

# 化学灌浆在宝珠寺水电站坝基防渗帷幕中的应用 及河床坝段增加帷幕灌浆必要性的探讨

王晓鸣

(宝珠寺水电建设管理局, 四川 广元 628003)

摘要: 宝珠寺水电站大坝19号~21号坝段, 由于岩基地质构造复杂, 地层中有规模较大的断层和泥质夹层出现。为了弥补水泥帷幕灌浆的不足和提高幕体的防渗作用, 对19号~21号坝段进行了化学灌浆。文章介绍了化学灌浆施工过程, 并对灌浆效果进行了评价分析。通过综合分析化灌施工过程中岩体内存在的较大渗漏裂隙和涌水现象, 结合排水孔观测资料, 对河床坝段是否需要增加帷幕灌浆进行了探讨并提出了建议。

关键词: 化学灌浆; 坝基防渗; 涌水; 增加帷幕灌浆

中图分类号: TV 543; TV 543.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(1999)增-0045-05

## 1 概况

宝珠寺电站位于四川省广元市境内的白龙江干流上, 以发电为主, 兼有防洪、灌溉等综合效益。电站枢纽布置采用河床中间坝后式厂房, 拦河坝为实体混凝土重力坝, 最大坝高132 m, 坝顶高程595.0 m, 坝轴线长524.48 m, 共分为27个坝段, 其中1号~10号坝段为右岸挡水坝段, 11号~21号为河床坝段, 22号~27号为右岸挡水坝段。正常蓄水位高程588.0 m, 水库总库容25.5亿 $m^3$ 。装4台单机容量为175 MW机组, 总装机容量700 MW。年发电量约23亿 $KW \cdot h$ 。

## 2 河床坝段地质情况及水泥灌浆帷幕工程简述

河床坝段基岩为浅海相沉积奥陶系条带状砂岩层, 上部钙质粉砂岩( $O_2^{2-2-2}$ ), 岩性较均一完整, 其底部有4~5 m薄—中厚层钙泥质粉砂岩、钙质粉砂岩及钙硅质粉砂岩互层, 岩性不均一。中部钙硅质粉砂岩( $O_2^{2-2-1}$ ), 间夹较多薄层状钙泥质粉砂岩, 层位不稳定。下部钙泥质粉砂岩( $O_2^{2-1}$ )由钙泥质、泥质、泥钙质粉砂岩三种岩性组成, 微层理发育, 岩性不均一, 强度低, 与 $O_2^{2-2-1}$ 层结合较差。受地质构造影响在 $O_2^{2-2-2}$ 、 $O_2^{2-2-1}$ 岩层中分布有D5、D7、D8等泥

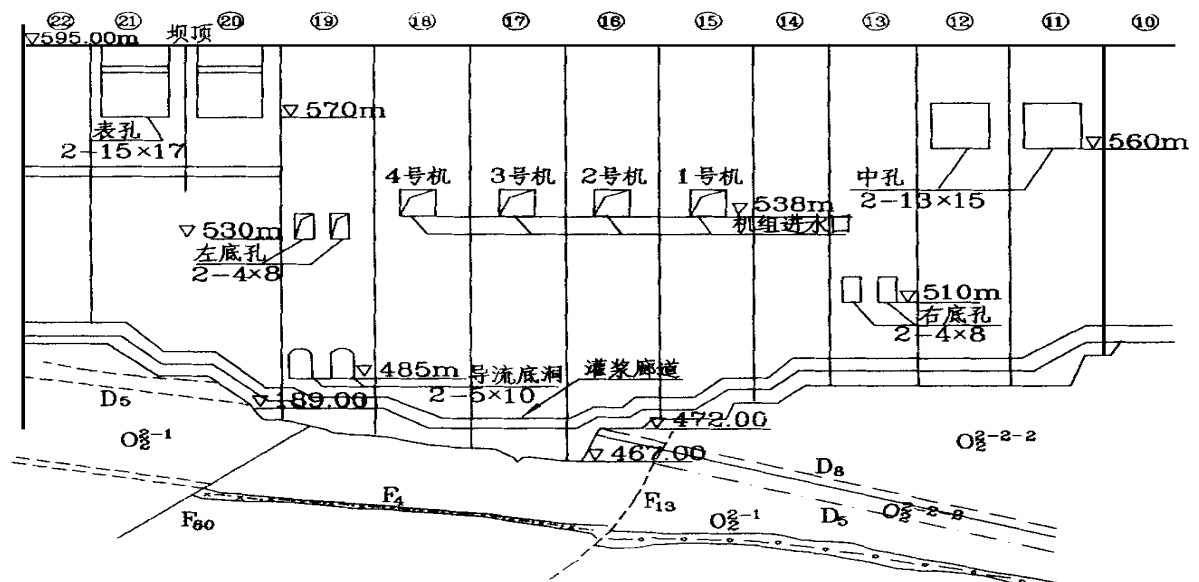


图1 河床坝段地质剖面图

质夹层,在 $O_2^{-1}$ 岩层中分布有贯穿14号~21号坝基,走向 $NE35^\circ \sim 50^\circ$ ;倾向上游,倾角 $35^\circ \sim 46^\circ$ ;破碎带宽10~150cm的F4逆断层和顺河走向 $NW315^\circ$ ;倾向NE,倾角 $42^\circ$ ;破碎带宽为120~130cm的F60正断层,见图1。

由于基岩中泥质夹层较多且连续,断层规模较大,影响带宽,裂隙发育并相互切割。为了防止建坝蓄水后泥质夹层和断层及其影响带长期在高水头作用下恶化变异,产生机械管涌和减少坝基渗漏,有效降低扬压力,在坝踵处灌浆排水廊道内布置了A、B两排采用孔口封闭法灌浆的普通水泥高压灌浆孔(灌浆压力见表1),A排孔桩号为下 $0+009.75\text{m}$ ,孔深均至 $\omega=0.01\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 的相对不透水层,B排孔桩为下 $0+010.75\text{m}$ ,孔深为A排孔的 $0.7\sim 0.8$ 倍。两排孔均为垂直孔,孔距2m。灌浆先B排后A排,按逐渐加密的原则,每排分III序钻灌。普通水泥帷幕灌浆施工完成后,经检查14号~21号坝段帷幕灌浆均达到了设计标准( $\omega=0.01\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ )。但检查孔均存在不同程度的涌水现象,且有部分孔段涌水量、涌压较大。这说明幕体虽已形成,但地层中 $0.3\text{mm}$ 以下孔隙仍未得到有效灌注。从涌水部位分析,涌水量大的段次主要集中在断层及其影响带。为了提高防渗效果,在14号~20号坝段,桩号 $F0+009.50\text{m}$ 处增加了一排超细水泥灌浆帷幕,超细水泥比表面积 $>6000\text{cm}^2/\text{g}$ , $D_{\text{max}}<20\mu\text{m}$ , $D_{50}<6\mu\text{m}$ ,采用孔口封闭法灌浆,灌浆压力与普通水泥灌浆压力一致。超细水泥灌浆孔倾角 $87^\circ$ ;方位角 $NE19^\circ 34' 42''$ ,孔深至F4断层下盘影响

带5m,孔距2m,设计标准为压水试验压力 $1.0\text{MPa}$ , $\omega=0.08\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ ,灌浆灰水比采用3:1,2:1,1:1,0.8:1,0.6:1,0.5:1六个比级,开灌水灰比3:1,逐级变浓。灌后检查结果表明,除19号坝段检1号孔第5段的单位吸水量 $\omega>0.08\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ ,而未满足设计标准外,其余检查孔各段次 $\omega$ 值均小于 $0.08\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 。灌前64个孔410段出现涌水,涌水量大于 $1\text{L}/\text{min}$ 的约50段,灌后8个检查孔21段出现涌水,涌水量大于 $1\text{L}/\text{min}$ 的只有一段。从灌前、灌后涌水情况分析,超细水泥灌浆使坝基岩体抗渗性得到了增强。对细小裂隙起到了一定的充填作用。

### 3 化学灌浆帷幕设计及施工

由于19号~21号坝段基岩地质构造复杂,地层中有规模较大的F4、F60断层及其影响带,D5、D7、D8泥质夹层。这些断层、断层影响带及泥质夹层性质软弱,断层内物质为断层泥及包裹的压碎石,具塑性,在高水头长期作用下,易压缩变形,产生集中渗漏。为了弥补水泥帷幕灌浆的不足,设计单位提出对19号~21号坝段进行化学灌浆。

#### 3.1 帷幕设计

19号~21号坝段化学帷幕灌浆帷幕线桩号为下 $0+010.25\text{m}$ ,孔距1.5m,全部为垂直孔,共37个孔,分III序进行化学灌浆施工,布孔位置以20号坝段为例,见图2。

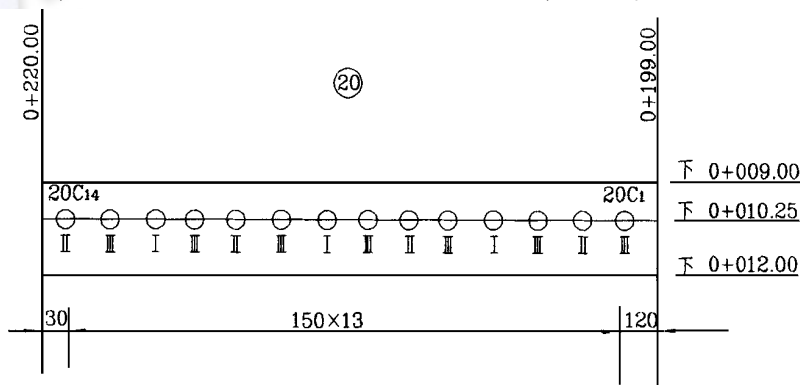


图2 化学灌浆孔位布置及分序平面图 单位:m

造孔深度为33.7~66.6m,化学灌浆范围为F4、F60断层及其影响带,D5、D7、D8泥化夹层,上下盘以外各扩3~4m,灌浆材料采用由一定浓度的丙烯酸盐单体、交联剂、引发剂和调凝剂组成的水溶液。当混合液中有氧化还原引发剂时,在交联剂参与反应的条件下,通过游离基聚合反应生成不溶于水的含水凝胶体,起防水作用。该浆材具有粘度低,可

灌性好,胶凝时间可以根据施工需要随意调节,胶凝体渗透系数极小,在 $10^{-8}\sim 10^{-10}\text{cm}/\text{s}$ 之间,抗酸耐碱、无毒性,不会对施工环境和水质造成污染等特点。要求原材料的有效含量丙烯酸盐的浓度36%,N·N——一次甲基双丙烯酰胺单体95%,三乙醇胺80%,过硫酸胺95%。浆液基本组成见表1。

表 1 浆液基本组成表

名 称	作 用	浓度/%
丙烯酸胺	主 剂	12
N·N——一次甲基双丙烯酰胺	主联剂	1
三乙醇胺	促进剂	1
过流酸胺	引发剂	1
水	溶 剂	85

化学灌浆的全压力采用下列公式计算:

$$P = H + n + P_a$$

式中  $P$ ——每段灌浆全压力(表压力)(MPa);  
 $H$ ——上下游水头差,采用 100 m 的水柱压力(MPa);  
 $n$ ——该孔基岩面至灌浆段中心距离(按水柱压力)(MPa);  
 $P_a$ ——涌水孔的涌水压力(MPa)。

化学灌浆和水泥灌浆标准为:接触段压水量  $Q > 3.0 \text{ L/m in}$ ,其它段  $Q > 6.0 \text{ L/m in}$  时先进行水泥灌浆,后进行化学灌浆;若小于上述值时,可直接进行化学灌浆。后来,为加快工程进度,减少工程造价,经设计、监理人员共同研究决定,对灌前压水已满足设计标准  $\omega \leq 0.005 \text{ L/m in} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ ,且涌水量  $Q \leq 0.01 \text{ L/m in} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$  的段次可不进行化学灌浆。

### 3.2 化灌施工

19 号~ 21 号坝段帷幕化灌孔孔口高程从 475.0 ~ 498.70 m 不等,于 1998 年 11 月 4 日开工,坝前水位高程 580 m 左右,采用小口径( $\Phi 56 \text{ mm}$ )钻孔,自上而下分段卡塞灌浆,以 20C8, 21C10 这三个工序孔做为先导孔用  $\Phi 75$  钻头造孔首先进行灌浆施工,确定构造带的准确位置,指导后期的化学灌浆施工。化学灌浆工艺流程如下:

- (1) 钻孔: 根据灌段长度采用金刚石钻头分段钻进,孔底允许偏差不得大于设计规定值。
- (2) 钻孔冲洗: 采用风水联合冲洗,钻孔冲洗至清水时,再延续 10 m in。
- (3) 压水试验: 以单点法做简易压水,压水压力 1.0 MPa,压水试验吸水量的稳定标准必须满足设计要求。
- (4) 化学灌浆: 开始灌浆时,应先用浆顶水,待回浆管出浆时,关闭回浆管,采用纯压式灌浆。每个孔

段所需浆量按下式计算:

$$V = V_1 + Q \times t \times E$$

式中  $V$ ——备浆量(L);  
 $V_1$ ——灌段和管路占浆量(L);  
 $Q$ ——压水时孔段漏水量(L/m in);  
 $t$ ——浆液的胶凝时间(m in);  
 $E$ ——与地层渗透系数和灌浆操作有关的系数,根据实际情况可在 0.8~ 1.1 之间选取。

浆液的胶凝时间以岩体的渗漏量大小而定:

当  $Q \leq 2.5 \text{ L/m in}$  时,为 50~ 60 m in;  
 $2.5 \text{ L/m in} < Q \leq 5.0 \text{ L/m in}$  时,为 40~ 50 m in;  
 $5.0 \text{ L/m in} < Q \leq 6.0 \text{ L/m in}$  时,为 20~ 40 m in。

灌浆结束标准为:当吸浆量  $Q \leq 0.3 \text{ L/m in}$  时,即可结束灌浆。当灌浆段有涌水时,吸浆量必须为零,即基本不吸浆,灌浆方可结束。待浆液胶凝 2 h 后,方可松开阻塞器,拔管,进行扫孔和下一段的钻灌工作。

(5) 封孔: 全孔灌浆工作结束后,采用 0.5 : 1 的浓水泥浆进行压力封孔。

## 4 灌浆效果检查及成果分析

### 4.1 灌浆效果检查

压水试验检查孔采用栓塞自上而下分段进行压水试验,压水压力采用 1.0 MPa,压水标准为  $\omega \leq 0.005 \text{ L/m in} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ ,且  $Q_{\text{涌}} \leq 0.1 \text{ L/m in} \cdot \text{m}$ 。

19 号~ 21 号坝段在化灌过程中,由于灌浆人员操作不当和灌浆机械发生故障等原因,造成了一些化灌段次出现事故,前期共布置了 6 个压水试验检查孔,有 4 个检查孔共 11 段次未能满足设计标准,经补灌处理后,重新布置了 4 个检查孔对相应部位进行检查,除 19 号坝段检 3 号第 6 段涌水量为  $0.15 \text{ L/m in} \cdot \text{m}$  略大于  $0.1 \text{ L/m in} \cdot \text{m}$  外,其余各段  $\omega$  值及  $Q_{\text{涌}}$  均小于设计值。检查孔成果见表 2。

表 2 检查孔成果表

坝段	孔数 /个	孔深 /m	压 水 试 验			涌 水		
			段数	$Q_{\text{平均}}$ $\text{L} \cdot (\text{m in} \cdot \text{m} \cdot \text{m})^{-1}$	$Q_{\text{max}}$ $\text{L} / (\text{m in} \cdot \text{m} \cdot \text{m})^{-1}$	段数	$Q_{\text{max}}$ $\text{L} \cdot \text{m in}^{-1}$	$P_{\text{max}}$ $\text{MPa}$
19	2	68.7	16	0.0019	0.0044	8	0.45	0.2
20	2	89.7	20	0.0014	0.0035	8	0.5	0.3
21	2	125.3	24	0.0016	0.0032	10	0.42	0.065

## 4.2 成果分析

19号~21号坝段化学帷幕灌浆实际造孔41个(37个设计灌浆孔加4个补灌孔),造孔1924m,灌浆738m,共计208段,注入浆液量9050kg,平均单注12.3kg/m。其中,19号坝段化灌47段,共计163m,注入浆液量2754.3kg,平均单注16.9kg/m。灌前压水试验单位吸水量大于 $0.005\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 的有23段,大于 $0.01\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 的有7段,涌水42段,涌水量大于 $1\text{L}/\text{min}$ 的有11段,最大涌水量为 $2.7\text{L}/\text{min}$ ,大于设计标准 $0.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}$ 的有26段。

20号坝段化灌78段,共计275m,注入浆量3776.4kg,平均单位13.7kg/m。灌前压水试验单位吸水量大于 $0.005\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 的共有33段,大于 $0.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 的有6段,涌水76段,涌水量大于 $1\text{L}/\text{min}$ 的有24段,最大涌水量为 $4.2\text{L}/\text{min}$ ,大于设计标准 $0.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}$ 的有48段。

21号坝段化灌82段,共计300m,注入浆液2519.4kg,平均单注8.4kg/m。灌前压水试验单位吸水量大于 $0.005\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 的共有16段,大于 $0.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 的有5段,涌水64段,涌水量大于 $1\text{L}/\text{min}$ 的有14段,最大涌水量为 $4.0\text{L}/\text{min}$ ,大于设计标准 $0.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}$ 的有29段。

19号~21号坝段化灌前压水试验单位吸水量 $\omega > 0.005\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 共计72段,灌后经检查单位吸水量 $\omega$ 值均小于 $0.005\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ ,孔内涌水段涌水量大于 $0.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}$ ,化灌前共计103段,灌后只有一段 $0.15\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}$ ,其它各孔段均小于 $0.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}$ 。从灌浆前后地层渗透性对比可以看出,经过化灌处理,19号~21号坝段基岩和F4、F6断层及其上下影响带防渗性得到了明显改善,达到了提高建筑物基础岩石整体性和加强抗渗能力的目的。

## 5 河床坝段增加帷幕灌浆必要性探讨

依据化学灌浆所出现的灌前压水 $\omega > 0.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 的段次有18段,涌水量大于 $1\text{L}/\text{min}$ 的段次有49段,单注大于 $20\text{kg}/\text{m}$ 的19号坝段有14段,最大为 $57\text{kg}/\text{m}$ ;20号坝段有12段,最大为 $60.33\text{kg}/\text{m}$ ,21号坝段有5段,最大为 $33.60\text{kg}/\text{m}$ ,主要集中在F4、F60断层及其上下盘影响带范围内。比超细水泥灌浆后,检查孔施工时的 $\omega$ 值和涌水量大于 $1\text{L}/\text{min}$ 的段次均有大幅度的增加,这固然和化灌施工时幕后排水孔已形成且坝前水头增高

有关,但也说明在A排普通水泥灌浆前增加的一排超细水泥灌浆帷幕,并未使F4、F60断层及其影响带中的细小孔隙得到充分的充填,分析其原因:一是超细水泥细度高,所成浆液的粘度大,流动性差,水化速率快。灌浆时在浆液中未加入分散性外加剂,降低了浆液的渗入能力和扩散范围;二是用3:1水灰比的浆液开灌,水灰比过大,超细水泥保水能力很强,采用稀浆灌浆,水泥浆液在孔隙里凝结的过程中析水率大,形成的结石松散,强度下降。在1996年11月下闸蓄水至今两年多时间的高水头作用下,坝基抗渗能力有所降低。根据坝基排水孔渗水量观测资料(见表3)可以看出,1998年6月19日观测的16号~19号四个坝段总计27个排水孔,出水量大于 $20\text{L}/\text{min}$ 的有5个孔,最大 $30\text{L}/\text{min}$ ;10~20 $\text{L}/\text{min}$ 的有6个孔;5~10 $\text{L}/\text{min}$ 的有4个孔;小于 $5\text{L}/\text{min}$ 的有12个孔;平均渗水量 $8.61\text{L}/\text{min}$ 。

表3 坝基排水孔渗水量观测资料表

孔号	渗水量/ $\text{L}\cdot(\text{min})^{-1}$			
	1998-06-19	1998-06-30	1998-08-07	1998-11-07
16ZP4	8.57	1.4	15.96	19.32
16ZP5	30	30	28.80	53.94
16ZP6	20	20	27.11	37.62
16ZP8	3.75	3.8	3.75	6.75
16ZP9		2	1.72	2.715
16ZP10	10	10	11.82	11.37
16ZP11	15	15	18.59	19.23
17ZP1	6	5.4		
17ZP2	1.42	1.1		
17ZP6	10	8.6		
17ZP7	4.29	1.7		
17ZP8	1.58	1.8		
18ZP1	10	10		
18ZP2	4.62	5		
18ZP3	12	15		
18ZP4	5.45	6		
19ZP3	13.33			
19ZP6	1.54			
19ZP7	0.94			
19ZP10		4.3		
16IP8	1.03			
16IP9	20			
16IP10	20			
16IP11	20			
17IP1	4.29			
17IP2	5			
17IP4	3.75			

注:6月19日、6月30日结果为水电五局试验室实测资料,8月7日、11月7日结果为监理人员会同西北院人员现场实测资料。6月19日库水位 $\nabla 558.35\text{m}$ ,6月30日库水位 $\nabla 559.93\text{m}$ ,8月7日库水位 $\nabla 573.69\text{m}$ ,11月7日库水位 $\nabla 583.0\text{m}$ 。

1998年6月30日观测的16号~19号四个坝段,总计17个孔,出水量大于 $20\text{L}/\text{min}$ 的有2个

孔,最大 30 L/m in; 10~ 20 L/m in 的有 4 个孔; 5~ 10 L/m in 的有 4 个孔; 小于 5 L/m in 的 7 个孔,平均渗水量 8.45 L/m in。

1998 年 8 月 7 日观测的 16 号坝段主排 7 个孔,出水量大于 20 L/m in 的有 2 个孔; 10~ 20 L/m in 的有 3 个孔,小于 5 L/m in 的有 2 个孔,平均渗水量 15.39 L/m in。

1998 年 11 月 7 日观测的 16 号坝段主排 7 个孔,出水量大于 20 L/m in 的有 2 个孔,10~ 20 L/m in 的有 3 个孔,小于 5 L/m in 的有 2 个孔,平均渗水量 21.56 L/m in。

以上观测资料表明,16 号~ 18 号坝段坝基渗流量还较大,并且 16 号坝段排水孔排水量随着库水位的升高有明显的增大,从而也说明排水孔与库水有着较好的连通性。综合分析化灌及排水孔情况,有必要对 11 号~ 18 号坝段,特别是 15 号~ 18 号坝段坝基加强观测。根据观测情况再决定是否增加帷幕灌浆。若需增加帷幕灌浆,可在 A、B 排普通水泥灌浆帷幕之间增加一排灌浆帷幕,重点灌注 F4 断层及其上下盘影响带,防止其发生变形,产生管涌。丙烯酸类灌浆材料虽然具有粘度低、可灌性好、胶凝体无毒等优点,但价格较贵。原材料具有一定毒性,对操作人员有害,耐久性问题还有许多不明之处,并存在灌浆程序较繁琐等缺点,不易大范围施

工。建议使用超细水泥高压灌浆,孔距 1.5 m 浆液浓度采用水灰比 2:1,1:1,0.6:1 三个比级,可在浆液中加入适量的分散剂和非引气型减水剂,以解决超细水泥浆液粘度大、流动性差和扩散范围小;较稀浆液灌浆凝结过程中析水率大,结石不密实和灌浆施工中容易铸钻杆等缺点。灌浆时应采用灌浆自动记录仪和与施工单位结算时采用实际灌入量结算等方法,加强对帷幕灌浆质量的控制。

## 6 结 语

19 号~ 21 号坝段坝基通过化学灌浆,使 F4、F60 断层及其上下盘影响带部位的裂隙得到了有效的充填,达到了预期目的。化学灌浆施工技术工艺复杂,对原材料必须做到精确称量,对灌浆设备、管路等应经常保养和检查,以杜绝灌浆事故的发生。为节省浆材、降低成本,在吸浆量接近灌浆结束标准,而浆液又使用完毕的情况下,采用以水顶浆的技术措施是切实可行的,但需要在施工中精心操作,以保证灌浆工程质量。

作者简介:

王晓鸣(1962 年—),男,浙江义乌人,宝珠寺水电建设管理局工程管理部,助理工程师,现从事水工建筑工程监理工作。

(上接第 42 页)

组资料,结果如表 11 所示。

表 11 混凝土抗渗检测结果表

设计强度	设计抗渗标号	组数	实测抗渗标号/M Pa
R <sub>90</sub> 150	S <sub>4</sub>	16	> 0.4
		4	> 0.8
R <sub>90</sub> 200	S <sub>8</sub>	3	> 0.8
R <sub>90</sub> 250	S <sub>8</sub>	7	> 0.8

从上述资料得到大坝混凝土设计抗渗标号内部为 S<sub>4</sub>,其余为 S<sub>8</sub>。试验结果:90 d 龄期抗渗标号均大于 S<sub>8</sub>,从 28 d 到 90 d 龄期混凝土抗渗标号有较大的增长,抗渗标号的合格率为 100%。

## 6 混凝土质量评价及存在的问题

### 6.1 总体质量评价

根据以上的结果分析,按《水工混凝土施工规范》要求的标准,可以得出以下几点结论:

(1) 设计龄期为 28 d 的混凝土(除 R<sub>28</sub>150 外),强度保证率小于 80%,而未达到设计要求。

(2) 混凝土均匀性指标(离差系数)绝大部分属较差水平。

### 6.2 存在的主要问题及原因分析

(1) 混凝土原材料中水泥和粉煤灰、砂等的质量控制较好,但中石、大石、特大石的逊径严重,超过标准,因此,严重地影响了混凝土强度的均匀性。

(2) 水泥超秤量大于欠秤量,同时中石、大石的欠秤情况严重,这些是混凝土产生“超强”的主要原因之一,而且对大坝混凝土防裂有不利的影响。

(3) 拌和系统中电子秤存在问题较多,配料称量误差大,这也是混凝土质量不均匀的原因之一。

(4) 在质控过程中要减少人为因素的影响,而且混凝土质控人员对浇筑现场的取样重视不够,从而影响了工作的连贯性。

(5) 骨料的破碎和拌和系统的称量误差大,是混凝土质量不理想的主要原因之一。以后应加强这方面的管理,从而进一步地提高混凝土的质量水平。

作者简介:

李晨华(1968 年—),男,四川苍溪人,宝珠寺水电建设管理局工程管理部,工程师,学士,现从事水工建筑工程监理工作。