

# TBM 穿越浅埋泥石流不良地质洞段施工技术措施研究

卢传亮

(山西省水利建筑工程局,山西太原 030006)

**【摘要】** 山西省东山供水工程9号TBM隧洞施工在穿越不良地质洞段时突发泥石流。本文分析了原因,并总结了针对TBM突遇泥石流地质洞段所应采取的防治措施,以期TBM安全、快速穿越提供借鉴。

**【关键词】** TBM施工;泥石流;施工难点;应对措施

中图分类号:TV554

文献标识码:B

文章编号:1005-4774(2017)012-0006-03

## Research on construction technical measures in TBM crossing the bad geology of shallow buried debris flow cave section

LU Chuanliang

(Shanxi Water Conservancy Construction Engineering Bureau, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** Sudden debris flow broke out when crossing poor geological tunnel section during the construction of Shandong Dongshan Water Supply Project No. 9 TBM Tunnel. In the paper, causes are analyzed, preventive measures adopted aiming at TBM during debris flows geological tunnel section are summarized. It is expected that the paper can provide reference for the safe and fast crossing of TBM.

**Keywords:** TBM construction; debris flow; construction difficulties; response measures

### 1 概述

TBM 又称全断面岩石隧道掘进机,具有机械化程度高、快速、安全、高效、经济等特点,在各国长距离隧洞施工领域广泛使用,对隧洞不良地质洞段适应性差,如果不能做到有效预防,可能导致机毁人亡的严重后果。

### 2 工程及水文地质概况

东山供水 TBM 9 号隧洞位于山西晋中祁县和榆社县境内,长 14635.44m,圆形断面,开挖直径 4.16m。管

片衬砌后净直径 3.4m,最大设计流量  $6.0\text{m}^3/\text{s}$ ,纵坡  $i = 1/2700$ 。

9 号隧洞沿线为三叠系厚层砂岩、厚层泥岩及砂泥岩互层地层,发育有较大规模断层;穿越的东鱼沟段桩号约 YD27 + 483 ~ YD27 + 427,长度约 56m,埋深约 30m;桩号 YD27 + 463.5,距 TBM 掌子面 6.60m,砂卵石层厚 34.8m,地面高程 1047.10m,基岩面高程 1012.30m,洞顶高程 1012.63m,洞顶上部有厚 0.33m 的砂卵石层,其下为泥岩,水位线埋深 22.1m,水位高程 1025.00m。

### 3 泥石流事件过程简述

2015年6月18日中班,TBM从桩号YD27+483.730开始掘进,掌子面渗水量逐渐加大,碴料中伴有鹅卵石,数次碴料堵塞皮带及刀盘,经数次“清碴—掘进—清碴”的停机清理过程。掘进效率低下。

6月19日早班,掘进至桩号YD27+473.800时,碴斗内灌满泥水,石碴为灰绿色砂岩,掌子面右侧弧长1.5m、厚0.8m卵石混合土,估测涌水量 $144\text{m}^3/\text{h}$ 。掘进至桩号YD27+470.100时,掌子面右侧弧长3.8m、厚1.5m卵石混合土,估测涌水量 $250\text{m}^3/\text{h}$ ;刀盘及皮带再次堵塞,主推油缸全部被泥沙淹没,TBM被迫停机。

泥石流事件发生后,业主、监理工程师现场代表进洞察看,详细了解泥石流事件发生经过,为查明地质情况,制定科学合理的处理方案,会议确定由设计院在洞顶部位,先期进行地质补充勘探工作。据勘探的地质资料,业主组织设计、监理、施工、大水管网有关专家,召开了施工十一标9号隧洞TBM穿越东鱼沟段处理方案专家咨询会。根据设计院补充地质勘探结果,与会专家们认真研究讨论处理方案,建议采用洞外高压旋喷灌浆加固隧洞顶部围岩。

7月10日开始高喷灌浆施工。旋喷灌浆施工范围内出现一直径约5m、深约5m的塌陷坑,高喷灌浆施工因施工安全停工。根据现场实际情况商定采取“坑底部回填2m厚M7.5砂浆,上部回填土方”措施对陷坑进行处理。

8月5日经旋喷灌浆试掘进后,效果不明显。业主又组织监理工程师、承包商、罗宾斯公司人员召开四方会议,确定在掌子面的洞外地表同时进行化学灌浆施工方案。

8月8日—11日,采取地面化学灌浆深层加固处理。由于洞内涌水严重,化学灌浆效果不明显,TBM试掘进时,伸缩护盾内多半被泥砂充填,连接桥部位也被泥砂充填,TBM仍无法掘进。

8月17日,业主、监理工程师及承包人又进行了协商讨论,根据泥石流的现场实际情况及前期采取措

施处理效果分析,确定采用地面截水井降水和洞外掌子面同时化学灌浆措施。

8月18日—9月6日,承包人完成7眼截水井钻孔及水泵安装,全面进入降水阶段。在和7眼井同时降排水的情况下,9月6日,承包人TBM试掘进成功,但受地质条件限制,掘进速度缓慢。9月6日白天,累计掘进14.55h,掘进进尺0.512m。

9月9日,承包人对掌子面卵石混合土段围岩进行化学灌浆孔钻孔,并安装灌浆花管,进行化学灌浆加固,灌注化学灌浆材料45组(每组重55kg),共2.475t。

承包人先后经过8次试掘进后,历时93d。终于在9月18日夜班,掘进至桩号YD27+429,基本恢复正常掘进,标志着TBM成功穿越54.64m泥石流段。

### 4 泥石流地质掘进的难点分析

泥石流顾名思义就是泥土、卵石、岩层水的混合体,这对于TBM施工可谓是极大的不利地质条件。TBM最适应的地质是完整岩体,这是设备本身的设计、性能决定的。首先TBM机头重,需有硬岩支撑。如果整个掌子面周边一定范围全是软岩、流体等不良地质,机头就会下沉;TBM两侧的撑靴不能支撑,掘进方向无法控制;如果机头基础是岩体,掌子面局部是泥石流,困难还不算太大。泥石流会随着刀盘旋转,从刀盘铲牙部位流入刀盘内部集料斗。刀盘旋转越快泥石流流入刀盘的速度越快,快速流入刀盘集料斗的泥石流远远超过集料斗下部皮带的输送能力,泥石流就会填满整个刀盘集料斗空间,甚至快速流入护盾,淹没油缸及电机,皮带打滑、割断、压死等不能正常出碴,油缸不能伸缩,电机进水,不能正常掘进。更重要的是由于刀盘空腔、护盾空间小,里边管路及器件多,流入的泥石流无法快速清理,完全靠人力清运,耗力费时。掌子面涌水如果过大,泥石流会淹没整个刀盘、护盾部位,对人员、设备造成极大的损害。如果掌子面部位覆盖层埋深较浅,可以在地面采取灌浆、固结等处理,否则只能在洞内采取措施,难度更大。

### 5 泥石流地质掘进的应对措施

隧洞TBM穿越的是埋深30m左右,刀盘整体在岩

石基础面上, 掌子面 2/3 以上的卵石混合土富含水地层, 历时 3 个多月的脱困。先后进行了地面高压旋喷水泥灌浆、地面化学灌浆、地面排水井降水和隧洞掌子面化学灌浆加固处理等工程技术措施。该泥石流段虽已安全顺利穿越, 但走了不少弯路, 耗费了不少时间, 对于类似地质, 应采取更加高效、合理、经济的措施应对。

### 5.1 详实的地质勘探资料是避免泥石流事故的基础

TBM 隧洞施工属于地下暗挖工程, 洞轴线范围的水文、地质资料, 决定着隧洞掘进的方法、隧洞贯通的难易、安全、工期及投资。如果有详实的地质勘探资料, 再加上超前探测手段, 提前预知各种不良地质, 采取预防措施, 就可避免造成太大的损失。

### 5.2 洞内作业相关人员对地质资料、应对措施的了解是减小泥石流事故的关键

预知洞轴线地质, 编制详细的应对方案, 须对相关作业人员进行技术交底, 配有安全操作规程、突发情况操作要领等教育培训, 做到预测为先, 预防为主, 减小损失, 确保安全。

### 5.3 洞底高程为硬岩泥石流险情的应对措施

险情发生后, 地质工程师首先通过观测孔、碴料、涌水量, 结合原始地质资料, 勾画出洞轴线两侧、掌子面的水文地质情况。如果机头基础是岩石, 只是掌子面前方、洞底高程以上存在一定厚度的卵石水混土层地质, TBM 操作手可依据碴料涌出大小采取低速、小推力推进; 碴料除用原皮带输出外, 可用直径 800mm 的硬质塑料管制作溜槽, 放到刀盘集料斗下部, 把溢出集料斗的多余碴料, 利用多节溜槽输送到尾盾及连接桥部位, 采取人海、铁锹加编织袋措施, 快速清理。必要时, 可以把刀盘的部分进料口进行封堵, 减少泥石流的涌水量。如果泥石流过大, 必须停机, 采取专业处理措施。

#### 5.3.1 地面高压旋喷水泥灌浆的固结封堵措施

TBM 要想顺利快速推进, 掌子面周边一定范围的鹅卵石水混合体必须形成固结体, 或者掌子面、洞轴线周边一定范围形成三堵 U 形封闭墙, U 形封闭墙内只

是鹅卵石土混合体, TBM 就可低速穿越。为此, 对于洞顶覆盖层较浅的地形, 可在地面首先确定掌子面、洞轴线的位置, 在洞轴线两侧 5m 处、掌子面前方 10m 处, 利用高压旋喷机械, 合理布孔, 进行水泥灌浆固结后, 与洞内溜槽出碴结合, TBM 慢速推进穿越。这种方法设备多、工期长, 形成完整的封闭墙比较困难, 优点是经济。

#### 5.3.2 地面化学灌浆的固结封堵措施

地面化学灌浆封堵措施与高压旋喷水泥灌浆的机理一样。在地表先利用钻机钻孔, 孔内安装 4 分钢管, 用化学灌浆专门机械进行化学浆液灌注。此措施的优点是化学灌浆布孔较少, 所用设备少, 化学材料辐射范围较大, 方便快捷, 但是价格高。涌水速度过快的话, 发泡时间要短, 凝结快, 要避免把 TBM 掘进机与周边卵石固结在一起。

#### 5.3.3 地面排水井降水措施

无论是高压旋喷灌浆还是化学灌浆, 堵水的效果都不可能是 100%, 因此必须采取堵、降、排结合的措施。依据洞轴线周边水文资料、水位线高程、地面地形特征, 分析地下水流向, 结合地面洞轴线、掌子面位置、洞顶和洞底高程, 在洞轴线两侧, 掌子面前方一定距离, 利用大口径潜孔钻机打井, 把直径 800mm 左右钢管打到洞底高程 10.00m 位置, 形成排水井。水位线以下钢管四周须开设宽约 5mm 的进水缝隙。钢管打到位后, 钢管内安装多节潜水泵排水。潜水泵不能安到管底, 防止沉积泥沙堵塞水泵。排水井的数量要依据地面情况、洞内涌水、试掘进效果确定。

#### 5.3.4 地面化学灌浆的固结措施

泥石流不良地质洞段的快速穿越, 只靠单一的措施往往效果不佳, 必须多措并举, 相互结合, 才能达到理想的效果。实践证明, 在地面采取固结封堵措施后, 还需在洞内, 利用刀盘刀具间隙, 在掌子面前方, 用风钻把前端布设花纹孔的 4 分钢管打进掌子面卵石层, 利用化学材料进行灌浆固结。这种方法效果明显, 可控性较好, 但是刀盘空腔空间小, 加上泥石流涌入, 风钻打孔难度很大。

(下转第 5 页)

合防控风险,力争将安全风险控制在可接受的范围内。

c. 保障建设质量。对涉及公共安全的工程要严格审查、审批,大力推进新材料、新技术、新工艺的应用,推广施工质量实时智能控制技术,严格质量监督和验收管理,严把质量安全关。

d. 强化日常管理。加强工程安全监测,对大坝等重要工程要实施实时动态监测、智能化管控和预警,发展大坝隐患无损检测和深水监测技术,实行快速诊断和抢护;建立水雨情监测预报系统,实行滚动预报和实时调度乃至预报调度;强化运行管理督查和考核,不断提高管理水平;坚持常备不懈,加强日常巡视检查,实时掌控工程安全状况,维持良好运行工况;结合河长制实施,对河湖和水利工程进行划界确权,划定管理和保护范围,以便有效加强对工程的管理。

e. 实施除险加固。工程安全状况是动态的,要定期进行安全鉴定和评估,对新发现的有安全隐患的工

程及时实施除险加固、乃至降等报废,以消除安全隐患。

f. 深化水利工程管理体制变革。有效的管理体制是水利工程安全的重要保障,需继续推进水利工程管理体制变革。重点是明晰工程产权、落实管护责任,足额到位两项经费。实行现代化、规范化管理和集约化、专业化维修养护,确保工程安全运行和良性运行,建立符合我国国情、水情和社会主义市场经济要求的水利工程管理体制和运行机制。

## 6 结 语

水利工程安全事关重大,直接关乎经济社会发展和公共安全,要牢固树立安全风险意识,坚持底线思维,兴利服从安全,把安全放在首位,从建设和运行等方面强化各种措施,以保障工程安全运行,发挥其应有功能和效益。◆

(上接第8页)

### 5.3.5 地面钻孔冷冻措施

如果泥石流地层范围较大,含水也大,可在地面打孔,安装制冷设备,对掌子面一定范围进行局部冷冻,从而固结卵石层,进行推进。该法投资费用较大,要防止TBM与卵石冻为一体,防止机上油路、水路冻结。

## 5.4 洞底基础为卵石土层的泥石流险情应对措施

险情发生后,如果TBM机头基础及周边完全是卵石土层,而且属富含水层,操作手必须果断停机,防止机头下沉。商定专门的处理措施。

### 5.4.1 洞顶覆盖层较浅泥石流险情的应对措施

洞顶覆盖层较浅时,同样可采用地面高压旋喷、化学灌浆,排水井降水的措施,但钻孔必须深入洞底高程5m以下,同时须在洞内连接桥部位,把刀盘及护盾区域进行灌浆固结,待洞底基础强度达到后,慢速往前推进。

### 5.4.2 洞顶覆盖层较厚泥石流险情的应对措施

洞顶覆盖层较厚时,地面作业不太可能,只能在洞内做文章。可在掌子面区域、连接桥、侧壁观测孔处打

孔,进行水泥或化学灌浆,固结洞底基础、掌子面卵石土层;严重时,可通过在TBM护盾两侧开导洞直到掌子面的一定范围,并加强对导洞的支护,利用平行导洞对掌子面泥石流土层及洞底基础进行固结灌浆;如果灌浆效果不大,可直接利用旁侧导洞,超前管棚技术,进行人工开挖、钢拱架支护,洞底换填混凝土,TBM步进通过。该方法人工开挖、支护工程量大,工期长,安全性差,成本大,实属下策。

## 6 结 语

TBM掘进机隧洞施工对泥石流地段的适应性较差,但施工中遭遇泥石流地段的可能性很大。施工前必须掌握详实的水文地质资料,做到施工前预知、预防,施工中有方案、对策,临危不乱,果断处置。要结合地形地貌,采用超前地质预报和TBM信息化管理技术,利用现有设备、技术条件,比选方案,多措并举,在最安全的前提下,在最短的时间内,在投入最小、效果最好的前提下,使TBM快速穿越不良地质洞段,发挥TBM优势,安全、快速、高效完成工程建设任务。◆