

超大直径泥水盾构中心锥漏浆带压进仓处理 技术研究

杨道玉

(中铁隧道股份有限公司, 河南 郑州 50000)

摘要: 超大直径泥水盾构机在我国城市交通隧道中的施工应用不断增加,但随之带来的掌子面软硬不均、刀盘刀具磨损、刀盘振动较大等不利因素,极易导致盾构机中心锥内漏浆,不能进行正常常压换刀作业,从而制约盾构机后续正常掘进。为解决这一难题,以广州市某超大直径盾构隧道工程项目为例,首先分析探讨了如滚刀刀筒回退、切刀刀筒回退、中心锥管道脱落或破损等会导致盾构机中心锥内漏浆的原因,然后详细介绍了可实现穿梭仓和配套工装与中心锥联通,并确保带压进仓处理中心锥漏浆安全性、可靠性和高效性的带压进仓处理技术。其中内容可为类似施工案例提供相应的技术借鉴。

关键词: 超大直径;泥水盾构机;中心锥;带压进仓处理;穿梭舱;工装

中图分类号: U457+.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0333-05

Research on Pressurized Feeding Technology for Treatment of Slurry Leakage in Central Cone of Super-large Diameter Slurry Shield Machine

YANG Daoyu

(China Railway Tunnel Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The application of super-large diameter slurry shield machines in the construction of urban traffic tunnels in China is constantly increasing. However, this brings about unfavorable factors such as uneven hardness of the face, wear of the cutter head, and significant vibration of the cutter head, and it is highly likely to cause slurry leakage in the central cone of the shield machine, making it impossible to carry out the normal pressure tool changing operations, thereby restricting the subsequent normal tunneling of the shield machine. To solve this problem, taking a super-large diameter shield tunnel project in Guangzhou as an example, the reasons for slurry leakage in the central cone of the shield machine caused by the retraction of the roller cutter barrel, the retraction of the cutter barrel, and the detachment or damage of the central cone pipe are analyzed and discussed. Then, the connection between the shuttle cabin and the supporting tooling and the central cone is introduced in detail, and the safety, reliability and efficiency of the pressurized feeding technology for the treatment of the slurry leakage in the central cone should be ensured. The above contents can be used as the corresponding technical references for similar construction cases.

Keywords: super-large diameter; slurry shield machine; central cone; pressurized feeding treatment; shuttle cabin; tooling

0 引言

随着国内城市基础建设的快速发展,采用超大直径盾构法建设隧道面临着许多不确定的因素和风险。近年来国内外许多学者对盾构带压进仓施工技术均有深入研究,并取得了一系列成果。例如,冯东举^[1]依托孟加拉卡纳普里河底隧道项目,分析了泥水盾构在富水砂层中带压进仓作业的施工流程和作

业风险,并总结了安全技术控制措施。戴勇^[2]基于某大直径泥水盾构穿河段停机检修情况,结合理论分析,得到了保持盾构隧道掌子面稳定性需要的气仓压力参考范围,经施工验证与真实值接近;同时提出对于高水压软弱黏土地层条件下大直径泥水盾构的停机检修,应采用带压进仓处理方案。孟海峰等^[3]通过对北京铁路地下直径线带压进仓换刀工程实例的分析,探讨了注浆加固、桩基加固在地层加固中的应用,分析了带压进仓的漏气原因并采取相应的应对措施,保证了盾构的正常施工。杜闯东等^[4]通过对广深港铁路狮子洋隧道大直径气垫式泥水加

收稿日期: 2024-11-25

作者简介: 杨道玉(1981—),男,本科,高级工程师,从事隧道及地下工程施工管理工作。

压盾构在高压、富水和复合地层中掘进施工的研究,总结出了盾构在不同环境条件下于复合地层中带压进仓等技术。目前大直径盾构机常规抽检刀具和更换技术已经趋于成熟,但对于盾构机中心锥区域问题的探讨和研究极其缺乏。本文以广州市某超大直径盾构隧道工程为依托,分析探讨了超大直径泥水平衡盾构机在复杂地层掘进过程中,中心锥区域泥浆泄漏的原因;详细介绍了包括进仓压力设定、泥膜制作和压注、穿梭仓安装、带压进仓作业等步骤的带压进仓处理技术,以为后续类似施工案例提供相关的实践经验和技术支撑。

1 工程概况

广州市某大直径盾构隧道全长1 495.86 m,隧洞埋深9.2~16.0 m;隧道采用1台 $\phi 14.31$ m泥水平衡盾构机于盾构始发井始发,依次掘进下穿机场跑道、侧穿机场航站楼,最后抵达盾构接收井解体吊出。盾构隧道外径13.8 m,内径12.6 m,厚度0.6 cm,环宽2 m,采用通用楔形环设计。盾构掘进至第129环时,泥水舱顶部压力值从0.155 MPa急降至0.09 MPa,气垫仓液位同时降低。随后立即对中心仓进行补压,5 min后加压至0.2 MPa,气垫仓泥浆液位回升至中部。经分析发现,中心锥位置发生了气体泄漏,泄漏点约位于刀盘左上角。中心锥气体从泄漏点串入泥水仓,导致泥水仓顶部有大量气体,液位降低。考虑到泥水仓顶部气体和压力波动极易对地层产生扰动,将盾构机刀盘推进10 cm抵住掌子面,防止地面塌陷。

2 停机位置地质及管线情况

盾构停机位置地表以下为0~1.4 m素填土、1.4~6.5 m硬塑状黏土、6.5~10.4 m粗砂层、10.4~12.9 m硬塑状黏土、12.9~20 m含砾粉质黏土、20~24.8 m岩溶化石灰岩。隧道洞身范围内从上至下为厚1.9 m硬塑状黏土、厚7.1 m含砾粉质黏土、厚4.8 m岩溶化石灰岩,其天然抗压强度为50~90 MPa。刀盘前方地层为典型上软下硬地层,岩石起伏面较大,软硬不均。

盾构停机位置主要管线有助航灯光线和交通信号。路灯埋深0.6~1.0 m,电压0.38 V,材质为铜线,埋设方式为套管埋设,主要用作助航灯光线。交通信号埋深0.6 m,材质为铜线,埋设方式为套管埋设,用作射频线。

3 中心锥漏浆原因分析

按照不同情况分析,中心锥漏浆存在3种情形:滚刀刀筒回退(含带密封闸门后退)、切刀刀筒回退(含带密封闸门后退)、管道脱落或破损。

在中心锥漏浆发生后,根据滚刀刀具监控系统显示,查看滚刀转速和旋转数据,判断刀盘挤压力是否存在异常;查看滚刀密封闸门焊接钢板“7”字沟(见图1),同时查看中心锥视频录像,判断滚刀刀筒回退可能性。

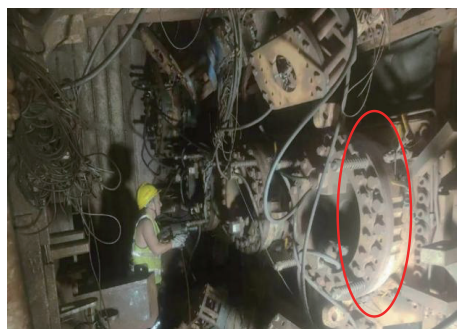


图1 钢板“7”字沟照片

常规大直径盾构切刀刀筒回退配备有切刀刀具防回退预警和防后退盖板,在漏浆时能显示预警,可判断切刀刀筒回退的可能性。图2为切刀刀筒回退图。

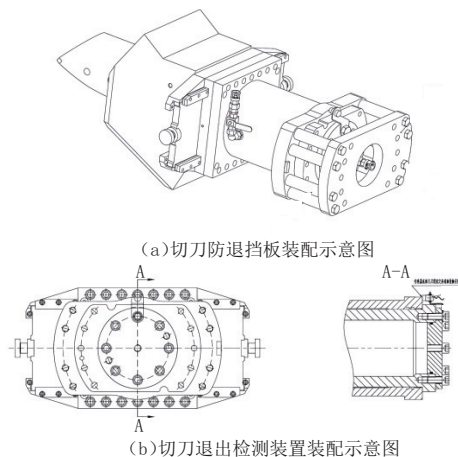
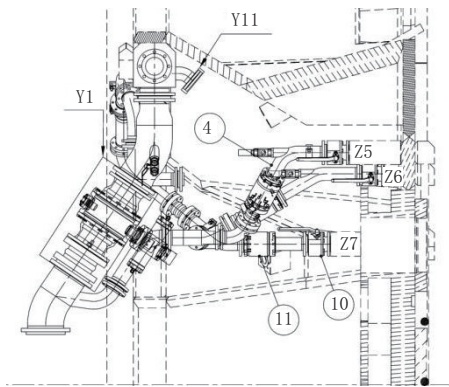


图2 切刀刀筒回退图

中心仓刀盘中心冲刷泥浆管(见图3)直径为80 mm,共7根,并配有软连接,由球阀、单向阀、软连接和钢管组成。发生漏浆的初始位置在刀盘的5号臂,刀臂内有中心冲刷泥浆管,如果单向阀失效,管路破损,可能导致中心锥漏浆。

中心锥漏浆位置需进仓检查泄漏点,针对刀筒回退和管道破损脱落可能发生的不同情况进行维修更换。由于泄漏点上方位于机场跑道,地面隆沉控制标准高,需进行带压进仓作业。



注:图中数字为管路编号
图3 中心仓刀盘中心冲刷泥浆管示意图

4 带压进仓技术

4.1 进仓压力设定

针对软硬不均地层中超大直径泥水平衡盾构的带压进仓问题,泥水仓压力设定是其中的关键环节。根据朗肯土压力理论中水土分算原则,按照式(1)、式(2)分别计算主动土压力和静止土压力作为盾构切口环的理论控制下限值和上限值。同时结合实际气垫仓压力值,将切口环压力设定为 0.14 MPa^[5]。

$$P = P_w + \sum K_a \gamma_i h_i + P_0 \tag{1}$$

$$P = P_w + \sum K_0 \gamma_i h_i + P_0 \tag{2}$$

式中: P_w 为计算位置的水压力,kPa; K_a 、 K_0 分别为各层岩土的主动力土压力系数和静止土压力系数,kPa; γ_i 为各层岩土的容重,kN/m³; h_i 为各层岩土厚度,m; P_0 为储备压力,取 20 kPa。

4.2 泥膜制作和压注

为确保掌子面稳定和地层气密性,带压进仓前需进行泥膜制作。研制高黏度泥浆是泥膜制作的关键要素。泥浆调制严格按照表 1 的配合比进行。高黏度泥浆调制完成后必须静置 24 h,并对其进行性能测试,其中泥浆黏度为 60 ~ 100 s。满足规定要求后,利用砂浆车将高黏度泥浆运输至盾构机,具体配比根据现场试验情况确定^[6]。

表 1 高黏度泥浆配比 单位:kg

水	钠基膨润土	制浆剂 HS-1	制浆剂 HS-3
1 000	40	25	25

高黏度泥浆通过泥水仓上部进浆管道压注到泥水仓内,压注总量应不少于盾构开挖仓泥浆总量。压注期间为了使高黏度泥浆渗透到掌子面,泥水仓压力应比进仓压力大 0.01 ~ 0.03 MPa^[7],为避免压力过大导致上部地层被击穿,巡视组应同时进行地面巡视。当气垫仓内液位升到一定高度时,小流量排

浆使液位回至设定液位高度,依次循环直至置换完成。

4.3 穿梭仓安装

中心锥安装在主驱动内部,与常压刀盘形成封闭腔室。泥浆渗漏后将导致泥水仓与中心锥连通,中心锥内涌入泥浆。为了实现中心锥带压进仓作业,在中心锥进仓接口处安装穿梭仓和联通管路。中心锥与泥水仓、穿梭仓等连接关系见图 4。安装穿梭仓的管线、阀组、仪表、通讯、照明、加热装置、吸氧装置、压力记录仪器等组件(见图 5),确保所有仪器、仪表在有效期内且工作正常;对穿梭仓进行加压、减压、保压试验;对应急发电机进行试运转,确保网电和应急电源切换正常;对空压机工作状况和气路系统涉及的管路、滤芯、阀组等进行检查更换,并配置内燃空压机以备停电和应急时使用。中心锥液位埋过中心锥仓体,气垫仓液位超过中线。利用盾构机保压系统,由配套的空压机进行供气,并准备应急发电机和内燃空压机。



图 4 中心锥与泥水仓、穿梭仓等连接关系图

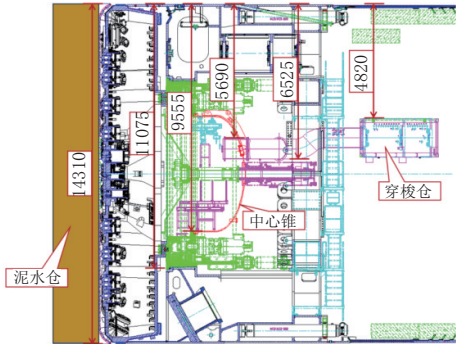


图 5 穿梭仓管路安装及保压(单位:mm)

4.4 带压进仓作业

4.4.1 进仓前准备工作

进仓作业前,再次检查显示仪表、温度计、通讯、阀门、仓门密封件是否完好;并检查作业所需工具、设备、材料等是否齐备地放置在穿梭仓内。对仓内气体进行检测。在确保仓内气体含量符合规范要求后,方可准备进仓作业。作业人员进入穿梭仓后,关闭穿梭仓门并确保其完整密封。操仓人员通过对讲机持续与穿梭仓人员联系。缓慢打开进气阀,缓慢

升高穿梭仓的压力,直至达到预定计算压力;开启出气阀,建立穿梭仓进出气平衡,气压稳定在 ± 0.01 MPa偏差之内;加压过程中,打开卸压球阀以保证穿梭仓内一定的通风量,流量计流量值至少为每人 $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 。当穿梭仓的压力等于中心锥的压力时,穿梭仓内人员缓慢打开穿梭仓和中心锥之间的连通球阀。在穿梭仓和中心锥之间进行压力补偿之后,压力达到平衡,作业人员打开仓门进入中心锥。进入中心锥后首先观察中心锥内液位情况,确定液位稳定后,作业人员开始进行中心锥作业。当发现中心锥液位波动过大时应关闭穿梭仓仓门,通知进仓负责人和值班领导;作业人员进入穿梭仓开始减压,确定下一步施工安排。减压过程中作业人员必须按照操仓人员要求进行吸氧,减压过程必须按照隧道高压作业减压表要求进行减压。

4.4.2 滚刀刀筒漏浆处理

进仓人员找到故障滚刀后安装提前加工好的刀筒堵板装置(见图6、图7),并通过转动螺杆使堵板前端密封位置进入刀筒内部形成密封,并且保证螺杆尾部插销固定牢靠,螺杆撑紧受力。然后降低中心锥内部液位至故障刀筒下部,方便处理断丝螺栓。待中心锥压力稳定后,人员进入中心锥内部把刀筒闸门关闭并上紧闸门安全螺栓,然后处理好断丝螺栓,最后安装备用刀筒。

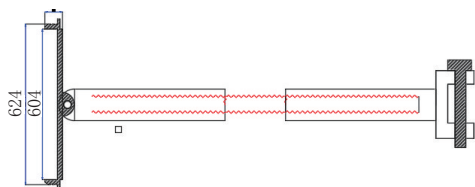


图6 17寸双刃滚刀堵板工装示意图(单位:mm)

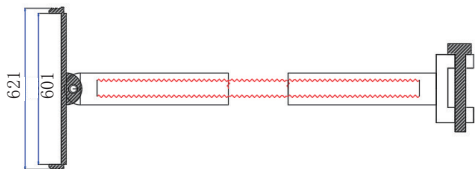


图7 19寸双刃滚刀堵板工装示意图(单位:mm)

4.4.3 切刀刀筒漏浆处理

进仓人员找到故障切刀位置后,采用提前加工好的工装(见图8)对切刀漏浆点进行安装,工装安装完毕后,作业人员出仓,然后梯度降低中心锥压力。如泥水仓液位和压力无明显变化,继续降低中心锥压力至常压状态,然后加固堵板工装。

4.4.4 破损管路更换

泥水仓液位保持满仓,泥水仓顶部压力设定为

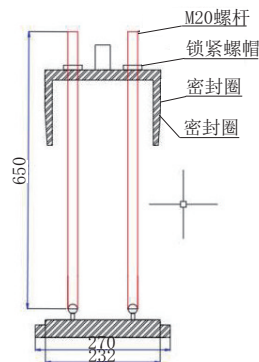


图8 切刀堵板工装示意图(单位:mm)

0.14 MPa ;中心锥设定进仓压力为 0.28 MPa (泥浆密度考虑 1.15 g/cm^3)。刀盘中心冲刷管受损,进仓人员进入中心锥,关闭对应球阀后,排除中心锥泥浆,排除过程中以保持泥水仓顶部压力 $(0.14+0.01) \text{ MPa}$ 为准^[8],直至恢复正常。泥水仓泥浆不再泄漏后,把破损管路全部更换成新管路,再恢复掘进。

刀盘中心冲刷管路组装图见图9。

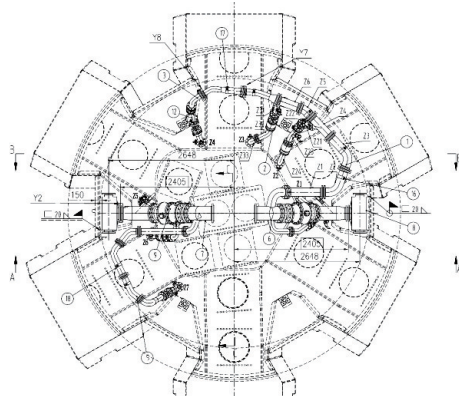


图9 刀盘中心冲刷管路组装图(单位:mm)

利用保压系统向中心锥内缓慢加入高压气,并同步利用中心锥排泥阀排泥浆,逐步将中心锥液位降低至仓门下部,排出气体关闭阀门。排浆过程中,控制泥水仓顶部压力波动小于 0.01 MPa ^[9]。

作业人员进入中心锥后,将周边平台冲洗干净,然后尝试恢复中心锥内摄像头系统,仓内摄像头损坏时需通知仓外人员通过穿梭仓运送新摄像头进入并安装。然后,作业人员拆掉 $\phi 100$ 排浆堵板,最后作业人员出仓。

作业人员出仓后,中心锥底部开始排浆,浆液排到底部出气后关闭外部阀门(排浆阀位置横断面示意图见图10),观察 10 min 后若中心锥内液位压力和泥水仓压力无明显变化,作业人员继续进入中心锥内作业查找损坏管路,关闭刀盘位置闸阀后人员出仓,中心锥梯度降压,过程中观察泥水仓液位压力变化,若无明显变化则继续,待中心锥压力降低至常压

后再进行常压处理故障点。

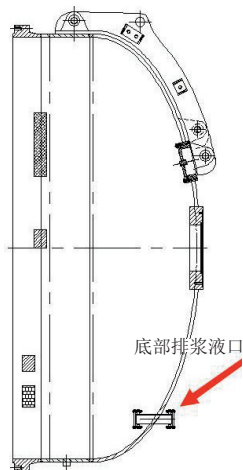


图 10 排浆阀位置横断面示意图

5 结 语

(1)泥膜质量是直接影响带压进仓作业安全性的关键因素。应严格控制泥浆配比、黏度以及压注方式。配制泥浆的黏度需满足 60 ~ 100 s,并根据实际情况适时调整,以确保开挖面的稳定。

(2)穿梭舱作为连接外部与中心锥的关键设备,其安装和调试过程需严格遵循相关规范,确保设备安全可靠。安装前需对管线、阀组、仪表、通讯、照明、加热装置、吸氧装置、压力记录仪器等组件进行全面检查,确保其正常工作。

(3)合适的压力和供气方式是确保带压进仓作业顺利进行的关键。需根据地质条件、盾构机性能以及作业需求等因素进行精确设定,并准备应急发电机和内燃空压机以备不时之需。

(4)针对中心锥漏浆的 3 种情形,需设计并制作相应的特殊工装进行封堵处理。工装的设计需考虑中心锥空间狭小的实际工况和作业需求,确保其能够有效堵漏。

参考文献:

[1] 冯东举. 泥水盾构在富水砂层中带压进仓作业安全技术措施[J]. 科学技术创新, 2022(18): 115-118.
[2] 戴勇. 深覆土高水压下大直径泥水盾构停机进仓方案研究[J]. 山东交通科技, 2022(2): 38-40.
[3] 孟海峰, 苏清贵, 翟志国. 大直径泥水盾构带压进仓地层加固及保压技术[J]. 中国工程科学, 2012, 12(12): 70-74.
[4] 杜闯东, 贾航, 王坤. 大直径泥水盾构复合地层进仓技术比较与应用[J]. 隧道建设, 2009, 29(4): 435-440.
[5] 黄学军, 孟海峰. 泥水盾构带压进仓气密性分析[J]. 西部探矿工程, 2011, 23(7): 178-284.
[6] 祁鸿飞, 甄俊霖, 宋科文. 盾构区间带压进仓换刀安全控制技术[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(2): 166-178.
[7] 李义华, 周兆勇. 泥水盾构富水砂层带压进仓地层气密性封堵技术[J]. 建筑机械化, 2013(11): 422-435.
[8] 陈建福. 盾构机穿越海底复杂地层带压进仓孤石处理技术探析[J]. 铁道建筑技术, 2016(8): 332-344.
[9] 刘继刚. 厦门跨海隧道带压进舱换刀关键技术[J]. 建筑技术开发, 2016, 43(11): 301-313.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

