

Evacuation Simulation of Special Crowds in Hospital Based on Anylogic

Wenjun Li, Shichang Qiao, Kai Yang, Rui Hu, Xingli Li*

School of Applied Science, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan Shanxi
Email: lixingli80@163.com

Received: Jul. 19th, 2019; accepted: Aug. 7th, 2019; published: Aug. 14th, 2019

Abstract

The poor ability of special crowds in eyesight, hearing, physical movement and some other aspects will inevitably affect the pedestrian evacuation efficiency to a certain extent. In this paper, taking a two-story hospital building as the research object, the impact of different evacuation schemes on pedestrian evacuation efficiency is simulated by using Anylogic software. The simulation results show that the overall evacuation efficiency can be greatly improved by setting the reasonable departments distribution. In addition, the establishment of AORS (Areas of Refuges) system can reduce the evacuation time to optimize the model. The results obtained can be referred in designing the evacuation schemes for hospital crowds.

Keywords

Special Crowds, Hospital, Anylogic, Evacuation Strategy

基于Anylogic的医院特殊人群疏散仿真模拟

李文君, 乔士昌, 杨楷, 胡睿, 李兴莉*

太原科技大学应用科学学院, 山西 太原
Email: lixingli80@163.com

收稿日期: 2019年7月19日; 录用日期: 2019年8月7日; 发布日期: 2019年8月14日

摘要

特殊人群在视力、听觉、身体行动等方面的能力有不同程度的降低, 因此会对疏散造成一定程度的影响。本文以某医院二层建筑为研究对象, 利用Anylogic软件, 模拟了不同疏散策略对行人疏散效率的影响。模拟结果表明, 设置合理的医院科室分布可大幅提高行人疏散效率。最后通过建立AORS (Areas of

*通讯作者。

Refuges, 避难区域)系统来减少逃生时间从而优化模型。本文得出的结果可为医院人群疏散方案的设计提供参考依据。

关键词

特殊人群, 医院, Anylogic, 疏散策略

Copyright © 2019 by author(s) 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

目前, 随着医疗水平的提高和医疗资源分配的不均匀, 大型医院的看病人数不断增加, 这给医院疏散通道和设备的承载带来了巨大的压力。国内外已有许多医院人群疏散时由于逃生方案的不合理而造成的踩踏、挤压事故和延误逃生时间的案例。因此, 医院作为特殊人群聚集的场所, 对其进行应急情况下的疏散研究并建立更加完善的疏散机制至关重要。

医院的行人类型和分布复杂多变, 在疏散过程当中, 特殊人群有区别于正常人的需求和行动规律, 往往难以达到正常人的速度[1], 另外, 由于医院中存在大量医疗电气设备和易燃易爆的危险化学品[2], 当意外灾害来临时, 一些危重病人或正在进行中的检查和手术等也会造成疏散的延误。因此, 关于医院特殊人群疏散的研究受到以下两方面的制约: 第一, 医院的病患较多, 开展疏散演练或实际的实验可行性不大; 第二, 医院人群类型复杂、分布分散、人员流动规律性较差, 因此, 使用经验运动参数进行建模仿真的结果精确性较低。目前已有不少关于医院特殊人群疏散的研究, 如田玉敏[1]、王德强等人[2] [3] [4]基于特殊人群的生理及心理特点, 标定了针对不同类型行人的速度、反应速度等参数; 朱江[5]对医院走廊排烟进行了研究, 据此设计了正压安全疏散通道, 提出了将屋顶、连廊等作为安全疏散区的措施; 陈岩[6]利用 Pathfinder 人群疏散软件进行了模拟, 根据不同人数的分配建立模型, 并加入电梯疏散优化方案; 王德强等[2]依据社会力模型建立 FDS + Evac 疏散模型, 对住院人员疏散进行了模拟; 卜程[7]针对火警报警时间、人员反应时间和行动时间等因素建立模型进行模拟; 田玉敏[1]对紧急避难区域 AORS 模型进行了研究。此外, 还有对疏散和救援的人员指挥、心理辅导等进行的研究[8] [9]。

可以看出, 关于医院人群的疏散, 研究大多集中于人群的行为特征、活动能力等, 疏散策略主要针对疏散通道、电梯楼梯等。本文一方面着眼于医院的特殊人群自身疏散时对路径选择的行为, 另一方面, 从几个不同角度探讨疏散策略优化。

2. 医院行人疏散的特殊性

医院行人疏散的特殊性主要体现在人群和医院环境两个方面。

医院人群主要包括普通人群、医护人员、病患等, 特殊性主要体现于医护人员和病患。医护人员由于其工作的性质, 常常有夜间倒班、突发抢救等, 在长时间和高强度的工作下, 医护人员容易发生身体劳损、失眠、焦虑、沮丧、冷漠等生理和心理的问题。对于病患, 普遍来讲, 病患的行动能力都会下降, 在突发事件来临时, 其心理压力相较于其他人会有一定增加。具体到本文涉及的病患, 对于放射科和 CT 室的病患大多是由于受到物理或化学损伤, 此类患者需要借助一定外力来行动; 儿童则由于身体和心理的不成熟, 需要家属或医护人员的陪同, 行动上会有更大的限制; 孕妇由于身体以及心理上出于对孩子

的保护, 行动受到较大限制; 眼科中病患若是仅是视力降低, 则对行动能力无较大影响, 若视力受到较大的损害, 则行动能力会大大降低; 对于抢救室和重症监护室的病患, 需要多人的配合才能移动。综上, 不同的病患类型的行动能力均有降低, 因此设置了最大速度限制, 行人的行动速度最大不会超过相应的限制。且病人在有无辅助工具或他人帮助的占地面积也有所不同, 因此针对不同行人设置了相应的占地面积区间。

医院科室众多、过道分布较多, 行人的疏散能力会随对医院的熟悉度的不同而变化。医院科室的医疗设备众多, 会对行人的疏散造成阻碍, 因此对各个区域设置了速度加乘, 在区域内行动的行人的速度会相应的降低。

3. 模型建立

本文利用 Anylogic 软件行人库中的模块建立了建筑物模型、行人模型和运行流程, 利用分析和控件库建立了数据统计和数据可视化部分。

3.1. 建筑物概况

本文的模拟对象为某医院两层建筑, 平面图如图 1 和图 2 所示。第一层主要为门诊科室以及挂号缴费等服务窗口, 第二层主要为病房、手术室、设备间和手术室。具体区域的安排和参数的设置如表 1。

Table 1. Hospital regional parameters

表 1. 医院区域参数设置

科室	最大速度限制(米/秒)	速度加乘	产生行人人数(个)
放射科	1.5	0.8	19
CT 室	1.5	0.8	21
儿科	1	0.8	21
妇科诊室	0.8	0.6	11
抢救室	1	0.8	4
重症监护室	1	0.8	8
眼科	无	无	8
挂号处	无	无	3
收费处	无	无	6
中药房	无	无	5
西药房	无	无	5
手术室一	1	0.8	6
手术室二	1	0.8	5
设备间	无	无	6
护士站	无	无	3
避难处	无	无	无
楼梯区域	0.8	0.8	无
区域一(Area 1)	无	无	最大人流密度: 191 中等人流密度: 141 最小人流密度: 91

Continued

区域二(Area 2)	无	无	最大人流密度: 119 中等人流密度: 89 最小人流密度: 49
区域三(Area 3)	无	无	最大人流密度: 127 中等人流密度: 97 最小人流密度: 57
区域四(Area 4)	无	无	36
区域五(Area 5)	无	无	34

表中速度加乘的解释: 一个区域的速度加乘为 n , 则在此区域内行人的速度为此区域内无任何障碍的情况下行人移动的速度的 n 倍。

医院单层面积为 2250 平方米, 若将两层行人全部集中到一层, 则最大行人密度为 0.283 个/平方米, 中等行人密度为 0.235 个/平方米, 最小行人密度为 0.177 个/平方米。

第一层的过道最窄处为 2 米。三个出口的参数为: 出口一 5 米, 出口二 2.5 米, 出口三 6 米。第二层过道最窄处为 3.3 米, 两个出口的参数分别为: 出口 21 为 5 m 米, 出口 23 为 6 米。

需要说明的是, 在出口一、出口二处有楼梯和电梯(电梯在图中未画出, 因在后面的模拟中并未实际参与), 在本例中, 人在楼梯上的运动速度按楼梯在水平面的投影长度除以时间来计算。

为了统计行人疏散的数据, 加入了两个折线图, 分别表示行人流量和密度。数量是对相应出口在一个小时内通过的人数, 单位为: 个/小时; 密度是一个小时内通过出口的人数除以出口长度, 单位为: 个/(小时*米), 以下将小时全部换算为分钟。

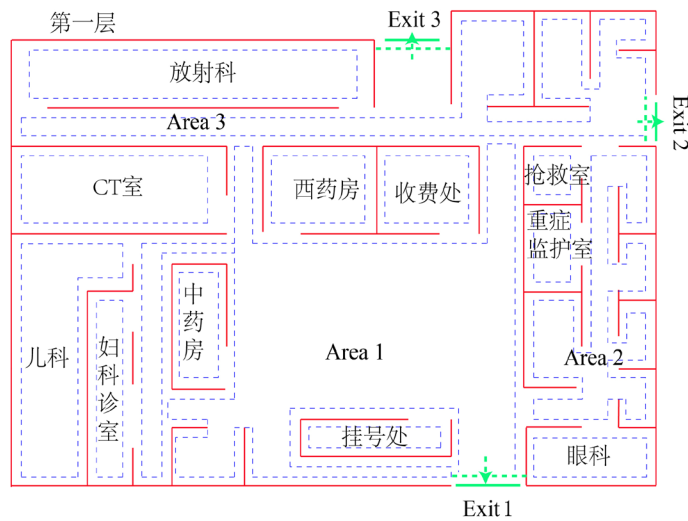


Figure 1. First floor plan of hospital
图 1. 医院第一层平面图

3.2. 模拟参数设置

在本例中, 行人共分为病人、儿童、孕妇、医生、普通人四类, 其中病人又细分为普通病人(无或有较小的行动障碍)、病人(有较大行动障碍需要辅助工具)、病人(病情严重无法自主移动)等, 行人类型、占地面积和速度如表 2 所示。

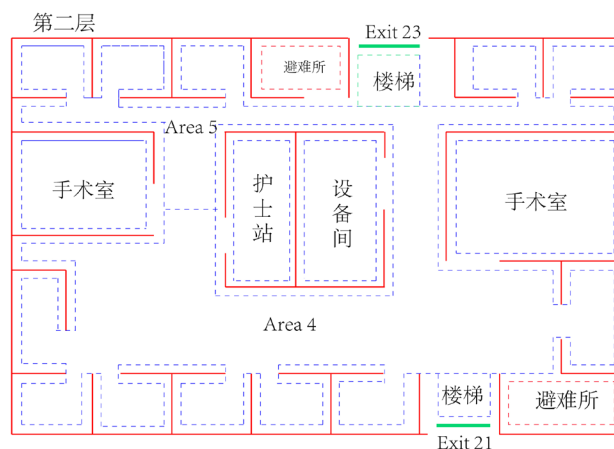


Figure 2. Second floor plan of hospital
图 2. 医院第二层平面图

Table 2. Pedestrian parameters
表 2. 行人参数设置

行人类型	行人占地面积(平方米)	行人速度(米/秒)
病人(有辅助工具)	0.6~0.7	0.3~0.6
病人(普通)	0.5~0.7	0.5~1.2
病人(不能自主行动)	0.6~0.7	0.3~0.5
儿童	0.2~0.5	0.3~1
孕妇	0.6~0.7	0.3~0.9
医生	0.4~0.6	0.8~1.5
普通人	0.4~0.5	0.8~1.5

4. 仿真结果分析及策略优化

4.1. 一般情况行人疏散模拟

一般情况是按照行人自然状态下的疏散行为进行的模拟，行人根据区域的远近、障碍的分布等对路线进行选择，为了使模拟接近这种状态，这种方案对软件中的行人选择模块进行了相应的设置，依据行人优先选择离自己最近的出口这种自然心理和行为，对不同的行人设置到达不同出口的概率。所得数据为4次模拟下的结果取平均值得到。一般情况下的模拟数据及时空演化斑图分别如表3和图3所示。

Table 3. Simulation results under normal condition
表 3. 一般情况下模拟数据

人流密度	出口	时间(分钟)	最大行人数量 (个/分钟)	最大行人密度 (个/(分钟*米))
最大人流密度	出口一	3.5	57	11
	出口二	3.6	40	16
	出口三	4.4	27	5
中等人流密度	出口一	3.6	48	10
	出口二	3.4	31	12
	出口三	4.2	23	4
最小人流密度	出口一	3.6	37	7
	出口二	3.3	22	8
	出口三	4	18	3

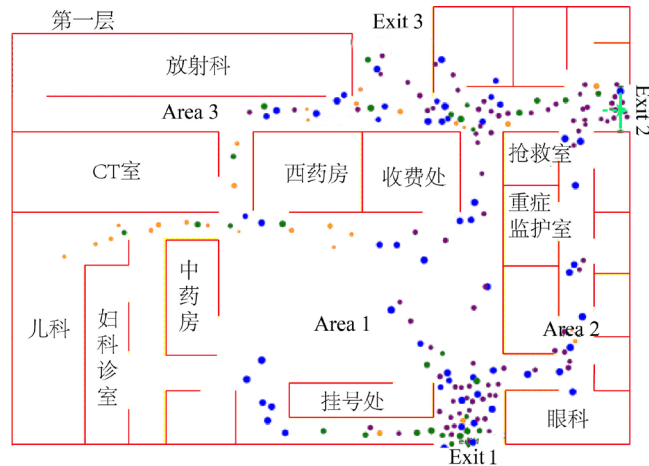


Figure 3. Simulation patterns under normal condition at $t = 1$ min. The yellow, blue, green and purple dots represent children, patients, doctors and normal people, respectively.

图 3. 一般情况运行 1 分钟时的仿真斑图。其中黄色代表儿童，蓝色代表病人，绿色代表医生，紫色代表正常人。

由表 3 和图 3 可以看出，在三种人流密度下，最大行人数量均出现在出口一，最大行人密度均出现在出口二，这样的人流量分配是不合理的，人流密度大的地方容易发生挤压、踩踏事故，出口三通道的利用率低，导致疏散效率低。根据这些缺陷，将方案做出改进。

4.2. 优化策略及对比

4.2.1. 强制区域疏散

此方案将疏散空间按照距离出口的远近和各个部分行人数量，将其划分为三个子区域，每个子区域包含一个出口，且三个子区域中的行人数量尽量“取长补短”，以减轻疏散压力。疏散时，各个子区域的行人不能前往其他子区域，避免移动方向的冲突，此方案的模拟数据如表 4。

Table 4. Simulation results under compulsory regional evacuation

表 4. 强制区域疏散模拟数据

人流密度	出口	时间(分)	最大行人数量(个/分钟)	最大行人密度(个/(分钟*米))
最大人流密度	出口一	3.4	53	11
	出口二	3.2	26	10
	出口三	4.6	45	8
中等人流密度	出口一	3.4	43	9
	出口二	2.8	20	8
	出口三	4.8	39	7
最小人流密度	出口一	3.3	33	7
	出口二	3	12	5
	出口三	4.6	31	5

由表 4 可以看出，在三种人流密度下，各个出口的最大行人密度的分配较为均匀，表明出口的利用率得到了一定的提升，行人疏散效率有所提高，但对比表 2 和表 3 中时间项可以发现，行人疏散时间没

有显著的提升, 三种行人密度下, 出口三的疏散时间均是最长, 根据最大行人流密度下运行 1 分钟时的时空演化斑图(图 4)可以发现, 由于儿童的行动速度较慢, 且儿科诊室距离出口三的距离较远, 儿童的疏散时间较长, 导致总体的疏散时间增加, 效率降低。

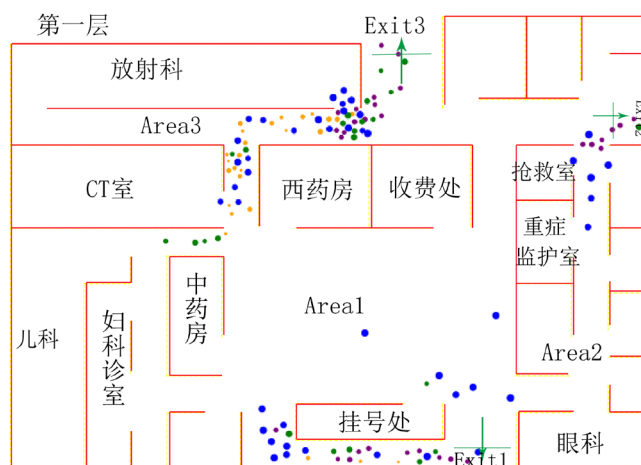


Figure 4. Simulation patterns under compulsory regional evacuation at $t=1$ min.
图 4. 强制区域疏散运行 1 分钟时的仿真结果

4.2.2. 医院科室分布的改进

科室分布的改进具体为: 将儿科与放射科两科室进行对调, 将妇科移至出口三附近。科室的改进原则就是尽量将行动速度较慢的病人的门诊科室安排在距离出口的近处, 行动受限较小的病人的门诊科室和医生工作区域可以距离出口较远处, 这样可以让行动缓慢的人群尽快疏散至出口。此方案的模拟数据如表 5 和图 5 所示。

Table 5. Simulation results under changing the distribution of hospital departments

表 5. 医院科室分布改进的模拟数据

人流密度	出口	时间(分钟)	最大行人数量 (个/分钟)	最大行人密度 (个/(分钟*米))
最大人流密度	出口一	3.2	51	10
	出口二	3	26	10
	出口三	4.1	46	9
中等人流密度	出口一	3.2	41	8
	出口二	2.8	20	8
	出口三	3.9	40	8
最小人流密度	出口一	3.2	31	6
	出口二	2.8	12	5
	出口三	3.7	32	6

根据以上结果可以看出, 在三种人流密度下, 各个出口的行人疏散时间都有一定程度的减少, 最大行人数量和最大行人密度的分配更加均匀, 出口的利用率进一步优化, 表明改变科室分布的方案对提高行人疏散效率是有效的。

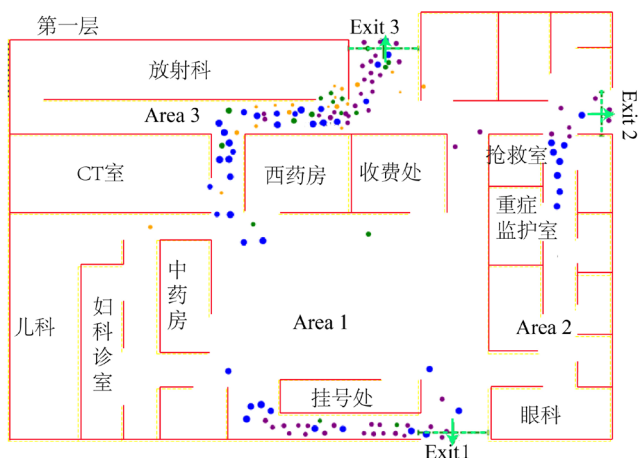


Figure 5. Simulation patterns under changing the distribution of hospital departments at $t = 1 \text{ min}$
图 5. 改变科室分布运行 1 分钟时的仿真结果

4.2.3. 三种模型下模拟结果的对比分析

对三种方案下的疏散时间分析，将强制区域疏散和科室布置改进后的结果与一般情况下做对比，可以看到疏散时间缩短效果如表 6 所示。

Table 6. Time shortening rate
表 6. 时间缩短率

人流密度	出口	强制区域疏散时间缩短率	医院科室改进时间缩短率
最大人流密度	出口一	2.86%	8.57%
	出口二	11.11%	16.67%
	出口三	-4.55%	6.82%
中等人流密度	出口一	5.56%	11.11%
	出口二	17.65%	17.65%
	出口三	-14.29%	7.14%
最小人流密度	出口一	8.33%	11.11%
	出口二	9.09%	15.15%
	出口三	-15.00%	7.50%

由表 6 可以看出，经过两次的策略优化，行人疏散效率显著提高。需要说明的是，行人疏散时除了考虑疏散时间减少外，还应保证疏散过程中的人群安全，即各个出口应该在保证行人安全的情况下增加疏散的人数，这个重要的指标就是行人密度，要使各个出口的利用率达到最大，则出口的行人密度应尽量减小差距，对各出口行人密度求方差，结果如表 7 所示。

Table 7. Variance of pedestrian density at each exit
表 7. 各出口行人密度方差

人流密度	一般情况下行人密度方差	强制区域疏散行人密度方差	科室布置改进行人密度方差
最大人流密度	33.62	2.46	0.43
中等人流密度	18.45	0.93	0.02
最小人流密度	7.34	0.8	0.69

4.3. AORS 系统

AORS (Areas of Refuges)是紧急避难场所,它一般建立在高层建筑的楼梯口和电梯旁,目的在于当火灾、地震、爆炸等灾害发生时,能够让一些未能及时和难以到达安全地带的人群紧急避难的区域,此区域有独立供电系统、完善的排烟排水、防火防震的结构,要求能保证避难人员的安全直到被成功救援。

医院第二层 AORS 系统的建立与分析

灾害的发生很难预知,因此当灾难发生时医院很有可能正在进行中的重要手术,或者有危重病人难以到达紧急出口,就火灾而言,公认的最佳逃生时间是 90 秒,而中高层建筑是 3 到 6 分钟,对于危重病人和正在进行中的手术,很难及时在这样段的时间段内逃生,而且在逃生过程中可能发生更严重的伤害,因此,在医院建立紧急避难区域十分必要,本例中在医院第二层建立了两个紧急避难区域(图 2 中红色框区域),并对此模型进行了一些分析。

假设第二层的两个手术室在灾难来临时正在手术中,因此逃生中设置了等待时间,为 40 秒到 120 秒,分两种情况:等待时间后行人逃往出口和等待时间后行人逃往紧急避难区域。单独就第二层研究,第一种情况下将行人到达第二层出口视作逃生成功,第二种将除手术室区域的行人到达出口视作逃生成功,分别对这两种情况的模拟结果表明,第一种逃往出口情况下的总逃生时间平均为 5 分钟,第二种逃往紧急避难区域情况的总逃生时间平均为 2 分钟。可以看到,避难区域对于减少逃生时间是十分有效的。

5. 结论

本文以某医院二层建筑为研究对象,运用 Anylogic 软件对其在不同的疏散策略下的疏散场景进行数值模拟,通过比较分析,得到以下结论和建议。

1) 现有的医院科室的分布不利于人群疏散,特别是在高密度下。

2) 强制区域疏散可以有效地将疏散人群进行合理分配,在原本人员密集的区域将行人转移至人流密度较小的区域,这样可以大大降低各个区域的疏散压力,提高各个通道和出口的利用率,进而使疏散效率提高。实际中,医院可以统计各个科室病患的数量和不同区域通道和出口的面积大小,将人群引导至特定的区域疏散,合理的人流密度分配将有效降低疏散的危险事故发生率,提高疏散效率。

3) 改变医院科室分布依据病患类型的特征,将行动能力最差的病患科室优先布置在离出口近的区域,这样可以有效减少相应病患疏散的时间,也减少了额外危险情况的发生。医院科室布局的规划除了要考虑病患的接待和检查,也要根据病患特点进行合理的分配。

4) AORS 系统的建立可以应对突发灾害中来不及转移病患或无法结束手术的情况,建立可靠的避难区域对于急重症患者以及无法转移的病患和医护人员十分重要,将为其争取到宝贵的救援时间。在医院建设的规划布局中,就应该加强对避难区域的设计和建造,不仅要在安全出口的附近加强规划,更要在手术室和病房中加强维持生命和抗灾害设计,使其能够充当临时避难区域,保证病患和医护人员的安全。

致 谢

本论文获山西省留学回国人员科技活动择优资助项目(2017004)、山西省高等学校大学生创新创业训练项目(2019363)、太原科技大学大学生创新创业训练计划项目(XJ2018151)资助。

参考文献

- [1] 田玉敏. 特殊人群疏散行为及疏散设计的研究[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 91-94.
- [2] 王德强, 吕伟, 宋卫国. 医院住院楼层人员疏散的观测及模拟研究[J]. 火灾科学, 2013, 22(1): 17-23.
- [3] 蔡湧, 赵蕾, 艾安源, 梅钢. 基于 Anylogic 的地铁站火灾人员疏散模拟及结构合理性分析[J]. 山西建筑, 2019,

45(8): 208-210.

- [4] 田郝青, 张喜. 基于 Anylogic 仿真技术的地铁换乘站客流组织优化评价研究[J]. 电子设计工程, 2018, 26(19): 84-88.
- [5] 朱江. 超大体量高层医院消防安全疏散设计[J]. 武警学院学报, 2011, 27(12): 39-41.
- [6] 陈岩. 基于 Pathfinder 的医院人群疏散仿真研究[J]. 河南科技, 2018(10): 107-109.
- [7] 卜程. 某高层医院消防安全疏散[J]. 消防科学与技术, 2013, 32(12): 1335-1338.
- [8] 青义春, 陈虹, 李景波, 吴昊, 姬军生. 地震时医院患者整体疏散的实践研究[J]. 重庆医学, 2010, 39(4): 495-497.
- [9] 杨亚娟, 卢根娣. 高层医院建筑火灾人员营救与疏散[J]. 解放军医院管理杂志, 2010, 17(5): 466-467.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-8696, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

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

期刊邮箱: mos@hanspub.org