

针对不良地质条件下强制停机检修保障措施探索

杨恒准

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要 陕西省某引水工程自TBM掘进以来过程中遇到很多不良地质条件,如F7断层、突涌水、岩爆、破碎地质带等。TBM掘进过程中受高地应力、强岩爆不良地质影响最重,影响段落长,严重危及作业人员和TBM设备安全。加之高围岩强度、高石英含量,导致刀盘面板、刮渣仓、刀座、刀具磨损消耗殆尽,甚至刀盘母体、刀座出现裂纹,检修频次较同类TBM工程高。因此,不可避免地须在此等不良地段强制停机检修,以避免TBM刀盘损伤加重恶化,严重影响工程进度,甚至导致工程的失败。现对陕西省某工程多次在不良地质洞段强制停机检修成功案例进行总结,旨在为今后类似工程提供借鉴。

关键词 TBM; 不良地质; 停机检修; 强岩爆

中图分类号: TH17; TV67

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)03-0124-03

TBM是英语Tunnel Boring Machine(全断面硬岩掘进机)的简称,是通过利用自身支撑机构撑紧洞壁以承受向前推进的反作用力,使刀盘上的滚刀强行压入岩体,并在刀盘旋转推进过程中联合挤压与剪切作用破碎岩体(挤压式),或利用岩石抗弯、抗剪强度低(仅为抗压强度的5%~10%)的特点,靠剪切与弯断破碎岩体,最终形成整个隧道断面的一种新型、先进的隧道施工机械^[1]。它具有速度快、质量优、费用低、施工安全等优点,目前在国内外隧洞工程中得到广泛应用。

其中,刀盘作为TBM破岩的核心部件,其耐磨性和完好性直接关系到TBM的结构安全和施工效率,因此,就需要刀盘技术人员及时进行刀盘磨损检查,以确定停机检修洞段和检修时机。正常情况下,TBM刀盘检修作业需要检修人员进入刀盘前部,因受到支护设备和作业空间限制,检修洞段围岩支护强度会有一定限制,必须要选定在围岩完整、稳定的洞段,方能停机检修刀盘,更好地保障检修人员安全。同时,合理规划刀盘检修时段,可以延长刀盘寿命和提高TBM掘进效率。因此,当TBM掘进长时间处于不良地质洞段,恰遇需要停机检修刀盘,无法合理选定检修洞段时,为保证TBM刀盘完好性,延长刀盘寿命,就不得不非正常停机检修。

陕西省某引水工程,因具有主洞洞线长埋深大、地应力高、岩层石英含量高,TBM掘进过程中岩爆问题突出的特点。据不完全统计,该工程TBM掘进段总

长度12330.5m,其中发生岩爆洞段累计长度8404.8m,占比68.1%;总共发生岩爆47161次,中等强度11318次,强岩爆2208次。按照原设计TBM刀盘常规检修,需控制在进尺1500m~2000m开展一次即可。但受岩层高石英含量和强岩爆等问题影响,导致TBM掘进过程中刀盘磨损快,刀具、铲齿、挡渣块等部件易损伤,检修期间隔明显缩短,往往仅完成800m~1200m就需要停机修复刀盘,也导致不可避免地需要在岩爆洞段停机检修刀盘。因目前国内同类情况可借鉴案例较少,现对陕西省某引水工程TBM施工段多次在不良地质洞段强制停机检修成功案例进行总结,为在今后类似工程中作为借鉴。

1 TBM刀盘常规检修对围岩条件的要求

TBM刀盘检修要求检修人员必须在刀盘前部进行,必须将刀盘后退距掌子面约6m~10m的距离,给检修人员预留出作业活动空间。考虑到TBM掘进至选定掌子面后,为保证TBM正常后退,首先应保证TBM护盾后6m~10m范围内无阻挡护盾正常后退的障碍物,所以须提前安排护盾后6m~10m范围内暂不进行或仅进行锚杆(不能外漏过长)、网片等初期支护。

TBM停机段的选定,在施工过程中须由具有一定经验的人员依据掘进参数,并通过观察皮带出碴岩块大小和碴量,揭露围岩稳定情况,以及通过刀盘刀孔观察掌子面刀迹完整情况,提前根据地质情况确定停机桩号。同时,须提前结合设计勘探地质资料,利用

超前地质预报,以及实际揭露围岩地质情况、围岩特性,选择围岩完整性较好且处于稳定状态的洞段作为最终的 TBM 停机段,并利用微震监测预报系统,探查停机段微震活动情况,降低刀盘前部预留作业区岩爆风险。^[2]

2 TBM 在不良地质段强制停机检修的原因

2.1 不良地质对 TBM 刀盘的影响

由于该工程掘进段围岩表现为高围岩强度、高石英含量,同时加上高地应力、强岩爆等不良地质条件影响,刀盘部件在掘进过程中损伤较为严重,主要表现为:“铲齿座变形及焊缝开裂、挡渣板掉落、V 型耐磨块、刀盘面板耐磨块、刀座磨损严重等情况”。若不能及时停机检修,刀盘随着磨损的日益加剧,刀具异常损坏被动更换的情况逐步增多,会进一步增加了铲齿母座、V 型耐磨块、刀盘面板被磨损的风险,甚至伤及刀盘母体后,会对刀盘造成不可修复的质量缺陷。

2.2 刀盘修复的必要性

TBM 刀盘的易磨损件主要包括铲齿与铲齿座、挡渣块、滚刀、V 型块、刀盘面板、耐磨条以及人孔盖板等,以上部件无论任何一个或多个受损,其他正常部件都会受到直接或间接影响,会加快受损速度和异常损坏概率。如果刀盘易磨损件能够得到及时修复,既可以降低刀盘整体损伤程度,又可以避免被迫停机修复风险,进而提高 TBM 掘进速度。

1.V 型耐磨块主要作用是保护刀具,防止滚刀被砸。及时修复后,可降低在不良地质条件下掌子面出现的大块石导致面刀的异常损坏概率。

2. 铲齿安装在铲齿座上,作用是将隧道底部的岩渣铲起,随着刀盘旋转滑落皮带机运出洞外。及时修复后,可快速将刀盘与掌子面之间的岩渣铲出,避免大量岩渣留存在刀盘前端,加重刀盘部件磨损。

3. 及时修复铲齿座,可减少铲齿螺栓的掉落,并可降低掘进时被迫停机处理铲齿座变形、开裂等情况。

4. 挡渣块的主要作用是可防止刀盘前大石块从铲齿座位置挤到刀盘后,其及时得到修复可有效避免大块石挤到刀盘后,直接进入皮带系统,砸伤皮带,堵塞下渣口。

5. 及时修复滚刀刀座,可减少滚刀螺栓的掉落,可有效避免滚刀异常损坏,进而大大降低刀具检修所占用的工序时间。

6. 刀盘面板耐磨块(条),其表面焊有耐磨钢板,能很好地提高刀盘耐磨性,可使刀盘母体免受磨损。及时修复后,可避免岩石直接对刀盘母体的磨损,产生不可挽救的质量缺陷,严重影响刀盘使用寿命。

3 针对不良地质条件下 TBM 强制停机隐患及应对措施

3.1 不良地质洞段强制停机检修安全隐患

一般情况下,只有当 TBM 长时间处于不良地质条件影响下,又遇刀盘受损严重而不得不选择停机的情况下,才会被迫冒着巨大的安全风险选择在不良地质洞段强制停机检修。

在不良地质洞段强制停机检修作业势必会存在非常高的安全隐患。因 TBM 停机检修作业,须提前安排护盾后 6m~10m 范围内暂不进行或仅进行简单的锚杆(不能外露过长)、网片等初期支护,支护强度相比较弱。然而,在不良地质洞段围岩仅采用简单支护或不支护的方式,围岩是很难维持自身稳定的,且在 TBM 后退过程中,以及后退完成后,因受空间等条件限制,很难在组织人员设备进入刀盘前部进行支护加强,从而极易发生大范围塌方安全事故。刀盘前部预留作业区的围岩由于不能及时支护或不支护,刚好又处于不良地质洞段,发生大范围塌方的可能性大大增加,安全隐患大,由此将会带来不可估量的损失。

3.2 不良地质洞段安全防护应对措施

该工程 TBM 施工段,因 TBM 掘进过程中一直受岩爆影响,存在塌方隐患,现场出露护盾围岩已采用 H150 型钢拱架+钢筋排+钢筋网片+随机中空锚杆的联合支护形式加强支护。考虑到 TBM 停机后刀盘须倒退 6m~10m,在刀盘前部预留检修作业空间,就必须要将已经支护的支护体系进行拆除。但考虑到支护体系的拆除风险非常之高,参建单位多次召开强制停机支护措施及安全风险评估会,最终选定停机桩号并制定了具体施工方案,即:决定对原有支护体系进行拆除,以便于刀盘后退,即按照“塌腔排危,锚网喷护,拱架逐榀拆除,TBM 逐榀后退,持续安全监控”的原则,保证 TBM 在不良地质洞段强制停机检修作业安全。

现重点对 TBM 在不良地质洞段强制停机检修前,原支护体系拆除及停机后刀盘前方围岩加强支护施工方案做主要说明。

3.2.1 原支护体系拆除与二次支护

首先,应先将紧邻第 1 榀拱架的钢筋排、钢筋网片等初支体系进行拆除,过程中全圆拱架支护段支护体系背后塌腔内的孤石、碎块,采用人工利用长杆件撬动清理。对于块石块径 $\geq 1\text{m}$ 、厚度 $\geq 0.5\text{m}$ 且无法撬动清理时,在棚架防护下,采用冲击电钻打眼,电动风镐由钻眼中将块石胀裂分块清除。再人工配合 TBM 自带的拱架安装器,拆除第 1 榀钢拱架。

其次,对塌腔区域初喷射厚度5cm的C20纳米纤维混凝土封闭塌腔基岩,待强度满足要求后,在塌腔内及周边挂设 $\phi 6\sim 10@20\times 20\text{cm}$ 钢筋网片,塌腔外围岩体完整区域按照环向间距1.0m施做“L”型 $\Phi 25$ 砂浆锚杆,塌腔内施做 $\Phi 25$ 中空随机锚杆以锁固破碎岩体,可视围岩情况增设格栅拱架。

最后,对塌腔区域进行复喷至10cm厚(塌腔内喷混凝土一般不会直接影响刀盘后退,可根据实际情况增厚)。塌腔外周边区域亦进行喷混凝土封闭,厚度不超过5cm(塌腔外喷射混凝土厚度不应影响刀盘正常后退)。

按照上述措施,以每一榀钢拱架为一个循环,依次拆除原支护体系并同步完成二次支护。施工过程中应有安全员全过程管控,并使用微震监测系统、围岩变形监测等措施加强安全监测。

3.2.2 刀盘前方未支护区域围岩加强支护

TBM后退到位后,于刀盘前方搭设脚手管架作业平台,岩体拱部 180° 范围内以及掌子面进行二次喷射C20纳米纤维混凝土10cm厚做加强支护,以确保刀盘检修施工安全。

3.2.3 施工流程图

围岩支护结构拆除及同步二次支护作业,应按照以下施工流程组织施工,每完成一个循环后,回到“拆除塌腔范围钢筋排等非圆拱架支护材料”开展第二循环作业,直至TBM刀盘后退至既定位置。

3.2.4 检修期间的变形监控

安排专人随时观察和注意围岩和喷混凝土表面变化异常情况,加强围岩收敛和应力量测;同时测量人员必须加强围岩的变形量测,设2组量测点(量测点布设在同断面上),观察点位间的变形率。同时,当听到围岩内部有闷雷似的声响时,须尽快撤离人员躲避一段时间,等待岩爆平静。

4 强制停机检修采取措施实际效果

该工程TBM施工段,在微震活跃,高地应力,随时都有岩爆发生的不良地质洞段内强制停机检修,期间局部喷混凝土薄弱,漏喷部位,仅出现小片石迸溅,掉落情况,并未发生过一起安全事故。在确保作业人员设备安全的条件下,顺利完成了此次TBM检修任务,为后续TBM掘进提供了很好的设备性能保障。

关于TBM停机段的选择时,可引用超前地质预报,如TRT、TSP、HSP-T水平声波超前地质预报系统、高分辨电法探测、红外探测、地质雷达等超前探测方式,以及配合微震监测系统,实时监控作业区域内微震活

动情况,再结合掘进参数、出渣情况、围岩特性,对掌子面前后围岩做出较为准确的判断,从而为TBM停机段选择提供可靠的依据。该工程所采用的微震监测系统、TSP系统进行超前地质预报,微震监测系统监控微震动态,预测岩爆发生概率及等级,就取得了很好的成效。

关于刀盘后退和刀盘前部预留作业区内的原支护体系的拆除与二次支护,按照“塌腔排危,错网喷护,拱架逐榀拆除,TBM逐榀后退,持续安全监控”的原则,充分利用TBM自带拱架安装器拱架拆除,自带钻机锚杆安装,人工铺设网片,自带应急喷混系统C20纳米纤维混凝土施工,具体的支护参数可视情况而定,可很好地保证原支护体系拆除过程与停机检修期间的作业安全。

当然该引水工程TBM施工段,不良地质问题主要体现在岩爆方面,对于其他不良地质条件下停机检修尚不能确定该方案是否可行。建议:若遇到地质稳定性极差,地质问题复杂洞段,会存在支护体系复杂且拆除难度增加,安全风险不易控制情况。因此,宜组织召开专家安全评估会,集思广益,群力群策,制定详细有效可行的施工方案,确定安全情况下方能停机检修。

5 总结

综上所述,在遇到不良地质条件且刀盘磨损严重时,尤其针对岩爆洞段,是可以通过合理的技术措施和施工手段安全实现停机检修作业的。因此,采用TBM掘进工法施工的工程,当TBM设备机况不佳,刀盘受损严重急需停机检修,而此时TBM又正处于地质不良洞段时,首先应结合设计勘探地质资料,可引用超前地质预报,探明掌握TBM掌子面前后地质情况,为TBM停机段的选择提供可靠的依据,极力选择围岩完整性较好且处于稳定状态的地段再进行TBM设备检修。如必须在不良地质洞段停机检修的情况下,应事先做好停机段支护技术论证,选用合理的支护形式,保证TBM停机检修期间的安全。

参考文献:

- [1] 李玉武,王丙坤.永昌隧道地质分析及预防措施[J].科协论坛:下半月,2013(01):13-14.
- [2] 曹协,张军.TBM工法在台格庙矿区大埋深、长距离斜井井筒施工中适应性的研究[J].内蒙古煤炭经济,2014(01):163-165.