

长大公路隧道的防火救灾对策

王永东 夏永旭 邓念兵

(长安大学桥梁与隧道陕西省重点实验室, 西安 710064)

摘要 文章根据公路隧道火灾的原因和特点, 将公路隧道的防火救灾对策系统划分为指导思想、火灾安全等级、宣传教育、交通管理、通风控制、监控与消防系统、建筑材料与附属设施, 以及灭火救援体系八个子系统, 对应于每一个子系统, 提出了详细的防火对策; 针对不同的火灾安全等级, 给出了我国长大公路隧道的防火设施配置表和危险物品运输时的交通控制表; 完善了公路隧道灭火救灾的组织流程, 并提出了公路隧道防火救灾预案的研究原则、研究内容以及具体的研究思路。

关键词 长大公路隧道 防火救灾 交通管理 通风控制 预案研究

中图分类号: U457⁺.5 **文献标识码**: A

1 前言

国内外大量的统计资料显示^[1,2], 公路隧道发生火灾的几率是铁路隧道的 20~25 倍; 在隧道内汽车每行驶 5 000 万辆·公里就有一次火警发生。在隧道通行车辆组成方面, 尽管货车只占整个公路交通运输车辆的 15% 左右, 但仍有 30% 的火灾是由货车引起的。另外, 隧道火灾后恢复运营也要花很长的时间, 比如奥地利 Tauern 隧道的火灾修复花了三个月, 意大利和法国的 Mont Blanc 隧道用了三年半的时间才恢复运营, 瑞士的 St Gothard 隧道用了一年半的时间。所以, 隧道内一旦发生火灾, 不仅其经济损失是不可估量的, 而且还会带来重大的社会影响。通过对已掌握的国内外资料, 以及未来隧道交通安全发展趋势的分析可以看出, 由于交通流量的逐年增长、危险品运输的逐年增多、隧道数量的日益增多及其长度的逐年增长、车辆行驶速度的加快(国内)、恐怖主义的发展日趋严重, 可以肯定公路隧道内火灾的危险会呈上升的趋势, 因此公路隧道的火灾已经成为国际关注的问题。

我国目前虽然修建了许多长大公路隧道, 但是至今仍没有关于长大公路隧道运营管理的行业标准, 长大公路隧道的防火救灾研究也刚刚起步, 许多隧道管理部门对于长大公路隧道的防火救灾对策并

不清楚, 更没有一个完整的长大公路隧道防火救灾的预案。本文根据公路隧道火灾的原因及特点, 将公路隧道的防火救灾对策系统划分为八个子系统, 对应于每一个子系统, 提出详细的防火救灾对策, 可为长大公路隧道的建设、管理提供参考。

2 公路隧道火灾的原因及特点

2.1 公路隧道火灾的原因

隧道中火灾起因有很多种, 常见的起火原因有: ①汽车化油器燃烧起火; ②紧急刹车时制动器起火; ③汽车交通事故起火; ④车上装载的易燃物品起火; ⑤维修保养时动用明火起火; ⑥隧道电气线路或电器设备短路起火。

2.2 公路隧道火灾的特点

通过对国内外大量隧道火灾事故的调查研究显示, 公路隧道的火灾有如下几个明显的特点:

(1) 随机性大

隧道火灾发生的时间、地点、规模、形态等都具有很大的随机性。

(2) 成灾时间短

汽车起火爆发成灾的时间一般为 5~10 min 并且发展过程很短; 较大火灾的持续时间与隧道内的环境有关, 一般在 30 min 和几个小时之间。

修改稿返回日期: 2007-03-12

基金项目: 交通部通达计划项目(95-06-02-29), 山西省交通科技项目(04-02)。

作者简介: 王永东, 男, 讲师, 博士研究生。

(3) 烟雾大, 温度高

由于隧道空间小, 近似处于密闭状态, 隧道内一旦发生火灾, 不可能自然排烟, 因此洞内烟雾比较大。同时, 隧道内燃烧产生的热量不易散发, 使得隧道内火灾附近的温度很快上升, 通常达到几百度甚至上千度, 例如奥地利的 Tauern 隧道火灾温度高达 1 300℃ 以上。

(4) 扑救困难

隧道发生火灾时可能将隧道照明系统破坏, 使得隧道内能见度大大降低, 给扑救火灾带来困难。加之洞内温度太高, 消防人员很难接近火源扑救。

(5) 疏散困难

隧道的横断面小, 道路狭窄, 发生火灾时除了人员的疏散困难外, 物资的疏散也极其困难, 要短期内疏散几乎是不可能的。

(6) 危害性大

由于隧道火灾发展速度快, 扑救困难, 因此在交通密度较大的隧道, 往往造成巨大的人员和财产损失, 引发较大的社会影响。

3 公路隧道的防火救灾对策

3.1 公路隧道防火救灾的指导思想

公路隧道的防火救灾应该遵循以防为主, 防救结合的原则。救灾的基本理念应该是以人员逃生为主、保护财产为辅, 救灾队伍以隧道管理部门为主, 外援为辅。

3.2 公路隧道火灾安全等级^[3]

公路隧道火灾安全等级, 是指根据隧道在区域

交通网中的重要性和火灾对隧道的危害程度, 将公路隧道按一定的安全标准进行划分的等级。不同安全等级的公路隧道, 其防火救灾对策和防火设施也不同。日本将隧道划分为 A -A 到 D 共 5 个防火设施技术等级, 以单洞交通量 4 000 veh/d 为控制指标, 小于它, 以隧道长度 500 m、1 000 m、3 000 m、10 000 m 为分级点; 大于它, 按隧道长度和交通量的乘积大小分级。

本文根据目前我国公路隧道建设的实际状况和技术水平, 给出了我国公路隧道防火安全等级的划分原则, 防火安全等级从高到低分为 I、II、III、IV、V 五个等级; 依据我国的公路隧道长度分类, 确定隧道防火等级的最低长度为 0.5 km, 不同等级划分的特征长度为 1.0 km、3.0 km、5.0 km、10.0 km; 断面交通量按照高速公路的最低要求为 10 000 veh/d (图 1)。

图 1 中, 隧道长度只是一个等级划分的基础, 而交通量的大小起着决定性的作用。如某隧道, 虽然长度可能超过 10.0 km, 但如果交通量不足 1 000 veh/d 那么它的安全等级只能是 V 级。如果某一个隧道长度仅有 1.0 km, 但交通量高达 50 000 veh/d 那么它的安全等级应该划分为 II 级。又如某一个隧道虽然很长, 开通之初如果交通量不大, 安全等级可以定得低一些, 随着后续交通量的上升, 安全等级必须相应提高 (这里是指那些可以分步实施的安全措施)。与日本隧道防火设施技术等级相比, 这里给出的公路隧道安全等级划分更为科学合理。

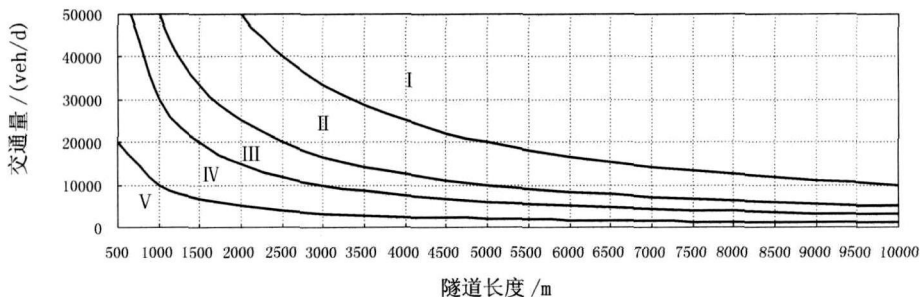


图 1 我国公路隧道的火灾安全等级

Fig. 1 Fire safety grade of highway tunnel in China

3.3 公路隧道防火救灾的宣传教育

公路隧道的防火救灾应该遵循以防为主, 防救结合的原则。关于火灾的预防首先是做好宣传和教

育工作。教育的对象主要是司乘人员、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。宣传教育的方式有培训及散发宣传手册、VCD光盘等,教育的内容包括:①公路隧道的结构特点;②公路隧道行车的车速、车距、超车规定;③公路隧道的报警系统;④公路隧道的消防设施;⑤公路隧道火灾的规律;⑥公路隧道火灾的危害;⑦公路隧道的逃生系统;⑧公路隧道的灭火救灾程序;⑨公路隧道火灾时的应对措施,包括报警、灭火、自救、逃生等。

3.4 公路隧道的交通管理

(1) 公路隧道正常运营管理

公路隧道正常的运营管理,主要是控制隧道内的交通量,限制行车的最小间距和最大行车速度,防止阻塞和交通事故。当然,对于公路隧道必须要建立一套控制车速、车流密度以及超常运输的管理法规。关于这一点,国外研究的比较多,但国内仍然是空白。

(2) 通行车辆的防火等级

车辆防火等级是车辆具有耐火能力的标志。如法国按消防程度将车辆划分为A1、A2、B三种。在有关标准中规定,只准防火等级高的A1类车辆通过隧道。日本运输部门给出运输车辆的A-A、A和B三种结构标准,对于地下隧道通行的车辆、卧铺车

和新干线动力车,均采用防火等级高的A-A标准车辆。因此从公路隧道防火的因素考虑,也很有必要制定类似的车辆防火等级。在隧道的运营管理中,限制防火等级不高的车辆通过,或者采取一些控制措施(如护送、允许其晚间通过),这样将会大大减少公路隧道火灾发生的几率。

(3) 公路隧道危险物品运营管理

目前,我国的公路隧道关于危险货物的运输还没有相应的标准,缺乏相关的管理制度,随着我国公路隧道的不断增多,这些问题亟待解决。在制定公路隧道危险货物运输管理标准时,要针对我国交通隧道关于危险品运输的现状,制定严格的易燃、易爆物品运输规程制度,明确装载哪些危险物品的车辆允许通过隧道、装载哪些危险物品的车辆限制通过隧道、装载哪些危险物品的车辆禁止通过隧道,并在隧道实际运营中严格执行。运营单位也可以从经济、安全、社会等方面综合权衡装载易燃、易爆物品的车辆通过隧道和绕行两种方案的风险,通过分析,采用风险最小的方案。

结合我国公路隧道的具体情况,根据上述的隧道火灾安全等级的划分,本文建议按照表1要求对包括危险品在内的公路隧道运输进行交通控制。

表1 公路隧道交通控制

Table 1 Traffic control table in highway tunnel

交通控制项目	隧道防火安全等级				
	I	II	III	IV	V
车速	低于设计车速 20 km/h	低于设计车速 20 km/h	设计车速	设计车速	设计车速
车距	500~1 000 m	400 m	300 m	300 m	300 m
超高	禁止通过	禁止通过	禁止通过	禁止通过	禁止通过
超重	禁止通过	禁止通过	禁止通过	禁止通过	禁止通过
超长	晚间护送通过	护送通过	护送通过	护送通过	护送通过
易燃、可燃液体	晚间护送通过	护送通过	护送通过	护送通过	护送通过
液化石油气体	晚间护送通过	护送通过	护送通过	护送通过	护送通过
危险化学物品	晚间护送通过	护送通过	护送通过	护送通过	护送通过
爆炸物品	禁止通过	晚间护送通过	晚间护送通过	晚间护送通过	晚间护送通过

注:如果是危险物品的运输车队,应控制其间距为1~2 km,或者仅允许单车通过。

3.5 公路隧道火灾时的通风控制

通风控制在公路隧道的灭火救灾过程中尤为重要。隧道火灾时通风系统必须达到的主要目的是:①提供防止烟流逆流的最小风速;②尽快排出隧道内的烟雾;③降低隧道内的温度;④为逃生通道和避难洞提供新鲜的空气;⑤为消防人员灭火提供新鲜

空气。

对于隧道火灾时风机控制、部分风机损坏时的风机调配、横通道的开启与关闭、烟流排出的路径与速度、逃生通道的空气补给、避难洞的新风需求、隔温安全段的长度和降温措施等,要根据隧道的具体情况,通过数值模拟或者物理模拟确定^[45]。

3.6 公路隧道火灾的监控、消防系统

(1) 公路隧道火灾监控系统

公路隧道监控系统设置的目的是为了充分发挥隧道的通行能力,保证隧道运营安全,满足隧道运营环境要求,减少灾害发生。隧道的监控系统由以下部分组成:①隧道交通控制信号;②隧道两端入口超高检测装置;③隧道内车辆检测环形线圈;④隧道内火灾报警、烟感及温感自动报警装置;⑤隧道内CO浓度检测仪;⑥隧道内烟雾可见度检测仪;⑦隧道两端入口亮度检测仪;⑧隧道内、隧道两端入口、收费亭闭路电视监视;⑨计算机辅助控制系统。

(2) 公路隧道火灾报警系统

① 火灾的报警系统

公路隧道报警设施有三种,即紧急电话、手动报警器和火灾探测器。

② 紧急警报装置

紧急警报设施是安设在隧道洞口外一定距离的、通知隧道外车辆“隧道内发生事故不能进入”的一种装置。通常有三种,即警报显示板、闪光灯和警报灯、音响信号发生器。

(3) 隧道消防设施

隧道内的消防设施有:①灭火器;②消火栓;③给水栓;④喷淋设施。

(4) 其它设施

其它是在隧道火灾或事故状态下,为隧道内车辆和人员提供安全保障的一些设施,应该包括:①专门用于火灾时的一些排烟辅助设施;②为灾害现场人员设置的避难场所和转移通道;③在灾害情况下使用的停车场所;④在灾害状态下指引车辆和人员避难和疏散的导向设施;⑤ I T. V 电视监视系统;⑥紧急照明设施;⑦紧急电源设施。

(5) 隧道防火设施的选择

根据前边给出的我国公路隧道火灾安全等级的划分,表 2给出了与其对应的防火设施的配置建议。与文献[6]比较,表 2更全面、合理。

3.7 隧道建筑材料及附属设施的防火

(1) 隧道建筑材料的防火

隧道建筑材料的防火,主要包括防水材料的高温性能和衬砌混凝土材料耐火性能,以及其它一些阻燃衬砌材料,例如防火涂漆层等。

(2) 隧道附属设施的防火

隧道附属设施的防火主要包括风机的防火、灯具的防火,以及检测设备、监控设备、供电设施的防火等。

表 2 不同火灾安全等级对应的防火设施

Table 2 Fireproofing facilities corresponding to each fire safety grade

防火设施		隧道火灾安全等级					
		I	II	III	IV	V	
通报设备	手动报警器	○	○	○	○	△	
	火灾探测器	感烟探测器	○				
		感温探测器	○	○	△		
		光辐射探测器	○	△			
紧急电话		○	○	○	○		
警报设备	警报显示板	入口处	○	○	○	○	△
		隧道内	○	○	○	○	△
	闪光灯,警报灯		○	○	△	△	
音响信号		○	○	△	△		
消防设备	灭火器		○	○	○	○	△
	消防栓	室内消火栓	○	○	○	△	△
		室外消火栓	○	○	○	△	
	给水栓		○	△	△		
	喷淋装置		○	△	△		
消防车		○	○	△	△		
其它设备	避难洞		○	△			
	避难通道		○	○	○	○	△
	紧急停车带		○	○	○	○	△
	逃生导向设施	灯箱显示	○	○	○		
		洞壁彩色标识	○	○	○	○	○
		有线广播	○	○	○	△	
		无线广播	○	○	○	△	
I T. V		○	○	△			
紧急照明设施		○	○	○	△		
排烟设施		○	○	○	△		
紧急电源设施		○	○	△			

注:表中○表示原则上要设置,△表示根据必要设置。

3.8 公路隧道火灾的救援体系

(1) 公路隧道救援梯队

长大公路隧道救援梯队一般按三级考虑,第一梯队由火区车辆的司乘人员组成,第二梯队由隧道管理人员、灭火人员、警察组成,第三梯队由专业消防人员和医疗救护人员组成。隧道火灾的初期灭火工作一般由第一梯队和第二梯队实施,后期的灭火工作由第三救援梯队完成。从一些隧道火灾实例和典型火灾实验的资料来看,专业救援队伍到达火灾现场的时间不宜超过 10min,否则将失去救援和灭火工作的最佳时间。

(2) 公路隧道灭火救灾组织流程

隧道一旦发生火灾,应尽量在火灾初期灭火,防止隧道内充满烟雾而使救援环境恶化。同时要及

提供确切情报,防止车辆驶向火灾现场,并对驶向隧道出口的车辆给予正确的引导,使其安全撤离失火隧道。公路隧道火灾的救援工作可按图 2 的组织流程实施。

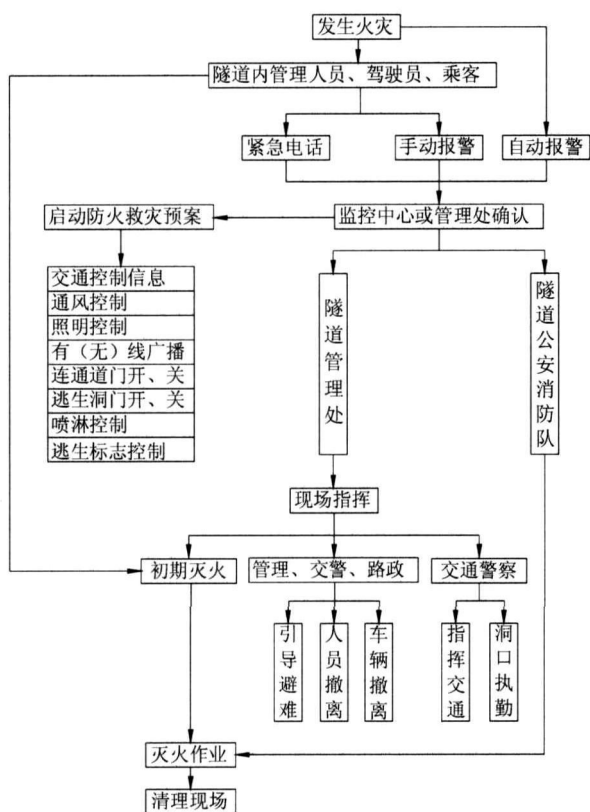


图 2 公路隧道灭火救灾组织流程

Fig 2 Organizational process of fireproofing and rescue in highway tunnel

隧道的灭火救灾预案,是为了在火灾发生时及时开展灭火救灾工作而事先制定好的预备方案。灭火救灾预案通过对各种火灾情况(火灾的量级,火灾发生的位置、火灾的种类等)的事先假定,给出尽可能合理有效的相应对策。一旦火灾发生,它将对灭火救灾工作起指导作用,可以大大减少火灾救援工作的延迟时间,防止混乱和错误操作。

隧道灭火救灾预案的制定要符合安全、可行、经济的原则。预案的内容包括:火灾区段的划分、交通控制、照明控制、通风控制、通讯控制、消防、逃生、疏散、救援等。预案的启动模式是预案中的重要一环,如果火灾发生后预案不能及时启动,预案也就失去了其意义。最好的方式是将灭火救灾预案存储到计算机,由隧道监控设备根据火灾的具体情况所得出的判断,启动相应的救灾预案。当然,对火灾情况的判断也可以由隧道管理人员自己判断,但启动预案的操作要简单。公路隧道灭火救灾的预案,要设专门的课题进行研究,研究方法可采取数值模拟、物理模拟、现场实验相结合的方式。

4 结 语

长大公路隧道防火救灾是一个长期而艰巨的课题,本文从八个方面系统地给出了长大公路隧道防火救灾的基本对策,并给出了不同安全等级公路隧道对应的防火设施配置表和运输危险物品时的交通控制表;完善了公路隧道防火救灾预案的组织流程;提出了公路隧道防火救灾预案的研究原则、研究内容以及具体的研究思路,为长大公路隧道的建设以及防火救灾预案的研究奠定了理论和技术基础。

(3) 隧道灭火救灾预案

参考文献

- [1] HAACK A. Fire safety Conception in Vehicle Tunnel[C]. Proceedings of Highway Tunnel Technical Comm union of 2001' China - Switzerland 2001
- [2] 邓念兵. 长大公路隧道防火救灾对策研究[D]. 长安大学, 2003 - 05
- [3] 夏永旭, 王永东, 邓念兵, 赵 峰. 公路隧道安全等级研究[J]. 安全与环境学报, 2006 (6) (3): 44 ~ 46
- [4] 王永东, 夏永旭. 公路隧道纵向通风数值模拟[J]. 中国公路学报, 2002 15(1): 82 ~ 85
- [5] 夏永旭, 王永东, 赵 峰. 秦岭终南山公路隧道通风方案探讨[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002 22(5): 48 ~ 50
- [6] 中华人民共和国交通部标准. JTG / T D 71 - 2004 公路隧道交通工程设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004

material was fabricated. Research results indicated that the gelling time of it can be adjusted from several seconds to several dozens of minutes, which corresponds with the increase of water ash ratio, the fly ash and sodium silicate mixtures, and shortens with the modulus of sodium silicate varied from 1 to 3.19. The compressive strength of solidified grouting material can surpass 30 MPa under the condition of standard curing for 28 days, which continues to grow with the increase of curing time and modulus from 1 to 3.19, while decreases with the increase of water ash ratio, fly ash and sodium silicate mixtures. This grouting material was successfully applied in the Wuhan Yangtze River tunneling project.

Key words Two-component grouting material; Sodium silicate; Industrial residue; Gelling time

(上接第 51 页)

Multi-shaft blow-in and exhaust ventilation of a road tunnel

Xiang Xiaoqiang Wu Dexing

(Zhejiang Provincial Academy of Traffic Planning and Design, Hangzhou 310006)

Abstract From the analysis of the characteristics of longitudinal ventilation computation for a road tunnel, computing equations and algorithm for multi-shaft blow-in and exhaust ventilation systems are presented in the paper. The algorithm is extended from the computation formula for one-shaft blow-in and exhaust ventilation system according to the axiom of fluid continuity. The most economic designed air volumes on all tunnel sections in a multi-shaft blow-in and exhaust ventilation system can be found out through the method which is of great value for application.

Key words Road tunnel; Longitudinal ventilation; Multi-shaft blow-in and exhaust ventilation; Algorithm

(上接第 60 页)

Countermeasure of Fireproofing and Rescue for Long Highway Tunnel

Wang Yongdong Xu Yongxu Deng Nianbing

(Key Laboratory for Bridge and Tunnel of Shaanxi Province, Chang'an University, Xi'an 710064)

Abstract Based on the causes and characteristics of fire, countermeasure system of fireproofing and rescue for long highway tunnel can be divided into eight parts such as its guiding ideology, fire safety grade, propaganda and education, traffic management, ventilation control, surveillance and fire control, building materials and ancillary establishments, and system of fire rescue. Each subsystem has a detailed fireproofing countermeasure. Contrasting each fire safety grade, the fireproofing facilities and traffic control table to transport dangerous goods are put forward. Organizational process of fireproofing and rescue for highway tunnel is improved, and the principles, the content and the material program of studying the counterplan are put forward.

Key words Tunnel engineering; Fireproofing and rescue; Countermeasures; Transport of dangerous goods; Counterplan research