

关于长大深埋型水工隧洞不良地质条件 TBM 施工技术研究

张 伟

额尔齐斯河投资开发(集团)有限公司 830000

摘 要:在我国基础设施建设规模持续扩大的新时期下,各类工程项目施工难度逐渐增大,尤其是长大深埋型水工隧洞施工,地质条件和工况复杂,对施工技术要求高。因此,在利用 TBM 施工设备期间,针对特殊地质状态,应该遵循合理性、可行性与适应性原则,严格依照施工流程和规范作业,保证施工质量能满足设计要求。鉴于此,结合 TBM 施工技术优势与特点,对其在长大深埋型水工隧洞不良地质条件中的应用深入分析。

关键词:长大深埋型水工隧洞;不良地质条件;TBM 施工技术

近年来,随着我国基础设施建设的不断推进,水工隧洞作为重要的水利工程建设形式,在各地得到广泛应用。然而,在一些地区,特别是地质条件较差的地区,在不良地质条件的影响下,会为水工隧洞的施工带来较大难度,影响了施工效率与质量。对此,应该结合不同不良地质条件的特点与破坏程度,合理制定 TBM 施工对策,保证工程项目能在规定时间内保质保量地完成。

一、长大深埋型水工隧洞 TBM 施工技术概述

TBM 施工技术是利用全断面隧道掘进机完成挖掘工作,并保证掘进与支护的连续性,避免传统爆炸开挖隧道造成的噪音、振动及环境污染等问题发生。在长大深埋型水工隧洞施工过程中,TBM 施工技术的应用,展现出的优势较多,可以一边掘进一边开展支护工作,常见的支付方式有预制段与喷射混凝土、液压支架等。液压支架可以提供对地层的支撑,预制段则是预先制造好混凝土或者钢筋混凝土构件,用于加固隧道壁和顶部。喷射混凝土则是通过喷射机将混凝土喷射到隧道壁和顶部,形成一个坚固地支撑层。除掘进与支护外,TBM 施工技术还能实现与各个施工步骤的无缝对接,促进施工效率的提高,降低施工成本。并且,针对一些施工难度较大,施工环境复杂的深埋长隧道,合理利用 TBM 技术,还可以让施工效果达到设计标准,满足现代化隧道施工要求。

二、不同围岩下的 TBM 参数设计与常见支护形式

由于围岩的属性的不同,TBM 施工掘进机在参数设定方面,存在的差异较大。比如:若围岩的属性为盐塘组 II / II b 大理岩;杂谷脑组 II / II b、III 大理岩;白山组 II、

III 大理岩;绿泥片岩 II b,且围岩处在良好的状态,在对支护形式设计期间,可以选择利用钢筋网、喷射混凝土、砂浆锚杆等方式。若围岩的属性为盐塘组 IV b、III b 大理岩;杂谷脑组 II b 大理岩;白山组 III b、IV b、V b 大理岩,且洞段出现岩爆的概率较大,在支护形式设计时,可以应用预应力锚杆、喷射混凝土等。若围岩的属性为岩盐塘组 IV 大理岩;白山组 IV 大理岩、IV 绿泥片;杂谷脑组 IV 大理岩,且此地带有大量的破碎、断层,可以选择应用型钢拱架、喷射混凝土、超前导管等。若为涌水高压洞段,这一地段出现突涌水的问题比较频繁,因此在支护过程中,可以型钢拱架、水涨式锚杆或预应力锚杆等支护手段。

三、长大深埋型水工隧洞不良地质条件 TBM 施工技术应用对策

在本次研究中,将某 TBM 隧洞不良地质实际施工情况为研究对象,该段为埋深约 650m 隧洞,出露岩性为片理化凝灰岩,呈灰黑色~青灰色,中硬岩,洞壁围岩局部可见炭化现象,炭化夹层呈灰黑色,层厚 0.2~0.5m,层间距 3~7m,多为断层影响带,断层破碎带宽约 3~10m,洞内影响范围约 10~20m,两侧影响带宽约 4m,断层破碎带由糜棱岩、断层泥、及少量碎裂岩填充,断层带伴有线状流水现象,初见水量约 1~3m³/h。围岩稳定性极差,断层影响带及破碎带洞室岩体破碎,综合判定为 IV、V 类围岩。基于此,总结了该 TBM 施工过程中,在经过连续不良地质段时进行有效支护及极端不良情况下的处理措施,具体如图 1 所示。

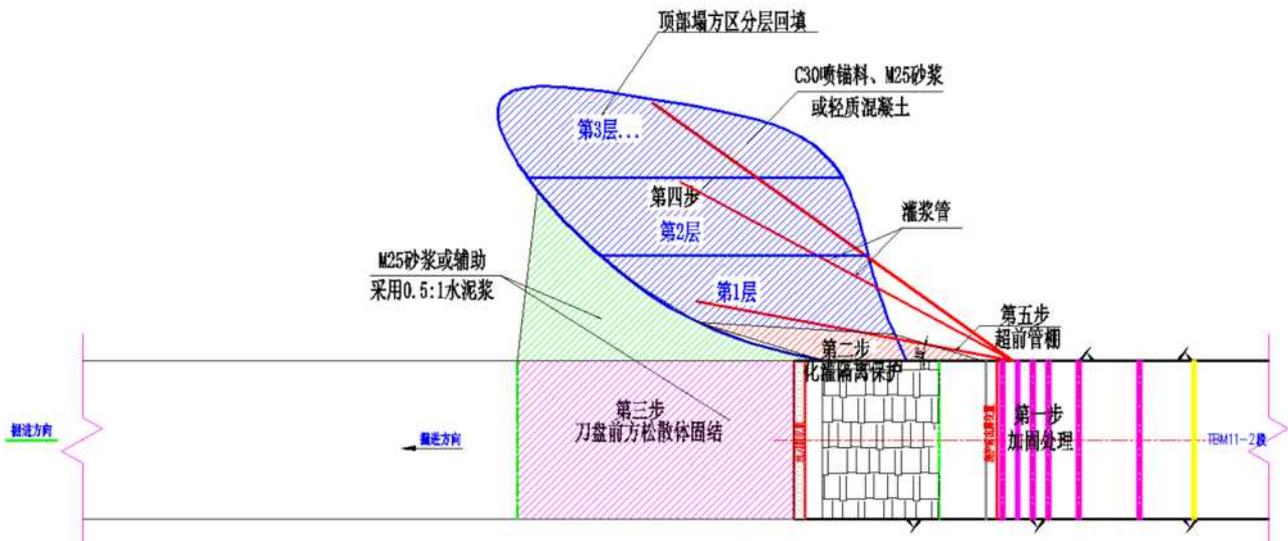


图 1 不良地质段处理程序示意图

1.TBM 施工技术在高压、集中涌水条件下的应用对策

在长大深埋型水工隧洞施工期间,经常遇到不良地质条件,诸如高压、集中涌水,影响了施工进度,施工难度也会增大。对此,应该合理应用 TBM 施工技术,科学制定施工对策,具体从以下几个方面展开:

(1) 地质检测。在高压、集中涌水条件施工过程中,为保证施工作业能顺利开展,应该对施工所在区域详细调查与分析,了解隧洞所处的地层情况,诸如岩层的稳定性、地下水位等,确保后续施工作业能顺利进行。在灌浆处理期间,要保持隧道中岩层始终处在稳定状态,并在达到安全标准与要求的基础上开展隧道挖掘工作。在集中涌水洞段施工时,需要对水流对机械的影响重点分析,浸水中的刀盘通过转动,会将大量水流甩在正在运行的皮带上,致使 TBM 的工作效率受到影响。为将此类问题解决,将刀盘周围的存水量减少,加快刀盘的转速,应该尽可能确保皮带不会被水流干扰。或者根据地质情况选择适当的 TBM 机型,确保其具备较强的抗水能力和适应不良地质条件的能力。比如:根据隧洞内涌水情况,选择带有护盾面涌水控制系统的 TBM 机型,及时控制和排除涌水。

(2) 施作导排水孔。如果高压、集中涌水偏高,为保证施工作业能有序、正常推进,可以采用钻排水孔的方式,让出水点的压力整体减小。在隧道壁面及顶部施作导排水孔,确保渗水及涌水能第一时间导出隧道,减轻水压对隧道结构的影响。导排水孔的位置和数量要结合地质情况和水流

量合理设计。

(3) 喷射混凝土。在对高压、集中涌水问题解决过程中,喷射混凝土也是一种较为常见的处理方式。在利用 TBM 设备施工时,采取喷射混凝土的办法加固隧道壁面,增强其稳定性和安全性。与以往的加固方式相比,喷射混凝土方式的防水性能较好,可以让涌水的情况得到有效控制。

(4) 钢支撑。采用榫距调整为 45cm, HW150 全环型钢支撑,将联系钢筋调整为联系型钢,联系型钢采用 HW125 型钢,环向间距为 1m,纵向连接型钢单根长度及环向间距可根据现场实际情况调整。

(5) 锚杆。该段岩性为断层泥、糜棱岩及少量碎裂岩,极度破碎,呈碎块状、粉末状,系统砂浆锚杆无法施做,将系统砂浆锚杆调整为自进式中空锚杆($\Phi 25$, $L=3.0m$),锚杆间排距按照设计图纸不变。

(6) 钢筋排。不良地质段顶拱 270° 范围设置 $\Phi 16$ 或 $\Phi 20$ 或 $\Phi 22$ 钢筋排,为了保证钢筋排与钢支撑形成整体,根据钢拱架榫距不同,钢筋排单根长度为 1.5m/根、2.25m/根两种规格,钢筋排与钢筋排之间搭接长度不小于 20cm。

(7) 出护盾拱架加固措施。在本次研究中,钢拱架区域采用 I12 槽钢及 I14mm 钢板进行加强支护,使用联系型钢替换原设计拱架间联系钢筋,联系型钢采用 HW125 型钢,环向间距 1m,采取在环向联系钢筋中间交错布置连接型钢,布设范围根据现场情况确定,增加拱架间连接强度,保证施工安全。在钢支撑变形区域布设 $\Phi 25$ 自进式中空锚杆,通

过中空锚杆进行注浆加固处理。

2. TBM 施工技术在高地应力地段的应用对策

针对高地应力地段,在具体施工中,应该合理使用 TBM 施工技术,规范开展预先处理、加装扩挖刀具等工作。

(1) 灵活应用预先处理技术。在进行 TBM 施工前,利用预先处理技术改善地质条件。诸如应用地质灾害治理措施,包括注浆、锚杆支护、喷射混凝土等方式,有效对地层进行加固,促进地质条件稳定性和安全性的提高,保证 TBM 施工过程中的难度能降低。

(2) 加装扩挖刀具。对于高地应力地段, TBM 刀具设计是关键,应该加大优化力度,适当加装扩挖刀具,以便能适应此地段的挖掘需求,将切削的阻力减少,促进施工效率的提升。通过加装扩挖刀具,也能让隧道的直径增大,避免因围岩收缩而出现刀盘被卡的问题。

(3) 尽快支护。在高地应力地段开展 TBM 施工作业过程中,应该尽快开展支护作业,保证施工过程的安全稳定。在此期间,可以利用强度较高的支护材料,包括钢筋混凝土等,加固洞壁,防止地质条件的不稳定给施工带来的风险。同时也可以结合施工现场情况,采取洞壁钻孔的办法,将岩体内部的应力释放,达到对收缩变形量减小的目的。在本次研究中,选择使用 C30 喷混凝土、M25 砂浆或轻质混凝土,当塌腔深度小于 30cm 时直接使用 C30 喷混凝土喷至设计结构,塌腔深度大于 30cm,小于 1m 时采用 M25 砂浆回填,塌腔深度大于 1m 时,使用轻质混凝土回填密实;其中 C30 喷混凝土及 M25 砂浆采用 TBM 系统支护施工配合比,轻质混凝土配比详见表 1;在回填轻质混凝土施工时,若出现轻质混凝土从刀盘及护盾间隙流出时,先采用化学灌浆(充填发泡固结型)组合聚醚多元醇对间隙进行充填封闭,以防止回填的轻质混凝土从间隙中流出达不到效果。

表 1 轻质混凝土施工配合比

水泥品种及等级	水灰比	泡沫剂掺量	密度 (kg/m ³)	每方材料用量 (kg/m ³)		
				水	水泥	发泡剂
P·MSR 42.5	0.6	1.5%	1257.55	496	743	18.55

3. TBM 施工技术在岩爆条件下的应用对策

在遇到岩爆条件时, TBM 施工技术在应用期间,应该根据施工现场的实际情况,采取轻微、中等岩爆处理、强烈岩爆处理方式,确保施工质量能达到既定要求。

(1) 轻微、中等岩爆处理方式。在 TBM 施工过程中,

为有效解决岩爆问题,可以根据施工现场情况采取处理措施。对于轻微、中等岩爆,在实际处理期间,可以采用监测地下岩体变形应力及压力等指标的方式,及时预警岩爆风险,并采取可行的方式应对。在 TBM 施工时,利用增加锚杆、喷射混凝土、预应力锚索等方式,加强隧道周边岩体的支护,促进岩体稳定性的提升。结合岩爆情况,合理控制 TBM 的推进速度与施工进度,以免过快推进导致岩体破裂、岩爆风险增加。

(2) 强烈岩爆处理方式。在岩爆风险较高的情况下,应该保证 TBM 施工人员及时撤离,以免出现安全事故。在岩爆风险高的区域,及时停止 TBM 施工,对隧道进行临时封闭,利用其他方式处理和支护岩体。同时建立完善的地下岩爆监测与预警系统,实时监测岩爆风险的变化,科学制定应对措施,保证潜在的风险与隐患能快速清除,提高施工质量 and 水平。

4. TBM 施工技术在断层破碎带的应用对策

针对断层破碎带,在对 TBM 施工技术应用过程中,应该结合此地段的施工特点,严格按照安全、高效、环保、可持续的原则,同时结合工程施工情况,灵活调整施工方案,保证施工作业能顺利推进。在断层破碎带施工过程中,可以使用超前导管施工方式,将导管作为隧道掘进的先导工具,提高施工效率。在运用超前导管施工期间,需要依照流程进行,具体为:先安装导管,以引导隧道掘进。导管通常由钢制或者塑料制成,具有较强的刚度和强度。导管通过预先挖掘的开挖面进入地下,能够让掘进的方向更为准确。之后将 TBM 设备安装在导管前端。TBM 通常由推进装置、输送系统等组成,通过切削与排土的方式实现隧道掘进。设备在推进及切削时,切削头旋转并切割地层,同时使用推进装置,将切割产生的碎片推送到输送系统中,输送系统将碎片输送到地表或者其他处理设备。随着 TBM 设备的推进,导管会被一起推进。导管的推进可以通过液压或者机械装置实现。推进期间要注意导管的稳定性,保证不会出现变形或者损坏的情况。当掘进到一定距离后,开始安装管片,加固隧道结构。管片一般由预制的混凝土块组成,借助预应力技术完成加固。在利用此方式过程中,要对注浆压力严格控制。注浆作为其重要一环,可以填充断层空隙,增加地层的密实度与稳定性。因此,应该将注浆压力控制在合理范围,避免过高的压力导致断层破碎和扩展,提高施工效果。

四、长大深埋型水工隧洞不良地质条件 TBM 施工注意事项

为提升长大深埋型水工隧洞施工效率和质量,满足施工设计要求与标准,在对 TBM 施工技术应用过程中,应该结合具体施工情况,在对不良地质条件特点、现状充分掌握的基础上,合理制定施工措施。为确保施工作业能顺利推进,在应用 TBM 施工技术期间,需要注意以下几点:

(1) 认真开展地质勘查工作。在施工作业开展前,应该安排专业人员详细开展地质勘查工作,了解隧洞施工周围的地质情况,尤其是针对可能存在的不良地质条件,包括断层、软弱地层等,应该深入研究与评估,全面收集地质资料信息,保证施工方案制定过程中,能有可靠的数据资料作为支撑。

(2) 合理选择 TBM。结合地质条件,选择合适的 TBM 类型与规格。针对不良地质条件,可以考虑应用可调节刀盘转速、刀盘直径的 TBM,保证不同地质情况下的处理要求能得到满足,达到施工技术标准。

(3) 科学制定和应用支护措施。在不良地质条件下,应该加强隧道的支护,合理制定支护方法与措施。现阶段,应用较为常见的支护结构有钢骨架、锚索、喷射混凝土等。通过对支护结构的合理选择,隧道的稳定性和安全性会整体提高。

(4) 灵活运用预处理技术。针对不良地质条件,应该加强对预处理技术的运用,包括地面加固、地下注浆、冻结等,确保地质条件能得到有效改善,将隧道施工潜在的风险减少。

(5) 有效制定安全措施与管理。在施工过程中,应该

严格遵循安全规范与标准,采取可行性合理的安全措施,加强施工现场的监测。借助信息化、智能化技术,构建先进的预警系统,及时发现并处理地质灾害风险,降低安全事故出现概率。同时,根据施工现场情况,加大施工管理力度,保证施工作业能顺利推进。此外,结合不良地质条件,灵活安排施工进度,注重协调与沟通,以便施工期间遇到的困难和问题能得到及时解决。

五、结束语

综合而言,长大深埋型水工隧洞在不良地质条件下的 TBM 施工,需要进行全面的地质勘察和评估,采取适当的技术措施和安全管理,以确保施工的安全和顺利进行。同时,对不良地质条件深入分析,诸如高压集中涌水、岩爆等,根据实际情况,制定针对性且合理的 TBM 施工技术应用方案,将施工中的问题合理解决,促进施工效率和质量提升。因此,为发挥 TBM 施工技术优势,在今后工程建设中,应该强化对技术的优化与革新。

参考文献

- [1] 魏宇航. 基于超长隧洞 TBM 施工技术分析——以榕江关埠引水工程为例 [J]. 大众标准化, 2023(18): 35-37.
- [2] 朵生君. 铁路隧道 TBM 长距离施工通风技术研究 [J]. 现代隧道技术, 2023, 60(04): 222-228+245.
- [3] 王玉杰, 李秀文, 曹瑞琅等. 水工隧洞 TBM 施工适宜性围岩分类研究 [J]. 水利学报, 2023, 54(07): 880-888.
- [4] 李文海. 双护盾 TBM 水工隧洞施工质量控制 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(18): 28-30.
- [5] 荣世光. 长大深埋型水工隧洞不良地质条件 TBM 施工技术研究 [J]. 中国水能及电气化, 2019(01): 18-22.