

泥岩地层常压刀盘盾构的掘进策略与分析

周文波 吴惠明 赵峻

(上海隧道工程股份有限公司,上海 200032)

摘 要 泥岩地层盾构施工面临着掘进效率低、刀具磨损快等诸多严峻挑战。虽然常压刀盘换刀技术提高了盾构刀具更换效率,避免了高压条件下刀具更换的风险,但不可避免地带来了更加严重的刀盘泥饼淤结问题,加速了刀具的磨损。文章依托武汉三阳路过江隧道工程,对施工期间的技术难点与针对性对策进行研究,通过对现场的监测数据进行参数化分析,总结评价刀具配置优化、中心冲刷系统改制、泥岩分散剂等方法对提高盾构掘进效率的作用。研究表明,采用提出的针对性优化方法,可以有效提高隧道掘进效率,降低换刀频率,减少停机风险。

关键词 超大直径盾构 常压刀盘 泥岩地层 掘进策略 换刀技术 磨损 泥岩分散剂

中图分类号:U455.43

文献标识码:A

1 引言

近年来,我国城市化进程迅猛发展,交通流量和市政基础设施容量需求不断提升,狭小的隧道断面和日益增长的交通流量之间的矛盾逐渐凸显,超大直径盾构隧道已成为未来隧道建设的优选。机械制造技术和信息技术的发展,使得盾构设备功能逐步完善,为超大直径盾构隧道的建设提供了充分保障。

自世界第一条超大直径盾构隧道——日本东京湾海底隧道(1996年)建成以来,国外直径14 m以上的隧道建设迅速发展,技术的进步让隧道断面尺寸不断打破记录,图1为目前已建成的世界上直径最大的盾构隧道——西雅图SR99隧道的盾构设备。

我国超大直径盾构隧道的建设起步较晚,但呈飞速发展的趋势。2004年上海上中路隧道的建设,拉开了中国超大直径盾构隧道建设的序幕,黄浦江下众多隧道工程的建设给国内其它地区盾构施工提供了宝贵的工程经验。据统计(图2),全球直径14 m以上的隧道工程总计42项,中国就占据其中的26项,占比62%。



图1 西雅图SR99隧道17 m级盾构机

Fig.1 The $\phi 17$ m TBM adopted in the Seattle SR99 tunnel

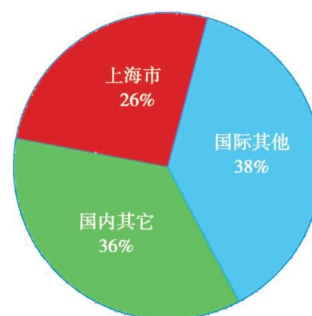


图2 全球超大直径隧道项目建设比例

Fig.2 Proportion of the super large-diameter tunnels in the world

修改稿返回日期:2018-07-21

作者简介:周文波(1964-),男,博士,教授级高级工程师,主要从事地下工程力学问题、隧道施工工艺及工法、隧道工程信息化和智能化管理、城市基础设施智慧运营养护等方面的研究工作,E-mail: 365368722@qq.com.

目前,长三角区域软土地层的盾构施工技术日趋成熟。对于盾构始发接收、开挖面稳定性、超浅覆土隧道稳定性、盾构下穿既有地铁、高水压下的风险控制等技术难题,都已有比较完善的解决方案,并且已经在工程建设中得到了广泛的应用。随着超大直径盾构隧道从上海地区向全国范围扩展,工程面临的地质情况越来越复杂,给超大直径盾构隧道的施工带来了诸多新的难题。

本文依托武汉三阳路超大直径复合盾构隧道的建设,对泥岩地层常压刀盘盾构掘进中面临的技术难点和针对性对策进行参数化分析研究。对于盾构刀具易磨损、刀盘易结泥饼等突出问题,提出了刀具形式及配置优化、中心冲刷系统改制、分散剂除泥饼等措施,分析评价了优化措施对提高盾构掘进效率所起到的作用。

2 复合地层盾构隧道施工难点

2.1 复合地层隧道掘进常见问题

(1) 刀具磨损快

复合地层上部为软土地层,下部为强度高、完整性好的岩石地层。这样的地层分布导致盾构刀具的配置存在“矛盾”现象。首先,切刀在岩石地层中不能起到任何作用,由于贯入度和高度差的原因,容易产生瞬间冲击荷载,崩坏刀具。主刀若选用滚刀,则滚刀在上半部的软土中不转动,容易产生偏磨;其次,复合地层施加给刀具和刀盘的是上小下大的端面阻力,该阻力会对刀盘产生偏压,进一步形成偏心弯矩。工程实践表明,刀盘刀具的损坏最易发生在复合地层中。

南京扬子江隧道施工过程中,盾构需穿越近600 m的复合地层段。该段为粉细砂、砾砂和卵石以及高强度砂岩、泥岩的混合地层,掌子面岩性差异明显、上下软硬不均。硬岩中石英含量达到65%,刀具磨损现象十分严重,整个工期带压进舱作业超过600次,作业时间达100 d,更换刀具1 009把。频繁的刀具更换对工程工期造成了很大影响。

(2) 换刀困难

在复合地层中进行换刀时,应保持较高的泥水舱压力,与掌子面的压力平衡。作业人员必须在高压环境进舱,连续作业时间短、效率低下,在0.5 MPa条件下,单次正常有效作业时间仅40 min。另外,完成刀具检查更换后,还需缓慢降压。若降压过程不当容易产生降压病,危害作业人员身体健康。

同时,过去的工程经验表明,在复合地层中进行带压换刀操作很容易导致地表的沉降^[1]。广州地铁

21号线盾构施工过程中,带压进舱作业导致地面出现坍塌,从而造成人员伤亡的严重后果。

(3) 掘进效率低

盾构推进至复合地层时,盾构掘进速率显著降低。广州地铁2号线越秀—三元里区间掘进过程中,在遭遇复合地层后,掘进速度迅速降低至10 mm/min以下;南昌地铁秋水广场—中山西路段,在进入上部砂卵石地层、下部泥质粉砂岩地层后,推力扭矩明显增大,掘进速度明显降低,平均速度骤降至6 mm/min。在大部分复合地层盾构掘进效率降低的案例中,刀盘结泥饼现象十分普遍,是导致刀具贯入度降低、刀具磨损、掘进效率降低的主要原因。

2.2 技术措施与局限性

(1) 刀盘泥饼防治措施

对于刀盘结泥饼的防治措施研究,过去学者仅从工程经验角度提出了指导性意见,并没有通过现场监测数据对各方法进行系统验证。比如,竺维彬^[2]、田宝恩^[3]、徐国平等^[4]学者从盾构改进的角度,提出了解决粘土地层结泥饼问题的对策,例如:增大盾构开口率、扩大泥水密封舱容积等等。

传统上对于固有泥饼的处理,主要还是采取人工开舱清除泥饼的方式。但是,该方法仅在地质条件较好的土层中容易实现,在富水地层中人工开舱清除泥饼的安全风险大,准备工作多,具有很大的局限性。粘土之所以有很强的粘附特性,主要在于粘土晶层之间的双电层结构。通过电渗方法打破双电层结构,是理论上可行的消除泥饼的方法之一。Heuser等^[5]进行了电渗试验,探究电渗法对防止盾构掘进中碴土粘结的作用。然而,电渗法至今还未应用于实际情况。

(2) 常压换刀技术

复合地层刀具磨损快,换刀频繁,传统的带压换刀工法由于工期长、风险大、成本高,已经不能满足复合地层盾构施工要求。常压换刀技术的出现可以一定程度解决上述难题。其整体思路是:设置独立的与外界联通的区域,作业人员在常压区对高压区域的刀具进行更换,将刀桶抽离至闸板阀后,关闭闸板阀,隔绝高压区,再将刀桶抽出检查、换刀^[6]。通过近20年的发展,常压换刀技术已经历了几代的改进,如表1所示。

尽管常压换刀技术极大地加快了盾构刀盘换刀效率,降低了带压换刀导致土体沉降的风险,但是并没有从根本上解决复合地层刀具磨损严重、换刀频繁的问题。常压换刀工艺一般需要配置常压换刀刀盘,类似刀盘的中心开口率低、中心土流动性差,不

表1 常压换刀施工工艺发展历程

Table 1 The development of cutter replacement technology under atmospheric pressure

	特点	应用项目
第一代	部分刀具可更换	易北河第4隧道
第二代	全断面刮刀、先行刀	上海长江隧道、南京纬七路隧道
第三代	全断面双刃滚刀	伊斯坦布尔海峡公路隧道、狮子洋隧道
第四代	全断面单刃滚刀	武汉三阳路长江隧道

可避免地加剧了刀盘泥饼淤结问题。因此,在复合地层盾构掘进施工中,刀盘泥饼淤结、刀具磨损严重、换刀频繁等仍然是至今尚未得到解决的挑战性难题,需要通过工程技术总结,提出针对性措施以防微杜渐。

3 武汉三阳路过江隧道

3.1 工程概况

武汉三阳路过江隧道距离下游长江二桥 1.3 km,距离上游的武汉长江隧道 1.9 km,隧道的定位是城市道路与轨道交通七号线共用的公铁合建通道。盾构隧道段单线全长 2 590 m,由 2 台 $\phi 15.76$ m 泥水气压平衡盾构先后从武昌工作井出洞,进行左右线隧道施工。隧道外径 15.2 m,内径 13.9 m,环宽 2 m。隧道最小转弯半径为 1 200 m,最大纵坡为 3.0%,工程线路如图 3 所示。

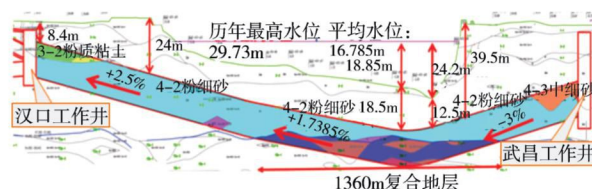


图3 工程线路示意
Fig.3 Tunnel alignment

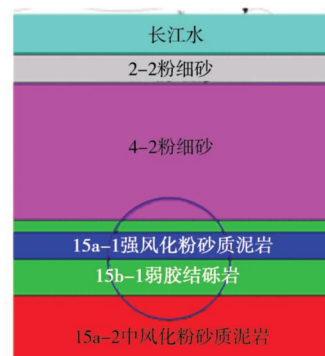
3.2 工程地质条件

越江盾构隧道段穿越土层主要有:粉质粘土、粉细砂、中粗砂、强风化粉砂质泥岩、中风化粉砂质泥岩、弱胶结砾岩等。其中,盾构始发段(1~90环,长 180 m)为粉细砂与中粗砂夹层;90~870环(长 1 360 m),上部为粉细砂,下部为强风化粉砂质泥

岩、中风化粉砂质泥岩、弱胶结砾岩地层等,如图 4 所示。越江段长江多年平均水位为 16.785 m,6~9 月为丰水期,水位可达 27.5 m。上层粉细砂透水性好,水系连通,根据隧道的埋深和长江水位,水头压力最大为 0.53 MPa,水土压力最大为 0.68 MPa。



(a) 工程地质条件纵断面示意



(b) 复合地层工程地质示意

图4 工程地质示意

Fig.4 Diagram of engineering geology

3.3 盾构配置

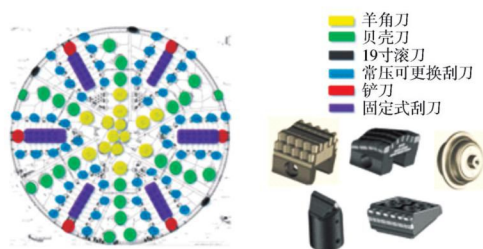
三阳路长江隧道越江区间采用 $\phi 15.76$ m 盾构施工,配有全断面常压可伸缩刀盘,开口率 29%。由于安装全断面可更换滚刀,因此中心 5 m 无开口,主驱动和刀盘有 400 mm 可伸缩范围,刀盘额定扭矩 27 MN·m,脱困扭矩 44 MN·m,盾构最大推力为 193 962 kN。动态工作压力为 0.8 MPa,静态工作压力为 0.9 MPa,盾构实物如图 5(a)所示。

面板上的刀具配置共有两个层次:第一个层次包括先行刀(羊角刀与贝壳刀)、滚刀等,该层刀具高出面板 225 mm,均为常压可更换刀具。第二个层次包括常压可更换刮刀、固定式刮刀、铲刀等,该层刀具高出面板 185 mm,面板刀具配置位置如图 5(b)所示。

为了预防泥饼的产生,盾构配备了中心冲刷装置,从中心旋转喷头处通过大流量水冲刷,将碴土从开挖舱及刀盘排出。盾构上设一台 P0.1 泵,最大流量为 1 000 m³/h,压力 0.8 MPa;同时设置 12 根管路,



(a) 三阳路隧道盾构机



(b) 刀具布置示意

图5 盾构机配置

Fig.5 The configuration of the shield machine

供中心六个冲洗口和六个刀盘开口处的冲洗孔,以保证中心5 m无开口区域的泥水流动和刀盘冲洗。

4 三阳路隧道施工难点与对策

三阳路隧道是直径15 m以上盾构首次穿越复合地层的隧道工程,尽管在刀盘刀具设计、刀具冲洗设计中考虑到了复合地层可能遇到的重重困难,但实际施工中仍然发现了刀盘结泥饼和刀具磨损导致的掘进效率降低的问题。通过分析问题产生原因,本文提出了针对性的工程对策。

4.1 刀盘结泥饼现象与原因分析

盾构掘进190环后开始进入长度约为1 360 m的复合地层,掘进速度显著下降,从开始1~100环的最高30 mm/min降低为198环以后的5 mm/min。盾构掘进的推力和扭矩大幅度增大,其中扭矩从15 MN·m增大到20 MN·m,总挤压力超过50 000 kN,刀具贯入度显著降低,刀盘面板后部的温度迅速上升。为应对以上掘进参数的异常情况,专业人员进舱检查,发现中心刀、正面滚刀以及边缘刀的刀桶结满了泥饼(图6),由此可以推测是由于结泥饼问题导致了刀盘扭矩加大、掘进速度降低。

从地质条件和盾构设备等方面分析,刀盘结泥饼的原因如下:

(1) 盾构穿越江中段的上软下硬复合地层中,



图6 盾构结泥饼

Fig.6 Mud cake on shield machine cutterhead

弱胶结砾岩的粘土矿物含量高,超过30%,尤其是泥岩中的泥质胶结体粘性极大,在刀具的切削、刀盘挤压以及泥水环流系统冲刷的综合作用下,粘土矿物遇水软化,吸水膨胀。当达到一定含水率条件时,粘土矿物之间形成双电层结构,粘土颗粒大量富集成泥团,成为形成泥饼的基础材料。

(2) 常压刀盘设计的局限性也是导致泥饼形成的一个重要因素,主要表现在刀盘中心5 m没有开口,中心六个冲洗口的流量和压力不足,仅有500 m³/h。碴土粘结于刀盘上,随着刀盘摩擦生热,烧结在中心刀盘面板上,并逐渐向周边刀臂蔓延。其次,刀盘上单个刀臂较宽,最大处有5 m,刀盘2.1 m厚,碴土流动距离长。上述因素造成碴土流动性差,高粘度的碴土粘结在中心面板上,沉积在刀盘开口处及开挖舱内,形成了泥饼。

4.2 刀具磨损现象与原因分析

在盾构掘进进入复合地层之后,换刀次数明显增加。刀盘外圈换刀从50环/次增加至20环/次;刀盘中圈换刀从100环/次增加至40环/次;内圈换刀从200环/次增加至80环/次。先行刀、刮刀和滚刀均出现了不同程度的偏磨或者磨损情况(图7)。

刀具出现磨损的主要原因如下:

(1) 盾构掘进断面内的上部粉细砂地层石英含量高达70%,容易造成刀具磨损;断面内下部弱胶结砾岩中20 mm以上高强度的砾石含量高达60%,且

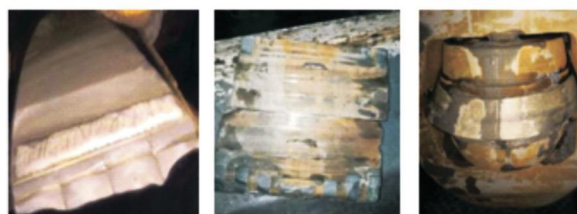


图7 盾构刀具磨损

Fig.7 Cutter wear of shield machine

骨架成份以石英岩、石灰岩等硬质岩为主,容易造成刀具磕碰掉齿的非正常磨损。

(2) 结泥饼和刀具磨损这两个问题之间存在着相互促进的关系。由于刀盘结泥饼,刀具贯入度小,掘进速度慢,一环的推进时间达到6 h以上,刀具一直与开挖面摩擦,导致刀具磨损严重;而刀具磨损导致刀盘温度升高,进一步加剧了泥饼的形成。

4.3 盾构掘进优化策略

(1) 改变刀具配置和形式

结合推进试验,改进刀具布置,分别尝试采用全盘滚刀、滚刀和先行刀间隔布置以及全盘先行刀的布置方式。结果表明:在该地层中采用滚刀布置,刀盘偏磨现象严重,且下层固定刮刀受损严重,故采用全盘先行刀布置形式。

与此同时,将常压可更换的刮刀高度增加4 cm,调整到与刀臂中间的先行刀同高,从而代替先行刀进行切削。刮刀切削时,切掉的土可以直接进入开挖舱,防止泥饼在刀盘开口处淤结。

此外,对刀具形式的设计也进行了多次优化试验。试验结果表明,采用双层先行刀,可以有效降低刀具更换频率;另外,为了降低先行刀在粘土层中的磨损,减少刀盘正面摩擦扭矩所占比例,将刀具合金硬度从洛氏硬度HBA70提高到HBA87。

最后,开发了复合地层超大直径盾构施工刀具管理软件,同时通过盾构掘进刀具受力监测的研究,科学地判断刀具损坏的程度,预测每把刀具需要更换的时间,减少换刀次数刀具的浪费。

(2) 中心冲刷系统改制

初装状态下的中心冲刷系统效果并不显著,刀盘冲洗中心和周边开口冲洗的流量1 000 m³/h从进泥总管分出,造成开挖舱进泥流量也偏小,碴土携带能力不足。出现泥饼淤结问题后,将中心冲刷系统改为内循环模式,P0.1 泵最大流量从1 000 m³/h增加到1 200 m³/h。由于不从进泥总管分出泥水,从而间接提高了进泥泥水流量,提高了舱内泥水循环量和碴土携带能力。同时,中心冲洗辅助加入压缩空气,以增加泥饼的消除和预防能力。

(3) 分散剂消除泥饼

粘土中的有机质以及胶体具有复杂而稳定的结构,有很强的吸附、交换以及络合能力,它们把粘土矿物微粒包围起来,形成复合物。这些胶体和有机质起着非常强的粘合作用,使得颗粒很难分散于水中,这样粘土颗粒就容易富集,形成泥团,最后经过盾构的搅拌形成泥饼。

泥岩分散剂具有很强的氧化剂,可以将粘土中的有机质分解成二氧化碳和水,从而释放粘土颗粒,降低胶结程度,达到清除固有泥饼、防止泥饼形成的效果。结合实验效果,工程中采用泥岩分散剂液进行固有泥饼的消除,实施工艺方法如图8所示。

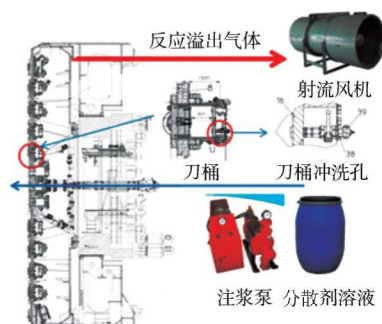


图8 分散剂消除泥饼工艺

Fig.8 Mud cake removing by hydrogen peroxide solution

5 盾构掘进效果分析

5.1 盾构掘进参数选取

为了评价上述优化对策的效果,需要通过现场施工数据,对盾构掘进的参数进行分析。本文选取盾构总推力 F 、推进速度 v 、刀盘扭矩 T 、刀盘转速 w 以及刀盘贯入度 t 等5个关键参数作为效果分析的基本数据,对盾构隧道左线在复合地层中的431环~505环的掘进参数进行统计分析。

5.2 盾构掘进参数变化

在复合地层推进过程中,存在若干个施工措施关键环节,包括:

- (1) 435环,盾构刀具改制,中心冲刷系统改制,化学法除泥饼;
- (2) 452环,刀具更换,分散剂除泥饼;
- (3) 472环,刀具更换,分散剂除泥饼;
- (4) 498环,刀具更换,分散剂除泥饼;
- (5) 504环,分散剂除泥饼。

盾构机掘进过程中参数的变化曲线如图9所示,其中图9(a)为盾构总推力和刀盘扭矩的变化曲线,图9(b)为刀盘转速、刀具贯入度和掘进速度三个重要参数的变化曲线。为了相互对比,对各参数进行了标准化处理,总推力、扭矩、转速、贯入度和掘进速度的峰值分别为14.6×104 kN, 26.9 MN·m, 1.76 rpm, 18 mm以及22.8 mm/min。

总体上可以看出,各项优化措施实施后,总推力

的变化并不明显,平均驱动推力差异不大,均为 13×10^4 kN。另一方面,刀盘扭矩显著降低,在452环刀具改制以及压注泥岩分散剂液清除泥饼等措施实施后,刀盘扭矩从 $19.7 \text{ MN} \cdot \text{m}$ 降至 $12.8 \text{ MN} \cdot \text{m}$,降幅达35%。结果说明,刀具布置优化、中心冲刷系统改制和分散剂除泥饼等对策,可以有效清除泥饼,减小刀盘摩擦阻力,从而降低刀盘扭矩过大带来的诸多风险。

盾构转速、贯入度和盾构掘进速度的关系可以用式(1)表示:

$$v = \omega \cdot t \quad (1)$$

式中: v 、 ω 和 t 分别为掘进速度、转速和贯入度。

从图9可以看出,刀盘转速的离散性小,转速保持在0.8 rpm或1.6 rpm两个阶段。在452环、472环以及498环位置压注泥岩分散剂液之后,转速迅速下调;刀具的贯入度受优化措施的影响较大,在优化对策节点之后,贯入度显著提,452环、472环以及498环位置,刀具贯入度分别增大了2.4倍、3.2倍和2.8倍。另外,刀盘上的泥饼得到了有效的清除,452环之后刀具贯入度从5 mm增大到15 mm;此时,维持转速1.6 rpm不变,掘进速度显著提升。随着推进距离增加,泥饼逐渐重新形成,刀具的贯入度降低至5 mm,掘进速度明显降低。

5.3 优化对策效果分析

盾构总推力、推进速度、刀盘扭矩、刀盘转速以

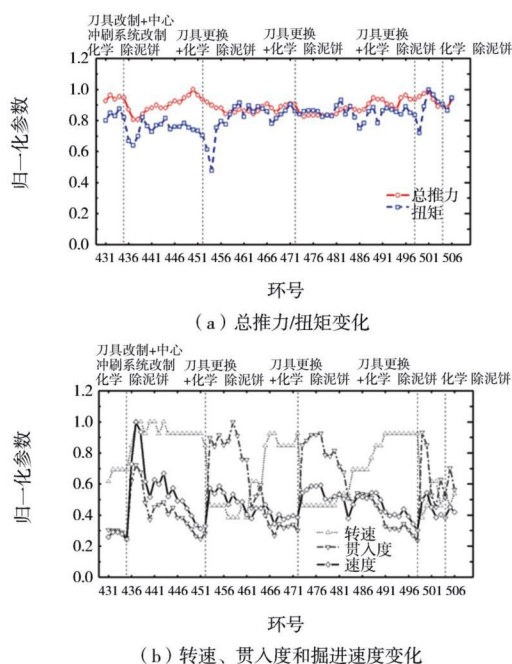


图9 盾构掘进参数变化曲线

Fig.9 Curves of the parameters of shield driving

及贯入度等参数,受到施工过程中工程师操作的人为因素影响较大,参数的变化无法直接体现优化对策的效果。本文从能耗效率的角度,提出了一种用单位掘进距离盾构能耗来表示的掘进效率参数 Γ 。

由分析可知,盾构机扭转切削功率为:

$$P_1 = M \cdot \omega \quad (2)$$

盾构刀盘的推进功率为:

$$P_2 = F_p \cdot v \quad (3)$$

式中: P_1 、 P_2 分别为盾构的切削功率、刀盘推进功率; F_p 为刀盘总挤压力。单位能耗盾构掘进距离可表示为 Γ :

$$\Gamma = \frac{P_1 + P_2}{v} \quad (4)$$

对人为控制因素进行归一化处理后,根据公式(4),得到每掘进1 mm盾构机的能耗(MJ/mm)代表的单位能耗序列,结果列于图10。从图中可以看到,在各项优化措施节点后,盾构机单位能耗明显降低。盾构改制前,掘进单位能耗为79.0 MJ/mm;针对性措施实施后,掘进效率显著降低为39.4 MJ/mm,降低近一半。

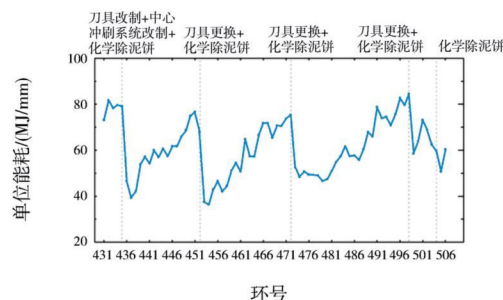
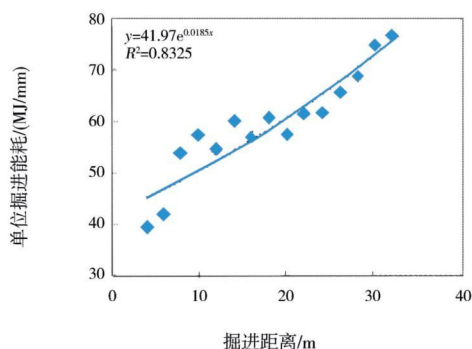


图10 单位掘进距离盾构平均能耗

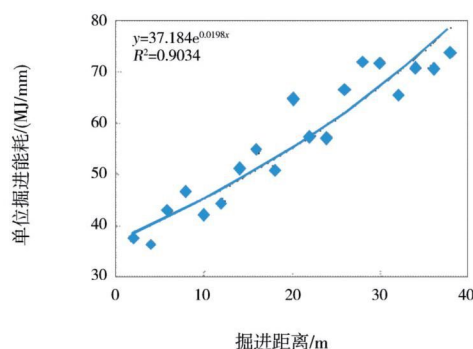
Fig.10 Average energy consumption per unit advancing distance

另外,从图10还可以看出,在优化措施节点之后,随着推进距离的增长,泥饼重新淤结,刀具、刀盘由于贯入度降低而发生磨损,盾构的掘进效率衰减,单位掘进能耗显著上升,并呈现明显的指数上升趋势。通过回归分析,可定量得出单位掘进能耗的升高特性。图11(a)和图11(b)分别为两次相似的改进措施之后(435~451环段和453~472环段),单位掘进能耗随推进距离增加而逐渐增加的关系。

从回归公式可以看出,在具体优化措施之后,单位掘进能耗以 $e^{0.019x}$ 为系数增加;推进35 m,单位掘进能耗增加到优化措施后的2倍,回到优化之前水平,需要重新实施分散剂除泥饼,并及时对刀具进行更换。



(a) 435~451环段掘进耗能增加回归分析



(b) 453~472环段掘进耗能增加回归分析

图 11 优化措施实施后单位掘进能耗与掘进距离关系曲线

Fig.11 The relationship between energy consumption and advancing distance after taking the optimization measures

5.4 优化措施效果

通过一系列针对性优化措施的实施,盾构的掘进效率得到了明显的改进。盾构掘进速度从3环/d,提高到了6环/d。刀具的更换频率显著降低,复合地层周边刀的换刀间隔也从20环提高至50环。盾构在复合地层的掘进速度从每月平均推进50环提高到了月平均推进100环,单月最高104环。图12为引入优化措施前后,皮带机的出碴情况。从图中可以看出,经过一系列优化改进,出碴量明显增加。



(a) 256环出碴情况



(b) 438环出碴情况

图 12 优化措施实施前后的出碴情况

Fig.12 Mucking before and after taking the optimization measures

6 结论和展望

本文结合超大直径常压刀盘盾构在复合地层中掘进的特点,分析总结了在复合地层中盾构施工可能遇到的问题,综述了目前的技术措施,通过案例分析说明,超大直径复合地层盾构施工仍然面临诸多问题与挑战,其中刀盘易结泥饼和刀具易磨损是至今尚未解决的两大难题。依托武汉三阳路复合地层盾构隧道的建设,提出了具有针对性的优化措施,得到的成果与结论如下:

(1) 结合推进试验数据,对常压可更换刀盘上刀具的布置、刀具的类型以及刀具材料设计进行了优化,有效降低了刀具在复合地层中的磨损速度。

(2) 针对复合地层结泥饼问题,提出了中心冲刷系统改制、压注泥岩分散剂液除泥饼等措施,有效清除了泥饼,增大了刀具贯入度,提高了盾构推进速度。

(3) 通过对施工监测数据的参数分析,施加针对性措施后,掘进效率显著放大2.1倍。

(4) 结合武汉三阳路长江隧道施工实践,本文形成了复合地层盾构施工的关键技术,成功解决了粉细砂,泥岩和砾岩复合地层施工的难题,顺利完成了工程施工。

采用常压换刀的方式虽然在一定程度上解决了刀具更换效率低的问题,然而常压刀盘也有开口率小、刀具数量少的固有问题。将来在复合地层盾构选型中,应该着重对常压刀盘的设计进行优化,扩大刀盘开口率,减小泥饼产生的风险。同时,研发兼有清洗功能的刀盘刀具特种全息探测装置,建立信息化的管理系统,有效降低掘进过程换刀频次,提高掘进效率。

参考文献

References

- [1] 王恒, 程桦, 许榕. 复合地层盾构施工土仓压力对地表沉降的影响[J]. 安徽建筑, 2012, 19 (3): 96-97.
WANG Heng, CHENG Hua, XU Rong. Effect of Soil Chamber Pressure on Surface Displacement under Condition of Shield Construction on Complex Strata[J]. Anhui Architecture, 2012, 19 (3): 96-97.
- [2] 竺维彬, 鞠世健. 盾构施工泥饼(次生岩块)的成因及对策[J]. 隧道与轨道交通, 2003 (2): 25-29.
ZHU Weibin, JU Shijian. Causes and Countermeasures for Mud Cake(Secondary Rock) during Shield Construction[J]. Tunnels and Rail Transit, 2003 (2): 25-29.
- [3] 田宝恩, 张志鹏, 韩晶, 等. 泥水平衡盾构施工中刀盘泥饼的形成机理和防治措施[J]. 石油天然气学报, 2012 (4): 309-311.
TIAN Baoen, ZHANG Zhipeng, HAN Jing, et al. Formation Mechanism and Countermeasures for Mud Cake in Cutterhead during Construction of Slurry Balance Shield[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012 (4): 309-311.
- [4] 徐国平, 胡敏润, 欧继峰. 土压平衡盾构泥饼成因及防治措施[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2011(21).
XU Guoping, HU Minrun, OU Jifeng. Causes and Countermeasures for the Mud Cake during Construction of Earth Pressure Balance Shield[J]. Urban Construction Theory Research, 2011(21).
- [5] HEUSER MICHEL, SPAGNOLI GIOVANNI, LEROY PHILIPPE, et al. Electro-osmotic Flow in Clays and Its Potential for Reducing Clogging in Mechanical Tunnel Driving[J]. Bulletin of Engineering Geology & the Environment, 2012, 71 (4): 721-733.
- [6] 韩伟锋, 陈馈, 周建军, 等. 滚刀常压换刀技术研究[J]. 隧道建设, 2015, 35 (12): 1351-1355.
HAN Weifeng, CHEN Kui, ZHOU Jianjun, et al. Study on Replacement of Disc Cutter under Atmospheric Condition[J]. Tunnel Construction, 2015, 35 (12): 1351-1355.

On Driving Strategy of the Shield Machine with Atmospheric Cutterhead in Mudstone Strata

ZHOU Wenbo WU Huiming ZHAO Jun

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

Abstract Shield tunnelling in mudstone strata confronts severe challenges like low advancing efficiency and high cutter wear rate. Cutter replacing under atmospheric pressure improves the efficiency of cutter replacement and evades the risk of cutter replacement under high pressure, but this inevitably brings about a more serious problem of cutterhead clogging caused by mud cake which accelerates the cutter wearing progress. Based on the river-crossing tunnel at Sanyang road of Wuhan city, it studied the encountered technical problems and corresponding countermeasures during tunnelling, summarized and evaluated the effect of optimization of cutting tool configuration, reform of central flushing system and mud cake removing by chemical way on improving efficiency of shield driving by a parametric analysis on the monitoring data at site. The results show that the method mentioned in this paper can effectively improve the efficiency of tunnel driving, reduce the frequency of cutter replacement and the risks of shield downtime.

Keywords Super-large diameter shield; Cutterhead in atmospheric pressure; Mudstone stratum; Driving strategy; Cutter replacement technique; Cutter wear; Mud cake removing by chemical solution