

节理密集带地质硬岩 TBM 刀盘损坏形式及对策

黄文鹏

(中铁隧道股份有限公司, 郑州 450001)

摘要: 为解决硬岩 TBM 在硬岩节理密集带地质段施工时, 刀盘刀具损坏严重、施工效率低下、施工成本增加问题, 针对中天山铁路工程硬岩 TBM 节理密集带现场施工情况, 分析刀盘刀具的主要损坏形式及主要原因, 并采取相应的改进措施, 使硬岩 TBM 在节理密集带地质段掘进顺利进行, 保证了施工进度, 降低了施工成本, 对类似工程具有一定的借鉴作用。

关键词: 中天山隧道; 节理密集带; 硬岩 TBM; 刀盘; 损坏形式

DOI: 10.3973/j.issn.1672-741X.2012.04.028

中图分类号: U 455.3

文献标志码: B

文章编号: 1672-741X(2012)04-0587-07

Study on Damage of Hard Rock TBM Induced by Tunneling Through Joint-densely-developed Hard Rock Section and Countermeasures

HUANG Wenpeng

(China Railway Tunnel Stock Co., Ltd., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: When hard rock TBM drives through joint-densely-developed hard rock section during the construction of Zhongtianshan railway tunnel, the cutter head and cutting tools are seriously damaged, the driving efficiency is lowered and the construction cost is increased. The modes and causes of the damage of the cutter head and cutting tools are analyzed and countermeasures are proposed. In the end, successful driving through the joint-densely-developed hard rock section is achieved, the construction schedule is guaranteed, and the construction cost is reduced. The paper can provide reference for similar projects in the future.

Key words: Zhongtianshan tunnel; joint-densely-developed section; hard rock TBM; cutter head; damage mode

0 引言

在特长硬岩隧洞工程中, TBM 法具有其他施工方法无可替代的优越性。工程实践表明, TBM 法具有掘进速度快、工作效率高、施工安全性好、施工作业环境好和隧道成型好等优点。国内有关专家学者对硬岩 TBM 施工技术进行了研究^[1], 对硬岩 TBM 掘进与管理^[2], 破岩刀具管理^[3]、磨损失效^[4]与受力分析^[5], 刀具的质量控制、维修^[6]和刀具异常磨损识别分析^[7]等分别提出了相应的观点和见解。在长大隧道施工通过围岩破碎带等特殊地质段时, TBM 由于受自身设计的限制, 往往会出现不适宜的情况^[8]。张学军等^[9]、邓青力^[10]分别提出了软弱围岩和节理密集带围岩 TBM 施工技术。

TBM 在围岩自身强度高且节理发育密集的围岩破碎带施工时, 由于受围岩节理的影响, 岩体整体结构

不稳定, 垮落大量大块岩石。对 TBM 在该围岩段施工的刀盘刀具损坏以及采取的应对保护措施的研究相对较少。目前, 正在施工的吐库二线中天山铁路特长隧道, 采用敞开式硬岩掘进机 TB880E 施工。中天山隧道地质复杂, 通过多种围岩地质段, 其中 TBM 累计穿越花岗岩地段节理密集破碎带 4 条, 石英眼脉发育的砂岩夹片岩节理密集破碎带 1 条。在 TBM 穿越节理密集破碎带施工中, TBM 刀盘刀具损坏概率大大超出一般地质段, 成为严重制约 TBM 施工生产进度和增加施工成本的主要因素之一。针对 TBM 刀盘刀具损坏问题, 施工现场及时分析和总结, 并在施工过程中采取相应的措施, 取得了良好的效果。

1 中天山特长隧道节理密集带岩性特征

1.1 花岗岩节理密集地段岩性特征

花岗岩节理密集地段围岩软硬不均, 抗压强度为 90 ~ 134 MPa, 节理十分发育, 自身稳定性较差, 地应力

收稿日期: 2012-05-17; 修回日期: 2012-06-05

作者简介: 黄文鹏(1973—), 男, 河南上蔡人, 1993年毕业于华东交通大学机械设备管理专业, 本科, 工程师, 从事硬岩 TBM 生产管理工作。



(a) 磨损和变形



(b) 破损

图4 刀盘面板损坏形式

Fig. 4 Damage of panel of cutter head

4.3 刀孔磨损、裂纹

由于岩面石块较多,破岩滚刀刀孔受到大块岩石的撞击、摩擦和挤压,磨损加剧,过大的冲击外力和振动致使刀孔磨损开裂。

4.4 破岩滚刀安装母座挤压变形

刀盘前方石块对刀具的冲击力和挤压力经刀具传递到刀具安装母座,使刀具安装母座挤压变形概率增加;特别是高刀号刀位,刀具线速度比较高,受到的冲击力和振动较大,破岩刀具安装母座的变形尤为严重(见图6)。

4.5 刮渣刮刀变形和脱落

刀盘前面大块岩石的撞击力超出刮刀连接螺栓的自身强度时,刮刀连接螺栓断裂失效,致使刮刀受力不均,最终导致刮刀变形或脱落。这种情况发生概率较大,严重影响刀盘出渣效率。如果发现或处理不及时,刀盘刀具损坏会加剧,可导致刮刀安装座严重磨损或脱落,不能再安装渣仓刮刀,致使刀盘出渣效率较低及功能严重丧失,也给刀盘修复带来困难。

4.6 刮渣刮刀安装座变形、磨损和断落

刮刀受到岩石冲击力过大或者刮刀脱落没有及时发现或处理,会直接导致刮刀安装座严重磨损或断裂脱落(见图7),渣仓刮刀彻底失效,致使刀盘出渣效率较低及功能严重丧失,刀盘前面大块岩石堆积更多,刀盘工作环境状况进一步恶化,刀盘刀具损坏更加严重。



(a) 刀具轴承损坏



(b) 刀圈弦磨



(c) 刀圈断裂



(d) 刀体砸坏



(e) 刀具安装螺栓断

图5 刀具损坏形式

Fig. 5 Damage of cutting tools

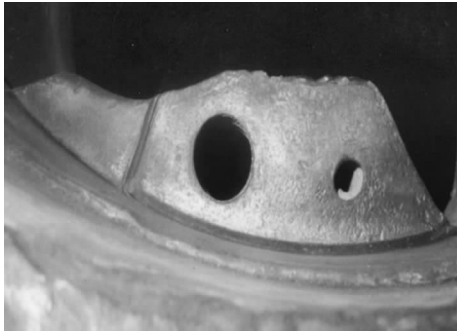
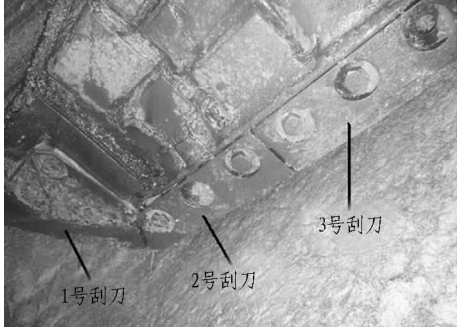


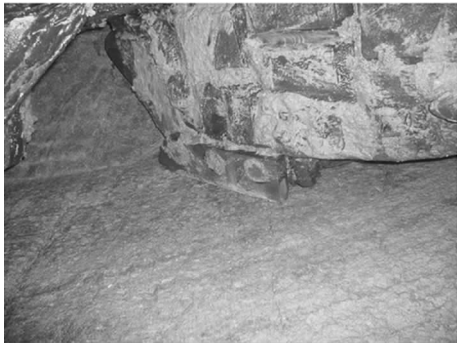
图6 滚刀安装母座变形
Fig. 6 Damage of seat of disc cutter



(a) 正常刮刀



(b) 1,2号刮刀座严重磨损变形



(c) 3号刮刀座断裂脱落

图7 刮刀座损坏形式

Fig. 7 Damage of scraper seat

4.7 刀盘碴仓磨损、裂纹和破损

经刮碴刮刀进入碴仓的大石块对刀盘碴仓进行撞击,同时刀盘前方的石块对刀盘面板产生的冲击力和振动也传递到碴仓,另外碴仓和碴斗之间的工作间隙较容易被石块卡住,综合各因素会导致碴仓磨损、开裂

和破损(见图8)。



(a) 碴仓出口主筋板冲击挤压破损



(b) 碴仓入口冲击挤压破损

图8 碴仓损坏形式

Fig. 8 Damage of muck chamber

4.8 刀盘左侧护盾破损

刀盘刮刀刮碴时,石块撞击、挤压和摩擦左侧护盾,造成左侧护盾损坏(见图9)。

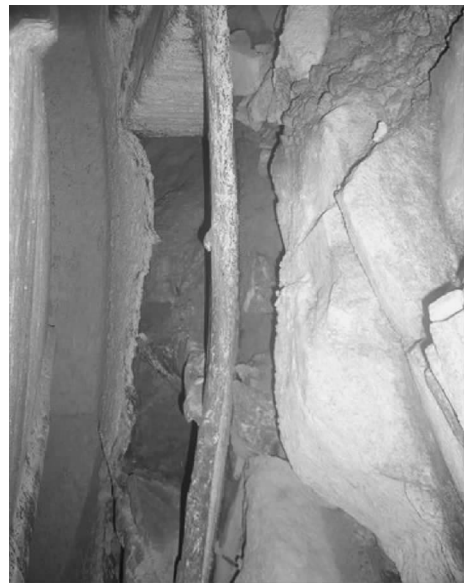


图9 损坏的侧护盾

Fig. 9 Damaged side shield

5 施工现场采取的防护和改进措施

综上所述,刀盘刀具各种形式损坏的直接原因是节理密集带垮落的大块岩石对刀具的撞击和冲击。现场施工所采取的防护和改进措施可从以下方面考虑:

1)从地质方面采取切实可行的措施稳固围岩,防止或减少掘进岩面大块岩石垮落;2)在 TBM 掘进过程中根据围岩情况合理选择掘进参数,以减少岩石对 TBM 刀盘和刀具的冲击和损坏;3)防护和改进刀盘刀具,提高其抵抗冲击力和磨损的强度,延缓失效时间。

5.1 注浆固结节理密集带围岩

结合施工现场实际情况,采用新型聚氨酯化学浆液对刀盘前方未掘进围岩进行注浆,固化围岩,每循环可固结 1.5~3 m,并取得了良好的效果^[10]。

5.2 选择合理的掘进参数

TBM 在节理密集带掘进时,为减小刀盘对围岩的扰动和减轻刀盘前方岩石对刀盘和破岩刀具的冲击,掘进时必须合理选择 TBM 掘进参数。结合中天山 TBM 和掘进时实际围岩情况,选择低转速、低推力和低扭矩的刀盘(转速约为 2.7 r/min,推力为 6~12 MPa,扭矩不大于 50% 额定扭矩)。另外,在掘进时,TBM 主操作司机可将顶护盾及侧护盾油缸撑出,压力撑至 5 MPa 左右,使护盾与洞壁保持浮动支撑,这样可大大减小振动,降低扭矩峰值,减小刀盘刀具所受冲击力并减少刀盘刀具异常损坏。

5.3 弱爆破刀盘前方垮落岩石

见图 10。



图 10 爆破刀盘前方岩石

Fig. 10 Blasting fragmentation of rocks in front of cutter head

根据刀盘前方现场围岩,对较大岩石进行弱爆破或人工清理,减少或避免大块岩石对刀盘和刀具的损坏。在爆破刀盘前方岩石时,应采用弱爆破,控制好装药量,并对刀盘刀具进行防护,防止爆破时飞石砸伤刀盘刀具。

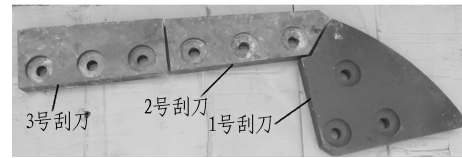
5.4 改进出碴刮刀

为提高出碴刮刀的整体强度,避免刮刀过早失效,结合围岩实际情况,可把 2 号和 3 号刮刀或 1,2,3 号刮刀用 40 mm 耐磨钢板做成合体刮刀,以提高抵抗岩石的冲击强度(见图 11)。

5.5 修复刮刀座并进行加固

见图 12。

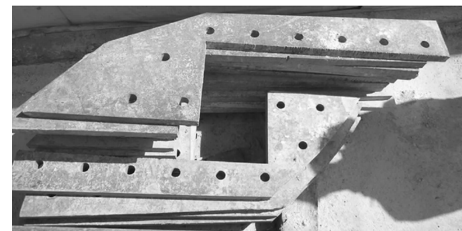
为提高刮刀抵抗岩石冲击的能力,采用 30 mm 耐磨钢板修复刮刀座;为提高刮刀座强度,采用 40 mm 耐磨钢板加固刀座筋板。



(a) 改进前 1,2,3 号刮刀



(b) 改进后 2,3 号合体刮刀



(c) 改进后 1,2,3 号合体刮刀



(d) 改进后正常使用的 1,2,3 号合体刮刀

图 11 刮刀改进情况

Fig. 11 Improvement of scraper



图 12 加固后的刮刀座

Fig. 12 Reinforced scraper seat

5.6 修复和加固刀盘面板、刀孔护圈

用 30 mm 耐磨钢板对刀盘面板进行修复和加固,提高面板强度;用 40 mm 耐磨钢板切割成圆弧形护圈,对刀孔护圈进行加固,保护刀孔和面板免遭损坏(见图 13)。

5.7 焊接修复刀孔裂纹

发现刀孔裂纹,应及时进行焊接修复(见图 14),避免裂纹进一步扩大,影响刀具和刀盘受力结构。

5.8 修复和加固刀盘碴仓和侧护盾

碴仓出口主筋板不仅起到输碴作用,而且要传递驱动刀盘的推力和扭矩,对刀盘的结构也起到很重要

的作用,采用 100 mm 耐磨钢板进行修复加固。碴仓隔板受大石块冲击,变形比较严重,采用 20 mm 的耐磨钢板和三角筋板对碴仓隔板背面进行加固,采用 30 mm 耐磨钢板对侧护盾进行修复,确保刀盘碴仓结构稳固和出碴效果(见图 15)。



图 13 修复后的刀盘面板

Fig. 13 Repaired cutter head panel



图 14 修复后的刀孔

Fig. 14 Repaired cutter hole



(a) 修复后的碴仓主筋板



(b) 加固后的碴仓

图 15 修复后的碴仓

Fig. 15 Repaired muck chamber

5.9 减少、延缓破岩刀具损坏的措施

破岩刀具失效的形式较多,原因比较复杂,在普通地质条件下减少、延缓破岩刀具损坏的措施比较全面^[2-7]。针对上述节理密集带岩性地质,刀具损坏的直接原因相对比较简单。为减少刀具的损坏,可从以下 2 个方面考虑:1)对节理密集带地质进行注浆加固,减少大块岩石出现的概率;2)从刀具本身着手,提高刀具抵抗岩石撞击和冲击能力,并对刀具进行适当保护。

5.9.1 定制采购专用刀具和刀具配件

目前,市场上刀具生产厂家较多,不同质量标准的刀具适应于不同类型的地质条件^[11]。对于节理密集带地质,岩石对刀具的冲击力较大,定制采购抗断裂性刀具,以提高刀具抵抗冲击的能力,延缓失效;另外,采用加厚刀圈,提高刀圈韧性和刀体强度,从而提高刀具耐受冲击损坏的能力,对延缓刀具失效也起到了一定的作用。

5.9.2 加固刀孔护圈

采用 40 mm 耐磨钢板对刀孔护圈进行加固,提高刀孔护圈对破岩刀具的保护能力(见图 16)。



图 16 加固后的刀孔护圈

Fig. 16 Reinforced cutter hole ring

5.9.3 提高刀具与安装母座的安装质量

由于刀具安装母座受冲击力和振动的影响,存在不同程度的挤压塑性变形,特别是刀盘周边的高刀号刀位的安装母座尤为严重,致使刀具不能很好地与安装母座贴合,安装质量不佳,刀具抵抗外界冲击的能力严重下降,导致刀具提前失效。对于塑性变形较大的刀具母座,可进行修复;对于塑性变形不大的刀具母座,安装刀具时,根据变形不同情况,增设匹配厚度的母座垫片(见图 17)。母座垫片是非标件,需要委外定制加工,确保刀具安装质量。

5.9.4 刀盘上适当增加过渡刀安装数量

节理密集段施工时,围岩整体强度较低,岩体松散,刀具接触岩面,岩面就自行垮落,刀盘推力较小。结合现场实际,在容易导致刀具失效刀盘部位,安设磨损量 20 mm 左右的过渡破岩滚刀代替新滚刀,减小刀具刀刃被岩石冲击的面积和提高刀具抵抗冲击能力,

延缓刀具失效。

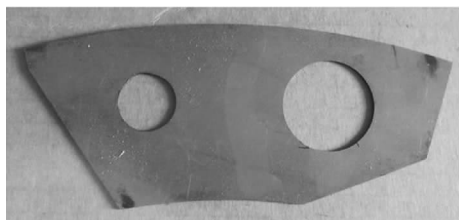


图 17 刀具安装母座垫片

Fig. 17 Cushion of cutting tool installation seat

6 结论与建议

针对上述节理密集带地质岩性特征和该地质岩石对 TBM 刀盘损坏形式,对 TBM 施工刀盘刀具进行了加固和改进,经过在南疆铁路吐库二线中天山铁路隧道现场施工实践证明,能有效地减少和延缓 TBM 刀盘刀具的损坏,提高 TBM 利用率。

随着特长特大隧道的建设,硬岩 TBM 的应用越来越广泛,但是目前 TBM 还不能很好地应对岩性较硬的节理密集带等不良地质,作业效率还不高。如何更深层次地解决此类问题,提高硬岩 TBM 应对不同围岩地质的能力,克服 TBM 施工的局限性,提高 TBM 综合功效,是 TBM 施工业内专家值得调研的问题。

参考文献 (References):

- [1] 王梦恕. 开敞式 TBM 在铁路长隧道特硬岩、软岩地层的施工技术[J]. 土木工程学报, 2005, 38(5): 58 - 62. (WANG Mengshu. Construction technique of open TBM for long railway tunnels in very hard or soft rock strata[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, 38(5): 58 - 62. (in Chinese))
- [2] 康宝生. 全断面硬岩条件下的盾构掘进与管理[J]. 隧道建设, 2012, 32(1): 127 - 132. (KANG Baosheng. Shield tunneling and its management under full-face hard rock conditions [J]. Tunnel Construction, 2012, 32(1): 127 - 132. (in Chinese))
- [3] 陈建. 全断面岩石掘进机(TBM)开挖刀具的管理探讨[J]. 隧道建设, 2007, 27(4): 94 - 95, 99. (CHEN Jian.

Comments on management of cutting tools for full-face hard rock tunnel boring machines (TBMs) [J]. Tunnel Construction, 2007, 27(4): 94 - 95, 99. (in Chinese))

- [4] 张照煌. 全断面岩石掘进机平面刀盘上盘形滚刀磨损研究[J]. 现代隧道技术, 2007(6): 35 - 39. (ZHANG Zhao-huang. Study on the abrasion of disc cutters on full face rock tunnel boring machine [J]. Modern Tunnelling Technology, 2007(6): 35 - 39. (in Chinese))
- [5] 董天鸿. 硬岩掘进机刀具失效的受力分析[J]. 隧道建设, 2007, 27(6): 31 - 34. (DONG Tianhong. Mechanical analysis on cutter failure of hard rock TBMs [J]. Tunnel Construction, 2007, 27(6): 31 - 34. (in Chinese))
- [6] 周雁领. TBM 盘形滚刀质量控制及其检测维修技术[J]. 现代隧道技术, 2007(3): 45 - 52. (ZHOU Yanling. Quality control, inspection and repair for disk cutters of TBM [J]. Modern Tunnelling Technology, 2007(3): 45 - 52. (in Chinese))
- [7] 赵维刚, 刘明月, 杜彦良, 等. 全断面岩石掘进机刀具异常磨损的识别分析[J]. 中国机械工程, 2007(2): 27 - 30. (ZHAO Weigang, LIU Mingyue, DU Yanliang, et al. Abnormal cutter wear recognition of full face tunnel boring machine (TBM) [J]. China Mechanical Engineering, 2007(2): 27 - 30. (in Chinese))
- [8] 中国铁路总公司. 铁建设(2007)106号 铁路隧道全断面岩石掘进机法技术指南[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
- [9] 张学军, 胡必飞. 软弱千枚岩地段 TBM 掘进施工技术[J]. 隧道建设, 2011, 31(6): 70 - 75. (ZHANG Xuejun, HU Bifei. TBM tunneling technology in weak phyllite section [J]. Tunnel Construction, 2011, 31(6): 70 - 75. (in Chinese))
- [10] 邓青力. 敞开式 TBM 掘进过节理密集带施工技术[J]. 隧道建设, 2011, 31(6): 97 - 100. (DENG Qingli. Technology for TBM tunneling through joint-densely-developed granite sections [J]. Tunnel Construction, 2011, 31(6): 97 - 100. (in Chinese))
- [11] 晁焕清, 王汉章. 盘形滚刀的改进及应用[J]. 隧道建设, 2007, 27(6): 84 - 87. (CHAO Huanqing, WANG Hanzhang. Improvement and application of disc cutter [J]. Tunnel Construction, 2007, 27(6): 84 - 87. (in Chinese))