

公路隧道消防

GONGLU SUIDAO
XIAOFANG

张泽江◎主编

西南交通大学出版社

公路隧道消防

张泽江 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容提要

自改革开放以来,公路作为国民经济发展的基础设施在我国得到了迅速的发展,其里程逐年增加、等级逐步提高。随着我国公路建设的发展,公路隧道建设规模及其技术需求越来越大,公路隧道消防工程也越来越受到人们的关注。本书以公路隧道火灾特点以及公路隧道消防安全为切入点,借鉴了国内外关于隧道消防的先进理念,不仅探讨了山岭隧道、城市隧道和地下隧道的消防保护理论基础,而且还进一步剖析了隧道的消防保护及具体措施。同时,通过对隧道消防保护技术的实例分析,试图构建一个较为系统全面的隧道消防安全评估、防火保护体系,其内容涵盖了国内外公路隧道的安全现状、隧道火灾事故分析、公路隧道火灾场景研究、公路隧道安全等级及设施的确定、隧道内部结构防火、隧道防烟排烟、人员疏散逃生、隧道消防灭火、电气消防、安全性评价、雅西高速公路泥巴山隧道实体火灾试验、火灾后隧道内砌的鉴定与修复、消防安全管理等,对促进完善隧道消防保护理论水平的发展以及将研究成果应用于实践中的隧道安全设计具有一定的积极意义。

本书可作为高等学校安全工程与消防工程专业研究生、高年级本科生的教材,也可作为公路管理、公路运营、消防、火灾风险评估、消防安全检查与管理、火灾安全咨询、火灾保险、建筑防火、建(构)筑消防、建筑规划、消防控制操作等相关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

公路隧道消防 / 张泽江主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2014.8

ISBN 978-7-5643-3243-3

I. ①公… II. ①张… III. ①公路隧道—消防 IV. ①TU998.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第169078号

公路隧道消防

张泽江 主编

*

责任编辑 万方

特邀编辑 张宝珠 徐前卫

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路146号 邮政编码: 610031

发行部电话: 028-87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

四川川印印刷有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 18.75

字数: 472千字

2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-3243-3

定价: 48.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

《公路隧道消防》

编委会

(按姓氏拼音排序)

甘廷霞 (公安部四川消防研究所)

兰 彬 (公安部四川消防研究所)

毛朝君 (公安部四川消防研究所)

梅秀娟 (公安部四川消防研究所)

荣建忠 (公安部四川消防研究所)

田 聪 (贵州省公安消防总队)

王文清 (公安部沈阳消防研究所)

王新钢 (公安部四川消防研究所)

谢乐涛 (公安部四川消防研究所)

张文华 (公安部四川消防研究所)

张泽江 (公安部四川消防研究所)

前 言

随着社会发展对交通状况需求的不断提高和工程建设技术的不断进步，公路隧道作为公路路线的基本组成部分，正与公路建设同步发展。由于隧道在特定条件下具有其他路线方案难以替代的作用，所以在高等级公路建设中得到了广泛应用，而且各种公路交通隧道得到了迅速的发展。公路隧道在交通运输中承担着重要的枢纽作用，是众多可燃物的经过场所，而同时客流量大，人员、车辆集中，一旦发生火灾，极易造成群死群伤、财产损失严重，以及延烧时间长、交通长期中断的严重后果。随着国家和地方高速公路网规划的逐步实施以及高速公路不断向山区延伸，在高速公路建设快速推进的过程中，公路隧道及隧道群已成为重庆、福建、贵州、云南、浙江、陕西、山西、广东、广西、江西等拥有较多隧道的省（直辖市、自治区）需要进行重点攻关的工程建设项目。本书以隧道的火灾形势与火灾特点为切入点，借鉴了国内外关于隧道消防的先进理念，不仅探讨了隧道的消防特点，而且进一步剖析了隧道的消防保护措施，同时通过对隧道消防技术保护的实例分析，试图构建一个较为系统全面的隧道消防技术保护体系。

本书的作者来自于科研院所、高校、消防管理部门等。本书编写的具体分工为：第一章、第三章、第五章、第十一章由张泽江主笔编写；第二章由兰彬、张文华、张泽江主笔编写；第四章由张泽江、毛朝君、兰彬主笔编写；第六章由梅秀娟主笔编写；第七章由张文华、梅秀娟、兰彬、田聪主笔编写；第八章由兰彬、王文清主笔编写；第九章由甘廷霞主笔编写；第十章由梅秀娟、张泽江、兰彬、毛朝君、张文华、甘廷霞、谢乐涛、荣建忠、王新钢主笔编写；第十二章由王新钢主笔编写。

本书为“公安部重点研究计划项目”（项目编号：201302 ZDYJ015）资助。在本书编写过程中，国家《公路隧道消防技术规范》编写组的专家给予了许多无私的帮助与关心，在此对他们表示衷心感谢！

由于我们的学识有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编 者
2014年3月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 发展现况	2
1.2 技术发展	4
1.3 增长特点	4
1.4 国内外隧道火灾	6
1.5 诱发火灾事故的原因统计	8
1.6 火灾事故特点	9
1.7 国内重大公路隧道火灾事故及其教训	10
第 2 章 公路隧道火灾场景	16
2.1 火灾发生过程	16
2.2 升温过程	16
2.3 火灾场景设计	17
2.4 火灾场景设计实例	18
2.5 国外公路隧道火灾热释放规律研究	19
2.6 我国公路隧道火灾热释放规律研究	22
2.7 公路隧道火灾热释放率计算模型	25
第 3 章 公路隧道安全等级及设施	27
3.1 公路隧道及隧道群的确定	27
3.2 公路隧道安全等级的定义	27
3.3 国外公路隧道安全等级及设施设置	28
3.4 我国公路隧道安全等级及设置	33
3.5 公路隧道安全等级发展	41
第 4 章 隧道内部结构防火	42
4.1 经过高温后的混凝土特征	42
4.2 “火-力-水”耦合作用下结构的破坏	49
4.3 高温对排烟道结构性能的影响	54
4.4 灰浆层对钢筋混凝土的保护	57
4.5 国内外关于隧道内砌防火的相关要求	59
第 5 章 隧道防烟排烟	65
5.1 概 述	65
5.2 隧道内防烟排烟特点	66
5.3 隧道防烟排烟的方式	72
5.4 纵向排烟	76

5.5	横向式通风排烟	81
5.6	集中式排烟系统设计	82
5.7	组合式排烟系统设计	83
第 6 章	人员疏散逃生	86
6.1	人的心理因素	86
6.2	安全疏散通道与避难设施	89
6.3	防火分隔	93
6.4	隧道纵向疏散方式	94
6.5	隧道逃生模拟	95
6.6	隧道内疏散逃生口设置方案	99
第 7 章	隧道消防灭火	102
7.1	国外的研究及情况	103
7.2	国内的研究及应用情况	105
7.3	隧道常用的消防灭火措施	106
7.4	消防灭火系统的设置	114
7.5	消防装备	119
7.6	水下隧道消防系统设计应考虑的主要因素	120
第 8 章	电气消防	122
8.1	火灾探测器及报警器	122
8.2	隧道照明	124
8.3	消防电话与消防应急广播	126
8.4	关于隧道监控管理系统问题	128
8.5	关于隧道内所用电缆的要求	129
第 9 章	安全性评价	132
9.1	火灾研究方法	132
9.2	计算流体力学理论简介	139
9.3	CFD 软件介绍	140
9.4	超长隧道	141
9.5	曲线隧道	159
9.6	环形隧道	207
第 10 章	隧道实体火灾试验	232
10.1	雅西高速公路隧道基本情况	232
10.2	大相岭隧道总体设置情况	235
10.3	大相岭隧道消防设施设置情况	236
10.4	大相岭隧道管理工作措施	238
10.5	试验准备	239
10.6	隧道内冷烟流动常规测试	240

10.7	隧道内热烟测试	242
10.8	移动通风排烟系统效能测试	246
10.9	涡喷车排烟性能测试	248
10.10	涡喷车在发烟点下游排烟性能测试	250
第 11 章	火灾后隧道内砌鉴定与修复	252
11.1	火灾后建筑结构的鉴定	252
11.2	火灾后建筑结构的加固	252
11.3	修复烧损构件的传热性能	254
11.4	火灾混凝土修复红外热像特征	255
第 12 章	消防安全管理	269
12.1	隧道消防工程管理	269
12.2	隧道日常消防安全运营管理	277
12.3	火灾应急处置程序及灭火疏散预案	280
12.4	应急救援	282
12.5	发展趋势	289

第1章

绪论

公元前 2180 至公元前 2160 年,在幼发拉底河下修建的一条约 900 m 长的砖衬砌人行通道,是迄今为止已知的最早用于交通的隧道,是在旱季将河流改道后用明挖法建成的。公元前 36 年,在那不勒斯和普佐里之间开凿的婆西里勃道路隧道,其长约 1 500 km,宽 8 m,高 9 m,是在凝灰岩中凿成的一条长隧道。中国最早用于交通的隧道是古褒斜道上的石门隧道,建成于东汉永平九年(公元 66 年)。为了省去衬砌,古代隧道多建于较坚硬的岩石中。隧道在施工时先将岩壁烧热,随即浇以冷水,使岩石膨胀后突然收缩而开裂,以利于开凿。在中世纪,隧道主要是用于开矿和军事。17 世纪和 18 世纪,随着运输事业的发展 and 技术的进步,尤其是工程炸药的应用,使得修建通航隧道和道路隧道的工程也发展起来了。到了 19 世纪,由于铁路建设的发展,促使隧道工程迅速发展,修建的隧道数量也很多。20 世纪以来,汽车运输量不断增加,公路路线标准相应提高,公路隧道也随之逐渐增多。

据交通部统计,在 20 世纪 50 年代,我国仅有 30 多座公路隧道,总长度约 2.5 km;60~70 年代,我国干线公路上曾修建了百米以上的公路隧道,如 1964 年修建的北京至山西原平公路上,就修建了两座 200 m 以上的隧道,这在当时已是非常大的工程了;截至 1979 年,我国公路隧道通车里程仅为 52 km,数量为 374 座;到了 1993 年才发展到 682 座,总长度约 136 km,隧道平均长度为 199 m,均是二级以下的短隧道;进入 21 世纪后,我国公路交通网逐渐穿越崇山峻岭,并向离岸深水延伸,截至 2010 年底,全国公路隧道数为 7 384 处、总长度为 5 122.6 km,其中特长隧道 265 处、总长度为 1 138.0 km,长隧道 1 218 处、总长度为 2 020.8 km,如秦岭终南山隧道、上海崇明隧道、厦门翔安海底隧道等重大工程相继建成,目前我国已是世界上公路隧道最多的国家。

随着国家及地方高速公路网规划的逐步实施以及高速公路不断向山区延伸,在高速公路建设快速推进的过程中,长大公路隧道及隧道群已成为重庆、福建、贵州、云南、浙江、陕西、山西、广东、广西、江西等隧道大省(直辖市、自治区)需要进行重点攻关的工程建设项目。例如,重庆在建高速公路的桥隧长度占路线总长的平均比例达 50%以上,个别路段高达 90%,桥隧总数为 1 000 多座,其中单洞长度超过 3 km 的长隧道有 33 座,长度超过 5 km 的特长隧道有 13 座,特大桥、特长隧道及隧道群之多,居全国之冠;陕西西(安)汉(中)高速公路突破了我国的南北分界线——秦岭,是同时期全国高速公路建设一次性投资最大、里程最长、难度最大的工程,全线三分之二的路段都是隧道和桥梁,136 座隧道也构成了世界规模最大的公路隧道群。

1.1 发展现状

进入 21 世纪,我国在公路隧道建设领域取得了举世瞩目的重大成就,以秦岭终南山隧道为代表的一大批长、大的公路隧道的建成通车,标志着我国公路隧道的设计、施工、监理、养护和运营水平达到了一个新的高度。2002 年 11 月 6 日,原交通部副部长胡希捷在北京召开的“国际隧道研讨会暨公路建设交流大会”开幕式上宣布,中国已成为世界上隧道和地下工程最多、最复杂、发展最快的国家;原交通部总工程师凤懋润认为,随着高等级公路向西部延伸,21 世纪前 10 年中,我国将有总长 155 km 以上的公路隧道要投入建设^①。

我国是多山国家,75%左右的国土都是山地,且江河纵横,海域宽阔。近 10 年来,公路隧道平均每年新建 350 km (见图 1.1)^②,尤其是 28 座水下公路隧道已建成通车,使得隧道在交通基础设施的建设中起到越来越重要的作用。同时,在城市建设中,以节约土地和保护环境为宗旨,使得城市道路隧道也方兴未艾。总体上,公路隧道已由重丘走向深山、由陆域走向水下、由山区走向城市。然而,面对地震、火灾和暴雨等灾害日益频发,面对高地应力、活动断裂、高寒、高海拔和富水等复杂地质条件,面对保护环境和节约能源等日益增强的建设理念,面对我国跨江海、穿高原等重要战略通道建设的实际需要,公路隧道建设尚存在突出的技术瓶颈,亟待解决。

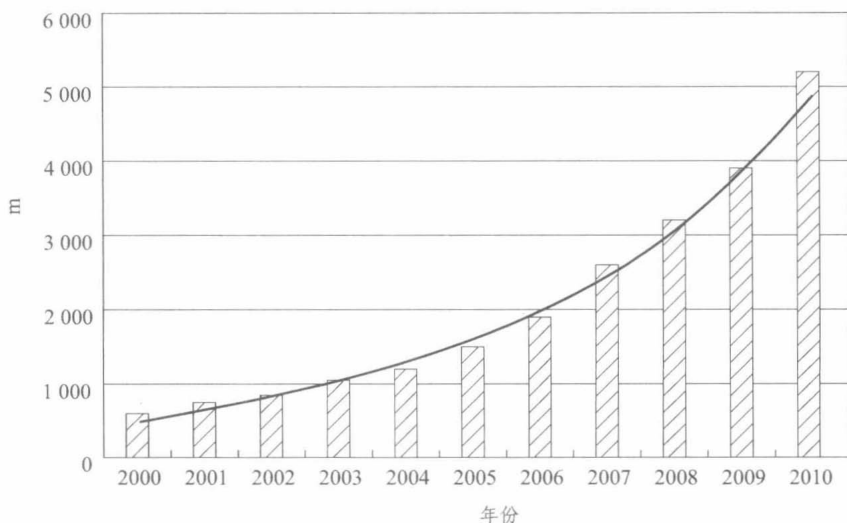


图 1.1 2000—2010 年我国公路隧道修建达到的公里数

随着我国国民经济的迅速发展,我国公路的建设规模在日益扩大,尤其是公路隧道的建设已进入一个快速发展的时期。据统计,截至 2010 年底,全国公路隧道数为 7 384 处、长度为 5 122.6 m,其中特长隧道数为 265 处、1 138.0 m,长隧道数为 1 218 处、2 020.8 m。其中,2007 年建成通车的秦岭终南山公路隧道全长 18.02 km,位居世界规模第一、长度第二,我国近年部分已建和在建的长、大公路隧道见表 1.1^③。

① 夏永旭. 现代公路隧道发展概述[J]. 交通建设与管理, 2006(12): 66-68.

② 曾磊, 王少飞, 卢辉. 高速公路长大隧道防火减灾与应急管理[J]. 地下空间与工程学报, 2012(S1): 1584-1590, 1625.

③ 周勇狄, 夏永旭, 王永东. 公路隧道火灾消防救援安全研究[J]. 中国公路学报, 2008(06): 83-89.

表 1.1 我国部分已建和在建的长、大公路隧道一览表

隧道名称	所在地区	长度/m	竣工时间/年	车道×车洞	通风方式
秦岭终南山隧道	陕西	18 020	2007	2×2	左右洞共用 3 座斜、竖井分段纵向通风
西山隧道	山西	13 700	在建	2×2	
雪山隧道	台湾	12 900	2005	2×2 +服务隧道	左右洞各 3 座竖井分段纵向通风
大坪里隧道	甘肃	12 288	在建	2×2	共设置 4 座竖井分段纵向通风
宝塔山隧道	山西	10 480	在建	2×2	斜、竖井送排式纵向通风
翔安海底隧道	厦门	9 000	在建	2×2	
龙潭隧道	湖北	8 700	在建	2×2	左右洞各 2 座斜、竖井送排式纵向通风
括苍山隧道	浙江	7 903	2008	2×2	左右洞各 1 座斜井送排式纵向通风、顶隔板排烟
苍岭隧道	浙江	7 605	2007	2×2	左右洞各 1 座斜井送排式纵向通风、顶隔板排烟
方斗山隧道	重庆	7 600	2008	2×2	左右洞各 1 座斜井送排式纵向通风
雪峰山隧道	湖南	6 950	2007	2×2	左洞 2 座斜、竖井、右洞单斜井送排式纵向通风
秦岭一号隧道	陕西	6 144	2007	2×2	上行单斜井送排式纵向通风、下行射流纵向通风
秦岭二号隧道	陕西	6 125	2007	2×2	上行单斜井送排式纵向通风、下行射流纵向通风
铁峰山二号隧道	重庆	6 025	2007	2×2	近期全射流+远期竖井分段送排式纵向通风
美菰林隧道	福建	5 580	2003	2×2	左右洞各 1 座斜井集中排风纵向通风
九岭山隧道	江西	5 474	在建	2×2	左右洞共用 1 座斜井分段纵向通风
雁门关隧道	山西	5 135	2003	2×2	左洞 2 座斜、竖井右洞单井送排式纵向通风
彩虹岭隧道	广东	5 068	2007	2×2	全射流纵向通风
泥巴山隧道	四川	10 007	2010	2×2	斜井+竖井分段纵向式
南京长江隧道	南京	3 825	2010	3×2	采用纵向通风、半横向排烟的复合通风方式
西商高速公路秦岭隧道	陕西	10 895	2012	3×2	用斜、竖井分段纵向通风

1.2 技术发展

与铁路、水利和矿山隧道相比,公路隧道在我国的起步最晚,但发展速度最快,真正意义上的现代公路隧道只有二十几年的发展历史。公路隧道之所以能够取得如此快速和巨大的成就,这与我国在铁路、水利和矿山隧道长期的技术发展积累是密不可分的。正是我国在 20 世纪后 50 年大量的铁路、水利和矿山隧道的建设经验,为后来修建高速公路隧道奠定了坚实的基础。

与铁路、水利和矿山隧道相比,公路隧道有其独特的特点:① 公路隧道是大跨扁平结构,其跨度远大于铁路和矿山隧道;② 公路隧道穿越的地质条件异常复杂,围岩稳定性差,这是同样跨度的水利隧道所不能比的;③ 公路隧道为满足线型、逃生等需要,采用的结构形式比铁路隧道复杂,如连拱、小净距、分岔、螺旋隧道等;④ 公路隧道为保证行车的舒适性、安全性,必须配备复杂的运营机电系统,含通风、照明、消防、监控、供配电、救援等系统,这是其他类型隧道所没有的。这些特点表明了公路隧道的技术难度更大,也促使公路隧道界必须在设计、施工、运营和养护方面开展大量的开拓创新研究工作,以解决自己特有的技术和管理问题。总之,公路隧道是在汲取铁路、水利和矿山隧道建造经验的基础上,通过不断开拓创新,高起点、高水平的发展而形成了独特的公路隧道技术体系。

当前,随着技术的不断发展和运营的需要,公路隧道的发展趋势是越修越长、越修越宽,且技术越来越难、越复杂。公路隧道的修建涉及结构、防排水、岩土、地质、地下水、空气动力学、光学、消防、交通工程、自动控制、环境保护、工程机构等十几个学科领域,是综合、复合型技术,需要多学科的联合研究、进行攻关^①。如雅西高速上的全长 10 km 的泥巴山隧道就穿越了 15 条断裂带,不仅是四川省内,也是西南地区最长的隧道;隧道上面最高覆土层达 1 650 m,因而还是世界第一深埋隧道;隧道内坡道多,呈螺旋形上升;隧道需配上四根直通山顶外的“呼吸管”——通风斜井(其中最长的一根足足 1 500 m),才能使这条特长的隧道保持通风顺畅(见图 1.2)。

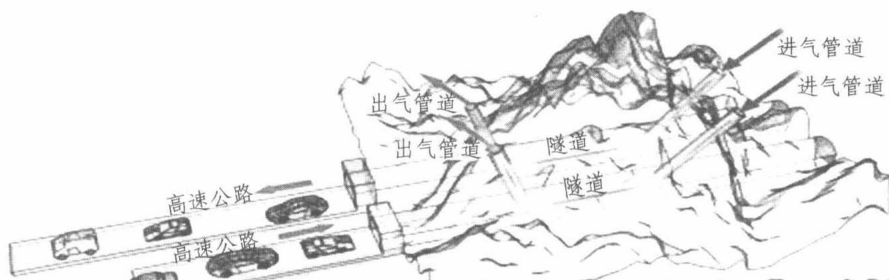


图 1.2 雅西高速公路泥巴山隧道

1.3 增长特点

根据国家“十一五”发展规划,还将有更多的特长公路隧道建成通车。例如,位于甘肃省宝天高速公路上的大坪里隧道全长 12.29 km;位于陕西省西康高速公路上的包家山隧道全长

^① 兰彬,等.公路隧道消防技术规范(送审稿).

11.5 km; 位于四川省雅西高速公路上的泥巴山隧道全长 10 km; 位于湖北省沪蓉西高速公路上的龙潭隧道全长 8.7 km; 位于陕西省安康至陕川界高速公路上的米溪梁隧道全长 7.92 km。

因此, 山岭公路隧道的建设日益增多^①。我国交通运输部发布的《公路水路交通行业发展统计公报》(见表 1.2) 中的统计数据未包含水下公路隧道和城市道路隧道以及我国香港、澳门和台湾地区的山岭公路隧道。图 1.3 反映出 2001—2009 年山岭公路隧道年均增长率高达 50.97%, 分别是“路”和“桥”的 3.61 倍和 2.94 倍, 表明公路隧道在山区公路建设中的重要地位日益凸显。

表 1.2 隧道与公路的增长关系

年份	高速公路		二级及其以上公路		隧道			
	总里程 /万 km	年增 长/万 km	总里程 /万 km	年增长 /万 km	总里程 /万 km	年增长/ 万 km	占高速公路增长 里程的百分比/%	占二级及以上公路增 长里程的百分比/%
2001	1.94		22.7		70.5			
2002	2.51	0.57	24.97	2.27	83.5	13	2.28	0.57
2003	2.97	0.46	27.16	2.19	100.1	16.6	3.61	0.76
2004	3.43	0.46	29.95	2.79	124.56	24.46	5.32	0.88
2005	4.10	0.67	32.58	2.63	152.7	28.14	4.20	1.07
2006	4.53	0.43	35.33	2.75	184.18	31.48	7.32	1.14
2007	5.39	0.86	38.04	2.71	255.55	71.37	8.30	2.63
2008	6.03	0.64	39.97	1.93	318.64	63.09	9.86	3.27
2009	6.51	0.48	42.52	2.55	394.20	75.56	15.74	2.96
2010	7.41	0.9	44.73	2.21	512.26	118.06	13.12	5.34

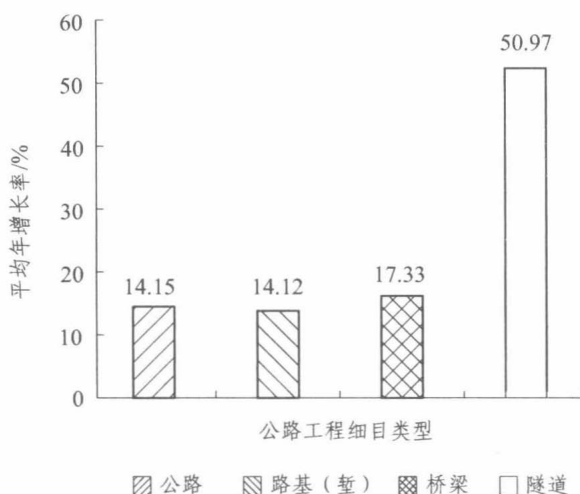


图 1.3 2001—2009 年公路工程增长情况

^① 王少飞, 李科. 高速公路隧道消防系统设计的若干问题探讨[R]//运营安全与节能环保的隧道及地下空间建设第 2 届学术研讨会交流报告. 2011.

社会发展对交通状况需求的不断提高和工程建设技术的不断进步,公路隧道作为公路路线的基本组成部分,与公路建设同步发展。由于隧道在特定条件下具有其他路线方案难以替代的作用,所以在高等级公路建设中得到了广泛应用,各种公路交通隧道得到了迅速的发展。公路隧道在交通运输中承担着重要的枢纽作用,是众多可燃物的经过场所,而同时由于客流量大、人员和车辆集中,一旦发生火灾,极易造成群死群伤、财产损失严重以及延烧时间长、交通长期中断的严重后果。随着国家及地方高速公路网规划的逐步实施以及高速公路不断向山区延伸,即在高速公路建设快速推进的过程中,公路隧道及隧道群已成为重庆、福建、贵州、云南、浙江、陕西、山西、广东、广西、江西等隧道大省(直辖市、自治区)需要进行重点攻关的工程建设项目。

1.4 国内外隧道火灾

公路隧道作为一种特殊的结构物,与一般开放路段截然不同,具有封闭性、情况不明性、联络与救援困难等特性,并且在通风与照明、交通事故救援、基础设施维护等方面均受到较大限制,消防安全隐患大,且事故后果严重、交通事故救援困难等特点。一旦发生交通事故,将影响整个路段的安全性和通行能力。国外隧道重特大火灾情况和国内近期火灾事故情况见表 1.3 和表 1.4。

表 1.3 国外 7 起隧道重、特大火灾情况表

时间	隧道名称	火灾发生地	火灾损失
1982	Salang Tunnel	阿富汗	700 人
1999.3.24	勃朗峰隧道	法国	41 人 毁车 43 辆 一年半以上
1999.5.29	托恩隧道	澳大利亚	13 人 毁车 34 辆 3 个月
2004.9.8	Baregg tunnel	瑞士	1 人
2005.6.4	Frejus tunnel	法国	2 人,燃油泄漏导致一辆运载轮胎的卡车在弗雷瑞斯隧道内起火,并波及附近的数辆汽车,造成两名卡车司机死亡,20 多人受伤
2001.10.24	圣哥达隧道	瑞士	11 人 约 100 辆 2 个月
2013.8.5	第二长公路隧道——居德旺恩隧道	挪威	事故发生在当地时间中午 12 h 左右,一辆在隧道内行驶的大卡车突然起火,随即引发一系列追尾和碰撞事故。消防人员在事发后迅速赶往出事地点灭火。目前卡车起火原因尚不明确。55 名受伤人员多为烟雾窒息受伤,均已被送往医院

表 1.4 国内近期典型隧道火灾事故统计

时间	隧道名称	火灾情况	火灾原因
2001.11	306 国道马道岭隧道	12 人死亡, 6 人烧伤, 1 辆大客车烧毁	发动机起火
2002.1	甬台温高速猫狸岭隧道	隧道设施严重损毁, 损失上百万, 约 200 m 隧道受损, 关闭 18 天, 1 辆大货车烧毁	发动机自燃
2003.7	甬台温高速燕居岭隧道	隧道设施受损, 1 辆大客车烧毁	发动机起火
2003.9	合巢芜高速试刀山隧道	隧道电缆、照明设施受损, 1 辆大货车烧毁	货物自燃
2004.1	甬台温高速猫狸岭隧道	隧道照明设施受损, 3 辆小汽车烧毁	追尾碰撞起火
2005.1	同三闽高速飞鸾岭隧道	8 人重伤, 1 辆大客车烧毁	刹车失灵车轮着火
2006.3	京珠高速温泉隧道	隧道照明设备和防火层严重损毁, 隧道关闭 10 天	轮胎爆裂起火
2006.5	西湟高速响河隧道	1 人死亡 4 人受伤, 隧道设施严重损坏, 直接经济损失近百万	追尾碰撞起火
2006.7	罗长高速洋门岭隧道	隧道电缆被烧, 1 辆大货车烧毁	发动机自燃
2007.5	重庆大学城隧道	6 人受伤, 隧道照明排风电线烧毁, 1 辆中巴车烧毁	自燃
2007.5	合巢芜高速试刀山隧道	1 辆中巴车烧毁	发动机起火
2007.8	杭新景高速东坞隧道	1 人受伤, 1 辆小汽车烧毁	发动机起火
2007.11	延塞高速三狼岔隧道	3 人受伤, 1 辆小汽车烧毁	追尾碰撞起火
2008.4	沪蓉西高速女娘山隧道	隧道通信光缆被烧, 2 辆车烧毁	碰撞起火
2008.5	京珠高速大宝山隧道	2 人死亡, 5 人受伤, 2 辆货车烧毁, 隧道严重损坏, 封闭维修 1 个月	追尾碰撞起火
2009.6.3	三峡翻坝高速公路季家坡隧道	4 名施工人员被困隧道	当日 10 h 许, 位于湖北宜昌的三峡翻坝高速公路季家坡隧道内施工现场突发火灾
2010.7.4	无锡市内环高架惠山隧道	在该隧道由南向北隧道中段, 无锡市雪丰钢铁公司一夜班接送车突然起火, 车上乘员共 45 人, 其中 24 人当场死亡, 19 人不同程度受伤	突然起火
2011.4.8	在甘肃省兰州七道梁隧道	2 辆油罐车由于追尾并引发爆炸发生严重变形, 火势处于猛烈燃烧阶段。一些架设在隧道顶部的设施已经变形并脱落在地上, 隧道内的照明设施也遭到损坏, 隧道两边和顶部墙壁大量混凝土被爆炸冲击成碎片散落在隧道内, 碎片带长约 500 m, 最厚部分接近 1 m	重型罐车追尾, 导致溶剂油燃烧、爆炸

续表 1.4

时间	隧道名称	火灾情况	火灾原因
2011.12.2	宝天高速公路隧道,宝天高速公路上行线麦积山特长隧道内六公里处	消防巡查车及时赶到将火势控制扑灭。没有影响到货物,使其损失减少到最小	前轮胎起火
2012.1.14	怀化往新晃方向内离隧道出口约 200 m	利用切割机、液压剪扩器和铁钎等破拆工具全力破拆救人,共抢救出 9 名被困人员	车辆追尾
2012.1.15	沪昆高速怀新段龙马田隧道(怀化往新晃方向)	发生火灾,整个隧道内被浓烟笼罩,隧道内有上百名群众被浓烟所困,其中贵 HA0782 的大型客车横向停在隧道中将隧道完全封堵,并因事故造成隧道内断电。救援过程中,消防官兵共营救出 5 名受伤群众(4 男、1 女),疏散群众 300 余人	追尾事故

1.5 诱发火灾事故的原因统计

诱发火灾事故的原因主要有发动机自燃、轮胎起火、线路故障、货物自燃及碰撞起火等。在所统计的 57 起火灾事故中,发动机自燃占 49%;因轮胎起火、碰撞起火引发的火灾分别占 14%和 16%;线路故障、货物自燃事故各占 9%(见图 1.4)。

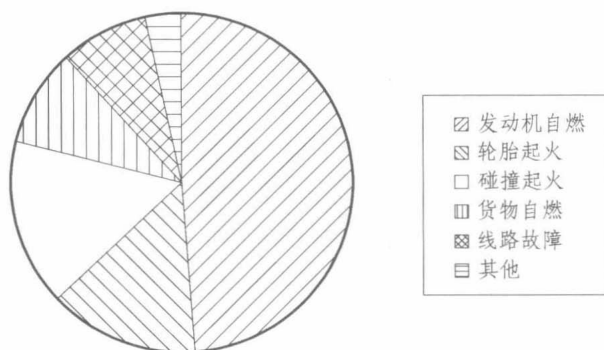


图 1.4 火灾事故起因统计

公路隧道属特殊路段和“瓶颈”路段,由于在隧道内行车受空间、视线、光线、驾驶员异常驾驶心理和行为等因素的影响,极易诱发各种交通事故,甚至引起火灾,直接危及公路隧道的交通安全。隧道是一种特殊的管状构造物,与洞外明亮宽敞的道路不同,当高速行驶的汽车穿过隧道时,驾驶人的视觉要发生微妙的变化。正常人由亮到暗,适应时间为 10 s;由暗到亮,适应时间为 3 s,驾驶员对进入隧道的“黑洞(长隧道)”、“黑框(短隧道)”、驶出隧道的“亮洞(白天)”、“黑洞(晚上)”等现象需要一个适应过程,在这个适应过程中,驾驶员很难辨认洞内路面目标或物体,因而容易产生视觉或心理障碍,这对行车安全极为不利。

如图 2.1 中所示,与车辆本身有关的因素高达 82%,可见车辆自身技术状况差是造成火灾事故的主要因素。大多数隧道火灾事故是由货车引起的。由于货车通常是载有货物的重型汽车,其自身的安全条件较差,再加上一些驾驶员安全意识淡薄,经常出现超载、疲劳驾驶等违章、违法现象,使得与货车相关的交通事故频发,给隧道安全带来极大的威胁。

需要特别注意的是危险货物运输车辆,尤其是载有易燃、易爆物品的车辆,一旦造成火灾事故,危害极大,对隧道内人员生命、财产安全和隧道结构造成极大的破坏。

1.6 火灾事故特点

隧道火灾可分为隧道附属用房火灾、隧道设备火灾和隧道内的汽车火灾 3 类,以 A 类火灾、B 类火灾和电气火灾为主,也不排除 C 类火灾出现的可能性。据国外 20 世纪 90 年代的统计资料显示,隧道火灾的发生频率为 10~17 次/(亿车·km)。隧道火灾有以下几种特点。

(1) 具有多样性和不确定性。由于隧道长度、断面、交通量、车型、车载可燃物等影响火灾发生、蔓延因素的不确定性,决定了隧道火灾及其发展蔓延规律和烟气流动规律具有多样性和不确定性。隧道越长、交通量越大,火灾发生的概率就越大。隧道火灾荷载主要取决于车载可燃物类型及其数量、车内装修和车载燃油量类型和数量等。

(2) 隧道呈狭长形,隧道越长越近似于封闭空间,因此火灾发生后隧道内烟雾大、能见度低、散热慢、温度较高,导致起火点附近未进行防火保护的隧道承重构件的混凝土容易发生崩落。受隧道净空限制,火焰向水平方向延伸,炽热气流可顺风传播很远,可燃的能量最多有 10%传给烟气,大部分传给衬砌和围岩,故烟气温度随距离的增加而迅速下降,但由于洞壁加热后的辐射热,温度可以保持很长一段时间。

(3) 隧道火灾会产生跳跃性蔓延。由于隧道内空气不足,火灾时可燃物主要是不完全燃烧,产生的 CO 等不完全燃烧产物随高温烟气流动,当有新鲜空气补充,并遇到新的可燃物时,即会引发新的燃烧。由于炽热气流可顺风传播很远,一旦遇到易燃物即很快燃烧,这样火源即有可能从一辆车跳跃到另一辆车,从而出现火灾从一辆车跳跃到另一辆车的“跳跃式”蔓延。

(4) 蔓延快,不易控制。因车辆故障、碰撞等引起火灾后,除本身携带一定数量的燃油外,还可能载运有易燃、可燃货物及危险货物等,导致火势蔓延快、难以控制。

(5) 通道易堵塞。隧道纵深距离窄而长,发生火灾时,隧道内大量车辆难以疏散,极易造成堵塞,因而火势顺着车辆蔓延,并扩大损失。

(6) 高温有毒烟雾积聚,不易排出。隧道环境密闭,一旦发生火灾,隧道内烟雾大、能见度低、散热慢、温度较高,火灾产生的高温、有毒浓烟迅速积聚,且不易排出。这不仅严重威胁被困人员的生命,而且令消防队员也难以及时施救;洞内火灾产生的热烟,首先集中在隧道顶部,而很长一段隧道的下部仍是新鲜空气。当洞内有较大的纵向风流时,还会使隧道全断面弥漫烟气,使人迷失方向并可能中毒死亡。

(7) 隧道火灾发生后,安全疏散困难,容易造成交通堵塞和出现二次灾害。双向交通隧