



“十三五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

无水砂卵石地层土压平衡盾构 施工技术

——乌鲁木齐轨道交通1号线土压平衡盾构施工实践

孙礼超 张 壮 王志华 王国胜 等



Construction Technology
of EPB Shield
in Waterless Sandy Cobble Stratum



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



“十三五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

无水砂卵石地层土压平衡盾构 施工技术

——乌鲁木齐轨道交通1号线土压平衡盾构施工实践

孙礼超 张 壮 王志华 王国胜 等

编者



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以新疆乌鲁木齐轨道交通 1 号线 16 标段土建工程为案例,系统介绍了无水砂卵石地层土压平衡盾构施工技术。全书共分为 9 章,包括乌鲁木齐轨道交通 1 号线区间地质及盾构机选型,无水砂卵石地层土压平衡盾构同步注浆,复合式土压平衡盾构施工渣土改良试验,盾构掘进机推进姿态控制,卵石地层盾构转场、始发与到达施工技术,砂石料坑回填区膏体注浆加固及盾构掘进,盾构掘进下穿建筑物施工控制技术,盾构施工穿越乌准铁路桥加固处治及施工掘进,乌鲁木齐无水砂卵石地层施工监控量测及信息化等内容。

本书可供从事隧道及地下工程设计、施工、科研技术人员及相关专业的高等院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

无水砂卵石地层土压平衡盾构施工技术:乌鲁木齐
轨道交通 1 号线土压平衡盾构施工实践 / 孙礼超等编著.
—北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017.11

ISBN 978-7-114-14284-0

I. ①无… II. ①孙… III. ①轨道交通-盾构法-研
究-乌鲁木齐 IV. ①U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 260511 号

书 名:无水砂卵石地层土压平衡盾构施工技术——乌鲁木齐轨道交通 1 号线土压平衡盾构施工实践

著 者:孙礼超 张 壮 王志华 王国胜 等

责任编辑:曲 乐 李 娜

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:18

字 数:411 千

版 次:2017 年 11 月 第 1 版

印 次:2017 年 11 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-14284-0

定 价:85.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

《无水砂卵石地层土压平衡盾构施工技术》

——乌鲁木齐轨道交通 1 号线土压平衡盾构施工实践》

编 委 会

主 编:孙礼超 张 壮

副 主 编:王志华 王国胜

编 委:(按姓氏笔画排序)

方春龙 王子健 王丽萍 王 勇 王思长

刘东燕 何庆奎 李东升 李 强 辛 军

卓发成 周红丽 罗云菊 罗文文 施 军

贺建国 倪小文 唐 人 黄 伟 黄 勇

雷 力 蔡 静 樊 愚

参编单位:乌鲁木齐城市轨道交通集团有限公司

新疆交通建设集团股份有限公司

重庆科技学院

上海隧道工程股份有限公司

重庆大学



前言

PREFACE



轨道交通 1 号线为乌鲁木齐市南北向骨干线路,南起南郊客运站东侧的三屯碑站,线路沿胜利路—解放路—新民路—南湖路—南湖西路—南湖北路—新医路—北京路—城北干道布设,终点位于北部的地窝堡机场站,全长 26.5km,是沟通老城区、新市区和主要对外的交通枢纽。其中,土建施工第 16 合同段宣仁墩站—大地窝堡站区间及大地窝堡站—中间风井区间隧道采用土压平衡盾构施工技术进行掘进。通常情况下,土压平衡盾构更适用于黏性土或有一定黏性的粉砂土,而通过加泥水新型土压平衡盾构也可适用于多种土层,但轨道交通 1 号线土建施工第 16 合同段宣仁墩—大地窝堡站区间隧道和大地窝堡站—中间风井区间隧道地层为乌鲁木齐市典型巨厚无水砂卵石地层,是一种典型的力学不稳定地层,卵石颗粒间几无任何胶结,自稳能力极差。在此地层中采用土压平衡盾构掘进时,防止隧道施工过程中引起的地表下沉、周边既有管线发生过量变形与破坏是关键的技术难题,而如何解决盾构设备配套、刀盘刀具配制、渣土改良以及同步注浆等技术问题,成为此类地层盾构隧道施工成败的关键。

乌鲁木齐城市轨道交通集团有限公司、新疆交建市政工程有限责任公司和重庆科技学院在乌鲁木齐市建设科技项目《无水砂卵石地层盾构综合施工技术研究》的支持下,以乌鲁木齐市轨道交通建设首次采用盾构施工的 1 号线土建施工第 16 合同段区间隧道盾构掘进为背景开展科研和工程实践工作,验证乌鲁木齐典型无水砂卵石地层中土压平衡盾构掘进工法的适应性,探索无水砂卵石地层进行盾构掘进施工的各项关键技术。《无水砂卵石地层土压平衡盾构施工技术——乌鲁木齐轨道交通 1 号线土压平衡盾构施工实践》即是以此为基础完成的,专著包括了无水砂卵石地层盾构机选型及刀具配置;无水砂卵石地层盾构同步注浆配合比优化;无水砂卵石地层中渣土改良;无水砂卵石地层盾构姿态控制;卵石地层盾构转场、始发与到达施工技术;砂石料坑回填区膏体注浆加固及

盾构掘进;以及无水砂卵石地层盾构通过重要建(构)筑物盾构技术等无水砂卵石地层中采用土压平衡盾构掘进所需的关系技术问题。

本书作为乌鲁木齐市轨道交通建设在无水砂卵石地层中进行土压平衡盾构施工适应性探索的技术总结,积累的各项关键技术参数和施工工艺可为乌鲁木齐市后续的轨道交通建设提供借鉴,也可供从事盾构隧道施工的工程技术人员参考。

本书在编著过程中参考了许多文献资料,再次对各位作者表示衷心的感谢!由于编者水平有限,书中还存在诸多不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2017年9月

目 录

CONTENTS

第 1 章 乌鲁木齐轨道交通 1 号线区间地质及盾构机选型	1
1.1 盾构机主要类型及适用条件	1
1.2 乌鲁木齐轨道交通 1 号线地质特征	7
1.3 盾构机选型原则	15
1.4 乌鲁木齐轨道交通 1 号线盾构机选型及配置	18
1.5 本章小结	33
第 2 章 无水砂卵石地层土压平衡盾构同步注浆	35
2.1 同步注浆目的及原理	35
2.2 注浆材料的选择	42
2.3 浆液配合比试验	47
2.4 同步注浆主要技术参数的确定	58
2.5 注浆质量控制	63
2.6 本章小结	65
第 3 章 复合式土压平衡盾构施工渣土改良试验	66
3.1 乌鲁木齐卵石地层渣土改良必要性	66
3.2 卵石层工程概况及渣土改良	67
3.3 泡沫性能试验及渣土改良试验	69
3.4 膨润土配方性能及渣土改良试验	77
3.5 本章小结	93
第 4 章 盾构掘进机推进姿态控制	94
4.1 盾构姿态控制的原则	94
4.2 盾构姿态控制的组成	101
4.3 盾构推进姿态调整运动特性及推进系统力学模型	106

4.4	盾构姿态控制内容	108
4.5	本章小结	116
第5章	卵石地层盾构转场、始发与到达施工技术	117
5.1	盾构始发与到达施工技术分类	117
5.2	无水砂卵石地层盾构始发与到达关键技术	118
5.3	盾构机转场关键技术	129
5.4	盾构机吊装对隧道及车站结构的影响	135
5.5	本章小结	150
第6章	砂石料坑回填区膏体注浆加固及盾构掘进	151
6.1	乌鲁木齐轨道交通1号线16标回填区工程特性	151
6.2	回填区注浆加固试验	155
6.3	回填区注浆参数设计	159
6.4	回填区注浆加固施工	162
6.5	回填区盾构刀盘刀具优化	169
6.6	回填区盾构掘进	178
6.7	回填区盾构材料消耗和设备投入	185
6.8	回填区盾构安全措施	187
6.9	回填区盾构施工效果检测	189
6.10	本章小结	190
第7章	盾构掘进下穿建筑物施工控制技术	192
7.1	盾构施工对穿越建(构)筑物的影响及控制措施	192
7.2	盾构掘进影响建筑物安全施工模拟	195
7.3	盾构掘进影响敏感性建筑物监测原则及预警控制	212
7.4	盾构影响敏感性建筑物预掘进	215
7.5	盾构影响敏感性建筑物掘进参数及姿态控制	226
7.6	本章小结	230
第8章	盾构施工穿越乌准铁路桥加固处治及施工掘进	231
8.1	乌准铁路桥工程概况	231
8.2	盾构影响乌准铁路桥变形计算	236
8.3	乌准铁路桥桥基复合锚杆桩加固	243
8.4	盾构影响乌准铁路桥预掘进试验研究	245
8.5	盾构影响乌准铁路桥掘进参数及姿态控制	251
8.6	本章小结	257

第 9 章 乌鲁木齐无水砂卵石地层施工监控量测及信息化	258
9.1 监测区域工程简介及特点	258
9.2 地表沉降变形的演变分析	259
9.3 施工监测技术方案及仪器设备	260
9.4 监测数据整理及最终报告	266
9.5 监测管理、反馈体系及信息化	267
9.6 工程施工监测案例	272
9.7 本章小结	275
参考文献	276

第1章

乌鲁木齐轨道交通1号线区间地质及盾构机选型

乌鲁木齐轨道交通1号线为主城南北向骨干线、全网的基线,共设21座车站,南起南郊客运站东侧的三屯碑站,线路沿胜利路—解放路—新民路—南湖路—南湖西路—南湖北路—新医路—北京路—城北干道布设,终点位于地窝堡机场站。线路连接南郊客运站、新疆大学、大巴扎、南门、北门、市政府、新疆师范大学、铁路局、植物园、机场等客流聚散点,全长26.5km。区间施工采用盾构掘进,考虑到标段地层为卵石地层,是一种典型的力学不稳定地层,卵石颗粒之间几无黏聚力,因此造成在盾构施工过程中,刀盘旋转切削时非常容易打破卵石土体颗粒的原有平衡状态,引起开挖面和洞壁失去稳定性,进而“连锁反应”式引起地表变形,因此根据区间地层条件选择适当的盾构机类型及完成刀具配备是标段掘进施工的决定性因素。

1.1 盾构机主要类型及适用条件

1.1.1 盾构施工概述

盾构法是在地面下暗挖隧道的一种施工方法,构成盾构法施工的主要内容是:先在隧道某段的一端建造竖井或基坑,以供盾构安装就位。盾构从竖井或基坑的墙壁开孔处出发,在地层中沿着设计轴线,向另一竖井或基坑的设计孔洞推进。盾构推进中所受到的地层阻力,通过盾构千斤顶传至盾构尾部已拼装的预制隧道衬砌结构,再传到竖井或基坑的后靠壁上,盾构是这种施工方法中最主要的独特的施工机具。它是一个能支承地层压力而又能在地层中推进的圆形或矩形或马蹄形等特殊形状的钢筒结构,在钢筒的前面设置各种类型的支撑和开挖土体的装置,在钢筒中段周圈内面安装顶进所需的千斤顶,钢筒尾部是具有一定空间的壳体,在盾尾内可以拼装一至二环预制的隧道衬砌环。盾构每推进一环距离,就在盾尾支护下拼装一环衬砌,并及时向紧靠盾尾后面的开挖坑道周边与衬砌环外周之间的空隙中压注足够的浆体,以防止隧道及地面下沉,在盾构推进过程中不断从开挖面排出适量的土方。

1.1.2 盾构机主要类型

盾构可以按各种形式进行分类。

按掘进方式可分为手掘式、半机械式和机械式三大类。

按工作面挡土方式可分为敞开式和密闭式。

按气压和泥水加压方式可分为气压式、泥水加压式、土压平衡式、加水式、高浓度泥水加压式和加泥式。

1) 手掘式盾构

手掘式盾构是盾构的基本形式,世界上仍有工程采用手掘式盾构。按不同的地质条件,开挖面可全部敞开人工开挖;也可用全部或部分正面支撑,根据开挖面土体自立性适当分层开挖,随挖土随支撑。开挖土方量为全部隧道排土量。这种盾构便于观察地层和清除障碍,易于纠偏,简易价廉,但劳动强度大,效率低,如遇正面坍方,易危及人身及工程安全。在含水地层中需辅以降水、气压或土壤加固。

这种盾构由上而下进行开挖,开挖时按顺序调换正面支撑千斤顶,开挖出来的土从下半部用皮带运输机装入出土车。采用这种盾构的基本条件是:开挖面至少要在挖掘阶段无坍塌现象,因为挖掘地层时盾构前方是敞开的。

手掘式盾构的适用地层:手掘式盾构有各种各样的开挖面支撑方法,从砂性土到黏性土地层均能适用,因此较适用于复杂的地层。手掘式盾构由于正面是敞开的,故在开挖面出现障碍物时,较易排除。由于这种盾构造价低廉,发生故障也少,因此是最为经济的盾构。在开挖面自立性差的地层中施工时,它可与气压、降水、化学注浆等稳定地层的辅助施工法同时使用。

2) 挤压式盾构

当敞开式盾构在地质条件很差的粉砂土质地层、黏土层中施工时,土就会从开挖面流入盾构,引起开挖面坍塌,因而不能继续开挖,这时应在盾构的前面设置胸板来密闭前方,同时在脚板上开出土用的小孔,这种形式的盾构就叫挤压式盾构。盾构在挤压推进时,土体就会从出土孔如同膏状物从管口挤出那样,挤入盾构。根据推进速度来确定开口率。当开口率过大时,出土量增加,会引起周围地层的沉降;反之,就会增大盾构的切入阻力,使地面隆起。采用挤压盾构时,对一定的地质条件设置一定的开口率、控制出土量是非常重要的。

挤压盾构是将手掘式盾构胸板封闭,以挡住正面土体。这种盾构分为全挤压式或局部挤压式两种,它适用于软弱黏性土层。盾构全挤压向前推进时,封闭全部胸板,不需出土,但要引起相当大的地表变形。采用局部挤压式盾构,要部分打开胸板,将需要排出的土体从开口处挤入盾构内,然后装车外运,这种盾构施工地表变形也较大。

挤压式盾构适用地层:挤压式盾构的适用范围取决于地层的物理力学性能。它是按含砂率—黏聚力、液性指数—黏聚力的关系来确定其适用范围。根据施工经验,黏聚力即使超出一定的范围,在含砂率小的地层中也可能适用。根据迄今为止的施工经验,当土体含砂率在20%以下、液性指数在60%以上、黏聚力在 0.5kg/cm^2 以下时,在挤压式盾构的施工区间内如遇有为了建筑物或地层加固而进行过化学注浆的地基时,将会影响挤压盾构的推进,因此应预先考虑到把盾构胸板做成可拆卸的形式。

3) 网格式盾构

在软土层中常常采用网格式盾构。它具有的特点是:进土量接近或等于其全部隧道出土量,且往往带有局部挤压性质,盾构正面装钢板网格,在推进中可以切土,而在停止推进时可起稳定开挖面的作用。切入的土体可用转盘、皮带运输机、矿车或水力机械运出。这种盾构法如在土质较适当的地层中精心施工,地表沉降可控制到中等或较小的程度。在含水地层中施工,需要辅以疏干地层的措施。

4) 半机械式盾构

半机械式盾构是介于手掘式和机械式盾构之间的一种形式,它更接近于手掘式盾构。它是在敞开式盾构的基础上安装机械挖土和出土装置,以代替人工劳动,因而具有省力而高效等特点。

机械挖土装置前后、左右、上下均能活动。它有铲斗式、切削头式和两者兼有三种形式。它的顶部与手掘式盾构相同,装有活动前檐、正面支撑千斤顶等。

盾构的机械装备有如下形式:

- ①盾构工作面下半部分装有铲斗、切割头等。
- ②盾构工作面上半部分装有铲斗、下半部分装有切割头。
- ③盾构中心装有切割头。
- ④盾构中心装有铲斗。

形式①:盾构工作面上半部装有正面支撑千斤顶和作业平台,上半部工作面由人工挖掘,挖掘的土、砂落到下半部分,下半部分由铲斗和装载机进行挖掘和出土。

形式②:盾构的上半部工作面由铲斗或者装载机挖掘,下半部工作面由切割头或铲斗进行挖掘和出土。

形式③:由切割头进行挖掘和出土。

形式④:由铲斗式挖掘机进行挖掘和出土。

半机械盾构的适用地层:半机械式盾构比手掘式盾构更适用于良好地层。形式①适用于开挖面需作支撑的地层,形式②~④适用于能自立的地层。形式②大多适用于亚黏土与砂砾的夹层。形式③大多适用于固结黏土层、硬质砂土层。形式④大多适用于黏土和砂砾混合层。

5) 机械式盾构(开胸机械切削盾构)

当地层能够自立,或采用辅助措施后能够自立时,在盾构的切口部分,安装与盾构直径相适应的大刀盘,以进行全断面开胸机械切削开挖。机械式盾构是一种采用紧贴着开挖面的旋转刀盘进行全断面开挖的盾构。它具有可连续不断地挖掘土层的功能。能一边出土、一边推进,连续不断地进行作业。

机械式盾构的切削机采用最多的是大刀盘形式,它有单轴式、双重转动式、多轴式数种,其中单轴式使用最为广泛。多根辐条状槽口的切削头绕中心轴转动,由刀头切削下来的土从槽口进入设在外圈的转盘中,再由转盘提升到漏土斗中,然后由传送带把土送入出土车。

机械式盾构的优点除了能改善作业环境、省力外,还能显著提高推进速度,缩短工期。其缺点是盾构的造价高,为了提高工作效率而带来的后续设备多,需要的基地面积大等。因此若隧道长度短时,就不够经济。与手掘式盾构相比,在曲率半径小的情况下施工以及盾构纠偏都比较困难。

机械式盾构适用地层:可在极易坍塌的地层中施工,因为盾构的大刀盘本身就有防止开挖面坍塌的作用。但是,在黏性土地层中施工时,切削下来的土易黏附在转盘内,压密后会造出出土困难。因此机械式盾构大多适用于地质变化少的砂性土地层。

6) 局部气压盾构

在机械盾构的支承环前边装上隔板,使切口与此隔板之间形成一个密封舱,在密封舱内

充满压缩空气,达到稳定开挖面土体的作用,这样隧道施工人员就不处在气压内工作。在适当地质条件下,对比全气压盾构,无疑有较大优越性。但这种盾构在密封舱、盾尾及管片接缝处易产生漏气问题。

7) 泥水加压式盾构

泥水加压式盾构是在盾构正面与支承环前面装置隔板的密封舱中,注入适当压力的泥浆来支撑开挖面,并以安装在正面的大刀盘切削土体,土与泥水混合后,用排泥泵及管道输送至地面处理。

具体地讲,泥水加压盾构就是在机械式盾构大刀盘的后方设置一道隔板,隔板与大刀盘之间作为泥水室,在开挖面和泥水室中充满加压的泥水,通过加压作用和压力保持机构,保证开挖面土体稳定。盾构推进时开挖下来的土进入泥水室,由搅拌装置进行搅拌,搅拌后的高浓度泥水用流体输送法送出地面,进行水土分离,然后再把分离后的泥水送入泥水室,不断地循环。泥水加压盾构在其内部不能直接观察到开挖面,因此要求盾构从推进、排泥到泥水处理全部按系统化作业。通过泥水压力、泥水流量、泥水浓度等的测定,算出开挖土量,全部作业过程均由中央控制台综合管理。泥水加压盾构利用泥水的特性对开挖面起稳定作用。泥水同时具有下列三个作用:

- ①泥水的压力和开挖面水土压力保持平衡。
- ②泥水作用到地层上后,形成一层不透水的泥膜,使泥水产生有效的压力。
- ③加压泥水可渗透到地层的某一区域,使得该区域内的开挖面稳定。

就泥水的特性而言,浓度和密度越高,开挖面的稳定性越好,而浓度和密度越低时泥水输送的效率越高,因此综合考虑以上条件,目前被广泛作为泥水管理标准的数值如下:

- ①密度: $1.05 \sim 1.25 \text{g/cm}^3$ 的黏土、膨润土等。
- ②黏度: $20 \sim 40 \text{s}$, 漏斗黏度 $500/500 \text{mL}$ 。
- ③脱水量: $Q < 200 \text{mL}$, (APL 过滤试验, 3kg/cm^2 , 30min)。

泥水加压盾构有日本体系及德国体系。两者区别是:德国式的密封舱中设置了起缓冲作用的气压舱,以便于人工控制正面泥浆压力,构造较简单;而日本式密封舱中全是泥水,要有一套自动控制泥水平衡的装置。一般来说,泥水盾构对地层扰动最小,地面沉降也最小,但费用最高。

泥水盾构适用地层:泥水加压盾构最初是在冲积黏土和洪积砂土交错出现的特殊地层中使用,由于泥水对开挖面的作用明显,因此软弱的淤泥质土层、松动的砂土层、砂砾层、卵石砂砾层、砂砾和坚硬土层等均适用。泥水加压盾构对地层的适用范围较广,但是在松动的卵石层和坚硬土层中采用泥水加压盾构施工,会产生逸水现象,因此在泥水中应加入一些胶合剂来堵塞漏缝。在非常松散的卵石层中开挖时,也有可能失败。在坚硬的土层中开挖时,不仅土的微粒会使泥水质量降低,而且黏土还常会黏附在刀盘和槽口上,给开挖带来困难,因此应该予以注意。

泥水加压盾构的适用性:

- ①细粒土(粒径 0.074mm 以下)含量在 10% 以上。
- ②砾石(粒径 2mm 以上)含量在 60% 以上。
- ③自然含水率在 18% 以上。

④无粒径 200~300mm 的粗砾石。

⑤渗透系数 $K < 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。

8) 土压平衡式盾构

土压盾构又称削土密闭式或泥土加压式盾构。它的前端有一个全断面切削刀盘,切削刀盘的后面有一个储留切削土体的密封舱,在密封舱中心线下部装置长筒形螺旋输送机,输送机一头设有出入口。所谓土压平衡就是密封舱中切削下来的土体和泥水充满密封舱,并可具有适当压力与开挖面土压平衡,以减少对土体的扰动,控制地表沉降。这种盾构可节省泥水盾构中所必需的泥水平衡及泥水处理装置的大量费用,主要适用于黏性土或有一定黏性的粉砂土。现已有加水或加泥水的新型土压平衡盾构,可适用于多种土层。

土压平衡式盾构的基本原理:由刀盘切削土层,切削后的泥土进入土腔(工作室),土腔内的泥土与开挖面压力取得平衡的同时由土腔内的螺旋输送机出土,装于排土口的排土装置在出土量与推进量取得平衡的状态下,进行连续出土。土压平衡式盾构的产品名称是各不相同的,即使是相类似的盾构,其名称也因开挖面稳定的方法和各公司对排土机开发过程的不同而各异。土压平衡式盾构又分为:削土加压式、土压平衡加水式、高浓度泥水加压式、加泥式 4 类。

开挖工作面稳定机构:土压平衡式盾构的开挖面稳定机构按地质条件可以分成两种形式,一种适用于内摩擦角小且易流动的淤泥、黏土等黏质土层;另一种适用于土的内摩擦角大、不易流动、透水性大的砂、砂砾等砂质土层。

(1) 黏性土层中的开挖面稳定机构

在粉质黏土、粉砂、粉细砂等黏性土层中,开挖面稳定机构的排土方式是:由刀盘切削后的泥土先进入土腔内,在土腔内的土压与开挖面的土压(在黏性土中,开挖面土压与水压的混合、压力作用)达到平衡的同时,由螺旋输送机把开挖的泥土送往后部,再从出土闸门口出土。这种机构首先是由挖掘的泥土充满土腔,在软弱的黏性土地层中,由刀盘切削后的泥土强度一般都比原状土的强度低,因而易流动。即使是在黏聚力很高的土层中,也由于刀盘的搅拌作用和螺旋输送机的搬运作用搅乱了土体,使土的流动性增大,因此充满在土腔内和螺旋输送机内泥土的土压可与开挖面的土压达到相等。当然这种充满在土腔和输送机内泥土的土压必须与开挖面土压相等的情况下由螺旋输送机排土,挖掘量与排土量要保持平衡。但是,当地层的含砂量超过某一限度时,由刀盘切削的土流动性变差,而且当土腔内泥土过于充满并固结时,泥土就会压密,难以挖掘和排土,迫使推进停止。在这种情况下,一般采用的方法是:向土腔内添加膨润土、黏土等进行搅拌,或者喷入水和空气,用以增加土腔内土的流动性。

(2) 砂质土层中开挖面的稳定机构

在砂、砂砾等砂质土地层中,土的摩擦阻力大,地下水丰富,透水系数也高,因此依靠挖掘土的土压和排土机构与开挖面的压力(地下水压和土压)达到平衡就很困难。而且由刀盘切削的土体流动性也不能保证,对于这样的土层仅采用排土机构的机械控制使开挖面稳定是很困难的。因此要用水、膨润土、黏土、高浓度泥水、泥浆材料等的混合料向开挖面加压灌注,并不断地进行搅拌,改变挖掘土的成分比例,以此保证土的流动性和止水性,使开挖面稳定。

开挖面的稳定机构可分为以下几种方式:

①切削土加压搅拌方式:在土腔内喷入水、空气,或者添加混合材料,来保证土腔内土砂流动性。在螺旋输送机的排土口装有可止水的旋转式送料器(转动阀或旋转式漏斗),送料器的隔离作用能使开挖面稳定。

②加水方式:向开挖面加入压力水,保证挖掘土的流动性,同时让压力水与地下水压相平衡。开挖面的土压由土腔内的混合土体的压力与其平衡,为了确保压力水的作用,在螺旋输送机的后部装有排土调整槽,控制调整槽的开度使开挖面稳定。

③高浓度泥水加压方式:向开挖面加入高浓度泥水,通过泥水和挖掘土的搅拌,以保证挖掘土体的流动性,开挖面土压和水压由高浓度泥水的压力来平衡。在螺旋输送机的排土口装有旋转式送料器,送料器的隔离作用使开挖面稳定。

④加泥式:向开挖面注入黏土类材料和泥浆,由辐条形的刀盘和搅拌机构混合搅拌挖掘的土,使挖掘的土具有止水性和流动性。由这种改性土的土压与开挖面的土压、水压达到平衡,使开挖工作面得到稳定。

土压平衡盾构较适用于在软弱的冲积土层中推进,在砾石层中或砂土层中推进时,加进适当的泥土后也能发挥土压平衡盾构的特点。

土压平衡盾构(含加泥式盾构)适用性:

①黏粒(粒径0.075mm以下)含量在粒径累积曲线的7%以上。

②砾石(粒径2mm以上)含量在粒径累积曲线的70%以下。

③黏性土(黏土、粉砂土含量在4%以上)的 N 值在15以下。

④自然含水率,砂在18%以上,黏性土在25%以上。

⑤渗透系数 $K < 5 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。

泥水加压盾构和土压平衡盾构是当前最先进的盾构形式,它们有自己的特点,但是它们不能完全取代其他类型的盾构形式,其理由之一就是它们的造价一般都高于其他类型的盾构。当某施工范围内的土层为软土,并且地质情况变化不大,地表控制沉降的要求不高时,可采用挤压盾构。当施工沿线有可能出现障碍物时,也有采用开胸手掘式盾构的(手掘、机械兼用等)。

1.1.3 盾构施工的优点和不足

1) 盾构法的主要优点

(1)除竖井施工外,施工作业均在地下进行,噪声、振动引起的公害小,既不影响地面交通,又可减少对附近居民的干扰。

(2)盾构推进、出土、拼装衬砌等主要工序循环进行,施工易于管理,施工人员也较少,劳动强度低,生产效率高。

(3)土方量外运较少。

(4)穿越河道时不影响航运。

(5)施工不受风雨等气候条件影响。

(6)隧道的施工费用不受覆土量多少影响,适宜于建造覆土较深的隧道。在土质差、水位高的地方建设埋深较大的隧道时,盾构法有较好的技术经济优越性。

(7)当隧道穿过河底或其他建筑物时,不影响施工。

(8)与明挖法相比,只要设法使盾构的开挖面稳定,则隧道越深、地基越差、土中影响施工的埋设物等越多,其不论施工进度还是经济性均越有利。

2) 盾构法存在的不足

(1)当隧道曲线半径过小时,施工较为困难。

(2)在陆地建造隧道时,如隧道覆土太浅,开挖面稳定甚为困难,甚至不能施工,而在水下时,如覆土太浅则盾构法施工不够安全,要确保一定厚度的覆土。

(3)竖井中长期有噪声和振动,要有相应解决措施。

(4)盾构施工中采用全气压方法以疏干和稳定地层时,对劳动保护要求较高,施工条件差。

(5)盾构法隧道上方一定范围内的地表沉陷尚难完全防止,特别在饱和含水松软的土层中,要采取严密的技术措施才能把沉陷限制在很小的限度内,目前还不能完全防止以盾构正上方为中心土层的地表沉陷。

(6)在饱和含水地层中,盾构法施工所用的拼装衬砌,对达到整体结构防水性的技术要求较高。

1.2 乌鲁木齐轨道交通1号线地质特征

1.2.1 地形地貌

乌鲁木齐地处天山地槽褶皱和准噶尔拗陷两个构造带,地形起伏较大,地势南高北低,东高西低,平均海拔 800m,如图 1-1 所示。拟建乌鲁木齐轨道交通 1 号线整体呈南北向展布,地势南高北低,局部地形略有起伏。轨道交通 1 号线沿线由南向北地势逐渐降低,地面



图 1-1 新疆乌鲁木齐地形影像图

高程在 931.30~783.08m 之间。地貌单元为山前冲洪积平原区、基岩剥蚀丘陵区、河岸阶地、河漫滩区,如图 1-2 所示。其中 1 号合同段由南向北,依次是起点南郊停车场至二道桥站以南段,为基岩剥蚀丘陵区;二道桥站至新兴街站以南为乌鲁木齐河阶地区;新兴街站至南湖广场站以南为剥蚀丘陵区;南湖广场站至王家梁站以西为乌鲁木齐河阶地区;王家梁站至八楼站以东为乌鲁木齐河河漫滩区;八楼站至大西沟站以南为乌鲁木齐河阶地区。2 号合同段由大西沟以北到机场站,沿线地貌单元均为山前倾斜冲、洪积砾质平原区,地形平坦,此平原区地势仍然是南高北低,地面高程一般在 716.0~730.9m 之间,相对高差 1~2m。这些不同地形、地貌区域,由于地层岩性、水文地质条件的差异,对轨道交通盾构机的选型以及掘进施工的方法和进程有不同程度的影响。



图 1-2 乌鲁木齐轨道交通 1 号线线路地貌分区示意图

1.2.2 地质构造

乌鲁木齐市位于博格达弧形隆起带和准格尔盆地南缘乌鲁木齐山前凹陷的结合部位,在此结合部位的边缘凹陷处沉积有巨厚的中、新生带地层,此地层受海西运动以来历次构造运动的影响,形成了一系列轴向北东—南西的褶皱和断裂。其中与线路相关的为雅玛里克复式背斜,以及雅玛里克山断裂带和西山断裂,如图 1-3 所示。