

| SHENFUGAICENG JICHU HUNNINGTU MIANBAN |
DUISHIBA SHIGONG XIJISHU

深覆盖层基础混凝土面板 堆石坝施工新技术

杨金顺 主编



黄河水利出版社

深覆盖层基础混凝土 面板堆石坝施工新技术

杨金顺 主编

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

全书共有八章,即综述,大坝地基的开挖与处理,坝体分区和大坝填料的工程特性,坝料的开采,大坝应力应变及稳定分析,大坝主要施工技术,混凝土面板、趾板及连接板的施工技术,面板堆石坝的安全监测施工技术。

本书可供从事水利水电工程施工、监理及相关专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

深覆盖层基础混凝土面板堆石坝施工新技术/杨金
顺主编. —郑州:黄河水利出版社,2015. 12
ISBN 978 - 7 - 5509 - 1313 - 4

I. ①深… II. ①杨… III. ①混凝土面板坝 - 堆
石坝 - 工程施工 IV. ①TV641.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 299368 号

组稿编辑:贾会珍 电话:0371 - 66028027 E-mail:xiaojia619@126.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 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:河南省承创印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:14.75

字数:400 千字

版次:2015 年 12 月第 1 版

印数:1—1 000

印次:2015 年 12 月第 1 次印刷

定价:38.00 元

前 言

随着我国水利水电建设事业的发展,混凝土面板堆石坝因具有就地取材、经济性好、施工简便、安全性高,特别是有利于环境等多种优点,目前已成为 40 多年来得到很大发展的一种新的坝型并被普遍采用。20 世纪 90 年代初,有关方面开始对混凝土面板堆石坝工程预可行研究和可行性研究。从各种因素比选,面板堆石坝都是最优选择。所以,混凝土面板堆石坝是目前坝工建设中最具竞争力和最具发展前景的坝型之一。

这些年来,随着面板堆石坝技术的发展,面板堆石坝坝高的不断增加和坝址地形条件及工程地质的日趋复杂,工程中对深层(30 m)以上的复杂覆盖地层上的面板堆石坝应力变形分析的理论和分析手段,从设计和施工方面也提出越来越高的要求。对于百米以上的高面板坝,在 30 m 以上的深覆盖层修建坝体,如何正确预测和防治坝体在各种工况条件下的变形趋势,并在此基础上优化坝体的设计和提高施工技术,确保面板受力的均匀、坝体的稳定安全已成为面板堆石坝设计和施工中的关键问题。

自 20 世纪 90 年代以来我国混凝土面板堆石坝的数量逐渐增多,通过我国科学技术工作者及工程技术人员 40 多年来的不懈努力,以及“八五”“九五”国家科技攻关项目和水利水电行业的重点科技项目,我国的混凝土面板堆石坝的设计与施工取得了自主创新的成果。

我国十分重视科学技术的自主创新和开发应用,随着国家将混凝土面板堆石坝的关键技术列入“七五”“八五”“九五”国家重点科技攻关项目和国家自然科学基金课题及水利水电行业的重点科技项目。全国的水利科技工作者和工程技术人员已经对深覆盖层上修建混凝土面板堆石坝进行了大量的和系统的科技攻关和技术开发。黄河勘测设计有限公司对深覆盖层的地质状况进行了研究。河南省水利厅专家和河南省水利第一工程局的实践科研取得了丰硕的研究成果——高压旋喷灌浆新技术处理深基(30 m),应用于河口村水库中,丰富了混凝土面板堆石坝的知识宝库。经过水利部对河口水库大坝的工程技术咨询、审查、鉴定及质量评价等工作(涉及混凝土面板堆石坝的填筑材料,坝体分区面板防裂,基础稳定的分析,安全监测计算和深覆盖层基础上修建面板堆石坝等方面),深感有必要进行系统的总结,力求在混凝土面板堆石坝工程从完成经验的积累发展到理论现状和实践施工规律掌握的道路上有一定的贡献。

本书中所介绍的大坝基础处理为目前国内同类坝型中最为复杂的深层基础,处理方式国内同类坝型的首例,在大坝填筑方面采用 GPS 高精度实时监控技术与数控方法相结合来确保大坝的填筑质量。

本书是一部介绍在深覆盖层基础上修建混凝土面板堆石坝的参考技术书籍,突出加强实践、培养能力、使用需要的基本原则。注重应用先进性、实用性及操作性。它在系统地总结和学习国内外类似工程先进经验的基础上,结合河南省河口村水库工程的实践情况全面总结了河口村水库面板堆石坝设计、施工新理念,详细介绍了在深覆盖层基础上修

建混凝土面板堆石坝的关键创新技术体系和施工经验及实践方面的最新发展与成就。

本书由杨金顺担任主编,由江永安、谢俊国、陈建国担任副主编,姚党照、杨慧勤、郭文良、魏水平、吕超勇、田家兴、郭林山、潘路路参加编写。

本书引用了大量的设计科研成果和文献资料,在此向其作者表示衷心的感谢。

由于本书涉及的专业多,加之编者水平有限,书中不当之处难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 9 月

目 录

第一章 综 述	(1)
第一节 工程概况与基本地质条件	(1)
第二节 填筑料源	(8)
第二章 大坝地基的开挖与处理	(10)
第一节 国内外深覆盖层基础混凝土面板堆石坝的主要特性及实例	(10)
第二节 深覆盖层基础混凝土面板堆石坝地基处理的研究	(14)
第三节 河床覆盖层的处理	(16)
第四节 坝基处理试验成果分析	(22)
第五节 河口村水库大坝工程施工特性	(41)
第六节 水利部专家咨询组对河口村水库施工意见	(42)
第七节 趾板基础灌浆	(44)
第八节 基础的开挖	(45)
第三章 坝体分区和大坝填料的工程特性	(49)
第一节 坝体分区的原则	(49)
第二节 河口村水库大坝填筑料分区的工程特性	(49)
第四章 坝料的开采	(55)
第一节 坝料开采的主要内容	(55)
第二节 坝料开采的设计思路	(57)
第三节 爆破试验	(63)
第四节 河口村水库料场石料开采施工方案	(68)
第五节 坝料开采中的爆破技术	(77)
第五章 大坝应力应变及稳定分析	(83)
第一节 大坝及趾板边坡的稳定指标	(84)
第二节 大坝应力应变的分析方法	(93)
第三节 河口村水库大坝应力应变的分析计算	(95)
第六章 大坝主要施工技术	(130)
第一节 施工导流与坝体度汛	(130)
第二节 大坝填料的先期工作	(137)
第三节 大坝的填筑工艺要求	(143)
第四节 大坝坝体反向排水及下游排水沟的施工技术	(151)
第五节 挤压边墙的施工工艺和方法	(154)
第六节 喷乳化沥青的技术要求和施工方法	(161)
第七节 面板接缝止水的施工技术	(162)

第七章 混凝土面板、趾板及连接板的施工技术	(175)
第一节 面板、趾板、连接板的施工技术要求	(175)
第二节 面板、趾板、连接板的混凝土浇筑	(176)
第三节 面板、趾板、连接板的模板安装要求	(179)
第四节 面板钢筋的制安技术要求	(186)
第五节 面板、趾板、连接板在特殊气候下的施工技术	(187)
第六节 面板、趾板、连接板的混凝土养护	(189)
第七节 混凝土面板的防裂措施技术研究	(190)
第八节 混凝土面板、趾板、连接板质量无损检测	(193)
第九节 喷混凝土厚度快速测试	(206)
第十节 趾板的抬动观测	(207)
第十一节 大坝面板脱空无损检测方法	(208)
第八章 面板堆石坝的安全监测施工技术	(211)
第一节 混凝土面板堆石坝的安全监测工作遵循的原则和要求	(211)
第二节 主要监测项目及内容	(213)
第三节 监测仪器现场检测和评定	(214)
第四节 常用监测仪器安装埋设技术	(214)
第五节 仪器安装埋设的土建施工及各部位的监测方法	(217)
第六节 安全监测仪器埋设的质量控制	(220)

第一章 综 述

第一节 工程概况与基本地质条件

一、工程概况

河口村水库位于黄河一级支流沁河峡谷段出口五龙口以上约 9 km 处,河南省济源市克井镇境内,距离济源市 22 km,是通过三门峡、小浪底、故县、陆浑、河口村五座水库的联合调节运用的水利枢纽工程。水库正常蓄水位 275 m,相应库容 2.47 亿 m^3 ,水库总库容 3.17 亿 m^3 ,校核洪水位 285.43 m,设计洪水位 285.43 m,电站的装机容量 11.6 MW。开发的任务是以防洪、供水为主,兼顾灌溉、发电、改善河道基流等综合利用。工程等别为 II 等大(2)型,永久性主要建筑物中混凝土面板堆石坝级别为 1 级,泄洪洞、溢洪道、引水发电洞进口建筑物级别为 2 级,供水发电洞、电站、厂房级别为 3 级;次要建筑物为 3 级;临时建筑物为 4 级。

河口村水库的平面布置见图 1-1。



图 1-1 河口村水库的平面布置

河口村水库面板堆石坝坝顶高程 288.5 m,坝顶长度 530 m,最大坝高 122.5 m,坝顶宽度 9.0 m,大坝上、下游坡面坡比均为 1:1.5。坝体填筑分为 10 个区域,即垫层区、特殊垫层区、过渡区、主堆石区、下游次堆石区、下游石渣压坡区、上游防渗区、防渗补强区、粉煤灰区、上游石渣盖重区等组成。大坝填筑工程量包括上游铺盖和下游石渣压坡在内共计 734 万 m^3 。面板厚 0.3~0.72 m,受压区面板宽 12 m、受拉区面板宽 6.0 m,共 47 块。

面板混凝土体积 2.9 万 m^3 。

趾板布置形式为水平线的形式,趾板的宽度根据基岩的允许水力梯度和基础处理措施确定。弱风化基岩的允许水力梯度为 10~20。本工程两岸趾板全部坐落在较坚硬完整的弱风化基岩上。两岸趾板的宽度和厚度按水头高程分别采用 10 m、8 m、6 m 三种宽度,厚度相应为 0.9 m、0.7 m、0.5 m。趾板与防渗墙连接采用柔性连接,采用单连接板,连接板长度为 4 m、厚度为 0.9 m。连接板与趾板和防渗墙之间设置止水,同时在其底部铺设 1.0 m 厚垫层料。

二、基本地质条件

(一) 地形地貌及物理地质现象

坝址区位于龟头山北侧,河谷为 U 形峡谷,谷坡覆盖层较薄,大部分基岩裸露;河谷底部主要为河槽、漫滩和少量残存的 I、II 级阶地,河谷底宽 134 m,坝顶河谷宽 450 m。由于组成河谷的岩层软硬相间,使两岸谷坡陡缓不同,呈台阶状。左岸有老断沟,右岸有余铁沟,以悬谷形式与主河道相交。

坝址区内古河道分布在河谷右岸,古河道底部有零星河流相粉砂与砂卵石,厚度 10 m 左右,其上为坡积岩块、碎石及砂壤土,最厚 30 m 左右,无分选性,局部被钙质胶结。在坝肩,古河道堆积物质大部分被现代河流侵蚀掉,山坡上仅残存零星且很薄的堆积物,分布高程 250~270 m。

岸边卸荷裂隙带深度与岩性、风化程度、自然坡度和坡高有关。一般是坡度陡、高度大的岸坡,卸荷裂隙带深度亦大,岩性软的岸坡风化程度强;反之,卸荷带浅,风化程度弱。坝址区垂直卸荷带深度一般为 5~11 m,水平卸荷带深度为 8~15.3 m。 $\epsilon_1 \text{m}^3$ 板状泥灰岩多呈强风化, Pt_2r 硅质碎屑岩一般呈弱风化。

(二) 地层岩性

坝址区出露的地层有太古界登封群、中元古界汝阳群、古生界寒武系及第四系。

1. 太古界登封群(Ard)

太古界登封群(Ard)出露在坝址区河床部位,以五庙坡断层为界,断层以北顶面高程为 180~265 m。太古界登封群是一套经受区域变质作用形成的杂岩体,岩性以花岗片麻岩为主,其次为正长片麻岩、石英片麻岩、云母石英片岩,含少量铁质石英碧玉岩。在岩体内,尚有肉红色酸性花岗伟晶岩、细晶岩及基性角闪蛇纹岩的侵入体,产状呈小型的岩脉或岩株。个别地段太古界登封群(Ard)顶面,存在 0~0.5 m 厚的云母富集层。

太古界登封群(Ard)一般岩体较完整,力学性质指标较高,透水性微弱,出露在坝基、隧洞部位,与工程关系密切。

2. 中元古界汝阳群(Pt_2r)

中元古界汝阳群(Pt_2r)与下伏太古界登封群呈角度不整合接触。从下至上可划分以下三个岩组。

1) 云梦山组(Pt_2y)

云梦山组(Pt_2y)为底砾岩,厚 0~14 m,局部尖灭。岩性为灰白色、肉红色厚层石英砾岩夹透镜状石英粗砂岩。砾石成分为石英岩,粒径为 1~30 cm,磨圆度好,基底式硅铁

质胶结。

2) 白草坪组 (Pt_2b)

白草坪组 (Pt_2b) 出露厚度 0 ~ 25 m, 一般厚 7 ~ 15 m, 在龟头山顶尖灭。下部为紫红色条带状粗砂岩, 具波痕与楔形斜层理, 至四坝线, 砂岩下部过渡为石英角砾岩, 粒径为 1 ~ 10 cm, 基底式硅质胶结。上部为紫红色粉砂质页岩, 夹灰绿色条带, 具泥裂。

3) 北大尖组 (Pt_2bd)

北大尖组 (Pt_2bd) 出露厚度 0 ~ 12 m, 一般厚 5 ~ 7 m, 金滩沟口该层尖灭。岩性为灰白、肉红色中厚层细粒石英岩状砂岩, 层面间夹紫红色页岩。

中元古界汝阳群岩性坚硬, 隐裂隙发育, 地形上常形成陡坎, 分布在坝肩、隧洞等部位, 与水库工程关系密切。

3. 古生界寒武系 (ϵ)

古生界寒武系 (ϵ) 与下伏中元古界汝阳群呈平行不整合接触, 底部见角砾状石英砂岩。与本工程相关的主要有馒头组、毛庄组等。

1) 馒头组 (ϵ_1m)

馒头组 (ϵ_1m) 为一套浅海相沉积的碳酸岩、碎屑岩互层, 总厚 94 ~ 105.6 m。根据岩性组合及水文工程地质特征, 馒头组从下至上可划分为六个岩段。

ϵ_1m^1 : 灰色薄层白云岩, 角砾状白云岩。局部有底砾岩及泥灰岩夹层, 厚 0 ~ 8.86 m, 一般厚 3 ~ 5 m, 局部缺失。

ϵ_1m^2 : 灰色厚层白云岩, 含少量燧石结核, 厚 4.5 ~ 7.36 m。

ϵ_1m^3 : 厚 11.9 ~ 13 m。下部为浅灰黄色含燧石结核泥灰岩, 具泥化夹层及滑动镜面, 厚 4.4 m; 中部为灰色中厚层灰质白云岩, 厚 2.6 ~ 3.0 m, 因层间滑动挤压, 岩体破碎, 沿褶皱轴部及小断层发育溶洞, 洞壁与裂隙中充填方解石脉体; 上部为浅灰黄色泥灰岩, 含夹泥, 厚 4.0 m; 顶部为浅灰色灰质白云岩, 厚 0.9 m。

ϵ_1m^4 : 灰绿色板状白云岩夹紫红色页岩, 下部含泥化夹层, 厚 39 ~ 40 m。

ϵ_1m^5 : 灰色泥质条带灰岩、白云岩夹页岩, 灰岩中有不贯通的溶蚀小孔, 中部含碎屑夹泥层, 厚 20 ~ 21 m。

ϵ_1m^6 : 紫红色页岩、粉砂岩夹浅色灰岩、白云岩, 厚 18 ~ 20 m。

馒头组岩性软硬相间, 地形上常形成缓坡。分布在两坝肩、隧洞及溢洪道部位, 与水库工程关系密切。

2) 毛庄组 (ϵ_1mz)

毛庄组 (ϵ_1mz) 在地形上呈陡坎, 分布在坝肩等部位, 根据岩性组合, 从下而上可分为三个岩段。

ϵ_1mz^1 : 暗紫红色含白云母铁质粉砂岩与浅灰色鲕状灰岩互层, 厚 10 ~ 12 m。

ϵ_1mz^2 : 灰色厚层鲕状灰岩, 具缝合线构造, 厚 11 ~ 15.5 m。

ϵ_1mz^3 : 灰色结晶灰岩、团块灰岩夹钙质页岩, 厚 12 ~ 13 m。

3) 徐庄组 (ϵ_2x)

徐庄组 (ϵ_2x) 为一套浅海相黏土岩—碳酸盐岩沉积, 出露在沁河谷坡上, 厚约

105 m, 从下而上分为四个岩段。

$\epsilon_2 x^1$: 紫灰色钙质页岩夹薄层灰岩与粉砂岩, 厚 28 m。

$\epsilon_2 x^2$: 下部为灰白色钙质石英砂岩、肉红色砂质灰岩; 中部为紫灰色钙质页岩、粉砂岩互层; 上部为灰色砂质鲕状灰岩, 具斜交层理, 厚 27 m。

$\epsilon_2 x^3$: 灰绿色页岩与深灰色鲕状灰岩互层, 厚 35 m。顶部有一层三叶虫碎屑灰岩, 具大型波痕。

$\epsilon_2 x^4$: 深灰色板状泥质灰岩, 具溶蚀裂隙及波痕, 透水性较强, 厚 15 m, 顶部有一层豆鲕状灰岩。

4. 第四系(Q)

第四系(Q) 出露在河床及岸坡上, 根据所在地貌单元与成因分述如下。

1) 上更新统(Q_3)

龟头山古滑坡堆积物(Q_3^{del}): 岩性为破碎松动岩体、岩块及碎石, 局部钙质胶结, 厚 10~40 m, 分布高程 260~300 m。

古崩塌堆积物(Q_3^{col}): 岩性为巨型鲕状灰岩岩块及碎石, 局部钙质胶结, 分布高程 220 m 以上。

沁河余铁沟古河道堆积物(Q_{31}^{al+dl}): 底部为卵石及粉砂, 上部为坡积岩块、碎石及壤土, 厚约 30 m, 分布高程 245 m 以上。Ⅲ级阶地堆积物: 砂卵石、碎石夹黏性土。

2) 全新统(Q_4)

坡积、洪积岩块、碎石及壤土(Q_4^{dl+pl}); Ⅱ级阶地堆积物(Q_{41}^{al}): 下部为砂卵石夹黏性土, 上部为壤土; Ⅰ级阶地堆积物(Q_{42}^{al}): 下部为砂卵石层, 上部为壤土; 河床堆积物(Q_{43}^{al}): 岩性为含漂石砂卵石层夹黏性土及砂壤土, 最大厚度 47.97 m。

(三) 地质构造

坝址区位于盘古寺断层以北, 本工程主要涉及两个构造单元, 即余铁沟至老断沟以北的单斜构造区; 两沟以南至五庙坡断层间的龟头山褶皱断裂发育区。

1. 单斜构造区

岩层走向近于东西, 向北缓倾, 倾角 $3^\circ \sim 10^\circ$, 断层与褶皱不发育, 且规模小, 构造形迹微弱。但在馒头组下部, 发育一拖曳褶皱层, 其中伴生构造夹泥及裂隙溶洞。褶皱层厚 32~34 m, 包含 $\epsilon_1 m^1$ 、 $\epsilon_1 m^2$ 、 $\epsilon_1 m^3$ 和 $\epsilon_1 m^4$ 下部等岩层, 以中部 $\epsilon_1 m^3$ 岩层变形最强烈, 岩体柔皱破碎。该层分布在坝肩, 延至坝址上游。

层间小逆断层常常与褶皱相伴而生, 同一构造, 往往下部是断层, 上部变为皱(褶), 断层产状为 $280^\circ \sim 300^\circ \text{ NE } \angle 50^\circ$, 断距小于 1 m。破劈理在页岩及板状白云岩中比较发育, 产状为 $280^\circ \sim 300^\circ \text{ NE } \angle 50^\circ \sim 70^\circ$, 透水性强。

2. 龟头山褶皱断裂发育区

该区共发育 5 条较大规模的压性断层(F9、F10、F11、F12、F14) 及两个褶皱束。F9、F10、F11 为逆断层, 走向为 $270^\circ \sim 300^\circ$ 。除地表出露的规模较大的断层外, 临近五庙坡断层带附近发育有大量小断层, 这些小断层一般断距小、规模不大。

1) F11 逆掩断层

出露左坝肩, 出露高程 230 m 至河水面以下。断层走向 $300^\circ \sim 310^\circ$, 倾向 SW, 倾角

一般 $15^{\circ} \sim 27^{\circ}$ 。断层面呈舒缓波状,断距 $5 \sim 30$ m。断层带宽度 $0.5 \sim 2.0$ m,组成物质可分断层泥带和压碎岩带。泥带厚 $1 \sim 10$ cm,为含角砾的断层泥,遇水软化,分布不连续;压碎岩带厚 $0.4 \sim 1.9$ m,为碎裂的片麻岩夹构造透镜体,挤压紧密。在垂向上,断层局部分成三个破裂面,以 23° 为主破裂面。同时沿 F11 主断层带附近,发育多条缓倾角小断层。

2) F12、F14 断层

F12 断层走向 300° ,倾向 NE,倾角 35° ,为压性断层,断距 $5 \sim 7$ m,断层带宽度 $0.2 \sim 0.5$ m,断层带组成物质为断层泥及角砾岩,将 Pt_2b 粉砂岩推覆在 Pt_2bd 石英砂岩之上,有擦痕及镜面。F14 断层走向 $260^{\circ} \sim 290^{\circ}$,倾向 SE ~ SW,倾角 $53^{\circ} \sim 70^{\circ}$,断距 $3 \sim 8$ m,断层带宽 $0.05 \sim 0.3$ m,为正断层,断层带物质组成成分为岩块、岩屑夹泥等。

3) 褶皱束

坝址区有两处褶皱,为龟头山褶皱束及老断沟左岸褶皱束。

龟头山褶皱束发育在馒头组下部泥灰岩、页岩及板状白云岩中,褶皱由平行的两个小背斜及三个小向斜联合组成。轴向 $280^{\circ} \sim 290^{\circ}$,形态为不对称褶曲,北翼倾角 30° 到直立,南翼倾角小于 10° ,宽度约 60 m,岩层起伏差 $10 \sim 15$ m。

老断沟左岸褶皱束发育在中元古界汝阳群与寒武系馒头组下部岩层中,由平行的两背斜及一向斜组成。轴向 $280^{\circ} \sim 300^{\circ}$,北翼陡,倾角 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$,局部倒转;南翼缓,倾角一般 $5^{\circ} \sim 17^{\circ}$,形态为尖顶形倾斜褶皱,宽 $50 \sim 70$ m,岩层起伏差 $15 \sim 25$ m。

3. 五庙坡断层带

五庙坡断层带(F6、F7、F8)主要由 F6、F7、F8 三条近东西向的阶梯状正断层组成,断层带宽度 $6 \sim 70$ m,破碎带组成物质为散体结构的断层泥、含泥角砾及碎块岩。断层产状:F6 走向 270° ,倾向 S,倾角 $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$;F7 走向 $270^{\circ} \sim 280^{\circ}$,倾向 S 或 SW,倾角 $60^{\circ} \sim 87^{\circ}$;F8 走向 $270^{\circ} \sim 280^{\circ}$,倾向 S 或 SW,倾角 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。断层走向、倾向稳定,但倾角在不同高程上变化较大,一般上陡下缓,破碎带在剖面上呈上宽下窄的楔形体。在破碎带中,除上述三条断层外,还发育次一级小断裂。因此,五庙坡断层带是由很多断裂面与岩层面错综交汇组合的破碎岩体组成的。

4. 节理

坝址区主要发育 4 组节理:① 走向 $270^{\circ} \sim 290^{\circ}$,倾向 NE 或 SW,倾角 $60^{\circ} \sim 85^{\circ}$;② 走向 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ (多数倾向 E 或 SE),倾角 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ (多数为 85°);③ 走向 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$,倾向 SE,倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$;④ 走向 $340^{\circ} \sim 350^{\circ}$,倾向 NE 或 SW,倾角 $60^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。其中,以①组为最发育,②组次之,④组发育最弱。上述 4 组节理裂隙的共同特征是:延伸远、倾角陡、裂隙面光滑、平直、闭合,成簇出现。不同岩组,裂隙频率及各组节理发育程度不同。同一岩组不同岩性裂隙频率及各组节理发育程度亦有差异。

(四) 软弱夹层

坝址区分布的软弱夹层(泥化夹层)可归纳为以下三种类型:

第一种类型:分布在 $\epsilon_1 m^2$ 岩层顶面,主要为粉质壤土(试验定名)、岩屑及碎粒等。软弱夹层厚度一般为 $1 \sim 2$ cm,宏观上看是连续的。软弱夹层顶、底面差异较大,有些部位平整稍光滑,另一些部位凹凸粗糙。该类型对整体滑动起主要控制作用。

第二种类型:分布在 $\epsilon_1 m^3$ 泥灰岩层中,浸水易于泥化,主要为轻粉质、中粉质壤土。该软弱夹层多呈带状沿层间分布,连续性差,其物质组成与厚度较稳定。

第三种类型:分布在 $\epsilon_1 m^3$ 泥灰岩层间错动的切层破裂面中,其物质组成和第二类型基本相同,具有明显的破裂面,光滑如同镜面,往往延展不长,属局部性分布。

此外,在 $\epsilon_1 m^4$ 页岩夹层中及 $\epsilon_1 m^1$ 白云岩层间也有软弱夹层(泥化夹层)的分布,但其厚度和延展范围较之更小,其工程地质意义不大。

三、水文地质条件

坝址区水文地质条件复杂,地下水基本类型主要有松散层中的孔隙潜水和基岩裂隙水,两岸地下水位高于河水位,地下水补给河水。右岸分布寒武系馒头组,下部构造含水岩组(或透水层),厚32~34 m,属岩溶裂隙透水层,在水库蓄水后,将成为库水向外渗漏的主要通道。其下伏太古界登封群变质岩及中元古界汝阳群碎屑岩为相对隔水岩体。

左岸为龟头山褶皱断裂混合透水层区,透水性从上而下逐渐变小,底部为太古界登封群变质岩及中元古界汝阳群碎屑岩,为相对隔水岩体。在五庙坡断层以北,透水性自北向南逐渐变小,接近断裂带时,透水性又增大。

对坝址区的河水、河床砂卵石孔隙水及基岩裂隙水的水质分析,河口村水库坝址区地表水及地下水对混凝土皆无腐蚀性。

四、不良地质现象

(一)左岸古滑坡体

左岸古滑坡体分布在左岸坝肩,顺河向上至泄洪洞进口,下至龟头山端部;横河向上界为龟头山背斜轴部,下界为岸边260 m高程线。全长约560 m,宽约80 m,总体积估算为71万 m^3 。

该古滑坡体表部,由于长期剥蚀作用,从地貌上已看不出明显的滑坡特征,现状为一倾向河谷的缓坡地形,倾角 $20^\circ \sim 26^\circ$,岸坡小冲沟发育,但切割不深,多未切至滑床面,对滑体来说,仅是上部岩层受到冲蚀,形成不规则沟凹地形,而下部岩层仍为连续的整体;滑坡体现状已处于稳定平衡。在水库蓄水后,考虑地震及水位骤降等工况下,古滑坡体可能失稳。

滑坡体岩层主要是馒头组($\epsilon_1 m^3$ 、 $\epsilon_1 m^4$)泥灰岩、白云岩组成的破碎岩体,局部混有来自上部岩体崩塌的徐庄组页岩和张夏组灰岩岩块。根据岩体破碎程度和变形特点划分为两个区:靠近前缘段,破碎强烈,多为碎块状的为①区;向里至后缘段岩体以张裂变形为主,为②区。滑坡体岩层及滑床面皆倾向河谷,走向EW、倾向N、倾角 $3^\circ \sim 7^\circ$,滑床基底岩层为坚硬厚层的 $\epsilon_1 m^2$ 白云岩,滑床面上分布有薄层状夹泥。

(二)龟头山古崩塌体

龟头山古崩塌体形成初期为一整体,顺河长1200 m,后期被冲沟切割,形成零星小块,分散在左坝肩山脊上,共五处,宽50~210 m,厚10~30 m,分布高程225~450 m,总体积估算约100万 m^3 。局部崩塌体,盖在龟头山古滑坡之上。靠近左坝肩附近的几处,将会影响溢洪道边坡及引泄水隧洞进口边坡的稳定。

五、坝址区工程地质条件的评价

(一) 坝基河床覆盖层的工程地质条件

河床覆盖层主要是河床、漫滩及高漫滩河流冲积、洪积层。一般厚 30 m, 坝基处覆盖层最大厚度为 41.87 m。岩性为含漂石及泥的砂卵石层, 夹 4 层连续性不强的黏性土及 14 个砂层透镜体, 工程地质特征极不均匀。

坝基覆盖层含漂石的砂卵石层, 夹有 4 层黏性土夹层: 第一层, 顶面标高 173 ~ 175 m, 厚 2 ~ 3.7 m, 最厚 6.6 m; 第二层, 顶面标高 162 m 左右, 厚 0.5 ~ 1.5 m, 最厚 6.4 m; 第三层, 顶面标高 152 ~ 150 m, 厚 2 ~ 4 m, 最厚 6.2 m; 第四层, 顶面标高 148 ~ 142.65 m。砂层透镜体一般分布在河流凸岸, 长 30 ~ 60 m, 宽 10 ~ 20 m, 厚 0.2 ~ 5 m, 分布不连续。根据勘探资料, 大坝坝基范围内发现的砂层透镜体有 14 个, 主要分布在坝轴线附近及下游。

根据勘探, 河床砂卵石层中含漂石, 最大直径 5 m 以上, 一般 1 m 左右, 在表层 5 m 和底层 8 m 漂石分布较为密集。砂卵石层分上、中、下三层, 上层为含漂石卵石层, 自河床至高程 163 m, 厚度 10 m 左右; 中层为含漂石细砾石层, 高程 163 ~ 152 m, 厚度 10 m 左右; 下层为含漂石砂砾石层, 高程 152 m 以下至基岩, 厚度 10 ~ 15 m。

根据前期试验资料, 黏性土夹层的内摩擦角为 $19^{\circ} \sim 23^{\circ}$ (建议值), 而粉细砂透镜体及砂卵石层内摩擦角为 $27.5^{\circ} \sim 39.5^{\circ}$ (建议值), 因而黏性土夹层对坝基抗滑稳定有一定的控制作用。

根据已有地质资料, 黏性土夹层累计厚度 5 ~ 20 m, 为覆盖层总厚度的 $1/6 \sim 1/2$, 分布极不均匀, 压缩系数为 $0.1 \sim 0.2 \text{ MPa}^{-1}$, 属中低压缩性土; 砂卵石层的压缩系数为 $0.01 \sim 0.068 \text{ MPa}^{-1}$, 属低压缩土—不可压缩土; 根据标贯击数及相对密度, 砂层透镜体相当于中密—密实。上述三种物质, 不仅密实程度相差较大, 且在空间分布也很不均匀, 产生不均匀沉陷的可能性大。

砂卵石层中, 不均匀系数 $\eta = 350 \sim 675$; 砂层透镜体 $\eta = 16$, $d_{50} = 0.17 \text{ mm}$, 属易产生流砂或管涌的砂层。坝基砂卵石层均处于饱和状态, 渗透管涌和震动液化的可能性都是存在的。河床砂砾石层及其下伏基岩上部风化卸荷带透水性强。

鉴于坝基河床覆盖层深厚, 覆盖层的物理特性、抗剪变形特性差异较大, 且缺乏现场试验资料, 需在施工期间补充进行专门试验研究工作。

(二) 坝肩工程地质条件

1. 左坝肩工程地质条件

左坝肩开挖涉及的地层有 $\epsilon_1 m^4$ 、 $\epsilon_1 m^3$ 、 $\epsilon_1 m^2$ 、 $\epsilon_1 m^1$ 、 $Pt_2 r$ 和 Ard 等, 岩石多坚硬性脆, 经构造作用, 岩体卸荷强烈。左坝肩属褶皱断裂发育区, F11 逆掩断层、F12 断层、F14 断层、龟头山褶皱束分布在坝肩, 构造复杂。除地表出露的规模较大的断层外, 临近五庙坡断层带附近发育有大量小断层, 岩体中尚发育 4 组节理。开挖边坡总体稳定性较差, 加上边坡高陡, 发生崩塌、落石的可能性都是存在的。

左岸坝肩基本处于龟头山褶皱断裂发育区, 构造发育, 岩体破碎。坝肩上部寒武系地层, 属极强、强透水层。五庙坡断层带及以南地区, 为一强透水的低水位带。由于断层及

其影响带本身的强透水性,蓄水后水库沿透水层向断层带排泄。

2. 右坝肩工程地质条件

右坝肩为单斜构造,岩层向山内倾斜,倾角 $3^{\circ} \sim 10^{\circ}$,断层与褶皱不发育,且规模小,构造形迹微弱。开挖涉及的地层有 $\epsilon_1 m$ 、 $Pt_2 r$ 和 Ard 等岩层,下部 $Pt_2 r$ 、 Ard 岩层岩石多坚硬性脆,上部 $\epsilon_1 m$ 地层岩石较软弱,浅表部岩体卸荷较强烈,大部分充填次生泥,节理裂隙较发育,地质条件优于左岸坝肩,但施工中仍需要注意浅表部卸荷裂隙作用的松动岩块及由于裂隙切割组合形成的不稳定块体。

水库蓄水后,库水将通过透水层呈承压式向下游绕渗,馒头组下部($\epsilon_1 m^4$ 、 $\epsilon_1 m^3$ 、 $\epsilon_1 m^1$)岩溶发育,透水性强。

第二节 填筑料源

大坝填筑料来源有两大部分,分别是各建筑物开挖利用料和料场开采取料。河口水库天然建筑材料主要是石料和土料。

一、石料场

河口村石料场位于坝址下游沁河右岸的河口村村南冲沟西侧。产区属低山丘陵区,自然坡度 $20^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。料场岩石基本裸露,岩层厚度及质量较稳定,风化轻微,为Ⅱ类料场。

料场中上部为中奥陶统上马家沟组($O_2 m^2$)灰色厚层状白云岩、白云质灰岩和灰岩,局部夹有 0.1~0.5 m 泥灰岩;下部为中奥陶统下马家沟组($O_2 m^1$)的上部灰色白云质灰岩夹页岩、泥质灰岩,由于该层含薄层页岩和泥灰岩较多,其强度、块度不能满足块石料和人工混凝土骨料的质量要求,故以其顶面作为块石料场开挖下限。

料场系裸露的单斜岩层,岩层产状:倾向 $NW300^{\circ}$ 左右,倾角 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$,表层强风化层一般厚 1~1.5 m。近东西向的小断裂比较发育,断距均较小。主要发育 2 组节理:①走向 270° ,倾向 S,倾角 $70^{\circ} \sim 85^{\circ}$,节理间距 0.2~0.7 m;②走向 44° ,倾向 SE,倾角 87° 左右,节理间距 0.8~1.5 m。

由试验结果可知,岩石饱和抗压强度 41.4~152 MPa,平均值 92.6 MPa;干密度 2.71~2.84 g/cm³,平均值 2.77 g/cm³;软化系数 0.43~0.96,平均值 0.80;冻融损失率 0.01%~0.60%,平均值 0.06%,料场石料满足块石料质量要求。

河口村块石料用作人工混凝土粗骨料时,其干密度、饱和抗压强度、吸水率、冻融损失率(硫酸盐及硫化物含量)等指标均满足技术质量要求,同时碱活性试验结果初步表明,岩石不具有碱活性,满足混凝土粗骨料的质量技术要求。

石料场采挖范围建议下部界线控制在中奥陶统下马家沟组($O_2 m^1$)顶面,料场勘探储量约 1 700 万 m³,开采边坡建议采用阶梯状,台阶高度 8~15 m,坡比 1:0.3~1:0.6。

综上所述,河口村石料场石料质量满足相关规范中对块石料和混凝土人工骨料的质量技术要求。料场储量较丰富,无地下水出露,施工场地开阔,距坝址区直线距离 2~3 km,开采和运输比较便利。

由于河口村石料场开采范围边缘距离河口村和侯月铁路较近,石料场爆破开采时应考虑对河口村居民和建筑的影响,同时考虑对侯月铁路安全行车的影响,合理设计爆破开采方案。

二、土料场

土料主要用于大坝面板前防渗铺盖和围堰防渗体填筑等的用料。

谢庄土料场位于坝址上游沁河左岸,谢庄村旁,距坝址 4~5 km。土层分布不均一,呈窝状,纵向和横向岩性变化均较大。料场上部为冲洪积低液限黏土;下部为冲洪积砂砾石层。可开采土层厚度 1~5 m。根据试验资料,土料中黏粒含量约 22% (平均值),以低液限黏土为主。初步估算储量为 15 万 m^3 。

松树滩土料场位于坝址上游沁河右岸,松树滩村旁,距坝址 3 km 左右。料场被冲沟切割为东、西两块。冲沟西为①区,为山前洪积相的低液限黏土夹薄层碎石,黏粒含量平均约 16%;冲沟东为②区,为红褐色含钙质结核和夹钙质结核层的低液限黏土,碳酸盐含量较高,黏粒含量平均约 23%,地面起伏较大,呈倾向河谷的阶梯状地形。初查勘探储量约 16 万 m^3 。

由于两料场质量不稳定,含有较多的钙质结核和碎石,黏粒含量偏低,呈窝状分布,建议开采时可考虑适当筛选,以剔除部分碎石等杂质。

第二章 大坝地基的开挖与处理

第一节 国内外深覆盖层基础混凝土面板堆石坝的主要特性及实例

当挖出比较深厚的河床覆盖层时,将趾板建在基岩上势必增加工程的投资和工期,甚至是难以实施的,因此出现了趾板建在深覆盖层上的混凝土面板堆石坝。其技术经济指标可能比心墙堆石坝或斜墙堆石坝更为优越,特别是缺少了防渗黏土料的坝址区。

1939 年世界上第一座将趾板建在深覆盖层上的混凝土面板堆石坝是国外阿尔及利亚的布·汉尼菲亚(Bon Hanifia)坝,坝高为 54 m,覆盖层最大厚度为 72 m,是微胶结的细砂层,坝基防渗措施是 4 m 厚的混凝土墙。据不完全统计,国外趾板建在深覆盖层上的混凝土面板堆石坝有 6 座,如表 2-1 所示。

表 2-1 国外趾板建在深覆盖层上的混凝土面板堆石坝

坝名	国家	建成年份	坝高(m)	覆盖层厚度(m)	覆盖层特性	坝基防渗措施
布·汉尼菲亚 (Bon Hanifia)	阿尔及利亚	1939	54	72	微胶结细砂层	4 m 厚混凝土防渗墙
凯母波·莫洛	意大利	1959	34.5	21	砂砾石层	2 m 厚塑性混凝土防渗墙
圣塔·扬纳 (Santa Junan)	智利	1995	106	30	冲积砂砾石层,细粒含量低(<10%),渗透性和压缩性低	0.8 m 厚防渗墙,混凝土强度 10 MPa;上部 6 m 为钢筋混凝土,强度 20 MPa
帕克拉罗 (Puclaro)	智利	1999	83	113	冲积砂砾石层,细粒含量低(<10%),渗透性和压缩性低	0.8 m 厚防渗墙深 60 m (悬挂),混凝土强度 10 MPa;上部 6 m 为钢筋混凝土,强度 20 MPa
皮其·皮克·卢浮 (Pichi Picun Leufu)	阿根廷	1995	40	30	砂砾石层夹薄层细砂	混凝土防渗墙
洛斯·卡拉科莱斯 (Los Caracoles)	阿根廷	2003	138		砂砾石层	混凝土防渗墙