

# 宝珠寺水电站 14 号 ~ 20 号及其相邻坝段帷幕灌浆效果分析

王正生

(宝珠寺水电建设管理局, 四川广元, 628003)

**摘要** 宝珠寺电站大坝河床 14 号 ~ 20 号坝段, 由于基础地质条件复杂, 在固结、帷幕灌浆后, 坝基下仍存在涌水现象。为提高幕体的防渗作用, 在原帷幕前增加了一排细水泥灌浆, 效果显著。在钻灌过程中发现, 岩体中存在较大漏灌裂隙和涌水现象, 并多分布在 F4 断层带处。如不采取这次补强措施, 确实存在降低幕体防渗功能, 在高水头长期作用下, 引起断层破碎带及软弱夹层产生管涌和集中渗漏途径的可能性。

根据这种情况, 结合 14 号 ~ 20 号坝段及其相邻坝段的基础地质条件和灌浆施工中出现的问题, 建议先在部分坝段增设细水泥灌浆, 以达到提高幕体厚度和防渗的能力, 从而有效地降低坝基扬压力, 确保大坝稳定安全运行。

**关键词** 坝基幕体 漏灌裂隙 涌水 细水泥 补强灌浆

## 1 概况

宝珠寺电站以发电为主, 兼有防洪、灌溉等综合效益, 枢纽布置采用混凝土重力坝, 坝后式厂房。大坝坝高 132 m, 坝顶高程 595.0 m, 大坝分为 27 个坝段, 其中 1 号 ~ 10 号坝段为右岸挡水坝段; 11 号 ~ 21 号坝段为中部河床坝段; 22 号 ~ 27 号坝段为左岸挡水坝段, 坝顶全长 524.8 m。正常蓄水位 588.0 m, 水库总库容 25.5 亿  $m^3$ , 装机 4 台, 单机容量 17.5 万 kW, 总装机容量 70 万 kW, 年发电量 23 亿 kW·h。1996 年 12 月底, 电站第一台机组发电。

枢纽坝址区河床坝段主要分布奥陶系条带状  $O_2^{2-1}$ 、 $O_2^{2-2}$ 、 $O_2^{2-1}$  薄层状钙质粉砂岩、中厚层钙硅粉砂岩。地质构造有横河的 F4 断层、顺河向 F60 断层以及泥质软弱夹层如 D5 等。由于断层、裂隙发育并互相切割、泥质夹层较多且连续, 因此, 形成了一些相应的集中渗透带, 岩体透水性较好, 见图 1。鉴于以上的水文地质工程条件, 为防止建坝蓄水后发生基础渗漏和有效降低扬压力, 在坝基础部位上游桩号下 0+009.0 廊道设置了两排(A、B)深孔高压防渗水泥灌浆帷幕。根据河床 17 号、18 号坝段两排水泥帷幕灌浆完成后, 经检查孔压水试验后得

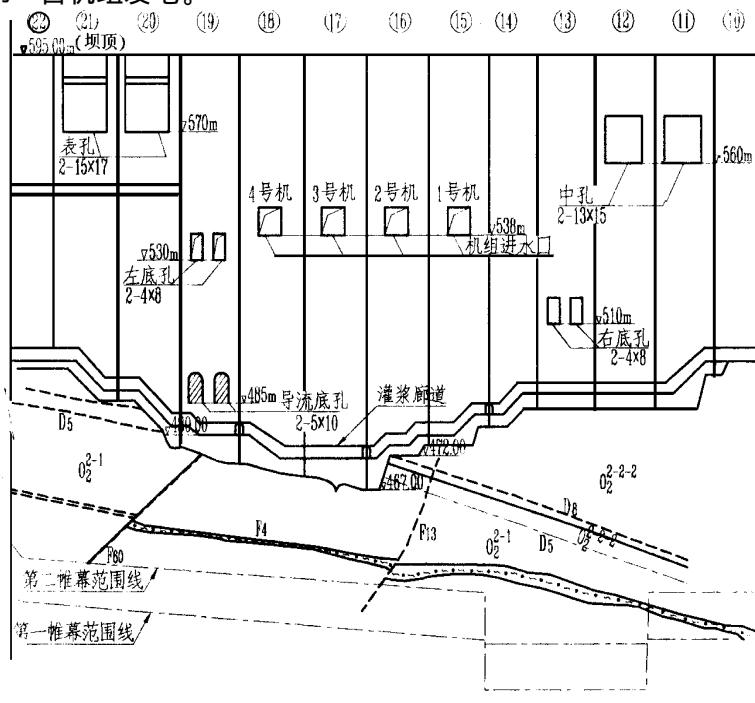


图 1 河床 11 号 ~ 21 号坝段地质剖面图

到单位吸水量 ( $< 0.01 \text{ L}/\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ ), 达到设计要求。但检查孔中均存在不同程度的涌水现象, 部分孔段的涌水量及涌水压力较大, 见表 1。

表 1 17 号、18 号坝段部分灌浆及检查孔涌水量表

坝段编号	孔号 / 号 / 次	段次 / 次	深度 / m	最大涌水量 / $\text{L} \cdot (\text{min})^{-1}$	涌水压力 / MPa	备注
17	A10	7、8	28.5~38.0	1.5~3.0	0.044	5 个检查孔, 均有涌水现象。
	检 1	5、6	20~30.5	0.72~0.55		
18	A2	7	46.0~55.5	2.0~4.2	0.088	2 个检查孔, 其中一个涌水。
	检 1	7	31.6~36.6	0.52		

因河床坝段基础地质条件比较复杂, 大坝位置

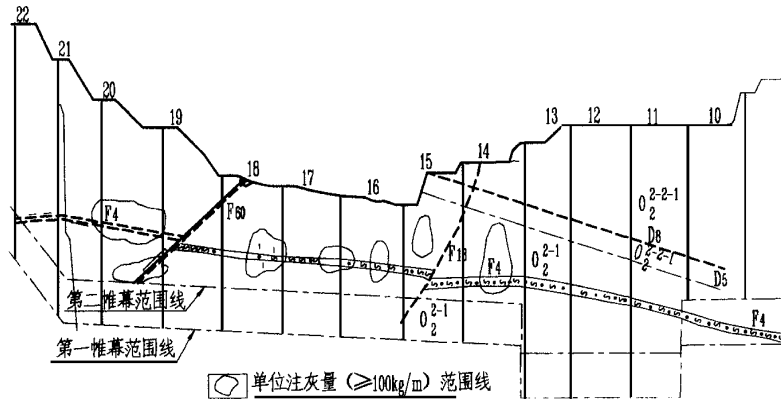


图 2 14 号~20 号坝段细水泥灌浆剖面示意图

## 2 细水泥灌浆帷幕的设计及灌浆施工

### 2.1 帷幕的设计

在 14 号~20 号坝段两排水泥灌浆帷幕上游 0.25 m 处新增一排斜孔, 倾向左岸, 偏上游, 倾角  $87.5^\circ \sim 87^\circ$ , 孔距 2.0 m, 孔深 30~40 m 不等, 均深入 F4

最高, 为增加断层部位的帷幕厚度, 提高防渗效果, 设计单位提出在 14 号~20 号坝段两排(A、B 排)水泥灌浆帷幕前 0.25 m 处增设一排水泥灌浆帷幕。

笔者主要阐述增加这排细水泥灌浆帷幕的效果及其重要性, 在灌浆施工过程中发现不少大耗灰量灌浆段 ( $100 \text{ kg}/\text{m}$ ) 和涌水量较大段位多分布在 F4 断层带, 该现象可能产生的危害应引起重视, 见图 2。结合坝地质和坝高情况, 建议在 11 号、12 号坝段继续增设一排细水泥灌浆, 以提高幕体的防渗和削减扬压力的作用, 确保大坝的稳定安全。

断层影响带以下 5.0 m。布孔位置以 17 号坝段为例, 见图 3(其它坝段与此相同)。

### 2.2 灌浆施工

采用小孔径 ( $56 \sim 75$ ) 钻孔、孔口封闭器自上而下分段用钻杆作射浆管内循环的灌浆方法, 其流程为: 钻孔 — 钻孔风水联合冲洗 — 简易压水 — 灌浆 — 回填封孔。灌浆段长: 第一、二段为

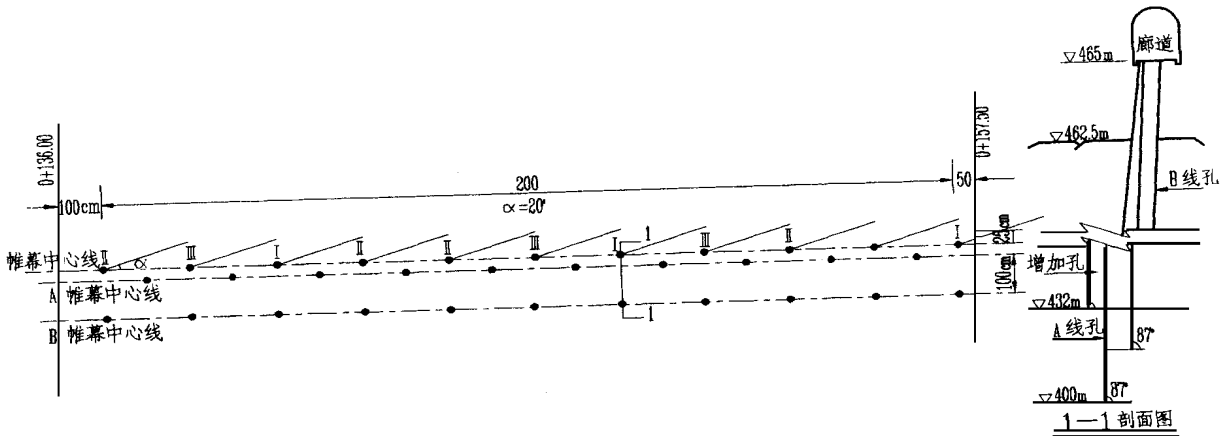


图 3 17 号坝段帷幕增加孔布置图

2.0 m; 第三段为 3.0 m, 以下段长按先导孔划分一般为 5.0 m。灌浆按逐渐加密的原则, 分为序钻灌, 灌浆压力第一段(接触段) 1.0~1.2 MPa, 最大压力 4~4.5 MPa; 有涌水孔段灌浆压力为设计压力加扬

压力值。灌浆水泥采用德阳生产的风选细水泥, 比表面积  $> 6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ , 中值粒径  $8.8 \mu\text{m}$ , 最大粒径  $28.8 \mu\text{m}$ , 凝固时间初凝为 2 h 33 min, 终凝为 3 h 44 min。制浆流程为 2 台 400 L 高速搅拌制浆机

(1 400 r/h) ——双桶搅拌机 ——灌浆机。水灰比采用浓浆灌注 3 1、2 1、1 1、0.6 1 四个比级,当某级浆液注入量达 400 L 而灌浆压力和吸浆量无变化或变化不明显时改变浓一级灌注。在设计压力下,当吸水量 0.21 L/min 时延续 60 min 并达到总历时不少于 120 min 结束。若有涌水段则摒浆 120 min,闭浆 30 min 至压力为零,再待凝 6 h。

### 3 灌浆效果分析及相邻坝段增加灌浆的必要性

补充水泥灌浆帷幕孔共计 73 个,总工程量约 3 200 m,灌浆段总长 2 718 m,纯注入水泥量 54.4 t,平均单位注耗灰量 20.8 kg/m。其中 15 号孔最大平均单注耗灰量 29 kg/m。

#### 3.1 灌浆前后地层渗透性对比

14 号~20 号坝段基础补充灌浆前压水试验单位吸水量  $>0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ ,共计 119 段,灌后经检查单位吸水量 值均小于  $0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ ,平均为  $0.0035 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ 。孔内涌水段以涌水量  $Q$  值  $>1.0 \text{ L/min}$  统计:灌浆前约有 50 段,灌后只有 1 段  $1.21 \text{ L/min}$ ,其它各孔段均小于  $1.0 \text{ L/min}$ 。根据灌浆前后单位吸水量和涌水量的变化表明坝基岩体及 F4 断层影响带防渗性得到了明显地改善。

#### 3.2 单位耗灰量分析

随灌浆孔序的增加,单位耗灰量逐渐减少:序孔单位注灰量  $23 \text{ kg/m}$ ,序孔  $19.8 \text{ kg/m}$ ,递减率 14%,序孔  $19 \text{ kg/m}$ ,递减率 5%,检查孔  $3.5 \text{ kg/m}$ ,递减率 82.6%。大耗灰量孔段的频率也随灌浆孔序的加密而减少,小耗灰量孔段逐渐增加。如  $e = 10 \sim 20 \text{ kg/m}$  的序孔频率 55.5%,序孔 65.5%,序孔 70.5%,检查孔 100%, $e = 100 \text{ kg/m}$  的孔段灌前占总段数 7.5%,检查孔 0%。通过细水泥灌浆,达到了提高建筑物基础岩石的整体性、强度和抗渗能力的目的。

#### 3.3 有关相邻坝段增加灌浆的必要性

依据补充水泥灌浆所出现的大耗灰量段数,即  $e = 100 \text{ kg/m}$ ,共有 19 段,占总段数的 7.5%,所占比例并不高,但对其可能产生的破坏作用应该十分重视;同时,在坝基以下约 8.0 m 左右普遍出现涌水现象,据 17 号~20 号坝段观测资料统计,约有 50%涌水段数涌水压力值相当于坝前水头值的 70%~80% ( $0.12 \sim 0.18 \text{ MPa}$ ),涌水量  $Q$  值  $1.0 \text{ L/min}$ ,最大值为  $5 \sim 6 \text{ L/min}$ 。涌水量 ( $Q$ ) 观测资料统计,

当  $Q = 1.0 \text{ L/min}$  时,其相应灌浆段压水试验单位吸水量  $>0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  段占 90%以上。用单孔自流抽水试验,按巴比什金计算公式试算:

$$K = 0.528 \frac{Q}{s_0 L} \lg \frac{aL}{r_0}$$

式中  $K$  ——渗透系数 ( $\text{m/d}$ );

$Q$  ——涌水量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ );

$L$  ——抽水段长 ( $\text{m}$ );

$s_0$  ——水位下降值 ( $\text{m}$ );

$r_0$  ——钻孔半径 ( $\text{m}$ );

$a$  ——按试段离透水层远近选择,本工程选 1.32。

据上式计算结果(见表 2),也证明观测统计资料是正确的。

表 2  $K$  与 关系对比表

类别	涌水量 / $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	水位下降 / $\text{m}$	段长 / $\text{m}$	$K$ 值 / $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	值 / $\text{L} \cdot (\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})^{-1}$	备注
计算 值	1.0	5	5	0.06	0.05~0.04	
	3.0	10	5	0.097	0.08~0.064	
	5.0	10	5	0.16	0.13~0.08	
统计 资料	1.0				$>0.01$ 占 90%	90%以上
	$<1.0$				$<0.01$ 占 80%	

涌水多分布在 F4 断层带,这种不利于坝体稳定的因素与事先掌握的资料有较大的出入。

14 号~20 号坝段已进行了两排深孔高压水泥灌浆,经检查孔压水试验得出单位吸水量  $0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  满足设计要求。从有关文献资料和本工程灌浆资料统计:灌浆段的单位吸水量与单位注灰量的大小在常规压力下 ( $<3 \text{ MPa}$ ) 有如下的数量关系,即  $e = 10 \sim 20 \text{ kg/m}$ , 值  $0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ ;  $e = 100 \text{ kg/m}$ , 值一般  $>0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ ,  $e$  值在  $20 \text{ kg/m}$  至  $100 \text{ kg/m}$  这一范围内 值变化不定,主要原因是受高压 ( $>4 \text{ MPa}$ ) 裂缝产生启缝影响的结果。

基于已灌坝段单位耗灰量 ( $e$ ) 与单位吸水量值之间具有以上一般的数量关系,而且 14 号~20 号坝段第 序灌浆孔段平均单位注入灰量约  $18.5 \text{ kg/m}$ ,最大  $27.8 \text{ kg/m}$ ,检查孔小于  $5 \text{ kg/m}$ 。因此,在补强灌浆时不应再出现这样多的大耗灰量和涌水现象。对于这个问题,分析其原因:一是施工质量及灌浆资料有一定的问题,没有能够真实反映实际情况;二是由于地质条件复杂,高倾角裂隙发育,所设计的两排帷幕不够,孔距偏大,所以留下了漏灌裂隙并出现涌水。

依据 14 号~20 号坝段新增加一排细水泥灌浆

帷幕的效果和施工中所遇到的问题,分析相邻坝段(11号、12号、22号~24号)的地质条件和灌浆施工质量情况,如11号、12号坝段基础岩层为薄层钙泥质及钙硅质细粉砂岩互层,其间泥质夹层较多,裂隙发育,同样在深部有D5软弱夹层和F4断层带通过,地质情况复杂,设计灌浆帷幕孔深为84~95m,为全帷幕线最深的部位。从12号坝段1号、5号、9号孔在孔深32m以下开始发现涌水,其中5号孔深为56~61m,涌水量最大12L/min, >3L/min有6段,9号孔深66.2~71.0m,最大涌水11L/min, >3L/min有5段。B排10孔,从孔深25m以下大耗灰量段数( $e > 100 \text{ kg/m}$ )频繁出现,尤其在50~70m范围比较集中。又因该两坝段灌浆任务必须在下闸蓄水前完成,为赶工期造成孔内事故不断,机械故障经常发生而影响灌浆质量。由于基础地层岩性不稳定,夹层多且发育,并有F4断层和D5夹层存在,从而造成耗灰量大,有涌水。因此,11号、12号坝段很有必要再增加一排细水泥灌浆,以提高帷幕的防渗性,有效降低扬压力和防止产生机械管涌。为确保帷幕全线安全可靠,在左岸22号~24号坝段也分期分批增补一排灌浆帷幕。

根据14号~20号坝段细水泥灌浆效果分析,其它坝段的设计方案和施工技术要求需要做一些改进,如孔位可设在两排帷幕之间,孔距改为1.5m,据其它工程经验浆液浓度可采用2:1、1:1、0.6:1三个比级。单纯的细水泥浆液渗透性明显不够,应加入高效增塑剂。

## 4 结束语

宝珠寺水电站8号~26号坝段基础部位上游桩号下0+009m主帷幕灌浆已先后完成。根据坝

址区河床坝段水文地质工程条件,结合大坝高而底宽小(安全余度低)的设计特点,在基础处理方面施工技术要求严格,其中对坝基帷幕灌浆的防渗要求必须达到灌后单位吸水量 $< 0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ ,蓄水后扬压力系数 $= 0.2$ ,并在第二排水幕处消失。14号~20号坝段细水泥灌浆施工所揭露出坝基8.0m以下普遍存在涌水,据17号~20号坝段涌水资料统计,有约50%的孔段涌水量( $Q > 1.0 \text{ L/min}$ )涌水压力( $> 0.1 \text{ MPa}$ )并大多集中分布在F4断层影响带。将单孔自流抽水试验计算结果换算成单位吸水量( $> 0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ )占90%,同时存在不少大耗灰量灌浆段( $e > 50 \sim 100 \text{ kg/m}$ 和 $e > 100 \text{ kg/m}$ ),根据以上情况,说明原帷幕灌浆质量存在一定的问题,没有完全达到设计要求。依据西北勘测设计研究院编写的有关设计报告:“对D5泥质夹层进行渗透变形试验,其渗透破坏比降较小,野外三组试验,最大为8,最小为2,室内二组试验最大为4.3,最小为4.1。当水库蓄水后,在高水头作用下,易恶化夹层形成变异,可能产生机械管涌”。因此,坝基岩体中的涌水和较大漏灌裂隙将降低幕体的防渗和削减扬压力的作用,并可能引起断层带、较弱夹层产生变形,发生管涌。

从14号~20号坝段细水泥灌浆所取得的效果和其中揭示的情况,结合分析相邻坝段的基础地质条件,施工质量情况,建议先在11号、12号坝段应同样增加补强灌浆,以达到提高幕体的防渗能力,从而降低坝基扬压力并防止可能产生的管涌,确保大坝稳定安全运行。

作者简介

王正生 男 宝珠寺水电建设管理局工程质量监督站副站长 高级工程师

(收稿日期:1997-10-21)

## 重 要 声 明

本刊加入万方数据(ChinaInfo)系统科技期刊群的声明

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,我刊现已入网“万方数据(ChinaInfo)系统科技期刊群”,所以,向本刊投稿并录用的稿件文章,将一律由编辑部统一纳入万方数据(ChinaInfo)系统,进入因特网提供信息服务。凡有不同意见者,请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬,不再另付。

万方数据(ChinaInfo)系统科技期刊群是国家

“九五”重点科技攻关项目,截止1998年底已有200种期刊全文上网(网址:<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>),将在近年内增至1000种科技期刊。本刊全文内容按照统一格式制作编入万方数据(ChinaInfo)系统,读者可上因特网进入万方数据(ChinaInfo)系统免费(一年后开始酌情收费)查询检索本刊内容,也欢迎各界朋友通过万方数据(ChinaInfo)系统向我刊提出宝贵意见、建议,或征订本刊。

《四川水力发电》编辑部  
一九九九年四月