

强渗漏与坚硬岩层组合条件下旋挖钻机 施工工法研究

姚涛¹, 王增胜², 颜金成², 金英姬³

(1. 长春市市政工程设计研究院, 吉林 长春 130021; 2. 北京建工集团总承包部, 北京 100038; 3. 吉林省核工业地质局, 吉林 长春 130026)

摘要:通过对强渗漏与坚硬岩层组合条件下桩基工程旋挖钻机施工技术的探索, 总结出高压旋喷防渗漏与旋挖钻机牙轮筒钻和截齿取心筒钻交叉钻进入岩联合成孔施工工法, 并在工程中成功应用。在处理大直径入坚硬岩层钻孔灌注桩方面效果明显, 技术先进, 有明显的社会效益和经济效益。

关键词:强渗漏; 坚硬岩层; 高压旋喷; 旋挖钻机; 截齿取心筒钻; 牙轮筒钻; 钻孔灌注桩

中图分类号: U443.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)02-0064-06

Study on Construction Method of Rotary Drilling Rig under the Combination Conditions of Strong Seepage and Hard Rock Bed/YAO Tao¹, WANG Zeng-sheng², JIE Jin-cheng², JIN Ying-ji³ (1. Changchun Municipal Engineering Design & Research Institute, Changchun Jilin 130021, China; 2. Beijing Construction Engineering Group, Beijing 100038, China; 3. Jilin Province Nuclear Industry Geological Bureau, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: By the exploration of pile foundation construction method of rotary drilling rig under the combination conditions of strong seepage and hard rock bed, the combined drilling method of anti-seepage is summed up and has been successfully applied in the engineering, which is by high pressure jet grouting with cross use of cone tubular drilling and pick coring tubular drilling of rotary drilling rig to break into rocks. Obvious effects have been received in the construction of large diameter bored grouting pile in hard rock bed.

Key words: strong seepage; hard rock bed; high pressure jet grouting; rotary drilling rig; pick coring tubular drill; cone tubular drill; bored grouting pile

0 引言

在大规模市政与基础设施建设中, 城市高架及立交桥桥梁跨径不断加大, 混凝土灌注桩工程量持续增长, 大直径入岩钻孔灌注桩的应用也急剧增多。由于城市高架桥主要在城市道路中央占道施工, 因此工期紧张, 其中钻孔灌注桩的施工占据了大量的工期, 尤其是大直径入岩钻孔灌注桩, 往往成为制约整个工程进度的关键。

由于旋挖钻机自动化程度高、环保高效、自带动力等特点, 被众多非入岩及桩端进入强风化及中风化软质岩石工程项目作为首选设备得到广泛使用。而对于桩端进入坚硬岩类, 目前国内普遍采取的方式仍为大功率冲击钻。由于冲击钻机功效低、泥浆数量大且难以处理, 对场地环境和施工进度形成主

要制约。而旋挖钻机轴压的施加能力仅为传统岩石掘进机的 1/10 ~ 1/5, 作用在岩石上的力必须超出岩石抗压强度极限的 30% ~ 50%, 岩石才能顺利地破体上破碎下来, 旋挖钻机自身不充足的加压能力很难达到岩石理想的破碎效果。如何利用机动性能良好的旋挖钻机达到高效破岩目标则成为工程界的一大难题。

如果钻孔过程出现坚硬岩层, 同时又有强渗漏情况, 则施工更加困难。本文通过工程实践, 探索出旋挖钻机应对坚硬岩石与强渗漏地层组合条件下的施工工法, 成为整个工程有序进行的前提与根本保障, 取得了明显的社会效益和经济效益, 为其他类似工程的组织实施提供了一种可借鉴的施工技术。

收稿日期: 2015-12-02; 修回日期: 2015-12-31

作者简介: 姚涛, 男, 满族, 1979年生, 从事道路桥梁工程建设及项目管理工作, 吉林省长春市解放大路659号, 717747247@qq.com; 王增胜, 男, 汉族, 1973年生, 项目经理, 一级建造师, 从事市政工程、公路工程的技术和管理, 1612445272@qq.com; 颜金成, 男, 汉族, 1969年生, 市政工程一级建造师, 高级工程师, 从事土建工程、市政工程的建设工程管理工作, 北京市海淀区北蜂窝路2号中盛大厦2106室, 1585757009@qq.com; 金英姬, 女, 朝鲜族, 1966年生, 从事岩土工程设计施工工作, 吉林省长春市绿园区绥中路, hongjibiao@126.com。

1 工程概况及地质条件

1.1 工程概况

长春市两横两纵快速路系统工程之西部快速路前进大街段位于长春市西部快速路、南部快速路交叉口部位。桥台基础桩工程量较大,设计桩直径1500 mm,总桩数1000根左右,总米数约3.6万m,有效桩长最长为48 m,综合基础埋深条件,成孔最大深度>52 m。其中前进大街互通立交桥部位桩基桩长最长为46 m,成孔最大深度>50 m,现状地面标高226~231 m。

1.2 工程地质及水文地质条件

1.2.1 工程地质条件

本项目勘察最大钻探深度为60.00 m,所揭露的地层自上而下依次为近现代人工填土、第四系粉质粘土、白垩系泥岩,其岩土特征及基本分布规律按钻探揭露的先后顺序概述如下。

1.2.1.1 近现代人工填土

第①层杂填土,上部为现有道路路面、路基,下部以粘性土为主,结构松散,力学性质差,层厚为0.80~5.10 m,层底标高为222.33~231.81 m。

1.2.1.2 第四系粉质粘土

本区域按长春市标准地层划分第③层粉质粘土、第⑦层中粗砂及第⑧层残积土缺失,具体地层概括为:第②层粉质粘土,可塑,中压缩性,层厚为0.40~7.50 m,层底标高为219.61~228.37 m;第④层粉质粘土,可塑,中压缩性,层厚为2.00~10.10 m,层底标高为213.43~224.24 m;第⑤层粉质粘土,硬塑,中压缩性,层厚为2.20~8.00 m,层底标高为210.08~218.14 m;第⑥层粘土,硬塑—坚硬,中偏低压缩性,层厚为2.30~11.00 m,层底标高为204.33~212.16 m。

1.2.1.3 白垩系泥岩

第⑨层泥岩,全风化,以紫红色厚层—巨厚层泥岩为主,互层状构造,泥质—砂质结构,结构基本破坏,风化为硬塑粘土状,层厚为1.80~5.80 m,层底标高为201.13~208.11 m;第⑩层泥质粉砂岩,强风化,以紫红、灰绿色厚层—巨厚层泥质粉砂岩为主,互层状构造,砂质—泥质结构,结构大部分破坏,局部夹硅化薄层,强度较高,层厚为2.40~10.40 m,层底标高为193.13~200.251 m;第⑪层泥质粉砂岩,中风化,以紫红、灰白、灰绿色厚层—巨厚层泥质粉砂岩为主,与紫红色砂质泥岩成互层状分布,互

层状构造,砂质—泥质结构,结构部分破坏,局部夹硅化薄层,强度较高,岩体质量基本等级为V级,层厚为6.80~15.00 m,层底标高为180.00~191.24 m;第⑫层泥质粉砂岩,微风化,以灰色厚层—巨厚层泥质粉砂岩为主,夹紫红色砂质泥岩,局部为薄层,互层状构造,砂质—泥质结构,由砂—粉砂级碎屑和泥级碎屑组成,以粉砂级碎屑为主,主要成分为石英、长石及粘土矿物,结构部分破坏,风化裂隙发育,呈长柱状、层状,浸水后手可掰开,泥质胶结为主,胶结性较好,局部夹硅化薄层,强度较高。岩体质量基本等级为V级,该层未穿透,所揭露的最大厚度为15.00 m。

1.2.2 水文地质条件

场区在地表下有2层地下水。第一层为潜水,含水层岩性主要为上部粉土,其补给来源主要为大气降水,潜水水位埋深为3.0 m。第二层水为微承压水,埋藏在16~36 m范围内的细砂层或裂隙含水层中,富水性好,透水性强,具有承压性。初见水位位置16.0~21.5 m,稳定水位为6.5 m。其补给来源主要有上部潜水越流补给和侧向迳流补给。

2 基础桩施工设备选择

根据工程地质勘察报告资料,本项目基础桩桩端主要为第⑪层中风化泥质粉砂岩,以厚层—巨厚层泥质粉砂岩为主,局部夹硅化薄层,强度较高,岩体质量基本等级为V级。考虑到本工程桩基数量较大、桩位密集,要求工期紧的实际条件,综合比较后施工方案确定采用高效率的旋挖钻机钻孔导管水下灌注桩施工工艺。旋挖钻机具有如下优点。

(1)履带底盘装载,接地压力小,适合于各种施工工况,在施工场区内行走自如,机动灵活,对孔位方便、快捷。

(2)自动化程度高、成孔质量好、效率高。该钻机为全液压驱动,电脑控制,能精确定位钻孔、自动校正钻孔垂直度和自动测量钻孔深度,最大限度地保证钻孔质量。

(3)采用泥浆不循环静态护壁的新型成孔工艺,减少泥浆污染。

(4)自带柴油机动力,缓解施工现场电力不足的矛盾。

3 基础桩施工进展情况及遇到的问题

3.1 基础桩施工进度

按项目总体计划,本工程自西向东、自北向南推进,旋挖钻机采用 R220 及以上型号,钻斗采用旋挖钻机土层旋挖钻斗结合岩石旋挖钻斗,有效解决了中风化泥质粉砂岩入岩问题,单桩成孔时间 2~5 h,通过调剂旋挖钻机设备数量,除 10 个承台及辅墩计 62 根桩遇坚硬岩石及强渗漏外,桩基施工进度按总体工程进度安排如期完成。

3.2 基础桩施工遇到的问题

桩基施工至前进大街互通立交桥中部及东部局部地段时,钻孔钻进至坚硬岩层,孔内泥浆渗漏迅速。用 2 台流量 $65 \text{ m}^3/\text{h}$ 的泵补浆仍无法保持泥浆液面稳定,随着泥浆液面快速下降,开始出现塌孔,采用粘土回填至地面。按本工程其他部位施工经验,浆液渗漏部位回填粘土 3 天后加大泥浆密度后重新钻进至漏水部位以上 1 m 左右开始反钻,利用钻头筒臂不进尺对钻孔壁裂隙进行挤压达到护壁堵漏效果,经反复多次后均没有成功,同时漏水部位岩石坚硬,岩石旋挖钻斗无法钻进。

经综合各方面资料确定本区局部地段存在未风化坚硬状态硅质胶结砂岩,其上裂隙及破碎条件发育,渗漏强烈。其中前进大街互通立交桥中部地段 P17、P18、N39、N40、N41、N42、N43 连续 7 个承台存在该层,埋深 33~39 m;前进大街互通立交桥东部地段 N55、N56、N57 连续 3 个承台及辅墩存在该层,埋深 37 m。

4 对坚硬岩石与强渗漏地层组合条件基础桩施工方法的探索

按照现行对坚硬岩石及渗漏地层普遍采用的施工方法,采用冲击钻机成孔是解决此类问题的常用办法。但当冲击钻机成孔至该处时,在冲击挤密成孔,高密度、高粘度泥浆作用下,泥浆还是一漏到底,可见地层漏失程度之严重。经过迅速回填粘土和山皮石,反复冲击,反复回填,最终冲击钻机合计完成 6 根桩。

由于地层坚硬,冲击钻机进尺工效极低,同时为解决渗漏问题,反复回填、冲击,使单根桩成孔施工时间 10 天左右,无法满足工期条件。同时造成大量泥浆外运及在场地堆积,制约后续桩基施工和桥台施工,因此冲击钻机成孔无法满足工程需要。

经过各参建部门的反复论证,从防渗漏和入岩

2 个方面入手,最终确定采用高压旋喷进行注浆堵漏,在钻进施工时旋挖钻机上部用双底双开门土层钻斗,下部见坚硬岩层后用牙轮筒钻和截齿取心筒钻交叉使用,利用牙轮的冲击加回转碎岩后,用截齿取心筒钻回转切削入岩取心。形成了高压旋喷与旋挖钻机入岩施工联合工法模式,按质按期完成整个施工任务。

5 高压旋喷防渗漏与旋挖钻机入岩施工联合施工工法

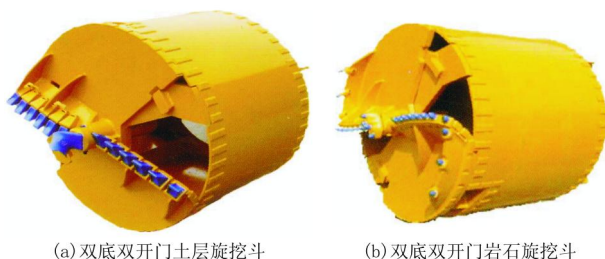
5.1 工法特点

(1) 改孔内渗漏后采取措施为先期对施工桩基部位采用双管高压旋喷注浆,在桩孔施工前通过反复多点注浆,堵塞泥浆液渗漏通道,在解决成孔渗漏问题同时,改善孔壁土体性能,为后续旋挖入岩钻机施工创造一个稳定的上部条件及泥浆环境。

(2) 注浆后采用旋挖入岩钻机及牙轮筒钻和截齿取心筒钻交替使用,解决旋挖钻机坚硬岩石入岩问题。

不同于土层旋挖钻机的恒定加压方式,旋挖入岩钻机加压方式为动静载耦合方式,静载提供基础加压力,动载提供峰值加压力,低频脉冲动载叠加于静载之上,在动载变化中形成对岩石的冲击作用。提供旋转扭矩的动力头为液压驱动,操作不控制转速,转速随着负载变化,通过牙轮筒钻脉冲式作用和钻头截齿、分散点式布置,钻头的转动也在快慢交替,钻速的快慢变化使牙轮和截齿产生了对凸起点的凿削作用,从而实现利用牙轮筒钻的冲击加回转碎岩后,用截齿取心筒钻回转切削入岩取心的目的。同时考虑坚硬岩层岩石饱和抗压强度极限值 $> 120 \text{ MPa}$ 的实际条件,设备选择还需根据旋挖钻机轴压的施加能力选择机型。

土层恒压旋挖钻进与旋挖入岩钻进所使用的钻斗形式见图 1、图 2。



(a) 双底双开门土层旋挖斗

(b) 双底双开门岩石旋挖斗

图 1 土层恒压旋挖钻进钻斗

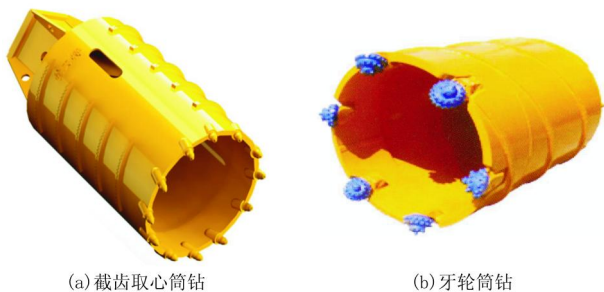


图 2 旋挖入岩所用筒钻

5.2 工艺原理

本工法根据桩径及地层强渗漏条件,在每根需处理的桩位设置 6 个双管高压旋喷注浆孔,其中桩周围均匀布置 4 个孔,桩孔内部布置 2 个孔(见图 3),注浆孔深度大于桩端深度 1 m,注浆停止标准采用压力及注浆量双指标控制,确保浆体堵塞渗漏通道。注浆完成 3 天后开始旋挖钻机成孔,上部土层、全风化、强风化及中风化采用恒定加压双底双开门土层旋挖斗钻进,遇坚硬岩层后采用动静载耦合加压方式牙轮筒钻和截齿取心筒钻交替使用的方式钻进,直至达到设计深度,完成桩成孔施工工作。

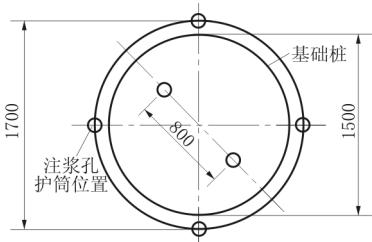


图 3 高压旋喷注浆孔位置布置

5.3 工艺流程(见图 4)

5.4 主要施工方法

5.4.1 双重管旋喷注浆施工方法

双重管法是使用双通道的二重注浆管。把二重注浆管置入设计的地层深度后,通过在管底侧面的一个同轴双重喷嘴,同时喷射出高压浆液和空气两种介质的喷射流冲击破坏土体。即以高压泥浆泵等高压发生装置喷射出 20 MPa 以上压力的浆液,从喷嘴中高速喷出,并用 0.5 MPa 左右压力把压缩空气从外喷嘴中喷出。在高压浆液流和它外圈环绕气流的作用下,一边喷射一边旋转和提升,向强渗漏地层注入,在土中形成圆柱状固结体,在岩石裂隙发育部位形成加固堵漏体。

浆液材料选用强度等级 42.5 MPa 的普通硅酸盐水泥,水灰比为 0.8 ~ 1.0。双重管旋喷注浆技术

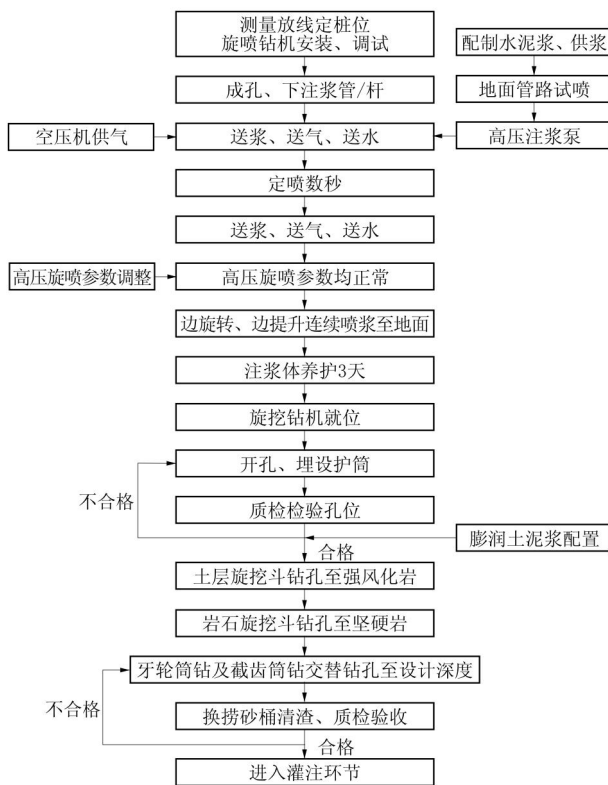


图 4 联合施工工艺

参数取值范围见表 1。

表 1 旋喷注浆主要参数表

技 术 参 数	取 值
孔距/m	0.8 ~ 1.33
喷嘴个数/个	2
喷嘴直径/mm	2.2 ~ 2.4
浆压/MPa	20
浆量/(L·min ⁻¹)	55 ~ 65
气压/MPa	0.5 ~ 0.7
气量/(L·min ⁻¹)	2000 ~ 3000
喷杆	特制双喷嘴双管
喷杆提升速度/(cm·min ⁻¹)	13 ~ 18
喷杆旋转速度/(r·min ⁻¹)	18 ~ 22

双重管旋喷注浆施工方法如下。

(1) 钻机就位:钻机安置在设计孔位上,使钻头对准孔位的中心。同时为保证钻孔后达到设计要求的垂直度,钻机就位后,必须作水平校正,使其钻杆垂直对准钻孔中心位置。为防止施工窜浆,施工旋喷桩应先间隔实施。

(2) 钻孔:根据本次工程主要为注浆堵漏的特点,采用 XL-50 型履带式旋喷钻机进行预先成孔,孔径为 130 mm,用于穿透各岩层。

(3) 下注浆管:下注浆管时对喷头加以保护,防

止风嘴、浆嘴堵塞。当遇有高压旋喷管下不到位或下不去现象时(软土层),应视不同的情况采取不同方法处理。

(4)制浆:使用搅拌机拌制水泥浆液,密度 1.55 g/L 左右。

(5)喷射注浆作业:将注浆管下到预定位置后,依次送浆、送风,在孔底定喷数秒,调整泵压、风压至设计值并孔口返浆正常后开始边旋转边提升,按各项高压旋喷参数进行施工。施工过程中,按要求随时检验并记录提升速度、喷浆压力与流量、气压与气量、进浆和回浆密度等;每孔需进行制浆与耗浆(水泥量)统计和记录。

(6)回灌浆液:高压喷灌结束后,在孔内水泥浆液固结过程中因体积收缩,同时孔内浆液仍向孔壁四周范围有一定渗漏,孔内浆液将在一段时间内出现液面下降,应不间断地将浆液回灌到已喷孔内,并保持压浆作用,直至孔内浆液面不再下沉为止。

5.4.2 旋挖钻机施工方法

(1)场地平整:钻机施工前做好场地的平整工作,对比较虚的地方用铲车换土压密实。

(2)测量定孔位:在定孔位时,根据设计提供的桩位平面图,每一个桩孔均用全站仪定位,并设可靠的桩位中心标志。在开孔之前必须做好十字栓桩。

(3)埋设护筒:护筒选用比桩孔直径大 200 mm 的钢护筒,护筒用厚度为 8~16 mm 的钢板卷制,其下口坐落在稳固地层。护筒顶部高出地面 300 mm 左右,周围用粘土夯实。埋好护筒后复验桩位,复验合格后开钻。

(4)钻孔:①在开钻前进行桩位复核,中心位置偏差 <20 mm;②钻孔时根据地层的变化及时调整加压方式及更换钻斗,上部土层、全风化、强风化及中风化采用恒定加压双底双开门土层旋挖斗钻进,遇坚硬岩层后采用动静载耦合加压方式牙轮筒钻和截齿取心筒钻交替使用的方式钻进,直至达到设计深度;③提升钻具时控制提升速度,以防发生负压塌孔;④操作手每次钻进检查钻机的垂直度标尺,以确保钻孔垂直度满足要求;⑤及时向孔内添加泥浆,确保孔内泥浆水头不低于护筒顶下 2 m;⑥仔细观察钻斗磨损情况,及时更换,确保钻孔孔径满足设计要求。

(5)成孔技术要求:①孔位偏差:群桩 ≤ 100 mm,单排桩 ≤ 50 mm;②垂直度偏差: $<1\%$;③孔深偏差:摩擦桩不小于设计规定,支承桩比设计深度超

深 ≤ 0.05 m;④钻孔直径:不小于设计桩径;⑤沉渣厚度:摩擦桩沉渣厚度 ≤ 200 mm;支承桩不大于设计规定,设计未规定时沉渣厚度 ≤ 50 mm。

(6)泥浆配比:水:膨润土:碱 = 1:0.1:0.01(对不同的地层,膨润土的掺量和碱的加量可做适当的调整)。搅拌泥浆时按配合比要求添加材料,误差控制在 3% 内。对于特别复杂的地层,掺加 CMC 来提高泥浆的护壁效果。泥浆必须用搅拌筒搅拌,以保证泥浆的均匀。泥浆应经泥浆沉淀池沉淀除砂器除砂后方可重复利用。储存在泥浆池内泥浆必须经常用泵循环,以防泥浆沉淀。泥浆性能要求:密度 1.10~1.15 g/L,粘度 18~22 s,含砂量 $<4\%$ 。

(7)清孔:钻孔结束后或在下钢筋笼前,换上捞砂桶进行清渣处理,直至孔底沉渣达到设计要求。清孔时必须保持浆液不降低,防止塌孔。

5.5 主要施工成果

本工程采用以上工法处理 P17、P18、N39、N40、N41、N42、N43、N55、N56、N57 共 10 个承台及辅墩合计 62 根桩,桩孔深度 40~50 m,进入坚硬岩石 2.3~12.3 m,注浆 372 点。经注浆后试成孔,泥浆渗漏得到根本解决,单桩成孔时间 17~18 h,解决了旋挖钻机入岩问题,截齿筒钻提取的坚硬石英砂岩柱状岩心长度达 1.4 m,如图 5 所示。



图 5 截齿筒钻提取的柱状岩心沿裂隙分割

工程组织采用先注浆后群机作业的方式,共组织 5 台 R280C 型大功率入岩旋挖钻机,圆满完成施工任务。完成的具体成果见表 2。

6 结语

本工程通过施工实践,探索出旋挖钻机在强渗漏坚硬岩层条件下的施工工法,解决了传统工法效率低、环境破坏严重、不利于环保等诸多弊端,加快了施工进度,保证了工期,减少了单根桩施工周期长

表 2 完成入岩桩成果表											
序号	承台号	桩数	桩长/ m	地面标高/ m	承台底标高/ m	遇坚硬岩标高/ m	各类土、岩层厚度/m				
							粘土	全风化层	强风化层	中风化层	坚硬岩层
1	N39	6	34	231.25	228.838	197.238	21.7	3.8	6.2		2.3
2	N40	6	43	230.10	228.016	191.916	21.7	3.8	7.4	3.2	6.6
3	N41	6	43	230.20	227.594	191.494	21.7	3.8	7.4	3.2	6.4
4	N42	6	36	230.00	227.320	198.220	21.7	3.8	3.6		6.6
5	N43	6	46	230.00	226.308	193.500	21.7	3.8	7.308		12.3
6	N43 辅墩	2	41	231.80	226.599	194.950	21.7	3.8	6.149		8.9
7	P17	4	45	230.10	227.089	194.080	21.7	3.8	7.4	0.109	11.4
8	P18	4	39	230.70	227.166	197.880	21.7	3.8	3.786		9.0
9	N55	6	44	226.30	222.961	189.420	21.7	3.8	7.4	0.641	9.9
10	N56	6	44	226.30	222.831	189.480	21.7	3.8	7.4	0.451	9.9
11	N57	6	37	226.00	223.401	189.450	21.7	3.8	7.4	1.051	2.7
12	N55 辅墩	2	45	226.30	222.752	189.430	21.7	3.8	7.4	0.422	10.7
13	N56 辅墩	2	43	226.30	222.752	189.451	21.7	3.8	7.4	0.371	9.1

给工程带来的隐患,提高了成孔施工的安全性,最大程度降低了工程质量风险,保证了整个工程按期交付。社会效益、环境效益和经济效益均较为明显,值得在类似工程中推广应用。

参考文献:

[1] 黎中银,焦生杰,吴方晓.旋挖钻机及施工技术[M].北京:人民交通出版社,2010.

[2] 黎中银,夏柏如,吴方晓.旋挖钻机高效入岩机理及其工程应用[J].中国公路学报,2009,22(3).

[3] 周红军.旋挖钻进技术适用性的初步研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):39-45.

[4] 岳大昌,李明,郑体,等.旋挖机械清渣在嵌岩扩底桩中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(8):50-52.

[5] 阮强,宋武超,水俊峰.牙轮钻头动静耦合碎岩机理及旋挖成桩应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):49-50.

[6] 孙琦,仲文涛,李玉成.旋挖钻机与冲击钻机组合在嵌岩桩施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(8):50-52.

[7] DL/T 5200—2004,水利水电工程高压喷射灌浆技术规范[S].

[8] JGJ 79—2002,建筑地基处理技术规范[S].

[9] JGJ 94—2008,建筑桩基技术规范[S].

[10] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].

[11] GB 50202—2013,建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].

[12] DBJ/T 01-26—2003,建筑安装分项工程施工工艺规程[S].