

智能建造技术在复杂地质隧道工程管理中的应用

郑建林

中交一公局第四工程有限公司 广西南宁 530033

摘要：随着隧道工程建设的不断发展，复杂地质条件下隧道工程管理面临断层、软弱围岩、岩溶等地质现象频繁出现，导致施工风险高、技术要求严、工程管理难度大且协调要求高等难题。针对这些问题，本文通过分析智能建造技术的核心特点及其在复杂地质隧道工程管理中优势，探讨智能建造技术在智能地质勘察与风险评估、智能掘进与支护施工、数字化协同管理平台以及智能监测与运维管理中的实际应用，旨在为复杂地质隧道工程管理提供理论支持和实践参考。

关键词：智能建造技术；复杂地质隧道工程；工程管理；技术应用

随着基础设施建设的不断推进，隧道工程在交通、能源等领域重要性日益凸显。复杂地质隧道工程建设是现代工程建设的关键环节，也是推动区域经济发展和互联互通的重要保障。智能建造技术是现代科技与工程建设深度融合的产物，将其应用于复杂地质隧道工程管理中，能够提升工程管理水平，推动隧道工程建设向智能化、数字化方向发展。然而，智能建造技术在隧道工程管理中面临一些问题和挑战。鉴于此，分析智能建造技术在复杂地质隧道工程管理中优势，推动智能建造技术在复杂地质隧道工程管理中的广泛应用，能够有效提升隧道工程管理水平，促进隧道工程建设高质量发展。

一、复杂地质隧道工程管理背景分析

1. 复杂地质隧道工程的特点与难点

首先，地质条件复杂多变。隧道工程需要穿越断层、软弱围岩、岩溶、高地应力、富水地层等多种复杂的地质单元，增加了施工不确定性和风险，可能导致施工过程中出现坍塌、突水突泥、大变形等灾害。其次，施工风险高、技术要求严。隧道施工过程中需要应对坍塌、突水突泥、大变形等多种地质灾害，会对施工人员生命安全造成威胁，导致工程进度延误和成本增加。最后，工程管理难度大、协调要求高。隧道工程建设通常需要地质、设计、施工、监理等多个专业团队的协同合作，每个团队之间需要密切配合，确保信息及时传递和共享。复杂地质条件增加了施工过程中的不确定性，导致施工

进度和质量控制困难^[1]。

2. 传统隧道工程管理面临的问题

第一，地质勘察精度不足，施工风险预判难。传统地质勘察技术在复杂地质条件下应用存在明显不足。地质勘察精度不足，会导致施工过程中难以准确预判地质灾害，增加施工风险。第二，施工过程信息不透明，协同效率低。传统管理方式下，施工过程中信息传递往往不及时、不准确，导致各参与方之间协同效率低下^[2]。第三，资源调配不合理，成本控制压力大。传统管理方式在资源调配方面存在资源调配不合理、资源闲置、资源短缺等问题。第四，安全管理措施滞后，事故隐患多。传统管理方式在安全管理方面存在明显滞后性，导致安全管理措施难以及时落实到位。

二、智能建造技术在复杂地质隧道工程管理中的应用分析

1. 智能建造技术的特点

(1) 数据驱动

首先，全面的数据采集。数据驱动的智能建造技术依赖于全方位的数据采集系统。通过物联网（IoT）技术，在施工现象广泛部署传感器，实时监测地质条件、施工进度、设备运行状态、人员位置等关键信息。其次，高效的数据处理与分析。利用大数据分析和人工智能算法，对采集到的海量数据进行实时处理和深度分析，提取有价值的信息。最后，数据驱动的决策支持。基于数据分析结果，智能建造系统可以生成动态的施工方案和优化建议，为工程管理提供实时、科学的决策支持。

(2) 智能决策

作者简介：郑建林（1991.10—），男，土家族，重庆市酉阳县人，本科学历，工程师，研究方向为工程管理。

第一，基于大数据分析的方案优化。智能建造技术中的智能决策系统利用大数据分析技术，对地质勘察数据、施工进度数据、资源使用数据等海量工程数据进行深度挖掘和分析，识别出最优施工方案和资源配置策略。第二，实时动态调整与优化。智能建造技术的智能决策系统能够实时监测施工过程中的各种参数，并根据实际情况动态调整施工方案，使得施工过程更加灵活和高效，能够快速应对复杂地质条件带来的不确定性。第三，人工智能辅助决策。智能建造技术结合了机器学习和深度学习等人工智能算法，进一步提高了决策的准确性和可靠性。

（3）协同管理

其一，多专业协同设计。在复杂地质隧道工程中，地质、结构、施工等多个专业需要紧密配合，才能确保设计方案的科学性和可行性。智能建造技术通过协同设计平台，各专业设计师可以实时共享设计数据，进行联合设计和优化。其二，施工过程实时协同。在施工过程中，智能建造技术通过物联网技术，施工现场的设备、人员和材料信息可以实时传输到管理平台，各参与方能够随时掌握施工进度和现场情况，实现施工各方的实时协同。其三，供应链与资源协同管理。在复杂地质隧道工程中，智能建造技术通过智能建造平台，项目管理者可以实时监控资源使用情况，优化资源分配。

（4）自动化与可视化

首先，施工过程自动化。自动化技术在隧道施工中的应用，通过引入先进的施工设备和智能控制系统，许多施工环节可以实现自动化操作。其次，施工管理可视化。可视化技术通过三维建模和虚拟现实（VR）技术，为隧道工程管理提供直观工具，施工过程可以被直观地展示出来，使管理人员实时掌握施工进度和现场情况。最后，智能监测与预警可视化。智能建造技术通过自动化监测设备和可视化平台，实现施工过程的实时监测与预警。

2. 智能建造技术在复杂地质隧道工程管理中的优势

（1）地质风险精准预判与动态管控

第一，高精度地质建模与风险识别。项目团队利用智能建造技术中的三维地质建模工具，结合地质勘察数据，创建高精度的地质模型，详细反映隧道沿线的地层结构、断层、岩溶、软弱围岩等复杂地质现象，提前识别潜在的地质风险区域，并对风险等级进行评估。第二，实时监测与数据驱动的风险预警。施工过程中，项目团

队利用智能建造技术部署的物联网和传感器网络，实时监测隧道周边的地质变化和施工环境。利用大数据分析和人工智能算法，对监测数据进行实时分析，识别潜在的地质风险。第三，动态管控与应急响应机制。项目团队依据智能建造技术提供的实时监测数据和地质模型的动态更新，自动调整施工方案和支护参数。例如，当监测到围岩变形速率加快时，系统会自动调整支护设计，增加支护强度，确保施工安全。

（2）施工过程智能化与精细化

其一，智能化施工设备的应用。项目团队在复杂地质隧道工程中广泛使用了智能建造技术赋能的智能隧道掘进机（TBM）、自动化支护设备、智能监测系统。这些设备集成了先进的传感器和自动化控制系统，可根据实时监测数据自动调整施工参数，确保施工过程的稳定性和安全性。其二，精细化施工管理的实施。项目团队通过智能建造技术搭建的施工管理平台实现了精细化施工管理。在复杂地质隧道工程中，施工管理平台可以实时监控施工进度、质量、安全等关键指标，并根据预设的施工计划和标准进行动态调整。其三，实时数据分析与动态优化。项目团队利用智能建造技术中的施工现场传感器网络可以实时采集大量地质参数、施工设备运行状态、施工进度等施工数据。

（3）资源调配与成本控制高效化

首先，智能物料管理与供应链协同。项目团队利用智能建造技术中的智能物料管理系统，实现了物料管理的智能化和供应链的高效协同。在复杂地质隧道工程中，智能物料管理系统可以实时监控物料的库存、使用情况和运输状态，确保物料及时供应和合理使用。其次，能源消耗动态监测与节能优化。项目团队通过智能建造技术部署的实时监测和数据分析系统，实现了能源的动态管理和节能优化。在隧道施工过程中，智能建造系统通过在设备上安装智能传感器可以实时监测设备的能耗情况，并通过数据分析优化设备的运行参数。最后，成本控制的精细化管理。项目团队借助智能建造技术搭建的智能建造平台，实现了成本控制精细化管理。

（4）安全管控全面升级

其一，人员定位与行为分析系统。在复杂地质隧道工程中，项目团队在施工人员的安全帽或工作服上安装定位芯片，并结合视频监控系统与行为分析算法，构建了一套完善的人员定位与行为分析体系。通过这一措施，系统可以实时跟踪人员的位置和活动轨迹，自动识别人

员长时间停留、快速移动或进入危险区域等异常行为,会立即发出警报,提醒现场管理人员采取措施。其二,环境监测与灾害预警平台。为了保障复杂隧道施工安全,项目团队利用智能建造技术,部署了环境监测与灾害预警系统。通过在施工现场安装瓦斯传感器、水位传感器、应力传感器等多种传感器,实时监测环境参数。当监测数据接近或超过预设的安全阈值时,预警平台自动通过短信、语音等方式通知现场管理人员和施工人员,及时采取应对措施,有效降低灾害风险。其三,安全培训与虚拟演练系统。在复杂地质隧道工程中,施工人员通过虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术在虚拟环境中进行安全培训和应急演练。

3. 智能建造技术在复杂地质隧道工程管理中的具体应用

(1) 智能地质勘察与风险评估

第一,高精度地质数据采集。利用地质雷达、地震波探测、无人机测绘、卫星遥感等多种技术手段,更全面、更精确地获取地质数据。例如,地质雷达可以探测地下岩层的结构和裂隙分布,地震波探测能够识别断层和岩溶等地质异常。第二,三维地质建模与分析。构建详细的三维地质模型,将地质数据转化为直观的三维模型,清晰展示隧道沿线的地质结构和潜在风险区域。第三,动态风险评估与预警。为了有效应对施工过程中的地质风险,项目团队引入了集成实时监测系统与先进数据分析平台的智能技术措施,实现了地质风险的动态评估与预警。

(2) 智能掘进与支护施工

首先,智能掘进设备的应用。在复杂地质隧道工程中,智能隧道掘进机(TBM)和盾构机等设备配备了先进的传感器和自动化控制系统。这些设备能够实时监测掘进过程中的地质条件、刀盘扭矩、推进速度等关键参数,并根据监测数据自动调整掘进参数。其次,支护参数的动态调整。在复杂地质条件下,围岩的稳定性会随着施工进度和地质条件的变化而变化。通过在隧道内安装应变传感器、位移传感器等多种传感器,系统可以实时监测围岩的变形和应力变化。最后,施工过程的智能化监控。在复杂地质隧道工程中,通过在施工现场安装高清摄像头、传感器网络和数据采集设备,系统可以实时监控施工进度、设备运行状态、人员操作情况等。管理人员通过监控平台随时查看施工情况,发现问题及时

处理。

(3) 数字化协同管理平台

一是多专业协同设计与规划。在复杂地质条件下,隧道工程涉及地质、结构、施工等多个专业。项目团队利用智能建造技术中的数字化协同设计平台,使不同专业的设计人员能够实时共享和更新设计数据,实现联合设计和优化。二是施工过程一体化管控。项目团队通过智能建造技术搭建的数字化协同管理平台,实现了施工过程一体化管控。该平台涵盖进度、质量、安全等多个方面,借助物联网技术,施工现场的设备、人员和材料信息可以实时传输到管理平台。各参与方能够随时掌握施工进度和现场情况。三是项目全生命周期数据管理。项目团队通过数字化协同管理平台,运用智能建造技术实现项目全生命周期数据管理,确保数据在各阶段的持续利用。

(4) 智能监测与运维管理

其一,实时智能监测系统。智能监测系统通过在隧道内安装应变传感器、位移传感器、渗压传感器、瓦斯传感器等多种传感器,实时监测隧道结构的变形、应力、渗水、瓦斯浓度等关键参数。其二,数据分析与健康评估。智能监测系统采集到的大量数据需要通过专业的数据分析技术进行了解读。其三,智能运维管理系统。智能运维管理系统,通过整合监测数据、施工数据和运维数据,实现隧道智能化运维管理。

结语

随着复杂地质条件下隧道工程建设的不断推进,传统工程管理模式难以满足现代隧道工程对施工效率、安全性和质量的高要求。智能建造技术为解决这些问题提供了全新的思路和方法。随着技术不断发展和应用的深入,智能建造技术必将在隧道工程建设中发挥更大作用,推动隧道工程管理向智能化、数字化方向发展,为实现隧道工程高质量建设提供坚实保障。

参考文献

- [1] 郝俊锁.复杂地质特长深埋水工隧洞智能化施工关键技术研究[J].现代隧道技术,2021,58(06):188-196.
- [2] 郭卫社,洪开荣,高攀,等.我国隧道智能建造技术发展展望[J].隧道建设(中英文),2023,43(04):549-562.