

# Design of Advanced Support System for Double Shield TBM

Dingrong Zeng

China Railway Construction Heavy Industry Co., Ltd., Changsha Hunan  
Email: zengrong224@126.com

Received: Mar. 26<sup>th</sup>, 2020; accepted: Apr. 2<sup>nd</sup>, 2020; published: Apr. 10<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Double shield tunnel boring machine (shorted for double shield TBM) was widely used in tunnel construction, because of its advantage of safety and high efficiency. The necessity of designing an advanced support system for the double shield TBM was analyzed as well as several normally used advanced support schemes. Then, the overall design of advanced support system as well as selection of advanced driller and grout injection equipment was introduced. The advanced support system of the double shield TBM was applied successfully in jobsite, and passed the acceptance of customer.

## Keywords

Double Shield TBM, Advanced Support System, Advanced Driller, Grout Injection Equipment

---

# 双护盾TBM超前支护系统设计

曾定荣

中国铁建重工集团有限公司, 湖南 长沙  
Email: zengrong224@126.com

收稿日期: 2020年3月26日; 录用日期: 2020年4月2日; 发布日期: 2020年4月10日

---

## 摘要

双护盾隧道掘进机(简称双护盾TBM)具有施工安全高效的优势,在隧道施工中得到广泛应用。本文首先分析了双护盾TBM配置超前支护系统的必要性和隧道施工中常用的几种超前支护方案。然后,重点介绍了双护盾TBM超前支护系统总体方案设计、超前钻机及注浆设备的选型。双护盾TBM超前支护系统在工地进行了实际应用并取得了良好的效果,顺利通过了用户的现场验收。

## 关键词

双护盾TBM, 超前支护系统, 超前钻机, 注浆设备

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

近年来,我国高速铁路、公路、城市地铁以及水利工程等基础设施建设越来越多,这其中就需要进行大量的隧道施工。当今中国已是世界上隧道及地下工程规模最大、数量最多、地质条件和结构形式最复杂、隧道施工技术发展速度最快的国家。隧道掘进机施工法作为一种适用于现代隧道工程的重要施工方法之一,具有经济、快速、安全和环保的优点。在国内隧道施工领域,人们习惯根据隧道掘进机适应的地质情况,将其分为盾构和硬岩掘进机(TBM)两大类,而TBM又可以分为敞开式和护盾式。双护盾TBM属于护盾式的一种,由于其工作原理和结构特点,双护盾TBM既可以用于硬岩施工,也可以用于软岩施工,且双护盾TBM的掘进作业和管片拼装作业可同步进行,使得其施工效率大大提高。由于双护盾TBM的地质适应性强和施工效率高,越来越受到市场的青睐,这也大大促进了国产双护盾TBM产品的研发和生产制造的快速发展[1][2][3][4]。

对于隧道工程尤其是长隧道工程,隧道线路设计时难以完全避免不良地质段,当遇到如软弱破碎、断层、突涌水等,围岩自稳能力差,开挖以后围岩的松弛变形发展往往很快,在开挖面或者护盾区域,可能出现围岩坍塌、收敛,甚至出现边挖边塌的现象,严重时可能造成隧道掘进机出现卡机,同时危及施工安全,若处理不当将会造成大量经济损失以及工期延误。针对不良地质段,制定切实可行的施工方案,采用合理的超前支护技术显得尤为重要。在工程实践中,人们通过不断尝试和理论研究,逐渐摸索出了各种超前支护技术,在开挖之前对这些不良地段的岩体进行预支护和加固,保持围岩原先的自稳能力,使隧洞掘进能顺利、安全地通过[5]。

本文主要针对双护盾TBM超前支护技术进行分析和研究,并针对某工程实际需求,在该工程所选用的双护盾TBM上设计了一套超前支护系统。

## 2. 超前支护技术分析

### 2.1. 超前支护必要性

采用双护盾TBM进行隧道掘进,具有自动化程度高、掘进速度快、安全、环保的优势。因此,在一些城市地铁、引水等工程中得到了越来越广泛的应用,但是遇到断层破碎带等不良地质时,可能对双护盾TBM造成一些不利影响,主要体现在以下几个方面:1) 开挖后工作面及拱顶坍塌、剥落,将TBM刀盘埋入,刀盘旋转困难;2) 在护盾区域,若围岩坍塌或收敛容易造成TBM主机异常卡机,且卡机时间越长越不利于掘进机的施工;3) 当不良地质段的围岩软硬不均对刀具工作不利,会增加刀具损耗,同时也会使掘进姿态的调整较为困难;4) 如存在突涌水则会由于水压作用,工作面发生坍塌,涌水淹没刀盘及主机局部,若排水处理不及时甚至对整个TBM造成严重损坏。

针对双护盾TBM在某些特定不良地质段进行掘进时存在的风险,要克服地层稳定性差对隧洞施工的不利影响,越来越多地应用超前支护技术。在隧洞开挖之前对围岩进行预支护或加固,对于增强隧洞施

工的安全性、减小因隧洞塌方带来的损失、加快隧洞施工进度均具有重要的工程意义。

## 2.2. 常用的超前支护方案

双护盾 TBM 在某些特定的不良地质段进行隧洞施工作业时,很有必要采用超前支护技术。但是,采用哪种超前支护措施较为经济实用、且能保证掘进机设备和人员的安全,这就需要对地质作好超前预报,查清地层的岩性,地质构造、岩体的分化程度、岩体的物理力学性能,岩溶发育程度以及分布状况,地应力状况等地质条件,并根据地质实际情况,制定出科学合理的支护方案。

根据国内外相关资料和工程实践经验可知,主要的超前支护方法有:超前锚杆、超前注浆和超前管棚注浆。下面简单地对上述几种超前支护方案的原理进行介绍:

1) 超前锚杆支护方案:对于在松散、破碎围岩中施工时,可以采用超前锚杆预支护,它与普通锚杆的本质区别在于安装程序不同,普通锚杆是在隧洞掘进一段距离之后开始安装(即先开挖后支护),而超前锚杆则是在未开挖的掌子面前方预先安装锚杆以提高围岩的自稳性。国内外已有不少应用超前锚杆预支护方案顺利通过松散、破碎带的成功案例。

2) 超前注浆支护方案:利用压力将能固化的浆液通过钻孔注入松散、破碎岩层的孔隙或裂隙中,使其物理性能改善的一种方法。破碎岩石的预灌浆加固机理,是以该类岩石的自身结构为骨架,通过高压渗入的浆液充填构造裂隙和岩石结构的晶网间隙,在岩石中形成新扩散相,并在矿物颗粒表面形成大量的新相萌芽,随着浆液的凝固发育,萌芽彼此交错连结,裂隙孔隙又为坚固的骨架所贯穿,形成由原生矿物颗粒与浆液凝结物的共混结构体,使自身的强度、完整性及抗水性能得到大大提高,并具有对上覆岩层较大的承载力。

3) 超前管棚注浆支护方案:沿初期支护外轮廓线按一定仰角向开挖面打入钢制管并进行注浆。该技术充分填充破碎松散岩石的空隙,在掘进机开挖掌子面前方形成一个加固区域,利用注入的浆液改善岩体的力学特性和不可渗透性。它主要适用于断层破碎带以及高地下水位、大面积淋水或涌水的隧道[6][7][8][9]。

## 3. 双护盾 TBM 超前支护系统设计

### 3.1. 超前支护系统总体方案

根据施工现场特殊地质及施工条件分析,选用液压冲击式跟管钻机 + 后续注浆方式,用于对不良地质段的围岩进行超前注浆加固方案。鉴于双护盾 TBM 的结构特点,方案设计时是将超前钻机安装在管片拼装机上,利用拼装机自有的轴向行走和绕隧道轴线的旋转功能来实现钻机前后方向的调整和对隧道全周方向的钻孔及注浆。这样可以明显简化超前支护系统的设计,充分利用掘进机已有的功能。

双护盾 TBM 盾体设计时,布置有 12 个超前注浆孔,孔径 $\phi 120\text{ mm}$ 。钻机采用跟管钻进的方式,对破碎围岩(塌孔事故)适应性较好[10]。达到钻进深度时,最尾端的套管不安装,避免该根钢管与盾体发生干涉。钻进到达计划深度后,退出钻机及钻杆,套管留在孔内,最后通过注浆设备进行注浆加固。

本文设计的超前支护系统(见图 1),总体上属于超前支护方案中的超前管棚注浆。

如图 1 所示,超前钻机 1 安装在推进梁总成 2 上面,通过内置于推进梁内部的推进油缸使得超前钻机在推进梁上面前后运动,主要是用于钻机向前钻进时提供推力、钻机后退拆钻杆或接钻杆。而推进梁总成和超前钻机通过安装座与管片拼装机的回转架连在一起,从而可以随拼装机的旋转实现以隧道轴线为中心轴的旋转运动,从而使得超前钻机可以满足全周的钻孔需求。随俯仰油缸 3 用于调节推进梁的角度,并结合拼装机自身具有的沿隧道轴线前后运动的自由度,可以调节钻机的俯仰角度,根据盾体上预留的超前注浆孔分布位置,超前钻机设计的钻孔角度为 $7^\circ$ 到 $11^\circ$ 。超前钻机设计的钻孔深度是 50 m,每

根钻杆的长度为 1.5 m，通过续接钻杆的根数来计算钻孔深度。

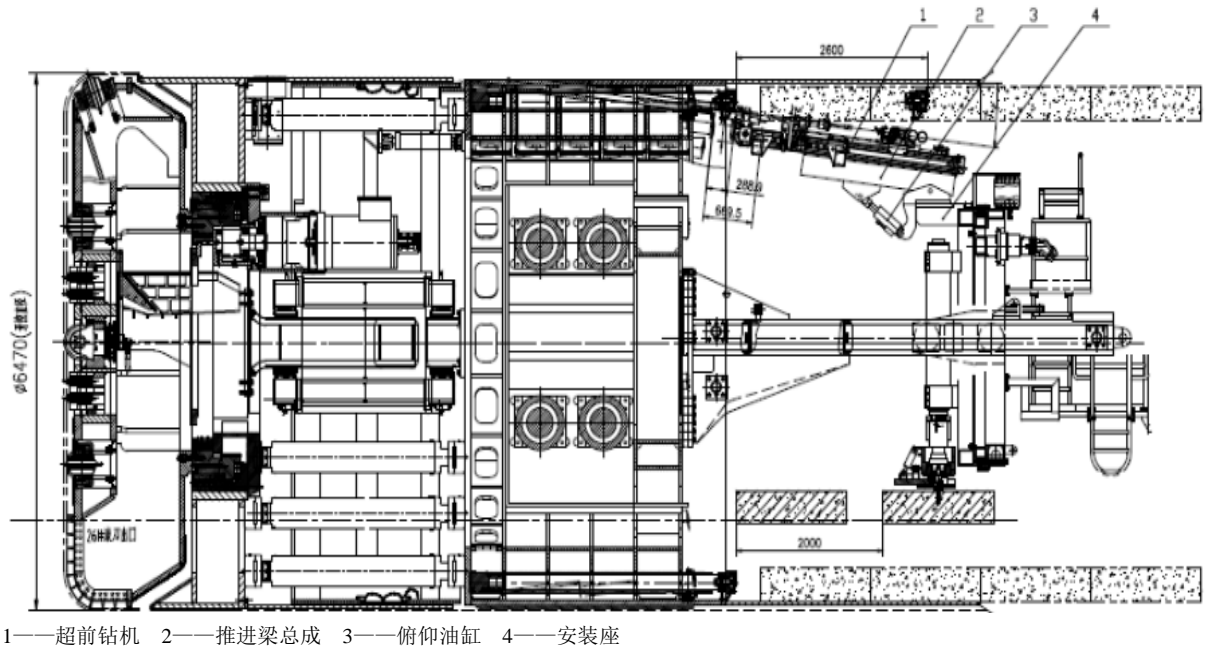


Figure 1. General arrangement of advanced driller  
图 1. 超前钻机总体布置方案

### 3.2. 超前钻机的选型设计

超前钻机作为双护盾 TBM 超前支护系统中最为关键的设备之一，其性能参数直接影响超前跟管钻进效率及整个超前支护方案的成败。

由于采用的是跟管钻进，钻机所需的旋转扭矩和推进力相比普通钻杆钻进方式要明显加大。所以，超前钻进选型设计时充分考虑到跟管钻进的特点，选用某进口品牌的液压冲击时凿岩机，凿岩机主要参数见表 1。同时配以全液压控制阀，对凿岩机进行控制，能够根据地层实际情况自动调节凿岩机的冲击压力，并具有液压自动防卡钎和冲洗水流量保护等功能，大大提高了凿岩机对地层的适应性。

Table 1. Parameters of advanced driller  
表 1. 超前钻机参数

|             |           |
|-------------|-----------|
| 冲击功/kW      | 24.5~31.9 |
| 冲击压力/bar    | 165~190   |
| 冲击油流量/L/min | 150~170   |
| 扭矩/N.m      | 1092      |
| 转速/rpm      | 169~291   |
| 冲洗水流量/L/min | 100       |

### 3.3. 注浆设备的选型设计

当钻孔完毕后，将凿岩机钻杆提出，并安装好水笼头、防喷钻杆及止浆塞等注浆钻具(结构及组成见图 2)，再将注浆钻具与凿岩机动力头连接用钻机将注浆钻具送入岩层中的套管内相应的注浆点。为提高

注浆效率使浆液尽快凝结,采用双液注浆泵(双液注浆泵具体参数见表2)将浆液通过注浆装置上的水龙头注入,最终浆液经过套管上设计的径向注浆孔(按一定间距进行排布)向岩层中进行扩散,达到加固岩层的目的。

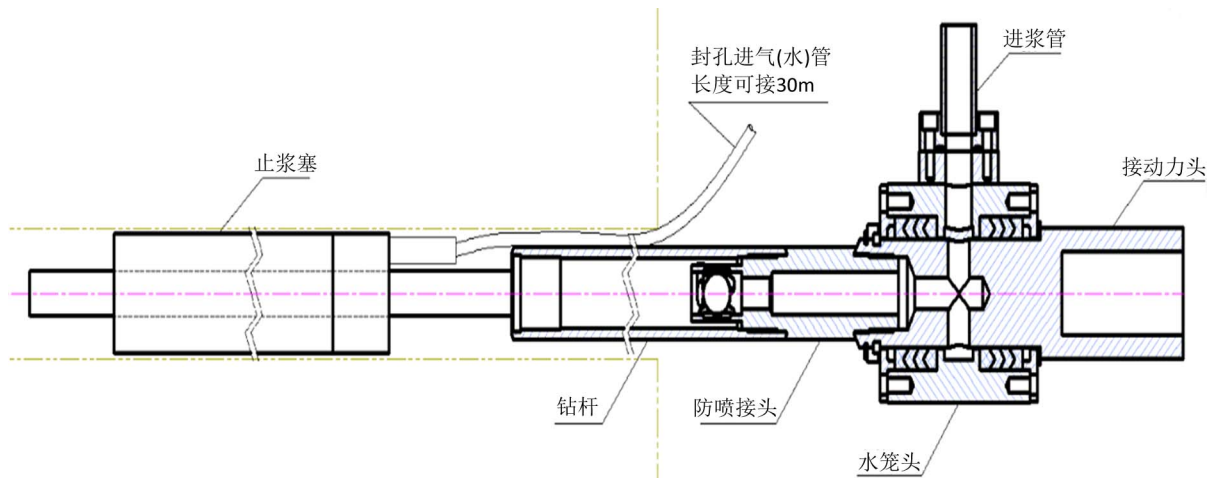


Figure 2. Drilling tool of grout injection

图 2. 注浆钻具

Table 2. Parameters of grout injection equipment

表 2. 注浆设备参数

| 档位       | 额定排量 L/min | 额定压力 MPa           | 往复次数次/min        |
|----------|------------|--------------------|------------------|
| 快挡       | 70         | 2                  | 72               |
| 慢挡       | 42         | 4                  | 43               |
| 参数名称     | 参数值        | 参数名称               | 参数值              |
| 活塞直径 mm  | 62         | 活塞杆直径 mm           | 28               |
| 行程长度 mm  | 100        | 泵作用型式              | 双缸同步双作用          |
| 吸浆管直径 mm | 32         | 排浆管直径 mm           | 19               |
| 出浆管规格    | 19AII      | 数量                 | 2                |
| 电机功率 kW  | 7.5 6级     | 电机型号               | Y2-160M-6        |
| 质量(约) kg | 486        | 外形尺寸(L × B × H) mm | 1806 × 750 × 780 |

注浆具体步骤如下:

- 1) 通过钻机把防喷钻杆包括止浆塞送至注浆点;
- 2) 通过封孔进气(水)管注水或压缩空气膨胀止浆塞,防止浆液向后流;
- 3) 封孔后利用双液注浆泵,把双浆液通过水笼头注入浆液;
- 4) 达到注浆要求后,将封孔管泄压,通过凿岩机后退钻杆,退至下一个注浆点;
- 5) 重复上述步骤。

### 3.4. 超前支护系统工程应用

文中提到的双护盾 TBM 超前支护系统,在工地进行了应用测试,图 3 是超前钻机钻孔时的图片,累计钻孔 6 个,钻孔深度为 35 m (钻机具备 50 m 钻孔能力,实际应用 30 m 以上即可)。由于通过钻孔的参

数和出渣情况判断地层仅有局部破碎，且基本没有裂隙水，施工方据此判断无需进行超前注浆。因此，超前支护系统仅验证了钻孔功能，并未实际应用其超前注浆功能，但是施工方认为注浆设备和工艺是非常成熟，双护盾 TBM 配套的超前支护系统可以满足工程应用，顺利通过了性能验收。



**Figure 3.** The application of advanced driller in jobsite  
**图 3.** 超前钻机工地应用

#### 4. 结论

本文分析了双护盾 TBM 在遇到特定不良地质段采用超前支护的必要性，并对常用的超前支护方案进行了介绍。针对某项目的具体地质特性和双护盾 TBM 的结构，设计了一套超前支护系统。工程应用情况表明，该超前支护系统可以满足使用要求。

超前支护系统的存在增加了双护盾 TBM 对于不良地质的适应性，通过预先处理不良地质，使得掘进机能够安全顺利通过断层破碎带。超前支护是一套系统性施工工艺，双护盾配置了超前支护系统只是为设备克服不良地质提供了硬件条件。要让双护盾 TBM 完全顺利通过断层、破碎以及涌水等不良地质段，还需要现场科学的施工组织、准确的超前地质判断、对超前支护系统正确使用等条件予以全力配合。

#### 参考文献

- [1] 王梦恕. 中国盾构和掘进机隧道技术现状、存在问题及发展思路[J]. 隧道建设, 2014(3): 180-181.
- [2] 曾定荣, 张明明, 刘在政, 等. 双护盾硬岩隧道掘进机推进支撑液系统设计[J]. 铁道建筑技术, 2017(10): 34-37.
- [3] 刘飞香, 于洋. 某隧洞工程 TBM 不良地质处置探究[J]. 隧道建设, 2019(9): 1515-1521.
- [4] 中国铁道建筑总公司. 隧道掘进机施工技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] 张运庭. 浅埋软弱地层隧道围岩稳定性分析及综合施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2014(5): 86-88.
- [6] 杨正保. 隧洞掘进超前支护技术研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 21-25.
- [7] 高健, 张义同. 实施超前注浆管棚支护的隧道开挖面稳定分析[J]. 天津大学学报, 2009, 42(8): 666-670.
- [8] 韩亚丽, 崔原. 超前支护技术在敞开式全断面掘进机施工中的应用[J]. 现代隧道技术, 2003, 40(3): 55-58.
- [9] 王信普, 杨双龙. McNally 支护系统在辽西北供水工程长隧洞 TBM 施工中的应用[J]. 甘肃水利水电技术, 2016, 52(1): 54-55.
- [10] 杜彦良, 杜立杰. 全断面岩石隧道掘进机: 系统原理及集成设计[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2011.