

福清核电厂边坡工程高压旋喷与 帷幕灌浆止水施工技术

陈哲¹, 张兆楠¹, 石逊²

(1. 江苏省核工业二七二地质大队, 江苏 南京 210003; 2. 河北省地矿局第十一地质大队, 河北 邢台 054000)

摘要:福清核电厂排水暗渠工程现场无大范围开挖条件, 下卧土层中又含有块石和抛石, 成桩困难, 无法达到止水的目的, 因此, 探索应用了高压旋喷与帷幕灌浆止水工艺相结合, 采用高压旋喷桩边坡支护, 帷幕灌浆止水防渗。工程实践表明, 这两种方法在施工速度、安全施工与文明施工以及经济效益方面取得了良好的效果, 对于今后类似工程地质条件下的工程项目, 具有一定的参考价值。

关键词:高压旋喷; 帷幕止水灌浆; 基坑; 边坡支护; 防渗

中图分类号: TU473.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2016)05-0071-05

Application of High Pressure Jet Grouting and Curtain Grouting Water Sealing in a Nuclear Power Project/CHEN Zhe¹, ZHANG Zhao-nan¹, SHI Xun² (1. Jiangsu Province Nuclear Industry 272 Geological Brigade, Nanjing Jiangsu 210003, China; 2. No. 11 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xingtai Hebei 054000, China)

Abstract: There were no large-scale excavation conditions for the drainage culvert project of Fuqing nuclear power plant and the soil layer contained rubble and riprap, it was difficult for pile-forming and water stopping could not be realized. The combination application of high pressure jet grouting and curtain grouting water sealing technologies were explored for slope support and water sealing. It is proved that by the engineering practice, good results are achieved in construction speed, safety construction, civilized construction and economic benefit with these two methods, which can be reference to the future projects with similar geotechnical conditions.

Key words: high pressure jet grouting; water sealing curtain grouting; foundation pit; slope supporting; seepage prevention

0 引言

高压旋喷桩是通过高压旋转的喷嘴将水泥浆喷入土层, 并与土层充分混合进而形成水泥加固体, 在工程实践中用于处理软弱土层地基, 如淤泥质土, 淤泥以及处于软塑和流塑状态的粘性土, 具有良好的加固效果, 并且具有噪声低、占地小等优点。帷幕灌浆止水工艺主要应用于基坑的止水中, 通过向基坑周围的土体中灌入水泥浆, 从而形成隔绝地下水的防水帷幕, 以提高基坑边坡的稳定性。

王璐华^[1]根据云南白泥坡水库的防渗处理, 介绍了帷幕灌浆止水工艺在工程中的应用。吴维正等^[2]在大连取水泵房的止水中采用了帷幕灌浆止水, 取得了良好的止水效果, 使后续的施工环境得到了明显的改善。王海忠^[3]通过内蒙古小沙湾水厂的帷幕灌浆止水施工, 分析了施工中出现的问

题, 提出了有效的解决方案。刘建光^[4]总结了帷幕灌浆止水工艺在砂卵石坝基防渗的工程经验, 提出了该方法在砂卵石地基的止水防渗是值得推广的。邓树密^[5]总结了在国外某水利枢纽工程厂房封闭帷幕灌浆施工的经验, 取得了较好效果。黄全海等^[6]在帷幕灌浆止水施工前进行了灌浆试验, 有效解决了洛阳赤泥库大坝的渗漏问题。任宏茂等^[7]在杭州地铁项目中采用了帷幕灌浆止水工艺, 并通过抽水试验验证了施工效果。崔双利^[8]在某挡墙的开挖施工中, 选择了高压旋喷桩对基坑边坡进行支护, 取得了良好的效果。李斌等^[9]对比研究了高压旋喷桩与高压旋喷扩底桩的作用机理。狄宏规等^[10]通过对某路基加固的试验数据的分析, 研究了斜向高压旋喷桩的加固机理。韩争^[11]通过某高速公路的施工, 探讨了高压旋喷桩在软土地基处理中的应

收稿日期: 2016-01-25

作者简介: 陈哲, 男, 汉族, 1971年生, 副队长, 高级工程师, 从事核电工程岩土设计和岩土施工工作, 江苏省南京市鼓楼区察哈尔路16号, njhgyz@163.com。

用。武玲^[12]以某建筑工程的地基加固为例,研究了高压旋喷桩加固回填土的有效性。

通过对以上研究的总结,发现帷幕灌浆止水和高压旋喷两种工艺在工程中单独应用,均取得了良好的施工效果,但是对于两种工艺的结合的研究成果不算丰富,因此本文依据福清核电站排水暗渠施工的工程实践,探究了高压旋喷与帷幕灌浆止水工艺相结合在本工程中边坡开挖支护与防渗的应用,可以为今后类似的工程提供一定的参考依据。

1 工程概况

本工程厂址位于福清市三山镇西南前薛村的岐尾山前沿,岐尾山为海湾中的岬角,厂址地处突入兴化湾的岐尾山,南、西、北三面环海,东北侧与前薛村陆地连接。厂址距省会福州市 71 km,距长乐市 58 km,距福清市 32 km,距最近的村庄——前薛自然村 1.8 km。

根据岩土工程的勘察资料,岩土层的分布情况如下:

①填土层:新近堆填,主要为强风化基岩风化物回填,松散—稍密,密实程度不均匀,工程性质差;

②淤泥质粉质粘土层:承载力低,局部分布,厚度分布不均匀,高压缩性,工程性质差;

③残积土层:承载力一般,局部分布,厚度分布不均匀,中等压缩性,工程性质一般;

④₁ 全风化黑云母花岗岩层:承载力较高,局部分布,厚度分布不均匀,中等偏低压缩性,工程性质一般;

④₂ 强风化黑云母花岗岩层:碎屑状风化,厚度分布不均匀,承载力较高,工程性质较好;

④₃ 中风化黑云母花岗岩层:较完整,承载力高,工程性质好;

④₄ 微风化黑云母花岗岩层:完整,承载力高,工程性质好。

拟建场地在勘察深度范围内,地下水类型为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水。第四系孔隙水主要赋存于填土层中,基岩裂隙水主要赋存于全风化基岩中。

2 施工工艺的选择

根据勘察资料^[13],Ⅱ区段暗渠外侧由于爆破挤淤施工存有大量淤泥堆积,淤泥厚度为 0~8.6 m,

沿排水暗渠总长度约 137 m,淤泥面最高顶标高为 -7.78 m,最低底标高为 -16.38 m,该部位大量淤泥的存在对排水暗渠的开挖边坡稳定性影响较大,如按自然放坡开挖,则土方量巨大,但现场又无大范围开挖条件,因此需对该段边坡进行支护处理,开挖至 -6.15 m,根据以往的施工经验和地质资料,对该区段进行高压旋喷桩边坡支护。该支护方法的优点包括可以有效地减少土方的开挖量,无需考虑放坡开挖拖慢施工进度,也减小了对周围环境的影响,并且可以为后续的施工创造安全的条件,从施工进度以及安全性和经济性考虑,均有很大的优势。

考虑到区段下卧层土层为淤泥、粉质粘土、全风化岩等,地质情况极为复杂。在滨海潮汐作用下,基坑内易产生渗水涌水、流泥、流沙等现象,必须采取有效的止水、隔水、防渗等围护措施。控制性水泥帷幕灌浆止水工艺作为一种新兴的灌浆工艺,其优点包括可以解决常规灌浆中串冒浆的问题,并且对于抛石、块石含量高的地层中的止水效果良好,因此可以采用控制性水泥灌浆工艺在坡脚范围内进行止水防渗施工,以满足该工程干法施工条件。

根据本工程的前期施工经验,高压旋喷桩在淤泥土以及素填土的土层中,可以达到良好的成桩效果,但是如果土层中含有块石和抛石,则对成桩效果影响较大,从而无法达到有效止水的目的,因此本工程在排水暗渠Ⅱ区段的施工中的淤泥段选择了高压旋喷工艺,在回填区采用了帷幕灌浆止水工艺,两种工艺相结合,以求在经济性与安全性上取得良好的效果。支护墙体的断面图如图 1 所示

3 高压旋喷与帷幕灌浆止水相结合的施工工艺

3.1 施工流程

先按设计要求,基坑开挖至 -6.15 m 后,在Ⅱ区段进行高压旋喷支护墙体与高压止水帷幕注浆的支护、止水结构的施工;回填区段及局部少量淤泥厚度 <2 m 部位直接在 -6.15 m 进行控制性水泥灌浆帷幕施工,待止水帷幕形成封闭,向下开挖基坑,并将边坡区域淤泥层用开山石进行换填,并理出坡脚压脚平台,边坡支护结构完成后挖出基底淤泥直到暗渠结构持力层,然后采用混凝土进行换填施工,垫层施工,暗渠结构施工,闸门井施工,最后分层回填。施工流程如图 2 所示。

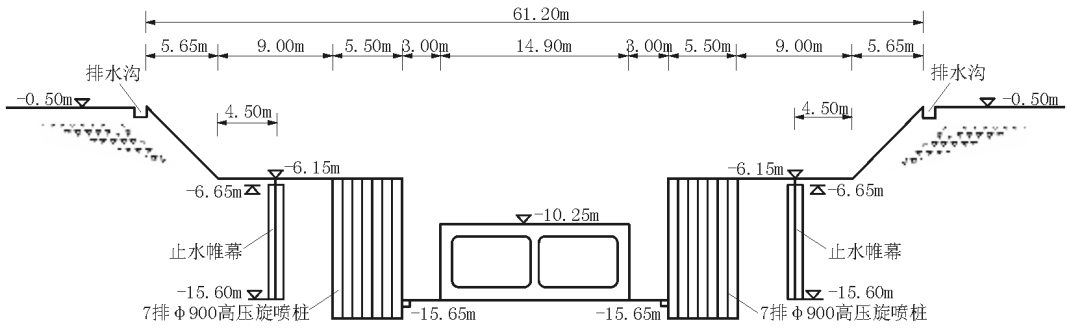


图 1 支护墙体断面图

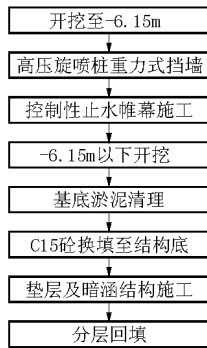


图 2 施工流程图

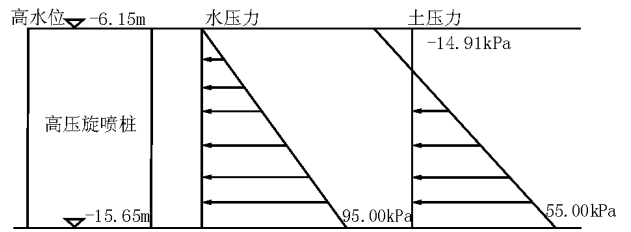


图 3 荷载计算简图

荷载的计算结果见表 1。

表 1 荷载计算结果

荷载情况	垂直力/ (kN · m ⁻¹)	水平力/ (kN · m ⁻¹)	稳定力矩/ (kNm · m ⁻¹)	倾覆力矩/ (kNm · m ⁻¹)
自重	940.5		2586.4	
水压力		451.25		1429.0
填料土压力		206.25		515.6

对于墙后的土体,内摩擦角 $\varphi = 2.3^\circ$,粘聚力 $c = 7.76 \text{ kPa}$ 。主动土压力系数 $K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$,主动土压力 $E_a = \gamma h K_a - 2c \sqrt{K_a}$ 。

在进行稳定性验算的过程中,考虑了高水位和堆载作用的效应组合,按承载能力极限状态设计,稳定性验算结果见表 2。

表 2 稳定性验算结果

抗滑稳定性验算													
作用效应组合: $\gamma_0(\gamma_{E1}E_H + \gamma_{E2}E_{qH} + \gamma_{pw}P_w)$							$\gamma_G G / \gamma_d$						
γ_0	γ_{E1}	E_H	γ_{E2}	E_{qH}	γ_{pw}	P_w	结果	γ_d	γ_G	G	f	结果	结论
0.9	1.25	206.2	0	0	1.05	451.2	658.5	1	1	940.5	0.75	705.4	稳定
抗倾覆稳定性验算													
γ_0	γ_{E1}	M_{EH}	γ_{E2}	M_{EqH}	γ_{pw}	P_w	结果	γ_d	γ_G	M_G	结果	结论	
0.9	1.25	515.6	0	0	1.05	1429	1930.4	1.25	1	2586	2068.8	稳定	

3.3 施工方法

对于高压旋喷桩的施工,首先视地层性质选用适宜的钻机及机具,然后进行桩孔定位,控制桩需每隔 5 个桩孔测放 1 个,随后把钻机移至钻孔位置,下放套管,注意套管放置垂直,钻机钻头下放到套管内

开始钻孔。钻进过程中,为了防止塌孔的发生,可采用密度为 $1.1 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$ 的泥浆护壁,遇到异常情况及时查明原因,采取相应措施。对地层变化、颗粒大小、硬度等要详细记录。成孔后,将喷射管下至预定深度,为了防止在下管的过程中泥砂堵塞喷嘴,可

以插管的过程中进行射水,水压力 $\geq 1\text{MPa}$,在正式喷射灌浆前首先要进行试喷,喷射灌浆采用水泥浆液,浆液密度 $\leq 1.5\text{g/cm}^3$ 。对于高压浆液的配置,可采用硅酸盐水泥,掺入一定量的扩散剂,拌合高压浆液的水泥和水应符合规范规定^[14-15]。应连续制浆且拌合时间 $\leq 30\text{s}$ 。为了防止浆液沉淀,应该采用低速搅拌机进行搅拌,并且拌合好的水泥浆不可长时间放置,若超过了有效时间,不得再使用。当喷管插入预定深度后,由下而上进行喷射作业,送入符合要求的浆、气,待注入浆液冒出孔口后,按预定的提升方式及速度自下而上提升。喷射结束后,随即在喷射孔内进行静压充填灌浆,直到浆面不再下沉为止,保证防渗墙固结后墙顶标高,回灌浆液采用与桩体水泥浆配比相同的水泥浆。

在高压旋喷桩施工的过程中,会出现冒浆的现象。所谓的冒浆就是在喷射浆液的过程中,土颗粒会随着部分的水泥浆液沿着注浆管冒出。冒浆现象可以反映出旋喷桩的效果和已选择的参数是否合理。以注浆量的20%为临界值,当冒浆量小于该临界值时,可视为正常情况,可不进行处理。但如果冒浆量过多,超过该临界值或者完全不产生冒浆时,就需要引起重视,查明原因。若出现完全不冒浆的情况,则可能是地层中存在有较大的孔隙,所注入的浆液全部填补这些孔隙,使得上层的土体达不到加固的效果。解决这种情况的措施有2个,一是可以在高压浆液中掺入加速其凝固的速凝剂,使水泥浆液在未达到大孔隙之前就凝固,达到一定的加固效果。二是还可以增加浆液的注入量,使浆液先填补大孔隙,再填补上部的小空隙,达到加固的效果。若出现冒浆量很大,其原因可能是浆液过量,过量的浆液就可能不断地涌上,冒浆量过大。解决这种情况的方法有2个,首先可以适当缩小喷嘴的直径,这样可以提高喷射压力而减小注浆量;其次就是单纯地提高喷射的压力。最后可以通过在相邻的孔之间开挖排浆沟,这样不但可以使每个桩在土层中联系起来,提高了加固的效果,还可以有效地控制冒浆过量的情况。

而对于帷幕灌浆止水的施工,首先定帷幕轴线放孔位,然后固定钻机,钻进成孔,安装灌浆管,按计划浆液量控制进行灌双液浆,最后封孔结束。

具体操作为:终孔后在引管内按每孔分3段止水灌浆施工方案安装孔内进注浆管,孔内分段灌浆分隔器,孔内分段进浆管封隔器和孔内排泄水灌浆

装置,按要求安装好后拔出钻孔引管。孔口用砂填堵 0.5m ,再对每孔深标高 $-6.65\sim -9.0\text{m}$ 范围选用滤排水压水泥浆方法进行高压压浆,用高压压浆进行孔口阻塞和对填料的挤密压实止水处理,控制挤压式压浆压力 $\geq 4.0\text{MPa}$ 。对孔深标高 $-9.0\sim -13.5\text{m}$ 深度范围分二序进行控制性水泥灌浆,其中I序孔灌浆控制进浆压力 $> 1.5\text{MPa}$,保证充分灌入水泥砂浆,在I序孔段进行灌浆的同时,左右相邻的II序孔段的相应深度范围内必须同时具备畅通排水降压的条件,使I序在灌浆段周围产生的浮托渗透力被大幅降低,灌入的浆液会随着排水流向和压力坡降向下集中在帷幕轴线向II序孔扩散,以提高帷幕有效厚度和帷幕灌浆的整体止水效果,同理II序孔标高 $-9.0\sim -13.5\text{m}$ 灌浆时左右二个I序孔标高 $-13.5\sim -20.15\text{m}$ 范围需畅通排水降压(如图4所示)。而对标高 $-13.5\sim -20.15\text{m}$ 孔深段

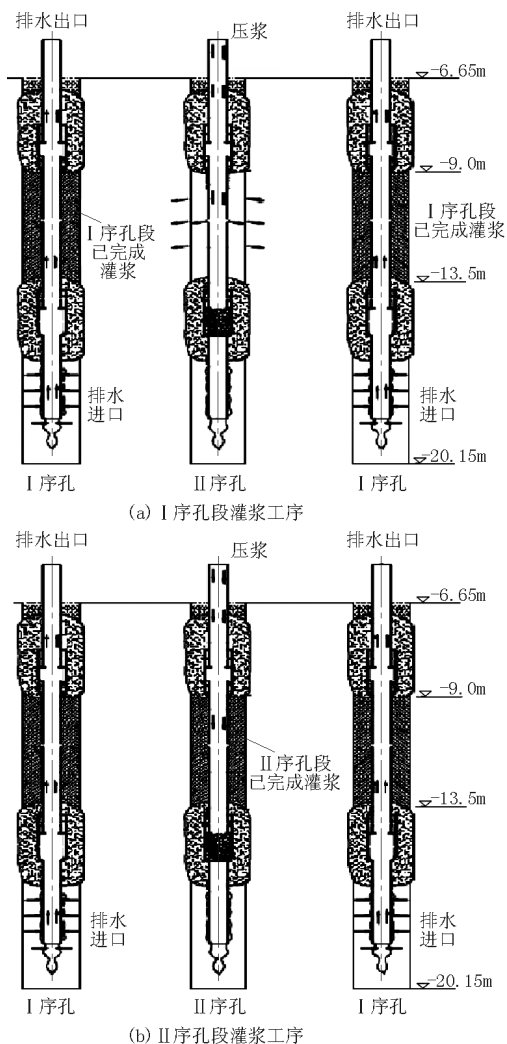


图4 控制性止水帷幕工序

范围同样分二序完成控制性水泥灌浆。完成灌Ⅱ序孔终孔段时,此时其左右不能排水消压,但需控制缩短浆液凝固时间和大于Ⅰ序孔灌浆压力1.0~2.0 MPa,最大限度保证帷幕的完整性和可靠性以保证止水效果。当达到要求计划浆液量和要求灌浆压力后即可结束灌浆。

4 结语

对于福清核电站5、6号机组的排水暗渠和CC跌落井的施工,由于其地质环境条件复杂,并且存在着淤泥堆积和软弱土层,也存在含有块石和抛石的土层,因此在排水暗渠的施工中,为了达到良好的加固止水效果,采用了在软弱土层中适用的高压旋喷桩和在块石抛石地层适用的帷幕灌浆止水工艺相结合的施工方法。经过两种施工工艺相结合,为后期的干法施工创造了良好的条件,如图5所示。工程实践表明,这两种工艺相结合在施工速度,安全施工与文明施工以及经济效益方面取得了良好的效果,对于今后类似的施工条件下的工程项目,具有一定的参考价值。



图5 高压旋喷支护与帷幕灌浆止水施工后的效果图

参考文献:

- [1] 王璐华.帷幕灌浆技术在白泥坡水库除险加固工程中的应用[J].中国水利,2010,(18):21-23.
- [2] 吴维正,丰武江,沈家兵,等.双液灌浆法在临时围堰止水帷幕中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):46-47.
- [3] 王海忠.帷幕灌浆在内蒙古小沙湾水厂1号辐流池渗漏处理中的应用[J].山西水利科技,2012,(4):29-31.
- [4] 刘建光.帷幕灌浆在砂卵石坝基防渗加固中的应用与研究[J].浙江水利水电专科学校学报,2012,24(2):18-22.
- [5] 邓树密.伊朗TALEGHAN水利枢纽厂房封闭帷幕灌浆施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(8):66-69.
- [6] 黄全海,赵尊亭,王利芳.赤泥库大坝渗漏分析及灌浆处理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):66-69,79.
- [7] 任宏茂,陈俊.地铁车站基坑帷幕灌浆施工技术[J].铁道建筑技术,2013,(9).
- [8] 崔双利.高压旋喷注浆技术在基坑挡土墙工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):48-49.
- [9] 李斌,郭克诚,蒋冲,等.高压旋喷扩底桩承载机理的现场试验研究[J].土工基础,2012,26(1):70-73.
- [10] 狄宏规,冷伍明,周顺华,等.朔黄重载铁路路基斜向高压旋喷桩加固效果[J].同济大学学报(自然科学版),2013,41(12):1818-1823.
- [11] 韩争.高压旋喷桩在高速公路施工中的应用[J].交通世界:运输,2015,(30).
- [12] 武玲.高压旋喷桩在某建筑地基加固中的应用[J].山西建筑,2014,(34):79-80.
- [13] 核工业南京工程勘察院.福清核电站5、6号机组7CC子项岩土工程勘察报告[Z].
- [14] GB 175—1999,硅酸盐水泥,普通硅酸盐水泥[S].
- [15] JGJ 63—89,混凝土拌合用水标准[S].

(上接第70页)

参考文献:

- [1] 何远信,刘家荣,翁炜,等.深部高效钻探技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S2):84-88.
- [2] 苏长寿,谢文卫.液动冲击回转钻探技术的研究与应用(之二)[J/OL].探矿工程在线,2013-12-31.
- [3] 王达,何远信,等.地质钻探手册[M].湖南长沙:中南大学出版社,2014:429,338,470,517.
- [4] 龚伟安.钻井液固相控制技术与设备[M].北京:石油工业出

版社,1995:49-53,316-322.

- [5] 张玉华,李国华,熊亚萍,等.钻井液固控系统配套现状及改进措施[J].石油矿场机械,2007,36(12):84-87.
- [6] 张金昌,刘凡柏,冉恒谦,等.2000 m地质岩心钻探关键技术与装备[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):3-6.
- [7] 贾军.中国大陆科学钻探先导孔及扩孔钻井泥浆工艺[J].探矿工程,2003,(3):57-60.
- [8] 冯美贵,朱迪斯,翁炜,等.小口径地质钻探用TGLW220×660型冲洗液离心机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):40-43.