

双护盾 TBM 施工中处理不良地质和设置止浆环的初探

成保才 苏 枢 孙文安 谢 冰 咎志斌

(山西省万家寨引黄工程管理局 太原 030012)

摘要 万家寨引黄工程南干线隧洞,利用双护盾 TBM 施工隧洞,具有隧洞长、埋深大、地质条件复杂等特点,有较多不良地质构造,对工程结构稳定不利,处理也困难;另外,隧洞内豆砾石灌浆时,如能设置止浆环,对提高灌浆质量有重要意义。为解决这些问题,提出了利用空腹管片衬砌技术方案,针对断层、裂隙处理设置混凝土塞的措施,对侧壁溶洞建立处理工作面的方法。用此方法还可以在 ~ 围岩中临时安装空腹管片,在完成对 TBM 的支撑作用后拆除管片,岩壁喷混凝土。

关键词 TBM, 隧洞, 断层, 裂缝, 处理

分类号 U 455.7

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2001)03-0408-04

1 引言

隧洞掘进机 Tunnel Boring Machine 简称 TBM,在铁路、水利等各类隧洞施工中已得到了广泛应用^[1],引大入秦工程已成功使用掘进机进行施工。山西省万家寨引黄入晋工程南干线有 4 条隧洞总长约为 87 km,具有隧洞长、埋深大、地质条件复杂等特点,有区域性大断层和溶洞等重大地质问题,局部洞段地质构造发育,正在使用 TBM 施工。

TBM 施工隧洞时,在护盾内安装管片,在管片与开挖岩壁的空间内填充细石子(也称豆砾石),然后再对豆砾石空隙灌浆形成压浆混凝土^[2]。由于管片的安装是在护盾内进行,隧洞掘进时管片连续安装隧洞岩面不能直接全面地向地质人员暴露,特别是难以对已发现的地质构造如断层、裂隙、破碎带、溶洞等及时采取工程处理措施,使得隧洞灌浆止浆环施工困难,而这些工作对保证工程质量非常重要。因此,如何既能连续地安装混凝土预制管片,又能在需要时暴露岩石界面,为检查工程地质,特别是为处理断层、破碎带、设置止浆环创造条件,便成为 TBM 施工隧洞中需解决的问题。

2 空腹管片的提出及设计

1999 年 10 月 18 日收到初稿,1999 年 11 月 25 日收到修改稿。

作者 成保才 简介:男,1964 年生,1984 年毕业于华北水利水电学院水电系,现任高级工程师,主要从事水利水电工程建设技术和合同管理方面的工作。

2.1 空腹管片的提出

TBM 掘进施工时,因为:(1)管片的安装是利用固定在护盾末尾的起重机操作,TBM 掘进循环的周期与管片安装循环的周期相同;(2)掘进机推进时,受到沿隧洞方向的推进反作用力传递到管片上,由管片承担,所以管片是周期性连续安装的。

实际施工中,隧洞的地质条件必然发生变化,如引黄工程南干线 4[#]洞进口段 1999 年 5 月在桩号 CH10+401 m 遇到了宽度为 3~5 cm,影响范围为 210 cm 的断层;引黄工程南干线 6[#]隧洞温岭施工区 1999 年 4 月在桩号 CH56+903 m 遇到了充填 N₂ 红粘土的溶洞,其长度达 24 m。初步设计表明,今后还会遇到断层、裂隙、破碎带及软弱夹层等不良地质构造,甚至还可能遇到大的溶洞、空穴等严重的地质构造。另外,隧洞开挖岩壁与管片之间的环缝设计要求用豆砾石回填,并进行豆砾石灌浆,合同要求灌浆后的抗压强度达到 20 MPa(28 d),渗透系数 $K < 10^{-5}$ cm/s。合同还要求施工工艺必须严格按照水工混凝土施工规范进行,采用必要的措施,控制灌浆压力,保证薄弱的拱顶部位也要达到合同的要求。

为了对遇到的各种地质构造认真处理和等间距地设置止浆环,均要求将开挖的岩石暴露出来。TBM 施工中隧洞掘进和管片周期性地连续施工与处理复杂地质构造产生了矛盾,与止浆环施工也有矛盾,为

了解决这些问题, 笔者提出部分洞段利用空腹管片衬砌的技术方案。

2.2 空腹管片设计

空腹管片用在部分洞段取代预制混凝土管片, 所以其外形尺寸与预制混凝土管片相同, 内部为空腹结构, 设有两根腹柱, 用铸铁(钢)材料铸造或钢结构焊接。每一环的长度为 b , 厚度为 t , 柱宽为 δ , 单块重为 w , 空腹管片见图 1 所示。

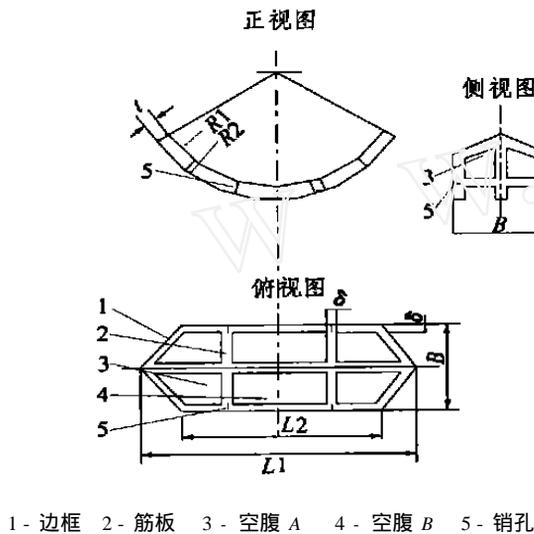


图 1 空腹管片结构图

Fig. 1 Structure of hollow segment

空腹管片的安装工艺与预制混凝土管片相同, 也留有机插孔, 在管片内设有 2 个筋板, 传递 TBM 推进时对管片的推力。为了空腹管片与预制混凝土管片或空腹管片之间的顺利安装和自锁, 在空腹管片上也设导向槽, 其结构同混凝土管片。从空腹管片向相连混凝土管片后喷混凝土, 且伸入混凝土管片 40 cm, 形成止浆环, 达到止水、止浆要求。但为了管片间安装精度的一致, 空腹管片四周仍要设置止水条槽, 并固定橡胶止水条。

空腹管片的制造误差精度要求同预制混凝土管片。

3 空腹管片的安装及其应用

3.1 空腹管片的安装

空腹管片重量接近预制混凝土管片, 从安装工艺上来说与预制混凝土管片完全相同, 不再赘述。不同之处是当护盾前移脱离空腹管片后要及时用钢板垫块局部支护在管片与岩石之间, 尤其要用轻轨支撑在管片底部, 保证管片间不发生错台。

3.2 空腹管片在处理围岩断层、裂隙构造中的应用

判断是否需要安装空腹管片主要根据断层、裂隙大小决定, 掘进中发现有的断层或破碎带影响范围 > 30 cm 时, 就需要安装空腹管片, 空腹管片的使用数量应根据地质构造的性质、影响范围大小, 可一环或几环地安装, 也可以连续安装侧拱和顶拱等, 安装空腹管片的范围应大于地质构造处理范围 30 ~ 50 cm。安装了空腹管片之后, 不能回填豆砾石, 要首先施工止浆环, 将地质构造影响范围与良好地质的洞段分隔开来, 止浆环宽度为 40 cm, 可与地质构造岩石的一次支护同时进行, 或单独施工, 止浆环采用喷混凝土施工, 其次, 要根据岩石破碎程度, 决定对构造的处理措施, 对岩石破碎轻微不影响岩石稳定的破碎带, 可以不加喷锚支护, 直接在空腹内喷射混凝土; 对于宽度大, 影响范围 > 100 cm 的断层, 可利用空腹空间, 将断层的软弱夹层开挖 30 ~ 50 cm 深, 开挖宽度大于断层影响范围 30 ~ 50 cm 后, 浇筑钢筋混凝土, 形成混凝土塞, 见图 2。

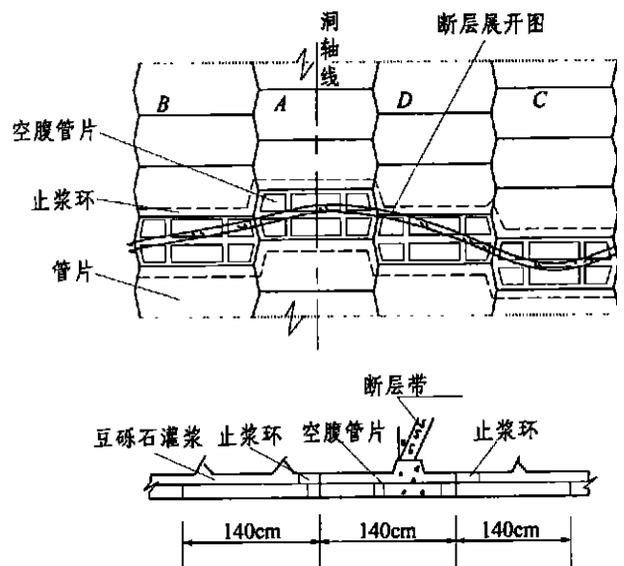


图 2 断层处理结构图

Fig. 2 Treatment structure for fault

对于岩层破碎严重, 又影响结构稳定时, 应先喷混凝土进行一次支护, 再进行二次支护, 然后, 对破碎带采取固结灌浆措施进行处理; 对于侧壁岩溶的处理也可以利用空腹管片创造工作条件, 见图 3。

详细的工程措施, 应根据溶洞大小、部位以及充填材料性质专门研究和设计。

对较小的地质构造工程处理可在 TBM 的后配套中施工, 对较复杂的地质构造要在洞内专门处理。以上对地质构造的工程处理措施仅是为说明空腹管片的应用而列举设计, 实际应用时还应根据构造的发育程度等进行详细设计。

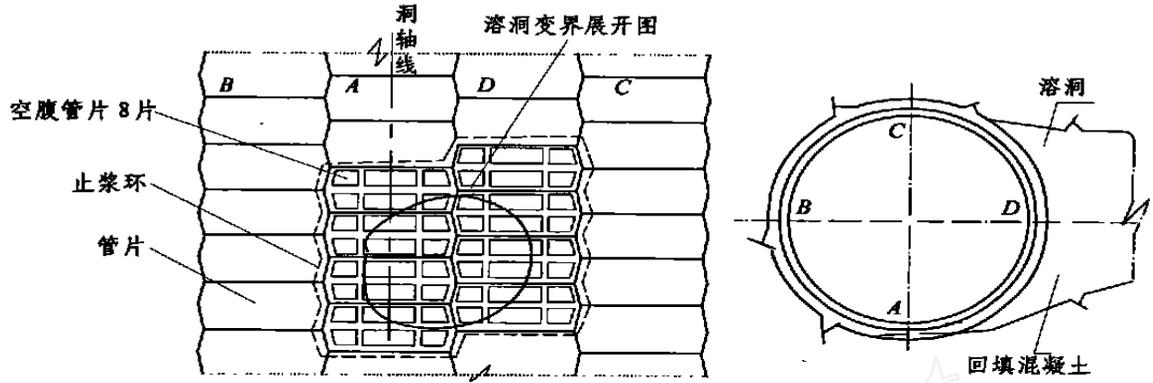


图 3 侧壁溶洞处理示意图

Fig. 3 Treatment method for karst cavity

3.3 空腹管片在设置止浆环中的应用

豆砾石灌浆时设置止浆环，是保证工程质量的重要措施。采用空腹管片为设置止浆环提供了方便。止浆环布置的间距可根据设备灌浆能力掌握在 10 ~ 20 m，管片的安装中，每隔 10 ~ 20 m 安装一环空腹管片，然后继续安装混凝土管片。通过空腹管片的空腹在相邻的混凝土管片与岩壁间安装圆弧薄钢板，钢板伸入混凝土管片 40 cm，以后也不再拆模，当空腹管片及相邻的管片脱离护盾后，再喷射混凝土，在相邻管片与开挖岩面间喷出一个 40 cm 的圆环，形成止浆环，其后将该空腹管片也用喷射混凝土浇筑到设计内径，见图 4。

相邻两个止浆环形成一个封闭的灌浆区，在灌浆区内可按水工混凝土施工规范中压浆混凝土的技术要求进行灌浆，保证灌浆的密实和均匀。

喷射混凝土前应在管片空腹内架设钢筋网，钢筋网的直径及间距根据围岩地质确定，单块钢筋网的长度为 70 cm，支撑在管片框架上。

3.4 完整围岩洞段时空腹管片的拆除

引黄工程南干线隧洞 ~ 类围岩占 30% 约为 27 km，可省去管片支护，为了满足 TBM 掘进的需要，可安装空腹管片，承担 TBM 的后推力，管片间的接缝要塞楔子以利拆除，连续安装的空腹管片长度达到 100 m 左右时，用钢筋锚杆锚固最后两环空腹管片，在 TBM 的后配套架上拆除已安装的 ~ 类围岩段的空腹管片，然后喷混凝土。拆除的空腹管片以备后用，这样可以节约投资。

4 结论

豆砾石灌浆质量不仅影响隧洞的抗渗性，也对工程结构有重要影响，利用空腹管片施工止浆环后，分

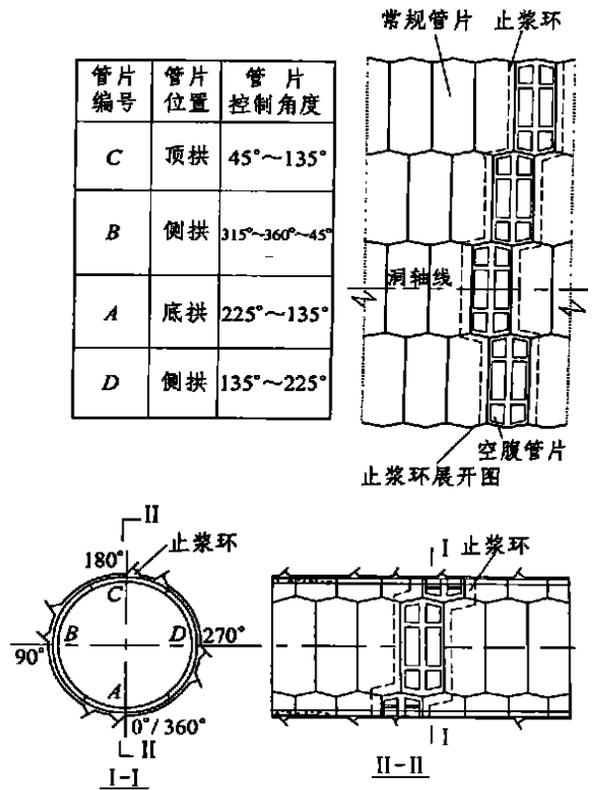


图 4 止浆环施工结构图

Fig. 4 Structure of cement grout seal ring

区灌浆能保证灌浆饱满、均匀。

~ 类围岩段先安装空腹管片，承担 TBM 的后推力，之后拆除已安装的空腹管片，直接对岩面喷混凝土，省去管片支护，节约投资。

不良地质构造对隧洞结构安全影响甚大，应尽量在直观工作面下实施处理措施。本文所列举的对地质构造的处理措施，对提高工程质量有重大意义。下一步应就利用铸铁(钢)与钢结构材料制作空腹管片进行经济技术比较，优化选择。

参 考 文 献

- 1 张镜剑. TBM 的应用及有关问题和展望[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(3): 363~367
- 2 苏 枢, 成保才, 孙文安等. 隧洞豆砾石灌浆软膜止浆梗初步设计[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(2): 208~211
- 3 王永年, 田裕甲. 水工压力隧洞预应力混凝土衬砌[R]. 水利水电地下建筑物情报网, 长春: 1993

PRELIMINARY DESIGN FOR TREATMENT OF FAULT AND IMPROVEMENT OF GROUTING QUALITY IN TBM TUNNEL

Cheng Baocai, Su Shu, Sun Wenan, Xie Bing, Zan Zhibin

(Shanxi Wanjiashai Yellow River Diversion Project Corporation, Taiyuan 030012 China)

Abstract The preliminary design for treatment of fault and improvement of grouting quality in TBM tunnel are presented. Using some hollow segments for support liner, the geological structure, such as fault, crack, or even karst cavity could be easily dealt with. Moreover, the presented method does not hamper TBM's work.

Key words TBM, tunnel, fault, crack, treatment

第六届全国土动力学学术会议将于 2002 年在南京召开

由中国振动工程学会、中国土木工程学会土力学及岩土工程学会、中国力学学会、中国水利学会、中国建筑学会、中国地震学会和中国工程建设标准化协会等 7 个学会共同主办, 河海大学岩土工程研究所和南京水利科学研究院土工研究所联合承办的第六届全国土动力学学术会议将于 2002 年 5 月 18~20 日在南京河海大学召开。会议将就以下议题广泛征稿:

- (1) 土的动力特性与本构关系;
- (2) 地基、土工建筑物及生命线工程抗震分析;
- (3) 砂土液化与地震永久变形;
- (4) 土工动力测试技术及应用;
- (5) 土与结构动力相互作用;
- (6) 土工抗震加固技术与减震隔振措施;
- (7) 岩土地震工程及环境工程;
- (8) 震源机制与波动传播;
- (9) 动力机器基础;
- (10) 爆炸防护工程;
- (11) 海洋岩土工程;
- (12) 工程实录。

欢迎全国各地从事土动力学与岩土地震工程研究的设计、科研、施工单位的同仁积极踊跃投稿。文章要求具体、明确、严谨, 未正式发表过, 文责自负且不涉及保密内容。计量单位要严格执行《中华人民共和国法定计量单位》中有关规定。提交论文为 8 000 字以内(含图表)。来稿务必一式两份。稿和要球将 录用通知中说明。本次会议论文将由国内著名出版社正式出版论文集。

投稿截止日期: 2001 年 8 月 30 日;

录用通知日期: 2001 年 10 月 30 日;

修改截止日期: 2001 年 12 月 30 日。

联系人及电话: 210098, 南京市西康路一号河海大学岩土工程研究所

刘汉龙 教授 025-3713073, hliu@jlonline.com.

高玉峰 副教授 025-3732526, yfgao@jlonline.com.

(第六届土动力学学术会议组委会供稿)