

第 1 章 绪 论

1.1 我国公路隧道的发展状况

我国最早的交通隧道是于公元 66 年建成的陕西古褒斜道上的石门隧道。20 世纪 60 年代前,我国公路隧道仅有 30 多座,其总长约为 2.5km,平均长度不足百米。60~70 年代,我国在干线公路开始修建一些百米以上的隧道,但技术标准很低。80 年代后期,我国才真正开始兴建高速公路和高速公路隧道。90 年代开通的成渝高速公路中梁山隧道、缙云山隧道把我国公路隧道的建设长度提高到单洞 3 000m 以上,并在处理通风、塌方、瓦斯、地下水等方面积累了宝贵经验。20 世纪 90 年代末通车的川藏公路二郎山隧道(长 4 160m)、四川广安地区的华蓥山隧道(长 4 634m)、云南楚大高速公路的九顶山隧道(长 3 204m)开创了我国长大山岭隧道的建设史;广州珠江沙面水下公路隧道建成通车和上海穿越黄浦江江底隧道(长度超过 3 000m)的修建标志着我国水下沉埋隧道修建技术达到了新的水平;重庆铁山坪路隧道(双线全长 5 424m)、北京至八达岭高速公路的谭峪沟隧道(长 3 455m)、重庆市境内的川黔公路真武山隧道(长 3 048.5m)、四川二郎山隧道(长 4 161m)、缙云山隧道(长 2 528m)、中梁山隧道(长 3 160m)、浙江大溪岭隧道(长 4 116m)、猫狸岭隧道(长 3 590m)、甘肃省的七道梁隧道(长 1 560m)、辽宁沈大高速公路韩家岭隧道(长 521m,亚洲最宽的四车道公路隧道)等一批长大公路隧道的建成通车,表明当时我国的公路隧道建设已具有相当的水平 and 实力。

进入 21 世纪,十年来我国公路网交通逐渐向崇山峻岭迈进,向离岸深水延伸,公路隧道的建设规模和里程也不断刷新。截至 2016 年年底,全国共修建公路隧道 15 181 处,1 403.97 万 m。其中特长隧道 815 处,362.27 万 m,长隧道 3 520 处,604.55 万 m。其中包括秦岭终南山隧道(长度 18 004m)、秦岭包家山隧道(长度 11 800m)、山西西山隧道(长度 13 000m)、中条山隧道(长度 9 608. m)、湖南雪峰山隧道(长度 7 039m)、甘肃麦积山隧道(长度 12 286m)、新七道梁隧道(长度 4 070m)、湖北龙潭隧道(长度 8 693m)、渔泉溪隧道(长度 5 200m)、夹活岩隧道(长度 5 300m)等典型隧道;与此同时,一些有影响的跨江、跨海隧道工程,如厦门翔安海底隧道(长度 8 695m)、青岛海底隧道(长度 8 695m)、上海长江隧道(长度 8 950m)、南京长江隧道(长度 3 790m)、武汉长江隧道(长度 3 630m)相继建成,标志着我国公路隧道建设取得了辉煌的成就。正在修建的港珠澳伶仃洋跨海工程,以及规划中的渤海湾跨海工程、琼州海峡跨海工程和台湾海峡跨海工程,将拉开我国公路隧道建设的又一高潮。

表 1-1 给出了我国已建以及在建 5 000m 以上公路隧道的统计情况。从表 1-1 可以看到,我国无疑已经成为世界公路隧道建设的大国。

截至 2014 年年底我国已建和在建特长、长大公路隧道统计表

表 1-1

名称	地理位置	长度 (m)	建成年 份(年)	孔数× 车道	路线号及名称	备注
秦岭终南山隧道	陕西,西安—柞水	18 020	2007	2×2	G65 包茂高速	左线 18 020m,右线 18 020m
锦屏山隧道	四川,盐源—冕宁	17 500	2008	2×1	锦屏电站公路	
米仓山隧道	四川,南江—陕西南郑	13 772	在建	2×2	S2 巴陕高速	左线 8 700m,右线 8 640m
西山隧道	山西,太原—古交	13 654	2012	2×2	S56 太古高速	左线 13 654m,右线 13 570m
二郎山隧道	四川,天全—泸定	13 433	在建	2×2	S8 雅康高速	左线 13 433m,右线 13 381m
虹梯关隧道	山西,平顺	13 122	2013	2×2	S76 长平高速	左线 13 122m,右线 13 098m
黄土梁隧道	四川,平武—九寨沟	13 010	在建	2×2	G851 平绵高速	
麦积山隧道	甘肃,天水	12 290	2009	2×2	G30 连霍高速	左线 12 286m,右线 12 290m
云山隧道	山西,左权	11 408	在建	2×2	S66 邢汾高速	左线 11 408m,右线 11 377m
包家山隧道	陕西,旬阳—安康	11 200	2009	2×2	G65 包茂高速	左线 11 200m,右线 11 195m
宝塔山隧道	山西,平遥—榆社	10 480	2012	2×2	S66 邢汾高速	左线 10 192m,右线 10 480m
大相岭隧道	四川,荣经—汉源	10 007	2012	2×2	G5 京昆高速	左线 9 962m,右线 10 007m
中条山隧道	山西,运城—芮城	9 670	2014	2×2	运宝高速	左线 5 676m,右线 15 347m
六盘山隧道	宁夏,泾源—隆德	9 490	2015	2×2	G22 青兰高速	左线 9 490m,右线 9 480m
麻崖子隧道	甘肃,陇南	9 007	2013	2×2	G75 兰海高速	左线 8 985m,右线 9 007m
上海长江隧道	上海,浦东—长兴岛	8 950	2009	2×3	G40 沪陕高速	
佛岭隧道	山西,五台—盂县	8 805	2014	2×2	S45 阳五高速	左线 8 803m,右线 8 805m
鹧鸪山隧道	四川,理县—马尔康	8 803	在建	2×2	S9 汶马高速	左线 8 803m,右线 8 776m
米仓山隧道	甘肃,陇南	8 694	2014	2×2	S4 平武高速	左线 8 694m,右线 8 688m
龙潭隧道	湖北,长阳	8 693	2010	2×2	G50 沪渝高速	左线 8 693m,右线 8 599m
康家楼隧道	山西和顺—河北邢台	8 530	2015	2×2	S66 邢汾高速	
大坪山隧道	湖北,襄阳	8 243	2013	2×2	S63 老石高速	左线 8 243m,右线 8 234m
雪山梁隧道	四川,松潘	7 957	在建	1×2	川黄公路	
巴郎山隧道	四川,小金—汶川	7 945	在建	1×2	303 省道	
紫阳隧道	陕西,紫阳	7 938	2011	2×2	G65 包茂高速	
苍岭隧道	浙江,仙居—永嘉	7 930	2010	2×2	S26 诸永高速	左线 7 930m,右线 7 870m
胶州湾隧道	山东,青岛	7 800	2011	2×3		
方斗山隧道	重庆,石柱	7 605	2006	2×2	G50 沪渝高速	左线 7 605m,右线 7 567m
苍岭隧道	浙江,缙云—仙居	7 605	2006	2×2	S28 台金高速	左线 7 536m,右线 7 605m
明堂山隧道	安徽,岳西	7 548	在建	2×2	S18 岳武高速	左线 7 548m,右线 7 531m
石门垭隧道	湖北,秭归	7 524	在建	2×2	G42 沪蓉高速	左线 7 524m,右线 7 493m
纬三路过江隧道	江苏,南京	7 363	2015	2×4		盾构隧道
摩天岭隧道	重庆,巫山—奉节	7 353	2009	2×2	G50 沪渝高速	左线 7 280m,右线 7 353m
方斗山隧道	重庆,丰都—石柱	7 310	2013	2×2	丰石高速	左线 7 285m,右线 7 310m

续上表

名称	地理位置	长度 (m)	建成年份 (年)	孔数× 车道	路线号及名称	备注
白云隧道	重庆,武隆	7 120	2008	2×2	G65 包茂高速	左线 7 089m,右线 7 120m
雀儿山隧道	四川,德格	7 048	在建	1×2	国道 317	
泰宁隧道	福建,泰宁	7 039	在建	2×2	浦建高速	左线 7 039m,右线 7 007m
雪峰山隧道	湖南,洪江	6 956	2006	2×2	G60 沪昆高速	左线 6 946m,右线 6 956m
通省隧道	湖北,十堰—房县	6 887	在建	2×2	S69 郧房高速	
安远隧道	甘肃,天祝	6 868	2013	2×2	G30 连霍高速	左线 6 848m,右线 6 868m
井冈山隧道	江西井冈山	6 810	2013	2×2	井睦高速	左线 6 810m,右线 6 805.72m
雷公山隧道	重庆	6 800	2013	2×2	G15 沈海高速	
茅荆坝隧道	河北隆化— 内蒙古喀喇沁旗	6 776	2013	2×2	G45 大广高速	左线 6 752m,右线 6 776m
白芷山隧道	重庆,城口	6 710	2013	1×2	成万快速公路	主洞 6 710m,避难洞 6 660m
乌池坝隧道	湖北,利川	6 708	2008	2×2	G42 沪蓉高速	左线 6 708m,右线 6 693m
独龙江隧道	云南,贡山	6 680	2014	1×2	独龙江公路	
羊角隧道	重庆,武隆	6 676	2009	2×2	G65 包茂高速	左线 6 656m,右线 6 676m
吕家梁隧道	重庆,石柱	6 664	2009	2×2	G65 包茂高速	左线 6 664m,右线 6 663m
明月山隧道	重庆垫江—四川邻水	6 557	2009	2×2	G42 沪蓉高速	左线 6 557m,右线 6 555m
洞宫山隧道	福建,周宁—政和	6 556.5	2012	2×2	G1514 宁上高速	
西凌井隧道	山西,阳曲	6 555	2011	2×2	S50 太佳高速	左线 6 555m,右线 6 555m
峡口隧道	湖北,兴山	6 487	2014	2×2	G42 沪蓉高速	
藏山隧道	山西,盂县	6 440	2014	2×2	S45 阳五高速	左线 6 410m,右线 6 440m
高岭隧道	甘肃,古浪	6 333	2013	2×2	G30 连霍高速	左线 6 314.15m,右线 6 333.45m
葡萄山隧道	重庆,酉阳	6 308	2010	2×2	G65 包茂高速	左线 6 308m,右线 6 280m
双峰隧道	浙江,仙居—磐安	6 187	2010	2×2	S26 诸永高速	左线 6 142m,右线 6 187m
秦岭二号隧道	陕西,宁陕	6 145	2007	2×2	G5 京昆高速	左线 6 125m,右线 6 145m
秦岭一号隧道	陕西,户县—宁陕	6 144	2007	2×2	G5 京昆高速	左线 6 102m,右线 6 144m
大巴山隧道	陕西镇巴—四川万源	6 123	2012	2×2	G65 包茂高速	左线 6 123m,右线 6 115m
中兴隧道	重庆,武隆	6 105	2009	2×2	G65 包茂高速	左线 6 105m,右线 6 082m
分水关隧道	福建武夷山—江西铅山	6 043	2013	2×2	G1514 宁上高速	左线 5 946.5m,右线 6 043.42m
铁峰山二号隧道	重庆,万州	6 020	2006	2×2	万开高速	左线 6 010m,右线 6 020m
石鼓山隧道	福建,南安—安溪	6 005	2012	2×3	S30 厦沙高速	
凤凰岭隧道	山西,五台	5 868	2011	2×2	G5 京昆高速	
抢风岭隧道	山西,浑源	5 495	2012	2×2	G18 荣乌高速	
恒山隧道	山西,浑源	5 170	2012	2×2	G18 荣乌高速	
翔安海底隧道	厦门	5 960	2010	2×3	翔安大道	海底隧道

续上表

名称	地理位置	长度 (m)	建成年份(年)	孔数× 车道	路线号及名称	备注
凤凰岭隧道	山西,五台	5 897	2011	2×2	S46 忻保高速	左线 5 897m,右线 5 773.5m
将军石隧道	四川青川—甘肃文县	5 805	2012	2×2	G75 兰海高速	左线 5 804m,右线 5 805m
巴朗山隧道	四川	5 700	在建	2×1	省道 303 线	
界岭隧道	湖北,宜昌	5 681	2014	2×2	G42 沪蓉高速	左线 5 653m,右线 5 681m
港珠澳大桥海底隧道	广东	5 664	在建	2×3		沉管隧道
蒙山隧道	山西,昔阳	5 655	2013	2×2	S45 阳左高速	左线 5 655m
大庙隧道	河北,隆化	5 645	2013	2×2	G45 大广高速	左线 5 635m,右线 5 645m
美荻林隧道	福建,闽清	5 580	2004	2×2	G70 福银高速	左线 5 568m,右线 5 580m
云中山隧道	山西,忻州	5 575	2011	2×2	S46 忻保高速	左线 5 565m,右线 5 575m
雁门关隧道	山西,代县	5 565	2003	2×2	G55 二广高速	左线 5 160m,右线 5 235m
拉脊山隧道	青海,湟中—贵德	5 564	2013	2×1	101 省道	左线 5 530m,右线 5 564m
野马梁隧道	山西,原平	5 512	2015	2×2	灵河高速	左线 5 512m,右线 5 512m
楚阳隧道	湖北巴东—重庆巫山	5 500	2012	2×2	G42 沪蓉高速	左线 5 443.8m,右线 5 500.7m
抢风岭隧道	山西,浑源	5 495	2012	2×2	G18 荣乌高速	
灞源隧道	陕西,蓝田—商洛	5 450	2012	2×3	G40 沪陕高速	左线 5 445m,右线 5 450m
三花石隧道	陕西,略阳	5 434	2011	2×2	G7011 十天高速	左线 5 431m,右线 5 434m
九岭山隧道	江西,铜鼓—宜丰	5 384	2008	2×2	G45 大广高速	
棋盘关隧道	陕西,宁强	5 360	2008	2×2	G5 京昆高速	
福堂隧道	四川,汶川	5 347	2012	2×2	S9 都汶高速	左线 5 347m,右线 5 264m
鹤岭隧道	陕西,山阳	5 333	2009	2×2	G70 福银高速	左线 5 273m,右线 5 333m
映秀隧道	四川,汶川	5 325	2012	2×2	S9 都汶高速	左线 5 305m,右线 5 325m
八台隧道	四川万源—重庆城口	5 275	2013	1×2	成万快速公路	
夹活岩隧道	湖北,长阳	5 228	2009	2×2	G50 沪渝高速	左线 5 107m,右线 5 228m
铜锣山隧道	四川,邻水	5 197	2008	2×2	G42 沪蓉高速	
长山隧道	四川,荣县	5 106	2013	2×2	S44 乐自高速	左线 5 068m,右线 5 106m
分界梁隧道	重庆,奉节	5 085	2010	2×2	G42 沪蓉高速	左线 5 085m,右线 5 080m
彩虹岭隧道	广东,鹤山	5 068	2007	1×2	双和公路	
太石隧道	甘肃,陇南	5 028	2014	2×2	S4 平武高速	左线 5 028m,右线 4 984m
桃关二号隧道	四川,汶川	5 015	2012	2×2	S9 都汶高速	左线 5 014m,右线 5 015m
大风口隧道	重庆,巫山	5 003	2012	2×2	G42 沪蓉高速	
凤凰山隧道	陕西	4 975	2009	2×2	G65 包茂高速	
明埡子隧道	陕西	4 967	2011	2×2	G7011 十天高速	
芜湖城南过江隧道	湖北,芜湖	4 960	在建	2×3		盾构隧道

续上表

名称	地理位置	长度 (m)	建成年份 (年)	孔数× 车道	路线号及名称	备注
财神梁隧道	重庆	4 943	2008	2×2	G42 沪蓉高速	
八卦山隧道	台湾	4 931	2002	2×2		
贵新隧道	福建	4 916	2009	2×2	G1501 福州绕城	
庙梁隧道	重庆	4 916	2006	2×2	G42 沪蓉高速	
清塘铺隧道	湖南,安化 邵阳	4 800	2013	2×2	G55 二广高速	左线 4 880m,右线 4 775m
三阳路长江隧道	湖北,武汉	4 650	在建			盾构,公铁两用
钱塘江隧道	浙江,杭州	4 450	2014	2×3		盾构隧道
海河隧道	河北,天津	4 200	2015	2×3		沉管隧道
南京长江隧道	江苏,南京	3 930	2009	2×3		盾构隧道
三河口隧道	山东,临沂	3 840	2012	2×3		河底隧道
南京过江隧道	江苏,南京	3 825	2010	2×3		盾构隧道
武汉长江隧道	湖北,武汉	3 295	2008	2×2		盾构隧道
望江路过江隧道	浙江,杭州	3 240	在建	2×2		

除此之外,我国还先后建设了一些特殊的公路隧道,诸如:

(1)雅宝隧道。雅宝隧道是中国第一条双洞八车道公路隧道,位于广东省深圳市南坪快速路,为上下行分离式隧道,左线长 262.5m,右线长 225.5m,限界净宽 8m,限界净高 5m,于 2006 年 6 月 30 日建成通车。

(2)龙头山隧道。中国第一条双洞八车道高速公路隧道,位于广东省广州市黄埔区 G1501G4W 广州东二环高速公路,为上下行分离式隧道,左线长 1 010m,右线长 1 006m,最大开挖宽度 21.47m,最大开挖高度 13.56m,最大开挖面积 229.4m²,隧道净宽 18m,净高 5m,于 2008 年 6 月建成通车。

(3)浏阳河隧道。世界埋深最浅的河底隧道,位于湖南省长沙市湘江大道,全长 1 910m,双洞四车道,其中暗挖段在河床下最小覆土厚度为 14m,于 2009 年 10 月 1 日建成通车。

(4)金鸡山隧道。中国跨径最大的高速公路双连拱隧道,位于福建省福州长乐国际机场高速公路,全长 295m,为双向八车道连拱隧道,单洞净跨为 18.198m,连拱隧道总跨度达 41.498m,于 2010 年 8 月建成通车。

(5)弄尾隧道。中国开挖断面最大的公路隧道,位于 G15 沈海高速公路福建省泉州段,全长 367m,单洞四车道,隧道宽度 21.7m,于 2011 年建成通车。

(6)嘎隆拉隧道。中国坡度最大的隧道,位于西藏自治区波密县和墨脱县,是中国最后一条通县公路——墨脱公路的控制性工程,横穿岗日嘎布山,全长 3 310m,平均海拔 3 700m,隧道坡度为 4.1% (即每 100m 下降 4.1m),于 2010 年 12 月 15 日贯通。

(7)方兴湖隧道。中国最宽的湖底公路隧道,位于安徽省合肥市方兴大道,下穿方兴湖,长 820m,双向八车道,左右跨度净宽 16.45m,于 2012 年 7 月 10 日主体竣工。

(8)雅克夏雪山隧道(垭口山隧道)。目前中国已通车海拔最高的公路隧道,位于四川省

黑水县的302省道(万源—阿坝公路)上,洞口海拔3 920m,隧道全长2 302m,于2012年10月15日建成通车。

(9)鄂拉山隧道。目前正在建的世界最长、海拔最高的高原冻土区公路隧道,位于青海省兴海县的214国道共和—玉树段,分离式双向四车道,左洞长4 710m,右洞长4 650m,隧道海拔约4 300m,于2015年12月贯通。

(10)长拉山隧道。目前正在建的世界上海拔最高的公路隧道,位于青海省玉树藏族自治州杂多县境内的309省道上,全长2 380m,进口端海拔4 435m,出口端海拔4 493m。

另外,在长大隧道的建设过程中,经常会涉及诸如通风、照明、报警、消防、情报、机电、监控等一系列前所未有的技术与管理问题,而在隧道建成通车后,又涉及运营管理与防灾减灾问题。毋庸置疑,伴随着交通量的增加,大批长大公路隧道的出现,公路隧道灾害,尤其是隧道火灾、危险品泄漏,将成为危害公路隧道安全的重大隐患。加之公路隧道结构的特殊性,公路隧道火灾具有随机性大、成灾时间短、烟雾大温度高、扑救和疏散困难、危害性大等特点,使隧道火灾及危险品问题的解决更加棘手,许多问题亟待研究。从我国公路隧道的发展阶段来看,从20世纪80年代开始到21世纪初是公路隧道的建设期,而近十年以及今后很长一段时间将全面进入到公路隧道的运营管理期。

1.2 我国长大公路隧道的事故状况

目前,我国长大公路隧道除了最为常见的一般性的交通事故外,火灾和危险品泄漏已经成为威胁隧道运营安全和人员生命财产安全的主要灾害。由于隧道结构复杂、空间狭小、通风条件受限、纵深较长、出入口少,发生事故后火灾持续时间长、影响范围大、烟雾难以排出、火势扑救和人员疏散都将十分困难,且救援难度很大,往往会造成极具破坏性和危险性的后果,甚至产生二次灾害,进而造成较大的经济损失或者人员伤亡,产生较大的社会影响。从理论上讲,隧道的火灾不能绝对避免,只能是推迟和尽可能降低发生的概率及火灾造成的损失。由于我国前二十年主要的着眼点在于隧道的建设,对于隧道的运营安全管理研究不够重视,加之没有比较成熟的经验可供借鉴,造成近年来国内隧道火灾事故多发的局面。如2002年浙江猫狸岭隧道货车发动机着火,中断交通18天;2006年京珠高速温泉隧道货车轮胎爆裂起火,造成隧道内设施严重损毁;2010年浙江大溪岭隧道大货车轮胎起火,直接经济损失近1 000万元,隧道关闭7小时;2010年无锡惠山隧道夜班接送车起火,造成24人死亡,19人受伤;2010年厦门翔安隧道小面包车自燃导致隧道关闭数小时;2010年10月23日,沪渝高速长阳段朱家岩隧道连环撞车火灾,导致2人死亡并引发火灾;2011年1月25日,一辆运送面包车的大型半挂车在沪(上海)蓉(成都)西高速湖北宜昌长阳段渔泉溪隧道内起火,导致20多辆车被困隧道,现场疏散290人,2月22日该隧道内又发生一起货车轮胎起火事故;2011年5月沪陕高速蓝田段一辆半挂货车隧道内起火,2人当场死亡,千车滞留10小时;2011年6月陕西西汉高速石门隧道3车相撞致4死4伤,相撞后两辆大货车突然起火;2011年兰临高速七道梁隧道油罐车爆炸事故,造成4人死亡,1人受伤,隧道设施受损严重;2014年3月1日,山西省晋济高速800m长的岩后隧道因隧道前方煤炭检测导致大量车辆停滞在隧道内,后因一辆甲醇车辆发生火灾引发42辆煤车和两辆油罐车起火爆炸,造成40人死亡。

图 1-1 给出了我国部分公路隧道内火灾事故实景图片,表 1-2 给出了我国近年来隧道运营发生的事故统计。



a) 渔泉溪隧道火灾救援现场



b) 惠山隧道火灾后客车实景



c) 七道梁火灾后隧道设施受损情况



d) 千家砭隧道火灾扑救现场



e) 岩后隧道火灾后情况



f) 岩后隧道洞口变电所损毁情况

图 1-1 部分公路隧道火灾事故照片

我国近年来公路隧道运营期间发生的事故

表 1-2

隧道名称	隧道长度 (m)	事故时间	灾害类型	事故情况
大扁山隧道	791	2005 年 12 月 17 日	交通事故	1 辆小轿车与 1 辆大货车相撞,小轿车上的 4 人死亡
上海打浦路隧道	2 761	2006 年 1 月 4 日	交通事故引发火灾	上海打浦隧道 2 车追尾,造成 2 人死亡
大宝山隧道	3 150	2008 年 5 月 4 日	交通事故引发火灾	1 辆货车与 1 辆罐装车相撞起火爆炸,2 名驾驶员死亡,隧道部分墙体坍塌,交通阻塞超过 12 小时

续上表

隧道名称	隧道长度 (m)	事故时间	灾害类型	事故情况
俞庄隧道	500	2008年9月4日	交通事故	1辆客车因超速撞上隧道口,造成10死36伤
大普吉隧道	1300	2009年3月6日	交通事故	1辆卧铺车发生侧翻,14人不同程度的受伤,造成交通阻塞
沪渝高速朱家岩隧道	2576	2010年10月23日	交通事故 引发火灾	9辆车连撞,引发火灾,造成2人死亡
新七道梁	5100	2011年4月8日	火灾	油罐车与装载橡胶水罐车追尾,爆炸引起火灾,部分拱顶剥落,4死1伤
萝峰隧道	1840	2011年4月11日	火灾	1辆油罐车与1辆大货车追尾,导致油罐车爆炸引发火灾,2人死亡
老鸦峡1号隧道	左线587, 右线535	2011年5月6日	交通事故	交通事故导致1死11伤,数千名驾乘人员和约500余辆车被堵塞
李家河3号隧道	8433	2011年5月28日	火灾	1辆半挂车隧道内侧翻起火,驾驶员和副驾驶当场死亡
关口垭隧道	880	2011年6月21日	交通事故	发生交通事故,造成2死23伤
岩坑尖隧道群2号隧道	1831	2011年7月8日	危险品泄漏	重型集装箱半挂车与重型罐式半挂车追尾碰撞,高浓度氨水严重泄漏,1伤多人中毒
黄龙山隧道	441	2011年9月6日	火灾	1辆拉煤大货车突然起火,接连上演8车连撞,导致1死1伤
小河边隧道	290	2011年9月24日	交通事故	1辆汽车将横穿高速公路的3人撞倒,导致2人死亡,1人重伤
固原六盘山隧道	2385	2011年10月22日	交通事故	由于能见度低,1辆小轿车和1辆农用车及1辆小货车相撞,1人死亡,4人受伤
黄埔大道隧道	1047.5	2011年10月30日	交通事故	1辆小轿车因醉驾撞上4名施工人员,导致4人全部身亡
龙马田隧道	3920	2012年1月14日	交通事故	雨天路滑,车速较快,隧道附近发生重大交通事故,致2人死亡,9人受伤
槽箐头隧道	7580	2012年1月31日	交通事故	10车连环相撞事故,1人重伤,3人轻伤,事故原因调查中
方抖山隧道	17212	2012年2月10日	交通事故	2辆货车追尾,造成1人重伤,2人死亡
台湾雪山隧道	12900	2012年5月7日	火灾	交通事故引发火灾,双向车道封闭,2人死亡,22人受伤
沪渝高速朱家岩隧道	2576	2012年8月14日	交通事故 引发火灾	1辆车与多辆车连撞引发火灾,造成4死4伤
福银高速李家河隧道	4200	2013年9月15日	交通事故 引发火灾	追尾造成,2人死亡
晋济高速岩后隧道	800	2014年3月1日	危险品泄漏	甲醇运输车泄漏引发闪爆事故,造成41人死亡,47辆车损毁,隧道结构和洞口变电所严重受损

1.3 编制《公路隧道运营管理手册》的必要性

除了上述所描述的我国长大公路隧道所出现的火灾及一些重大交通事故外,由于前期建设、技术和管理等方面的诸多原因,使得我国许多公路隧道在竣工后的运营管理过程中,各类问题频繁出现,影响了隧道运营的水平。

1.3.1 公路隧道运营管理存在的问题

截至2015年年底,全国共修建公路隧道14 006处、1 268.39万m。其中特长隧道744处、329.98万m,长隧道3 138处、537.68万m。如果说前25年是我国公路隧道的建设期的话,那么现在到今后很长的时间内就是我国公路隧道的运营管理期。但非常遗憾的是,我国目前公路隧道的运营管理水平远远落后于建设水平,许多前所未有的问题逐渐凸显,隧道运营中的安全问题经常发生。针对公路隧道的建设,我国虽然先后颁布了《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)、《公路隧道施工技术规范》(JTG F60—2009)、《公路隧道设计细则》(JTG/T D70—2010)、《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2—2014)、《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01—2014)、《公路隧道通风设计细则》(JTG/T D70/2-02—2014)、《公路隧道养护技术规范》(JTG H12—2015),但截至目前既没有一部完整的公路隧道运营管理标准,也没有一套比较科学合理的专门针对公路隧道防灾救灾的预案,使得隧道运营管理部门长期面临巨大的压力。组织人力物力对公路隧道运营管理中一系列问题进行深入系统的研究,是管理部门及公路隧道工程界面临的又一重大课题。

1) 建设遗留问题

在我国许多已经建成的公路隧道中,由于工期、资金、技术,甚至于人为干涉等方面的原因,在隧道建成后就出现了先天不足,给后期的运营管理带来了极大的困难和压力。例如华北某隧道,长5km,竖井已经打通,但风道还没有完成;另一条4km多的长隧道两洞间没有一个连接通道,而且隧道离最近的互通远达27km;有一特长隧道竖井没有打通就通车运营,而且洞外一侧没有撤离场地;华南一条3km多的长隧道,虽然洞中有电视监控,但既没有情报板,也没有报警电话、广播喇叭;另一中长隧道情报板设置不合理,刚通车就全部不能使用;有的隧道虽然有消防栓,但没有水源;早期建设的许多隧道设置了车行横通道,但横通道与隧道正洞直交,使得车辆转弯很困难;早期建设的隧道多用卷帘门做防护门,但卷帘门刚度不够,无法顺利打开(甚至有的横通道只设置一道卷帘门)。现在隧道大都采用横向开启式防火门,但类型又不配套;有的隧道火灾报警元件(紫铜管、光纤线缆依靠绝对温度和升温率报警,反映时间长)技术落后,甚至于无法使用。这些隧道建设中遗留下的问题,不仅给隧道管理部门带来了极大的困难和压力,而且也给隧道的运营安全留下了隐患。

2) 政策法规问题

(1) 技术规范缺项较大

①通风照明规范缺项较多。公路隧道的运营管理涉及隧道的通风、照明、机电、监控、安全

等一系列技术问题,但是我国目前的技术规范远远不能满足隧道建设和管理的要求。例如就隧道的通风照明而言,原交通部于2000年发布了我国第一部《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026.1—1999),这在我国已经是一个具有开创性的成果,但是其中问题较多。例如,基础参数较为陈旧,风道细部参数缺项较多,送排风短道长度不合理,交通阻塞规定不明确,缺少风机房结构细部参数等;照明设计中基础参数不合理,导致进口段灯具布设太密,运营中又不全开。经过了近十多年的研究与工程实践,交通运输部于2014年发布了《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01—2014)和《公路隧道通风设计细则》(JTG/T D70/2-02—2014),虽然上述问题均有不同程度的改进,但是仍有尚未彻底解决的问题。

②缺少运营监控设计规范标准。现在国内有十多座隧道有运营监控,但至今我国没有一套有关公路隧道运营监控的设计规范或者标准。

③缺乏合理的公路隧道安全等级评估。目前我国公路隧道已有12 000余座,其中特长隧道600余座,虽然现有规范也曾根据隧道的长度和交通量把隧道分为A、B、C、D四个等级,但是还存在许多需进一步完善的地方。许多技术人员在设计中,要么是安全设防过高,造成不必要的浪费;要么是虽然有设防,但标准又不够,更有甚者是根本不设防,留下事故隐患。

(2) 政策法规混乱和缺项

①危险品运输管理问题较多。目前,我国的危险品运输实行“点对点”的申报制度,即如果危险品从A地运往B地,只要有A地签发的起运证明和B地的接收证明,而在途经的所有路段就和普通的货运一样。对此,我国先后有十几个部委发布过有关危险货物的法规和文件。从危险货物名称、危险货物分类和品名编号、危险货物包装标志,到运输车辆标志、安全运输规程、装卸货物的规定等都有详细明确的规定,可以说国家各部委对危险货物运输还是相当重视的。但是,这些法律条文的重叠性太多,管理又是纵向垂直管理,操作起来存在许多实际困难。对于长大或者特长隧道,其管理部门应该了解危险品通过的信息,但是,在目前的危险品运输管理法规中,没有指明任何单位给隧道管理部门通报危险品运输信息。隧道管理部门如果要检查危险品,甚至于禁止危险品通过,又没有法律支持。

②紧急事故封闭隧道交通责任不清。当隧道发生重大灾害事故后,急需立即封闭隧道交通,但是隧道管理部门目前无权封闭,如果和交警部门沟通就会耽误时间,甚至于发生扯皮现象和承担法律责任。

③缺少公路隧道运营管理的行业标准。我国目前有数百座长大、特长公路隧道已经通车运行,但是至今没有一部公路隧道运营管理手册。虽然各个长大公路隧道的管理部门,都不同程度地制定了自己的运营管理手册,但是水平参差不齐,有的甚至于隐患较多。

④缺少公路隧道的防火标准。目前我国的公路隧道防火设计,基本照搬工业与民用建筑的防火标准,缺项、不适应的地方较多,执行起来也存在许多困难。可喜的是,公安部消防局组织编写的我国第一部国家标准《公路隧道消防技术规范》初稿已经完成。

3) 管理问题

(1)重建轻管理。许多建设单位,特别是交通主管部门,对于长大公路隧道的建设非常重视,但一旦建成通车,对其运营管理无论是从人力、物力还是技术方面都不够重视。

(2)机构设置不合理。国内现有长大公路隧道的运营管理机构是五花八门,有的是管理处、有的是管理公司、有的是管理站、有的是管理所;有的单独设立,有的隶属于其他单位;有的

与路政、交警统属一个单位,有的与路政、交警分开;职责不明确,业务含糊不清。

(3)运营手册不科学。由于国家没有公路隧道运营管理的行业规程,所以,许多长大公路隧道在经过一定阶段的运营实践后制定了自己的运营手册,但是存在的普遍问题是内容比较简单,技术含量不高;行政管理多,业务管理少;交通控制多,防灾减灾少。

(4)设备配置不合理。由于技术、经济和认识上的差距,有的隧道基础设施,特别是交通安全设施配置极为不合理,消防救援设施配置认识差距较大,例如前述4km多的长隧道两洞间既没有一个连通道,也没有自己的消防队。

(5)管理人员专业技术较为缺乏。许多长大隧道都配置了监控人员,但人员的专业技术水平较低,大多只局限于正常交通的监控,缺乏应对突发灾害时的专业素养,更缺乏专门的技术培训。笔者曾和国内数十座长大隧道的监控人员座谈,这些问题相当普遍。

(6)缺乏防灾减灾预案。大部分的隧道管理部门都没有做到结合自己的隧道实际情况,科学合理地制订其防灾减灾预案。有的虽然编制了预案,流程也较为合理,但可操作性差;概念性多,量化的少。

(7)火灾演习缺乏实战。许多公路隧道都举行过防灾减灾演习,但基本上仍为消防灭火演习,真正做到灭火救灾,人员逃生的演习较少,接近实战的演习则更少。

(8)重业务管理,轻宣传教育。国内几乎所有的隧道管理部门,虽然对本隧道的运营管理很重视,但都忽视了对过往驾乘人员和周围群众的宣传教育。

4) 技术问题

(1)运营监控问题。目前国内的所有长大隧道都设有监控设施,建设的越晚,设施越先进。但几乎所有的公路隧道,都是监多控少,而且所能够做到的也只是交通控制、照明控制和通风控制。

(2)防火救灾问题。隧道火灾是公路隧道常见的、危害最大的灾害之一,长大公路隧道的火灾只能是减少而绝对无法避免。由于目前国内缺乏真正的防灾减灾预案,所以在火灾发生时,隧道监控人员对于灾害过程中隧道内的设施控制、人员逃生引导非常有限。国内关于公路隧道的火灾研究,由于没有国家级或者部门性的统一规划,许多部门各自为战,重复性的研究较多;基础性的研究又不足,一般性的已知结论太多;没有我国自主开发的隧道火灾数值模拟软件程序;火灾的物理试验太少,并且试验过程太简单;没有把火灾研究和隧道火灾安全等级研究联系起来;更没有把火灾研究与防火救灾预案的制订结合起来。

(3)通风控制问题。在所有的长大公路隧道通风控制方案中,都设计有通过CO(一氧化碳)、VI(能见度)的门槛值自动控制方式,但在实际运营管理中,由于检测元件的灵敏度影响,或者由于经济原因,大都是靠管理人员手动操作。甚至于在发生火灾时,由于火灾探测元件的反应滞后,也不得不采用手动控制。手动控制的结果,经常会使得隧道的运营环境达不到舒适性,甚至于达不到卫生标准的要求。

(4)照明控制问题。关于国内公路隧道的照明,普遍的现象是建设时按照规范设计,隧道进口的灯具布设密密麻麻,而运营时灯具的开启很少超过一半,甚至于有的中长隧道只开四分之一。究其原因,一是设计本身就不合理,二是照明运营费用巨大。

(5)救援设施问题。由于对公路隧道的防灾减灾研究不深入不系统,长大公路隧道的救援设施如何配置也无章可循,有的配置过当,有的严重不足。另外,不仅缺乏专用的公路隧道

救援设施,而且普通的救援设施在隧道中也难以发挥作用。

1.3.2 基本对策

1) 健全公路隧道安全管理体系

长大公路隧道的运营管理,应该建立起一个“设施是基础,管理是关键,监控是核心,手册是指南,预案是保障”的安全运营管理体系。因此应该做到:

(1) 结合隧道的安全等级,尽可能地完善其基础设施。对于一些安全等级较高的长大、特长隧道,要随着科学技术的进步,适时地更新基础设施。

(2) 建立一套严密的隧道运营管理体系和制度,保证管理环节万无一失。

(3) 根据运营管理手册,并通过研究合理车流密度、合理车速与监控隧道的关系,制定监控操作流程和细则,认真做好运营监控。特别是要充分发挥监控人员的自身作用,绝对不能过分依赖于报警元件。

(4) 根据各自隧道的特点,制定一套详细的运营管理手册,内容应该包括正常和非正常的运营监控和管理,以及隧道的养护维修。

(5) 每一长大、特长隧道必须制订自己防灾救灾预案。防灾救灾预案不能停留在概念和流程上,必须包含有细则,而且操作性强,尽可能地做到量化。

(6) 组织力量开展公路隧道危险品管理和泄漏救灾研究。

2) 全面系统地开展防灾救灾研究

我国公路隧道防灾研究的基本对策是灾害几率研究与安全等级相结合;系统研究与具体隧道相结合;通风方案与防火救灾功能相结合;基础研究与预案制订相结合;数值模拟与物理试验相结合;灾害发生过程研究与人员逃生相结合。研究的方法应该包括统计归纳的方法、理论推导的方法、数值模拟的方法和物理试验(室内和现场)的方法。

3) 修订和制定新的标准、法规

在总结经验、调查研究、专项研究的基础上,逐步制定我国的《公路隧道消防技术标准》《公路隧道防火设计标准》《公路隧道运营监控设计指南》《公路隧道运营管理手册》《公路隧道危险品运输管理规定》,修订、完善现有的《公路工程技术标准》《公路隧道设计规范》《公路隧道通风设计细则》《公路隧道照明设计细则》《公路隧道施工技术规范》。

4) 加强技术交流和宣传教育

(1) 由行业主管部门牵头,定期举办“长大公路隧道运营管理技术”专题研讨交流会,邀请国内长大、特长公路隧道的管理部门参加,就有关运营管理过程的相关技术、法规、程序、设施等问题进行研讨,也可邀请国内外的有关专家举行专题讲座,提高运营管理的技术水平。

(2) 公路隧道的防灾救灾应该遵循“以防为主,防救结合”的原则。因此,一定要做好宣传和教育工作。教育的对象主要是驾乘人员、隧道维修和管理人员。通过教育,提高民众的自救能力,使得火灾受困人员能及时采取措施自救,将火灾的危害降低到最小。宣传教育的方式有专门培训、散发宣传手册、VCD 光盘等。

1.3.3 编写《公路隧道运营管理手册》的必要性

针对我国目前公路隧道运营出现的问题,以及上述对策建议,结合现有的研究成果和运营管理经验,编写一部适合我国长大公路隧道的运营管理手册势在必行。希望通过本《公路隧道运营管理手册》的编写,能够为我国长大公路隧道的运营管理提供一个指导性的范本,完善和规范长大公路隧道的运营管理,提升我国长大公路隧道运营管理的整体水平,充分发挥其安全、高效的运营服务功能,避免和降低重大灾害损失,获取最大的社会效益。

第2章 总 则

2.1 编制目的和参考标准

(1) 为了加强公路隧道的运营管理工作,提高运营服务水平,充分发挥其安全、高效的运营服务功能,降低重大灾害发生的几率和减少损失,获取最大的社会效益,特制定本管理手册。

(2) 本手册的主要适用对象为所有运营的公路隧道,也可以供现代城市交通通道管理参考。

(3) 编制本手册所参考的国家规范、标准包括:

①《公路工程技术标准》(JTG B01—2014),北京:人民交通出版社,2014。

②《公路隧道养护技术规范》(JTG H12—2015),北京:人民交通出版社,2015。

③《公路工程质量检验评定标准 第二册 机电工程》(JTG F80/2—2004),北京:人民交通出版社,2004。

④《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004),北京:人民交通出版社,2004。

⑤《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2—2014),北京:人民交通出版社,2014。

⑥《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01—2014),北京:人民交通出版社,2014。

⑦《公路隧道通风设计细则》(JTG/T D70/2-02—2014),北京:人民交通出版社,2014。

2.2 公路隧道运营管理的目的

(1) 通过有效的安全管理,创造良好的公路隧道运营环境条件,使公路隧道发挥最大的效率。在保证安全的前提下,尽可能提高通行能力,减少限制车辆通行的时间,使运输企业和公路隧道运营管理部门获得最大的经济效益和社会效益。

(2) 通过采用各种有效的措施和手段,确保隧道运营行车安全,最大限度地降低隧道运营安全事故发生的概率,减少人员伤亡和财产损失,保障人民生命财产安全,维护运输企业和道路运输行业质量信誉。

(3) 结合所管理隧道的实际情况,采用先进的管理理念、技术和设备,有计划地改善隧道服务状况,增强其抵抗各种灾害的能力,提高运营安全服务水平。

(4) 在确保安全畅通的前提下,最大限度地实现和延长隧道的设计使用寿命。

2.3 公路隧道运营管理的原则

(1)公路隧道运营管理工作必须围绕“提高隧道的通行能力和通行质量”的原则,结合隧道的运营基础设施,根据积累的交通资料,尽可能合理地调控隧道运营管理系统,以达到安全、经济、高效的目的。

(2)公路隧道运营安全管理应该在“以防为主,防救结合”原则下,建立起一个“设施是基础,管理是关键,监控是核心,手册是指南,预案是保障”的安全运营管理体系。

(3)公路隧道养护工作必须贯彻“预防为主,防治结合”的方针。根据积累的技术资料并结合各个隧道的具体情况,采用科学合理且经济的方法,尽可能提高隧道及其附属设施的耐久性和抗灾能力。

(4)公路隧道的养护工程的组织实施,应符合现行《公路隧道养护技术规范》(JTG H12—2015)及《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)等的有关规定;在隧道养护施工的同时,应注重运营安全和保障隧道畅通,同时兼顾经济利益。

(5)隧道运营管理部门及技术人员,应该积极学习新的隧道养护技术和科学的管理方法,不断提高运营管理水平,改善养护生产手段,达到科学管理的目的。

2.4 公路隧道运营管理的技術方法

2.4.1 实地调查

公路隧道实地调查一般包括:公路交通情况调查、隧道运营状况调查和隧道灾害事故调查,调查结果应录入隧道运营状况数据库,实行病害监控,达到决策科学化,使有限的资金发挥最大的经济效益。各调查的主要内容如下:

1) 公路交通情况调查

- (1)隧道交通量的季节分布规律。
- (2)隧道交通量的时间分布规律。
- (3)隧道通行车辆的分类。
- (4)隧道内货车运输货物的类型。

2) 隧道运营状况调查

(1) 土建设施

- ①定期检查土建结构的基本状况;
- ②日常检查结构物脏污、老化或轻微破损;
- ③专项检查衬砌结构的裂缝情况;
- ④专项检查衬砌施工缝的破损情况;
- ⑤专项检查隧道路面的抗滑性能;

- ⑥定期检查隧道路面的损毁情况；
- ⑦专项检查路面仰拱的塌陷、断裂情况；
- ⑧送、排风斜井、竖井、送风口及联络通道结构情况；
- ⑨隧道洞门结构、边坡稳定性情况；
- ⑩隧道突发事故后结构的破坏情况检查。

(2) 供配电系统

- ①供配电系统的整体状态；
- ②隧道内电缆沟的电缆情况；
- ③供配电系统是否清洁；
- ④电路负荷及电压、电流情况；
- ⑤供配电系统及线路的绝缘情况；
- ⑥供配电系统的防雷及接地情况；
- ⑦隧道风机供电控制状况；
- ⑧隧道照明供电控制情况；
- ⑨消防管道电伴热情况；
- ⑩隧道送变电情况。

(3) 通风系统

- ①射流风机运转情况；
- ②轴流风机运转情况；
- ③通风系统结构细部；
- ④风机的控制系统；
- ⑤风机房的环境；
- ⑥通风系统效率。

(4) 照明系统

- ①照明灯具的检查；
- ②照明系统的细部检查；
- ③照明系统的完好率检查；
- ④照明控制系统检查；
- ⑤照明效果检查；
- ⑥应急照明检查。

(5) 救援与消防系统

- ①隧道内消防水管、消防箱、消防设备的外观检查；
- ②隧道内消防水管、消防箱、消防设备的专项检查；
- ③隧道内报警设备的检查；
- ④隧道内通信设备的检查；
- ⑤洞外高、低位水箱检查；
- ⑥洞外输水管道检查；
- ⑦隧道消防水源检查；

⑧消防车辆、器材检查。

(6)交通安全系统

- ①隧道洞口护栏的检查；
- ②隧道内、外交通诱导标志的检查；
- ③隧道内标志、标线的检查；
- ④隧道内横通道标志的检查；
- ⑤隧道内横通道防火门的检查；
- ⑥隧道内、外情报板的检查；
- ⑦隧道紧急停车带内设施检查；
- ⑧隧道外的隔离封闭设施；
- ⑨隧道洞口的遮阳棚；
- ⑩隧道洞内外的限速标志。

(7)监控系统

- ①隧道内监控摄像头检查；
- ②监控系统的细部检查；
- ③视频事件监视器的检查；
- ④隧道洞口的云台检查；
- ⑤车辆检测线圈检查；
- ⑥监控系统的整体运行情况检查。

(8)通信系统检查

- ①紧急电话；
- ②隧道喇叭；
- ③情报发布；
- ④数据传输。

(9)排水系统的检查

- ①中心排水管的检查；
- ②中心检查井的检查；
- ③纵向排水管的检查；
- ④纵线排水检查井的检查；
- ⑤路面排水沟的检查；
- ⑥洞外排水沟的检查；
- ⑦洞外集水井的检查；
- ⑧洞外出水口的检查。

(10)隧道环境检查

- ①隧道洞内运营环境检查；
- ②隧道洞外环境检查。

3)隧道灾害事故的调查

(1)交通事故