

# 水利工程超深竖井工作面涌水高压预注浆施工技术

林伟明, 袁 贇, 谢剑波, 李晓琴

(中国水利水电第十工程局有限公司 第一分局, 四川 都江堰 611830)

**摘要:**新疆 KS9 勘探试验洞工程 S2 竖井建造在坚硬的花岗岩区域, 竖井设计直径为 7.2 m、深度约 687 m。施工阶段由于水文地质条件改变, 竖井涌水量随着掘进深度的增加持续增大, 导致竖井施工困难。针对实际问题, 通过论证分析并结合矿山施工经验, 竖井施工采取了工作面高压预注浆的方案控制井筒涌水。通过工作面高压预注浆, 竖井总涌水量得到了有效的控制, 取得了较好的应用效果。介绍了预注浆施工技术的实施过程。

**关键词:**超深竖井; 涌水; 工作面高压预注浆; S2 竖井

**中图分类号:**TV7;TV554;TV52

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2019)04-0076-04

## Construction Technology of High Pressure Pre-grouting for Water Inflow at Working Face of Ultra-deep Shaft in Water Conservancy Project

LIN Weiming, YUAN Yun, XIE Jianbo, LI Xiaoqin

(Branch No.1, Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract:** The S2 shaft of Xinjiang KS9 Exploration Test Tunnel Project is built in hard granite area with designed diameter of D-7.2 m and depth of around 687m. During the construction stage, due to the change of hydrogeological conditions, the water inflow of the shaft continues to increase as the excavation depth increases, which resulting in difficulties for the construction of the shaft. Aiming at practical problems, through demonstration and analysis and combining with mine construction experience, the scheme of high pressure pre-grouting at working face is adopted to control shaft water inflow. By adopting high pressure pre-grouting, the total water inflow of the shaft has been effectively controlled, and good application results have been achieved. The implementation process of pre-grouting construction technology is introduced.

**Key words:** ultra-deep shaft; water inflow; high pressure pre-grouting at the working face; S2 shaft

### 1 概 述

由中国水利水电第十工程局有限公司承建的新疆 KS9 勘探试验洞 S2 竖井设计深度为 687.613 m, 竖井成型直径为 7.2 m, 竖井围岩大部分为新鲜岩体, 岩性为肉红色花岗岩, 中粗粒斑状结构, III 类围岩预计饱和抗压强度为 130 MPa, 竖井围岩为块状构造, 斑晶主要为钾长石, 基质为石英、斜长石、角闪石等隐晶质物质。地质资料显示竖井地下水埋深 42.6 m, 渗水为基岩裂隙水, 竖井预计总渗水量为 5.6 m<sup>3</sup>/h<sup>[1]</sup>。根据所获得的地质资料, KS9 勘探试验洞工程 S2 竖井采用矿山正掘法组织施工。矿山正掘法的主要施工方案为:“两套提升机配大吊桶提升、液压伞钻凿岩、

中心回转抓岩机装渣清底、掘进、支护循环作业”。

但在实际施工过程中, 竖井开挖至 1 069 m 高程(井深 160 m)时, 井筒的总体渗水量已达 5 m<sup>3</sup>/h, 同时, 由于井筒竖向裂隙发育, 裂隙的倾角接近 80°, 主要裂隙、断层带平面位置随开挖工作面下移不断变化。受地质裂隙影响, 井内的涌水始终随开挖面向竖井下部延伸; 当竖井开挖至 1 002 m 高程(井深 227 m)时总渗水量超过 8 m<sup>3</sup>/h; 至 956 m 高程(井深 273 m)时, 竖井总渗水量已达 20.91 m<sup>3</sup>/h, 此时工作面探水孔的单孔探水量已达 19.2 m<sup>3</sup>/h, 若不采取措施控制涌水、继续竖井掘进, 其工作面的总涌水量预计将达到 100 m<sup>3</sup>/h, 存在淹井风险以致于无法继续掘进。

### 2 涌水处理方案的比选

收稿日期: 2019-07-30

结合以往施工经验,竖井涌水的治理通常采取深孔地面注浆、工作面涌水高压注浆及冷冻法施工,笔者将各施工方案的主要方法及优缺点介绍于后:

(1)深孔地面注浆<sup>[2]</sup>。该方案主要是利用布置于地面的深孔地质钻机钻孔,钻孔完成后再进行高压灌浆形成帷幕以封堵井筒涌水。由于注浆工作面位于地面,该方案具有施工条件好且不影响井下正常掘进等优点,但根据该工程特点,帷幕注浆孔的孔深需达700 m,钻孔精度控制困难且施工成本高。

(2)工作面涌水高压注浆。该方案主要是利用布置于井下掘进工作面的潜孔钻机造孔后形成帷幕,但受井下施工条件限制,工作面涌水高压注浆钻孔的孔深通常较短。该方案因掘进过程中可根据井筒的渗水情况灵活调整施工参数而具有施工方便快捷且成本较低等优点,但由于井下掘进、注浆无法同时进行,其对工期影响较大。

(3)冻结法<sup>[3]</sup>施工。该方案主要是在井筒周围钻若干个冻结孔,孔内安装由供液管、回液管和底端封闭的冻结管组成的冻结器,利用地面冷冻站将制出的低温媒剂(一般为 $-20^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$ 的盐水-氯化钙溶液)循环输送到冻结器内吸收地层的热量,使含水层形成以冻结管为中心的冻结圆柱,逐渐扩大与相邻的冻结圆柱连成封闭的冻结壁。该方案对涌水的治理效果最好且主要针对涌水量大的竖井。但该方案施工程序复杂、施工投入巨大。

在方案比选阶段,结合现场实际情况并通过多次专家咨询及论证,最终选择采用工作面涌水高压注浆方案进行井筒涌水的治理。

### 3 工作面高压预注浆

#### 3.1 灌浆工作面加固岩帽

高压预注浆施工前,由于受施工条件限制,井内工作面施作混凝土垫层困难,因此,为保证工作面预注浆效果,首先对竖井工作面以下3 m岩层进行注浆固结,使其形成一个3 m厚的密实岩帽,起到密封深部岩层裂隙水的目的。

加固岩帽首先采用YT-28风钻在工作面进行竖向造孔,注浆孔径为42 mm,注浆孔深为3 000 mm,注浆孔造孔完成后预埋 $\varphi 25$ 、 $L=1\ 000$  mm的焊管作为注浆管。该工程竖井成形直径为

7.2 m,根据开挖断面的大小,加固岩帽的注浆孔以竖井中心为原点环向布置了3圈,注浆孔环向布置间距为2 m。按照注浆的先后顺序,第一圈注浆孔布置圈径 $D=7$  m,单圈注浆孔为11个,注浆孔布置角度垂直工作面( $90^{\circ}$ );第二圈注浆孔布置圈径 $D=3$  m,单圈注浆孔为5个,注浆孔布置角度垂直工作面( $90^{\circ}$ );第三圈注浆孔布置圈径 $D=7.8$  m,单圈注浆孔为12个,注浆孔与工作面的夹角为 $72^{\circ}$ 。注浆孔施工完成后,利用预埋的孔口管进行注浆,注浆采用纯水泥灌注,将注浆终压控制在3 MPa以内。以上三圈注浆孔加固完成后,对工作面岩层中的渗水点再进行补孔加固,尽可能地保证工作面围岩加固密实。加固岩帽注浆孔的布置情况见图1。

#### 3.2 工作面高压预注浆造孔

工作面加固岩帽施工完成后,采用SKQ100型潜孔钻机进行工作面高压预注浆造孔施工。高压预注浆造孔分两个阶段进行,分别为:

(1)孔口管预埋段:孔口管预埋段主要用于预埋注浆孔口管。在高压预注浆施工期间,孔口管为主要承压构件。孔口管预埋钻孔孔径为130 mm,孔深为3 m,孔口段造孔完成后安装直径为108 mm的焊管作为孔口管,孔口管一端焊接法兰盘,另一端缠裹棉纱插入孔内,然后加盖注浆,固结孔口管,使其与围岩成为一体。棉纱缠裹注浆管形成倒楔形,起到注浆期间对管内液体反向压力的阻尼作用。孔口管注浆待凝48 h并试压,当注浆压力达到7 MPa并经检查孔口管无松动漏水情况后开始进行管内注浆孔的造孔施工。

(2)注浆孔造孔:管内注浆孔的造孔同样采用SKQ100型潜孔钻机施工。因注浆孔需从孔口管内穿过,因此,注浆孔的施工采用直径95 mm的钻头在已预埋的孔口管内沿孔口管方向套孔,直至孔深25 m为止。成孔后加盖,测出孔内的涌水量和水头压力。工作面高压预注浆及孔口管情况见图2。

#### 3.3 注浆方案

##### 3.3.1 注浆设备的选型及注浆参数

注浆机为2TGZ-60/210型双液调速高压注浆泵,以水泥单液浆为主,水泥、水玻璃双液浆为辅,水泥浆配合比为水泥:水=1:1;注浆之水泥浆与水玻璃的体积比为1:0.6~0.8,最大不得超



表1 单液浆配制表

配合比	水量 /kg	水泥重量 /kg	浆液体积 /m <sup>3</sup>	浆液比重 /t·m <sup>-3</sup>
1:1	750	750	1	1.5

表2 双液浆配制表

配合比	水泥 /kg	水 /kg	水玻璃 /kg	浆液体积 /m <sup>3</sup>	浆液比重 /t·m <sup>-3</sup>
1:0.75:1.46	470	350	690	1	1.51
1:0.6:1.23	560	330	690	1	1.58

m,每循环预留5m作为下循环岩帽,因此,注浆布孔段高20m,即每开挖20m进行一轮工作面高压预注浆施工。

(3)孔距:注浆孔环向间距为2m,单圈布孔数量为11孔。

(4)注浆压力:工作面高压预注浆压力根据钻孔期间的孔口压力确定注浆压力,注浆压力原则上以不超过孔内水压的1.4倍为宜,注浆终压最大值不超过7MPa。

(5)注浆材料:注浆采用水泥单浆液及水泥-水玻璃双液浆灌注,注浆水泥中采用抗低碱水泥(P.MSR42.5)进行水泥浆拌制。根据施工需要,浆液主要采用1:1、1:0.75、1:0.6三种配比。根据工程特性未采用化学注浆<sup>[4]</sup>,其中水玻璃的主要参数见表3。

表3 硅酸钠参数表

序号	检验项目	单位	技术要求
1	外观	/	液体硅酸钠为无色、略带色的透明或半透明粘稠状液体
2	水不溶物	%	≤0.5
3	密度(20℃)	g/mL	1.368~1.394
4	氧化钠(Na <sub>2</sub> O)	%	≥8.2
5	二氧化硅(SiO <sub>2</sub> )	%	≥26
6	模数	/	3.1~3.4

(6)结束标准:单孔涌水量小于0.5m<sup>3</sup>/h时进行封孔,结束注浆。

(7)注浆顺序:根据注浆孔位置采用“分序间隔”注浆方式,将注浆孔平面间隔分为I、II序,先注I序孔,后注II序孔。

### 3.3.3 注浆

(1)压水试验。将注浆管接好孔口管上的接管,再接上三通混合器与注浆泵连接。关闭进浆高压球阀,打开卸浆阀,将注浆泵接好后把笼头

放入清水桶内,开泵试验管路是否通畅,卸浆阀是否出水正常;确认正常后,打开进浆阀,关闭卸浆阀,打清水试压并做好记录,打水试压约10~15min。若孔内吸水正常,则准备注浆。

(2)注浆。①先将吸浆管移至储浆桶,开始注浆。注浆过程中,注浆泵司机和混合器放浆人员要时刻观察注浆压力表和注浆孔周围的围岩,当岩帽出现异常或压力很快升高时,要及时打开泄压阀,封孔;若无变化则继续注浆;当笼头不吸浆液或压力达到终压后进行封孔。②注浆结束后,先将吸浆笼头移至清水桶,吸注适量的清水,然后打开混合器前端的放浆阀门,关闭孔口管后端的进浆阀门,继续压入清水,冲洗管路,直至混合器放浆阀门喷出清水后方可关闭压风,停止注浆机,然后施工下一个注浆孔,施工方法同上。③跑浆情况的处理:注浆时如发现压力突然下降而不回升,或吸浆量突然增大,应检查注浆点附近是否出现跑浆现象,采用水泥、水玻璃等进行封堵,同时适当增加浆液浓度,或加大掺料比例以调整凝胶时间,采用低压注浆、间歇注浆等方法以防止继续跑浆。④窜浆情况的处理:注浆过程中,如出现泄压孔出浆的情况,证明已窜浆,应将泄压阀关闭,待达到注浆压力时及时将注浆孔及泄压孔用双液浆封堵。

(3)堵孔。注浆过程中,在注浆压力上升至设计压力时,调整浆液为水泥水玻璃双液浆以便快速堵水,每个孔用双液浆封孔结束后,于5~6min后即可拆下注浆的孔口球阀。

### 3.3.4 检查孔

超前固结灌浆施工完成后,在距离超前固结灌浆孔内侧30~40cm处布置检查孔,检查孔原则上不少于4个。检查孔的施工方式同超前固结灌浆孔。检查孔以竖井中心为圆心布置,检查孔深度L=25m,检查孔布置位置根据超前固结灌浆孔出水情况有针对性地选择出水量较大的位置布置,当检查孔单孔涌水量小于0.5m<sup>3</sup>/h时,工作面灌浆结束;如检查孔渗水量仍大于0.5m<sup>3</sup>/h,应根据需要增设超前灌浆孔以确保封水效果。

## 4 工作面高压预注浆的实施效果

由于该工程竖井开挖断面小,地下水为裂隙水补给,连续稳定,出水量大,竖井渗水已经对井

(下转第91页)

合成孔径边坡雷达基于图像数据快速匹配技术,可以方便、快速地将不同时间段对同一边坡监测的数据进行拼接处理,可以方便地对同一边坡在不同地点、不同时间进行不连续的监测。通过获取多种监测数据进行综合分析以提高系统监测的准确性,这种综合分析可以是两种数据的综合分析,也可以是多种监测数据的综合对比分析。这种分析是在各种单项分析的基础上进行的。其中,各种单项分析技术内容包括:在线监测系统数据分析、爆破振动测试分析、其他人工监测信息等。

通过分析处理智能雷达采集到的数据,做出边坡岩体位移、速度曲线,通过日常管理经验和软件分析推荐值在软件中设置合理的报警阈值,以达到边坡监测预警的效果。

该方案实施时,结合边坡监测雷达的技术特点,制定出了不同工况下应用边坡监测雷达指导安全生产的具体操作方式,以及对应的作业指导书和应急预案手册,边坡监测雷达的使用能够增强在边坡危险作业区域内生产人员应对边坡滑坡垮塌事故的信心,提高采矿作业的精细控制水平,保障作业人员和装备安全。

## 5 结 语

(上接第79页)

下钻孔、出渣、支护等造成很大影响,加之竖井地处严寒地区,地下水对井下工人的安全操作亦造成极大的影响。针对上述问题,通过科学地分析地下水补给的特点,在采取了工作面高压预注浆方案后,将竖井工作面的渗水始终控制在 $5\text{ m}^3/\text{h}$ ,基本达到了预期效果。井筒涌水的有效控制不仅大幅度改善了井下作业环境,同时亦达到了竖井快速施工的目的。

## 5 结 语

新疆KS9竖井设计井深为687 m。在其施工过程中水文地质条件变化大、地质条件复杂,围岩竖向裂隙发育、渗水量大,竖井深度及独特的地质条件在水利工程及矿井建设过程中均属罕见。在该工程实施过程中,面对复杂的地质情况,在无类似工程经验可借鉴的条件下,以项目为依托采取高压注浆方案控制了井筒渗水。根据对现场实施效果进行分析,KS9竖井施工月平均进尺达60 m/月,远远超过目前国内渗水超深竖井<sup>[5]</sup>的平均强度,竖井施工在方案调整后较计划工期提前两

通过安全监测预警系统的研究和建设,确定了采场边坡预警策略,实现了边坡稳定性在线监测,实时获取了边坡潜在滑坡风险并及时预警,可以预防采场边坡坍塌安全事故,避免人员伤亡和财产损失,保障矿山安全生产,具有重要的经济和社会意义。

### 参考文献:

- [1] AQ2063-2018,金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范[S].
- [2] 黄素霞,李 璐,张 静.GNSS定位的核心技术浅谈[J].硅谷,2014,13(17):17-19.
- [3] 李小军,苏 军,韩志磊.智能全站仪在尾矿库表面位移变形监测中的应用[J].有色金属,2015,67(增1):73-76.
- [4] 张拴宏,纪占胜.合成孔径雷达干涉测量(InSAR)在地面形变监测中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2004,15(1):112-117,128.
- [5] 张会霞,朱文博,著.三维激光扫描数据处理理论及应用[M].北京:电子工业出版社,2012.
- [6] 闫国斌.边坡雷达在矿区边坡监测区域的应用分析[J].工业安全与环保,2015,41(10):57-60.

### 作者简介:

翟翔超(1984-),男,湖北洪湖人,工程师,从事水利水电与矿山工程施工技术与管理工作;  
陶体盛(1982-),男,贵州遵义人,工程师,从事水利水电与矿山工程施工技术与管理工作;  
眭龙胜(1990-),男,四川成都人,助理工程师,从事水利水电与矿山工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

个月完成,取得了较好的实践效果。

### 参考文献:

- [1] 袁 赞,张 维.水利工程超深竖井正掘法施工爆破参数的优化[J].四川水力发电,2017,36(2):97-99,105.
- [2] 张 勇.地面注浆控制井壁破裂变形的机理与工程分析[J].矿业安全与环保,2009,38(6):52-55.
- [3] 冯旭海.煤矿冻结法与注浆法特殊凿井技术应用对比研究[J].建井技术,2015,27(3):48-52.
- [4] 任晓军.化学注浆在处理竖井井壁涌水中的应用[J].矿业装备,2015,5(4):105-106.
- [5] 孔维春,王卫治.超深竖井正井法施工在江门中微子实验站配套基建工程中的应用[J].水利水电施工,2017,36(3):35-41.

### 作者简介:

林伟明(1978-),男,黑龙江绥化人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;  
袁 赞(1985-),男,湖北宜昌人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;  
谢剑波(1976-),男,四川西充人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;  
李晓琴(1976-),女,四川康安人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)