

# 地铁隧道火灾人员疏散与烟气控制

王迪军<sup>1</sup>, 罗燕萍<sup>1</sup>, 李梅玲<sup>2</sup>

(1. 广州市地下铁道设计研究院, 广东 广州 510010; 2. 广州市消防支队, 广东 广州 510660)

**摘要:**在分析目前国内外地铁隧道火灾人员疏散方式的基础上, 建议采用提高疏散效率且基本不增加投资的侧向疏散平台加联络通道的疏散方式, 同时分析了隧道烟气控制的有关因素, 给出了典型隧道烟气控制的临界风速(危急空气流速)。

**关键词:**隧道; 疏散; 烟气控制; 临界风速

**中图分类号:**U231, X924 **文献标识码:**B

**文章编号:**1009-0029(2004)04-0345-03

地铁隧道内的空间相对封闭, 人流密集, 通道极少, 疏散条件差, 一旦发生火灾, 产生的热烟气较难控制排除, 且火灾不易于扑救, 容易造成较大人员伤亡事故。从目前国内现行有关规程和规范来看, 尚未对区间隧道火灾时人员疏散方式有较明确的规定, 而国内不同城市地铁所采用的疏散方案不完全一致。因此有必要对地铁隧道内火灾发生情况进行分析, 找出较完善的区间隧道人员疏散方式。同时, 在疏散过程中, 必须较好地控制火灾烟气排除方向与人员疏散方向相反, 合理地确定烟气控制临界风速。

## 1 区间隧道火灾原因分析及紧急处置

区间隧道内发生火灾主要有以下三种情况:

### 1.1 区间隧道内设备、电缆及辅助设备发生火灾

由于区间隧道内几乎无可燃材料, 产生的火灾规模相当有限, 因此, 这种情况的火灾一般不会影响行车安全。若发生火灾, 行驶中的列车应尽快驶离此事故隧道进入前方车站, 并同时向控制中心报告灾情, 由控制中心调度指挥事故的处理。同时, 应暂时停止事故隧道的正常运行, 消防人员由靠近火灾的一端进入事故隧道内实施灭火, 同时隧道通风系统按与消防人员进入一致的方向送风, 在另一端排风。

### 1.2 车厢内乘客行李或列车顶部电气设备发生火灾

此种情况的火灾比较容易被发现, 地铁乘客一般不会有大量行李(乘客所携带行李的体积有限制)和不允许携带易燃易爆物品, 火灾发生过程从阴燃到轰燃阶段也需要一定的时间, 一般不会出现突发性的大范围火灾。列车顶部的电气线路、照明、空调器等发生火灾, 同时由于列车牵引系统在列车的底部, 此种情况一般也不会影响列车继续行驶, 列车通过区间隧道的时间一般在 2 min 左右。因此, 列车应尽快驶入前方车

站, 在前方车站组织乘客疏散, 利用车站的消防设施灭火和车站隧道排风(排烟)系统排除火灾产生的烟气。

### 1.3 列车底部构件发生火灾

列车的车体框架均采用不燃材料制造, 其运动控制部件(如列车牵引系统、控制系统、通信系统等车载部件)均设于列车底部, 基本上也采用不燃材料制造, 只有少量的密封部件、润滑油等为难燃材料。当列车底部发生火灾时可能会影响到列车继续行驶, 因此列车司机应尽可能将列车驶向前方车站, 同时向控制中心报告灾情。若确因某些原因不能驶入前方车站而被迫在区间隧道内停车时, 由控制中心指挥列车司机立即组织疏散乘客, 同时控制中心根据乘客疏散情况控制隧道通风系统, 切换到相应的火灾运行模式以配合人员疏散。

## 2 隧道火灾时人员的疏散方式

### 2.1 国内疏散方式

在现行的《地下铁道设计规范》中, 并未对区间隧道乘客疏散给出非常明确的疏散方法, 国内各城市投入使用的地铁线路采用的方法不完全相同, 归纳总结有以下几种方式:

(1)通过列车乘客门下车后步行到最近车站。北京是我国最早建成地铁的城市(1969年), 其列车不设端头门且车厢间不贯通。列车发生事故或火灾, 且停在区间隧道内时, 每辆车上的乘客通过列车乘客门下车至第三轨电绝缘保护罩上(宽 300 mm), 扶着列车或隧道壁步行至最近车站。

(2)通过列车端头门下车后步行到最近车站。香港在 1979 建成地铁并投入使用, 其列车中间走廊全部贯通, 一般区间隧道(非过海段)采用列车端头门疏散方式。当列车出现事故且在区间隧道内停车时, 乘客通过列车端头门下车至道床后步行至最近的车站。上海和广州地铁建设也基本上延用了香港的这种疏散方式。

(3)通过侧向疏散平台, 穿过联络通道后步行(或乘救援列车)到最近车站。香港地铁的过海段均采用该种侧向疏散平台和联络通道的疏散方式, 即在整个隧道内设侧向疏散平台, 平台高度基本与列车地板齐平, 同时每隔一定距离设左右线两条隧道间的联络通

道。当列车出现事故停在过海段内时,乘客通过列车乘客门下车至侧向疏散平台,步行至最近的联络通道处进入另一条隧道,再步行或采用救援列车将乘客疏散至最近车站。广州地铁三号线由于6辆编组的列车每3辆之间不通行,因此全线区间隧道均采用此种疏散方式,其疏散方案示意如图1所示。

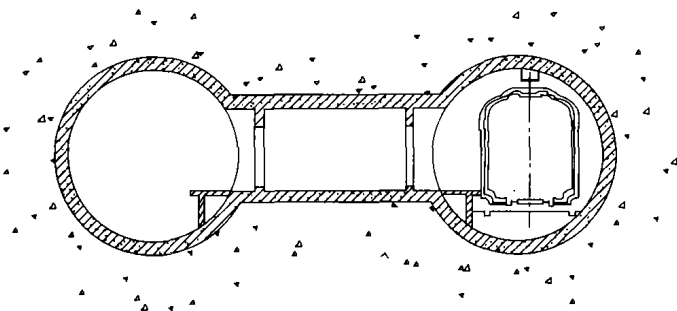


图1 联络通道疏散方案隧道断面示意图

## 2.2 国外疏散方式

- (1)沿隧道每隔一定距离设直通地面的紧急出口;
- (2)通过联络通道进入非事故隧道。

当两条隧道间有不少于2 h的防火墙分隔或两条隧道是完全分开时,乘客通过两条隧道间的联络通道进入非事故隧道方式可以提供足够的安全保障,因此可不设直通地面的紧急疏散楼梯。

## 2.3 疏散方式分析

目前现行的各国规程、规范中均特别强调:若列车在运行过程出现事故或火灾时应尽可能将列车驶入前方车站,在前方车站疏散乘客,利用前方车站的消防设施灭火和排烟。因为,区间隧道内的疏散和灭火条件始终不及车站,所以这条设计原则在地铁建设中需得到较好的执行。

从前面介绍的国内外工程实例及规程、规范看,使用最多和最广泛的疏散方案有两类,即通过列车端头门下车后步行到最近车站和采用侧向平台加联络通道方案。当列车各车厢间不贯通时,必须采用列车乘客门将乘客疏散至侧向疏散平台,国内的典型代表是北京地铁,而欧美大多数国家城市地铁均采用此种方式;当列车各车厢间贯通时,采用列车端头门和列车乘客门疏散方式的情况均有,甚至出现一条线上两种疏散方式并存的现象,这方面典型代表是我国香港地铁。采用侧向疏散平台和联络通道疏散方式可提高疏散的效率。笔者认为,在隧道火灾人员疏散方案中,应优先采用此种沿隧道纵向设置侧向疏散平台加联络通道的疏散方案。

## 3 烟气控制

现行的国家规程、规范和国外有关条例强调在事

故或消防疏散的同时,要求烟气排除的方向与多数乘客疏散方向相反,即乘客要迎着新风方向疏散,同时还要采用大通风量方式控制烟气。《地下铁道设计规范》中规定了烟气控制的截面风速不小于2 m/s,该风速在一般情况下可有效的控制烟气流向。但根据美国地铁环控设计手册的分析,全部采用2 m/s不一定满足所有火灾情况,美国交通部隧道内的截面风速必须大于一定的临界风速 $V_c$ <sup>[2]</sup>(该临界风速被称为危急空气流速,Critical Vlocity),如图2所示。

$$V_c = f(I, H, Q, A, T_f, T_a) \quad (1)$$

式中: $V_c$ 为危急空气流速; $I$ 为线路坡路; $H$ 为隧道高度; $Q$ 为火灾发热量; $A$ 为隧道截面积; $T_f$ 为烟气温度; $T_a$ 为外界空气温度。

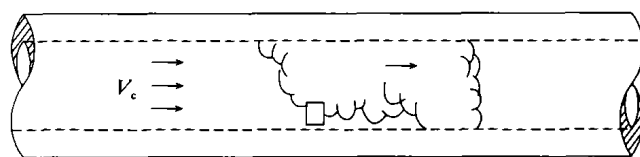


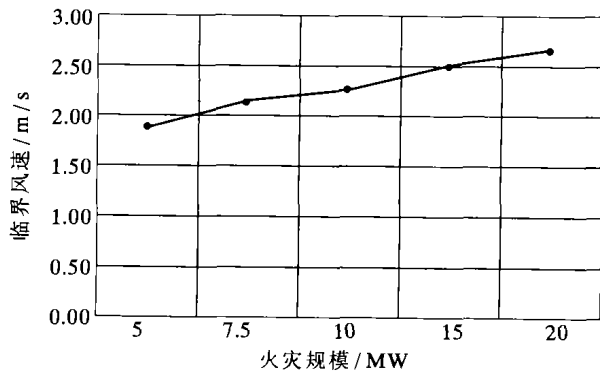
图2 有效通风状态下隧道内烟气流动

在这些因素中,对临界风速影响最大的是列车车辆的燃烧发热量,其次是隧道截面积、隧道高度等因素。例如:在常见的地铁单洞单线隧道中,其隧道截面积约为20 m<sup>2</sup>,隧道铺轨完成后的隧道净高度约为4.8 m,在3%的坡度上其不同列车火灾发热量对应的临界风速如图3。而在最常见的地铁单洞双线隧道中,其隧道截面积约为46 m<sup>2</sup>,隧道铺轨完成后的隧道净高度约为5.6 m,在3%的坡度上其不同列车火灾发热量对应的危急空气流速如图4。从图3、图4中可以明显的看出,虽然现代地铁车辆的火灾发热量一般不大于15 MW,但对于最常见的单洞单线隧道而言,地铁车辆的火灾发热量大于6.25 MW时,采用2 m/s的截面风速就无法控制隧道内烟气流向,同样在单洞双线隧道中也不是所有情况用2 m/s的风速就可以控制烟气。但由于现代地铁列车制造工艺不断提高,可燃材料的使用已大幅度降低,其车辆火灾燃烧发热量也在不断下降,香港新机场线的列车已降低至5 MW,其单洞单线隧道计算危急空气流速也出现了低于2 m/s的情况。因此,对于不同系统、不同隧道控制烟气流向的临界风速必须根据实际情况计算确定,而该风速取值直接影响整个隧道通风系统风机能力的配置。

## 4 小结

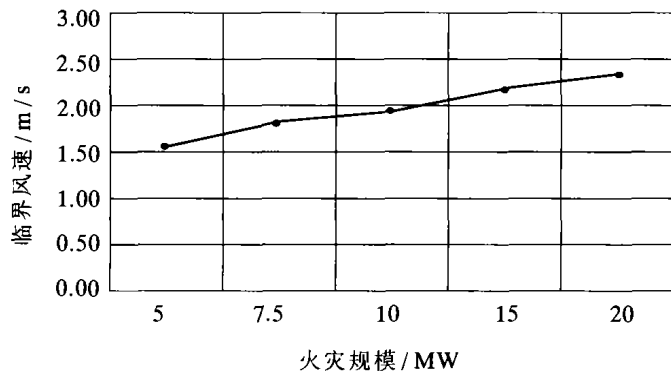
国内各城市地铁所采用的隧道火灾疏散方式不尽相同,各有特点。但笔者认为欧美国家较为普遍采用的侧向疏散平台加联络通道疏散方式有较明显的优点,且几乎不增加土建投资。同时也被实践证明是非常有

效的疏散方式,因此应在国内推广使用。



(一般单洞单线隧道,正线最大坡度)

图3 临界风速与火灾规模关系



(一般单洞双线隧道,正线最大坡度)

图4 临界风速与火灾规模关系

在乘客疏散过程中的通风排烟是非常重要的,要有效的控制隧道内烟气流向,必须提供大于临界风速(危急空气流速)的隧道截面风速,针对具体的系统情况不宜简单按规范 2 m/s 取值,而应根据系统、隧道的实际情况核算后取较大值。

#### 参考文献:

- [1] NFPA 130 - 2000, Standard for fixed guideway transit and passenger rail systems[S].
- [2] U. S. Department of transportation[M]. Subway environmental design handbook volume II, 1997.

## Evacuation and smoke control in subway tunnel

WANG Di-jun<sup>1</sup>, LUO Yan-ping<sup>1</sup>, LI Mei-ling<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Subway Design Institute, Guangzhou 510010, China; 2. Guangzhou Fire Detachment, Guangzhou 510660, China)

**Abstract:** Analysis present evacuation way during the subway tennel fire at home and abroad and suggests adopting the side evacuation platform based on un-increaced funds. At the same time, it analysis relative factors of smoke control in the tennel,

#### · 科技信息 ·

## 临时性无线电——报警装置

苏格兰防火(公司)推出新型无线电——临时性火灾报警装置。

这种海上用临时性报警系统(TRMA)是该公司模拟普通硬件布线临时性报警装置的最新成员。原设计开发是用于造船工业严酷环境。

该公司在完成某些项目的火灾探测系统安装中认识到,在进行焊接工作而使火险加大的情况下,必须对船舶进行防火保护。

同苏格兰的EDA和Fulleon合作,他们开发了TRMA装置,包括可编址单元:一部信号发生器,一个蜂鸣器和一个手动报警按钮,全部通过无线电波接入一台火灾报警控制器。该系统可以编程,在一个区域内出现火灾报警条件时,蜂鸣器和信号发生器启动,而在其它区域内,蜂鸣器脉冲则发生报警特别的信号。

基于其“临时性”的特性,TRMA内设计得使装配尽可能简单,采用无线电技术则省去了布线的需求,在工作现场移位时,便于该装置的再定位。在此装置固定及系统启动之前,利用简单的无线电检验,证实信号强度。

据报道,该系统在造船厂运行极有效,苏格兰防火公司目前正在开辟其它市场。

马宝珠 供稿

and gives the critical wind speed of smoke control in the typical tunnel.

**Key words:** tunnel; evacuation; smoke control; critical wind speed

作者简介:王迪军(1971—),广州市地下铁道设计研究院主任工程师,暖通空调工程师,主要参与上海地铁一号线,广州地铁一、二、三号线,香港地铁和西铁、深圳地铁一期工程的设计工作,广东省广州市环市西路204号,510010。

收稿日期:2003-12-16