

# 宝泉抽水蓄能电站引水系统上斜井古风化壳地层灌浆处理

崔雪玉, 赵涵滢, 潘涛, 李明

(中国水利水电第一工程局基础工程分局, 辽宁大连 116041)

**摘要:**宝泉抽水蓄能电站引水系统上斜井开挖揭示, 在高程 668.000 ~ 651.000 m 和高程 526.000 ~ 514.000 m 处, 分别穿过古风化壳地层。古风化壳地层岩石极为破碎, 夹泥较多, 基岩裂隙发育, 地下水丰富, 透水率较大。古风化壳地层段地层的灌浆处理, 成为斜井开挖能否顺利通过该地层的关键, 并且直接影响着电站的安全、稳定运行。针对上述问题, 通过采取阻水帷幕、高压固结、锥形帷幕灌浆几种方法联合处理, 取得了满意的效果。详细介绍了具体的灌浆处理技术措施, 分析了处理效果。

**关键词:**宝泉抽水蓄能电站; 引水系统; 上斜井; 古风化壳; 阻水帷幕; 锥形帷幕灌浆

**中图分类号:**TV543 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)12-0028-07

**Grouting Treatment on Upper Inclined Shaft of Water Diversion System in Ancient Weathering Crust/CUI Xue-yu, ZHAO Han-ying, PAN Tao, LI Ming** (Foundation Engineering Branch, Sinohydro Engineering Bureau No. 1, Dalian Liaoning 116041, China)

**Abstract:** The excavation for upper inclined shaft of water diversion system of Baoquan Pumped-storage power plant revealed that in the elevation of 668.000 ~ 651.000 m and 526.000 ~ 514.000 m, the ancient weathering crust was separately drilled through. The rock in ancient weathering crust is rather broken with much slob, bedrock fracture, abundant groundwater and large pervious rate. Grouting of ancient weathering crust becomes the most important step in inclined well excavation, and directly influences the safety and steady operation of pumped-storage power plant.

**Key words:** Baoquan pumped-storage power plant; water diversion system; upper inclined shaft; ancient weathering crust; water-block curtain grouting; cone curtain grouting

## 1 工程概述

河南宝泉抽水蓄能电站位于河南省新乡市辉县簿壁镇大王庙以上 2.4 km 的峪河上, 距辉县市约 35 km, 距新乡市约 57 km。该电站是一座日调节纯抽水蓄能电站, 4 台单机容量为 300 MW 立轴单级混流可逆式水泵水轮机组, 总装机容量为 1200 MW。

灌浆工程主要分布在引水上平洞、上斜井、中平洞、下斜井、下平洞、岔管、高压支管及 A1、B1、B3 排水廊道等部位。主要项目为回填灌浆、固结灌浆、帷幕灌浆、接触灌浆等灌浆项目, 最大固结灌浆压力为 8.5 MPa, 在国内蓄能电站灌浆工程中属于高压灌浆。

1 号上斜井长 398.08 m, 2 号上斜井长 393.74 m。洞向为 NE55°E, 倾角 50°, 开挖洞径 7.5 ~ 8.9 m, 衬砌后洞径为 6.5 m。

上斜井都穿过上下古风化壳, 由于古风化壳地

层跨越长度较大, 岩石风化严重, 夹泥较多, 基岩裂隙发育, 地下水量丰富, 在开挖过程中古风化壳部位均出现塌方现象, 拟采用超前小导管固结灌浆, 没有成功, 后改为阻水帷幕灌浆。混凝土衬砌结束后, 砼表面大部分呈隐湿状, 部分砼裂缝有射流现象。为加固衬砌的稳定性及安全性, 设计单位对上下两个古风化壳地段增加了加强固结灌浆, 由原来的 5 m 孔深修改成 8 m, 上古风化壳段固结灌浆压力采用 3 ~ 4 MPa, 下古风化壳段固结灌浆压力采用 5 ~ 6 MPa。同时考虑影响引水系统运行的安全和稳定性, 又分别在 2 条上斜井增加了锥形帷幕灌浆项目, 对该段斜井围岩进行强化加固处理。锥形帷幕灌浆设计共分为 7 层, 上古风化壳分为 4 层, 高程分别为 ∇ 678.600、672.000、665.400、658.800 m; 下古风化壳分为 3 层, 高程分别为 ∇ 534.900、528.900、522.900 m。上古风化壳灌浆压为 3 ~ 4 MPa, 下古风化壳灌浆压力为 5 ~ 6 MPa。

收稿日期: 2008-06-26

**作者简介:**崔雪玉(1970-), 女(汉族), 内蒙古武川人, 中国水利水电第一工程局基础工程分局副局长、高级工程师, 水文地质与工程地质专业, 从事水工建筑物基础处理工作, 辽宁省大连市旅顺口区中水山庄, cuixueyu1988313@163.com; 赵涵滢(1970-), 男(汉族), 辽宁新民人, 中国水利水电第一工程局基础工程分局项目总工程师、工程师, 水工专业, 从事水工建筑物基础处理工作; 潘涛(1968-), 男(汉族), 吉林人, 中国水利水电第一工程局基础工程分局项目工程部部长、技术员, 水工专业, 从事水工建筑物基础处理工作; 李明(1983-), 男(汉族), 河北吴桥人, 中国水利水电第一工程局基础工程分局项目工程部部长、技术员, 计算机应用和维护专业, 从事水工建筑物基础处理工作。

下面以 1 号上斜井上古风化壳为例,详细说明灌浆处理的方法和成果。

## 2 1 号上斜井上古风化壳地质资料

根据导洞、扩挖施工揭示,元古界汝阳群顶部的古风化壳(即上古风化壳)在 1 号上斜井的出露高程为 651.00 ~ 663.00 m,上部为寒武系下部的馒头组、下部为太古界汝阳群上部。

寒武系下部的馒头组岩性以泥灰岩为主,夹钙质页岩、粉砂质页岩、灰岩和白云岩等,地层近水平,尤其  $\epsilon_1 m^1$  以灰岩、泥灰岩为主,层间节理、小断层及褶皱发育,岩体破碎,溶孔、小溶洞及溶蚀裂隙发育,节理以  $N20^\circ - 50^\circ E$  和近 EW 向陡倾角为主,并发育有延伸长、连通性好的层面节理。根据钻孔压水试验成果统计及分析,寒武系地层透水率普遍较大,以中等透水性为主,为强透水层和良好的含水层。

汝阳群顶部岩层风化及构造节理发育,岩体较破碎~完整性差,以中等透水性为主,裂隙中赋存了大量的地下水,也是良好的含水层。汝阳群岩性为巨厚~厚层状、细~粗粒的浅变质石英岩状砂岩夹薄层状的泥质粉砂岩、粉砂质页岩等,岩层近水平,岩质坚硬,  $N50^\circ - 60^\circ W$  和近 EW 向陡倾角节理发育,并有延伸长、连通性好的层面节理分布,顶部的古风化壳以强风化岩石为主,偶夹弱风化岩块,下部的弱风化岩体较破碎~完整性差。

根据开挖施工揭示,该段围岩遇水极易崩解泥化、坍塌,在导井施工后期,制作的钢支撑支护出现了较大的变形。根据地质资料分析和现场出水量量测,该段围岩出(涌)水与大气降水关系密切。根据表 1 数据分析说明,1 号上斜井渗水点主要为上古风化壳地段。

表 1 1 号上斜井最大出水量统计表

施工时段	量测时间	出水量/( $m^3 \cdot h^{-1}$ )
正导井	2005.05.15	28
反导井	2005.07.03	7
贯通后	2005.10.24	85
灌浆前	2005.11.23	38
灌浆后	2005.12.23	6.5
扩挖期	2006.05.16	9.1

## 3 超前小导管固结灌浆

为优化小导管注浆施工工艺,选择合适的灌浆方法、灌浆浆液、灌浆工艺、灌浆压力和灌浆结束标准以及双液浆液的初凝时间、终凝时间,是否掺缓凝

剂等,选定合理的施工参数,依据宝泉引水系统工程施工合同文件、小导管超前注浆施工技术要求,选取在 1 号上斜井古风化壳扩挖掌子面上,进行现场工艺性灌浆试验施工。

### 3.1 位置选择

试验时因 1 号上斜井扩挖已到上部古风化壳,而且只有现场做工艺性试验才能较好的选择注浆参数,为实际施工做好准备。在 1 号上斜井上部古风化壳扩挖掌子面上布置 34 个试验孔进行小导管注浆现场工艺性试验。

### 3.2 孔位布置、钻孔施工

严格按设计要求布孔,采用 YT28 型风钻钻孔,严格控制小导管的位置、间距、孔深和外插角度,保证每环小导管形成封闭均匀的环形。

### 3.3 导管加工

保证小导管的制作质量,尤其前端锥体的加工质量,管身必须顺直,顶部做成尖锥状,管壁按梅花形布置溢浆孔,孔径 6 ~ 8 mm,间距 15 cm。

### 3.4 安装导管

钻孔完成后,将小导管插入钻孔内,不容易安装时采用冲击套将小导管顶入岩层,安装时小导管尾部周围用棉纱+速凝水泥砂浆封堵严实,注浆管外露 20 cm。

### 3.5 注浆参数选择

采取纯压式灌浆,自底拱向两侧拱方向注浆,始终自低处向高处注浆。初步从水泥浆液水灰比 1.5、水泥浆与水玻璃体积比 1:1 开始灌注,逐步调整到合适浆液配比。先固定水玻璃 40 Be 不变,变换水泥浆液水灰比从 1.5 开始至 1.25、1;另一种方法是固定水泥浆水灰比不变,变换水玻璃浓度从 40 Be 开始至 38、36、35 Be。灌浆压力从 0.5 ~ 2.5 MPa 逐级加压,密切观察,选择合适的灌浆压力。尤其对于渗水部位注浆必须给予高度重视。

### 3.6 试验结果

通过现场试验发现:一是由于古风化壳岩石破碎,塌孔现象较为普遍,致使小导管安装的成功率很低;二是由于古风化壳含水量较大,漏水严重,在导洞已经形成的部位浆液大部分都随水流流到导洞里,很难形成固结层,为此放弃了小导管施工方案,改为阻水帷幕灌浆施工。

## 4 阻水帷幕灌浆

为达到阻水目的,拟定采用帷幕阻水灌浆施工方案阻水,在 1 号上斜井上部古风化壳现扩挖部位

进行帷幕阻水灌浆施工试验,并为优化帷幕阻水灌浆施工工艺,选择合适的灌浆方法、灌浆浆液、灌浆工艺、灌浆压力和灌浆结束标准,选定合理的施工参数,同时检验确定阻水效果。试验区域选定在EL675.4高程部位布设15个灌浆孔进行灌浆试验,外插角定为 $25^\circ$ ,每个孔孔深暂定为10 m,采用分段卡塞循环式灌注方式。孔位布置见图1。

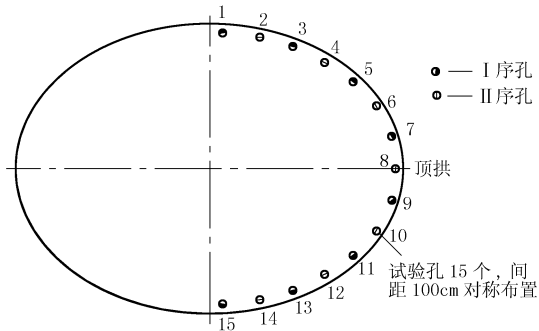


图1 1号上斜井帷幕阻水灌浆试验孔位布置图

#### 4.1 位置选择

试验孔开孔布置在高程675.40 m位置的椭圆洞壁上,在该位置搭设满堂红脚手架,形成一个钻孔灌浆施工平台,拟在渗水量较大的部位布置15个试验孔,孔距100 cm。

#### 4.2 钻孔

严格按设计要求布孔,采用SGZ-ⅢA型地质钻机钻孔,布设2个先导孔,埋设 $\varnothing 89$  mm孔口管,采用水泥-水玻璃浆液埋设,待凝24 h,孔口管入岩2 m,然后采用 $\varnothing 75$  mm钻进取心,采用孔口封闭、孔内循环、自上而下分段灌浆的方法,先导孔保留岩心,编号、装箱保存、拍照,并作岩性描述,作钻孔柱状图。基本孔孔径为60 mm。严格控制钻孔的位置、间距、孔深和外插角度,保证最终形成封闭均匀的帷幕止水墙。

#### 4.3 钻孔冲洗及压水试验

##### 4.3.1 钻孔冲洗

灌浆孔段灌浆前钻孔冲洗,孔底沉淀厚度 $\geq 20$  cm,采用压力水进行裂隙冲洗,冲洗有效压力采用该段灌浆压力的80%,大于1.0 MPa时,则采用1.0 MPa,直至回水变清为止。

##### 4.3.2 压水试验

所有试验孔压水试验均采用单点法,压水压力采用该段灌浆压力的80%,大于1.0 MPa时,则采用1.0 MPa,压力按孔口回水压力控制,按有效压力计算吕荣值。压水试验每5 min测读一次压入流量,连续4次读数中最大值与最小值之差小于最终

值的10%,或最大值与最小值之差 $< 1.0$  L/min时,压水试验结束。

#### 4.4 选择灌浆参数

采取分段卡塞、孔内循环、自上而下分段灌浆的方法,供浆采用上下各两部对讲机密切联系。采用普通浆液,水灰比为2、1、0.8、0.6、0.5五个比级,逐级变浓浆液。根据耗浆量情况,也可在水泥浆液中掺入砂、粉煤灰等其他掺合料或者水玻璃速凝剂。灌浆压力以孔口回浆管压力为准,第一段段长4 m,灌浆压力暂定为0.8 MPa,第二段段长6 m,灌浆压力暂定为1.5 MPa。逐级加压,密切观察,选择合适的灌浆压力。灌浆结束标准为:在规定的压力下,注入率 $> 1$  L/min时,继续灌注30 min,灌浆可以结束。

#### 4.5 试验孔成果分析

##### 4.5.1 I、II序灌浆孔压水情况比较

I序孔压水试验透水率多数较大,小于1 Lu的试段占5.9%、1~5 Lu的试段占11.8%、5~10 Lu的试段占11.8%、10~100 Lu的试段占23.5%,大于100 Lu的试段占47.1%。

II序孔的压水吕荣值有所减小,小于1 Lu的试段占7.1%、1~5 Lu的试段占14.3%、5~10 Lu的试段占35.7%、10~100 Lu的试段占14.3%,大于100 Lu的试段占28.6%,吕荣值大的主要原因是表面漏水。

I序孔与II序孔的差别很明显,这说明灌浆效果显著。压水累计频率曲线见图2。

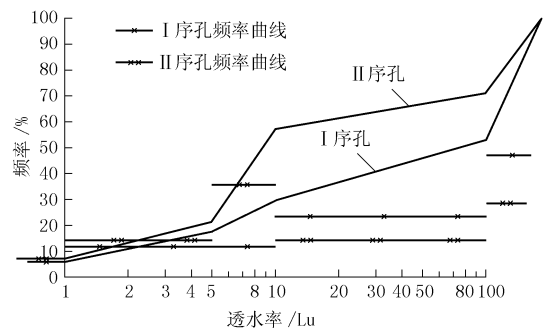


图2 1号上斜井帷幕阻水灌浆试验区域I、II序孔透水率频率累计曲线图

##### 4.5.2 孔序间水泥单位注入量的对比(见表2)

表2 阻水帷幕灌浆试验区域各孔序单位注入量对比表

孔序	孔数 / 个	灌浆总长 / m	总耗灰量 / kg	单位注入量 / (kg·m <sup>-1</sup> )	递减率 / %
I	8	85	16804.2	197.7	
II	7	70	4771.6	68.2	65.50
合计	15	155	21575.8	139.2	

由表 2 可见, I、II 孔序间单位注入率随孔序的递减明显, 递减率较高, 从频率累计曲线上可直观的看到这种递减趋势, 这表明灌浆效果良好。各次序孔单位注入量频率曲线及频率累计曲线见图 3。

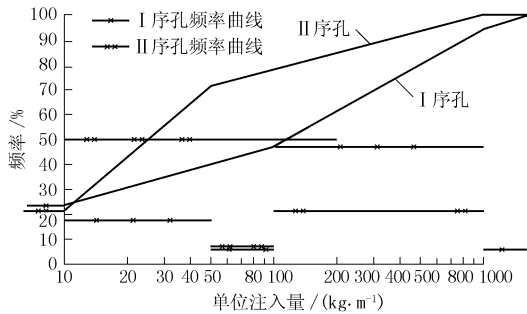


图 3 1 号上斜井帷幕阻水灌浆试验区域各次序孔单位注入量频率累计曲线图

通过实验结果分析, 可知阻水帷幕施工不但对围岩进行了一定程度的固结, 还大大减少了洞壁的渗水量, 可以满足古风化壳扩挖的要求。

经过试验孔灌浆结果充分的论证, 该施工办法得到认可。为了加强古风化壳地层的阻水效果, 在 1 号上斜井上部古风化壳 EL675.4 m 部位又布置了 30 个孔, 中心线上游半环孔向外倾斜 16°, 中心线下游半环孔向外倾斜 15°, 孔深 23.4 ~ 37.3 m; 在 1 号上斜井下古风化壳 EL528 m 部位布设灌浆孔 12 个, 左右两侧对称, 间距约 175 cm, 孔深 8.5 ~ 19 m, 中心线上下游均向外侧倾斜 25°。具体布置见图 4、图 5。

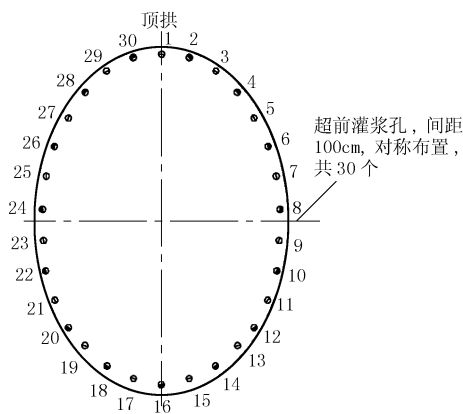


图 4 帷幕阻水灌浆工程第一单元灌浆孔布置图

#### 4.6 古风化壳灌浆孔成果分析

##### 4.6.1 I、II 序孔压水情况比较

I 序孔压水试验透水率多数较大, 小于 1 Lu 的试段没有, 1 ~ 5 Lu 的试段占 51.7%, 5 ~ 10 Lu 的试段占 10.3%, 10 ~ 100 Lu 的试段占 6.9%, 大于 100 Lu 的试段占 31.0%。

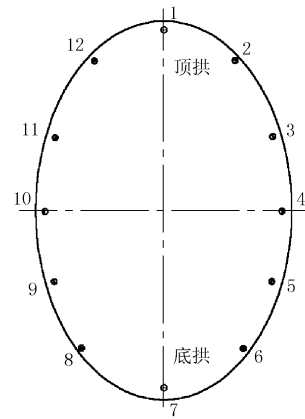


图 5 帷幕阻水灌浆工程第三单元灌浆孔布置图

II 序孔的压水吕荣值有所减小, 小于 1 Lu 的试段占 27.7%, 1 ~ 5 Lu 的试段占 52.3%, 5 ~ 10 Lu 的试段占 1.5%, 10 ~ 100 Lu 的试段占 12.3%, 大于 100 Lu 的试段占 6.2%。

I 序孔与 II 序孔的差别很明显, 这说明灌浆效果显著。

由于很多施工段压水时压力为零, 流量很大, 计算吕荣值为无穷大, 所以这里提到的透水率仅为评定帷幕阻水效果的参考性资料。

##### 4.6.2 孔序间水泥单位注入量的对比(见表 3)

表 3 古风化壳帷幕阻水灌浆各孔序单位注入量对比表

孔序	孔数 / 个	灌浆总长 / m	总耗灰量 / kg	单位注入量 / (kg·m <sup>-1</sup> )	递减率 / %
I	15	455.7	89264.6	195.9	
II	15	455.0	25705.0	56.5	71.16
合计	30	910.7	114969.6	126.2	

由表 3 可见, I、II 孔序间单位注入率随孔序的递减明显, 递减率较高, 从频率累计曲线上可直观的看到这种递减趋势, 这表明灌浆效果良好。

##### 4.6.3 灌浆前后渗漏水情况对比

灌浆前, 施工平台下面导井内及边侧部位大量涌水; 灌浆后, 涌水现象基本消除。12 月 20 日通过量水堰观测渗水量为 16 m<sup>3</sup>/h, 比开灌前大大减少。如 GFH1 - A19 - P 孔在钻第 3 段(8 ~ 15 m)至 11 m 时孔内漏水, 灌浆时发现在小导井内多处漏浆, 间歇 4 次, 后采取灌注砂浆的方法处理, 但流量减小幅度不大, 灌注水泥 7317.4 kg, 灌注砂 1652.54 kg 后中停待凝 24 h; 第一次扫孔复灌 7118.4 kg 水泥后正常结束, 发现小导井内原漏水点已不再渗漏, 灌浆效果相当明显。

下古风化壳的灌浆成果与上古风化壳相类似, 不再详细介绍。

通过阻水帷幕灌浆,达到的固结和阻水的2个目的,为斜井顺利扩挖(开挖)提供了有利的保证。

## 5 固结灌浆

隧洞衬砌结束后,按照设计要求对古风化壳进

行了固结灌浆,固结灌浆采用梅花形布置,每环12个孔,环间间距为2 m,灌浆压力为3 MPa,由于岩石破碎,固结灌浆孔深由原设计的5 m增加到8 m。灌浆采用环间分序,环内加密的施工顺序进行,孔位布置见图6。

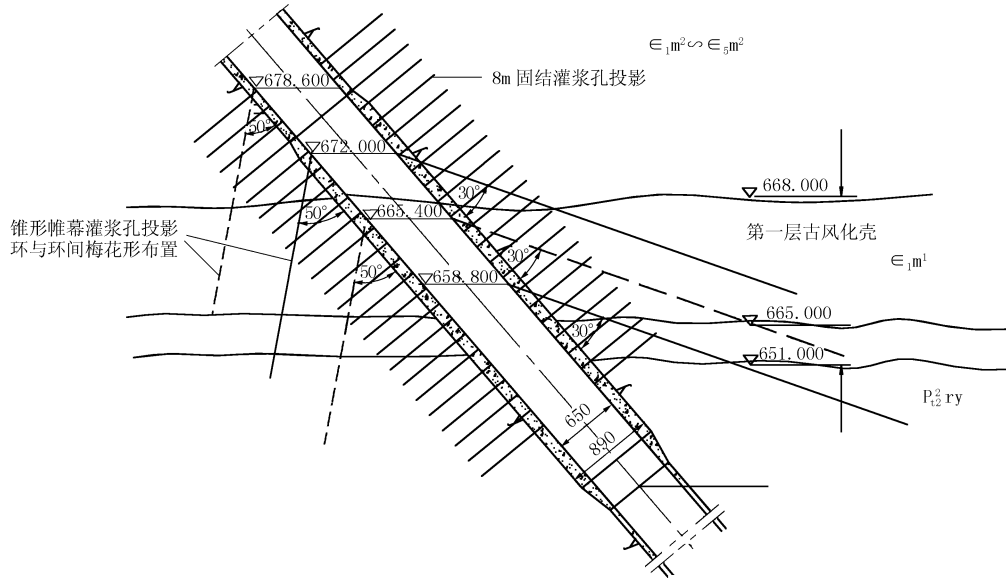


图6 1号引水隧洞上斜井古风化壳部位固结灌浆、锥形帷幕灌浆孔位布置剖面图

1号上斜井上古风化壳灌浆结果分析表明:灌前压水最大透水率3.3 Lu, I序孔平均单耗为67.4 kg/m, II序孔平均单耗为6.54 kg/m,并且灌后检查孔压水透水率均小于1 Lu。

固结灌浆结束后,还有少部分混凝土衬砌段有润湿现象,为了加固隧洞围岩的稳定行,延长渗水渗径,保证斜井运行的安全,在古风化壳部位增加了锥形帷幕灌浆。

## 6 锥形帷幕灌浆

### 6.1 锥形帷幕灌浆施工工艺

锥形帷幕灌浆施工采用孔口封闭灌浆法,排与排之间灌浆孔呈梅花形布置,环内按分序加密原则进行,灌浆孔按I、II两序施工。

首先进行先导孔的钻孔和灌浆,在每个高程施工平台上均布置先导孔,以充分了解古风化壳地层的岩石情况,便于施工中采取相应的施工措施

#### 6.1.1 钻孔

所有钻孔统一编号,且注明各孔次序。钻孔施工过程中详细完整地记录岩层、岩性和各种异常情况,如岩石破碎、掉块、夹泥、漏水、涌水等。

##### 6.1.1.1 钻孔孔径

帷幕灌浆孔孔径60 mm,孔口段孔径91 mm,检

查孔孔径75 mm。

##### 6.1.1.2 钻孔孔位和孔深(见图6)

帷幕灌浆孔与设计孔位偏差 $\geq 10$  cm,因故变更孔位时,须征得监理工程师的同意。

钻孔孔深必须达到设计孔深、孔底残留 $\geq 20$  cm。

##### 6.1.1.3 孔向

钻孔过程中,必须保证孔向准确,钻机固定平稳、牢固。埋设孔口管要孔向准确,立轴与孔口管倾角、方位匹配。特别要注意钻孔开孔后,深度20 m范围内一定要保证孔向准确。钻孔施工过程中采用较长粗径钻具,适当控制钻进压力,保持均匀的进尺速度。由于在砧和岩石之间,埋有较多的观测仪器,开孔时适当调整预埋部位的孔向和角度,保证预埋电缆的完好。

##### 6.1.1.4 岩心描述

先导孔、检查孔岩心妥善保管,岩性描述准确清楚,照相后存档永久保存。

##### 6.1.1.5 孔口管镶铸

孔口管镶铸必须结实,其长度根据浇筑砧的厚度来确定,遇到涌水情况,采取加速凝剂、加长屏浆时间或采用化学灌浆及用钻机带动孔口管边加压边转动等方法,孔口段采用灌浆塞进行灌浆,而后进行

孔口管镶铸施工。

6.1.2 钻孔冲洗和压水试验

所有钻孔灌浆前均进行钻孔冲洗,所有先导孔和检查孔分段进行五点法压水试验,其他灌浆孔灌浆前做简易压水试验。

6.1.2.1 钻孔冲洗

各灌浆孔(段)在灌浆前采用压力水进行裂隙冲洗,直至回水清净时止或冲洗 20 min 止。冲洗压力可为灌浆压力的 80%,并不大于 1 MPa。

6.1.2.2 压水试验

先导孔和检查孔采用五点法压水试验,采用 3 个压力 5 个阶段(0.3,0.6,1.0,0.6,0.3 MPa)进行,段长与灌浆段长一致,一般为 5 m,特殊情况下可适当缩减或加长,但不得大于 6 m,压力按孔口回水压力控制,按有效压力计算透水率,其它孔段采用简易压水试验,压力为灌浆压力的 80%,并不大于 1 MPa,压水时间 20 min,每 5 min 测读一次压入流量。不需达到稳定。段长与灌浆段长一致,按有效压力计算透水率,取最后的流量值作为计算流量,其成果以透水率 q 表示,单位为吕荣(Lu)。

6.1.3 帷幕灌浆

6.1.3.1 灌浆方法

帷幕灌浆宜采用自上而下、孔口封闭、孔内循环的灌浆方法。镶铸 Ø89 mm 孔口管(无缝钢管),孔口段灌浆后埋设孔口管。以下各段采用孔口封闭法施灌。钻进结束待灌浆或灌浆结束待钻进时,孔口要妥善保护。

6.1.3.2 灌浆压力

各帷幕灌浆段的有效压力见表 4。

表 4 灌浆压力表

灌浆段	段长/m	压力/MPa	灌浆段	段长/m	压力/MPa
1	2.0	2	5	5.0	3~4
2	5.0	3~4	6	5.0	3~4
3	5.0	3~4	≥7	5.0	3~4
4	5.0	3~4			

6.1.3.3 浆量

确保灌浆泵良好的工作状态,有足够的排浆量。回浆管要保持有 15 L/min 以上的回浆量。为防止较长时间灌注浓浆时灌浆管在孔内被水泥凝住,灌浆过程中要经常转动和上下活动灌浆管,加多转动次数,转动灌浆管时降低灌浆压力,保持灌浆泵不停。转动灌浆管时若发现灌浆管活动有阻碍,立即放开回浆管阀门,加大泵入量,加速浆液流动。

6.1.3.4 浆液要求

采用 32.5 普通硅酸盐水泥配制的稳定浆液,浆液配制水灰比 0.6。

配比为:水泥+4%的膨润土+1.2%的减水剂。

6.1.3.5 灌浆结束标准

在规定的压力下,当注入率 > 1 L/min,继续灌注 60 min 即可结束。

6.1.3.6 封孔

灌浆孔封孔采用“分段灌浆封孔法”或“全孔灌浆封孔法”;灌浆塞应塞在孔口段,采用水灰比 0.5 的浓浆,封孔压力采用 3 MPa,纯压式灌浆 30 min 后结束。孔口部位,需将孔口管割断到砧面内 10 cm 后,使用水泥砂浆进行第二次人工封孔。

水泥砂浆配比:1(水泥):0.11(膨胀剂):0.009(减水剂):2.67(砂子)。

6.2 施工效果

通过精心的组织和设计,成功地完成了 1 号上斜井锥形帷幕灌浆施工,施工中对各项技术指标严格控制,均达到了设计要求。

6.2.1 裂缝渗水现象得到改善

在灌浆施工前,由于山体内有大量的地下水,在渗水压力的作用下从砧表面裂缝渗出,古风化壳范围几乎都呈润湿状,个别砧裂缝能明显看到射流现象。灌浆前统计砧裂缝共 191 条,明显渗水裂缝 118 条。

灌浆施工后,斜井砧表面大部分呈干爽状,裂缝渗水现象得到改善,明显渗水的裂缝消失。对裂缝处理具体采用环氧涂刷或骑缝、斜穿裂缝钻孔灌浆等方法。

6.2.2 灌浆效果良好(见表 5、表 6)

表 5 I、II 序孔灌浆成果表

孔序	孔数 /个	灌浆总长 /m	总耗灰量 /kg	单位注入量 /(kg·m <sup>-1</sup> )	递减率 /%
I	56	1581.4	228441.8	144.46	
II	55	1550.6	69267.8	44.67	69.08
合计	101	3132	297709.6	95.05	

表 6 先导孔和检查孔灌浆成果表

孔序	孔数	压水段	最大吕荣值 /Lu	平均吕荣值 /Lu	设计吕荣值 /Lu
先导孔	10	56	188.67	14.26	
检查孔	10	67	0.96	0.52	≤1.0

表 5 中 II 序孔的单位注入量明显小于 I 序孔,递减率达到 69.08%。证明灌浆效果明显。

表 6 中检查孔检查结果满足设计要求,表明灌浆施工很见成效,达到验收标准。

### 6.2.3 取心和涌水量分析

从检查孔和先导孔取心的情况来看,水泥浆液与岩石胶结良好,岩石的取心率明显高于先导孔。

从灌浆前和灌浆后检查孔的涌水情况来看,灌前基本孔的最大涌水压力为0.5 MPa,涌水量达到70 L/min。检查孔施工时没有发现涌水现象,证明采用这种锥形帷幕灌浆方法是成功的,灌浆效果是显著的。

### 6.2.4 质量评定

1号上斜井锥形共完成帷幕灌浆孔(含检查孔)111个,其中优良率93%,合格率达到100%。

## 7 结语

(1)抽水蓄能电站引水系统由于其承受的水头压力较大,而且水压经常变化等,对引水系统围岩稳定性的要求很高,对于该工程穿过2层古风化壳的

引水系统来说,围岩的稳定性问题显得尤为重要。

(2)通过在开挖前进行阻水帷幕灌浆证明,帷幕灌浆不但减少了地下水的渗水量,为开挖和砼衬砌提供有利的条件,同时通过灌浆增加了围岩的承载能力,减少了临时支护的投入。

(3)根据各项灌浆资料数据统计,表明锥形帷幕灌浆取得了良好的灌浆效果。1号上斜井锥形帷幕灌浆结束后,施工与其相距34.63 m的2号上斜井锥形帷幕灌浆时,可以明显的感到2号上斜井岩石的吸浆量降低,这说明灌浆施工对整个古风化壳在工程影响范围内得到了有效的改善。

(4)此工程2条斜井4回次穿过古风化壳,不但给开挖工作带来很多难题,灌浆工程也是通过阻水帷幕、高压固结、锥形帷幕几个基础处理的不同手段的联合处理才取得了满意的效果。

(上接第25页)

(4)通过改变动力头2个马达的工作方式,扩大了钻机转速和扭矩的变化范围,较好的满足了不同工况的使用要求。

(5)钻机使用液控自动进给系统,操作者随时观察到钻进过程中显示的孔底钻压,可根据地层变化随时进行调整,实现在给定压力下的孔底恒压自动进给,并实现过载自动保护。

(6)钻机采用分泵启动的开式液压系统,机构动作分组控制,可防止由于误操作而引发事故。系统管路中插装阀集成块的使用,简化了系统结构,合理利用了空间。

(7)钻机系列化、标准化、通用化程度高,元件

的互换性能好,操作简单,维修方便,为GYD系列钻机在激烈的市场竞争中占有一席之地创造了有利条件。

### 参考文献:

- [1] 路雨祥. 液压气动技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2002.
- [2] 刘旭明. 大口径桩基工程钻机发展趋势初探[J]. 矿产与地质, 2001, (1): 563-566
- [3] 胡少韵, 赵学社, 姚宁平, 等. GY-15型全液压力头工程钻机的研制[J]. 煤田地质与勘探, 1998, (S1): 63-65.
- [4] 姚亚峰, 王贺剑, 凡东, 等. ZDY1200型履带式全液压力坑道钻机的研制[J]. 煤田地质与勘探, 2008, (6): 75-78.
- [5] 孙笑萍. 液压传动在工程钻机上的应用[J]. 工程机械, 1999, (1): 27-29, 42-48.

(上接第27页)

从表1可知,实际工作时,排空道并非起排空作用,而是由于元件工作腔内压力降而抽吸入工作腔随工作介质送至输出道,信号道内流体都由喷嘴处流至输出道信号口。

## 3 结论

由以上分析可以得出:在空载作用下,元件在第一侧出流。赋予不同的主喷嘴流量,元件的属性各参量变化不大,可见,元件结构即定,元件射流附壁属性基本确定。

CFD方法与传统的理论分析方法、实验测量方

法组成了研究流体流动问题的完整体系。通过模拟仿真分析,说明三维湍流数值计算方法应用于双稳射流元件内部流动是可行的、准确的。

### 参考文献:

- [1] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2004. 13-16.
- [2] 康琦, 申功焘. 全速测速技术进展[J]. 力学进展, 1997, 27(1): 160-161.
- [3] 盛森芝, 等. 近十年来流动测量技术的新发展[J]. 力学与实践, 2002, (5): 8-12.
- [4] 郭鸿志. 数值传热学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1998.