

XIXIAYUAN FANTIAOJIE SHUIKU DABA
FUHE TUGONGMO YINGYONG SHIJIAN

西霞院反调节水库大坝 复合土工膜应用实践

殷保合 编著



黄河水利出版社

XIXIAYUAN FANTIAOJIE SHUIKU DABA
FUHE TUGONGMO YINGYONG SHIJIAN

西霞院反调节水库大坝 复合土工膜应用实践

殷保合 编著

书
章



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书共分八章,介绍了西霞院反调节水库的工程概况,从土石坝的选型,土工膜的选型、采购、施工工艺研究和铺设,以及工程运行监测与分析等方面进行了全面总结,并提出了好的建议。

该书是围绕西霞院反调节水库大坝土工膜研究和应用编写的一本技术专著,这对国内外土工膜的深入研究和推广应用起着重要作用,可为类似工程提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

西霞院反调节水库大坝复合土工膜应用实践 / 殷保合编著.
郑州: 黄河水利出版社, 2010.7
ISBN 978-7-80734-866-5

I. ①西… II. ①殷… III. ①水库—大坝—复合材料—膜—
研究—洛阳市 IV. ①TV4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 139176 号

组稿编辑: 简群 电话: 0371-66026749 E-mail: W_jq001@163.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: hhs1cbs@126.com

承印单位: 河南省瑞光印务股份有限公司

开本: 787 mm × 1 092 mm 1 / 16

印张: 13

插页: 4

字数: 233 千字

印数: 1—1 400

版次: 2010 年 7 月第 1 版

印次: 2010 年 7 月第 1 次印刷

定价: 36.00 元

前 言

西霞院反调节水库是黄河小浪底水利枢纽的配套工程。工程位于河南省洛阳市以北的黄河干流上，上距小浪底水利枢纽 16 km。坝址左岸是洛阳市吉利区、济源市，右岸为孟津县，下距郑州 116 km。该项工程建设，对于提高小浪底水利枢纽的综合效益，实现黄河水资源优化配置具有重要意义。西霞院反调节水库通过对小浪底水电站调峰发电的不稳定流进行再调节，可使下泄水流均匀稳定，满足黄河下游河段的工农业用水及河道整治工程安全要求，有效缓解“电调”与“水调”的矛盾，对于充分发挥小浪底水利枢纽综合效益具有不可替代的作用。

西霞院反调节水库为大(2)型水利工程，枢纽建筑物由左岸土石坝、河床式电站厂房、排沙洞、泄洪闸、王庄引水闸、右岸土石坝、坝后灌溉引水闸、右坝肩上游沟道整治工程、下游右岸防护工程等建筑物组成。工程以反调节为主，结合发电，兼顾供水、灌溉等综合利用，可保证下游河道流量在 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上，将从根本上消除小浪底下泄的不稳定流对下游河道的不利影响，使小浪底水库发挥更大的社会、经济效益。同时，利用西霞院水库，可以增加下游供水 1 亿 m^3/a 。从西霞院电站尾水引水，可以发展灌区面积 113.8 万亩。西霞院电站安装 4 台单机容量 35 MW 的水轮发电机组，总装机容量 140 MW，多年平均发电量 5.83 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

西霞院工程总工期 5.5 年，其中前期准备工程工期 1 年，主

体工程工期 4.5 年。2003 年初，西霞院前期工程开工。2004 年 1 月 10 日主体工程开工；2006 年 11 月 6 日截流；2007 年 5 月 30 日下闸蓄水，2007 年 6 月 18 日首台机组并网发电；2008 年 6 月主体工程全部完工。

土工膜作为一种新型防渗材料，在西霞院反调节水库这种大(2)型水利工程中大规模地采用，在我国水利工程建设中尚属首次。西霞院大坝铺设土工膜达 12.8 万 m^2 ，坝坡上土工膜连接的纵缝、横缝、铆接缝长度达 35 000 余 m。土工膜防渗技术在大型工程上应用的安全问题一直受到了水利行业人士的广泛关注，西霞院反调节水库大坝上复合土工膜的成功应用，对土工膜防渗技术的深入研究和推广应用起着重要作用。为此，从土石坝的选型研究和土工膜选型、土工膜采购与质量控制、施工工艺研究与铺设以及工程运用监测与分析等方面进行了全面总结，提出建议，特编写了《西霞院反调节水库大坝复合土工膜应用实践》一书，将为我国土工膜防渗的深入研究和推广应用起到一定作用。

西霞院工程的建设得到了水利部的殷切关怀，得到了地方政府和兄弟单位的大力支持与帮助，得到了参与工程建设和运行管理的专家、学者的指导。本书由殷保合编著和统稿，参加编写的人员还有肖强、张东升、赵永涛、曹国利、李立刚、束一鸣、王琳、宋书克、唐红海，同时引用了大量的科技成果及文献资料，在此一并表示衷心的感谢。

编 者

2010 年 7 月

目 录

前 言

第 1 章 工程概况	(1)
1.1 工程开发目标	(1)
1.2 枢纽建筑物	(1)
1.3 工程建设历程	(2)
1.4 区域气象资料	(3)
1.5 水文资料	(4)
1.6 地质条件	(5)
1.7 工程地质评价	(7)
第 2 章 土石坝选型研究和土工膜选型	(10)
2.1 概述	(10)
2.2 壤土心墙坝	(11)
2.3 复合土工膜斜墙坝	(20)
2.4 方案比较	(33)
2.5 复合土工膜规格型号确定	(37)
2.6 工程采用的复合土工膜主要设计控制指标	(45)
2.7 基础处理	(46)
第 3 章 复合土工膜采购与质量控制	(47)
3.1 复合土工膜采购	(47)
3.2 质量检测	(51)
第 4 章 复合土工膜施工工艺研究	(64)
4.1 施工工艺研究的意义和必要性	(64)
4.2 工程现场条件下土工膜焊接的参数优化	(64)
4.3 焊缝缺陷补焊(包括补丁)工艺研究	(82)
4.4 坝面普通部位的土工膜铺设	(83)
4.5 土工膜关键部位铺设工艺	(85)
4.6 支持层与保护层的施工工艺	(87)
4.7 PE 膜焊缝质量检测方法	(89)

4.8	复合土工膜相互黏结的材料与工艺研究	(91)
4.9	复杂部位土工膜连接的技术评估	(94)
第 5 章	复合土工膜铺设施工	(105)
5.1	复合土工膜斜墙施工	(105)
5.2	施工质量控制	(147)
第 6 章	工程运用初期复合土工膜监测成果与分析	(148)
6.1	监测断面布设和监测仪器布置	(148)
6.2	复合土工膜相关监测仪器安装埋设	(151)
6.3	复合土工膜监测资料整理与初步分析	(171)
6.4	土工膜防渗分析	(187)
第 7 章	复合土工膜试验区检测	(195)
7.1	背景	(195)
7.2	试验区情况	(195)
7.3	试验部位的确定和样品准备	(195)
7.4	试验区原材料检测	(196)
7.5	现场复合土工膜连接示意图	(198)
第 8 章	建 议	(201)
	参考文献	(203)

第 1 章 工程概况

西霞院反调节水库是黄河小浪底水利枢纽的配套工程。工程位于河南省洛阳市以北的黄河干流上,上距小浪底水利枢纽 16 km。坝址左岸是洛阳市吉利区、济源市,右岸为孟津县。坝址距郑州 116 km。该项工程建设,对于提高小浪底水利枢纽的综合效益,实现黄河水资源优化配置具有重要意义。西霞院反调节水库通过对小浪底水电站调峰发电的不稳定流进行再调节,可使下泄水流均匀稳定,满足黄河下游河段的工农业用水及河道整治工程安全要求,有效缓解“电调”与“水调”的矛盾,对于充分发挥小浪底水利枢纽综合效益具有不可替代的作用。

1.1 工程开发目标

西霞院工程开发目标是以反调节为主,结合发电,兼顾供水、灌溉等综合利用。作为小浪底水利枢纽的反调节水库,西霞院工程建成后,通过反调节,可保证下游河道流量在 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 以上,将从根本上消除小浪底水库下泄的不稳定流对下游河道的不利影响,使小浪底水库发挥更大的社会、经济效益。同时,利用西霞院水库,可以增加下游供水 1 亿 m^3/a 。从西霞院电站尾水引水,可以发展灌区面积 113.8 万亩。西霞院电站安装 4 台单机容量 35 MW 的水轮发电机组,总装机容量 140 MW,多年平均发电量 5.83 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

1.2 枢纽建筑物

西霞院工程为大(2)型 II 等工程。枢纽建筑物由左岸土石坝、河床式电站厂房、排沙洞、泄洪闸、王庄引水闸、右岸土石坝、坝后灌溉引水闸、右坝肩上游沟道整治工程、下游右岸防护工程等建筑物组成。其中左岸土石坝、河床式电站厂房、排沙洞、泄洪闸、王庄引水闸、右岸土石坝沿坝轴线呈折线形集中布置。坝顶总长 3 122 m(其中土石坝长 2 609 m,混凝土坝段长 513 m),土石坝坝顶高程 138.2 m,混凝土坝段坝顶高程 139.0 m。

土石坝布置于混凝土坝段的两侧,为复合土工膜斜墙砂砾石坝,坝顶宽 8.0

m, 大坝上游坝坡 1:2.75, 下游坝坡 1:2.25 和 1:2.5, 左侧土石坝长 1725.5 m, 右侧土石坝长 883.5 m。两岸滩地基础为砂壤土、砂层, 采用强夯方法处理; 河槽段坝体和截流围堰结合。坝基防渗采用混凝土防渗墙。

河床式电站布置在右岸滩地, 紧靠河槽段土石坝。主厂房长 179.6 m(包括左侧安装间), 宽 73.3 m, 高 63.3 m。安装 4 台轴流转桨式水轮发电机组, 单机容量 35 MW, 总装机容量 140 MW。安装间布置在主厂房的左侧。安装间下游侧布置中控楼。两台主变压器布置在 1 号、3 号机组尾水平台上。GIS 配电室布置在两台主变压器之间, 2 号机组尾水平台上。出线场布置在 GIS 配电室屋顶。尾水平台高程 129.50 m。

排沙洞位于电站厂房右侧, 坝段宽 24.5 m。设有 3 条排沙洞, 闸室洞身为平底布置, 底板高程 106.0 m, 洞身断面为矩形 4.5 m×4.8 m(宽×高)。出口采用底流消能, 消力池长 49.7 m(无尾坎)。

排沙底孔布置在 1 号、2 号、3 号机组段右侧, 共 3 孔, 与电站流道并列式布置。进口底板高程 106.0 m, 出口底板高程 99.48 m, 洞身尺寸为 3 m×5 m(宽×高)。

泄洪闸位于排沙洞右侧, 坝顶长 301.0 m, 共设 21 孔。其中左侧 7 孔为带胸墙的潜孔闸, 实用堰堰顶高程 121.0 m, 孔口尺寸 9 m×4.5 m(宽×高); 右侧 14 孔为开敞式闸, 堰型为 WESⅢ型, 堰顶高程 126.4 m, 闸门尺寸 12.0 m×7.6 m。出口采用底流消能, 消力池长 48.0 m。

王庄引水闸位于泄洪闸右侧, 为地方恢复工程。坝段宽 7.9 m, 分冲沙闸和引水闸两孔。冲沙闸底板高程 125.0 m, 孔口尺寸 2.0 m×1.0 m。引水闸底板高程 126.0 m, 设计引水流量 15.0 m³/s。灌溉引水闸位于电站下游左侧岸边, 结合导墙布置, 与尾水流向呈 50°夹角。闸型采用平底板胸墙闸孔型式, 底板高程 116.5 m。

坝顶公路和对外交通公路相连, 进厂公路由左侧土石坝坝顶沿坝下游坡降至电站尾水平台(高程 129.50 m), 并且通向灌溉引水闸。

1.3 工程建设历程

西霞院工程总工期 5.5 年, 其中前期准备工程工期 1 年, 主体工程工期 4.5 年。2003 年初, 西霞院前期工程开工。2004 年 1 月 10 日主体工程开工; 2006 年 11 月 6 日截流; 2007 年 5 月 30 日下闸蓄水, 2007 年 6 月 18 日首台机组并网发电; 2008 年 6 月主体工程全部完工。

西霞院主体工程项目共分为 5 个标,分别为基础开挖工程(I 标)、坝基基础处理工程(II 标)、土石坝填筑工程(III 标)、混凝土施工工程(IV 标)和机电安装工程(V 标)。

1.4 区域气象资料

西霞院反调节水库控制黄河流域面积 69.46 万 km^2 (其中小浪底至西霞院区间 400 km^2 ,占 0.06%)。坝址以上的黄河流域属大陆性季风气候。

根据坝址附近的孟津站 1961~1990 年气象要素统计资料,坝址处多年平均降水量 643.3 mm,最大年降水量为 1035.4 mm(1964 年),最小年降水量为 406 mm(1965 年)。降水年内变化较大,6~10 月降水量 464.2 mm,占全年的 72%,最大 1 d 降水量为 126.7 mm,发生在 1972 年 9 月 1 日。

坝址处多年平均气温为 13.7 $^{\circ}\text{C}$ 。气温年内分布不均,6~8 月较高,平均 25.1~26.3 $^{\circ}\text{C}$,1 月、2 月、12 月较低,平均-0.3~1.5 $^{\circ}\text{C}$ 。极端气温,最高 43.7 $^{\circ}\text{C}$ (1966 年 6 月),最低-17.2 $^{\circ}\text{C}$ (1969 年 1 月)。气象要素分别见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 坝址各月平均降水量

项目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
平均降水量(mm)	7.8	14.7	25.6	42.5	54.1	65.3	159.0	90.6	96.7	52.6	25.4	9.0	643.3
$\geq 0.1 \text{ mm}$ 天数(d)	3.4	4.9	6.4	7.5	7.5	7.3	12.3	10.4	10.0	8.0	4.6	2.8	85.1
$\geq 10 \text{ mm}$ 天数(d)	0.1	0.2	0.7	1.6	1.9	2.0	4.2	2.8	2.9	1.6	0.7	0.3	19.0
平均蒸发量(mm)	79.5	86.9	149.0	200.0	260.7	314.3	226.5	188.4	142.1	132.9	100.9	84.7	1965.9
平均相对湿度(%)	51	56	59	60	59	57	75	79	75	68	62	52	63

表 1-2 坝址处各月平均气温和极端气温

(单位: $^{\circ}\text{C}$)

项目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
平均气温	-0.3	1.6	7.6	14.6	20.6	25.4	26.3	25.1	20.0	14.7	7.7	1.5	13.7
月平均最高气温	1.4	5.1	10.8	16.9	23.0	27.5	28.5	27.1	22.3	17.0	10.2	3.4	28.5
月平均最低气温	-3.6	-4.3	4.9	11.7	17.9	22.5	24.1	22.9	18.1	13.0	4.5	-2.0	-4.3
极端最高气温	20.5	22.7	30.5	34.2	40.5	43.7	41.5	41.0	37.0	34.3	26.3	22.8	43.7
极端最低气温	-17.2	-15.7	-8.2	-2.4	5.2	12.3	15.5	11.9	5.7	-1.9	-9.8	-12.7	-17.2

1.5 水文资料

1.5.1 设计洪水

西霞院坝址天然设计洪水的洪峰流量, 20 年一遇为 $18860\text{m}^3/\text{s}$, 100 年一遇为 $27500\text{m}^3/\text{s}$, 5 000 年一遇为 $48600\text{m}^3/\text{s}$ 。在三门峡、小浪底水库联合运用后, 西霞院入库洪水 20 年一遇洪峰流量为 $9790\text{m}^3/\text{s}$, 100 年一遇洪峰流量为 $9870\text{m}^3/\text{s}$, 5 000 年一遇为 $13940\text{m}^3/\text{s}$ 。西霞院工程设计洪水见表 1-3。

表 1-3 西霞院工程设计洪水

项目		洪水频率(%)						
		0.02	0.05	0.2	1.0	5.0	10	20
天然	洪峰流量(m^3/s)	48 600	43 500	36 100	27 500	18 860	15 250	11 700
	5 d 洪量(亿 m^3)	103.0	93.4	78.9	62.4	44.8	37.3	29.6
	12 d 洪量(亿 m^3)	164.1	150.8	130.5	106.0	81.5	70.1	58.0
	45 d 洪量(亿 m^3)	347.4	327.0	293.9	254.9	208.7	187.0	162.8
三门峡、小浪底 水库联合运用后	洪峰流量(m^3/s)	13 940	13 470	11 400	9 870	9 790	9 600	7 820
	5 d 洪量(亿 m^3)	44.96	43.21	43.22	40.69	38.15	33.27	28.53
	12 d 洪量(亿 m^3)	98.94	102.30	99.92	95.90	82.07	70.44	58.14

1.5.2 施工洪水

汛期考虑小浪底水库控泄后, 西霞院 20 年一遇及 50 年一遇的施工洪水标准均为 $5000\text{m}^3/\text{s}$ 。非汛期考虑小浪底水库的调节作用后, 西霞院坝址最大流量为 $1500\text{m}^3/\text{s}$ 。小浪底调水调沙时, 河道流量可达 $2000\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 。考虑小浪底水库控泄, 截流时控制流量为 $300\text{m}^3/\text{s}$ 。

1.5.3 泥沙

坝址实测多年平均输沙量 13.25 亿 t, 平均含沙量 $33.4\text{kg}/\text{m}^3$, 其中汛期(7~10 月)输沙量 11.44 亿 t, 含沙量 $49.6\text{kg}/\text{m}^3$ 。

经坝址上游水库调节和各河段水量平衡,以及对上游三门峡、小浪底水库淤积计算和中游地区水土保持作用分析,西霞院坝址多年平均输沙量 10.71 亿 t(含小浪底拦沙期),含沙量 37.3 kg/m^3 ,其中汛期(7~10月)输沙量 10.67 亿 t,含沙量 73.0 kg/m^3 。由于小浪底水库拦截,区间支沟又很小,基本没有推移质入库,悬移质中值粒径 D_{50} 平均为 0.024 mm 。矿物质主要为石英,占 90%以上。

1.5.4 库容特性

西霞院水库正常蓄水位 134 m(黄海标高,下同)以下总库容 1.45 亿 m^3 ,库容主要集中在坝前段,其中西霞院坝址以上 7.55 km 有 1.33 亿 m^3 的库容,占总库容量的 91.7%。水库淤积平衡后,正常蓄水位 134 m 以下有效库容为 0.452 亿 m^3 。

1.6 地质条件

1.6.1 地形地貌

西霞院工程坝址区南濒邙山岭,北接王屋山,属于低山丘陵区,地表为黄土类土覆盖。黄河流向为南东向,黄河河谷呈宽而浅的“U”形,谷底宽度约 3050 m ,主河槽宽度约 600 m ,平水期河水位在 $120 \sim 121 \text{ m}$ 。

主河槽两侧分布有高低漫滩,滩面较宽阔。左岸漫滩宽度约 750 m ,滩面高程一般为 $124 \sim 127 \text{ m}$;右岸漫滩宽 $1500 \sim 1700 \text{ m}$,滩面高程一般为 $123.5 \sim 126.5 \text{ m}$ 。

坝址区缺失 I 级阶地,河谷两岸为 II 级阶地,发育基本对称。左岸阶面较平坦,宽度约 1.5 km ,高程一般为 $145 \sim 150 \text{ m}$,中部稍低,两缘稍高。右岸阶面宽度 $1.5 \sim 2 \text{ km}$,高程一般为 $155 \sim 170 \text{ m}$,由南向北向河床方向逐渐降低。III 级阶地仅发育在黄河左岸高程 $175 \sim 200 \text{ m}$ 以上部位,为基座阶地,高程在 $175 \sim 200 \text{ m}$ 。

坝址两岸冲沟发育不均衡。右岸冲沟多,且冲蚀深度较大;左岸冲沟相对较少,冲蚀深度小。

1.6.2 土石坝段的工程地质

坝址区河漫滩表层为新近沉积的砂壤土、砂层,结构较疏松,属中等压

缩性土。砂壤土干密度 1.42 g/cm^3 , 渗透系数 $5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$; 砂层干密度 1.55 g/cm^3 , 渗透系数 $8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 。

河床、河漫滩砂砾石层厚 $20 \sim 28 \text{ m}$, 局部达 45 m , 均一性差, 多为密实状态, 平均含砂率 20% , 渗透系数 $3 \sim 30 \text{ m/d}$, 属中—强透水层。砂砾石层相变较大, 局部夹有夹砂层、砾砂层透镜体。

坝肩Ⅱ级阶地上部为黄土覆盖, 黄土底板高程在 120 m 左右, 正常蓄水位 134 m 以下全部为 Q_3^{1-2} 黄土, 结构紧密, 呈硬塑状态, 含少量钙质结核。下部为厚约 22 m 的砂砾石层, 局部有胶结及架空现象, 渗透系数 $100 \sim 400 \text{ m/d}$, 属强透水层。

1.6.3 水文地质条件

受本区的地形地貌、地质构造、地层岩性以及气候条件的综合影响, 本区水文地质条件较复杂。根据地下水的贮存条件和运移空间, 可将区内地下水分为库区西部碎屑岩类裂隙水和库区东部松散岩类孔隙水两大类型。

库区西部基岩裸露, 为三叠系中、下统的陆相碎屑沉积岩, 其岩性以钙质砂岩和黏土岩、页岩互层为主。东部沉降盆地则沉积了第三系的砂层(岩)与黏土(岩)互层(局部为砾岩或砂卵石层)及第四系黄土状土和砂卵石层等堆积物。

1.6.3.1 黄土的透水性

黄土主要分布于两岸Ⅱ级阶地, 上部黄土(Q_3^{2-2})的渗透系数水平方向为 $3.22 \times 10^{-5} \sim 8.20 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 垂直方向为 $7.44 \times 10^{-5} \sim 8.75 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 属弱透水层, 局部为中等透水层; 下部黄土(Q_3^{1-1})渗透系数水平方向为 $2.30 \times 10^{-6} \sim 4.35 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 垂直方向为 $1.20 \times 10^{-6} \sim 4.39 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 属弱—微透水层, 局部为中等透水层。

1.6.3.2 砂卵石层的透水性

从基坑开挖揭露的情况看, 第四系不同年代的砂卵石层在成因、颗粒级配及含砂率、含泥率等方面均呈现不同的特点, 其渗透性也不尽相同, 根据抽水试验、试坑注水试验成果, 并结合基坑排水情况及工程经验, $al Q_4^1$ 砂卵石层的渗透系数取 $5 \sim 15 \text{ m/d}$; $al+pl Q_3^1$ 含漂石砂卵石层的渗透性差别较大, 在河床部位一般可取 $40 \sim 50 \text{ m/d}$, 在右岸Ⅱ级阶地一般可取 $40 \sim 100 \text{ m/d}$, 在左岸Ⅱ级阶地一般可取 $80 \sim 200 \text{ m/d}$, 局部可达 400 m/d 。

1.6.3.3 上第三系地层的透水性

通过钻孔压水试验, 坝址区上第三系地层的透水率为 $0.1 \sim 10 \text{ Lu}$, 多数

为 $1 \sim 10 \text{Lu}$ ，为弱透水层，局部为微透水层。上第三系地层的透水性差异较大，根据基坑开挖后的试验成果，按其透水性强弱，可概化为以下 3 类地层。

微—极微透水层：主要包括胶结较好的泥质粉砂岩、(粉砂质)黏土岩、(粉质)黏土及钙质砂岩、砾岩等。

弱透水层：主要包括微胶结(含泥、泥质)的粉细砂层，渗透系数一般为 $0.05 \sim 0.1 \text{m/d}$ 。

中等透水层：包括未胶结的(含泥)中细砂层、砂卵(砾)石层、粗砂或砾砂层透镜体，渗透系数一般为 $1.5 \sim 3 \text{m/d}$ 。

1.6.4 地质构造

坝址区位于狂口背斜东部倾伏端北东翼，区内构造不甚发育，通过坝址区的构造形迹主要是坡头—吉利隐伏断层，该断层在测区北岸山坡Ⅱ级阶地后缘处分布，为一走向近东西向的陡倾角断层，该断层自晚更新世以来已基本停止活动。

坝址区出露地层为新生代沉积物，主要为第四系松散堆积物，其次为第三系胶结、半胶结沉积岩。此外，南陈坝址下游约 1.5km 处的隐伏断层即霍村断层(F_6)基本与坝轴线平行，从中更新世以来该断层已基本停止活动，可以认为对枢纽安全无重大影响。

1.7 工程地质评价

1.7.1 坝基稳定性评价

1.7.1.1 河漫滩表部松散层

河漫滩表层为新近沉积的砂壤土、砂层。经野外及室内试验，其孔隙比为 $0.736 \sim 0.900$ ，干密度为 $1.42 \sim 1.55 \text{g/cm}^3$ ，压缩系数为 $0.12 \sim 0.28 \text{MPa}^{-1}$ ，属疏松—中等密实状态。其允许承载力，天然状态下可取 $90 \sim 110 \text{kPa}$ 。

坝基表部松散层，呈松散状态，具高一中等压缩性，并具地震液化可能性，不宜直接作为坝基，建议挖除或进行强夯处理。

1.7.1.2 坝基砂卵石层

超重型动力触探表明：砂卵石层为中等密实—密实状态。参照《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)附录五之附表 5-2(碎石土承载力标准值)，上部砂卵石层(alQ_4)的允许承载力取 550kPa 为宜，下部砂卵石($al+plQ_3^I$)的允许承

载力取 600 kPa 为宜。

砂卵石层为中密状态,强度较高,沉陷变形较小,沉降速率也较快。砂卵石层中存在砂层、砾质砂层透镜体,厚度一般为 0.2~2 m,对沉陷变形有一定影响,但影响不大。从抗滑稳定来看,坝基砂卵石层抗剪强度高,其内摩擦角高达 $30^{\circ} \sim 37^{\circ}$ 。砂卵石层中的夹砂层及含砾砂层抗剪强度较低,可能对抗滑稳定不利。

1.7.2 坝肩黄土的湿陷性评价

按《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50287—99)对西霞院坝肩黄土进行湿陷性评价,其结论为:

Q_3^2 黄土层为湿陷性黄土,其湿陷类型为非自重湿陷性黄土; Q_3^1 黄土层为非湿陷性黄土,但局部(主要是上部)夹有具湿陷性的轻粉质壤土透镜体。

由于坝肩 Q_3^2 黄土层的下部界线在高程 140 m 以上,水库按正常高水位 134 m 蓄水后,毛细上升高度按 3 m 考虑,库水影响高度为 137 m,影响不到 Q_3^2 湿陷性黄土;另外,坝肩黄土上部没有主要建筑,而 Q_3^2 黄土为非自重湿陷性黄土,因此黄土湿陷性对坝肩稳定性没有影响。

由于坝肩黄土与库水接触近 10 m 厚,水库蓄水后,必然对坝肩黄土岸坡稳定性构成一定威胁,建议在坝肩上游一定范围内进行护坡处理。

1.7.3 渗透稳定性评价

1.7.3.1 河漫滩表部松散层

河漫滩表部松散层主要为粉细砂和砂壤土,其结构疏松。砂壤土多分布在表层 0.5 m 以内。砂层不均匀系数一般为 2.58~4.71,其渗透变形类型为流土。建议允许坡降(J_0)采用 0.27~0.35。

1.7.3.2 坝基砂卵石层

砂卵石层渗透变形主要为管涌型;局部含砂率较高的砂卵石层或砾砂层透镜体,有管涌型,也可能有流土型。根据室内渗透变形试验成果,其临界坡降(J_{KP})为 0.082~1.268,平均值为 0.327,安全系数取 2,其允许坡降(J_0)为 0.163。就西霞院坝基砂卵石层而言,因其局部可能有流土型渗透变形,建议其允许坡降(J_0)取 0.10~0.20。

1.7.3.3 坝肩部位双层结构土层的接触冲刷问题

坝肩部位上部黄土与下部砂卵石层层次分明,粗细粒粒径相差很大,渗透性能也相差悬殊,因此水库蓄水后,沿黄土与砂卵石层的接触面,有带走

黄土细颗粒的可能。

坝肩应采用一定距离的混凝土防渗墙，延长渗径，减小坡降及流速，以降低接触冲刷的可能性。

1.7.4 地震液化评价

坝址区河漫滩表层为厚 2~7m 的砂壤土及粉细砂，结构较疏松，以下为厚 20~28m 的砂卵石层，上部砂卵石层多夹有砂层透镜体。

通过剪切波速和标贯测试结果进行判别，表层砂壤土及粉细砂为可能液化土层；下部砂卵石层为不液化土层，但其中的夹砂层有局部液化的可能。

第2章 土石坝选型研究和 土工膜选型

2.1 概述

2.1.1 初设以前坝型比选研究及主要结论

从1992年12月黄河水利委员会(简称黄委)向水利部报送《西霞院水利枢纽工程项目建议书》开始,对西霞院工程的勘察设计工作大致可以分为两个阶段。第一阶段为1998年7月之前,该阶段进行了可行性和初步设计,成果(1994~1999年)包括1994年可行性研究阶段选坝报告、1996年可行性研究报告、1998年土坝坝型选择报告、1999年初步设计报告。第二阶段为1998年7月之后,该阶段按国家项目建设和管理要求,重新从项目建议书开始设计,成果(1999~2002年)包括2001年4月项目建议书、2001年10月可行性研究报告。在坝型比选中,对壤土斜墙坝、心墙坝、均质坝三种坝型,坝基分别采用水平和垂直防渗6种组合方案进行比较,各阶段的坝型推荐方案均为“壤土斜墙坝水平防渗”。

根据工程的现实状况,2001年又进行了混凝土面板坝专题研究,2002年进行了土工膜防渗坝型专题研究。

2.1.2 初设阶段坝型比选

初设报告中对比了壤土斜墙坝和复合土工膜斜墙坝,两种坝型在河槽段均采用坝体和截流围堰结合,坝基防渗采用混凝土垂直防渗墙;在两岸滩地段坝基防渗分别比较了水平铺盖和垂直防渗型式,推荐采用复合土工膜斜墙坝垂直防渗方案。2003年2月16~21日水利部水利水电规划设计总院对初步设计报告进行了审查,审查认为,坝基采用垂直防渗型式是合适的,但最终坝型尚待坝型选择专题协调后确定。