

复杂地质条件下大盾构掘进的风险防控研究

安若愚

中铁隧道股份有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】：大盾构施工技术已成为跨江、跨海及区域互联互通重大工程的核心手段。然而，在穿越富水砂卵石层、复合地层、岩溶发育区及断层破碎带等复杂地质区段时，极易诱发掌子面失稳、刀盘卡滞、异常磨损及突水涌砂等典型事故，对地表建筑物安全构成严峻挑战。本文将立足于实际工程，深入解析复杂地质条件下大盾构掘进的具体风险，提出有效的大盾构掘进风险防控策略，以期实现同类工程的安全高效推进。

【关键词】：复杂地质条件；大盾构掘进；风险；防控

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.075

引言

在交通建设中，盾构作为隧道施工的主要工法，其施工技术广泛用于交通重大工程，同时在盾构施工技术的应用过程中，工程所处环境、机械类型与操作人员等诸多方面的因素都会对盾构掘进带来一定的风险因素，因此需要对复杂地质条件下大盾构掘进的风险作出有效辨识，并采取必要的防控手段。

1 复杂地质条件下大盾构掘进的风险分析

1.1 掌子面失稳

掌子面失稳是复杂地质施工中最常遇到、危害也最直接的一类风险，在富水砂卵石层、软土层以及断层破碎带这些区域尤为突出。盾构刀盘切削地层后，掌子面的土体失去了原有支撑，要是土压设定得不合理、掘进速度过快，或者突然遇到涌水情况，很容易就会出现土体坍塌、掉块的问题，严重的时候还会导致掌子面整体失稳，造成刀盘被埋、掘进工作被迫停滞，甚至会威胁到施工人员的人身安全。根据现场施工总结，这类风险大多和地层勘察精度不够、现场支护措施调整不及时有关，也是我们现场管控工作中需要重点攻克的难点。

1.2 盾构设备故障

大盾构设备结构复杂，且地下施工环境潮湿、振动大，工况十分恶劣，在复杂地质中掘进时，设备很容易出现故障。从现场实际情况来看，主要有三个方面的问题：一是刀具的磨损和损坏，在穿越硬岩、孤石或者含砾石较多的地层时，刀盘上的刀具经常会出现崩齿、磨损过度的情况，要是没能及时检查更换，不仅会降低切削效率，严重时还会导致刀盘卡滞，无法继续掘进；二是液压和电气系统故障，地下高湿、振动的环境容易造成液压管路渗漏、电气元件短路，进而影响盾构推进、出土等关键工序的正常开展；三是密封系统失效，在富水地层中，一旦密封出现损坏，

就会引发泥水渗漏，既会损坏设备，还会带来安全隐患。

1.3 突水涌砂

突水涌砂风险主要集中在富水地层、岩溶发育区域以及地下暗河周边，这类风险突发性强、破坏性大，一旦发生后果严重。在复杂地质条件下，地层的孔隙水压力普遍较高，施工中要是盾构掘进时击穿了隔水层、意外遭遇地下暗河，或者管片拼装时存在缝隙，就会导致地下水夹带大量砂粒涌入隧道内部，轻则造成隧道被淹没、施工停滞，重则引发地表塌陷，不仅会延误工期、增加造价，还会破坏周边的地下管线和建筑物。这类风险来得突然、蔓延速度快，对现场应急处置的反应速度和处置能力都提出了很高的要求。

1.4 地表沉降与周边环境扰动

大盾构掘进过程中，难免会对周边地层造成扰动，尤其是在软土层、敏感地层中，很容易出现地表沉降超标的情况，进而威胁到周边建筑物、道路以及地下管线的安全。结合现场施工经验，沉降主要源于掘进时切削土体、排出渣土会导致地层应力释放，要是同步注浆不及时、注浆量不足，地层中就会形成空洞，进而引发不均匀沉降。另外，要是盾构推进姿态偏差过大、管片拼装质量不过关，也会进一步加剧地层扰动，导致地表沉降超过控制标准。除此之外，沉降还可能引发地下管线断裂、路面塌陷等次生灾害，造成更大的工程损失。

2 复杂地质条件下大盾构掘进的风险防控策略

2.1 深化地质预判管控，筑牢防控基础

复杂地质本身就是各类风险的根源，防控工作最先要做的，就是把地层情况摸透，把预判工作做细做实，不能有半点马虎。实际操作不能只盯着前期的勘察资料，必须结合现场施工的实际情况，补充开展探测工作，把多种探测方式结合起来，全面排查掘进区

域的地层分布、岩土特性、水位变化和隐伏构造,尤其是那些容易引发风险的危险地层,要精准摸清它的分布范围和实际情况。掘进的时候,需安排专人盯着地质变化,结合盾构掘进的各类实时数据,动态分析地层的变化走向,提前判断可能出现的风险苗头,一旦发现不对劲,马上调整施工节奏,提前做好防控措施,不让风险进一步扩大。另外,还要建立地质资料的动态更新机制,把现场探测到的新情况及时补到资料里,给后续掘进防控提供准确依据,从根源上减少因为地质预判不到位引发的各类问题。

2.2 强化设备全流程管控,提升抗风险能力

大盾构设备是掘进施工的核心关键,它的运行状态好不好,直接影响防控工作的效果,现场管控中必须把设备管理抓牢抓实,不能有丝毫松懈。相关部门要彻底改掉“重使用、轻养护”的坏毛病,建立设备全生命周期的管控体系,从设备进场验收开始,就严格检查各项性能,重点核查核心部件的质量和完好程度,不符合施工要求的设备,坚决不让它进场投入使用。掘进过程中,安排专业维修人员定期对设备进行全面检查,重点关注刀具、液压系统、密封系统这些容易出故障的部件,及时发现设备的小隐患、小问题,当场妥善处理,不让小隐患拖成大故障。同时,要做好设备运行台账,详细记录设备的运行参数、养护情况和故障处理情况,根据地质条件的变化和设备运行状态,及时调整养护方案,备足易损部件,确保设备出现故障时能快速抢修,最大限度减少停机时间,降低因设备故障引发的施工风险。

2.3 严控施工过程参数,规范现场作业

施工过程中的参数控制和现场作业规范,是防范各类风险的关键环节,必须结合现场地质实际,做到动态管控、精准管控,不能照搬固定标准、生搬硬套。操作时,坚决不能机械套用固定参数,要根据现场地质的实时反馈,灵活调整土仓压力、推进速度、刀盘

转速、同步注浆压力这些核心参数,确保每一项参数都和当前地层条件相匹配,实现切削、支护、填充的动态平衡。同时,要规范现场作业流程,明确每个岗位的职责,加强对一线操作人员的培训和管理,引导他们严格按照作业规范施工,杜绝违规操作、盲目推进的行为。在风险较高的地层掘进时,坚持“慢推进、勤监测、多调整”的原则,严格控制施工扰动,及时优化施工方案,确保每一道工序都符合防控要求,从施工过程中杜绝风险隐患的滋生和蔓延,保障掘进施工平稳有序。

2.4 完善应急联动机制,强化兜底防控

复杂地质条件下,各类风险都有突发性和不确定性,完善的应急联动机制,是防控工作的最后一道防线,必须结合现场实际,做到有预案、有演练、有保障,不搞形式化应对。针对可能出现的各类风险,需编制贴合现场实操的应急预案,明确应急处置的流程、责任分工和物资调配要求,不搞空洞的表述,确保预案能真正指导应急处置工作。同时,定期组织一线施工人员开展实战化应急演练,让大家熟悉应急处置流程,提升应急反应能力和协同处置能力,避免险情发生时慌乱无序。此外,要建立应急物资储备体系,定期检查物资的储备情况,及时补充和更新,确保险情发生时能快速调配使用。在加强与周边相关单位的联动协作基础上,建立联动机制,形成防控合力,确保险情发生时能快速响应、科学处置,最大限度降低事故损失。

总而言之,复杂地质条件下大盾构掘进的风险防控,是一项长期且系统的工作。实际施工中,必须扎根一线实操,把每一项防控措施都抓细抓实,根据地质条件变化动态优化策略,不搞一刀切、不玩虚套路,实事求是做好每一步防控工作,以此实现从被动应对到主动防控的转变,真正保障大盾构掘进施工的安全与高效。

参考文献:

- [1] 杨剑,赵志坚,雷鸣宇.高密度建成区复合地层盾构掘进风险精细管控与实践研究[J].科技资讯,2025,23(23):128-131.
- [2] 张同文.城市地铁盾构隧道穿越复杂地层施工风险控制措施[J].四川水泥,2025,(11):194-196.
- [3] 陈海勇.高黏性地层泥水盾构结泥风险全过程预测及防控技术研究[D].中南大学,2024.