

徐玉杰 主编

土石坝 施工质量 控制技术

TUSHIBA
SHIGONG
ZHILIANG
KONGZHI
JISHU



黄河水利出版社

内 容 提 要

全书共分为9章,主要包括:土石坝的类型与强制性条文的相关规定,坝址地形的选择与枢纽布置,施工导流与截流,坝基开挖及地基处理,筑坝材料的工程性质及各项技术要求,土石坝的填筑与碾压要求,护坡及反滤层排水设施施工质量控制,土石坝施工质量和安全技术,土石坝工程安全监测施工质量控制。

本书主要作为水利电力工程从事土石坝施工的工程技术人员及监理工程师、质量监督人员的一部参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土石坝施工质量控制技术/徐玉杰主编. —郑州:黄河水利出版社,2008.6

ISBN 978 - 7 - 80734 - 449 - 0

I. 土… II. 徐 III. 土石坝 - 工程施工 - 质量控制
IV. TV641

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 093953 号

组稿编辑:余甫坤 电话:0371 - 66024993 E-mail:yfk7300@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:15

字数:365千字

印数:1—2 100

版次:2008年6月第1版

印次:2008年6月第1次印刷

定价:39.00元

前 言

《土石坝施工质量控制技术》是按照工程设计提出的结构、技术质量及安全监测和安全技术等要求,从技术、工艺、材料、机械、组织和管理等多方面,采取的相应施工方法和先进技术措施,根据现行的水利部分强制性条文及工程新规程、规范,并结合作者多年从事水利水电工程施工的经验编写而成的。

本书主要内容涉及9个方面:土石坝的类型与强制性条文的规定,坝址地形的选择与枢纽布置,施工导流与截流,坝基开挖与地基处理,筑坝材料的工程性质及各项技术要求,土石坝的填筑与碾压要求,护坡及反滤层排水设施施工要求,土石坝施工质量和安全技术,土石坝工程安全监测施工质量控制等。

在编写过程中,注意了联系当前水利水电工程施工中的实际情况,并适当介绍目前国内外先进的施工技术和经验、施工机械的应用等。本书全部采用新规范、新标准。

全书由徐玉杰、姚党照、郭全中、谢俊国、申天印共同编写,计36.5万字,龙振球主审。本书在编写过程中参考了大量的规范和相关书籍,未在书中一一注明,在此向有关作者表示感谢。

由于编写时间仓促和编者水平有限,对书中存在的不足和缺点,望广大读者批评指正。

编 者

2008年3月

目 录

第一章 土石坝的类型与强制性条文的相关规定	(1)
第一节 土石坝的类型和坝型选择	(1)
第二节 碾压式土石坝的强制性条文规定	(2)
第三节 混凝土面板堆石坝的强制性条文规定	(8)
第四节 浆砌石坝的强制性条文规定	(12)
第二章 坝址地形的选择与枢纽布置	(16)
第一节 坝址地形的选择要求	(16)
第二节 集雨面积勘测	(16)
第三节 坝轴线选择原则	(17)
第四节 泄水和引水建筑物的选择	(18)
第五节 坝型及选择的原则	(18)
第三章 施工导流与截流	(21)
第一节 施工导流的特点	(21)
第二节 施工导流的基本方法和要求	(22)
第三节 施工导流的水力计算	(29)
第四节 截流工程的特点	(34)
第五节 围堰工程	(39)
第六节 拦洪度汛	(46)
第七节 封堵技术	(48)
第八节 基坑排水	(53)
第四章 坝基开挖及地基处理	(61)
第一节 坝基开挖的基本要求和注意的问题	(61)
第二节 河床坝基开挖机械化施工的要点	(64)
第三节 坝基的清理	(70)
第四节 坝基的处理	(71)
第五节 坝体与地基和其他建筑物的连接要求	(78)
第五章 筑坝材料的工程性质及各项技术要求	(81)
第一节 筑坝材料的选择原则和分级	(81)
第二节 土壤的工程特性	(87)
第三节 坝料的各项试验要求	(90)
第四节 料场规划及料场作业	(108)
第五节 土料的开挖运输要求及机械特性	(111)

第六章 土石坝的填筑与碾压要求	(119)
第一节 土料压实方法与机械选择	(119)
第二节 压实参数的选择与现场碾压试验	(123)
第三节 土石坝体填筑与压实的要求	(141)
第四节 土石坝施工质量控制与检查	(154)
第五节 土石坝填筑现场质量检测的方法与内容	(158)
第七章 护坡及反滤层排水设施施工质量控制	(171)
第一节 护坡的基本要求	(171)
第二节 护坡的形式及材料要求	(178)
第三节 土石坝排水设备的施工质量控制	(188)
第四节 反滤层级配的要求及坝体排水设备的施工要求	(191)
第八章 土石坝施工质量和安全技术	(193)
第一节 工程施工质量控制的基本要求	(193)
第二节 施工阶段质量控制的依据、方法和工作程序	(199)
第三节 质量保证体系的基本运转方式	(205)
第四节 文明施工与施工安全管理	(208)
第九章 土石坝工程安全监测施工质量控制	(213)
第一节 土石坝工程安全监测工作应遵循的原则	(213)
第二节 土石坝安全监测工程各阶段监测工作的要求	(214)
第三节 安全监测系统的布置原则和方法	(215)
第四节 监测仪器现场检验与率定	(217)
第五节 常用安全监测仪器安装埋设的技术要求	(222)
第六节 安全监测仪器安装埋设后的工作	(230)

第一章 土石坝的类型与强制性条文的相关规定

土石坝是最古代的水工建筑物,在纪元前,世界各地及我国就已经有了这种坝型,而现在世界各国仍普遍采用着。新中国成立后,历经 50 多年的不懈努力,我国已建成水库 8 万多座,其中高 15m 以上的大坝 2.4 万座,占世界大坝的一半,已建成大中型水库 1 100 多座,如淮河支流上的南湾、薄山、板桥、石漫滩、宿鸭湖等水利工程。由于土石坝工程经常能够就地取材,而且筑坝时可采用从最简单到最新式的各种机械,所以可以修筑的高度可达百米以上。

第一节 土石坝的类型和坝型选择

一、土石坝的类型

按照施工方法,土石坝可分为:碾压式、水填式和半水填式;按照高度可分为:低坝或低水头坝——坝高在 30 m 以下者,中坝——坝高在 30 ~ 70 m 之间者,高坝——坝高在 70 m 以上者。

土石坝的坝高应从坝体防渗体、底部或坝轴线部位的建基面算至坝顶(不含防浪墙),取其大者。

根据材料和构造的不同,土石坝可分为:

- (1) 均匀土质坝:坝体主要是由一种均匀的土料筑成的。
- (2) 多种土质坝:坝体断面各个部分是由许多不同性质的土料组合而成的。
- (3) 硬性斜墙坝:其断面包括透水性极小的材料如混凝土、钢筋混凝土金属、浆砌块石等筑成的迎水面防渗斜墙。
- (4) 塑性斜墙坝:其断面包括由透水性小的土料筑成的迎水面防渗斜墙。
- (5) 硬性心墙坝:其断面包括用不透水或透水性极小的材料如混凝土、钢筋混凝土、金属等筑成的迎水面垂直的防渗心墙,其余部分由各种粒径的土料所组成。
- (6) 塑性心墙坝:其断面包括由透水性小的土料筑成的垂直的防渗心墙,墙体其他部分是由各种粒度的土料做成的。
- (7) 堆石面板坝:其断面用各种岩石堆积而成,上游面用透水性小的材料如混凝土、钢筋混凝土等做成。

上面所提到的各种坝的类型如图 1-1 所示。

二、坝型选择

坝型选择的原则:

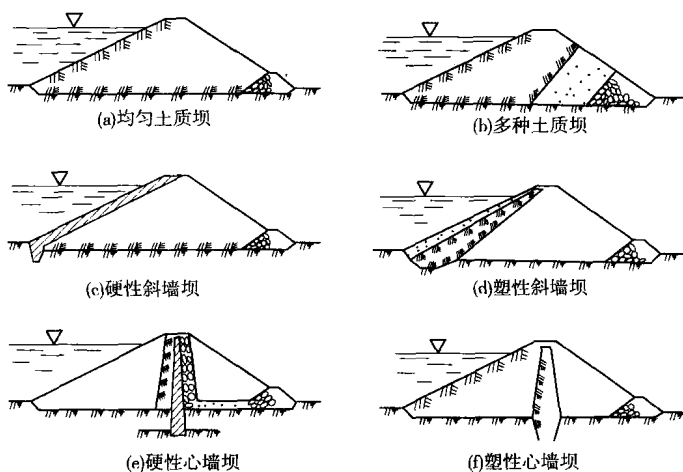


图 1-1 各类堤型

(1) 碾压式土石坝的型式可在以下三种基本型式中选择：

- ①均质坝；
- ②土质防渗体分区坝；
- ③非土质材料防渗体坝。

(2) 堤型选择应综合考虑下列因素，经技术经济比较后确定：

- ①坝址区河势、地形、坝址基岩、覆盖层特征及地震烈度等地形地质条件；
- ②筑坝材料的种类、性质、数量、位置和运输条件；

③施工导流施工进度与分期、填筑强度、气象条件、施工场地、运输条件和初期度汛等施工条件；

④坝高：高坝多采用土质防渗体分区坝，低坝多采用均质坝，条件合适时采用混凝土面板堆石坝；

⑤枢纽布置，坝基处理以及坝体与泄水、引水建筑物等的连接；

⑥运行条件：如对渗漏量要求高低，上、下游水位变动情况，分期建设等；

⑦坝及枢纽的总工程量、总工期和总造价。

(3) 3 级低坝经过论证可采用土工膜防渗体坝。

(4) 轴线较长的土石坝根据地形、地质及料场的具体条件，可分段采用不同坝型，但在坝型变化处应设置渐变段。

第二节 碾压式土石坝的强制性条文规定

碾压式土石坝设计规范等规定强制性条文有筑坝材料的选择和填筑标准、坝体结构、坝基处理、坝体与地基和其他建筑物的连接等四个方面。

一、筑坝材料的选择和填筑标准

(一) 防渗土料的基本性质要求

防渗土料的基本性质要求包括渗透系数、水溶盐含量和有机质含量三方面。

(1) 渗透系数。心墙与斜墙坝的防渗土料的渗透系数一般不大于 10^{-5} cm/s, 均质坝不大于 10^{-4} cm/s。防渗土料的选择与水库的渗漏量要求有关: 以供水发电为主的水库, 希望采用渗透性更小的防渗土料; 以防洪为主的水库, 防渗土料的防渗系数相对可适当大一些。

(2) 水溶盐含量。水溶盐一般分为易溶盐、中溶盐和难溶盐三类。易溶盐包括氯盐、重磷酸盐、碳酸钠和硫酸钠等; 中溶盐主要是石膏; 难溶盐包括碳酸钙、碳酸镁等。难溶盐在非侵蚀性水中淋洗速度慢, 引起填土性质的变化极小, 可以不计, 故强制性条文规定: 常用的筑坝土料中的易溶盐、中溶盐的含量不大于 3%。

(3) 有机质含量。土中有机质有两种: ①未完全分解的植物残渣、树皮等, 这些有机质的继续分解可以在土中产生孔洞, 其化学成分能改变土壤的性质; ②完全分解的有机质, 对土的影响与其处于分散或凝聚状态有关。所以, 强制性条文规定: 均质坝的有机质含量不大于 5%, 心墙和斜墙不大于 2%。

(二) 砾石土的要求

砾石土包括风化砾石土、风化岩石开挖碾压后形成的砾石土和人工掺合的砾石土。强制性条文规定: 用于填筑防渗体的砾石土, 其粗料(粒径大于 5 mm 的颗粒)含量一般不超过 50%, 其最大粒径不超过 10 ~ 15 cm 或铺土厚度的 2/3, 但不得发生粗料集中架空现象。

(三) 反滤层、过渡层和排水层土石料的要求

强制性条文规定: ①具有要求的颗粒级配, 且粒径小于 0.1 mm 颗粒含量不大于 5%; ②具有要求的透水性; ③质地致密坚硬, 具有高度的抗水性和抗风化能力, 风化料一般不能用做反滤料, 如必须应用时应有充分论证; ④反滤料宜尽量利用天然砂砾石料筛选, 在缺乏天然砂砾料时, 也可采用人工砂或碎石料, 但应选用抗水性和抗风化能力强的母岩轧制。

为防止在施工中发生粗细颗粒分离, 对于 D_{60} 以下颗粒要求下包线与上包线的 D_n ($n \leq 60\%$) 之比不大于 5。小于 0.1 mm 颗粒含量的多少影响反滤料的透水性, 应根据一般经验确定。

反滤料、过渡料等, 若抗水性差, 在渗透水的作用下, 颗粒会进一步软化破碎; 若抗风化程度差, 在堆存填筑于表层时, 可能会因颗粒进一步风化, 使颗粒变细。两种情况均会导致级配不满足要求, 反滤料透水性变小。质地致密坚硬的材料, 对提高抗水性和抗风化性能有利, 故强制性条文规定: 应具有高度的抗水性和抗风化能力, 风化料一般不能用做反滤料。

(四) 黏性土料的压实标准

黏性土料的压实标准, 应根据现场碾压试验所确定的参数和设计要求来确定, 一般根据强制性条文的要求: 对 1、2 级坝和高坝不低于 0.97 ~ 0.99, 对 3 级及以下的坝应不低于 0.95 ~ 0.97。

(五) 无黏性土压实标准

强制性条文规定: 无黏性土的压实标准按相对密度确定, 要求不低于 0.70 ~ 0.75。无黏性土中粗料含量小于 50% 时, 应保证细料(小于 5 mm 的颗粒)的相对密度满足本要求。对于砂砾料要求的相对密度, 换算出不同粗料含量的填筑密度值。对于砂砾料, 实际在应用中一般据不同级配的室内试验结果整理出级配—干密度—相对密度关系, 以便现场挖坑取样检查时, 能根据测出的级配和干密度, 查出相对密度值, 以便于控制填筑质量。

(六) 堆石的压实标准

堆石填筑标准常采用施工参数控制, 即采用规定的机械设备、填筑层厚和碾压遍数等参

数的方法控制。

我国一直沿用孔隙率(干容重)和施工参数两类标准同时控制。规定施工参数,便于现场操作,采用干容重控制便于定量控制压实质量和校核设计要求。故强制性条文规定:堆石的压实功能和设计孔隙率可按已有类似工程拟定,一般为 20% ~ 28%,并由碾压试验确定。施工时以施工参数(包括碾压设备的型号、振动频率及重量,铺土厚度,加水量,碾压遍数等)及干容重控制。

二、坝体结构的各项要求

(一)坝体排水设备的要求

从保护被保护料细颗粒不流失而言,排水与反滤层是相同的。从透水性要求而言,对反滤层的要求是能通畅地排出渗透水流,能自由地排出“全部”渗水。故强制性条文规定:坝体排水设备必须满足以下要求:

- (1)应有充分的排水能力,以保证自由地向下游排出全部渗水。
- (2)应按排水反滤原则设计,以保证坝体及地基土不发生渗透破坏。
- (3)便于观测和检修。

(二)反滤层的设置要求

反滤层的部位包括土质防渗体与坝壳、坝基透水层之间,以及下游渗流逸出处。土质防渗体与坝壳之间简单明了,易于执行。下游渗流逸出处则需根据工程具体情况,划分区域范围。由于反滤层对防止渗透破坏起着关键性的作用,故强制性条文规定:土质防渗体(包括心墙、斜墙、铺盖、截水槽等)与坝壳或坝基透水层之间,以及下游渗流逸出处都必须设置反滤层。当坝基或坝壳为砂土、层间关系满足反滤要求时,经过论证也可不设置专门的反滤层。

(三)上游坝面护坡的要求

上游坝面护坡,为防止波浪淘刷、冰层和漂浮物撞击、顺坝水流冲刷等,必须设置护坡,在坝表面材料为土、砂、砂砾石时,应设专门护坡,但堆石坝可采用堆石材料的粗颗粒或超径石做护坡或采用钢筋混凝土板护坡。土坝表面护坡的石块有必要从岩性(抗水性和抗风化性)、强度和风化程度等各方面都要达到规定要求。

(四)坝面排水的要求

对于均质土坝和砂砾石坝壳设置坝面排水是十分必要的。应确保排水沟牢固不渗水,排水沟一旦出现局部损坏,集中的水流从排水沟损坏处对坝面的冲刷可能要比雨水漫流冲刷坝坡严重得多。坝面与岸坡连接处是集水量相对较大的部位,更应引起重视,故强制性条文规定:为避免雨水漫流而造成坝坡坡面冲刷,应设坝面排水,其范围包括坝顶、坝坡、坝端及坝下游等部位的集水、节水和排水设施。

三、坝基处理的要求

概括起来,坝基处理大致有开挖、加固及坝基面处理三个方面的工作。

(一)一般要求

坝基处理有对渗流控制、稳定和变形三方面的要求,故强制性条文规定:坝基处理应满足渗流控制、静力和动力稳定、容许沉降量和不均匀沉降等方面的要求,保证坝的安全运行

和经济效益。

对于砂砾石坝基,应先查明砂砾石的平面和空间分布情况,以及级配密度、渗透系数、允许渗透比降等物理力学指标。在震区还应了解标准贯入击数、剪切波速、动力特性指标等。当岩石坝基有较大的透水性、软弱夹层、风化破碎或有化学溶蚀,以致通过地质渗漏量影响水库效益,影响坝体及坝基的稳定及渗流稳定时,对坝基应进行处理。

(二) 处理地基的要求

处理地基主要有以下 8 种方法:

(1) 深厚砂砾石层。国内外以采用混凝土防渗墙的较多,也可采用灌浆处理。

(2) 软土。天然含水率大、呈软塑到流塑状态、抗剪强度低、透水性小、灵敏度高是软土的特点,一般可采用以下标准评价,液性指数: $I_L \geq 0.75$, 无侧限抗压强度 $g_u \leq 50$ kPa, 标准贯入击数 $\mu_{63.5} \leq 4$, 灵敏度 $S_l \geq 4$ 。当 $I_L \geq 1.0$ 、 $e_0 \geq 1.5$ 时为淤泥;当 $I_L \geq 1.0$ 、 $1.5 > e_0 \geq 1.0$ 为淤泥质土。

软黏土不宜作为坝基,必须经处理:首先宜考虑挖除,当厚度较大、分布较广,难以挖除时,可采取打砂井、插塑料排水带、加荷预压、真空预压、振冲置换及调整施工速率等措施,使大量沉降在大坝填筑以前完成,并通过预压提高坝基的强度和承载能力,控制填土速率,使荷载的增长与坝基软黏土强度的增长相适应,以保证地基的稳定。

(3) 湿陷性黄土。其主要由粉粒组成,呈棕黄褐色,具有大孔隙或垂直节理等特征。湿陷性黄土作坝基时,需论证其沉降湿陷和溶滤对土石坝的危害。湿陷性黄土坝基多采用挖除、翻压、强夯等方法进行处理,其目的是在坝体填筑前清除其湿陷性,以免对工程造成危害。

黄土中常存有陷穴、动物巢穴、窑洞、基坑等地下空洞,必须查明处理。

(4) 疏松砂土及少黏性土(黏粒含量小于 15%)。对于疏松砂土及少黏性土坝基,其主要问题是液化问题,其解决的办法:

① 浅层加固。一般要首先考虑挖除后换填好土或采用振动压密和重锤夯实等人工加固措施处理。如有效深度在 1~2 m,用重锤。如有效深度在 2~3 m,用重型振动碾压实后土层可达中密或紧密状态。

② 深层加固。常用的加固处理方法有振冲法和强夯法。

a. 振冲法:是在振冲造成的孔中投入碎石或卵砾石,形成一系列排水体,使振动孔隙水压力加速消散,从而使液化现象大为减轻。该法适用于黏粒含量少于 10% 的砂砾、砂和少黏性土,加固深度可达 20 m。经群孔振冲处理,相对密度可提高 0.7~0.8 以上,可达到防止液化的程度。

b. 强夯法:用很重的锤从高处(8~25 m)自由落下,给地基以冲击和振动使地基土层加密的一种方法。或采用冲击法或振动法往砂土中沉入桩管,并逐步边拔管边灌砂、振动而形成一系列砂桩,使周围砂层产生挤密和振密作用,处理深度可达到密实状态。在软黏土中置换率可高达 70%。

③ 盖重排水。盖重的作用是提高地基易液化土层的约束应力,从而提高液化能力,加强排水,还可降低浸润线,减轻震害。

(5) 岩溶的处理要求。岩溶是指可溶性岩层被水长期溶蚀而形成的各种地质现象和形态。在岩溶地区筑坝,其处理方法如下:

- ①大面积溶蚀未形成溶洞的可做铺盖防渗;
- ②浅层溶洞可挖除洞内破碎岩石和充填物,利用浆砌块石或混凝土堵塞;
- ③深层的溶洞可采用灌浆方法处理或做混凝土防渗墙;
- ④防渗体下游宜做排水设施;
- ⑤库岸边可做防渗设施隔离。

(6)断层破碎带的处理要求。透水性强或有不稳定泥化夹层的岩石,坝基处理的方案是防止渗漏、管涌和溶蚀问题。除做好接触面的处理外,还常采取灌浆、混凝土塞、混凝土防渗墙、铺盖、扩大截水槽底宽等处理措施。其主要目的是延长渗径。断层与坝的防渗体接触带可用混凝土盖板分隔开来,以防止接触冲刷。在防渗体下游断层出露处设置排水反滤设施,可防止断层破碎带内细颗粒流失和管涌破坏。

对有软弱夹层的岩基,主要解决滑动稳定问题,浅层一般挖除深层或多层,可采用锚固、压坡等措施处理。

(7)含有大量溶盐类的岩石和土,这类地基主要是在渗透水流作用下的淋蚀问题,过量的淋蚀会加大地基的沉降量。处理方法:一般对浅层采取挖除能彻底解决问题,当工程量大时也可采取加大截水槽底宽和坝顶超高的措施。

(8)透水坝基下游坝址处有连续的透水性差的覆盖层:一般采取设透水盖重和排水两种措施处理。其形式很多,现主要介绍如下:

①透水性均匀的单层结构坝基以及上层渗透系数大于下层的双层结构坝基,可采用水平排水垫层,也可在坝脚处结合贴坡排水体做反滤排水沟。

②双层结构透水坝基,当表层为不太厚的弱透水层,且其下的透水层较浅、透水性较均匀时,宜将坝底表层挖穿做反滤排水暗沟,并与坝底水平排水沟(垫层)相连,将水导出。此外,也可在下游坝脚处做反滤排水沟。

③对表层弱透水层太厚或透水层成层性较显著,宜采用减压井深入强透水层。如表层弱透水层不太厚,可结合减压井做反滤排水沟。

四、坝体与地基和其他建筑物的连接要求

坝体与地基(岸坡)的连接有两方面的要求:其一,对坝基面材料性质的要求;其二,接触面几何形状的要求。

坝体与其他建筑物的连接要求,主要反映在对接面几何形状的要求。

(1)对坝体与土质地基的连接,强制性条文规定有四个方面的要求:

①地基和岸坡上的草皮、树根、含有植物的表土、蛮石、垃圾及其他材料的清除,并将清理后的地基表面土层压实是常规的坡面处理工作。

②对坝断面范围内的低强度、高压缩性软土及地震时易于液化的土层,进行清除或处理。

③防渗体必须坐落在相对不透水的土基上,否则应采取适当的防渗处理措施。当防渗体坐落在相对不透水土基上时,一般仅进行表面处理,即创毛和压实处理,当坝基渗透性较大时,需进行防渗处理。

④地基覆盖层与下游坝壳粗粒料(如堆石等)接触处应符合反滤要求,否则必须设置反滤层,以防止地基土流失到坝壳中。应注意的是,坝基覆盖层的颗粒级配往往是非常不均匀

的,不同区域的材料级配有时相差较大。在这种条件下,应根据工程实际情况,确定是不同分区采用不同的反滤,还是按保护坝基覆盖层中的细颗粒不流失的原则来设计反滤料的级配。

(2) 坝体与岩石地基及岸坡的连接要求:

规定坝体与岩石地基及岸坡的连接必须做到土质防渗体和反滤层与相对不透水的新鲜或弱风化岩石相连接。在开挖清理完毕后,用混凝土或砂浆封堵清理后的张开节理裂隙和断层,基岩上一般宜设混凝土盖板、喷混凝土或喷砂浆层,将基岩与土质防渗体分隔开来,以防止接触冲刷。

为了确保工程质量,规定有两个层次的要求:其一,土质防渗体和反滤层部位的岩石地基应开挖到何种程度。在实际工程中,土质防渗体和反滤层应与相对不透水的新鲜或弱风化岩石相连接。其二,开挖后岩石地基如何处理。开挖清理后用混凝土或砂浆封堵清理后的张开裂隙和断层以及设混凝土盖板、喷混凝土或砂浆层,将岩基与土质防渗分隔开来等各种处理措施,均是工程中常采取的处理措施。

(3) 岸坡坡度的要求:

岸坡坡度要大致平顺,不应成台阶状,要求岸坡上缓下陡时,超出部位的变坡角应小于 20° 。与防渗体连接的岩石岸坡坡度宜不陡于 $1:0.5 \sim 1:0.75$,陡于此坡度应有专门论证,并采取相应工程措施。

(4) 土石坝与混凝土建筑物的连接要求:

土石坝与混凝土坝、溢洪道、涵管等混凝土建筑物的连接,必须防止接触面的集中渗流、因不均匀沉降而产生的裂缝,以及水流对上下游坝坡和坝脚的冲刷等。

土石坝与混凝土建筑物的连接应处理好以下三方面的问题:

①防渗体与其他建筑物的连接,主要与连接物面的渗径长度和允许的渗透比降大小两种因素有关。渗径长度加长,高水运用实际产生的渗透比降较小,不易产生接触冲刷,反之,接触面紧密,允许渗透比降增大,连接长度可相应减小。这两方面要严格注意处理。

②上下游坝坡脚的保护要求,当土石坝与泄水建筑物连接时,若上下游坝坡脚的保护措施不当,在长期运行中,水流将可能淘刷坝脚,引起塌坡,危及土石坝的安全。对于不同的建筑物,适用的连接形式可能不完全相同,现分述如下:

a. 土石坝与混凝土的连接常采用侧墙式(重力墩式或翼墙式)、插入式,以增加接触面渗径。但最好的是侧墙式连接方式,其结构形式简单,便于机械化施工,对保证结合面填土质量有利,有条件时,应尽量采用这种连接形式。

b. 土石坝与船闸、溢洪道等混凝土建筑物的连接多采用侧墙式。

c. 软基上的坝下埋管历来是土石坝较忌讳的问题。坝下埋设涵管时一般要求:土质防渗体下与涵管连接处应扩大防渗体断面,涵管本身设置永久的伸缩缝和沉降缝时,必须做好止水,并在接缝处设反滤层,在防渗体下游面与坝下游管接触处,应做好反滤层,将涵管包围起来。

③防渗体下游的反滤保护。影响连接面质量的因素较多,任何一个环节的疏忽都可能出现问題,因此加强防渗体下游的反滤保护是必要的。

五、《碾压式土石坝施工技术规范》(SDJ213—83)的规定

(1)施工单位对勘测设计单位所提供的各料场勘察报告和调查试验资料应进行认真核查。对批准的设计文件中选定的每个料场的储量与质量,应辅以适量的坑探和钻孔取样复核。如发现勘察项目和精度与规定不符,应及时提出意见,并会同勘测设计单位进行复查。

(2)土石坝施工试验的项目,一般有土料、砂砾料及石料的碾压试验,石料场的爆破试验,坝料加工试验,黏性土料含水量调整试验,以及混凝土防渗墙、基础灌浆、震动水冲和砂井加固坝基、减压排水井及其他施工试验。

(3)1、2级坝和高土石坝工程必须在开工前完成有关施工试验项目,如坝料通过碾压试验方能确定控制标准和施工参数。

(4)对坝体填筑作业的要求:坝体填筑必须在坝基处理及隐蔽工程验收合格后才能进行。

(5)对坝体压实作业的要求:必须严格控制参数;压实机具的类型、规格等应符合施工规定;压实合格后始准铺筑上层新料。

坝壳堆石料难以逐层检查,必须严格控制填筑压实参数。

(6)对坝体斜墙、心墙的填筑作业的要求:心墙应同上下游反滤料及部分坝壳平起填筑,按顺序铺填各种坝料。优先采用先填反滤料后填土料的平起填筑法。

斜墙也应同下游反滤料及堤壳平起填筑。斜墙也可滞后于堤体填筑,但需预留斜墙施工场地,且紧靠斜墙的坝体必须削坡至全合格面,方允许填筑。

(7)填筑层面进行处理的质量要求:填筑面进料运输线路上散落的松土、杂物以及车辆行驶、人工践踏形成的干硬光面,特别是汽车经常进入防渗体的道路,应于铺土前清除或彻底处理。

(8)反滤层、排水设备施工的质量要求:①反滤层厚度、铺筑位置及反滤料的粒径、级配、不均匀系数、含泥量等,均应符合设计要求;②对已铺好的反滤层应作必要的保护,禁止车辆、行人通行,禁止抛掷石料以及其他物件,防止土料混杂污水侵入。

在反滤层上堆砌石料时,不得损坏反滤层,与反滤层接触的第一层堆石应仔细铺筑,其块径应符合设计要求,且防止大块石集中。

(9)排水设施所用的石料必须质地坚硬,其抗水性、抗冻性、抗压强度、几何尺寸均应满足设计要求。

第三节 混凝土面板堆石坝的强制性条文规定

一、筑填材料及填筑标准的要求

(一)硬性堆石料

一般将岩石的饱和和无侧限抗压强度大于等于 30 MPa 的堆石料称为硬岩堆石料。其要求是压实后应能自由排水,有较高的压实密度和变形模量的定性要求,以及最大粒径不超过压实层厚,小于 5 mm 的颗粒含量不宜超过 20%,小于 0.075 mm 的颗粒含量不宜超过 5% 的要求。就堆石材料本身的特性,是级配良好,有适当的细颗粒含量,压实的密度必然较大。

当小于 5 mm 的颗粒含量在 25% 左右时,可以压实到较高的密实度。若堆石的不均匀系数小于 5,属不良级配;当堆石的不均匀系数大于 15 时,属于良好级配的堆石料。但小于 5 mm 的颗粒含量超过 30% 时,堆石的抗剪强度明显降低。由于堆石呈棱角状,接触点的应力很大,在碾压过程中,堆石颗粒会进一步破碎,小于 5 mm 的颗粒含量控制不超过 20% 比较合适。

堆石料的压实性质还与其最大粒径有关。级配相似的堆石料,其压实的密度随最大粒径的增大而提高。故强制性条文规定:堆石料的最大粒径应不超过压实层的厚度,就是尽量采用较大的粒径。

堆石料的变形模量随其压实密度的提高而增大,因此只要能将堆石压实到较高的密实度,就可以得到相对较高的变形模量。

小于 0.075 mm 的颗粒含量,对堆石的渗透性和抗剪强度有影响,故强制性条文规定:在堆石料中控制小于 0.075 mm 的颗粒含量不超过 5% 是必要的。

(二) 软岩堆石料

将岩石饱和无侧限抗压强度小于 30 MPa 的堆石料称为软岩堆石料。对软岩堆石料,强制性条文规定:软岩堆石料压实后应具有较低的压缩性和一定的抗剪强度,可用于下游堆石区下游水位以上的干燥区,如用于堆石区时需经专门论证和设计,渗透性不能满足要求时可设置坝内排水。坝坡及周边缝止水结构,应适应软岩堆石料的特性等原则规定。

与硬岩堆石料相比,软岩堆石料的特点是抗剪强度较低、压缩性较大,特别是浸水后沉降变形更为明显。但混凝土面板堆石坝的原型观测表明,蓄水后面板的变形主要发生在上游坝体 1/3 范围,下游坝体很少受蓄水影响,其压缩性对面板可能产生的变形影响很小。因此,要求软岩堆石料填筑在下游堆石区下游水位以上的干燥区是必要的和可行的。由于软岩堆石料的上述特点,当填筑部位靠近上游时,面板及周边缝结构应能适应其变形特性。

软岩堆石料的渗透性一般低于硬岩堆石料,软岩堆石料的渗透系数 $K = 10^{-5}$ cm/s,小于硬岩堆石料。因此,有时需要设置坝体排水。

(三) 砂砾石料

强制性条文规定:砂砾石料压实后具有较高的抗剪强度和较低的压缩性,宜用于填筑主堆石区。

由于砂砾石料的颗粒形状和级配特点,一般都容易压实到较高的密实度。当 5 mm 以上的颗粒含量约为 70% 时,可以达到最优压实。

砂砾石的压实干密度可达到 2.2 g/cm^3 左右,孔隙比 0.2 左右。

与堆石料相比,砂砾石料的压缩性相对较小。如湖北省西北口坝砂砾石料与堆石土料压缩试验结果比较表明,无论是饱和还是潮湿的情况下,总是砂砾石料的单位沉降量小,并且饱和与潮湿条件下的沉降差也较小。由于压缩变形模量与压缩变形量成反比,在相同垂直压力的条件下,砂砾石料的压缩模量大于堆石料。如西北口坝的试验,在垂直压力的条件下,按 0 ~ 2 MPa 计算时,砂砾石料在饱和、潮湿状态下的压缩模量 E_c 分别为 95.2 MPa 和 105.2 MPa,而相应的堆石料的 E_c 分别为 55.6 MPa 和 62.5 MPa。前者几乎为后者的 2 倍。

由于砂砾石有以上良好的特性,且比堆石料更便于开采和造价低廉,所以砂砾石料的应用日益广泛。

砂砾石料的特殊性可概括为以下三点:

(1)级配的离散性。这是砂砾石料的最显著的特点,在同一河段或料场,其级配一般不尽相同,有时相差很大。级配的差异使得其物理力学特性存在差异。如有的砂砾石料可能是自由透水料,有的可能属于半透水料。针对砂砾石料的这一特性,往往需采用不同的坝体分区。

(2)级配的间断性。这也是天然砂砾石料不容忽视的特点。间断级配的砂砾石料的渗透稳定性往往成为坝料设计甚至整个砂砾石面板坝设计的突击问题。

(3)施工中的分离。砂砾石料颗粒的磨圆度好,颗粒间的咬合力较小,因此施工时极易产生分离,导致填筑坝料的不均匀性。

与堆石料相比,砂砾石料有其不足之处,如:

(1)硬岸堆石料是非冲蚀性材料,可自由排水,不存在渗透稳定问题,而砂砾石料的细颗粒可以冲蚀,在渗流作用下存在渗透破坏的可能性,需要可靠的渗流控制措施。

(2)堆石料是有棱角的颗粒料,咬合力大,而砂砾石料颗粒磨圆度好,颗粒间的咬合力较小,容易滚动,在低应力下的抗剪强度低于堆石料,需要的坝坡往往稍缓。

(3)含泥量(小于0.1 mm的颗粒含量)大且含水量高的砂砾石料,可能因其承载力不足而使重载车辆和振动碾不能正常工作。

砂砾石面板坝的渗流控制应采取以下措施:

(1)当坝体主要用砂砾石料填筑,对于不能自由透水的砂砾石料,往往需要设置坝体排水设施,可设置竖向或水平向排水,竖向排水体的顶宜高于水库正常蓄水位。排水料与坝体材料之间应满足反滤的层间关系,必要时设反滤层。排水体的排水能力应满足全部渗水自由排出坝外的要求。

(2)砂砾石料坝体用垫层料挡水度汛时,应进行渗流计算,校核坝体的渗透稳定性。

(3)砂石坝的垫层料渗流控制,主要是级配和渗透系数的要求。

(4)对高坝垫层料的要求:应具有连续级配,最大粒径为80~100 mm,粒径小于5 mm的颗粒含量为30%~50%,小于0.075 mm的颗粒含量宜少于8%。压实后应具有内部渗透稳定性,低压缩性、高抗剪强度,并应具有良好的施工特性。

①级配的连续性要求:

a. 细料能起到填充粗料孔隙的作用,容易得到较高的密度和变形模量,能对混凝土面板有良好的支撑作用。

b. 透水性小于早期的均匀垫层,具有半透水性时,面板一旦开裂,能对面板上游设置的防渗铺盖和抛投的土料起到反滤保护作用,达到堵塞渗漏通道而自愈。

c. 级配连续的垫层料便于整平坡面,使面板厚度更加均匀,不仅节省超填混凝土,更重要的是改变了混凝土面板的支撑条件。

d. 施工期可直接利用垫层料挡水度汛,可以限制进入坝体的渗流量,保证堆石体的稳定。

e. 最大粒径:对于垫层料最大粒径的选择,总的变化趋势是由粗到细,逐渐稳定在一个粒径范围内。近年来国外混凝土面板坝垫层料的最大粒径大多在100~150 mm之间,国内为80~100 mm之间。

②粒径小于5 mm的颗粒含量:当粒径小于5 mm的颗粒含量小于40%时,施工中需采取一定的措施,防止粗细颗粒分离。

③粒径小于0.075 mm的颗粒含量:粒径小于0.075 mm的含量即通常所讲的含泥量要

求,强制性条文规定,粒径小于 0.075 mm 的颗粒含量宜少于 8%。

故规定设计垫层料的级配为压实后应具有内部渗透稳定性,低压缩性、高抗剪强度,并应具有良好的施工特性等。

④特殊垫层区(小区料区)的要求:对周边缝下游特殊垫层区(小区料区)的要求是,宜采用最大粒径小于 40 mm 且内部稳定的细反滤料,薄层碾压密实,以尽量减少周边缝的位移,同时对缝顶粉细砂、粉煤灰等能起反滤作用。因此,特殊垫层区反滤料的最大粒径一般小于 40 mm,最好是 $D_{90} \leq 20$ mm,粒径小于 5 mm 的含量大于 45%,能满足内部稳定的要求。

特殊垫层区填筑时,铺填厚度一般在 0.1 m 以上,如使用反铲安装平板振动器击实,填筑厚度可加大到 0.2 m 左右。

(四) 坝料填筑标准的要求

(1)初步拟定的填筑标准:各区坝料填筑标准可根据经验初步确定,其值可在表 1-1 范围内选用。

表 1-1 坝料填筑标准

料物或分区	孔隙率(%)	相对密度
垫层料	15 ~ 20	0.75 ~ 0.85
过渡层细堆石料	18 ~ 22	
主堆石区堆石料	20 ~ 25	
下游区堆石料	23 ~ 28	
砂砾石料		

(2)孔隙率(或相对密度)、坝料级配、碾压参数和干密度。条文规定,设计干密度用于孔隙率和岩石密度换算,且要求平均干密度不小于用设计孔隙率(或相对密度)换算的干密度值,其标准差应不大于 0.1 g/cm^3 。

在实际应用中,可整理出级配—干密度—孔隙率(或相对密度)关系,以便于现场挖坑取样检查时,能根据测出的级配和干密度,查出相对密度是否满足要求,这样便于控制施工质量。

(3)特殊垫层区和软岩堆石料,要求应适当提高标准。

二、坝体对混凝土面板砂砾坝的规定

混凝土面板砂砾石坝的垫层料应是连续级配且内部渗透稳定,压实后渗透系数为 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 。

三、趾板的岩石地基灌浆要求

趾板的岩石地基应进行固结和帷幕灌浆处理,趾板下的岩石地基表层,一般裂隙、夹泥层等较发育,又不能进行高压灌浆,且承受的水力梯度又较大,是防渗的薄弱环节。因此,提出固结灌浆的要求。趾板的固结灌浆均采用铺盖式布置,多为 2 ~ 4 排孔,孔深约 5 m,风化破碎的岩层有时还应根据需要加深。

帷幕灌浆一般布置在趾板的中部,并与固结灌浆相结合。趾板地基下存在相对不透水层,但埋藏深度不大时,帷幕应深入该层至少 5 m。也可以根据地质条件按坝高的 $1/3 \sim 1/2$ 选定。在复杂的水文地质条件下或相对不透水层埋深较深或分布无规律时,防渗帷幕的布

置深度和两岸延伸长度,则应根据渗流分析、防渗要求,并结合类似工程经验研究确定。

相对不透水层:3级以下的中、低坝透水率宜为 $5 \sim 10 \text{ Lu}$,蓄水和抽水蓄能水库的上库可用低值,泄洪水库等可用高值。对于1、2级坝和高坝,单位吸水率为 $3 \sim 5 \text{ Lu}$ 。

四、混凝土面板的厚度要求

强制性条文规定有三项要求:

- (1)应能便于在其内部布置钢筋和止水,其相应最小厚度为 0.30 m 。
- (2)控制渗透水力梯度不超过200。
- (3)在达到上述要求的前提下应选用较薄的面板厚度,以降低造价。

第四节 浆砌石坝的强制性条文规定

一、坝基处理的质量控制要求

强制性条文根据《浆砌石坝施工技术规定》(SD120—88)(试行),规定坝基清理后,必须按“水利基本建设工程验收办法”进行验收。因此,应重视和掌握以下几点:

- (1)岩基开挖邻近建基面处必须根据基岩特性采取预留保护层的开挖措施。
- (2)建基面的几何尺寸、高程应符合设计要求,无松动岩块和爆破影响裂隙。
- (3)坝基处理范围内的断层、裂隙密集带、软弱夹层、缓倾角夹泥裂隙等地质缺陷处理,应符合设计要求。
- (4)坝基开挖处理完成后,地质勘测单位及时提供坝基竣工地质图,施工单位应及时提供坝基竣工地形图。缺少该项资料,后续工序不得施工。

二、坝体砌石的质量控制要求

- (1)坝体砌筑应采用铺浆法。
- (2)在胶结材料初凝前,允许一次连续砌筑两层石块,应严格执行上下错缝,铺浆及填浆饱满密实的规定。
- (3)浆砌石坝结构尺寸和位置砌筑允许偏差应符合表1-2。

表 1-2 浆砌石坝结构尺寸和位置砌筑允许偏差

类 别	部 位		允许偏差 (cm)
平面控制	坝面分层	中心线	$\pm 0.5 \sim 1$
		轮廓线	$\pm 2 \sim 4$
	坝内管道	中心线	$\pm 0.5 \sim 1$
		轮廓线	$\pm 1 \sim 2$
竖向控制	重力坝		$\pm 2 \sim 3$
	拱坝、支墩坝		$\pm 1 \sim 2$
	坝内管道		$\pm 0.5 \sim 1$