

“黔中水利枢纽工程重大关键技术研究与应用”

(黔科合重大专项字〔2012〕6013号)项目资助

狭窄河谷区高面板坝变形 综合控制技术

向国兴 欧波 周伟 罗代明 李国英 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

“黔中水利枢纽工程重大关键技术研究与应用”
(黔科合重大专项字〔2012〕6013号)项目资助

狭窄河谷区高面板坝变形 综合控制技术

向国兴 欧波 周伟 罗代明 李国英 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

黔中水利枢纽平寨水库面板坝最大坝高为 157.5m，坝顶河谷宽高比为 2.2，处于狭窄河谷区，其中下部尤其狭窄，岸坡陡峻，是我国已建成的最狭窄高面板坝之一，变形非常复杂，防裂控制难度高。本书结合狭窄河谷区平寨水库面板坝建设实践，在论述峡谷区高面板坝变形特点和运行性状的基础上，分析了适用于狭窄河谷区高面板坝的计算理论及应关注的重点，研究了其主要变形特征及影响因素，重点关注了狭窄河谷区坝体应力应变计算模型、坝体与岸坡接触特性、多向拱效应、面板破坏机理及其分区、分缝和止水要求、面板合适的浇筑时机等，提出了狭窄河谷区高面板坝的设计原则、技术要求、技术方案，并在平寨水库面板坝建设实践的基础上，总结提出了狭窄河谷区高面板坝变形综合控制技术。

本书理论联系实际，技术新颖、经验可鉴，可供狭窄河谷区建设面板坝的设计、施工、监理、质检、建设管理、科研等领域的专业人员借鉴，也可供水利水电及相关专业高等院校师生阅读和参考。

图书在版编目（C I P）数据

狭窄河谷区高面板坝变形综合控制技术 / 向国兴等
编著. — 北京：中国水利水电出版社，2018.8
ISBN 978-7-5170-6716-0

I. ①狭… II. ①向… III. ①面板坝—变形—研究
IV. ①TV64

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第180392号

书 名	狭窄河谷区高面板坝变形综合控制技术 XIAZHAI HEGUQU GAOMIANBANBA BIANXING ZONGHE KONGZHI JISHU
作 者 出版发行	向国兴 欧 波 周 伟 罗代明 李国英 等 编著 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版 刷 印 规 格 版 次 印 数 定 价	中国水利水电出版社微机排版中心 天津嘉恒印务有限公司 184mm×260mm 16 开本 12.75 印张 302 千字 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷 0001—1000 册 65.00 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

《狭窄河谷区高面板坝变形综合控制技术》

编 撰 人 员 名 单

向国兴	欧 波	周 伟	罗代明	李国英
申献平	米占宽	陈 军	魏匡民	袁丽娜
吴开昕	杨卫中	丁玉堂	邵红艳	沈 婷
程国锋	晏卫国	李艳龙	王永立	符昌胜
曾永军	李仁刚			

编 撰 单 位

贵州省水利水电勘测设计研究院

贵州省喀斯特地区水资源开发利用工程技术研究中心

武汉大学

贵州省科技计划

黔中水利枢纽工程重大关键技术研究与应用

(黔科合重大专项字〔2012〕6013号)

项目承担单位：贵州省水利厅、贵州省水利水电勘测设计研究院

项目负责人：杨朝晖 项目牵头人：向国兴

课题牵头单位及课题负责人如下表：

编号	课 题 名 称	课题牵头单位	课题负责人
1	库首褶皱带隐伏型岩溶发育特征及其渗漏研究	贵州省水利水电勘测设计研究院	官长华 刘子金
2	峡谷区高面板坝综合变形控制与防裂研究	贵州省水利水电勘测设计研究院	罗代明 欧 波
3	山区长距离大流量输配水综合节水技术研究	黔中水利枢纽工程建设管理局	成 雄 罗亚松
4	峡谷山区高墩大跨连续刚构渡槽技术研究	贵州省水利水电勘测设计研究院	向国兴 徐 江
5	长藤结瓜水库群优化调度及智能监控技术研究	中国水利水电科学研究院	尹明万 邱春华
6	黔中岩溶山区水资源可持续利用关键技术研究	贵州省水文水资源局	舒栋才 吴 平
7	水资源水质保障关键技术研究与应用	贵州大学	吴 攀

序

PREFACE

黔中水利枢纽工程是贵州省首个大型水利枢纽，是贵州人民半个世纪的水利梦，是贵州西部大开发中的标志性工程，是地处贵州岩溶山区的跨区域、跨流域、长距离调水大型民生水利工程。工程以灌溉、城市供水为主，兼顾发电、县乡供水、农村生活供水等，并为改善区域水生态环境创造条件。工程建成后可解决贵阳市区、安顺市区的城市供水，以及六枝北部和东部、普定南部、镇宁北部、关岭中部、西秀南部和东部、平坝南部、长顺东北部等 7 县（区）49 个乡镇的 65.14 万亩农田灌溉、5 个县城和 36 个乡镇供水、农村 41.84 万人生活用水，年供水量为 7.67 亿 m^3 ，并利用坝后落差修建装机容量为 136MW 的平寨电站发电。黔中水利枢纽工程开发的直接目标是解决贵州政治、经济、文化、旅游的核心区——黔中经济区用水安全问题，间接目标是保障粮食生产安全、促进区域社会可持续发展，它是黔中经济区可持续发展的生命线工程，及全国构建和谐社会的重大民生水利枢纽和战略性扶贫工程之一。

工程由水源工程、输配水工程组成，分两期建设。其中，一期工程包括水源工程、一期输配水工程，建成后可解决贵阳市区近期城市供水，以及 7 县（区）42 个乡镇的 51.17 万亩农田灌溉、5 个县城和 28 个乡镇供水、农村 35 万人生活用水，年供水量为 5.50 亿 m^3 ，并利用平寨电站年发电 3.6 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，为遏止区域水生态环境恶化创造条件。开发目标是缓解黔中经济区用水安全、粮食生产安全问题，促进区域经济社会快速发展。水源工程由库容 10.89 亿 m^3 的平寨水库，高 157.5m 的面板堆石坝，装机容量 136MW 的平寨电站组成；一期输配水工程由平寨水库自流到桂家湖长 63.4km 的总干渠，桂家湖取水经革寨水库到凯掌水库长 84.8km 的桂松干渠，总长 247.5km 的 25 条支渠，总长 35.9km 的 2 段以河代渠，以及田间配套工程组成，干支渠总长 431.6km，串联了十余座“长藤结瓜”水库，是典型的跨越岩溶峡谷山区长距

离输配水工程。工程于2009年11月30日动工兴建，水源工程于2015年4月14日实现导流洞下闸蓄水，2016年6月24日平寨电站并网发电，2016年8月28日实现正常蓄水位1331.00m下闸蓄水，2016年12月28日左岸灌溉引水系统成功完成了试通水，2018年1月28日干渠试通水到贵阳，标志工程开始发挥综合效益。

工程的显著特点是地处长江与珠江分水岭地带的跨流域调水、岩溶峡谷区高坝大库建设、峡谷山区长距离输配水、“长藤结瓜”水库群联合调度等，需要研究库首褶皱带隐伏型复杂岩溶发育特征及其防渗、狭窄河谷区高面板坝变形综合控制与防裂、山区长距离大流量输配水综合节水、峡谷山区高墩大跨渡槽、长藤结瓜水库群优化调度及智能监控、黔中岩溶山区水资源可持续利用、水资源水质保障等重大关键技术。

为保障工程顺利建设，依托工程带科研、科研促项目、产学研结合的方式，由贵州省水利厅、贵州省水利水电勘测设计研究院（以下简称贵州水利院）牵头，贵州省水文水资源局、黔中水利枢纽工程建设管理局、贵州省水利科学研究院、中国水利水电科学研究院、武汉大学、南京水利科学研究院、贵州大学等单位参与，联合申报贵州省科技计划目“黔中水利枢纽工程重大关键技术研究与应用”（黔科合重大专项字〔2012〕6013号）并获批立项。项目包括库首褶皱带隐伏型岩溶发育特征及其渗漏研究、峡谷区高面板坝综合变形控制与防裂研究、山区长距离大流量输配水综合节水技术研究、峡谷山区高墩大跨连续刚构渡槽技术研究、长藤结瓜水库群优化调度及智能监控技术研究、黔中岩溶山区水资源可持续利用关键技术研究、水资源水质保障关键技术研究与应用等7个课题。贵州水利院牵头各参研单位联合开展上述重大关键技术攻关，解决了工程遇到的重大技术问题和难题，进一步完善并创新发展了适用于贵州岩溶山区的现代水利技术，为加快解决贵州工程性缺水问题提供了技术支撑。

研究工作结合工程建设进展推进，2017年3月基本完成各课题验收，成果丰硕，研究成果充分应用于工程实践，取得了良好效果。为推广黔中水利枢纽重大关键技术创新和研究成果，丰富岩溶山区特色的现代水利工程技术，贵州水利院策划并组织各课题参研单位和参研人员上百人，在各课题研究成果的基础上编著了系列著作，分别是《褶皱带隐伏型岩溶发育特征及防渗技术》《狭窄河谷区高面板坝变形综合控制技术》《山区长距离输配水综合节水技术》《高墩大跨连续刚构渡槽技术指南》《长藤结瓜水库群优化调度及智能监控》《岩溶山区水资源可持续利用关键技术》《贵州喀斯特地区煤矿矿山环

境生态问题及治理对策》。

该系列著作既有工程设计的基础理论和技术方案措施，又兼具解决问题的新思路、新方法和技术上的新突破，理论联系实际，技术新颖、经验可鉴。系列著作各册自成体系，结构合理、层次清晰，资料数据翔实，内容丰富，充分体现了黔中水利枢纽工程的重要研究成果和工程实践效果，完善了岩溶山区现代水利技术，可供类似工程的勘察、设计、施工、监理、建设管理、运行调度、科研等领域的专业人员借鉴参考，也可供相关高校师生阅读。

早在 20 世纪 50 年代末期贵州水利院建院之初，老一辈水利人就提出了引三岔河之水润泽黔中这一贵州水利梦想，经过 60 年的不懈努力奋斗，黔中水利枢纽一期工程建成并蓄水和通水，这一贵州水利梦想终得实现。该工程的成功建设，承载着贵州几代水利前辈的夙愿，凝聚着贵州几代水利专家和领导的追求与奋斗，饱含着这一代从事勘测、设计、科研、建设管理等工作的贵州水利人的智慧和汗水，促进了一大批年轻水利工程师的成长，大幅提升了岩溶山区水利工程勘测设计和科技创新能力，提振了贵州建设大型水利工程的信心和勇气。谨以此系列著作献给他们，献给贵州水利院建院 60 周年，并推动岩溶山区现代水利技术的提升和发展。

由于研究和应用周期长、资料及研究成果庞杂、参研单位及人员较多，系列著作从组稿到出版经历了 3 年多，限于作者水平，书中难免有不妥之处，敬请同行专家和读者批评指正。

贵州省水利水电勘测设计研究院

2018 年 3 月

前言

FOREWORD

20 世纪 60—70 年代, 面板堆石坝筑坝技术逐步成熟。该技术适应复杂气候和各种地形地质条件, 并具有良好的抗震性能, 还可广泛采用当地材料填筑, 甚至通过分区优化充分利用开挖料, 利于环境保护, 节省工程投资和工期, 因此发展迅猛。近年来, 我国面板堆石坝建设水平居世界前列, 已建成一批世界级的高面板坝, 如目前世界最高的 233m 水布垭面板堆石坝, 最大坝高 185.5m 的三板溪面板堆石坝, 最大坝高 179.5m 的洪家渡面板堆石坝, 最大坝高 178m 的天生桥一级面板坝等。据不完全统计, 国内已建和在建的面板堆石坝已超 250 座, 其中 100m 以上高坝 55 座, 约占世界总量的 40%。

目前, 我国针对峡谷区面板堆石坝坝体变形规律、面板开裂机理以及工程施工技术进行了系统的总结分析研究, 但没有系统研究狭窄河谷区面板坝变形及其引起的防渗系统变形, 以及应对防渗系统变形能采取的综合控制措施。

我国西部地区水资源蕴藏丰富, 地形以高山峡谷为主, 坝址条件复杂, 多为陡峭狭窄河谷, 这对面板堆石坝设计、建设提出了新的特殊要求, 值得深入研究和总结。黔中水利枢纽平寨水库面板坝最大坝高为 157.5m, 坝顶河谷宽高比为 2.2, 处于狭窄河谷区, 中下部尤其狭窄, 岸坡陡峻, 是我国已建成的最狭窄高面板坝之一, 变形非常复杂, 防裂控制难度高。

本书依托狭窄河谷区平寨水库面板堆石坝的设计、施工和建设管理实践, 论述了狭窄河谷区高面板坝变形特点和运行性状, 分析了适用的计算理论及其应关注的重点, 研究了其主要变形特征及影响因素, 重点关注了狭窄河谷区坝体应力应变计算模型、坝体与岸坡接触特性、多向拱效应、面板破坏机理及其分区、分缝和止水要求、面板合适的浇筑时机等, 提出了狭窄河谷区高面板坝的设计原则、技术要求、技术方案, 并在平寨水库面板坝建设应用实践的基础上, 总结提出了狭窄河谷区高面板坝变形综合控制技术。

本书共6章：第1章峡谷区高面板坝特点和运行性状，介绍了国内外典型的峡谷区高面板坝建设和运行性状；第2章狭窄河谷区面板堆石坝计算理论，分析了适用于狭窄河谷区高面板坝应力变形计算基本理论和计算模型，包括堆石料的静动力弹塑性模型、黏弹性流变模型、岸坡与坝体接触模型等；第3章狭窄河谷效应对面板坝应力变形影响研究，通过有限元数值计算方式探讨了狭窄河谷形状对坝体和面板防渗体系应力变形的影响；第4章狭窄河谷区高面板坝设计原则，结合国内外面板坝设计经验与狭窄河谷区面板坝自身特点提出了狭窄河谷区高面板坝设计基本原则；第5章狭窄河谷区高面板坝工程实践，以黔中水利枢纽平寨水库面板堆石坝建设为例，系统介绍了狭窄河谷区高面板堆石坝的填筑材料选择及其材料试验、填筑料级配设计、坝体体型设计、大坝施工技术要求、应力应变特性及运行现状、趾板及面板和止水设计、面板浇筑时机等；第6章结论与展望，系统总结了狭窄河谷区高面板坝变形综合控制技术，包括筑坝材料、材料级配、基础处理、填筑标准、防渗体设计、面板浇筑时机等变形综合控制技术，并提出今后需要继续研究和关注的问题。

本书依托黔中水利枢纽工程平寨水库建设实践，研究工作得到了项目业主、施工单位、监理单位、监测检测单位的大力支持，得到了水利部水利水电规划设计总院的技术指导，也得到了贵州省科学技术厅“黔中水利枢纽工程重大关键技术研究与应用”（黔科合重大专项字〔2012〕6013号）的资助，谨向支持和关心各项工作的所有单位和个人表示衷心的感谢，也感谢中国水利水电出版社为本书出版付出的辛勤劳动。在本书的编写过程中，参阅了大量有关面板坝研究的文献资料，部分内容已在参考文献中列出，但难免仍有遗漏，在此一并向参考文献的各位作者致谢。

本书由向国兴、欧波总体策划和组织牵头编著，并负责统稿；欧波作为设代负责人在现场开展了大量实践和研究；向国兴、罗代明负责技术把关和审稿，杨卫中参与了技术把关，周伟、李国英参与了审稿。

限于作者技术水平及工程实践经验，书中错误和缺点在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2018年4月

目录 CONTENTS

序 前言

第 1 章 峡谷区高面板坝特点和运行性状·····	1
1.1 混凝土面板堆石坝的发展·····	1
1.2 峡谷区高面板坝主要特点·····	2
1.3 峡谷区典型面板堆石坝设计与运行性状·····	3
1.4 狭窄河谷区高面板坝研究现状及关键问题·····	14
第 2 章 狭窄河谷区面板堆石坝计算理论·····	16
2.1 筑坝堆石料常用本构模型·····	16
2.2 面板堆石坝三维有限元模拟方法·····	29
2.3 土石坝内部接触力学特性试验与数值模型·····	33
第 3 章 狭窄河谷效应对面板坝应力变形影响研究·····	39
3.1 河谷效应对坝体应力变形的影响·····	39
3.2 河谷效应对防渗体系应力变形的影响·····	54
第 4 章 狭窄河谷区高面板坝设计原则·····	61
4.1 狭窄河谷面板的破坏机理·····	61
4.2 坝体变形控制设计技术·····	67
4.3 面板限裂技术·····	70
4.4 新型止水结构设计·····	72
第 5 章 狭窄河谷区高面板坝工程实践·····	78
5.1 坝体设计·····	79
5.2 筑坝料室内试验研究·····	89
5.3 大坝施工技术研究·····	100
5.4 黔中面板堆石坝应力变形数值分析·····	129
5.5 黔中面板堆石坝动力反应及残余变形·····	161
5.6 黔中面板坝体变形控制工程措施·····	170

5.7 坝体运行性状监测 172

5.8 工程总体评价 178

第 6 章 结论与展望..... 179

6.1 结论 179

6.2 展望 185

参考文献 186

峡谷区高面板坝特点和运行性状

1.1 混凝土面板堆石坝的发展

面板堆石坝专家库克 (J. B. Cooke) 将堆石坝的发展过程分为三个阶段: 即抛填堆石坝时期、抛填堆石坝向碾压堆石坝的过渡时期以及现代重型碾压堆石坝时期。

1850—1965 年, 美国采用堆石抛填法建成多座高度 30m 以上的面板堆石坝, 如迪克斯河 (Dix River) 坝 (1925 年, 坝高 84m)、盐泉 (Salt Spring) 坝 (1931 年, 坝高 100m)、考斯格威尔 (Cogswell) 坝 (1934 年, 坝高 85m)、下比尔 1 号 (Lower Bear No. 1) 坝 (1952 年, 坝高 71m)、下比尔 2 号 (Lower Bear No. 2) 坝 (1952 年, 坝高 50m)。这一时期的堆石坝多采用抛石法填筑, 即将大块石从高栈桥向下抛投并用水枪喷射使之密实。由于堆石料压实不足, 竣工后坝体位移可达到坝高的 1%~2%, 50m 以下的低坝尚能承受这种变形, 70m 以上堆石坝, 因变形太大均发生严重面板裂缝和坝体渗漏, 如盐泉坝混凝土面板裂缝宽达 2.5cm, 漏水量很大。20 世纪 50 年代以后, 世界上已不再建造此种堆石坝, 这一阶段抛填堆石坝的修建高度受到限制, 而带有反滤层的黏土心墙堆石坝取得了快速发展, 抛填堆石坝逐步向碾压堆石坝过渡。

20 世纪 60 年代末期, 重型振动碾应用于压实堆石和砂卵石。通过振动碾压设备压实的堆石体, 可获得较高的密实度, 坝体沉降变形大幅减小, 使得混凝土面板的工作状况大为改善, 坝体的修筑高度得以进一步提高。1971 年澳大利亚建成的塞沙那 (Cethana) 坝 (坝高 110m)、1980 年巴西建成的阿利亚 (Areia) 坝 (坝高 160m)、1993 年墨西哥建成的阿瓜密尔 (Aguamilpa) 坝 (坝高 187m), 标志着混凝土面板堆石坝筑坝技术走向成熟。我国采用现代技术修建碾压式混凝土面板堆石坝始于 1985 年, 起步较晚但发展迅速, 目前在工程数量、建坝高度等方面均居世界前列。迄今, 国内坝高百米以下级的工程已较多, 百米级甚至两百米级的面板坝也已不少, 如贵州洪家渡 (坝高 179.5m)、湖南三板溪 (坝高 185.5m)、湖北清江水布垭 (坝高 233.0m) 等, 正在筹建中的大石峡、茨哈峡、古水等工程的坝高达到 250m 左右。混凝土面板堆石坝抗滑与抗渗稳定性好、地质条件要求低、抗震性能好、造价便宜, 已成为当前土石坝的主要坝型之一。

1.2 峡谷区高面板坝主要特点

混凝土面板堆石坝的技术核心是对坝体变形的控制，以及保证面板、止水结构等防渗系统满足强度和变形的要求。面板坝应力变形特性的影响因素复杂，坝址区河谷形态就是其中一个。修建在宽阔河谷的面板堆石坝，坝体的宽高比较大，坝体的应力分布三维作用较弱；修建在峡谷区的堆石坝，坝体宽高比较小，坝体应力分布呈现出明显的拱效应，施工期坝体的变形往往偏小，后期坝体的流变效应明显。此外，狭窄河谷坝址两岸陡峻，地形复杂，坝肩接触部位变形梯度大，为坝体的变形与面板开裂控制带来严峻挑战。表 1.1 列出了国内外一些修建在狭窄河谷上的面板堆石坝。

表 1.1 国内外一些修建在峡谷区上的面板堆石坝

坝 名	国家	建成年份	坝高/m	河谷宽高比	筑坝材料
塞沙那 (Cethana)	澳大利亚	1971	110.0	1.94	石英岩
安奇卡亚 (Alto Anchicaya)	哥伦比亚	1974	140.0	1.86	角页岩和闪长岩
格里拉斯 (Golillas)	哥伦比亚	1978	125.0	0.87	砂砾石
亚坎布 (Yacambu)	委内瑞拉	1996	162.0	0.90	砂砾石
默奇森 (Murchison)	澳大利亚	1982	89.0	2.36	流纹岩
萨尔瓦依那 (Salvajina)	哥伦比亚	1985	148.0	2.45	砂砾岩和硬砂岩
黔中平寨	中国	2014	157.5	2.2	灰岩
西北口	中国	1989	95.0	2.34	灰岩
万安溪	中国	1995	93.5	2.27	花岗岩
白云	中国	1998	120.0	1.67	灰岩和砂岩
引子渡	中国	2003	129.5	2.13	灰岩
洪家渡	中国	2004	179.5	2.38	砾岩
龙首二级	中国	2004	146.5	1.30	绿灰斑岩
九甸峡	中国	2008	133.0	1.74	灰岩
积石峡	中国	2014	103.0	3.13	砂岩
猴子岩	中国	在建	223.5	1.25	灰岩和流纹岩

峡谷区面板堆石坝的坝址及坝体几何构形通常具有以下的特点：①坝址位于峡谷区，河谷大多为 V 形，某些坝址的河谷具有明显的不对称特点，坝体的宽高比较小；②坝址地质地形条件较为复杂，左右两岸岸坡陡峭，倾角可达 70°以上，岸坡坡度通常具有明显的转折，某些坝址甚至包含倒坡或台阶状的复式地形；③某些河谷具有较为深厚的覆盖层。

峡谷区面板堆石坝的上述特点给坝体的变形以及混凝土面板的开裂控制带来了新的问题，主要可归结为以下几点：

(1) 狭窄河谷面板堆石坝的宽高比较小，坝体的三维效应明显。以洪家渡面板堆石坝为例，三维有限元计算的结果比二维计算结果小 30%~50%；坝体的应力与变形特征具

有明显的拱效应,应力与变形的演化规律复杂;坝体内部的竖向应力相对于宽阔河谷条件下较小,岸坡承受了相当部分的坝体自重应力。由于拱效应的存在,坝体的初始变形较小,但随着时间的推移,在堆石料的流变作用下,坝体内部应力逐渐调整,坝体的后期变形不可忽视。

(2) 为了避免不经济的开挖,坝体修建大多直接利用了原有的陡峭岸坡,坝体自重荷载在岸坡斜面上的法向分量可能小于切向分量,如果沿岸坡切向的抗滑力低于自重荷载的切向分量,坝体可能会沿陡峭的坝肩发生滑坡。另外,坝体竣工后,由于坝肩渗漏、堆石料的受压破碎等作用,堆石与坝肩之间的接触摩擦强度会发生衰减,进而引起运行期新的变形产生。

(3) 混凝土面板与堆石料相互接触且属于不同材料,当堆石坝发生不均衡变形或者沿坝肩发生滑坡时,面板与堆石体的变形难以协调,易发生面板的脱空、受拉、受压破坏或者止水结构破坏。狭窄河谷地区两岸岸坡通常不对称,这一方面使得堆石坝坝体具有不对称的空间几何形状,另一方面使得坝体的变形具有复杂的约束条件。因此狭窄河谷地区的堆石坝在自重以及两岸约束作用下易产生不均衡的变形,为面板的变形与开裂控制带来困难。

下面结合国内外几个具有代表性的狭窄河谷地区高面板堆石坝的工程运行性状,总结了该类坝型在修建、运行期间面临的主要问题与工程经验。

1.3 峡谷区典型面板堆石坝设计与运行性状

1.3.1 塞沙那混凝土面板堆石坝

塞沙那混凝土面板堆石坝位于澳大利亚塔斯马尼亚州北部的福斯河上,是墨塞-福斯梯级电站的7座坝中最高的一座,坝高110m,坝顶长213m,坝体的堆石量为140万 m^3 ,该坝于1967年开工,1971年完工。坝址位于狭窄河谷,河谷宽高比为1.94,属于典型的狭窄河谷地区高面板堆石坝。大坝设计剖面如图1.1所示。

(1) 塞沙那混凝土面板堆石坝设计时,尚无类似工程可借鉴,设计人员在已建大坝运行资料与室内试验基础上,确定了坝体设计原则如下:

1) 以分层碾压堆石取代抛填堆石。大坝上下游坡度均为1:1.3,坝体剖面分为三个材料区域:1区为钢筋混凝土面板;2区位于坝体上游面,宽度3m采用级配良好的堆石,最大粒径为22.5cm,填筑层厚0.45m;堆石3A区为坝体的主体部分,占坝纵断面约2/3,为水荷载的主要支撑部分,3A区具有良好的级配,最大粒径达到60cm,填筑厚度0.9m;3B区位于坝体下游,占总断面的1/3,填筑层厚1.35m,级配比3A区略宽,以坚硬干净的石料为主。

2) 采用带有灌浆帷幕的混凝土底座取代截水槽。地基进行帷幕灌浆与固结灌浆处理。帷幕灌浆孔平行于坝轴线,倾斜 45° 以切割顺河向的垂直节理系统、层面剪切及其相连的节理系统。帷幕灌浆孔深度达1/2水头。

3) 设置特殊堆石料区以改善坝体局部工作特性。在混凝土底座临近区,采用层厚12cm、最大粒径小于10cm的2区堆石料压实填筑,以降低底座与面板连接部位的坝体变形。在3A区上游侧与2区毗连的3m范围内,设置最大粒径小于37.5cm的过渡区,以

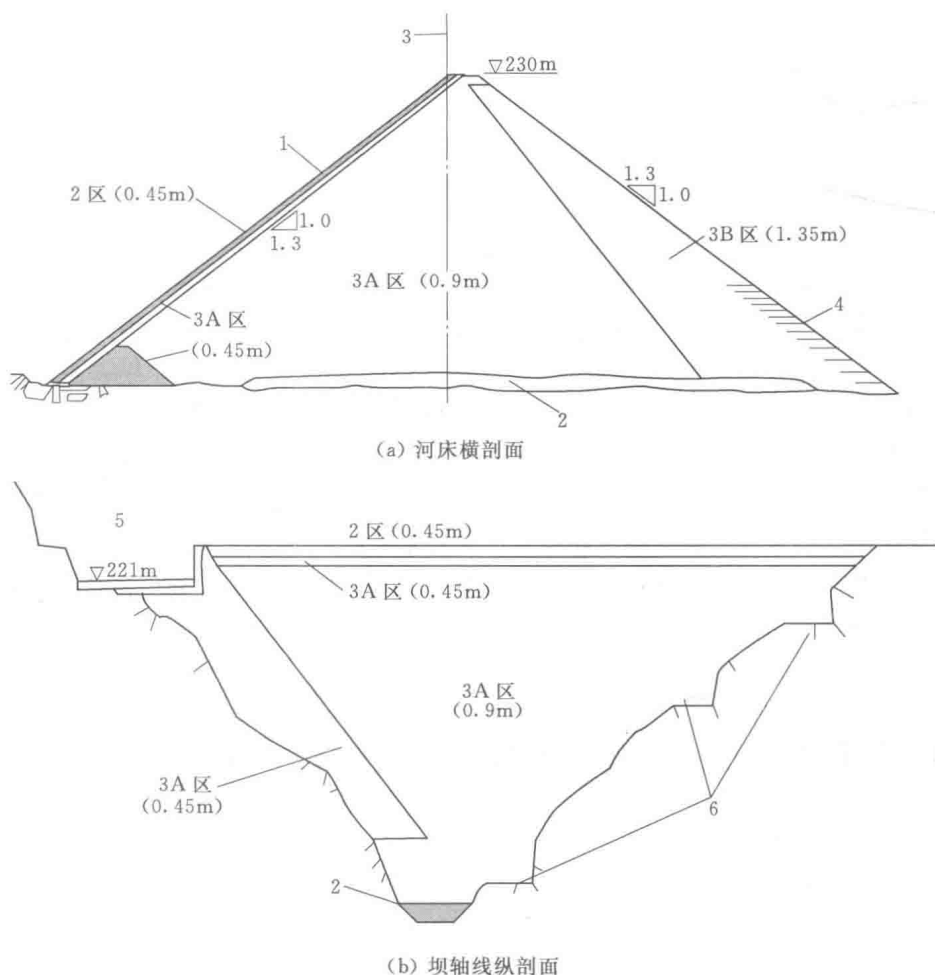


图 1.1 塞沙那大坝剖面图

1—钢筋混凝土面板；2—河床砂砾层；3—坝轴线；4—钢筋网护面锚筋；5—溢洪道；6—施工交通道

防止面板渗漏将 2 区内细料带走。在陡坡部位采用层厚 45cm 的 3A 区筛选细料填筑，以降低坝体变形。

4) 坝体填筑到顶后浇筑混凝土面板，面板垂直缝都是平接缝，缝间无填料（图 1.2）。混凝土面板厚度公式为 $T=0.3+0.002H$ ，采用双向配筋，在靠近两岸坝坡区增加配筋以应对可能出现的拉应力。

5) 混凝土面板分块宽度 12.2m。为应对坝肩部位可能出现的拉应力，在面板靠近两岸处增设垂直缝。面板周边缝设置了两道止水，其中橡胶止水距面板表面 150mm，面板底部设 W 型铜止水，缝中填充 12mm 厚坚硬松木板。

(2) 塞沙那坝自 1971 年 4 月蓄水以来，水库通常保持在正常蓄水位（221m 高程）运行。坝区年降水量为 2030mm。

塞沙那混凝土面板堆石坝运行十年的监测结果如下：

1) 坝顶位移。1971 年 2 月 4 日水库蓄水至 1982 年 11 月 18 日坝顶沉降和水平位移沿坝轴线分布如图 1.3 所示，典型日期最大值见表 1.2。

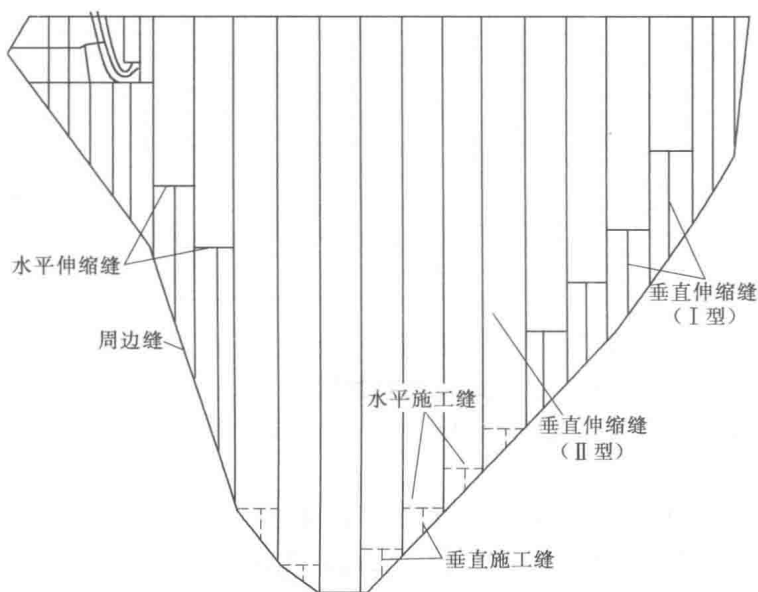


图 1.2 塞沙那大坝面板接缝系统设置

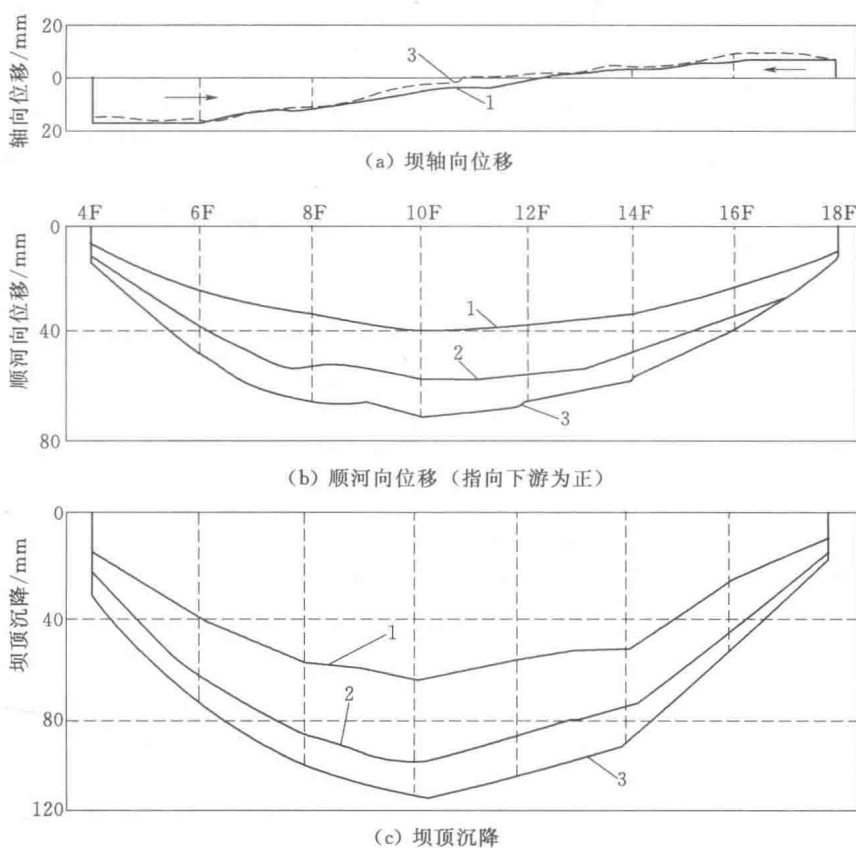


图 1.3 坝顶位移

1—1971 年 12 月；2—1975 年 10 月；3—1980 年 1 月