

# 降低大直径双护盾 TBM 在不良地质洞段 卡机风险的对策研究

袁艳斌, 陈维

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

**摘 要:**双护盾 TBM 在穿越断层、高地应力以及软弱地层等不良地质洞段时,围岩快速、较大的变形容易挤压护盾而导致双护盾 TBM 卡机,影响 TBM 的正常掘进,进而影响工程的工期。对西藏某公路隧洞双护盾 TBM 掘进期间四次卡机事故进行了分析,针对不良地质洞段的具体情况,从 TBM 设备选型、超前地质预报、策划地质缺陷处理措施及施工单位专业地质工程师培养等方面提出了解决措施并予以实施,降低了大直径双护盾 TBM 不良地质洞段卡机风险,使双护盾 TBM 施工的优点得到了更好的发挥。

**关键词:**降低风险;双护盾 TBM;卡机;对策研究;西藏;公路隧洞

**中图分类号:**U455;U41;U453

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2019)02-0051-03

## 1 概 述

随着国民经济的不断发展,越来越多的“大”“长”“深”山岭隧洞项目需要建设。双护盾硬岩掘进机(以下简称 TBM)凭借其掘进速度快、安全、利于环保、可实现传统钻爆法难以实现的复杂地质情况深埋长隧洞的施工、综合效益高等优点越来越多地被用于深埋长隧洞的施工。但是,双护盾 TBM 在不良地质洞段掘进时常常面临着非常大的卡机风险。一旦发生卡机事故,TBM 的工作效率将会受到非常大的影响;卡机事故若不能得到快速、有效的处理,建设施工企业将会蒙受很大的经济损失。由此可见,双护盾 TBM 掘进期间的卡机风险是制约双护盾 TBM 发挥其施工优越性的重要因素。据统计,目前国内在卡机脱困技术方面的研究很深入且很广泛,但是,对降低卡机风险的研究却很少。笔者以西藏某公路隧洞双护盾 TBM 施工卡机事故为例,就如何降低大直径双护盾 TBM 穿越不良地质洞段遭遇的卡机风险进行了对策研究,希望能对后续类似项目施工提供借鉴。

西藏某公路隧洞全长 4.7 km,使用德国海瑞克直径 9.13 m 的双护盾 TBM 进行掘进施工,预制钢筋混凝土管片衬砌。隧洞最小埋深 10 m,最大埋深超过 700 m。TBM 掘进施工从 2016 年 5 月初开始,于 2017 年 8 月底到达预定停机掌子

面,TBM 掘进隧洞总长 4.6 km,TBM 隧洞掘进总历时 16 个月(包括不良地质洞段四次卡机脱困耗时 3 个月,暴雪停工 3 个月)。

该隧洞位于东喜马拉雅构造印度大陆楔入和俯冲到欧亚大陆的前缘,由于强构造挤压应力持续作用,该地区自新生代以来发生过多期强烈构造变形,地质构造背景复杂,主要岩性为片岩和片麻岩,洞身总体以坚硬岩为主,但部分洞身段因岩体中节理裂隙发育、岩层挤压揉皱强烈,岩体破碎且强度较低,为软岩。该隧洞埋深超过 300 m 的洞段长约 3 000 m,最大埋深超过 700 m,最大主应力均超过 30 MPa,属高地应力洞段。

## 2 卡机事故的发生

2016 年 8 月初至 2016 年 10 月底,在该隧洞 TBM 掘进过程中共发生了四次卡机事故,期间累计掘进 123 m,卡机事故发生情况记录如下:

2016 年 8 月 1 日,在 K10+144 桩号位置,TBM 无法继续掘进被迫停机,通过 TBM 动作情况判断 TBM 伸缩护盾、撑靴盾及尾护盾被卡,在采取伸缩护盾至尾护盾顶部开挖卸荷的方式并配合调高 TBM 主油缸推力的方式脱困;

2016 年 8 月 14 日,在 K10+209 桩号位置,TBM 无法继续掘进被迫停机,停机后,通过进入刀盘查看掌子面情况,发现掌子面岩石情况较为良好,判断可能是由于不良地质洞段塌方导致伸缩盾及部分前盾被压,同时,由于前盾至掌子面部

分岩石情况较好但地应力较高,长时间停机期间围岩洞室变形导致前盾顶部及两侧位置被变形围岩抱死。项目部采用上述同样的方式进行脱困,在脱困的同时更换了刀盘、铲牙并采用加大扩挖半径的方式降低了后续 TBM 掘进施工卡机风险。

2016 年 8 月 30 日,在 K10+242 桩号位置,TBM 可以向前掘进但无法换步,同时伸缩护盾内盾油缸被拉断 2 根。根据 TBM 盾体外侧围岩情况及 TBM 动作情况,判断此次卡机主要是因围岩大面积塌方(前盾及伸缩护盾右侧)及局部洞室围岩收敛变形(尾盾位置)所致。

2016 年 10 月 9 日,在 K10+253 桩号位置,TBM 刀盘顶部及右侧出现塌方,伸缩护盾及前盾上部出现大块塌方体,造成伸缩护盾及前盾上部及右侧被压,尾护盾位置围岩变形且贴紧护盾,无法继续掘进被迫停机。

上述四个洞段管片错台严重且管片内侧表面均出现多处沿隧洞轴线方向发育的裂缝,部分洞段管片甚至出现表面片状剥裂、钢筋外露的现象(该现象主要发生在第三次卡机洞段)。

### 3 卡机原因分析

根据上述四次卡机过程记录进行综合分析得知,该隧洞 TBM 掘进过程中发生卡机的主要原因为:

(1)高地应力洞段,软弱围岩快速变形,其变形量到达大于围岩与盾体之间的空隙值所需的时间远远短于 TBM 盾体通过该位置的时间,最终导致 TBM 盾体被卡。以第一次和第二次卡机为例,TBM 在正常掘进过程中,由于在高地应力影响下围岩快速变形,导致 TBM 盾体在一个行程时间内迅速被卡而无法换步,必须停机处理卡机、脱困;

(2)断层破碎带与高地应力综合作用导致 TBM 在该类区段掘进时 TBM 前盾至刀盘区域往往会先遭受塌方而导致 TBM 掘进不正常,进而导致 TBM 将会有较正常掘进期间更长的检修维护时间,在高地应力作用下,撑靴盾至尾护盾区域会因软弱围岩变形而被卡,在围岩塌方及高地应力围岩变形的共同作用下,TBM 将无法继续掘进被迫停机处理卡机脱困,与此同时,此类卡机脱困处理的难度将大幅度增加,第三次和第四次卡

机均为此类情况。

(3)超前地质预报没有很好地为 TBM 掘进施工提供地质情况参考。据统计,几乎所有的双护盾 TBM 隧洞施工项目均配有超前地质预报装置,但是,由于目前超前地质预报技术尚处于发展过程中,地质预报结果的解读人员素质参差不齐,地质预报成果往往会有很大的偏差,对 TBM 掘进施工基本没有起到很好的指导作用。

(4)大多数 TBM 隧洞施工单位对超前地质预报及地质解读重视程度不够,施工项目部地质专业力量配置薄弱。另外,目前大多数 TBM 施工单位都具有丰富的卡机脱困经验,故其根本不重视 TBM 卡机的预防,导致 TBM 卡机预防知识及措施储备不足,往往导致 TBM 施工班组在掘进过程中遇到不良地质洞段时不能及时采取有效的应对措施,只能凭经验和运气快速通过不良地质洞段,进而导致 TBM 卡机的几率大大提升。

(5)TBM 配套设备的性能在进行设备选型时未充分考虑 TBM 卡机风险,导致部分设备性能不能够满足 TBM 在不良地质洞段运行的要求,导致故障频发,不能够保证 TBM 快速通过不良地质洞段,导致 TBM 卡机。以前述 TBM 第四次卡机为例,第四次卡机前,由于刀盘顶部及右侧出现塌方,刀盘出渣量突然增大,超出 3# 皮带机的额定运输能力,导致 3# 皮带机跳停且无法恢复。在处理 3# 皮带机故障期间,高地应力导致软弱围岩变形、尾护盾被卡。经事故后分析发现:围岩塌方并未导致刀盘被卡,TBM 前盾位置塌方体不足以限制 TBM 掘进,此次卡机的主要原因是 3# 皮带停机故障处理时间太长,尾护盾位置围岩变形而导致 TBM 被卡。

### 4 降低大直径双护盾 TBM 在不良地质洞段卡机风险的对策

根据上述对 TBM 卡机原因进行的分析,笔者认为:TBM 施工项目应采取以下对策用于降低大直径双护盾 TBM 在不良地质洞段的卡机风险。

(1)在 TBM 设备选型阶段,应充分考虑并结合新项目 TBM 掘进过程中可能遇到的不良地质洞段情况确定 TBM 配套设备的相关参数并设置一定的富余,尽可能地保证设备选型配置满足

TBM 在该项目不良地质洞段掘进的需求,降低因不良地质洞段设备故障或设备性能无法满足极端脱困情况需求而导致的 TBM 卡机风险。

(2)在进行 TBM 隧洞项目施工时,TBM 施工单位应提高对 TBM 卡机预防的重视程度并培养足够的、懂 TBM 施工的地质工程师,能够根据设计提供的地质资料及超前地质预报结果提前评估不良地质洞段通行风险,策划 TBM 通行措施,使施工项目部有充分准备地面对不良地质洞段,降低因施工单位本身对不良地质洞段认识不足、超前处理措施准备不足、实施不到位而导致的 TBM 通过不良地质洞段时的卡机风险。

(3)应该选择超前地质预报业界水平较高的企业并甄选有责任心的超前地质预报工作人员进行项目超前地质预报工作,确保超前地质预报结果有较高的准确度和可信度,以保证其对 TBM 后续掘进施工具有指导作用。同时,超前地质预报还应根据项目实际地质情况尽可能多地包括围岩完整情况、涌水情况、地应力情况等可能对 TBM 掘进和 TBM 设备有不良影响因素的结果,综合多方面结果确定 TBM 的掘进参数,降低 TBM 卡机风险。

## 5 结 语

当 TBM 从断层破碎带及其影响带中穿过或从断层和高地应力区软弱围岩同时存在的复杂地

(上接第 50 页)

④ 铺层厚度、碾压参数、加水量等碾压参数应符合碾压试验成果报告要求,铺料厚度误差不宜超过层厚的 10%;

⑤ 试坑取样试验质量检查项目的成果应符合设计要求;

⑥ 按规定取样所测定的干密度其平均值不小于设计值,标准差不大于  $50 \text{ g/m}^3$ 。当样本数小于 20 组时,应按合格率不小于 90%、不合格点

质洞段通过时,围岩的持续挤压作用和快速大变形一旦超过护盾与围岩之间预留的空隙量时会导致 TBM 卡机事故的发生。卡机脱困处理将严重影响工程工期,影响施工单位履约。如果我们能够从 TBM 设备选型、超前地质预报解读以及不良地质洞段超前处理等方面做好应对 TBM 通过不良地质洞段的准备,TBM 卡机的几率一定会得到有效遏制。因此,我们必须不断总结双护盾 TBM 顺利通过不良地质洞段的实践经验,不断探索降低双护盾 TBM 不良地质洞段卡机风险的对策。双护盾 TBM 具有的掘进速度快、安全、利于环保、可实现传统钻爆法难以实现的复杂地质条件下的深埋长隧洞施工、综合效益高等优点才会得到更好地发挥。

## 参考文献:

- [1] 尚彦军,史永利,等.昆明上公山隧道复杂地质条件下 TBM 卡机护盾变形问题分析和对策[J].岩石力学与工程学报,2005,24(21):3858-3863.
- [2] 温 森,徐卫亚.深埋隧洞 TBM 卡机事故风险分析[J].长江科学院院报,2008,25(5):135-138.
- [3] 温 森,杨圣奇,等.深埋隧道 TBM 卡机机理及控制措施研究[J].岩土工程学报,2015,37(7):1271-1277.

## 作者简介:

袁艳斌(1989-),男,河南郑州人,助理工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工

陈 维(1986-),男,湖北京山人,项目经理,工程师,从事建设工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

的干密度不低于设计干密度的 95%控制。

## 参考文献:

- [1] 康世荣,陈东山,等.水利水电工程施工组织设计手册[M].北京:中国水利水电出版社,1996.

## 作者简介:

冯鹏程(1984-),男,四川西充人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工

冉 念(1970-),女,四川都江堰人,高级工程师,从事水电工程经营管理工

(责任编辑:李燕辉)

## 白水江青龙水电站通过竣工验收

3月28日,成都勘测设计研究有限公司以 EPC 总承包方式承建的青龙水电站工程竣工验收会在成都召开。验收委员会一致同意青龙水电站通过工程竣工验收。竣工验收的通过,标志着青龙水电站工程建设阶段工作全部结束。青龙水电站属白水江水电规划一库七级方案中的第七级梯级电站,为引水式开发。电站首部枢纽距九寨沟县城约 11.5 公里。工程属中等规模,等别为 III 等,装机容量  $3 \times 34$  兆瓦。青龙电站于 2007 年 10 月开工建设,3 台水轮发电机组于 2012 年 6 月 1 日全部正式投入商业运行,其间经历了 2017 年“8·8”九寨沟地震、2018 年“7·11”特大洪灾,截止到 2018 年底,累计实现发电量 28.9 亿千瓦时。

(成都勘测设计研究有限公司 2019 年 4 月 2 日)