

# 龚嘴电站大坝 7 号坝段防渗帷幕补强灌浆

沈定斌

(龚嘴水力发电总厂, 四川 乐山 614900)

**摘 要:** 简要介绍了龚嘴大坝 7 号坝段历次帷幕灌浆情况, 重点对 1993 年大坝首次定期安全检查前后该坝段帷幕质量检查情况、帷幕补强灌浆情况及其效果作了介绍, 说明进行大坝定检及大坝安全监测工作, 对了解工程的运行情况、明确工程的薄弱环节、消除疑虑, 具有重要作用。

**关键词:** 龚嘴电站; 大坝; 帷幕; 补强灌浆; 效果

**中图分类号:** TV543

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(1999)04-0059-05

## 1 工程概况

龚嘴水电站位于四川省乐山市沙湾区与峨边县交界处的大渡河中游, 下游衔接铜街子水电站, 是一座以发电为主、兼顾漂木等综合利用的水利枢纽工程。电站于 1966 年 3 月开工, 1971 年 12 月第一台机组发电, 1978 年 12 月 7 台机组全部投产, 总装机容量为 700 MW, 自 1971 年蓄水发电至今已正常运行 28 年。

工程由拦河坝、右岸坝后地面厂房(装机 4 台)和左岸地下厂房(装机 3 台)组成。拦河坝为混凝土实体重力坝, 坝顶高程 530.5 m, 最大坝高 85 m, 坝顶全长 447 m, 分 23 个坝段, 其中 4 号、7 号、8 号、9 号为溢流坝段、6 号、10 号、15 号为冲沙底孔坝段。

1993 年对龚嘴电站大坝首轮定检结果认定, 龚嘴大坝坝体稳定, 帷幕工况基本正常, 基础未见恶化, 局部不良地质条件经基础处理后满足设计要求, 为正常坝。

## 2 7 号坝段地质条件

7 号坝段坝基为灰白色中粒似斑状黑云母花岗岩( $r_1^4$ ), 建基面未发现断层出露, 岩体中穿插有辉绿岩脉, 辉绿岩脉性脆, 裂隙发育, 脉体与花岗岩接触带易形成破碎带。

据勘探资料, 在坝基表部分布有水平卸荷裂隙带, 其特征为: 倾角平缓; 张开裂隙发育, 宽度为 50 mm 至 1~2 mm; 裂隙连通性好, 透水性强; 单位吸水量  $\omega$  一般为 1~2 L/min·m·m, 最大达 6~7 L/

min·m·m,  $\omega < 0.01$  L/min·m·m 者仅为 22%。

7 号坝段坝踵有一条宽约 3 m 的辉绿岩脉 $\beta_3$ 与坝轴线成很小的角度相交, 斜穿整个坝段, 坝踵在灌浆部位的上下游方向, 有 3 条宽约 0.2~0.6 m 的小辉绿岩脉穿过。

## 3 1995 年前帷幕灌浆情况

### 3.1 基础固结灌浆

根据建筑物和地质条件的要求, 对岸坡坝段和 5 号、15 号坝段全坝段进行了固结灌浆, 其余河槽坝段(3 号、4 号、6 号~14 号)大多仅对坝基受力较大的坝踵和坝趾进行了固结灌浆, 钻孔深度大部分为见基岩后 8 m。

1969 年 12 月前对 7 号坝段坝踵、中部及坝趾部位进行了固结灌浆, 共布置了 87 个固结灌浆孔, 其中坝踵部位 20 个, 桩号为(坝)0+00.00~(坝)0+12.00, 单位水泥注入量为 25.47 kg/m。从固结灌浆后检查孔的单位吸水量来看, 该坝段  $\omega < 0.01$  L/min·m·m 的部分占 100%,  $\omega > 0.03$  L/min·m·m 的部分占 71.43%。

### 3.2 原防渗帷幕水泥灌浆

龚嘴大坝帷幕灌浆原则是: 灌浆前按 5 m 一段先作压水试验, 规定  $\omega > 0.01$  L/min·m·m 时才进行灌浆。

按工程防渗要求, 在拦河坝坝轴线附近布置了两排防渗帷幕, 上游排为微倾向上游的浅帷幕, 下游排为垂直的深帷幕, 深、浅帷幕的孔距都是 2 m, 帷幕深度根据坝地质条件和渗透特点确定, 帷幕深度深入相对抗水层( $\omega < 0.01$  L/min·m·m)5 m。浅帷幕灌浆主要在固结灌浆之后、廊道形成之前进行, 在河床坝段部分深 25 m, 两坝肩最深达 41 m;

深帷幕灌浆主要在廊道形成之后施工,在河床部位按 0.4~0.5 倍水头设计,最深达 60 m,坝肩部位最深达 75.60 m。

7 号坝段坝基帷幕水泥灌浆从 1969 年 10 月底到 1970 年 7 月施工完毕,深、浅帷幕各布置有 9 孔,轴线桩号分别为(坝)0-05.50、(坝)0-02.80,浅幕最大孔深 24.80 m,深幕最大孔深 70.60 m,单位水泥注入量分别为 27.15 kg/m(分两期灌浆)、36.26 kg/m。从深帷幕灌浆两个检查孔的单位吸水量来看, $\omega < 0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  占 57.14%, $\omega < 0.03 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  占 85.71%。

### 3.3 第一次帷幕补强灌浆

7 号坝段在帷幕部位有辉绿岩脉穿过,其节理发育、岩石破碎,固结灌浆和帷幕灌浆施工中  $\omega$  及水泥注入量都较大,后增补了一些固结灌浆孔,但其效果仍不显著。为了加强帷幕防渗效果,1972 年 4 月在帷幕中心线上游约 0.4 m 位置又增补了 5 个帷幕灌浆孔,首次对防渗帷幕进行了补强灌浆,其压水试验单位吸水量  $\omega > 0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  段仍占 80%。1973 年 7 月对检查孔进行压水试验,结果表明, $\omega$  大于  $0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ ,水泥灌浆仍不合格,且灌浆后该坝段渗漏量仍很大,实测渗漏量约占全坝基渗流量的 12%~15%,帷幕后第二孔扬压力测值仍超过设计值,据分析,可能是岩石裂隙细微、水泥颗粒难以灌入的缘故。

### 3.4 第二次帷幕补强灌浆

1977 年,对经帷幕水泥补强灌浆后未达到设计

防渗标准的 7 号坝段进行了第二次帷幕补强灌浆。灌浆采用丙凝材料,化灌轴线布置在原帷幕灌浆轴线下游 0.50 m,检查孔布置在 1.00 m 处,共布置有 12 个灌浆孔,孔深 30~35 m,原要求  $\omega \geq 0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  的孔段才化灌,后改为  $\omega \geq 0.05 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  时进行化灌。通过对化灌前后检查孔进行的压水试验比较,化灌前  $\omega < 0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  的孔段为 60.3%,化灌后提高到 100%,满足了设计防渗要求,且经过化灌后孔内涌水量和扬压力较以前均有明显降低。

## 4 1995 年(第三次)帷幕补强灌浆

### 4.1 补强灌浆依据

#### 4.1.1 原防渗帷幕质量检查情况

##### 4.1.1.1 概述

为配合 1993 年龚嘴水电站大坝定期安全检查,根据原水电部颁发的《水电站大坝管理暂行办法的规定》及工作进度安排,1992 年初,我厂委托成勘院物探队,一方面利用物探综合测井技术,对河床坝段坝基的水文工程地质及帷幕工况进行了检测;与此同时,为配合物探,更进一步检查原防渗帷幕工况、坝基岩体质量,在 7 号坝段灌浆廊道中心线上(0+06.5)布置了 4 个检查孔(即 II 序孔),孔深 50 m,孔与孔间距 4.0 m,检查孔距原防渗帷幕中心线 1.0 m,具体布置情况见图 1。

本次钻探从 1992 年 4 月 17 日开始,到 7 月 22

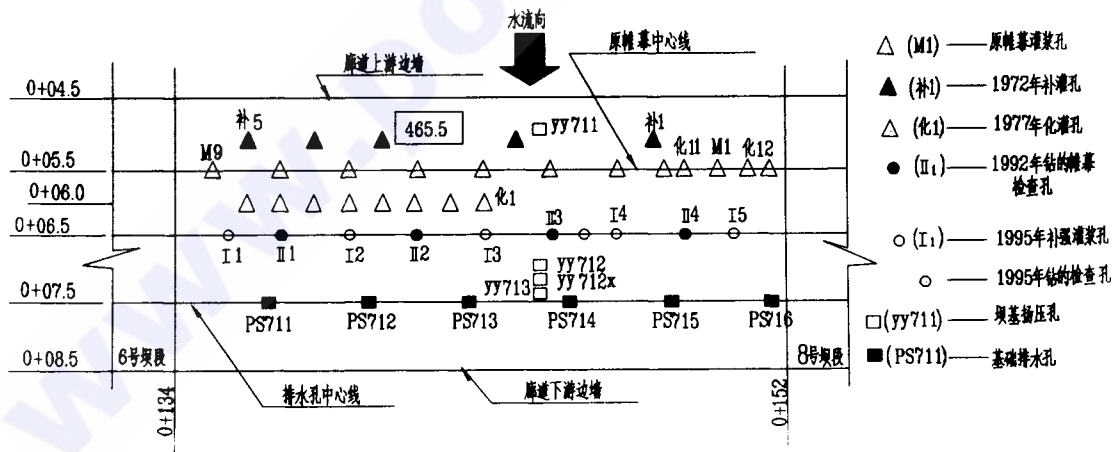


图 1 7 号坝段帷幕灌浆及揚压孔、排水孔布置图

日终孔,历时 97 d,总计进尺 201.03 m,对 4 个检查孔进行了电测井和 25 段孔内压水试验。

#### 4.1.1.2 压水试验检查情况

检查的方法主要是通过钻孔压水试验了解岩体的渗透性,同时观测临近扬压力和排水量的变化情况。

从 25 个试段  $\omega$  值的分布看,除个别试段  $\omega$  值相对较大外,一般均较小,说明坝基岩体在总体上渗透性不强,具有较好的完整性,但若以  $\omega < 0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  作为相对不透水层的标准,则有 56% 的试段达不到要求;若以  $\omega > 0.05 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  作为相对不透水层的标准,则有 12% 的试段达不到标

准。

随着试验压力的增加,各孔压水试验第一段大都引起附近坝基扬压力孔压力值升高,如 $I_1-1$ 、 $I_2-1$ 试段均引起扬压力 $YY711$ 、 $YY712X$ 、 $YY713$ 压力值升高等( $I_1-1$ 表示 $I_1$ 孔第一段),排水孔或质检钻孔涌水量大增,如 $I_2-4$ 试段压水时,排水孔 $PS711\sim PS714$ 涌水量大增, $I_1$ 孔亦明显增大,在 $I_3-1$ 试段压水时, $PS715$ 排水孔涌水量大增, $I_2$ 孔亦有较大水量涌出,而随着深度的增加,这些现象逐渐消失。另外,第一试段 $\omega$ 值相对偏大,说明坝基表层岩体中裂隙连通性好,帷幕质量较差,坝体混凝土与坝基结合不密实。

#### 4.1.1.3 电测井资料分析

4个检查孔电测井资料分析表明:

(1)孔深在14~24 m内有两条缓倾角裂隙,岩石电阻率偏低( $2\ 000\sim 4\ 000\ \Omega\cdot m$ ),裂隙发育,岩芯不完整,岩石弱风化,裂隙面可见帷幕灌浆水泥结石,出水点少,水量亦小,表明坝基经固结灌浆和帷幕灌浆处理后,有防渗效果。

(2)孔深在24~42 m( $441.5\sim 423.5$  m,  $I_1$ 孔

在 $441.5\sim 429$  m)电阻率上升( $6\ 000\sim 18\ 000\ \Omega\cdot m$ ),说明岩体较完整,但在花岗岩与辉绿岩脉交界面附近,电阻率急剧下降,说明接触带岩脉较为破碎。

(3)孔深在42 m( $423.5$  m)以下,先后碰到1号( $\beta\mu^1$ )辉绿岩脉破碎带( $I_1$ 在429 m),因此在接触带上部,花岗岩电阻率下降( $6\ 000\ \Omega\cdot m$ ),岩芯完整性较差,帷幕灌浆耗灰量增多,透水量增大,表明在42 m以下,岩芯完整性相对第二层要差。

另据物探观测,孔内出水点主要出现在岩体缓倾结构面发育段,其出水位置恰好与电阻率谷点相吻合,说明这些部位质量较差,当初未使浆液完全有效地充实这些缓倾结构面,从而形成地下水渗流通道。如 $I_1$ 孔在427.5 m高程辉绿岩接触破碎带出水,出水量为3.1 L/min,此段正处于帷幕空白段(原灌浆深度仅深入到431.2 m), $I_2$ 孔在418.5 m高程也是辉绿岩脉接触破碎带出水,出水量最大,达13.08 L/min,此段处于帷幕灌浆段的边缘, $I_3$ 孔在431 m出水处亦是帷幕空白段,见图2。

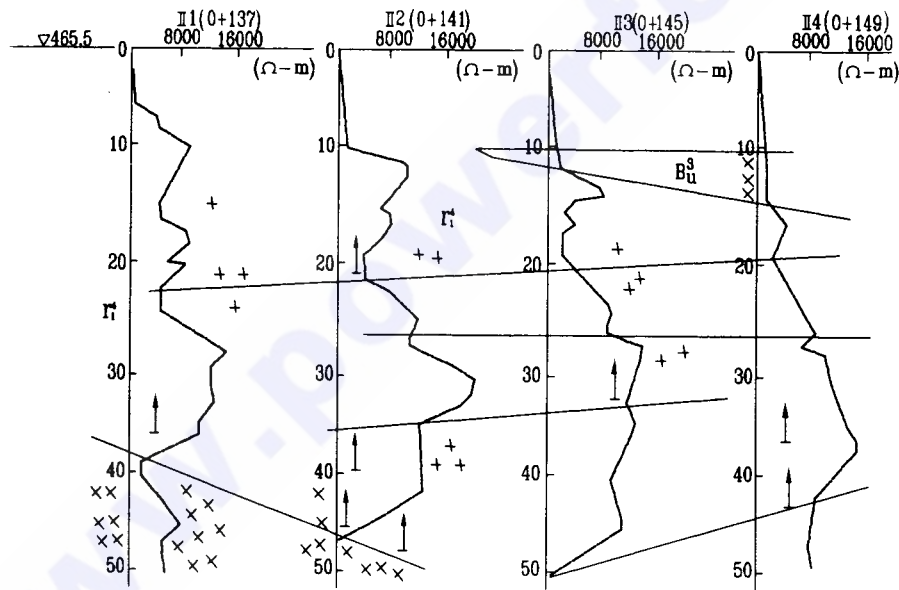


图2 7号坝段帷幕质量检查孔( $I$ 序孔)电测井曲线图

#### 4.1.1.4 检查结论

通过对7号坝段4个帷幕检查孔的电测井及压水试验资料分析和对3号坝段至15号坝段第1至4排廊道中239个排水孔的综合测井分析,大坝定检时专家组一致认为:

(1)4号、7号坝段岩体质量相对较差,3号坝段次之,8号坝段以右各坝段较好。

(2)7号坝段原帷幕深度未能达到辉绿岩脉体中,未能将花岗岩与辉绿岩接触带充实浆液,表层帷幕质量普遍较差,且对岩体中存在的缓倾角结构面

亦未能有效地灌注充实,结构面间存在一定的连通,长期发展下去,必将导致坝基渗控效果进一步下降。

为此提出,从坝基补强的角度考虑,首先应对4号、7号坝段的出水裂隙构造面和岩石接触破碎带着手进行补强灌浆,以修复和完善帷幕,然后是3号、8号坝段。

#### 4.1.2 7号坝段扬压力资料分析

比较质检钻孔前5年帷幕后的扬压孔测值,帷幕后第二孔 $YY713$ 的平均渗压系数为0.497,大于规范规定值0.22,更大于帷幕后第一孔 $YY712$ (或

1988年新增孔YY712X)的0.188(0.20),这两孔规范规定值分别为0.645、0.628。从图3还可看出,YY713与上游库水位呈现较为明显的周期性变化,而帷幕后第一孔YY712(YY712X)测值变化平稳。

由此表明,YY713测点可能与库水存在渗漏通道,尽管测压管所测扬压力仅为点压力,与所处位置的岩性、裂隙等关系较大,但从一个侧面也反映出原帷幕灌浆所存在的一些缺陷。

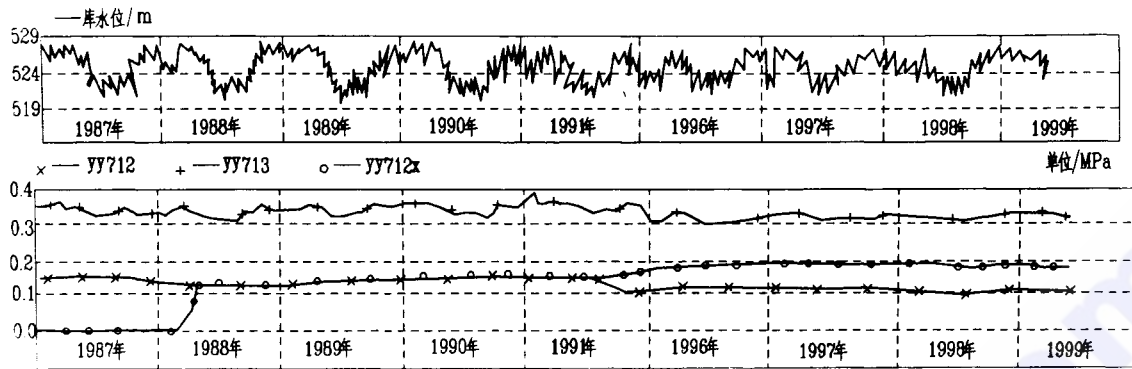


图3 库水位和7号坝段部分扬压孔测值过程线图

#### 4.2 补强灌浆情况

在1993年12月大坝定检结束后,省局和我厂领导决定对7号坝段帷幕进行补强灌浆。1994年12月14日成勘院第二勘探队进场施工,1995年4月10日竣工,历时117d,完成的工程量见表1。

表1 7号坝段防渗帷幕历次灌浆工程量统计表

类别	孔数	工程量 /m		水泥注入量 /kg	
		钻孔	灌浆	总注入量	每m注入量
固结灌浆(坝踵,(坝)0+12)	20	232.56	103.67	2 640.7	25.47
浅帷幕灌浆	9	191.43	135.40	4 909.8	36.26
深帷幕灌浆	9	522.96	416.34	11 303.6	27.15
1972年补强灌浆	5	201.24	133.39	1 886.2	14.15
1977年丙凝化学灌浆	12	375.00	4 463.6	579.4	34.37
1995年补强灌浆	I序孔 5	285.13	241.84	2 797.1	11.57
	II序孔 4	218.79	185.44	957.5	5.16

注:丙凝化学灌浆中灌浆工程量,每m注入量的单位分别为L、L/m,以上未包括检查孔。

##### 4.2.1 灌浆设计

7号坝段补强灌浆帷幕布置于原帷幕中心线下游1.0m处(即灌浆廊道中心线上),与原帷幕中心线平行,为单排孔直线式,分I序孔(本次新钻孔,5个)和II序孔(1992年钻的检查孔,4个,补强灌浆前一直未封堵),设计孔深50~60m,孔斜率2.5%,灌浆段长度一般为5m,0~5m灌浆压力为1.0MPa,每增加5m,灌浆压力增加0.1MPa,具体布置见图1。

##### 4.2.2 灌浆施工工艺

###### 4.2.2.1 造孔及压水试验

按设计要求,采用钢粒清水钻进造孔,孔径 $\phi 110$ mm,孔位偏差1~3cm,孔斜最大偏距0.938m,最大孔斜率1.37%,均符合设计规定。孔深根据实际地质条件进行了调整,最小孔深45.20m,最大

孔深70.10m。

造孔完成后做压水实验,实验前用高压水冲洗孔,待回水变清持续15min后,孔口封闭做常规压水试验,实际压力均采用0.6MPa(设计为1.0MPa)。

###### 4.2.2.2 灌浆

灌浆采用孔口封闭自上而下分段灌注法,因岩石透水性较小,灌浆压力采用一次升压法。

为防止串浆,首先对II序孔进行了机械封孔处理,在封孔时,II<sub>1</sub>、II<sub>2</sub>孔因孔内涌水量大,水泥浆几乎全部被冲出孔外,后采用水泥团加木塞,II序孔仍有水往外流,但影响不大。初始浆液水灰比按单位吸水量确定,当某一级浆液累计吸浆量达到400L/t以上,且灌浆压力及吸浆量改变不明显时,则变浓一级浆液灌注,否则继续灌注原浓度浆液。当灌浆量小于0.4L/min时,继续灌注30min结束。当全孔灌浆结束后,采用机械压浆法,压入1:1或0.8:1浓浆封孔。针对孔内涌水情况,灌浆结束后,均进行了并浆、闭浆处理措施。

各灌浆孔的施工顺序为I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>、I<sub>3</sub>、I<sub>4</sub>、I<sub>5</sub>、II<sub>1</sub>、II<sub>2</sub>、II<sub>3</sub>、II<sub>4</sub>,基本遵循了分序加密,自上而下分段灌注的原则。

##### 4.3 灌浆效果分析

(1)从表1可以看出,本次帷幕补强灌浆单位水泥注入量较以往小,II序孔较I序孔小,从I序孔、II序孔单位吸水量 $\omega$ 的统计看,I序孔、II序孔平均单位吸水量 $\omega$ 分别为0.0266L/min·m·m、0.0165L/min·m·m。从孔内涌水量的大小来看,II序孔比I序孔小,说明本次灌浆效果较为显著,也反映出该坝段岩石裂隙细微,岩体透水性较弱。

(2) 灌浆结束后所钻检查孔(孔深 51.38 m)的单位吸水量  $\omega$  为 0.004 2~0.007 1 L/min·m·m, 小于 0.01 L/min·m·m。从对该孔进行的孔内录像看, 有 6 处可见水泥结石, 孔内仅有轻微的涌水现象, 说明帷幕防渗效果是可靠的。

(3) 从补灌前后该坝段帷幕后 3 个扬压孔的测值统计分析来看, 补强灌浆起到了一定效果, 见表 2

表 2 7 号坝段部分扬压孔测值统计表

年 份	1992 年帷幕质量检查前						孔 号	平均渗压系数	
	最大值 /MPa			最小值 /MPa				实测值	规范值
	YY712	YY712X	YY713	YY712	YY712X	YY713			
1987	0.155		0.365	0.134		0.324	YY712	0.188	0.645
1988	0.132	0.139	0.351	0.123	0.118	0.316	YY712X	0.200	0.628
1989	0.142	0.146	0.359	0.123	0.116	0.318	YY713	0.497	0.220
1990	0.148	0.148	0.371	0.134	0.140	0.325			
1991	0.145	0.151	0.375	0.128	0.141	0.331			
1995 年帷幕补强灌浆后									
1996	0.138	0.174	0.334	0.130	0.161	0.301	YY712	0.188	0.638
1997	0.137	0.178	0.333	0.132	0.166	0.304	YY712X	0.248	0.628
1998	0.134	0.177	0.331	0.125	0.162	0.301	YY713	0.461	0.223
1999	0.136	0.173	0.335	0.131	0.159	0.311			

## 5 结 语

(1) 大坝安全监测及定期安全检查对了解工程的运行情况, 明确工程的薄弱环节, 消除疑虑, 具有重要作用。

(2) 本次进行的帷幕水泥补强灌浆对加强帷幕的防渗效果起到了一定的作用, 但因岩石裂隙细微, 水泥颗粒难以大部分灌入。今后对其它几个坝段的补强灌浆能否考虑采用其它的补灌材料及相应工艺。

和图 3。较为显著的是 YY713 测孔, 补灌后最大值平均降低约 3.1 m, 最小值约 2.0 m, 平均年变幅减小约 2.2 m, 渗压系数减小约 0.036, 但实测值仍大于规范值。YY712 测值变化仍较为平稳, YY712X 平均年变幅比补灌前增大约 3.0 m 后变化趋于稳定, 估计与排水孔或扬压孔堵塞有关。

(3) 帷幕补强灌浆后, YY713 孔测值虽有较大幅度的降低, 但与 YY712(YY712X) 同期测值相比, 平均仍约大 18.5 m(15.0 m), 与库水位仍具有一定的相关性, 且仍超出设计值, 说明该测点仍与库水有细微的渗水通道。

(4) 通过帷幕工况检查和大坝安全监测确定的对 7 号坝段帷幕进行补强灌浆是正确的, 也是很有必要的, 其效果是显著的。

作者简介:

沈定斌(1969 年—), 男, 四川大竹人, 龚嘴水力发电总厂水工部专责工程师, 学士, 从事大坝安全监测及其技术管理工作。

(上接第 58 页)

(5) 7 月 29 日 17:00, 稍微降低真空度(停两台真空泵或往本体内补充一定的氮气), 启动油泵, 使喷淋系统的变压器油循环起来, 然后将两台真空泵投入, 并逐步投入油路的加热器。

(6) 8 月 4 日 17:00, 喷淋干燥结束, 并保持真空。

(7) 8 月 5 日 09:00, 充入  $N_2$  破坏真空后, 进行吊罩器身检查。

整个干燥过程中共排水 36.6 kg。

## 4 喷淋干燥应注意的问题

(1) 干燥前加入本体的变压器油不宜太多, 以淹没下油箱或下托盘为宜。

(2) 每次破坏真空时, 需充入  $N_2$  或热空气。

(3) 严格控制油路加热器前后部位的油温, 严防

因油温过高而使绝缘老化。一般加热器前的油温为 90℃, 加热器后的油温为 95℃, 油温的控制通过切换底部加热管和油路加热器的电源来实现。

(4) 干燥开始后对油温、加热器的数量、变压器的吸收比和放水量都要作详细的记录, 并列表统计。此项工作每 2 h 进行一次。

(5) 油温的上升率不宜过快, 以 10℃/h 为宜。

## 5 结束语

变压器改造后采用喷淋干燥新工艺, 经四川省电力局试研院进行全面试验检查, 试验数据全部合格, 参数完全满足国家规范要求, 改造后的变压器成为一台合格的新变压器。

作者简介:

代述明(1966 年—), 男, 四川井研人, 龚嘴水力发电总厂, 工程师, 学士, 从事水电厂电气设备检修工作。