

基于救援风险的隧道群消防力量优化^{*}

姜学鹏，徐志胜

(中南大学 防灾科学与安全技术研究所, 湖南 长沙 410075)

摘 要: 高速公路隧道群区段消防力量设置为影响救援效率的重要因素。以消防车辆应急响应时间作为消防救援风险的判断标准, 提出了基于救援风险的消防力量优化流程及方法。以浙江公路苍岭隧道群区段为例, 在对其消防灭火救援风险分析的基础上, 提出优化隧道群区段消防力量的构想, 以期提高应急救援的时效性。

关键词: 隧道群; 救援风险; 消防力量; 优化

中图分类号: U459.2; U492.8⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)02-0092-04

近年来, 我国特长公路隧道及其隧道群数量迅速增加。目前国内出现了浙江苍岭隧道群、重庆羊角隧道群、铁峰山隧道群等多座长度超过 6 km 的特长公路隧道及其隧道群。虽然大部分的意外事故发生在一一般开放路段而非隧道内^[1], 但高速公路通车后带来庞大的交通量, 加之隧道群区段隧道密集、隧道间距短、互通距离长等特殊结构和环境条件, 使隧道内各项意外事故的发生频率以及事后救援所需的救灾力量随之增加, 势必影响到当地原来的消防资源分配。

火灾是公路隧道可能发生的最严重事故之一。公路隧道发生火灾后, 主要有三种人员参加灭火抢救: 一是路过隧道的乘用人员包括司机和乘客; 二是隧道管理人员组成的兼职消防队; 三是专业的公安消防队伍。从救援能力来看, 司机和乘客一般缺少专门的消防知识; 隧道管理所的兼职消防队能熟练掌握隧道内消防设施的使用方法, 可以扑灭一些小规模火灾; 专业消防队虽然灭火力量最强。但高速公路全程封闭, 以互通式立体交叉或进出口匝道与地面道路相连接的特性, 使专

业消防力量只能通过两端的互通驶入, 驰援距离过大, 很难及时赶到火灾现场。隧道群区段消防力量布局已成为影响救援效率的重要因素。

消防力量包括消防车辆、人员、设备等, 我们以消防车辆响应时间作为消防力量的标志, 则隧道群区段消防力量的优化是使消防车辆最终满足各隧道火灾应急响应时间的需求。我国以“5 min 消防时间”作为城市消防力量布局的基本原则^[2], 但对高速公路隧道群的消防力量设计并无明确规定。欧洲消防规范规定: 隧道发出火灾报警后 11 min 内地面专业消防队应赶到火灾现场进行灭火活动^[3]; 日本规定隧道消防单位应于 15 min 到达平地隧道, 20 min 到达山区隧道现场^[4]; 此外, 世界道路协会(PIARC)则建议对于长度超过 2 500 m 的隧道应建立隧道独立的消防队^[5]。目前从救援风险角度考虑消防力量布局已经成为一个研究热点^[6,7], 我们在对苍岭隧道群火灾事故救援风险分析的基础上, 针对消防资源的现状, 提出相应的改善措施, 以期实现消防资源的优化和救援的时效性和安全性。表 1 为苍岭隧道群特性表。

表 1 苍岭隧道群特性表

序号		1	2	3	4	5	6	
洞 名	横	镇头隧道	苍岭坑 1#隧道	苍岭坑 2#隧道	苍岭隧道	大庙坑隧道	浣溪隧道	横
隧道全长/m	溪	210	365	454	7605	210	327	溪
隧道净宽/m	互	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	互
人行横通道/m	通	-	-	-	250	-	-	通

说明: 隧道群区段全长 15.7 km, 隧道总长 9.171 km, 约占路段总长度的 58%。

^{*} 收稿日期: 2007-10-21

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划项目(2002BA803B04、2002BA806B03)

作者简介: 姜学鹏(1976-), 男, 山东平度人, 博士, 主要从事安全防灾与应急管理研究。E-mail: jxp5276@126.com

1 消防应急救援的风险性分析

公路隧道内行车空间封闭,若因各种原因发生火灾,在隧道内可产生 1 000℃ 高温及浓烟,可能引起重大伤亡,并使消防救灾人员无法进入抢救,故隧道消防应急具有显著的时间紧急性。

1.1 救援到达事故地点所需时间

高速公路全线封闭、控制进出的特性,使消防车辆必须经隧道群两端互通立交连结才能赶赴事故现场,因此高速公路互通位置与消防单位的距离关系到实际救援力量的传递时效。

消防单位到达事故现场时间的计算需先确定确定隧道附近的救灾单位的位置,同时依照道路相关规定的速度限制、实际距离与交通状况求得到达互通匝道的时间(T_a)、由匝道至隧道口的时间(T_b)、由隧道口至事故地点的时间(T_c)。将消防单位由基地出发,经过最近匝道到达隧道口的时间加上隧道口到事故地点的时间,即为救援时

间 T 。基本公式如下: $T = T_a + T_b + T_c$ 。

(1) 消防单位到达互通立交所需时间 T_a

一旦苍岭隧道群区段隧道内发生火灾事故,消防单位仅能于就近的互通匝道进入救援,因此救援的路线受制于互通位置的分布。

依据横溪镇和壶镇的消防单位距邻近交流道的相关位置,计算出所需行驶距离且预估救援所需时间(表 2)。

表 2 消防单位与互通的距离及到达时间

	最近的互通道口	估算最短的距离/km	估算最短到达时间/min
横溪镇消防	横溪互通	1.5	2
壶镇消防	壶镇互通	2.5	3

* 假设消防车辆的行驶速度为 50 km/h。

(2) 消防单位到达各隧道入口处所需时间 T_b

台缙高速公路的设计时速为 100 km,由于隧道火灾事故对区域车流的阻滞作用,假设消防车在高速公路上的行驶速度为 80 km/h,则得到救灾单位到达各隧道入口处所需时间 T_b (表 3 和表 4)。

表 3 横溪消防从横溪互通处到达各隧道所需时间(西→东)

隧道名称	镇头隧道	苍岭坑 1#隧道	苍岭坑 2#隧道	苍岭隧道	大庙坑隧道	浣溪隧道
横溪互通距隧道的距离/km	6.4	7.3	8.1	9.9	20.2	21.6
至隧道西端时间/min	4.8	5.5	6.1	7.5	15.2	16.2
从消防站经互通到隧道端,所需时间/min(消防站到互通所需时间为 2min)	6.8	7.7	8.1	9.5	17.2	18.2

表 4 壶镇消防从壶镇互通处到达各隧道所需时间(西←东)

镇头隧道	苍岭坑 1#隧道	苍岭坑 2#隧道	苍岭隧道	大庙坑隧道	浣溪隧道	隧道名称
18.5	17.4	16.5	7.6	4.7	3.2	壶镇互通距隧道的距离/km
13.9	13.1	12.4	5.7	3.6	2.4	至隧道东端时间/min
16.9	16.1	15.4 m	8.7 m	6.6	5.4	从消防站经互通到隧道端,所需时间/min (消防站到互通所需时间为 3 min)

(3) 消防单位从隧道入口到达火灾现场所需时间 T_c

由于消防车辆可由对向隧道进入事故隧道,而对向隧道内的车辆在事故发生后会立即驶出隧道且禁止车辆进入,故消防车辆在对向隧道内的行驶速度不会受到较大的影响。采用隧道的设计时速 80 km 计算 T_c 。假设火灾发生在苍岭隧道的中

点,则得到 T_c 为 2.9 min。

由于除苍岭隧道外的其它隧道较短,都不超过 500 m,其 T_c 可假定为 1 min。

依据消防单位到达互通匝道、到达各隧道入口、到达火灾地点所需的时间,可推算出当各隧道发生紧急事故时,消防单位总共所需的时间(表 5 和表 6)。

表 5 横溪消防从消防到达火灾现场总共所需时间

横溪消防	横溪消防使用横溪互通(西→东)					
隧道名称	镇头隧道	苍岭坑 1#隧道	苍岭坑 2#隧道	苍岭隧道	大庙坑隧道	浣溪隧道
总共所需时间/min	7.8	8.7	9.1	13.4	18.2	19.2

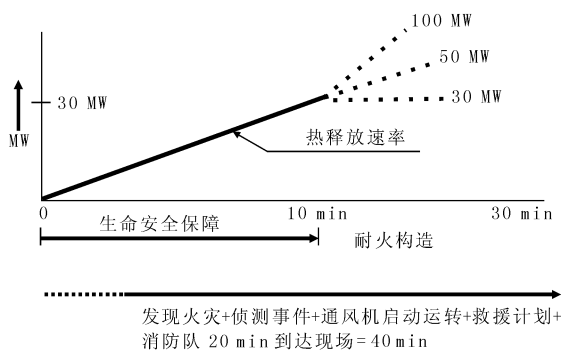
表 6

壶镇消防从消防到达火灾现场总共所需时间

壶镇消防使用壶镇互通(西←东)						壶镇消防
镇头隧道	苍岭坑 1#隧道	苍岭坑 2#隧道	苍岭隧道	大庙坑隧道	浣溪隧道	隧道名称
17.9	17.1	16.4	11.6	7.6	6.4	总共所需时间/min

1.2 消防救援的风险性分析

影响隧道火灾量级并影响生命安全的主要参数是“时间”，隧道火灾所造成的危害随着时间延迟而增大。对于公路隧道火灾的消防最佳救援时间，周胤德^[8]和 Tan^[9]认为消防人员应在火灾警报发布后的 5 min 内抵达现场营救；黄彦斐^[10]认为隧道火灾特别是长大隧道火灾其黄金救援时间只有短短 6 min；Akisato Mizuno^[11]、邱琳滨^[12]和陈福胜^[13]认为从起火到爆发成灾经历的时间最多只有 10 min，专业救援队伍到达火灾现场的时间不宜少于上述时间，否则将失去救援和灭火工作的最佳时间。图 1 为人员逃生、救灾等应变行为与火灾规模关系示意图；世界道路协会(PIARC)的隧道运营技术委员会(C5)认为大多数情况下消防队和救援组要在事故发生 10~15 min 后才能到达现场，超过这段时间将很难营救成功^[14]；文献[15]认为就一般隧道常发生的火灾情形来说，若能在最初期的 15 min 内，使救援单位能快速对人员进行疏散，同时在火势蔓延之前进入隧道加以控制，则灾害造成的损失将可减至最低。显然，火灾发生后，越早救援越好。本文取上述文献的中间值，以火灾发生后 10 min 为消防救援风险的判断标准。消防车应在 10 min 的约束时间范围内到达事故现场，超过了 10 min 的约束时间，消防应急所能实现的价值将大大降低。

1 人员逃生、救灾等应变行为与火灾规模关系示意图^[13]

从以上分析可以得到，对横溪消防分队来讲可以在 10 min 之内到达镇头隧道、苍岭坑 1#隧道、苍岭坑 2#隧道，到达苍岭特长隧道的时间为 13.4 min；对壶镇消防分队来讲可以在 10 min 之内到达

浣溪隧道、大庙坑隧道，到达苍岭特长隧道的时间为 11.6 min。除苍岭特长隧道的消防救援力量较弱外(壶镇和横溪消防都无法在 10 min 之内到达)，其余隧道发生火灾时的救援力量皆相对较强，东西方向均有一个消防分队能于 10 min 内赶赴救援，这与苍岭隧道群(1 特长隧道 + 5 短隧道)构成特性和苍岭特长隧道的防灾及应急救援要求不符合，故认为苍岭隧道群，尤其是苍岭特长隧道的火灾应急救援风险较大。

文中消防响应时间都是估计值，实际应急救援所需时间受当时交通状况和隧道内部事故现场情况等影响较大。同时通过对横溪、壶镇消防力量调研得知，原本地方消防分队任务仅包含地方性救灾，在增加高速公路救援任务后，消防车辆、人员、设备等都显不足。如果隧道群与地方同时发生火灾或隧道群区段同时发生多起火灾，将给消防单位造成极大的工作压力，故需对隧道群的消防力量进行改善，以提高应急救援能力。

2 隧道群消防力量优化

2.1 消防力量优化方法

就灭火救援力量布局而言，其目标是最大限度地降低人民生命及财产损失风险。消防力量优化是指最终满足各风险区域火灾应急响应时间需求。显然，设立隧道专职消防队或增强地方消防力量是两种常用的方法，但上述两种方法存在一定的优缺点。

(1) 增强地方消防力量

优点：布点分散，可针对苍岭隧道群组快速救援、辖区及救援路线缩短、必要时可双向救援、消防资源平时可供地方使用等。

缺点：受隧道群构成和地方交通状况影响，赶赴救援困难；对救灾动线及环境不熟悉、对隧道仪器设备运作不熟悉、战力分散、缺乏处理隧道火灾的经验等。

(2) 在苍岭隧道管理站设立专职消防队

优点：救灾战力强、对救灾路线及环境熟悉；对隧道各项设备位置及仪器操作熟悉、与管理单位联络通报便利、较地方消防队救援快速等。

缺点:救灾资源无法与地方分享、所需大量经费。

2.2 优化方案的建议

隧道越长安全等级越高,其对应应急救援力量的需求也越高。因此,隧道群区段灭火救援力量的布局应当以最大限度降低苍岭特长隧道风险为出发点,再考虑最大限度地降低其他较短隧道火灾风险。

但从表 5 和表 6 看出,风险小的短隧道得到了较快的消防响应,而风险大的苍岭特长隧道却得到了较慢的消防响应。目前,厦门翔安海底公路隧道将在隧道两端各建一个消防站,并组建全国首支专业的隧道事故救援队;秦岭终南山公路隧道在处于中间位置的 14 号车行横通道内设置了消防值班点,该站点距南口 8 km、北口 10 km,消防队员可在 8 min 内即可赶到隧道内任何一处事故现场;勃朗峰隧道在隧道中部还新建了一个紧急救援中心,以保证救援人员在 5 min 内能够达到事故现场。借鉴上述特长隧道的经验,考虑苍岭隧道群构成情况、隧道火灾救援的紧迫性和困难性,认为在苍岭特长隧道管理站设立一个 24 h 待命且专属于高速公路救援的消防队,是一个快速且容易立即提升救援能量及效率的方法。

针对两种方案的优缺点,隧道管理专职消防队与地方消防队应互为补充,在遵循“在隧道火灾时,以隧道管理专职消防队为主、地方消防队为辅;在地方救灾时,以地方消防队主、隧道管理专职消防队为辅”的原则下,实现救灾资源共享、缓解经费紧张状况。设立于隧道监控中心的消防分队,主要职责为处理隧道群的意外事故,尤其是针对隧道内火灾事故的救援,训练方面可强调隧道方面的搜寻、抢救、灭火等各项应急行动,使其拥有专业的特殊技能及救援经验。对地方消防队员可定期进行有关隧道的救灾技能培训,以备事故扩大时可以立即加入救援行列。

此外,针对公路隧道群网络化分布及隧道群区段处于不同行政区的情况,隧道管理专职消防队与地方消防队之间、地方消防队与地方消防队之间应建立跨区域或协作区应急救援协调联动机制,以确保紧急救援任务的圆满完成。

3 结论

(1) 针对高速公路封闭性、控制出入的特点以及隧道火灾事故处理的紧迫性,提出了基于救援风险的消防力量优化布局方法,以弥补高速公路隧道

群区段的灭火救援力量布局无标准可依的不足,能够使有限的灭火救援力量资源得到更加有效地利用。

(2) 以浙江台缙高速公路苍岭隧道群区段消防灭火救援风险分析为例,探寻隧道群消防力量与隧道群所需消防安全性能之间的匹配关系,提出改善隧道群区段消防力量布局的构想,建议在苍岭特长隧道管理站处设立一个 24 h 待命且专属于高速公路救援的消防队。

(3) 以火灾发生后 10 min 为消防救援风险的判断标准,有待进一步商榷。应针对隧道火灾的成灾时间及消防救援的最佳时间进行深入研究,从而为灭火救援风险的探讨提供可靠的依据。

参考文献:

- [1] United Nations, Economic and Social Council, "Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels" Final Report [R]. 2001.
- [2] 中华人民共和国建设部标准[2006]42 号. 城市消防站建设标准(修订)[S]. 北京:中国计划出版社,2006.
- [3] 闫治国. 长大公路隧道火灾研究[D]. 成都:西南交通大学,2002.
- [4] "交通部"台湾国道高速公路局. 长隧道安全管理研修报告书[R]. 1995.
- [5] 付修华,杨其新,刘化冰. 对特长公路隧道火灾防灾救援安全策略的思考[J]. 公路交通科技,2004,21(3):56-59.
- [6] 周超,徐建明. 基于火灾风险分析的消防力量优化布局[J]. 武警学院学报,2007,23(2):22-24.
- [7] 吴军. 基于风险的灭火救援力量优化布局[J]. 消防科学与技术,2004,23(2):179-181.
- [8] 周胤德,汤辉雄,忻元发,等. 由阿尔卑斯山法、意隧道连续重大火灾事故探讨公路长隧道之安全与管理[J]. 台湾公路工程,2006,32(8):2-22.
- [9] G. L. Tan. Fire fighting in tunnels [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2002, (17): 179-180.
- [10] 黄彦斐. 公路长隧道事故救援策略之多准则决策模型[D]. 台中:台湾逢甲大学,2005.
- [11] Akisato Mizuno & Hideo Yae. On the strategy of securing an evacuation environment in a tunnel fire[C]//4th International Conference on Tunnel Fires, Basel, Switzerland, 2002: 33-40.
- [12] 邱琳滨,李胜宗. 国道东部公路苏澳花莲段隧道规划设计之探讨[J]. 岩石力学与工程学报,2004,24(S2):5207-5213.
- [13] 陈福胜. 公路隧道安全及其衬砌结构防火考量探讨[EB/OL]. <http://www.cec.org.tw/book/67/67bk7a.htm>.
- [14] 张慧斌. 公路隧道安全的人为因素[J]. 公路,2003,(10):14-18.
- [15] 简贤文. 长公路隧道安全管理标准作业程序范例[R]. 台湾财团法人中华顾问工程司,2004.

(下转第 100 页)