

TBM 通过不良地质地段的施工技术

苏华友^{1,2}, 张继春¹, 史丽华³

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031; 2. 西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621002;
3. 中国水利水电第六工程局 五分局, 辽宁 丹东 118216)

摘要:昆明上公山引水隧洞在采用 TBM 开挖过程中, 遇到了地质条件十分复杂、断层裂隙发育、地下裂隙水十分丰富以及掌子面大量涌水的不良地质地段, 隧洞围岩大部分属于我国水电分类中的 IV, V 级围岩。在 TBM 通过这些不良地质地段时, 采用了超前地质钻探、聚氨酯化学灌浆、增加污水水箱数量以及更换大管径排水管等技术措施, 其中化学灌浆是最主要的技术措施, 从而有效地解决了排水问题, 防止了掌子面围岩的坍塌, 保证了 TBM 安全通过不良地质地段, 按时完成了开挖进度, 取得了良好的施工效果。

关键词:隧道工程; TBM; 不良地质; 施工技术

中图分类号: U 455

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2005)09-1635-04

CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF TBM EXCAVATING THROUGH SECTION OF UNFAVORABLE GEOLOGICAL CONDITION

SU Hua-you^{1,2}, ZHANG Ji-chun¹, SHI Li-hua³

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. School of Environment Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621002, China;

3. Branch No.5, Water Resouseces and Hydroelectric Bureau No.6, Dandong 118216, China)

Abstract: Unfavorable geological conditions of highly developed fault fissures and abundant underground water exist in the TBM excavation of Kunming Shangongshan water diversion project in west China. The rock mass encountered in most length of the tunnel belongs to Class IV and V according to the applicable national standard. By taking effective measures, such as preceding geological drilling, polyurethane foam injection, increasing water tanks, employing drain pipes of bigger diameter, the problem of water gushing is solved, which, in turn, decreases the risk of collapses at the working face and ensures the safety and progress of TBM operation.

Key words: tunneling engineering; TBM; unfavorable geology; construction technology

1 引言

昆明上公山引水隧洞是国家西部大开发中的重点工程, 隧洞全长 13 769 m, 采用由中国第二重型

机械集团公司和美国罗宾斯公司(Robbins)合作生产的双护盾 1217-303 型 TBM(tunnel boring machine, 简称 TBM)进行开挖^[1]。隧洞开挖直径为 3.655 m, 成洞直径为 3.0 m, 为有压隧洞, 运行期内水压为 0.17~0.20 MPa。该双护盾 TBM 的主要技术指标如

收稿日期: 2003-12-12; **修回日期:** 2004-03-01

基金项目: 四川省教育厅重点科研项目(2002A022)

作者简介: 苏华友(1963-), 男, 1985 年毕业于四川建筑材料工业学院采矿系, 现任副教授, 主要从事岩土工程方面的教学与研究工作。E-mail: suhy@swust.edu.cn.

表 1 所示。

表 1 1217-303 型 TBM 的主要技术指标
Table 1 Main technical specifications of Robbins TBM 1217-303

项目名称	指标参数
直径/m	3.655
滚刀尺寸/mm	431.8
切削盘推力/kN	6 250
切削盘驱动电机/kW	1 300(5 × 260)
切削盘转速/r · min ⁻¹	5.7/11.4
液压系统工作压力/MPa	21.5
主电动机	690 VAC, 3-phase, 50 Hz
岩碴输送带宽/mm	610

隧洞衬砌采用 4 块四边形管片加锁定螺栓组成一环,环宽 1.1 m,管片之间采用螺栓连接,管片厚 25 cm,管片外侧与围岩之间先采用砾石回填,然后采用水泥灌浆。

根据地质勘察报告及原始设计资料,隧洞穿过的地层为:0~7 km 桩段由下元古界黑山头组泥质板岩、砂质板岩及石英岩组成;7~13.769 km 桩段由上元古界震旦系灯影组花岗质白云岩、硅质白云岩和白云质灰岩组成。

2 不良地质对 TBM 开挖的影响

由于隧洞区的岩层比较古老,其所经受的地质构造作用较多,大小裂隙断层发育,岩体破碎,按我国水利水电工程围岩稳定分级,该引水隧洞所处的大部分围岩应属于 IV, V 级围岩。

这里的泥质板岩、砂质板岩是由粘土岩、页岩和泥质粉砂岩等变质而形成,但由于变质程度较轻,变质不彻底而形成变余泥质和变余砂质结构,在地下裂隙水的长期作用下,泥质板岩和砂质板岩被软化,形成软弱夹层。另外,这里的石英岩是由石英砂岩和硅质岩经变质而形成,石英岩性脆,在长期的地质构造力作用下,较易产生密集性裂隙,且石英岩中常夹有薄层板岩,风化之后变为泥化夹层^[2]。这里的不良地质地段还常常是含水量较高的糜棱岩,一旦遇到这种岩体会造成掌子面及其周围出现严重坍塌,坍塌的岩碴大量涌入 TBM 的机头和 TBM 的出碴槽,使出碴槽和输送带不能正常工

作,造成大量的岩渣露出输送带,散落在前护盾和后护盾之中,大大地增加了人工清渣量,造成 TBM 长时间停机,从而降低了工作效率。

松散的围岩还造成 TBM 的前支撑很容易陷入到两侧的围岩之中,不能有效地起到支撑作用,致使 TBM 既不能前进又不能后退。

3 TBM 穿越含水裂隙带的施工

3.1 超前地质钻探测

在桩号 1+899 处的掌子面,岩石比较破碎,涌水量较大,TBM 停止前进。此时采用 TBM 机上配置的 Atlas Copco BSH110B 型超前地质钻机钻凿一个超前探测钻孔,钻孔直径为 50 mm,穿越岩层进入掌子面前方 20 m 处,初步探明该地段泥质板岩和砂质板岩的产状,得知隧洞的轴线与岩层的走向大致平行,岩层倾角大于 45°,裂隙水发育。为了防止大量涌水对 TBM 机头电器控制系统和液压密封系统的危害,决定增加排水设备,具体安排是:在前护盾布置 3 kW 水泵 3 台;在后护盾布置 20 kW 水泵 1 台,3 kW 水泵 2 台,1.2 kW 水泵 2 台;在 TBM 操作室后侧增加一个 8 m³ 污水缓贮箱;将 TBM 后配套尾部至隧洞口长约 1.5 km 的排水管全部由原来的 $\phi 6$ " 的钢管换成 $\phi 8$ " 的钢管,保证了涌水量为 70 L/s 时的排水要求,有效地避免了地下涌水对 TBM 的影响。

3.2 聚氨酯化学灌浆加固松散岩体

TBM 穿越含水裂隙带时,由于松散的岩体在大量裂隙水的作用下,不但岩体的内摩擦力为 0,而且岩体还要受到地下水动力的作用,松散岩体会紧随着 TBM 的开挖而坍塌,造成掌子面上岩体坍塌严重,使 TBM 的滚刀因负荷太大而停止工作;大量的松散围岩向隧洞涌入,紧紧地包裹着 TBM 的前、后护盾,造成 TBM 的前、后护盾挤压变形。另外,松散围岩还造成 TBM 两侧面的前、后支撑靴没有着力点,使整个 TBM 既不能前移,也不能后退。

为了解决上述问题,本工程采用聚氨酯化学灌浆加固松散岩体的施工技术。聚氨酯是一种水溶性化学灌浆材料,该材料具有良好的亲水性,水溶性聚氨酯的固体是一种弹性体,其伸长率大于 150%。

聚氨酯化学灌浆现场施工工艺是:在距掌子面

20 ~ 30 m 处, 用一种专用的灌浆机(如图 1 所示), 将黑、白两种聚氨酯溶剂分别由二路输送, 两个出口各安装一只压力表, 以显示灌浆时两种溶剂的输出压力, 在理论上两种溶剂是按 1 : 1 配制, 因此两个表的压力值相等; 每一路连接一根 $\phi 14$ mm 的专用塑料软管, 输送溶剂至孔口的混合装置, 而后通过预先打入围岩之中的 $\phi 12$ mm、长 2.5 m 带有数个小侧孔的钢管, 灌入到掌子面前方的松散岩体中^[3-9]。表 2 为聚氨酯化学灌浆的主要施工参数。



图 1 聚氨酯灌浆机

Fig.1 Grouting machine for polyurethane

表 2 聚氨酯化学灌浆的主要施工参数

Table 2 Main parameters of polyurethane chemical grouting

灌浆压力 /MPa	灌浆输送距离 /m	平均灌浆速度 /(kg · min ⁻¹)	固结率 /%	固结时间 /s
0.4 ~ 1.5	20 ~ 30	15	100	50

混合溶剂遇水分散、乳化进而迅速凝固, 其凝固时间随配方不同而异, 凝固时间的选用由实际环境条件而定, 本工程使用的凝固时间是 50 s。聚氨酯混合溶剂在快速凝固过程中, 将松散的岩体包裹起来, 形成厚度大于 5 m 以上的固结岩体, 这种固结岩体有相当的强度。

图 2 为聚氨酯固结岩体。从图 2 可以看出, 原来粒径为 5 ~ 10 mm 的岩石, 经固结之后, 形成粒径达 10 cm 以上的固结岩体。由于这种固结岩体的存在, 有效地防止了掌子面围岩的坍塌。同时, 也解决了 TBM 前、后支撑靴陷入两侧围岩之中而没有着力点的问题。

3.3 聚氨酯化学灌浆封堵地下裂隙水



图 2 聚氨酯固结岩体

Fig.2 Rock mass consolidated with polyurethane foam

聚氨酯化学灌浆材料除了有迅速凝固性能外, 还有遇水能迅速膨胀的性能, 其体积膨胀率超过 120% 以上, 这一特性对减小 TBM 机头的涌水量很重要。因为掌子面周围通过灌浆之后, 能迅速形成一个几米厚的固结岩体隔水层, 大量的地下涌水被封堵, 防止其进入 TBM 机头, 只有这样 TBM 才能正常开挖。因此, 聚氨酯化学灌浆材料具有弹性止水和以水止水的双重功能。

4 结 论

(1) 聚氨酯化学灌浆之后, TBM 前后护盾处的地下涌水量减少了 40% ~ 70%, 明显地改善了地下涌水对 TBM 机头的电器控制系统和液压密封系统的影响。

(2) 聚氨酯凝固体将松散岩石变成较大的固结岩体, 极大地改善了掌子面坍塌的问题, 大大减少了人工清渣的工作量和劳动强度。

(3) 聚氨酯固结岩体能够提供 TBM 前、后支撑靴所需要的侧向最小支撑力, 使 TBM 后护盾及后配套能在富含地下水的破碎带中缓慢前行, 安全渡过难关, 保证了 TBM 的开挖进度。

(4) 聚氨酯是一种有毒、有害以及易燃的化学物质, 在灌浆施工过程中要特别注意防毒和防火, 以保证工人的安全和 TBM 的正常工作。

总之, 该引水隧洞目前才由 TBM 开挖了 3.1 km, 大量的开挖还在后头, 在今后的开挖过程中将会遇到更加复杂的裂隙断层、挤压围岩、地下涌水以及地下溶洞等不良地质地段, 但是前期成功的施工技术无疑会很好地指导后期的施工。

参考文献(References) :

- [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.(Tang Jingshi. Tunnel and Underground Engineering Machine—TBM[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1998.(in Chinese))
- [2] 刘春原. 工程地质学[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2000.(Liu Chunyuan. Engineering Geology[M]. Beijing: China Building Material Industry Press, 2000.(in Chinese))
- [3] 陈鉴基. 双液化学硅化法在埋藏型地下溶洞加固工程中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16(1): 78-84.(Chen Jianji. Application of bi-liquid chemical grouting on consolidation of buried type underground karst caves[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1997, 16(1): 78-84.(in Chinese))
- [4] 成保才, 苏 枢, 孙文安等. 双护盾 TBM 施工中处理不良地质和设置止浆环的初探[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(3): 408-411.(Cheng Baocai, Su Shu, Sun Wenan, et al. Preliminary design for treatment of fault and improvement of grouting quality in TBM tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(3): 408-411.(in Chinese))
- [5] 曾纪全, 来结合, 全 海. 溪洛渡水电站软弱岩带固结灌浆试验效果检测[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(增): 1 851-1 857.(Zeng Jiquan, Lai Jiehe, Quan Hai. Effect inspection of grouting test for weak batholith in Xiluodu hydroelectric power station[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(Supp.): 1 851-1 857.(in Chinese))
- [6] 陈鉴基, 蔡汝新, 陆卫平等. 化学灌浆在填土补强加固工程中的应用述评[J]. 基础工程, 2000, 3(4): 16-25.(Chen Jianji, Cai Ruxin, Lu Weiping, et al. Review on application of chemical grouting in the construction of filling reinforcement[J]. Geotechnical Engineering World, 2000, 3(4): 16-25.(in Chinese))
- [7] 陈鉴基. 水泥-水玻璃软土灌浆技术[J]. 煤炭学报, 1997, 22(3): 294-299.(Chen Jianji. Cement and water glass grouting technique for soft soil[J]. Journal of China Coal Society, 1997, 22(3): 294-299.(in Chinese))
- [8] 亢会明, 李晓红, 靳晓光等. 华蓥山隧道穿煤段施工技术[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(2): 10-14.(Kang Huiming, Li Xiaohong, Jin Xiaoguang, et al. Tunnel construction through coal layer in Huaying mountain[J]. Coal Science and Technology, 2001, 29(2): 10-14.(in Chinese))
- [9] 刘志刚, 赵 勇. 隧道隧洞施工地质技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001. 207-271.(Liu Zhigang, Zhao Yong. Tunnel Construction Geology Technology[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001. 207-271.(in Chinese))

新书简介

《地基基础设计与计算》一书由朱浮声编著, 人民交通出版社 2005 年 5 月出版, 定价 30.00 元。

该书结合《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)的规定, 简要阐述了地基岩土分类及工程特性指标、地基计算、基础工程和基坑工程包括设计计算部分的理论要点, 并通过大量具体算例说明了相关设计计算方法。

该书可作为土木工程勘察、设计人员以及大专院校相关专业师生的参考书。

《地震工程学》(第二版)一书由胡聿贤编著, 地震出版社于 2005 年 3 月出版, 定价 80.00 元。

该书全面介绍了地震工程学的两个组成部分: 工程地震与结构抗震, 并在本版中增加了“隔震减震”内容。该书在工程地震一篇中详细介绍了烈度和地震动, 在结构抗震理论中着重讲解了基本理论及研究的新问题、地基抗震和结构试验与观测、基础隔震及结构抗震反馈控制概论, 在工程抗震中阐述了地震危险性、地震区划、各类结构抗震设计的特点和结构抗震设计规范。

该书可作为工程地震和结构抗震专业、建筑设计人员以及相关专业的本科生和研究生的参考书。

《高拱坝坝肩抗震稳定性研究与应用》一书由张伯艳编著, 地震出版社于 2005 年 1 月出版, 定价 20.00 元。

该书是关于高拱坝坝肩抗震稳定性研究与应用专著, 评述了高拱坝坝肩抗震稳定分析的意义和国内外研究的现状, 介绍了刚体极限平衡方法, 分析了时域显示有限元与刚体极限平衡相结合求解坝肩抗震稳定的途径, 阐述了动接触力模型和 LDDA 方法在拱坝坝肩抗震稳定分析中的应用。

该书可作为科研人员和高等院校相关领域师生的参考书。