

TBM 隧洞项目中的设备、施工及劳动组织管理

安清泉

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川成都 610072)

摘要: CCS 输水隧洞是目前厄瓜多尔最长的引水隧洞,引进德国 HERRENKNECHT AG 公司生产、直径为 9.1 m 的双护盾全断面硬岩掘进机进行机械化施工。从设备维修保养、施工管理、劳动组织三个方面介绍了相关的管理要求,强调了科学管理在大型机械化施工中的重要地位。

关键词: 输水隧洞;TBM;设备管理;施工管理;劳动组织管理;厄瓜多尔

中图分类号: TV7;TV554

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2014)04-0055-05

1 概述

CCS 输水隧洞长度为 24.823 km,隧洞沿线地质条件复杂。根据隧洞穿越的围岩结构分类,Ⅱ类围岩约占隧洞总长的 60%,主要为隧洞中部迷萨华林地层的安山岩体;Ⅲ类围岩约占隧洞总长的 20%,岩体以层状结构为主,质量中等,包括进口段花岗侵入岩和浩林地层的砂岩、页岩;Ⅳ类围岩约占隧洞总长的 20%,分布不连续,主要为断层及其影响带。

经过多次专家论证,最终决定 CCS 输水隧洞采用双护盾硬岩全断面隧洞掘进机掘进,玛蒂技术有限公司皮带输送系统出渣,6+1 管片全断面衬砌的施工方

案。隧洞设计为圆形断面,开挖直径 9.1 m,成洞直径 8.2 m。隧洞出口段于 2012 年 9 月 21 日正式掘进,至 2013 年 11 月 30 日,除去设备检修、1# 皮带安装、错车平台安装、皮带加力站安装等,平均日进尺为 23.12 m,最高日进尺为 46.9 m,平均月进尺为 703 m,最高月进尺为 1 000.41 m,创造了双护盾硬岩全断面掘进机施工的南美最高记录、同类机型世界第三的最高纪录。笔者在现场施工中认识到:只有先进的设备、完善的配套设施与科学严谨的施工组织管理相结合,才能充分发挥 TBM 快速掘进的性能。

2 设备管理

2.1 组织管理

项目部制定了《CCS 输水隧洞出口段 TBM 设备管理办法》,建立了项目部总工程师→TBM 作

业部→领班工程师→施工作业组的设备管理组织体系,完善了点、线、片、面、整体管理,逐层分工负责的岗位责任制原则。对从设备组装到维修保养都制定了严格的规章制度,实行标准化作业、程序化管理。

2.2 组装管理

TBM 单件重量达 105 t,拼装场地的承载力为 300 kPa。组装设备主要有:2×200 t 龙门吊车 1 台,3.5 t 伸缩臂叉车 2 台,20 t、40 t 平板拖车各 1 辆,25 t、50 t、75 t、160 t 汽车吊各 1 辆。TBM 组装顺序:安装前护盾部件→主轴承→支撑护盾→主推油缸和后护盾电机→皮带机前半部分和下料槽→安装刀盘和主轴承连接→撑靴盾油缸→安装所有的辅推油缸和主驱动电机→伸缩盾顶块→外盾顶块和连接油缸→尾护盾→管片安装器和超前钻→主机辅助设备→连接桥→1 号后配套上的辅助设备→2~9 号后配套上的辅助设备→液压及电气设备→风水电→皮带机等设施。设备组装前,项目部邀请国内有关专家和技术人员编制了《双护盾硬岩掘进机组装施工组织设计》,制定了详细的组装工艺和操作细则。中方工作人员在 HERRENKNECHT AG 公司技术人员指导下,花费了 9 周时间,顺利完成了 TBM 的组装调试工作。由于 TBM 设备功能块较多,操作要求严格,组装时我们严格按 HERRENKNECHT AG 公司提供的技术规范操作,按照 HERRENKNECHT AG 公司的要求分两班(12 h)进行组装,同时分四个工作面进行组装工作,并认真接受外方技术人员的指导。

收稿日期:2014-07-07

2.3 维修保养管理

施工过程中,必须对设备进行全面、规范化的维修保养。认真实施预防性保养是降低设备故障率的前提,可以减少机械设备的维修次数,从而减少不必要的停机。

2.3.1 主轴承的维护

主轴承是 TBM 最重要的部件之一,润滑条件对其使用寿命影响极大。主轴承润滑分三个独立的回路,油箱和油泵分离,必须经常检查其密封情况,防止串油。注意定期检查气动油脂泵的工作状况,定期更换润滑油。主轴承的维护是 TBM 设备维护的重点,由液压工程师负责实施。

2.3.2 刀具的检查及更换

刀具是 TBM 的主要部件,必须定期检查、更换,以延长其使用寿命。每个掘进班两个循环检查一次刀盘,发现渣中有金属构件或刀盘区域有异常的噪音、气味时,应立即停机检查刀盘,检查的重点是中心刀和边刀。

根据刀具磨损规律,刀具组负责人制定了详尽的刀具更换及调位计划,及时更换达到磨损量或损坏的刀具,尽量避免在掘进过程中更换刀具。刀具修理人员及时修复损坏的刀具并保证其装配质量。

2.3.3 除尘风机的维修与保养

除尘风机故障对施工影响很大。由于粉尘增多,激光穿透力减弱,进而影响管片的安装、轨道的铺设和掘进方向的调整。洞内能见度降低,管片安装工作无法与掘进同时进行,既延长了停机等待时间,同时对施工人员的身体健康造成危害。

将除尘风机列入重点维修保养范围,定期检查除尘电机的工况,及时清洗滤网。

2.3.4 管片安装器的维修与保养

管片安装器故障对施工进度影响巨大。由于管片安装器长期进行管片安装,掘进速度的快慢决定管片安装的速度,维护人员每天必须对其进行机械、液压、电气的保养工作。

2.3.5 管片运输设备的维修与保养

管片运输设备包括:管片快速卸载器、管片吊机、管片喂片机。

管片快速卸载器工况的好坏决定管片的卸载速度及小火车运输速度。维修人员每天必须对其

进行液压系统、电气系统、遥控系统的保养工作,检查机械系统是否处于正常的工作位置。

管片吊机每天从事管片吊装任务。管片吊机每天至少吊运 140 片管片、12 根轨道、50 根钢支撑,任务非常繁重,维修人员每天必须进行机械、液压、电气、遥控、轨道的维修保养工作。

管片喂片机输送管片的快慢决定管片的安装速度。维修人员每天必须进行机械、液压、电气、遥控系统的保养工作,每隔 6 个月更换一次喂片机的耐磨块。

2.3.6 灌浆系统的维修与保养

TBM 管片安装完成后需对管片进行豆砾石、砂浆、水泥浆的回填,输水隧洞成型洞质量的好坏,其决定因素在于回填灌浆的好坏。

豆砾石回填系统由空压机、豆砾石上下料系统、豆砾石泵、输送管道系统组成。维修人员必须进行机械、液压、吊装、电气、管道的保养工作。豆砾石管道由于长期运行需经常更换,每班设专职人员进行更换和维修。

砂浆系统按照每两环进行灌注。每天维修人员必须进行灌浆泵、灌浆罐、吊机、灌浆管路、电气系统的保养工作。掘进班根据工作要求及时清洗灌浆罐及管路。

水泥浆回填系统设置在 7# 台车。维修人员每天必须进行机械、吊机、管路、电气的保养工作。

2.3.7 皮带运输系统的维修与保养

洞内外皮带运输系统包括:1#、2#、3#、4#、5# 出渣皮带系统、皮带机控制柜、皮带加力站系统。

洞内主机皮带运输系统包括:1#、2# 皮带系统。每班维修人员必须检查皮带、托辊、刮渣板、液压、刚桥架、电气设备的工作状况并及时更换配件。

洞内外 3#、4#、5# 出渣皮带系统担负主要的出渣运输工作,每班维修人员必须进行皮带的清洗检查、皮带托辊更换、托辊架、电气系统的检查工作,在皮带运行时及时处理皮带跑偏、皮带吊链调整的工作。

洞内皮带加力站系统承担皮带张力拉紧的工作。维修人员每班必须进行电机、传感器、皮带的维护工作。

其它部位的维修保养。在维修保养中,将电

气设备的绝缘防护等做为重点保养对象,并对其它设备做一般预防性保养。

2.4 设备管理要领

(1)科学制定并严格执行设备维修保养计划,坚持定期保养、定期维护,实现制度化、规范化管理。

(2)加强设备故障统计和分析研究工作,减少常规性故障的发生,提高故障诊断能力,发生故障后能够及时排除。

(3)加强设备状态检测和油水检验管理,特别是对主电机工作状态进行检测及主轴承润滑油进行检验。

(4)根据设备配件消耗规律,制定合理的购置计划,在满足使用要求的前提下,尽量使用国产配件,以降低工程成本。

3 施工管理

TBM施工时开挖、出渣、运输、衬砌等工序平行连续作业,要求洞外配套设施的能力必须满足TBM掘进的需要并且布局合理。TBM施工工序较多,必须编制实施性施工组织设计,制定关键工序作业指导书,加强工序衔接,确保施工的连续性。

3.1 洞外配套设施的管理

根据TBM的施工特点,结合列车编组顺序和运输方式,将刀具修理车间、砂浆拌合站、豆砾石堆放区、机修车间、管片堆放区等配套设备沿运输轨道成条形布置,达到各工序协调动作的目的,保证管片运输及材料供应的连续性。

3.2 洞内施工管理

TBM隧洞施工是以掘进作业为核心,以掘进、衬砌、皮带出渣、管片和材料运输为主要作业,轨道延伸、通风、供电、供水、排水等为辅助作业进行的,它具有并行性、协调性、连续性和密集性等特点,从而决定了TBM施工组织管理技术上的特殊性。为此,在TBM施工组织管理方面主要采取了以下技术措施:

(1)根据TBM的施工特点,建立各作业工序间的合理关系;

(2)确定TBM施工管理的主要内容、方法和措施;

(3)建立TBM施工作业计算机分析决策系

统,利用该系统对作业性能和数据进行分析,找出影响作业性能的因素,提出提高掘进速度和掘进机利用率的具体措施。

3.2.1 开挖

TBM掘进每循环进尺1.8 m,平均循环时间为25~40 min。受围岩类别、节理发育程度等影响,循环时间最短为25 min,最长为1 h,循环时间与围岩类别有较大关系。

施工中发现,岩石抗压强度为68~90 MPa、节理发育而又不致坍塌的围岩是TBM掘进的最佳施工条件。开挖管理作为施工管理的重要环节,其核心是掘进参数的选择和掘进方向的控制。

TBM工作模式:TBM分双护盾和单护盾工作模式。TBM操作手必须根据TBM自身的状态和围岩条件决定TBM的工作模式,一般情况下应遵循以下原则:

①双护盾:适用于围岩成洞条件较好、掌子面或已开挖段无大面积塌方、无卡机或伸缩护盾换步困难。

②单护盾:适用于围岩成洞条件差,如岩石强度弱、收敛变形大、破碎或大量涌水,致使TBM控制困难或支撑掌无法正常工作。

TBM的掘进参数:TBM操作手须根据TBM自身状况和围岩条件确定合适的掘进参数,并遵循以下基本原则:

> 主推力:单护盾 $\leq 20\ 000$ kN,双护盾 $\leq 25\ 000$ kN

> 刀头转速 ≤ 5.5 r/min

> 扭矩:单(双)护盾 ≤ 6 MN·m

> 掘进速度:单(双)护盾 $\leq 80\sim 90$ mm/min

> 贯入度:单(双)护盾 ≤ 15 mm/r

> 主推和辅推油缸行程差:单(双)护盾 ≤ 60 mm

> 80%的原则:任何情况下,TBM掘进参数以在最大容许值的80%以内为宜

> 油缸压力:一般情况下,油缸压力 ≤ 150 bar;如果围岩条件差,应降低油缸压力

> 支撑靴油缸:①单护盾:由于围岩条件差,采用单护盾掘进。在管片安装期间,为避免TBM向前滑行,应采用支撑靴并降低压力以稳定TBM;②双护盾:一般情况下 ≤ 250 bar,调整该压

力,使 TBM 稳定,易于管片安装。

上述参数均互相影响,增加某个系数可能会导致其他参数下降。因此,操作手必须综合考虑,权衡利弊,确定合适的参数值。

3.2.2 出渣

出渣采用连续皮带方式。皮带机分为 1#主皮带、2#皮带、3#皮带、4#皮带、5#皮带,洞外由 25 t 自卸车运输转运到主渣场的方式。

3.2.3 管片衬砌

管片衬砌安装时间的快慢决定 TBM 掘进的快慢。该 TBM 采用 6+1 左右型管片,管片分为 D、C、B 型,根据掘进期间围岩的类别,选择合适的管片型号;另外,TBM 配备了豆砾石回填输送泵、水泥砂浆输送泵、回填灌浆系统等足够的支护设备,但在通过断层破碎带、软弱、涌水带等特殊地质地段时停机时间过长,制约了 TBM 掘进速度的发挥。

3.2.4 支撑管片的安装及轨道延伸

支撑管片的安装利用管片吊机起吊,人工定位,每块约需 7~8 min,每安装 6 块支撑管片需延伸一次运输轨道。

以上工作与掘进同时进行,若工序衔接处理不好,将会占用循环时间。施工中必须加强洞外行车调度的联系,以保证支撑管片及延伸材料的及时供应。

3.2.5 施工测量

TBM 掘进方向由 VMT 激光导向系统控制。该系统能够不间断地提供 TBM 所处位置与隧洞设计轴线的偏差,并将其显示在操作室的控制单元上,主操作手根据这些信号调整 TBM 的掘进方向和姿态。

VMT 导向系统每 70 m 前移一次。此项工作在停机保养时间进行,不占用循环时间。施工中可将 TBM 主机位置与 VMT 建立联系,相互校核以减少测量误差,从而控制掘进偏差。

3.2.6 通风除尘

通风由 $\varphi 2.4$ m 主风筒供给,通过后配套尾部的储存风筒经过接力风机送到 TBM 各个工作区域。除尘通过刀盘喷水和除尘装置实现,净化后的空气作为清洁空气吹入隧洞。

掘进期间,通风、除尘系统一直处于工作状

态。施工中注意检查风筒有无漏风现象,检查并清除除尘风机的过滤网罩。

3.2.7 风、水、电管路的延伸

风筒储存筒内存有风筒 500 m,TBM 自带 $\varphi 200$ 供水水管 50 m、 $\varphi 300$ 排水管 50 m,20 kV 高压电缆 500 m,均盘在卷筒上施工中随后配套系统的前移,风、水、电管路自动向前延伸。每天维修班根据掘进长度安装 $\varphi 200$ 的供水管路。

4 劳动组织管理

TBM 机械化作业的特点要求施工企业必须将有限的人力资源进行科学合理的配置,充分发挥员工的生产积极性。

4.1 劳动力配置

在对 TBM 的管理中,始终坚持以掘进为中心配置劳动力。TBM 劳动力的配置按照分工协作、各个工种紧密配合、每班执行无缝交接、落实到每个人每个岗位,做到人尽其责。

隧洞内分两班掘进(16 h)、一班维修保养(8 h),管片生产按流水作业方式进行,机修车间实行两班工作制。

掘进班(每班):主副 TBM 操作手 2 人,值班工程师 1 人,班长 1 人,副班长 1 人,安全工程师 1 人,测量 1 人,管片安装 6 人,管片运输 4 人,豆砾石回填及砂浆灌注 5 人,后配套回填灌浆 8 人,伸缩盾清渣 2 人,机械、液压修理 2 人,电工 3 人,刀盘工 2 人,轨道、皮带、风筒延伸 7 人,错车平台调度 1 人,合计 47 人。掘进班负责掘进过程中的所有工作。维护班 48 人,负责刀具检查、更换及其它维修保养工作以及掘进工作。洞外运行班 78 人,负责管片装卸、运输及材料的供应。另外,刀具修理 6 人,洞外皮带组 8 人,轨道维护和风筒维护 6 人。

机修车间 30 人,负责钢支撑及其它材料的加工,洞内水管制作、电路的延伸、材料的制作以及各类行走机械的保养、维修等。

发电厂 10 人,负责所有施工面、营地的供电工作。

重机部 24 人,负责洞外洞渣的转运工作。

TBM 作业部所属的行政、技术、安检、调度、医疗、保安、生活等管理人员共有 28 人,生产人员计为 304 人。

4.2 安全环保

TBM 掘进的快慢与安全紧密相连。针对该 TBM 地下隧洞施工安全,我们建立健全了以下各项安全措施:

> 洞内各个班组设置专业安全工程师,每天定期检查各个工作面的设备安全、员工劳保发放情况。

- > 制定了小火车安全操作和板车维护规程。
- > 制定了皮带运行安全操作规程。
- > 制定了轨道维护保养和风筒维护规程。
- > 制定了施工区及生活区用电管理规程。
- > 制定了洞内逃生舱管理规程。
- > 制定了洞内消防、有害气体防范规程。

环境保护历来都是工程的重中之重:我们在厄瓜多尔原始森林施工,对环境保护的要求更加严格,由此项目部制定了以下各项规章制度:

- > 洞内油水排放制度。
- > 洞外垃圾堆放区域管理制度。
- > 废旧材料堆放管理制度。
- > 渣场环境治理制度。

(上接第 47 页)

2.5 港口联合验货

(1) 查验 TBM 包装件数是否正确,有无漏发、少发的现象。因为 TBM 是一套大型、复杂的施工设备,具有一洞一机性,是典型的非标设备,制造周期长,发运包装件数可达 100 多件。所以,需要仔细核实发运数量是否齐全,尤其是关键部件是否到齐,避免二次发运而耽误 TBM 的安装。如有少发漏发现象,需做好记录并经三方签字确认。

(2) 查验 TBM 部件包装是否完好,有无磕碰损坏。按照国际保险业的习惯,海运保险基本险采用的是"仓至仓条款",即保险责任自被保险货物离开保险单所载明的起运地发货人仓库或储存处所开始生效,直至该项货物到达保险单所载明目的地收货人的仓库为止,但最长不超过被保险货物卸离海轮后 60 d。TBM 海运保险和内陆运

5 结 语

TBM 作为一种崭新的施工技术,对施工企业的管理提出了更高的要求。施工中必须加强现场组织调度工作,制定严格的操作规程和岗位职责,协调好各工序的关系,只有这样,TBM 高速安全的优势才能够发挥出来。笔者认为:在今后的工作中,还应注意以下几点:

- (1) 针对不同的地质条件,做好组织管理和技术上的准备,确保 TBM 连续作业。
- (2) 加强设备的维修保养工作,提高机械的利用率。
- (3) 做好各项统计工作,为 TBM 今后的施工积累资料。
- (4) 继续优化劳动组合,建立一个高效的管理、服务、生产系统,逐步发挥 TBM 大型机械化施工的优势。TBM 施工作为一门崭新的管理技术、工程技术,具有广阔的发展前景。

作者简介:

安清泉(1964-),男,北京市人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。 (责任编辑:李燕辉)

输保险往往是由不同的保险公司承保,因此,需在 TBM 被运离目的港仓库之前对每一个包装件进行检查,以区分各家保险公司的责任。三方联合检查既可明确责任,又能发现有问题的部件,有利于及时做好补救措施。

CCS 项目清关小组在 TBM 到达瓜亚基尔仓库后,邀请保险公司及 TBM 供货商技术人员逐一对照 TBM 部件进行查验、拍照并完整记录了整个检查过程。

3 结 语

项目部通过合理策划、精心准备组织、多方沟通协调、认真验货,把握住了清关活动中的每个细节,达到了 TBM 快速通关、节约工期、降低港口仓储成本等目的。

作者简介:

陈天武(1979-),男,浙江玉环人,工程师,从事清关、设备物资供应和管理工作。 (责任编辑:李燕辉)