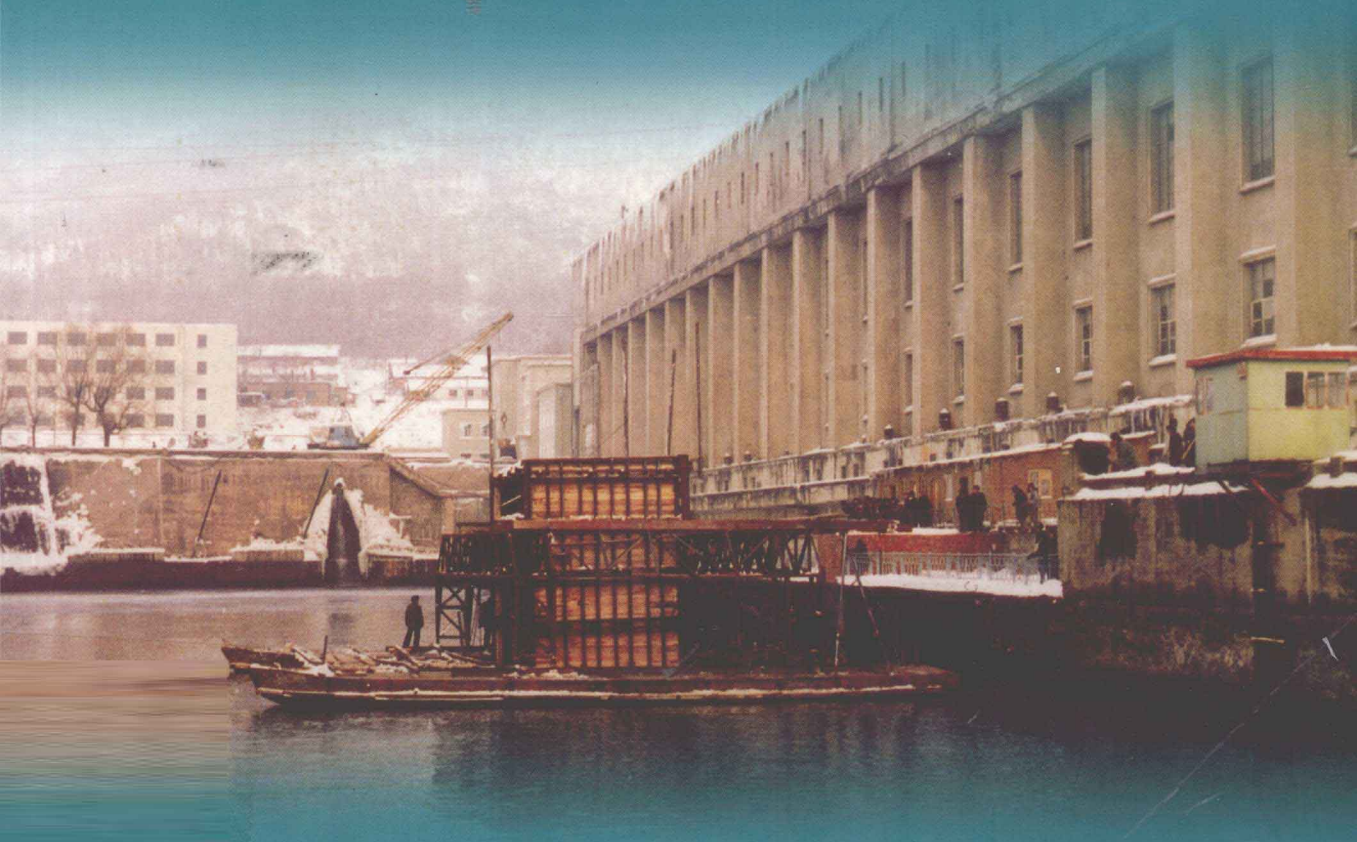


施工组织设计

Construction Planning Design

水利水电工程施工组织设计信息网
中水东北勘测设计研究有限责任公司

编



2004

吉林人民出版社

施工组织设计

(2004 年交流论文集)

主 编：任金明

副主编：李雁白

审 定：苏加林

吉林人民出版社

内 容 提 要

本文集除收入了 2004 年水利水电工程施工组织设计方面的交流论文外,还摘录了 1984~2003 年在水利水电工程施工组织设计信息网网刊《施工组织设计》上刊登的部分论文,总计 46 篇共 40 万字,分为专题论述、经验交流和探索研究三部分。本书可供水利水电工程设计、施工、科研、工程管理及其他相关专业的工程技术人员阅读,也可供高等院校师生参考。

通讯地址:吉林省长春市工农大路 800 号

电 话: 0431-5607276

E-mail: RJM8056@sina.com

邮 编: 130021

封面照片:丰满 9"、10"机组扩建工程钢围圈木挡板
围堰安装 (摄影:孟致祥)

施工组织设计 SHIGONGCZUZHISHIJI

主 编:任金明

责任编辑:隋 军

吉林人民出版社出版 发行(长春市人民大街 7548 号 邮政编码:130022)

印 刷:长春工程学院印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16.125 字数:360 千字

标准书号:ISBN 7-206-03613-9

版 次:2005 年 5 月第 1 版

印 次:2005 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1-2 000 册

定 价:25.00 元

如发现印装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。

编者的话

水利水电工程建设是一项专业多、工序繁、规模大、涉及面广的社会化生产建设过程,也是涉及内外部关系错综复杂的系统工程。搞好施工组织设计,对于把设计蓝图付诸实施,对工程建设过程进行科学的组织管理具有重要的经济意义和现实意义。

由于我国幅员辽阔,各地区自然条件差异甚大,水利水电工程枢纽建筑物千变万化,施工条件各不相同,形成不同的施工特性。水利水电工程建设过程中由于受水文气象条件制约,施工季节性强;因地形地质条件复杂,施工技术要求高;工程又多地处偏远山区,交通运输不便,其施工条件要比一般土木工程困难的多。多年的工程实践表明,施工组织设计是水利水电工程设计的重要组成部分,是编制工程投资估算、总概算及招标文件的主要依据,是组织工程建设和施工管理的指导性文件。因此认真做好水利水电工程施工组织设计,对正确选择坝址、坝型、枢纽布置、整体优化设计方案、合理组织工程施工、保证工程质量、缩短建设周期、降低工程造价和提高工程效益等都有十分重要的意义和作用。

随着建设体制改革的深入进行,一大批大中型或特大型水利水电工程已经建成或正在建设,在施工组织管理方面已积累了许多宝贵的经验,在应用新技术新设备方面取得了可喜的成果。适时地迅速传递和推广这些先进经验和新技术,不但会进一步提高施工组织设计水平,而且对保证工程质量、降低工程投资、缩短建设周期也是十分有益的。进一步开展好施工组织设计信息网工作和办好《施工组织设计》,是网长单位繁重而光荣的任务,也是广大施工组织设计人员和工程技术人员的迫切愿望。

水利水电工程施工组织设计信息网(学组)自1989年12月成立以来,在中国水力发电工程学会、中国水利学会、水电水利规划设计总院和水利水电规划设计总院的正确指导下,得到了同行专家、各分片学组单位的大力支持。十几年来本信息网(学组)坚持开展诸如出版《施工组织设计》(季刊),组织本行业专家编写《水利水电工程施工组织设计专业综述》,举办两期《水利水电工程施工组织设计规范》(SDJ338—89)学习研讨班,各分片学组单位开展技术专题交流活动等有利于本专业发展的工作,对提高我国水利水电工程施工组织设计水平起到了积极的推动作用,得到了上级和同行的信任和鼓励,至今已发展有65个成员单位。

由水利水电工程施工组织设计信息网主办的《施工组织设计》网刊自1984年创刊以来,在广大网员单位和读者的支持下,经过了二十年的历程,共出版网刊75期,累计约600万字。为使网刊办得更好,适应社会主义市场经济条件下广大作者的需要,高质量地为广大网员单位和工程技术人员以及所有关心水利水电工程施工组织设计的人士提供服务和提供更多、更好的信息,经网刊主办单位中水东北勘测设计研究有限责任公司主管领导的同意,自2004年起《施工组织设计》网刊由每年4期的内部交流资料改为每年出版一本的正式论文集。

本文集由水利水电工程施工组织设计信息网与中水东北勘测设计研究有限责任公司汇编。

由于水平所限,疏漏之处请予批评指正。

编者

2004年9月

目 录

· 专题论述 ·

面板堆石坝的施工导流问题·····	张文倬(1)
高拱坝施工的水流控制问题·····	张文倬(11)
面板堆石坝施工导流设计中的几个问题·····	任金明(17)
谈中小型电站的导流问题·····	程效儒(25)
国外碾压高堆石坝施工水平·····	张钟禄(31)
天生桥一级水电站混凝土面板堆石坝坝体填筑施工中有关问题论述·····	周绍红(51)
水工混凝土垂直运输设备的新发展及应用·····	周厚贵(54)
水电工程基础处理施工的新进展·····	周厚贵(60)
水利水电工程爆破技术的新进展·····	申茂夏 郑 平 徐成光(64)
我国应用岩塞爆破技术的新进展·····	赵宗棣(70)
隧洞工程开挖施工规划设计要点·····	谢见柏(76)
对地下洞室群施工支洞设计中几个问题的认识·····	贺逵僧(82)
浅析施工规划设计在水利水电工程建设管理中的作用·····	贾富生(88)
浅谈沿海地区软、超软土基础上修筑围堰的几种型式·····	田伟(92)
高密度电法在水利水电工程勘探中的应用·····	关镶锋 王继华 彭振斌(95)
浅析沈阳市浑南新区非工程防洪措施的应用·····	王振懿 艾明岩 唐舵(99)

· 经验交流 ·

编制龙滩工程施工规划报告的体会·····	林鸿镁 殷愈 万青春(103)
岩滩水电站施工总布局的抉择·····	杨爱忠(109)
石头河土石坝施工组织设计概要·····	党立本(115)
水利水电工程标底施工组织设计工作的建议·····	代振峰(126)
水电工程招标投标中的施工规划工作·····	叶志强(131)
莲花水电站施工导流隧洞布置的选择·····	任金明 林淀翔(134)
满拉水利枢纽工程导流洞下闸后的施工度汛方案·····	崔金铁 任金明 王春明(141)
浅述临淮岗洪水控制工程淮河截流施工方案·····	朱奇超 雒福顺(144)
大藤峡水利枢纽工程钢板桩格型围堰设计·····	····· 赵丹 苏石 刘占军 高航 高平远(149)
碾压混凝土坝施工混凝土运输方式设计·····	崔金铁(154)
满拉水利枢纽工程混凝土骨料料源选择·····	任金明(158)

水布垭水电站块石碎石土超径石的分离	姜凤海(162)
汉坪咀水电站右岸高边坡 SJ 楔型体处理施工综述	孙志峰(166)
漫松引水洞小断面长隧洞通风技术	陈洪亮 刘长义 张升杰(172)
黄河李家峡水电站左岸 f_{35} 断层高压固结灌浆施工技术	李正乾 贾有明(179)
汉坪咀水电站大坝垫层料填筑与边墙挤压施工	孙志峰(188)
多头小直径深层搅拌桩在砂坝防渗中的应用	王晓东 傅琳(191)
蒲石河抽水蓄能电站砂砾石料场过水桥设计	
..... 史光宇 王 鹤 王福运 姜殿成 王辉伟(193)	
向阳峪水库除险加固设计与施工	史光宇 王 鹤 王福运 刘牧冲 王辉伟(198)
昆明市掌鸠河引水供水工程云龙水库永久进场道路设计	苟勤章(200)

• 探索研究 •

三峡工程二期围堰新技术的研究及应用	周厚贵(204)
三峡纵向围堰 RCC 夏季施工仓面喷雾技术研究及应用	周厚贵(212)
三峡二期围堰填筑料场的优化	周厚贵(217)
东风水电站导流水力学分析	严士缠(221)
混凝土楔型体在土石过水围堰护面中的应用与研究	杨志雄(229)
软弱多裂隙渗水岩体洞室爆破开挖技术研究	侯智山 马敬(235)
如何准确、合理确定有竞争性的人工费	贾有明(240)
浅论不平衡报价	贾有明(243)
影响沥青混凝土路面平整度的施工因素分析	董新美 徐运海(246)
炸药类型选择与施工成本的关系探索	徐成光(249)

面板堆石坝的施工导流问题

张文倬

(昆明勘测设计研究院 云南昆明 650051)

【摘 要】近年来,面板堆石坝在国内外得到迅猛发展,本文将学习所得结合天生桥一级水电站施工导流设计,对面板堆石坝的导流标准、导流方式、坝体施工渡汛及垫层设置等问题进行初步探讨,以供商榷。

【关键词】施工导流 面板堆石坝

1 导流设计标准

导流设计标准的拟设包括主体工程初建阶段的导流设计标准和随主体工程施工过程的导流设计标准。诸如施工渡汛、导流泄水建筑物封堵及初期蓄水也需有相应的导流设计标准,现分述于后。

1.1 导流设计标准

导流设计标准,系指施工期内河川水工建筑物基坑防护与导流工程规模的洪水频率选择。它是依据永久建筑物所处的地形、地质、水文、枢纽布置及结构型式、基坑工程规模、河道库蓄、导流方式、导流时段及导流建筑物型式等综合因素、通过技术经济比较确定的。

对于混凝土面板堆石坝(本文简称面板堆石坝)应考虑其结构特征来拟设导流设计标准,简述如下;

(1)按坝型分类。面板堆石坝属土石坝类;

(2)依坝体防渗结构型式。土石坝类中坝体防渗结构型式有塑性与刚性斜墙、塑性与刚性心墙之分,面板堆石坝属于刚性斜墙防渗结构型式;

(3)依国家规范。据《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准》(SDJ12—78)和《水利水电工程施工组织设计规范》(SDJ338—89)中表1和表2规定的洪水频率。

表1 临时性水工建筑物所采用标准

建筑物类型	临时性建筑物级别			
	2	3	4	5
	洪水重现期(年)			
土石建筑物	>50	50~30	30~20	20~10
混凝土、浆砌石建筑物	>20	20~10	10~5	5~3

表 2 导流建筑物洪水标准划分

导流建筑物类型	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
	洪水重现期(年)		
土石	50~20	20~10	10~5
混凝土	20~10	10~5	5~3

综上所述情况结合面板堆石坝体构造特征认为,面板堆石坝是土石坝类中导流工程较为简便的坝型,因此一般可依据上述规范表 2 中相应规定作为面板堆石坝的导流设计标准。

1.2 施工渡汛标准

施工渡汛标准依运用期来划分,即按主体工程初建阶段与完建阶段的区别作为设计

原则。

(1)当面板堆石坝初建阶段,亦即在导流工程围护使用期内,应以导流设计标准作为施工渡汛标准;

(2)当面板堆石坝完建阶段,亦即面板堆石坝部分投入或坝体和围堰结合使用时,可用前述规范表 3 作为施工渡汛标准。

表 3 坝体施工期临时渡汛标准

坝 型	拦洪库容(10^8m^3)		
	>1.0	1.0~0.1	<0.1
	洪水重现期(年)		
土坝、堆石坝、干砌石坝	>100	100~50	50~20
混凝土坝、浆砌石坝	>50	50~20	20~10

根据工程设计经验,利用规范时,有如下几点建议,以供研究。

1.2.1 土石坝类中,特别是面板堆石坝,当围堰作为坝体组成部分,而坝体防渗面板尚未投入使用情况下,建议按永久建筑物初建阶段,以临时性建筑物洪水标准(表 1 或表 2)拟设坝体施工期渡汛标准。其主要原因是坝体施工仍处于导流期内,导流工程还起围护作用,应与永久建筑物使用期有所区别,这从规范表 1、表 2 与表 3 对照中,可知两者差别悬殊。必须指出,切不可因为坝堰一结合,

就随意提高坝体施工渡汛标准,以致造成浪费;

1.2.2 利用围堰与坝体结合时,若坝体防渗结构参与使用,则建议按《坝体施工期临时渡汛标准(表 3)》拟定坝体施工渡汛标准;

1.2.3 近年来国内兴修大江大河上的水利工程,由于工程规模巨大,发现规范表 3 的拦洪库容早被突破。为适应水利工程建设需要,依据工程设计初步研究,特建议对表 3 进行补充,提出如表 4 所列,以供参考研究。

表 4 坝体施工临时渡汛洪水标准建议

坝型	拦洪库容(10^8m^3)					
	<0.1	$0.1\sim1.0$	$1.0\sim5.0$	$5\sim10$	$10\sim15$	>15
	洪水重现期(年)					
土坝、堆石坝、干砌石坝	10~20	20~50	50~100	100~200	200~300	>300
混凝土坝、浆砌石坝	5~10	10~20	20~50	50~100	100~200	>200

例如南盘江天生桥一级水电站设计中,面板堆石坝高 178m,坝体初建阶段采用枯期断流围堰隧洞导流方式,洪水期围堰与隧洞组合导流方式;坝体完建阶段采用堆石坝体临时挡水隧洞导流方式。依据坝体不同施工

时段的拦洪库容,拟设不同的施工渡汛标准,如表 5 所列。其中对表 5 中列出的截流后第二个洪水期的施工渡汛标准, $P=0.33\%$ 、 $Q=17\,500\text{m}^3/\text{s}$ 的争议较大,为此将考虑的一些主要因素,作具体分析如下。

表 5 天生桥一级面板堆石坝施工渡汛标准

施工阶段	使用期	设计频率	计算流量	拦洪库容
		$P\%$	m^3/s	10^8m^3
初建阶段 (导流工程使用期)	截流后第一个洪水季	3.3	10 800	1.130
完建阶段	截流后第二个洪水季	0.33	17 500	16.155
(堆石坝体临时挡水)	截流后第三个洪水季	0.2	18 800	21.927

(1)坝体拦洪库容达 $16.155\times10^8\text{m}^3$,比规范(表 3)规定一当库容大于 $1\times10^8\text{m}^3$ 要求洪水重现期大于 100 年一还大 16 倍以上;

(2)堆石坝体挡水高度 108m,填筑量约为 $959\times10^4\text{m}^3$ (含枯水期上下游围堰填筑量)占坝和围堰总填筑量的 48.7%。其高度比已建石头河土石坝(高 105m)还高 3m;填筑量为碧口土石坝(高 101m)总填筑量的 2.5 倍。而石头河与碧口两座土石坝的拦洪设计标准的洪水频率分别为 $P=0.1\%$ 与 $P=0.2\%$ 。又据国内 15 座土石坝施工期拦洪渡汛资料统计,其中设计洪水频率有 12 座采用 $P=1\%$ 、2 座 $P=0.5\%$ 、1 座 $P=0.2\%$;校核洪

水频率 1 座 $P=0.5\%$ 、4 座 $P=0.33\%$ 、2 座 $P=0.2\%$ 。而这些工程的坝高和拦洪库容都比堆石坝体挡水为小;

(3)坝体渡汛期间,下游已建的大型水电站有天生桥二级,岩滩、大化等工程。其中天生桥二级仅距本坝址 7km,正常蓄水位时库容为 $0.26\times10^8\text{m}^3$,若堆石坝体渡汛期内一旦失事,对天生桥二级水电站造成灾害,同时对岩滩,大化等水电站会产生严重威胁,并将给电力系统供给工农业用电带来巨大损失;

(4)据洪水破坏率(风险度)算式的估算如表 6。

表 6 洪水破坏率估算

$\begin{matrix} N \text{ 年} \\ R \\ T \text{ 年} \end{matrix}$	1	2	3	4	5
1%	100	199	299	398	498
2%	50	99	149	198	248
3%	33	66	99	132	165
4%	20	33	59	78	98
5%	10	19	29	39	48

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad (1)$$

式中: R —运用期 N 年洪水破坏率;

P —设计洪水频率; $P = \frac{1}{T}$

T —洪水重现期;

N —运用期。

又据巴西咨询工程师团对风险度分析(图 1)结合巴西佛士度爱利面板堆石坝(高 160m)的施工期渡汛标准为设计频率 $P = 0.2\%$, 建议天生桥一级面板堆石坝施工期渡汛标准可在 $P = 0.33\% \sim 0.4\%$ 区间内选用。

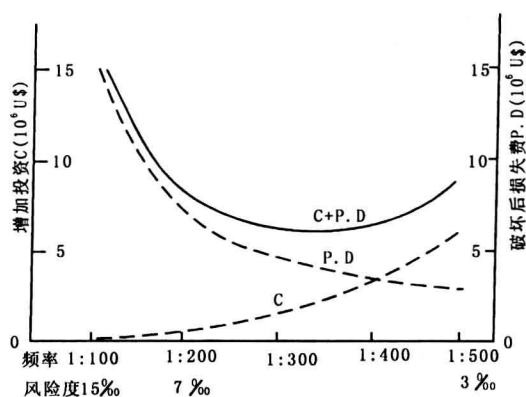


图 1 设计频率与投资关系

(5)据施工强度估算,按最大基坑月开挖强度为 $16 \times 10^4 \text{m}^3$,最大堆石填筑强度为 $60.8 \times 10^4 \text{m}^3$ 计,跟国内外工程资料进行类比,从坝体所处自然条件及采用机械化作业、加强管理等方面来看,基本上是能达到要求的。

综上所述因素拟设的施工渡汛标准,上报后得到上级审查批准。

1.2.4 施工过程中,当不允许坝基或坝体溢水情况下,建议对围护基坑的上下游挡水围堰可采用不同的施工渡汛标准。这是考虑到当遭受到洪水漫顶后的破坏损失不同,一般情况下,下游围堰的破坏损失较上游围堰为小,故其采用的施工渡汛标准,可以适当低于上游围堰施工渡汛标准。

1.3 封堵及初期蓄水渡汛标准

面板堆石坝导流建筑物封堵及初期蓄水渡汛标准,原则上与土石坝类渡汛标准相同。

1.3.1 封堵下闸设计流量常用封堵时段 5~10 年重现期的月平均流量或旬平均流量;封堵工程施工导流标准,可按该项施工时段洪水重现期 5~20 年内确定;

1.3.2 封堵后坝体尚未达到泄洪能力而进行初期蓄水时,按规范(表 7)拟定。

表 7 导流建筑物封堵后坝体渡汛洪水标准

大 坝 类 型		大 坝 级 别		
		I	II	III
		洪水重现期(年)		
混凝土	设计	200~100	100~50	50~20
	校核	500~200	200~100	100~50
土石	设计	500~100	200~100	100~50
	校核	1 000~500	500~200	200~100

2 面板堆石坝导流方式

依据国内外面板堆石坝建设实践,面板堆石坝常采用导流方式为断流围堰隧洞导流方式,并因工程所处的自然环境、枢纽布置及规模、导流时段长短,又分为全年挡水和枯期挡水的断流围堰隧洞导流方式。

2.1 全年断流围堰隧洞导流方式

在土石坝类中,依照坝体防渗结构形式特征分为两类。

(1)塑性或刚性斜墙坝。一般情况下,为了塑性或刚性斜墙的施工,导流挡水建筑物都置于坝体斜墙以外,此时围堰属临时性工程,并增长了导流洞,致使导流工程量加大,费用增加;

(2)塑性或刚性心墙坝。导流挡水建筑物部分或全部可以与心墙外上下游坝体结合,减少围堰部分或全部填筑与拆除,缩短导流洞长度,致使导流工程量减小,降低费用。

由上所述,当采用导流时段为全年时,塑性或刚性心墙坝比塑性或刚性斜墙坝,在导流方式上具有明显的优点,特别是像面板堆石坝的刚性斜墙型式,未能发挥其防渗结构特征在导流方式上的优越性。

2.2 枯水期断流围堰隧洞导流方式

该导流方式有两种情况:

(1)枯水期断流围堰使用一个枯水季。此情况系指主体工程规模较小,特别是在河道

常水位以下,基坑内开挖、填筑量均较小,在一个枯水期内,可将主体工程抢筑到常水位以上,在洪水来临前,主体工程可以挡水渡汛。该情况对于中小型水利建设中的土石坝类,无论采用何种防渗结构型式都是可行的。

(2)枯水期断流围堰使用几个枯水季。此情况系指主体工程规模较大,尤其是基坑内开挖、填筑量很大,难于在一个枯水期内完成,可能需要两个甚至三个枯水期才能使主体工程达到挡水渡汛的效用。该情况累见于大中型水利建设中的土石坝类。鉴于围堰使用两个或三个枯水期,自然汛期洪水淹没基坑。由于枯水期围堰挡水,洪水期围堰渡汛,围堰的建造有两种方法。一种是多次筑堰法,即枯水期围堰挡水,汛期洪水漫顶破坏后,第二个枯水期再修复围堰,甚至第三个枯水期再修复围堰;另一种是建造过水围堰,可使用多个枯水期挡水、汛期过水方法。目前国内外多数工程采用后法。

当选用修筑过水围堰情况下,被围护的基坑在汛期处于受淹状态,其性质对土石坝类基本上是相近的,但对于坝体溢水的水力条件来讲,刚性斜墙和心墙坝要比塑性斜墙和心墙坝优越,其中刚性斜墙坝如面板堆石坝则优越性更加显著,其主要原因为:

a. 坝体过水部分为碾压堆石体,抗冲流速较高,保护措施简便,工程量较小;

b. 坝基处理中的固结、帷幕灌浆与坝体

填筑施工干扰小,可以提前填筑到渡汛高程;

c. 坝体施工受雨季影响小,施工天数多,施工进度加快;

d. 在未修防渗面板情况下,可利用堆石坝体提前挡水渡汛,简化导流工程;

e. 在顺直河谷情况下,利用堆石坝体挡水渡汛,当施工渡汛标准相同时所布置在河道两岸导渡隧洞长度,最短是刚性斜墙坝,其次为刚性心墙坝、第三是塑性心墙坝,最长的是塑性斜墙坝。

3 堆石坝体挡水渡汛问题

3.1 堆石坝体挡水渡汛条件

面板堆石坝施工完建阶段,当堆石坝体填筑高于导流工程使用期高程时,常利用堆石坝体挡水渡汛。由于堆石坝体高度较高,并具有土石坝类属性,因此在堆石坝体断面挡水渡汛设计中,必须满足两个基本条件。

(1)不允许漫顶溢水。土石坝类工程实践证明,所有土石坝体挡水,除采取特殊措施保护外,一律不准漫顶翻水,要求严格遵守;

(2)满足坝体稳定。除满足土石坝一般边坡稳定外,堆石坝体及其防渗结构起抗渗效用,意即满足渗透稳定才能允许挡水。

3.2 堆石坝体挡水依据

面板堆石坝在防渗混凝土面板未修筑情况下,利用堆石体及其半透水垫层挡水,给施工渡汛带来很大效益,但是否能行,需要寻找依据,现列出主要根据如下。

(1)巴西 Nehson L. de. Pinto 教授对巴西的 Fozdo Areia 坝和澳大利亚 Mackintosh 坝的实践总结,提出面板堆石坝设计准则为“在坝体填筑中将过渡层作为半透水层,汛期可以使堆石体在上游高库水位情况下运用,作为施工期间渡汛。”如巴西 Fozdo Areia 坝施工中,将坝体上游部分填筑到 80m 时,导流隧洞两条内径 12m、长 600m,泄流量由原设计频率 $P=10\%$ 、流量 $Q=3\ 750\text{m}^3/\text{s}$,增高

到 $P=2\%$ 、 $Q=7\ 700\text{m}^3/\text{s}$,解决了施工渡汛问题;

(2)澳大利亚的曼格罗夫溪坝 (Mangrove Creek) 高 81m,当堆石填筑到 30m 时,未浇筑混凝土面板,利用软弱岩石填筑于上游坡半透水区域(其渗透系数 K 为 $10^{-2}\sim 10^{-3}\text{cm/s}$)进行挡水,未出现问题;

(3)澳大利亚的塞沙纳面板堆石坝,高为 109m,在施工中未浇混凝土面板时遇到特大洪水,堆石体前水位达 56m,库水通过堆石体渗流而安全渡汛;又如布罗高面板堆石坝高 43m,也在未浇筑混凝土面板前来洪水,库水由堆石体渗透,未发生问题而安全渡汛;

(4)国内陕西省石磷峪水库和云南省康家河水库均采用定向爆破堆石坝,施工爆破后在抛石体上游未作防渗体时,当蓄水深度分别为 40m 和 20m 情况下,坝体虽出现大量渗流,但却是稳定的;如四川省万县新田堆石坝高 45m,当修筑到 25m 时,洪水漫过浆砌石斜墙后渗入堆石体,继后从下游坡脚高 2m 范围内逸出,单宽流量达 $0.68\text{m}^3/\text{s}$ 而坝体完好;如河南省丹河电厂拦灰坝,于 1981 年坝体堆石填到 34m 时遇到洪水,渡汛后才浇筑混凝土面板;

(5)湖北省车坝一级面板堆石坝高 66.5 m,1981 年 4 月坝体填筑到脱险高程。当年 7 月中下旬连续发生两次较大降雨,利用堆石坝体及垫层挡水,深度分别为 37.5m 和 43m,每次水位涨落周期约 30 小时,安全渡汛后,于 1982 年春才开始浇筑混凝土面板,施工前曾对堆石体及垫层进行检查,未发现异常现象;又如湖北省西北口面板堆石坝高 95m,经试验研究和实践,在未浇筑混凝土面板情况下,利用堆石体和垫层料挡水,堆石和垫层料渗透系数分别为 $K_1=6\text{cm/s}$, $K_2=1\sim 2\times 10^{-2}\text{cm/s}$,当挡水头 60m 时,堆石体渗透稳定;

(6)澳大利亚 J·K·威尔金斯等人设计

研究认为:“面板堆石坝在未浇筑面板之前,具有在未经控制的水流漫溢或透过堆石体,才会遭到灾难性破坏。避免洪水漫顶是土石坝类共同性问题,而渗漏并不影响坝的稳定”。据了解迄今为止,除了我国青海省沟后水库面板堆石坝,因防浪墙(实为挡水墙)底板开裂大量漏水及坝料偏细而未设专门排水装置于1993年垮坝外,世界上尚未见到面板堆石坝因渗漏而失事的例子。

综上所述可见,面板堆石坝在混凝土面板浇筑之前,利用堆石坝体及垫层挡水是可行的,为此天生桥一级水电站面板堆石坝导流设计中,就采用了堆石体及垫层挡水渡汛方法。

3.3 堆石坝体挡水效应

面板堆石坝的最大优势之一,就在于堆

石填筑过程中,当混凝土面板未建情况下,可利用堆石坝体及垫层先行挡水,这对简化导流工程和改善坝体变形有利,分述如下。

3.3.1 简化导流工程

在高山峡谷河道上修建高土石坝,常选用断流围堰隧洞导流方式。按经济法则,围堰愈高,导流洞断面愈小,则导流工程费用愈经济,但由于在一个枯水期内,所能修筑围堰高度受到限制(表8),而坝体施工渡汛又往往是围堰高度和导流洞断面尺寸的控制条件,因此当坝体施工渡汛标准相应流量较大时,要使导流洞断面尺寸达到技术经济合理程度,势必设法加大围堰高度,若能利用堆石坝体部分或全部挡水,自然会减小导流工程规模,降低费用,达到简化导流工程的目的。

表8 枯水期修建的围堰高度及填筑量

序号	工程名称	国家	坝型	坝高 m	上游围堰 型式	堰高 m	堰体填筑量 10 ⁴ m ³
1	碧口	中	土石坝	101	土石围堰	51	85.2
2	龙羊峡	中	混凝土重力拱坝	175	土石围堰	54	35
3	鲁布革	中	土石坝	101.3	土石围堰	42.5	26.74
4	漫湾	中	混凝土重力坝	126	土石围堰	56	57
5	奥洛维尔	美	土石坝	235	土石围堰	66	74.1
6	阿可索桑博	加纳	土石坝	141	土石围堰	45	152
7	拉格兰洼	加拿大	土石坝	160	土石围堰	56	
8	恰尔瓦克	俄	土石坝	168	土石围堰	35	52.2
9	菲尔泽	阿尔巴尼亚	土石坝	165.6	土石围堰	40	95(约)

如天生桥一级水电站面板堆石坝施工导流设计中,初建阶段采用枯水期断流围堰隧洞导流方式,洪水期围堰过水与隧洞组合泄水导流方式,设计频率为 $P=3.3\%$,洪水流

量 $Q=10\ 800\text{m}^3/\text{s}$ 。完建阶段采用全年断流堆石坝体挡水隧洞导流方式,设计频率 $P=0.33$,泄洪水流量 $Q=17\ 500\text{m}^3/\text{s}$,此时成为堰高和导流洞断面尺寸的控制条件,但是由

于利用了堆石坝体作挡水渡汛,从而简化了导流工程,粗估可省人民币 4 000 万元以上;又如湖北省竹山县潘口工程,曾研究用全年断流围堰隧洞导流方式,设计频率 $P=3.3\%$, $Q=10\,000\text{m}^3/\text{s}$,校核频率 $P=1\%$, $Q=12\,300\text{m}^3/\text{s}$,相应堰高 54.7m,堰体积 $134.4\times 10^4\text{m}^3$,需两条(宽 $\times$ 高) $10\text{m}\times 15\text{m}$ 导流隧洞总长 1 447m 和 1 条 $10\text{m}\times 12.6\text{m}$ 长 638m 的泄洪导流洞导流,投资 3 061 万元;而枯水期断流围堰隧洞导流方式,导流时段 11 月至 3 月的设计频率 $P=5\%$ 、 $Q=1\,600\text{m}^3/\text{s}$,堰体积 $28.2\times 10^4\text{m}^3$,需两条 $10\text{m}\times 15\text{m}$ 隧洞总长 1 185m 和泄洪兼导流洞 $10\text{m}\times 12.6\text{m}$ 长 640m;完建阶段堆石坝体挡水隧洞导流方式,可比前方案节省 492 万元,竣工期还可提前。

3.3.2 改善坝体变形

面板堆石坝实践表明,在施工期和初期蓄水中,堆石坝体的中部和下部的沉降变形量达到后期运行期沉降变形量总值的 80%~90%以上,说明坝体施工期和初期蓄水对堆石坝体的沉降变形起着控制作用。因此如何加快施工期内堆石坝体变形值,以便减少运行期内堆石坝体总变形值,这对堆石坝体稳定,特别是减轻或避免坝体前缘混凝土面板产生裂缝是重要措施之一。

据近年来面板堆石坝建设实践,在堆石坝体填筑中,当未浇混凝土面板前提下,有意识地利用堆石坝体先行挡水,或作为坝体施工渡汛挡水建筑物,可简化导流工程外,由于堆石坝体挡水,要承受外加水压与渗流作用,致使荷载增大及内部细粒移动而加快变形,从而堆石坝体密度增高,减少了运行期的总变形量,对改善坝体稳定,特别是防止或减少混凝土面板因变形而产生开裂起到预防的积极作用。

如贵州省百花电站面板堆石坝,高 48.7m,在混凝土面板未浇筑前,当填筑垫层

后,提早一年先行蓄水预压堆石体,当时坝体堆石采用栈桥高抛石填筑施工方法,到堆石坝体变形基本上趋于稳定后,放空库水浇筑混凝土面板,后来运行中堆石坝体沉降值大为减小,据实测坝体顶部堆石沉降值为 109mm 为设计允许值 420mm 的 0.259 倍;水平位移值 126mm 为设计允许值 280mm 的 0.45 倍;垂直沉降仅为坝高的 0.22%,比常规堆石坝沉降为小。

又如巴西佛士度爱利,澳大利亚的塞沙纳和安奇卡亚等三个工程,坝体竣工后其沉降值分别为 385cm、45cm、63cm,初期蓄水后佛士度爱利与塞沙纳坝的沉降值分别为 180mm 与 90mm,均充分说明堆石坝在施工期和蓄水初期堆石体变形量较大,对坝体后期运行安全,尤其是避免或减少因堆石变形引起混凝土面板开裂起着重要作用。

可惜目前还缺少对施工期利用堆石体挡水渡汛后,特别是在高库水位作用下堆石体变形的试验研究和观测资料,为此建议在利用堆石体挡水设计和施工中,需要投入资财进行试验研究及对实施过程进行原型观测,以便为工程提供可靠数据,同时多积累资料,有意识地为今后工程建设服务。

4 堆石坝体垫层设置

4.1 垫层设置作用

(1)垫层作为混凝土面板的支承体,要求压缩性小而抗剪强度较高。据巴西及国内建设经验,垫层填筑干容重为 $1.9\sim 2.3\text{g}/\text{cm}^3$,填筑孔隙率为 16%~27%,常用 21%~22%,在自重荷载作用下变形模量为 $1\,000\sim 1\,500\times 10^4\text{Pa}$;

(2)垫层起排水反滤作用,并满足渗透稳定要求。据工程实践一般要求垫层渗透系数达到 $K=1\times 10^{-2}\sim 1\times 10^4\text{cm}/\text{s}$ 之间;

(3)垫层面上有时设防护层。可起防止雨水冲刷及堆石坝体提前挡水时防止浪击等效

用；

(4)垫层下面设过渡层。以便将混凝土面板传递给垫层的力转传递给堆石体,该层也起支承作用,同样要求压缩性小而抗剪强度较高；

(5)过渡层应满足垫层与堆石体转变中的排水与反滤作用。

4.2 垫层设置构造

依据垫层所起作用应具有良好级配,一般要求最大粒径控制在 80~100mm,粒径小于 5mm 含量为 30~40%,小于 0.1mm 含量 5%,经碾压后具有低压缩性、高抗剪强度,渗透系数 $K=1\times10^{-2}\sim1\times10^{-4}\text{cm/s}$,适应机械作业。现列出国内外一些工程资料(表 9),

以供参考。

表中 H —承受水头或坝高；

从(表 9)可知,垫层适应机械作业,顶厚一般 3~4m,底厚随承受水头而增厚,过渡层厚一般为 3~4m。又据西北口试验资料,挡 60m 水头时顶宽 14.7m,上下游坡为 1:1.4、1:2.0,垫层厚 4m,材料参数见表 10,当堆石体渗透系数 $K=6\text{cm/s}$,垫层渗透系数 $K=7\times10^{-1}\text{cm/s}$ 降至 $K=1\times10^{-2}\text{cm/s}$ 时,渗流量减少 93%,降至 $K=2\times10^{-3}\text{cm/s}$ 时,渗流量减少 83%。从 $K=2\times10^{-2}\text{cm/s}$ 降至 $K=1\times10\text{cm/s}$ 时,渗流影响微小,并获得选用表 10 中 II 型垫层料。

表 9 国内外某些面板堆石坝垫层资料

序号	工程名称	国家	坝高 m	堆石坝体 挡水高 m	垫层		过渡层 水平宽 m	防护层
					水平宽 m	渗透系数 cm/s		
1	曼格罗夫溪	澳大利亚	80	30	4	$10^{-2}\sim10^{-3}$	4	
2	塞沙纳	澳大利亚	109	56	$3+0.0275H$	10^{-2}	3	喷沥青乳剂厚 10mm
3	佛士度爱利	巴西	160	80	$4+0.0375H$	10^{-3}	>3	喷沥青乳剂厚 10mm
4	车坝一级	中国	66.5	56.6	10	2×10^{-2}		灰砂混凝土上洒乳化沥青
5	关门山	中国	58.5		4	10^{-3}	4	喷混凝土 10cm
6	西北口	中国	95	60	4	$10^{-3}\sim10^{-4}$	3	
7	潘口	中国	123	60	$4+0.05H$	$10^{-3}\sim10^{-4}$	4	
8	成屏	中国	74.6		1~1.5	2.78×10^{-3}	3.5	
9	株树桥	中国	78		4	10^{-3}	3	
10	天生桥一级	中国	178	108	$4+0.0564H$	$10^{-3}\sim10^{-4}$	>3	喷沥青乳剂加砂

表 10 西北口垫层料参数

参数 料 型	比重 g/cm ³	干容重 g/cm ³	孔隙率 %	小于 5mm 细料含量 %	最大直径 L mm	渗透系数 K cm/s	渗流梯度 J
垫层料 I	2.79	2.06~2.1	25~26	20	100	$(4.35\sim8)\times10^{-1}$	0.275~0.425
垫层料 II	2.79	2.05~2.1	25~26	40	80	$(2\sim3.65)\times10^{-2}$	1.7
过渡料	2.78	1.85	31	2	100		

4.3 垫层渗流估算

假设基岩不透水,略去防护层效用,垫层渗流符合达西定律等情况下,按不透水基础上斜墙坝计算,则

通过垫层渗流量为:

$$q_1 = K_1 \left[\frac{3(H_1^{2.33} - h^{2.33})}{7b_1 \sin^2 a} \right]^{0.75} \quad (1)$$

堆石体渗流量为

$$q_2 = 0.5K_2(h + t + a) \sqrt{\frac{h - t - a}{L}} \quad (2)$$

出逸段渗流量为:

$$q_3 = K_2 \frac{1}{\sqrt{m^2}} [a + 2\sqrt{a}(\sqrt{t+a} - \sqrt{a})] \quad (3)$$

式中: K_1 、 K_2 —垫层和堆石渗透系数;

m_1 、 m_2 —上游和下游边坡系数;

H —堆石体高度;

H_1 —上游水头;

t —下游水深;

h —水流出垫层区的水深;

$a+t$ —水流出逸水深;

a —上游坡倾角;

b_1 —垫层水平宽度;

b —堆石体顶部宽度;

$$L = b + b_1 + (H - H_1) + m_2(H - t - a) + \left(\frac{m_1}{1 + 2m_1} \right) H_1$$

依据水流连续原理,即 $q = q_1 = q_2 = q_3$, 通过式(1)(2)(3)进行试算求出所需的 q 、 h 、 a 三个数值后,并要求垫层满足渗流梯度允许值。

4.4 保护层设置

垫层面上设置保护层目的在于防止垫层

在施工期间被雨水冲刷及堆石体挡水渡汛时抵抗库水浪击淘刷作用。

从工程实践中得知,一种是未设保护层而突然发生洪水的,连垫层都未设置,却安全渡汛了,如新田坝、丹河电厂拦灰坝、布罗高、曼格罗夫溪等,这算是幸遇;另一种是事先预设防护层,防患于未然,如佛士度爱利、西北口、车坝一级、天生桥一级等,这是设计中的慎重。

工程实践中防护层设置类型有三种,即喷沥青乳剂加砂、喷混凝土、喷(或抹)砂浆,三种喷层厚分别为 10mm、100mm、60mm。

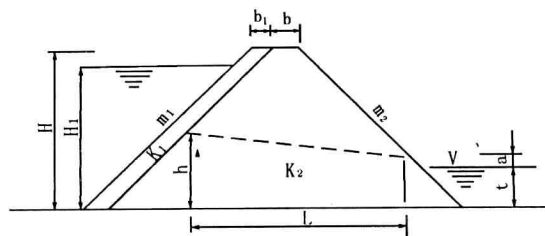


图2 渗流计算简图

上述三种保护层据国外与车坝一级工程实践,认为垫层上喷沥青乳剂虽是可行的,但当浇筑混凝土面板后,其与垫层间夹有沥青乳剂层,将使面板与垫层摩擦力减小,是否使面板下滑力增加,引起疑虑,值得研究,为此建议喷薄层混凝土进行试验研究。

在结束本文时尚需说明,迄今为止面板堆石坝设计,主要仍凭先例工程经验,因此需提醒技术人员,在设计中应牢记著名水利工程学者太沙基(Terzaghi)早在 1945 年就提出的“观察设计法”作为设计决策的途径。

高拱坝施工的水流控制问题

张文倬

(昆明勘测设计研究院 云南昆明 650051)

【摘要】本文结合国内外拱坝施工资料和设计实践,对高拱坝施工中水流控制的一些问题,提出了自己的看法。

【关键词】水流控制 导流隧洞 高拱坝

1 引言

近年来,国内正兴起建拱坝的势头,主要原因是我国广大地区,特别是西北、西南区域的高深峡谷,地形地质有较适应建设拱坝的优越条件,能达到坝体小而施工快、造价省而安全性高的目的。如已建的龙羊峡重力拱坝高178m,在建的二滩双曲拱坝240m,拟建的拉西瓦双曲拱坝高250m以及小湾双曲拱坝高达292m,将跃居目前世界拱坝高度之冠。因此,在拱坝建设中的许多技术问题,寻求经济合理的解决方法是很必要的,而且总结点滴经验教训也是值得重视的。本文将依据国内外拱坝施工资料结合设计实践,对高拱坝施工水流控制中的一些问题,提出粗浅意见,供研究讨论。

2 导流方式

2.1 选择导流方式依据

由于高拱坝所处的自然因素与枢纽布置的特征,特别是受坝址地形地质条件的控制,因而绝大多数拱坝施工都选用断流围堰涵洞导流方式。如国内外高拱坝资料(表1)所表明,其主要依据为:

(1)一般拱坝址河谷高深狭窄,建拱坝要求河谷高宽比为4~6,或放宽至8~11。按地

形条件,一般规律为坝顶长与坝高比(简称河谷系数) $U=2\sim 10$ 可选为隧洞导流方式;

(2)拱坝基础要求岩石完整坚硬,岩体与混凝土的变形模量之比不小于1/4,因而在岸边设置导流隧洞一般地质条件较好,成洞较易;

(3)狭窄河谷中建筑拱坝布置的泄洪建筑物可与导流洞全部或部分结合使用,可节省泄洪建筑物费用;

(4)岸边设置导流洞,可减少与坝体施工干扰;导流洞可提前或与坝体同期施工,加快建设速度,缩短施工期;

(5)拱坝占地面积小,岸边导流洞线路相对较短,且地下工程施工机械化程度高,共同发挥综合效应。

2.2 导流时段划分

依据拱坝的自然因素、枢纽布置、坝体构造、工程规模和计划进度安排,导流时段又可分为全年挡水与枯水期挡水的断流围堰隧洞导流方式。

2.2.1 全年挡水围堰隧洞导流方式

一般情况下,在一个枯水期内,除填筑围堰工程外,当主体工程规模较大,坝基开挖、处理及底板混凝土施工难于完成时,宜选用全年挡水围堰隧洞导流方式。