

# 敞开式 TBM 对软弱围岩的掘进方法

孔祥政

(辽宁润中供水有限责任公司, 辽宁 沈阳 110015)

**【摘要】** 敞开式 TBM 在软弱围岩洞段开挖施工时,适应能力稍差。辽宁省大伙房水库输水工程 TBM3 施工段在施工过程中,通过利用机上辅助作业设备进行支设钢拱架、挂钢筋、喷混凝土等支护方法加固围岩,加强 TBM 在特殊情况下的操作方法应对,适当调整 TBM 的掘进参数,使 TBM 顺利通过了多处不良地质洞段,为类似工程施工积累了一些经验。

**【关键词】** 敞开式 TBM; 软弱围岩; 掘进方法

中图分类号: TV554

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)05-0012-04

## Tunneling method of open TBM on weak surrounding rock

KONG Xiangzheng

(Liaoning Runzhong Water Supply Co., Ltd., Shenyang 110015, China)

**Abstract:** Open TBM has worse adapting ability during the excavation construction of weak surrounding cave section. Auxiliary operation equipment on the machine is utilized for erecting steel arch, hanging steel bars, spraying concrete, etc. for reinforcing surrounding rocks at the TBM3 construction section of Liaoning Dahuofang Reservoir Water Diversion Project during construction. The operation method response of TBM under special circumstances is reinforced. TBM tunneling parameters are adjusted suitably, thereby TBM passes through many adverse geological hole sections smoothly, and some experience is accumulated for construction in similar projects.

**Keywords:** open TBM; weak surrounding rock; tunneling method

## 1 前言

辽宁省大伙房水库输水工程 TBM3 施工段长 18469m,开挖洞径 8.03m,采用敞开式 TBM 为主、钻爆法为辅的方式开挖<sup>[1]</sup>。敞开式 TBM 具有节能、安全、高效等优点。近年来,在国内水工隧洞开挖工程中得到大量应用,但敞开式 TBM 对不良地质条件的适应能力稍差<sup>[2]</sup>,在软弱围岩条件下掘进能力会受到较大影响,如果施工方法不当或者 TBM 掘进时刀盘转速、撑靴压力、刀盘扭矩、推进力、推进速度、换步行程与调向幅度等主要调控参数选择不当,极有可能导致围岩剥落量

增大,从而引发支护工作量增加、刀盘卡阻、皮带机过载停机、掘进方向偏差过大等一系列问题。这些问题将影响 TBM 性能的发挥,减慢 TBM 的施工速度。因此,在软弱围岩条件下如何选择适当的施工方法、调节 TBM 掘进参数,得到一个合理的掘进速度值得施工人员研究。

## 2 掘进参数的调控

### 2.1 刀盘转速

TBM 刀盘的转速控制模式有恒功率、恒扭矩和人

工手动三种控制模式,在软弱围岩开挖时,如果前一个掘进循环使用的刀盘推力较大,并且皮带上岩石大小均匀、块度较小时,可采用高掘进速度(4.50rpm 左右)的恒功率模式掘进;如果前一个掘进循环使用的刀盘推力较小,并且岩石大小不均匀、大块岩石较多,可采用低掘进速度(2rpm 左右)的恒扭矩模式掘进。不时采用人工手动控制模式掘进,操作员在掘进期间,应密切关注监视屏,观察皮带上岩渣大小和堆积量,随时根据掌子面围岩的变化情况做适当调整。

## 2.2 撑靴压力

敞开式 TBM 掘进时利用撑靴支撑在岩壁上,把设备的重量、推力和扭矩传递给岩壁,为 TBM 提供反作用力。因此,撑靴的面积应足够大,在正常油压下应有较小的接地比压并能产生足够的推力。一般支承力是推力的 3 倍以上。敞开式 TBM 的每个撑靴均可独立操作,借助球形铰可自动均匀地支撑在隧道岩壁上,避免引起集中荷载,支撑靴表面留出安装钢拱架的沟槽。软弱围岩一般比较破碎、抗压能力不强,在掘进施工时应根据围岩的饱和抗压强度和完整程度,适当降低撑靴压力,避免压碎洞壁岩石导致塌方,撑靴压力一般控制在 180 ~ 250bar (1bar = 100kPa) 范围内。如果撑靴对围岩的压力超过围岩的抗压强度,就会压碎岩体造成撑靴打滑,不能为 TBM 提供足够的推进力,此时,可采取加密钢拱架、打锚杆、布设钢筋网、喷射混凝土等方法支护围岩,提高围岩的抗压强度(TBM 撑靴部位围岩加固处理如图 1 所示)。



图 1 TBM 撑靴部位围岩加固处理

## 2.3 刀盘扭矩

在软弱围岩掘进施工时,刀盘扭矩应控制在最大扭矩的 75% 左右,如果刀盘扭矩过大,极易扭碎撑靴部位的岩石,导致撑靴打滑和机身滚动。

## 2.4 推进力和推进速度

在软弱围岩掘进施工时,刀盘推力控制在最大推力的 40% 以内,否则,可能导致撑靴打滑或损坏刀具。操作时尽量采用较低转速、较小推进力,配合皮带积渣观察,小心推进。

软弱围岩洞段岩石强度不高,常有节理裂隙发育,岩石较破碎,如果推进速度过快常会造成刀盘扭矩过大,皮带机负荷过重,易造成刀盘卡阻或皮带机过载停机,所以必须根据刀盘扭矩、撑靴压力和皮带机负荷情况来合理调整推进速度。

## 2.5 换步行程和调向幅度

敞开式 TBM 在软弱围岩段开挖施工时应更重视换步与调向工作,软弱围岩段一般难以选择光滑、坚硬的洞壁支撑撑靴,要避免钢拱架、钢格栅、破碎岩石面,换步行程就不一定是设计的整个换步行程或半个换步行程,如果不采取措施将导致换步次数增加,反复挤压洞壁围岩,使撑靴附近的围岩破碎范围扩大。因此,换步尽量以全行程或半行程为宜,如果因为围岩强度太低无法可靠支撑撑靴,就应该对撑靴附近围岩进行加固:可在撑靴处围岩上打 6 ~ 10 根带小孔钢管,管径  $\phi 42\text{mm}$ ,并注浆形成支承座;也可在撑靴支撑范围内临时安装厚度 8mm 以上的钢板,在钢板与洞壁之间喷射混凝土或灌注早强混凝土,等混凝土强度达到 75% 以上时再继续掘进。这样可防止撑靴打滑,保证 TBM 掘进时有足够推力,防止出现刀盘下沉、机身滚动等问题,便于对 TBM 的调向操作,保证掘进方向精度。敞开式 TBM 在软弱围岩段开挖施工时应减小每次调向的幅度,在调向时机械工程师应到撑靴处仔细观察,确认撑靴可靠地支撑在洞壁上,以确保调向精度,保持 TBM 正确姿态<sup>[3]</sup>。

### 3 特殊情况下 TBM 操作技术

#### 3.1 TBM 掘进起步控制

以 20% ~ 25% 的起步推进速度接近掌子面,当掘进 3 ~ 5cm 时,则以 5% ~ 10% 的速度递增,每增 1 次,稍待 15s 左右,若撑靴压力不下降,推进力不高于上限,皮带机压力在额定范围内,扭矩不超过规定值,可以继续提高推进速度,直到理想推进速度为止。

#### 3.2 撑靴打滑及 TBM 撑靴压力发生急剧变化的应对措施

应立即停止掘进,加固支撑打滑撑靴的围岩,进行调向后再进行掘进作业;TBM 撑靴压力发生急剧变化时应立即补压,并迅速降低推进速度,使撑靴压力达到新的稳定点,再保持稳定掘进。

#### 3.3 护盾后部发生坍塌的应对措施

如果坍塌不严重,仍继续推进直到能够安装钢拱架的位置,停止掘进,进行支护;如果坍塌严重,应立即停机进行超前支护,待支护完成后,方可掘进。

#### 3.4 断层破碎带开挖刀盘推力突降的应对措施

断层破碎带内岩石破碎、松散,掘进时如果 TBM 刀盘后退,掌子面岩石将失去刀盘的支撑力,极易失稳坍塌,在掌子面形成空穴,造成主机皮带机大量积渣,引发过载急停,所以在这种情况下 TBM 的刀盘必须以适当的推力作用继续在掌子面上,绝对不能在无推进力或推进力过小的情况下转动刀盘掘进。断层破碎带开挖施工应可能减少停机时间,长时间停机时应定时转一下刀盘,防止围岩变形卡阻刀盘。

#### 3.5 刮渣器不能及时清渣的应对措施

当岩体十分破碎,以致刮渣器不能及时清渣时,可利用刀盘的反转和脱困扭矩抵抗破碎围岩的卡塞,避免刀盘卡阻事故发生。

### 4 充分利用附属设备进行辅助作业

开敞式 TBM 通过软弱、破碎围岩和断层破碎带时,应利用 TBM 上的作业平台和配备的附属设备,及时进行支护和封闭围岩。在护盾及前方采用超前注浆

或施作超前小导管支护;在护盾后部紧跟掘进,用钢拱架、钢筋网、钢瓦片、锚杆、应急喷混凝土及时封闭围岩;利用连接桥部分的机械手喷射混凝土加固围岩。开挖较大范围软弱围岩时,应采用挂钢筋网(钢瓦片)、钢拱架、锚杆、灌注混凝土、喷射混凝土的联合支护方式进行处理。

具体实施步骤:设作业平台 → 处理危石 → 喷射混凝土 → 锚杆 → 挂钢筋网(钢瓦片) → 安装钢拱架 → 灌注速凝细石混凝土 → 喷射混凝土。

#### 4.1 利用超前钻机进行超前注浆加固地层

开敞式 TBM 配备的超前钻机可向刀盘前斜上方钻孔 20 ~ 30m 深,用于超前地质探测,也可用于对刀盘前面及护盾上方的软弱岩层进行注浆加固,如果刀盘前岩层稳定性特别差还可以施作小导管注浆加固,经过这样处理的洞段,大大改善了开挖面的稳定性,保证施工安全。

#### 4.2 安装钢拱架或钢格栅

敞开式 TBM 护盾后配备一台钢拱架和钢筋网安装器,用于 IV 类和 V 类围岩洞段的钢拱架、钢格栅、钢筋网的支设工作。钢拱架或钢格栅的支设间距,根据现场围岩状况和撑靴的换步行程确定。在软弱围岩段施工时如果围岩轻微破碎(仅有少量剥落),可采取短进尺掘进,边掘进边支护,如果围岩严重破碎,易坍塌时,应停机加固、再掘进作业,掘进后应立即进行支护工作,必要时可人工应急喷射混凝土及时封闭围岩。钢瓦片与钢拱架钢筋网联合支护见图 2,应急喷射混凝土作业见图 3。



图 2 钢瓦片与钢拱架钢筋网联合支护



图3 人工应急喷射混凝土支护

#### 4.3 利用锚喷支护加固顶拱围岩

敞开式 TBM 在软弱围岩段施工时,可利用安装在主梁上的锚杆钻机打锚杆支护顶部围岩,然后利用安装在连接桥上的混凝土喷射机械手,对围岩进行喷混凝土作业,及时封闭围岩,防止围岩的风化和变形失

(上接第 11 页)

### 5 质量与安全要求

#### 5.1 安全要求

- a. 施工前对施工人员做好安全教育及技术交底。
- b. 开挖采用短进尺、弱爆破的方式,分层、分块开挖,最大限度减少对围岩的扰动,开挖后立即进行系统及临时支护。
- c. 施工前首先进行排险工作,排险由上往下进行,首先进行机械排险,然后进行人工排险,人工排险时利用撬棍清理顶拱悬挂危石,顶拱危石排除完毕后进行边墙部位危石清理。排险完毕,由安全员验收后方可进行施工。
- d. 导洞及阀室起拱线以上部位开挖过程中,在导洞底部加工档石排架,防止顶部滑塌滚石伤人。
- e. 严格按照制定的开挖、支护流程进行施工,保证施工人员一直位于安全区域,严禁冒进。
- f. 严格按照相关技术标准及要求进行锚喷支护施工,做到支护一区,安全一区。
- g. 锚杆作业中,要密切注意观察围岩或喷射混凝土的剥落、坍塌。清理浮石要彻底,施工中,要及早发

稳。设置锚杆和喷混凝土作业,可与主机掘进同时进行。

#### 5 结语

辽宁省大伙房水库 TBM3 施工段开挖施工过程中,采取了支设钢拱架、挂钢筋网、喷混凝土等辅助作业措施,合理调节 TBM 掘进参数,保证了 TBM 的掘进效率,顺利通过了出口浅埋偏压洞段、查梁子河谷、大洛河谷等不良地质洞段。本文对于敞开式 TBM 隧洞开挖施工有一定借鉴意义。◆

#### 参考文献

- [1] 汪洪泉. 超长水工隧洞 TBM 法开挖施工供电方法探讨[J]. 中国水能及电气化,2015(4):22-24.
- [2] 王梦恕,王占山. TBM 通过断层破碎带的施工技术[J]. 隧道建设,2001(3):1-4.
- [3] 朱玉峰,祝云川. 大伙房水库输水工程查梁子不良地质段 TBM 施工对策分析[J]. 水利建设与管理,2007(5):45-47.

现危险征兆,及时处理。

- h. 喷射混凝土时应注意以下几点:①喷射前要检查作业地段的围岩,并清理浮石、危石等;②喷射机要安放在围岩稳定区域,同时喷射作业地段应加强照明和通风;③喷射时严格掌握好风压、水压,加强综合防尘措施;④风嘴不准对人,以免射伤人。

#### 5.2 质量要求

- a. 测量人员及时进行测量放样与断面检测,为施工质量提供技术保障。隧道开挖测量放样由测量工程师负责,使用全站仪定点,水准仪控制标高,钢尺、钢钉及红油漆画出开挖轮廓线,以保证开挖边线准确。
- b. 增强质量意识,严格按照设计图纸、制定方案及相关规范、质量标准进行施工,保证一次性验收通过。

### 6 结语

分水江 1 号地下检修阀室的施工属该标段关键线路,采用“提前起坡、导洞先行、一坡到顶、分层分块、人工出渣、及时支护”的施工方案,安全、快速完成了检修阀室开挖支护,节约了直线工期,可以为其他类似工程提供借鉴。◆