

隧道施工新技术与施工安全管理

陈先良

中铁隧道局集团有限公司 四川 成都 610000

摘要：当下交通基础设施建设蓬勃发展，隧道工程规模持续扩张，施工难度与复杂程度大幅攀升。复杂地质以及技术和管理的多重挑战，让隧道施工面临重重困境。不过，新技术的不断涌现为隧道施工开辟了新路径，可显著提升效率、质量和安全性。而科学有效的安全管理作为工程顺利推进的核心要素，涉及制度、培训、防护等多方面。本文将深入剖析隧道施工新技术与安全管理，为工程建设提供参考。

关键词：隧道施工；施工新技术；安全管理

引言

本文围绕隧道施工展开，详述新技术与安全管理关键内容。新技术领域，BIM技术搭建全面信息架构；盾构掘进机依地质差异优化；物联网与传感器达成安全实时监测；机械化配套技术提高施工效能与品质；绿色施工技术推动资源循环和污水再利用。安全管理环节，构建责任体系、完善制度规范；以多元方式开展人员培训；施工现场从洞口至内部设备落实防护举措，保障施工安全高效与可持续发展。

1 隧道施工新技术

1.1 BIM技术应用

BIM技术，即建筑信息模型技术，在隧道施工中的应用日益广泛且深入。通过构建三维信息模型，BIM技术整合了隧道的几何形状、结构、施工进度、材料信息等多方面数据，为施工管理提供了全面且直观的信息平台^[1]。施工前期，BIM技术发挥着至关重要的作用。借助其可视化设计功能，能对隧道线路走向、洞口位置以及辅助坑道布置等关键要素进行精准模拟分析。这一过程如同在虚拟世界中搭建隧道模型，提前洞察设计中的潜在问题，进而及时优化，避免后期施工出现重大变更。尤其在复杂地质条件下，BIM模型可直观呈现不同围岩区域的分布情况，为设计人员提供清晰依据，使其能够合理调整支护参数，切实保障设计方案兼具科学性与可行性，为后续施工奠定坚实基础。

1.2 盾构掘进机技术

盾构掘进机作为隧道施工的核心设备，其技术发展对提升施工效率与质量起着关键作用。针对不同的地质条件，盾构掘进机技术不断进行创新与优化。在复杂地质条件下，盾构刀具优化是重点。在硬岩地层中，岩石硬度高，传统的刀具难以高效破岩。采用高强度、高耐磨性的合金刀具成为必然选择。这些刀具能够承受硬

岩的巨大阻力，减少刀具磨损和更换频率。同时，优化刀具布局，根据岩石的节理、裂隙等特征，合理调整刀具的间距和角度，提高破岩效率，加快施工进度。在软土地层中，虽然岩石硬度较低，但刀具与泥土的摩擦较大，容易磨损。因此选用耐磨性较好的刀具材料，并采用特殊的表面处理工艺，增强刀具的抗磨损能力，延长刀具使用寿命，降低施工成本。盾构机的密封系统改良同样至关重要。隧道施工中，泥沙和地下水的侵入会对盾构机的正常运行造成严重影响。通过采用耐高温、耐腐蚀的密封材料，如新型橡胶密封件和陶瓷密封环等，提高密封系统在恶劣环境下的适应性。

1.3 物联网与传感器技术

物联网与传感器技术的融合，为隧道施工安全监测提供了强有力的支持。在隧道施工现场，布置各类传感器，如位移传感器、应力传感器、压力传感器、有害气体传感器等，能够实时采集围岩变形、支护结构受力、地下水位变化、洞内空气质量等关键数据。借助物联网技术，这些传感器采集到的数据可以实时传输至监控中心。监控人员通过数据分析软件，能够及时掌握隧道施工的安全状况。一旦发现数据异常，如围岩变形过大、支护结构应力超过设计值等，系统会立即发出预警信号，提醒施工人员采取相应的措施，如加强支护、撤离人员等，有效预防安全事故的发生，保障施工人员的生命安全和工程的顺利进行。

1.4 机械化配套技术

(1) 智能混凝土湿喷机，传统混凝土喷射作业主要依靠人工操作，存在喷射厚度不均匀、混凝土回弹量大、施工效率低以及作业人员劳动强度大等问题。智能混凝土湿喷机的应用，有效解决了这些难题。智能混凝土湿喷机采用先进的自动化控制技术，能够精准控制喷射压力、喷射速率和喷射角度，确保混凝土喷射厚度均

匀,表面平整。通过优化喷射工艺,大大减少了混凝土的回弹量,降低了材料浪费,节约了施工成本^[2]。智能混凝土湿喷机的自动化作业方式,显著提高了施工效率,减少了作业人员的数量,降低了作业人员在高粉尘环境下的暴露时间,保障了作业人员的身体健康。在某隧道施工现场,采用智能混凝土湿喷机后,混凝土喷射厚度的误差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内,回弹率降低至15%以下,施工效率提高了2倍以上。此外,智能混凝土湿喷机还配备了故障诊断系统,能够实时监测设备的运行状态,当设备出现故障时,系统自动报警并提示故障原因,便于维修人员及时进行维修,提高了设备的可靠性和稳定性。

(2) 自行式二衬台车,自行式二衬台车是隧道二次衬砌施工中的关键设备,其智能化程度的提升对提高二衬施工质量和效率具有重要意义。现代自行式二衬台车依托智能控制系统,实现了双轨同步自主行走,能够精准定位台车的位置,确保二次衬砌的施工精度。在台车行走过程中,智能控制系统实时监测台车的运行状态,自动调整行走速度和方向,有效消除了人为因素引发的台车脱轨及设备损伤风险。自行式二衬台车配备了先进的混凝土浇筑系统,能够实现混凝土的均匀浇筑和振捣,确保二次衬砌的混凝土质量。以某高速公路隧道为例,使用自行式二衬台车后,二次衬砌的施工周期缩短了30%,衬砌表面平整度误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内,大大提高了二衬施工质量。此外,自行式二衬台车还采用了模块化设计,便于设备的组装、拆卸和运输,降低了设备的维护成本,提高了设备的通用性和适应性。

1.5 绿色施工技术

(1) 洞渣处理与资源循环利用,在隧道施工过程中,会产生大量的洞渣。传统的洞渣处理方式多为直接弃置,不仅占用大量土地资源,还会对环境造成严重破坏。绿色施工技术倡导对洞渣进行合理处理与资源循环利用。通过采用破碎、筛分等工艺,将洞渣加工成不同粒径的碎石、石粉等材料,可用于临时道路铺设、路床碎石土填筑以及路基填筑等工程部位。在某隧道项目中,将洞渣加工后的碎石用于修建施工便道,石粉用于制作水泥稳定基层,实现了洞渣的100%资源化利用,既节约了工程材料成本,又减少了对环境的影响。此外还可利用洞渣生产再生混凝土、砖块等建筑材料,进一步拓展洞渣的资源化利用途径。通过资源循环利用,不仅实现了经济效益的提升,还践行了绿色环保理念,为隧道工程的可持续发展提供了有力支持。(2) 污水处理与循环利用,隧道施工过程中会产生大量的污水,如涌水、施工废水等。这些污水若未经处理直接排放,会对周边水体环境造成污染。绿色施工技

术注重对污水处理与循环利用。采用一体化污水处理系统,对隧道洞口污水、涌水进行处理。该系统通常包括沉淀、过滤、消毒等工艺环节,能够有效去除污水中的悬浮物、重金属离子、有机物等污染物,使处理后的水质达到国家排放标准或施工用水标准。此外,处理后的污水可用于洒水降尘、车辆冲洗及结构物养护等,实现了水资源的循环利用。

2 隧道施工安全管理

2.1 安全管理制度建设

构建完善的安全责任体系是隧道施工安全管理的核心基础。需明确各级管理人员、部门及岗位人员的安全职责,将责任层层分解至施工全环节与各作业人员,制定详细责任清单,规范各岗位工作内容、标准及责任边界。项目经理作为安全生产第一责任人,统筹安全管理目标与计划,保障安全投入;项目总工程师主导安全技术方案制定与重大技术决策;安全管理人员负责日常监督检查与隐患消除;施工班组长落实班组安全教育与现场安全管控。建立严格的责任考核机制,定期考核责任履行情况,将结果与个人绩效、薪酬、晋升挂钩,对表现突出者表彰奖励,对落实不到位者严肃问责,形成“人人有责、齐抓共管”的管理氛围,确保责任落地。制定全面且可操作的安全管理制度是安全管理的重要保障,需覆盖施工全流程,包括安全生产教育培训、安全检查、隐患排查治理、安全技术交底、应急救援预案、施工设备管理、危险物品管理等制度^[3]。各制度需明确核心要求:教育培训制度规范培训内容、时长、方式与考核;安全检查制度明确检查形式、内容、频率与结果处理;隐患排查制度界定排查主体、方法、措施与复查要求;技术交底制度规定交底内容、时间、方式与签字流程;应急预案制度明确组织机构、响应程序、救援措施与物资储备;设备管理制度覆盖采购、验收、维护、报废全环节;危险物品管理制度规范采购、运输、储存、使用与废弃处理。

2.2 人员培训与教育

安全意识培训是隧道施工人员教育的核心环节,需通过多元形式强化施工人员的安全认知与自我保护能力。可邀请专业安全专家开展安全知识讲座,系统讲解隧道施工相关的安全法律法规、操作规程及风险防范要点,让施工人员清晰掌握施工中的安全要求与注意事项;选取国内外隧道施工典型安全事故案例,借助视频播放、图片展示及事故原因深度剖析,让施工人员直观感受安全事故的严重后果,从中吸取教训;制作安全宣传展板、发放宣传手册,营造浓厚安全文化氛围,传递

安全理念。利用微信公众号、短视频平台等现代信息技术,实时推送安全知识 with 事故警示信息,方便施工人员随时随地学习;定期组织安全知识竞赛、安全演讲比赛,激发学习积极性,提升培训效果。技术技能培训是保障隧道施工质量与安全的关键,需结合施工人员岗位需求与技术水平制定个性化计划。针对新入职人员,开展基础施工技术与安全操作规程培训,帮助其掌握基本技能与安全知识;针对爆破工、电工、焊工等技术工种,开展专业技能培训,确保其熟练掌握本工种操作技能与安全要求,并取得对应职业资格证书;针对管理人员,培训施工管理、安全管理知识及新技术应用,提升其管理与技术能力。培训可采用课堂讲授、现场实操演练、师徒传帮带相结合的方式:课堂由经验丰富的技术人员或专家讲解理论,帮助施工人员理解技术原理;现场设置模拟操作平台,让施工人员通过实操熟练技能、提升问题应对能力;安排老工人与新工人结成对子,手把手指导新工人快速成长。

2.3 施工现场安全防护措施

隧道洞口是施工安全的重要防线。需设置醒目的安全警示标志,涵盖限速、限高、禁止烟火等内容,时刻提醒过往人员与车辆保持警惕。搭建稳固的洞口防护棚,能有效抵御上方可能出现的落石、坍塌等,为洞口施工人员和设备提供可靠保护。洞口周边边坡的稳定性至关重要。采用锚杆、喷射混凝土等加固方式,增强边坡的抗滑移和抗坍塌能力。合理设置排水设施,引导雨水有序排放,避免雨水冲刷导致边坡失稳,引发安全事故^[4]。洞口配备照明设施,确保夜间施工及人员进出时视线清晰,保障安全。隧道内部环境复杂,合理设置照明系统是关键。根据不同施工阶段和区域,灵活调整照明灯具的布置与亮度,保证足够的照明强度,让施工人员能清晰观察施工环境和操作对象。在掌子面、二衬台

车等关键部位,增设局部照明,满足精细施工操作的需求。通风设备对于改善隧道内空气质量不可或缺。依据隧道长度、断面大小和施工强度,选择适宜的通风方式和设备,确保空气流通,降低有害气体和粉尘浓度。定期对通风系统进行检查和维护,保证其稳定运行,为施工人员创造健康的作业环境。设置安全通道和逃生管道是应对突发紧急情况的重要举措。安全通道保持畅通无阻,宽度符合标准,并设置明显指示标志,引导人员快速疏散。逃生管道采用耐压、耐冲击材料制作,连接紧密,每隔一定距离设置逃生口,方便施工人员在紧急时刻迅速撤离。

结语

隧道施工新技术与安全管理相辅相成,共同推动隧道工程的发展。新技术的应用提升了施工的效率与质量,为隧道建设带来了新的变革;而科学有效的安全管理则确保了施工过程的顺利进行,保障了施工人员的安全和工程的整体质量。未来,随着科技的不断进步,隧道施工将迎来更多的机遇与挑战。我们应持续探索新技术,不断完善安全管理体系,以适应日益复杂的施工环境,推动隧道工程向着更加安全、高效、绿色的方向发展。

参考文献

- [1]唐继辉,王世武.高速公路隧道施工中的安全管理与技术创新[J].交通建设与管理,2024(4):115-117.
- [2]刘标永,彭世康,李冠霖.隧道施工安全管理智能装备关键技术研究与应用[J].装备制造技术,2024(8):121-124.
- [3]郑孟林.公路隧道施工安全管理技术应用与分析[J].上海建材,2024(5):76-78.
- [4]彭志敏.隧道施工安全管理与风险预警技术研究[J].工程建设与设计,2024(24):220-222.