

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2012.03.021

盾构姿态系统控制技术

尹清锋 油新华 张 峰 邓美龙 鲁 号

(中建市政建设有限公司 北京 100161)

摘 要 以盾构工程实践为基础,介绍盾构姿态的控制原则和标准;根据不同的施工阶段,从工程地质、盾构机选型与监造、始发装置、管片选型及拼装位选择、壁后注浆、人工测量、预警管理等方面,系统阐述盾构姿态的控制技术。

关键词 盾构;姿态;系统控制;地铁

中图分类号 U455.43 **文章标志码** A

文章编号 1672-6073(2012)03-0086-05

随着盾构机设备制造技术水平的提高和盾构施工成本的逐渐降低,加上盾构法本身具有的安全性,使盾构法已成为我国城市地铁施工的主要方法之一。

在盾构施工中,盾构姿态控制是施工的重点,若控制不好,将导致质量事故,产生负面的经济效应。经检索,目前存在的文献多从某一方面论述对盾构姿态的控制,并且可操作性不强。

笔者以北京地铁4号线4标、沈阳地铁1号线9标、沈阳地铁2号线2标、深圳地铁2号线2205标、深圳地铁1号线20标、昆明地铁首期工程2标等城市地铁隧道盾构工程的施工实践为基础,系统阐述盾构姿态控制技术。

1 盾构姿态控制原则及标准

1.1 盾构姿态控制原则

在盾构姿态满足隧道设计轴线要求的基础上,应遵循“频纠偏、小纠偏、不超限”的原则,避免“急纠偏、大纠偏、屡超限”的现象存在,保证地铁隧道的工程质量。

1.2 盾构姿态控制标准^[1]

1) 根据盾构法隧道施工与验收规范(GB 50446—

2008),地铁隧道轴线平面位置最大允许偏差为 ± 100 mm;地铁隧道轴线高程位置最大允许偏差为 ± 100 mm。

2) 根据地铁隧道盾构工程设计图纸要求,一般情况下,地铁隧道轴线平面位置最大允许偏差为 ± 50 mm;地铁隧道轴线高程位置最大允许偏差为 ± 50 mm。

3) 综合规范和设计图纸要求,并考虑可能存在的其他各种误差,盾构姿态控制标准从严确定;地铁隧道轴线平面位置最大允许偏差为 ± 40 mm;地铁隧道轴线高程位置最大允许偏差为 ± 40 mm。

2 盾构姿态控制技术

根据施工所处的不同阶段,姿态控制技术可分为始发前、始发、掘进和到达4个阶段。

2.1 盾构始发前姿态控制技术^[2-5]

2.1.1 工程地质现状分析及处理技术

2.1.1.1 盾构施工所处地层分类

目前盾构施工所处地层大概可分为以下4类:第1类为卵(碎)石层、圆(角)砾层、砾砂层、粗砂层、中砂层、细砂层、粉砂层、粉土层、黏性土层中的某一种地层或某几土层的混合层;第2类为岩石层;第3类为淤泥质土层;第4类为以上3类的混合层。

2.1.1.2 影响盾构姿态的地层确定

一般情况下,盾构施工所处地层性状较差或差异较大时,即盾构施工所处地层属于第3类或第4类时,对盾构施工姿态影响较大。为此,在盾构始发前需对盾构施工地层的工程地质现状进行分析,确定所属种类、分布情况及其性状。

2.1.1.3 地层处理

当盾构施工所处地层为第1类和第2类地层时,可以忽略地层对盾构姿态的影响;当盾构施工所处地层属于第3类或第4类地层时,为最大限度减小地层对盾构姿态的影响,需制定针对措施。

1) 当盾构施工所处地层属于淤泥质地层时,由于盾构机体积大、自重大,受重力影响严重,易下

收稿日期: 2011-08-02

作者简介: 尹清锋,男,硕士,工程师,轨道分公司技术质量部副经理,主要从事城市轨道交通工程施工和技术管理工作, qfyin2009@126.com

沉,通常采用控制上部推进千斤顶与下部推进千斤顶区压差(视具体情况而定,一般控制在 6 MPa 左右)的方法。

2) 当盾构施工所处地层属于上下或左右软硬不均且软硬程度相差较小时,采用增加地层较硬一侧盾构推进千斤顶区压的方法;相差较大时,盾构机自身手段不能保证盾构施工姿态时,采取加固地层较软部分或破碎较硬部分的方法。

3) 当盾构施工所处地层存在球状风化体(俗称“孤石”)时,采用人工挖孔桩施工至上孤石上方,或在岩体稳定性较好的情况下直接从人闸处进入土仓,利用人工逐级剥碎、静态爆破等方法处理。

4) 当盾构施工所处地层存在溶洞或较大空洞时,在盾构施工前,采用注浆的方式将溶洞或空洞充填密实。

2.1.2 盾构机选型控制技术

在盾构机选型时,除考虑使用本盾构机的工程线路最小平面半径的要求外,还应综合考虑日后盾构机的市场适应性和经济性,即参考地铁设计规范对地铁隧道线路最小平面曲线半径的要求(见表 1),确定盾构机设计所能实现的最小平面曲线半径,宜取 200 m 或 250 m。

表 1 地铁隧道线路最小平面曲线半径

线路	一般情况/m		困难情况/m	
	A 型车	B 型车	A 型车	B 型车
正线	350	300	300	250
	550	500	450	400
联络线、出入线	250	200	150	

2.1.3 盾构机监造控制技术

在盾构机制造期间,安排经验丰富的施工、操作和维护人员进驻厂内,监控盾构机制造的整个过程,严把每个制造工序的质量和精度,避免产生超出设备制造、安装规范允许的误差,从而减小由此造成的盾构姿态误差。

2.2 盾构始发姿态控制技术^[3,6]

2.2.1 直线段始发盾构姿态控制技术

2.2.1.1 反力架和始发基座定位

反力架和始发基座的定位决定着盾构始发的空间姿态,在安装时,盾构机中心坡度与隧道设计轴线坡度应保持一致,反力架左右偏差宜控制在 ±10 mm,高程偏差宜控制在 ±5 mm 之内。考虑隧道后期沉降因素,

盾构中心轴线比设计轴线宜抬高 10 ~ 20 mm。

2.2.1.2 始发基座防旋转块及防偏移型钢的设置

考虑始发基座在盾构始发时要承受纵向、横向的推力以及抵抗盾构旋转的扭矩,在盾构始发前,在基座导轨外侧的盾壳上均匀焊接 4 道 20 mm 厚的钢板,以防止盾构机主机在基座上产生旋转,并在始发基座两侧用 200 mm × 200 mm 的 H 型钢进行加固,防止基座产生横向位移,见图 1。在盾构机主机焊接有防旋转块的位置进入洞口钢环前,切除防旋转块。

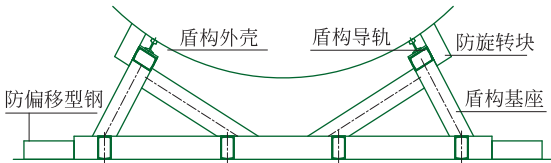


图 1 始发基座防旋转块及防偏移型钢加固

2.2.1.3 洞口钢环内导轨的设置

盾构机主机沿基座上的导轨进入洞口钢环后,刀盘与开挖面、盾壳与洞口钢环间均存在一定距离,此时盾构机主机重心前移,易产生叩头。为确保盾构始发姿态,在洞口钢环处安设一段导轨支撑盾构机的主机顺利始发。支撑导轨采用 QU80 轨道,导轨下方采用 20 mm 和 14 mm 厚的钢板垫起,将钢环与钢板及钢板之间进行焊接,将导轨利用压板固定在钢板上,见图 2。

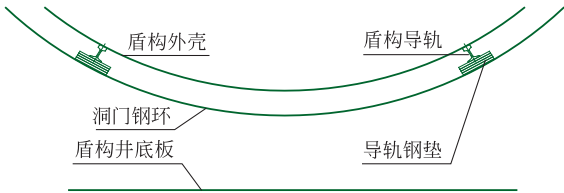


图 2 洞口钢环内导轨位置

2.2.2 曲线段始发盾构姿态控制技术

盾构机始发初期由于其处于基座上,为提供足够推力并保证反力架和负环管片稳定,盾构机必须沿直线推进;当盾构机脱离基座后,由于处于加固段,姿态改变比较困难,宜仍采用直线推进,直至盾尾脱离加固段。因此,曲线段始发时,除采取直线段始发控制措施外,还应采用 CAD 拟合技术,见图 3。通过对可能存在的始发点和始发方向进行分析,确定最优的始发点和始发方向,保证盾构始发姿态偏离设计轴线的最大偏差满足控制标准的要求。

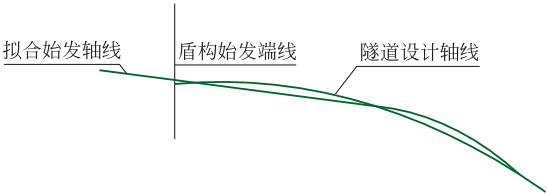


图3 盾构机始发点及始发方向拟合

2.3 盾构掘进姿态控制技术^[6-7]

2.3.1 管片选型及拼装位选择控制技术

目前国内管片类型主要分为两类：一类是以北京等城市为代表的，在北方地区使用的普通衬砌环，包括直线环、左转弯环和右转弯环；另一类是以上海、深圳等城市为代表的、在南方地区使用的通用楔形环，只有一种环片。

2.3.1.1 直线段管片选型及拼装位选择控制技术

当隧道设计轴线为直线时，理论上采用直线环管片进行拼装。但是，受到各种因素的影响，盾构姿态总会偏移隧道设计轴线。当偏移量和偏移方向过大或影响管片拼装时，就需要采用左转弯环或右转弯环，通过拼装在不同位置进行控制。同时，需注意满足错缝拼装和封顶块拼装在水平线以上的要求。

目前，国内管片拼装位置共16个，姿态调整方向可分为8个，而每一个姿态调整方向都可以通过其他方向旋转某个角度来实现，见图4。因此，各个方向的调整方法是类似的，以水平方向为例，对姿态调整方法进行分析。

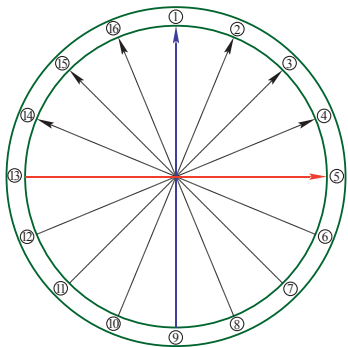


图4 管片拼装位及姿态调整方向

当盾尾与管片间上下间隙和千斤顶长度合适，左边缝小时，见图5；若右侧千斤顶长度比左侧长时，无需调整，继续推进，左侧缝隙将变大，见图6；若左侧比右侧长不小于转弯环管片楔形量的一半时，则用右转弯环调整，管片最厚处拼装在13号拼装位（最左侧）附近，左侧缝隙将变大，见图7；若左右千斤顶长度合适，

可先用右转弯环，再用左转弯环，使管片轴线向右平移，左侧缝隙将变大，见图8。

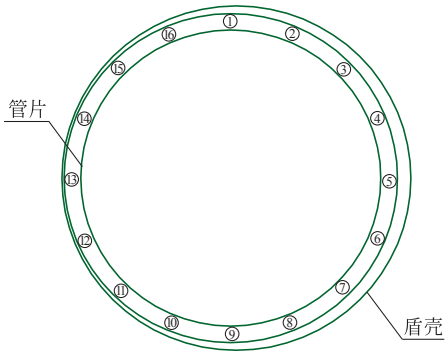


图5 上下间隙和千斤顶长度合适，左边缝小姿态

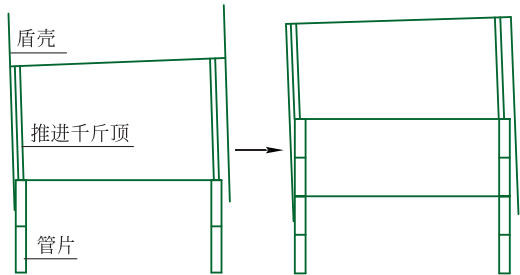


图6 右侧千斤顶长度较左侧长的姿态调整

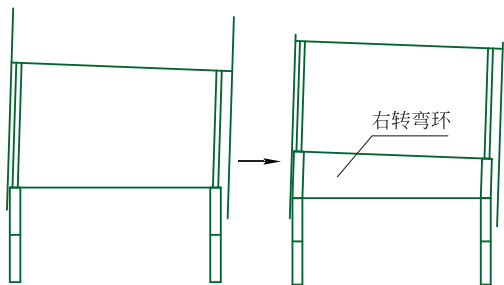


图7 左侧千斤顶长度较右侧长的姿态调整

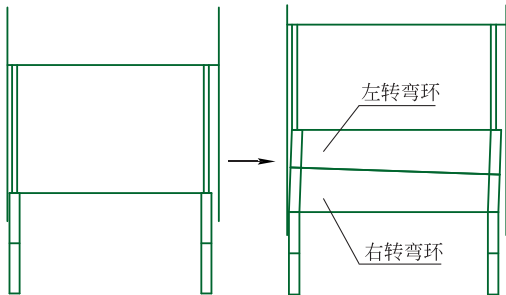


图8 左右侧千斤顶长度合适的姿态调整

当盾尾与管片间上下间隙和千斤顶长度合适，右边缝小时，采取的调整方法与以上方法正好相反。

2.3.1.2 曲线段管片选型及拼装位选择控制技术

当隧道设计轴线为曲线时,管片选型及拼装位置的选择,除应遵循直线段管片选型及拼装位置选择所述的原则外,还应考虑曲线段本身所需的纠偏量。理论上,每环管片宽度的曲线外侧管片厚度中心处比曲线内侧管片厚度中心处超前某个值 ΔL ;与其相对应,在掘进中,每环管片宽度的曲线外侧管片厚度中心处千斤顶长度比曲线内侧管片厚度中心处千斤顶也需长某个值 ΔL 。 ΔL 的计算公式为

$$\Delta L = \frac{(D-t)L}{R} \quad (1)$$

式中: D 为管片直径; t 为管片厚度; L 为管片宽度; R 为曲线半径。

在曲线段施工中,可通过拼装管片的不同组合来实现所设计的曲线半径,圆曲线上直线环数 y 和转弯环数 x 的比例计算式为

$$\frac{y}{x} = \frac{(D-2t)L}{2R\Delta L - (D-2t)L} \quad (2)$$

缓和曲线上直线环数 y 和转弯环数 x 的比例计算式为

$$\frac{y}{x} = \frac{(D-2t)L}{4R\Delta L - 2(D-2t)L} \quad (3)$$

2.3.2 分区千斤顶控制技术

在施工中,首选分区操作盾构推进千斤顶控制技术调整盾构姿态。操作时,根据盾构所处姿态,减小与盾构前进偏移方向相反一侧的推进千斤顶区压,或增加盾构前进偏移方向同侧的推进千斤顶区压,调整盾构姿态,见图9。

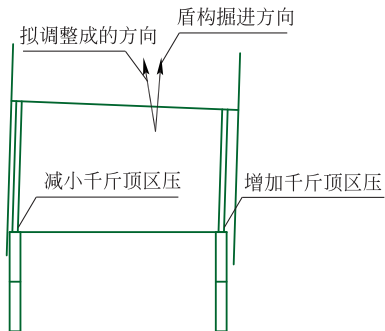


图9 分区千斤顶调整盾构姿态

2.3.3 仿形刀和铰接联合控制技术

在施工中,当盾构姿态与隧道设计轴线相差较大或隧道设计轴线为曲线时,宜采用盾构机仿形刀和铰接联合调整盾构姿态,首先将需要调整姿态方向的仿形刀伸出,然后减小与盾构前进偏移方向相反一侧的

铰接千斤顶区压,或增加盾构前进偏移方向同侧的铰接千斤顶区压,并根据实际情况设置合适的仿形刀伸出量和铰接角度,调整盾构姿态,见图10。

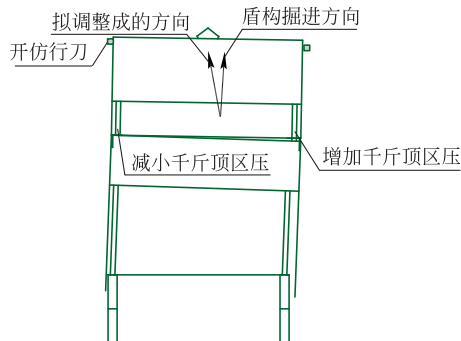


图10 仿形刀和铰接联合调整盾构姿态

2.3.4 壁后注浆控制技术

壁后注浆包括同步注浆和二次补浆,施工中通过控制同步注浆和二次补浆参数,辅助调整盾构姿态。

2.3.4.1 同步注浆参数控制

在直线段施工时,通过控制使同步注浆对称进行,使注入速度、压力、流量和填充密实度对称,并与盾尾间隙、土层性质及推进速度相匹配,保证盾尾间隙充填饱满,减少周围土体的松动,增强管片的稳定性,以减小对盾构姿态的影响。

在曲线段施工时,曲线外侧施工空隙比内侧大,必须加强对曲线段外侧的压浆量,以填补施工空隙,加固外侧土体,保证盾构以正常姿态掘进。

在推进时根据地层变形监测情况,随时调整注浆参数,并注意保证浆液质量,维持较好的盾构姿态。

2.3.4.2 二次补浆参数控制

鉴于同步注浆浆液早期强度低且同步注浆初期隧道受侧向分力影响较大,当管片出盾尾后,在尽量靠近盾尾但又不至于损害盾尾刷的位置(在管片出盾尾5~6环处),通过管片注浆孔向管片外周注入瞬凝性且早期强度较高的浆液,填补由于同步注浆收缩、流失等原因造成的空隙,以抵抗侧向分力。

在施工中,应根据试验确定浆液初凝时间,并保证注入速度、压力、流量与盾尾间隙的残余空隙,土层性质及管片承载情况相匹配,避免产生负面效应,影响盾构姿态。

2.3.5 人工测量校核控制技术

1) 由于盾构机制造原因或在使用过程中受到某些因素影响,可能会造成盾构控制盘上显示的盾构轴线与实际的盾构轴线不符。因此,在盾构掘进初期,应

对显示的盾构轴线与实际的盾构轴线是否相符进行校核,若不相符则对显示的盾构轴线进行修正,在施工中以修正后的盾构轴线为准,保证盾构姿态的正确性。

2) 在小曲线半径段施工中,由于隧道曲率大,前方的可视距离短,导致盾构自身测量导向系统的移站频繁,测量站安装在尚未完全稳定的管片上,测量数据的准确性程度较差,宜每天采用人工测量进行一次复核,及时调整盾构自身测量导向系统的数据,保证盾构姿态的准确性。

3) 在施工中受所穿越地层的影响,管片拼装完成脱出盾尾后至稳定的一段时间,可能会发生上浮、侧移等情况,宜每 10 环采用人工测量进行一次复核,总结出施工规律,对盾构推进轴线进行修正,确定与不同地层相匹配的盾构姿态。

2.4 盾构到达姿态控制技术

在盾构机距离到达位置 50 m 开始,采用一切可以采用的盾构姿态控制技术,将盾构姿态与隧道设计轴线的偏差调整至 15 mm 以内,并保持此状态向前掘进,保证盾构机按照设计要求达预定位置。

3 盾构施工姿态预警管理

为避免产生盾构姿态与隧道设计轴线偏差过大,影响隧道工程质量,在施工中实行盾构姿态预警值、报警值和警戒值三级管理,见表 2。

表 2 盾构姿态预警值、报警值和警戒值三级管理

内容	条 件
预警值	盾构推进轴线与隧道设计轴线的最大偏差达到 30 mm
	盾构推进轴线与隧道设计轴线的夹角偏大,继续按现状方向推进,盾构推进轴线与隧道设计轴线的最大偏差将达到 30 mm
报警值	盾构推进轴线与隧道设计轴线的最大偏差达到 35 mm
	盾构推进轴线与隧道设计轴线的夹角偏大,继续按现状方向推进,盾构推进轴线与隧道设计轴线的最大偏差将很快达到 35 mm
警戒值	盾构推进轴线与隧道设计轴线的最大偏差达到 40 mm

1) 当盾构姿态达到上表规定的预警值条件时,执

行预警值上报程序:盾构值班工程师及时向盾构施工负责人和技术负责人汇报;采取常规控制技术调整盾构施工参数,将盾构姿态调控至预警值条件内。

2) 当盾构姿态达到上表规定的报警值条件时,执行报警值上报程序:按照由盾构值班工程师到盾构施工负责人和技术负责人汇报,再到项目经理的程序逐级汇报;项目经理立即组织项目部主要负责人和盾构施工骨干人员召开会议,分析可能的影响因素和原因,制定针对性措施。

3) 在盾构施工负责人和技术负责人指导下,调整盾构施工参数,将盾构姿态由报警值调控至预警值,再调控至预警值条件内。

4 结语

随着盾构法在城市地铁隧道施工中的应用日益广泛,施工中存在的问题也逐渐显现出来,由于盾构法引进我国的时间不长,目前尚未形成用于指导施工的系统技术来指导施工。以上基于工程实践和现有文献形成的盾构施工姿态系统控制技术,可操作性强,对今后地铁或类似工程的施工具有重要的参考价值。

参考文献

[1] GB 50446—2008 盾构法隧道施工与验收规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

[2] GB 50517—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.

[3] 罗人宾,魏百术. 盾构推进姿态动态管理[J]. 施工技术. 2008(增刊 137):261-264.

[4] 苏小江,李笑. 复杂地质中盾构掘进控制技术探讨[J]. 现代隧道技术. 2008,145(4):39-43.

[5] 邓永双. 盾构隧道掘进方向控制技术[J]. 山西建筑. 2007,133(1):324-325.

[6] 刘兵科,石萌. 盾构 250 m 半径曲线始发段管片姿态控制技术[J]. 建筑技术. 2009,140(11):970-972.

[7] 蔡丰锡,沈水龙,朱建明. 双圆盾构掘进时的方向控制[J]. 地下空间与工程学报. 2006,12(2):298-301.

(编辑:郝京红)

System Control Technology of Shield Gesture

Yin Qingfeng You Xinhua Zhang Feng Deng Meilong Lu Hao

(China Construction Municipal Construction Co., Ltd., Beijing 100161)

Abstract: Based on shield tunneling practice, authors introduce control principles and standards of shield gesture, and according to different construction stages, systematically expound the control technology of shield gesture in respect of engineering geology, selection and inspection of shield, shield launching devices, selection of segment and its assembly position, back-fill grouting, artificial measurement, early warning management, etc.

Key words: shield; gesture; system control; subway