

大直径泥水盾构系统管理与典型故障分析

李小岗¹, 李胜利², 牛学臣¹

(1. 中铁隧道集团北京地下直径线项目部, 北京 100045; 2. 北京铁路局地下直径线工程建设指挥部, 北京 100045)

[摘要] 通过对北京地下直径线大直径泥水盾构机典型故障的分析, 提出了相应的处理办法和预防措施。同时通过对油样分析, 有预见性地对盾构机进行维护保养, 客观上使盾构机完好率得到了保证。并在施工过程中引入了“零库存”和工厂化管理等一套科学的设备管理理念及方法, 提高了盾构机完好率, 保证了盾构机的正常施工。

[关键词] 盾构; 故障; 诊断; 管理; 技术

[中图分类号] U455 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)12-0051-05

1 前言

盾构机的完好率直接影响盾构施工的进度。快速诊断盾构故障、排除故障、恢复掘进是盾构快速施工的必然要求。如何提高盾构机的完好率, 是科研人员一直思考的问题。

2 盾构系统管理

2.1 盾构管理的一般规定

1) 盾构施工必须实行专业化管理。关键岗位作业人员(包括盾构操作、管片拼装、注浆、管片吊运、电瓶车司机等)必须经过专业培训, 不得随意更换。

2) 加强掘进压力管理、出碴量管理及注浆管理, 严格控制掘进引起的地层沉降, 确保周边环境安全。

3) 加强设备的日常维修、保养, 并做好记录; 发现故障及时修理, 严禁违章操作或带故障工作, 确保设备能长期、稳定使用。

2.2 刀具管理

1) 盾构施工必须做到有计划换刀, 盾构换刀方案(包括换刀位置、换刀方式、安全措施等)应尽量严密周全, 必要时经专家论证, 报批后实施。

2) 每次人员进舱前必须通知项目部, 经项目部各部门审核, 并报项目经理批准后实施, 进舱情况(包括进舱检查的图片资料)随后报项目部。

3) 每次实际更换刀具的类型、数量及磨损情况必须现场确认, 资料齐全完整。

4) 对换下的刀具原则上应修复再使用, 对不能修复使用的刀具应登记。

2.3 油水分析与故障诊断

油液监测能有效判断机械设备产生磨损故障的原因及部位, 并能够及时发现油质劣变原因和污染状态, 使设备长期处于良好的润滑状态, 减少故障发生概率。

2.3.1 油液监测技术

油液监测技术主要包括3方面的内容: 颗粒磨损分析、污染检测与控制 and 品质监测等。

1) 颗粒磨损分析。简单检测法。从油底壳、回油管路中取出少许油, 涂在手指上, 用手指和拇指捻磨。如果感到油中有杂质或像水一样无粘稠感, 甚至发涩或有酸味, 机油已经变质。如果捻磨后在手指上能见到细小闪亮的金属磨削, 则说明发动机存在比较严重的磨损部位, 同时也说明油液必须立刻更换。

铁谱分析。这是一种借助磁力将油液中的金

[收稿日期] 2010-08-15

[作者简介] 李小岗(1971—), 男, 重庆市人, 工程师, 主要从事隧道及地下工程方面的施工及研究工作; E-mail: lixiaogangshi@163.com

属颗粒分离出来,并对这些颗粒进行分析的技术。

光谱元素分析。可测量油液中磨损金属、污染元素及添加剂的成分及含量。连续监测可以得出部件摩擦副的磨损趋势及润滑油添加剂的消耗情况。

PQ 指数。可测量油液中铁磁性颗粒的含量,一般与光谱元素分析配合使用,提高故障探率。

2) 污染检测。导致润滑油失效的主要原因是污染。常见的参考指标有颗粒计数、滤膜分析、漆膜倾向指数(VPR)等。通过颗粒计数器定期监测污染度等级,并采取对应措施。

3) 品质监测。润滑油品质监测包括油品理化分析及添加剂使用性能变化趋势监测,以确保润滑油能满足设备的使用要求。常见的指数有色度、粘度、水分、闪点、总酸值、总碱值、不溶物、残碳、倾点、水分离性、泡沫特性、铜片腐蚀、氧化安定性、积碳、FTIR、锥入度、滴点、四球试验等。

2.3.2 油样分析

1) 设备磨损。机械设备的磨损是不可避免的,其磨损过程一般分为3个阶段:磨合磨损、稳定磨损和剧烈磨损。引发设备出现异常磨损的主要原因如下:零部件本身质量的原因;装配原因;用油不当,如牌号选用不对或在原来的油液中添加了与之不相溶的油液;油液劣变导致品质下降,不能满足设备润滑要求;环境应力或机械应力过大;设备维护不当。

常见的油样异常如下:

疲劳磨损颗粒油样:通过对电机减速箱齿轮油进行取样检验。铁谱分析照片见图1,照片显示油样中含有约200个小于 $30\ \mu\text{m}$ 的疲劳磨损颗粒,说明减速箱内可能有机械部件疲劳运转,有局部磨损,设备保养时应及时重点检测、更换,并进一步分析磨损的原因。

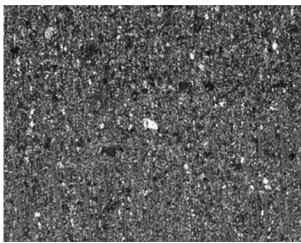


图1 电机减速箱铁谱分析图

Fig.1 Analytic ferrographic map of motor deceleration box

切削颗粒油样:通过对主驱动减速箱内齿轮油进行取样检验。铁谱分析照片见图2,照片显示油样中有少量正常磨损颗粒、个别小于 $35\ \mu\text{m}$ 的粘着颗粒和个别切削颗粒等(见图2)。说明构件内部装配质量不可靠,可能有切屑磨损现象发生,对此应立即检修。

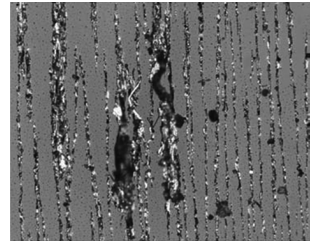


图2 主驱动减速箱铁谱分析图

Fig.2 Analytic ferrographic map of masterdrive deceleration box

2) 其他。高温影响。a. 润滑油长期处在高温环境中,会氧化失效,出现变黑、变稠的现象;b. 润滑油内部的腐蚀物增加,如发动机工作中形成的酸性物质等;c. 积炭、油泥、漆膜等物质的增加。

杂质。主要来源于空气中的尘埃、金属磨粒、渗漏物(燃油、水等)、润滑油氧化物以及燃料燃烧产生的物质等。

添加剂失效。一些润滑油因为其中的添加剂失效或用完而性能下降。例如润滑油中的抗磨剂用完,会使抗磨性下降。

粘度指数增进剂失效。因为其有机物分子长链断裂,不再具有增粘作用。

基础油失效。基础油是添加剂的载体,基础油失效则添加剂不会发挥作用^[1]。

2.4 盾构配套管理

直径线盾构工程采用“零库存”管理模式,其目标为:彻底消除无效劳动和浪费;库存量最低(零库存);准备时间最短(零准备时间);资金占用率最低;减少零件搬运,搬运量;设备损坏率最低。

“零库存”所必需的条件:充分发挥北京地下直径线地处城市中心区的地域优势,最大限度地整合社会资源;做好充分的市场调查和协调,最大限度地丰富信息资源,并得到供应商的支持和配合;设备计划维护保养,“无预见零故障”;需要高频次的补货^[2]。

2.5 工厂化管理

1) 建立健全管理制度,实行架子队管理工作模

式,以标准化促管理。

2)推行内部承包,狠抓工序衔接,实现生产的程序化。盾构施工主要由管片生产、机械设备的维修保养、盾构掘进三大部分组成,其中盾构掘进是整个生产过程的龙头,包括主机的掘进、管片的运输与安装、管线的延伸以及泥水处理系统等施工工序,各工序间相互配合作业才能保证生产的有序化。采取了两个措施:一是推行内部承包责任制;二是实行工序负责制,狠抓工序衔接。

3)立足岗前培训、加强过程监督,实现作业的标准化。实行“三不放过”原则:不掌握盾构机工作原理和性能不放过、不掌握安全操作规程不放过、不掌握岗位职责不放过。

4)以阶段性工期为重点,实现管理的目标化。为了保证按期完成施工任务,制定了阶段性目标,紧紧抓住各阶段的重点工作,合理配置各种资源,实行有序管理,确保了各项工作顺利完成。

5)抓住关键环节控制成本,实现成本最低化。在前期施工准备期间,对成本进行预测分析,制定合理的成本控制标准。同时对施工中实际发生的耗材量进行核算分析,制定耗材量。

3 典型故障诊断

3.1 刀盘卡死

3.1.1 刀盘被卡原因分析

1)循环不充分或泥浆粘度过大。掘进结束后,如果循环时间过短,开挖仓内碴土没有排净,拼装管片时大粒径卵石及未排干净的碴土会沉积在开挖仓底部,再次转动刀盘时,刀盘受到的摩擦阻力矩较大,当超过其自身的额定最大扭矩时,刀盘被卡住。

当膨润土浆液浓度过高时,停止掘进后,高浓度泥浆会在开挖面形成一层较厚的泥膜,刀盘刀具可能被嵌入泥膜中,加上开挖后泥浆中沉淀下来的一些碴土,使得刀盘旋转的阻力矩较大,造成刀盘不能旋转。

2)盾构刀具磨损严重。盾构机在砂卵石中掘进时,地层对盾构刀具磨损较严重。刀盘磨损会导致扭矩突然增大,当大于其安全扭矩时,刀盘停止旋转,造成再次启动困难。

3)停止掘进后刀盘旋转时间太短,停机扭矩过大。一方面,停机位置地层中与刀盘接触的部分砂石未被切削下来;另一方面,已经切削下来的较大

卵石因为刀盘停止旋转不能随膨润土悬浮液(泥浆)排出开挖仓沉积下来。这会对刀盘再次启动造成困难。

4)地层产生变形。保压过程中地层可能产生变形压迫刀盘,使刀盘启动摩擦力矩较大,造成刀盘卡死。

3.1.2 解决办法及预防措施

1)解决办法。

a. 可以通过泥浆循环系统和冲刷系统对开挖仓及刀盘反复进行冲刷,然后转动刀盘,顺时针逆时针各试几次,也可以将刀盘旋转按钮打到脱困扭矩模式下启动刀盘。

b. 通过泥浆循环系统反冲模式冲刷沉积在开挖仓下的碴土,然后再通过正常的循环模式排出开挖仓内的碴土,然后转动刀盘。

c. 将推进油缸全部缩回,缩回长度不能太大,使盾构向后退一些,刀盘刀具离开开挖面,然后顶紧油缸旋转刀盘(此种方法可能会对盾尾密封刷造成意外损坏,需谨慎使用)。

2)预防措施。

a. 解决泥浆浓度不合理造成的刀盘被卡问题,必须合理配置泥浆浓度,既能很好地在开挖面形成泥膜,又不会因泥膜太厚而使刀盘被卡。

b. 发现刀盘扭矩、掘进推力等参数不正常时带压进仓检查刀具磨损情况,必要时更换刀具。

c. 掘进结束后,让刀盘继续旋转直到刀盘扭矩降到安全值以下再停止。

d. 盾构停止掘进保压期间,每隔2~3h转动一次刀盘,刀盘有转动即可停止,以免过度扰动地层。

3.2 盾尾渗漏主要原因及解决方法

1)同步注浆压力设定不合理。注浆压力设定不合理可能会击穿密封刷而引起漏浆现象。

措施:在施工过程中要合理设定每个管路的注浆压力,控制每根管路的注浆量,确保每条管路注浆量不要过大或过小,并控制总体注浆量在理论范围内。

2)开挖仓泥浆压力过高。掘进或保压过程中,气垫仓气体压力设定过高从而使开挖仓泥浆压力过高可能会破坏密封刷而发生渗漏。另外,掘进过程中操作泥浆循环系统时,若排浆泵或破碎机隔栅处被较大的石块堵塞造成排浆量突然降低,而进浆流量没有及时调低会使气垫仓液位突然升高进而开挖仓泥浆压力也随之突然增大,泥浆压力瞬间增

大可能会击穿尾刷而泄漏。

措施:合理设定注浆压力和掘进压力。

3)盾尾油脂量和压力不足。

盾构掘进过程中,密封刷内的油脂压力将达不到设定压力,势必造成盾尾渗漏。

措施:采用高粘度优质油脂;注脂压力设定值比同步注浆压力略高;若发生盾尾渗漏将渗漏部位手动局部注入油脂。

4)管片拼装错台过大。

a.管片错台过大,尤其是纵向错台,会使盾尾刷不能严密包裹整环管片,盾尾刷与管片之间会出现薄弱环节,虽然掘进时盾尾刷与管片之间有油脂,但在较高的注浆压力与泥水压力作用下很可能击穿盾尾刷而泄漏。

b.管片拼装时盾壳内可能有异物,小石块,废铁块等被拼在管片下面,盾构向前推进时异物很可能被刮蹭到盾尾刷处毁坏密封刷造成漏浆现象。

c.盾构姿态不正确。掘进纠偏时操作不当,使盾构机对管片产生偏压现象,一侧盾尾间隙过大另一侧过小,盾尾间隙过小会使盾尾刷受到过度挤压而发生弹性形变。盾尾刷一旦失去弹性,变形无法恢复将不能有效起到密封作用造成渗漏。

措施:盾构机掘进过程中一定要严格控制纠偏量不能过大,一般控制在每米5 mm左右为宜。

3.3 尾刷损坏

3.3.1 损坏原因

1)盾构姿态不好,管片挤压、摩擦尾刷严重。

2)管片安装时成椭圆形或错台现象,盾尾刷不能完全包裹管片,形成渗透通道,在较高的注浆压力和泥水压力等作用下导致水、沙、泥浆进入尾刷密封仓室腐蚀、损伤尾刷。

3)管片安装工艺不合理,致使相邻管片相互挤压破损后混凝土块进入尾盾损伤密封刷。

4)注浆压力设定值过高,浆液击穿尾刷进入密封仓内,损伤、腐蚀尾刷。

5)泵入盾尾的密封油脂在单位时间内不能满足其消耗量,不能及时密封盾尾,造成尾刷的密封效果减弱,水、沙、泥浆侵入盾尾损伤密封刷。

6)盾尾密封刷长期受管片挤压后产生塑性变形而失去弹性,也会导致密封性能下降,在压力作用下导致浆液渗漏。泥水盾构停止掘进时,开挖舱内有泥水的压力作用,管片组装时很易导致盾尾轻微后退,损坏密封刷。

3.3.2 尾刷更换

1)更换地点的选择及注浆。盾尾密封刷更换地点应尽量避免在软土层内及地下水丰富的区段,最好选择在加固区进行更换,这样可以保证盾构长期停机不会导致地面沉降,同时在到达更换地点前,加强盾构同步注浆量,到达更换位置后对尾盾后部2-5环管片进行二次补强注浆,如遇地下水丰富,须要注双液浆对尾盾后方的管片进行加固,包裹管片以减少泥水渗入。

2)尾盾密封刷更换时管片拼装方式。针对北京直径线盾构机的设计,第一道、第二道密封刷可以更换。更换时需要拆除已经拼好的管片,采取管片错位更换的方法依次进行盾尾刷的更换。以F1型拼装为例,如图3(a)所示。

a.盾构掘进1150 mm(油缸行程1750 mm),此时管片位于第一、第二道密封刷上方,停止掘进。拆除管片K、B1、B2块,如图3(b)所示,更换K块、B2、B1块位置的盾尾密封刷。

b.将管片A6块移至原B2、K块位置,如图3(c)所示,更换A6块区域内的盾尾刷。

c.将管片A5块移至原A6块位置,如图3(d)所示,更换A5块区域内的盾尾刷。

d.依次移动管片A4-A1并更换盾尾刷,如图3(e)所示。

e.最后拼装管片B1块、B2块、K块,完成盾尾刷更换,拼装管片封环完成。

3)更换盾尾刷。

a.拆除B1、B2和K块管片,清除两道盾尾刷之间的残留油脂,在第三道盾尾刷与管片间隙填海绵条封堵。

b.用管钳将尾刷翻起,用3 mm钢板或围挡板隔开尾刷钢丝与切割部位,防止氧气乙炔切割时引燃盾尾刷上的油脂。

c.用氧气乙炔从上向下割除损坏的盾尾密封刷,现场准备灭火器,对油脂燃烧处做灭火处理,并用钢丝刷、角磨机对需要焊接的位置进行打磨,用棉纱清理从后方渗入的泥水及油脂。

d.用煤气对焊接部位预热,焊接新密封刷,最后涂抹密封油脂。

e.完成后拆除A6块管片并移动至原B2与K块位置,油缸顶紧管片防止A6管片松动。

f.依次拆除并旋转安装A5-A1管片,更换其余的盾尾密封刷,完成盾尾密封刷的更换。

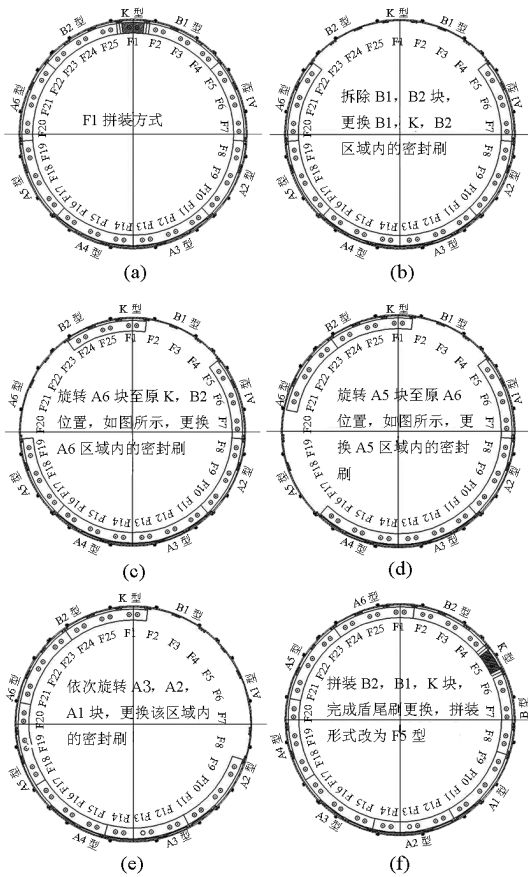


图3 F1管片拼装过程示意图

Fig. 3 Schematic of segment erection

g. 最后拼装 B1、B2、K 块完成整环拼装。

h. 更换完毕后开启注脂泵加注密封油脂至规定压力后恢复掘进。

3.4 管片拼装机故障

3.4.1 管片拼装机常见故障

1) 管片拼装机不能旋转、不能前后移动,其他功能都正常。

2) 在主控室故障显示吸盘位置超过 220°,引起管片拼装机不能工作,其实际位置没有超限。

3) 管片拼装机安全条件显示真空条件不满足。

4) 拼装机大臂油缸不能工作。

3.4.2 故障原因分析

1) 管片拼装机不能旋转、不能前后移动。故障的原因为:其一,控制管片拼装机旋转和移动的 PLC 模块故障,模块的熔断器损坏及模块内部损坏都将

引起管片拼装机不能动作。若是熔断器损坏,将其更换即可;若是 PLC 模块故障,更换 PLC 模块即可。其二,真空吸盘上的传感器故障同样引起管片拼装机不能动作,检查与传感器联接的销子是否有问题,一般情况都是销子内的弹簧失效,不能继续使用,更换后即可。另外,销子磨损严重造成销子上感应信号灯失灵,传感器不能有效接收到信号。解决办法是更换定位销或用砂纸打磨光滑使定位销上信号灯能正常显示。其三,管片拼装机制动传感器故障,只需更换传感器就能排除故障。其四,拼装机行走设备梁边缘接触到限位传感器使拼装机不能旋转,只需将拼装机后移一点然后将限位传感器复位即可。

2) 管片拼装机安全条件显示真空条件不满足。在管片拼装过程中,经常出现拼装机不能旋转和前后移动,在管片拼装机安全条件上查看得知真空条件不能满足,但是,检查真空压力及吸附管片时的密封条件,都没有问题,通过观察 PLC 自动控制程序,发现 MVT - MOVE 这一条件不满足,最后发现在真空吸盘上有一选择管片类型的传感器有故障。

3) 管片拼装机大臂油缸不能工作。经检查发现油缸上行传感器不能正常伸缩,只需将其拆掉调节其灵敏度便使其能正常工作^[3]。

4 结语

通过对盾构机典型故障的分析处理,盾构机完好率从前期 60 % 提高到了 85 % 以上,保证了盾构机的正常掘进施工。同时,通过油样分析,有预见性地对盾构机进行维护保养,客观上使盾构机完好率得到了保证,“零库存”和工厂化管理等一套科学设备管理理念的引入,把盾构施工真正推向了机械化、工厂化、专业化、信息化,极大地丰富了科学规范管理和标准化管理内涵。

参考文献

[1] 周文新,许桂春,刘学工.履带装备的三维油液分析[C]//第七届全国摩擦学大会会议论文集(一).兰州,2002.
 [2] 蔡淑琴.物流信息系统[M].北京:中国物资出版社,2003.
 [3] 陈 馈,洪开荣,吴学松.盾构施工技术[M].北京:人民交通出版社,2009.

(下转 64 页)