

三峡工程的大江截流及二期围堰

王儒述

(中国长江三峡工程开发总公司 宜昌 443002)

摘要 三峡工程施工导流采用“三期导流,明渠通航”方案。大江截流采用“上游单戽立堵、双向进占、下游尾随、预平抛垫底”施工方案。截流设计流量为 $14000 \sim 19400 \text{ m}^3/\text{s}$, 最大落差 1.24 m , 最大流速 3.7 m/s , 优选合龙时段在 1997 年 11 月中旬。大江截流及二期围堰的特点是工程量大、工期短、强度大、流量大、水深大、库容大, 以及围堰基础地质复杂等; 关键技术问题是堤头坍塌和堰体稳定、堰基新淤砂稳定以及复杂地质条件和填料条件下的防渗墙施工问题。

关键词 三峡工程 施工 导流 截流 围堰 合龙

1 大江截流的规划

1.1 截流规划

施工导流是水利水电工程建设的关键。从初期修筑围堰, 到水库蓄水发挥效益, 直至最后建成的每个阶段, 都必须妥善解决导流问题。施工导流与枢纽工程的关系极大, 正确的导流方案, 不但可加快工程进度、缩短建设工期、降低工程造价, 而且有利于坝型选择、枢纽布置。因此, 国内外水利水电工程, 都对施工导流予以极大的重视。

河道截流合龙是施工导流的一个重要环节。在分期导流的水利水电工程中, 它标志着一期工程的建成和二期工程的开始。无论采用哪种方法进行河道截流, 控制水流的水力学基本原理可归结为以下两条。

a. 利用河道截流建筑物, 增大截流断面的水流阻力和截流断面处的落差, 尽可能减小截流断面的泄水能力和过水断面。

b. 相应地修建一些水流阻力最小的临时和永久泄水建筑物, 在截流建筑物允许的

水头条件下, 将河道水流全部泄入下游。

从设计、施工及水力学观点看, 河道截流的主要问题如下。

- 如何选定截流时间及流量。
- 如何选定截流轴线及龙口位置。
- 如何选择抛料块径及型式。
- 如何选择合适的截流方法及有关措施。

这些问题往往是相互联系、相互影响、相互制约的。

三峡水利枢纽是继万里长江第一坝——葛洲坝水利枢纽建成后, 在长江上修建的世界第一大水电站。截断长江, 工程巨大, 技术复杂, 尽管与葛洲坝同在一条长江, 相距仅 38 km , 但截流流量, 龙口水深与技术难度则不是同一个数量级。从截流流量看, 葛洲坝为 $4400 \sim 4800 \text{ m}^3/\text{s}$, 三峡为 $14000 \sim 19400 \text{ m}^3/\text{s}$, 相差近 4 倍; 从龙口水深看, 葛洲坝为 12.7 m , 三峡为 60 m , 相差近 5 倍。因此, 三峡工程大江截流, 是迄今为止世界上流量最大、水深最深、难度最大的截流工程。国内外大型截流工程主要指标比较详见表 1。

作者简介: 王儒述, 男, 教授级高工, 中国长江三峡工程开发总公司技术委员会委员, 从事环境水利研究, 曾发表《三峡工程环境影响及其对策》等论文。

表 1 国内外大型截流工程主要指标比较

工程名称	国家	河流名称	截流流量 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	龙口宽度 $/\text{m}$	龙口水深 $/\text{m}$	最大落差 $/\text{m}$	最大流速 $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	截流方式	合龙时间 $/\text{h}$	最大块体重量/ t	最大抛投强度 $/\text{万} \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	施工时间 $/\text{年}$
伊泰普	巴西、巴拉圭	巴拉那河	8100	上游 166 下游 153	上游 25 下游 40	上游 1.98 下游 1.76	6.1	上下游围堰 双戗堤立堵	180	D1.2~1.5m 大块石、个别 岩块重 10t	14.6	1978
达列斯	美国	哥伦比亚河	3090	152	52	3.0	6.4	宽戗堤(顶宽 76m)立堵	900	5t 块石	0.7	1959
伏尔加格勒	俄罗斯	伏尔加河	4500	297	15.7	2.07	5.8	浮桥平堵	24	10t 混凝土四面体	6.3	1958
三门峡	中国	黄河	2030	56	20.4	2.97	6.86	单戗立堵	133	15t 混凝土四面体	0.6	1958
葛洲坝	中国	长江	4400~4800	203	12.7	3.23	7.5	单戗立堵	36	25t 混凝土四面体	7.2	1981
三峡	中国	长江	14000~19400	130	60	1.24	3.7	单戗立堵	96	3~5t 大块石	5	1997

注:三峡工程大江截流龙口平抛垫底至 40m 高程后,龙口合龙最大水深为 27.3m。

1.2 截流方案

三峡工程坝址处河床开阔,主河道右侧有中堡岛,将河槽分为主河道和叉河,中堡岛为导流提供了有利于分期导流的条件。1993 年 7 月 26 日经国务院三峡工程建设委员会审议批准,三峡工程施工导流采用“三期导

流,明渠通航”方案。

第一期沿中堡岛左侧修筑土石围堰,拓宽并挖深后河形成导流明渠,在明渠左侧修建混凝土纵向围堰。第二期修筑二期上下游横向土石围堰,船舶从明渠及左岸临时船闸通行。第三期修筑土石围堰及碾压混凝土围堰封堵明

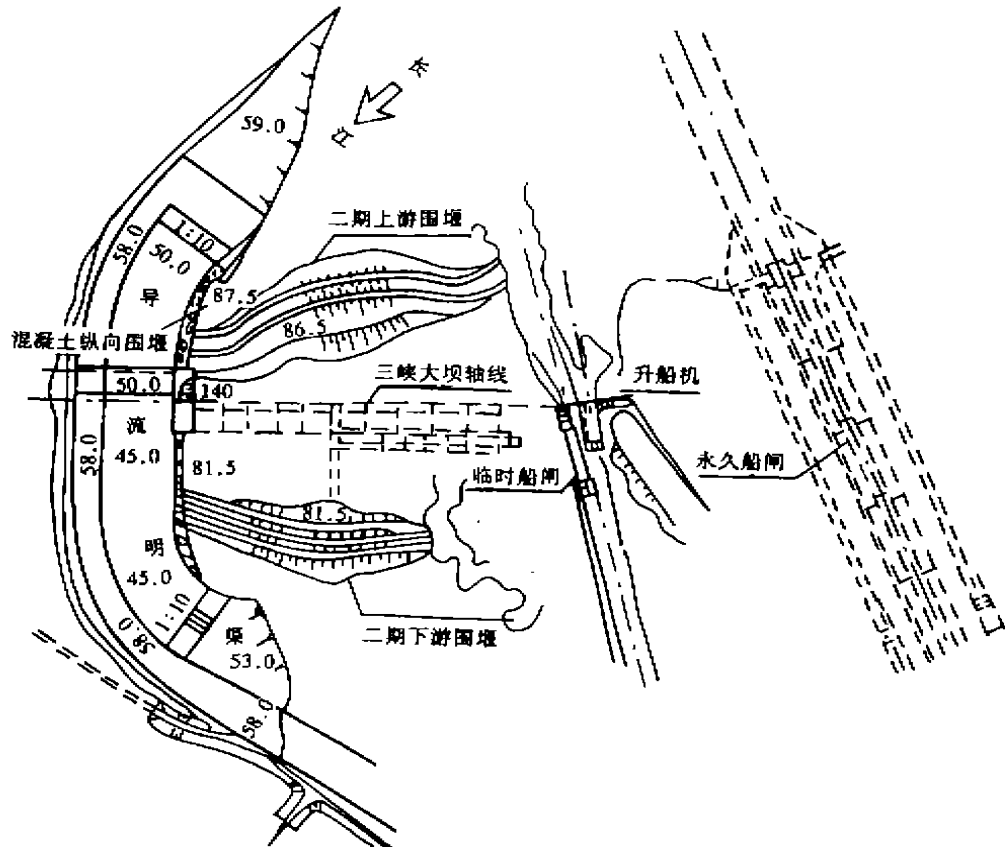


图 1 二期导流布置(单位:m)

渠,形成第三期基坑;江水从泄洪坝段导流底孔及深孔宣泄,船舶从永久船闸通行。

三峡工程二期导流布置详见图 1。

2 大江截流及二期围堰的设计

2.1 截流设计流量

根据《水利水电工程施工组织设计规范》(SDJ 338-89),结合三峡工程大江截流特点,在技术设计阶段采用 11 月下旬至 12 月上旬 5% 频率最大日平均流量 $14000 \sim 9010 \text{ m}^3/\text{s}$ 为截流设计流量,详见表 2。

表 2 10~12 月份分旬各频率最大及月平均流量

时间	最大日平均流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$			月平均流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	
	5%	10%	20%	5%	20%
10 月上旬	42400	38500	34100		
10 月中旬	35100	32100	28500	27500	25500
10 月下旬	27700	25400	22900		
11 月上旬	21900	19800	17500		
11 月中旬	19400	17100	14500	13900	13100
11 月下旬	14000	12600	11100		
12 月上旬	9010	8520	8090		
12 月中旬	7500	7140	7060	7300	6990
12 月下旬	6520	6200	6090		

根据截流施工的实际情况,中国长江三峡工程开发总公司加快了导流明渠施工进度,决定导流明渠提前至 1997 年 5 月 1 日通水,7~9 月试航,10 月正式通航,长江水利委员会综合分析明渠通航流量和截流合龙水力学条件等因素,决定合龙时段为 11 月中旬。因此,截流设计流量按 11 月 20 年一遇月平均流量 $14000 \text{ m}^3/\text{s}$ 选定,同时考虑最不利情况及其应急措施,截流设计流量按 11 月中旬 20 年一遇最大日平均流量选定,扩大截流流量为 $19400 \text{ m}^3/\text{s}$ 。按此标准进行截流备料及准备工作,做到万无一失。

2.2 合龙时段及落差选择

根据坝址下游宜昌站 120 年实测水文资料统计,12 月中旬至次年 3 月中旬均在 $9000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下,最枯流量出现在 1 月下旬至 2 月下旬,流量为 $6100 \sim 2950 \text{ m}^3/\text{s}$,在此时段大江截流合龙,流量最小,落差较小。但合龙时段还要综合考虑合龙后二期上下游围堰汛前

抢修进度、合龙前导流明渠开挖及航道整治进度。因此综合优选合龙时段在 11 月中旬,由中国长江三峡工程开发总公司根据来水情况,截流备料及准备工作进展情况,相机确定具体截流合龙时间。

导流明渠是大江截流的唯一分流建筑物,同时担负二期导流期间通航的重任。根据水力学计算及模型试验,在截流设计流量为 $14000 \text{ m}^3/\text{s}$ 及 $19400 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,最大落差分别为 0.8 m 及 1.24 m,相应最大流速为 3.7 m/s,与国内外大型截流工程相比(见表 1),最大落差与流速均属最低范围,因此大江截流单从水力学条件而言,难度不大。

2.3 深水围堰断面

大江截流采用单戗立堵截流方案,二期上下游横向围堰采用大坝基础开挖的震旦系闪云斜长花岗岩全强风化料(即风化砂)、弱风化石碴料,石碴及风化砂之混合料水下抛填。

深水围堰轴线总长 2516 m,上游围堰全长 1440 m,为 II 级水工临时建筑物,按 1% 洪水流量 $83700 \text{ m}^3/\text{s}$ 的水位设计,围堰顶高程为 88.5 m,最大高度 82.5 m,防渗墙最大高度 74 m,拦蓄洪量达 20 亿 m^3 。下游围堰全长 1076 m,为 III 级水工临时建筑物,按 2% 洪水流量 $79000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的水位设计,围堰顶高程为 81.5 m。从围堰及防渗墙最大高度、拦蓄洪量、抛填工程量及施工强度、地基处理及钻灌回填难度来看,均属国内外围堰工程罕见。

风化砂主要物理力学指标见表 3。

表 3 风化砂主要物理力学指标

填筑方式	比重 $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	天然密度 $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	天然含水量 (%)	渗流系数 $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$
水下抛填	2.71~2.77	1.65	5~11	5×10^{-3}
水上碾压				
填筑方式	最大 下密度 $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	设计 干密度 $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	c'/kPa	$\varphi'(^{\circ})$
水下抛填	1.99	1.7~1.8	0	31.5~37.8
水上碾压		1.85	0	32~38

上、下游围堰断面见图 2 及图 3。

2.4 长江通航

根据水工模型及船模试验验证,在 1996 年 11 月开始预进占后,要求 1997 年汛前上

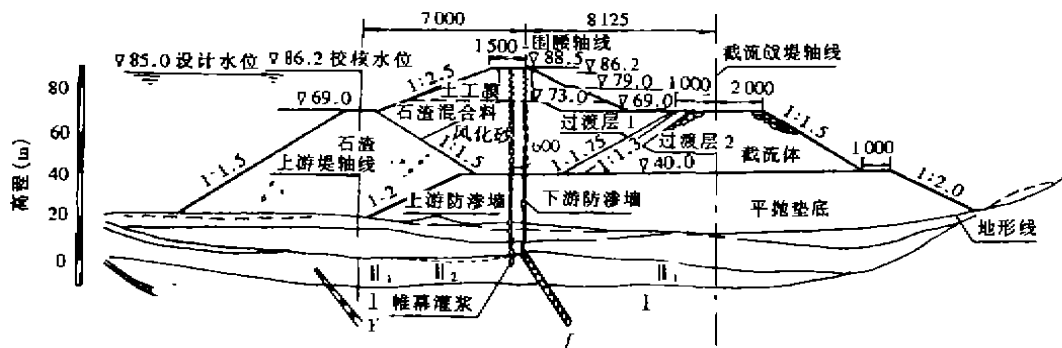


图2 上游围堰断面(高程单位:m;未注的尺寸单位:cm)

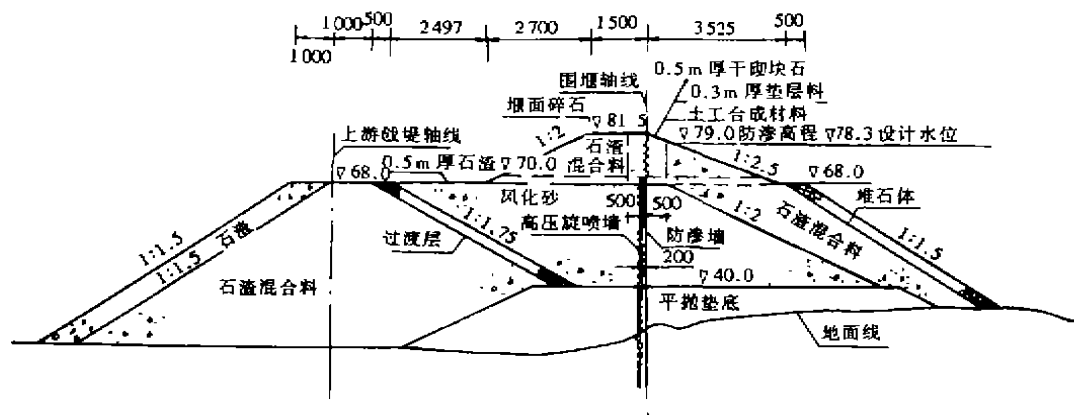


图3 下游围堰剖面(高程单位:m;未注的尺寸单位:cm)

游围堰戗堤口门宽 460 m,下游口门宽 540 m,平抛垫底高程均为 40 m,以满足通航及渡汛要求。在此期间,船舶均从主河床束窄的口门通行。

按交通部门航运要求,长江航运公司船队要求口门流速 $V \leq 4.5 \text{ m/s}$,比降 $J \leq 1\%$,或 $J \leq 3\%$, $V \leq 4 \text{ m/s}$;地方航运公司船舶要求 $V \leq 2.5 \text{ m/s}$ 。当 1997 年 5 月 1 日明渠分流后,汛期按通航流量 $45000 \text{ m}^3/\text{s}$,大江口门最大流速 3.42 m/s ,比降小于 3% ,明渠最大流速 2.42 m/s ,故可满足大江截流前长江航运安全。

3 大江截流及二期围堰的施工

3.1 施工方案

三峡工程施工导流采用“三期导流,明渠通航”方案。根据坝址水情、地形、地质及河势、河态条件,大江截流采用“上游单戗立堵、双向进占、下游尾随、预平抛垫底”施工方案。

大江截流及二期围堰具有如下特点。

a. 工程量大、工期短、强度大。上下游围堰总长达 2516 m,填方 1100 万 m^3 ,防渗墙总面积 9 万 m^2 ,堰体最大高度 90 m,最大墙深 74 m。总工程量详见表 4。堰体应在 1997 年 11 月上中旬截流合龙后开始填筑,1998 年汛前达到渡汛高程,6 月基坑抽水降至 40 m 高程。7 月防渗墙完建;9 月基坑抽干,工期

表4 大江截流与二期围堰工程量

部 位	土石方回填 /万 m ³	其中截流 戗堤/万 m ³	砼防渗墙 /万 m ²	高喷灌浆墙 /万 m ²
上游围堰	589.6	160	4.488 ^①	0.16 ^②
下游围堰	442.2	153	3.857	0.72
合 计	1032.0	313	8.345	0.88

部 位	土工布及 伸缩节 /万 m ²	无纺 反滤布 /万 m ²	帷幕 灌浆 /万 m	振冲 /万 m	开挖 清理 /万 m ³
上游围堰	4.04	3.99	0.942	3.51	22.0
下游围堰	1.45	4.01	0.432	4.89	12.5
合 计	5.49	8.00	1.374	8.40	34.5

注:①不含苏家场延伸段防渗墙计 0.5 万 m^2 ;②属左岸上游围堰接头段高喷灌浆成墙生产性实验。

紧迫。大江截流合龙高峰强度达 $5.8 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 若计入堰体填筑将达 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 防渗墙施工达 $1.5 \text{ 万 m}^2/\text{月}$ 、并要求保质保量、万无一失。

b. 流量大、水深大、库容大。按 11 月中旬截流, 设计流量达 $14\,000 \sim 19\,400 \text{ m}^3/\text{s}$; 最大水深 60 m , 水下工程量占总工程量 80% , 上游围堰最大挡水水头超过 85 m 、库容达 20 亿 m^3 , 均居世界首位。必须保质保量、按期完成任务。

c. 围堰基础地质复杂。根据地质勘探资料, 堰基部位存在新淤沙、块球体、基岩陡坡及深槽等复杂地质条件, 将给堰基防渗处理、防渗墙造孔灌浆, 堰体安全渡汛等带来困难。

d. 分流条件良好。导流明渠宽 350 m 、最小水深 $8 \sim 9 \text{ m}$ 、落差 $0.8 \sim 1.24 \text{ m}$ 、相应截流最大流速 3.7 m/s 、分流条件良好。即使遇到超设计标准的大流量洪水, 也不致明显增加截流进占和合龙难度。

3.2 关键技术问题

a. 堤头坍塌和堰体稳定。 60 m 水下抛填有可能发生堤头坍塌; 堰体建成后将在 85 m 高水头下运行, 是否会出现失稳现象等。

b. 堰基新淤砂稳定。坝址淤积粉细砂层厚达 $5 \sim 12 \text{ m}$, 在堰体抛填及抽水开挖过程中堰基的稳定等。

c. 防渗墙施工。在复杂地质条件和填料条件下, 防渗墙造孔精度和孔壁稳定、平抛层渗漏、陡坡及块球体处理、塑性混凝土防渗墙低弹模要求等。

上述关键技术问题是大江截流及二期围堰施工及长期挡水运行中的难题, 它的难度已达到或超过了当前世界水平。我们必须在战略上藐视难题, 在战术上重视难题; 采取优化设计, 组织科技攻关; 学习国内外大江大河导截流工程经验, 引进先进设备, 开展现场生产及科学试验; 精心设计, 精心施工; 严密指挥, 奋力拼搏, 确保大江截流及二期围堰施工运行任务的胜利完成。

3.3 施工进度

a. 生产性实验阶段。从 1996 年 4 ~ 12 月, 在二期围堰三个接头段进行生产性试验, 熟悉“双轮铣”、“两钻一抓”及“高喷”成墙工艺及技术。完成堰体回填 45 万 m^3 、防渗墙 1 万 m^2 , 还可削减部分施工高峰强度。

b. 预进占阶段。从 1996 年 11 月至 1997 年 8 月, 在二期围堰上、下游四个堤头进行预进占、填筑、振冲及平抛垫底, 然后进行防渗墙施工, 以便积累经验, 并削减高峰强度。完成防渗墙 1.5 万 m^2 、灌浆 1200 m 、平抛 76 万 m^3 。达到上游口门宽 460 m 、下游口门宽 540 m , 堰体填至 $\nabla 79 \text{ m}$ 高程。

c. 全面施工阶段。1997 年 6 月至 1998 年 10 月是大江截流及二期围堰施工的关键阶段。1997 年 9 月从上、下游口门向江心进占, 11 月 11 ~ 15 日前后大江截流, 1998 年 4 月 20 日上、下游围堰防渗墙完成, 6 月 30 日上游围堰下游防渗墙完成, 7 月围堰全线达到设计高程, 9 月 15 日基坑抽干, 10 月围堰土建工程全部完成。本阶段将完成围堰回填 750 万 m^3 、平抛垫底 13 万 m^3 、防渗墙 5.8 万 m^2 、灌浆 7200 m 、振冲 6.5 万 m , 施工高峰将在本阶段, 如围堰填筑将在 1997 年 12 月达 $216 \text{ 万 m}^3/\text{月}$ 、混凝土防渗墙将在 1998 年 2 月达 $1.5 \text{ 万 m}^2/\text{月}$ 、灌浆将在 1998 年 3 月达 $2000 \text{ m}/\text{月}$ 等。

4 结 语

三峡工程是跨世纪的宏伟工程, 大江截流和二期围堰是当前世界超难度、超强度、超巨型的截流工程。目前施工进度顺利, 导流明渠已在今年 5 月 1 日通水, 预计将在 10 月 1 日通航, 大江截流的各项准备工程及备料工作, 正按计划紧张有序地进行。在党和政府的领导和全国人民的支持下, 我们有葛洲坝和国内外大江大河截流的成功经验, 对一些技术难题已经明确和得到解决; 我们有信心、有决心, 团结拼搏, 全力以赴, 确保今冬三峡工程胜利截流。

(收稿日期: 1997-06-09 编辑: 马敏峰)