

文章编号:1006-2106(2006)06-0059-05

敞开式全断面隧道掘进机通过不良地质地段的措施和施工方法*

高晓东**

(中国铁道建筑总公司, 北京 100855)

摘要:研究目的:铁道部1997年引进的两台TB880E型TBM由德国Wirth公司生产,该机型的结构及技术性能参数以西安安康铁路秦岭特长隧道为设计对象,主要适用于硬岩隧道的掘进施工,属敞开式硬岩TBM。TBM如何通过软弱围岩是一个世界性的难题。

研究方法:结合西安南京铁路桃花铺1号隧道的工程实践,研究预防TBM施工事故的措施和施工方法。

研究结论:提出了“超前探测,支护紧跟,调整参数,适速推进,减少扰动”20字方针。对于施工过程中出现的各种坍方如何处理进行了说明,总的处理措施是“及时喷锚,加密钢架,搭焊钢管,网板结合,封闭坍塌,回填密实”。TBM顺利、安全通过不良地质地段的措施和方法在桃花铺1号隧道的掘进后期得到很好的验证。

关键词:全断面掘进机;隧道;不良地质;施工

中图分类号:TU455 **文献标识码:**A

The Measures and Construction Methods about the Open Full-face Tunnel Boring Machine Going through the Bad Geology Area

GAO Xiao-dong

(China Railway Construction Corporation, Beijing 100855, China)

Abstract; Research purposes: Two sets of TB880E TBM manufactured by German Wirth Corporation were introduced in 1997 by the Railway Ministry. These machines' structures and technical data were designed according to Qinling Super Long Tunnel of Xi'an - Ankang Railway, which were applicable to excavating construction of hard rock tunnel, that was, Open Hard Rock Tunnel Boring Machine (TBM). It is still a difficult problem suffering the world to excavate through the soft surrounding rock.

Research methods: This paper researched the preventive measures and construction methods on TBM construction accidents in terms of Taohuapu No. 1 tunnel construction practice of Xi'an - Nanjing Railway.

Research conclusions: This paper proposed a 20 - Chinese - word principle, "Advance prediction, lining construction, data adjustment, proper promotion, and disturbance reduction". How to deal with landslide was also described in the paper, in conclusion, "Anchor spraying in time, steel-rack sealing, steel pipe lap-welding, otter board combining, slump blocking, and dense refilling". TBM excavating through the section of unfavorable geological condition smoothly and safely was validated in Taohuapu No. 1 tunnel construction

Key words: full-face Tunnel Boring Machine; tunnel; bad geology area; construction

* 收稿日期:2006-07-26

** 作者简介:高晓东,1969年出生,男,高级工程师。

铁道部引进的敞开式全断面隧道掘进机(Tunnel Boring Machine 英文缩写 TBM)适用于围岩稳定性、整体性较好,岩石抗压强度较高,围岩类别为 II、III 级的地质条件。TBM 施工与钻爆法相比,具有施工速度快、工程质量优、作业环境与施工安全性好的特点,更加体现出以人为本、保护环境的优势,TBM 施工技术的推广对推动隧道工程的科技进步和发展具有十分重要的意义。但是一条长大隧道往往难以避免要通过围岩破碎带和软弱围岩地段,西安南京铁路桃花铺 1 号隧道施工过程中就遇到了这种不良地质地段。TBM 要顺利、安全通过不良地质地段,必须有一套科学合理的预防事故发生的措施和出现事故后的处理方法。

1 预防 TBM 施工事故的主要措施

TBM 施工最困难的问题是坍塌和洞壁滑坍引起的停机事故,发生坍塌和滑坍的主要原因有两方面:其一是地质条件变化的客观因素,如遇到岩层软弱结合面、断层破碎带及其影响带、富水节理密集带等;其二是人为主观因素,就是未能根据地质条件变化提前采取相应的超前支护措施和适时调整掘进主参数等。

随着 TBM 施工经验的积累,桃花铺 1 号隧道掘进中、后期发生的事故显著减少,并逐步总结出一套预防事故的施工原则,归纳起来就是“超前探测,支护紧跟,调整参数,适速推进,减少扰动”20 字方针。

1.1 超前探测

根据勘测设计资料,TBM 掌子面距离破碎带、不同岩层不整合接触带,以及富水节理密集带等不良地质体前 100 ~ 150 m 起,采用 TSP 超前探测系统,进一步探明前方不良地质体的位置、范围和规模;临近不良地质体前 20 m 左右,采用 TBM 上的超前钻机超前钻孔探测;还可以以刀盘后部的人孔作为钻探通道,采用普通地质钻机进行水平超前钻探。

1.2 支护紧跟

对于软弱围岩和不良地质地段,在 TBM 掘进之前,采用超前注浆管棚或超前注浆小钢管进行超前预支护。超前管棚和小钢管均可利用 TBM 上的超前钻机施作。超前管棚采用钻机的双动力头套管跟进方式进行,管径 102 mm,管长 20 m 左右;小钢管采用单臂钻机钻孔顶进,管径 42 mm,管长 5 m 左右。

除超前管棚预加固和预支护外,随着 TBM 掘进,在盾尾部位应及时完成圆形钢架支撑与锚、网、喷联合支护,并确保初期支护质量。

1.3 调整参数,适速推进,减少扰动

当 TBM 进入软弱围岩和不良地质体地段时,采用人工手动调节操作模式,及时调整掘进参数。各主要

参数一般按以下数据控制:

贯入度:3 ~ 5 mm/转(硬岩为 7 ~ 10 mm/转);

推进力:5 ~ 7 MN(硬岩为 15 ~ 18 MN);

推进速度:额定值的 40 % 左右(硬岩为额定值的 75 % 左右);

扭矩:额定值的 30 % ~ 70 % (硬岩为额定值的 40 % 左右);

转速:2.7 r/min(硬岩为 5.4 r/min);

撑靴支撑压力:22 ~ 26 MPa(硬岩为 27.5 ~ 29 MPa)。

与硬岩条件相比,由于贯入度、推进压力和推进速度降低,TBM 在软岩和不良地质段掘进时,可以减少对围岩的扰动,进而减少或防止围岩坍塌。

2 TBM 施工对不良地质问题的处理措施

TBM 穿越软弱围岩和不良地质地段遇到的主要问题有:

- (1) 刀盘前方开挖断面内的滑坍或坍塌。
- (2) 刀盘前方上部滑坍或坍塌。
- (3) 刀盘顶护盾上方滑坍或坍塌。
- (4) 刀盘两侧护盾外侧滑坍或坍塌。
- (5) TBM 主机支撑靴部位洞壁滑坍。

此外,局部地段还会遇到断层破碎带、围岩渗漏水等现象。

对于上述问题,现场采用了不同的处理措施。

2.1 刀盘前方开挖断面内的坍塌(见图 1)

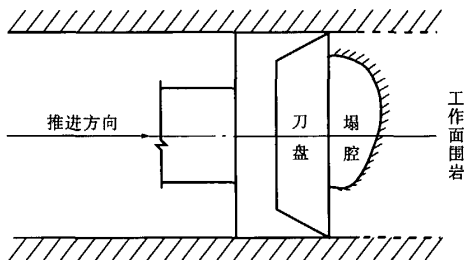


图 1 刀盘前方坍塌示意图

刀盘前方开挖断面内的滑坍或坍塌一般不影响施工,但是如果不处理,容易引发掌子面上方坍塌。处理措施:利用刀盘护盾上部指形防护棚的防护功能,在隧道顶部 120°范围内施作 $\phi 22$ 超前锚杆,挂上加密钢筋网或双层钢筋网,再湿喷混凝土进行处理。

2.2 刀盘前方上部和刀盘顶护盾上方的坍塌(见图 2 和图 3)

刀盘前方上部和刀盘顶护盾上方的坍塌,通常呈倒锅底状,有时还伴有落石现象,坍塌区常扩展到开挖断

面以外。

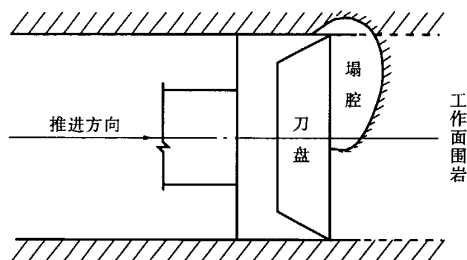


图2 刀盘前方上部坍塌示意图

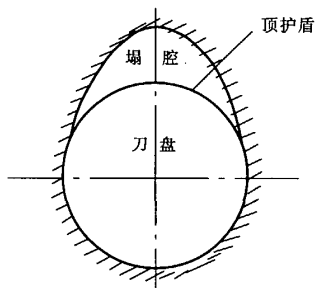


图3 刀盘顶护盾上方坍塌示意图

刀盘前方上部坍塌处理措施(见图4):利用TBM本身的超前钻机,施作直径为42 mm的管棚,并向管内压注水泥浆,进行超前支护;刀盘后部及时打锚杆、挂网、喷射混凝土及架立钢架。

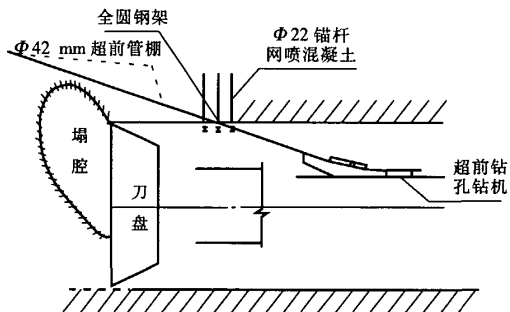


图4 刀盘前方上部坍塌处理示意图

刀盘顶护盾上方坍塌处理措施:当坍塌范围较小,在刀盘护盾上部打锚杆孔,施作 $\phi 22$ 加密砂浆锚杆,挂立网络为10 cm \times 10 cm的双层钢筋网,并与锚杆焊接,再湿喷混凝土进行处理。当坍塌范围较大时,必须停机进行处理。其处理步骤为(见图5):

- (1) 清理坍塌顶部危石。
- (2) 对坍塌围岩岩面进行喷射。

(3) 利用钢拱安装器安装全圆闭合钢架,并在钢架与坍塌之间搭焊 $\phi 42$ mm短钢管,钢管顶端焊接2 mm厚的钢板封闭坍塌,钢板与坍塌之间存在的空隙

用C20细石混凝土填充密实。

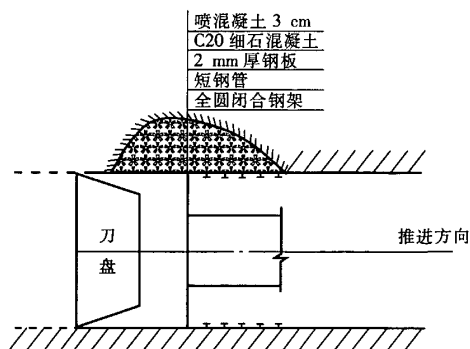


图5 刀盘顶护盾上方坍塌处理示意图

2.3 刀盘两侧护盾外侧围岩滑坍

刀盘两侧护盾外侧围岩滑坍形态,因围岩类别、岩性和节理走向的不同而不同(见图6)。

具体处理措施如下:

对于围岩软弱结构面引发的小范围滑坍,不用停机处理,一般通过调整掘进参数、锁定部分支撑靴的办法解决。

对于洞壁一侧出现较大滑坍、导致TBM外机架同侧支撑靴无法支撑时,必须停机处理。其处理步骤为:清理坍塌危石和松碴→对坍塌围岩岩面喷射3 cm混凝土护壁→利用钢架安装器架立全圆闭合钢架→钢架外侧施焊2 mm厚钢板封闭坍塌,在漏洞处用棉丝堵塞紧密→用C20混凝土充填坍塌→钢板内侧喷射5 cm混凝土,使钢架、钢板、坍塌混凝土与围岩连成一体,待混凝土初凝并具有一定强度后再继续掘进。

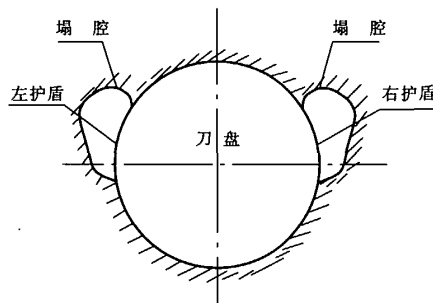


图6 刀盘两侧护盾外侧围岩滑坍示意图

2.4 TBM支撑靴部分洞壁滑坍、下陷

TB 880E型TBM采用前后两组 \times 形支撑系统,每组8个支撑靴,共计16个。额定总支撑力为41 000 kN,在达到额定总支撑力条件下,每个支撑靴的接地压力为1.9 MPa。TBM掘进时,支撑靴承受主机重量并将推力和扭矩传递到洞壁上。

TBM支撑靴部位洞壁滑坍、下陷(见图7),是由

于洞壁围岩抗压、抗剪强度小于支撑靴的接地压力而产生的。当支撑靴部位滑坍或下陷时,应停机处理。处理措施有如下两种。

(1) 换填处理:缩回支撑靴,在支撑靴部位清除松碴,架立钢模板,用 C20 混凝土换填,待混凝土初凝到一定强度后,再重新伸展支撑靴撑紧围岩和外机架继续掘进。

(2) 锚杆注浆加固处理:缩回支撑靴清除松碴,在支撑靴位置施作迈式注浆锚杆加固围岩;同时调整支撑靴压力,增设垫板加大支撑面积。

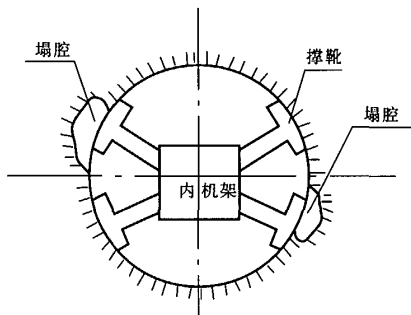


图7 支撑靴部位洞壁滑坍示意图

2.5 TBM 通过断层破碎带措施

TBM 通过断层破碎带、节理密集带和岩层软弱结构时,稍不慎重,极易引发坍塌事故。采取的措施主要包括以下几个方面:

2.5.1 加强超前地质预报。

2.5.2 及时施作超前支护和初期支护。根据实际情况,必要时减少全圆钢架间距同时采用现浇钢筋混凝土仰拱,并且一定要保证初期支护的质量。这些地段的初期支护通常采用闭合钢架与锚杆、钢筋网、喷射混凝土联合支护。

2.6 TBM 掘进中隧道坍方处理

工程实践表明,对软弱破碎围岩和不良地质地段,尽管采取超前地质预报和加强初期支护措施,但隧道地质条件是多变的,超前地质预报不可能百分之百准确,初期支护也难免有不到位的地方,因此坍方事故很难杜绝。对于坍方段,总的处理措施是“及时喷锚,加密钢架,搭焊钢管,网板结合,封闭坍腔,回填密实”。根据坍方的规模和坍腔的形态,现场采取的处理方式主要有:

(1) 小型坍方和局部掉块

采用锚杆、钢筋网和喷射混凝土进行处理。施工步骤为:清理坍腔危石→初喷 3 mm 厚的混凝土封闭坍腔岩面→打锚孔、装塞锚固剂,施作端头锚固锚杆→贴近岩面(预留 3 cm)挂双层钢筋网并与锚杆连结→

架设加劲槽钢(必要时)并与锚杆焊接固定→全坍腔岩面复喷混凝土 5~8 cm。

(2) 大中型坍方

采用钢架支撑、锚杆、钢筋网和喷射混凝土联合支护。施工步骤为:清理坍腔危石和浮碴→初喷 3 cm 厚混凝土封闭坍腔岩面→加密安设钢架支撑→在钢架与坍腔之间搭焊扇形钢管和防坍钢板→钢板与坍腔之间用混凝土或注浆浆液填充密实→全坍腔复喷混凝土 5~8 cm。

2.7 渗漏水地段处理

对于围岩较稳定,但地下水渗漏出露较集中的地段,采用在刀盘后部支护区铺设防水层的方法进行处理。施工步骤为:按一定间距安设环向透水盲管→用冲击钻钻出木螺钉孔→铺设无纺布滤层和防水板→采用木螺钉和电子绝缘卡固定防水板→前后防水板环向用压膜焊接→木螺钉外露端用电烙铁热焊防水板片覆盖保护,以防止水渗漏。

对于围岩不稳定、伴有小坍方的渗漏水地段,采用钢筋网、锚杆支护再铺防水板的方法处理,对于中、大型坍方的富水地段,则必须在架立钢架支撑时,用钢板封闭渗漏水部位的顶部和肩部,让水从两侧流下汇入泄水孔排到中心水沟内,钢板封闭范围的顶部预留注浆孔,待钢板密封后进行注浆加固。

2.8 TBM 刀盘脱困措施

当刀盘前方发生较大坍方时,刀盘容易被卡住,转动不了,处于受困状态。刀盘脱困的处理措施如下:当发生刀盘受困时,不能急于起动刀盘,首先要查明刀盘前方坍方情况和坍碴高度,再根据不同情况采取不同的处理措施。

(1) 当坍方不大,坍碴不高时,可将刀盘后退,加固坍腔围岩后,再用脱困扭矩起动刀盘慢速推进。

(2) 当坍方较大,坍碴基本堆满刀盘时,刀盘不应后退,以免因刀盘后退扰动坍碴引发更大的坍方。处理时采用钢架、锚、网、喷支护方法加固坍腔→人工清除刀盘前的部分坍碴→调整掘进参数,采用脱困扭矩慢速起动刀盘,慢速推进→TBM 通过坍方地段后尽快施作临时二次衬砌。

(3) 当坍方规模、坍穴高度很大时,刀盘应维持原位不动,采用另辟导洞进入岩体进行超前处理后再起动刀盘的方法处理。施工时应根据地质状况和施工条件,开挖导洞(TBM 顶部导洞或 TBM 后部迂回导洞或利用既有导坑)→采用矿山法处理岩体,清除坍碴→坍腔加固支护→TBM 步进通过坍方段→起动刀盘,慢速推进。

3 结束语

铁道部1997年引进的2台TB880E型TBM由德国Wirth公司生产,该机型的结构及技术性能参数以西康铁路秦岭特长隧道为设计对象,主要适用于硬岩隧道的掘进施工,属敞开式硬岩TBM。但是一条长大隧道往往难以避免要通过围岩破碎带和软弱围岩地段,在秦岭隧道施工中,碰到此类情况绝大多数是通过平导先行处理完毕后,TBM步进通过。西安南京铁路桃花铺1号隧道是独头掘进,施工过程中遇到不良地质地段必须边处理边通过,是我国铁路史上从未遇到过的,加大了施工难度。通过桃花铺1号隧道的实践,总结出的预防事故“超前探测,支护紧跟,调整参数,适速推进,减少扰动”的方针和处理塌方“及时喷锚,

加密钢架,搭焊钢管,网板结合,封闭坍塌,回填密实”的措施是正确的和有效的,是符合规范要求的,既保证了工程质量,又充分利用了TBM出碴和支护设备。据了解,国外也没有更好的处理办法。TBM在桃花铺1号隧道的施工为其拓宽了施工领域。

参考文献:

- [1] 唐经世.隧道与地下工程机械掘进机[M].北京:中国铁道出版社,1998.
- [2] 桃花铺隧道工程指挥部.西安南京铁路桃花铺1号隧道施工组织设计[Z].天津:铁道部第十八工程局,2000.
- [3] 铁道第一勘察设计院.西安南京铁路桃花铺1号隧道设计资料[R].兰州,2000.

(编辑 慕成娟)

(上接第38页)

布范围。同时也应指出双排交错U型布置类型在实际操作时,应注意处理与纵向预应力筋的位置发生冲突、孔道串通等问题。

(4)为妥善解决U型竖筋转角引起的应力集中现象,应考虑转角处采用圆曲线过渡;并在圆角径向布置加强钢筋网,以承受力筋产生的径向力对混凝土的不利作用。

(5)文中虽然讨论的是两端简支状态下的箱梁不同竖筋构造形式对腹板主应力的影响,但对于连续体系箱梁仍具有参考意义。

4 建议

(1)在实际竖筋布置时,距梁底约0.15m高度内,由于未受到竖向预加力的作用,在外载作用下可能出现梁底开裂。要控制梁底主拉应力的出现,必须依靠纵向主筋和普通箍筋的联合作用。

(2)考虑到大跨度箱梁桥大都采用变高度构造形式,设置U型竖筋有困难,建议U型竖筋仅适用于梁高较小、容易出现斜裂缝的等高度梁段内,其它梁段可设置普通型竖筋。

(3)本文仅对竖向预应力筋的不同构造形式做了计算分析,结果的正确性还有待于通过模型实验数据

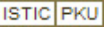
来验证。

参考文献:

- [1] 施颖,宣纪明,马春亭.大跨度预应力混凝土变截面连续箱梁桥设计[J].桥梁建设,2003(4):41-43.
- [2] 贺丽,钱永久.谭家梁子大桥裂缝分析[J].四川建筑科学研究,2004,30(2):33-35.
- [3] 廖娟,叶贵如,徐兴.预应力混凝土箱形连续梁桥裂缝成因分析及对加固方案的评价[J].中国公路学报,2004,17(1):62-65.
- [4] 彭卫,刑鸿燕,柯善刚.PC连续箱梁桥裂缝控制研究[J].浙江工业大学学报,2003,31(1),22-27.
- [5] 张继尧,王昌将.悬臂浇筑预应力混凝土连续梁桥[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [6] 翟有成,陈湘林.箱梁腹板竖向预应力施工质量控制[J].中外公路,2002,22(5),105-107.
- [7] 徐志成,姜凤连.预应力混凝土连续梁式桥腹板开裂影响因素分析[J].山东交通科技,2003(4):43-45.
- [8] 马保林,李子青.高墩大跨连续刚构桥[M].北京:人民交通出版社,2001.

(编辑 慕成娟)

敞开式全断面隧道掘进机通过不良地质地段的措施和施工方法

作者：[高晓东](#)，GAO Xiao-dong
作者单位：[中国铁道建筑总公司](#)，北京，100855
刊名：[铁道工程学报](#) 
英文刊名：[JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年，卷(期)：2006 (6)
被引用次数：1次

参考文献(3条)

1. [唐经世](#) [隧道与地下工程机械掘进机](#) 1998
2. [桃花铺隧道工程指挥部](#) [西安南京铁路桃花铺1#隧道施工组织设计](#) 2000
3. [铁道第一勘察设计院](#) [西安南京铁路桃花铺1#隧道设计资料](#) 2000

本文读者也读过(10条)

1. [马志富](#), [王世清](#), [王立暖](#), [MA Zhi-fu](#), [WANG Shi-qing](#), [WANG Li-nuan](#) 满足客运专线预制梁通行的隧道扩孔研究[期刊论文]-[铁道工程学报](#)2007 (z1)
2. [吴畏](#), [潘彪](#), [WU Wei](#), [PAN Biao](#) 地铁车站超大断面暗挖隧道六部开挖施工方法[期刊论文]-[山西建筑](#)2010, 36 (4)
3. [周耀文](#), [赵滨红](#) 刀具热处理变形量测定及研究[期刊论文]-[机械工程师](#)2006 (5)
4. [叶惠红](#), [谢海群](#), [黄芳](#) 舟山市小干隧道进洞口管棚方案的确定和施工[期刊论文]-[中国水运](#) (下半月) 2010, 10 (9)
5. [张勇智](#), [Zhang Yongzhi](#) 硬岩隧道掘进机常见机械故障分析及相应处理方法[期刊论文]-[现代隧道技术](#) 2006, 43 (6)
6. [杨宏欣](#), [YANG Hong-xin](#) TBM施工进度影响因素及控制措施[期刊论文]-[东北水利水电](#)2011, 29 (2)
7. [曹海涛](#), [尹双伍](#), [杨国清](#), [何良波](#), [Cao Haitao](#), [Yin Shuangwu](#), [Yang Guoqin](#), [He Liangbo](#) 大断面隧道掘进机实施洞内组装和“绿色组装”理念[期刊论文]-[现代隧道技术](#)2010, 47 (6)
8. [赵彦春](#), [Zhao Yanchun](#) TB880E型掘进机换步要点[期刊论文]-[石家庄铁路职业技术学院学报](#)2006, 5 (z1)
9. [胡斌](#), [孙谋](#), [HU Bin](#), [SUN Mou](#) TBM现场施工对土木技术人员的要求[期刊论文]-[隧道建设](#)2007, 27 (5)
10. [齐梦学](#), [Qi Mengxue](#) TBM 主轴承唇形密封洞内修复技术[期刊论文]-[工程机械](#)2009, 40 (2)

引证文献(1条)

1. [张占杰](#), [刘朴](#), [赵海峰](#), [袁国](#), [赵金华](#), [吴志生](#) TBM滚刀刀圈材料性能的研究[期刊论文]-[钢铁研究](#) 2013 (1)

引用本文格式：[高晓东](#), [GAO Xiao-dong](#) 敞开式全断面隧道掘进机通过不良地质地段的措施和施工方法[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006 (6)