

文章编号: 1002-0268 (2004) 03-0056-04

# 对特长公路隧道火灾防灾救援安全策略的思考

付修华<sup>1</sup>, 杨其新<sup>2</sup>, 刘化冰<sup>2</sup>

(1. 成都建设工程安全监督站, 四川 成都 610031, 2 西南交通大学, 四川 成都 610031)

**摘要:** 分析了隧道火灾特点和原因, 结合秦岭终南山特长公路隧道火灾试验提出隧道防火的基本原则。通过对隧道火灾防灾的各个子系统的分析, 本文提出的对特长公路隧道火灾防灾救援安全策略的相关观点, 对我国隧道防火设计和火灾救援有一定的指导意义。

**关键词:** 特长公路隧道; 火灾; 防灾救援; 安全策略

**中图分类号:** U459.2      **文献标识码:** A

## Discussion on the Safety Maneuver about Fire Prevention and Succor of Long Highway Tunnel

FU Xiu-hua<sup>1</sup>, YANG qi-xing<sup>2</sup>, LIU Hua-bing<sup>2</sup>

(1. Chengdu Construction Engineering Safety Supervision Station, Sichuan Chengdu 610031, China;  
2 Southwest Jiaotong University, Sichuan Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The authors analyzed the characteristics and cause of tunnel fire. The principles of tunnel fire prevention are put forward basing on the QINLING-ZHONGNANSHAN long highway tunnel fire test. Through the analyses of each subsystem about the tunnel fire prevention, the views on the safety maneuver about the tunnel fire prevention and succor of the long highway tunnel are helpful to fire prevention and tunnel design.

**Key words:** Highway tunnel; Fire; Fire prevention; Safety maneuver

隧道是重要的交通设施, 由于特殊的空间局限, 一旦发生火灾, 扑救和疏散都十分困难。近年来, 伴随特长公路隧道的通车运行, 各类火灾事故也时有发生。由于隧道空间狭小, 纵深较长, 出入口数量少, 封闭性较强。一旦发生火灾, 易形成“火龙式”燃烧, 烟雾难排出, 车辆人员难以及时疏散, 易造成大量人员被困, 且扑救困难。从国内外统计的资料显示, 特长公路隧道内发生火灾的几率与地面车辆发生火灾事故的几率相比要小得多, 但隧道内发生火灾后所造成的后果却严重得多。据统计数据显示, 在1990~1999年间发生的隧道火灾事故世界上共有数十起, 人员伤亡及财产损失严重。

由于交通事业的发展, 交通密度的增长, 行车速度的提高, 各种载有可燃物质的车辆通过隧道数量和频率的增长, 都使隧道火灾发生的频率呈上升趋势。因此, 隧道火灾研究已在国内外普遍引起重视。本文结合秦岭终南山特长公路隧道(18.46km)火灾防灾救援研究, 就特长公路隧道火灾的预防救援安全策略方面进行了探讨。

### 1 特长公路隧道火灾的原因及特点

引起隧道火灾的原因是多种多样的, 但概括起来主要集中在: 隧道电气线路或电器设备短路起火; 汽车化油器燃烧起火; 紧急刹车时制动器起火; 汽车交

通事故起火和车上装载的易燃物品爆炸起火等几个方面,即:隧道内火灾事故的危险性与隧道长度和交通量成正比。因行车密度增长,使带有各种可燃物质(油、化工原料等)的车辆通过隧道的数量和频率都在增长,因此火灾事故也就增多了;隧道内的照明质量下降,行车速度的提高及隧道内线路质量的下降,隧道报警系统不完备和车辆违章驾驶,使火灾事故增多;特长公路隧道的涌现使得隧道内电气设备增多,增大了电气起火的频率;人为破坏(如故意纵火、抽烟、恐怖主义等)。

研究隧道火灾事故表明,影响火灾量级的最终造成危害的主要参数是“时间”;即发现火灾的时间;发出警报的时间;确定火源的时间;实现应急反应过程的时间。隧道火灾的特点主要表现在:失火爆发成灾的时间快,一般为2~10min;火灾的持续时间较长,它与隧道外的环境有关,一般在30min至几个小时之间。隧道火灾产生烟雾浓度大,传播迅速,毒性强;火灾温度高。隧道内一旦起火,顺风下侧的空气温度可达到1000℃以上;隧道火灾将极大的影响隧道内空气压力的分布,而隧道空气压力的变化可导致通风气流流动状态紊乱。如果风速不够大,上层的热气流将相反于压力通风的方向流动,发生“回流现象”。将会阻碍救火工作的进行;隧道火灾使衬砌混凝土强度降低,衬砌结构的整体性受到破坏,影响隧道的安全使用。安全疏散困难,极易发生次生灾害。隧道中发生火灾时,人们情绪紧张,由于拥挤等导致发生意外伤亡。

## 2 特长公路隧道火灾预防救援的基本原则

特长公路隧道的防灾要作为一项系统工程全面进行,要贯穿设计、施工和运营的全过程。参考世界各国的研究成果和成功经验,结合秦岭终南山特长公路隧道火灾模型试验对温度场、压力场以及烟雾的研究,对特长公路隧道火灾预防救援的基本原则可概括为:(1)“以防为主,防消结合”是特长公路隧道火灾防灾的基本出发点。(2)隧道结构应加强防火考虑,设置耐火材料。(3)隧道内应进行合理的防火分区。防火分区的设计应针对可能发生的最不利火灾同时结合救援、排烟以及经济条件等因素统筹安排。(4)建立完善的消防系统。消防系统的设计应采用固定式和移动式相结合的方案,同时满足不同火灾规模和火灾不同发展阶段的灭火需要。(5)设置合理的逃生通道。逃生通道的布设应结合逃生和救援工作的需要综合考虑。(6)合理的火灾通风形式是逃生、控制

火情、排烟和救援的先决条件。对于秦岭终南山特长公路隧道,当其中一条隧道发生火灾时,根据火灾点所处位置不同,通风组织形式应有所区别。(7)隧道火灾报警系统应动作迅速、情报准确,并具有全自动装置,这是隧道内重要的安全设备之一。

此外,在运营过程中健全的安全管理体系对于防灾、救援、减小灾害损失是极为重要的。

## 3 特长公路隧道火灾防灾减灾救援的安全策略

系统、科学、有效的防救灾措施要从相互联系的两个方面进行:一是硬性措施,二是软性措施。

### 3.1 硬性措施

建立以中心控制系统为核心的通风自动控制系统、交通监控系统、火灾自动报警系统、火灾救援系统以及通讯系统是隧道火灾预防、救援措施的重点。根据秦岭终南山特长公路隧道火灾试验的初步研究,隧道内温度场、压力场以及烟雾的传播分布规律,特长公路隧道完整的预防救援系统应重点注意以下几个方面。

#### 3.1.1 隧道结构防火<sup>[2]</sup>

(1)尽可能放宽行车道,减少车辆撞车事故,隧道两侧设置防撞击型侧石,使车辆撞击后不致翻车或反弹到另一条车道,避免发生二次性撞车事故。

(2)隧道结构物的高温防护,隧道拱部应适当加厚衬砌和增加拱部钢筋保护层厚度,或者增加其耐火等级,边墙以上的混凝土衬砌表面采用防火涂料。

(3)从减少火灾时烟雾的毒性考虑,隧道内装修材料应选用不易燃烧和不会放出有毒分解物的材料。

(4)从火灾时的烟囱效应考虑,为了预先掌握隧道火灾时烟气流体的确定流向,便于隧道的消防设计和预先制定消防扑救方案,特长公路隧道推荐采用单面纵坡的形式。

(5)对于油罐车、载有易燃易爆的卡车等发生大规模火灾,可考虑在隧道的低洞口端设计消防封堵门,以便及时断绝隧道内新鲜空气的补给。

(6)为控制烟雾的蔓延距离,减小由其产生的火风压对通风系统的影响,需要设置适当的防火分区和排烟分区。防灾分区的设定要与安全出口和疏散通道等防灾设施的配置设计相适合。根据秦岭终南山隧道的特点以及秦岭终南山特长公路隧道火灾模型试验的结果,秦岭终南山隧道按每3个横通道之间的距离(约750m)设计一个防火区段较为合适。

(7)设置紧急情况下的救援、疏散和安全空间的确保系统。

### a 设计横通道

从防灾的角度出发, 上下行隧道之间的横通道间距设计应从隧道使用者的逃生速度和救援人员的活动范围进行考虑。从秦岭终南山特长公路隧道火灾试验的结果来看, 横通道的间距设计在 300~350m 较为合适。(瑞士的公路隧道设计规程规定为 300m 左右)。

### b. 设置紧急停车带

一般情况下, 紧急停车带设在行车隧道和横通道的交叉处要扩大断面的地方。考虑到秦岭终南山隧道的实际情况, 可每隔一个行车横通道设置一个紧急停车带。每一处的长度按能停两台 12m 长的汽车设置。

### c. 设置中间服务隧道

服务隧道在特长公路隧道的施工期间可作为了解地质情况, 预先处理不良地质、超前排水及涌水的空间。而运营时, 它可作为躲避火灾的紧急避难坑道和管理坑道。目前, 世界各国已建和在建的长度大于 10km 的公路隧道中约有 5 座隧道设有中间服务隧道。它可根据实际情况选择设计。

## 3.1.2 建立可靠的探测报警系统和通讯系统

火灾探测和报警系统是隧道防灾中最重要的系统。隧道火灾可采用感烟式、感光式和感温式线性探测器自动探测。感温式线性探测器性能稳定可靠性高; 感光式传感器反应快, 但最怕脏, 由于隧道内烟尘较多, 感光式传感器不太适合, 一般应使用感温式线性探测器, 以温升速率和最大温度同时作用来达到报警目的。现在更先进的双波长探测器比感温式线性探测器更灵敏, 它可在隧道侧壁安装, 降低安装维护费用; 监测范围广, 零污染情况下, 可对左右侧距离 35m, 前方半径 40m 范围进行监控; 火灾检测功能强, 因污染后, 在感光率降低 50% 的条件下, 仍能发挥其作用; 灵敏度高, 在监视范围内  $0.5\text{m}^2$  ( $0.7\text{m} \times 0.7\text{m}$ ) 的汽油燃烧时, 探测器 30s 内报警, 且不受风速、环境、温度的影响; 防护等级高, 可直接用水冲洗, 但其价格较其它探测器高。以上探测器可依据实际情况选用。

隧道火灾的报警要采用自动和人工报警相结合的方式。自动报警器, 火灾发生时, 由安装在现场的火灾探测器得到信号并传送到中控室; 手动报警器, 报警者按下开关, 报警信号即传送到中控室; 紧急电话, 报警者取下受话器就可以和指挥中心联系。

此外, 隧道火灾一般还要设置与消防设备联动的多道报警方式。包括: 消防箱门联动开关, 打开其中一扇门, 中央控制室就得到报警信号, 同时电视机自

动显示; 提起灭火器时中央控制室得到报警信号; 隧道内设置人工报警按钮, 如 P 型手动报警按钮; 隧道内设置紧急电话箱, 电话箱打开中央控制室得到报警信号, 电视机自动显示, 通过电话可报告火灾情况等。所有这些报警均直接通向中央控制室, 待中央控制室值班人员确认后再向消防队报警, 以免误报。

## 3.1.3 建立设置合理的消防梯队和消防设施

隧道内一旦发生火灾应尽可能地使其限制在最小范围内, 为此可设置 3 个消防梯队, 并各自分别配置有效的灭火设备。第 1 梯队是隧道使用者包括司机和乘客。

第 1 梯队总是首先发现和面临火灾, 但是他们没有专门的消防技术, 因此隧道消防箱内所设置的消防设备必须充分考虑到有醒目的标志, 以方便地辨认和操作。第 2 梯队是隧道管理人员组成的兼职消防队。第 2 梯队是在火灾发生后一段时间才能到达火灾现场, 他们具有专门的消防技能但一般不携带设备, 而是使用隧道内的灭火设备。根据欧洲道路隧道的运营经验和国际道路协会常设委员会 (PIARC) 的推荐, 第 1、第 2 梯队灭汽油火灾的最佳消防设备是轻水 (light water) 灭火系统。第 3 梯队是地方专业消防队。第 3 梯队携带自备的灭火设备, 由隧道内供给充足的水源。

根据火灾时, 隧道内温度随时间的变化规律可知, 一般在起火后的 2~10min, 就已经失火成灾, 因此, 地面专业消防队到达现场灭火的时间应尽可能少于上述时间。如欧洲消防规范规定: 隧道发出火灾报警后 11min 内地方专业消防队应赶到火灾现场进行灭火活动。

对于隧道内消防设施的设置, 依据国际道路协会常设委员会 (PIARC) 的推荐可分为四类: 隧道长度小于 500m 则设置常规消防设施 (消火栓、水龙带、水枪和灭火机等) 和第 3 梯队; 隧道长度 500~1200m, 则隧道内除设置常规消防设施外, 还需设有自动火灾报警装置和第 3 梯队; 隧道长度 1200~2500m, 则隧道内除设置常规消防设施和自动火灾报警装置外, 还需设有轻水灭火系统和第 3 梯队; 隧道长度超过 2500m, 则隧道内除上述所有设备外并要求建立隧道独立的消防队。

## 3.1.4 合理正确的防灾救援系统

### (1) 火灾情况下的通风组织

就秦岭终南山特长公路隧道在双洞单向行车环境而言, 当其中一条隧道发生火灾时, 火灾隧道按火灾救援风速通风。另一隧道主风机按正常运营通风, 用

射流风机保证打开的联络通道处火灾隧道的风压小于正常运营隧道风压,使火灾隧道的烟雾和高温气体不蔓延到另一隧道。火灾情况下的风流组织应视逃生和灭火救援工作的进度分阶段实施。当发生火灾后首先应调整风机运行状态,采用救援风速控制火灾的发展和烟气流动方向,待隧道内逃生人员完全安全撤离后,启动排烟通风组织系统。排烟通风组织系统的机械通风应根据火灾点的位置选择不同的通风方向,排烟的基本原则是使烟气沿较近的竖井排出。因此,在实施排烟通风组织时隧道内部分射流风机可能要出现逆转现象。在终南山隧道火灾试验中,观察到当隧道内提供  $2\text{m/s}$  的风速时就可防止火灾烟流产生“回流现象”,值得注意的是,在灭火阶段灭火活动必须与排烟组织协调一致,消防人员所处的位置以及出入火灾现场的方位均应选在上风侧,同时隧道内风机必须要提供大于  $2\text{m/s}$  的纵向风速。

### (2) 火灾情况下的行车安全疏散组织

火灾情况下的行车组织示意图如图 1。具体组织情况如下:隧道内发出火警后两条隧道同时关闭,严禁车辆驶入;打开发生火灾隧道所有火灾点上风侧横通道;火灾下风侧的车辆快速有序地驶出事故隧道;火灾点上风侧车辆通过横通道安全疏散到另一座隧道;未发生火灾的隧道改为双向行车,同时行车速度限制在  $30\text{km/h}$  以内,并严禁超车。以下以一种隧道火灾工况为例给出了行车组织示意图 1。

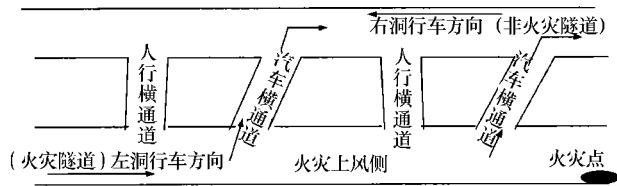


图 1 火灾情况下的行车组织示意图

同时人员下车后要求在一个防火区段内进行安全疏散,因人的疏散路线具有不确定性,其疏散行为和时间能否在火灾危及生命之前使人员到达安全地方,还需对建立隧道火灾安全疏散模型进行研究,此部分作者将另文研究。

### 3.1.5 建立有效的烟雾控制系统

对于特长公路隧道,排烟和通风系统的设置是必不可少的。火灾时产生的大量烟气仅靠机械处理是不够的,最好设置能处理大量烟雾的排烟塔构造。

设定的火灾烟雾控制系统要重点考虑火灾刚发生时,如何进行风流控制,使火灾蔓延最小。当车辆驶出火灾隧道区段后,如何进行风流组织,及时灭火。对于双洞和设置辅助坑道的情况,如何确定横通道的

开关位置,使其既能及时疏散人流和车流,又不至于使火窜入另一未发生火灾的隧道。

由于火灾时隧道断面上拱顶温度一般是最高的,因此,对于安设在顶部的通风设备要特别考虑耐火和高温防护。同时,由于特长公路隧道火灾时会产生强大的火风压,因此,隧道通风方案要特别注意其影响。

### 3.1.6 合理的布设电气管线

在防灾设计中,电缆布置的基本原则是:在救援、灭火过程中隧道内动力、照明以及通讯用电应保证不间断供应。基于以上基本原则,推荐以下两种布线方案,可根据具体的情况选用。

方案一:在上下行隧道之间修建独立的电缆隧道,上下行隧道共用一条电缆隧道。

方案二:将照明、通讯以及动力用电的主电缆埋置在隧道混凝土衬砌中,并实现隧道内分段供电,供电区段按横通道之间的隧道区间为设置单位较为合适。从相关的火灾模型试验的情况来看,电缆在隧道混凝土衬砌中的埋置深度达到  $20\text{cm}$  以上即可满足防灾要求。同时灯具、电话箱和灭火箱等均采用非燃烧材料制成,电缆线应采用阻燃电缆或耐火电缆,各类电器线路应穿管保护。

### 3.1.7 合理的运营安全管理体系

秦岭终南山特长公路隧道属于高等级公路隧道,为适应隧道使用者的心理状态,除了在隧道照明、内部装修等方面要做特殊处理以外,行车速度和行车间距也必须加以限制。当隧道内发生非火灾事故时,车辆应尽量停靠在紧急停车带处。若停靠紧急停车带处有困难时,车辆应尽量停靠在行车道的右侧,以免影响后面的车辆行驶,同时,司乘人员应下车等待,并作好停车路标。从国外特长公路隧道火灾的伤亡统计资料来看,多数遇难者是被大火围困在车内,进而被烧死或窒息而死。因此,当车辆发生事故时下车等待是比较明智的选择。

对于载有不同种类的易燃易爆物品的车辆,秦岭终南山隧道应区别对待。首先应对易燃易爆物品作好充分的统计和分类,对于载有爆炸物品和高度污染、强辐射物品的车辆应禁止通行,对于载有其他易燃、可燃物品的车辆应采取限制通行和管制通行的措施。

### 3.2 软性措施

防火对策中除了合理设置防火设备、消防设施等硬性措施以外,还要布设合理的照明设备等其它隧道机电设备。除此以外,还应对隧道及其它设施的使用者进行防火安全的社会教育等软性措(下转第 63 页)

大趋势。

这是因为在通风风速相同情况下，当实验隧道长度一定时，则烟流浮力效应是主要的，烟流摩擦阻力是次要的。所以随着火灾规模的增大，火区下游（6m）和火区下游（80m）全压差有增大趋势。

3 结论

（1）在同等火灾规模情况下，随着风速的增加，火区上游和火区下游全压差逐渐减小。（2）在通风风速小于 3.0m/s 情况下，随着火灾规模的增大，火区上游和火区下游全压差有增大趋势。（3）在通风风速大于 3.0m/s 情况下，随着火灾规模的增大，火区上游和火区下游全压差变化不大。（4）隧道内的压力分布呈现一种紊动的状态，其紊动的强弱与火灾规模以

及火焰燃烧的剧烈程度有关。（5）在同等火灾规模情况下，随着风速的增加，火区下游一段隧道的全压差有逐渐减小趋势。（6）在通风风速相同情况下，随着火灾规模的增大，火区下游一段隧道的全压差有增大趋势。

参考文献:

[1] 王明年, 等. 秦岭终南山特长公路隧道网络通风研究 [J]. 公路交通科技, 2002, 19 (4).  
[2] 王明年, 等. 隧道智能监控中心计算机系统 [J]. 公路交通科技, 2001, 18 (2).  
[3] 王明年, 等. 秦岭终南山特长公路隧道防灾方案研究 [J]. 公路, 2000, 11.  
[4] 韩昭沧. 燃料和燃烧 [M]. 冶金工业出版社, 2002  
[5] 赵坚行. 燃烧的数值模拟 [M]. 科学出版社, 2002

（上接第 59 页）施，要考虑到软对策和硬对策是相辅相承、相互关联的关系，软性措施也是极其重要的。

（1）隧道管理方需要建立完善和有效的防救灾管理制度和政策，并切实地执行。同时就隧道及其设备的使用要通过各种途径向隧道使用者通告，以使人们熟悉这些设备，并能正确的使用。定期对隧道工作人员就火灾救援预案进行培训，使得每个人都清楚火灾时该如何处理。针对秦岭终南山特长公路隧道，因其设计安全等级为一级，可定期对隧道的安全状态进行检查和评估，并根据隧道的运营情况提出新的防火措施和方法。在获得基础火灾安全信息资料时可以通过以下设计的火灾安全检查表（Fire Safety Check List）进行获取，它是一种最基础的系统安全定性分析法。根据有关的防火安全规范、规定、标准和经验等，把要检查的项目、要点按一定顺序列成表格，作为检查的依据。根据检查隧道火灾的对象和目的的不同，火灾检查表可分为装运易燃易爆物品车辆防火安全检查表、隧道消防报警设施安全检查表、日常安全检查表、火灾隐患整改安全检查表等，样表如表 1。

防火安全检查样表 表 1

| 检查项目 | 检查内容 | 检查结果      | 检查日期 | 处理意见和措施 |
|------|------|-----------|------|---------|
|      |      | (是打○ 否打×) |      |         |

（2）隧道使用者需要配合隧道管理方的指挥，遵守交通法规和隧道的交通管制，并通过隧道管理方提供的途径，熟悉隧道及其设备的使用。

（3）加强隧道防火工作的研究。  
包括隧道火灾预防技术的研究，如防火花措施，

车辆阻燃、防火技术，隧道火险报警，隧道管理和保卫，以及隧道防火委员会和专门的专家监督机构设置等。隧道火灾救援技术的研究，如隧道特定条件下的燃烧理论及各种材料的燃烧条件、燃烧过程、燃烧特征，火灾烟气流的流动及热传导、辐射规律、火灾探测、报警、扑救技术，隧道通风排烟，消防救援，火灾条件下的通讯联络、人员安全疏散组织和防毒技术等。隧道火灾灾后修复处理的研究，如火灾事故调查的内容、方法及处理，隧道修复工程等。

4 结束语

通过对隧道火灾的分析，本文相关观点对我国隧道防火设计和消防救援有一定的指导意义。依照此火灾防灾救援安全策略制定详细的“长大公路隧道紧急消防执行预案”，让隧道的使用者和管理人员定期培训学习，一旦发生火灾，相关人员就能按照该预案进行处理。同时要在交通隧道设计、建造以及运营管理阶段都要贯彻防火意识。最大程度地解决地下交通隧道的安全问题，让地下交通的自身优势更充分地发挥出来。

参考文献:

[1] 杨其新, 等. 秦岭终南山特长公路隧道火灾救援技术研究报告 [D]. 西南交通大学, 2002 (10).  
[2] Michael Vollmer 易北河隧道的新型防火系统 [R]. 隧道, 2001 (2).  
[3] 李晓春, 等. 浅谈隧道机电工程 [J]. 公路, 2000 (1), 35—39.