

截流技术回顾与长江三峡工程截流

顾淦臣

(河海大学水利水电工程学院 南京 210098)

摘要 介绍导流截流的方式,回顾截流技术的历史和发展趋势,用几个大型水利水电工程施工实例阐明了几种富有创造性的导流截流技术方案。重点介绍长江葛洲坝水利枢纽导流截流经验及长江三峡工程导流截流设计和目前阶段实施情况。

关键词 坝 施工 导流 截流 围堰 戗堤 三峡水利枢纽

从事坝工建设的工程师有一句名言:“基坑浇筑第一方混凝土时,大坝工程已完成了二分之一”。这句话的含意是强调准备工程的繁重性和导流截流的艰巨性。准备工程从施工人员进入工地开始,先要三通一平,即公路、输电线、供水管路通到坝址,平整现场,建筑辅助企业包括木工厂、钢筋厂、钢管钢板厂、压缩机厂、冷冻厂、机修厂、骨料筛分厂和堆料场、水泥存放罐、混凝土拌合楼、仓库等,同时进行导流隧洞或导流明渠的开挖和衬护,并建筑上下游围堰,先用戗堤逐步向龙口段进占,选择有利季节(枯水期)并根据截流后第一个汛期以前围堰的工程量所需工期确定截流闭气(即封闭渗流)日期,河水随即由导流隧洞或导流明渠流出。然后加高围堰,在上下游围堰围护的范围内抽水,将基坑排干,开挖基础达到建基标准,开始浇筑混凝土。所以,导流隧洞或导流明渠具备过水条件以及截流和闭气的成功,是大坝建设的关键环节。三峡工程的导流明渠还担任大坝施工期间 6 年的 5000 吨级轮船通航的任务,因此,三峡工程导流截流的重要性和艰巨性更是举世无双,是坝工史上的一个里程碑。

1 导流截流方式

导流截流方式可分为一次导流截流、两期导流一次截流、三期导流二次截流或一次截流,如何选用这些方式要根据坝址地形、河谷宽度、枢纽布置和结构型式而定。导流建筑物有导流隧洞、导流明渠、导流涵管、坝身预留底孔或缺口等。截流方式有单戗立堵、双戗立堵、平堵、平堵立堵结合、定向爆破、堆全预制块爆破等。

当河床狭窄、枢纽布置紧凑时,常采用一次导流截流,例如我国的毛家村水电站、碧口水电站、鲁布革水电站、漫湾水电站、柘林水电站、上犹江水电站、龙羊峡水电站、隔河岩水电站等都是采用一次导流截流;原苏联 Нурекская 水电站、Бурен 水电站也是一次导流截流;巴西与巴拉圭合建的 Itaipu 水电站,河床较宽,也采用一次导流截流。

对于较开阔的河床,溢流坝和厂房占据全部河床的枢纽,常采用两期导流。第一期用明渠导流或隧洞导流,上下游横向围堰单戗或双戗进占,立堵或平堵合龙截流。在围护的基坑内建溢流和非溢流坝段以及厂房坝段。溢流和非溢流坝段建导流底孔,然后拆

作者简介:顾淦臣,男,教授,从事土石坝应力分析和土工合成材料研究,曾发表《土石坝地震工程》等论著。

除横向围堰,明渠内建围堰截流,或下闸封堵导流隧洞。前者为两次截流,后者为一次截流。大化水电站、岩滩水电站、丹江口水利枢纽、天桥水电站都是采用两期导流。

对于大流量宽河床没有滩地可利用的坝址,常采用三期导流两次截流。长江三峡工程将采用这种方式。

2 截流技术历史回顾

国内外大中型水利水电工程施工实践,曾用过的截流技术有:戗堤法截流、瞬时一次截流、其它无戗截流。最常用的是戗堤法截流。戗堤法又可分为平堵(架桥或缆机平堵)和立堵(端进)两类。

在实施中,国内外不少大流量河道也有根据河流自然特性、截流水力条件、施工能力、技术水平及工程造价等因素采用先立堵后平堵方式(前苏联布拉茨克 Братск,多瑙河铁门 Djerdap, Iron Gate);或先平抛护底,后立堵合龙(青铜峡、丹江口、美国 Dalles,埃及 High Aswan)截流的。

为改善截流条件,分散和降低龙口落差,减小抛投料块径,国外还有采用双戗平堵(法国热尼西亚),双戗平立堵(前苏联 Нижне-Тулума 上戗平堵下戗立堵),双戗立堵(前苏联 Токтогульская),美国 Chief Joseph,巴西 Furnas),多戗包括三戗、双戗加辅戗(加拿大 Kettle Rapids,坦桑尼亚 Cabora Bassa,前苏联 Хангаи),或四戗(巴西与巴拉圭 Itaipu)和宽戗(美国 Owyhee)截流的;前苏联还有用两期法,先抛一期戗堤过水,二期再行截流的(Токтогульская)。

戗堤法截流,因施工简单,便于就地取材和机械化施工,且可根据具体条件采取一些辅助措施,较为安全可靠;又不受或少受地形、地质、水文等条件的限制,目前已成为世界各国常用的截流方法。随着水力学理论、水工建筑、大型自卸汽车和大型挖掘机等的技术进步,其发展前景当更为广阔。

戗堤法有时也与其它措施结合使用,如定向

爆破法(碧口水电站)、人工堆料抛掷爆破法(漫湾水电站、前苏联 Нурекская)一次断流。

海堤截流常用浮运法,它是将浮箱由水面拖运到龙口,很好定位,然后用块石加载或充水下沉截流。荷兰围海造陆,英国、法国、意大利围海筑堤,潮汐电站截流等都用此法。其关键技术是基床面要求平整、护底要防冲、紧密,定位缆锚要正确。

戗堤法截流,我国传统采用立堵。黄河大堤堵口历来都用立堵。1946年黄河花园口堵口复堤,谭葆泰博士作了水工模型试验,建议采用平堵;朱光彩博士负责施工,在口门打桩架桥,在桥上抛投块石平堵,底部冲刷,桥桩冲倒,堵口失败。遂改用立堵,得以成功。1949年后,我国大中型水利水电工程,都用立堵截流,只有上犹江水电站(截流流量 $17 \text{ m}^3/\text{s}$)和大伙房水库工程(截流流量 $22 \text{ m}^3/\text{s}$)采用平堵。

美国在50年代以前,都采用平堵,后来因为大型自卸汽车的出现,可以高速度地由两端或一端进占,从1954年以后,就广泛采用立堵。前苏联在40年代以前都采用平堵,50年代逐步采用立堵,60年代以后,大都采用立堵。1957年新西伯利亚水电站浮桥被冲走失事,就改用25t大型自卸汽车装大块石立堵。

立堵截流,随着龙口束窄,流速和落差急剧增加,冲刷河床覆盖层较深,抛投料流失也比平堵多,需要抛投的强度比平堵高。但近代已能较好地解决这些问题,故各国都转而采用立堵。解决的办法是:①用双戗、三戗或四戗进占,分散落差;②向龙口进占前,用大型底开驳船或缆机抛投大块石或混凝土块平铺护底,防止冲刷河床覆盖层;③用宽戗堤三车道或四车道,3~4辆重型自卸汽车同时在堤头卸料,加大抛投强度;④抛投人工大块体如15~25t混凝土四面体或异形体,或石串、铁丝笼块石或竹笼块石,或带锚大块体等克服高流速冲失。

平堵需要先架栈桥或浮桥,投资大,费时,

且栈桥或浮桥阻碍通航。立堵一般比较节省,施工准备工作量较小。因此,近代大江大河截流都趋向于立堵法结合平抛铺垫护底。

截流流量、水深、落差和流速是衡量截流难易程度的指标。表1列出了几座主要大坝的截流数据。由表1可见,三峡工程截流流量和水深远超过Itaipu工程,居于国际领先地位。

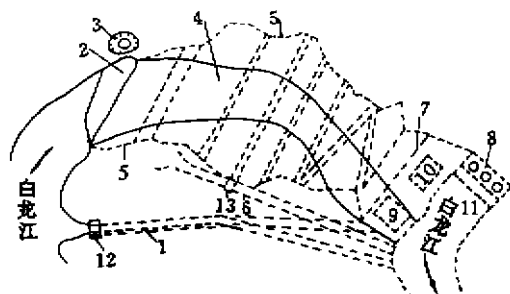


图1 碧口水电站大坝施工导截流方式

- 1.导流洞;2.围堰;3.定向爆破漏斗;4.土石坝;5.坝边线轮廓;6.溢洪道;7.下游坝趾轮廓线;8.发电厂房;9.220 kV 开关站;10.110 kV 开关站;11.尾水渠;12.闸门室;13.溢洪道桥

表1 国内外大型截流工程主要指标比较

工程名称	国名	截流年份	截流方法	截流流量 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	相应的最大落差 $/\text{m}$	相应最大流速 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
长江三峡工程	中国	1997	护底单戽立堵	14000~19400	1.24	3.7
伊泰普	巴西巴拉圭	1978	双戽立堵	8100	1.98	6.1
长江葛洲坝	中国	1981	护底单戽立堵	4800	3.23	7.5
伏尔加格勒	俄罗斯	1958	浮桥平堵	4500	2.07	5.8
萨拉托夫	俄罗斯	1967	浮桥平堵	4100	0.5	
麦克纳里	美国	1950	缆机平堵	3920	4.76~5.4	6~9
姆比亚	巴西	1966	立堵	3900	2.3	
古比雪夫	俄罗斯	1955	浮桥平堵	3800	1.93	5.5
凯特尔	加拿大	1969	双戽+辅助戽立堵	3680	2.6	
布拉茨克	俄罗斯	1959	栈桥立平堵	3600	3.5	7.4
达勒斯	美国	1956	平立堵	3280	1.5	3~4
铁门	罗、南	1969	栈桥立平堵	3200	3.72	7.15
乌斯特-伊里姆斯克	俄罗斯	1969	立堵	2970	3.82	7.5~8
三门峡枢纽	中国	1958	单戽立堵	2030	2.97	6.86

3 一次导流截流的工程实例

3.1 碧口水电站

碧口水电站在白龙江上,大坝是高102 m

的土石坝。水电站厂房装3台单机容量10万kW机组。枢纽布置和导截流方式见图1。导流隧洞在右岸,隧洞断面宽13 m,高12 m,洞长658 m。设计导流流量 $2600 \text{ m}^3/\text{s}$ 。并作施工期流放木材之用,年流量30万 m^3 。隧洞进口封孔闸门宽13 m,高12 m,由启闭塔顶部的 $2 \times 360 \text{ t}$ 启闭机操作。在完成导流任务下闸封孔蓄水后,立即拆卸启闭机装到永久泄洪洞启闭塔上。然后立即堵塞导流洞进口段并开挖龙抬头连接到导流洞,成为永久泄洪洞。

碧口水电站上游横向围堰由右岸向左岸进占,龙口宽度20 m,在左岸陡峻山坡进行定向爆破。该处山高120 m,山坡平均坡度 55° 。开挖辅助药室1个,主药室2个,共装炸药16 t。1971年3月18日爆破,抛落岩石1万 m^3 。截断龙口,平均堆积高度10 m。随即填筑坝的上游棱体和临时斜墙,汛前填筑了50 m高度,导流洞泄洪 $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ 。以后坝棱体和心墙逐年升高,坝的防洪标准也就逐年提高。

3.2 漫湾水电站

漫湾水电站大坝为混凝土重力坝,在澜沧江干流上。坝高126 m,坝顶高程999 m,坝顶长421 m。厂房在溢流坝后,装6台单机容量25万kW水轮发电机组。5个溢流表孔,经厂房顶溢流。坝址河道呈 180° 弯曲,左岸为凸岸条形山脊,设中孔泄洪隧洞和低孔泄洪隧洞。厂房两侧设两条排沙洞。两条导流隧洞布置在中孔泄洪洞两侧,其断面尺寸都是宽15 m、高18 m。1号导流隧洞进口高程为890 m,洞长458 m。2号导流隧洞进口高程895.2 m,洞长423 m。上游横向围堰高58.5 m,下游横向围堰高39.5 m。围堰较高,使施工期全年由隧洞导流。

1987年12月截流,当时流量为 $922 \text{ m}^3/\text{s}$,全部由导流洞流出。第一个汛期洪水流量 $9500 \text{ m}^3/\text{s}$,经围堰形成的水库调蓄后,7000 m^3/s 流量由两条导流洞宣泄。围堰和导流洞系统最大可以经受 $11600 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量。

截流采用预先堆垒的块石铁丝笼堆体定向爆破法。围堰前缘的戗堤是双戗向左岸进占,留龙口宽度18m,此时龙口流速7.15m/s,落差3.06m,为避免龙口底部刷深,用船抛石护底。块石铁丝笼堆体设在左岸,宽和长各8m,高12m。块石铁丝笼有1m×1m×2m和1m×1m×3m两种,互相错缝叠置共12层。块石铁丝笼堆体的底部支撑结构为木柱及方木垛,间距1m×2m。木柱顶部架设 $\phi 100$ mm钢管,间距1m。块石铁丝笼码置其上。在块石铁丝笼堆体周围绑直立的 $\phi 32$ mm钢筋,间距2m。每码一层笼,用 $\phi 22$ mm钢筋将直立筋对拉。每根木柱装4kg条形炸药包,在堆体后部装2.5m长的12kg条形炸药包。块石铁丝笼堆体及药包布置见图2。

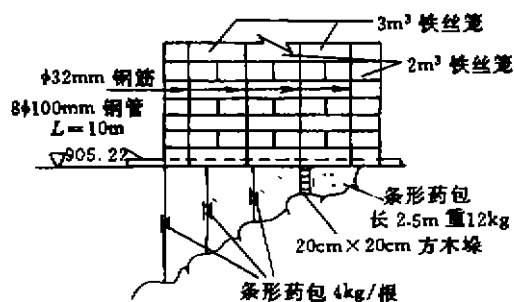


图2 漫湾水电站堆码体定向爆破截流
(取自李友仁文章)

1987年12月10日爆破,堆体正确无误

地抛到龙口,经3h补充抛投,截流成功。

3.3 Itaipu 水电站

巴西与巴拉圭合建的 Itaipu 水电站在巴拉那河上,装机容量1260万kW,大坝的主坝是180m高的宽缝重力坝,长803m,坝后为水电站厂房。左岸坡开挖导流明渠,渠底宽100m,进口宽150m,渠长2000m,最大开挖深度80m,共开挖土石方2200万m³。明渠中浇筑混凝土重力坝,高160m,长159.9m。重力坝底部设宽6.7m,高22m的导流底孔11个,上部为4台机组的厂房进水口。导流底孔安装封孔闸门。明渠中的重力坝和底孔总称导流控制建筑物,在其左侧地面较高,设有重力坝预留二期厂房5台机组位置,再左侧为垭口,建最高达70m,长2200m的堆石坝,再左接土坝,高30m,长2000m。主坝的右侧为大头支墩坝翼坝,最高达55m,长770m,其中段留二期厂房5台机组的进水口。右岸为开敞式溢洪道,堰顶长355m,再右侧为低土坝。枢纽布置见图3。

Itaipu 水电站的施工程序为先开挖导流明渠,浇筑明渠中的导流控制建筑物,安装封孔闸门。这期间同时开挖溢洪道和右岸翼坝基础并填筑左岸堆石坝(见图4a)。

第二期,导流控制建筑物浇筑到144m高程,同时抛填上、下游堆石围堰(上游围堰

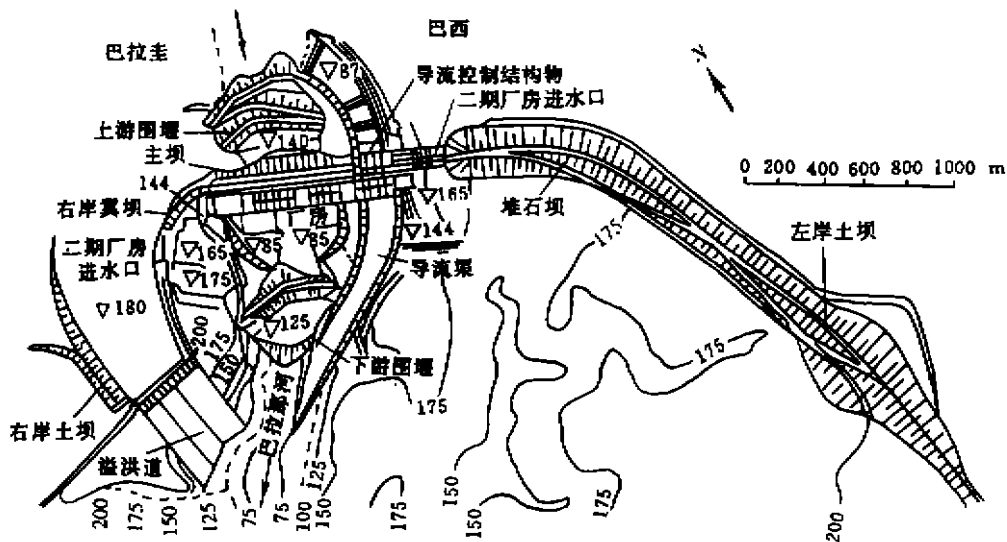


图3 Itaipu 水电站枢纽布置

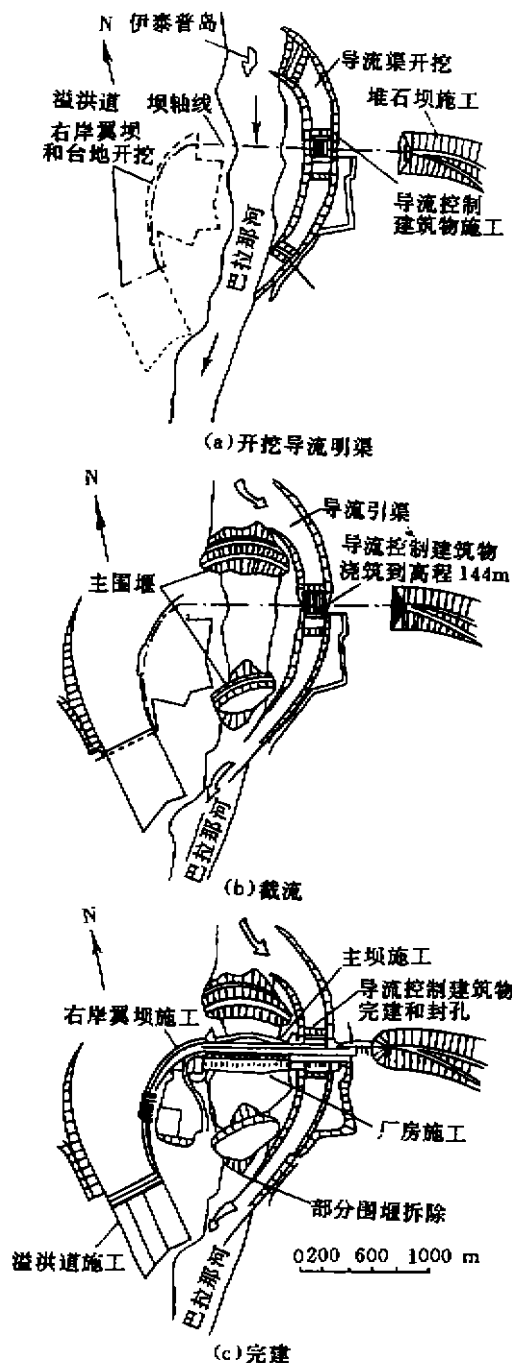


图4 Itaipu水电站导流截流程序

水深25m,下游围堰水深40m)都是双戗由右岸向左岸进占。进占到河宽一半,导流底孔就开始过水。进占到上游围堰龙口宽166m,下游围堰龙口宽153m,采用双戗立堵截流,抛投1.2~1.5m大块石,个别岩块重10t,最大抛投强度14.6万 m^3/d 。截流时流量8100

m^3/s 。经过180h抛投,截流成功。当即加高围堰,以便渡汛。上、下游围堰高75m,围堰抬高水位后,导流明渠可宣泄洪水流量30000 m^3/s ,相当于百年一遇洪水。第二期施工面貌见图4b。

第三期,在围堰保护的基坑内开挖基础,浇筑大坝和厂房,安装水轮发电机组。右岸浇筑翼坝和溢洪道混凝土。拆除下游围堰,然后将导流控制建筑物的底孔下闸封堵,蓄水发电。最后浇筑明渠中的厂房,安装水轮发电机组。第三期施工面貌见图4c。

由于巴拉河没有航运要求,可以在导流明渠内建导流控制建筑物,由底孔导流,完成导流任务后,下闸蓄水,不需再建围堰截流。所以只有巴拉那河横向围堰一次截流,比我国长江三峡工程导流明渠通航,最后需在明渠建围堰截流的技术问题简单得多。

4 二期导流一次截流或二次截流的工程实例

4.1 大化水电站

大化水电站在广西红水河上。在主河槽建混凝土重力式溢流坝,最大坝高74.5m,长228.4m,装13孔14m $\times$ 14m的平板闸门。右岸滩地建河床式挡水厂房,高83m,长175m,宽75.6m,安装4台转浆式水轮机组,总装机容量40万kW。右岸挡水坝长381m,左岸挡水坝长332m,最大坝高44m。升船机设在右岸,距厂房安装间70m。枢纽布置和导流方式见图5。

首先建造第一期纵向围堰,河床稍被缩窄,对宣泄洪水影响不大。在纵向围堰保护下,开挖厂房基础、导流明渠及尾水渠,浇筑厂房混凝土,建成进水口、蜗壳、尾水管、排沙廊道,开挖尾水渠。安装1号水轮发电机组。然后建造二期横向过水围堰。围堰的戗堤采用单戗,自左岸向右岸进占,留80m宽的龙口。用抛投船平抛护底,并预抛石串、大石、混凝土四面体及块石钢筋笼进占,最后留59m宽龙口。戗堤前缘宽21m,足够4道载

重车同时抛投和回车。1980年10月23日开始截流,抛投特大石、大石、块石串、钢筋笼、混凝土四面体 $14\,000\text{ m}^3$ 。经过24 h,合龙成功。当时流量为 $1\,370\text{ m}^3/\text{s}$,截流时最大流速 4.16 m/s ,最大落差 2.39 m 。

截流闭气以后,加高上下游横向围堰,上游围堰建成 40 m 高的过水土石围堰,于1981年3月完成。

厂房蜗壳、冲沙廊道、上下游引渠于1980年3月已具备过水条件。二期围堰钱堤截流前,拆除一期上、下游横向围堰。截流时,2号、3号、4号机蜗壳和左右冲沙廊道开始导流。

二期上、下游围堰保护的基坑抽水后,开挖基础,浇筑溢流堰混凝土。1982年4月,溢流堰具备过水条件,拆除二期围堰,5月厂房流道进

水口下闸,溢流堰过水,1号机组发电。

过水围堰在两年使用期间,过水9次,最大洪水流量 $9\,130\text{ m}^3/\text{s}$,单宽流量 $44\text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$,堰顶水深 11.3 m ,但完好无损,争取了9个月的工期。

大化水电站由厂房未装机的蜗壳及冲沙廊道担任二期导流,很有特色,不需要第二次截流,节省了投资和工期。

4.2 葛洲坝水利枢纽

葛洲坝水利枢纽位于长江三峡出口处,那里江面宽 $2\,200\text{ m}$,江中有葛洲坝和西坝两岛把长江分成大江、二江及三江。大江宽 800 m ,是主河道,二江、三江在洪水期过水,枯水期无水,故一期围堰的纵向围堰建于葛洲坝右侧(即大江左岸),一期横向上、下游围堰横贯葛洲坝、二江、西坝、三江,直抵左岸。

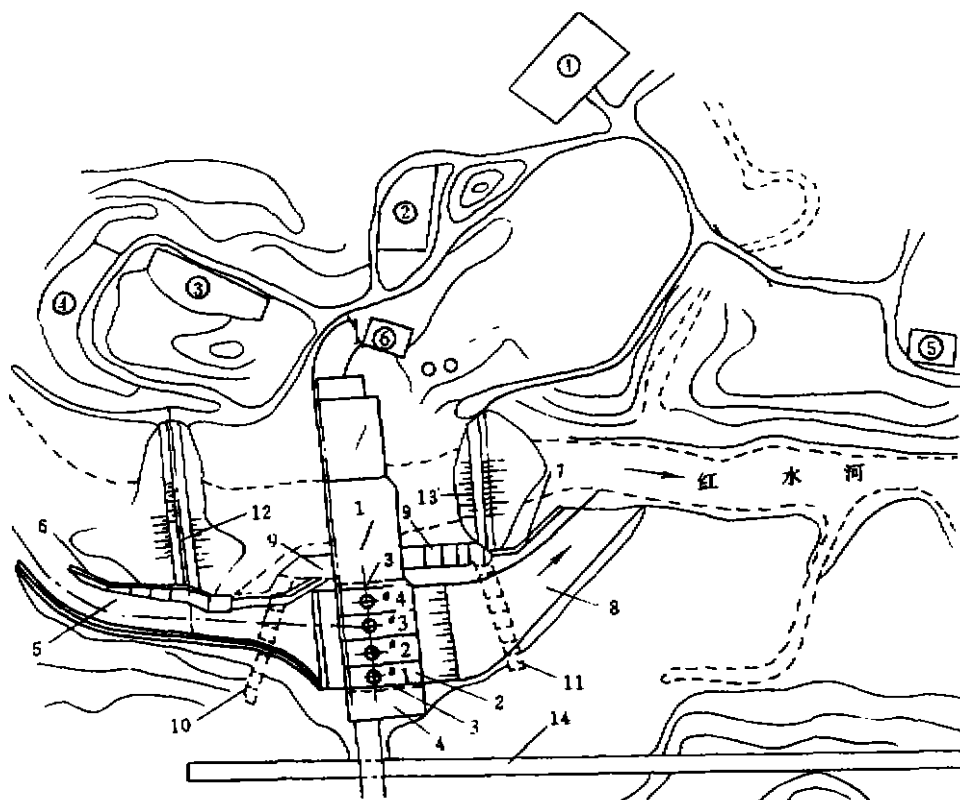


图5 大化水电站枢纽布置和导流截流施工布置

1.混凝土溢流坝;2.水轮发电机厂房;3.冲沙廊道;4.安装间;5.上游引渠;6.上导墙;7.下导墙;8.尾水渠;9.一期纵向围堰;10.一期上游横围堰;11.一期下游横围堰;12.二期上游横围堰;13.二期下游横围堰;14.250吨级升船机及引航道。①石串和块石钢筋笼料场;②大、中、小石料场;③大、中石料场;④石渣料场;⑤特大石料场;⑥混凝土四面体场

在枯水期建一期围堰不需截流。在一期围堰内修建二江泄水闸、二江电厂、二号船闸、冲沙闸、三号船闸。一期围堰对大江过水影响不大,仍由大江通航。一期围堰内的建筑物建成具备泄水、发电、通航条件后,拆除一期横向围堰,建二期围堰截断大江,由泄水闸过水导流,二江电厂过水发电,二号、三号船闸通航。在二期围堰保护下,修建大江电厂和一号船闸。完建以后,拆除二期围堰,大江电厂发电,一号船闸通航。

葛洲坝水利枢纽布置是根据坝址地形、河道形势和导流方案安排的。大江电厂安装 14 台机组,单机容量 12.5 万 kW,二江电厂安装 7 台机组,其中 5 台单机容量 12.5 万 kW,2 台单机容量 17 万 kW。总装机容量 271.5 万 kW。二江泄水闸 27 孔。一号船闸旁设 6 孔冲沙闸,二、三号船闸中间设 7 孔冲沙闸。枢纽布置及原葛洲坝和西坝两岛的位置见图 6。

图 7 为一期围堰已经拆除,二期围堰已经建成,二江泄水闸和二江电厂导流的情况。

截流戗堤选在二期围堰的下游堰脚,围堰加高后,戗堤就是围堰的排水棱体。上流围堰长 887 m,下游围堰长 1245 m。

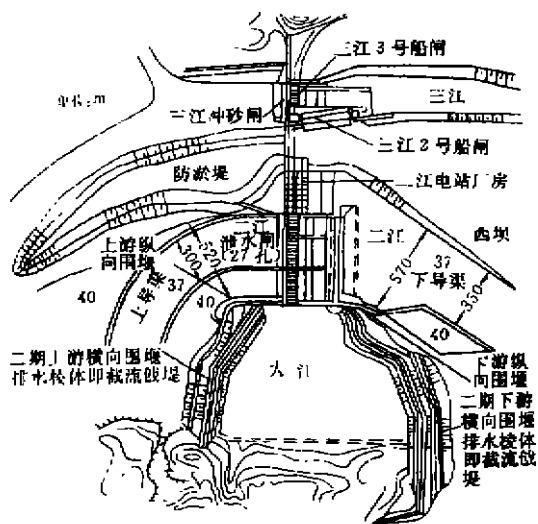


图 7 葛洲坝二期上、下游围堰和导流布置
(取自邹仪、张平新文)

长江最枯流量在 1 月下旬和 2 月,葛洲坝大江截流后要在第一个汛期前(5 月底)加

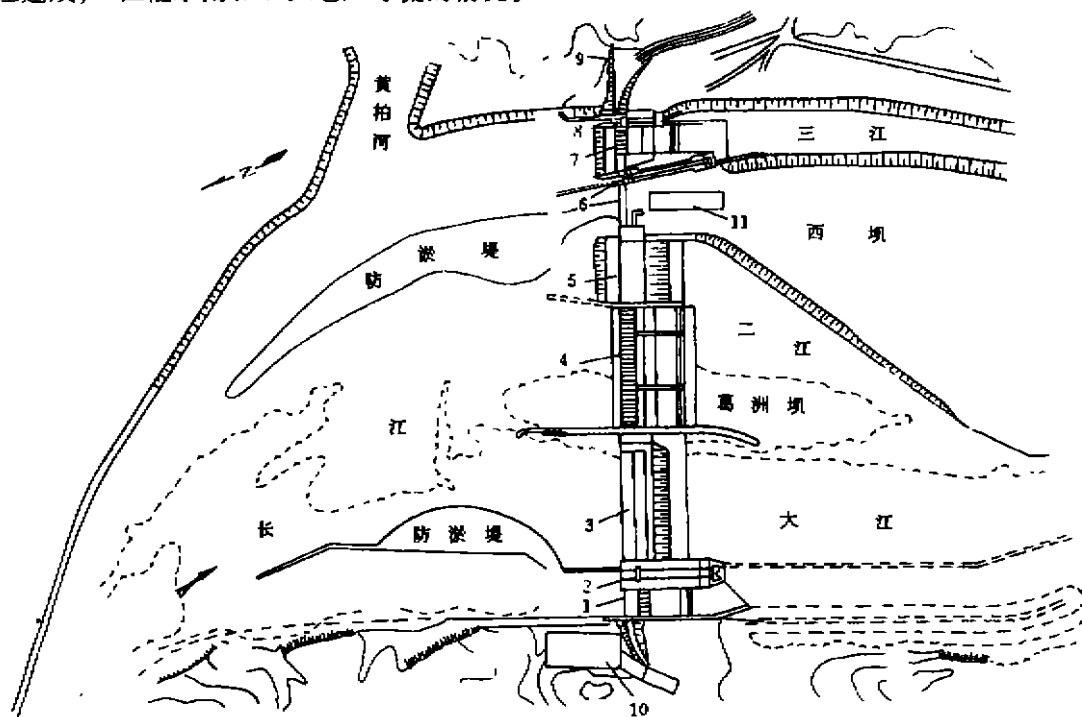


图 6 葛洲坝水利枢纽布置和原葛洲坝西坝两岛位置

1.大江冲沙闸;2.一号船闸;3.大江电厂;4.二江泄水闸;5.二江电厂;6.二号船闸;7.三江冲沙闸;8.三号船闸;9.左岸土石坝;10. 500kV 开关站;11. 220kV 开关站

高围堰至高程 59.0 m(堰高 29 m),以抵御百年重现期的洪水。以后继续加高到高程 66.0 m,以抵御 160 年重现期的洪水($86\,000\text{ m}^3/\text{s}$)。由于填筑围堰的工程量很大,所以截流日期选在 12 月下旬,截流设计流量为 $7\,300\sim 5\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 。1980 年 10 月开始两岸戗堤向江心进占,为不妨碍通航,上游右岸戗堤从 11 月中旬开始进占,到 11 月 27 日,形成上游戗堤龙口宽 203 m,下游戗堤龙口宽 191 m。龙口位于大江江心偏右部位。在此以前已经用抛石船在预定龙口部位抛投钢架石笼和混凝土五面体进行护底加糙。1981 年 1 月 3 日开始,采用单戗端进立堵法截流,抛投混凝土四面体、大石、中石,到龙口缩窄至 30 m 时,流速达 7.5 m/s ,把三个 25 t 四面体用钢丝绳串联抛投才冲不动。经过 36.5 h,合龙成功。当时实测流量 $4\,720\text{ m}^3/\text{s}$,落差 3.23 m。上游戗堤合龙闭气后,进行下游戗堤合龙。

由于葛洲坝水利枢纽坝址左侧有宽阔的滩地,可以布置泄水闸、厂房、船闸和冲沙闸,一期围堰围护这些建筑物施工,对长江洪水由右侧主河道流过和在主河道通航没有不利影响。所以,可以在一期围堰内的建筑物建成并具备过水和通航条件后,拆除一期围堰,建造二期围堰截断大江,由左侧建筑物泄水和通航。工程只需两期围堰一次截流,施工条件相当优越。就截流流量和流速来看,当时位居世界第二,仅次于 Itaipu 水电站。但葛洲坝枢纽施工时,保证了 5000 吨级轮船照常通航。截流后,仅在水位升高到二号、三号船闸通航水位的过程中,才停航 20 多天,这在世界坝工史上却是首例。

4.3 天桥水电站

黄河天桥水电站位于山西省保德县、陕西省府谷县的黄河干流上,是低水头径流电站,是混凝土重力坝、河床式压力墙厂房、混凝土泄洪闸和土坝混合式枢纽。左岸混凝土重力坝长 132 m,混凝土泄洪闸长 113 m,高 42 m,为双层闸孔。厂房长 118.4 m。土坝高 23 m,长 330 m。天桥水电站

安装 4 台机组,总容量 12.8 万 kW。

坝址有水寨岛,把黄河分成左右两河,左河比右河稍窄、稍深。一期围堰截断左河道,截流时右河道水位抬高不多,故截流相当容易。在一期围堰基坑内建厂房和混凝土泄洪闸,历时 4 年,曾遇到最大洪峰流量 $10\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水,但一期围堰仍能安全挡水。4 年内,混凝土泄洪闸和闸门安装完成,厂房机组安装完成,然后拆除一期围堰,修建右河的二期围堰的戗堤,进占截流,由左侧的泄洪闸和厂房机组导流并开始发电。天桥水电站枢纽采用了两期导流二次截流。

二期围堰的戗堤截流比一期围堰戗堤截流难度大,因为要抬高水位才能使水流通过泄洪闸孔口和水轮机。

1975 年 12 月,戗堤进占时流量为 $840\text{ m}^3/\text{s}$ 。当进占到缺口尚剩 69 m 时,黄河流量增大到 $1\,110\text{ m}^3/\text{s}$,暂停进占。加高加宽戗堤,并在戗堤上游侧修筑了几个挑流坝,以免水流掏刷戗堤坡脚(见图 8)。等待 10 天后,流量降至 $770\text{ m}^3/\text{s}$,再继续进占,每天抛块石、碎石强度为 $3\,000\text{ m}^3$,3 天后龙口宽度剩 31.4 m,河床刷深 35 m。为防止前端坍塌,即用铁丝笼块石、钢筋笼块石裹头,并不断补充大块石。12 月 14 日黄河上游寒潮袭击,河流冰冻,流量减至 $320\text{ m}^3/\text{s}$ 。施工人员立即抓住时机进行截流,用自卸汽车和 762 轻轨列车运块石、碎石和少量 7 t 混凝土四面体抛投龙口,经过 3 天完成截流。当时黄河流量 $150\text{ m}^3/\text{s}$,流速 6 m/s ,落差 3.1 m。原计划在龙口用铁丝笼护底,然后立堵,以免刷深,但因当时河道流凌,难以用船沉放,故未护底。截流时龙口刷深,多抛了一些块石碎石。

5 长江三峡工程导流截流

长江三峡工程大坝为混凝土重力坝,最大坝高 175 m,大坝全长 2335 m。泄洪坝段位于河床中部,设有 23 个深孔和 22 个表孔,溢流前缘共长 483 m。最大泄洪能力 $11.6\text{ 万 m}^3/\text{s}$ 。左右两侧为厂房坝段,分别安装 14 台

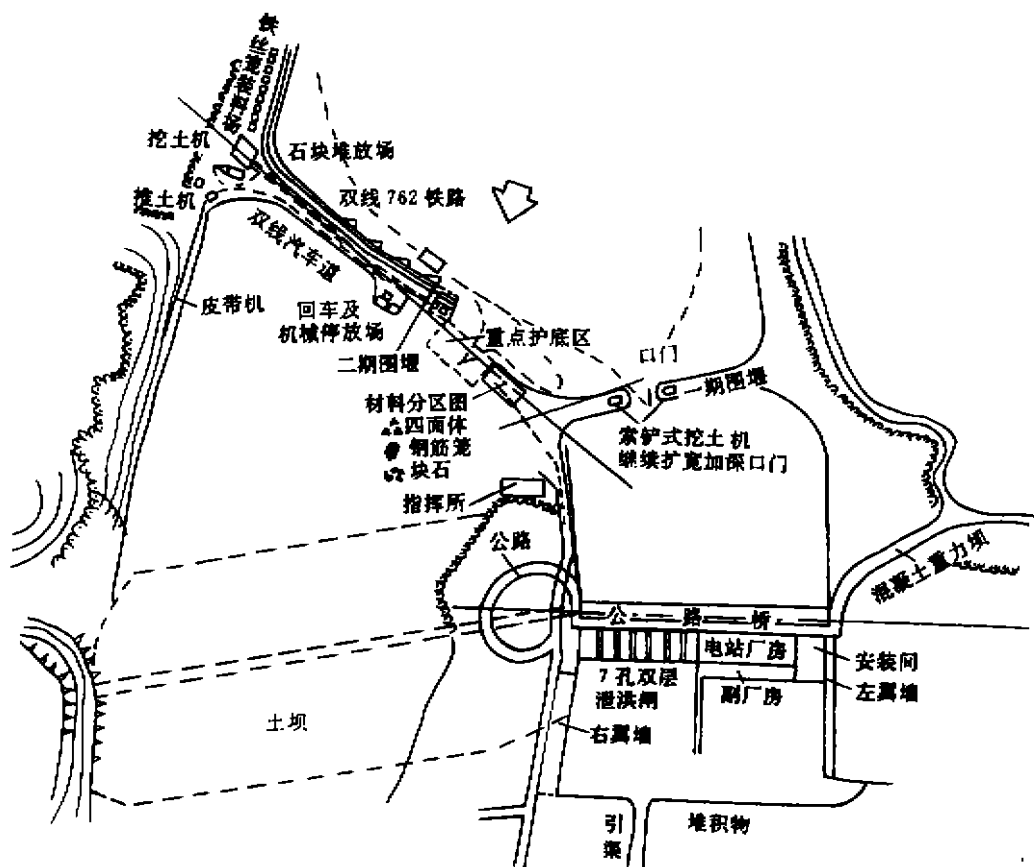


图8 天桥水电站导流截流布置

和12台单机容量70万kW的水轮发电机组,总装机容量1820万kW,年发电量847亿kW·h。后期,右岸还拟增装6台单机容量70万kW机组,为地下厂房。

通航建筑物设在左岸,有双线五级船闸,闸室长280m,宽34m,水深5m。及单线一级垂直升船机,承船厢尺寸长120m,宽18m,深3.5m。还有一线一级临时船闸,闸室尺寸长240m,宽24m水深4m。三峡工程枢纽布置见图9。

三峡工程导流采用“三期导流,明渠通航”。第一期纵向土石围堰围右岸,开挖导流大明渠并建造纵向混凝土围堰。此时修临时船闸。江水及船舶仍由大江通过。二期土石围堰是截断大江的横向围堰,江水由大明渠下泄,当流量在 $20000\text{m}^3/\text{s}$ 以下时,船舶由大明渠通航;流量大于 $20000\text{m}^3/\text{s}$ 时,船闸由临时船闸通航。在上、下游横向围堰围护下,修建溢流坝及左厂房坝段,此时建造永久船闸。

三期围堰是封堵大明渠,上游围堰是土石围堰及碾压混凝土围堰,下游为土石围堰。在修建三期围堰时,拆除二期围堰,江水由溢流坝段的22个深孔通过,船舶由永久船闸通航,左厂房首批机组发电。在三期围堰围护下,在大明渠中修建右厂房坝段。右厂房建成后,拆除三期围堰,全部机组发电。围堰及大明渠布置见图10。

三峡工程导流颇为复杂,由于明渠不单是导流和过洪,还要通航,故不能在明渠中建导流控制建筑物(坝、孔口、闸门)。因此,明渠完成导流和通航任务后,还要截流建围堰。这就是三期导流二次截流的原因。

截流合龙时间的选择,既要考虑合龙时流量较小,更要考虑合龙后第一个汛期前能否把二期上、下游横向围堰抢修到渡汛高程。据此,中国三峡工程开发总公司决定,截流钺堤于1997年9月开始进占,11月中旬合龙截流(据报道,截流时间定为1997年11月8

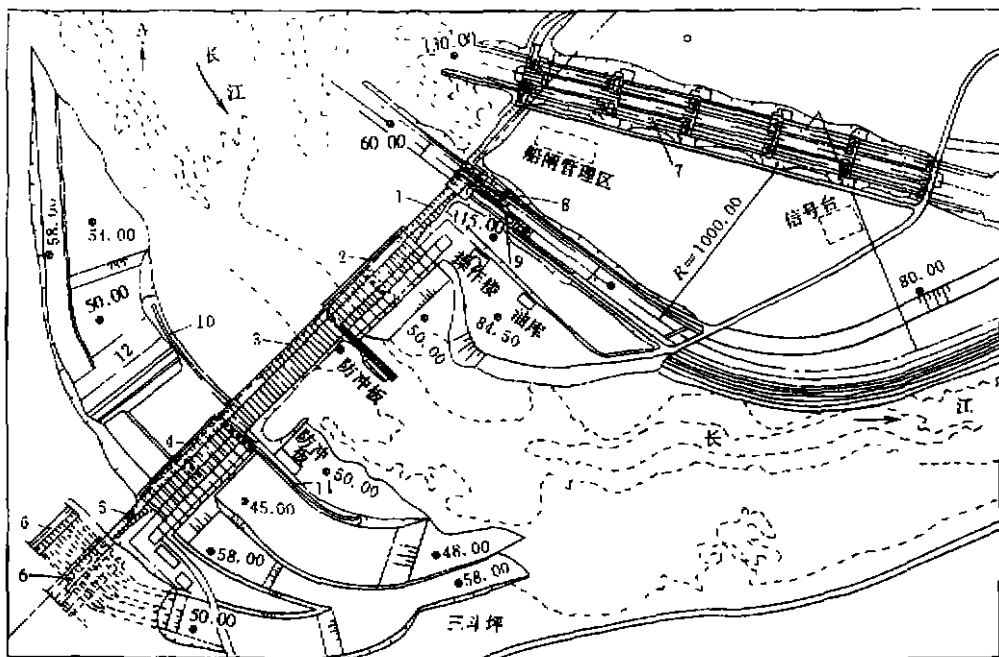


图9 三峡工程枢纽布置

1.左岸非溢流坝段;2.左厂房坝段,14台机组;3.溢流坝段;4.右厂房坝段,12台机组;5.右岸非溢流坝段;6.后期扩装6台机组位置;7.双线五级船闸;8.升船机;9.单线一级临时船闸;10.上游纵向围堰;11.下游纵向围堰;12.三期上游土石围堰

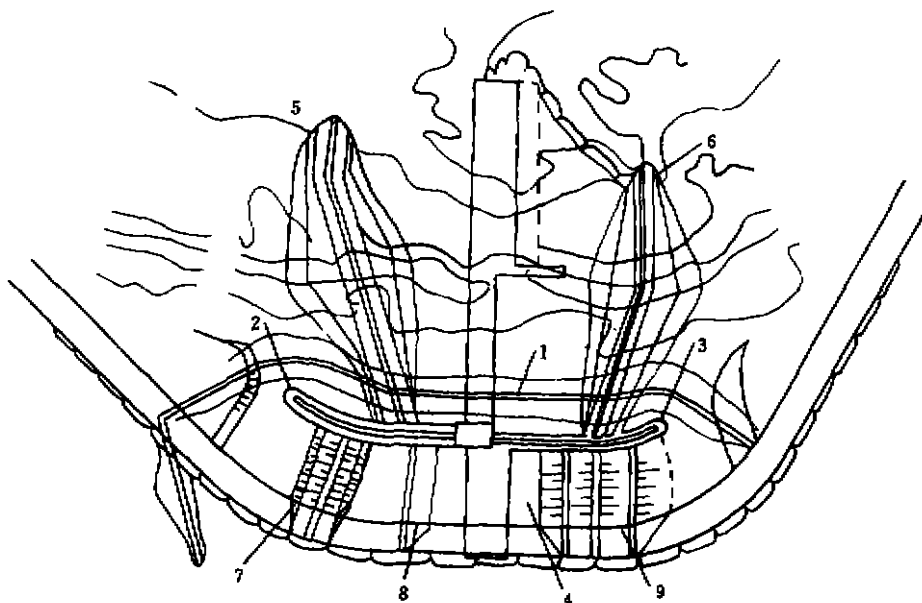


图10 三峡工程导流布置

1.一期纵向土石围堰;2.上游混凝土纵向围堰;3.下游混凝土纵向围堰;4.导流通航明渠 5.二期上游土石围堰;6.二期下游土石围堰;7.三期上游土石围堰;8.三期上游碾压混凝土围堰;9.三期下游土石围堰

日)。截流设计流量采用11月份20年一遇月平均流量 $14000\text{ m}^3/\text{s}$,为了充分考虑最不利的情况及其应急技术措施,还研究了11月

中旬20年一遇旬平均流量 $19400\text{ m}^3/\text{s}$ 合龙问题,并按此流量进行截流备料,以便施工时可相机确定合龙时间,做到有备无患。

(下转第28页)

就目前而言,3S集成仅仅是一种有效的信息分析工具,它不可能解决决策与管理科学中的所有问题,也不可替代具有一定理论基础和物理概念的模型和合理有效的分析方法。但可以预见,随着3S集成水平的提高与完善,3S集成必将影响和推动水利各相关学科的发展。例如,由3S集成系统提供的更为详尽的流域下垫面信息和土壤含水量数据,将会加强概念性水文模型的物理基础。又如水利工程建设对环境的影响评价,将在3S集成系统的支持下,得出更为客观、准确地结论。21世纪是信息时代,随着人们对水利信息需求的日益广泛和深入,水利信息学的出现将成为必然。3S集成作为信息生产与管理的重要工具之一,必将成为水利信息学的重要组成部分和技术支撑。

参考文献

- 1 王之卓.遥感、地理信息系统和全球定位系统的发展过程及其集成.见:杜道生等编.“三S”集成与应用.北京:测绘出版社,1995.1~8
- 2 何建邦等.中国地理信息系统发展回顾.见:陈述彭等编.地理信息系统的发展与前景.北京:科学出版社,1993.18~24
- 3 李德仁等.地理信息系统导论.北京:测绘出版社,1993
- 4 刘基余.GPS动态载波相位测量定位.导航,1994(3):14~17
- 5 舒宁.新型传感器与3S集成.见:杜道生等编.“三S”集成与应用.北京:测绘出版社,1995:195~199
- 6 刘新仁.大尺度水文模型研究.见:赵光恒等编.河海大学科技进展(1991~1995).南京:河海大学出版社,1995.9~12
- 7 龚健雅.整体SIS的数据组成与处理方法.武汉:武汉测绘科技大学出版社,1993
- 8 李冬田.环境地质时空信息系统研究.见:赵光恒等编.河海大学科技进展(1991~1995).南京:河海大学出版社,1995.161~163
- 9 张友静.流域水环境信息系统.见:当代科技前沿百科全书(地球科学卷).北京:致公出版社,1996
- 10 张友静等.森林对径流特征值影响的遥感分析.南京林业大学学报,1996(2):34~38

(收稿日期:1997-04-29 编辑:许宇鹏)

(上接第11页)

一期土石围堰已于1997年4月拆除,导流明渠于1997年5月通水,7~9月试通航。已于10月5日正式通航。1998年6月,二期上、下游围堰要填筑到设计高程,上游围堰高82.5m(堰顶高程88.5m),下游围堰高70.5m(堰顶高程80.5m)。土石方填筑量1060万 m^3 ,混凝土防渗墙挡水面积9.22万 m^2 。

二期上、下游横向围堰及戗堤已于1996年11月开始预进占。为了满足通航的要求,1997年汛期戗堤的口门不能缩得太窄,规定上游围堰戗堤口门宽460m,下游围堰戗堤口门宽540m,平抛护底高程都不高于40m,则在长江流量45000 m^3/s 的情况下,口门最大流速3.62m/s,比降小于3‰。长江轮船在航道比降3‰,流速小于或等于4m/s情况下可

以安全通航。

经水工模型试验和计算分析,在龙口先平抛护底至40m高程,底部抛砂砾石,中层抛碎石,上层抛块石,堤头抛石渣料或均匀块石进占。戗堤顶宽采用30m,可容3~4辆大型自卸汽车同时抛石。龙口束窄至50m形成三角形断面时,抛1m大块石及0.4~0.7m块石在堤头上游形成挑角,块石碎石尾随进占。两岸向中间进占,日平均抛投强度5万 m^3 ,预计10天完成截流。

施工单位已经具有葛洲坝水利枢纽大江截流的丰富经验。我们深信,长江三峡工程一定能够按计划完成截流任务,在世界坝工史上树立新的里程碑。

(收稿日期:1997-09-01 编辑:马敬峰)