

水利水电工程 若干问题的调研与探讨

汪易森 庞进武 刘世煌 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利水电工程 若干问题的调研与探讨

汪易森 庞进武 刘世煌 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以我国近期发生且已有结论的工程问题,如:万家寨重力坝坝基浅层抗滑稳定、株树桥面板坝坝身渗漏、响水电站压力钢管外压失稳、黄壁庄坝基岩溶塌陷、江垭坝体和近坝山体抬升、蔡坊压力隧洞爆裂、李家峡导流洞冲蚀、龙羊峡溢洪道气蚀、后河拱坝坝肩稳定等问题为中心,以业已发表的专著、文章及安全鉴定意见为依据,收集了70多个相关工程资料,从设计及技术管理角度,总结重力坝坝基深层抗滑稳定、面板坝坝身变形和渗漏、压力钢管外压失稳和脆性爆裂、岩溶地区水工建筑物勘测设计、水工隧洞轴线选择、压力隧洞设计、无压隧洞设计等问题的经验和教训,并对碾压混凝土拱坝的设计方法、重力坝坝基抗滑稳定的安全系数、混凝土面板坝蓄水初期工作性态、续建工程的管理等问题进行了探讨。这里既有成功的范例,也有挫折和教训,其目的是提醒人们关注那些易发生事故的问题,及早采取相应防范措施,并从中吸取经验教训,提高设计质量。

本书可供水利水电勘测设计人员阅读,并可供有关水利水电专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程若干问题的调研与探讨/汪易森,庞进武,刘世煌主编. —北京:中国水利水电出版社,2006
ISBN 7-5084-3506-0

I. 水... II. ①汪... ②庞... ③刘... III. ①水利工程—工程事故—事故分析 ②水力发电工程—工程事故—事故分析 IV. TV52

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第155603号

书 名	水利水电工程若干问题的调研与探讨
作 者	汪易森 庞进武 刘世煌 主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 20.75印张 493千字
版 次	2006年4月第1版 2006年1月第1次印刷
印 数	0001~4500册
定 价	58.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

改革开放以来，国家加大了水利建设的投资力度，一批如三峡、小浪底、二滩、万家寨、江垭、引黄入晋等大、中型水利水电工程先后建成投产，我国水利水电事业得到空前的发展。但由于种种原因，工程建设中也出现了一些问题。虽然这些问题数量不多，有些还是我们目前水平上尚难以完全认识和防止（如江垭大坝及近坝山体抬升），但也有相当一些问题与勘测、设计、施工及技术管理有关。为了总结经验教训，提高设计和建设水平，水利部水利水电规划设计总院组织力量，从加强技术管理出发，主要围绕“九五”期间水利水电建设工程中所发生的问题，以总结经验吸取教训为目的，收集大量资料，编写了本书。

阅读后，我感到本书有两大特点：

一是敢于触及最近发生的工程问题。本书围绕近期发生的株树桥面板坝坝身渗漏、万家寨重力坝坝基抗滑稳定、响水电站压力钢管外压失稳、黄壁庄坝基岩溶塌陷等问题，既对一些工程经验作出了肯定，也对一些问题进行了探讨，其中有些问题如碾压混凝土拱坝的设计方法，重力坝坝基抗滑稳定的安全系数，蓄水初期混凝土面板坝工作性态、续建工程管理问题等，其看法有的可能与现规范不完全一致，也有的可能与某些传统看法有悖，这纯属作者意见。我想为了水利水电事业的发展，应该营造一个学本上畅所欲言、自由讨论的气氛，应该欢迎探讨。事实上，往往通过深入的探讨，对这些问题认识才能更深刻，我们的技术水平才会得到更大的提高。这正是编者对事业负责精神的体现，也是我们水利水电事业不断发展的精神所在。为了能准确反映上述问题真相，正确吸收其教训，减少失误，编者会同上述工程有关人员并请教一些专家，共同著文，以求集思广益。

二是涉及面广，资料丰富。由于水利部水利水电规划设计总院工作特点，本书涉及到坝工设计、水力学问题、工程地质勘测诸多方面，且围绕近期发生的问题收集了70多个相关工程资料，因此本书既是一本工程问题的介绍，更是一本相关工程资料的

汇编。

由于时间和工作范围的原因，“九五”期间所建大中型水利水电工程问题难以全部纳入，难免有局限，尽管还有不少缺憾，但本书仍不失为难得一本水利水电工程设计经验教训的专业书，是一本内容丰富的工程资料的汇编。我衷心希望本书能为水利水电工程技术人员提供参考和借鉴，能为水利水电建设起点作用。

范书范
2006.9.20

前言

改革开放以来，我国水利水电建设迎来了发展高峰期，一大批水利水电工程正式开工，在工程建设取得了丰富经验的同时，也出现过一些问题。造成这些问题的原因，可能与施工、管理等方面有关，但往往也与设计有关，个别工程事故的直接原因可能是计算错误，但更多的是缺乏工程实践经验。一个水利水电工程需要大量的复杂计算，但水利水电工程不是仅靠计算算出来的，工程设计经验既要靠勤奋学习理论知识、掌握大量试验研究成果和精心的计算，也要靠自己不断从正反两面经验教训的总结和自我在工程实践中的积累，特别是那些挫折和教训，往往是更为深刻更为重要。

为了总结这些工程经验教训，提醒人们关注那些易发生事故的问题，及早采取相应防范措施，我们以水利部水利水电规划设计总院专家为主，邀请全国 20 位专家参加，站在水利水电行业管理的角度，以设计规范为准绳，以我国近期发生的且已有基本结论的工程事故和问题为主，根据业已发表的专著、文章及安全鉴定意见，收集了 70 多个相关工程资料，这里既有经验教训，也有成功的范例。我们本着实事求是的精神，力求如实地反映事故的全过程，客观地分析事故的原因，并通过相关工程成功经验与教训的对比分析，加深印象，总结规律，正确地吸取经验教训，提高我们勘测设计水平。

在编写中，我们虽对某些问题进行了调研和研讨，但由于问题的复杂性，尚难取得一致的意见，在此注明每篇文章的作者，各对其文负责。

为了在分析工程经验教训时不受个人观点的影响，让大家能真正看清事情的真相，我们把工程事故、问题与个人观点分开，把事故原因分析与教训分开。

在总结上述问题的经验教训中，我们也对一些相关问题进行了探讨，其中有些意见可能与现规范和传统认识不完全一致，我们之所以在此畅述，仅供读者参考。

总之，本书是众多专家共同劳动的结晶，它既有作者对某些技术问题的探讨，也有地质勘探、试验、施工和管理等方面经验的综合分析，更是水利水电工程实践、事故和问题、经验与教训等的资料汇编。

由于经验和教训、事故和问题类型颇多，所涉及的面很广，绝非我们的知识所能认识，书中难免会有一些不足甚至错误，在此我们恳请读者批评指正。

主编

2005年9月

编写和审阅人员

- 汪易森 水利部水利水电规划设计总院 原总工程师
- 庞进武 水利部计划规划司 副司长
- 刘世煌 水利部水利水电规划设计总院 教授级高级工程师
- 王东华 水利部水利水电规划设计总院 教授级高级工程师
- 关志诚 水利部水利水电规划设计总院 副总工程师
- 李广诚 水利部水利水电规划设计总院 教授级高级工程师原勘测处处长
- 梁承喜 水利部水利水电规划设计总院 高级工程师
- 董泽辉 水利部水利水电规划设计总院 高级工程师
- 吴健疆 水利部水利水电规划设计总院 工程师
- 陈德基 长江水利委员会勘测局 勘测大师
- 王宏宾 天津勘测设计研究院原院长 设计大师
- 蒋国澄 中国水利水电科学研究院 教授级高级工程师
- 张有天 中国水利水电科学研究院 原副总工程师
- 何少苓 中国水利水电科学研究院 副总工程师
- 郭 军 中国水利水电科学研究院水力学所 所长
- 钟秉章 浙江大学教授
- 张汝清 昆明勘测设计研究院原地质总工
- 金德濂 湖南省水利厅副厅长
- 赵晓琳 水利部珠江流域委员会 总工程师
- 吴 熹 西北勘测设计研究院 原副总工程师
- 谢陈锡 江西省水利厅 原总工程师
- 刘六宴 水利部建设与管理司综合处 处长
- 黎展眉 贵州省水利厅
- 吴 震 北京禹冰水利勘测规划设计有限公司 总经理
- 周容芳 黄河水利委员会勘测规划设计研究院 原副院长
- 向 桐 郑会春 黄河水利委员会勘测规划设计研究院后河水库 设计总工程师
- 程观富 安徽省水利水电勘测设计院 副院长
- 沈万清 吉林市水利局 原副局长
- 姚 宏 江西省水利水电勘测设计院

目 录

序

前言

1 混凝土面板坝若干问题的调研与探讨	1
--------------------------	---

编写：汪易森 刘世煌 梁承喜

审核：蒋国澄 汪易森

修编：庞进武、刘世煌

1.1 沟后砂砾石面板坝溃坝	2
1.1.1 沟后砂砾石面板坝简况	2
1.1.2 沟后水库运行情况	3
1.1.3 溃坝	3
1.1.4 溃坝原因分析	4
1.1.5 教训	6
1.2 株树桥面板坝坝体严重渗漏	7
1.2.1 株树桥面板坝设计和施工简况	7
1.2.2 原型观测及资料分析	12
1.2.3 大坝漏水及垫层料渗流破坏	12
1.2.4 株树桥面板坝严重漏水原因分析	17
1.3 西北口面板干缩和温度裂缝及坝基岩溶渗漏	19
1.3.1 简况	19
1.3.2 面板裂缝	20
1.3.3 岩溶漏水	22
1.4 天生桥一级面板坝面板结构性裂缝	23
1.4.1 简况	23
1.4.2 坝体垫层开裂	26
1.4.3 面板脱空	26
1.4.4 面板结构性裂缝	27
1.4.5 河床面板挤压破坏	28
1.4.6 微震后面板再度挤压破坏	28
1.5 松山面板坝面板冻胀破坏	29
1.5.1 松山工程简介	29
1.5.2 面板裂缝	30

1.6 教训与探讨	31
1.6.1 坚持混凝土面板坝的发展方向	31
1.6.2 关于混凝土面板坝的安全性	31
1.6.3 关于混凝土面板坝建坝条件	33
1.6.4 关于蓄水后坝体变形	34
1.6.5 关于高面板堆石坝的面板结构性裂缝	37
1.6.6 关于面板坝坝体渗漏	39
1.6.7 关于浅覆盖层上清基范围	40
1.6.8 关于深覆盖层上连接板、止水和防渗墙	41
1.6.9 关于各区坝料间水力过渡条件	42
1.6.10 关于止水	42
1.6.11 关于次堆石区填筑料要求	42
1.6.12 关于放水洞	43
参考文献及资料	43
2 重力坝坝基抗滑稳定问题的调研与探讨	45
编写: 汪易森 刘世煌 王东华 董泽辉 吴剑疆	
审核: 陈德基 王宏宾 汪易森	
2.1 朱庄浆砌石重力坝坝基抗滑稳定及其加固处理	45
2.2 长绍重力坝坝基处理	46
2.3 双牌大头坝坝基抗滑稳定及加固处理	46
2.4 万家寨重力坝坝基浅层抗滑稳定分析及加固处理	47
2.4.1 万家寨工程简介	47
2.4.2 坝基工程地质条件	49
2.4.3 层间剪切带的发现与补充勘探	51
2.4.4 层间剪切带力学试验与设计指标选择	57
2.4.5 滑动边界条件和可能的滑动模式	59
2.4.6 大坝浅层抗滑稳定计算	60
2.4.7 基础加固措施	62
2.4.8 安全鉴定专家意见	68
2.5 安康重力坝坝基抗滑稳定处理	71
2.5.1 坝址工程地质条件	72
2.5.2 坝基加固处理	73
2.6 宝珠寺坝基抗滑稳定及泄洪考验	75
2.6.1 宝珠寺工程简介	75
2.6.2 坝址工程地质条件	75
2.6.3 坝基深层岩体抗滑稳定	75
2.6.4 运行情况	78
2.7 汾河二库碾压混凝土重力坝坝基稳定处理	78
2.7.1 坝址地质简况	79
2.7.2 坝基抗滑稳定分析及坝基处理	81

2.8 教训与探讨	83
2.8.1 加强重力坝坝基深层(浅层)缓倾结构面勘测资料分析工作	83
2.8.2 正确确定结构面的力学参数	84
2.8.3 坝基深层(浅层)抗滑稳定的分析方法	86
2.8.4 坝基深层(浅层)抗滑稳定的加固方法	86
2.8.5 刚体极限平衡法的安全系数	91
参考文献及资料	94
3 从普定等坝身裂缝谈碾压混凝土拱坝的发展	95
鹿进武 刘世煌 黎展眉 刘六安 程观富	
3.1 碾压混凝土拱坝的发展	95
3.2 碾压混凝土拱坝运行状况	101
3.2.1 碾压混凝土拱坝的近径向垂直裂缝和渗水	101
3.2.2 坝身水平裂缝及渗水	105
3.3 探讨	107
3.3.1 对碾压混凝土拱坝运行状态评价	107
3.3.2 因地制宜发展碾压混凝土拱坝	108
3.3.3 认真对待碾压混凝土拱坝坝身裂缝	110
3.3.4 改进设计理念,完善设计方法,确定相应设计标准	119
参考文献及资料	126
4 压力钢衬抗外压失稳的经验与教训	128
汪易森 刘世煌 钟秉章 赵晓琳	
4.1 响水电站压力钢衬外压失稳	128
4.1.1 钢衬外压失稳破坏	128
4.1.2 内外压复核	137
4.1.3 高压埋管失稳原因分析	137
4.1.4 事故处理	140
4.2 绿水河电站钢管两起事故	140
4.2.1 工程简况	140
4.2.2 事故及处理	141
4.3 泉水电站钢管外压失稳	144
4.4 湖南镇电站斜井段压力钢管失稳	144
4.5 刘家峡1 [#] 机组钢管失稳	145
4.6 广州抽水蓄能电站尾水管钢衬变形	146
4.7 教训与探讨	147
4.7.1 正确确定外水压力 and 有效控制外水压力	147
4.7.2 提高钢管抵抗外压失稳的能力	149
4.7.3 严格控制地下埋管施工质量	150
4.7.4 制定合理的运行规程	152
参考文献及资料	152

5 以礼河三级(盐水沟)电站钢管脆性爆裂及教训	153
钟秉章 刘世煌	
5.1 水道概况	153
5.2 事故发生与破裂段基本情况	156
5.3 破裂钢板宏观特征	157
5.4 与事故有关的施工因素	160
5.5 事故水锤	161
5.6 钢板材料试验	163
5.7 事故原因综述	169
5.8 结论	172
5.9 后记	176
参考文献及资料	178
6 岩溶地区水工建筑物勘测设计的经验与教训	180
刘世煌 关志诚 李广诚 张汝清	
6.1 黄壁庄水库副坝坝基岩溶塌陷	180
6.1.1 黄壁庄水库副坝除险加固	180
6.1.2 除险加固中副坝及坝基塌陷	183
6.1.3 塌陷原因分析	185
6.1.4 坝基塌陷处理	188
6.1.5 处理效果	190
6.2 江口电站特大岩溶孔洞处理	190
6.2.1 江口岩溶简况	190
6.2.2 坝址岩溶处理	191
6.2.3 深层特大溶洞处理	193
6.3 万家寨库区岩溶渗漏的成功预测	194
6.3.1 蓄水前简况	194
6.3.2 蓄水后变化	197
6.4 重庆市大宁河中梁水库岩溶勘测设计与梯级规划	199
6.4.1 区域岩溶特点	200
6.4.2 库区岩溶渗漏	200
6.4.3 水库渗漏的防治方案分析	203
6.5 陕西泾河东庄水库岩溶及坝址选择	205
6.5.1 东庄水库岩溶简况	205
6.5.2 坝址比选	207
6.6 教训与探讨	208
6.6.1 库坝区岩溶勘探	209
6.6.2 建库条件评判	212
6.6.3 岩溶对坝基、边坡、洞室等水工建筑物的影响分析	214
6.6.4 岩溶地区工程设计和岩溶处理	217
参考文献及资料	220

7 对江垭水利枢纽大坝及近坝山体整体抬升的认识	222
汪易森 刘世煌 陈德基 金德濂 李广诚	
7.1 江垭枢纽工程简介	222
7.2 大坝及近坝山体抬升	223
7.2.1 大坝及近坝山体抬升现象	223
7.2.2 大坝及近坝山体抬升地质背景分析	233
7.3 工程安全性评价及需注意的问题	235
7.3.1 工程安全性评价	235
7.3.2 仍需密切关注的几个问题	237
参考文献及资料	238
8 续建山西省后河重力拱坝工程的经验教训	239
庞进武 刘世煌 周容芳 向桐 郑会春	
8.1 后河水库枢纽工程简况	240
8.2 坝肩岩体稳定问题	242
8.3 坝体应力状态及坝肩贯穿性裂缝	249
8.4 溢流坝水力学条件	250
8.5 浆砌石坝体施工质量	251
8.6 教训与探讨	252
8.6.1 尊重科学,减少脱离实际的干预	252
8.6.2 全面看待弯道条件,合理确定坝线	255
8.6.3 慎重决定基本坝型	257
8.6.4 认真做好拱坝坝肩稳定分析	258
8.6.5 严格控制坝体应力	260
参考文献及资料	262
9 水工隧洞和地下洞室轴线的选择	263
刘世煌 沈万清 吴震	
9.1 某压力隧洞塌方原因的法庭技术鉴定	263
9.2 小浪底导流洞洞线选择、塌方及其处理	265
9.2.1 导流洞塌方	265
9.2.2 导流洞地质简况	266
9.2.3 塌方原因分析	266
9.2.4 后期施工	268
9.3 碧口泄洪洞塌方及软岩中水工隧洞轴线的选择	269
9.4 金川巷道变形及其高地应力地区隧洞轴线的选择	270
9.5 拉西瓦水电站地下洞群轴线选择	272
9.5.1 拉西瓦水电站简介	272
9.5.2 地质结构面与洞群轴线	273
9.5.3 地应力方向与洞群轴线	274
9.5.4 枢纽布置与洞群轴线	274
9.6 体会	274

参考文献及资料	275
10 从几起事故探讨无压水工隧洞几个设计问题	276
	刘世煌 吴熹 吴震
10.1 刘家峡右岸导流泄洪洞空蚀破坏	276
10.1.1 简况	276
10.1.2 泄洪洞气蚀破坏	277
10.1.3 事故检查	278
10.1.4 事故处理	279
10.2 李家峡导流洞冲蚀破坏	279
10.3 鲁布革右岸泄洪洞破坏	281
10.3.1 鲁布革电站简况	281
10.3.2 右岸泄洪洞破坏	281
10.3.3 原因分析	282
10.3.4 事故处理	283
10.4 教训与探讨	283
10.4.1 关于一洞多用	283
10.4.2 关于隧洞内流态选择	284
10.4.3 水力学条件和合理选择洞线	286
10.4.4 确保非开敞式进水口为压力流	287
10.4.5 防止明满流交替	288
10.4.6 避免闸门长时间小开度运行	289
10.4.7 进水口防治漂浮物堵塞	289
10.4.8 防空蚀破坏	289
10.4.9 发展泄水洞内消能	295
10.4.10 泄洪洞出口归槽和消能	297
参考文献及资料	297
11 从蔡坊电站等隧洞爆裂谈有压隧洞的几个设计问题	298
	刘世煌 谢陈锡 姚宏
11.1 江西省蔡坊电站浅埋压力隧洞爆裂	298
11.1.1 压力隧洞工程地质条件复核	299
11.1.2 设计复核	300
11.1.3 施工质量检查	301
11.2 江西省遂川县安村电站压力隧洞浅埋段开裂	302
11.2.1 地质复查	303
11.2.2 施工质量复核	304
11.2.3 设计复核	304
11.2.4 原因分析	304
11.3 下马岭电站压力隧洞斜井段局部坍塌	304
11.4 白莲河电站压力隧洞段严重渗漏	305
11.5 浙江省两起钢筋混凝土压力隧洞衬砌开裂漏水事故	306

11.5.1 1 [#] 压力隧洞内水外渗	306
11.5.2 2 [#] 压力隧洞开裂	307
11.6 太平驿电站压力隧洞衬砌脱落	307
11.7 石门电站压力隧洞渗漏	309
11.8 教训与探讨	311
11.8.1 正确认识有压隧洞的设计原则	311
11.8.2 对大量中小型水工隧洞, 坚持细致的计算和工程类比相结合的设计方向	313
11.8.3 狠抓薄弱环节, 提高施工质量	314
参考文献及资料	316

1 混凝土面板坝若干问题的 调研与探讨^{*}

编写：汪易森 刘世煌 梁承喜

审核：蒋国澄 汪易森

修编：庞进武 刘世煌

1985年，我国引进现代薄层振动碾压技术修筑混凝土面板坝，较大地提高了面板坝的密实度，采用该技术修建的面板坝对地形地质条件有较强适应能力，可以较好地利用当地材料，防渗体位于上游侧，填筑体处于干燥状况，坝体断面较小，施工期短，投资省，加上该坝型对气象条件要求较低，便于施工和放水检查，便于维修加固，比较适合我国国情。在不需要对溢洪道高边坡稳定问题进行复杂处理，溢洪道等开挖料可直接上坝利用时，该坝型具有明显的优越性和较强的竞争力。

截至2000年底，我国已建混凝土面板坝62座，在建33座。其中天生桥一级混凝土面板坝坝高178m，为当今世界同类大坝中第二高坝，正在建设的水布垭面板坝坝高233m，将是世界上最高的面板坝。

我国已在面板坝筑坝材料、基础处理、面板混凝土防裂、接缝止水结构及材料研究、施工导流和原型观测等方面，取得了丰硕的成果。其中在高趾墙改造不利地形、砂砾石等深厚覆盖层上建议混凝土面板等方面，都摸索了一套成功经验。

由于我国面板坝的设计和建设水平不断提高，混凝土面板坝已成为我国主要坝型之一，我国已成为世界混凝土面板坝大国。

十多年的运行实践证明，我国已建的62座面板坝中，大多运行正常，总体情况是好的。但在这短短的十多年间也发生过沟后砂砾石面板坝溃坝、株树桥面板坝坝体严重渗漏、天生桥一级面板裂缝等事件，有些面板坝也曾因面板断裂、止水破坏、坝体渗水等原因而被迫放空水库进行检修。虽然上述问题发生后，经认真处理，恢复正常运行，但这些问题也让我们感到，对面板坝工作特性某些认识还有待深化，更感到总结这种新坝型建设经验教训的必要性。

为了更好地总结十多年来我国面板坝运行的经验教训，在此选择有代表性的实例，探讨有关面板坝设计中的几个问题。

^{*} 本文由《株树桥混凝土面板坝垫层料渗流破坏及其教训》改编而成。

1.1 沟后砂砾石面板坝溃坝

1.1.1 沟后砂砾石面板坝简况

沟后砂砾石面板坝位于青海省共和县恰卜恰河上游,距县城 13km,库容 330 万 m^3 ,是一座以灌溉为主要任务的 IV 等小型水利工程。设计洪水标准为 50 年一遇,校核洪水标准为 500 年一遇,相应洪水流量分别为 $140\text{m}^3/\text{s}$ 和 $250\text{m}^3/\text{s}$ 。场地地震烈度和设计烈度均为 6 度。

枢纽工程由拦河大坝和左岸放水隧洞组成,该隧洞直径 3.8m,施工期承担导流任务,运行期兼有泄洪、灌溉和供水任务。

拦河大坝为混凝土面板砂砾石坝,坝高 71m,坝顶长 265m,坝顶宽 7.0m,上游坝坡 1:1.6,下游坝坡 1:1.5,坝顶高程 3281m,正常蓄水位、设计洪水位和校核洪水位均为 3278m,坝顶设 5.0m 高的防浪墙(防浪墙底板高程 3277m,低于正常蓄水位 1.0m)。

坝基岩体为花岗闪长岩,坝址区有 84 条断层,与大坝坝基安全有关的断层为 F3、F56、F57,其中施工中发现 F56 宽 6~12m,走向与趾板基本平行,决定调整坝轴线。河床被洪积、冲积砂砾石覆盖,最大覆盖层厚 13m。

原设计要求坝基 1/3 范围内覆盖层全部挖除至基岩面,施工中探坑试验测得砂砾石平均干密度 $2.35\text{t}/\text{m}^3$,压缩系数 $0.02\sim 0.04\text{MPa}^{-1}$,不均匀系数 391,渗透系数 $1.3\times 10^{-2}\sim 1.7\times 10^{-3}\text{cm}/\text{s}$,认为覆盖层具有充分的透水性和密实性,级配良好,决定清除全部崩积和坡积物,趾板和垫层置于弱风化岩石上,坝体填筑于砂砾石层上。趾板下基岩全部进行固结灌浆,帷幕灌浆深至透水率为 1Lu 等值线,坝基断层部位深挖并回填混凝土,还加强灌浆。

坝体自上游向下游分为垫层料、过渡料、主堆石料和任意料区,其中垫层料为河滩砂砾石,过渡料和主堆石料均为 2[#]料场砂砾石,任意料区为 2[#]料场砂砾石和隧洞开挖料。虽然设计上分为四个料区,但开工后考虑开采及运输等原因,把隧洞开挖石料改为天然砂砾料,所以从实际检查情况可见,分区不明显,大坝实际为均质砂砾石面板坝。沟后面板坝剖面,见图 1.1。

混凝土面板厚 30~60cm、R200、S8、D250^①,共分 9 块面板,两岸边面板宽 7m,中部面板宽 14m。为防面板干缩裂缝及近岸部位拉裂,面板中部设单层钢筋,河床部位配筋率为 0.35%,近岸面板配筋率为 0.5%。面板周边缝设三道止水,即上盖丁基胶板及镀锌铁皮,中部橡胶止水带,底部 W 止水铜片,中间设油浸松木板条,厚 12mm。岸边垂直缝设两道止水,即顶部丁基胶板和底部止水铜片。

趾板共分 40 块,厚 0.7m,宽 3m 和 5m 不等,一般每 10m 有一条伸缩缝。伸缩缝设一道橡胶止水和一道止水铜片,单层双向配筋,含钢率 0.4%。

该工程于 1985 年 8 月开工,1989 年 9 月下闸蓄水,1990 年 10 月完工,1992 年 9 月

① 本书稿中的这类参数,均引自原资料当时采用的数据,文中未作新旧标号换算。