

基于卡机原因探讨岩石隧道掘进机的选型

张晶, 高强

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川成都 611830)

摘要: 为了选择出更适合穿山隧道施工的岩石隧道掘进机, 以某公路工程项目双护盾岩石隧道掘进机为研究样本, 阐述了如何运用比较研究的方法, 从设备性能和实际施工过程出发, 对所遇到的容易卡机的地层应采取的解决措施等进行了分析研究, 总结出双护盾岩石隧道掘进机的适用地层范围。

关键词: 双护盾岩石隧道掘进机; 卡机; 最大推力; 适应地层; 某公路工程项目

中图分类号: U415; U455; U456

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2023)04-0027-05

Discussion on the TBM Type Selection Based on the Cause of Machine Jamming

ZHANG Jing, GAO Qiang

(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 611830)

Abstract: In order to select the type of TBM that is more suitable for the construction of mountain crossing tunnels, this paper takes a double shield rock TBM in a highway project as a research sample, and introduces how to use the method of comparative research, and summarizes the applicable stratum range of the double shield rock TBM through analysis of equipment performance and measures taken in practical construction that are prone to jamming.

Key words: Double shield rock TBM; Jam; Maximum thrust; Applicable stratum range; A highway project

1 概述

目前国内大型隧道工程的建设大多采用敞开式岩石隧道掘进机进行掘进施工, 究其原因主要是在掘进机选型时担心双护盾岩石隧道掘进机在施工过程中容易出现因卡机影响而造成施工工期不可控的问题; 其次, 由于双护盾岩石隧道掘进机为近些年发展起来的掘进类型, 整条隧道均需要安装管片, 其相对于敞开式岩石隧道掘进机的支护成本较高。但双护盾岩石隧道掘进机具有独特的施工特点, 其管片在盾体内部安装后推出盾体形成隧道支护结构, 施工人员基本与围岩分隔, 能够有效提高施工人员和设备的安全性, 在越来越重视施工安全的前提下, 双护盾岩石隧道掘进机的特点更符合当代施工技术发展的趋势。

通常岩石隧道掘进机施工出现的卡机^[1]按照被卡部位大体可分为刀盘卡机、盾体卡机、后配套与支护结构卡机几大类。此次研究的课题是影响

最大且不易处理的盾体卡机, 而对于其他两类卡机原因暂不做探讨。

岩石隧道掘进机盾体卡机主要有以下几种情况: (1) 因塌方量过大造成的岩石隧道掘进机卡机; (2) 因围岩收敛变形^[2]速度快而导致的岩石隧道掘进机卡机; (3) 因其掘进半径小于设计转弯半径造成的岩石隧道掘进机卡机。地层原因导致岩石隧道掘进机卡机的主要原因: (1) 塌方体或围岩收敛作用在盾体上的压力产生的摩擦力大于岩石隧道掘进机所能提供的推进力; (2) 围岩收敛地层在岩石隧道掘进机盾体通过前其围岩已收缩挤压盾体且作用于盾体上的压力产生的摩擦力已超过岩石隧道掘进机所能提供的最大推力; (3) 岩石隧道掘进机掘进的隧道半径小于机械结构允许的最小转弯半径。

某公路工程项目隧道为单洞双向行车隧道, 隧道设计内轮廓直径为 8.1 m, 最大埋深约 820 m, 以混合片麻岩为主, 该隧道施工遇到的主要工

收稿日期: 2023-03-30

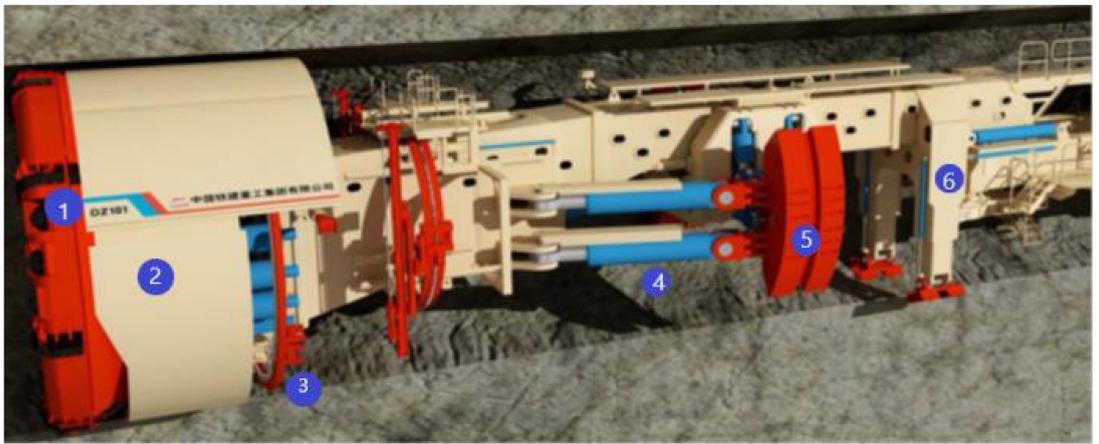
程地质问题包括软岩和断层带及挤压破碎带等问题。通过了解该隧道在设备选型期间由掘进机生产厂家针对该隧道所设计的敞开式岩石隧道掘进机和双护盾岩石隧道掘进机提供的相关参数,笔者主要从两个方面对两种掘进机在塌方、围岩收敛方面进行了分析与研究,暂且不考虑对盾体与围岩之间的间隙通过扩挖等方式进行改良。其中一方面是对隧道掘进机克服围岩阻力的性能进行分析;另一方面是对两种隧道掘进机在不良围岩条件下的施工效率进行分析,以计算出围岩收敛时忽略围岩接触盾体至盾体表面压力超过最大推

动压力过程所需的时间。

2 两种岩石隧道掘进机性能的比较

2.1 敞开式岩石隧道掘进机

敞开式岩石隧道掘进机主要由主机、连接桥、后配套组成。敞开式岩石隧道掘进机的主机^[3]主要由刀盘、溜渣槽、主机带式输送机、护盾、主驱动单元、钢拱架安装器、锚杆钻机、主梁、撑靴、后支撑、推进液压缸等组成。敞开式岩石隧道掘进机主机结构见图1。其后配套主要由台车、供电、通讯、供水、排水、通风、除尘、供风、供气、控制系统、激光导向系统、出渣运输设备系统等组成。



1. 刀盘;2. 护盾;3. 钢拱架安装器;4. 推进液压缸;5. 撑靴;6. 后支撑。

图1 敞开式岩石隧道掘进机主机示意图

敞开式岩石隧道掘进机的工作原理:在推进油缸的推力作用下,主驱动带动刀盘刀具对岩石进行滚压,待岩石达到破裂极限时,逐步开裂、剥落呈片状的岩渣掉落到刀盘底部,再由刀盘铲牙将岩渣铲起装入皮带机内转运至运送物料的小火车中的专用装渣板车或连续皮带机上运送至洞外;同时,岩石隧道掘进机配套的支护系统完成隧道的初期支护工作,由后续模板台车完成隧道的二衬工作。

(1)敞开式岩石隧道掘进机在正常掘进过程中的主要阻力来自于其顶部和底部护盾稳定器引起的摩擦力、岩石隧道掘进机主机自重的摩擦力、掘进刀盘推进力以及后配套系统拖拉力的总和。

根据对厂家提供的敞开式岩石隧道掘进机的参数进行分析得出:敞开式岩石隧道掘进机盾体单位面积上不卡机所允许的塌方或围岩收敛载荷 $P_{\text{敞}} = 209.2 \text{ kN/m}^2$ 。

(2)敞开式岩石隧道掘进机的盾体长度为

4.83 m,开挖洞体与盾体的平均单侧间隙可达165 mm。按照40 mm/min的掘进速度,采用敞开式岩石隧道掘进机掘进通过盾体长度所需要的掘进时间约为120 min;对于围岩不稳定段需要全圆进行初期钢拱架、锚杆、初喷等初期支护的洞段,根据以往的施工经验,锚杆钻孔需要约140 min;锚杆灌药和锚杆施工需要约140 min;初喷混凝土4.83 m需时约160 min,二次喷混凝土衬砌需时约120 min,其中锚杆钻孔、灌药、锚杆安装、初喷无法与其他工序同步施工。岩石隧道掘进机从开挖到出盾体范围需时7.3 h,故其围岩收缩率在22.6 mm/h范围以内时敞开式岩石隧道掘进机不存在卡机风险。

2.2 双护盾岩石隧道掘进机

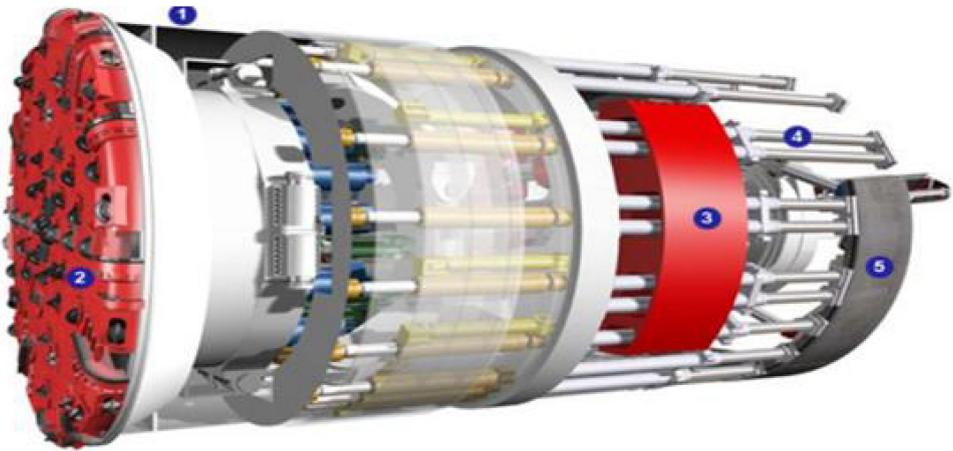
双护盾岩石隧道掘进机是在敞开式岩石隧道掘进机(硬岩机)和盾构机(软岩机)理念上发展起来的新型机型,其延续了敞开式岩石隧道掘进机在硬岩条件下的撑靴撑紧岩壁来提供反作用力的

掘进模式(双护盾掘进模式),同时又结合了盾构机利用已安装的管片提供反作用力的掘进模式(单护盾掘进模式),故双护盾岩石隧道掘进机具备穿越硬岩和软岩隧道的能力。双护盾岩石隧道掘进机的开挖与衬砌可以同步进行,具有安全、快速、应对岩爆和断层破碎带^[4]能力强的特点。

双护盾岩石隧道掘进机由主机和后配套组成。双护盾岩石隧道掘进机的主机主要包括刀盘、溜渣槽、前护盾、主驱动单元、稳定器、推进液压缸、反扭距梁、外伸缩护盾、内伸缩护盾、铰接液压缸、支撑护盾、撑靴、辅助推进液压缸、尾护盾、超前钻机、管片拼装机、主机带式输送机等,双护

盾岩石隧道掘进机的主机结构见图 2。其后配套系统包括供电、供水、供气、供风、液压、控制、除尘、出渣、回填等系统。

双护盾岩石隧道掘进机具有的施工特点:开挖与衬砌同步进行,采用管片支护,支护速度快,隧道一次成型;其在硬岩地层掘进的适应性与敞开式岩石隧道掘进机相同,在软弱围岩地层掘进时可采用单护盾模式掘进,比敞开式具有更好的适应性。与敞开式岩石隧道掘进机相比其对地质条件变化的适应能力更强,而且设备与人员处于岩石隧道掘进机盾体和管片的保护下安全性好。



1. 护盾;2. 刀盘;3. 撑靴;4. 辅助推进油缸;5. 管片。

图 2 双护盾岩石隧道掘进机主机示意图

双护盾岩石隧道掘进机有两套推进系统:主推进系统和辅助推进系统,在双护盾模式推进过程中可以同时完成管片拼装。由于撑靴与岩壁之间的摩擦力为主推进系统掘进提供反力,在此模式下的掘进过程中只有前护盾和伸缩护盾存在位移,而其配套系统所需的拖拉力也由撑靴与岩壁之间的摩擦力提供,因此,此模式掘进所需克服的阻力来自于顶部稳定器引起的摩擦力、岩石隧道掘进机前护盾和伸缩护盾部分自重产生的摩擦力、围岩对前护盾和伸缩护盾的水平和垂直载荷的摩擦力以及掘进刀盘推进力的总和。

2.2.1 双护盾模式

在双护盾模式掘进过程中,撑靴撑紧,其与岩壁产生的摩擦力为掘进提供了其所需要推力的反作用力和管片安装提供推力的反作用力、后配套拉力的反作用力,而撑靴护盾、后配套等向前移动

的推力则由辅助推进油缸在换步过程中提供。此模式在掘进过程中的阻力来自于顶部稳定器引起的摩擦力、岩石隧道掘进机主机的刀盘、前护盾、伸缩护盾外盾部分自重的摩擦力以及掘进刀盘推进力的总和。

根据对厂家提供的双护盾岩石隧道掘进机的参数进行分析后得出:双护盾岩石隧道掘进机在双护盾模式下其盾体单位面积上不卡机所允许的塌方或围岩收敛载荷 $P_{\text{双主}} = 1\ 003.8\ \text{kN/m}^2$ 。

2.2.2 单护盾模式

在单护盾模式掘进过程中,撑靴收回后与岩壁之间不产生摩擦力,掘进所需要的所有推力由辅助推进系统撑紧管片提供,此模式下需待掘进完成后方可进行管片的拼装,此模式掘进过程中的阻力来自于顶部稳定器引起的摩擦力、岩石隧道掘进机主机自重产生的摩擦力、掘进刀盘推进

力和后配套系统拖拉力的总和。

根据对厂家提供的双护盾岩石隧道掘进机的参数进行分析得出:双护盾岩石隧道掘进机在单护盾模式下其盾体单位面积上不卡机所允许的塌方或围岩收敛载荷 $P_{\text{双单}} = 515 \text{ kN/m}^2$ 。

2.2.3 特殊模式

在撑靴可以提供反力的情况下,双护盾岩石隧道掘进机可以采用另外一种模式进行掘进,该模式可以将双护盾主机看作完全独立的两部分:(1)前护盾和伸缩护盾部分;(2)撑靴护盾和尾盾部分。两部分进行掘进施工,其中主推进系统为前护盾和伸缩护盾提供推进力;辅助推进系统为撑靴护盾和尾盾提供推进力。

根据对厂家提供的双护盾岩石隧道掘进机的参数进行分析得出:双护盾岩石隧道掘进机在特殊模式下其前护盾和伸缩护盾的盾体单位面积上不卡机所允许的塌方或围岩收敛载荷 $P_{\text{双特1}} = P_{\text{双主}} = 1\,003.8 \text{ kN/m}^2$ 。

撑靴护盾和尾护盾盾体单位面积上不卡机所允许的塌方或围岩收敛载荷 $P_{\text{双特2}} = 1\,207.6 \text{ kN/m}^2$ 。

2.2.4 辅助推进系统超高压模式

在双护盾岩石隧道掘进机设计时,一般在考虑卡机的情况下会在辅助推进系统中单独布设超高压液压系统,该系统压力可达 500 bar 以进行脱困。这种模式与上述特殊模式类似,其区别在于辅助系统的最大推力可达 104 411 kN。

双护盾岩石隧道掘进机在超高压模式下其前护盾和伸缩护盾盾体单位面积上不卡机所允许的塌方或围岩收敛载荷 $P_{\text{双超1}} = P_{\text{双主}} = 1\,003.8 \text{ kN/m}^2$ 。

撑靴护盾和尾护盾盾体单位面积上不卡机所允许的塌方或围岩收敛载荷 $P_{\text{双超2}} = 1\,746.5 \text{ kN/m}^2$ 。

2.2.5 掘进工效分析

采用双护盾模式掘进以 1.8 m 为一个掘进循环,其掘进按照 40 mm/min 的掘进速度实施,一个循环需要 45 min;管片拼装根据已有经验一般需时 25~40 min;换步时间为 5 min;双护盾模式在掘进过程中同时拼装管片,故一个循环的时间大约为 50 min。双护盾的盾体长度为 11.9~13.7 m,预计从开挖到出盾尾的时间需要约 6.3 h;且因双护盾岩石隧道掘进机设计的开挖直径与盾

尾之间的平均间隙为 95 mm,故围岩收缩率在 15.1 mm/h 范围以内,双护盾岩石隧道掘进机不存在卡机风险。

单护盾模式掘进亦以 1.8 m 为一个循环,其掘进过程主要分为掘进、管片拼装。但单护盾模式在掘进完成后方可拼装管片,管片拼装完成后即可掘进下一个循环。单护盾模式下,其伸缩护盾为收缩状态,盾体总长度为 11.9 m,故其一个循环时间大约为 85 min,从开挖到出盾尾的时间需要 9.3 h。故其围岩收缩率在 10.2 mm/h 范围以内不存在卡机风险。

3 对比分析

对不同原因造成的岩石隧道掘进机盾体卡机和两种岩石隧道掘进机参数配置等方面进行综合分析后得出以下观点:

(1)双护盾岩石隧道掘进机除了在单护盾模式下其盾体单位面积上不卡机所允许的塌方或围岩收敛载荷是敞开式岩石隧道掘进机的 2.4 倍以外,在其余模式下,其均为敞开式岩石隧道掘进机 4.7 倍以上的载荷量,故在塌方和围岩收敛载荷方面,双护盾岩石隧道掘进机相较于敞开式岩石隧道掘进机不易发生卡机。

(2)从开挖面开始到盾尾通过,在围岩收缩率小于 15.1 mm/h 时双护盾岩石隧道掘进机不易卡机,而在围岩收缩率小于 22.6 mm/h 的地层掘进时敞开式岩石隧道掘进机不易卡机。相比而言,敞开式岩石隧道掘进机在围岩收敛地层掘进时相较于双护盾岩石隧道掘进机具有一定优势。

(3)双护盾岩石隧道掘进机主机分为两部分,其最长盾体(撑靴护盾和尾盾)的总长度为 6.8 m,可以实现的最小设计转弯半径为 400 m;而敞开式岩石隧道掘进机的最小设计转弯半径为 500 m,对于掘进纠偏方面造成卡机的风险而言:双护盾岩石隧道掘进机优于敞开式岩石隧道掘进机。

(4)在通过隧道收敛性围岩段时,敞开式岩石隧道掘进机和双护盾岩石隧道掘进机均可以通过增加刀盘的开挖直径来增加允许围岩收敛的厚度,进而给岩石隧道掘进机预留出了尽可能多的施工时间。常见的刀盘扩挖方式^[5]包括更换刀盘边块方案、安装液压扩挖刀、边滚刀外移方案、预留扩挖刀箱方案等。由于边滚刀外移方案所需要

的制造成本较低且调整过程较短,其在施工中的使用最为常见。

4 双护盾岩石隧道掘进机的实际应用情况

该工程隧道最终选择了采用双护盾岩石隧道掘进机施工,在其进洞约 1.3 km 处遇到长度约为 120 m 的围岩收敛、塌方破碎带地层,导致双护盾岩石隧道掘进机盾体五次被围岩卡死。通过采用边滚刀外移方案进行扩挖、人工开挖清理盾体和改变掘进模式等措施,最短花费了 1 d 即处理完卡机并恢复了正常掘进,最长花费了 10 d 即处理完前护盾、伸缩护盾、撑靴护盾和尾护盾上的围岩后恢复了掘进;经过对五次卡机进行处理,总结出双护盾岩石隧道掘进机在围岩收敛、塌方破碎带地层施工的工作要点和经验,并在后续隧道施工应用中得到了充分的验证;同时亦证实了双护盾岩石隧道掘进机在围岩收敛、塌方破碎带地层中具有很强的适应性。

5 结 语

综上所述,双护盾岩石隧道掘进机通过有针对性的设计后,相较敞开式岩石隧道掘进机在塌

方破碎带等卡机地层中具有更强的适应性,但其在围岩收敛地层中的适应性稍弱。因此,对于隧道施工中Ⅳ类、Ⅴ类围岩占比较多的情况,采用双护盾岩石隧道掘进机施工效率更高。

参考文献:

[1] 王江. 引水隧洞双护盾岩石隧道掘进机卡机分析及脱困技术[J]. 隧道建设, 2011,31(3):364-368.

[2] 张忠亭. 洞室围岩收敛变形灰色理论预测[J]. 四川水力发电, 1995,14(4): 27-30.

[3] 全断面隧道掘进机术语和商业规格, GB/T34354-2017 [S].

[4] 徐虎城. 断层破碎带敞开式岩石隧道掘进机卡机处理与脱困技术探析[J]. 隧道建设(中英文), 2018,38(1):156-160.

[5] 田彦朝, 贺飞, 张啸, 杨添任. 长距离掘进软弱围岩的岩石隧道掘进机刀盘扩挖技术[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(5):884-889.

作者简介:

张 晶(1987-),男,陕西咸阳人,工程师,学士,从事岩石隧道掘进机施工技术与管理工
作;

高 强(1985-),男,重庆长寿人,高级工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 4 页)

[2] 田明,邹云丽,肖羚,等. 山区公路弃渣颗粒组成与休止角的统计分组特征及工程应用[J]. 岩土力学, 2022,43(增刊 2): 469-476.

[3] 冯辰晨,刘瀚泽. 管线沟槽回填土密实度与自然沉降时间关系试验探究与总结[J]. 水利建设与管理, 2016,36(10):35-39.

[4] 雅娜(Iana Rybnikova). 基于数学建模的反铲式液压挖掘机剥采比均衡方法研究[D]. 中国矿业大学, 2021.

[5] 吉占华. 大型露天矿山合理开采境界及采场废石排放方案

研究[D]. 河北大学, 2013.

作者简介:

宋自平(1979-),男,四川威远人,正高级工程师,从事土木工程施工技术与管理工作;

李 健(1977-),男,四川南充人,高级工程师,从事土木工程施工技术与管理工作;

周菊兰(1971-),女,四川资中人,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;

刘 李(1984-),男,陕西商洛人,高级工程师,从事土木工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 13 页)

节约了施工成本,保证了施工工期,同时确保了建筑物在其后期使用过程中的稳定性和可靠性,可为今后类似水利工程或软弱地基处理采用抛石挤淤法提供了一定的参考。

参考文献:

[1] 郭慧. 抛石挤淤施工技术在沼泽地段管道基础处理中的应用研究——以延安黄河引水工程为例[J]. 地下水, 2020,42(1):265-266.

[2] 张永涛,唐炫,杨钊. 抛石挤淤法的有效挤淤深度[J]. 土木工程与管理学报, 2012,29(3):77-80.

[3] 费松涛. 软基条件下低等级公路路基拓宽工程研究[D]. 长

沙;长沙理工大学, 2009.

[4] 周猛. 厚软基圩堤水下抛填施工技术研究[D]. 南师:南昌大学, 2017.

[5] 吴淞,辜禹峰,刘毓川. 水利工程软土地基处理施工质量管理[J]. 四川水力发电, 2020,39(1):41-43.

作者简介:

南海江(1989-),男,陕西咸阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

刘红远(1992-),男,河南漯河人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

万 柯(1985-),男,四川成都人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)