

高速铁路隧道防灾救援技术研究及市场分析

方 伟

四川旷谷信息工程有限公司, 四川 成都 610000

[摘要]近 10 年建设的高速发展, 中国的基础设施建设目前基本完成, 形成了“四通八达”的高铁网, 使我国成功迈入高铁成网运行国家的先列。但在高铁发展的同时, 对其隧道中潜在的危险因素应该尽早预防, 及时检查。列举并分析了国内外曾发生过的一些重大列车事故, 对其发生原因进行了统计汇总, 又对智慧铁路隧道防灾救援系统解决方案和隧道防灾救援的体系进行了归纳总结, 最后对与高速铁路隧道相关的市场进行了分析, 希望能为从事铁路隧道技术研究、设计、建设的科研工作者提供一些参考和帮助。

[关键词]高速铁路隧道; 安全隐患; 列车事故; 隧道防灾救援

DOI: 10.33142/ec.v4i9.4469

中图分类号: U445

文献标识码: A

Research on and Market Analysis of Disaster Prevention and Rescue Technology of High Speed Railway Tunnel

FANG Wei

Sichuan Crungoo Information Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: With the rapid development of construction in recent 10 years, Chinese infrastructure construction has been basically completed, forming a "high-speed rail network extending in all directions", making China a leader in the operation of high-speed rail network. However, with the development of high-speed railway, the potential risk factors in its tunnel should be prevented as soon as possible and checked in time. This paper lists and analyzes some major train accidents that have occurred at home and abroad, summarizes the causes, summarizes the solutions of smart railway tunnel disaster prevention and rescue system and tunnel disaster prevention and rescue system, and finally analyzes the market related to high-speed railway tunnel, hoping to provide reference for railway tunnel technology research, design construction of scientific research workers to provide some reference and help.

Keywords: high speed railway tunnel; hidden danger; train accident; tunnel disaster prevention and rescue

引言

近 10 年我国高速铁路建设迅猛发展, 隧道数量及隧道长度不断增加, 但铁路在开通运行以来, 便发生了许多灾害。亟需采取对应方法和准确有效的安全措施, 降低隧道内灾害事故发生的概率、减少事故发生后造成的危害。因此, 了解灾害事故的具体细节, 分析灾害发生的各个原因, 才能有效的对其防范。

高速铁路隧道发生交通事故一般原因都是发生列车灾害, 阅读文献^[1]知, 脱轨翻车、隧道内列车火灾是隧道主要的列车灾害。

造成脱轨翻车的原因是列车在隧道内行驶时偏离原定轨道发生翻车, 一旦列车脱轨与隧道或地面设施发生剧烈碰撞, 将会造成巨大的损失。

隧道内列车火灾的主要特点是: 火灾发生时, 大量的有害烟气积聚, 导致驱散排出烟雾受阻, 逃生、救援工作开展困难, 造成的人员伤亡, 经济损失惨重。

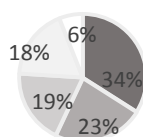
根据近几十年以来类似铁路事故发生原因, 以及搜索其他资料, 结果显示, 列车灾害的形成不是列车脱轨, 而是列车发生火灾。

针对造成火灾事故发生主要原因进行分析, 将对高速铁路隧道内的防灾救援工作的开展产生较大的帮助。表 1 列举了国内外的火灾事故造成原因以及伤亡情况。

表 1 列举国外发生的 9 例铁路隧道列车火灾, 有 3 例货车火灾, 6 例客车火灾, 超过一半; 国内发生的 7 例铁路隧道列车火灾里, 有 6 例货车火灾, 超过九成, 1 例客车火灾。关于引发火灾的各种原因, 图 1 总结归纳了 5 种造成火灾的原因并标明占比。

表 1 国内外火灾灾害事故

| 序号 | 隧道名称 | 列车类型 | 火灾原因 | | 时间 | 中断行车时间 | 伤(亡)人数 |
|----|--------------|------------|-------------|---------------------|--------------|-----------|---------|
| | | | 人为原因 | 物的原因 | | | |
| 1 | 丰沙线 46 号隧道 | 0211 次货物列车 | 隧底清筛作业违章等 | 线路水平超限;脱轨后摩擦起火等 | 1976. 3. 23 | 54h34min | 无 |
| 2 | 宝成线 140 号隧道 | 1111 次货物列车 | 超速制动过猛 | 油管破裂起火燃爆 | 1976. 10. 18 | 382h15min | 23(75) |
| 3 | 陇海线十里山 2 号隧道 | 1818 次货物列车 | 人孔盖未盖紧 | 线路/鱼尾板与钢轨断裂;脱轨后撞击起火 | 1987. 8. 23 | 201h56min | (2) |
| 4 | 襄渝线梨子园隧道 | 0201 次货物列车 | 人孔盖大部分未盖紧 | 有油气团;接触网悬挂点绝缘子表面放电 | 1990. 7. 3 | 550h54min | 14(4) |
| 5 | 京广复线大瑶山隧道 | 247 次旅客列车 | 17 号车旅客吸烟起火 | | 1990. 7. 18 | 不详 | 20(12) |
| 6 | 青藏线 18 号隧道 | 084 次货物列车 | 人孔盖未盖紧 | 线路变形;原油洒出;脱轨后撞击起火 | 1992. 9. 15 | 82h19min | 无 |
| 7 | 西延线蔺家川隧道 | 3161 次货物列车 | 原油未做稳定处理 | 油气外溢;减速制动摩擦产生火灾 | 1993. 6. 12 | 579h17min | 10(8) |
| 8 | 日本生驹山隧道 | 1452 次旅客列车 | | 主变阻器过热起火 | 1947. 4. 16 | 不详 | 73(28) |
| 9 | 日本 18 号隧道 | 旅客列车 | | 断路器故障,主变阻器过热失火 | 1956. 3 | 不详 | 42(1) |
| 10 | 日本奥白瀑布石北隧道 | 旅客列车 | | 电动机起火 | 1961. 1 | 不详 | 不详 |
| 11 | 日本北陆隧道 | 501 次旅客列车 | | 电气设备漏电 | 1972. 11. 6 | 21h31min | 715(30) |
| 12 | 日本生驹山隧道 | 旅客列车 | | 高压线断裂 | 1987. 9. 21 | 不详 | 48(1) |
| 13 | 英国萨米特隧道 | 6M08 次货物列车 | | 有油气团;撞击起火 | 1984. 12. 20 | 不详 | |
| 14 | 美国赫德森河河底隧道 | 通勤车 | | 主变阻器电流过大失火 | 1969. 5 | 不详 | 8(1) |
| 15 | 美国康贾斯隧道 | 货物列车 | | 脱轨后撞击起火 | 1974. 6. 6 | 不详 | 不详 |
| 16 | 美国旧金山海湾海底隧道 | 117 次旅客列车 | | 电器短路产生强电弧 | 1979. 1. 17 | 7h24min | 17(1) |



■ 列车内电气设备 ■ 隧道内电网线路 ■ 线路质量
□ 人为因素 □ 不明原因

图 1 造成火灾的原因占比

1 高速铁路隧道防灾救援体系

1.1 火灾防范系统

根据上述国内外铁路隧道列车火灾灾害造成原因和图 1 的数据得知,造成火灾最重要的原因是列车电气设备方面故障,造成火灾原因占比高达 34%。

列车本身起火和隧道内设备接触时引火是造成高速铁路隧道火灾灾害的主要原因。因此，从造成火灾灾害的主要原因提出对应措施，也就是加强列车防火和隧道内设备防火两点入手，才能有效的减少灾害发生的可能性。从文献^[2-3]总结出，防灾的重点举措有以下几点：

(1) 列车车辆本身防火：从火灾的源头着手，在制造动车车辆的材料上，结构部件上尽可能选择金属材料，非金属材料则根据材料的应用部位及其应用功能，严格按照防火标准执行。从火灾的传播过程着手，切断火势的蔓延。最直接的办法设置隔离墙，根据调查研究，在列车车顶和顶板之间的整个断面上设置至少可燃 15 分钟的隔离墙能有效地制止火灾蔓延到乘客区以及司机室。或者在列车上增配灭火器，以便火灾发生时能及时减缓或掐断火灾的发生。

(2) 隧道内设备防火：隧道内设备防火措施可以在隧道建设施工过程中加一混凝土保护层，但是不属于隧道断面；进一步提高混凝土的防火性能，可以在混凝土施工过程中加入耐火材料，例如：聚丙烯纤维。

1.2 监控和报警系统

当火灾发生时，能第一时间监控到火情并控制灾情的蔓延，将伤害和损失降低到最小，这就需要有监控和报警系统。监控系统有以下几类：火灾报警控制器、通风排烟监控、供水系统监控、定点监控和防火分区。

(1) 火灾报警控制器：火灾报警器控制器是用来接收火灾信号并启动火灾报警装置。根据发生火灾等级发出相应警报，报警时会同时发出光信号和声信号。对于火灾报警控制器也有一定的要求，最基本的巡检和故障报警功能应得到满足。由于工作量大，在如今的铁路设计中很少采用。

(2) 通风排烟监控：火灾发生时，风机的运营模式受到监控风机的开关影响。当运营通风风速不低于 2.4m/s，且选用耐温性较高可反转的风机，可以达到火灾排烟通风的目的。在火灾不发生时，排烟通风监控系统将探测器反馈的信息进行判断自动调整监控风机的开关，同时还对相关设备进行实时监控。

(3) 供水系统监控：主要用来监控消防水泵的工作状况。

(4) 定点监控和防火分区：在对应空间设置定点监控和防火分区的目的在于得到反馈信息后做出相应的防火措施。

1.3 消防和灭火系统

消防灭火系统主要是针对列车在隧道内脱轨引起的火灾做出应对措施。

隧道内消火栓灭火需要与列车灭火设备和隧道内灭火设备共同作用。

列车灭火设备是在每节车厢和厢内配置对应的灭火器，每节车厢之间连接通道区域各设置 2 个 2kg 的便携式灭火器，在司机室增加灭火器数量。

隧道内的灭火设备主要是针对列车在隧道内发生小型火灾时的应对措施，通常是由消火栓和干粉或泡沫灭火器构成。对于列车在隧道内发生的大型火灾，需要在隧道的两端处修建消防水源井，为消防过程供水。

1.4 通信系统

通信系统也是高速铁路隧道灾害控制的重要一环，在列车和铁路隧道内设置有线应急电话，利用无线通信手段使司乘人员与控制中心联系等，都能保证火灾发生时指挥人员和救援人员时时保持通讯，了解火灾现场具体情况。

1.5 供电系统

供电系统是保证灾害发生后救援工作展开的关键，当供电系统在火灾时受到损坏后停止工作，控制中心首先需要远程遥控应急柴油发动机及时投入消防救援工作，其次在断电至通电的这段时间指挥消防救援工作。

2 高速铁路隧道防灾救援土建设施

王明年^[4]曾提到随着高铁的迅速发展，对列车的运营安全要求应进一步提高，他在文中给出了以下几种不同结构形式的疏散救援土建设施。

2.1 紧急救援站

2.1.1 隧道口紧急救援站

由于高速铁路隧道空间狭隘，当列车在隧道内发生火灾时，救援工作最好展开的地方在隧道两端，也就是要尽可能控制列车行驶至隧道外。但当隧道位于山区时，洞口间距很小，无法实现安全疏散以及救援的条件，因此当事故列车停在隧道群之间的露天位置时，火灾将从起火位置向相邻的车厢蔓延，当车内人员在安全疏散后，火灾蔓延长度不超过 80 m；另一方面因起火产生的烟气也会沿铁路线进行扩散。

试验表明，当起火点距离洞口超过 55 m，烟气基本不会进入隧道，即对处于隧道中的剩余列车将没有影响；《铁路隧道防灾救援疏散工程设计规范修编报告》显示，计算出 60m 为列车一般的制动距离。这就限制了铁路隧道的三种类型：单体铁路隧道、毗邻铁路隧道和连续铁路隧道。

隧道口紧急救援站一般在隧道两端设点，有三种类型：洞口疏散型、洞口辅助通道型、洞口横通道加密型，由于在短时间内人群仍是在较为封闭的通道内进行疏散撤离，应考虑通风问题，以保障处于通道中的人群不至于因窒息而产生意外伤亡。连续铁路隧道可选择洞口疏散型救援站，由于该类型隧道群的洞口处设置有疏散通道，可以在短时间内让人群撤离火灾现场，因此可以不考虑通风问题。

2.1.2 隧道内紧急救援站

高速铁路隧道内紧急救援站是在事故发生后作为救援工作开展和人员转移的地方，有三种类型：单侧平导型、两侧平导型和加密横通道型。

以一辆列车的总长度并附加一部分余量作为参考来设计紧急救援站的站台长度，而站台宽度则应基于列车所载人员数量与人群个体所占空间来确定。而人群疏散时的拥挤问题也是造成人员伤亡的重要因素之一，考虑到这个安全隐患，救援站的建设应该满足以下条件：站台高度与列车轨道所在的平面之间差值不得低于 0.3m；救援站内横通道的间距不得高于 60m；横通道的宽不宜低于 4.5m，高不宜低于 4.0m；整个通道内的坡度宜小于 12%；横通道防护门的宽至少为 1.7m，高至少为 2.0m。

2.2 紧急出口和避难所

紧急出口是高速铁路隧道内发生火灾时把被困人员疏散到隧道外的通道，有斜井式、横洞式、平导式、竖井式，以上几种形式的紧急出口在文献^[5]中均有规定。

避难所是列车发生火灾时被困人员临时避难的地方，也设有将人员疏散到隧道外的通道。进行防灾救援工作时，考虑到人员体力有限，通常会在通道中预留避难空间，用于人员休息。

2.3 横通道和底部疏散廊道

横通道因连接两座并排的隧道或是隧道和平行的导坑，其间距不得超过 500 m，条件困难下也不得超过 1000 m，同样横通道的净空尺寸也会受限制。

2.4 疏散通道

保证疏散通道在隧道内疏散人员的安全性，行走面需高于轨道顶部，疏散通道的宽度大于 0.75m，高度大于 2.2m。

3 智慧铁路隧道防灾救援系统解决方案

智慧铁路隧道防灾救援系统是结合现代技术，例如：大数据、物联网、人工智能、深度学习、信息网络、工业自动控制等，实现、设置防灾救援设备的智慧监控和管理，发生紧急情况时能够及时、高效的开展救援工作减少人员伤亡和财产损失。

3.1 系统构成

系统按两级架构进行设计，中心级为智慧大脑建设于铁路局，现场级为智慧采集系统部署于各隧道现场。智慧大脑包括各类智慧组件，能够实现预测、分析、计划、救援等目标，智慧采集系统包括获取隧道现场各类基础数据，并与防灾救援设施进行有机连接，为智慧大脑提供数据并且执行控制命令。

3.2 系统功能

系统主要功能包括智能监控和高效救援，能够实现铁路长大隧道（群）内的通风、消防、照明等防灾救援设备的智能监控，并确保列车在隧道内发生火灾等紧急情况时能够迅速、高效的按照既定设备联动控制策略辅助现场救援工作。

智能监控：实时监控防灾救援设施状态，预测防灾救援设备工作效能，制定维修和维护计划，保障救援设施能够稳定长期服役。

高效救援：列车在隧道内发生事故时，快速启动应急预案，指挥通风、照明和消防等多种设备联动，最大限度的保护乘客生命财产的安全。

4 高速铁路隧道防灾救援的市场分析

随着中国社会的飞速发展，现有的铁路运输已经无法满足社会的需求，随之而来对铁路运输的安全要求也越来越高，2019 年国家发布的《交通强国建设纲要》^[6]中已明确指出 2035 年我国基本建成交通强国。2020 年国家发布的《高速铁路安全防护管理办法》^[7]也指明铁路运输企业应该将重心放在高速铁路桥梁、隧道、重要设备设施处所和路基重要区段等重点部位配备、安装防灾监控系统。

根据中国铁路总公司工程设计鉴定中心^[8]以及中国铁路经济规划研究院有限公司^[9]提供的相关数据总结出近几年^[10-12]中国铁路隧道的运营情况以及建设情况，如图 2 所示。

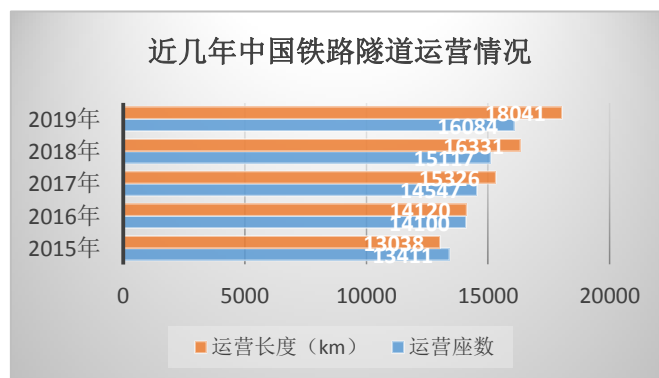


图 1 2015-2019 年中国铁路隧道运营情况

在 2015-2019 年内，中国铁路隧道的运营长度和运营座数呈现稳步增长，可见我国的铁路隧道规模在不断扩大。

同时，在 2015-2019 年中，2016 年的铁路隧道在建长度和在建座数均达到峰值，尽管在 2016 年之后在建数量呈下降趋势，但是总体数量依旧可观，说明在未来十年内我国的铁路隧道总长度仍将保持增长趋势，如图 3 所示。

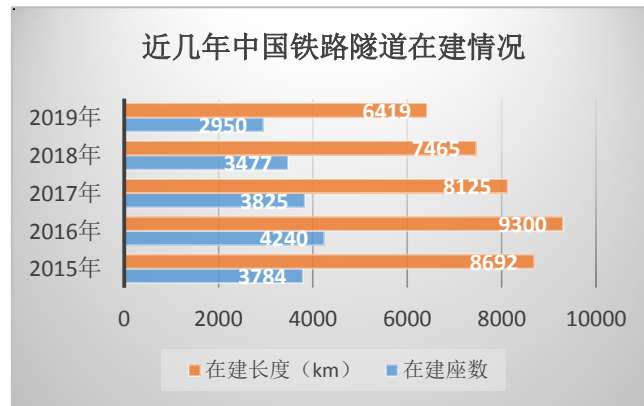


图3 2015-2019 年中国铁路在建情况

因此，无论是纵观当下，或是放眼未来，中国国内的铁路隧道建设发展前景较好，因此与其相关联的一系列产业链的发展态势也将保持良好的增长，包含在高速铁路隧道防灾救援体系内的相关设备、设施、系统设计等的市场容量和潜力也是相当庞大的。

5 结束语

不管是当下抑或将来，我国的高速铁路隧道的发展都是位居世界前列的，但是有发展必定会有矛盾和问题，本文针对高速铁路隧道的防灾救援、土建设施以及与铁路隧道建设的市场前景做出了简要的综合分析，根据结果可以预知未来国内高速铁路隧道防灾救援的需求量庞大，希望对从事铁路隧道相关专业的人员提供一些帮助和参考。

[参考文献]

- [1] 赵勇. 高速铁路隧道[M]. 中国铁道: 铁道部工程设计鉴定中心, 2006.
 - [2] 陈娟. 高速铁路隧道防灾救援体系的研究[J]. 黑龙江交通科技, 2014, 37(7): 129-131.
 - [3] 中国国家铁路集团有限公司. 中国交通 70 年大幅跃升 高速铁路里程世界第一[J]. 铁路采购与物流, 2019, 14(8): 19.
 - [4] 王明年, 于丽, 李琦, 等. 高速铁路隧道防灾疏散救援技术研究综述[J]. 隧道与地下工程灾害防治, 2019, 1(2): 13-23.
 - [5] 国家铁路局. 铁路隧道防灾救援疏散工程设计规范[Z]. 2017-05-01.
 - [6] 中共中央国务院. 交通强国建设纲要[Z]. 2019.
 - [7] 中华人民共和国交通运输部. 高速铁路安全防护管理办法[Z]. 2020
 - [8] 中国铁路总公司工程设计鉴定中心. 全国铁路隧道情况汇总[J]. 隧道建设, 2016, 36(5): 626.
 - [9] 赵勇, 田四明. 中国铁路隧道数据统计[J]. 隧道建设, 2017, 37(5): 641-642.
 - [10] 赵勇, 田四明. 截至 2017 年底中国铁路隧道情况统计[J]. 隧道建设, 2018, 38(3): 506-508.
 - [11] 赵勇, 田四明. 截至 2018 年底中国铁路隧道情况统计[J]. 隧道建设, 2019, 39(2): 324-335.
 - [12] 田四明, 巩江峰. 截至 2019 年底中国铁路隧道情况统计[J]. 隧道建设, 2020, 40(2): 292-297.
- 作者简介: 方纬, (1966-), 男, 汉族, 大学专科学历, 工程师, 研究方向为信息工程建设。