

敞开式 TBM 施工的安全风险与采取的应对措施

邢阿龙, 陈文杰, 王红葵

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 611130)

摘要:近年来,敞开式 TBM 因其具有的施工速度快、安全性高、隧洞成形好、对围岩扰动小等优点已在国内外工程建设中得到大规模推广与应用。敞开式 TBM 因其固有的设备配置和施工特点,导致其在施工过程中可能发生的安全风险与钻爆法开挖存在显著的区别,亦对其安全管理工作提出了新的挑战。通过对敞开式 TBM 施工特点进行分析,结合实际施工管理经验,对敞开式 TBM 施工所面对的设备安全风险、不良地质风险、职业健康风险及其所采用的应对措施进行了总结与分析,可为类似工程安全管理工作提供参考。

关键词:敞开式 TBM;隧洞;安全;风险;应对措施

中图分类号:U231+.3;[U25];U231

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)增 1-0090-03

Analysis on Safety Risk of Open TBM Construction and Corresponding Countermeasures

XING Along, CHEN Wenjie, WANG Hongyan

(Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611130)

Abstract: In recent years, open TBM construction has been widely promoted and applied in China and abroad due to its advantages of fast construction speed, high safety, good tunnel formation and small disturbance to surrounding rock. There are significant differences in possible safety risks between TBM and drilling blasting method in the construction process due to the inherent equipment configuration and construction characteristics of open TBM, and that poses new challenges for safety management. This paper summarizes and analyzes the equipment safety risk, adverse geological risk, occupational health risk faced by open TBM construction and the corresponding countermeasures based on analysis of the construction characteristics of open TBM and the actual construction management experience, which provides reference for safety management on similar projects.

Key words: open TBM; tunnel; safety; risk; countermeasures

1 概述

全断面隧道掘进机(Tunnel Boring Machine, 简称 TBM)具有施工速度快、安全性高、隧洞成形好以及对围岩影响小等优点,已经成为世界上隧洞开挖的主要方法^[1]。其中敞开式 TBM 硬岩掘进机集机械、电器、液压、自动化控制等专业于一体,主要由主机区、设备连接桥、后配套三大部分组成,与护盾式 TBM 相比,其安全防护设备和可用支护措施较少,对于不良地质条件的适应性较差,更适用于硬岩掘进。

敞开式 TBM 作为目前世界上先进的地下隧洞开挖设备,相比传统的钻爆法开挖施工,其在大埋深长隧洞开挖方面具有施工安全、进度快、成型好、自动化程度高、环境污染小、工厂化施工等诸

多优点,适用于长、大隧洞施工。

但敞开式 TBM 设备本身也具有部分不利于安全管理的特点,给作业过程中的安全管理工作带来了极大的考验和挑战。具体如下:

(1)敞开式 TBM 支护系统主要布置在两个区域(即 L1、L2 区),需在不同区域完成不同的支护内容。

(2)敞开式 TBM 施工人员分工细,个人环境差异大。敞开式 TBM 施工时,工人专业分工明确,设备操作、支护施工、清渣辅助等所有人员工作岗位和责任清晰而明确。不同的岗位处于设备的不同部位,个人的施工环境差异明显。

(3)敞开式 TBM 对地质条件依赖性强。如敞开式 TBM 本身在处理围岩破碎带、软/硬岩、地应力高、突涌水、岩温高等不良地质条件时,常

收稿日期:2021-09-13

常只能依靠现有的锚网喷+钢拱架的临时支护系统,可供选择的应对措施较少,如需进行设备改造,则需耗费大量的时间和费用。

2 敞开式 TBM 施工所面对的安全风险与采取的应对措施

2.1 安全风险与应对措施

敞开式 TBM 施工管理的整个过程包括设备的设计与制造、现场组装、掘进、拆机等 4 个大的阶段,其中 TBM 掘进阶段是持续时间最长、安全风险最大的阶段,设备设计与制造阶段和现场组装阶段亦会对敞开式 TBM 掘进阶段的安全工作造成较大影响。

在敞开式 TBM 施工段,除了按常规项目管理需要开展安全生产管理工作外,还需要针对敞开式 TBM 设备和施工特性分阶段开展有针对性的安全管理工作。

(1)设备设计与制造阶段。敞开式 TBM 设备的选型和设计不仅决定了敞开式 TBM 在施工过程中能否发挥正常的施工功能,而且直接影响其施工阶段安全风险发生的概率。在该阶段,应重点通过各次设计联络会,在充分理解或掌握土建施工图纸和 TBM 施工段地质条件的基础上,全面识别项目可能存在的各种风险,对敞开式 TBM 的各项功能提出具体的要求,尽可能地在其出厂前完成优化,并通过设备监造以确保 TBM 的生产质量并解决预组装过程中发现的装配问题,从而提高设备的适应性。

(2)现场组装阶段。在敞开式 TBM 现场组装阶段,重点应关注现场组装安全、装配精度和质量。由于在敞开式 TBM 现场组装过程中涉及较多特大件吊装和电、焊、压力容器等多项特种作业工作,施工现场亦需大量使用香蕉水进行清洁工作,因此,需要重点加强特种作业、高空作业和消防安全管理;对于涉及危大工程或超过一定规模的危大工程,需要编制专项方案并进行专家论证^[2]。

(3)掘进阶段。在敞开式 TBM 掘进阶段,开挖完成且未及时支护的不稳定围岩会对 TBM 上的设备和人员造成安全威胁。因此,需要严格按照经审批的专项方案进行施工,在不良地质段应根据现场需要加强支护,在特殊情况下(如岩爆)甚至需采取停机等待或根据需要配置超前灌注一体机、微震监测仪器等设备以完善支护或监测措施。

(4)拆机阶段。敞开式 TBM 拆机阶段与敞开式 TBM 组装阶段的安全管理工作类似,主要仍为做好拆机洞室的开挖与支护、大件吊装、大件运输和特种作业、高空作业、消防安全等管理工作。

2.2 不良地质风险及采取的应对措施

在工程准备期,详细、可靠的地质资料是 TBM 工程成功的基本条件,选择先进合理、制造质量可靠的 TBM 装备是 TBM 施工项目顺利完成的关键因素之一^[3]。不同的不良地质条件将会为敞开式 TBM 施工带来不同的影响,断层、软弱破碎带、软岩、突涌水和高地应力会分别导致围岩出现塌方、大变形、涌水、岩爆而带来较大的安全隐患,对设备、工程和施工人员均会造成安全威胁。

(1)针对断层、软弱破碎带、软岩和高地应力导致的围岩塌方、大变形、岩爆等情况采取的应对措施:①需要严格按照设计要求及时进行支护,及时联系参建各方进行围岩变更并确定进一步的加强支护参数,甚至对处理方案进行专家论证。②现有的支护工艺或材料不能有效解决不良地质条件可能造成的安全威胁时,可以考虑采用新材料、新工艺。如应对岩爆,可积极采用纳米喷射混凝土、钢纤维或防钢纤维喷射混凝土、涨壳式中空预应力锚杆、柔性钢筋网等,并积极探索进行超前应力解除爆破的措施和实施的可能性。③及时进行超前地质勘探、微震监测等超前勘探,探明掘进前方的地质状况,并在后续施工前做好应对措施和方案,严格落实“不探不掘”的强制性条文要求。

(2)针对突涌水采取的应对措施。较传统钻爆施工,TBM 设备价值较高,不能快速转移,故隧洞允许的水位高度有限并要求排水及时,从而加大了排水系统布置的难度^[4]。因此,对敞开式 TBM 施工段排水系统的布设应慎之又慎。①施工前,应根据水文地质资料编制抽排水专项施工方案,并在施工过程中严格按审批后的方案要求安设抽排水系统。②如遇超设计涌水量的突发涌水,则应根据实际涌水量及时调整应急抽排水方案,并据此布设抽排水设备以确保涌水及时排出,降低风险并避免损失扩大。③采用有效的超前探水(如激发极化法探水)措施探测掌子面前部存在突涌水的可能性,并根据探测结果和设计代表出具的剩余洞段最大涌水量核实原抽水专项施工方

案是否需要调整和重新编排。④对抽排水设备和供电系统的稳定性、抽排水富裕能力和洞内各个水仓容量进行评估和严格的论证,确保具有足够的应急能力;建议组织专家论证敞开式 TBM 反坡施工段的抽排水方案。

2.3 职业健康风险及采取的应对措施

敞开式 TBM 作为一个现代化的大型设备,在设计、制造过程中已充分考虑到设备操作人员的职业健康安全,配备了具有良好密闭性能的主机室和休息室等。但敞开式 TBM 存在的粉尘大、气温高、湿度大、震动大等工况决定了刀盘维保人员、L1 区施工人员、喷混凝土设备操作手等大部分设备操作人员和施工人员的工作环境会比较恶劣。因此,一定要做好操作人员和施工人员职业健康安全风险的防护工作。

(1) 灰尘大。敞开式 TBM 的机械破岩机理决定了其施工过程中将会产生很多灰尘。敞开式 TBM 设备设计时,虽然采取了刀盘喷水 and 除尘风机等降尘措施,但仍难以避免部分灰尘外溢到施工区域,特别是护盾处密封损坏、刀盘喷水或除尘风机出现故障时,设备区灰尘将会很大,将会引起各种类型的肺部疾病,如尘肺病。

(2) 振动大且持续时间长。敞开式 TBM 在掘进施工过程中伴随着持续的振动,随着工作时间的增加,TBM 设备振动趋于严重,其振动幅度与围岩强度及完整性、掘进参数、设备减振系统效果有关;现场人员长期处于振动环境下,其腰部脊柱和与之相连的神经系统会受到影响^[5]。

(3) 噪音大且持续时间长。敞开式 TBM 设备因本身的震动、钻机打钻、设备运行等因素产生噪音。长时间的高噪音工作环境对员工的听力系统、内分泌系统、心血管系统和中枢神经系统伤害较大,并会在心理上造成一定的影响,引起多种类型的心身疾病。

(4) 上下班路途远、时间长。对于超长隧洞敞开式 TBM 施工,单程上下班需要 2 h 或更长时间;加之必须在敞开式 TBM 设备上值班和交接班,导致其路途时间加值班时间之和远超 12 h,且隧洞长度越长,上下班时间越长,增加的实际上班时间越多。

(5) 高温和高湿环境。高温和高湿环境是隧道施工的常态,但由于 TBM 施工人员每天长时

间值班的实际情况,导致高温和高湿环境对员工的身体伤害较大。

(6) 有毒气体伤害风险。由于 TBM 施工人员进出较为困难,一旦出现有毒气体,人员的及时撤离将难以保证。

(7) 针对职业健康风险采取的应对措施:①配备并定期更换专用防尘口罩,可以有效应对灰尘的威胁。②敞开式 TBM 设备上配备了多种气体检测仪器,可随时监测洞内的空气状况,掘进机配有声光报警仪器,当出现有毒/有害气体或氧气含量不足时立即报警提醒。日常工作中,应加强气体检测仪器的维护,发现设备故障应及时更换;同时,设备上的应急物资仓库或救援仓应配备一定数量的防毒面具和氧气呼吸器。③配备防噪音耳塞,可以在一定程度上解决噪音问题。④主要依靠加强通风和设备上配置的空调解决高温、高湿问题。⑤对于振动问题,目前没有好的解决办法,主要采取督促承包人加强设备维保并减少在设备前部如 L1 区的活动时间来降低振动对员工的伤害。

3 结语

敞开式 TBM 设备属于定制的大型设备,实行工厂化施工与管理,其安全管理工作应以人为中心,以设备为关键点,充分考虑设备及其造就的作业环境对安全风险的影响,方可在此基础上全面做好敞开式 TBM 施工的安全管理工作。

参考文献:

- [1] 严金秀,王建宇,范文田.全断面隧道掘进机(TBM)技术发展及应用现状[J].世界隧道,1998,35(4):1-5.
- [2] 水利水电工程施工安全管理导则,SL 721-2015[S].
- [3] 刘杰.TBM 工法在煤矿斜井施工中安全防范重点及应对措施[J].煤矿安全,2017,48(增刊1):128-132.
- [4] 蒋于波,阳前坤.特长深埋 TBM 施工隧洞反坡排水施工技术[J].水利建设与管理,2017,37(1):22-26.
- [5] 机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价 第 1 部分:一般要求,GB/T 13441.1-2007[S].

作者简介:

邢阿龙(1983-),男,河南开封人,高级工程师,学士,从事水利水电工程建设施工技术及管理工

作;陈文杰(1978-),男,江苏盐城人,高级工程师,学士,从事水利水电工程建设施工技术及管理工

作;王红葵(1981-),女,山东聊城人,高级工程师,学士,从事水利水电工程建设施工技术及管理工

(责任编辑:李燕辉)