

武警水电第一总队

科技成果汇编

(2004 — 2015年)

优秀论文（上）

武警水电第一总队 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

武警水电第一总队 科技成果汇编

(2004—2015年)

优秀论文(上)

武警水电第一总队 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为2015年7月武警水电第一总队科技大会会议成果汇编,主要内容包括会议评选出的优秀科技论文、工法和专利。优秀科技论文选自2004年以来总队科技干部发表的学术论文,共111篇,内容涵盖堆石坝工程、混凝土工程、地下工程、基础处理工程、导截流工程、爆破工程、金属结构工程、检验与试验及新材料应用、经营与管理、抢险技术等工程领域。另外,本书收录武警水电第一总队已取得国家级、省部级工法26项,专利11项。本书汇编的科技成果来自施工生产和应急救援一线,供水利水电施工、应急救援技术人员学习交流。

图书在版编目(CIP)数据

武警水电第一总队科技成果汇编:2004~2015年/
武警水电第一总队编著. —北京:中国水利水电出版社,
2016.1
ISBN 978-7-5170-4097-2

I. ①武… II. ①武… III. ①水利水电工程—科技成
果—汇编—中国 IV. ①TV

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第018652号

书 名	武警水电第一总队科技成果汇编(2004—2015年) 优秀论文(上)
作 者	武警水电第一总队 编著
出版发行	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 (发行部)
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	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	210mm×285mm 16开本 51.5印张(总) 1560千字(总)
版 次	2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷
印 数	0001—1000册
总 定 价	180.00元(全3册)

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编委会名单

编委会主任：范天印 冯晓阳

编 审：李虎章 息殿东 魏学文 宋东峰

编 辑：技术室 工程技术科 作训科 宣保科

前 言

2015年7月，武警水电第一总队（以下简称总队）调整转型后第一届科技大会在广西南宁胜利召开。大会总结回顾了总队自组建以来科技工作取得的成绩和经验，展示了先进技术成果，表彰了优秀科技工作者，并对下一阶段科技工作进行了研究部署，提出了以科技创新带动部队建设全面发展，实现能力水平整体提升，建设现代化国家专业应急救援部队的发展目标。本书为科技大会成果汇编，包括优秀科技论文2册，专利和工法1册。

武警水电第一总队是一支有着光辉战斗历程的英雄部队，在近50年的发展历程中，总队凭借专业技术优势，发扬攻坚克难、敢打必胜的铁军精神移山开江、凿石安澜，在国家能源建设战线上屡立奇功，在应急抢险征途上几度续写辉煌。2009年，部队正式纳入国家应急救援力量体系。2012年，根据国发43号文件精神，部队全面调整转型，中心任务由施工生产向应急救援转变，保障方式由自我保障向中央财政保障转变。目前，总队正向着打造“国内一流、国际领先、专业领域不可替代”的应急救援专业国家队建设目标奋勇前行。

本书旨在展示总队广大技术人员在生产、管理、应急抢险等领域取得的技术成果，进一步增强广大技术干部的创新意识，营造积极参与科技创新的良好氛围，不断提高科技创新水平、加强技术交流，促进应急救援科技人才快速成长，为先进施工技术成果向应急救援技战法转变打下坚实基础。丛书共收录科技大会评选出的优秀科技论文111篇，论文涵盖堆石坝工程、混凝土工程、地下工程、基础处理工程、导截流工程、爆破工程、金属结构工程、检验与试验及新材料应用、经营与管理、抢险技术10个领域的内容。同时，丛书汇编专利成果11项，国家级和省部级工法26项。

武警水电第一总队首长对本书出版给予极大支持，编委会成员为出版工作付出了辛勤汗水，在此一并致谢。

本书不当之处，恳请各位读者批评指正。

编委会

二〇一五年十一月

目 录

前言

堆 石 坝 工 程

洪家渡面板堆石坝填筑分期方案研析·····	黄锦波	王德军	3
盘石头水库混凝土面板堆石坝施工技术要点·····	张耀威	秦崇喜	8
高混凝土面板堆石坝施工技术·····	吴桂耀	黄宗营	14
糯扎渡大坝心墙防渗土料开采施工工艺及方法·····	叶晓培	吴桂耀	23
糯扎渡大坝坝料开采技术研究与应用·····	吴桂耀	黄宗营	30
浅谈糯扎渡心墙堆石坝心墙掺砾土料填筑施工工艺及方法·····	黄宗营	吴桂耀	40
苏家河口水电站混凝土面板堆石坝挤压边墙施工技术·····	冯洪森	刘攀	46
糯扎渡心墙堆石坝填筑施工质量控制·····	朱自先	黄宗营	49
挤压式混凝土边墙固坡技术在黄水河水库混凝土面板堆石坝施工中的应用·····	章新发	朱耀邦	56
梨园水电站面板堆石坝坝体不同介质结合部填筑处理措施·····		杨奎成	59
梨园水电站面板堆石坝趾板混凝土施工技术·····	卓战伟	李洁	63

混 凝 土 工 程

构皮滩水电站下游 RCC 围堰施工技术·····	帖军锋	邓有富	69
贵州大花水水电站碾压混凝土拱坝施工工艺·····	李光隆	叶晓培	74
龙滩工程左岸大坝进水口异形模板设计与施工体会·····	余晓东	唐先奇	79
龙滩大坝左岸坝级碾压混凝土施工技术综述·····	黄锦波	余晓东	83
三峡船闸薄衬砌墙混凝土施工技术·····	齐建飞	马玉增	87
长洲船闸工程基础约束区混凝土高温季节施工温度控制·····	于涛	范双柱	90
构皮滩水电站下游 RCC 围堰碾压混凝土工艺试验·····	吴晓光	田栋芸	93
大花水碾压混凝土双曲薄拱坝施工技术及特点·····	蒋建林	何际勋	97
高速皮带机在大花水工程中的应用研究·····	蒋建林	高玉国	103
仰拱滑模在锦屏二级水电站 C3 标工程中的应用·····	帖军锋	赵志旋	109
观音岩水电站右岸明渠溢流坝段 RCC 温度场仿真分析·····	芦冰	陈林	113
锦屏二级水电站引水隧洞转弯段混凝土衬砌施工模拟与检验·····	宋东峰	冉瑞刚	117
糯扎渡大坝心墙垫层混凝土温控施工技术·····	张礼宁	柴喜洲	121
丙乳砂浆在南干渠工程二衬混凝土施工中的应用·····	付亚坤	李晓红	125
枕头坝导流明渠纵向混凝土围堰碾压混凝土施工·····	张伟	冯勇	129
观音岩水电站大坝碾压混凝土施工质量控制·····	彭克龙	张妍华	136

地 下 工 程

高压固结灌浆在粉质黏土中的可灌性试验·····	范双柱	秦 铎	帖军锋	145
大管棚技术在龙滩右岸导流洞施工中应用·····	张为通	唐思成		149
地下工程中基于人工神经网络的岩爆预测·····	张轩庄			152
小导管注浆技术在南水北调暗涵工程中的应用·····	张尹耀	金良智		157
大型洞室的施工技术与管理·····	吴桂耀			159
长隧洞施工关键技术·····	黄锦波	帖军锋	范双柱	164
全圆钢模台车施工技术在南水北调西四环暗涵工程中的应用·····	王长春	付亚坤		171
南水北调西四环暗涵工程特殊地层加固处理技术·····	金良智			175
长管棚施工技术在董箐电站特大隧洞的应用·····	蒋建林	王洪源	付于堂	178
高地应力区绿泥石片岩隧洞开挖支护施工技术·····	李 宏	刘正波	宋 威	183
糯扎渡水电站右岸 3 号导流洞特大洞室开挖支护综合施工技术·····	杨玺成	郭 超		187
浅埋暗挖施工技术的研究与应用·····	宋希宁	李文瑛	闫艳军	192
深埋长大引水隧洞单一工作面施工组织管理·····	陈 东	莫大源	刘 伟	198
冲击钻在闸门井导井施工中的应用·····	杨玺成	郭 超		204
猴子岩水电站导流洞进口渐变段施工技术·····	唐浩杰	雍 维		206
高地下水场区大空间地下工程的抗浮设计与施工·····	姜居林	许 倩		213
南水北调中线工程七里河倒虹吸导流设计及施工·····	张尹耀	谭 林	魏 锐	217
锦屏二级水电站 3 号引水隧洞 0+270~0+355 段溶洞施工方案·····	孙金库			221

基 础 处 理 工 程

控制性水泥灌浆工艺在围堰防渗工程上的应用·····	杨森浩	秦 铎	赵忠旭	227
水布垭水利枢纽放空洞溶洞群部位固结灌浆施工剖析·····	金良智			231
化学灌浆在龙滩水电站右岸导流洞衬砌混凝土施工缝处理中的应用·····	侯国锋	程俊利		235
龙滩水电站右岸高边坡不稳定块体综合治理措施·····	申时钊	罗 翔		239
挤压混凝土固坡技术的应用研究与思考·····	李虎章	杨新贵		242
丰富地下水条件时位于滑坡体上的大断面长抗滑桩施工技术·····	李 宏	张为通		245
光照水电站大坝防渗帷幕灌浆施工·····	黄艳莉	宋园生		249
锦屏二级水电站引水隧洞富水区未衬砌条件下的防渗堵水施工实践 ·····	孙金库	姚志辉	尹海东	255
构皮滩拱坝接缝灌浆串并灌工艺·····	周 强	尹海东		259
糯扎渡水电站大坝基础帷幕灌浆生产性试验施工·····	王连喜	梁龙群	王 健	265

堆石坝工程

洪家渡面板堆石坝填筑分期方案研析

黄锦波 王德军

【摘要】: 垫层料的开裂、面板的开裂和脱空与坝体的填筑分期、大坝的填筑速率密切相关,合理的填筑方案会避免或大大减小面板发生拉伸性裂缝和弯曲性裂缝的可能性。洪家渡面板堆石坝经过反复的方案比较、计算,在总结了天生桥面板堆石坝经验与教训的基础上,得出了合理的大坝填筑分期方案,预测出洪家渡面板堆石坝开裂问题较小。

【关键词】: 分期填筑 沉降差 坝体徐变 拉伸性裂缝 弯曲性裂缝 沉陷期 面板开裂 面板脱空垫层料开裂

理论和实践证明,坝体的不均匀沉降和坝体的徐变是导致混凝土面板发生拉伸性裂缝和弯曲性裂缝的主要原因。从防止面板开裂的角度出发,客观上希望大坝填筑在坝体纵横方向上全断面均衡上升,上、下游及左、右岸不要分期为好,填筑面上升速度不要大起大落。这一点对于工程量不大的小型面板坝可能做得到,但对于像洪家渡这样的 200m 级高面板堆石坝来说很难做到。洪家渡面板堆石坝最大坝高 179.5m,坝顶长度 427.79m,坝体基础部位上下游方向最大宽度 500m,总填筑量 900 万 m^3 ,平均填筑强度 30 万 $\text{m}^3/\text{月}$,在填筑期内 90% 的时间内是一条路上坝。因此,洪家渡面板堆石坝现场的客观条件决定了坝体填筑做不到全断面上升,只能分期填筑,分期挡水度汛。

1 洪家渡面板堆石坝填筑分期方案要解决的问题

填筑分期要满足工程节点工期的要求如下。

工程总进度要求:洪家渡水电站在 2001 年 10 月中旬截流后,要在第一个枯水期(2002 年 5 月 31 日前)临时断面填至高程 1025m,具备挡 100 年一遇洪水条件;要在 2004 年 3 月 31 日前完成二期面板(高程 1031~1100m)混凝土浇筑;要在 2005 年 7 月 31 日前大坝工程全部完工。大坝填筑分期方案要满足上述节点工期的要求。

为减小面板混凝土浇筑后发生开裂或脱空的可能性,各期混凝土面板浇筑前,其相应的填筑体应有一定的沉陷期,且沉陷期越长越好,以使面板浇筑时,填筑体的施工期变形已经发生一部分。

为便于料源组织,合理配备大坝填筑的人力、物力,避免填筑工作面上升速率大起大落,大坝各期填筑强度应尽量均衡,不能过分离散。

借鉴以往类似工程的经验,大坝填筑分期方案,以有利于减小面板发生拉伸性开裂和弯曲性开裂的可能性为最优。

2 关于面板开裂机理的讨论

2.1 裂缝产生的原因

在天生桥面板坝之前,面板的危害性裂缝($\delta \geq 0.3\text{mm}$)主要是指靠近趾板区域出现的裂缝,产生的原因是:①该区域基础面不平整;②填筑厚度突变;③周边缝区域碾压不密实。

经过若干座面板坝修建之后(坝高 $H \leq 150\text{m}$),找到了解决问题的办法:①靠近趾板区域基础开

挖成渐变；②通过混凝土回填提高基础平整度；③采用振动夯板压实靠近周边缝区域的细料，提高干密度；④靠近周边缝区域的面板设双层钢筋、双道止水，见图 1 和图 2。

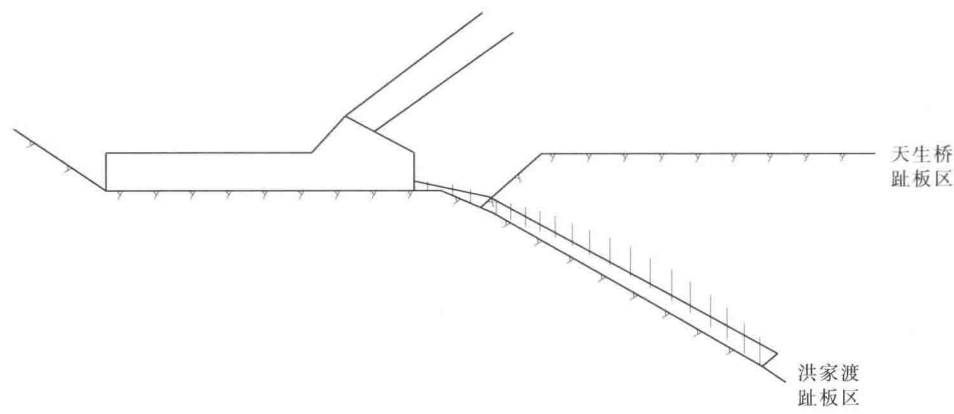


图 1 天生桥、洪家渡面板坝趾板区基础对比

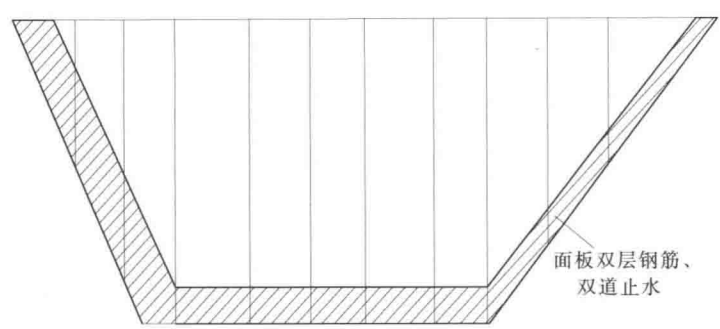


图 2 周边缝区域面板特殊处理

除上述裂缝区之外，面板中间部位一般只产生混凝土温度裂缝 ($\delta < 0.3\text{mm}$) 一般不需要处理。

2.2 两种裂缝

天生桥面板坝之后，由于 200m 级面板坝工程量很大，为满足分期施工、分期度汛的要求，往往在上、下游方向或左右岸要分期填筑，由此增加了面板的两种裂缝：拉伸性水平裂缝和弯曲性水平裂缝。

2.2.1 拉伸性水平裂缝

拉伸性裂缝产生原因见图 3。

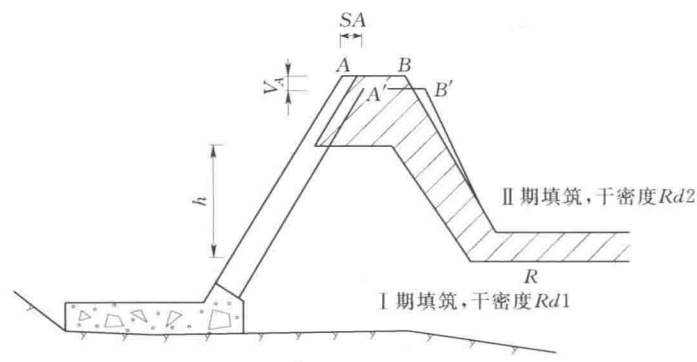


图 3 拉伸性裂缝产生的原因

上述分期填筑造成：

(1) 由于Ⅰ期填筑坝体的徐变（施工期沉降）提前于Ⅱ期发生，使得 $Rd_1 > Rd_2$ （若Ⅱ期填筑位于次堆石区，设计的 $Rd_1 > Rd_2$ ，更是如此），造成上、下游沉降差：

$$V=a+b\lg(1+\beta T) \quad \text{天生桥坝沉降曲线 } V_a>V_b。$$

(2) 由于填筑料间的“咬合”作用存在，既造成图 3 中虚线所示的坝体位移变形。且 h 越大，这种变形越大（可比喻为“橡皮块”现象）。

(3) 拉伸性变形造成：①若尚未浇面板，当 ΔS 达到一定数值时，垫层料坡面开裂；②若已浇筑面板，当 ΔS 达到一定数值时，该数值超过了面板的弹性余度，面板开裂；③当 ΔS 继续增大，则面板脱空。而此时垫层料的开裂无法检查、处理。

(4) 拉伸变形使天生桥面板坝一期中部面板脱空 23 块，最大脱空长度 6.8m，最大开口 15cm。由于Ⅰ期面板（高程 613~680m）较短，面板的自重不足以使面板拉裂，故天生桥坝一期面板无危害性裂缝。

拉伸性变形造成天生桥Ⅱ期面板（高程 660m~高程 746m）在高程 726m 附近开裂，并造成 45 块面板脱空，最大开口 10cm，最大脱长度 4.7m；面板浇筑前垫层料坡面开裂，在高程 748~768m 开裂 37 条，最长（水平向）96m，宽 5cm，深 1.5m。

2.2.2 弯曲性水平裂缝

弯曲性坝体变形示意图见图 4。

高面板坝最后一期面板，其相应坝体一般为全断面填筑。全断面填筑后，堆石体发生如图 4 的徐变，造成垫层料坡面或面板发生弯曲性开裂。堆石体弯曲性变形造成天生桥Ⅲ期面板在高程 780m 附近开裂，并使 36 块面板脱空，长度最大 10m，开口最大 15cm。

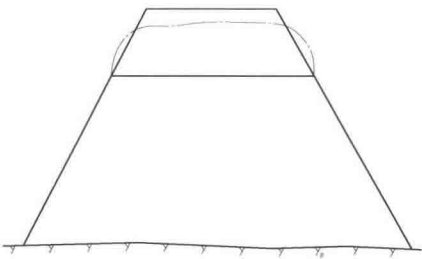


图 4 弯曲性坝体变形示意图

3 洪家渡面板堆石坝坝体填筑分期方案

按照图 5 洪家渡坝体填筑分期方案，除满足合同结点工期外，平均填筑强度 30 万 m^3 /月，最高强度（第Ⅴ期）35 万 m^3 /月，最低强度（第Ⅵ期）29.4 万 m^3 /月，施工强度均衡，见表 1。

表 1 大坝分期填筑特性表

填筑分期	填筑高程 /m	填筑量 /万 m^3	填筑时段 /(年.月.日)	平均填筑强度 /(万 $m^3 \cdot 月^{-1}$)
Ⅰ	968~1025	120.00	2002.1.16—2002.5.15	30.00
Ⅱ	984~1031	196.33	2002.5.16—2002.11.30	30.20
Ⅲ	1031~1055	112.00	2002.12.1—2003.3.15	32.00
Ⅳ	1031~1102	188.00	2003.3.16—2003.9.15	31.30
Ⅴ	1055~1102	132.70	2003.9.16—2004.1.5	35.00
Ⅵ	1102~1142.7	132.40	2004.4.1—2004.8.15	29.40
Ⅶ	968~1030	18.47	2003.3.1—2003.5.20	6.90
Ⅷ	1142.7~1146.6	2.66	2005.5.1—2005.5.31	2.66
总计		902.56		

4 洪家渡与天生桥面板坝填筑分期方案的比较 (图 5、图 6)

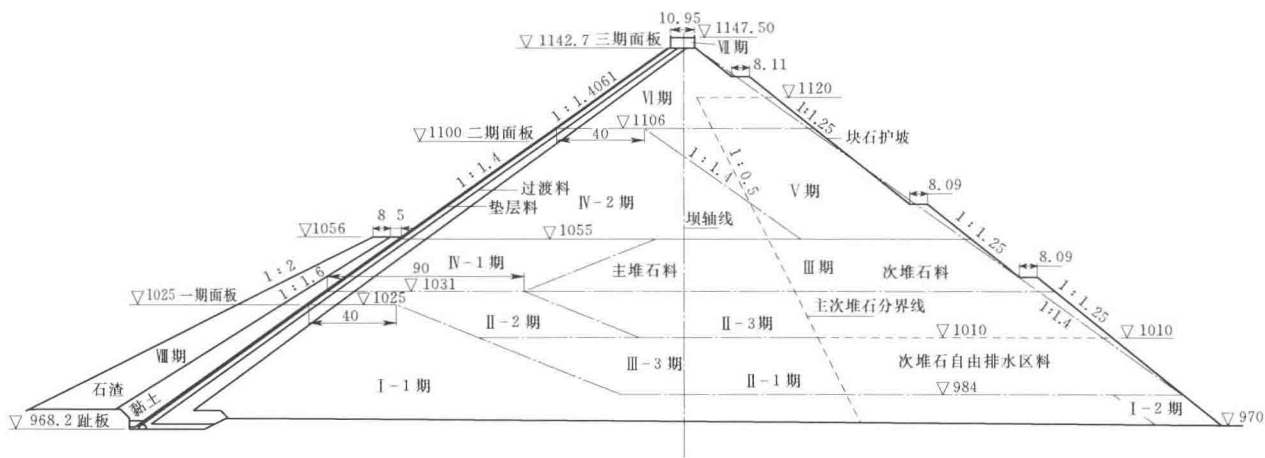
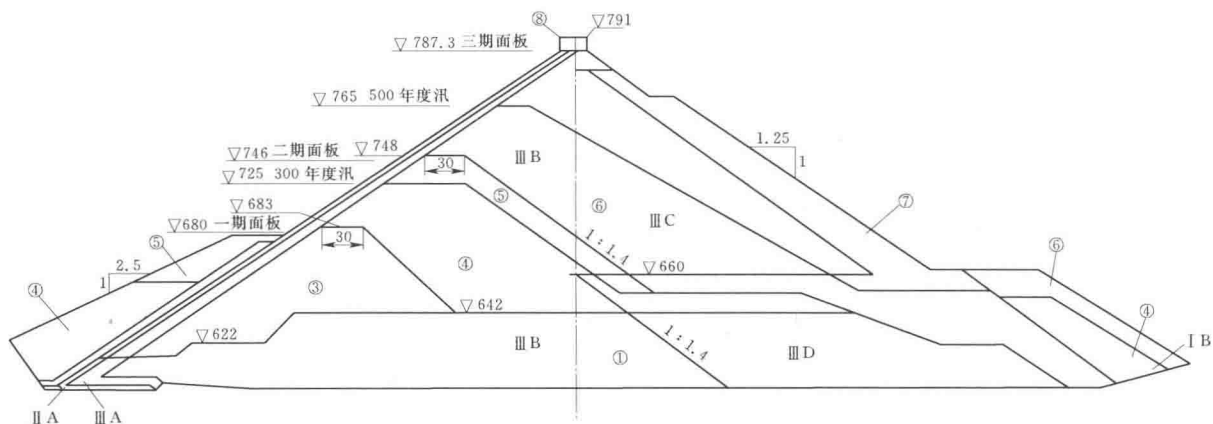


图 5 洪家渡坝体填筑分期方案

图 6 天生桥面板坝坝体填筑分期图
(图中序号①~⑧表示填筑施工分期数)

4.1 一期面板比较

(1) 临时断面顶部高程与尾部平台高差: 天生桥高程 642~683m, $h=41\text{m}$; 高程 1010~1031m, $h=21\text{m}$, 此项拉伸性变形小于天生桥。

(2) 临时断面后边坡坡度。

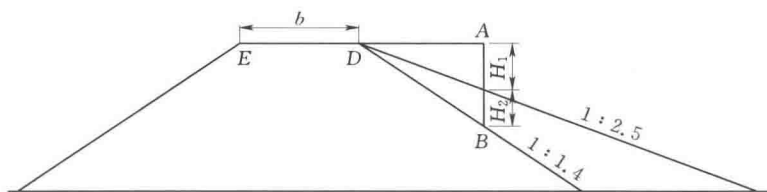


图 7 后边坡坡度与沉降量关系

由图 7, A 点沉降量是 A 点到 B 点距离 H 的正向函数, 即 $V_A=f(H)$ 。天生桥后边坡 1:1.4, 洪家渡后边坡 1:2.5, 即天生桥 $H=H_1+H_2$, 洪家渡 $H=H_1$ 。可见洪家渡上、下游沉降差小于天生桥, 从而拉伸变形小。

(3) 临时断面顶宽 b : 由图 7, 对于塑性体当 $b=\infty$ 时, D 点有水平位移而 E 点为 0, 即 b 越大, E 点水平位移越小。天生桥 $b=30\text{m}$, 洪家渡 $b=90\text{m}$, 可见洪家渡防拉伸变形有利。

(4) 面板浇筑前坝体变形时间: 天生桥填至高程 682 后立即浇面板, 沉降时间为 0; 洪家渡一期面板 2002 年 12 月 26 日浇筑, I 期填筑体 2002 年 6 月 1 日—12 月 25 日有 7 个月的沉降期 (II-1、II-2) 2002 年 9 月 10 日—12 月 25 日, 有 3.5 个月沉降期, 洪家渡有利。

(5) 天生桥一期面板浇筑总宽 400m, 洪家渡宽 165m, 洪家渡有利。

综上所述, 基于天生桥一期面板未开裂的事实, 可以大胆预测, 洪家渡一期面板不会开裂。

4.2 二期面板比较

(1) 沉降时间: 天生桥临时断面填至高程 748m 后立即浇二期面板, 沉降时间为 0, 洪家渡 IV 期填筑计划于 2003 年 9 月 15 日完成, 至 2004 年 1 月 1 日开始浇二期面板有 3.5 个月沉降期, 洪家渡有利。

(2) 洪家渡由于 III 期先填筑完成, 由 IV 期自身填筑体形, 按前面理论分析, 其拉伸变形朝向上游, 为 $-\Delta B_1$ 。V 期于二期面板浇筑前填至高程 1102m, 使拉伸变形 ΔB_2 朝向下游, 则 $\Delta B = \Delta B_2 - \Delta B_1$, 正负抵消一部分, 拉伸变形的终值减小。

综上所述, 洪家渡二期面板的防拉伸性开裂优于天生桥坝, 可能不开裂或较小开裂。

4.3 三期面板比较

(1) 天生桥坝填至高程 787.3m 以后立即浇三面板, 沉降时间为 0, 洪家渡 VI 期填筑时段为 2004 年 4 月 1 日至 8 月 15 日, 截至 2004 年 12 月 1 日开始浇三期面板, 有 3.5 个月沉降期, 优于天生桥。

(2) 天生桥主堆石料设计干密度为 2.12, 洪家渡为 2.181, 坝体徐变量减小, 对于减小弯曲性变形有利。

综上分析, 洪家渡面板坝三期面板在防弯曲性开裂方面优于天生桥。但根据天生桥面板观测资料分析, 对于 200m 级高面板坝, 三期面板要做到不发生弯曲性开裂, 其填筑体应有 8 个月以上的沉降期, 洪家渡的 3.5 个月沉降期是不够的。

5 讨论和建议

(1) 200m 级以上的高面板堆石坝, 面板开裂除周边缝区域外, 中间以上部位尚可能产生拉伸性和弯曲性开裂。

(2) 大坝分期填筑是造成面板开裂的主要原因之一。从面板开裂的成因入手, 合理的填筑分期方案可有效地避免或减小面板开裂的可能性, 应慎重对待, 认真研究。

(3) 在可能的情况下, 应尽量使填筑体在浇筑面板之前有一定的沉降时间。否则, 一旦造成面板浇筑后再发生垫层料开裂的问题, 垫层料的开裂情况便很难检查和处理, 给大坝安全运行带来隐患。

(4) 从减小填筑体拉伸变形考虑, 临时断面的顶宽越大越好, 临时断面的后坡坡度尽量放缓, 上下高差不宜过大。

(5) 为减小弯曲性变形, 填筑体的设计干密度应适当放大, 采用重型振动碾施工, 以减少坝体徐变总量。

(6) 在可能的情况下, 面板浇筑前, 使临时断面的下游侧超前上游侧填筑, 造成坝体水平位移正负相抵, 能有效地减小坝体拉伸变形。

盘石头水库混凝土面板堆石坝施工技术要点

张耀威 秦崇喜

【摘要】: 阐述了工程施工规划, 总结施工技术, 结合工程施工经验, 提出面板坝施工技术发展趋势。

【关键词】: 施工规划 技术总结 分析与思考 盘石头水库

1 概述

盘石头水库位于河南省鹤壁市西南约 15km 的卫河支流淇河中游盘石头村附近。是以防洪、工业及城市供水为主, 兼顾农田灌溉、结合发电、养殖等综合利用的大型水利枢纽工程。水库总库容 6.08 亿 m^3 , 属大(2)型水库, 工程等级为 2 级, 洪水标准按 100 年一遇洪水设计, 设计洪水位 270.7m, 正常蓄水位为 254.0m, 按 2000 年一遇洪水校核, 校核洪水位 275.0m。

盘石头水库工程主要项目有: 大坝、溢洪道、泄洪洞、输水洞和发电站 5 部分。大坝为混凝土面板坝, 坝顶高程 275.7m, 坝顶长 606m, 最大坝高 102.2m, 面板面积 7.3 万 m^2 , 坝体填筑量 548 万 m^3 , 大坝结构上游到下游依次为垫层区、过渡区、上游灰岩堆石区、页岩堆石区、下游灰岩堆石区。

2 大坝施工规划

大坝填筑分区原设计为第 1 期全断面填筑至高程 200m, 填筑量 125 万 m^3 , 坝面经保护汛期过流; 第 2 期坝体断面填筑至 245.0m 高程, 顶宽 30m, 一期面板高程 173.5~234m, 具备抵御 100 年一遇洪水; 第 3 期坝体填筑至 270.7m 高程, 二期面板高程 234~270.7m; 本工程 2004 年 12 月竣工。施工当中, 截流推迟 2 个月, 坝基开挖因地质原因耽误工期 1.5 个月, 第一期大坝填筑仅有 3 个月时间, 按原设计方案实施难以实现。经充分论证, 第一期填筑采取左岸 50m 条带下游填至高程 183m, 预留 125m 宽缺口过流, 右岸全断面填筑至 190.0m 高程, 填筑量 88 万 m^3 , 汛期右岸继续填筑至 210.0m 高程, 填筑量 76 万 m^3 。第二期坝体断面填筑至 245.0m 高程, 顶宽 30m, 并完成一期面板高程 173.5~200m 及上游 195m 高程以下铺盖保护, 具备抵御 100 年一遇洪水, 本期填筑量与一期填筑量累计为 369 万 m^3 。第三期填筑坝体全断面填筑至 270.7m 高程, 填筑量为 189 万 m^3 , 并在 2003 年汛后完成二期面板高程 200~234m。2004 年汛后完成三期面板 234.0~270.7m。

3 施工技术要点

3.1 面板浇筑采用“补偿收缩”混凝土配比新技术

盘石头水库地区属于典型的季风气候区, 气候特点温差大、风速高、蒸发量大, 湿度小。恶劣的气候环境, 如何防止面板薄壁结构混凝土凝缩、干缩和冷缩产生的裂缝是关键的技术问题。施工中从混凝土原材料质量控制、混凝土配合比设计及混凝土浇筑施工工艺等三方面采取措施。①抓住原材料这个龙头, 与生产商保持紧密联系, 监督、检查原材料生产过程质量控制, 送达工地后, 加大抽样检验率和密度。原材料除满足国标及规范要求外, 同时强调水泥的稳定性, 入罐温度小于 60°C , 人工砂细度模数控制在 2.6~2.8 之间, 石粉含量小于 12%, 对生产系统进行了局部改造。②从如何提高

混凝土自身的抗裂性能进行研究,通过常规混凝土、补偿收缩混凝土、聚丙烯纤维混凝土等方案比较分析,结合盘石头水库工程的特点,坝体高度为100m级,压实密度较高,估计坝体自身沉降变形量小,不会导致面板发生结构性裂缝。恶劣气候对混凝土产生裂缝为主要因素,最终决定采用“补偿收缩混凝土”的防裂技术路线,其原理是利用限制膨胀率来补偿限制混凝土收缩,从而减少或避免混凝土因收缩变形产生的裂缝。③从混凝土施工工艺方面采取相应有效的措施,如保证仓面混凝土塌落度不大于3cm,混凝土在初凝前进行二次压光抹面,并采用塑料布铺盖,达到防风、防晒、防蒸发、防雨的目的,避免混凝土产生凝缝、滑模拉裂缝、混凝土自身下坠拉缝。混凝土终凝后及时铺盖草帘洒水养护,避免混凝土产生干缩缝、冷缩缝及温差应力裂缝。一期面板浇筑共28块,每块长45m,混凝土平均厚度55cm,平均浇筑速度1.5m/h,混凝土现场卸料时抽检取样平均塌落度为4~5cm,仓面抽检取样平均塌落度小于3cm。浇筑气温平均值为25.9℃,入仓平均温度为28℃。浇筑后22h,混凝土内部温度平均值为38.6℃,内部温度与气温最大差值为30.6℃。混凝土抽检3d、7d、28d平均强度分别为31.2MPa、39.1MPa、59.4MPa。经检查未发现任何裂缝。

3.2 坝体填筑的施工

3.2.1 铺层厚度控制

各填筑单元采用方格网测量计算平均层厚及平整度,并在实际施工及时进行调整,保证铺层厚度满足经现场碾压试验后确定的层厚要求。

3.2.2 碾压质量控制

采用前进、后退错距碾压方法,错距值为振动碾钢轮宽度除以碾压遍数。碾压设备选型:上游垫层、过度料、主堆石料,采用BW225D-3型德国产25t自行振动碾碾压,达到高密度要求。下游次堆石区及页岩区,采用18t国产自行振动碾碾压。周边缝小区料及垫层区上游超填部分垫层料采用HS22000型美国产振动夯板夯实,该振动板净重998kg,安装在PC400反铲上,振动频率2100VPM,激振力10t,压实干密度均超过设计值,大于 $2.25\text{g}/\text{cm}^3$ 。

3.2.3 特殊部位的处理

50m条带左、右两陡坡处理(坡度为1:0.5),采用过渡料填筑,形成低压缩区;坝基断层破碎带处理,河床段采用垫层料及过渡料(厚度均为1.2m)进行封闭回填,两岸岸坡段坝基先浇筑混凝土然后采用垫层料、过度料回填。大坝纵、横断面分区填筑搭接坡面处理,坡度不陡于1:1.4,最大高差不大于40m,每填筑升高10m,预留6m宽的搭接平台,并边填筑边进行削坡,将大块石及未碾压到位的松散料挖至已碾压好的填筑面;后填筑区在施工技术措施上采取减小层厚、增加碾压遍数、充分加水,提高坝体填筑压实干密度及压缩模量。减少或避免坝体本身产生不均匀沉降给混凝土面板及接缝结构带来危害。

3.2.4 料源含泥量控制

面板坝料源含泥量控制通常的做法是在料场开挖时将含泥量超标的料源挖除作为弃料。盘石头水库主料场,溢洪道工程在实际开挖时,由于裂隙发育,宽度大小不一,且不均匀分布黏性土,在料场开挖过程很难采用选择性剔除,最终采用坝上卸料、平料中配合人工拣泥团,减少含泥量,同时避免泥团填在坝体中形成大小不一的空腔,造成大坝运行安全。

3.2.5 坝料加水措施

众所周知堆石体加水将起到润滑剂的作用,在振动碾激振力或堆石体自身重量的作用下,堆石散粒体棱角易破坏,相互间移动,重新组合,提高压实干密度,加快自身沉降变形。盘石头水库坝体填筑前期采用坝体内布置管路洒水方法加水;后期采用在运输道路上设定点加水站在运输车上加水结合坝内管路洒水的方法。由于料场开挖料源含有泥团,定点加水站车上加水,泥团崩解,人工难以在坝上捡除,该方法一度停止使用,随着料场挖深,泥团含量减少,后来又恢复了定点加水。采用定点加水站加水方法对泥结碎石路面结构破坏较严重,管路洒水方法铺设管路较长、移动频繁、施工干扰

大、需劳动力较多、操作比较困难，难以保证洒水均匀及洒水量。因此建议今后坝体填筑施工采用大吨位改装洒水车结合定点加水站进行填筑体加水是有效的途径。

3.3 挤压式边墙固坡施工新技术试验研究

3.3.1 试验研究内容

试验研究内容包括：确定贫混凝土边墙结构型式；贫混凝土配合比试验；贫混凝土边墙快速成型工艺研究；贫混凝土边墙在垫层料碾压时的变形观测；摸索贫混凝土边墙与垫层料填筑施工工艺流程；选择适合新技术施工的垫层料碾压设备等。

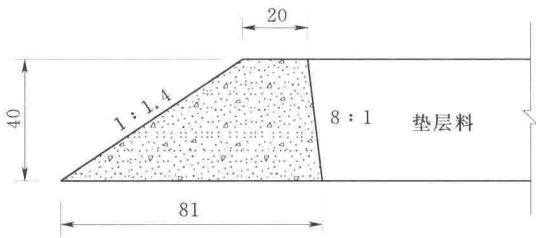


图1 混凝土边墙结构图（单位：cm）

图1。

3.3.2 贫混凝土边墙结构体型

根据试验情况，最终确定贫混凝土边墙结构型式为：高40cm，顶宽20cm，上游坡1:1.4，下游坡8:1，底宽81cm。垫层料上游边30~50cm宽采用大激振力振动夯板压实，斜墙顶宽可采用10cm，见

3.3.3 贫混凝土配合比试验

经室内多组配合比试验及现场施工生产性试验，推荐贫混凝土配合比见表1。

表1 贫混凝土配合比

材料名称	胶凝材料 /(kg·m ⁻³)	水 /(kg·m ⁻³)	粗骨料 /(kg·m ⁻³)	细骨料 /(kg·m ⁻³)	外加剂 /%	强度 /MPa	
规格型号	425号水泥 Ⅱ级粉煤灰石粉	天然河水	5~20mm	河砂或 机制砂	特制	3h	28d
数量	100~140	75~100	1350~1450	650~550	5~8	0.6	4.1~6.3

3.3.4 贫混凝土边墙成型工艺研究

现场试验采用了两种成型工艺，同时研制了移动式钢模成型机。

(1) 静碾削坡成型法。为开发研制挤压成型机，通过试验获取研制参数。试验中采用4t振动碾，静碾后即时拆模，然后上游坡人工削坡成型，该成型方法，工序复杂，速度较慢，可作为模拟挤压成型之用。

(2) 组立模板型法。即先组立模板，后浇筑混凝土，拆模后完成边墙施工。该方法工序多，模板材料及人工较多，施工干扰大，施工安全难以保证，成墙速度也难以满足垫层料填筑的进度，但可用于边角部位的施工。

(3) 移动式钢模成型机。采用固定长度移动式钢模，分段连续浇填成型。其施工方法为：测量放线→铺设轨道→钢模就位→模体下降校正→浇筑混凝土→模体上升（脱模）→拖动至下一段浇填混凝土。贫混凝土边墙浇筑施工工艺，采用组立模板成型，移动式钢模成型及挤压机成型都可行。采用移动式钢模成型其施工工艺、劳动力情况等较其他两种成型方法更符合中国国情，施工干扰小，保证施工安全。采用移动式钢模成型机施工预计成墙速度30~40m/h。边角部位可采用组立模板成型，挤压成型机成型可实现机械化作业。

3.3.5 贫混凝土边墙与垫层料填筑施工程序

通过试验摸索贫混凝土边墙与垫层料填筑施工工艺流程，主要通过对垫层料摊铺、碾压时贫混凝土边墙的变形观测及观察其破坏情况，经过多次组合试验观测，最终确定贫混凝土边墙成型30~40min后，即可摊铺垫层料，1.5~2h后可进行垫层料的碾压。

3.3.6 垫层料施工设备选择

试验表明，垫层料摊铺设备宜采用小型推土机或反铲，运输车20t以下。振动碾吨位，取决于垫