

浅谈特殊地质条件下TBM的施工

张永军

中国水利水电第十四工程局有限公司 云南 昆明 650041

摘要: 本文围绕特殊地质条件下TBM的施工展开探讨。先介绍了TBM施工技术的特点,接着详细阐述了软弱破碎地层、硬岩地层、高地应力地层、富水地层以及岩溶地层等特殊地质条件对TBM施工的影响。针对这些影响,提出了超前地质预报、刀具配置与管理、围岩加固技术、涌水突泥防治措施以及TBM设备改造与优化等应对措施。通过对这些方面的研究,旨在为特殊地质条件下TBM施工提供理论和实践参考,保障施工的顺利进行和工程安全。

关键词: 特殊地质; 条件下; TBM; 施工

引言: 随着隧道工程建设的不断发展,TBM(全断面隧道掘进机)因其高效、安全等优点在隧道施工中得到广泛应用。然而,在实际施工中,常常会遇到各种特殊地质条件,如软弱破碎、硬岩、高地应力、富水以及岩溶等。这些特殊地质条件给TBM施工带来诸多挑战,影响施工进度、质量和安全。因此,深入研究特殊地质条件对TBM施工的影响,并探索有效的应对措施具有重要的现实意义,有助于提高TBM施工技术水平,推动隧道工程建设的发展。

1 TBM 施工技术特点

1.1 TBM 的工作原理

TBM主要由刀盘、护盾、推进系统、出渣系统、支护系统等部分组成。刀盘上安装有各种类型的刀具,通过刀盘的旋转,刀具对掌子面岩石进行切削、破碎,形成隧道开挖空间。推进系统提供推力,使TBM向前推进,同时将开挖下来的岩渣通过出渣系统运出洞外。支护系统则在隧道开挖后及时对洞壁进行支护,确保隧道的稳定性。

1.2 TBM 施工的优势

与传统的钻爆法相比,TBM施工具有显著的优势。首先,TBM施工速度快,能够大大缩短隧道建设周期。其次,TBM施工过程中对围岩的扰动小,有利于隧道的稳定性,减少了衬砌的厚度,降低了工程成本。此外,TBM施工自动化程度高,减少了人工劳动强度,提高了施工安全性,同时也减少了施工过程中的粉尘、噪音等环境污染。

1.3 TBM 施工的局限性

尽管TBM具有诸多优势,但在特殊地质条件下,其局限性也较为明显。TBM对地质条件的适应性相对较差,在软弱破碎地层中,容易发生卡机、坍塌等事故;在硬岩地层中,刀具磨损严重,掘进效率低下;在富水

地层中,易出现涌水突泥等问题。此外,TBM设备庞大,安装、调试和维护成本高,一旦出现故障,维修难度大,会对施工进度造成严重影响^[1]。

2 特殊地质条件对 TBM 施工的影响

2.1 软弱破碎地层

在软弱破碎地层中,岩石呈现出强度低、节理裂隙极为发育的特性,这使得其自稳能力趋近于无。当TBM开展施工,刀盘在切削岩体过程中,就如同推倒了多米诺骨牌,极易引发大面积坍塌。大量松散的岩体如汹涌潮水般涌入隧道,不仅会直接阻碍TBM按照既定路线正常推进,还可能因巨大冲击力,致使设备的关键部件如刀盘刀具、推进油缸等遭到严重损坏,增加维修成本与时间。与此同时,围岩会因开挖扰动产生过度变形,这使得护盾与围岩之间的摩擦力陡然剧增,TBM就像陷入泥沼的车辆,推进愈发艰难,能耗也随之呈指数级大幅上升。开挖作业完成后,因围岩自身稳定性极差,初期支护必须争分夺秒且具备强大支撑力,否则支护结构便会在围岩压力下发生变形,甚至彻底破坏,进而严重威胁施工安全,极大地延误施工进度。

2.2 硬岩地层

在硬岩地层中,岩石硬度极高,抗压强度远超普通地层岩石,这对TBM施工带来了严峻挑战。当TBM的刀盘持续对坚硬岩石进行切削作业时,刀具承受着巨大的压力与摩擦力。刀具的刀圈在这种极端工况下,极易出现崩裂现象,磨损程度也会急剧加剧。频繁更换刀具不仅意味着施工成本大幅攀升,新刀具采购、运输以及人工更换费用都会显著增加。更为关键的是,换刀过程极为耗时,TBM不得不长时间停机,严重影响施工进度,导致工程整体周期延长。高硬度岩石还使得TBM掘进效率大打折扣,为了切削这些岩石,设备需要输出更大的推力和扭矩,这无疑给动力系统带来沉重负担,设

备因过载而引发故障的概率大幅提高。

2.3 高地应力地层

在地应力地层中,岩石长期处于高能量储存状态,犹如一个个蓄势待发的“能量炸弹”。当TBM开启开挖作业,原本平衡的围岩应力瞬间被打破,开始重新分布。这种剧烈的应力变化极易触发岩爆现象,岩石在强大应力的驱使下,如同炮弹般突然爆裂。抛射而出的岩石块体,速度极快、力量巨大,不仅可能直接砸坏TBM设备的刀盘、护盾、轨道等关键部件,导致设备无法正常运转,还会对现场施工人员的生命安全造成严重威胁。与此同时,高地应力作用下,围岩会产生大幅度变形。这种变形会如同有力的大手,紧紧挤压TBM护盾,使设备陷入动弹不得的卡机困境,正常掘进作业被迫中断。

2.4 富水地层

在富水地层,地下水储量极为丰富,且往往伴随着较大水压,犹如时刻高悬的“水剑”,给TBM施工带来诸多隐患。当TBM掘进作业时,一旦遭遇涌水情况,大量水流便会如脱缰野马般迅速涌入隧道。这些水流会在短时间内淹没施工场地,致使施工设备被水浸泡,尤其是电气设备,极易因短路而损坏,使TBM设备瞬间陷入瘫痪。同时,涌水还会对围岩产生严重影响,持续冲刷与浸泡会软化围岩,大大降低其强度与稳定性,最终可能引发隧道坍塌事故,危及施工人员生命安全。而且,水流裹挟着泥沙等物质,在隧道内流动时,会不断冲击TBM的刀具、护盾等关键部件,加剧磨损程度,极大地缩短设备的使用寿命。

2.5 岩溶地层

岩溶地层存在大量溶洞、暗河等岩溶形态。TBM施工时,一旦遇到溶洞,可能导致刀盘悬空、设备失衡,掘进方向难以控制。溶洞内填充物性质复杂,可能是软土、流塑状黏土等,这些填充物易造成TBM卡机。若溶洞与暗河相连,还可能引发大规模涌水突泥,淹没隧道,冲毁设备。此外,岩溶地区的岩体完整性差,节理裂隙发育,在TBM施工扰动下,极易发生坍塌,严重威胁施工安全。而且,岩溶地区的地质条件勘察难度大,存在许多未知因素,增加了TBM施工的不确定性和风险^[2]。

3 特殊地质条件下TBM施工的应对措施

3.1 超前地质预报

在特殊地质条件下开展TBM施工,超前地质预报是极为关键的一环。其主要通过多种技术手段,提前探测前方地质状况,为施工决策提供可靠依据。(1)地质雷达利用高频电磁波在地下介质中的传播特性,能够

快速探测出前方地层的结构变化、岩溶洞穴以及水体分布等信息,精度较高,可有效发现较近距离内的地质异常。地震波反射法,如TSP系统,则是通过人工激发地震波,分析反射波特征来推断前方地层的岩性、断层、破碎带等情况,探测距离可达上百米,能为施工提供较为宏观的地质信息。(2)在实际应用中,应综合运用多种预报方法,相互验证补充。例如,先利用地震波反射法进行长距离的初步探测,锁定可能存在特殊地质的区域,再通过地质雷达进行近距离的精细扫描,明确异常体的具体位置与形态。同时,要建立专业的数据处理与分析团队,对采集到的数据进行精准解读,及时绘制地质剖面图,直观展示前方地质情况。一旦发现不良地质,施工方就能提前调整TBM施工参数,如改变推进速度、调整刀具配置等,还可提前制定相应的支护方案与应急预案,从而有效降低施工风险,保障TBM施工在特殊地质条件下安全、高效地进行。

3.2 刀具配置与管理

在特殊地质条件下,合理的刀具配置与高效的管理对TBM施工至关重要。针对不同地质状况,需选用适配的刀具类型。(1)在软弱破碎地层,由于岩石强度低但自稳性差,宜采用滚刀与刮刀相结合的配置。滚刀用于破碎岩体,刮刀负责清理破碎后的岩渣,以保障刀盘顺畅运转。而在硬岩地层,岩石硬度高,需配备高强度、耐磨性好的滚刀,如重型镶齿滚刀,其能承受巨大切削力,有效破碎坚硬岩石,减少刀具磨损。(2)刀具管理同样不容忽视。施工前,要对刀具进行严格检查,确保质量可靠、安装牢固。施工过程中,建立刀具监测系统,实时监控刀具的磨损情况。通过分析TBM的推进参数,如扭矩、推力等,结合地质条件,判断刀具的磨损程度。一旦刀具磨损达到一定限度,及时安排更换。对换下的刀具进行详细分析,总结磨损规律,以便优化后续刀具配置。此外,加强刀具的日常维护保养,定期清洁、润滑,提高刀具使用寿命,降低施工成本,保障TBM在特殊地质条件下持续稳定掘进。

3.3 围岩加固技术

特殊地质条件下,围岩加固技术是保障TBM施工安全与顺利推进的关键。(1)在软弱破碎地层,因岩体松散、自稳能力差,常采用超前管棚支护。沿隧道开挖轮廓线外,以一定间距、角度打入钢管,再向管内注入水泥浆,使钢管与周边岩体形成整体,增强围岩承载能力,有效防止开挖时坍塌。(2)面对高地应力地层,可实施锚杆锚索联合加固。锚杆能将松动岩体与稳定岩体锚固在一起,锚索则提供更大锚固力,抵抗高地应力

导致的围岩变形与破坏。通过合理布置锚杆锚索,可改善围岩应力状态,确保 TBM 施工安全。(3)富水地层中,注浆加固是常用手段。采用超前帷幕注浆,在隧道开挖前方形形成止水帷幕,封堵涌水通道,降低地下水对围岩的软化作用,提高围岩稳定性。配合喷射混凝土,及时封闭暴露围岩,防止岩体进一步风化、软化。(4)岩溶地层施工时,针对溶洞、溶槽等,可采用回填混凝土、设置钢支撑等方式加固。先清理溶洞内填充物,再用混凝土回填,对较大溶洞还需架设钢支撑,增强围岩结构强度,防止 TBM 掘进时因溶洞塌陷造成事故。通过这些围岩加固技术,为 TBM 施工营造稳定的作业环境,减少地质灾害风险,推动工程顺利进行^[3]。

3.4 涌水突泥防治措施

在特殊地质条件下,涌水突泥是 TBM 施工面临的重大风险,需采取一系列有效防治措施。(1)施工前,强化超前地质探测,综合运用地质雷达、超前钻探等手段,精准查明前方地层的富水情况、岩溶发育程度以及可能存在的涌水突泥隐患区域。依据探测结果,提前制定针对性预案。(2)针对涌水,堵水是关键环节。对于富水地层,可采用全断面超前注浆,在隧道开挖轮廓外形成止水加固圈,封堵地下水通道。对于岩溶地区的大型涌水通道,可采用模袋注浆、钢管桩封堵等技术,有效截断水流。同时,在隧道内设置完善的排水系统,确保在涌水发生时,能及时将涌入的水排出洞外,避免积水影响施工安全与设备运行。(3)在防治突泥方面,当遇到富含泥质的地层或岩溶填充物时,可通过超前加固,如采用水平旋喷桩、袖阀管注浆等,将松散泥质土体加固,提高其抗剪强度,防止在 TBM 施工扰动下发生突泥现象。一旦发生突泥,立即停止掘进,迅速采用沙袋、型钢等对突泥部位进行封堵,同时调整排水系统,防止泥水扩散。此外,加强施工过程中的监测,实时掌握围岩变形、地下水水位变化等情况,以便及时发现涌水突泥迹象,提前采取措施,保障 TBM 施工安全有序进行。

3.5 TBM 设备改造与优化

特殊地质条件给 TBM 施工带来诸多挑战,对设备进行针对性改造与优化能显著提升施工效率与安全性。

(1) TBM 设备的护盾结构需优化。可适当增加护盾的长度与强度,提高其对围岩的支撑能力,减少因围岩坍塌导致的设备卡机风险。同时,优化刀盘设计,增大刀盘开口率,以便快速排出破碎后的岩渣,防止岩渣堆积影响刀盘转动。(2)着重提升刀具系统性能。选用更优质、抗磨损的刀具材料,改进刀具安装方式,增强刀具的稳定性与可靠性。此外,升级设备的推进系统,提高推力与扭矩,以满足硬岩高效切削的需求。(3)对 TBM 设备的监测系统进行改造。增加应力监测传感器,实时监测围岩应力变化,当应力超过阈值时,及时调整设备掘进参数,避免设备因高地应力挤压而损坏。(4)强化设备的防水性能。对电气设备、液压系统等关键部位进行密封处理,安装排水泵,确保设备在涌水环境下正常运行。对于岩溶地层,可在设备前端安装探测装置,提前感知溶洞位置,辅助 TBM 精准掘进。通过这些改造与优化措施,TBM 设备能更好地适应特殊地质条件,降低施工风险,保障工程顺利进行^[4]。

结束语

特殊地质条件下 TBM 施工面临诸多挑战,但随着技术的不断革新与经验的持续积累,其应用前景愈发广阔。在复杂地质中,通过精准的地质超前预报、设备的针对性改良以及施工工艺的优化调整,TBM 施工得以顺利推进。未来,应进一步强化地质与 TBM 施工的协同研究,提升智能化水平,增强设备的适应性与可靠性。相信在各方努力下,TBM 施工将在特殊地质条件下的隧道工程中发挥更大效能,助力基础设施建设迈向新高度。

参考文献

- [1]卢华林.TBM掘进机在复杂地质条件下的施工策略[J].建筑理论,2024.104-105
- [2]赵海龙.TBM在复杂地质条件下的适应性研究[J].建筑技术科学,2024.123-133
- [3]姚伟兴.特殊地质条件下建筑施工技术研究[J].建筑设计及理论,2024.148-149
- [4]肖华雨.特殊地质条件下的基础施工技术研究[J].建筑理论,2024.167-169