

WSS Grouting Waterproofing Technology for Bored Interlocking Piles in Fractured Zones of Coastal Water-Rich Faults

Rui Liu¹, Caiqin Rao², Haodong Chen³, Zaichao Peng⁴, Fan Li^{5*}

¹Shenzhen Metro Group Co. Ltd., Shenzhen Guangdong

²Shenzhen Municipal Engineering Quality and Safety Supervision Station, Shenzhen Guangdong

³China Power Construction South Investment and Construction Co. Ltd., Shenzhen Guangdong

⁴Sinohydro Bureau 8 Co. Ltd., Changsha Hunan

⁵Central South University, Changsha Hunan

Email: *941873360@qq.com

Received: Aug. 3rd, 2020; accepted: Aug. 18th, 2020; published: Aug. 25th, 2020

Abstract

In view of the engineering difficulties that may occur in the construction of bored interlocking piles under the condition of large coastal water conservancy links and the development of fault fracture zones, this article takes the grouting and waterproof treatment of bored interlocking piles in Taiziwan subway station as an example to analyze the characteristics and applicability of different grouting and water stopping schemes, and it is determined that the WSS grouting method has more technical advantages. Furthermore, the process flow, grouting parameter selection and main construction points of the pre-grouting water-retaining scheme of the bored interlocking pile were discussed in detail, which successfully solved the technical problem of anti-leakage for the foundation pit project of the Taiziwan Station, and provided a great reference for similar projects.

Keywords

Fault Fracture Zone, Bored Interlocking Pile, WSS Grouting, Waterproof Technology

沿海富水断层破碎带地层钻孔咬合桩WSS注浆防水技术

刘 锐¹, 饶彩琴², 陈皓东³, 彭再朝⁴, 李 繁^{5*}

*通讯作者。

文章引用: 刘锐, 饶彩琴, 陈皓东, 彭再朝, 李繁. 沿海富水断层破碎带地层钻孔咬合桩 WSS 注浆防水技术[J]. 土木工程, 2020, 9(8): 796-802. DOI: 10.12677/hjce.2020.98084

¹深圳市地铁集团有限公司, 广东 深圳

²深圳市市政工程质量安全监督总站, 广东 深圳

³中电建南方投资建设有限公司, 广东 深圳

⁴中国水利水电第八工程局有限公司, 湖南 长沙

⁵中南大学, 湖南 长沙

Email: *941873360@qq.com

收稿日期: 2020年8月3日; 录用日期: 2020年8月18日; 发布日期: 2020年8月25日

摘要

针对沿海水利联系大并发育断层破碎带条件下咬合桩施工中可能产生的渗漏及涌水等工程难题, 本文以太子湾地铁站钻孔咬合桩注浆防水处治为例, 对不同注浆止水方案的特点及适用性进行对比分析, 确定了WSS注浆方法更具有技术优越性。进而对钻孔咬合桩预注浆止水方案的工艺流程、注浆参数选择以及主要施工要点进行详细探讨, 成功地解决了太子湾站基坑工程防渗漏技术难题, 为类似工程提供了良好的借鉴。

关键词

断层破碎带, 钻孔咬合桩, WSS注浆, 防水工艺

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 基坑防渗漏问题是我国沿海地区深大基坑施工中主要技术难题之一, 如何根据实际工程特点确定行之有效的防水方案设计是关键问题[1]。钻孔咬合桩作为一种适应于沿海复杂富水破碎带地层的新型基坑支护结构, 因其良好的围护效果而多被沿海城市地铁工程所采用, 但受多种因素的制约咬合质量不佳导致渗漏现象的发生常常难以避免[2]。

为了解决钻孔咬合桩施工中的渗漏问题, 通常采用预注浆形成止水帷幕的方法以达到防水效果, 对于这一方面国内基坑工程建设进行了大量的探索与尝试[3] [4] [5]。北京地铁 14 号线某车站基坑降水施工中首次大面积应用注浆止水帷幕技术, 并成功地达到防水目的[6]; 郑州紫荆山地铁站采取深孔帷幕注浆技术对破碎岩层进行止水加固[7]; 武汉地铁岳家嘴站对于钻孔桩桩间采用袖阀管注浆止水的技术方法[8]; 西安市地铁一号线朝康段暗挖工程采取 WSS 注浆方法(即无收缩双液注浆方法)成功对土体进行止水加固[9]。经国内外大量工程验证[10] [11], 这些探索与尝试都成功达到了预期效果, 并积累了宝贵的工程经验, 更加证明选用钻孔咬合桩 + 注浆止水帷幕的技术措施能够有效应对复杂地质下的基坑渗漏水问题。

本文以深圳地铁 12 号线太子湾站钻孔咬合桩建设项目为依托, 针对其沿海水利联系大并发育断层破碎带地层条件下咬合桩施工中的渗漏水风险, 为提高地铁站施工中的安全性, 相适应地引入 WSS 注浆防水技术, 并对该技术展开深入性的探讨。

2. 工程背景

2.1. 项目概况

深圳地铁 12 号线太子湾站位于蛇口太子湾片区规划汇海路, 沿汇海路东西方向布置, 车站长 240 m, 宽 21.5 m, 基坑深 28~30 m, 车站为地下四层结构, 采用明挖顺筑法施工。综合实际确定太子湾站选用钻孔咬合桩作为基坑围护方式, 钻孔咬合桩: 由钢筋砼桩(A 序桩)桩径为 1500 mm + 素砼桩(B 序桩)桩径为 1200 mm 组成, 相邻两桩保持 2000 mm 的中心距, 保持 350 mm 的咬合量。

2.2. 地质构造

揭露地层有 15~17.5 m 厚填块石、素填土, 下面依次为淤泥、粉质粘土、砾砂、粗砂和砂质粘性土、强风化粗粒花岗岩和强风化片麻状花岗岩、中风化粗粒花岗岩和 中风化片麻状花岗岩, 车站底板主要位于强、中风化花岗岩上。车站范围内存在一条 140 m 宽破碎带横切车站。与本场地相交的断裂为 MLZK-STZ-F1, 揭露于 YDK2 + 270 附近, 该断裂隶属于大南山断裂组, 走向北东, 倾向南东, 倾角 65°~70°。具体的围护桩结构所在的地层情况如图 1 所示。

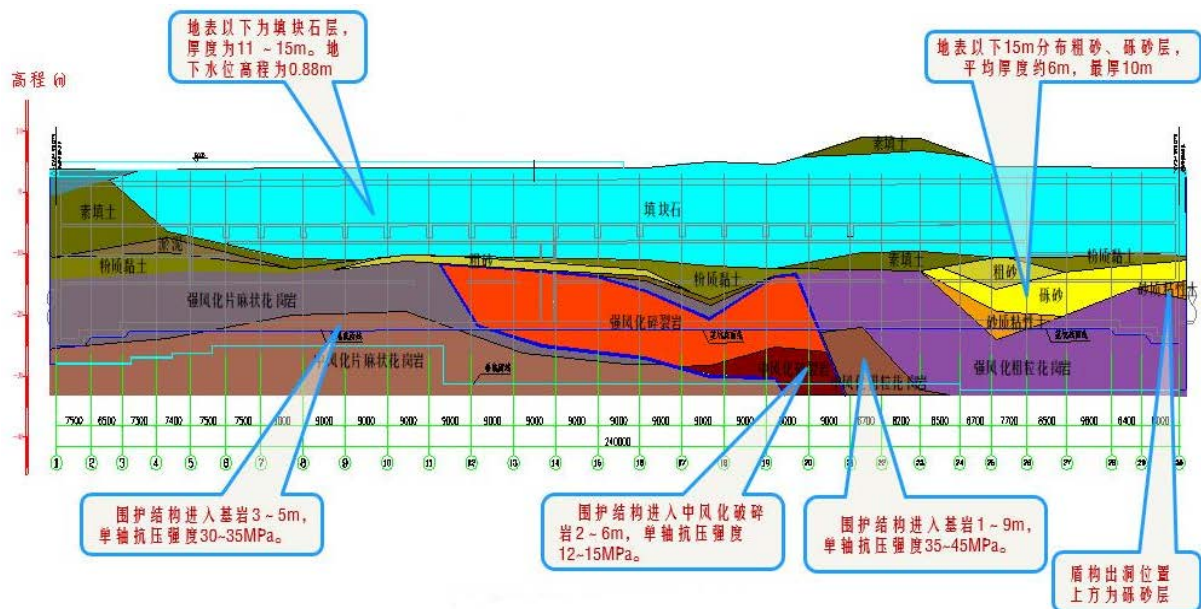


Figure 1. Geological section of enclosure structure of Taiziwan station

图 1. 太子湾站围护结构地质剖面图

2.3. 水文地质条件

太子湾站三面环海, 距周边海域最小距离为 113 m, 车站基坑最大深度 30.15 m, 场地地表水表现为太子湾片区的深圳湾海域。根据咬合桩旋挖钻施工时观察孔内水位高程情况, 水位高的时候标高约为 2.6 m, 水位低的时候标高约为 0.6 m, 经查询潮汐表发现与深圳附近海平面潮汐标高相差不大, 表明太子湾站地层与附近海域有较强的水力联系。因此本文结合水文地质资料与现场实际情况, 总结该工程的地下水分类如表 1 所示。

因太子湾站三面环海, 基坑深度在 30 m 左右, 且周边地质条件复杂, 超厚填块石层、粗砂层、砂砾层、粉质黏土层、断层破碎带相互串接连通, 地层透水性强, 与周边邻近海域存在水力联系(承压水), 施

工安全风险极高。一旦风险出现,由于存在接近 30 m 的高水头,再加上四周地层强透水性和邻近海域的充沛水量补给,将迅速冲走地层中的粗砂、砾石及回填层中的填料,很短时间内险情就会发展到难以控制的地步,结果的严重性无法预料。

Table 1. Types and characteristics of groundwater in the site

表 1. 场地地下水类型及特性

地下水类型	赋存介质类型	工程特性
上层滞水	第四系人工填土层中,赋存于填土、填碎石、填块石层中	不具有承压性
孔隙潜水	第四系海陆交互沉积含有有机质砂,第四系上更新统冲洪积粗砂、砾砂层中,残积砂质粘土及粘性土层中	具微承压性
基岩、构造裂隙水	基岩强~中等风化带以及断裂构造带中	为裂隙承压水,其富水性与裂隙发育、贯通及胶结状况相关

3. 注浆方案比选

当前国内外普遍使用的注浆方法包括静压注浆方法、高压旋喷方法、袖阀管注浆方法以及深层搅拌法。这些技术方法经过多年的工程实践,获得了相当的工程经验,也总结出了行之有效的技术。每种方法都有自己的特点和适用范围,常见的注浆方式对比如表 2 所示。

Table 2. Comparison of common grouting methods

表 2. 常用注浆方式对比

注浆加固方法	特点	适用范围
静压注浆	注浆扩散半径较大,加固强度较高;浆液可控性较差	中粗砂、砂砾石、卵砾石,软粘土以及湿陷性黄土
袖阀管注浆	浆液可控性较好,便于重复注浆	断层破碎地带以及地下水发育条带层
高压旋喷	施工扰动较小;环保性较差,施工成本较高,适应性差	淤泥质土、可塑黏性土、人工填土等土层
深层搅拌	加固止水彻底,效果良好;施工成本高,工期较长	淤泥质土、砂土以及粉土地层
WSS 注浆	止水加固效果好,噪音小,作业空间小,施工容易控制	绝大多数土层以及岩层

WSS 是无收缩双液注浆的简称,其注浆止水原理是通过同步双液注浆机向地层注入浆液挤出地层颗粒间的孔隙水,待到浆液凝结后能够大大改善土体的力学性质,同时浆液充满地层孔隙也降低了土层透水率,从而实现注浆加固与止水的工程目的。结合本项目复杂的地质情况,决定在围护结构咬合桩在咬合桩施工缝位置预注浆采用 WSS 注浆技术。

4. 钻孔咬合桩 WSS 注浆防水技术

4.1. 施工工艺流程

太子湾站钻孔注浆设置在咬合桩荤素桩施工缝迎水侧位置,沿基坑围护结构咬合桩周围布置一圈。在已成桩的咬合桩荤桩迎水侧咬合面采取钻孔注浆,钻孔位置距咬合面直线距离 30 cm (根据现场实际情况调整),注浆管底部沿咬合桩桩体外侧 30 cm 至砂层上下各 2 m 位置,基坑开挖前完成注浆止水措施。详细布置如下图 2、图 3 所示。在预定位置处定位放点,钻机就位钻孔,钻孔完毕后,注 AC 液,保证终浆压力为 2.1 MPa,维持该压力持续注浆 10 min 后,待钻孔处没有流水现象,该孔注浆即可完毕,接着进行其它孔位的注浆工作。钻注流程如图 4 所示。

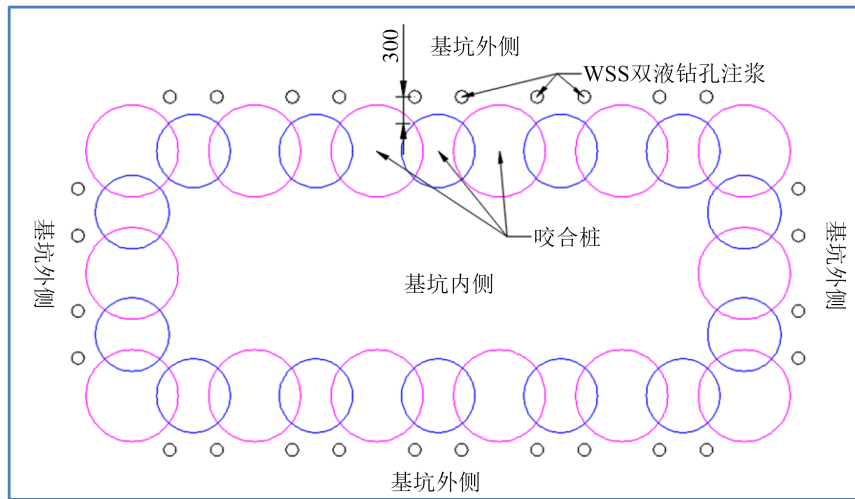


Figure 2. Schematic diagram of location of double liquid grouting hole for occlusive pile
 图 2. 咬合桩双液注浆孔位置示意图

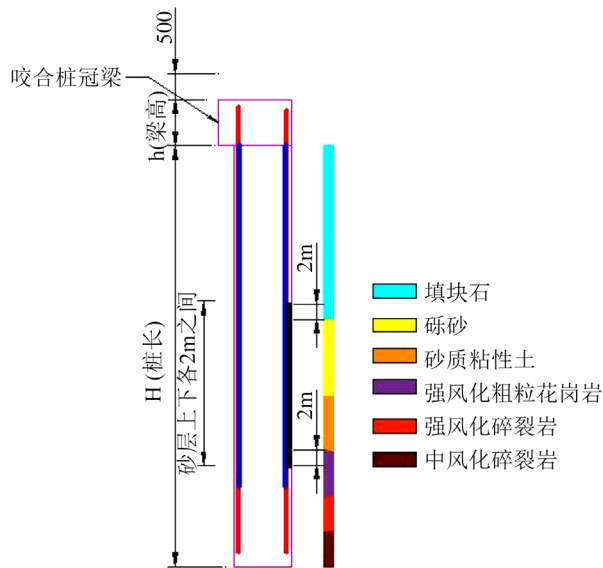


Figure 3. Longitudinal schematic diagram of backward grouting
 图 3. 后退式注浆深度示意图

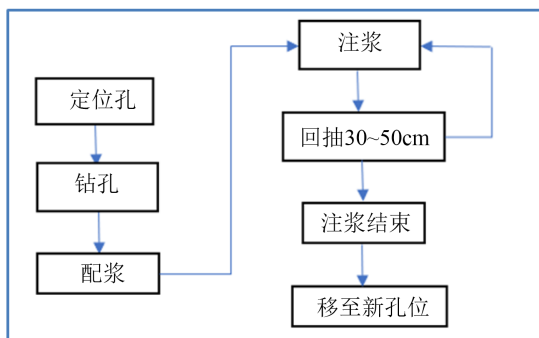


Figure 4. Construction flow chart of drilling and grouting
 图 4. 钻孔注浆施工流程图

4.2. 注浆参数

4.2.1. 浆液配比选定

对于混合浆液的配比,水泥与水玻璃的体积比选取为 1;对于水泥浆液的配比,水灰比选取为 1;对于水泥水玻璃浆液的凝结时间选取为 45 s。

在注浆前或注浆过程中可以根据实际进行浆液配比的调整,施工中主要参考注浆压力与注浆量两个关键变量,根据它们的变化情况适当改变混合液中水泥与水玻璃的配比。

4.2.2. 浆液注浆终压确定

实际中影响注浆压力的因素相对较复杂,包括了地层孔隙、浆液的实际流动性能、凝结时间以及地下水压力等因素,难以通过理论计算确定终压,因此多采用经验公式确定,计算公式如下:

① 通过静水压力计算,一般情况下终压约为静压的 2~3 倍,最大情况下能达到 3~5 倍,即:

$$P' < P < (3-5)P' \quad (1)$$

式中 P 为注浆终压(Mpa), P' 为注浆处静水压力(Mpa)。

通过上述经验公式计算获得的注浆终压 P 值为 1.5~2.5 MPa,根据实际情况分析,确定注浆终压值为 2.1 MPa。

② 由注浆处地层深度计算:

$$P = KH \quad (2)$$

式中 H 为注浆处地层深度(m), K 为压力系数,与地层深度相关。压力系数 K 的取值可参考表 3。

Table 3. Reference value of pressure coefficient K

表 3. 压力系数 K 的取值参考

注浆深度(m)	<8	10~12	12~16	16~20	>20
K	0.023~0.021	0.021~0.020	0.020~0.018	0.018~0.016	0.016

通过上述计算过程,得出 P 值为 0.5~0.75 MPa,综合考虑选定为 0.75 MPa。结合(1) (2)两种经验公式的计算结果确定注浆终压为 2.1 MPa。

4.2.3. 扩散半径

浆液扩散主要跟选定的注浆压力、浆液浓度以及地层渗透系数等因素相关联,扩散半径选定为 1.0 m。

4.2.4. 注浆结束标准

当注浆量持续减少同时压力表显示达到终压后压力骤升时,可判定为注浆结束时刻。

4.2.5. 单孔注浆耗时

综合实际情况,单孔注浆耗时相对较长,普遍为 6 孔/天,若注浆点处有不明空洞等地质现象,注浆时间将大大延长。

4.3. 主要施工要点

- 1) 为避免爆管事故的发生,在注浆施工之前应检查相应管道的连接情况,保证正常工作;
- 2) 在钻孔的同时加强监测,重点观测钻杆壁是否出现溢水现象。钻孔的原则是实时监测指导钻孔的实时纠偏,使得钻孔的偏差不大于 300 mm;
- 3) 所用的注浆材料需满足相关性能要求,且通过现场试验后可投入注浆施工使用;

4) 无论是注浆前还是注浆后须对注浆连接件和注浆变头等重要构件进行清洗, 确保注浆过程中管道通畅, 避免管道堵塞导致无法正常判断注浆是否结束;

5) 为了达到良好的注浆效果, 在注浆进程中保持对压力表的实时监测, 并指导相应注浆参数的调整。

4.4. WSS 注浆实施效果

1) 太子湾地铁站咬合桩施工过程中, 桩间并无渗漏水问题出现, 基坑底部也无明显积水现象;

2) 经注浆质量检查可知, 注浆施工完成后地层的平均透水率均满足预期要求, 注浆止水效果良好;

3) 根据现场实测数据显示, 基坑外的平均水位超过基坑基底 3 m 以上, 验证了 WSS 注浆方法具有良好的防水效果, 保证了太子湾地铁站主体的顺利完工。

5. 结论

本文基于对太子湾站钻孔咬合桩施工中存在的工程风险的分析, 通过方案比选确定了沿海水利联系大并发育断层破碎带条件下咬合桩预注浆防水方案, 并对相应的防水工艺进行深入研究, 得出以下结论:

1) 沿海水利联系大并发育断层破碎带条件下, 钻孔咬合桩施工中会发生渗漏及涌水的风险, 有必要采取预注浆防水措施;

2) WSS 注浆技术可针对沿海复杂水文地质条件的止水加固施工, 地层适应性强, 止水加固效果好且施工易控制;

3) 钻孔咬合桩预注浆防水工艺重点在于注浆参数的合理选择、工艺流程的严格设计以及注浆全过程的监测与控制。

致 谢

这里要十分感谢国家自然科学基金项目(50908234, 51908557)的支持, 对深圳地铁太子湾站钻孔咬合转施工现场的积极配合表示由衷的感激。

参考文献

- [1] 张滨, 张力华, 王宏波, 袁路路. 强透水性地层基坑钻孔咬合桩止水工艺[J]. 水运工程, 2019(S1): 125-128.
- [2] 王志超, 杜雨露. 深基坑钻孔咬合桩的设计与施工-以西安地铁为例[J]. 四川建材, 2016, 42(2): 183-184.
- [3] 彭文, 孔超. 断层破碎带刚性帷幕注浆止水固化技术的实践[J]. 江西煤炭科技, 2019(4): 193-195.
- [4] 张兆军, 李振东, 代昱昊. 超前深孔预注浆在北京地铁中的应用研究[J]. 山西建筑, 2015, 41(11): 149-151.
- [5] 胡畔. 地铁车站深孔帷幕注浆止水施工技术[J]. 设备管理与维修, 2019(7): 133-134.
- [6] 翟和明, 党嘉东. 深孔注浆止水帷幕技术在地铁明挖车站中的应用[J]. 现代城市轨道交通, 2013(3): 79-81.
- [7] 朱桂春. 紫荆山地铁车站深孔帷幕注浆止水施工技术浅析[J]. 四川建材, 2015, 41(4): 155-156.
- [8] 肖专文, 李连元, 杨新. 武汉某地铁车站深基坑支护关键技术[J]. 施工技术, 2014, 43(S1): 369-373.
- [9] 范增国, 冯超, 杨团军. WSS 工法注浆止水在富水黄土隧道中的应用[J]. 中国铁路, 2011(3): 69-72.
- [10] 王兴华. WSS 围岩预注浆在不良地质隧道中的应用探究[J]. 四川水泥, 2018(2): 290.
- [11] 苑国全. 地铁穿越地裂缝 WSS 注浆止水加固施工[J]. 中国科技信息, 2017(10): 52-53.