

# 小湾电站坝肩抗力体施工期监测信息 在开挖中的应用

魏建周

(四川大学水利水电学院, 四川 成都 610065)

**摘要:**小湾电站坝肩地质缺陷主要采取建基面混凝土槽塞置换和地下洞塞加固措施, 抗力体洞塞开挖在地质缺陷中, 且置换洞塞平面交叉及立体分布十分复杂, 为确保置换洞塞开挖安全, 监测项目在施工期发挥了重要作用。本文简要介绍了监测项目的实施情况, 重点分析了施工期利用监测反馈信息评价开挖和支护方案优劣和实际施工情况的安全性, 并借以指导施工活动的过程。

**关键词:**抗力体; 置换洞塞; 施工; 监测信息

**中图分类号:** TV551.4<sup>+</sup>2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-7428(2009)S1-0318-06

## 1 工程概述

小湾水电站位于云南省澜沧江中游河段, 是澜沧江中下游河段的龙头水库, 最大坝高 292m, 正常蓄水位 1240m, 总库容  $149.14 \times 10^8 \text{m}^3$ 。装机容量 4200 MW (6 × 700 MW), 保证出力 1770 MW, 年发电量  $188.9 \times 108 \text{kW} \cdot \text{h}$ , 建成后将成为目前世界上最高的混凝土拱坝。泄水建筑物由坝身 5 个开敞式表孔溢洪道、6 个泄水中孔、2 个放空底孔和左岸一条泄洪洞、坝后水垫塘及二道坝等部分组成。工程属大 I 型一等工程, 永久性水工建筑物为一级建筑物。坝址区地震基本烈度 VIII 度, 600 年超越概率 10% 的地震动基岩水平峰值加速度为 0.308 g。两岸坝肩抗力体的稳定是确保拱坝安全的关键。

坝趾地段分布的岩层为时代不明的中~深变质岩系(M)及第四系。基岩性主要为黑云花岗片麻岩和角闪斜长片麻岩, 两种岩石均夹薄层透镜状片岩。黑云花岗片麻岩的矿物成份为石英、长石及少量云母; 角闪斜长片麻岩的矿物主要成份为斜长石、角闪石及少量云母。岩层呈单斜构造, 产状为  $N75^\circ \sim 85^\circ W$ ,  $NE \angle 75^\circ \sim 90^\circ$ 。拱坝建面上出露一条 III 级断层 F11, 出露于高程 1207m ~ 1245m 之间右岸坝趾附近的建基面及其两岸下游边坡上, 主要由灰绿色糜棱岩及碎裂岩组成, 断层破碎带总宽约 4m, 属 IVb + IVc 类岩体。出露于拱坝建基面的蚀

变岩体主要有 E1、E4 + 5、E8、E9, 其中 E1、E4 + 5、E9, 分布右岸坝基面上, E8 分布左岸推力墩基础上。坝基面出露的卸荷岩体(IIIb)主要有: 右岸 980m ~ 1245m 坝趾附近呈长条形分布, 宽约 3m ~ 10m 的 IIIb 岩体; 左岸 990m ~ 1210m 及推力墩基础靠近下游侧部位呈三角形分布的 0m ~ 9m 宽 IIIb 岩体。拱坝建基面上出露的 IV 级结构面主要有小断层和挤压面两种类型, 主要有: f8、f17、f19 及一系列挤压面。

上述主要地质缺陷, 其力学指标低、水理性质差, 为保证坝基具有足够的整体性和稳定性, 同时确保坝体和地基接触面的形状适宜, 避免出现不利的应力状态, 对拱坝坝基和坝肩的地质缺陷采取了针对性的工程处理措施。根据地质缺陷的性状、力学特性和分布特征, 对其处理主要采取建基面混凝土槽塞置换和地下洞塞加固措施。

## 2 开挖期置换洞塞监测的布置和实施

左岸四层监测仪器都布置于 10m × 10m 洞塞, 右岸监测仪器断面根据不同的高程有所侧重, 开挖期监测主要以锚杆应力计、锚杆测力计及收敛测桩为主要监测手段。锚杆应力计埋设于系统支护砂浆锚杆上, 锚杆规格为  $L=4.5\text{m}$ ,  $\Phi 25@1.5 \times 1.5\text{m}$ , 后右岸埋设锚杆应力计的锚杆长度设计调整为 6m;

收稿日期: 2009-08-30

作者简介: 魏建周(1975-), 男, 工程师, 工程硕士, 从事水库运行、管理和安全监测工作, woodywei2165@126.com。

锚杆测力计埋设的 125kN 级预应力锚杆规格为  $L = 6.0\text{m}$ ,  $\Phi 32 @ 2.0 \times 2.0\text{m}$ 。

右岸共分十层开挖, 洞塞最大断面为  $6 \times 10\text{m}$ , 开挖方式主要为上下层、全断面及下导洞后扩挖。

置换洞塞监测断面平面布置典型图见图 1, 断面布置见图 2, 收敛典型断面布置见图 3。

### 2.1 围岩收敛变形

在地下洞井塞开挖表面围岩条件较差和洞井塞在空间交错的地段埋设收敛变形测点, 利用收敛计进行监测围岩的净空变形, 判断岩体的稳定状况及支护效果, 为优化设计、调整支护参数、指导施工与监控工程实际运行情况提供可靠的现场监测

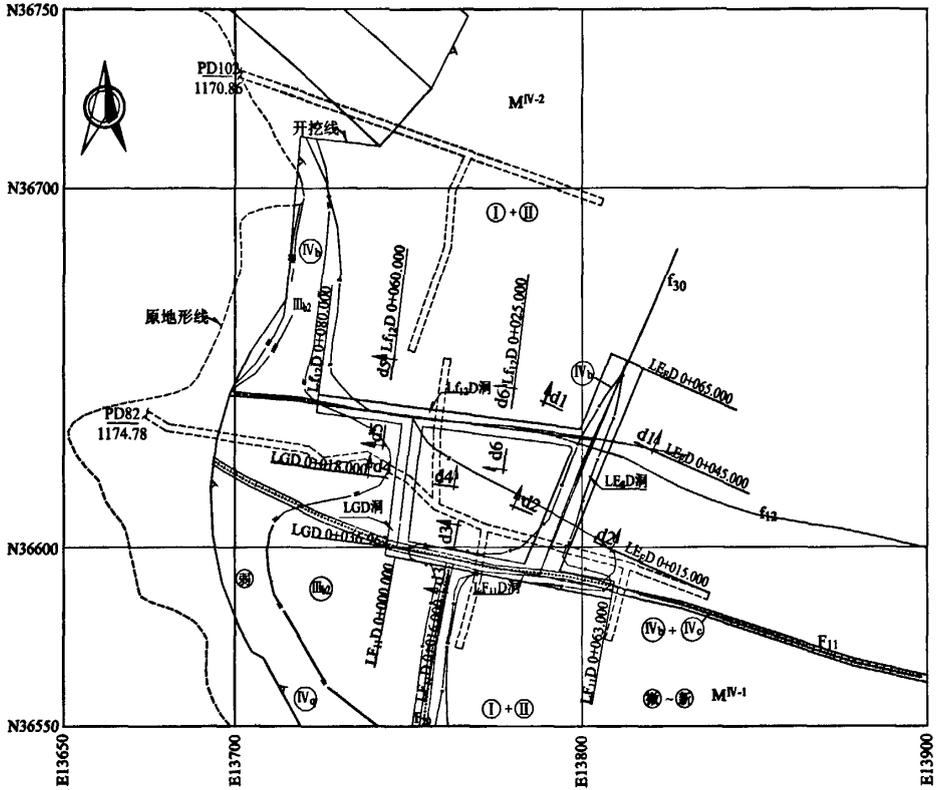


图 1 左岸 1160 层观测断面布置图

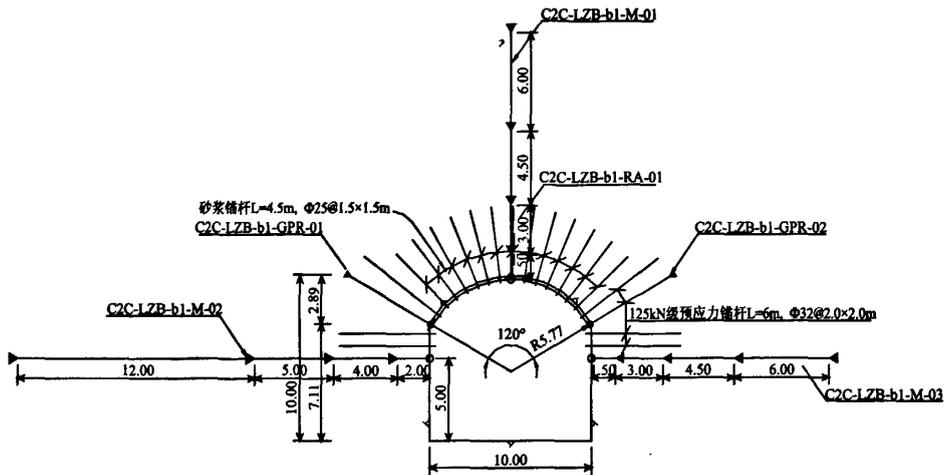


图 2 监测仪器典型断面布置图

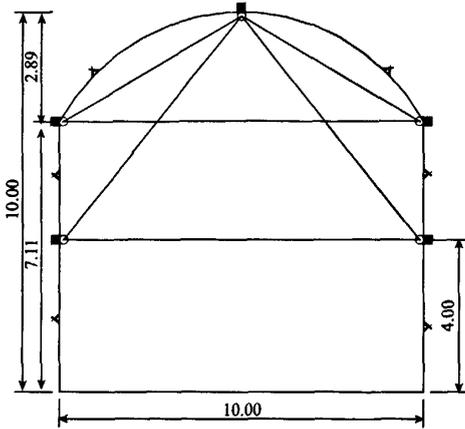


图3 收敛观测典型断面布置图

数据。

### 2.2 岩体深部变形

在地下洞井塞围岩内和坝基槽塞处理的岩石内埋设多点位移计，监测因开挖引起的围岩变形、后期回填带有微膨胀性的混凝土以及后期大坝浇筑和蓄水过程对置换周边岩体的变形影响全过程。以了解洞井围岩和坝基岩体不同深度的松弛特征、变形大小和由于应力重新调整的变形分布规律，并为分析预测提供参数。

### 2.3 岩体应力

在地下洞井塞混凝土结构与围岩接触面埋设渗压计和压应力计监测蓄水后渗压变化和压应力变化；在围岩内部埋设岩石钻孔应力计，监测围岩在洞井塞开挖、回填混凝土、固结灌浆和大坝蓄水后，各阶段围岩应力变化情况及其缺陷加固处理的效果。

### 2.4 岩体支护措施应力

选取一定数量的支护锚杆安装锚杆应力计，观测锚杆应力沿围岩不同深度的分布特征和变化规

律，以确定锚杆受力的最大部位、最大受力值，为确定锚杆的深度、间距、杆体直径及锚杆类型提供依据。

### 3 施工期监测反馈信息对开挖的指导作用分析

坝肩抗力体置换洞塞以开挖断层及蚀变带为主，抗力体置换洞塞开挖过程中国内尚无开挖先例，每开挖5m根据实际断层走向及蚀变带分布情况确定开挖方向和决定是否终洞。洞塞开挖过程中影响因素十分多，为保证回填混凝土与基岩接触良好及不产生薄弱面，置换洞塞开挖中顶拱部位可喷锚支护，边墙只能做系统和随机锚杆支护，为保证在地质缺陷中开挖洞塞的安全，监测信息反馈就做为一项重要的手段。

以各观测项目分别介绍如下。

#### 3.1 锚杆应力计观测

锚杆应力计最大测值为 107MPa，深度为 4.0m，占锚杆屈服强度的 31%。左岸 EL: 1180 层 LE8C 洞塞上层开挖中锚杆应力比较稳定，在下层开挖过程中的 06 年 5 月 20 日及开挖过后 06 年 7 月 18 日分别有两次小幅度的应力激增，增幅分别为 10MPa、13MPa，最大应力在锚杆的 4m 位置，最大应力为 39.9MPa，占锚杆屈服强度的 11%，LE8C 洞塞 0+36 桩号锚杆应力计靠近终洞端墙，开挖期到混凝土回填浇筑前锚杆应力都比较稳定。（见图 4）

锚杆应力计在 1030 层 RF11J 洞塞 0+65 桩号下层开挖过程中当开挖进尺掘进距 0+065.00~0+66.00 监测断面 4.00m 时，监测断面的锚杆应力计发生异常情况，达到最大测值，最大测值为 480MPa，深度为 4.0m，同时该锚杆 2.5m 深度处应力达到 248MPa，两测值已超过或接近锚杆屈服强度，经过在该位置增加两排预应力锚杆后，锚杆

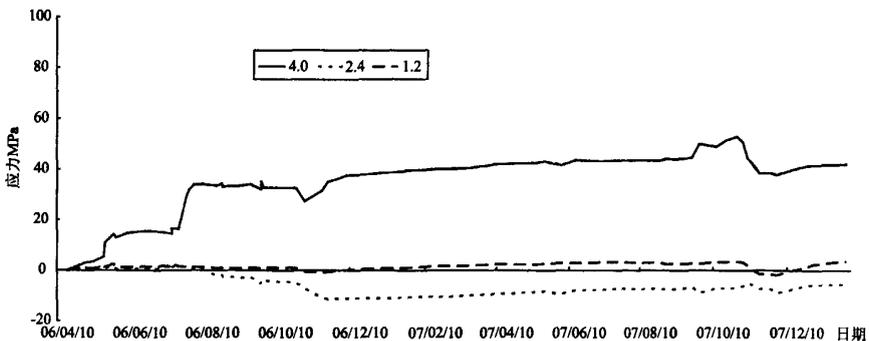


图4 左岸 1180 层 LE8C 洞塞 0+36 桩号锚杆应力计过程图

长度增加为 6m, 应力逐渐趋稳, 该地段岩体较破碎, 局部有蚀变, 存在掉块现象, 主要是抗力体洞塞局部地段不良地质原因及支护深度不足引起。其它高程洞塞在开挖过程中锚杆应力计应力激增主要是由于扩挖及相邻洞塞开挖。见图 5。

### 3.3 锚杆测力计观测

锚杆测力计埋设后最初一个星期内预应力损失较多, 损失值在 18 ~ 35kN, 占锁定荷载的 20% 左右, 后期预应力逐渐稳定, 衰减率接近零, 1180 层 LZC 洞塞 0+7 桩号边墙锚杆测力计在下层开挖

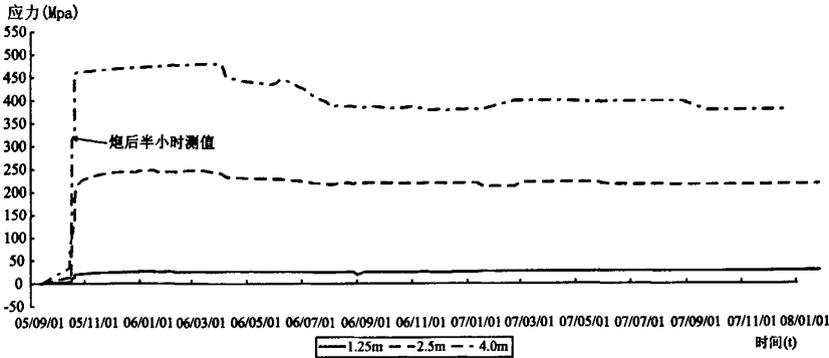


图 5 右岸 1030 层 RF11J 洞塞 0+65 桩号锚杆应力计过程图

### 3.2 多点位移计观测

2006 年 12 月 1200 层开挖结束。11 月由于 LKB1 降低开挖过程中 0+42 桩号多点位移计距离 LKB1 边墙比较近, 且该地段岩体破碎, 造成 3# 多点位移计本月变形量比较大, 月增量为 6.28mm, 同时 LZB 洞塞 0+73 桩号顶拱多点位移计本月在孔口处变形量也加剧, 月变形增量为 6.89mm, 鉴于岩体内部位移较大, 顶拱部位增加了随机锚杆, 12 月开挖全部结束后该两个地段多点位移计变形量逐渐稳定, 12 月最大变化量为 0.27mm, 岩体内部变形趋稳。从整个开挖过程来看, 降底开挖过程中, 个别地段由于地质原因, 岩体内部变形较大, 在增加随机支护措施后, 变形得到有效控制, 从开挖完成到混凝土浇筑前, 岩体内部变形都比较稳定。见图 6。

过程中预应力增幅达 81kN, 达到锁定荷载的 68%, 该地段位移三叉口附近, 岩体较破碎, 个别地方存在蚀变现象, 后经过随机锚杆支护, 预应力逐渐稳定。见图 7。

### 3.4 声波测试

为保证利用单孔测试法检查洞室开挖爆破后对围岩松弛圈的影响范围, 同时对灌浆效果进行检验。利用跨孔测法检查洞室开挖爆破后对围岩松弛圈的影响范围, 同时对灌浆效果进行检验。

开挖期声波测试结果表明大多数孔口段松动范围在 0.4 ~ 0.8m 范围或者不明显, 开挖爆破对围岩松动影响较小, 同时根据锚杆应力计及多点位移计监测结果, 应力及变形都比较小, 沿钻孔及沿时间都没有太大变化, 说明松动范围并不大。个别断面边墙存在较大孔口段低波速区, 但深度在 4m 左

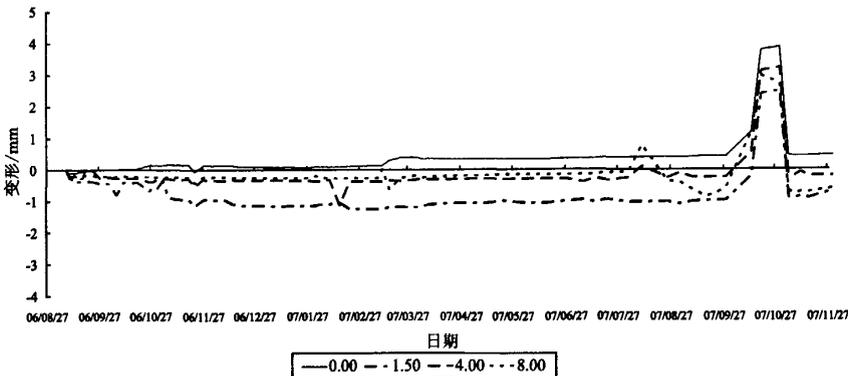


图 6 左岸 1200 层 LZB 洞塞 0+73 桩号多点位移计过程图

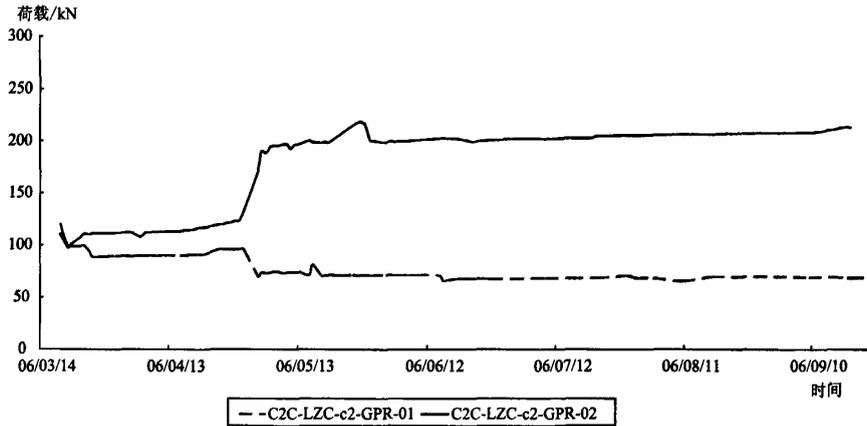


图 7 左岸 1180 层 LZC 洞塞 0+7 桩号锚杆测力计过程图

右, 经过现场查勘, 这些孔都位于结构面或者蚀变岩体中, 属地质原因造成。

为提高开挖后岩石松动圈完整性和岩体内部整体性, 在回填混凝土之前对置换洞塞进行了低压及高压固结灌浆, 灌浆压力一般为第一段 3MPa、第二段及以下各段 5MPa; 段长为第一段 2m、第二段 3m、第三段及以下各段为 5~7m。灌浆方法采用孔口阻塞, 孔内循环, 自上而下分段钻孔、分段

灌浆的方式进行。浆液水灰比由于注入量相对较小, 基本上都是使用 1:1 的单一水灰比。灌浆前后孔口段松动范围内及以下段部分成果见表 1、表 2。设计以测试波速 4500m/s 为控制下限, 从灌前测试结果看有部分测点波速小于 4500m/s, 灌后波速基本能达到设计要求, 且总体波速都有 3%~9% 的提高率, 说明灌浆效果是比较明显。在蚀变岩体内可灌性比较差, 但对波速提高也有很大的作用。

表 1 RF11J 洞塞 0+35 桩号物探孔口段 2m 范围内波速统计

桩号	孔号	孔位	测试阶段	测试类型	孔深 /m	孔口 2m 范围岩石段波速统计						平均提高率 /%
						最大值/ (m·s <sup>-1</sup> )	最小值/ (m·s <sup>-1</sup> )	平均值/ (m·s <sup>-1</sup> )	标准差/ (σm·s <sup>-1</sup> )	测点 点数	≥4500m/s 测点数	
RF11J-W1	上游 边墙	灌前	单孔	12.2	5348	4228	4754	368	11	8	73%	3.3
		灌后	单孔	14.2	5340	3953	4807	460	11	8	73%	
RF11J-W2	下游 边墙	灌前	单孔	12.2	5510	4132	5081	388	11	10	91%	6.2
		灌后	单孔	12.2	6061	4785	5457	460	11	11	100%	
RF11J-W3	上游 边墙	灌前	单孔	12	5510	4329	4929	380	11	9	82%	4.8
		灌后	单孔	12.4	6061	4785	5179	383	11	11	100%	
RF11J-W4	下游 边墙	灌前	单孔	11.2	5348	4132	4884	425	11	8	73%	5.5
		灌后	单孔	10.8	5865	4662	5242	340	11	1W1	100%	

表2 RF11J 洞塞 0+35 桩号物探孔 2m 以下范围内波速统计

桩号	孔号	孔位	测试阶段	测试类型	孔深/m	孔口 2m 范围岩石段波速统计						平均提高率/%	
						最大值 m/s	最小值/ ( $m \cdot s^{-1}$ )	平均值/ ( $m \cdot s^{-1}$ )	标准差/ ( $cm \cdot s^{-1}$ )	测 点数	$\geq 4500m/s$ 测点数		$\geq 4500m/s$ 占比例/%
0+35	RF11J-W1	上游	灌前	单孔	12.2	5865	4785	5235	341	46	46	100	9.7
		边墙	灌后	单孔	14.2	6270	5040	5653	317	46	46	100	
	RF11J-W2	下游	灌前	单孔	12.2	5865	4545	5253	205	44	44	100	4.1
		边墙	灌后	单孔	12.2	6061	4785	5470	263	44	44	100	
	RF11J-W3	上游	灌前	单孔	12	5865	4914	5326	204	43	43	100	6.7
		边墙	灌后	单孔	12.4	6270	4914	5686	379	43	43	100	
	RF11J-W4	下游	灌前	单孔	11.2	5510	4329	5048	292	37	36	97	8.3
		边墙	灌后	单孔	10.8	6061	4914	5466	285	37	37	100	

#### 4 结论

(1) 抗力体开挖阶段监测成果表明, 洞塞开挖过程中支护结构应力变形大多都比较小, 个别地段由于地质原因支护结构应力产生较大激增, 经过监测预报后加强支护, 围岩都达到稳定, 围岩松动范围除地质原因外, 都小于 0.8m 或者不明显, 说明开挖方式、开挖爆破装药量及进尺对洞塞的安全及围岩松动范围都有保障, 开挖阶段满足洞塞安全

及设计要求;

(2) 抗力体洞塞开挖支护要求比较少, 开挖过程中尽量减少松动圈及保证开挖安全就成为抗力体置换洞塞开挖的关键, 而这些监测信息的反馈是抗力体置换洞塞开挖质量的控制关键;

(3) 由于监测与施工存在很大干扰, 如何克服这些困难, 保证监测仪器及时埋设及声波钻孔及时完成, 也成为监测工作中必须协调的重要问题。