

江底泥水盾构泥浆流态固化带压开仓技术

徐征杰

(上海隧道工程有限公司, 上海市 200032)

摘要: 泥水盾构在江底穿越碎裂状强透水不稳定的上软下硬地层时, 极易出现塌落拱等不利工况, 带压开仓也只能选择填仓的方式进行。以泥水盾构江底的施工地质和现状塌落拱空间状态为出发点, 结合绿色施工理念, 创造性地提出泥浆流态固化填仓, 细化准备工作中的环箍注浆、清理气泡仓、关闭前闸门、检修泥水环流并设置局部逆洗系统, 制定了先黏度后比重的双控泥水仓泥浆置换原则。建立了固化剂拌制系统和泥水仓流态土置换及分级加压渗透的控制要点, 明确分区域清理的原则以及分阶段开仓的保压路径, 最终实现了复杂地层泥水盾构机的高效带压开仓。

关键词: 泥水盾构; 塌落拱; 流态固化; 带压开仓

中图分类号: U455.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0248-04

Pressurized Chamber Opening Technology with Slurry Flow-state Solidification for Slurry Shield Tunneling at River Bottom

XU Zhengjie

(Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: When a slurry shield tunneling crosses the fractured, highly permeable, and unstable soft-upper hard-lower strata at the bottom of the river, it is highly prone to adverse working conditions such as collapsed arches. In such cases, the pressurized chamber opening can only be performed using a filling method. Starting from the construction geology of the slurry shield at the bottom of the river and the current spatial state of the collapsed arch, and combined with the green construction idea, an innovative approach of filling the chamber with flow-state solidified slurry is proposed. The preparation work is detailed, including hoop grouting, bubble chamber cleaning, front gate closure, slurry circulation system maintenance, and the installation of a local reverse flushing system. The principle of slurry replacement in the double-controlled slurry silo, which prioritized viscosity over specific gravity, is formulated. The key control points for the curing agent mixing system and the replacement and graded pressurized infiltration of the flow-state soil in the slurry silo are established. The principle of regional clearance and the pressure-maintaining path of opening chamber in stages is clarified. Finally, the efficient pressurized chamber opening of the slurry shield machine in complex strata has been achieved.

Keywords: slurry shield tunneling; collapsed arch; flow-state solidification; pressurized chamber opening

0 引言

带压开仓是解决泥水盾构施工过程中刀具磨损、仓内滞排等难题的有效手段。土层保气和开挖面稳定是带压开仓能否顺利进行的两个关键因素。一般情况下利用传统的膨润土泥浆渗透建立泥膜, 必要时辅以隔膜补强方式可实现带压开仓^[1]。但针对江底裂隙纵横发育的碎裂状且透水的上软下硬地

层, 由于盾构机顶部存在塌落拱, 无垂直梯度的气压不能完全匹配掌子面呈线性递增的土侧压力, 加之压缩空气的风干作用, 传统建立泥膜的方式会加速失效而导致开仓失败, 最后只能采取填仓的方式进行处理。在实际施工中, 砂浆填仓法强度较高清理困难, 且渗透性不好, 造成开仓耗时长^[2]; 平衡盾泥填仓法拌制工艺复杂、黏度大不易清理且成本高^[3]。另外上述填仓方法对塌落拱充填的密实程度无法判断, 很难保证带压开仓过程中上部土层不发生土体损失, 造成江底河床沉降。以泥水盾构停机处泥水仓多相流泥浆为基础, 通过流态固化并实施高压渗透填充, 形成强度适中、自密实、体积稳定、抗渗性好

收稿日期: 2025-03-03

基金项目: 上海隧道工程有限公司基金(2024-SK-09)

作者简介: 徐征杰(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事地下工程施工技术研究工作。

的水泥稳定土^[4-6]用以填仓,将是泥浆流态固化的绿色施工理念^[7]和复杂地层高效开仓技术的有效融合,具有创新性和适用性。

1 工程概况

1.1 地质特征

泥水盾构机地处江底,为碎裂状强透水不稳定的上软下硬地层,开挖面下部为破碎状中风化正长斑岩及脉状中风化辉绿岩,约占整个断面面积的90%;上部由残积砂质黏性土、全风化花岗岩和砂土状强风化花岗岩构成。开挖面内的中风化岩体节理纵横发育,且沿推进方向有竖向节理的张性裂隙,节理形成的楔形体结构面呈外倾趋势,属于不稳定地质。

1.2 塌落拱情况

本工程所用盾构的开挖直径为6.53 m,在泥水盾构穿越上软下硬边坡段施工过程,因刀盘扰动作用产生岩块崩塌,进而带动上方土体塌落形成塌落拱,经钻孔和查看地勘资料发现,塌落拱处,盾构隧道埋深覆土约27.0 m,自下至上依次为中风化正长斑岩2.9 m、砂土状强风化正长斑岩4.3 m,残积砂质黏性土2.0 m,粉质黏土3.3 m,淤泥质土10.2 m,粉质黏土6.0 m,地表水1.4 m;塌落拱高度位于盾顶以上9.1 m,约为开挖直径的1.4倍,顶部位于粉质黏土层,塌落面积与节理倾角呈非线性变化关系。

1.3 泥浆流态固化开仓工艺

泥浆流态固化开仓工艺利用泥水盾构现有泥浆,添加高分子材料和固化剂(占比16%~20%),通过设置拌浆和循环系统,在隧道内实现快速置换,具有置换快捷、仓内保压稳定、清理简便等优势。工艺流程见图1。

2 泥浆流态固化准备工作

2.1 环箍注浆

通过盾构上的注浆孔压注克泥效包裹盾构壳体;盾尾内的管片补足盾尾油脂,同时将海绵条填塞在管片外弧面与盾尾内弧面的间隙内,弧形挡板置于管片端面和推进千斤顶靴板之间,防止盾尾渗漏;脱出盾尾管片压注水泥水玻璃双液浆。

2.2 带压清理气垫仓

带压进气垫仓将泥水仓、气垫仓底部堆积的石块和破碎刀圈等坚硬异物清除。尤其将前闸门底部清理干净,防止前闸门关闭不严或前闸门因冲切异

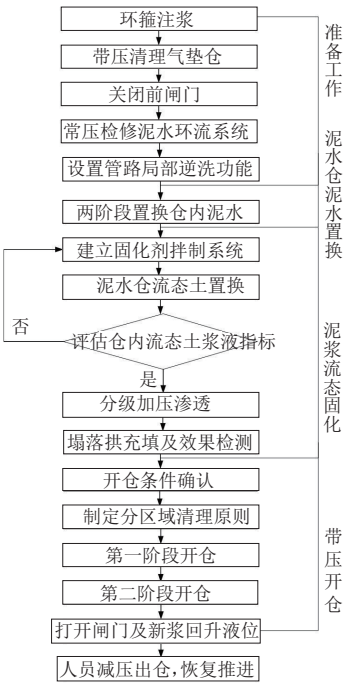


图1 泥浆流态固化开仓工艺流程

物造成局部屈曲。

2.3 关闭前闸门

关闭前闸门使泥水仓与气垫仓隔离。并从气垫仓安装带有止水条的钢制压板,隔断泥水仓和气垫仓的渗透路径。

2.4 常压检修泥水环流系统

除泥水仓外,对环流系统的排泥部分在常压工况下做好疏通工作,即保证前闸门—气垫仓—格栅—盾构机内排泥管—排泥泵—地面泥水固控的排泥路径为通畅状态,为盾构机后续复推做好准备。

2.5 设置管路局部逆洗功能

盾构机内管路安装多个球阀,球阀上设置压力表,可以通过监测压力变化判断滞排堵塞的位置,同时实现管路逆洗疏通的功能。逆洗疏通功能由清水箱、挤压泵、土箱及连接管路实现,管路堵塞位置确定后,利用清水箱—挤压泵—堵塞管路—土箱的路径实现逆洗疏通。

2.6 泥水仓泥水置换

先以膨润土、高分子拌制的黏稠型泥浆进行置换,其中黏稠型泥浆由1 m³水加入25 kg HS-1、5 kg HS-3、40 kg 膨润土拌制而成,当顶部放气阀放出浆液的稠度达到50~60 s、比重达到1.1即可结束黏稠型泥浆置换工作。再以含颗粒材料的高比重淤堵型泥浆进行置换,淤堵型泥浆是在黏稠型泥浆的基础上,每1 m³加入100 kg 石粉和5 kg 堵漏剂拌制,控制指标为顶部放气阀放出浆液的稠度达到180 s、比重达到

1.25、含砂率小于1.5%。置换过程密切关注泥浆比重、黏度和含砂率等基本性能,即先黏度后比重的双控原则进行置换。

3 泥浆流态固化及渗透

3.1 建立固化剂拌制系统

固化剂拌制系统由材料填入口、剪切泵、拌浆箱、台车上的同步注浆桶及配套管路组成。拌浆箱装有经置换过的泥浆;剪切泵与拌浆箱之间设有进出的循环回路;剪切泵至同步浆桶的设置单向管路;材料填入口置于剪切泵上方。开启剪切泵,利用负压原理从材料填入口吸入固化剂,在泥浆流经循环回路的同时将固化剂拌入泥水内形成流态土浆液,流态土浆液指标符合要求后关闭剪切泵至拌浆箱的进浆管球阀,打开剪切泵与同步浆桶的单向管路球阀,将符合要求的流态土浆液送至同步浆桶内。

3.2 泥水仓流态土置换及分级加压渗透

将符合要求的流态土浆液通过同步注浆泵注入泥水仓,顶部放气阀放出较稀的流态土浆液通过管路回到拌浆箱内。间断性的转动刀盘,将仓内流态土拌制均匀,避免分层离析。从胸板顶部放气阀放出浆液进行测定,符合要求后按4个阶段实施分级加压渗透。最终渗透压力设定值为2倍的带压开仓工作压力,分级起始压力设定值为盾构机所处位置的水土压力的1.2倍,其他3个阶段的分级压力呈线性递增。每个阶段加压渗透时间为10 h,渗透稳压过程中刀盘以0.5 rpm右转5圈,加压过程中切口顶部压力波动不大于 ± 0.02 MPa/min。

3.3 塌落拱充填及效果检测

江面上的塌落拱充填检测器由1根直径200 mm的钢套管和1根直径48 mm袖阀管组成,并在钢套管顶端设有盖板、压力表和溢流阀。检测器底部距离塌落拱边界上方0.5 m。分级加压渗透过程中观测钢套管顶端压力表数值,压力升高并稳定后释放管内浆液,观测到流态固化浆液进入钢管内即证明塌落拱已填充密实。后续先拔除钢管,利用袖阀管后退注水泥双液浆,将地层与检测器钻孔通道填充密实。

4 带压开仓

4.1 开仓条件确认

当同条件养护的固化土试样强度不小于0.6 MPa时,打开胸板不同部位的球阀观察渗水量,渗水量小

于 $1 \text{ m}^3/\text{d}$ 即满足开仓条件。

4.2 制定分区域清理的原则

按照泥水仓—刀箱—辐条开口—刀盘面板的顺序清理流态固化土,再检查刀具并进行更换。

4.3 第一阶段开仓

泥水仓内填满固化土,气垫仓与泥水仓的联通管路疏通之前即为第一阶段开仓。疏通盾构机胸板上处于人仓上部的放气阀和人仓内部进泥水仓的平衡阀,用特质管路连接气垫仓与顶部放气阀。仓门打开时以车架空压机—气垫仓—顶部放气阀—泥水仓—人仓的路径控制开仓压力;仓门关闭时,建立车架空压机—气垫仓—顶部放气阀—泥水仓的途径单独实现泥水仓保压。由排水软管、变径端头和锥形弹性密封垫组成快速排水路径。排水管的变径端头放入泥水仓积水内,另一端变径端头套有锥形弹性密封垫并承插入人仓底部排水口,锥形弹性密封垫封闭了变径端头和底部排水口间的漏气通道。排水过程须密切监视仓内积水的水位变化,禁止排水管变径端头漏出水面,排水结束时及时关闭人仓底部排水口,杜绝发生漏气泄压现象。

4.4 第二阶段开仓

气垫仓与泥水仓的联通管路疏通之后,即第二阶段开仓进入正常工作状态,仓门打开时以车架空压机—气垫仓—联通管路—泥水仓—人仓的系统控制压力;仓门关闭时,建立车架空压机—气垫仓—联通管路—泥水仓的途径实现泥水仓保压。利用泥水仓—胸板球阀的路径实现快速排水。

4.5 打开闸门及新浆回升液位

分层次完成清理后,打开前闸门,关闭仓门后人员进入人仓减压,同步用高黏度膨润土新浆回升液位,人员减压出仓后复推。

5 流态固化浆液填仓优势分析

与常规的砂浆填仓、衡盾泥填仓比较,流态固化浆液填仓优势明显。主要特征对比见表1。

6 结 语

泥水盾构在江底复杂地层带压开仓时,填仓方式可以使土层保气并提高开挖面稳定性。但现有工艺有诸多局限。创新使用固化泥水仓泥浆工艺具有以下优点:

(1)实现就地取材,材料循环利用,符合绿色施工理念;

表 1 几种主要填仓开仓工艺特征对比

开仓工艺	主要添加材料	材料成本	填仓时间/d	清理难度和时间	是否需辅助措施
泥浆流态固化带压开仓	高分子材料和固化剂	较低	3~4	清理较方便,8~10 d	—
砂浆填仓带压开仓	砂浆、熟石灰	一般	2~3	清理困难非常大,15~18 d	辅助江中注浆加固
衡盾泥填仓带压开仓	衡盾泥	较高	4~5	清理难度较大,12~15 d	—

(2)通过流态固化并实施高压渗透,以及有效的塌落拱边界处理形成水泥稳定土填仓;

(3)通过优化带压开仓工艺,针对不同的开仓阶段,建立相适应的保压路径和快速排水系统,使开仓工艺高效快捷且成本低。

本项目历时 12 d 即可实现泥水盾构江底复推,是绿色施工与带压开仓技术的创新性融合,具有一定的推广价值。

参考文献:

[1] 白洋.基于“刀-土”相互作用的泥水盾构泥浆渗透成膜机理及开

挖面稳定性研究[D].徐州:中国矿业大学,2022.
[2] 安向阳.快凝低强度浆液填仓法盾构带压开仓换刀施工技术研究[J].现代城市轨道交通,2024(1):55-59.
[3] 吴言坤,贾开民,陈健.海底复杂地层泥水盾构带压开仓保压技术研究[J].城市轨道交通研究,2021,24(7):157-160.
[4] 任铁钺,陈玉龙,曲胜满,等.预拌流态固化土配合比设计及应用研究[J].建筑技术,2024,55(11):1405-1407.
[5] 苏悦,闫楠,白晓宇,等.预拌流态固化土的工程特性研究进展及应用[J].材料导报,2024,38(9):66-72.
[6] 陈曦,竺寅威,沙玉琪,等.淤泥质土改良流态固化土强度及流动度试验研究[J].低碳世界,2024,14(1):109-111.
[7] 董欢.利用工程废弃泥浆制备“流态土”回填材料的技术探究[J].建筑科技,2023,7(2):44-46;52.

(上接第 224 页)

[21] 熊瑞,赵晓.京杭运河湖西航道双浮吊整体吊装钢桁架施工方案及关键技术要点[J].珠江水运,2023(5):91-93.
[22] 严来章.基于水上浮吊的特大型跨运河拱桥吊装施工关键技术研究[J].工程与建设,2022,36(6):1731-1734.
[23] 张卢煌,陈伟仁,肖帅伟,等.大节段宽翼缘钢箱梁水上浮吊抬吊技术应用[J].建筑机械,2021(6):89-94.
[24] 郝胜利,石虎强.水中大跨度两塔连跨钢桁加劲梁悬索桥主梁施工技术[J].公路,2020,65(7):174-180.
[25] 陶路,陈雷,黄盛.坝陵河大桥临时铰设置与施工技术研究[J].中外公路,2012,32(6):199-203.
[26] 孙会元,陈才琳,孟凡超,等.坝陵河大桥架设施工机具技术方案

研究[J].公路,2007(2):72-74.
[27] 汪杨惠.钢箱梁斜拉桥施工中桥面吊机的应用[J].交通世界,2024(18):130-132.
[28] 艾小军.大型钢箱梁桥面吊机设计与应用[J].铁道建筑技术,2023(7):107-109;114.
[29] 尹小峰,李志浩,张晓.悬拼桥面吊机架设桥梁节段梁施工技术探析[J].交通世界,2022(20):162-164.
[30] 李谏.桥面吊机在广州大道新建叠合梁斜拉桥施工中的运用[J].工程技术研究,2022,7(6):106-109.
[31] 苏胜丰.模块化组合式桥面吊机在相思洲特大桥上的应用[J].建筑机械,2021(10):57-59;63.