

Research on Safety Egress Evaluation for Railway Drivers of Multiple Unit Trains

Dapeng Wang¹, Zhiduo Zhao^{1*}, Shuai Yang¹, Kaiqiang Luo¹, Yecong Sun²

¹CRRC Tangshan Co., Ltd., Tangshan Hebei

²CRRC Nanjing Puzhen Rail Transport Co., Ltd, Nanjing Jiangsu

Email: sjc-zhaozhiduo@tangche.com

Received: Jun. 20th, 2018; accepted: Jul. 3rd, 2018; published: Jul. 10th, 2018

Abstract

Evaluating whether a railway driver can safely evacuate within a reasonable time is an important part of the design of the driver's cab of multiple unit train. Based on the existing related safety egress standards and literatures in both the rail transit and public building fields, this paper proposes the evaluation basis and assessment contents of the safety egress for multiple unit trains; and puts forward the components of safety egress time for multiple unit trains and relevant reasonable values in combination with the general safety evacuation time criterion. Finally, a safety egress simulation analysis of a cab via Java is taken as an example to introduce the application of relevant values.

Keywords

Safety Egress, Multiple Unit Train, Railway Drivers, Evaluative Criteria

动车组列车司机安全疏散评估研究

王大鹏¹, 赵志铎^{1*}, 杨 帅¹, 罗开强¹, 孙业聪²

¹中车唐山机车车辆有限公司, 河北 唐山

²南京中车浦镇城轨车辆有限责任公司, 江苏 南京

Email: sjc-zhaozhiduo@tangche.com

收稿日期: 2018年6月20日; 录用日期: 2018年7月3日; 发布日期: 2018年7月10日

*通讯作者。

摘要

评估司机能否在合理时间内安全疏散是动车组列车司机室设计中的一项重要内容。本文基于对现有轨道交通领域和公共建筑领域相关安全疏散标准及文献, 研究提出了动车组列车安全疏散的评估依据和评估内容; 结合通用的人员安全疏散时间判据图, 提出了动车组列车所需安全疏散时间构成项及相关合理的取值; 最后基于仿真工具Java, 以一款司机室的安全疏散仿真分析为例对相关取值的应用进行了介绍。

关键词

安全疏散, 动车组列车, 列车司机, 评判准则

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

对人员安全疏散的研究源于 20 世纪初, 当时常采用观察描述、访问研究等定性分析的方法进行研究; 从 20 世纪 70 年代开始, 安全疏散问题的研究开始聚焦人的逃生行动能力研究; 从 20 世纪 80 年代以后, 借助实验手段, 安全疏散研究开始从动力学及计算机模拟方向进行研究, 并建立了多种关于安全疏散行为规律的数学模型; 从 20 世纪 90 年代初至今, 研究开始聚焦到随机行为规律的定量研究, 研究人员逐渐提出了各种研究安全疏散仿真的实际模型和手段[1] [2]。

公共场所安全疏散系统的研究和应用相当广泛, 在银行、信息、交通、商业等领域均需要进行大量仿真模拟[3]。有很多专用的工具可用于对安全疏散系统进行仿真分析, 如 GPSS-PC, SimScript, MathLab 等[4]。可是这些仿真工具普及程度较低, 兼容性较差, 很多仿真必须借助 C 语言进行编程, 总体难度较大, 维护也比较困难[5]。Java 较上述 GPSS-PC, SimScript, MathLab 等仿真工具而言, 具有系统兼容性强, 操作方便, 具备跨平台特性的优点[5] [6]。基于 Java 的这些优越性, 本文选择它作为仿真工具来进行动车组列车安全疏散仿真分析, 并以 3X 动车组[7]司机室安全疏散仿真分析为例进行了介绍。

2. 列车安全疏散研究和评判准则

2.1. 仿真分析的依据

用于列车安全疏散仿真分析的评判依据包括: 《GB50490-2009 城市轨道交通技术规范》[8]; 《GB50157-2013 地铁设计规范》[9]; 《SFPE: Handbook of Fire Protection Engineering》[10]; 《建筑防火性能化设计》[11]; 《BSDD240 Fire Safety Engineering in Buildings》[12]; 《TB/T 3091-2008 铁路机车司机职业健康检查规范》[13]。

2.2. 仿真分析的内容

司机室是司机操作列车作业的空间, 为了保证司机在紧急情况或发生事故时能够安全疏散, 《EN 45545-4: Railway applications—Fire protection of railway vehicles—Part 4: Fire safety requirements of railway rolling stock design》[14]规定机车司机室两侧每侧均应设置 1 处尺寸不小于 500 mm 高、400 mm 宽的紧

急逃生窗。因此,在紧急情况下,司机可以有2条安全疏散线路:1)从司机室两侧窗之一疏散;2)司机从最近的侧门疏散。

2.3. 安全疏散涉及的标准内容分析

2.3.1. 动车组列车可用安全疏散时间的确定

目前,国内外均无关于动车组列车车内人员疏散的时间规定,因此缺少用于评估可用安全疏散时间(Available Safety Egress Time, ASET) [15]的依据。但是,我国《GB50490-2009 城市轨道交通技术规范》[8]中7.3.2条规定内容和《GB50157-2013 地铁设计规范》[9]中19.1.19条规定内容均提出,在紧急情况发生的情况下,应保证将一列进站列车的预测最大载客量以及站台上的候车乘客在6 min (360 s)内全部撤离至安全区域。鉴于动车组列车运营于地面上,而且列车外面一般是开阔的露天环境,因此将乘客离开动车组列车即视为达到安全区域。基于上述分析,本文以这2个标准文件作为依据,将可用安全疏散时间(ASET)确定为360 s (6 min)。

2.3.2. 人员安全疏散时间判据图

图1是常用的人员安全疏散时间判据图[11] [15] [16] [17]。从图中可知,所需安全疏散时间(Required Safety Egress Time, RSET)是指从灾情发生时刻起到人员安全疏散到安全区域的时间,包括灾情探测报警时间 t_{alarm} 、预动作时间 t_{pre} 和人员疏散移动时间 t_{move} ,其中预动作时间又包括觉察时间 t_{reg} 和反应时间 t_{resp} 两部分,其关系可以用下式表达[11] [17] [18] [19]:

$$\begin{aligned} t_{\text{RSET}} &= t_{\text{alarm}} + t_{\text{pre}} + t_{\text{move}} \\ &= t_{\text{alarm}} + (t_{\text{reg}} + t_{\text{resp}}) + t_{\text{move}} \end{aligned} \quad (1)$$

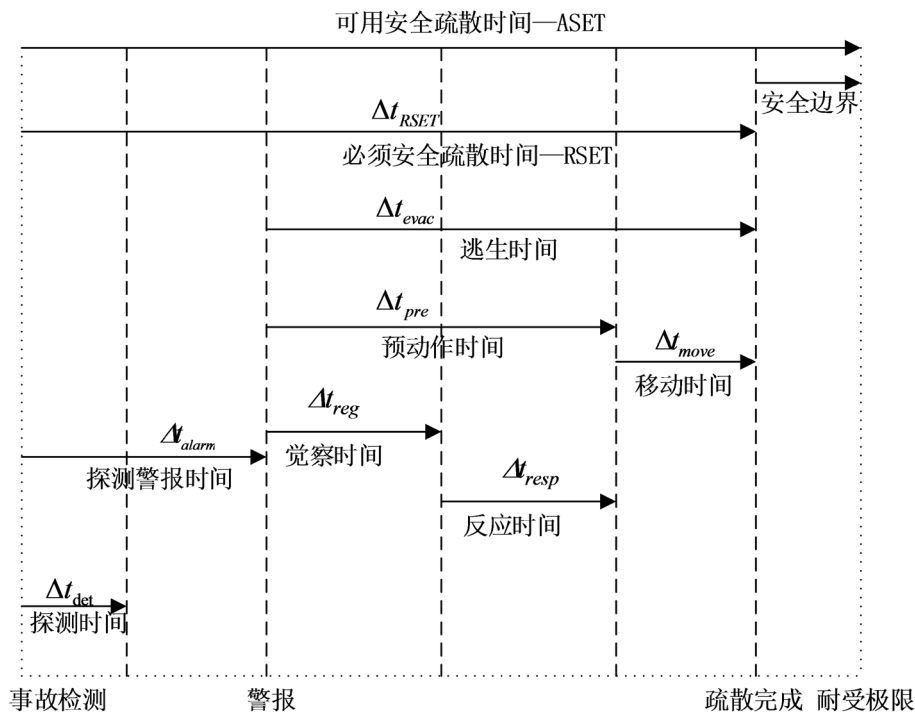


Figure 1. The criteria of safety egress time for people

图1. 人员安全疏散时间判据图

1) 探测警报时间(t_{alarm})

探测警报时间包括监测出灾害的时间 t_{det} 和发出警报通知人员的时间。探测灾害有两种方法：自动探测系统和人工探测方法。对于由自动探测装置探测灾害的时间主要由装置的性能、灾源的强度以及灾源距离装置的距离决定，探测系统越先进，探测灵敏度越高，探测时间也越短。人工探测方法主要是内部人员通过视觉和嗅觉等感官通道来感知灾害的发生。如火灾的探测，一般靠近灾源近的人员易感觉到，但大多数情况下并不能有效察觉出灾害的发生。如自动检测装置探测火灾，考虑火灾发展 20 s 之后火源附近温度和烟气浓度已很高，探测装置即可探测到火灾，因此铁路领域通常将探测警报时间取为 20 s [16]；但文献[17]也提出从安全角度考虑探测警报时间应为 60 s (1 min)。

2) 预动作时间($t_{\text{reg}} + t_{\text{resp}}$)

预动作时间是指在接到报警信息后，采取具体疏散行动之前所需要的时间，包括信息确认时间、行为反应时间[11] [17] [18] [19]。预动作时间的长短与选用的报警设备有直接关系，另外还与人员的年龄、行为特征、对建筑物的熟悉程度、人员的灵敏性以及人员的集群特征相关[20]。对于客运列车，一般可采用现场广播的方式进行报警，加之不同的功能区域都设有数量一定的乘务人员，所以人员的响应时间通常较短。表 1 是英国《BSDD240 Fire Safety Engineering in Buildings》[12]中根据统计数据和经验推荐的各种用途建筑内采用不同火灾广播系统时的人员预动作时间。由于车辆上采用的是现场广播系统，而且车辆上通常会配备乘务人员，因此人员的预动作时间可参考表 1 中选取为 60 s (1 min)。

3) 司机疏散运动时间(t_{move})

疏散运动时间是指从人员开始做出疏散行动到疏散至安全区域的时间[17] [18] [19]，即发生灾情后车内人员从车厢经由通道、出口疏散到车厢外。所有人员安全撤出列车车厢的时间取决于通道的顺畅、人员行为、车门宽度等多种因素[16] [17]。人在灾情中的行为十分复杂，不同年龄、性别、对灾情的认知程度对人的逃生行为有很大差别，而这个差别主要体现在疏散速度上[21]。《SFPE: Handbook of Fire Protection Engineering》[10]和《建筑防火性能化设计》[11]给出了人员疏散的步行速度，详见表 2。

我国的动车组列车均采用单司机驾驶，《TB/T 3091-2008 铁路机车司机职业健康检查规范》[13]对我国铁路机车司机的身体健康状态均有明确规定，所有执行驾驶任务的司机均属于身心健康的人员。由于长期从事驾驶任务，因此列车司机对列车的安全疏散线路应比较熟悉和清楚。考虑到列车内的空间较一般建筑的空间狭窄，因此本次分析采用水平疏散中的平均步行速度 1 m/s 作为司机的疏散平均速度。此外，由于司机从司机室逃生窗口内翻窗出去比较困难，所耗时较长，因此根据经验将逃离司机室侧窗过程的时间设置为 60 s。

通常，若人员疏散所需时间(t_{RSET})小于可用安全疏散时间(t_{ASET})则视为人员能够安全疏散[21]。综合考虑上述各项因素，将探测报警时间(取 60 s)、司机的预动作时间(取 60 s)、司机以 1 m/s 的疏散平均速度，从各逃生出口离开仿真对象的时间总和小于 6 min (360 s)视为设计方案满足疏散要求。也即仿真获得的人员疏散所需时间(t_{RSET})满足下式：

$$t_{\text{RSET}} < 360 \text{ s} \quad (2)$$

也即： $t_{\text{alarm}} + (t_{\text{reg}} + t_{\text{resp}}) + t_{\text{move}} < 360 \text{ s}$ ；其中， $t_{\text{alarm}} = 60 \text{ s}$ ， $t_{\text{reg}} + t_{\text{resp}} = 60 \text{ s}$ ；因此 $t_{\text{move}} < 240 \text{ s}$ 即为合格。

3. 列车安全疏散仿真分析案例

3.1. 仿真模型

用于仿真分析的司机室车体外观如图 2 所示。司机室车厢内部可分为 3 个部分：司机室、会议室和 VIP 室。司机室是司机的作业环境，两侧各设置 1 个满足安全疏散尺寸的逃生窗口；会议室包含 8 个座

Table 1. The preparation time of different fire broadcasting system
表 1. 不同火灾广播系统时的人员预动作时间

建筑物用途	建筑物特性	预动作(响应)时间/min		
		报警系统类型		
		W_1	W_2	W_3
办公楼、商业、厂房和学校	建筑物的人员处于清醒状态 熟悉建筑物及报警系统和疏散措施	<1	3	>4
商店、展览馆、博物馆、休闲中心等	建筑物的人员处于清醒状态 不熟悉建筑物及报警系统和疏散措施	<2	3	>6
住宅或寄宿学校	建筑物的人员处于睡眠状态 熟悉建筑物及报警系统和疏散措施	<2	4	>5
旅馆或公寓	建筑物的人员处于睡眠状态 不熟悉建筑物及报警系统和疏散措施	<2	4	>6
医院、疗养院及其他社会公共福利设施	有相对数量的人员需要帮助	<3	5	>6

注： W_1 为现场广播，来自消防控制室； W_2 为事先录制好的声音广播系统； W_3 为采用警铃、警笛或其他类型报警装置的报警系统。

Table 2. The walk speed of different safety egress conditions
表 2. 人员疏散步行速度

人员特点	平均步行速度(m/s)		
	水平疏散	楼梯向上疏散	楼梯向下疏散
对建筑的位置、通行线路不熟悉的人员	1.00	0.45	0.60
对建筑的位置、通行线路熟悉且身心健康的人员	1.30	0.58	0.78
不能自力行动的人员	0.80	0.33	0.50

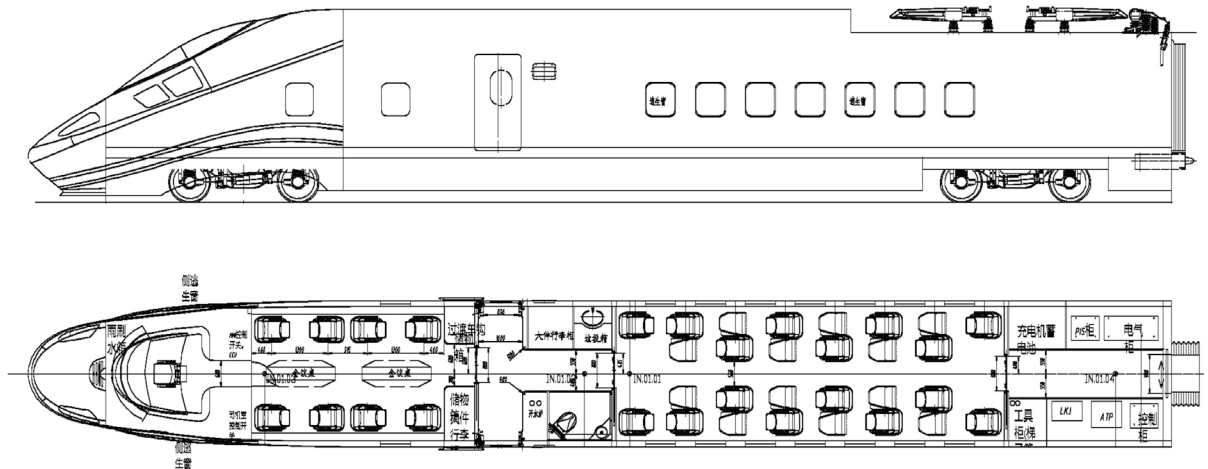


Figure 2. Layout of the multiple unit train used for simulation
图 2. 用于仿真分析的司机室车内布置

位以及 2 张折叠桌，并与司机室相邻；VIP 车厢包含 16 个座位，与会议室间隔一组侧门(左、右各 1 个侧门)。在不考虑旅客影响的情况下，本文分别对司机从单侧侧窗(安全疏散出口 1)和从就近的侧门(安全疏散出口 2)疏散的 2 种情况进行仿真评估分析。

3.2. 司机从司机室两侧窗之一疏散

图 3 是利用 Java 对司机从司机室两侧窗之一(由于两侧对称分布, 因此分析一侧即可)的左侧逃生窗口疏散的仿真分析(图 3 中座椅与侧窗间的蓝色线条为安全疏散路径), 通过仿真可以得出, 司机从座椅到逃生窗处(平均速度取值 1 m/s)的移动时间(t_{move})约为 2 s。

因此, 司机从司机室的左侧逃生窗口疏散并离开列车的移动时间为: $t_{move} = 2\text{ s} + 60\text{ s}$ (司机翻爬侧窗的时间) = 62 s。 $t_{move} < 240\text{ s}$, 也即表明该司机室侧窗设计符合安全疏散要求。

3.3. 司机从侧门疏散

距离司机座椅的最近的侧门位于会议室和 VIP 室之间, 司机从侧门疏散必须经过会议室。图 4 是利用 Java 对司机从最近的侧门疏散的仿真分析(图 4 中的蓝色线条为安全疏散路径), 通过仿真可以得出, 司机从侧门疏散的移动时间(t_{move})约为 11.8 s。

因此, 司机从就近的侧门疏散并离开列车的移动时间为: $t_{move} = 11.8\text{ s}$ 。 $t_{move} < 240\text{ s}$, 也即表明该司机室就近的侧门设计符合安全疏散要求。

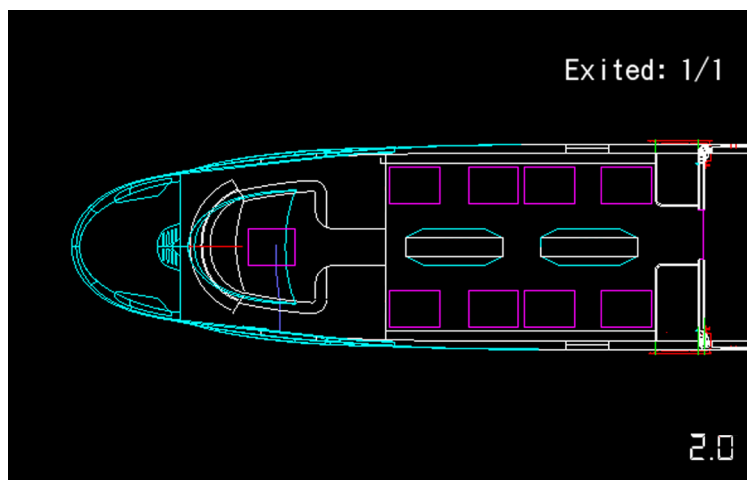


Figure 3. Safety egress time and egress route simulation of railway driver from one of sidewindows via Java

图 3. 司机从司机室左侧安全疏散窗疏散时的路径和时间

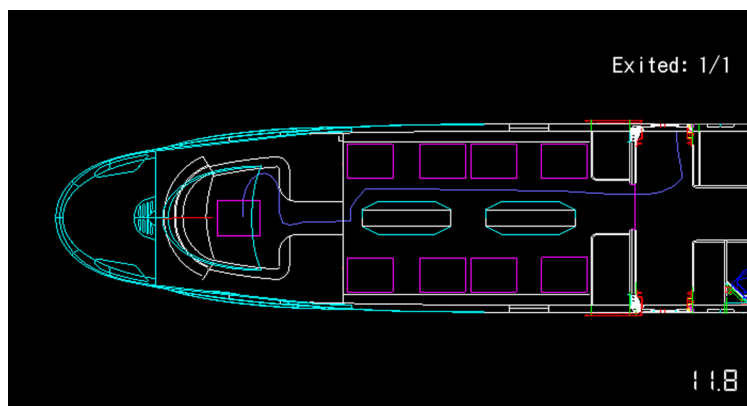


Figure 4. Safety egress time and egress route simulation of railway driver from closest sidedoor via Java

图 4. 司机从就近的侧门疏散时的路径和时间

4. 结论

通过研究, 本文提出了动车组列车所需安全疏散时间构成项, 明确了动车组列车的探测警报时间宜选取为 60 s, 人员的预动作时间宜选取为 60 s, 司机的疏散平均速度宜选取为 1 m/s, 司机逃离司机室侧窗过程的时间宜设置为 60 s, 理论上司机的移动时间(t_{move})若小于 240 s 则表明司机室符合安全疏散要求。

动车组列车司机室安全疏散有 2 条路径, 一条是从司机室侧窗逃离, 另一条是从就近的侧门逃离。研究表明, 因为动车组列车司机室宽度相对固定, 只要侧窗尺寸符合文献[14]要求, 高度符合司机攀爬翻越需求, 司机的移动时间(t_{move})通常需要约 2 s; 理论上就近的侧门距离司机座位的安全疏散路程应小于 240 m。从 3X 动车组司机室逃生仿真分析实例来看, 司机从司机室两侧窗之一疏散的时间总和约为 62 s, 而不考虑旅客安全疏散的情况下从就近的侧门疏散仅需要约 11.8 s, 在条件允许的前提下, 司机理论上应优先选择从最近的侧门疏散。今后的研究是进一步将旅客的安全疏散考虑在内, 同时还有必要对司机从侧窗安全疏散时攀爬翻越侧窗的时间进行实验并统计出更加趋于实际的取值。

基金项目

本文资助项目为: 可变编组动车组关键技术研究(2016J011-C)。

参考文献

- [1] 贾彩清, 向廷海. 火灾时人员疏散开始时间范围的研究[J]. 火灾科学, 2002, 11(3): 176-179.
- [2] 黄华. 基于多智能体的建筑物内疏散仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [3] 胡晓辉, 郑峰, 陈永, 等. 大型公共场所突发事件下人员疏散仿真研究[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(29): 230-233.
- [4] Arthur, J.L., Friendewey, J.O., Ghandforoush, P., et al. (1986) Microcomputer Simulation Systems. *Computers & Operations Research*, **13**, 167-183. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(86\)90006-7](https://doi.org/10.1016/0305-0548(86)90006-7)
- [5] 唐彦, 王志坚, 吴吟. 基于 Java 的排队系统仿真研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(13): 26-28.
- [6] 张俊瑞, 王秀华. 基于 RePast 仿真平台的矿井逃生模型[J]. 电子技术与软件工程, 2016(24): 87-88.
- [7] 黄俊辉. 可变编组动车组设计[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中国国家标准化管理委员会. GB50490-2009 城市轨道交通技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50157-2013 地铁设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [10] Hurley, M.J., et al. (2016) SFPE: Handbook of Fire Protection Engineering. Springer, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- [11] 李引擎. 建筑防火性能化设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [12] British Standards Institution (1997) BSDD240 Fire Safety Engineering in Buildings. British Standards Institution.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. TB/T 3091-2008 铁路机车司机职业健康检查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] European Committee for Standardization (CEN) (2013) EN 45545-4: Railway Applications—Fire Protection of Railway Vehicles—Part 4: Fire Safety Requirements of Railway Rolling Stock Design. CEN, Brussels.
- [15] 孔得朋, 陆守香, 冯磊, 等. 热释放速率的不确定性对可用安全疏散时间的影响[J]. 中国科学技术大学学报, 2010, 40(7): 764-770.
- [16] 方心怡, 齐福强. 地铁火灾时人员疏散模拟分析研究[J]. 中国水运: 学术版, 2008, 8(1): 182-183.
- [17] 王军, 姜明理, 谢天光. 地铁隧道火灾人员疏散模拟研究[J]. 消防科学与技术, 2015, 34(6): 757-759.
- [18] 姚斌, 刘乃安, 李元洲. 论性能化防火分析中的安全疏散时间判断[J]. 火灾科学, 2003, 12(2): 79-83.
- [19] Shin, D.C. (2014) Development of an Artificial Neural Networks Model for the Required Safety Egress Time of an Office Room. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, **14**, 27-33.

<https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2014.14.6.27>

[20] 褚冠全, 孙金华. 人员疏散准备时间及其对火灾风险评估结果的影响[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(3): 102-105.

[21] 张思健, 杨晖, 许金星. 某火车站火灾烟气流动及人员疏散安全研究[J]. 北京建筑大学学报, 2014, 30(2): 54-59.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org