

福堂水电站调压井工程深孔预固结灌浆加固处理方法

龚丕仁¹, 冯杨文²

(1. 四川省地质工程勘察院, 四川 成都 610072; 2. 四川准达岩土工程有限责任公司, 四川 成都 610072)

摘 要:福堂水电站调压井断面大、井深, 井筒上部约 60 m 置于强卸荷 V 类松弛破碎围岩中, 围岩缺乏自稳能力, 成井条件极差。通过对井筒外圈中上部破碎带岩体采取深孔预固结灌浆和孔内安设钢筋束进行加固处理, 提高了中上部破碎岩体的完整性和成井能力, 确保了调压井开挖的快速、安全和顺利进行。

关键词:福堂水电站; 调压井; 固结灌浆; 钢筋束

中图分类号:TV543 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)S1-0239-05

1 工程概况

福堂水电站位于四川省阿坝州岷江主流上, 装机容量 360 MW。电站由首部枢纽、引水系统和厂区枢纽 3 大部分组成。拦河闸坝位于汶川县玉龙下游约 0.8 km 处, 沿岷江左岸傍山经引水隧洞(长约 19.23 km)、调压室、压力管道引水至福堂坝沟上游的地面厂房发电, 尾水直接注入岷江。厂址距成都 111 km, 距汶川县城 36 km。

调压井位于福堂坝沟与 1 号小沟之间呈 NE 向展布的长条形单薄山脊中的黑云母花岗岩岩体内, 地面标高约 1325 m, 设计为开敞式调压井, 断面为圆形, 开挖直径 31 m, 衬砌内径 27 m, 井筒高 111 m。调压井中上部井壁 1262 m 高程以上为强卸荷岩体, 结构面、裂隙发育, 部分呈松动或松散状态, 岩体完整性差, 属 V 类围岩。

该开敞圆筒差动式调压井位于单薄山脊中部, 井筒上部约 60 m 置于强卸荷 V 类松弛破碎围岩中, 围岩缺乏自稳能力, 成井条件很差, 这种大断面的高调压井及其恶劣的地质条件在我国尚属首例。这对调压井开挖施工构成十分严重的稳定安全威胁, 同时导井施工亦将十分困难。经过对大井开挖期间井壁围岩安全稳定的系统分析研究, 结合以往工程的经验教训, 在调压井开挖前, 对上部约 60 m 破碎带井段岩体采用深孔预固结灌浆和钢筋束进行加固处理, 从而确保了调压井施工安全顺利进行。

2 深孔预固结灌浆加固处理方案

为确保福堂水电站调压井开挖施工的安全, 在

开挖前, 对上部约 60 m 破碎带井段岩体采取了深孔预固结灌浆和孔内安设钢筋束进行加固处理。预固结灌浆孔底高程按 1260 m 控制。其主要方案如下(参见图 1)。

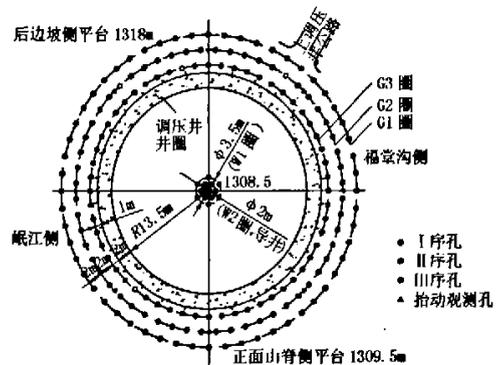


图 1 深孔预固结灌浆孔平面布置图

(1) 为确保导孔和导井的顺利施工, 在调压井中心 $\phi 3.52$ m 圆周上布置深孔固结灌浆孔, 分别为 W1、W2 圈, 孔与孔之间中心夹角为 60° 。每圈布置灌浆孔 6 个, 分两序施工。

(2) 为提高调压井施工工期围岩稳定性, 保证调压井开挖的施工安全及后期调压井的安全运行, 在井壁外圈 $\phi 41$ 、 37 、 33 m 圆周上呈梅花形布置 3 排深孔固结灌浆孔。

① 每排(圈) 56 孔, 排距 2 m, 分别为 G1、G2、G3 圈(排), 分三序施工。

② G3 圈距调压井开挖外缘 1 m。

③ 在 G2 圈布置抬动变形观测孔 8 个。

收稿日期: 2007-05-30

作者简介:龚丕仁(1970-), 男(汉族), 四川邻水人, 四川省地质工程勘察院工程师, 探矿工程专业, 从事岩土工程勘察、边坡治理、地基与基础处理工程等工作, 四川省成都市西青路 119 号; 冯杨文(1973-), 男(汉族), 重庆万州人, 四川准达岩土工程有限责任公司高级工程师, 探矿工程专业, 从事岩土工程勘察、岩土锚固工程、地基与基础处理工程、基坑支护工程、桩基与防渗墙工程等的施工及咨询工作, 四川省成都市青羊区浣花北路 1 号。

(3)为进一步增强施工期井壁的安全稳定性和调压井运行期安全可靠性及调压井边坡的稳定性,在G1、G2、G3圈预固结灌浆孔全孔灌浆结束后,在灌浆孔内下入钢筋束(2根 $\Phi 32$ mm钢筋、1根 $\Phi 32$ mm灌浆管)。

3 深孔预固结灌浆加固处理主要施工方法

3.1 预固结灌浆施工程序及施工原则

(1)为避免浆液扩散过大以及能使用较大灌浆压力进行灌注,结合类似施工经验,将固结灌浆分为封闭圈(排)、加密圈(排),先施工封闭圈(排),后施工加密圈(排)。其总体施工程序如下:

灌浆试验→封闭排(G1、G3、W1圈)灌浆施工(及G1、G3圈下钢筋束)→加密排(G2、W2圈)灌浆施工(及G2圈下钢筋束)→质量检查(钻孔取心、压水试验、声波测试)。

(2)在施灌顺序上,先灌内、外圈,再灌中间圈。内、外圈灌浆原则上以堵为主,对吃浆量偏大的孔段采取浓浆、加砂(采用泵灌方式)、间歇、限流、待凝等措施,以有效防止浆液流失,尽快达到周边封堵的目的;中间圈在不发生浆液流失的情况下,应正常灌注,尽量充填岩层裂隙。

3.2 混凝土盖重浇筑

深孔固结灌浆区域(0~ $\Phi 7.5$ m及 $\Phi 29$ ~45 m区域,圆心均为调压井中心)在灌浆施工前,浇筑厚度为1 m的C25混凝土作盖重。

3.3 抬动变形观测装置安装及抬动变形观测

(1)抬动变形观测孔钻孔使用CIR90潜孔锤进行冲击回转钻进,一径到底,单孔深30 m。不采取岩心,钻完后即安设抬动观测装置。

(2)抬动变形允许值为0.1 mm。

(3)在钻孔及裂隙冲洗、压水试验及在灌浆过程中均进行了抬动变形观测并将测试结果报送监理工程师。

3.4 灌浆孔分序

同排灌浆孔施工必须先施工I序孔,再施工II序孔,后施工III序孔,逐序加密。次序孔必须在前序孔已超前钻灌15 m后再开始钻进、灌浆。

为限制浆液向外侧远距离流失,必须先施工G1、G3、W1排(圈)孔,以形成封闭条件。

3.5 灌浆段长度分割

(1)根据调压井围岩体破碎、裂隙发育的特点,I、II序孔的段长控制在2~3 m,III序孔可适当加长至5~6 m。具体段长由实际岩性情况确定。

(2)在钻遇大裂隙及严重不返水(风)地段时,立即停止钻进,作为一段进行灌浆。

(3)灌浆段长度值划分如表1。

表1 灌浆段长度值

孔深/m	段长/m	孔深/m	段长/m
0~1	1	6~10	4
1~3	2	>10	5
3~6	3		

注:具体段长根据实际情况确定。

3.6 钻孔

(1)钻进方法

先导孔、取心孔及检查孔等采用金刚石回转钻进成孔。

其余灌浆孔采用风动潜孔锤冲击回转钻进成孔。

(2)孔口管埋设

孔口管埋设采用CIR110冲击器开孔钻进,深入基岩2 m左右。钻孔完毕,采用 $\Phi 108$ mm灌浆栓塞灌浆。灌浆完毕,将孔内浆液置换成掺有速凝剂的水灰比为0.5的水泥浆,安装带定中环的 $\Phi 108$ mm孔口管,待凝24 h。

(3)施工设备

潜孔锤冲击回转钻进采用的主要设备、机具:XY-2型液压回转潜孔式钻机;CIR110、CIR90冲击器;带扶正器的长钻具;电动空压机。

回转钻进采用的主要设备、机具:XY-2型液压回转钻机,3SNS灌浆泵; $\Phi 91$ 、75 mm金刚石钻具。

(4)严格执行冲击器或金刚石钻进操作规程。

3.7 钻孔及裂隙冲洗

(1)根据钻遇情况,确定钻孔冲洗及裂隙冲洗方法。

①金刚石回转钻进孔段一般采用压力水进行冲洗。

②风动潜孔锤冲击回转钻进孔段采用风水联合冲洗。

③不返水(风)的宽大裂隙孔段不进行冲洗。

(2)冲洗压力

①压水冲洗水压采用灌浆压力的80%,且不大于1 MPa。

②冲洗风压采用灌浆压力的50%,且不大于1 MPa。

(3)洗净标准:裂隙冲洗至回水澄清后10 min结束,且总的时间要求单孔不少于30 min;孔底残渣厚度 ≥ 20 cm。

3.8 压水试验

(1) 根据钻遇情况及裂隙冲洗情况,不返水(风)的宽大裂隙孔段不进行压水试验。

(2) 压水试验在钻孔及裂隙冲洗后进行。根据钻遇情况及监理工程师指示,可采用“简易压水”、“单点法”进行压水试验,按照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148-01)的有关规定进行。

① 先导孔、I 序孔和检查孔采用单点法进行压水试验。

② 其余灌浆孔采用简易压水试验。

3.9 制浆

(1) 灌浆材料

① 水泥:水泥强度等级为 32.5,应符合规定的质量标准,不使用受潮结块的水泥,水泥不存放过久,出厂期超过 3 个月的水泥不能使用。

② 水:灌浆用水符合《混凝土拌和用水标准》(JGJ 63-89)的规定,水温 ≥ 40 °C。

③ 细砂:为质地坚硬的天然砂或人工砂,粒径 ≥ 1.5 mm,细度模数 ≥ 2.0 , SO_3 含量 $< 1\%$,含泥量 $\geq 3\%$,有机物含量 $\geq 3\%$ 。

④ 粉煤灰:为精选的 I ~ II 级粉煤灰,不粗于同时使用的水泥,烧失量 $< 8\%$, SO_3 含量 $< 3\%$ 。

⑤ 外加剂:速凝剂,萘系高效减水剂 UNF-5。

(2) 浆液配制

① 设备:ZJ-400 型高速搅拌机。

② 配料:严格按设计配比配料,称量误差 $< 5\%$ 。水泥及掺合料(粉煤灰、砂)等固相材料采用质量称量法,水使用水表计量。

③ 搅拌:搅拌时间 ≤ 1 min,浆液在使用前用 40 目筛过滤,从开始制备至用完的时间 < 4 h。

④ 浆液搅拌均匀后,检测密度等性能指标符合要求后方可使用。

⑤ 浆液温度保持在 5 ~ 40 °C。

3.10 灌浆

(1) 灌浆方式、方法:孔口封闭、孔内循环、自上而下分段灌浆法。

(2) 灌浆设备、机具:XY-2 型钻机,3SNS 灌浆泵,GJ-1000 自动化灌浆操作系统,孔口封闭器,射浆管($\varnothing 50$ mm 钻杆)。

(3) 孔口封闭器及射浆管安装

所用孔口封闭器具备以下性能:在灌浆过程中,灌浆管可在孔口封闭器中心部位灵活地转动和升降,且不漏浆。

采用 $\varnothing 50$ mm 外平钻杆作射浆管。射浆管管口距孔底 ≥ 50 cm。

(4) 灌浆压力

① 灌浆压力参见表 2,具体根据实际情况确定。

表 2 灌浆压力值表

孔深/m	压力/MPa	孔深/m	压力/MPa
0~1	0.2	20~25	1.4
1~3	0.4	25~30	1.6
3~6	0.6	30~35	1.8
6~10	0.8	35~40	2.0
10~15	1.0	>40	2.5
15~20	1.2		

② 后次序孔的灌浆压力可较前次序孔依次提高 15% 左右。

③ 灌浆压力与注入率的协调关系参见表 3。

表 3 灌浆压力与注入率关系表

灌浆吸浆率/(L·min ⁻¹)	灌浆压力最大使用值/MPa
>30	0.4P
30~20	0.6P
20~10	0.8P
<10	P

注:P 为对应孔段的灌浆压力。

④ 灌浆泵和灌浆孔口处均安装经率定合格的压力表,进浆管路亦安装压力表。鉴于使用灌浆自动记录仪,则孔口回浆管压力表由压力传感器代替。因此,灌浆压力以孔口回浆管压力传感器读数为准。

(5) 浆液配比

鉴于调压井围岩体破碎、裂隙发育,不宜使用较稀的浆液。浆液水灰比采用 2、1、0.8、0.6、0.5 五个重量比级,起灌水灰比采用 2。浆液根据施工顺序、灌浆情况及地质体条件进行调整。

施工顺序为先施工内外圈,再施工中间圈。内外圈以“堵”为主,对吃浆量偏大的孔段采取“浓浆、加砂(泵灌方式)、限流、间歇”等措施。使用的浆液情况如下:

① 外圈 G1、W1 圈及内圈 G3 圈的 I 序孔用浓浆(水灰比为 0.5、0.4)、砂浆(灰砂比 1: 0.5~1: 1)先充填后再正常灌浆至结束,II、III 序孔根据情况采用浓浆灌注或按正常比级灌注。对于宽大裂隙及耗浆量大的孔段必须采用砂浆(水:水泥:砂 = 0.5: 1: 1)灌注,对于吃浆量较大,并须采用水泥浆灌注的地质体,可适量掺入粉煤灰。

② 加密圈 W2、G2 圈所用浆液水灰比采用 2、1、0.8、0.6、0.5 五个比级,根据实际情况进行调整。

(6) 浆液比级变换

浆液应由稀到浓逐级变换。变换标准如下:

①当灌浆压力保持不变,注入率持续减少时,或当注入率保持不变而灌浆压力持续升高时,不得改变水灰比;

②当某一级浆液注入量已达 300 L 以上,或灌注时间已达 1 h,而灌浆压力和注入率均无显著改变时,应换浓一级水灰比浆液灌注;

③当注入率 $> 30 \text{ L/min}$ 时,根据施工具体情况,可越级变浓。

④按规定变换浆液浓度后,如发现压力突然增大或单位吸浆量突然减少,则说明浆液浓度变换得不适当,这时应尽快地换回原浓度的浆液,继续灌注。

(7) 回浆量控制

灌浆过程中经常转动和上下活动灌浆管,且保持回浆量 $> 15 \text{ L/min}$,防止灌浆管在孔内被水泥凝固住,造成灌浆中断。

3.11 灌浆结束标准

同时满足下述 2 个条件后,方可结束灌浆:

(1)在设计压力下,注入率 $> 1 \text{ L/min}$ 时,延续灌注时间 $> 90 \text{ min}$;

(2)灌浆全过程中,在设计压力下的灌浆时间 $> 120 \text{ min}$ 。

3.12 特殊情况处理

(1)灌浆过程中,随时测量进浆和回浆密度,注意回浆是否返浓。当回浆变浓时,换用与进浆相同水灰比的新浆进行灌注,若效果不明显,延续灌注 30 min,即可停止灌注。

(2)灌浆段注入量大,灌浆难于结束时,根据具体情况采用低压、浓浆、限流、限量、间歇灌浆、掺加速凝剂、待凝等措施处理。处理后扫孔重新灌浆至结束。具体措施如下。

①采用水灰比 0.4 (掺加 0.5% 的减水剂 UNF-5) 的浓浆进行灌注,限制注入率在 20 L/min 内,以减慢浆液在缝隙里的流动速度,促使尽快沉积,减小浆液的扩散范围。

②灌注稠的水泥砂浆,水灰比为 0.5。根据灌注情况,掺砂量按水泥质量的 10%、20%、30%、40%、50%……逐步增加,根据实际情况采用泵灌或孔口冲砂灌注。

③在水灰比为 0.5 的水泥浆中掺加粉煤灰,粉煤灰掺加量由试验确定。

④限量间歇灌浆,以促使浆液在静止状态下沉

积,将通道堵住。每次间歇前灌入的水泥量和间歇时间,视灌浆情况而定,一般按每次灌入水泥 $200 \sim 500 \text{ kg/m}$ 、间歇 2 h 掌握。

⑤在水灰比为 0.5 的水泥浆中掺加速凝剂,促使尽快凝结。

(3)在钻进过程中,若遇返风极小或不返风的情况,则可判定是钻遇断层、大的裂隙、空腔。此时,无论该段多长,均作为一段灌注,处理措施如下。

①处理原则:先堵后灌。

②封堵措施:采用砂浆灌注,水灰比 0.5,灰砂比 1: 0.5~1: 1。

③在浆液中掺加速凝剂。

④灌注浓浆、砂浆时采用分级升压法,控制浆液流动半径,减少并限制注入率。

⑤按以上措施处理过的孔段,应在待凝至少 24 h 后进行扫孔,并从开灌水灰比重新起灌,直至正常结束,以充分保障恢复围岩的整体性,达到加固的目的。

3.13 终孔检测

钻孔至终孔深度时,及时报请监理工程师进行验收,合格后进行钢筋束安装及灌浆孔封孔。

3.14 钢筋束安装

(1)终孔段灌浆结束后,冲洗钻孔,保持钻孔清洁。

(2)下入钢筋束(2 根 $\phi 32 \text{ mm}$ 钢筋,1 根 $\phi 32 \text{ mm}$ 灌浆管)。

将分段钢筋束焊接安装(如图 2),焊接符合规范要求。钢筋束高度低于孔口管 0.3 m。

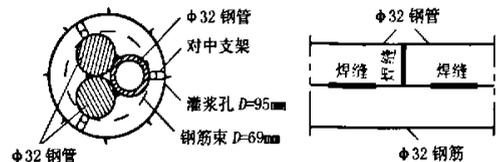


图 2 钢筋束安装示意图

3.15 封孔

(1) 不安装钢筋束的灌浆孔封孔方法

采用置换和压力灌浆封孔法封孔。全孔灌浆结束后,用水灰比为 0.5 的水泥浆置换孔内浆液并取出所用灌浆管后,用水灰比为 0.5 的水泥浆纯压 30 min,压力为最大灌浆压力。

待孔内水泥浆液凝固后,采用机械压浆法封堵灌浆孔上部少许空余部分。

(2) 安装钢筋束的灌浆孔封孔方法

下入钢筋束后,通过下入的 $\varnothing 32$ mm 灌浆管将水灰比为 0.5 的水泥浆注入孔内,在孔口纯压 30 min,压力为最大灌浆压力。

4 灌浆效果

4.1 耗灰量

由于井筒上部岩体卸荷裂隙极其发育,很容易发生浆液大量流失现象。施工过程中,先施工内外圈,再施工中间圈,内外圈以“堵”为主,对吃浆量偏大的孔段采取“浓浆、加砂(泵灌方式)、限流、间歇”等措施,取得了较好的效果,固结灌浆水泥耗量平均为 899 kg/m。

4.2 灌浆效果检查

灌浆结束后,采取钻孔取心、压水试验、声波测试等手段对灌浆效果进行了检查。

钻孔取心及压水检查结果表明,岩心获得率较高、水泥结石充填较好,大部分孔段吕容值在 20 Lu 以下。根据声波测试结果,声波平均值 V_p 在 2500 m/s 以上,10~40 m 范围在 3000 m/s,40 m 后声波值在 4000 m/s 以上。说明固结灌浆效果显著。

开挖过程中未发生较大的坍塌现象,岩体裂隙内浆液充填较为密实,局部水泥充填厚度达 50 cm,灌浆后岩体完整性明显提高。

4.3 开挖效果

由于导井(溜渣井)周围已进行固结灌浆护壁,在不增加临时支护的前提下,溜井井径由原设计的

(上接第 238 页)

果比较显著,达到了预期的目的。

5.2 效益分析

五矿 14、11、2 导水通道进行帷幕注浆截流之后,井下涌水量发生明显变化,其中庚₂₀-21070 机巷预计涌水量最大为 280 m³/h,掘进时正常涌水量仅为 50~60 m³/h;庚一皮带上山预计涌水量为 500 m³/h,实际为 50~60 m³/h;庚₂₀-21070 回风巷预计最大涌水量 300 m³/h,实际小于 10 m³/h;己₁₆₋₁₇-21071 机巷突水点雨季涌水量高达 350 m³/h,目

2.0 m 扩大到 3.0 m,有效地防止了溜井被堵塞,使施工进度明显加快,并降低了施工成本。

开挖实践表明,由于导井(溜渣井)圈、大井圈预先进行了固结灌浆护壁,从而扩大了溜井井径以及避免了开挖过程中井壁围岩发生较大的坍塌,给开挖安全、顺利施工提供了先期保障,加之采用了合理的开挖程序、倒挂混凝土衬砌以及机械扒渣等快速开挖技术,使福堂水电站调压井工程开挖工期由原计划的 18 个月缩短到 12 个月。

5 结语

福堂水电站调压井断面大,井筒上部约 60 m 置于强卸荷 V 类松弛破碎围岩中,围岩缺乏自稳能力,成井条件极差,给调压井开挖施工带来十分严重的安全威胁。通过对上部约 60 m 破碎带井段岩体采取深孔预固结灌浆和钢筋束进行加固处理,提高了中上部破碎岩体的完整性和成井能力,确保了调压井导井施工、调压井大井开挖的安全顺利进行。本工程的施工经验对以后类似的工程具有一定的参考借鉴作用。

深孔预固结灌浆过程中,采取了“先周边低压封堵,再中间升压灌注”的方法,有效地避免了浆液扩散过远,亦使中间圈的灌浆压力得以提高,从而提高了灌浆效果。此方法对其它工程的灌浆亦具有重要的指导意义。

前已降至 120 m³/h 左右。矿井涌水量的明显降低,直接减少了治水费用的投入,节省了大量的人力、物力、财力,确保了矿井安全生产,提高了采掘进度,增加了煤炭产量,降低了生产成本,取得了较为显著的社会经济效益。

注:本文参考了平煤集团五矿开采庚组煤层防治水方案(平煤集团五矿焦作工学院,2004)和平煤集团五矿庚组煤层瞬变电磁法探水报告(中国煤炭地质总局物测队,2004)。