

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20222594

五岳抽水蓄能电站灌浆施工质量管理探讨

陈正威, 胡旺兴

(河南新华五岳抽水蓄能发电有限公司, 河南 信阳 46400)

摘要: 为提升五岳抽水蓄能电站灌浆施工质量管理水平, 结合开挖揭露地质条件、设计灌浆参数等, 进行了灌浆试验, 确定了灌浆工艺参数。其中智能化灌浆系统的引入, 降低了劳动强度及人工成本, 提高了质量工作的可追溯性, 有利于节约工期; 而引入第三方检测单位带来了先进的技术及管理经验, 提高了检测成果的公信力。结合工程实际, 利用压水试验、不同类别岩体波速对比分析对灌浆质量进行评价, 评价结果可相互验证, 提高了灌浆效果说服力。灌浆工程取得了参建各方皆满意的效果, 该施工过程管理经验可供类似工程参考。

关键词: 智能灌浆; 试验; 第三方检测; 质量评价; 满意度

中图分类号: TV543

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)10-0167-04

1 工程概况

五岳抽水蓄能电站位于河南省信阳市, 引水^{#1}支洞总长 117.88 m, 其中岔洞段 22.00 m, 标准段长 67.68 m, 渐变段长 18.00 m, 出口段长 10.20 m。围岩多为微风化花岗岩, 受构造和岩体蚀变的影响, 部分洞段呈强—弱风化, 洞内揭露有一组 NE 向小断层, 分别为 f2、f3、f4、f5, 断层规模不大, 断层破碎带宽 0.05~0.10 m, 破碎带内物质以花岗碎裂岩、糜棱岩、蚀变蒙脱石为主。断层两侧一般都有 1~2 m 宽的影响带, 沿断层带及影响带均有蚀变现象, 其走向与洞轴线方向交角为 45°~80°。灌浆能够改善围岩和基础的物理特性、力学强度及抗渗性能^[1], 但施工中需对浆液的重度(比重)、温度等参数进行持续监测, 当工作面较大时, 传统的灌浆方法需要大量的人力、物力投入, 导致整体工程投资、质量、安全等控制难度也随之增加^[2]。借鉴交叉学科的先进经验和采取措施^[3-4], 目前智能灌浆装置使传统灌浆技术飞跃发展, 有利于确保灌浆施工质量、控制工程预算。近年来, 不少工程发现智能化灌浆系统在防止数据失真、保证灌浆质量等方面效果较好, 但在节约工时、降低成本等方面的效果仍需提升^[5]。因此, 本文结合河南五岳抽水蓄能电站建设需求, 提出了“半智能化+人工干预”的灌浆管理方法, 不仅减少了“智能化系统”开发经费, 也将技术人员从

繁琐的灌浆参数校验工作中解放出来, 从而保证了工程的经济性、质量的稳定性和设备的可靠性。

2 固结灌浆试验方案

在五岳抽水蓄能电站引水^{#1}支洞第 1 单元(桩号 0+024.00~0+044.00)处进行生产性灌浆试验。引水支洞试验段由参建方共同参与选定, 兼顾了不利地质条件的地段, 地质情况具有代表性^[6]。

2.1 固结灌浆试验施工工艺

工程按照钻孔、冲洗、灌浆、封控、检查等步骤进行施工, 具体包括抬动变形观测孔(钻孔及仪器安装)→固结灌浆孔钻孔→冲孔→固结灌浆孔灌前声波检测→灌前简易压水→灌浆→封口→质量检查孔(标准压水试验、封口)→灌后声波检测(对应同一孔)、封口。

2.2 固结灌浆孔的布置及参数

试验段(第 1 单元)布置见图 1、2。引水^{#1}

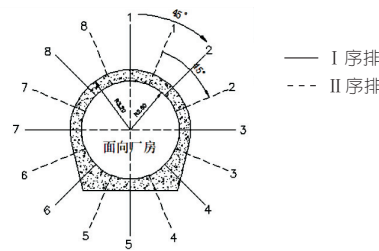


图 1 试验段固结灌浆剖面图

Fig. 1 Profile of consolidation grouting in test section

收稿日期: 2022-12-16, 修回日期: 2023-01-31

作者简介: 陈正威(1988-), 男, 硕士、高级工程师, 研究方向为抽水蓄能电站建设管理, E-mail: 915683447@qq.com

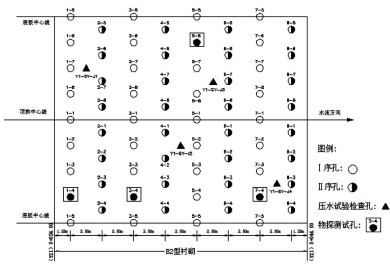


图 2 试验段固结灌浆布置图

Fig. 2 Layout of consolidation grouting in test section

支洞固结灌浆试验段钻孔设计环间距 2.5 m, 呈梅花形布置, 入岩深度 3.0 m, 孔径为 56 mm, 分两序, 按照“环间分序, 环内加密”原则进行施工, I 序孔灌浆压力为 0.5 MPa, II 序孔灌浆压力为 1.0 MPa, 单孔全段一次性灌注完成。灌浆前按总孔比例的 5% 抽样进行压水试验, 实际试验孔数为 4 孔, 压水压力为灌浆压力的 80%, 即 I 序孔灌前压水 0.4 MPa、II 序孔灌前压水 0.8 MPa。

固结灌浆孔孔向与角度严格按照设计图纸控制。每个固结灌浆单元共布置 64 个固结灌浆孔, 其中 I 序孔 32 个, II 序孔 32 个, 检查孔 4 个, 抬动监测孔 1 个。

2.3 灌浆试验方案监测结果与分析

2.3.1 试验段灌浆质量分析

灌浆加固属于隐蔽工程, 其质量影响在工程投入运营后才会体现。为及时跟踪、监测和评价灌浆的质量, 工程引进第三方检测机构, 采用单孔

超声波技术和压水试验等手段分析灌浆效果, 并借助最大波速、平均波速、波速分布和集中情况、透水率等参数揭示灌浆的质量状况, 从而为灌浆计划、参数调整、过程控制提供指导。灌区灌前 I 序孔透水率分布跨度较大, 透水率 13.9~71.8 Lu, 平均透水率 42.9 Lu, 岩层裂隙表现出一定随机性; I 序孔灌浆后, II 序孔透水率在 10.3~12.1 Lu 之间, 平均透水率 11.2 Lu。

I 序孔单位注灰量主要分布在 0~100 kg/m 区间, 所占频率为 30%; II 序孔单位注灰量区间在 0~100 kg/m 的频率占 90%, 比 I 序孔降低了约 60%。

固结灌浆试验段压水试验、物探测试选在单位注灰量较大部位或断层破碎带附近钻孔(图 2), 检测结果见表 1。从灌前 I、II 序孔平均透水率、单位注灰量区间、频率分布等数据可得, 随着灌浆次序的增加注灰量明显减少、透水率递减明显, 说明灌浆效果良好。

物探测试孔灌前、灌后波速对比展开图见图 3。引水#1 支洞固结灌浆试验段 4 个物探测试孔均为 I 序灌浆孔, 灌前进行单孔声波测试, 灌后 14 d 原孔扫孔后再次进行声波测试。引水#1 支洞固结灌浆试验段物探测试孔灌浆前后的单孔声波速度提高率平均值为 5.2%~7.3%, 其中较破碎岩体声波速度提高率平均值为 21.8%、完整性差岩体声波速度提高率平均值为 11.1%、较完整岩体

表 1 固结灌浆试验段质量检测结果统计

Tab. 1 Statistical table of quality inspection results of consolidation grouting test section

部位 桩号	声波测试检测结果						压水试验结果		
	钻孔 编号	灌浆前 波速 $V_p/(m \cdot s^{-1})$	龄期/d	灌浆后 波速 $V_p/(m \cdot s^{-1})$	波速提高率/%		钻孔编号	龄期/d	透水率/Lu
引水#1 支洞 (0+024.00~ 0+044.00)	1-4	2 810~5 210 4 540	14	4 170~5 440 4 770	7.0		Y1-SY-J1	7	0.50
	3-4	3 680~5 100 4 460	14	4 310~5 320 4 770	7.3		Y1-SY-J2	7	0.13
	5-6	3 470~5 320 4 620	14	3 680~5 440 4 910	7.1		Y1-SY-J3	7	0.53
	7-4	2 750~5 320 4 520	14	3 170~5 320 4 710	5.2		Y1-SY-J4	7	0.33

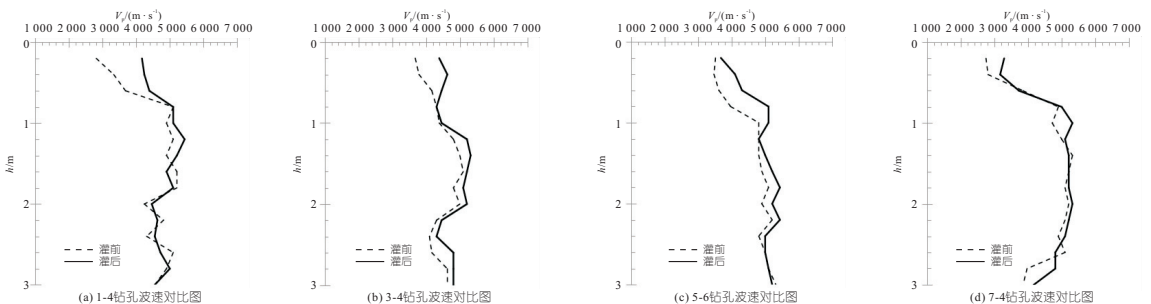


图 3 试验段灌浆前后钻孔波速对比图

Fig. 3 Comparison diagram of borehole wave velocity before and after grouting in test section

声波速度提高率平均值为 3.1%^[7]。试验段布置灌后检查孔 4 个,灌后 7 d 进行单点压水试验测试,透水率在 0.13~0.53 Lu 之间,依据试验段灌浆参数进行施工满足规范^[7]及设计文件要求,即单位透水率小于 3 Lu,声波提高幅度较完整基岩应达到 3% 以上,破碎岩体应达到 10% 以上,合格率达到 85% 以上^[8]。

2.3.2 特殊情况处理

针对施工过程中遇到的灌浆量陡增、回浆增稠等特殊情况,项目监理机构及时邀请设计单位、施工单位和第三方检测机构、建设单位等进行会商,并结合智能灌浆设备的性能特点、前期物探结果等资料综合判定,形成的技术经验如下。

(1)在断层破碎带附近灌浆作业,遇到注入率大、灌浆难以正常完成的孔段,灌浆采用低压、浓浆、限流、限量、间歇灌浆法灌注,必要时掺加适量速凝剂灌注,该段经处理后应待凝结 24 h 后,再重新扫孔、补灌。并将灌浆异常部位施工资料报送监理人、设计人员,以便根据灌浆情况及该部位的地质条件,分析是否需要采取其他处理措施。

(2)灌浆过程中,如发现回浆变浓,应改用回浓前的水灰比配置的新浆进行灌注,若继续回浓,延续灌注 30 min 后可结束灌浆作业。其回浓情况应反映在灌浆综合结果表中,并告知设计人员、

监理工程师。

(3)抬动仪安装完成后通过无线传送装置连接灌浆自动记录仪,记录仪运行四参数模式,在洗孔、压水、灌浆施工过程中进行实时监测并记录产生抬动数据。抬动数据报警时,及时调减灌浆压力,查明原因并采取相关措施后再启动灌浆工作^[7]。

3 其他灌浆单元结果分析

灌浆前后单孔声波波速测试结果见图 4,灌后检查孔压水试验结果见表 2。参考灌浆试验方案参数,引水#1 支洞灌浆工程划分为 5 个单元工程,其中 2~5 号灌浆单元工程的固结灌浆孔总数为 240 个,依据设计技术要求、合同文件要求,第三方检测单位完成 12 个钻孔灌浆前后的单孔声波、12 个灌后检查孔的压水试验。

引水#1 支洞 2~5 号单元灌浆前后的单孔声波速度提高率平均值为 1.1%~8.2%,其中破碎岩体声波速度提高率平均值为 35.2%、较破碎岩体声波速度提高率平均值为 20.3%、完整性差岩体声波速度提高率平均值为 11.2%、较完整岩体声波速度提高率平均值为 3.3%;灌后检查孔透水率在 0.15~0.76 Lu 之间。第三方检测结果满足规范^[7]及设计文件要求^[8]。

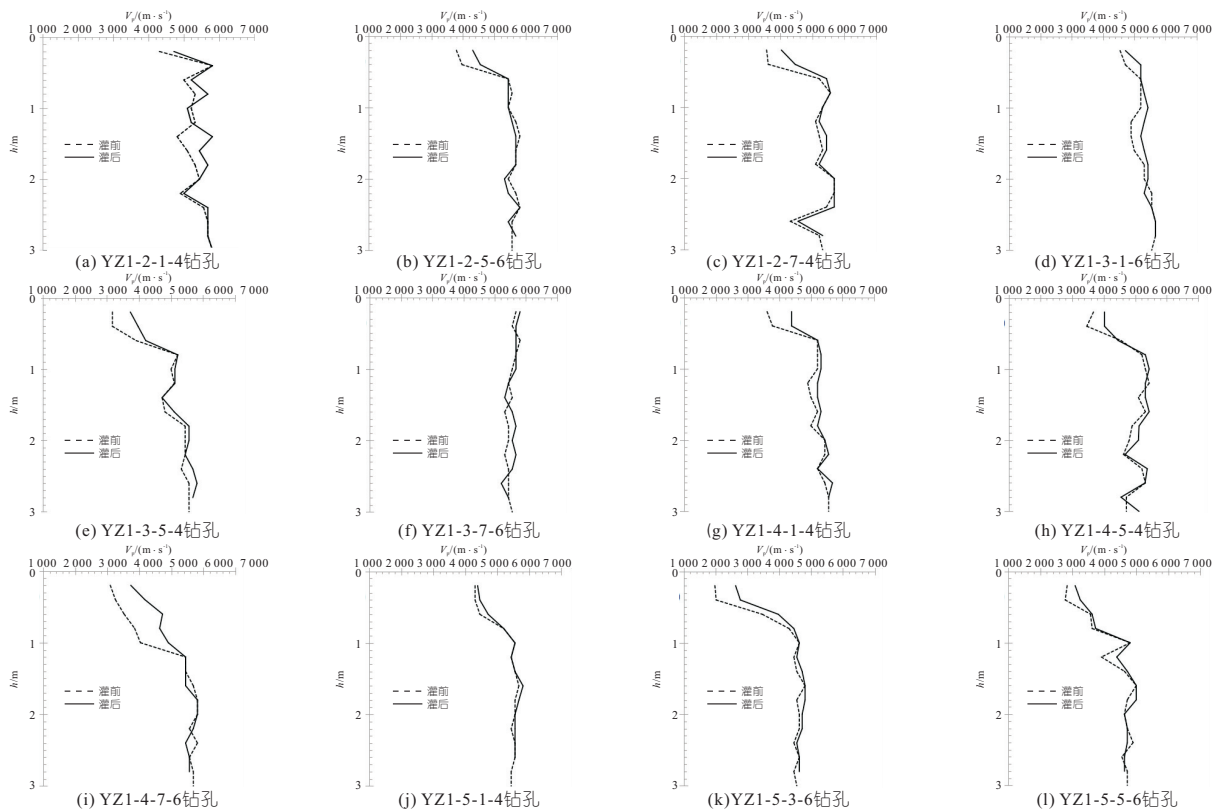


图 4 2~5 号灌浆单元灌浆前后波速对比图

Fig. 4 Comparison diagram of borehole wave velocity before and after grouting of 2~5 grouting units

表 2 2~5 号灌浆单元固结灌浆质量检测结果综合统计

Tab. 2 Comprehensive statistics of consolidation grouting quality inspection results of 2~5 grouting units

部位 桩号	声波测试检测结果					压水试验结果		
	钻孔 编号	灌浆前 波速 $V_p/(m \cdot s^{-1})$	龄期/d	灌浆后		灌浆后		
				波速 $V_p/(m \cdot s^{-1})$	波速提高率/%	钻孔编号	龄期/d	透水率/Lu
引水 [#] 1支洞 (0+044.00~ 0+064.00)	YZ1-2-1-4	4 310~5 810 5 290	21	4 720~5 810 5 460	3.6	YZ1-G2-J1	11	0.44
	YZ1-2-5-6	3 790~5 810 5 380	21	4 310~5 810 5 390	1.1	YZ1-G2-J3	11	0.38
	YZ1-2-7-4	3 570~5 680 5 040	21	4 030~5 680 5 220	4.5			
引水 [#] 1支洞 (0+064.000~ 0+084.000)	YZ1-3-1-6	4 550~5 680 5 230	21	4 720~5 680 5 350	3.0	YZ1-G3-J1	11	0.76
	YZ1-3-5-4	3 170~5 560 4 890	21	3 730~5 810 5 065	5.5	YZ1-G3-J2	11	0.28
	YZ1-3-7-6	5 320~5 810 5 510	21	5 210~5 810 5 570	1.1	YZ1-G3-J3	11	0.32
						YZ1-G3-J4	11	0.18
引水 [#] 1支洞 (0+084.00~ 0+104.00)	YZ1-4-1-4	3 620~5 560 5 050	21	4 390~5 680 5 220	4.6	YZ1-G4-J1	11	0.17
	YZ1-4-5-4	3 470~5 440 4 830	21	4 030~5 440 4 980	3.5	YZ1-G4-J2	11	0.18
	YZ1-4-7-6	3 090~5 810 4 950	21	3 730~5 810 5 170	8.2	YZ1-G4-J4	11	0.15
引水 [#] 1支洞 (0+104.00~ 0+117.88)	YZ1-5-1-4	4 310~5 680 5 270	21	4 390~5 810 5 310	1.4	YZ1-G5-J1	11	0.27
	YZ1-5-3-6	1 980~4 810 4 140	21	2 630~4 810 4 330	7.8	YZ1-G5-J2	11	0.17
	YZ1-5-5-6	2 780~5 000 4 280	21	3 090~5 000 4 350	3.3	YZ1-G5-J3	11	0.24

4 结论

a. 引水支洞围岩浅层受爆破、卸荷等影响,裂隙发育,岩体质量变差,是固结灌浆处理的重点部位。无盖重灌浆有利于发现隧洞围岩表面裂隙漏浆部位,可依据实际灌浆情况调整孔位及灌浆参数。但由于喷护混凝土盖重小,固结灌浆只能采用低压灌浆方式,以免围岩位移,破坏喷护结构,严重者造成人员伤亡及财产损失。因此,无盖重灌浆施工要特别注意抬动监测情况,克服无盖重灌浆自身的弱点。

b. 灌浆工程引入第三方检测单位,为质量控制提供了先进的检测设备、专业的检测人员,补充完善了灌浆工程质量监督体系、保证体系,提高了固结灌浆质量优良率。

c. 智能灌浆系统的成功应用,实现了浆液重度、灌浆压力、灌浆时间等灌浆参数可视化,以及洗孔、灌浆、封孔、压水、灌浆工序可视化。及时打印灌浆过程数据记录以及开展工序验收工作,保证了质量控制工作可追溯性、规范性,大大降低了灌浆工作返工作业风险,为建设优质工程、精品工程、标杆工程提供了强有力保障。

参考文献:

- [1] 黄庆豪,侍克斌,毛海涛,等. 固结灌浆深度对丹巴水电站深厚覆盖层坝基中流固耦合的影响[J]. 水电能源科学,2020,38(5):86-90.
- [2] 杨大鸿,翁锐,陈立成. 高寒地区厂房基础无盖重固结灌浆施工技术[J]. 水电与新能源,2019,33(12):68-71.
- [3] 施华堂,傅兴安,朱锋,等. 基于 BIM 技术的灌浆过程数据多维集成分析[J]. 水电能源科学,2021,39(9):149-151.
- [4] 樊启祥,黄灿新,蒋小春,等. 水电工程水泥灌浆智能控制方法与系统[J]. 水利学报,2019,50(2):165-174.
- [5] 夏可风,王克祥. 从乌东德、白鹤滩水电站灌浆工程看我国灌浆施工智能化的前景[J]. 水力发电,2022,48(7):64-67.
- [6] 谭炜. 紫坪铺工程 2[#]泄洪排沙洞震损修复固结灌浆试验控制指标及成果分析[J]. 四川水力发电,2011,30(2):96-98.
- [7] 国家能源局. 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范: DL/T5148-2021[S]. 北京:中国电力出版社,2021.
- [8] 王汉辉,丁刚,陈亮,等. 乌东德水电站特高拱坝全坝无盖重固结灌浆技术研究与应用[J]. 中国农村水利水电,2023(6):249-254,260.

b. 解决了 LEC 法中权重不明的缺陷,引入专家可信度防止单个专家过度影响风险评价结果,改善了主观因素对客观评价结果的影响,为水利工程安全风险分级管控提供了依据。

参考文献:

- [1] 向玉华,陈云,郑霞忠.受限空间灌浆作业安全风险云模糊综合评价[J].水电能源科学,2016,34(2):140-144.
- [2] ONUR HASTURK,DAVID L KAPLAN. Cell armor for protection against environmental stress:Advances, challenges and applications in micro-and nanoencapsulation of mammalian cells[J]. Acta biomaterialia,2019,95:3-31.

- [3] CERVI GUSTAVO, HENRIQUE, SOMENSI RUTE MERLO, et al. Project and preliminary evaluation of SimHosp, a tool for decision making in nursing [J]. Studies in health technology and informatics, 2019,264:541-545.
- [4] 张秀丽.国内外大坝失事或水电站事故典型案例原因汇集[J].大坝与安全,2015(1):13-16.
- [5] 蒋迪,信永达,杨帆.水利工程安全生产风险管理体系建设[J].东北水利水电,2022,40(9):56-57.
- [6] 李宗坤,葛巍,王娟,等.中国大坝安全管理与风险管理的战略思考[J].水科学进展,2015,26(4):589-595.
- [7] 赵亚娟.专家群评价结果可信度分析与检验[J].中国科学技术大学学报,2016,46(2):165-172.

Hydraulic Engineering Safety Risk Assessment Based on Expert Credibility and LEC-FCE Method

TAO Fei-fei^a, PI Yan-ling^a, JIANG Yong^b

(a. College of Computer and Information; b. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In view of the complex and changeable construction site and high difficulty in construction of water conservancy safety, the risk assessment of all hazard sources is the premise of safety control of a project. The traditional LEC method has the defects of large influence of subjective factors and unclear weight of each hazard source. Based on the introduction of expert credibility, the background differences between risk evaluation subjects were converted to quantitative analysis, and the subjective impairments was modified. This paper combined fuzzy comprehensive evaluation method with traditional LEC method to establish the risk evaluation index system. By calculating every index weight factor with the modified risk values in LEC method, the risk assessment was converted from qualitative to quantitative by membership degree matrix and the defection of imprecise weight factor in LEC method was solved. Finally, a verification of Xinmeng River shows that the objectivity of risk assessment of hazard sources has been improved significantly through the modified method, which provides scientific basis for the risk hierarchical control of water conservancy safety.

Key words: hydraulic engineering; safety risk assessment; LEC method; FCE method; expert credibility

(上接第 170 页)

Analysis of Grouting Construction Quality Management of Wuyue Pumped Storage Power Station

CHEN Zheng-wei, HU Wang-xing

(Henan Xinhua Wuyue Pumped Storage Power Generation Co., Ltd., Xinyang 464000, China)

Abstract: To prompt grouting construction quality management of Wuyue Pumped Storage Power Station, combining with exposed geological conditions after excavation, designed grouting parameters, this paper conducts grouting test, and determines the grouting process parameters. The introduction of intelligent grouting system can reduce labor intensity of workers and the labor cost, and improve the traceability of quality work, save the construction period. The introduction of third-party testing units brings advanced technology and management experience, and improves the credibility of testing results. Using the results of water pressure test and comparative analysis of wave velocities of different types of rock masses can evaluate the grouting quality. The evaluation results are mutually verified, which improves the persuasiveness of the grouting effect. The grouting project has achieved satisfactory results for all parties involved in the construction, and this grouting construction process management experience can be a reference for similar projects.

Key words: intelligent grouting; test; third party test; quality evaluation; satisfaction