

高速铁路瓦斯隧道施工中的安全管理措施

何佳豪

中铁北京工程局集团第一工程有限公司 陕西西安 710199

【摘要】高速铁路瓦斯隧道施工面临诸多安全风险与管理挑战。本文以高速铁路瓦斯隧道施工为研究对象，深入分析施工过程中的主要安全隐患及管理难点，提出构建系统化、科学化、信息化的安全管理体系，采取完善安全管理组织架构与制度、强化安全教育培训、创新应用先进安全施工技术、建设安全管理信息化平台等措施，全面提升高速铁路瓦斯隧道施工安全管理水平，确保施工安全、质量与进度。

【关键词】高速铁路；瓦斯隧道；施工安全；管理体系；技术创新

引言

随着高速铁路建设的快速发展，瓦斯隧道施工日益增多。瓦斯是一种极易燃烧和爆炸的气体，极大增加了隧道施工的安全风险。近年来，国家不断出台政策法规，要求进一步加强隧道施工安全管理。为更好地指导高速铁路瓦斯隧道施工，亟需深入研究其特殊安全风险特征，探索创新性的安全管理对策。

1 高速铁路瓦斯隧道施工安全管理的重要性与挑战

1.1 高速铁路建设对瓦斯隧道施工安全管理提出更高要求

高速铁路瓦斯隧道施工面临复杂多变的地质条件，瓦斯突出、顶板塌陷、有毒有害气体超标等安全风险因素交织，对安全管理提出了前所未有的严苛要求。高速列车运行时产生的强大负压效应，对隧道施工质量控制提出更高标准。必须以创新性思维、严谨性态度、专业性视角，构建多层次、全方位、立体化的安全管理体系，将安全风险防控措施探索到极致，精准落实到施工各环节，以高度负责的工匠精神打造本质安全、经得起时间考验的优质工程，为高速铁路安全运营筑牢坚实基础。

1.2 高速铁路瓦斯隧道施工面临的特殊安全风险与挑战

高速铁路瓦斯隧道施工需克服常规隧道建设未曾遇到的特殊安全风险与挑战：瓦斯积聚引爆、突出造成人员窒息或设备毁损，极易引发连锁灾害事故；狭长洞室内通风除尘难度大，施工人员易产生职业危害；断层破碎带、岩溶塌陷区等不良地质频现，施工面临极不稳定态势；高瓦

斯、高地温环境下，施工设备选型使用、施工组织参数优化等难度大。必须精准辨识评估安全风险，制定有针对性的防护措施，在兼顾安全、质量、进度的前提下优化施工组织方案，将安全管理措施精准嵌入各施工环节，确保安全与效率协同共进。

2 高速铁路瓦斯隧道施工安全管理体系构建

2.1 建立健全瓦斯隧道施工安全管理组织架构

高速铁路瓦斯隧道施工安全管理须构建一套科学完善的组织架构体系。在项目法人的统一领导下，成立专门的安全管理委员会，下设安全监察、技术保障、应急管理等功能部门。委员会负责统筹制定安全管理总体方案，协调各参建单位权责，督查重大安全风险防控措施落实。各参建单位设置安全管理机构，配备专职安全管理人员，履行自身安全生产主体责任。建立健全纵向管理、横向协作的矩阵式架构，形成各层级间责任传递、信息共享、联动协同的运行机制，充分调动各方积极性，凝聚安全管理合力，织密责任链条，筑牢安全防线。

2.2 完善瓦斯隧道施工安全管理制度与标准

制度与标准是推动瓦斯隧道施工安全管理规范化、标准化、制度化的关键举措。要立足隧道施工特点，借鉴国内外先进经验，因地制宜构建多层次、全要素、严标准的制度体系。明确各岗位安全职责、操作规程、检查考核办法，实现全过程、全方位、全员覆盖。针对性制定瓦斯监控预警、瓦斯抽采利用、通风除尘、防火防爆等专项技术标准，为关键环节风险防控提供遵循。将安全管理要求融入施工组织设计、进度计划，确保安全投入与施工进度同

步。定期评估完善，建立与时俱进的动态优化机制，确保瓦斯隧道施工安全管理体系的权威性、科学性、适用性。

2.3 加强瓦斯隧道施工安全教育与培训

瓦斯隧道施工人员的安全意识和专业技能是保障施工安全的基石。要建立分层分类、持续深化的全员安全教育培训体系，因材施教提升培训效果。利用VR/AR等先进技术手段，模拟逼真的瓦斯事故场景，使安全培训更加直观生动。针对管理人员，重点强化安全管理理念、方法与风险研判能力；针对一线作业人员，突出强化瓦斯防治、自救互救等实操技能训练。实行安全培训持证、定期考核等强制性规定，确保所有施工人员掌握必备的安全知识和操作规范。同时，通过安全文化建设，加强警示教育，营造“人人讲安全、人人懂安全、人人重安全”的浓厚氛围。

2.4 构建安全风险分级管控与隐患治理机制

高速铁路瓦斯隧道施工须构建常态化、系统化的安全风险分级管控与隐患排查双重预防性机制。牢固树立安全风险管控理念，摸清隧道施工各环节风险因素，开展科学辨识评估，划分风险等级，制定针对性管控措施，做到风险“早发现、早识别、早预警、早处置”。建立多维联动的隐患排查体系，明确自查、互查、专项检查等不同层级的排查方式方法，查找事故隐患苗头。对查出的隐患，按照“谁排查、谁整改、谁负责”原则，实行挂牌销号、限期整改、跟踪复查，做到“发现一起、整改一起”。同时，结合施工实际，严格落实票证管理、特种设备管控、职业健康监护、应急救援等风险防范措施，确保瓦斯隧道施工安全。

3 高速铁路瓦斯隧道施工安全管理关键技术创新应用

3.1 瓦斯监测预警技术创新应用

瓦斯监测预警是高速铁路瓦斯隧道施工安全管理的首要环节。传统监测手段存在及时性差、覆盖面窄等不足，亟须创新突破。应大力推广应用新一代光纤瓦斯传感监测技术，利用布设在隧道内的光纤实时感知瓦斯浓度变化，精准定位瓦斯异常点，实现隧道全线、全断面、全天候动态监测。研发基于物联网、大数据分析的智能预警系统，融合瓦斯监测数据、工程地质参数、施工工艺状态等多源异构数据，利用机器学习算法，建立瓦斯异常演化规律预测模型，及时发现瓦斯超限等苗头性征兆，触发多级预警，为现场防控决策提供科学依据，从源头遏制重大瓦斯事故发生。大力推广“机器人+无人机”等智能化巡检装备，代替

人工进入危险区域，消除人员伤亡风险。

3.2 瓦斯抽采与利用技术创新应用

瓦斯抽采与利用是降低瓦斯灾害风险的治本之策。传统抽采工艺效率低、瓦斯浪费严重，应加快技术创新步伐。研发智能化瓦斯参数化抽采技术，针对不同瓦斯地质条件，优化抽采钻孔参数、间距、管径等，提高瓦斯抽采效率。创新应用水力致裂、二氧化碳致裂等增透改造技术，扩大抽采范围与半径，破解低渗透瓦斯层抽采不畅难题。探索利用分子筛变压吸附法、低温深冷提纯法等技术，对抽采的低浓度瓦斯进行提纯，满足民用或发电需求，实现瓦斯资源化利用，促进隧道施工与新能源开发协同共生。优化瓦斯抽采系统能耗管理，实施“金牌机电”工程，采用永磁同步电机、高效节能风机，降低综合能耗，打造绿色环保、循环利用的瓦斯抽采利用体系。

3.3 通风除尘技术创新应用

高速铁路瓦斯隧道施工通风除尘是防范瓦斯积聚、保障施工环境安全的关键。针对隧道断面大、风量需求高、粉尘污染重等特点，急需开发适用性强的通风除尘新技术。优先采用垂直落地式对穿式通风方案，合理布设进、回风井，在掌子面前后形成负压通风，利用压差效应强制排除瓦斯。因地制宜选用轴流式、射流式、悬浮式等不同类型通风机，匹配高风压、大风量参数，满足通风需求。在硐室内设置高压喷雾降尘装置，利用雾化原理抑制粉尘逸散。优化风筒布局，缩短新鲜风流送距离，降低风筒漏风率。自主研发智慧通风管控系统，融合自动检测、远程控制、综合联动等功能，根据瓦斯浓度、风量、粉尘等参数实时优化通风策略，实现通风系统高效节能运行。

3.4 防爆防火技术创新应用

高速铁路瓦斯隧道施工防爆防火至关重要，须从源头消除火灾、爆炸等事故隐患。严把防爆设备关，选用本质安全型开关柜、变压器、电缆等，满足“煤安”准入标准。采用计算机监控防爆电气设备运行状态，智能诊断漏电、短路等异常工况，及时预警故障风险。推广应用防爆轨道车辆运输系统，配备自动防撞、超速报警等安全保护装置。开发隧道专用防火涂层材料，对临时支护、衬砌等进行阻燃改性，提高耐火等级。优化隧道防火分区布局，配备感温感烟报警、细水雾灭火等智能化火灾监控系统，做到火情早发现、早处置。强化动火作业管理，严格审批、监

护、巡查，在瓦斯易积聚区域禁止一切明火。定期开展防火防爆事故应急演练，提高现场处置能力。

3.5 其他安全施工工艺与装备技术创新应用

高速铁路瓦斯隧道施工还需在支护、给排水、废弃物处理等环节，加快推广应用新工艺、新装备，为安全管理提供硬件支撑。针对围岩破碎、极易坍塌的不良地质，创新研发柔性支护材料与工艺，增强支护结构变形适应能力，降低塌方风险。针对高瓦斯、易自燃煤层，优化注浆加固参数，封堵瓦斯涌出通道。推广永久排水、集水井等先进施工工艺，布设地面截洪沟、仰拱侧墙泄水孔等，降低涌水、积水风险。自主研发全断面隧道掘进机，集成多功能作业平台，实现“一次成型”施工，减少工序切换，提高施工效率。大力应用低噪音、零污染的新型施工机具，淘汰高噪声、高排放设备，改善作业环境。优化废渣、废水处理工艺，最大限度减少废弃物外排，打造绿色环保隧道工程。

4 高速铁路瓦斯隧道施工安全管理信息化智能化建设

4.1 建立瓦斯隧道施工安全管理大数据平台

高速铁路瓦斯隧道施工安全管理亟须从信息孤岛迈向智慧协同。建设一体化的安全管理大数据平台，是实现数据汇聚共享、全局协同联动的关键支撑。平台应覆盖隧道施工全生命周期，整合BIM模型、监测预警、机电设备运行、人员定位、视频监控等多源异构数据。运用大数据分析、机器学习算法，挖掘数据间关联规律，实现隐患自动识别预警、事故智能研判溯源。同时，平台应具备可视化展示、移动端应用等功能，方便一线管理人员随时随地掌握安全动态，精准指挥调度。此外，还应与政府监管、应急救援等外部系统互联互通，强化上下联动、多方协同。通过建设安全管理大数据平台，打通数据壁垒，让数据多跑路，管理少跑腿，实现瓦斯隧道施工管理的精细化、智能化。

4.2 开发瓦斯隧道施工安全管理人工智能辅助决策系统

瓦斯隧道复杂多变的施工环境对管理人员科学决策能力提出更高要求。开发人工智能辅助决策系统，能为安全管理插上智慧的翅膀。系统应具备海量知识存储、智能推理决策、自主学习进化等功能。通过整合国内外先进施工工艺标准，构建隧道安全管理知识图谱。利用计算机视觉、自然语言理解等技术，智能感知现场作业状态，对比分析警情风险。基于深度学习算法，结合专家经验，形成

优化的应急处置方案，指导现场科学决策。同时，系统应具备不断学习成长的能力，通过案例训练、评估反馈持续迭代升级，越用越智能。此外，系统应与移动终端深度融合，实现随时随地快速响应。通过人机协同、集成创新，为瓦斯隧道施工安全管理赋能，让每一个决策都经得起“回头看”。

4.3 应用BIM、物联网、云计算等信息技术提升安全管理水平

BIM、物联网、云计算等新一代信息技术日新月异，为高速铁路瓦斯隧道施工安全管理插上腾飞的翅膀。应用BIM构建隧道数字孪生模型，实现设计施工一体化，提前发现潜在安全隐患。利用RFID、传感器等物联网技术，对人员、设备、环境进行全方位实时监测，做到隐患早发现、早预警、早处置。搭建云计算平台，整合共享各方数据资源，打破信息孤岛。运用边缘计算模式，就近处理海量监测数据，实现实时智能分析。同时，积极探索5G、区块链、AR/VR等前沿技术在安全管理中的创新应用，拓展管理新场景、新模式。通过推进信息技术与安全管理深度融合，构建全要素感知、全过程管控、全方位服务的数字化安全管理生态圈，让瓦斯隧道施工更安全、更智能、更高效。

5 结束语

高速铁路瓦斯隧道施工安全管理是一项复杂的系统工程，需要政府、建设单位、施工企业、科研机构等多方协同发力。未来应进一步健全安全法规标准，加大安全投入，完善安全管理体系，强化安全意识教育，创新安全施工技术，加快信息化智能化建设步伐，实现高速铁路瓦斯隧道施工本质安全。同时，要加强行业交流与国际合作，学习借鉴先进经验，不断提升我国高速铁路瓦斯隧道施工安全管理的科学化、精细化、规范化水平，为建设交通强国夯实安全基础。

参考文献：

- [1] 张魏. 高速铁路瓦斯隧道施工中的安全管理措施[J]. 四川水泥, 2022, (02): 258-259+262.
- [2] 韩嘉庆. 高海拔冻土及高瓦斯隧道施工风险评估研究[D]. 兰州交通大学, 2021.
- [3] 王超. 高速铁路高瓦斯大断面隧道施工关键技术研究[J]. 低碳世界, 2020, 10(11): 154-155+158.