

铁路隧道火灾特性及应急救援体系构建

龚彦鹏

中国铁路青藏集团有限公司 青海 西宁 810000

摘要：本文聚焦于铁路隧道火灾特性及应急救援体系构建。首先深入剖析铁路隧道的结构特点，详细阐述其火灾危险性。接着从燃烧、烟气蔓延、对人员和设备的危害等多方面系统分析铁路隧道火灾特性。然后探讨当前铁路隧道应急救援体系在应急预案、救援力量、装备技术、培训演练等方面存在的问题。最后从完善应急预案、整合救援力量、提升装备技术水平、加强培训演练、强化后勤保障与心理干预等多个维度提出构建科学合理铁路隧道应急救援体系的策略，旨在提高铁路隧道火灾的应急救援能力，减少火灾损失。

关键词：铁路隧道；火灾特性；应急救援体系；构建策略

1 引言

铁路隧道作为铁路运输系统中的重要基础设施，具有缩短线路里程、提高运输效率、保护生态环境等重要作用。然而，由于铁路隧道的特殊结构，如空间狭长、通风条件差、人员和设备密集等，一旦发生火灾，将会造成严重的人员伤亡和财产损失，并可能引发铁路运输中断，影响整个铁路网的正常运行。因此，深入研究铁路隧道火灾特性，构建科学合理的应急救援体系具有重要的现实意义。

2 铁路隧道结构特点与火灾危险性

2.1 铁路隧道结构特点

铁路隧道通常由洞身、洞门、避车洞等部分组成。洞身是隧道的主要部分，为列车提供通行空间；洞门用于保持洞口边坡和仰坡的稳定，并减少洞口仰坡上的落石滚落到线路上；避车洞则用于人员躲避列车和存放工具等。铁路隧道的断面形状多样，常见的有矩形、拱形等，其长度从几百米到数十公里不等。这种特殊的结构使得隧道内部形成了一个相对封闭的空间，通风条件受到限制。

2.2 铁路隧道火灾危险性

2.2.1 人员疏散困难

铁路隧道内空间狭长，一旦发生火灾，高温、有毒烟气会迅速蔓延，能见度降低，给人员疏散带来极大困难。而且隧道内人员密集，在紧急情况下容易出现恐慌和拥挤现象，进一步增加了疏散的难度和时间，容易导致人员伤亡。

2.2.2 火灾扑救难度大

由于隧道空间有限，消防车辆和设备难以进入火灾现场进行扑救作业。同时，隧道内通风不畅，火灾产生的烟气不易排出，会影响消防人员的视线和呼吸，增加扑救难度。此外，隧道内的火灾还可能引发二次灾害，

如隧道结构坍塌等，给扑救工作带来更大的危险。

2.2.3 财产损失严重

铁路隧道内通常敷设有大量的电力、通信等电缆，以及铁路信号设备等重要设施。火灾发生时，这些设施容易受到损坏，导致铁路运输中断，造成巨大的经济损失。而且隧道的修复工作往往需要耗费大量的时间和资金，进一步加重了损失程度。

3 铁路隧道火灾特性

3.1 燃烧特性

3.1.1 燃烧速度快

铁路隧道内空间相对封闭，在火灾初期，虽然氧气供应有限，但由于可燃物集中，如列车上的燃油、橡胶、塑料等易燃物品，且通风条件在一定程度上能够满足燃烧需求，火灾燃烧速度往往较快^[1]。例如，当列车在隧道内发生火灾时，车上的燃油泄漏后迅速燃烧，火势会在短时间内迅速蔓延，可能形成大面积火灾，给人员疏散和火灾扑救带来极大压力。

3.1.2 燃烧温度高

隧道内通风不畅，热量不易散发，使得火灾产生的热量在隧道内积聚，导致燃烧温度升高。研究表明，铁路隧道火灾时的温度可达1000℃以上。在这样的高温环境下，混凝土结构会逐渐失去强度，发生碳化、开裂甚至坍塌；金属结构会变形、熔化，影响隧道的安全性和稳定性。同时，高温还会加速可燃物的燃烧，使火灾更加难以控制^[2]。

3.1.3 燃烧不完全

由于氧气供应不足，铁路隧道火灾容易出现燃烧不完全的现象，产生大量的一氧化碳等有毒气体。一氧化碳是一种无色、无味、无刺激性的气体，它与人体血液中的血红蛋白结合能力比氧气强200-300倍，一旦吸入

人体,会迅速与血红蛋白结合,使血红蛋白失去携带氧气的能力,导致人体组织缺氧,严重时危及生命。此外,燃烧不完全还会产生其他有害气体和颗粒物,对人员的健康造成危害。

3.2 烟气蔓延特性

3.2.1 烟气流动方向与列车运行方向相关

当列车在隧道内正常运行时,列车行驶会产生活塞风,影响隧道内的气流方向。在火灾发生时,烟气的流动方向往往与列车运行方向有关。如果列车在火灾发生时继续前行,烟气会随着列车向前蔓延,扩大火灾的影响范围。例如,当列车尾部发生火灾时,如果列车继续向前行驶,烟气会迅速向列车前方和隧道前端扩散,使更多的人员和区域受到威胁。如果列车停止运行,烟气则会根据隧道的通风情况向两端扩散。

3.2.2 烟气蔓延速度快

铁路隧道内空间狭长,烟气在隧道内的蔓延速度较快。一般情况下,烟气在隧道内的蔓延速度可达每秒数米甚至数十米。快速的烟气蔓延会使隧道内迅速充满有毒烟气,给人员疏散和火灾扑救带来极大困难。人员在没有防护措施的情况下,在充满烟气的隧道内很难安全疏散,消防人员也难以接近火灾现场进行扑救。

3.2.3 烟气层分布不稳定

在铁路隧道火灾中,由于隧道内气流复杂,烟气层分布不稳定。在火灾初期,烟气可能会在隧道顶部形成一层较薄的烟气层;随着火灾的发展,烟气层可能会逐渐下降,甚至与地面空气混合,降低能见度,增加人员中毒和窒息的风险。而且,隧道内的通风设备和列车的行驶产生的气流变化也会影响烟气层的分布,使烟气层的形态更加复杂多变。

3.3 对人员和设备的危害

3.3.1 对人员的危害

铁路隧道火灾产生的高温、有毒烟气和缺氧环境严重威胁人员生命。高温会致人员烧伤、中暑甚至死亡,引发多器官功能衰竭;有毒烟气如一氧化碳会致人中毒、昏迷甚至死亡,二氧化碳浓度过高会使人呼吸困难、窒息;缺氧环境影响人员呼吸和行动,疏散时易摔倒受伤。

3.3.2 对设备的危害

火灾高温会损坏隧道内电缆,致铁路信号、供电系统瘫痪。电缆绝缘层熔化、碳化,引发电气故障。高温还会使金属结构变形、强度降低,甚至致隧道坍塌,如钢支撑高温下失去承载能力,造成严重损失。

4 当前铁路隧道应急救援体系存在的问题

4.1 应急预案不完善

部分铁路隧道应急预案内容不细、可操作性差,未针对不同火灾制定具体方案,影响救援效率。且更新不及时,难适应新情况。

4.2 救援力量分散

铁路隧道应急救援涉及多部门,但协调配合不紧密,缺乏统一指挥调度,火灾时易各自为政,影响救援效果。

4.3 救援装备与技术不足

现有救援装备和技术与铁路隧道火灾特点不匹配,如消防设备受空间限制,通风排烟不足,缺乏先进监测预警技术。

4.4 培训演练不到位

部分应急救援人员培训演练缺乏系统性与实战性,不熟悉火灾特性和救援流程,导致救援延误。

5 铁路隧道应急救援体系构建策略

5.1 完善应急预案

5.1.1 制定详细的应急预案

根据铁路隧道的实际情况,制定详细、具体的应急预案。预案应包括火灾预警、应急响应、人员疏散、火灾扑救、医疗救护等各个环节的具体措施和流程,并明确各部门和单位的职责和分工。针对不同类型的火灾,如列车火灾、电缆火灾等,制定相应的专项应急预案,提高预案的针对性和可操作性。例如,对于列车火灾,应详细规定列车停靠位置、乘客疏散路线、消防车辆进入隧道的路线和扑救方法等;对于电缆火灾,应明确电缆的切断位置、灭火剂的选择和使用方法等。

5.1.2 定期更新应急预案

随着铁路隧道建设和运营的不断发展,隧道内的设备、设施和人员情况可能会发生变化。因此,要定期对应急预案进行评估和更新,确保预案与实际情况相符。同时,要及时将新的技术、方法和理念纳入应急预案中,提高预案的科学性和先进性^[1]。例如,当隧道内引入新的通风设备或火灾监测系统时,应及时对应急预案中的相关内容进行修订和完善,确保预案能够指导新设备和新系统的使用。

5.2 整合救援力量

5.2.1 建立统一的指挥协调机制

成立铁路隧道应急救援指挥中心,负责统一指挥和协调各部门的救援行动。指挥中心应具备信息收集、分析、决策和指挥调度等功能,能够及时掌握火灾现场的情况,科学合理地调配救援力量和资源。同时,要建立健全各部门之间的沟通协调机制,加强信息共享和协同作战能力。例如,建立应急救援信息平台,实现各部门

之间的信息实时共享,提高指挥决策的效率和准确性。

5.2.2 加强部门间的合作与联动

铁路部门、消防部门、医疗部门等要加强合作与联动,建立常态化的合作机制。定期组织开展联合演练,提高各部门之间的协同配合能力和应急处置水平。在火灾发生时,各部门要按照指挥中心的统一部署,迅速、有序地开展救援工作,形成救援合力。例如,铁路部门负责提供隧道内的设备信息和列车运行情况,协助消防部门制定扑救方案;消防部门负责火灾扑救和人员搜救工作;医疗部门负责伤员的救治和转运工作。

5.3 提升救援装备技术水平

5.3.1 配备先进的消防装备

加大对消防装备的投入,配备适合铁路隧道火灾扑救的先进消防车辆和设备,如小型消防车、高压细水雾灭火系统等。小型消防车具有体积小、机动性强的特点,能够在狭长的隧道内灵活行驶和展开,快速到达火灾现场进行扑救。高压细水雾灭火系统具有灭火效率高、用水量少、水渍损失小等优点,能够有效扑灭铁路隧道内的火灾,同时减少对隧道结构和设备的损坏。

5.3.2 完善通风排烟设备

优化隧道内的通风排烟系统,提高通风排烟效率。在火灾发生时,能够及时将烟气排出隧道,为人员疏散和火灾扑救创造有利条件。同时,要配备移动式通风排烟设备,作为固定通风排烟系统的补充,增强应对火灾的能力。移动式通风排烟设备可以根据火灾现场的实际情况灵活布置,快速排出烟气,改善隧道内的环境。

5.3.3 引入先进的火灾监测和预警技术

利用物联网、大数据、人工智能等技术,建立铁路隧道火灾监测和预警系统。通过在隧道内安装各类传感器,实时监测温度、烟雾、气体浓度等参数,及时发现火灾隐患和早期火灾,并发出预警信息。同时,利用智能分析技术对监测数据进行处理和分析,为应急救援决策提供科学依据^[4]。例如,通过大数据分析可以预测火灾的发展趋势,为救援人员制定合理的扑救方案提供参考。

5.4 加强培训演练

5.4.1 开展系统培训

定期组织应急救援人员参加专业培训,提高他们的业务素质和应急处置能力。培训内容应包括火灾特性、应急预案、救援装备使用、人员疏散技巧等方面。同时,要邀请专家进行授课和指导,分享国内外先进的应急救援经验和技能。例如,邀请消防专家讲解铁路隧道火灾的扑救技巧和注意事项,邀请医疗专家培训急救知识和技能。

5.4.2 组织实战演练

定期组织开展铁路隧道火灾实战演练,检验应急预案的可行性和有效性,提高各部门和单位之间的协同配合能力和应急处置水平。演练应模拟真实的火灾场景,设置各种复杂情况和突发状况,让救援人员在实战中积累经验,提高应对突发事件的能力。演练结束后,要及时进行总结评估,针对存在的问题提出改进措施,不断完善应急救援体系^[4]。

5.5 强化后勤保障与心理干预

5.5.1 完善后勤保障体系

建立完善的后勤保障体系,确保在火灾救援过程中救援人员和受灾群众的基本生活需求得到满足。储备充足的食物、饮用水、医疗物资等,保证在救援期间能够及时供应。同时,要保障救援车辆的通行和物资的运输,确保后勤保障工作顺利进行。例如,在隧道附近设置后勤保障基地,配备必要的生活设施和物资储备仓库,为救援工作提供有力的支持。

5.5.2 加强心理干预

火灾事故往往会给受灾群众和救援人员带来巨大的心理压力和创伤。因此,要加强心理干预工作,为受灾群众和救援人员提供心理支持和辅导。组织专业的心理咨询师团队,在火灾发生后及时介入,开展心理评估和干预工作。通过心理咨询、心理疏导等方式,帮助他们缓解心理压力,恢复心理健康。例如,为受灾群众提供心理咨询服务,帮助他们重建生活信心;为救援人员开展心理减压培训,提高他们的心理承受能力。

结语

铁路隧道火灾燃烧快、温度高、危害大,给应急救援带来极大挑战。当前应急救援体系存在预案不完善、力量分散、装备技术不足、演练不到位等问题。为有效应对,需构建科学合理的应急救援体系,通过完善预案、整合力量、提升装备技术、加强演练等提高救援能力,减少损失,并持续改进以适应发展需要。

参考文献

- [1]孙建春,张敏,向龙,等.单洞双线铁路隧道紧急救援站火灾烟气特性研究[J].防灾减灾工程学报,2024,44(06):1398-1407.
- [2]刘屈瑶.高海拔铁路隧道火灾燃烧特性及救援关键技术研究[D].兰州交通大学,2023.
- [3]姬昌荣,张建超,万鹏.铁路隧道及隧道群火灾防治研究[J].高速铁路技术,2023,14(01):20-25+31.
- [4]崔鹏.高海拔临界高度长大纵坡铁路隧道火灾安全距离数值模拟研究[J].交通节能与环保,2021,17(06):124-131+146.