

复杂地质条件下隧洞掘进施工技术优化

方国洪¹ 高志芬²

1. 浙江求是工程咨询监理有限公司 浙江 杭州 310000

2. 浙江兴亚工程管理有限公司 浙江 金华 321000

摘要: 随着基础设施建设向纵深推进,越来越多隧洞工程在复杂地质区域开展。本文聚焦复杂地质条件下隧洞掘进施工技术。阐述了其在复杂地质环境中施工的重要价值,同时指出当前存在地质勘探不准确、掘进设备适应性差、施工工艺不合理、支护技术不完善、施工组织管理不到位等问题。针对这些问题,提出了加强地质勘探、优化掘进设备选型、改进施工工艺、完善支护技术、强化施工组织管理等优化策略,旨在提升复杂地质条件下隧洞掘进施工的质量与效率,为相关工程施工提供参考与借鉴。

关键词: 复杂地质; 隧洞掘进; 施工技术; 优化

引言: 在现代工程建设中,隧洞工程数量不断增加,而复杂地质条件下的隧洞掘进施工面临诸多挑战。复杂地质如断层、破碎带、软岩等,给施工安全和质量带来威胁。隧洞掘进施工技术的合理应用对工程顺利推进至关重要。然而,目前该领域存在一系列问题亟待解决。深入研究复杂地质条件下隧洞掘进施工技术的现状、问题及优化策略,对于提高隧洞工程的建设水平,保障工程安全和效益具有重要的现实意义。

1 复杂地质条件下隧洞掘进施工技术的价值

在各类隧洞工程建设中,复杂地质条件广泛存在,这不仅大幅提升了施工难度,还对工程的安全性与稳定性提出了严峻挑战。在这种情况下,科学运用隧洞掘进施工技术,具有极为关键的价值。(1)从工程安全层面来看,专业的隧洞掘进施工技术能够有效应对复杂地质条件所带来的安全风险。例如,通过合理的超前地质预报技术,可以提前掌握掌子面前方的地质情况,避免因突然遇到断层、涌水等地质灾害而引发安全事故。采用先进的支护技术,能够及时稳固隧洞围岩,防止坍塌事故的发生,为施工人员营造安全的作业环境。(2)在工程质量方面,复杂地质条件下隧洞掘进施工技术,保障了隧洞的长期稳定性和可靠性。在不良地质地段,通过优化施工工艺,如采用合适的开挖方法和衬砌技术,能够有效控制隧洞的变形,确保隧洞的尺寸精度和结构强度,满足工程设计要求。这不仅有利于隧洞的正常使用,还能延长隧洞的使用寿命,降低后期维护成本。(3)合理的隧洞掘进施工技术还能显著提升工程效率。复杂地质条件往往会导致施工进度受阻,而先进的施工技术和设备,能够根据不同的地质条件进行针对性作业,减少施工过程中的不确定性,避免因地质问题导致

的停工、返工,从而实现隧洞的高效掘进。这对于缩短整个工程的建设周期,提高投资效益,具有重要的推动作用^[1]。

2 复杂地质条件下隧洞掘进施工技术存在的问题

2.1 地质勘探不准确

地质勘探作为隧洞施工的前期关键环节,其准确性对后续作业影响深远。在复杂地质条件下,部分勘探手段存在局限性,难以全面、精准地获取地质信息。比如,某些区域受地形、地质构造等因素干扰,常规的物探方法可能出现数据偏差,无法清晰揭示断层、岩溶等不良地质体的具体位置与规模。而且,勘探钻孔间距设置不合理,导致部分关键地质信息被遗漏。施工过程中,常因对实际地质情况掌握不足,引发突发状况。

2.2 掘进设备适应性差

隧洞掘进设备的选择需与复杂多变的地质条件相匹配,然而实际施工中,掘进设备适应性差的问题较为突出。不同的地质条件,对设备的切削能力、推进系统、出渣方式等有着不同要求。在硬岩地层中,若选用的掘进机刀具耐磨性不足,会导致刀具磨损过快,频繁更换刀具不仅降低掘进效率,还增加了施工成本。而在软岩及破碎地层,设备的支护功能若不够强大,无法及时对围岩进行有效支撑,容易引发围岩坍塌。此外,一些进口设备虽然技术先进,但对国内复杂地质的针对性不足,设备的维护保养难度大、成本高,一旦出现故障,维修周期长,严重影响施工的连续性。

2.3 施工工艺不合理

施工工艺的合理性直接关系到隧洞掘进的质量与效率。在复杂地质条件下,部分施工单位未能根据实际地质情况制定适宜的施工工艺。以开挖方法为例,在稳定

性较差的围岩中,若采用全断面开挖法,一次性扰动范围过大,极易破坏围岩的自稳性,导致坍塌事故。而在钻爆施工中,爆破参数设计不合理,如炸药用量过多,不仅会对周边围岩造成过度扰动,影响围岩稳定性,还可能引发飞石等安全事故;炸药用量过少,则无法达到预期的开挖效果,增加二次爆破的难度和成本^[2]。

2.4 支护技术不完善

支护技术是保障隧洞施工安全与稳定的重要手段。但在复杂地质条件下,部分支护技术存在明显不足。一方面,初期支护施作不及时,在围岩暴露后未能迅速提供有效的支撑,导致围岩变形持续发展,增加了后期支护的难度和风险。另一方面,支护结构设计不合理,未能充分考虑围岩的力学特性和变形规律。例如,在高地应力软岩地区,若仍采用传统的刚性支护结构,难以适应围岩的大变形,容易导致支护结构开裂、失效。此外,支护材料质量不过关,部分锚杆、锚索的锚固力达不到设计要求,喷射混凝土的强度不足,无法为隧洞提供可靠的支护保障,严重影响隧洞的施工和运营安全。

2.5 施工组织管理不到位

施工组织管理对隧洞掘进施工的顺利开展起着统筹协调的关键作用。然而,在复杂地质条件下,施工组织管理不到位的问题较为普遍。首先,施工计划缺乏科学性,对地质条件的复杂性和施工过程中可能出现的问题预估不足,导致施工进度安排不合理,频繁出现赶工或窝工现象。其次,各部门、各工种之间沟通协调不畅,信息传递不及时,施工过程中相互推诿责任,无法形成高效的协同作业机制。再者,现场安全管理不到位,安全管理制度执行不严格,施工人员安全意识淡薄,违规操作现象时有发生,给隧洞施工带来了极大的安全隐患。此外,对施工设备和材料的管理混乱,设备闲置、损坏得不到及时维修,材料供应不及时,严重影响施工的正常进行。

3 复杂地质条件下隧洞掘进施工技术优化策略

3.1 加强地质勘探

地质勘探数据的精确性与全面性,是确保复杂地质条件下隧洞掘进施工顺利开展的基础,因此需从多方面对地质勘探工作进行强化。(1)在勘探技术上,应综合运用多种先进的勘探手段。除常规的地质测绘、钻探外,还应引入地质雷达、地震波反射法等物探技术,发挥不同技术的优势,对地质情况进行立体式探测,提高对断层、岩溶等不良地质体的识别精度。同时,根据地形地貌与地质构造的复杂程度,合理加密勘探钻孔,优化钻孔布局,避免关键地质信息的遗漏。(2)在数据

处理与分析环节,引入大数据与人工智能技术,对多源勘探数据进行整合分析。通过建立地质模型,预测地质变化趋势,降低地质条件的不确定性。此外,地质勘探不应仅局限于施工前期,在隧洞掘进过程中,也应持续开展超前地质预报工作,实时掌握掌子面前方的地质情况。(3)还需提升地质勘探人员的专业素养,定期组织技术培训,使勘探人员及时掌握先进的勘探技术与方法。通过明确勘探工作的质量标准与验收流程,加强对勘探工作的质量管控,为隧洞施工提供可靠的地质依据,助力后续掘进、支护等工作顺利开展。

3.2 优化掘进设备选型

合理的掘进设备选型是复杂地质条件下隧洞高效、安全掘进的关键,可从以下多个维度进行优化。(1)在选型前,务必开展全面的地质调研。深入分析隧洞穿越区域的岩石特性,如硬度、完整性,以及地质构造的复杂程度。根据这些信息,结合不同掘进设备的技术参数与适用范围,挑选最适配的设备。对于硬岩地层,优先选择具备高切削力、高可靠性的隧道掘进机(TBM),例如盘形滚刀TBM,凭借强大的破岩能力,提高掘进效率;对于软岩及破碎地层,护盾式TBM或盾构机能够及时提供支护,有效防止围岩坍塌。(2)还要考虑设备的灵活性与可维护性。优先选择模块化设计的设备,便于在施工过程中根据实际地质变化进行部件更换与调整。同时,选择售后网络完善的设备供应商,缩短设备维修周期,降低设备故障率,保障施工连续性。此外,可组织专家团队,对设备选型方案进行论证评估,确保所选设备不仅满足当下施工需求,还能适应地质条件的动态变化,为隧洞施工筑牢设备基础^[3]。

3.3 改进施工工艺

复杂地质条件给隧洞掘进带来诸多挑战,施工工艺的优劣,直接关系到项目的安全、质量与进度,因此必须多管齐下,进行全面改进。(1)开挖作业时,不仅要依据围岩稳定性选择开挖方法,还应利用超前地质预报技术,提前获取掌子面前方的地质信息,实现开挖方法的动态调整。例如在即将穿越断层破碎带时,提前切换到分部开挖法,降低施工风险。在爆破施工中,引入智能爆破系统,通过传感器实时监测爆破效果,自动优化爆破参数,提高爆破精度。(2)衬砌施工方面,积极采用新技术、新材料。可使用自密实混凝土,凭借其良好的流动性和填充性,减少振捣作业,避免对围岩造成扰动,同时提升衬砌的密实度。借助数字化管理平台,对衬砌施工全过程进行监控,严格把控混凝土的生产、运输和浇筑环节,保障衬砌质量。(3)搭建施工过程的数

字化孪生模型,将现场采集的各类数据,如围岩变形、设备运行参数等,实时反馈到模型中。通过模拟分析,及时发现施工工艺中存在的问题,调整工艺参数,实现施工工艺的精细化管控,确保隧洞施工顺利推进。

3.4 完善支护技术

在复杂地质条件下开展隧洞掘进施工,支护技术是确保施工安全和围岩稳定的核心要素,必须从多方面进行优化和完善。(1)在支护的及时性上,可在施工现场部署智能感知设备,一旦围岩暴露,系统便能迅速触发自动化支护装置,极大地缩短支护响应时间。比如,通过预先铺设的轨道系统,自动锚杆安装机可快速就位,实施锚固作业。(2)在支护结构设计环节,借助大数据分析和人工智能算法,整合以往类似地质条件下的成功支护案例和失败教训,为当下工程提供更具针对性的支护方案。对于富水断层破碎带,创新性地采用“钢管棚+注浆加固+柔性支护”的组合支护体系,既能有效止水,又能适应围岩的复杂变形。(3)在材料质量把控上,除了常规的抽检,还可引入区块链技术,对支护材料从生产到使用的全过程进行溯源,确保材料质量可靠。同时,推广应用纳米增强混凝土等新型材料,显著提升支护结构的强度和耐久性。另外,搭建集成化的监测预警平台,将物联网传感器、卫星遥感等技术相结合,对支护结构和围岩状态进行全方位、全天候监测,及时发现潜在风险,动态调整支护策略,为隧洞施工筑牢安全屏障。

3.5 强化施工组织管理

施工组织管理在复杂地质条件下的隧洞掘进中,发挥着统筹全局的关键作用,需从多方面强化。(1)制定施工计划时,运用系统工程的方法,全面考虑地质条件的复杂性和施工过程中的潜在风险。通过构建数字化施工模型,模拟不同施工方案的实施过程,提前预判施工进度,优化施工流程,减少赶工、窝工现象。(2)在部门协作方面,搭建高效的信息共享平台,打通各部门间

的信息壁垒,实现施工信息的实时传递与共享。定期组织跨部门沟通协调会议,及时解决施工过程中出现的问题,形成高效协同的工作机制。(3)安全管理层面,落实全员安全生产责任制,加强对施工人员的安全教育培训,提高其安全意识和操作技能。引入安全风险智能识别系统,利用图像识别和大数据分析技术,对施工现场的安全隐患进行实时监测和预警,降低事故发生的可能性。(4)在设备和材料管理上,建立设备全生命周期管理系统,实时掌握设备的运行状态,提前安排设备维护保养,确保设备的正常运行。同时,运用供应链管理技术,优化材料采购和配送流程,保障材料供应的及时性和稳定性,为隧洞掘进施工的顺利推进提供坚实保障^[4]。

结束语

复杂地质条件下隧洞掘进施工,对技术与管理提出了严苛要求。本文针对现存问题,从地质勘探、设备选型、施工工艺、支护技术、施工组织管理等方面,提出了一系列优化策略。这些策略的实施,有助于降低施工风险,提升工程质量与效率。但地质条件千变万化,隧洞施工技术也需持续迭代创新。未来,需不断探索新技术、新方法,推动行业发展,为各类复杂地质条件下的隧洞工程建设筑牢根基。

参考文献

- [1]李少华.复杂地质条件下的采煤掘进支护技术分析[J].中国战略新兴产业,2019(30):115-116
- [2]孙亚军,陈歌,徐智敏,等.我国煤矿区水环境现状及矿井水处理利用研究进展[J].煤炭学报,2020,45(01):304-316.
- [3]李晓晖.复杂地质条件下的掘进支护技术的优化措施[J].石化技术,2020,27(04):297-298.
- [4]李海涛.复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术应用研究[J].石化技术,2020,27(09):219+229.