

小断面裸岩隧洞超高压灌浆试验研究

许启云, 周光辉

(浙江华东建设工程有限公司, 浙江 杭州 310030)

摘要:水电工程建筑物超高压灌浆是一个全新的课题。天荒坪第二抽水蓄能电站天然落差约730 m,为研究以及探索水工隧洞高水头作用对隧洞围岩的整体性和抗变形能力的影响,在天荒坪PDX1探洞进行压力高达12 MPa的灌浆试验,由于所采取施工方法和措施均较恰当,促使整个灌浆顺利进行,获得了合理的灌浆程序和参数,为高压水头大型混凝土衬砌水道灌浆提供实践依据。

关键词:水工隧洞;小断面隧洞;裸岩岩体;超高压灌浆

中图分类号:TV543+.15 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)10-0081-04

Experimental Study on Ultra-high Pressure Grouting for Small Section Tunnel in Uncovered Rock/XU Qi-yun, ZHOU Guang-hui (East China Construction Engineering Corporation of Zhejiang, Hangzhou Zhejiang 310030, China)

Abstract: Ultra-high pressure grouting of hydropower project building is a new subject. The natural fall of the second pumped storage power station of Tianhuangping is about 730m, 12MPa grouting experiment was carried out in PDX1 testing tunnel of Tianhuangping to study and explore the impact of high water head in hydraulic tunnel on the integrity of tunnel surrounding rocks and deformation resistance. By the smooth progress of the entire filling based on the appropriate construction methods and measures, reasonable grouting procedures and parameters were obtained, which could be the practical basis of large concrete lining grouting with high pressure water head.

Key words: hydraulic tunnel; small section tunnel; uncovered rock; ultra-high pressure grouting

1 概述

天荒坪第二抽水蓄能电站位于浙江省安吉县天荒坪镇境内,电站枢纽建筑物主要由上水库(坝)、下水库(坝)、输水系统、地下厂房洞室群及地面开关站等组成。其中下水库位于山河港中下游河段,坝址位于天荒坪抽水蓄能电站下水库坝址下游2.9 km河段。输水系统及地下厂房、主变洞置于山河港右岸山体内,上、下库之间的水平距离约2.5 km,天然落差约730 m,是拟建电站重要建筑物之一。

水工隧洞超高压灌浆的目的是加固隧洞围岩、封闭隧洞周边岩体裂隙,提高隧洞围岩的整体性和抗变形能力,增强围岩抗渗能力和长期渗透稳定性。为探索隧洞周边岩体裂隙通过水泥灌浆,其裂隙面受灌浆压力作用而被压紧,成为闭合状态。依据设计要求,拟在天荒坪PDX1探洞合适位置进行压力高达12 MPa的灌浆试验,通过试验探索超高压灌浆施工技术的可行性和相应的施工工艺,获得合理的灌浆程序和参数,为高压水头大型混凝土衬砌水道灌浆提供实践依据。

本试验区岩性为流纹质角砾熔结凝灰岩。依据隧洞试验区所揭示的节理(裂隙)发育情况统计:桩号K0+110~120 m处节理(裂隙)发育—较发育,节理走向主要为NEE方向的中陡倾角为主,多延伸短,闭合;桩号K0+120~127 m处节理(裂隙)发育,节理走向主要为NE—NEE方向的中陡倾角为主,多延伸长,闭合,NW方向的中小倾角,延伸长,闭合;桩号K0+127~131 m处节理(裂隙)不甚发育;桩号K0+131~170 m处节理(裂隙)较发育,节理走向主要为NE—NEE方向的中陡倾角为主,多延伸短,闭合,NWW方向的中小倾角,延伸短,闭合。

由于超高压灌浆试验前期辅助工作较多,钻灌部分工作从2014年6月份正式开始,至11月18日结束,共完成钻灌工作量900余m,耗用水泥103 t,在整个灌浆施工期间,未发生过洞壁坍塌、爆管等安全事故,本灌浆试验最高灌浆压力达到了15 MPa。

2 灌浆设计布孔及要求

2.1 灌浆设计布孔

收稿日期:2015-02-15

作者简介:许启云,男,汉族,1964年生,高级工程师,从事水电钻探、海上工程钻探、大坝防渗灌浆处理,以及与此相关的钻探机具创新改进等工作,浙江省杭州市古墩路997号,xu_qiyun@126.com;周光辉,男,汉族,1965年生,副总经理,教授级高级工程师,zhou_gh@ecidi.com。

依据设计要求,灌浆分2个区进行,其中ZG1~ZG5环为一区,环距3m,其具体桩号为0+130~142m;而ZG6~ZG10环为二区,环距2m,具体桩号为0+120~130m。为实时观测灌浆试验区内岩体变形情况,在试验区内布置3环抬动孔,另在距离一区、二区各5、15m处,再分别布置1环抬动观测装置,其中灌浆试验范围内抬动孔深为25m、试验区外抬动孔深为20m,同时,为了使洞周岩体提高完整性,第1段采取不分环、不分序进行钻灌。从第

2段开始,采取环间加密,环内分序的原则。即:

3m间距孔:1、3、5环I序环,2、4环为II序环,呈梅花形布置;然后再环间分序,如第1环,1、3、5孔为I序孔,2、4、6为II序孔。

2m间距孔:6、8、10环I序环,7、9环为II序环,呈梅花形布置;然后再环间分序,如第6环,1、3、5孔为I序孔,2、4、6为II序孔。

整个灌浆试验区布孔状况如图1所示。

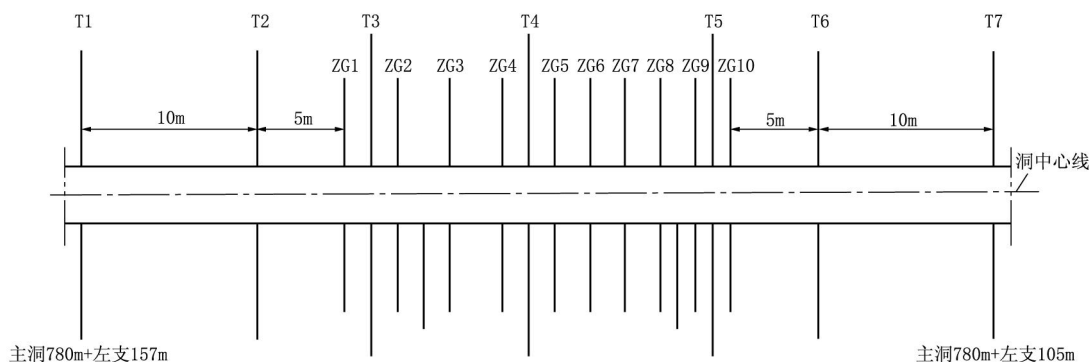


图1 灌浆试验区布孔情况

2.2 灌浆技术要求

灌浆材料以普通水泥为主,浆液水灰比为:由稀浆逐渐变浓的原则,即按3、2、1、0.8、0.6五级比级进行灌浆。

灌浆方法:采取自浅而深分段灌浆法。

灌浆压力:孔口段0.5~3m,压力为1.0MPa;孔深3~9m段,压力为5.0~8MPa;孔深9~15m段,10~12MPa;

灌浆结束标准:第1段按1MPa压力进行灌浆,当注入率 ≥ 1 L/min,持续灌注30min结束;第2段按5~8MPa压力进行灌浆,当注入率 ≥ 1 L/min,持续灌注20min结束;第3段按12MPa压力进行灌浆,当注入率 ≥ 1 L/min,持续灌注20min结束。

3 安全防范技术

按《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148—2012),对灌浆压力 > 3 MPa的灌浆认定为高压灌浆。结合本工程第2段开始,灌浆压力为5MPa,而实际大部分高达8MPa,第3段按12MPa标准结束灌浆,如此之高灌浆压力,如何确保人员以及设备的安全是本项目的重中之重。

3.1 危险源辨识

为确保灌浆试验的顺利进行,从提高作业环境

稳定性和针对所投入的灌浆设备、器具、连接件等的安全性入手。其中针对隧洞作业环境,通过危险源辨识,潜在的危险因素有:

(1)洞内成孔施工,人员洞内行走时,应防止洞顶松动岩石掉落伤人;

(2)在孔段灌浆过程中,钻孔周围岩体松动,导致岩体坍塌,造成人员伤害和机械设备损坏;

(3)超高压灌浆过程中,灌浆管路及各连接件破损,造成伤人事故;

(4)洞内制浆站、灌浆站、钻机成孔施工均使用动力高压电,应防止触电事故的发生。

3.2 安全防范措施

针对上述潜在风险,为确保洞内超高压灌浆试验的安全施工,采取以下应对措施。

(1)无论人员进出洞行走还是洞内作业施工,所有人员均正确佩戴安全帽和手电筒。

(2)试验区灌浆期间,附近作业钻机应停止作业,即把人员撤离到灌浆区以外。从人员便于逃生考虑,禁止人员向支洞内撤离。同时,防止松动岩石坍塌导致钻机损坏,在灌浆之前,在钻机上部用平台板做安全防护。

(3)为防止超高压灌浆过程中,灌浆管路及各连接件破损导致浆液喷射伤人,应选用耐压能力大

于最大灌浆压力1倍以上灌浆管和连接件,另外,在管与管之间连接部位或易受损部位应做防漏浆保护装置。

(4) 动力用电为380 V高压电,设备用电做到一机一闸和防漏电保护装置;无论照明、还是动力电,其电线或电缆,均必须沿洞壁悬空架设。

(5) 洞内配备专职电工或者具有电工证的人员进行接线作业。

(6) 为洞内停电而应急供电,在洞口自备75 kW发电机组1台。

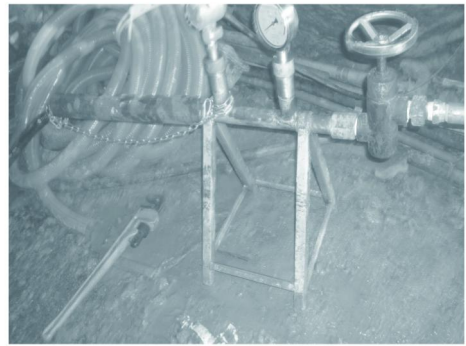
(7) 利用抬动监测装置,在所监测电脑中事先设置好抬动报警信号(200 μm),一旦抬动值超过立即发出报警信号。

3.3 灌浆机具选择及安全措施

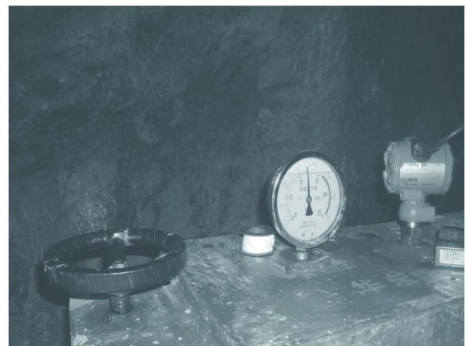
(1) 灌浆设备:本次选择SNS-130/20型注浆泵和XPB-90E型高压注浆泵作为超高压灌浆的施工用泵,通过使用,SNS-130/20型注浆泵可以满足1~2段的灌浆用泵,即适用于灌浆压力 $< 8 \text{ MPa}$ 的灌浆段;而XPB-90E型高压注浆泵,先在洞外18 MPa试运行,再结合12~15 MPa的灌浆段灌浆,它具有性能稳定、使用维修方便等特点。

(2) 灌浆稳压装置:在水工建筑物地基基础灌浆工程中,由于所用往复泵受缸数和柱塞往复次数影响,致使所输出流量存在不均匀度,通常当泵实际工作压力达到额定压力50%及以上时,安装在管路中的压力表指针就会摆动较大(超过规定值20%),而依照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148—2012),在灌浆钻孔(段)灌浆期间,要求其压力表摆动值必须小于20%。为改善管路中压力表摆动范围,需要在工作管路中安装一种大于工作压力的稳压装置,为此,按1.25倍安全系数,灌浆压力为12 MPa,事先通过理论计算,选用 $\text{Ø}219 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 无缝钢管加工了2只稳压装置,目的是让该稳压装置能承受 $> 15 \text{ MPa}$ 的灌浆压力。该稳压装置在正式投入使用前,先通过洞外18 MPa通水试验,观测各焊接部位没有变形后,再拿到洞内灌浆使用。

(3) 压力控制装置:为提高灌浆期间的安全性,特制加工了压力控制装置(见图2a),同时,为解除现场压力控制人员的恐慌心理,在装置外面采用薄钢板进行加固(见图2b),该装置先通过洞外清水18 MPa的压力试验,再拿到洞内进行灌浆实际使用。



(a)



(b)

图2 压力控制装置

(4) 75 水压式灌浆栓塞:该栓塞依靠手动试压泵充水使栓塞膨胀,它设置了进浆管和回浆管,进入灌浆段的浆液处于流动状态,灌浆期间的浆液就不容易被凝固,本栓塞最大压力可达到18 MPa。

(5) 高压阀门及连接件:通过调研采购的高压阀门,能承受20 MPa以上高压;高压胶管选择4层钢丝,爆破压力为37 MPa,由厂家提供质保单,连接件加工成六方便于拆卸;重点部位先用套管做保护,再用铁链锁住,起到双保险的效果。

总之,为了确保高压灌浆期间的安全,以及防止因管路爆裂影响灌浆质量,从上述方面全方位、不留死角落实好安全防范工作,以确保高压灌浆的正常进行。

4 超高压灌浆效果

4.1 孔段灌浆情况

第1段1 MPa压力灌浆,是为了加固洞周岩体补强,从灌浆效果来看,局部孔段出现裂隙渗漏,但在该压力下,大部分孔段能够自动裂隙封闭,最终达到结束标准,由此证明灌浆压力适宜可控。

第2段灌浆压力为5~8 MPa,除洞顶孔段采用5 MPa外,其余孔段均按8 MPa灌浆结束,从灌浆效

果来看,部分孔段由于岩石破碎原因,一次性无法达到结束标准,需要通过待凝复灌,但总体灌浆可控。

第3段灌浆压力为12~15 MPa,从灌浆效果来看,大部分孔段在12 MPa压力下,一次性达到结束标准;但为验证本区域岩体最大承受压力,对部分第3段灌浆段,增大至15 MPa进行灌浆,结果部分孔段出现岩石劈裂破坏的迹象,当灌注流量 $<1\text{ L/min}$ 状态下,浆液会变浓,温度升至 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,持续时间不能超过20 min;对破坏孔段需要通过待凝复灌,但总体灌浆基本可控。

4.2 灌浆成果

经对一区、二区灌浆成果统计,各序环平均单位注入率如表1。

表1 灌浆注入量统计表 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$

灌浆区	I序环平均注入量	II序环平均注入量	单位平均注入量
一区	62.78	58.40	61.03
二区	60.28	39.66	52.03

综述表1,灌浆一区,共布置5环,每环6只深15 m、间距3 m的灌浆孔,分二序钻灌, I序环为ZG1、ZG3、ZG5三环,平均注入量为 62.78 kg/m , II序环为ZG2、ZG4二环,平均注入量为 58.40 kg/m , II序环平均注入量均低于I序环平均注入量,符合通过灌浆透水率递减的规律。一区单位平均注入量为 61.03 kg/m 。

灌浆二区,共布置5环,每环6只深15 m、间距2 m的灌浆孔,分二序钻灌, I序环为ZG6、ZG8、ZG10三环,平均注入量为 60.28 kg/m , II序环为ZG7、ZG9二环,平均注入量为 39.66 kg/m , II序环平均注入量均低于I序环平均注入量,符合通过灌浆透水率递减的规律,二区单位平均注入量为 52.03 kg/m 。

从上述平均单位注入量来说,相比较而言,二区单位注入量小于一区单位注入量17.30%,但是为

此增加钻灌工作为50%,从工程经济比选考虑,二区方案优势并不明显,一区方案更适用工程。

灌浆结束,待凝14 d,两区分别布置3个检查孔进行压水检查,其结果:灌浆一区,3个检查孔,计9段,除第1段岩体透水率 $>1\text{ Lu}$,其余8段均 $<1\text{ Lu}$;而灌浆二区,共9段,岩体透水率全部 $<1\text{ Lu}$;再观测试验段隧洞内的各裂隙渗水点,高压灌浆前出露方式以渗、滴水为主,少量为线(束)状流水,高压灌浆结束后,各渗水点已基本封堵不渗水,说明此次高压灌浆效果明显。

5 结语

水电工程建筑物岩体超高压灌浆的研究是一个全新的课题,由于所采取的灌浆工艺、方法以及措施均较恰当,致使未发生过任何安全事故,使灌浆施工质量得到了保证,为本区域地下建筑物隧洞围岩加固设计提供了依据。也为今后其他兄弟单位开展这方面工作提供借鉴。

参考文献:

- [1] DL/T 5148—2012,水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [2] 周厚贵,等.三峡工程坝基灌浆与围堰防渗施工新技术[J].水电能源科学,2009,(1).
- [3] 於习军,等.三峡工程基础帷幕灌浆压力的论证确定与应用分析[J].水利水电快报,2002,(14).
- [4] 王档良,等.岩体中灌浆压力变化规律试验研究[J].金属矿山,2008,(1).
- [5] 古剑飞,甘贻强,张明明.小口径金刚石钻进在大岗山水电站帷幕灌浆工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):60-64.
- [6] 张维明,孙玉涛.天荒坪电站引水岔管的高压灌浆施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2001(2):27-28.
- [7] 邹刚.锦屏二级水电站隧洞无盖重高压固结灌浆试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):74-77.
- [8] 李志刚,崔雪玉.高压灌浆塞在天荒坪高压固结灌浆中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),1999,(6):25-26.