

旋喷桩在盾构法隧道端头井洞口土体加固工程中的应用

高成梁¹, 梁小强²

(1. 长春工程学院, 吉林 长春 130021; 2. 中南大学, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 盾构法隧道在进行盾构机的始发或到达作业时, 当既有端头井洞口挡土墙结构凿除后, 保证该位置土体在盾构机刀盘贯入或脱离地层前一段时间内的稳定就成了盾构机始发或到达施工的关键。结合工程实例, 从高压注浆原理、注浆参数和施工工艺等方面阐述了二重管旋喷桩在盾构法隧道端头井洞口土体加固工程中的应用。再者, 针对旋喷桩加固以及与其相关的盾构始发或到达施工技术方面的一些问题也提出了一些建议和看法。

关键词: 旋喷桩; 盾构法隧道; 洞口; 加固

中图分类号: U455.4 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2009)12-0069-04

Application of High-pressure Spiral Jet Grouting Piles in Shield Tunnel Portal Soil Reinforcement Engineering/
GAO Cheng-liang¹, LIANG Xiao-qiang² (1. Changchun Institute of Technology, Changchun Jinlin 130021, China; 2. Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

Abstract: When the shield launching or arrival is under construction in the shield tunnel, it becomes the key to keep the soil stability in a period of the time before the rotary cutter head of shield machine penetrating into or drilling through the stratum. Based on the engineering case, this paper discussed the application of dual pipe highpressure spiral jet grouting piles in shield tunnel portal soil reinforcement about the principle of highpressure grouting, the grouting parameters and the construction technology. And some suggestions are put forward for spiral jet pile reinforcement and construction issues on shield launching or arrival.

Key words: spiral jet grouting piles; shield tunnel; portal; reinforcement

0 引言

随着城市的发展, 交通状况的日益恶化, 越来越多的城市开始修建地铁, 以改善城市的交通状况。如北京、上海、广州等修建地铁比较早的城市, 正努力修建更多的地铁线路, 使得地铁线路逐步网络化; 沈阳、西安、成都、杭州等城市正在修建自己的第一条地铁线路; 其他一些城市, 诸如长沙、武汉、长春、哈尔滨等也已做好了地铁建设的计划和蓝图, 正待付诸实施。可以说, 全国各地掀起了修建地铁的高潮。从这些已经修建和正在修建的地铁线路来看, 采用盾构机进行隧道建设在城市地铁修建中占了大多数, 特别是土压平衡盾构机更是在城市地铁施工中发挥了其安全、快速、环保的特点^[1], 已经成为地铁隧道施工的主流技术。

盾构法是利用盾构机在地面以下进行暗挖隧道的一种施工方法^[2], 它具有自动化程度高、作业环境安全、施工速度快、成型隧道质量好、对周边环境影响小等优点。盾构始发和到达施工是盾构法施工

技术中的重要内容。一般地, 盾构始发、到达接收时首先需要拆除端头井挡墙结构(竖井封门), 该作业施工时间较长, 临空面较大, 这对维护洞口土体稳定极为不利, 因此需要在盾构始发、到达接收前对隧道洞口土层进行加固, 切实有效地控制洞口周围土体变形, 从而保证盾构始发和到达的安全。端头井洞口土体加固方法多种多样, 本文中采用了二重管高压旋喷桩对一端头井洞口土体进行了加固, 基本保证了盾构机在整个始发和到达阶段的施工安全。

1 工程概况

沈阳地铁 1 号线第五合同段重工街站~启工街站区间隧道位于沈阳市铁西区, 里程为 DK6+052.818~828.040, 区间长度为 775.222 m。区间隧道为单洞单线圆形断面, 线间距为 13 m。区间线路沿铁西区建设西路南侧绿化带走行, 先东西向延伸约 500 m 后折向东南, 线路纵向呈“V”形坡, 最大纵坡为 25‰。区间隧道结构底最大埋深 19.723 m

收稿日期: 2009-06-25

作者简介: 高成梁(1979-), 男(汉族), 甘肃兰州人, 长春工程学院讲师, 岩土工程专业, 硕士, 从事岩土工程教学和科研工作, 吉林省长春市朝阳区同志街 3066 号, gaotian_csu@163.com。

(覆土厚度 13.723 m),最小埋深 13.86 m(覆土厚度 7.86 m),属中浅埋隧道。于区间里程 DK7+600 处设置一同废水泵房合建的联络通道。

盾构隧道采用一台 $\Phi 6270$ mm 的土压平衡盾构机(TM625PMX-3)掘进。隧道衬砌采用单层钢筋混凝土装配式衬砌错缝拼装,整环衬砌由 6 块钢筋混凝土管片组成,即 3 块标准环(A 型管片)、2 块邻接环(B 型管片)和 1 块封顶块(K 型管片)组成。衬砌管片外径 6000 mm,内径 5400 mm,厚度 300 mm,纵向长度 1200 mm。区间隧道及其联络线隧道的防水等级为二级。

2 工程地质和水文地质

2.1 工程地质

根据岩土工程勘察报告及现场踏勘调研,重工街站~启工街站区间隧道所在场地范围内主要为道路及绿化带,地势平坦开阔,地面标高介于 40.15~40.80 m 之间,最大高差 0.65 m。所处地貌单元为浑河冲洪积扇,微地貌为浑河高漫滩及占河道。

由于该区间为单洞单线,有 4 个端头井洞口土体需要加固。其中,2 个为始发洞口,另 2 个为到达洞口。各个端头井洞口位置处场地地表为人工填土及市政路面,勘察深度内各主要地层具体特性如下:

①杂填土,杂色,松散,由粘性土、砂、碎石、砖块、建筑垃圾等组成,层厚约 0.80 m;

③₁粉质粘土,黄褐、黑褐色,可塑,摇振反应无,刀切面较光滑,干强度中等,韧性中等,可见铁锰结核及铁质浸染,层厚约 3.2 m;

③₂中粗砂,黄、黄褐色,中密状态为主,稍湿~饱和,分选较差,磨圆一般,含砾及少量卵石,可见最大粒径约为 50 mm,层厚约为 4.85 m;

④₁粉质粘土,黄褐、灰黑色,可塑,刀切面较光滑,无摇震反应,韧性中等,干强度中等,该层分布较普遍,层厚约为 2.35 m;

④₂粉细砂,黄褐色,中密为主,饱和,分选较好,该层分布较普遍,层厚约为 0.8 m;

④₃砾砂,黄、黄褐、灰褐色,密实,饱和,分选差,磨圆中等,混少量粘性土,含卵石,可见最大粒径 75 mm,局部混少量粘性土,层厚约为 7 m;

⑤₂粉土,棕黄、灰色,中密,饱和,见云母,摇震反应低,层厚 1.20 m。

根据设计及隧道洞口位置情况,需要加固地层主要为③₂、④₁、④₂、④₃、④₅。

2.2 水文地质

拟建场地区段地下水由上至下分为松散岩类孔隙潜水(稳定水位埋深一般为 7.50~9.40 m),更新统松散岩类孔隙潜水、承压水(稳定水位埋深 11.46 m)。地下水迳流条件良好。主要受人工开采、地下水渗透等因素控制。主要含水层渗透性强,迳流通畅,其渗透系数在 50~180 m/d。

由于本加固工程属于临时措施,无需考虑地下水的腐蚀性。

3 端头井洞口土体加固设计

盾构始发洞口土体加固平面范围为 8 m×12 m,盾构到达洞口土体加固平面范围为 6 m×12 m,如图 1 所示。始发或到达加固长度以隧道中心线标高为准,向上 6 m,向下 6 m,共 12 m。钻孔深度为 18~19 m,从地表到地下 6~7 m 为无效钻孔,如图 2 所示。设计采用二重管旋喷桩加固,旋喷桩成桩桩径 800 mm,间距 600 mm,搭接 200 mm。按设计

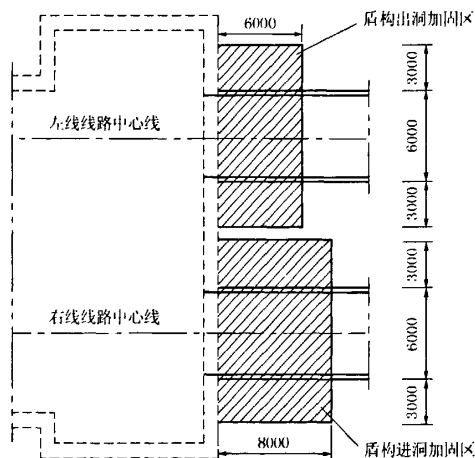


图1 端头井洞口加固平面图

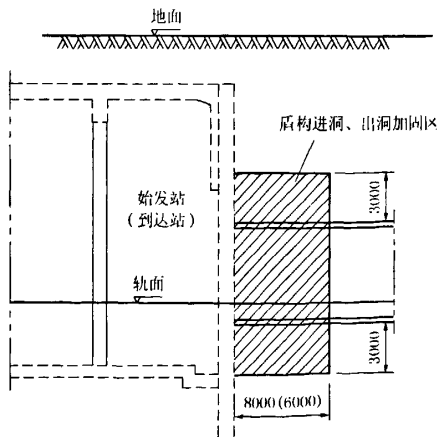


图2 端头井洞口加固剖面图

要求,加固后的土体应具有良好的均匀性、自立性、密封性,无侧限抗压强度为 1.0 MPa,渗透系数 $< 1 \times 10^{-8}$ cm/s。

4 高压旋喷桩施工

该加固工程采用二重管高压旋喷注浆法。二重管高喷法使用的是双通道的注浆管,当双通道注浆管钻进土层设计标高后,通过在管底部侧面的一个或二个同轴双重喷嘴,从内喷嘴喷射出不小于 20 MPa 压力的高压浆液,同时从外边环状气喷嘴射出 0.7 MPa 左右的压缩空气。在高压浆液流和其外圈的环绕空气流的共同作用下,土体被冲切破坏,并随着喷管的旋转和提升,浆液与土粒搅拌混合,经过一系列物理化学作用形成近似圆柱状的固结体。

4.1 施工参数

高压喷射灌浆是一项地下隐蔽工程施工技术,不同地质条件,不同工艺参数,形成不同的灌浆凝集体,其形状、大小、结构、搭接及物理力学性质均不同。设计施工时为确保工程质量,应在工程范围内选择代表性地段进行试喷,以确认或调整设计孔间距离、工艺参数。本工程根据沈阳地区类似地层旋喷桩施工经验资料并结合现场实际施工情况,确定的施工参数如下。

喷浆导孔孔径 110 mm,孔位偏差 ≥ 50 mm,倾斜率 $\geq 1\%$ 。现场配备 2 套旋喷设备进行施工。

主要施工材料为 32.5 级普通硅酸盐水泥,水灰比采用 1(后期根据现场试验资料,调整至 1.5),密度为 1.49 g/cm³。

浆压 25 ~ 30 MPa,流量 70 ~ 100 L/min,气压 0.7 MPa,气流量 0.8 ~ 1.2 L/min。旋喷提升速度控制在 0.12 m/min。

4.2 施工方法、步骤

4.2.1 施工放样及布孔

根据施工场地内的基准点,首先确定洞口位置处隧道中心线,然后在垂直于隧道中心线方向,根据旋喷桩桩位布置图确定每个旋喷桩的孔位,并用木桩做好标记,编上孔号、序号。

4.2.2 钻孔

采用硬质合金钻头回转钻进,分两序钻孔。钻机就位后垫平稳牢固,采用水平尺测量机体水平、立轴垂直度,钻孔孔位与设计孔位偏差 ≥ 50 mm,倾斜率 $\geq 1\%$ 。钻孔深度要求不小于设计底高程。在钻孔过程中每钻进 3 ~ 5 m 应用水平尺测量一次,发现孔斜率超过规定应随时纠正。为防止坍塌采用泥浆

护壁。终孔待喷时间较长时,应在孔口加盖进行保护,以防杂物落入孔内。

4.2.3 配制浆液

确定相应水灰比的加水高度及加灰量,并在搅拌机做好标记。配置过程中严格按照已标明的加水高度及加灰量进行控制,充分拌和不少于 3 min 后,用密度计对配制好的浆液密度进行测量以控制浆液配比,做到每罐一测,并由专人记录所加水、灰和浆液密度等数据,符合要求后方可进行送浆。

注意事项:在灰浆搅拌机、储料箱之间和注浆泵的吸水管进口各设一道过滤网,以过滤浆液,并需及时清理残渣。滤网规格应小于浆液喷嘴直径,一般为 2 mm 左右^[3];制备好的浆液不得离析,气温在 10 ℃ 以上时浆液存放时间 ≥ 3 h,气温在 10 ℃ 以下 ≥ 5 h,否则均应按废浆处理。

4.2.4 下管喷浆

高喷灌浆应分两序进行,相邻孔高喷灌浆间隔时间 ≤ 24 h。下喷射管前,应进行地面试喷并调准喷射方向及角度,试喷正常后用胶带把喷嘴封上或低压送气、浆,以避免在入孔过程中发生喷嘴堵塞现象。

4.2.5 喷浆提升

当喷管下入设计深度后,先原地静喷,待注入的水泥浆液冒出孔口后,方可按照预定的提升、旋转速度自下而上喷射,直到设计标高,停送气、浆,提出喷射管。喷射注浆开始后,应做好施工记录。

4.2.6 清洗

喷射完毕,应及时将各管路冲洗干净,不得留有残渣,以防堵塞。一般是把浆液换成清水进行连续冲洗,直到管路中出现清水为止。

4.2.7 终喷回灌

按照设计,从地表至隧道轮廓顶部向上 3 m 位置之间的一段钻孔不需要进行旋喷,因此,每孔喷射结束后,利用下一高喷孔的冒浆对该段钻孔进行回灌,直至孔口液面不再下降为止。

4.2.8 回浆处理

对冒出的浆液,一小部分用于回灌,其余部分除少部分掩埋在场地的废浆槽或回灌沟外,大部分用注浆泵抽取到汽车罐车中,拉出场地外集中排泄,做好场地整洁和环境保护工作。

4.3 加固效果检测

端头井洞口土体加固完毕一个月后,对加固土体进行抽心检测。抽心试样强度都在 2 MPa 以上。凿除端头井洞口挡土结构后,没有出现涌水,只是在

加固土体靠近端头井一侧发生一些小范围的掉土现象。这是因为在地表靠近挡土墙一侧,预先埋入 $\varnothing 600$ mm的降水井集水钢管,地面的旋喷桩桩位只得向端头井外侧移动位置,使得需要加固的土体范围增大;同时旋喷桩施工期间,正在进行端头井底板钢筋绑扎施工,如果加大浆液喷射压力,不仅端头井挡土墙侧壁漏水漏浆严重,污染钢筋,影响端头井底板施工质量,而且可能会引起桩间土(端头井基坑采用排桩加钢管内支撑支护)掉块,引发安全事故。这样,喷浆压力也不能太大,两因素共同作用,就使得旋喷桩和已经建造的挡土墙之间的接缝位置土体加固质量不好,以致出现此种现象。

5 经验与建议

盾构法隧道端头井洞口土体加固是盾构法隧道施工的首要环节,需要根据洞口端头井(竖井)处土体工程地质和水文地质条件以及周围环境需要,综合考虑现场施工条件、安全、工期与造价等因素,合理地选择加固方法,并严格按照设计和相关规范标准要求进行施工,保证加固质量,确保盾构在整个始发和到达阶段的施工安全。

(1)从实践过程来看,在诸如沈阳这种砂砾地层中,采用二重管旋喷桩加固端头井洞口土体是可行的。但需要加强旋喷桩施工过程的质量控制,保证桩体之间的有效搭接,提高加固土体的均匀性。值得注意的是,在土体加固过程中,有可能掉入钻头、钻杆等金属构件,如果这种情况发生,则必须将其打捞出来,避免盾构机刀盘的非正常磨损^[4]。

(2)在拆除端头井洞口处挡土结构前,应预先钻孔,弄清旋喷桩加固后洞口处的土体渗水情况,这在砂砾地层施工中尤为重要。如果在拆除挡土墙后,才发现有大量的渗水现场,此时不仅安全隐患很大,再者想要止住漏水也极为困难,需要更多的时间、劳力和造价。

(3)盾构法隧道端头井洞口土体加固中,已有的挡土墙结构外侧与加固区的接缝位置通常是加固薄弱区^[5],除却该位置浆液和已有挡土结构往往粘结不良的原因外,端头井洞口位置各工种的先后施工顺序也对加固质量以及施工便利性、工程造价等有重要的影响。一般而言,端头井洞口位置有端头井基坑围护、降水井、洞口土体加固、盾构吊装渣土坑、龙门吊行走轨道等分部分项工程,笔者认为按照先端头井基坑围护或洞口土体加固工程施工,再进行降水井的施工,最后再开挖施作渣土坑或龙门吊

行走轨道,可以避免高压注浆加固时可能损坏加固区内或附近的降水井,也不影响端头井基坑土方开挖以及后续为提供盾构机始发或到达而进行的部分主体结构的施工。因此,在采取一些补强措施来保证加固土体质量的同时,也应注意加固区各工种的施工顺序。

(4)盾构机从端头井洞口加固区始发或到达施工时,应对泥土压力、推力和推进速度进行合理调整^[6]。泥土压力既不能过大,以免损坏已有的挡土结构(到达施工时);同时,也不能过小。如果加固效果不好,特别是当旋喷桩体之间存在“接缝”——搭接不良或没有搭接时,所施工的旋喷桩在垂直方向上不仅没有起到加固的作用,反而加大了土体的自重,盾构机刀盘上方的土体应力释放后不断掉落,最终导致洞口地面土体塌陷,发生“冒顶”事故。

(5)目前,大部分盾构法隧道的设计对端头井洞口土体加固的指标要求是加固后土体强度 ≥ 1.0 MPa,渗透系数 $\leq 1.0 \times 10^{-8}$ cm/s。对于旋喷桩而言,在砂性土中加固强度容易保证,而且富余量比较大,但渗透系数指标难以实现,同时是否需要如此低的渗透系数指标也是值得商榷的问题,文献[7]对这一问题也做了一些阐述。因此,如果用掺入膨润土、粘土或粉煤灰的复合水泥浆液代替纯水泥浆液来对盾构法隧道端头井洞口土体进行加固,不仅能够满足设计要求(实践证明,加入适量的掺合料后旋喷桩结石体强度不会降低,渗透系数还能提高^[8]),而且降低了工程造价。这是一个在以后的工作中值得研究的课题。

参考文献:

- [1] 孙振川. 城市地铁盾构法隧道软土地段端头地层加固技术[J]. 西部探矿工程, 2003, (10): 81-83.
- [2] 汪茂祥. 盾构洞口加固方法[J]. 工程机械与维修, 2008, (4): 110-114.
- [3] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [4] 高成梁. 盾构机刀盘磨损修复技术的应用实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(5): 25-27.
- [5] 赵立锋, 付黎龙. 富水软弱地层盾构隧道施工端头加固技术研究[J]. 铁道标准设计, 2008, (9): 83-85.
- [6] 张凤祥, 朱合华, 傅德明. 盾构隧道[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [7] 胡新朋, 孙谋, 王俊兰. 软土地区城市盾构施工端头土体加固要求探讨[J]. 隧道建设, 2006, 26(5): 11-13.
- [8] 李刚, 廖勇龙, 董建军, 等. 高喷法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.