

Quality Control and Risk Prevention Countermeasures in Grouting Construction of High Pressure Pipeline Inclined Shaft

Quankun Gan

Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611130, China

Abstract

The grouting construction of the inclined shaft for the high-pressure pipeline in the main diversion tunnel serves as both a critical process for connecting the water diversion system and a decisive factor in ensuring anti-seepage and stability performance throughout the pipeline's entire service life. The interaction among the inclined shaft structure, surrounding rock conditions, and high-pressure grouting parameters directly impacts the grouting density and pore permeability characteristics, which in turn affects pipeline operational safety. Based on the engineering practices of the Luoning Pumped Storage Power Station in Henan Province, this paper focuses on the closed-loop quality control and systematic risk management of inclined shaft grouting construction, proposing actionable quality control measures and a tiered risk management framework.

Keywords

main tunnel of water diversion; high pressure pipeline; grouting construction of inclined shaft; quality control; risk prevention and control; countermeasures

高压管道斜井灌浆施工中的质量控制与风险防控对策

甘全坤

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川 成都 611130

摘 要

引水主洞高压管道斜井的灌浆施工,既是贯通引水体系的关键工序,也是确保全寿命期防渗与稳定性能的决定性环节。斜井结构、围岩赋存状态与高压灌浆参数三者的相互作用,往往直接影响灌浆体密实度与孔隙渗透特性,进而关系到管道运行安全。本论文以河南洛宁抽水蓄能电站工程实践为基础,聚焦斜井灌浆施工的现场质量闭环与体系化风险管控,提出可操作的质量控制措施与分级风险处置方案。

关键词

引水主洞; 高压管道; 斜井灌浆施工; 质量控制; 风险防控; 对策

1 引言

斜井灌浆施工是引水主洞高压管道斜井施工的重要工序,也是保障施工质量的关键环节。同时由于斜井段灌浆施工安全风险大,如何提高斜井段灌浆施工安全性能及最大限度地方便施工也成了施工中重点关注内容^[1]。有鉴于此,下文将通过查阅相关文献资料以及结合自身实践情况下,针对引水主洞高压管道斜井灌浆施工中的质量控制与风险防控对策展开探讨,以供参考。

2 工程概括

本工程为河南洛宁抽水蓄能电站引水主洞高压管道斜

井灌浆施工,含两条斜井,长928m(倾角36.2°)与873m(倾角38.7°),衬砌形式为混凝土与钢管衬里并存。施工内容包括帷幕灌浆、固结灌浆、回填与接触灌浆等,主要工程量为固结灌浆约6144m、帷幕灌浆约720m。钻孔孔径按灌浆类型确定,固结孔 $\Phi 56\text{mm}$ 、帷幕孔 $\Phi 76\text{mm}$,采用YT-28与100B钻机及3SNS型高压灌浆泵系列注浆泵,施工采用分段分序与并联相结合的组织方式,并配套自动记录仪、计量校验与应急安全措施以保障质量与施工安全。

3 高压管道斜井灌浆施工中的质量控制对策

3.1 严格的原材料与配比控制体系

实施灌浆原材料与配比控制,首要建立严密的进场检验制度。水泥须提供出厂检验单并开展化学与物理性能复核,包括细度、比表面积与凝结时限,并对不同批次实施试配比对与存档以防材料变异引起工艺偏差。外加剂进场后应

【作者简介】甘全坤(1988-),男,中国四川眉山人,本科,工程师,从事水利水电施工及管理研究。

完成现场小试以验证与当地水质和骨料的相容性,任何批次或供应方变更均需通过不少于三次试配并满足设计与试验要求后方可使用。配比管理采取分级策略,依据围岩渗透性、裂隙宽度与含水状况划分开灌、增稠、固结三类水灰比。施工期间以注入压力曲线、瞬时注入率、累计注入量与回浆比为核心监测指标,压力传感器与流量传感器应具备实时采集与历史回放功能,制定阈值触发的应急技术流程,出现注入率骤降或压力异常升高时应按预案先行暂停增压并实施低压灌注,所有调整措施与时间节点须同步记录并签字确认^[2]。岗位职责须明确分工,配浆操作员与现场技术负责人必须通过岗前考核并参加定期能力核查,试配能力与判定一致性测试应形成台账以减少人为差错。

3.2 钻孔与孔口质量控制

首先,施工前应对斜井内表面与拟孔位实施精确复测与几何校核,采用光学导线复核设计坐标并结合地质剖面优化孔网布置,凡超出允许偏差的孔位须制定替代孔或调整钻进方位并形成书面变更单,复测数据应上传项目资料库以备后续溯源并供监理审核。钻后须开展反冲排渣与裂隙冲洗,冲洗作业以回水浊度下降和粒径分布稳定为合格判据,清孔合格后按分段压水试验测定泄水量、渗透系数与异常渗流点,试验采用标准化流程并生成数字化报告,试验结果用于制定局部工艺调整。其次,孔口封堵与放浆管安装实行工艺化管理,封堵材料与金属套管接口须通过拉压、气密及耐压试验验证密封性,放浆管布置应便于在线检测、快速更换与泄压操作,起泵前进行接口复核并记录初始压力零点,注浆期间采用在线压力与流量传感器实时采集数据并同步归档,所有逐孔逐段的压力曲线、瞬时注入率与累计注入量须作为分段验收与质量追溯的原始资料,放浆管及封堵件如发生泄漏或损伤应立即停泵更换并完成故障记录与原因分析。计量与检测器具需在投入使用前完成校准并建立周检与月检记录。

3.3 灌浆施工质量控制

在高压管道斜井灌浆过程中,主要从各方面控制其各环节参数的状态以及施工要点。

灌浆前要进行压水试验,根据流量的变化情况,来判定试段的渗透性,以此作为确定灌浆压力、段长及浆液级配的依据。并且还可以利用声波检测确定岩体完整和灌浆的必要性,进一步明确加固范围。

灌浆环节应采用孔内循环或者纯压工艺,按照围岩类别及孔位分布确定浆液在裂隙体系内的分布。并且控制射浆管距孔底的距离,保证浆液由射浆管中的合理距离处溢出的位置同设计加固区匹配。此外需按照“排内分序、排间不分序”的组织形式开展施工作业,通过序孔施工杜绝浆液串流。不同深度需采用不同的分段压力,确保浆液能有足够的渗透力而不造成过大的裂隙扩宽。

灌浆达到设计压力后,当注入率稳定低于1 L/min 并

持续30 min时,可认定该孔段加固效果满足施工要求。灌浆结束后须经监理工程师验收确认,方可进行封孔作业。封孔采用全孔灌浆封闭方式,先利用导管将孔内余浆置换为水灰比0.5的浓浆,再以纯压式方式完成封孔,封孔压力与该孔灌浆施工压力一致,屏浆时间控制在30 min。封孔完成后,对孔口空腔以砂浆进行人工填实,使孔道形成稳定封闭结构。

4 高压管道斜井灌浆施工中风险防控对策

4.1 钻孔作业风险识别与防护机制

高压管道斜井灌浆前期的钻孔工序中由于设备比较复杂、环境的影响较大,所以它的安全隐患较多。现场人员对钻机的结构、工作原理、操作要点以及维护方法不清楚,容易造成钻机运行不稳定或发生误操作,使安全事故发生。而且在钻孔作业过程中使用的管线如果出现缠绕、打结或者接头漏紧的现象,则很容易出现管线瞬时甩动、脱扣以及压力异常,会对人员和设备都产生直接伤害。

因此,需要建立健全风险识别系统,在施工前将所有潜在危险点查出,技术交底工作要在开工前完成,要使施工人员了解设备工作原理、动力传递装置及紧急停止运转的方式,能够掌握设备运转的状态以及异常的表现。并且操作人员必须经过培训,持有技能合格证后才准许上岗操作,不能无证擅自操作。因为钻机的维护保养要求比较高,钻机各种关键部位的润滑、螺栓的锁紧、转子的旋转等方面的工作都应事先完成,钻机稳定后才能开始钻进工作。此外,在施工之前还要依照钻机布置和孔位的方向逐根检查动力管、供水管、排渣管等是否按图布置且方向正确、布置清晰、互不交叉缠绕、接头牢固牢靠、各管能否顺利通至各部位,以免在钻进时突然发生脱落或拉扯现象。最后,管线在作业时要布设好保持定位,不能拖拉压踩,并安排专人跟随管道巡视,以防震动和地面不平造成接头松动。并且还建立班前检查制度,每次施工前都要进行检查,从钻机状况、管线固定、通讯设施、照明状况等方面入手,消除隐患^[3]。

4.2 高压设备与输送管路失效引发的危险源控制

设备选型与进场验收应以工程实例验证为依据,优先选用经大型帷幕或高压固结工程检验过的注浆泵与缓冲装置,并在进场后开展完整性能试验,试验内容包括额定压力与流量稳定性、启动与停泵响应、放空及泄压能力与密封件耐压试验,试验结果作为设备验收与施工参数库的初始记录。高压软管、阀门与接头的静态与动态泄漏试验需成文化,所有管件按不小于额定压力的1.5倍进行耐压试验,运行中采用脉动压力试验模拟工作循环并记录微泄漏与温升行为,发现泄漏或接头松动应停止使用并按更换程序更换,所有更换件需有出厂检验证书并纳入物资台账。施工现场应划设高压作业隔离区并实施物理隔离与人员管理,启泵前执行设备点检清单包括油压、密封状况、紧固件扭矩与安全阀动作性

检验,点检结果须经操作员与试验员签认后方可启泵,所有点检与交接记录进入质量闭环管理体系以便追溯。管路疲劳与失效管理实施寿命计时与循环计数制度,按运行小时或注浆循环数对高压管路进行分级更换或降压使用,严禁超寿命继续服役,发生爆裂或阀体失效时立即切断动力源并按“一级停泵—二级泄压—三级撤离”程序实施,同时开展失效模式与效应分析并将结论用于工艺修订与备件更新。

4.3 浆液飞溅伤害风险识别与处置体系构建

在高压灌浆过程中,由于浆液输送系统的输浆状态长时间受压,当存在承压构件的老化、磨损以及链接松动等问题时,在受压作用下极易出现喷溢或者泄露甚至出现瞬间冲击现象,浆液与人体皮肤乃至眼睛容易发生直接接触情况,会给人员造成极大的伤害风险^[4]。

因此应对输浆系统的组成材料、输浆系统的运行状况和输浆操作方式等进行全周期管理。比如钢编管作为承压构件,要对其抗压、耐磨以及抗拉性能要求极高,且链接可靠度极强,必须选用经过检测并证明合格的产品,安装完毕后要定期检视磨损情况,必要时要及时更换。除了要加强对设备巡检保养外,还要对压力表、泵体、输浆阀及各级连接点保养到位,保证管路畅通、稳定受压。严禁带压情况下拆卸任何部件,防止突然泄压造成的浆液喷射。同时为防止作业人员受到伤害,将预防措施前置,加强现场防护,待灌注时应佩戴密闭式护目镜或面罩。如发生浆液喷入眼内事故应马上让伤员用水持续清洗20分钟左右,避免加大伤害面积,并尽快将伤员送往医院。

4.4 施工安全与环境类风险的系统化防控

施工安全与环境类风险防控应构建分层分级与闭环治理体系,先在项目启动阶段依据水利安全生产规范进行危险源辨识并形成风险分级目录,针对斜井施工特有的高处作业、受限空间与起重作业分别制定作业票制度、受限空间进入许可与起重设备专项检查表,所有高危作业实施逐项签证并按风险等级配置监护与应急人员。针对粉尘与浆液污染采取源头控制与末端治理并举的技术措施,井口设置多级沉淀池与塑料导流槽以实现废浆初沉与浓浆回收,细颗粒采用絮

凝沉淀或带式过滤回收系统处理,临时堆放区以防渗衬垫隔离并配套雨水收集与处理设施以防面源污染^[5]。电气与照明管理实行防潮防溅与回路冗余设计,所有临时配电箱设防水等级并配置漏电保护、短路保护与分段快速切断装置,移动机械与电缆实行定期红外热成像检测与绝缘电阻测试,接地电阻应 $\leq 4\Omega$ 并有接地连续性检测记录,电气作业人员持证上岗并实行交接班与点检台账管理。应急与演练体系遵循“常态化、场景化、量化”原则,制定包含人员伤亡、溢浆污染与设备失效三类应急处置预案并明确启动阈值、指挥链与物资清单,按月组织桌面推演与季度实战演练并对演练过程进行录像与评分,演练后依据缺陷清单逐项整改并将处置凭证纳入工程安全档案以形成可追溯的改进闭环^[5]。

5 结语

对斜井灌浆施工而言,扎实的质量控制制度与周密的风险防控体系是工程安全与功能实现的基础。上文在结合河南洛宁抽水蓄能电站引水主洞高压管道斜井灌浆施工方案与相关规范、现场实践的基础上,提出了针对原材料、钻孔与分段灌浆、在线监测三方面的质量控制措施,并就突水、设备失效与施工安全等风险给出分级处置与预防性技术手段。上述对策可在施工项目中作为操作性技术标准与管理流程进行试行并通过施工试验与验收数据不断优化。另外,建议工程实施单位将质量记录与风险处置结果纳入项目知识库,以便在类似工程中持续改进与推广。

参考文献

- [1] 罗龙,宋浩,晏攀.取水隧洞斜井段灌浆施工台车运行安全问题及对策[J].人民黄河,2021(S1):270-271.
- [2] 孙启佑,曹富俊,杨庆美,等.引水斜井灌浆施工技术[J].云南水力发电,2024,40(S02):53-58.
- [3] 孙启佑,曹富俊,杨庆美,等.引水斜井灌浆施工技术[J].云南水力发电,2024,40(S02):53-58.
- [4] 贾畅东.引水隧洞长斜井灌浆提升系统设计与施工[J].电脑采购,2025(12).
- [5] 刘伟,吴应谦,张兰洲.无轨灌浆台车在斜井灌浆施工中的应用[J].中国房地产业,2020,000(036):160.