

# 兰州市水源地建设工程输水隧洞双护盾 TBM 破碎带受阻处理经验

王 耀 张 高

(黄河勘测规划设计有限公司,河南 郑州 450003)

**【摘 要】** 遭遇破碎带是 TBM 掘进中的重大风险。掘进受阻处理是施工处理技术难点。本文以兰州市水源地建设工程为例,详细记述了采取“化灌止浆墙+超前灌浆”处理措施,双护盾 TBM 成功通过破碎带的施工过程,并提出了地质勘察及预报、破碎带处理准备及实施、双护盾 TBM 设计改进三个方面的建议,可为此类工程提供借鉴。

**【关键词】** 隧洞;双护盾 TBM;破碎带;受阻;处理;经验

中图分类号: TV554

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2018)07-010-04

## Experience in blocking treatment of double-shield TBM rupture zone in the water conveyance tunnel of Lanzhou Water Source Construction Project

WANG Yao, ZHANG Gao

(Yellow River Survey and Planning Design Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** It is a major risk in TBM tunneling to encounter the rupture belt. How to deal with tunneling blocking is a difficult problem in construction treatment. Water source construction project of Lanzhou is adopted as an example. The construction process of the double shield TBM successfully passing through the fracture zone by using ‘chemical perfusion slurry wall + advanced grouting’ treatment measures is accounted in detail in the paper. Suggestions in three aspects of geological investigation and forecast, fracture zone processing preparation and implementation, double-shield TBM design improvement are proposed, thereby providing reference for similar projects.

**Key words:** tunnel; double-shield TBM; rupture zone; blocking; processing; experience

双护盾 TBM 可满足开挖与衬砌同步作业,隧洞一次成型,满足快速施工的要求。同时,双护盾 TBM 具有双护盾和单护盾两种掘进模式,与开敞式 TBM 相比对地质变化适应能力更强,广泛应用于水利、公路、铁路、地铁等工程<sup>[1]</sup>。

双护盾 TBM 设备施工封闭性好、施工环境好、人员和设备安全性高。但正是由于双护盾 TBM 良好的封闭性,在遇到破碎带时处理方法有限,施工难度大,尤其是当 TBM 设备整体进入破碎带刀盘或盾体被卡时,脱困周期长,经济损失大,甚至造成设备损坏<sup>[2]</sup>。

为避免卡机事件发生,往往需要对破碎带进行超前加固处理,然后 TBM 再掘进,并根据破碎带长度,按照“超前加固→掘进→超前加固→掘进”的多循环模式通过破碎带。本文针对兰州市水源地建设工程施工Ⅲ标 TBM2 在桩号 T19+747.838 位置遇破碎带时的处理问题,提出关于双护盾 TBM 通过破碎带的建议,可供今后处理类似工程问题时参考。

## 1 工程概况

### 1.1 工程设计状况

兰州市水源地建设工程输水主洞为有压引水洞,

最大水头约 73m, 全长 31.57km, 采用 TBM 和钻爆法联合施工。TBM 施工段总长 22.50km, 其中 TBM2 掘进段长度 12.33km, 滑行段长度 0.93km。TBM2 自输水主洞出口向上游逆坡掘进, 洞轴线坡度为 1‰, 开挖洞径 5.49m。隧洞采用平行四边形管片(5+1)衬砌, 衬砌后内径 4.60m, 管片厚度 30cm, 环宽 1.50m, 隧洞开挖面与管片衬砌环之间采用豆砾石填充, 之后再进行回填灌浆, 施工布置如图 1 所示。

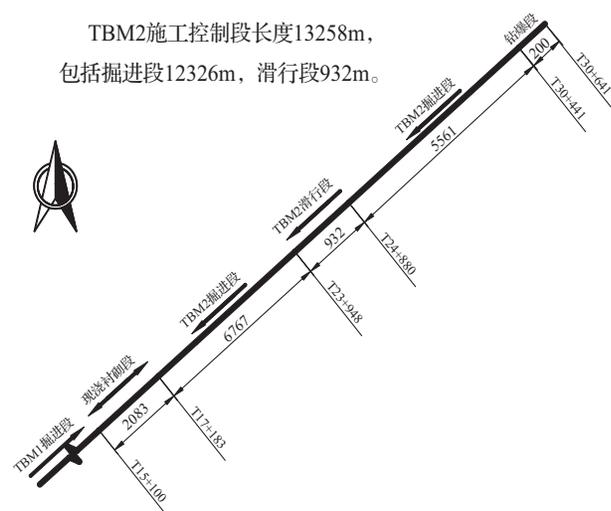


图 1 TBM2 施工布置示意图 (单位:m)

## 1.2 工程地质状况

TBM2 施工洞段埋深多在 300 ~ 700m 之间, 局部洞段埋深超过 700m, 沿线地层岩性主要有白垩系下统河口组泥质砂岩、粉砂质黏土岩和奥陶系上中统雾宿山群变质安山岩。根据前期地质勘察结果, 在桩号 T24 + 430 附近存在一条断层(F3), 通过常规钻爆法进行预处理, TBM 安装预制混凝土管片滑行通过, 降低卡机风险。

结合前期勘察资料, 经洞内观察孔观察、TBM 掘进参数和渣料形态分析, T19 + 752m—T19 + 747m 段隧洞埋深约 700m, 地层岩性为奥陶系上中统雾宿山群中段安山质凝灰岩、变质安山岩, 颜色为黑灰色~青灰色, 浅~中变质, 新鲜~微风化, 岩石较坚硬; 受构造影响, 该段岩体节理裂隙发育, 呈碎裂结构, 掌子面上前部出现较大范围塌方。掌子面及洞壁存在多处出水点, 呈线流状态, 总出水量约 80m<sup>3</sup>/h, 目前, 水量有衰减趋势。该处地表位于牌路沟上部, 沟内无常流水, 初

步判断地下水为基岩裂隙水, 与地表无水力联系。该段外运岩渣岩屑与粉末状居多, 约占 70%, 片块状岩渣约占 30%。TBM 掘进该段的推力约为 1600 ~ 3000kN, 贯入度多为 14 ~ 18mm/r。综合判断, 该段围岩稳定性极差, 为 V 类围岩。

根据超前地质预报结果, 掌子面前方 30m 范围内, 围岩地质条件与掌子面类似, 岩体破碎, 出现塌方的风险仍较大。

## 2 破碎带处理措施及过程分析

### 2.1 刀盘脱困

2017 年 9 月 13 日凌晨 5:50, TBM2 掘进至桩号 T19 + 747.838 位置, 由于连续皮带故障停机, 导致掘进中断, 经 1.5h 处理后连续皮带恢复运行, 但经过多次尝试, 刀盘无法重新启动, 且不能后退, 初步判断刀盘及前盾被岩渣压住, 施工现场立即组织人员拆除部分刀具, 进行掌子面的积渣清理工作(刀盘内清渣情况如图 2 所示, 围岩情况如图 3 所示)。



图 2 刀盘内清渣



图 3 围岩状态

2017 年 9 月 19 日下午 17:33 刀盘成功启动并进

行掘进,至9月20日早7:05总共掘进1.20m,出渣量约700m<sup>3</sup>,是正常出渣量的16倍(正常出渣量43m<sup>3</sup>),掌子面伴随大量渗水。结合洞内岩渣情况、掘进参数及三维地震预报结果分析,推测前方存在30m左右的破碎带。参建单位各方分析讨论,认为继续掘进存在一定风险,决定暂时停止掘进,进行破碎带加固处理。

## 2.2 破碎带灌浆加固处理

2017年9月21日,邀请具有类似工程问题处理经验的TBM专家现场召开讨论会,确定了先对掌子面前上方破碎岩体进行灌浆加固,再掘进的处理思路<sup>[3]</sup>。

2017年9月22—27日,通过刀盘顶部铲斗和边刀,采用锤击法沿斜上方打入自制灌浆管,进行化学灌浆,灌注化学浆液2.15t。由于灌浆管进入岩体深度有限(2~3m),且掌子面渗水严重,化灌材料反应时间过长,造成大部分化灌材料被水流冲出,未达到理想的加固效果(造孔灌浆实施情况如图4、图5所示)。



图4 刀盘打孔



图5 刀盘内灌浆管

2017年9月30—10月4日,通过对部分铲斗齿和刀孔进行封堵后,尝试掘进通过破碎带。TBM2试掘

进了3m,出渣量约500m<sup>3</sup>,掘进期间主机皮带多次因渣量超载,溢出皮带,且刀盘内积渣过多,被迫再次停机。

2017年10月5—11日,通过刀盘内铲斗、边刀、面刀与刀座间的空隙,利用手风钻(YT-18)对掌子面及其上方破碎岩体进行钻孔,孔深2~8m,灌注化学浆液4.18t(钻孔布置示意图如图6所示)。

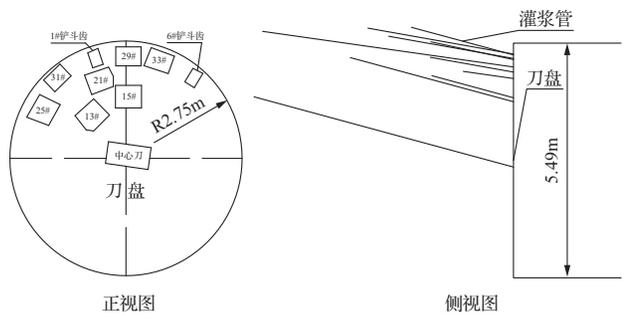


图6 刀盘内钻孔示意图

2017年10月12—13日,召开专家讨论会,对制定方案进行细化完善,形成了“化灌止浆墙+超前注浆”的加固方案,即先通过刀盘内刀孔,利用手风钻钻孔进行化学灌浆,在刀盘前方3~5m形成止浆墙;止浆墙形成后,通过撑紧盾预留孔位,利用TBM设备超前钻机造孔,采用化学灌浆和水泥灌浆相结合的方式加固前方破碎岩体,然后TBM掘进。

2017年10月14—11月10日,现场根据方案对掌子面和前方破碎岩体进行灌浆加固,使用灌注化学灌浆材料6.05t,水泥38.10t。在进行刀盘内化学灌浆材料及岩渣清理后,启动刀盘,但多次因主机皮带渣量超载而停机。

2017年11月15—12月2日,经分析讨论,判断刀盘上方为灌浆加固薄弱部位,需要再次进行加密钻孔,补强灌浆效果。通过刀盘顶部边刀、铲斗,利用凿岩机沿与洞轴线成约80°角方向钻孔,实施化学灌浆,同时前盾尾壳左右两侧开孔进行化学灌浆,合计灌注化学材料23.50t(钻孔灌浆布置示意图如图7所示)。

2017年12月3—10日,刀盘内灌浆锚杆拆除,化学灌浆材料清理,成功启动刀盘,TBM顺利掘进,出渣量及掘进参数均正常。2017年12月13日TBM2通过该破碎带。

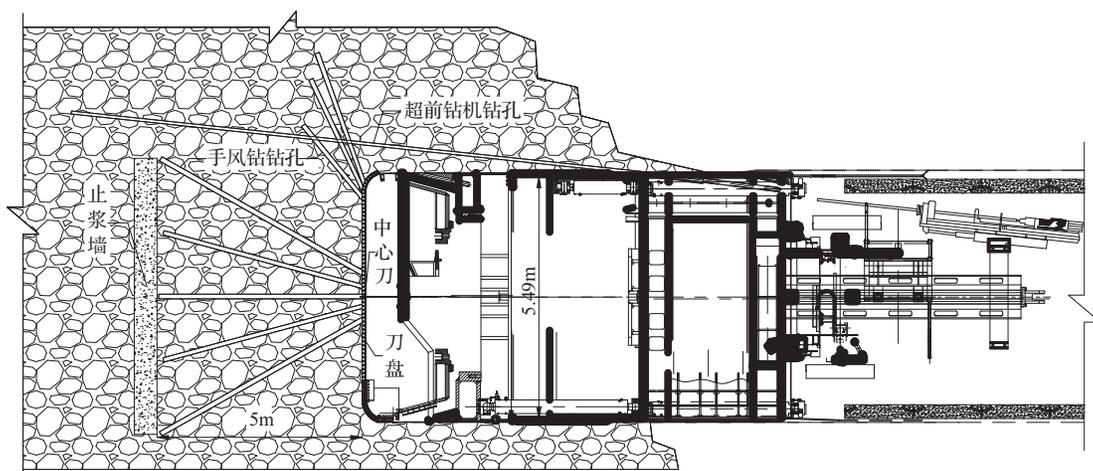


图7 钻孔灌浆布置示意图

### 3 破碎带处理的建议

#### 3.1 地质勘查及预报工作

##### 3.1.1 地质勘查

建议在工期、技术、经济等条件允许的情况下,对施工区域的地质情况进行详细的勘查,针对探明的破碎带等不良地质段采用科学合理的预处理措施,降低双护盾 TBM 通过不良地质段的风险和难度。

##### 3.1.2 地质预报工作

根据双护盾 TBM 设备特点和施工条件,选择有效的超前预报方法,对掌子面前方围岩情况进行超前预报。结合岩渣形态、掘进参数等数据,对超前地质预报结果进行分析,提高对前方围岩情况判断的精准度,进一步指导 TBM 施工<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 破碎带处理的准备工作

##### 3.2.1 破碎带处理预案

鉴于地下隧洞工程地质条件具有不可预见性及双护盾 TBM 对破碎带等不良地质的敏感性,建议在使用双护盾 TBM 进行地下工程施工前根据现场情况,充分考虑设备、地质等因素,编制科学合理并具有可实施性的破碎带处理预案。

##### 3.2.2 设备、材料采购及储备

根据破碎带处理预案,提前采购并储备适量的设备、材料,避免因缺少设备材料造成现场破碎带处理工作无法开展。

#### 3.3 破碎带处理的实施

##### 3.3.1 钻孔作业

在破碎带处理过程中,务必安排专业人员实施钻孔作业。根据刀盘内施工条件,经验丰富的钻孔作业人员可快速判断使用什么钻孔设备来满足钻孔需求,并根据钻孔过程中钻杆的压力、行进速度、声音及岩粉等推断前方岩石情况。超前钻机应该由具有相关经验的人员进行操作,并要求超前钻机厂家技术人员进行现场指导,以发挥超前钻机的最佳工作性能。

##### 3.3.2 化学灌浆作业

化学灌浆与常规水泥灌浆有所不同,不同的化学灌浆材料之间也存在差异,所以化学灌浆施工前需要对化学灌浆材料进行现场试验,确定浆液配比、凝结时间等参数。化学灌浆施工过程中,建议材料厂家的技术人员在现场对化学灌浆施工进行技术指导,针对材料的性能、配比调整、操作过程、注意事项等进行详细的交底,确保化学灌浆材料使用的安全和固结的效果。

##### 3.3.3 刀盘启动

在化学灌浆结束后,需要对灌浆锚杆进行拆除,并对化学灌浆材料进行清理,以便启动刀盘。在施工过程中由于刀盘长期未转动,可能存在化学灌浆材料过度扩散,包裹刀盘,造成刀盘启动困难的情况发生,耗费大量时间进行处理。建议在施工条件允许的情况下,在破碎带灌浆加固期间,定期转动刀盘,以确保刀盘未被灌浆材料包裹。

(下转第 53 页)