

过江通道大直径盾构带压进仓查/换刀技术

卢春林

(中铁隧道集团有限公司杭州公司, 浙江 杭州 310030)

摘要:大直径气垫式泥水平衡盾构机在不同地质条件长距离掘进中,都会对盾构机刀具产生不同程度的磨损,尤其在砂卵石为主的地层、石英含量超高岩层及上软下硬地层,盾构机刀盘、刀具更易磨损。为保证盾构机刀盘使用安全,需经常带压进仓进行刀具检查,对边滚刀、中心滚刀按不同磨耗标准进行更换。通过某过江通道带压进仓查/换刀工程实例,对大直径盾构带压进仓查/换刀施工工艺和方法进行总结。

关键词:过江隧道;大直径盾构;带压进仓;掌子面;泥浆;液位升降;查/换刀

中图分类号:U455.43 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)05-0081-04

Cutter Inspection/Replacement in Cabin with Pressure for River Channel Construction by Large Diameter Shield/
LU Chun-lin (China Railway Tunnel Group Limited Company of Hangzhou, Hangzhou Zhejiang 310030, China)

Abstract: In long distance tunneling with large diameter air cushion slurry balance shield machine under different geological conditions, different degrees of wear on shield machine cutter will be produced; especially in sand and gravel based formation, the formation with excessive level of quartz and soft & hard formation, the cutter head and cutter are more easy to be worn. In order to ensure the safe use of shield machine cutter head, inspection and replacement of edge cutter and center cutter often should be done according to the different wear standards in the cabin with pressure. With an engineering case of cutter inspection/replacement in cabin with pressure for river channel construction, the paper summed up the construction technology of cutter inspection/replacement in cabin with pressure for large diameter shield.

Key words: river channel; large diameter shield; working in cabin with pressure; tunnel face; mud; liquid level fluctuation; cutter inspection/replacement

0 引言

随着我国城市的发展,过江跨海隧道工程成为完善发达城市交通网络不可或缺的关键环节,大直径复合地层泥水平衡盾构已有较多成功的工程实例。大直径气垫式泥水平衡盾构机在不同地质条件长距离掘进中,都会对盾构机刀具产生不同程度的磨损,尤其在砂卵石为主的地层、石英含量超高岩层及上软下硬地层,盾构机刀盘、刀具更易磨损。为保证盾构机刀盘使用安全,需经常带压进仓进行刀具检查,对边滚刀、中心滚刀按不同磨耗标准进行更换。带压进仓是一项风险极大又必不可少的施工工序,是解决盾构机仓内故障和更换刀具的唯一途径。通过对过江通道盾构施工中带压进仓查/换刀作业的成功实施,总结卵砾石地层中带压进仓查/换刀施工工艺和方法。

1 工程概述

1.1 工程概况

某过江通道工程隧道设计为双层双向八车道,

隧道在江中采用左右线分离两管盾构,盾构施工采用直径为 14.93 m 泥水加压平衡式盾构机,刀盘开挖直径为 15.01 m。其中 N 线盾构隧道总长 3557 m,穿越 2600 m 宽长江。盾构长距离穿越石英含量高达 55% 的砂卵石层及上软下硬的复合地层。最高水压达 0.62 MPa,隧道最深处为江底 62 m,局部覆土仅 0.6D(其中 D 为盾构直径)。

1.2 盾构带压进仓目的

盾构在穿越长江大堤后进入江中段,全断面砾砂(卵石)掘进 232 m 后进入 475 m 长上软下硬地层后,进入江中潜洲段。泥水盾构带压进仓风险与地层水压和地层物理性质密切相关,江中段水压远远高于江岸段,并且江中深槽覆土仅 0.6D 且水压超高。盾构于穿堤前进行带压查/换刀。

盾构机设计采用刮刀刀刃高度高于滚刀刀刃高度的措施来防止滚刀在进入上软下硬地层之前发生偏磨,滚刀为上软下硬地层掘进的主要保障。因而为了验证措施是否有效,需在进入上软下硬地层之前带压进仓检查滚刀是否发生偏磨,如发生偏磨,需

收稿日期:2014-03-10

作者简介:卢春林(1977-),男(汉族),浙江杭州人,中铁隧道集团有限公司杭州公司项目经理、工程师,土木工程专业,从事轨道交通、隧道及市政工程施工技术管理与科研工作,浙江省杭州市西湖区城北商贸园 18 幢 113-118 号。

在进入上软下硬地层之前带压进仓对滚刀提前进行更换,以减少江中带压换刀次数。

1.3 盾构停机位置水文地质条件

盾构停机位置地层主要为松散岩类承压水,分布于基岩上部松散层中,在漫滩区上覆淤泥质土及粘性土,在长江河道区直接与江水相通。含水介质主要为粉细砂、底部为卵砾石层,厚度 40 ~ 60 m。

卵砾石以石英岩为主,次圆状,分选性差,粒径一般 1 ~ 10 cm,少量大于 10 cm。

盾构在停机查换刀位置穿越④₃、⑤₂和⑥₁层,上覆土层主要为②₁、②₂、②₃、④₁层,盾构穿越段的地层特性、地层力学参数如表 1 所示。停机断面为粉砂、砾砂与卵石层,其中砾砂层占整个断面 70%,开挖面不能在常压下自稳,其富含水。

表 1 主要地层特性表

层号	岩土名称	状态	工 程 特 性	土石等级	土石类别
② ₁	粘土、粉质粘土	软塑	具中等压缩性,较低强度,工程性质较差	I	松土
② ₂	淤泥质粉质粘土	流塑	具高压缩性,低强度,工程性质差	I	松土
② ₃	粉砂	松散	具中等压缩性,低强度,工程性质差	I	松土
④ ₁	粉细砂	稍密~中密	具中等偏低压缩性,较低强度,工程性质较差	I	松土
④ ₃	粉细砂	中密~密实	具低压缩性,较低强度,工程性质一般	I	松土
⑤ ₂	砾砂	密实	具低压缩性,较高强度,工程性质较好	II	普通土
⑥ ₁	卵石	密实	具低压缩性,较高强度,工程性质较好	II	普通土

1.4 带压进仓方式选择

带压进仓根据压缩空气的成分分为常规压缩空气进仓和氮氧饱和气体进仓作业。根据进仓的目的分为进仓检查、进仓更换刀具、进仓维修。当进仓压力 >0.65 MPa 时,由于常规压缩空气中的氮气对人体的麻醉作用,而不能使用常规压缩空气进仓,需采用氮氧饱和气体进仓。当进仓压力 >0.5 MPa 时,在常规压缩空气下,进仓工作时间不能 >0.5 h,其有效工作时间与加压和减压时间之比较小,一般采用氮氧饱和气体进仓更换刀具和进仓维修。

根据盾构停机位置地质水文条件,设定本次带压进仓的压力为 0.55 MPa,本次带压进仓主要目的是为了进仓检查滚刀的磨损情况并更换少量磨损刀具,因而选定常规压缩空气进仓。

透带泥膜,使掌子面能够在加压条件下长时间稳定自立。盾构泥水仓内需用高密度、高粘度膨润土泥浆置换泥浆管路泥浆,充满盾构泥水仓并通过 2 次加压建立自稳性好的高质量泥膜。

2.2.1 优质泥浆制备

泥水站制浆系统剪切泵按水灰比 3.5 制备膨润土浆液,通过泥水站管路改造,将储浆池与盾构 P1.1 泵前管路相连,进行泥水管路系统泥浆置换。泥水管路改造如图 1 所示。直至循环泥浆排浆口泥浆指标达到密度 1.10 ~ 1.15 g/cm³、粘度 45 s(马式漏斗)以上为止。并将排浆管路通至储浆池,达到泥水仓液位升降过程中泥浆循环利用。

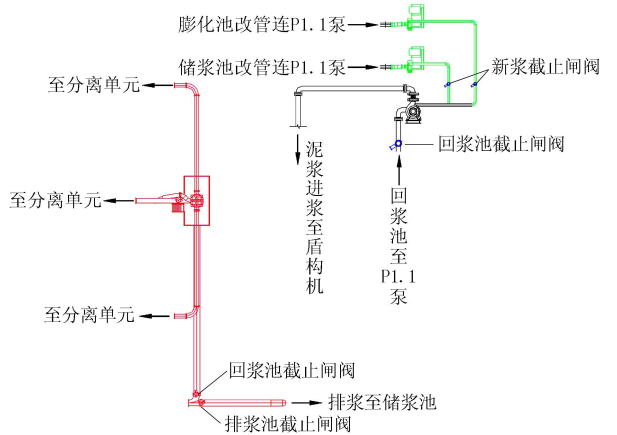


图 1 泥浆管路改造示意图

2 带压进仓查/换刀施工技术

2.1 带压进仓准备

2.1.1 加大同步注浆量

盾构确定带压进仓位置后,对停机前 5 环加大同步注浆量,以达到加强封堵盾尾后部、管片背后地层的目的。适当调整砂浆配合比,将同步注浆砂浆初凝时间缩短,及早稳定地层。

2.1.2 掌子面地层及泥浆循环管路气密性实验

带压开仓前,要通过实验确定相关管路及掌子面气密性是否满足开仓要求,如不满足迅速排查整改,直至验收合格。

2.2 泥浆输送与泥膜建立

在卵砾石地层中带压进仓,地层渗透性强且可能存在裂隙发育,盾构带压开仓作业时,需建立长渗

2.2.2 长渗透带泥膜建立

建立长渗透带泥膜,有利于带压查/换刀掌子面稳定和施工安全,通过对原有泥浆第一次渗透,置换新浆第二次渗透和两次新浆渗透形成泥膜的室内试

验对比,原泥浆第一次渗透,转动刀盘置换新浆后第二次加压渗透形成更长渗透带,泥膜稳定性更好。盾构泥水仓泥浆置换前,进行加压第一次原浆渗透,置换泥浆后进行第二次加压渗透,形成稳定泥膜。

2.3 压力设置及升降液位

2.3.1 泥水压力设置

泥水压力设置采用静止土压力作为控制上限,主动土压力为控制下限,由于计算式地质参数取值误差较大,需根据盾构机载停机前掘进过程中压力设定情况和停机过程中稳定开挖面的泥水压力参考调整。调整后压力参数进行保压实验,观察在此压力下泥水仓液位 30 min 有无明显变化,没有变化则说明参数设置满足进仓要求。

2.3.2 液位升降

降液位减少仓内泥水为带压进仓检查刀具提供作业空间。降液位前打开泥水仓与气垫仓之间的平衡阀向泥水仓内送气,并同时开启进、排泥泵。送泥流量控制在 $10 \text{ m}^3/\text{min}$ 左右,送、排泥流量差控制在 $2 \text{ m}^3/\text{min}$,使得泥水仓最终都缓慢下降。泥浆循环约 40 min 后,关闭进、排泥泵观察气垫仓液位,气垫仓液位 5 min 变化小于 5 cm 后,开始重新打开进、排泥泵(同样大流量),直至气垫仓液在 3.5 m 处。

2.3.3 观察施工环境

转换为气垫模式后,要加强与地表观察人员的联系,地表漏气和冒浆等情况不能有大的变化,地表监测正常;液位降至预定位置后,继续观察压力与液位,工业空压机供气要比较稳定,压力未急剧下降或出现大的波动,同时仓内泥水液位上涨较缓慢或稳定。待液位降至设定值 2 h 后,且地表观察正常,液位波动、空压机供气正常后准备带压进仓作业。

2.4 带压查/换刀

2.4.1 加压过程

人员进入压力仓前,应先进行气密性实验,将医用氧气、耐高压头灯、照相机等材料、机具放入仓内,关闭仓门升压至气压仓压力值,保持不小于 10 min,观察人仓是否有气体泄露,再降至常压,带压作业人员进入人仓检查所有机具是否仍可正常使用,确认机具正常、人仓密封性良好后关闭仓门,开始人仓加压。

专业操仓人员慢慢开启门阀,保持恒定升压速度, $0 \sim 0.2 \text{ MPa}$ 升压时间为 0.5 h, $0.2 \sim 0.64 \text{ MPa}$ 升压时间为 1 h。

2.4.2 进仓作业

加压操作完成后人员开仓进入作业面,打开人

仓外卸压球阀,保证人仓内通风,改善仓内空气质量。进仓作业时,刀盘必须处于锁定状态,并实时监测人员仓内气压情况和气垫仓内液位变化。

泥水盾构是依靠形成的泥膜保持掌子面的稳定,操作人员进入仓内观察时,注意不要輕易破坏掌子面形成的泥膜层(图 2),如果泥膜层受到损坏,则会打破泥水仓与气压仓的压力平衡,造成气体从破坏的泥膜中逃逸,使掌子面垮塌,导致人员及设备的伤害。



图 2 开仓查刀泥膜图片

2.4.3 刀盘清理及检查

作业人员进仓后对上部刀盘切口环进行清理,检查土体稳定情况,并对刀盘开口处渣土进行清理,最后清理刀孔和刀具。对刀盘边滚刀、滚刀及切削刀进行检查(图 3),检测磨损情况并建立刀具档案。出仓后根据刀具档案决定刀具的更换。并通过日后开仓持续观察刀具磨损情况总结规律,对日后刀具磨损更换具有指导作用。



图 3 滚刀磨损检查

2.4.4 减压出仓

一次进仓刀具检查完成后,关闭仓门前对刀盘前端进行全面检查,避免工具、杂物遗留在内。潜水员进入人仓,进行减压,减压作业由专业医生操仓。专业操仓医生要严格按照国家潜水规范制订相应的减压方案,每组进仓人员进仓作业达到规定时间后,必须及时进入减压仓,进行减压及出仓。

2.4.5 转动刀盘,重新建立泥膜进行重复查刀作业
要转动刀盘来检查具体辐条上的刀具时,辐条

转动至正上方,满仓保压至少2 h,且1 h泥水仓液位变化 <15 cm,重新建立泥水平衡形成泥膜,方可再次进行降液位、带压进仓检查等工作。

3 加液位恢复掘进

盾构带压查/换刀作业结束后,立即升液位恢复掘进。

平衡阀打开,开启送、排泥泵,此时送、排泥泵流量为液位降低时的相反值。送、排泥流量泵打开后,关闭平衡阀,同时慢慢打开泥水仓的排气阀,根据液位上升的快慢来选择排气阀开度,直到排气阀里有泥水流出,关闭排气阀,恢复至掘进模式。

4 工程应用实际情况

某过江通道在长江大堤卵砾石地层下进行的常规压缩空气查/换刀作业,有效的检查了刀盘刀具磨损情况,并成功带压更换3把磨损较为严重的边滚刀。常规压缩空气带压进仓在本次查刀与少量换刀的作业中的成功实施,为今后盾构掘进上软下硬偏磨刀具地层和全断面风化岩地层刀具检查和更换积累了经验。同时也为带压查/换刀时刀盘前端建立稳定优质泥膜积累了经验,完善了泥浆制备、泥水仓

内泥浆置换及加压成膜的质量控制。

5 结语

当更换刀具较少,进仓压力在 $0.5 \sim 0.6$ MPa条件下,常规压缩空气带压查/换刀满足盾构刀盘刀具检查和少量刀具更换的要求。在此总结复合地层常规压缩空气带压查/换刀施工技术,可供类似大型泥水盾构带压查/换刀作业借鉴。

参考文献:

- [1] 竺维彬,鞠世健.复合地层中的盾构施工技术[M].北京:中国科学技术出版社,2005.
- [2] 郭信君,闵凡路,钟小春,等.南京长江隧道工程难点分析及关键技术总结[J].岩石力学与工程学报,2012,31(10):2154-2160.
- [3] 曹文宏,中伟强,等.超大特长盾构法——上海长江隧道工程设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [4] 张凤祥,朱合华,傅德明.盾构隧道[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [5] 陈馈,洪开荣,等.盾构施工技术[M].北京:人民交通出版社,2009.
- [6] 张智博.南京长江隧道大型泥水盾构施工风险分析及对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(6):65-69.
- [7] 韩晓明,唐晓鹏,季玉国.大型过江隧道盾构始发冻结施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):72-75.

(上接第76页)

对于硫磺胶泥锚接,由于土体隆起,采用硫磺胶泥锚接易断裂,故《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-2008)将其取消。

对泥浆储备量,《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-94)将泥浆储备量界定为“应不少于单桩体积的2倍”,《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-2008)将其调整为“泥浆储备量应不少于单桩体积”,更符合实际,更有利于执行。

对细长桩进行了定量定义,《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-2008)修改为“长细比大于50的细长桩”,对此有了明确的界定。

5 结语

桩基础应用范围广且数量巨大,且新工艺不断出现。广大工程技术人员,非常希望有一本符合性、适宜性的规范来指导自己的日常施工。《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-2008)在修订过程中开展了专

题研究,进行了广泛的调查分析,总结了近期我国桩基设计、施工经验,吸纳了该领域新科研成果,并对主要问题进行了反复修改,涵盖面非常广,修订调整、修订增加的内容非常多,符合性、适宜性较强,满足了技术人员的迫切要求。

笔者由于水平所限,只能以点代面简单谈一下思考与体会,偏颇之处难免,望各位同仁给予批评指正。

参考文献:

- [1] JGJ 94-2008,建筑桩基技术规范[S].
- [2] GB 50007-2011,建筑地基基础设计规范[S].
- [3] JGJ 79-2012,建筑地基处理技术规范[S].
- [4] 编写委员会.桩基工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [5] 刘金波.建筑桩基技术规范的理解和应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [6] 李亮,等.旋挖成孔工艺在黔东某电厂桩基工程中的实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(9).