

三峡工程围堰施工技术问题的突破

44-67.53

戴会超¹, 邓玉敏²TV511.3
TV632.63

(1. 中国长江三峡工程开发总公司, 湖北 宜昌 443002; 2. 葛洲坝水力发电厂, 湖北 宜昌 443002)

摘要:介绍三峡工程施工导流的“三期导流, 明渠通航”方案, 对一期土石围堰施工技术, 混凝土纵向围堰施工技术, 大江截流与二期土石围堰施工技术, 三期围堰施工技术以及所涉及的重大技术突破进行介绍, 着重阐述大江截流方案, 大江截流上下游土石围堰平抛垫底及二期围堰防渗等关键技术。

关键词:三峡工程; 围堰; 导流; 截流

中图分类号:TV511.3

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2000)03-0044-04

1 三峡工程施工导流方案

三斗坪坝址河谷宽阔, 江中有中堡岛将长江分为主河床及后河, 适于采用分期导流方案。分期导流方案设计必须结合施工期通航和枢纽总体布置一并研究。在可行性论证和初步设计阶段, 对右岸导流明渠施工期通航和不通航两大类型的多种方案进行了大量的技术经济比较工作。1993年7月, 经国务院三峡建设委员会批准, 确定为“三期导流, 明渠通航”方案。

第一期围右岸。一期导流的时间为1993年10月至1997年10月。在中堡岛左侧及后河上下游修筑一期土石围堰, 形成一期基坑, 并修建茅坪溪改道工程, 将茅坪溪水导引出一期基坑下游。在一期土石围堰保护下挖除中堡岛, 拓宽后河修建导流明渠、混凝土纵向围堰, 并预建三期碾压混凝土围堰基础部分的混凝土。水仍从主河床通过。一期土石围堰形成后束窄河床约30%。汛期长江水面宽约1000m, 因此船只仍可在主航道航行。

第二期围主河床与左岸。二期导流时间为1997年11月至2002年11月。1997年11月实现大江截流后, 立即修建二期上、下游横向围堰将长江主河床截断, 与混凝土纵向围堰共同形成二期基坑。在基坑内修建泄洪坝段、左岸厂房坝段及电站厂房等主体建筑物。二期导流时, 江水由导流明渠宣泄, 船舶从导流明渠和左岸已建成的临时船闸通航。

第三期再围右岸。三期导流时间为2002年12月至2009年6月。2002年5月和9月先后拆除二期上、下土石横向围堰, 在2002年11月下旬在导流明渠内进行三期截流, 建造上、下游土石围堰。在其保

护下修建三期上游碾压混凝土围堰并形成右岸三期基坑, 在三期基坑内修建右岸厂房坝段和右岸电站厂房。三期截流和三期碾压混凝土围堰施工是三峡工程施工中的又一关键技术问题。在导流明渠中截流时, 江水从泄洪坝段内高程56.5m的22个6.5m×8.5m的导流底孔宣泄, 截流最大落差达3.5m, 龙口最大流速超过6m/s。碾压混凝土围堰要求在截流以后的120天内, 从高程50m浇筑到140m, 最大月浇筑强度达39.1万m³/月, 最大日上升高度达1.19m, 且很快要挡水并确保在近90m水头下安全运行, 施工难度为世所罕见。三期截流后到水库蓄至135m水位前, 船只从临时船闸航行, 当长江流量超过12000m³/s, 上下游水位差超过6m时, 临时船闸不能运行, 长江短期断航。经测算断航时间发生在5月下半月至6月上半月内。断航期间设转运码头, 用水陆联运解决客货运输问题。水库蓄水至135m, 第一批机组开始发电, 永久船闸开始通航。

水库蓄水以后, 由三期碾压混凝土围堰与左岸大坝共同挡水(下游仍由三期土石围堰挡水), 长江洪水由导流底孔及泄洪深孔宣泄, 继续在右岸基坑内建造大坝和电站厂房。左岸各主体建筑物上部结构同时施工, 直至工程全部完建。

2 一期土石围堰施工技术

一期土石围堰位于长江主河槽右侧, 堰顶高程79~80m, 围堰高度30~37m(图1)。围堰自上而下分为茅坪溪段、上游横向段、纵向段和下游横向段四部分, 沿轴线全长5502.36m。主要工程量为土石方开挖65.0万m³, 土石方填筑324.7万m³, 混凝土防渗墙

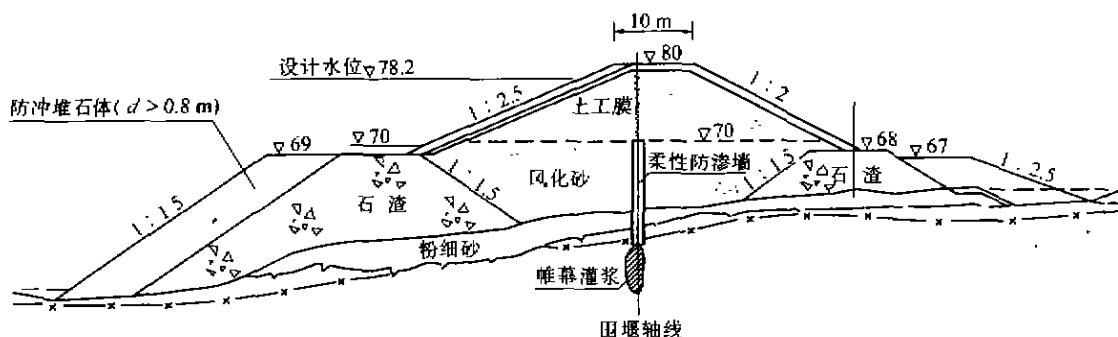


图1 一期围堰典型剖面

4.9万 m^2 、防渗土工膜3.9万 m^2 、帷幕灌浆0.4万 m^3 。

一期土石围堰的平面布置考虑了它所围护的右岸工程的特性及地形地质和水流条件,其纵向段在满足混凝土纵堰施工场地前提下尽量右靠,以免遭遇过大的流速冲刷,同时采取“守点保线”原则,在上下游各形成一个突入江中的防冲布矶头,使两矶头间长约700m的堰体外侧形成回流,大大减少了防冲前沿的长度和难度。横向段的布置原则是尽量扩大基坑面积,减少导流明渠堰外部分的工程量。

葛洲坝电站蓄水后,在三峡坝区一期围堰堰基范围内的新淤沙厚度达6~10m,通过大量室内和现场试验,分析新淤沙承载能力、动力稳定和渗透稳定等问题,决定对堰体基础淤沙采用“围封、盖重与截渗”处理,而不采用挖除的方案,节省挖填工程量近100万 m^3 ,不但大大加快了施工进度,降低了造价,而且为同类工程施工提供了经验。

一期围堰因地形、地质条件不同而采用了不同的断面型式,最基本的断面是塑性混凝土防渗墙上接土工合成材料防渗,堰体填料在防渗轴线上采用易于造孔成墙的风化沙填筑,两侧采用石渣和石渣混合料填筑,对新淤沙地层在堰内侧采取挖槽铺填反滤料和石渣料,迎水侧采取加大石渣抛填长度等压护措施,局部地层渗漏量大的部位采用磨细水泥灌浆,在某些块球体地层,为了争取工期,采取了多排旋喷连续桩柱进行防渗封闭,一期围堰经历3年运行和洪水考验,已完成其使命,说明设计方案正确,工程质量良好。

3 混凝土纵向围堰施工技术

混凝土纵向围堰位于中堡岛右侧,顺江布置,轴线全长1191.47m,围堰布置主要考虑改善导流明渠水力学条件,并满足二、三期上、下游横向围堰布置要求和二、三期基坑主体建筑物施工条件。

混凝土纵向围堰大部分采用碾压混凝土,基础垫层及孔洞周边采用常态混凝土,全线堰体碾压混凝土基本采用“金包银”方式,堰壳为1~4m的富灰

碾压混凝土防渗层,根据围堰施工条件及温控要求,一般每20m左右设一条永久横缝或诱导缝,横缝一般不进行灌浆处理,但对于上纵堰内段,由于在三期导流期间,存在两侧同时挡高水位的工况,必须考虑围堰整体挡水运行,因而对上纵堰内段横缝高程70m以下区域进行接缝灌浆。

围堰基础大部分为弱风化下带岩体,基岩内进行帷幕灌浆防渗处理。

4 大江截流与二期土石围堰施工技术

二期围堰修建在深水中的淤沙地基上,是影响三峡工程施工成败的关键性建筑物,大江截流和围堰防渗是二期围堰两个关键性技术问题,三峡大江截流最大水深60m,截流流量8480~11600 m^3/s ,日最高抛投强度19.4万 m^3 和截流施工期有通航要求,创造了大江截流4项世界记录,围堰采用塑性混凝土防渗墙下接帷幕灌浆,墙上按土工膜防渗方案,用不到1年的时间,完成二期土石围堰施工,二期围堰工程量之大、工期之紧、施工强度之高和地形地质条件之不利更为世所罕见,大江截流及二期围堰工程属于超国际水平的工程。

4.1 大江截流方案

国内外水利工程大流量的截流可归纳为立堵和平堵两大类截流方案,葛洲坝大江截流工程是我国在长江干流上第一次进行的规模巨大的截流工程,采用单戗堤立堵截流方案,葛洲坝大江截流的成功经验说明,在我国主要通航河流上不宜采用栈桥平堵截流方案,因为栈桥平堵截流施工栈桥工期较长,且与通航矛盾较大,由于大容量的挖掘、运输设备的迅速发展,单戗堤立堵截流方案具有施工简单、快速、经济和对通航干扰小等优点,应优先采用,三峡工程在葛洲坝上游38km,水文和气象条件基本一样,三峡工程大江截流龙口水深达60m,合龙工程量大,抛投强度高,但合龙水力学指标(落差、流速)较葛洲坝大江截流小,其分流条件优于葛洲坝工程,对三峡工程大江截流方案设计研究比较了上游单戗堤立堵和浮桥平堵截流

方案,浮桥平堵截流方案在上游截流戗堤中部主河床部位 350 m 宽口门的上游架设浮桥,由自卸汽车在浮桥上抛投料物直至戗堤出水合龙。该方案的优点是截流水力学指标优越,合龙工程量小,缺点是浮桥的结构、架设和运用中的技术问题尚不落实,且浮桥架桥时对通航有一定的影响,经综合分析比较,选用单戗堤立堵截流方案。后经进一步模型试验,专家多次审议和设计审查,最终确定采用“预平抛垫底,上游围堰单戗双向立堵进占、下游围堰尾随”的截流方案。大江截流已于 1997 年 11 月 8 日胜利合龙,它是继葛洲坝工程后在长江干流上进行的第二次截流,是在葛洲坝库区内进行的主要技术指标见表 1。

表 1 三峡工程大江截流主要技术指标

项 目	主要技术指标	
	设 计	实 施
截流龙口合龙时段 ^①	11 月上旬	10 月 26~27 日, 11 月 8 日
截流合龙方式	平抛垫底, 单戗向立堵	平抛垫底, 单戗向立堵 ^②
截流龙口宽度/m	130.0	130.0(40.0 ^③)
截流合龙流量/(m ³ ·s ⁻¹)	14 000~19 400	8 480~11 600 ^④
截流施工最大水深/m	60.0	60.0
截流合龙最大落差/m	0.8~1.24	0.66 ^⑤
截流合龙最大流速/(m·s ⁻¹)	3.29~4.23	4.22 ^⑥
截流戗堤总抛填量/万 m ³	126.0	126.0
截流龙口总抛填量/万 m ³	20.8	20.8
上游平抛垫底总量/万 m ³	74.0	
平抛垫底高程/m	40.0	40.0~45.0
日抛填最高强度/万 m ³	7.0~8.0	19.4 ^⑦
小时抛填最高强度/万 m ³		1.71 ^⑦

注:①1997 年 10 月 23 日龙口形成,考虑通航要求,1997 年 11 月 8 日最终合龙;②下游戗堤(不承担落差)及围堰堰体尾随进占;③为 1997 年 11 月 8 日最终合龙小口宽度;④龙口合龙实测流量;⑤1997 年 10 月 26 日 20 时实测值;⑥1997 年 10 月 26 日 20 时实测值;⑦含下游戗堤及堰体抛填。

4.2 大江截流上下游土石围堰平抛垫底

三峡大江截流主河床深槽段最大深度达 60 m,为世界水电工程建设史上之罕见。为避免可能发生截流戗堤和堰体抛填过程中堤头坍塌现象,威胁施工人员、机械的安全,减少截流时的抛投强度,经模型试验和堤头坍塌机理分析,采用平抛垫底抬高河床高程的措施,可明显减少堤头坍塌的几率,为大江截流创造了良好的条件。结合平抛垫底,又调整防渗墙与戗堤轴线距离,减小围堰填筑工程量。根据模型实验成果,经专家多次审议和招标设计审查对平抛垫底形成如下决策意见:

a. 采用砂砾料和中小石平抛垫底,以解决戗堤进占时堤头坍塌问题,鉴于深槽段水深最大,预平抛范围应覆盖戗堤龙口段与整个深槽段,顺水流方向 140 m,沿戗堤轴线方向 180 m;为减轻落淤和便于防渗墙施工,戗堤上游亦可用砂砾料平抛一定范围,平

抛高程不低于 40 m,并力争达到 45 m 以上,以削减截流后围堰填筑高峰强度。

b. 为便于抛投、减轻落淤,预平抛宜分两阶段施工。第一阶段可安排在 1997 年汛前平抛至高程 30~35 m,第二阶段于汛后截流前平抛至最终高程。平抛宜采用底开驳船抛投。

c. 龙口河床平抛垫底渡汛防冲措施:龙口位于河床深槽部位,在截流戗堤范围平抛石渣及块石料,其上游侧的堰体防渗墙范围平抛砂砾石料。1:100 水工模型试验表明,当 20 年一遇洪水流量 72 300 m³/s 时,戗堤平抛垫底至 40 m 高程处的流速为 2.77~3.42 m/s,平抛垫底的砂砾料产生冲刷。后调整为在戗堤部位平抛垫底至 40 m 高程,其上游侧堰体范围平抛砂砾石料高程降低至 35~37 m 高程,形成高低坎机构型式。堰体砂砾范围流速降低至 2.82~2.96 m/s,戗堤部位平抛石渣块石体处的流速为 3.5~4.0 m/s,可有效地减少平抛垫底砂砾石料的冲刷量。在施工中高程 35~40 m 平抛粒径大于 0.4 m 的块石料,有效地防止汛期遭受洪水冲刷。

4.3 二期围堰防渗关键性技术

二期围堰防渗型式经过可行性论证阶段、初步设计阶段、技术设计阶段和招标设计阶段多种方案比较优化和不断完善。由于三峡坝区及附近防渗土料十分缺乏,不适于采用粘土防渗,故混凝土防渗心墙是堰体防渗的基本研究方案。由于防渗墙可能的最大深度将达 70~90 m,堰体又主要是水下抛填的松散风化砂,防渗墙的结构安全是研究的主要问题。结合深水抛填风化砂特性的研究,比较研究了多种组合方案:防渗墙结构平面布置的单排墙或双排墙方案;防渗墙结构立面布置的高墙或低墙方案;防渗墙墙体材料性质的塑性混凝土或刚性混凝土方案;墙体厚度由 0.8~1.2 m 的不同厚度方案。根据研究成果,围堰防渗采用塑性混凝土防渗墙下接帷幕灌浆,墙上接防渗土工膜方案,上游围堰在防渗墙深度超过 40 m 的深槽段加设第二道防渗墙,间距 6 m,墙厚 1.0 m 和 0.8 m,最大深度 74 m(图 2)。下游围堰深槽段相应部位加设一道高压旋喷桩柱连续墙。在施工阶段,根据防渗施工专家的咨询意见和考虑施工承包单位高喷设备性能和数量难以满足设计要求的具体情况,取消该部位的高喷墙。按将下游防渗墙厚度由原 1.0 m 增加为 1.1 m 的方案实施。

二期深水高土石围堰,最大堰高 82.5 m,围堰防渗心墙材料选用了塑性混凝土,由于其强度低,弹性模量较小,柔韧性好,用于填筑围堰的材料除部分块石外,主要是花岗岩风化砂料,由此而抛填的围堰堰体密度,尤其是水下部分的密度较低,防渗墙体挠度

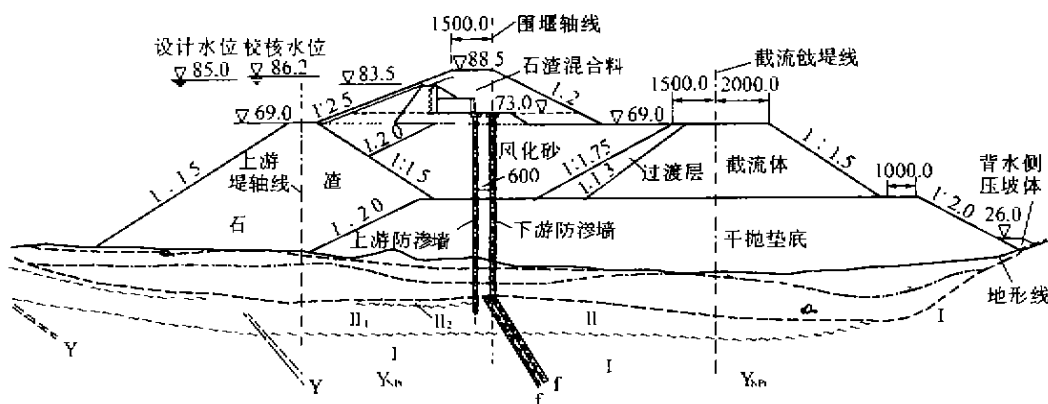


图2 二期上游围堰典型剖面

较大.为了适应墙体的较大变形以及适应较大的水平推力,墙体材料必须有较高的强度和较好的柔韧性.鉴于二期围堰的重要性以及国内外工程中所用的塑性混凝土防渗墙指标不能满足三峡二期围堰的要求,在国家“七五”、“八五”科技攻关项目中安排了塑性混凝土防渗墙的研制和配合比的优选研究工作.为配合现场施工,又进行了施工配合比的完善工作,并作为二期围堰右岸接头段塑性混凝土防渗墙现场生产性配合比,为主体部分塑性混凝土防渗墙的浇筑作实战准备.柔性材料主要由水泥、粘土(或膨润土)和风化砂组成.以当地风化砂(或河沙)作骨料形成三组分柔性材料作为围堰防渗材料是一项创新.与同类材料相比,原材料组分少,可就地取材,防渗效果好,和易性好、施工方便,拆除简单、造价低廉,并具有“高强低弹”的特点.

1998年6月22日,二期围堰堰顶达到临时渡汛高程,防渗墙单墙封闭,6月25日基坑开始限制性抽水.6月29日长江形成第1次洪峰,围堰进入边施工、边运行、边渡汛阶段,经过研究确定,当流量小于 $65000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,上游围堰第二道墙照常施工,当流量大于 $65000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,进入抢险状态,从而保证了8月6日上游围堰第二道防渗墙完工.6月末至9月初,长江出现8次大洪峰,但围堰运行正常,未出现险情.9月12日,基坑按计划抽干.采用量水堰法量测上游围堰渗水量不足 15 L/s ,下游围堰渗水量不足 50 L/s ,远低于设计预测值 600 L/s .截至1999年2月围堰内部变形观测资料表明,围堰最大挡水水头 63 m ,防渗墙最大压应力 1.4 MPa ,最大拉应力 0.045 MPa ,均在墙体材料允许范围内.上游围堰第一道防渗墙最大变位达 580 mm ,超过设计值,其原因是由于第一道墙(上游)初期运行挡水时,第二道墙(下游)槽孔正在施工中,二道墙槽孔形成了临空面,减小了第一道墙的下游抗力,同时第一道墙上游侧填筑挡水子堰,增加了侧压力,但其变形曲线光滑,无明显错位,运行状况正常.至

1999年底,大坝迎水面混凝土最低高程已浇筑至 50 m 左右,二期围堰挡水的风险难关已经渡过.三峡工程二期围堰的成功建成,为水利水电工程建设史上写下了光辉的一页.

5 三期围堰施工技术

三期围堰包括三期上、下游土石围堰和碾压混凝土围堰.2002年12月,在导流明渠内完成三期截流,修建三期上、下游土石围堰,在其保护下,枯水期抢筑三期碾压混凝土围堰,汛期由三期碾压混凝土围堰与三期下游土石围堰围护基坑,创造右岸非溢流坝段干地施工条件,并由围堰拦蓄水位至 135 m ,提前发电.

三期上游土石围堰布置在导流明渠内,左端与混凝土纵向围堰上纵段相接,右侧同高程 82.0 m 截流大道相连,轴线全长约 400 m ,堰顶高程为 81.0 m ,顶宽 15 m ,防渗采用粘土斜墙方案.堰体主要由石渣、块石、过渡料、风化砂及粘土填筑,填筑总量为 158.8 万 m^3 .三期截流戗堤设在围堰背水侧,截流落差达 3.5 m 左右,且只能从右岸一端进占,截流水深 $10\sim 30\text{ m}$,采用单戗堤单向进占立堵截流方案.

三期下游土石围堰位于导流明渠下游弯段附近,轴线全长约 450 m ,堰顶高程为 81.5 m ,顶宽 15 m .为加快施工进度、方便施工,围堰采用粘土心墙防渗方案,全线断面呈“双戗夹土”型式,有利于全断面同时进占施工,提高抛填强度.堰体主要由石渣、风化砂、过渡料、块石及粘土填筑,填筑总量为 153.7 万 m^3 .三期上、下游土石围堰于2002年11月开始进占施工,2003年2月必须满足三期RCC围堰混凝土浇筑施工条件.施工时间紧,最大月填筑强度达 124.99 万 m^3 ,且仅一条进料道路,施工难度大.采用加宽进占平台宽度、配备大型挖运机械及侧卸船、开底驳等水上施工设备,形成水陆联合抢填堰体的施工局面,围堰可按期完建,实现基坑抽水目标.

(下转第53页)

表4 20年一遇洪水断面平均流速成果

断面 编号	起点 距/m	地 名	断面平均 流速 /($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	断面 编号	起点 距/m	地 名	断面平均 流速 /($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
0	0	三江口	0.46	8	10880	港利闸	0.21
1	2060		0.38	9	11580	园 顶	0.27
2	3115	宁海桥下	0.85	10	12880	阔口桥 下 游	0.28
3	4770	镇 前	0.52	11	13880	黄 厓	0.50
4	5855	涵 坝	0.68	12	14880	坂头村下	0.69
5	7320		0.65	13	15880	坂头村上	0.93
6	8855		0.80	14	16880	黄 头	1.64
7	10090	洋埕闸	0.68	15	17880	木兰陂	1.61

b. 经对木兰溪1949年后发生的历次大洪水模拟调蓄计算,发现1949年后港利至三江口河段尚未通过大于 $1100\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水。

c. 对木兰溪下游20年一遇洪水归槽前后流速成果进行比较,港利以上南北洋平原漫滩洪水断面平均流速为 $0.21\sim 0.93\text{m/s}$,远远小于规划方案的 $1.8\sim 2.95\text{m/s}$;港利以下至三江口河段河道只通过 $967\text{m}^3/\text{s}$ 流量,断面平均流速为 $0.38\sim 0.85\text{m/s}$,也小于规划方案的 $1.87\sim 2.2\text{m/s}$ 。

4 结 语

经过对木兰溪下游滞洪区进行的水力模拟计

(上接第47页)

三期 RCC 围堰轴线位于大坝轴线上游114m,轴线全长580m。采用碾压混凝土重力坝型式,堰顶高程为140m,最大堰高达120m,顶宽按满足机械碾压施工条件确定为8m(图3)。堰体混凝土主要为三级配碾压混凝土($R_{90}150, S_4$),挡水侧设厚4m富灰RCC防渗层。围堰一般每40m设一条永久横缝,两条横缝之间还设1~2条诱导缝。围堰分两期施工,高程58.0~50.0m以下断面在二期导流阶段施工至明渠渠底高程,以上部分均为三期截流闭气后于5个月内抢浇至高程140.0m。最大月浇筑强度达39.1万 m^3 ,最大日上升高度为1.19m。为确保围堰快速建成,采用便于快速施工的碾压混凝土浇筑,不设纵缝,并尽可能于一期工程中覆盖所有基础面,将复杂的廊道、竖井等结构均布置在一期施工断面内,提前浇筑右岸坡块及左接头块至高程140m,并于三期截流前完成大部分基础灌浆工作,创造三期单纯碾压混凝土浇筑施工条件。从施工措施上,采用大仓面通仓薄层连续施工方案,配备大容量拌和系统,采用自卸汽车与皮带机综合运送混凝土方案,可以保证三期RCC围堰按期完建。施工后期,将该围堰一次拆除至电站进水口高程以下,技术难度高,风险大,组织了水下爆破拆除方案和非爆破拆除方案。

算,定量地分析出滞洪区调蓄作用及1949年后实际发生的洪水经港利至三江口河段安全入海的水流泄量。通过比较洪水归槽前后流速的变化可知,在目前港利至三江口河段堤防尚未经历20年一遇以上洪水考验的情况下,上游无论采用何种防洪工程方案,都会使洪水归槽,洪水通过流量及水流流速都会比现状大;若实行裁弯取直方案,对河道工程措施要求更高。因此,新建堤防及已建港利至三江口海堤防冲护岸工程都要进一步加固。

参考文献:

- [1] 长江流域规划办公室水文处. 水利工程实用水文水利计算[M]. 北京:水利出版社,1980.90~91.
- [2] 华东水利学院. 水力学[M]. 北京:科学出版社,1979.119,132,359.
- [3] 陈斌. 木兰溪下游洪潮关系分析[J]. 水利科技,1994(4):16~20.
- [4] 陈斌. 木兰溪下游水沙特性及河道演变[J]. 水利科技,1998(1):47~51.

(收稿日期:1998-12-07 编辑:熊水斌)

更正:本刊2000年第2期第61页倒5行“最大洪流量可达 $110\text{m}^3/\text{s}$ ”应为“最大洪流量可达 $110000\text{m}^3/\text{s}$ ”,特此更正。

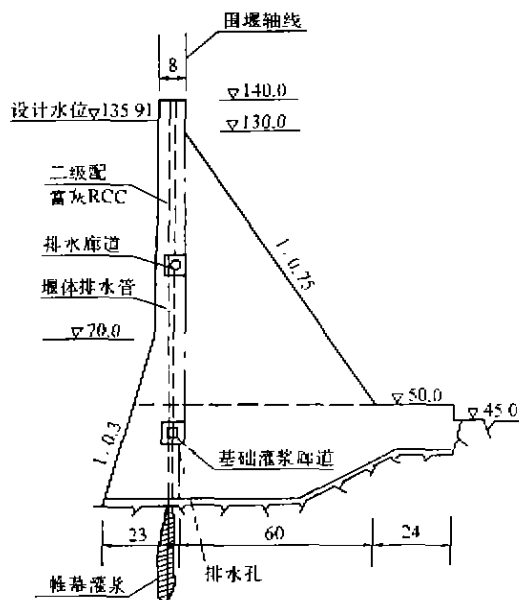


图3 三期RCC围堰典型剖面

参考文献:

- [1] 张超然. 大江截流及二期围堰主要技术问题的决策[J]. 中国三峡建设,1999(5):8~11.
- [2] 戴会超. 三峡工程主要科研成果及应用[J]. 水利水电科技进展,1999,19(3):25~30.

(收稿日期:1999-11-16 编辑:熊水斌)