

文章编号: 1004-4574(2007)01-0141-07

# 可移动充气式应急救护装置的研究

闵永林, 薛 林, 施 巍, 殷海波, 周 凯, 宋娜娜

(公安部上海消防研究所, 上海 200032)

**摘要:**可移动充气式应急救护装置是一种重点针对地铁火灾的新型消防抢险救援装备, 主要由风机、风管、救护站及其他辅助设备组成, 其工作原理是采用机械通风的方式在救护站内建立正压, 阻止外界烟气进入, 从而在充满烟气的事故现场建立一个没有烟气的临时安全场所。可用于救助被困人员, 方便消防员更换装备和休息调整, 以及便于消防部队建立前沿临时指挥点等, 为消防部队处置地铁火灾提供了解决问题的新思路和新方法, 对提高消防部队在地铁火灾中的抢险救援能力有着重要的作用。除此之外, 还可用于其它类型的地下建筑、大空间建筑(如商场)等场所的消防抢险救援。

**关键词:**地铁火灾; 救护装置; 设计; 应用

中图分类号: TU 998.13 文献标识码: A

## Study on mobile pneumatic emergency rescue device

M N Yong-lin, XUE Lin, SHI Wei, YIN Hai-bao, ZHOU Kai, SONG Na-na

(Shanghai Fire Research Institute Ministry of Public Security, Shanghai 200032, China)

**Abstract** Consisting of blowers, air ducts, rescue stations and other auxiliary equipment, the mobile pneumatic emergency rescue device is a new-style firefighting emergency rescue equipment targeting metro fires with the working principle of adopting mechanical ventilation to create positive pressure so as to prevent the outside smoke entering, thus setting up a temporary smokeless secure place in the smoking accident site. This device can be used to rescue the victims in trouble and help firefighters to change equipment and rest as well as to establish a temporary headquarter for the fire army in the frontier easily, which provides a new way of thinking and method to deal with metro fires and plays an important role in strengthening fire army's emergency rescue capabilities in metro fires. Besides, it can also be applied to other types of fire emergency rescue places such as underground constructions and large space constructions (department store, etc).

**Keywords** metro fires, rescue device, design, application

地铁作为现代化城市立体交通网络的重要组成部分, 对于疏通城市交通, 充分发挥城市功能和提高人们的工作效率有着极为重要的作用, 但地铁重大火灾事故的发生也引起了人们对地铁安全的高度重视。从 1987年 11月英国伦敦国王十字地铁站售票处大火造成 32人死亡, 100多人受伤, 到 1995年 10月阿塞拜疆巴库地铁火灾造成 558人死亡, 269人受伤<sup>[1]</sup>, 再到 2003年 2月韩国大邱地铁市中心车站人为纵火, 造成 198人死亡, 146人受伤, 289人失踪<sup>[3]</sup>, 国外地铁重大火灾事故所造成的人员伤亡和财产损失达到了惊人的程度, 地铁防火及灭火救援引起了世界各国极大的关注。

收稿日期: 2006-11-10 修订日期: 2006-12-20

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2004BA803B04)

作者简介: 闵永林(1961-), 男, 研究员, 主要从事消防装备开发及基础理论研究. E-mail: minyonglin@online.sh.cn

我国地铁始建于 1965年,目前已投入运营的有北京、天津、香港、上海、广州、深圳、南京等城市<sup>[4]</sup>,据不完全统计,自 1969年投入运行至 2003年,共发生火灾 156起,其中重大火灾 3起,特大火灾 1起。由于我国地铁起点高、运营时间较短、社会治安环境较好,与国外相比我国地铁火灾的强度以及人员伤亡、财产损失等相对较小,但我们不能因此而麻痹大意,疏于防范。从我国城市交通的发展规划来看,地铁将成为 21世纪城市最主要的交通工具,在今后一段时间里,我国在建和扩建地铁城市的数量还将持续增加,地铁规模的不断扩大以及当前纷繁复杂的国际形势,使得我国地铁消防安全仍然面临着严峻的考验。韩国大邱地铁火灾发生后,地铁安全引起了我国的高度重视,地铁消防安全被列为国家“十五”科技攻关项目之一,力争通过展开专项研究使我国地铁防火和灭火救援技术的整体水平上一个新台阶,本文所涉及的可移动充气式应急救护装置就是研究内容之一。

## 1 研究可移动充气式应急救护装置的重要性

地铁系统通常建于地下深处,是一个相对封闭的场所,与地面建筑相比在照明、通风、排烟等方面存在劣势。地铁一旦发生火灾,火势和烟气在得不到有效控制的情况下将迅速蔓延,日本消防部门试验证明,允许乘客逃生的时间只有 5 min左右<sup>[1,4]</sup>,而地铁内人口密集,出入口少,疏散线路长,大量惊惶失措的人群很难在预计时间内顺利疏散完毕,必将有部分乘客被困在事故现场急需救助。而消防部队在开展灭火救援时,浓烟高温使得火情侦察困难,地下通信联络不畅,加之消防部队针对地铁火灾的特种救援装备(尤其是专用于人命救助和辅助救人的装备)有限,救援难度很大,在此情况下将导致部分被困人员因得不到及时救助而伤亡。

据统计,地铁火灾中的遇难人员 85%死于烟气中毒或窒息,有毒、高温烟气是导致被困人员伤亡、阻碍消防部队抢险救援的主要因素<sup>[3]</sup>。可移动充气式应急救护装置正是针对火场烟气而研制的一种新型消防抢险救援装备,其特点在于根据正压防烟原理,采用机械通风的方式使救护装置内建立正压,阻止外界烟气进入,从而在充满烟气的地铁事故现场建立没有烟气的临时安全场所,便于消防部队开展各种抢险救援工作,对于提高消防部队在地铁火灾中的抢险救援能力有着重要作用。

## 2 可移动充气式应急救护装置的设计及实施方案

### 2.1 结构

可移动充气式应急救护装置主要由风机、风管、充气式救护站单元以及其他辅助设备等组成,其结构示意图如图 1所示。

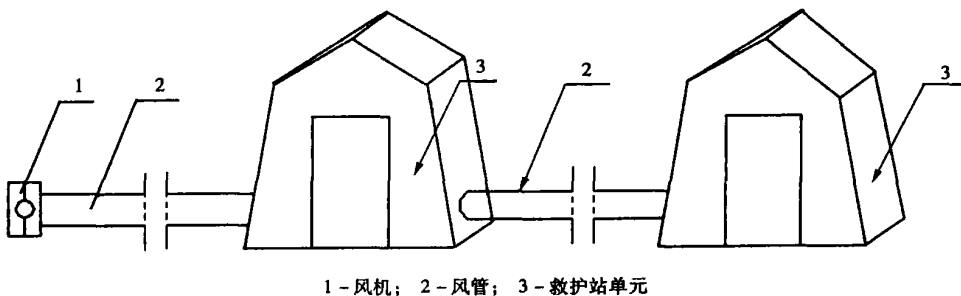


图 1 可移动充气式应急救护装置结构示意图

Fig 1 Structural sketch of mobile pneumatic emergency rescue device

### 2.2 工作原理

可移动充气式应急救护装置工作原理是:将风机放置在没有烟气的安全场所,通过风管向救护站内源源不断的输送新鲜空气,在救护站门全部关闭的情况下,由于整套装置密封性良好,救护站内部将建立远远大于事故现场环境压力的正压,有效阻止烟气进入;当因人员进出救护站门被打开,由于压差的存在,空气将由救护站内向外流动,当空气流速大于地铁火灾烟气的扩散速度,也能有效抑制烟气的进入,保证救护站内部

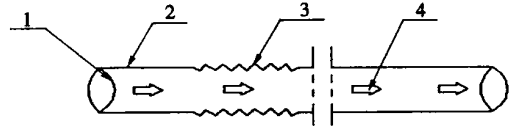
的安全。

### 2.3 可移动充气式应急救护装置的技术方案

在可移动充气式应急救护装置的技术方案中, 重点围绕如何使救护站内保持足够的正压以及如何实现整套装置快速成型而展开。

(1) 风机 风机采用消防轴流式风机, 动力装置可选用内燃机式或电机式, 其规格(风压、风量、尺寸等)根据送风的距离及救护站单元的个数决定。

(2) 风管 风管结构示意图如图 2 所示, 风管接头处设置快速连接装置, 以实现风管与风机、救护站单元等之间的快速连接; 为满足在地铁火灾现场的使用需求, 风管所用材料应具有一定阻燃性能、抗切割性能、耐热性能, 且质轻、柔软、气密性良好, 同时风管采用无骨架结构, 缠绕在绞盘上以达到携行方便和快速铺设的目的; 为确保在拐角处送风的通畅性, 可在拐角处使用具有内部支撑结构且有足够挠度的弯头, 以解决柔性风管无法转弯的问题; 在风管材料的外表面上设置发光指示标志, 为受困人员指示逃生路径(有关实验表明, 浓烟情况下发光指示标志有着较好的可见度), 进一步拓展本装置的功能。



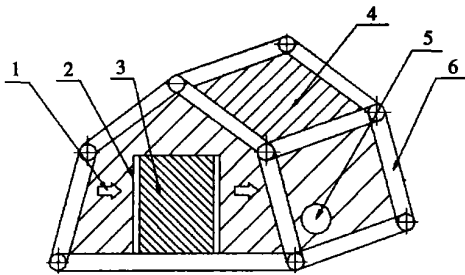
1- 风管接头; 2- 风管外层材料; 3- 弯头; 4- 发光指示标志

图 2 风管结构示意图

Fig 2 Structural sketch of air duct

(3) 救护站单元 救护站单元结构示意图如图 3 所示, 主要有气柱式支撑框架和外层材料两大部分, 救护站单元设置有门, 门襟和门帘通过拉链开合, 确保救护站门可快速打开、关闭; 救护站单元外层材料及发光指示标志的设置与风管相同。气柱式支撑框架结构示意图如图 4 所示, 气柱上设置充气阀、泄压阀和排气阀, 充气时压缩气瓶与充气阀连接, 气瓶内的高压气体可在极短时间内使整个救护站成型, 泄压阀则用于控制气柱内部压力, 使气柱具有足够刚性的同时不会因压力过高而爆裂; 气柱式支撑框架底部为长方形结构, 并以一定的角度向上倾斜, 以保持救护站单元良好的稳定性。

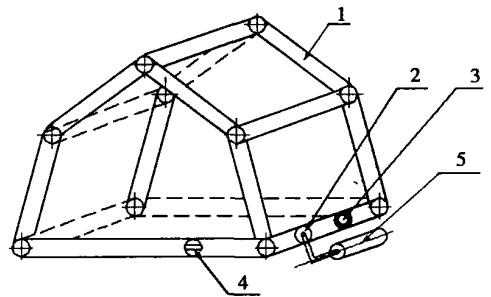
(4) 辅助设备 为完善可移动充气式应急救护装置的功能, 需配备必要的辅助设备, 包括: 医疗急救设备、呼吸器具、照明设备等。



1- 发光指示标志; 2- 救护站门襟; 3- 救护站门帘; 4- 救护站外层材料; 5- 风管接口; 6- 气柱式支撑框架

图 3 救护站单元结构示意图

Fig 3 Structural sketch of medical aid station



1- 气柱; 2- 充气阀; 3- 泄压阀; 4- 排气阀; 5- 气瓶

图 4 气柱式支撑框架结构示意图

Fig 4 Structural sketch of pneumatic bracing frame

## 3 可移动充气式应急救护装置样机试验

为检验设计方案的可行性, 研究人员设计加工了一套实验样机, 主要由一台风机(最大风量  $9000\text{m}^3/\text{h}$  功率  $2\text{kW}$ , 最大出口风速约  $20\text{m}/\text{s}$ )、两个救护站以及若干风管等组成, 通过一系列试验解决了不少技术难点, 实现了预期研究目标, 本文将简单介绍部分重要实验项目及结果。

实验 1 测试救护站(如图 5 所示)的重量、充气成型时间、耗气量等, 测试数据如下:

表 1 救护站性能参数

Table 1 Performance parameters of medical aid station

项目	测量值
整体尺寸(长×宽×高)	2.0m × 2.0m × 2.3m
重量/kg	21
充气成型时间/s	20
耗气量(气柱直径为 15cm)/L	455

实验表明: 救护站成型时间短、耗气量小(经计算, 一个容积为 6.8L, 压力为 30MPa的消防空气呼吸器气瓶大约可成型 4个救护站), 重量在消防员可负担的范围内, 因此救护站的设计符合消防实战方便、快捷的使用需求。

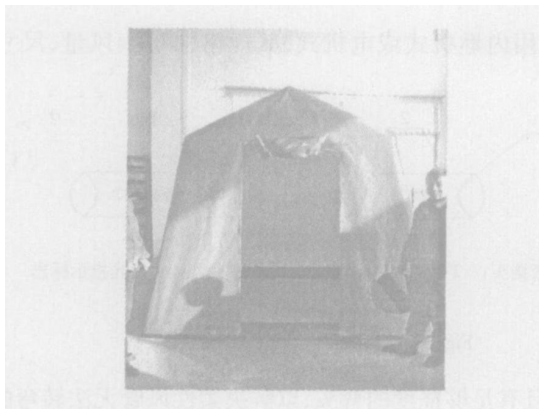


图 5 救护站

Fig 5 Medical aid station

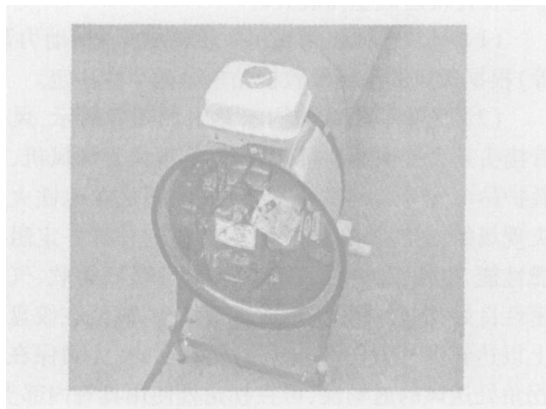


图 6 风机与风管连接

Fig 6 Connection of blower with air duct

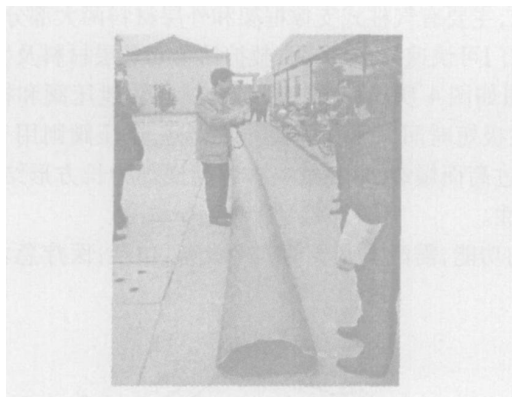


图 7 风机连接 60m 长风管送风

Fig 7 Blowing of blower connecting a 60m length air duct

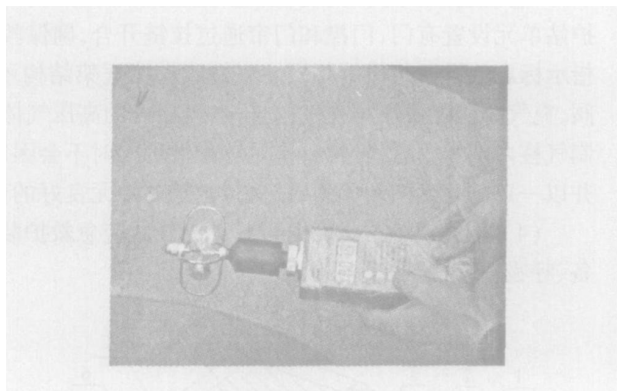


图 8 测量风管出口风速

Fig 8 Measuring wind speed at outlet of air duct

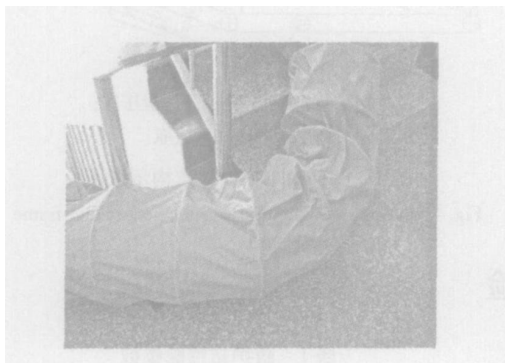


图 9 楼梯转弯实验

Fig 9 Experiment on turning a corner of stairs

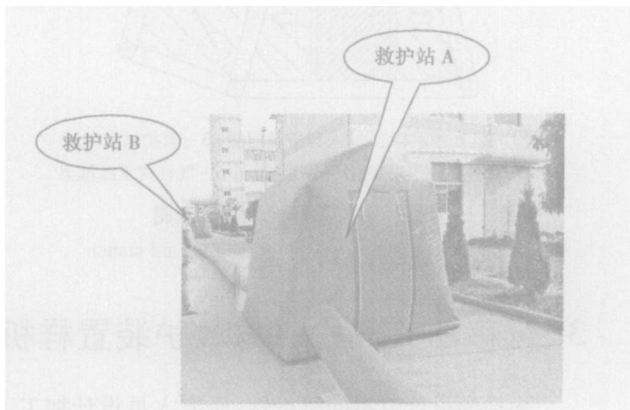


图 10 装置整体性能实验

Fig 10 Experiment on integrated performance of device

实验 2 风机分别与直径为 35cm 和 40cm 的两种风管(长均为 60m)相连进行送风实验, 在风机转速相同的情况下测量两种风管的出口风速, 比较不同直径风管的风量损失情况(如图 6 图 7 图 8 所示), 测量结果如下:

实验表明,与直径为 40cm 的风管相比,同等条件下直径 35cm 风管的出口风速更高,送风能力更强,同时其重量和体积也更小,因此可移动充气式应急救护装置配备使用直径为 35cm 的风管。

实验 3 比较软质风管和有骨架支撑风管在弯曲情况下的送风能力。实验结果表明,在气流作用下,软质风管的形状不能保持稳定,弯曲时容易完全弯折,丧失送风能力,而有内部支撑结构的风管可以随意弯曲,在楼梯转弯测试中效果良好,如图 9 所示。因此,可移动充气式应急救护装置采用有内部支撑结构的风管作为弯头,解决送风过程中在楼梯等拐角处转弯的问题。

实验 4 整体性能试验。按照设计方案,将风机、60m 长风管、救护站 A、30m 长风管、救护站 B 依次连接起来,如图 10 所示,分别测试在不同情况下救护站 A 和救护站 B 站内部的压力情况及出口风速。测试结果如下:

表 3 整体性能测试  
Table 3 Measurements of integrated performance

情况假定	项目	测试结果
救护站 A、B 同时关闭	救护站 A、B	打开风机后,压力将迅速传递,救护站 A、B 中均建立较大的正压
救护站 B 关闭	救护站 A (站门平均风速 m/s)	站门打开一半 5 站门全开 2.6
	救护站 B (站门平均风速 m/s)	站门打开一半 1.4 站门全开 0.9
救护站 A 关闭	救护站 B (站门平均风速 m/s)	站门打开一半 1.4 站门全开 0.9
救护站 A 打开	救护站 B (站门平均风速 m/s)	站门打开一半 由于气流从救护站 A 泄漏,导致压力下降, 站门全开 气流无法到达救护站 B,故出口风速为零

实验结果表明:风量为 9000m<sup>3</sup>/h 的风机能在 90m 的距离内使两个救护站内建立较大正压,并且在救护站门打开时,由于压差的存在,有恒定的气流从救护站内向外流动,由此证明本装置的设计方案是基本合理可行的。同时试验中也发现了方案的不足之处:由于救护站 A、B 通过风管串连,故当救护站 A 的门打开时,压力将无法传递到救护站 B 内,此时为防止烟气进入,救护站 B 的门将不能打开,其改进措施是采用分流的方式,用风管将救护站 A、B 并联,该方法的有益效果是两个救护站独立送风,相互之间互不干扰。

## 4 可移动充气式应急救护装置的应用研究

### 4.1 可移动充气式应急救护装置在地铁火灾中的使用方法

地铁站通常分站台层和站厅层,从国外发生的重大地铁火灾情况来看,站台层火灾处置难度相对较大,同时据统计我国地铁大部分为岛式结构站台,因此本文重点讨论当火灾发生在岛式结构站台层时,可移动充气式应急救护装置在不同工况条件下的使用方法。

#### (1) 站厅层烟气浓度在安全范围之内

站台层发生火灾时,在站台层的回排风系统或者在其它移动排烟装置的作用下,只要在站厅层至站台层的楼梯口处形成流速不低于 1.5m/s 的向下气流,就可以有效抑制烟气向站厅层扩散,站厅层的烟气浓度将被控制在安全范围内<sup>[2]</sup>,此时可将风机设置在站厅层向救护站内输送新鲜空气,救护站沿站台铺设,如图 11 所示。

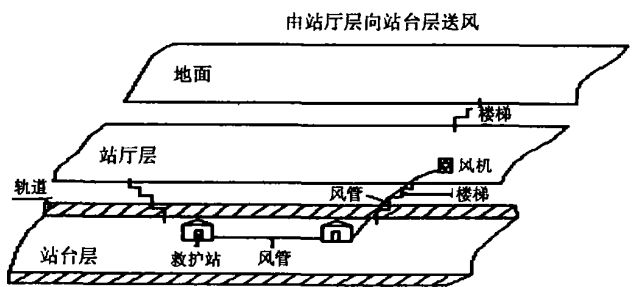


图 11 风机设置在站厅层送风

Fig 11 Blowing of blower setup on station's hall story

(2) 站厅层充满烟气

地铁火灾中,因电路损坏、高温烟气等原因而导致地铁通风排烟设施无法正常工作的案例时常发生,烟气不能及时排出而使得整个车站被烟雾笼罩。在此工况下使用可移动充气式应急救护装置时,风机必须放置在地面安全场所,由于送风线路加长,送风过程中风量损失增大,故维持救护站内正压的难度增加,可采用的方案如下:

方案 1 将风机放置在地面,救护站沿站台铺开,由于风管须从地面延伸至站厅层,导致送风路径长,损失大,因此必须根据实际情况采用大功率风机送风,如图 12 所示。

方案 2 在送风距离较长的情况下,还可以采用多台风机接力送风的方式,如图 13 所示。

方案 3 若在站厅层情况复杂,设置可移动充气式应急救护装置难度较大,可将救护站放置在站厅层,风机从地面送风,缩短送风距离,如图 14 所示。

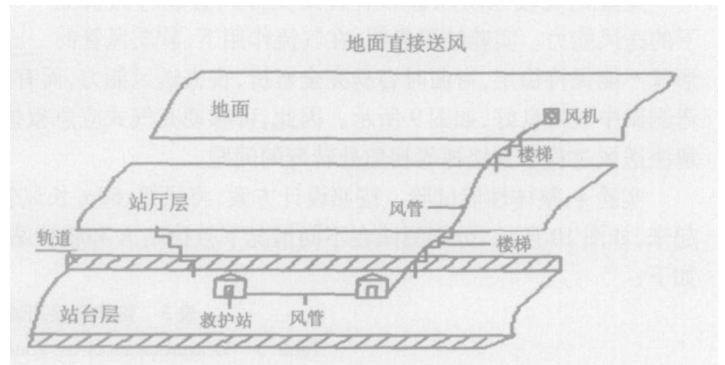


图 12 大功率风机从地面向站厅层直接送风

Fig. 12 Blowing of blower with large power from ground to platform story

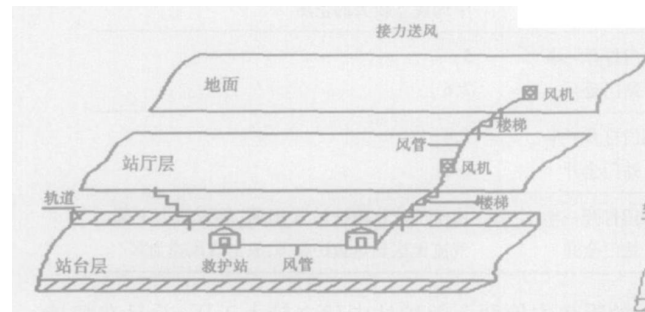


图 13 通过接力的方式从地面向站台送风

Fig. 13 Blowing with relaying way from ground to platform

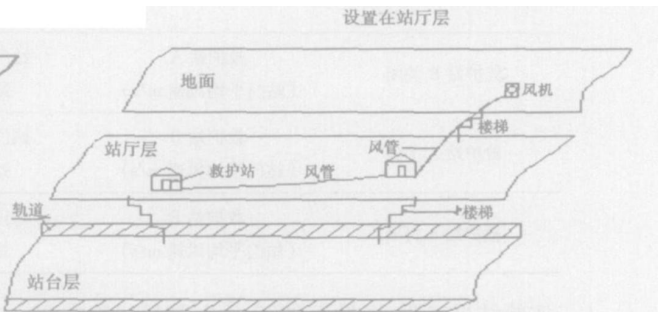


图 14 可移动充气式应急救护装置设置在站厅层

Fig. 14 Mobile pneumatic emergency rescue device set up on station's hall story

4.2 可移动充气式应急救护装置的功能

从消防部队针对地铁火灾的应急预案来看,由于特种抢险救援装备的缺乏,当前消防部队在处置地铁火灾时不得不更多依靠消防员的个体力量,处置方法尚有需要改进和提高的地方。可移动充气式应急救护装置的研制,将在以下几个方面发挥重要作用。

(1) 救助受困人员

对于地铁火灾中老、弱、病、残以及因伤等原因而丧失自主逃生能力的受困人员,我国消防部队当前常见的救助方法是采用消防员搀扶、担架转移、接力救人等方式,将受困人员快速转移至地面安全场所,但现实情况是,在浓烟密布的火灾现场,消防员自身承受着较大的生理和心理压力,同时救助行动对消防员的体力消耗巨大,故很难做到真正“快速”,如韩国大邱地铁火灾中采用 4 名消防员抬 1 名受困人员,每次救人往返耗时近 20 min<sup>[4]</sup>。因此通过上述方法实施救援,有可能耽误对情况危急、急需医疗救护受困人员的治疗,增加伤亡的几率。若在事故现场使用可移动充气式应急救护装置,当消防员发现情况危急的受困人员后,立即就近送到救护站内,对其采取人工呼吸、心肺复苏等急救措施,为抢救赢得时间后再转移至安全场所进行医疗救护;对于尚未完全丧失行动能力的受困人员,可自行或在消防员的引导下进入救护站内短暂休整,然后佩戴救护站内配备的呼吸器具,在消防员协助下逃离事故现场。

(2) 消防员更换装备及休息调整

在灭火救援过程中,为保证自身的安全消防员需及时更换部分装备(如空气呼吸器气瓶),并适当的休息调整以保持战斗力,当前消防员为此通常不得不从战斗一线撤离至后方安全场所,但由于地铁火灾事故现场浓烟密布,能见度低且危险因素众多,给消防员带来诸多不便。若在事故现场使用可移动充气式应急救护

装置,当救护站铺设完毕后,将消防员需要更换的装备以及其他后勤保障物资运送至救护站中,为消防员更换装备和休息调整提供了便利,有利于再次快速形成战斗力。

### (3) 建立前沿临时指挥点

处置地铁火灾事故时,事故现场指挥部通常设置在后方安全场所,而火灾有可能烧损地铁内部的有线或无线通讯设施,造成事故现场救援人员与指挥部之间的通信中断,导致指挥部无法及时了解前方事态发展情况,也无法及时传达指令给前方消防官兵,不利于事故处置过程中的决策和指挥。若在事故现场使用可移动充气式应急救护装置,消防部队可在救护站内设置临时指挥点,便于指挥员了解事故现场的情况,有利于指挥员做出及时、准确的决策和有针对性的战术调整。

此外,基于可移动充气式应急救护装置的性能特点,该装置不仅可用于地铁火灾,还可适用于其它类型的地下建筑、大空间建筑(如商场)等场所的消防抢险救援,在消防实战中进一步拓展其功能。

## 5 结语

可移动充气式应急救护装置的特点在于采用压缩气瓶充气的方式快速成型,通过正压原理防止烟气进入,是一种快速、有效的新型消防特种抢险救援装备,其研制不仅将为消防部队增添一种新装备,同时也为消防部队在处置地铁火灾时提供了解决问题的新思路和新方法。可移动充气式应急救护装置功能及应用技术尚需消防实战的检验,并通过不断的改进和完善,使之尽量满足消防部队的实战要求。

## 参考文献:

- [1] 田玉敏. 地铁火灾中安全疏散技术与方法的研究 [J]. 消防技术与产品信息, 2005, 7(3): 3-8.
- [2] 毕庆焕. 地下铁道防排烟系统简介 [J]. 暖通空调 HV&AC, 2000, 30(6): 65-66.
- [3] 杨立中, 邹兰. 地铁火灾研究综述 [J]. 工程建设与设计, 2005, 11(8): 8-12.
- [4] 施建昌. 地铁火灾事故救人行动对策初探 [EB/OL]. [2006-02-16]. [http://www.fire.sh.cn/kpw/menu/discourse/mhcx/20040115\\_15324.html](http://www.fire.sh.cn/kpw/menu/discourse/mhcx/20040115_15324.html)