规定；④观感质量验收应该符合要求。

4.施工质量不符合要求时的处理

（1）在检验批验收时，对严重的缺陷应推倒重来，对一般的缺陷应通过翻修或更换器具、设备予以解决后重新进行验收。

（2）个别检验批发现试块强度等不满足要求或难以确定是否验收时，应请有资质的法定检测单位检测鉴定，当鉴定结果能够达到设计要求时，应通过验收。

（3）当检测鉴定达不到设计要求、但经原设计单位核算仍能满足结构安全和使用功能的检验批，可予以验收。

（4）工程有严重质量缺陷或超过检验批范围内的缺陷，经法定检测单位检测鉴定以后，认为其不能满足最低限度的安全储备和使用功能，则必须对工程进行加固处理，虽然改变外形尺寸，但能满足安全使用要求，可按技术处理方案和协商文件进行验收，责任方应承担经济责任。

（5）经过返修或加固处理仍不能满足安全使用要求的分部工程、单位（子单位）工程，严禁验收。

（二）竣工质量验收

施工项目竣工质量验收是施工质量控制的最后一个环节，是对施工过程质量控制成果的全面检验，是在终端把关方面进行质量控制。未经验收或验收不合格的工程，不得交付使用。

1.竣工质量验收的依据

- （1）上级主管部门的有关工程竣工验收的文件和规定。
- （2）国家和有关部门颁发的施工、验收规范和质量标准。
- （3）经批准的设计文件、施工图纸及说明书。
- （4）双方签订的施工合同。

- (5) 设备技术说明书。
- (6) 设计变更通知书。
- (7) 有关的协作配合协议书等。

2. 竣工质量验收的要求

(1) 工程施工质量应符合各类工程质量统一验收标准和相关专业验收规范的规定。

(2) 工程施工应符合工程勘察、设计文件的要求。

(3) 参加工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格。

(4) 工程质量的验收均应在施工单位自行检查评定的基础上进行。

(5) 隐蔽工程在被隐蔽前应由施工单位通知有关单位进行验收，并形成验收文件。

(6) 涉及结构安全的试块、试件以及有关材料，应按规定进行见证取样检测。

(7) 检验批的质量应按主控项目、一般项目验收。

(8) 对涉及结构安全的重要分部工程应进行抽样检测。

(9) 承担见证取样检测及有关结构安全检测的单位应具有相应资质。

(10) 工程的观感质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

3. 竣工质量验收的标准

(1) 单位（子单位）工程所含分部（子分部）工程质量验收均应合格。

(2) 质量控制资料应完整。

(3) 单位（子单位）工程所含分部工程有关安全和功能的检测资料应完整。

(4) 主要功能项目的抽查结果应符合相关专业质量验收规范的规定。

(5) 观感质量验收应符合要求。

4. 竣工工程质量验收的程序

(1) 工程完工后，施工单位向建设单位提交工程竣工报告，申请工程竣工验收。实行监理的工程，工程竣工报告须获得总监理工程师签署意见。

(2) 建设单位收到工程竣工报告后，对符合竣工验收要求的工程，组织勘察、设计、施工、监理等单位组成验收组，制定验收方案。对于重大工程和技术复杂工程，根据需要可邀请有关专家参与验收。

(3) 建设单位应当在工程竣工验收 7 个工作日前将验收的时间、地点及验收组名单书面通知负责监督该工程的工程质量监督机构。

(4) 建设单位组织工程竣工验收：第一，建设、勘察、设计、施工、监理单位分别汇报工程合同履约情况并在工程建设各个环节执行法律、法规和工程建设强制性标准的情况。第二，审阅建设、勘察、设计、施工、监理单位的工程档案资料。第三，实地查验工程质量。第四，对工程勘察、设计、施工、设备安装质量和各管理环节等方面做出全面评价，形成经验收组人员签署的工程竣工验收意见。参与工程竣工验收的建设、勘察、设计、施工、监理等各方不能形成一致意见时，应当协商提出解决的方法，待意见一致后，重新组织工程竣工验收。

第四节 水利建设工程项目施工安全管理

一、工程项目安全管理的基础知识

(一) 工程项目安全管理的定义

工程项目安全管理是指工程项目在施工过程中，组织安全生产的全部管理活动。通过对生产要素具体的状态控制，减少或消除生产中不安全的行为和状态，不引发事故，尤其是不引发使人受到伤害的事故。工程项目要实现以经济效益为中心的工期、成本、质量、安全等的综合管理，就要对与实现效益相关的生产因素进行有效的控制。

安全生产是工程项目重要的控制目标之一，也是衡量工程项目管理水平的重要标志。因此，工程项目必须把实现安全生产当作组织工程活动时的重要任务。

(二) 安全管理的目标分析

1.安全目标

- (1) 控制并杜绝人员因工负伤和死亡的事故(负伤频率在 6‰以下,死亡率为零)。
- (2) 一般事故频率控制目标(通常在 6‰以内)。
- (3) 无重大设备、火灾和中毒事故。
- (4) 无环境污染和严重扰民事件。

2.管理目标

- (1) 及时消除重大事故隐患，一般隐患整改率达到目标(不应低于 95%)。
- (2) 扬尘、噪声、职业危害作业点合格率应为 100%。
- (3) 保证施工现场达到当地省(市)级文明安全工地。

3.工作目标

(1) 施工现场实现全员安全教育, 要求特种作业人员持证上岗率达到 100%, 操作人员三级安全教育率达 100%。

(2) 按期开展安全检查活动, 隐患整改达到“五定”要求, 即定整改责任人、定整改措施、定整改完成时间、定整改完成人、定整改验收人。

(3) 必须把好安全生产的“七关”要求, 即教育关、措施关、交底关、防护关、文明关、验收关、检查关。

(4) 认真开展重大安全活动和施工项目的日常安全活动。

(5) 安全生产达标合格率为 100%, 优良率在 80%以上。

(三) 安全管理的基本原则

施工现场的安全管理主要是组织实施企业进行安全管理规划、指导、检查和决策。为了有效地将生产因素的状态控制好, 在实施安全管理过程中, 必须正确处理五种关系, 坚持六项基本管理原则。

1. 正确处理五种关系

(1) 安全与危险并存

安全与危险在同一事物的运动中是相互对立、相互依赖而存在的。随着事物的运动变化, 安全与危险每时每刻都在变化着, 进行着此消彼长的斗争。

(2) 安全与生产的统一

如果生产中人、物、环境都处于危险状态, 则生产无法顺利进行。因此, 安全是生产的客观要求。就生产的目的性来说, 组织好安全生产就是对国家、人民和社会最大负责的表现。

(3) 安全与质量的包涵

从广义上看, 质量包含安全工作质量, 安全概念中也涉及质量, 两者存在交互作用, 互为因果, 安全第一, 质量第一, 两个第一并不矛盾。安全第一是从保护性生产因素的角度提出的, 而质量第一则是从关心产品成果的角度强调的。

(4) 安全与速度互保

在项目进展中, 安全与速度成正比关系, 速度应以安全做保障, 安全就是速度。因此, 应追求安全加速度, 竭力避免安全减速度。

(5) 安全与效益的兼顾

在安全管理中, 投入要适度、适当, 精打细算, 统筹安排。既要保证安全生产, 又要保证生产经济合理, 还要考虑力所能及。

2.坚持六项基本管理原则

(1) 管生产同时管安全

安全寓于生产之中，并对生产发挥促进与保证作用。因此，安全与生产有时虽会出现矛盾，但安全、生产管理的目标、目的，表现出高度的一致和完全的统一。

(2) 坚持安全管理的目的性

安全管理的内容是对生产中的人、物、环境因素状态的管理，有效地控制人的不安全行为和物的不安全状态，消除或避免事故，达到保护劳动者安全与健康的目的。

(3) 必须贯彻以预防为主的方针

安全生产的方针是“安全第一、预防为主”。安全第一是从保护生产力的角度和高度，表明在生产范围内安全与生产的关系，肯定安全在生产活动中的位置和重要性。

(4) 坚持“四全”动态管理

安全管理涉及生产活动的方方面面，涉及从工程开工到竣工交付的全部生产过程，涉及全部的生产时间，涉及一切变化着的生产因素。因此，生产活动中必须坚持全员、全过程、全方位、全天候的动态安全管理。

(5) 安全管理重在控制

安全管理的主要内容虽然都是为了达到安全管理的目的，但是对生产因素状态的控制与安全管理目的的关系更直接，显得更为突出。因此，对生产中人的不安全行为和物的不安全状态的控制，必须被看作是动态安全管理的重点。

(6) 在管理中发展提高

既然安全管理是在变化着的生产活动中的管理，是一种动态过程，就意味着其管理是不断发展、不断变化的，以适应变化的生产活动，清除新的危险因素。然而更为重要的是不间断地摸索新的规律，总结管理、控制的办法与经验，指导新的变化后的管理，从而使安全管理不断上升到新的高度。

(四) 安全管理的主要内容

1.安全管理要点，如安全生产许可证，各类人员持证上岗，安全培训记录，安全生产保障体系等。

2.安全生产管理制度，如安全生产责任制度、安全教育培训制度、安全技术管理制度、安全检查制度等。

3.认真进行施工安全检查，实行班组安全自检、互检和专检相结合的方法，做好安全检查、安全验收。

4.安全事故管理,如安全事故报告、现场保护、事故调查与处理等。

5.施工现场的环境保护、文明施工、消防安全等的管理。

二、安全生产管理的预警体系

(一) 安全生产管理预警体系的要素

事故的发生和发展是由于人的不安全行为、物的不安全状态以及管理的缺陷等方面相互作用的结果。因此在事故预防管理上,可针对事故特点建立事故预警体系。对各种类型事故预警的管理过程可能不同,但预警的模式具有一致性。在构建预警体系时,需遵循信息论、控制论、决策论以及系统论的思想和方法,科学建立标准化的预警体系,保证预警的上下统一和协调。

一个完整的预警体系应由外部环境预警系统、内部管理不良的预警系统、预警信息管理系统和事故预警系统4个部分构成。

1.外部环境预警系统

(1) 自然环境突变的预警

进行生产活动的自然环境突变诱发的事故主要是自然灾害以及人类活动造成的破坏。

(2) 政策法规变化的预警

国家对行业政策的调整、法规体系的修正和变更,对安全生产管理的影响非常大,应经常对其检测。

(3) 技术变化的预警

现代安全生产的一个重要标志是对科学技术进步的依赖越来越大。因而预警体系也应当关注技术创新、技术标准变动的预警。

2.内部管理不良预警系统

(1) 质量管理预警

企业质量管理的目的是生产出合格的产品(工程),基本任务是确定企业的质量目标,制定企业规划并建立健全企业的质量保证体系。

(2) 设备管理预警

设备管理预警对象是生产过程的各种设备的维修、操作、保养等活动。

(3) 人的行为活动管理预警

事故发生诱因之一是人的不安全行为,对人的行为活动预警主要是针对思想上的疏忽、知识和技能欠缺、性格上的缺陷、心理和生理弱点等。

3.预警信息管理系统

预警信息管理系统以管理信息系统（Management Information System，简称 MIS）为基础，专用于预警管理的信息管理，主要是监测外部环境与内部管理的信息。预警信息的管理包括信息收集、处理、辨伪、存储、推断等过程。

4.事故预警系统

事故预警系统是综合运用事故致因理论（如系统安全理论）、安全生产管理原理（如预防原理），以对事故预防和控制为目的，通过对生产活动和安全管理过程中各种事故征兆的监测、识别、诊断与评价，以及对事故严重程度和发生可能性的判别给出安全风险预警级别，并根据预警分析的结果对事故征兆的不良趋势进行矫正、预防与控制。当事故难以控制时，及时做出警告，并提供对策措施和建议。

（二）预警体系的建立

预警体系是以事故现象的成因、特征及其发展作为研究对象，运用现代系统理论和预警理论，构建对灾害事故能够起到“免疫”作用，并能够预防和“矫正”各种事故现象的一种“自组织”系统，它是以警报为导向，以“矫正”为手段，以“免疫”为目的的防错、纠错系统。

1.预警体系建立的原则

（1）及时性

预警体系的出发点就是当事故还在萌芽状态时，就通过细致地观察、分析，提前做好各种防范的准备，及时发现、及时报告、及时采取有效措施对其加以控制和消除。

（2）全面性

对生产过程中人、物、环境、管理等各个方面进行全面监督，及时发现各方面的异常情况，以便采取合理对策。

（3）高效性

预警必须有高效率，只有如此才能对各种隐患和事故进行及时预告，并制定合理适当的应急措施，迅速改变不利局面。

（4）客观性

生产运行中，隐患是客观存在的，必须正确引导有关单位和个人，不能因为可能涉及形象或负面影响隐匿有关信息，要积极主动地应对。

2.预警体系功能的实现

预警体系功能的实现主要依赖于预警分析和预控对策两大子系统作用的发挥。

（1）预警分析

预警分析主要由预警监测、预警信息管理、预警评价指标体系构建和预警评价等工作内容组成。

预警监测：完成与事故有关的外部环境与内部管理状况的监测任务，并将采集的原始信息实时存入计算机，供预警信息系统分析使用。

预警信息管理：预警信息管理是一个系统性的动态管理过程，包括信息收集、处理、辨伪、存储和推断等管理工作。

预警评价指标体系的构建：预警评价指标能敏感地反映危险状态及存在问题的指标，是预警体系开展识别、诊断、预控等活动的前提，也是预警管理活动中的关键环节之一。构建预警评价指标体系的目的是使信息变得定量化、条理化和可操作化。

预警评价：预警评价包括确定评价的对象、内容和方法，建立相应的预测系统，确定预警级别和预警信号标准等工作。评价对象是导致事故发生的人、机、环、管等方面的因素，预测系统建立的目的是实现必要的未来预测和预警。

（2）预控对策

预警的目标是实现对各种事故现象的早期预防与控制，并能对事故进行危机管理。预警是制定预控对策的前提，预控对策是根据具体的警情确定控制方案，尽早采取必要的预防和控制措施，避免事故的发生和人员的伤亡，减少财产损失等。预控对策一般包括组织准备、日常监控和事故危机管理三个活动阶段。

组织准备：组织准备的目的在于预警分析以及为预控对策的实施提供组织保障，其任务：一是确定预警体系的组织构成、职能分配及运行方式；二是为事故状态下预警体系的运行和管理提供组织保障，确保预控对策的实施。

日常监控：日常监控是对预警分析所确定的主要事故征兆（现象）进行特别监视与控制的管理活动。包括对员工的预警知识培训和对各种逆境的预测，模拟预警管理方案，总结预警监控活动的经验或教训，在特别状态时提出建议供决策层采纳等。

事故危机管理：事故危机管理是在日常监控活动无法有效扭转危险状态时的管理对策，是预警管理活动陷入危机状态时采取的一种特殊性质的管理，只有在特殊情况下才采用的特别管理方式。

3.预警分析和预控对策的关系

预警分析和预控对策的活动内容是不同的，前者主要是对系统隐患的辨识，后者是对事故征兆的不良趋势进行纠错、治错的管理活动，但两者相辅相成，有明确的时

间顺序关系和逻辑顺序关系。预警分析是预警体系完成其职能的前提和基础，预控对策是预警体系职能活动的目标，两者缺少任何方面，预警体系均无法完整实现其功能，也难以很好地达到事故预警的目的。

预警分析和预控对策活动的对象是有差异的，前者的对象是在正常生产活动中的安全管理过程，后者的对象则是已被确认的事故现象。但如果工程已处于事故状态，那么两者的活动对象是一致的，都是事故状态中的生产现象。另外，不论生产活动是处于正常状态还是事故状态，预警分析的活动对象总是包括预控对策的活动对象，或者说，预控活动的对象总是预警分析活动对象中的主要矛盾。

（三）预警体系的运行

完善的预警体系为事故预警提供了物质基础。预警体系通过预警分析和预控对策实现对事故的预警和控制，预警分析完成监测、识别、诊断与评价功能，而预控对策完成对事故征兆的不良趋势进行纠错和治错的功能。

1. 监测

监测是预警活动的前提，监测的任务包括两个方面：一是对生产中的薄弱环节和重要环节进行全方位、全过程的监测；二是利用预警信息管理系统对大量的监测信息进行处理（整理、分类、存储、传输）并建立信息档案。通过对前后数据、实时数据的收集、整理、分析、存储和比较，建立预警信息档案，信息档案中的信息是整个预警系统共享的，它将监测信息及时、准确地输入下一预警环节。

2. 识别

识别是运用评价指标体系对监测信息进行分析，以识别生产活动中各类事故征兆、事故诱因，以及将要发生的事故活动趋势。识别的主要任务是应用适宜的识别指标，判断已经出现的异常征兆、可能的连锁反应。

3. 诊断

对已被识别的各种事故现象，进行成因过程的分析和发展趋势预测。诊断的主要任务是在诸多致灾因素中找出危险性最高、危险程度最严重的主要因素，并对其成因进行分析，对其发展过程及可能的发展趋势进行准确定量地描述。诊断的工具是企业特性和行业安全生产共性相统一的评价指标体系。

4. 评价

对已被确认的主要事故征兆进行描述性评价，以明确生产活动在这些事故征兆现象冲击下会遭受什么样的打击，通过预警评价判断此时生产所处的状态是正常、警戒，

还是危险、极度危险、危机，并把握其发展趋势，在必要时准确报警。

5.监测、识别、诊断、评价的关系

监测、识别、诊断、评价这四个环节的预警活动，有前后顺序的因果联系。其中，监测活动的检测信息系统，是整个预警管理系统所共享的，识别、诊断、评价这三个环节的活动结果将以信息方式存入到预警信息管理系统中。另外，这四个环节活动所使用的评价指标，也具有共享性和统一性。

三、危险源辨识

（一）危险源相关概念

1.危险源

危险源是可能导致人身伤害或疾病、财产损失、工作环境破坏或这些情况组合发生的危险因素和有害因素。危险因素强调突发性和瞬间作用的因素，有害因素强调在一定时期内的慢性损害和累积作用。危险源是安全控制的主要对象，所以，有人把安全控制也称为危险控制或安全风险控制。

2.危险源辨识

危险源辨识就是识别危险源并确定其特性的过程。危险源辨识不但包括对危险源的识别，而且必须包括对其性质的判断。

（二）危险源的类型

实际生活和生产过程中的危险源以多种多样的形式存在，危险源导致的事故可归结为能量的意外释放或有害物质的泄漏。根据危险源在事故发生发展中的作用把危险源分为两大类，即第一类危险源和第二类危险源。

1.第一类危险源

可能发生意外释放的能量的载体或危险物质称为第一类危险源（如“炸药”是能够产生能量的物质；“压力容器”是拥有能量的载体）。能量或危险物质的意外释放是事故发生的物理本质。通常把产生能量的能量源或拥有能量的能量载体作为第一类危险源来处理。

2.第二类危险源

约束、限制能量措施失效的各种不安全因素称为第二类危险源（“电缆绝缘层”“脚手架”“起重机钢绳”等）。

在生产、生活中，为了利用能源，人们制造了各种机器设备，让能量按照人们的意图在系统中流动、转换并做功为人类服务，而这些设备设施又可看成是限制约束能

量的工具。正常情况下，生产过程的能量或危险物质受到约束或限制，不会发生意外释放，即不会发生事故。但是，一旦这些约束或限制能量或危险物质的措施受到破坏或失效（故障），则将发生事故。第二类危险源包括人的不安全行为、物的不安全状态和不良环境条件三个方面。

（三）危险源辨识的过程分析

危险源辨识是指识别危险源的存在并确定其特性的过程。危险源辨识过程包括以下两个方面。

1. 识别危险源的存在

由于事故的发生往往是第一类危险源和第二类危险源共同作用的结果。第一类危险源是导致事故的能量主体，决定事故后果的严重程度。第一类危险源是促使第二类危险源造成事故的必要条件，因此，确定危险源的存在就是首先确定第一类危险源，在此基础上再辨识第二类危险源。第二类危险源的种类远远多于第一类，并且是在第一类危险源存在的前提下产生的，隐藏较深，相互关系复杂，因此，辨识第二类危险源比辨识第一类危险源更困难，必须采取一些特定的方法和手段进行辨识。

2. 确定危险源特性

即判定被识别出的危险源如何造成事故以及造成什么样的事故，也就是判定可能导致事故的直接因素及事故种类。

（四）危险源识别的充分性

为保证危险源辨识的充分性，辨识时应重点考虑以下几个方面：

1. 危险源辨识应考虑 3 个对象、3 种时态、3 种状态。危险源辨识应考虑 3 个对象：

（1）所有常规、非常规的活动；（2）所有进入作业场所人员（包括合同方人员和访问者）的活动；（3）所有作业场所内的设施（无论本单位的还是由外界所提供的）。

在对常规和非常规活动进行辨识时，应注意不能遗漏非常规活动，因为许多事故都是在非常规情况下发生的，如设备故障、保护装置失灵、操作者未遵守操作规程、操作者精神状态不佳或过度疲劳等都会导致事故甚至重大事故的发生。对人员活动的辨识不能忽略外来人员的活动；对工作场所设施、设备的辨识，同样应包括进入工作场所的外来车辆及各种租赁设施、设备等。

危险源辨识还应包括本单位活动的 3 种时态、3 种状态下的各种类型的潜在危险源。3 种时态是指过去、现在、将来，在对现有危险源进行充分考虑时，要分析以往遗留的危险以及计划中的活动可能带来的危险源；3 种状态是指正常、异常和紧急状

态，本单位的正常生产情况属正常状态，装置开停车、设备开停机及检维修等情况下，危险源与正常状态有较大不同，属异常状态，紧急状态则是指发生火灾、爆炸、洪水、地震等情况。

2.危险源辨识中应重点考虑以下内容：第一，职业健康法律法规和公司及本单位的一些作业文件中的安全注意事项、本单位和同行业近年来发生的事故、较为成熟的安全检查表的内容，它们是危险源辨识的重要线索和依据。充分的辨识结果，应包括本单位和类似单位近年来发生事故的原因，所有严重的违法、违规现象，安全检查表中的大部分项目，特别是重要的项目。第二，国家法律、法规明确规定的特种作业人员，如电工作业人员、电气焊作业人员、起重作业人员等，这些人从事的作业容易发生事故，且事故的危害后果比较严重，对其在作业中易出现的不安全行为，在危险源辨识时要高度重视。第三，国家法律、法规明确规定的危险设备和设施，如涉及生命安全、危险性较大的起重机械等特种设备。第四，具有接触有毒有害物质的作业活动。辨识危险源时不能只考虑引起人员伤亡和财产损失的危险源，而忽略了引起职业病的危险源，如毒物、粉尘、噪声、振动、低温和电离辐射作业等，其对人的健康和安全管理影响很大，辨识过程中要高度重视，不得遗漏。第五，特殊作业，主要包括高处作业、动火作业、有限空间作业、临时用电作业、起重作业等。

3.主动辨识危险源。辨识危险源时应以全新眼光和怀疑的态度对待危险源，因为过于接近危险源的人员可能会对危险源视而不见，或者心存侥幸，认为尚无人员受到伤害而视风险微不足道，更重要的一点是，危险源辨识应具有主动性、前瞻性，而不是等到已经出现事故才进行辨识。

（五）危险源的控制方法

1.第一类危险源的控制方法

（1）防止事故发生的方法有消除危险源、限制能量或危险物质、隔离。

（2）避免或减少事故损失的方法有隔离、个体防护、设置薄弱环节、使能量或危险物质按人们的意图释放、避难与援救措施。

2.第二类危险源的控制方法

（1）减少故障、增加安全系数、提高可靠性、设置安全监控系统。

（2）故障—安全设计包括故障—消极方案（即故障发生后，设备、系统处于最低能量状态，直到采取校正措施之前不能运转）、故障—积极方案（即故障发生后，在没有采取校正措施之前使系统、设备处于安全的能量状态之下）、故障—正常方案（即

保证在采取校正行动之前，设备、系统正常发挥功能）。

四、安全风险评价

（一）安全风险评价的基础知识

1.安全风险评价的基本概念

（1）风险

风险是某一特定危险情况发生的可能和后果的组合。从广义上讲，只要某一事件的发生存在两种或两种以上的可能性，那么就认为该事件存在风险。

工程项目风险是指在项目决策和实施过程中，造成实际结果与预期目标的差异性及其发生的概率。工程项目风险的差异性包括损失的不确定性和收益的不确定性。工程项目风险管理是工程项目管理的重要内容。

（2）安全风险评价

安全风险评价就是根据危险源辨识的结果，采用科学方法，评价危险源给项目所带来的风险大小，并确定是否为重大风险的过程，是综合衡量风险对项目实现既定目标的影响程度。

安全风险评价是对风险的规律性进行研究和量化分析。由于罗列出来的每一个风险都有自身的规律和特点、影响范围和影响量。通过分析可以将它们的影响统一为成本目标和工期目标的形式，按货币单位和时间单位来度量。

2.安全风险评价的目的

安全风险评价的目的是通过评价危险发生的可能性及其后果的严重程度，以寻求最低的事故发生率、最少的损失、对环境的最低破坏。风险评价体现了预防为主的思想，使潜在和显在的危险得以控制。

3.安全风险评价的范围

- （1）规划、设计和建设、投产、运行、维修等阶段。
- （2）常规和异常活动。
- （3）事故及潜在的紧急情况。
- （4）所有进入作业场所的人员的活动。
- （5）原材料、产品的运输和使用过程。
- （6）作业场所的设施、设备、车辆、安全防护用品。
- （7）人为因素，包括违反安全操作规程和安全生产规章制度。
- （8）丢弃、废弃、拆除与处置。

(9) 气候、地震及其他自然灾害(如台风、洪水、山体滑坡等)。

(二) 安全风险评价的方法

安全风险评价是评估危险源所带来的风险大小及确定风险是否被允许存在的全过程。根据评价结果对风险进行分级,按不同级别的风险有针对性地采取风险控制措施。风险评价方法有定性分析方法和定量分析方法两大类。

1. 定性分析方法

(1) 风险概率与影响估计

在风险定性分析中利用会议的方法对识别的每项风险,确定风险的概率和影响,组织的历史数据库中关于风险方面的信息有限,此时需要有关人员对风险做出判断。可通过挑选对风险类别熟悉的专业人员,采用召开会议或进行访谈等方式对风险进行评估,其中,包括项目团队成员和项目外部的专业人士。如果参与者不具有风险评估方面的任何经验,就需要由经验丰富的主持人引导讨论过程。

(2) 概率影响风险矩阵

概率影响风险矩阵(P-I 矩阵)是将概率与影响程度这两个量纲结合考虑的一种常用方法,可以将概率与影响程度以矩阵的形式结合起来,以此为依据建立一个对风险或风险情况评定等级,如极低、低、中、高、极高等级别。

风险的概率标度的取值范围是 0.0(概率为 0.无可能性)与 1.0(概率 100%,确定无疑)之间。风险概率评估可能是比较困难的,因为没有历史数据资料可以利用,时常采用专家判断的办法确定风险的概率标度,有时采用表示可能性极低到几乎确定无疑的相对概率值的序数标度,也可以用普通标度,如 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9 对具体概率赋值。

风险的影响标度的取值范围也是在 0.0~1.0 之间,取值为 0,表示风险损失较小或机会较低;取值为 1,表示风险损失大或机会较大。风险值大的深灰色区域表示高风险,而风险值小的浅灰色区域表示低风险;风险值介于大与小之间的区域表示中等风险,风险分值可以为风险应对规划提供指导,如果风险发生对目标产生不利影响,并处于深色区域,需要采取重点的积极应对措施,而处于低风险区域的则需要观察和提供额外的应急储备,而无须采取积极的措施。

(3) 项目假设测试

项目假设测试是对已取得的有关项目风险信息的数据及项目假设进行的分析。已识别的风险必须按照两项标准进行测试,一项是假设的稳定性,另一项是假设不成立

时对项目造成的后果。

(4) 风险紧迫性评估

风险紧迫性评估是指明风险的最重要特性,用以作为警告指示,确定需要近期对其采取应对措施的风险。实施风险应对措施所需要的时间、风险征兆和风险等级等都可作为确定风险优先级或紧迫性的指标。

(5) 风险分类

可按照风险来源、受影响的项目区域或其他分类标准,如项目阶段风险,对项目风险进行分类,以确定受不确定性影响最大的项目方面。其中风险来源可使用风险分解结构识别,受影响的项目区域可使用工作分解结构确认,根据共同的根本原因对风险进行分类有助于集中制定有效的风险应对措施。

(6) 定性风险综合估计

定性风险综合估计是指依靠专家打分的方法或经验对项目风险给出综合的估计。评分可以针对整体风险,也可以针对风险来源。

2. 定量分析方法

(1) 等风险图法

等风险图包括两个因素,即失败的概率和失败的后果。这种方法把已识别的风险分为低、中、高3类。低风险指对项目目标仅有轻微不利影响,发生概率也小(小于0.3)的风险。中等风险指发生概率大(0.3~0.7)且影响项目目标实现的风险。高风险指发生概率很大(0.7以上),对项目目标的实现有非常不利影响的危险。

(2) 网络模型法

时间进度和成本费用都是项目管理的重点,在这两方面网络模型使用越来越广泛。网络模型有关键线路法(Critical Path Method,简称CPM)、计划评审技术(Program Evaluation Review Technique,简称PERT)和图形评审技术(Graphical Evaluation and Review Technique,简称GERT)。使用网络模型进行风险评价,主要是揭示项目在费用和时间进度方面的风险。

(3) 模糊评价法

模糊评价法是利用模糊集理论进行评价的一种方法。由于模糊的方法更接近于东方人的思维习惯和描述方法,因此它更适用于对社会经济系统及工程技术问题进行评价。

(4) 概率优势法

在单点准则的基础上比较项目，如项目成本、收益成本比、内部收益率，是很简单的工作。但是如果运用模拟的方法得到一个概率分布结果，那么比较方案就变得复杂多了，有时，利用叠加概率密度函数和累积分布函数，就很清楚哪一个项目具有概率优势。

（5）动态决策树法

动态决策树方法是进行风险决策的有效方法。它把有关决策的相关因素分解开，逐项计算其概率和期望值，并进行对方案的比较和选择。决策树方法不仅可以用来解决单阶段的决策问题，还可以用来解决多阶段的决策问题，它具有层次清晰、不遗漏、不易错的优点。

上面从理论和技术上讨论了一系列风险评价方法。在风险评价中必须灵活运用以上各种评价方法，从工程项目的不同角度出发进行评价，对用不同评价方法评价出来的结果进行综合、分析、计算，最后得到工程项目某一风险的发生概率和损失大小，这样才能为后阶段的风险防范制定可行的、合理的对策。

（三）风险控制

工程实施中的风险控制主要贯穿在项目的进度控制、成本控制、质量控制、合同控制等过程中。

1.风险监控和预警，风险监控和预警是项目控制的内容之一。在工程实施过程中不断地收集和分析各种信息，捕捉风险前奏的信号。例如，通过：（1）天气预测警报和股票信息；（2）各种市场行情和价格动态；（3）政治形势和外交动态；（4）各投资者企业状况报告。在工程中通过工期和进度的跟踪、成本的跟踪分析、合同监督、各种质量监控报告、现场情况报告等手段了解工程风险。在工程的实施状况报告中，应包括风险状况报告，鼓励人们预测、确定未来的风险。

2.风险一旦发生就应积极地采取措施，及时控制风险的影响，降低损失，防止风险的蔓延。

3.在风险发生时，执行风险应对计划，保证工程的顺利实施，包括以下措施：第一，控制工程施工，保证完成预定目标，防止工程中断和成本超支。第二，迅速恢复生产，按原计划执行。第三，尽可能修改计划、修改设计，按照工程中出现的新的状态进行调整。第四，争取获得风险的赔偿，如向业主、向保险单位、风险责任者提出索赔等。

由于风险是不确定的，预先的分析和应对计划常常也是不很适用的，所以在工程

中针对风险的应对措施常常还要靠即兴发挥，靠管理者的应变能力、经验、掌握工程和环境状况的信息量和对专业问题的理解程度。

不同的组织可根据不同的风险量选择适合的控制策略。

第八章 水利工程项目管理的环境保护

第一节 水利工程建设环境管理概述

水利工程在社会发展过程中起到的作用日益明显。在建设水利工程的时候，不仅要在开工前对其相关影响因素进行分析，更要考虑工程项目建设完成后对河流生态系统的影响，以保障周边环境资源的可持续发展。在进行工程建设时要遵守环保原则。根据当地的实情，在保障工程安全的基础上既要提高经济效益，还要注重环境保护的问题。

环境保护是按照法律法规、各级主管部门和企业的要求，保护和改善作业现场的环境，控制现场的各种粉尘、废水、废气、固体废弃物、噪声、振动等对环境的污染和危害因素。环境保护也是文明施工的重要内容之一。

一、现场环境保护的意义

保护和改善施工环境是保证人们身体健康和社会文明的需要。采取专项措施防止粉尘、噪声和水源污染，保护好作业现场及其周围的环境，是保证职工和相关人员身体健康、体现社会总体文明的一项利国利民的重要工作。保护和改善施工现场环境是消除外部干扰保证施工顺利进行的需要。随着人们的法制观念和自我保护意识的增强，施工扰民问题突出，应及时采取防治措施，减少对环境的污染和对市民的干扰，这也是施工生产顺利进行的基本条件。

保护和改善施工环境是现代化大生产的客观要求。现代化施工广泛应用新设备、新技术、新的生产工艺，对环境质量要求很高，如果粉尘、振动超标就可能损坏设备、影响功能发挥，使设备难以发挥作用。

节约能源、保护人类生存环境、保证社会和企业可持续发展的需要。人类社会即将面临环境污染和能源危机的挑战。为了保护子孙后代赖以生存的环境，每个公民和企业都有责任和义务来保护环境。良好的环境和生存条件，也是企业发展的基础和动力。

二、大气污染的防治

空气污染的防治措施主要针对上述粒子状态污染物和气体状态污染物，主要方法如下。

（一）除尘技术

在气体中除去或收集固态或液态粒子的设备称为除尘装置。主要种类有机械除尘装置、洗涤式除尘装置、过滤除尘装置和电除尘装置等。工地的烧煤茶炉、锅炉、炉灶等应选用装有上述除尘装置的设备。

工地其他粉尘可用遮盖、淋水等措施防治。

（二）气态污染物治理技术

大气中气态污染物的治理技术主要有以下几种方法。

吸收法：选用合适的吸收剂，可吸收空气中的 SO_2 、 H_2S 、 HF 等。

吸附法：让气体混合物与多孔性固体接触，把混合物中的某个组分吸留在固体表面。

催化法：利用催化剂把气体中的有害物质转化为无害物质。

燃烧法：是通过热氧化作用，将废气中的可燃有害部分，转化为无害物质的方法。

冷凝法：是使处于气态的污染物冷凝，从气体中分离出来的方法。该法特别适合处理有较高浓度的有机废气。如对沥青气体的冷凝，回收油品。

生物法：利用微生物的代谢活动过程把废气中的气态污染物转化为少害甚至无害的物质。该法应用广泛，成本低廉，但只适用于低浓度污染物。

（三）施工现场空气污染的防治措施

要及时将施工现场垃圾渣土清理出现场。

高大建筑物清理施工垃圾时，要使用封闭式的容器或者采取其他措施处理高空废弃物，严禁凌空随意抛撒。

施工现场道路应指定专人定期洒水清扫，形成制度，防止道路扬尘。对于细颗粒散体材料（如水泥、粉煤灰、白灰等）的运输、储存要注意遮盖、密封，防止和减少飞扬。

车辆开出工地要做到不带泥沙，基本做到不撒土、不扬尘，减少对周围环境污染。除设有符合规定的装置外，禁止在施工现场焚烧油毡、橡胶、塑料、皮革、树叶、枯草、各种包装物等废弃物品以及其他会产生有毒、有害烟尘和恶臭气体的物质。机动车都要安装减少尾气排放的装置，确保符合国家标准。工地茶炉应尽量采用电热水器。

若只能使用烧煤茶炉和锅炉时，应选用消烟除尘型茶炉和锅炉，大灶应选用消烟节能回风炉灶，使烟尘降至允许排放范围为止。

搅拌站封闭严密，并在进料仓上方安装除尘装置。采用可靠措施控制工地粉尘污染。

拆除旧建筑物时，应适当洒水，防止扬尘。

三、水污染的防治

禁止将有毒有害废弃物作土方回填。

施工现场搅拌站废水，现制水磨石的污水，电石（碳化钙）的污水必须经沉淀池沉淀合格后再排放，最好将沉淀水用于工地洒水降尘或采取措施回收利用。现场存放油料，必须对库房地面进行防渗处理。如采用防渗混凝土地面、铺油毡等措施。使用时，要采取防止油料跑、冒、滴、漏的措施，以免污染水体。施工现场 100 人以上的临时食堂，可设置简易有效的隔油池进行污水排放，并定期清理，防止污染。

工地临时厕所，化粪池应采取防渗漏措施。中心城市施工现场的临时厕所可采用水冲式厕所，并有防蝇、灭蛆措施。防止污染水体和环境。化学用品，外加剂等要妥善保管，库内存放，防止污染环境。

四、施工现场的噪声控制

噪声控制可从声源、传播途径、接收者防护等方面来考虑。

（1）声源控制。从声源上降低噪声，这是防止噪声污染的最根本的措施。尽量采用低噪声设备和工艺代替高噪声设备与加工工艺，如低噪声振捣器、风机、电动空压机、电锯等。在声源处安装消声器消声，即在通风机、鼓风机、压缩机、燃气机、内燃机及各类排气放空装置等进出风管的适当位置设置消声器。

（2）传播途径的控制。在传播途径上控制噪声方法主要有以下几种：

吸声：利用吸声材料（大多由多孔材料制成）或由吸声结构形成的共振结构（金属或木质薄板钻孔制成的空腔体）吸收声能，降低噪声。

隔声：应用隔声结构，阻碍噪声向空间传播，将接收者与噪声声源分隔。隔声结构包括隔声室、隔声罩、隔声屏障、隔声墙等。

消声：利用消声器阻止噪声传播。允许气流通过的消声降噪是防治空气动力性噪声的主要装置。如对空气压缩机、内燃机产生的噪声等。

减振降噪：对振动引起的噪声，通过降低机械振动减小噪声，如将阻尼材料涂在振动源上，或改变振动源与其他刚性结构的连接方式等。

(3) 接收者的防护。让处于噪声环境下的人员使用耳塞、耳罩等防护用品，减少相关人员在噪声环境中的暴露时间，以减轻噪声对人体的危害。

(4) 严格控制人为噪声。进入施工现场不得高声喊叫、无故甩打模板、乱吹哨，限制高音喇叭的使用，最大限度地减少噪声扰民。

(5) 控制强噪声作业的时间。凡在人口稠密区进行强噪声作业时，须严格控制作业时间，一般晚 10 点到次日早 6 点之间停止强噪声作业。确系特殊情况必须昼夜施工时，尽量采取降低噪声措施，并会同建设单位找当地居委会、村委会或当地居民协调，提出安民告示，求得群众谅解。

五、固体废物的处理

固体废物处理的基本思想是采取资源化、减量化和无害化的处理，对固体废物产生的全过程进行控制。

固体废物的主要处理方法如下：

回收利用：回收利用是对固体废物进行资源化，减量化的重要手段之一。对建筑渣土可视其情况加以利用。废钢可按需要用作金属原材料。对废电池等废弃物应分散回收，集中处理。

减量化处理：减量化是对已经产生的固体废物进行分选、破碎、压实浓缩、脱水等过程后减少其最终处置量，降低处理成本，减少对环境的污染。在减量化处理的过程中，也包括和其他处理技术相关的工艺方法，如焚烧、热解、堆肥等。

焚烧技术：焚烧用于不适合再利用且不宜直接予以填埋处置的废物，尤其是对于受到病菌、病毒污染的物品，可以用焚烧进行无害化处理。焚烧处理应使用符合环境要求的处理装置，注意避免对大气的二次污染。

稳定和固化技术：利用水泥、沥青等胶结材料，将松散的废物包裹起来，减少废物的毒性和迁移性。

填埋：经过无害化、减量化处理后，将固体废弃物残渣集中到填埋场进行处理。填埋场应利用天然或人工隔离屏障，尽量使处置的固体废弃物与周围的生态环境隔离，并注意其稳定性和长期安定性。

第二节 水利工程项目环境保护要求

一、环境影响评价

环境影响评价是指对规划和建设项目实施后可能造成的环境影响进行分析、预测和评估,提出预防或者减轻不良环境影响的对策和措施,进行跟踪监测的方法与制度。

(一) 环境影响评价编制资质

国家对从事建设项目环境影响评价工作的单位实行资格审查制度。

从事建设项目环境影响评价工作的单位,必须取得国务院环境保护行政主管部门颁发的资格证书,按照资格证书规定的等级和范围,从事建设项目环境影响评价工作,并对评价结论负责。

国务院环境保护行政主管部门对已经颁发资格证书的从事建设项目环境影响评价工作的单位名单,应当定期予以公布。

从事建设项目环境影响评价工作的单位,必须严格执行国家规定的收费标准。建设单位可以采取公开招标的方式,选择从事环境影响评价工作的单位,对建设项目进行环境影响评价。任何行政机关不得为建设单位指定从事环境影响评价工作的单位,进行环境影响评价。

(二) 分类管理

国家根据建设项目对环境的影响程度,按照相关规定对建设项目的环境保护实行分类管理: 1.建设项目对环境可能造成重大影响的,应当编制环境影响报告书,对建设项目产生的污染和对环境的影响进行全面、详细的评价。2.建设项目对环境可能造成轻度影响的,应当编制环境影响报告表,对建设项目产生的污染和对环境的影响进行分析或者专项评价。3.建设项目对环境的影响很小,不需要进行环境影响评价的,应当填报环境影响登记表。

建设项目环境保护分类管理名录,由国务院环境保护行政主管部门制订并公布。

(三) 环境影响报告书的内容

建设项目环境影响报告书,应当包括: 1.建设项目概况; 2.建设项目周围环境现状; 3.建设项目对环境可能造成影响的分析和预测; 4.环境保护措施及其经济、技术论证; 5.环境影响经济损益分析; 6.对建设项目实施环境监测的建议; 7.环境影响评价结论。

涉及水土保持的建设项目,还必须有经水行政主管部门审查同意的水土保持方案。

(四) 环境影响报告要求

1.建设项目的环影响评价工作，由取得相应资质证书的单位承担。

2.建设单位应当在建设项目可行性研究阶段报批建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表。按照国家有关规定，不需要进行可行性研究的建设项目，建设单位应当在建设项目开工前报批建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表；其中，需要办理营业执照的，建设单位应当在办理营业执照前报批建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表。

3.建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表，由建设单位报有审批权的环境保护行政主管部门进行审批；建设项目有行业主管部门的，其环境影响报告书或者环境影响报告表应当经行业主管部门预审后，报有审批权的环境保护行政主管部门审批。

4.海岸工程建设项目环境影响报告书或者环境影响报告表，经海洋行政主管部门审核并签署意见后，报环境保护行政主管部门审批；环境保护行政主管部门应当自收到建设项目环境影响报告书之日起 60 日内、收到环境影响报告表之日起 30 日内、收到环境影响登记表之日起 15 日内，分别做出审批决定并书面通知建设单位；预审、审核、审批建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表，不得收取任何费用。

5.建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表经批准后，建设项目的性质、规模、地点或者采用的生产工艺发生重大变化的，建设单位应当重新报批建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表；建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表自批准之日起满 5 年，建设项目方开工建设的，其环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表应当报原审批机关重新审核。原审批机关应当自收到建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表之日起 10 日内，将审核意见书面通知建设单位；逾期未通知的，视为审核同意。

6.环境影响报告的审批权限。

国家环境保护总局负责审批下列建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表：1.跨越省、自治区、直辖市界区的建设项目。2.特殊性质的建设项目（如核设施、绝密工程等）。3.特大型的建设项目（报国务院审批），即总投资 2 亿元以上，由国家发改委批准，或计划任务书由国家发改委报国务院批准的建设项目。4.

由省级环境保护部门提交上报，对环境问题有争议的建设项目。

以上规定以外的建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表的审批权限，由省、自治区、直辖市人民政府规定。

建设项目造成跨行政区域环境影响，有关环境保护行政主管部门对环境影响评价结论有争议的，其环境影响报告书或者环境影响报告表由共同上一级环境保护行政主管部门审批。

二、环境保护设施建设

(1) 建设项目需要配套建设的环境保护设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。

(2) 建设项目的初步设计，应当按照环境保护设计规范的要求，编制环境保护篇章，并依据经批准的建设项目环境影响报告书或者环境影响报告表，在环境保护篇章中写明防治环境污染和生态破坏的措施以及环境保护设施投资概算。

(3) 建设项目的主体工程完工后，需要进行试生产的，其配套建设的环境保护设施必须与主体工程同时投入试运行。

(4) 建设项目试生产期间，建设单位应当对环境保护设施运行情况和建设项目对环境的影响进行监测。

(5) 建设项目竣工后，建设单位应当向审批该建设项目的环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表的环境保护行政主管部门，申请对该建设项目需要配套建设的环境保护设施竣工验收。环境保护设施竣工验收，应当与主体工程竣工验收同时进行。需要进行试生产的建设项目，建设单位应当自建设项目投入试生产之日起3个月内，向审批该建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表的环境保护行政主管部门，申请该建设项目需要配套建设的环境保护设施竣工验收。

(6) 分期建设、分期投入生产或者使用的建设项目，对其相应的环境保护设施应当分期验收。

(7) 环境保护行政主管部门应当自收到环境保护设施竣工验收申请之日起30日内，完成验收。

(8) 建设项目需要配套建设的环境保护设施经验收合格，该建设项目方可正式投入生产或者使用。

三、法律责任

(1) 违反规定，有以下行为之一的，由负责审批建设项目环境影响报告书、环境

影响报告表或者环境影响登记表的环境保护行政主管部门责令限期补办手续；逾期不补办手续，擅自开工建设的，责令其停止建设，并可以处 10 万元以下的罚款：①未报批建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表的。②建设项目的性质、规模、地点或者采用的生产工艺发生重大变化，未重新报批建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表的。③建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表自批准之日起满 5 年，建设项目方开工建设，其环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表未报原审批机关重新审核的。

(2) 建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表未经批准或者未经原审批机关重新审核同意，擅自开工建设的，由负责审批该建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表的环境保护行政主管部门责令停止建设，限期恢复原状，可以处 10 万元以下的罚款。

(3) 违反本条例规定，试生产建设项目配套建设的环境保护设施未与主体工程同时投入试运行的，由审批该建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表的环境保护行政主管部门责令限期改正；逾期不改正的，责令停止试生产，可以处 5 万元以下的罚款。

(4) 违反本条例规定，建设项目投入试生产超过 3 个月，建设单位未申请环境保护设施竣工验收的，由审批该建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表的环境保护行政主管部门责令限期办理环境保护设施竣工验收手续；逾期未办理的，责令停止试生产，可以处 5 万元以下的罚款。

(5) 违反本条例规定，建设项目需要配套建设的环境保护设施未建成、未经验收或者经验收不合格，主体工程正式投入生产或者使用的，由审批该建设项目环境影响报告书、环境影响报告表或者环境影响登记表的环境保护行政主管部门责令停止生产或者使用，可以处 10 万元以下的罚款。

(6) 从事建设项目环境影响评价工作的单位，在环境影响评价工作中弄虚作假的，由国务院环境保护行政主管部门吊销资格证书，并处所收费用 1 倍以上 3 倍以下的罚款。

(7) 环境保护行政主管部门的工作人员徇私舞弊、滥用职权、玩忽职守，构成犯罪的，依法追究刑事责任；尚不构成犯罪的，依法给予行政处分。

第三节 水利工程项目水土保持管理

一、水土流失

（一）水土流失的概念界定

水土流失是指在水力、风力、重力等外力作用下，山丘区及风沙区水土资源和土地生产力的破坏和损失。水土流失包括土壤侵蚀及水的损失，也称水土损失。土壤侵蚀的形式除雨滴侵蚀、片蚀、细沟侵蚀、浅沟侵蚀、切沟侵蚀等典型的形式外，还包括山洪侵蚀、泥石流侵蚀以及滑坡等形式。水的损失一般是指植物截留损失、地面及水面蒸发损失、植物蒸腾损失、深层渗漏损失、坡地径流损失。在我国水土流失概念中水的损失主要指坡地径流损失。

（二）水土流失的具体危害

水土流失在我国危害已达到十分严重的程度，它不仅对土地资源造成破坏，导致农业生产环境恶化，生态平衡失调，水旱灾害频繁，而且影响各业生产的发展。具体危害如下：

第一，破坏土地资源，蚕食农田，威胁群众生存。土壤是人类赖以生存的物质基础，是环境的基本要素，是农业生产的最基本资源。年复一年的水土流失，使有限的土地资源遭受严重的破坏，土层变薄，地表物质“沙化”“石化”。

第二，削弱地力，加剧干旱发展。由于水土流失，使坡耕地成为跑水、跑土、跑肥的“三跑田”，致使土地日益贫瘠，而且土壤侵蚀造成的土壤理化性状的恶化，土壤透水性、持水力的下降，加剧了干旱的发展，使农业生产量低而不稳，甚至绝产。

第三，泥沙淤积河床，洪涝灾害加剧。水土流失使大量泥沙下泄，淤积下游河道，削弱行洪能力，一旦上游来洪量增大，则会引起洪涝灾害。近几十年来，特别是最近几年，长江、松花江、嫩江、黄河、珠江、淮河等发生的洪涝灾害，所造成的损失令人触目惊心。这都与水土流失使河床淤高有非常重要的关系。

第四，泥沙淤积水库湖泊，降低河流水域综合利用功能。水土流失不仅使洪涝灾害频繁，而且产生的泥沙大量淤积水库、湖泊，严重威胁到水利设施和效益的发挥。

第五，影响航运，破坏交通安全。由于水土流失造成河道、港口的淤积，致使航运里程和泊船吨位急剧降低，而且每年汛期由于水土流失形成的山体塌方、泥石流等造成交通中断，在全国各地时有发生。

二、水土保持

我国是世界上开展水土保持具有悠久历史并积累丰富经验的国家。从 20 世纪开始,我国就对水土流失规律进行了初步探索,为开展典型治理提供了依据。中华人民共和国成立后,我国政府十分重视水土保持工作,在长期实践的基础上,总结出以小流域为单元,全面规划、综合治理的经验。多年来,我国实行积极的财政政策,利用国债资金全面展开了大规模的生态建设,在长江上游、黄河中游以及环京津等水土流失严重地区,实施了水土保持重点建设工程、退耕还林工程及防沙治沙工程等一系列重大生态建设工程。

(一) 我国水土保持的成功做法

我国水土保持经过半个世纪的发展,走出了一条具有中国特色综合防治水土流失的路子。主要做法有:

1.预防为主,依法防治水土流失。加强执法监督,加强项目管理,控制人为水土流失。

2.以小流域为单元,科学规划,综合治理。

3.治理与开发利用相结合,实现三大效益的统一。

4.优化配置水资源,合理安排生态用水,处理好生产、生活和生态用水的关系。同时在水土保持和生态建设中,充分考虑水资源的承载能力,因地制宜,因水制宜,适地适树,宜林则林,宜灌则灌,宜草则草。

5.依靠科技,提高治理的水平和效益。

6.建立政府行为和市场经济相结合的运行机制。

7.广泛宣传,增强全民的水土保持意识。

(二) 水土保持的治理措施

为实现水土保持战略目标和任务,应采取以下措施:

1.依法行政,不断完善水土保持法律法规体系,强化监督执法。严格执行《中华人民共和国水土保持法》的规定,通过宣传教育,不断增强群众的水土保持意识和法治观念,坚决遏制人为因素导致水土流失,保护好现有植被。重点抓好开发建设项目水土保持管理。把水土流失的防治纳入法治化轨道。

2.实行分区治理,分类指导。西北黄土高原区以建设稳产高产基本农田为突破口,突出沟道治理,退耕还林还草。东北黑土区大力推行保土耕作,保护和恢复植被。南方红壤丘陵区采取封禁治理,提高植物覆盖率,通过以电代柴解决农村能源问题。北

方土石山区改造坡耕地，发展水土保持林和水源涵养林。西南石灰岩地区陡坡退耕，大力改造坡耕地，蓄水保土，控制石漠化。风沙区营造防风固沙林带，实施封育保护，防止沙漠扩展，草原区实行围栏、封育、轮牧、休牧、建设人工草场。

3.加强封育保护，依靠生态的自我修复能力，促进大范围的生态环境改善。按照人与自然和谐相处的要求控制人类活动对自然的过度索取和侵害。大力调整农牧业生产方式，在生态脆弱地区，封山禁牧，舍饲圈养，依靠大自然的力量，特别是生态的自我修复能力，增加植被，减轻水土流失，改善生态环境。

4.大规模地开展生态建设工程。继续开展长江上游、黄河中游地区以及环京津地区的一系列重点生态工程建设，加大退耕还林力度。搞好天然林保护。加快跨流域调水和水资源、工程建设，尽快实施南水北调工程，缓解北方地区水资源短缺的矛盾，改善生态环境。在内陆河流域合理安排生态用水，恢复绿洲和遏制沙漠化。

5.科学规划，综合治理。实行以小流域为单元的山、水、田、林、路统一规划，尊重群众的意愿，综合运用工程、生物和农业技术三大措施，有效控制水土流失，合理利用水土资源。通过经济结构、产业结构和种植结构的调整，提高农业综合生产能力和农民收入，减轻治理区的水土流失程度，使经济得到发展，人居环境得到改善，实现人口、资源、环境和社会的协调发展。

6.加强水土保持科学研究，促进科技进步。不断探索有效控制土壤侵蚀，提高土地综合生产能力的措施，加强对治理区群众的培训，搞好水土保持科学普及和技术推广工作。积极开展水土保持监测预报，大力应用“3S”等高新技术，建立全国水土保持监测网络和信息系统，努力提高科技在水土保持中的贡献率。

7.制定和完善优惠政策，建立适应市场经济要求的水土保持发展机制，明晰治理成果的所有权，保护治理者的合法权益，鼓励和支持广大农民和社会各界人士，积极参与治理水土流失。

8.加强水土保持方面的国际合作和对外交流，增进相互了解，不断学习、借鉴和吸收国外的先进技术、先进理念和先进管理经验，不断提高我国水土保持的水平。

第四节 水利工程施工的文明施工

一、文明施工的组织与管理

（一）组织和制度管理

施工现场应成立以项目经理为第一责任人的文明施工管理组织。分包单位应服从总包单位的文明施工管理组织的统一管理，并接受监督检查。各项施工现场管理制度应有文明施工的规定，包括个人岗位责任制、经济责任制、安全检查制度、持证上岗制度、奖惩制度、竞赛制度和各项专业管理制度等。加强和落实现场文明检查、考核及奖惩管理，以促进施工文明管理工作提高。检查范围和内容应全面周到，包括生产区、生活区、场容场貌、环境文明及制度落实等内容。对于检查发现的问题应采取整改措施。

（二）建立收集文明施工的资料

上级关于文明施工的标准、规定、法律法规等资料。

施工组织设计（方案）中对文明施工的管理规定，各阶段施工现场文明施工的措施。文明施工自检资料。

文明施工教育、培训、考核计划的资料。文明施工活动各项记录资料。

（三）加强文明施工的宣传和教育

在坚持岗位练兵基础上，要采取走出去、请进来、短期培训、上技术课、登黑板报、广播、看录像、看电视等方法狠抓教育工作。

要特别注意对临时工的岗前教育。

专业管理人员应熟悉掌握文明施工的规定。

二、水利工程项目文明施工要求

创建文明建设工地是工程建设物质文明和精神文明建设的最佳结合点，是工程项目管理的中心环节，同时也是水利水电企业按照现代企业制度要求，加强企业管理，树立企业良好形象的需要。

（一）文明建设工地的基本条件

根据《水利系统文明工地评审管理办法》，水利系统文明建设工地由项目法人负责申报。申报水利系统文明建设工地的项目应满足下列基本条件：

1. 已完工程量一般应达全部建安工程量的 30% 以上。

2.工程未发生严重违法乱纪事件和重大质量、安全事故。

3.符合水利系统文明建设工地考核标准的要求。

（二）文明建设工地考核内容

1.根据《水利系统文明工地评审管理办法》《水利系统文明建设工地考核标准》分为3项内容：（1）精神文明建设；（2）工程建设管理水平；（3）施工区环境。

2.工程建设管理水平考核包括四个方面：（1）基本建设程序；（2）工程质量管理；（3）施工安全措施；（4）内部管理制度。

3.基本建设程序考核包括四项内容：（1）工程建设符合国家的政策、法规，严格按建设程序建设；（2）按部有关文件实行招标投标制和建设监理制度规范；（3）工程实施过程中，能严格按合同管理，合理控制投资、工期、质量，验收程序符合要求；（4）项目法人与监理、设计、施工单位关系融洽。

4.质量管理考核包括五项内容：（1）工程施工质量检查体系及质量保证体系健全；（2）工地实验室拥有必要的检测设备；（3）各种档案资料真实可靠，填写规范、完整；（4）工程内在、外观质量优良，单元工程优良品率达到70%以上，未出现过重大质量事故；（5）出现质量事故能按照四不放过原则及时处理。

5.施工安全措施考核包括四项内容：（1）建立了以责任制为核心的安全管理和保证体系，配备了专职或兼职安全员；（2）认真贯彻国家有关施工安全的各项规定和标准，并制定了安全保证制度；（3）施工现场无不符合安全操作规程状况；（4）一般伤亡事故控制在标准内，未发生重大安全事故。

6.内部管理制度主要考核是否健全，建设资金使用是否合理合法。

7.施工区环境考核包括九项内容：（1）现场材料堆放、施工机械停放有序、整齐；（2）施工现场道路平整、畅通；（3）施工现场排水畅通，无严重积水现象；（4）施工现场做到工完场清，建筑垃圾集中堆放并及时清运；（5）危险区域有醒目的安全警示牌，夜间作业要设警示灯；（6）施工区与生活区应挂设文明施工标牌或文明施工规章制度标牌；（7）办公室、宿舍、食堂等公共场所整洁卫生、有条理；（8）工区内社会治安环境稳定，未发生严重打架斗殴事件，无黄、赌、毒等社会丑恶现象；（9）能注意正确协调处理与当地政府和周围群众关系。

参考文献

- [1]孟迎, 孟斌, 钟胜才编. 水利工程与建筑经济[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2024.05.
- [2]祝吉芳, 祝加贝著. 水利英语口语译[M]. 南京: 河海大学出版社, 2023.05.
- [3]宋美芝, 张灵军, 张蕾作. 水利工程建设与水利工程管理[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2021.06.
- [4]王文川, 和吉, 魏明华主编. 水利计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020.05.
- [5] (宋) 单锷, 魏峴撰; 张宗品整理. 宋元水利文献七种[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2022.05.
- [6]李宗权, 苗勇, 陈忠编. 水利工程施工与项目管理[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2022.08.
- [7]武汉大学, 夏军主编. 水文水利计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.08.
- [8]夏祖伟, 王俊, 油俊巧主编. 水利工程设计[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2021.06.
- [9]贺芳丁, 从容, 孙晓明作. 水利工程设计在建设[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2021.06.
- [10]屈凤臣, 王安, 赵树著. 水利工程设计与施工[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2022.08.
- [11]韩国, 王扩军, 王晓斌主编. 水利工程建设与项目管理[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2023.06.
- [12]张毅. 物探技术在水利工程中的应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2024.04.
- [13]王佰惠作. 水利工程管理与水文水资源建设[M]. 北京: 中华工商联合出版社, 2024.03.
- [14]严宝文著; 栗现文著; 曹红霞著; 李凯著. 全国水利行业“十四五”规划教材水利专业英语[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2022.06.
- [15]张雪峰主编. 水利工程测量[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020.11.
- [16]孙玉玥, 姬志军, 孙剑. 水利工程规划与设计[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2020.02.

- [17]刘伟东, 孙永亮, 龚丽飞.水利工程与混凝土施工[M].长春: 吉林科学技术出版社, 2020.09.
- [18]丁亮, 谢琳琳, 卢超编.水利工程建设与施工技术[M].长春: 吉林科学技术出版社, 2022.08.
- [19]潘永胆, 汤能见, 杨艳主编.水利水电工程导论[M].北京: 中国水利水电出版社, 2020.08.
- [20]李国庆主编.水利学文献检索[M].昆明: 云南大学出版社, 2021.04.
- [21]王兵, 刘芳, 王民侠作.现代水利工程建设与项目规划设计[M].长春: 吉林科学技术出版社, 2023.06.
- [22]吴秀英, 顾伟, 赵秋菊著.水利工程建设管理与工程设计研究[M].长春: 吉林科学技术出版社, 2023.05.
- [23]侯亚洲, 崔景涛, 苏海玲.水利水电工程建设与堤坝管理[M].沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2023.12.
- [24]魏永强.现代水利工程项目管理[M].长春: 吉林科学技术出版社, 2021.06.
- [25]刘江波, 臧孟军, 张莉莉著.水资源水利工程建设[M].长春: 吉林科学技术出版社, 2021.06.
- [26] (美) 罗伯特·J.霍夫塔伦著; 许栋主译.水利工程学基础第4版[M].天津: 天津大学出版社, 2021.03.
- [27]赵长清著.现代水利施工与项目管理[M].汕头: 汕头大学出版社, 2022.06.
- [28]赵黎霞, 许晓春, 黄辉著.水利工程与施工管理研究[M].长春: 吉林科学技术出版社, 2022.08.
- [29]宋宏鹏, 陈庆峰, 崔新栋编.水利工程项目施工技术[M].长春: 吉林科学技术出版社, 2022.08.
- [30]李战会著.水利工程经济与规划研究[M].长春: 吉林科学技术出版社, 2022.04.