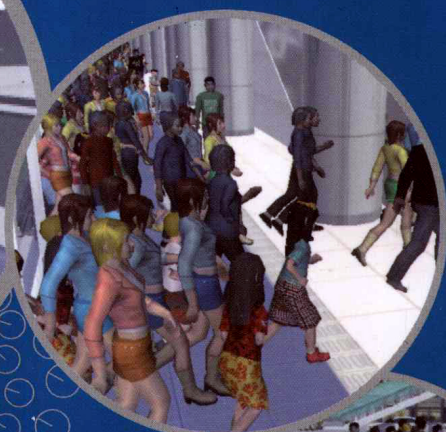
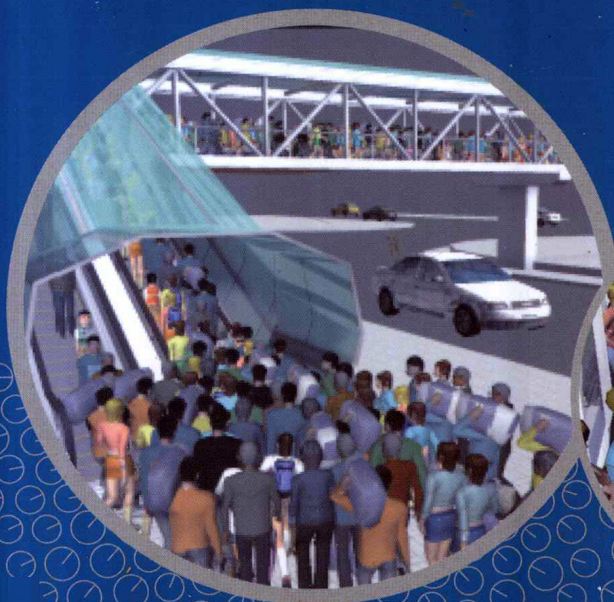




密集人群安全管理丛书

密集人群流动规律 与模拟技术

迟菲 胡成 李凤 等编著



化学工业出版社

密集人群流动规律 与模拟技术

迟菲 胡成 李凤 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容分为7章,主要介绍了人群流动的基本规律与应用、密集人群流动导致的事件、人群流动规律模拟模型、人群流动规律模拟软件、计算机模拟的应用案例以及人群流动规律研究的发展。

本书汇集了近年来国内外密集人群流动规律与模拟技术方面的重要研究成果,针对这些研究成果做了详细的梳理与归纳总结,不仅能对从事行人交通与应急疏散方面的研究人员有一定的帮助,也能为从事建筑设计、步行设施设计、行人疏导和风险评估等相关领域的工程技术人员和管理人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

密集人群流动规律与模拟技术/迟菲等编著. —北京:
化学工业出版社, 2012. 2
(密集人群安全管理丛书)
ISBN 978-7-122-13141-6

I. 密… II. 迟… III. 人群关系论(管理学)-研究
IV. C93

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第277568号

责任编辑:董琳
责任校对:郑捷

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张11½ 字数249千字 2012年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00元

版权所有 违者必究

《密集人群安全管理丛书》编委会

主 编 丁 辉 张 斌

副 主 编 姚晓晖 陈 安 李 伟

编写人员 (按姓氏汉语拼音排序)

迟 菲 杜帅楠 胡 成 李 凤

李季梅 李明涛 刘 霞 刘晓琴

倪慧荟 宁利君 沈 达 孙 贇

王光辉 王 尧 王中锋 张昊宇

赵 燕 郑金鹏

序

《密集人群流动规律与模拟技术》是一本利用现代科学技术，特别是计算机模拟技术，探索密集人群流动规律与模拟技术的书，又是一本着眼有效应对新形势下公共安全领域，特别是公共聚集场所面临的风险挑战，对有关案例进行了科学分析，从预防与准备、监测与预警到应急处置等环节，提高应急管理能力的书，非常及时和难得。

美国“9.11”事件后，北京科学技术研究院丁辉院长及时地提出，要高度重视公共聚集场所人员疏散的相关评估技术研究，并在北京市劳保所组建了相应的研究团队。十年来，这支年轻的团队瞄准了国家和首都北京在公共安全领域的需求，分析了大量案例，探索人群流动的规律，模拟了人群流动的流程，并开展了人群流动规律模拟实践应用，不仅在完成相关重要科研项目方面取得了可喜成绩；更重要的是为2008北京奥运和国庆60周年等重大活动的安全顺利举办提供了科技支撑。

公共聚集场所的突发事件往往具有突发性、复杂性、多样性、连锁性、集中性、严重性、放大性和不确定性等一系列特点。开展密集人群流动规律与模拟技术课题研究，涉及到自然科学、社会科学，特别是公共管理和社会心理学等多个学科。这支年轻的团队坚持以人为本的理念，辛勤工作，努力向着科学、实用、综合、创新的目标进取，充分反映了他们对应急管理工作的事业心和责任感。该书的出版一方面可以把他们的成果提供给读者借鉴参考；另一方面，也是希望这些成果能够在更多样、更复杂的情况下得到检验，听取宝贵意见，不断改进完善。

当今，公共安全面临着诸多可以预见和难以预见的风险挑战，公共聚集场所不确定、不稳定、不安全的因素在增加。进一步研究群体在非常规突发事件下的行为规律和结构特征；紧急状态下指挥员、管理者、救援人员和公众等的认知、情绪、态度以及需求等心理作用机理；密集人群紧急疏散行为模型、疏导方法、组织策略，人群行为的监测、预测和干预机制等，仍然是个长期而艰巨的任务。衷心希望这支年轻的团队和更多的有识之士都来关注这一重大课题，并不断取得更多更好的成果，为保障公众的生命安全和社会的和谐稳定做出应有的贡献。

丁辉

2011年12月20日

序

中国最大的国情就是人口众多。因此，我们经常必须面对的重大课题之一就是如何管理重大活动或特殊场所中密集人群。按照复杂性理论的说法，一旦出现密集人群，就会“涌现”出少量人群所不具备的规律，那么，适合少量人群管理模式的直接扩展和延拓就难以适应密集人群的管理。回顾密集人群管理不善引发的惨剧至今让人铭心刻骨。北京密云灯展中彩虹桥上的拥挤踩踏事件犹在眼前；德国音乐节时的场面和一度出现过的严重事故依然让大家惊心；柬埔寨送水节上人们无奈的眼神和挣扎逃离的欲望在人们脑中回旋。这些令人深思的教训日益凸显了深入研究密集人群管理规律的重要性和紧迫性。

以迟菲博士为主的青年研究团队关注密集人群管理问题，对密集人群存在的场景、类型、特征和规律以及相应管理策略进行了综合研究，取得的国内这一领域不多见的研究成果，对于从事密集人群流动研究、重大活动组织管理、重大交通枢纽和建筑设计等相关人员都有参考价值。值得称道的是，这本书还就当前分析密集人群规律的一些模型和软件进行了对比分析。我国当前使用的多是其他国家开发的相应系统，里面所应用的社会力模型、元胞自动机等模型工具也多是海外学者和工程师开发的，这恰恰是国内青年科学家长期发展的空间。当然，原始创新是学术研究的最高境界，集成创新和模仿创新也是原始创新能力建设的必要阶段，是有价值的研究活动。本书作者已经对中国多个场所进行过密集人群管理研究，尤其是疏散模拟的研究与实践，积累了大量应用与实践经验，书中列举的一些疏散模拟项目，可让大家窥见国内密集人群管理之一斑。

密集人群管理研究的应用领域非常广泛，从超市购物、大型演艺集会，到交通枢纽高峰运营等都需要有密集人群管理方案、预警体系与应急预案，以营造更安全、更放心的社会生活环境。因此，密集人群管理对于重大活动组织者和参与者都有价值，可以降低密集人群引发灾害的概率，也可以使人们在人群中做到趋利避害。此外，这本书对中国社会管理者和研究者也有参考价值。

穆荣平

2011年12月26日

前言

社会的不断发展,使得城市交通越来越便利,大型的公共设施越来越多,随之而来的人群聚集现象也越来越多,规模越来越大。人群聚集形成高度密集人群的时候,发生各种事故的风险增大,需要加强对密集人群的安全管理,首先需要认识密集人群的集散过程和运动规律,以及人群在正常状态和惊恐状态下群体的行为规律,特别是人群在应急疏散过程中的行为规律。

出于安全性的考虑,在人群流动规律的研究,特别是针对密集人群规律的研究中,实验方法受到很多限制。因此,计算机模拟就成为这方面研究的重要手段。

人群流动规律的研究受到消防、建筑、交通、心理行为以及风险管理和公共安全等多个领域的关注,大量的论文是从特定领域的视角,针对人群流动规律中的特定问题进行研究得到的成果。本书以人群流动规律的研究为主线,汇集、梳理了近年来国内外各相关领域针对人群流动规律与模拟技术方面的重要研究成果,并归纳了我们近年来从事人群规律研究的工作实例,希望不仅能对从事行人交通与应急疏散方面的研究人员有一定的帮助,也能为从事建筑设计、步行设施设计、行人疏导和风险评估等相关领域的工程技术人员和管理人员提供参考。

本书内容分为7章,主要介绍了密集人群流动的规律、人群流动导致的事件以及用于研究密集人群的计算机模拟技术、软件和案例。

第1章是概述,介绍了人群流动规律的含义、人群流动状态的类型、密集人群流动规律的意义以及密集人群流动规律发展的历史与现状。

第2章是人群流动的基本规律与应用。分析了人群流量、人群密度、人群速度等人群流动的相关因素,描述了大型场馆、露天道路、开放广场、室内通道等不同场所的人群流动特征,介绍了人群流动规律的研究方法,最后介绍了人群流动规律在建筑设计、人群管理、应急设施设计和道路设施设计等方面的实际应用。

第3章是密集人群流动导致的事件。介绍了人群流动导致的典型事件的类型、事件发生原因、后果、应急处置方法等,最后就拥挤踩踏事件做了案例分析。

第4章是人群流动规律模拟模型。主要介绍了以流体力学模型为代表的宏观模拟模型和以社会力模型、格子气模型、元胞自动机模型、磁力模型、排队网络模型、成本效益元胞模型为代表的微观模拟模型。

第5章是人群流动规律模拟软件介绍。介绍了软件的分类与选用,并详细介绍了BuildingEXODUS、STEPS、Simulex、Legion、GUIDER五种常用模拟软件。

第6章是模拟技术的应用案例。详细地介绍了地铁、大型场馆、开放广场等地点

的人群流动模拟方法与模拟结果。

第7章是人群流动规律研究的发展。从理论研究、模拟方法与模拟技术方面，介绍了人群流动模拟技术的未来发展趋势。

参与本书写作的人员均为从事密集人群流动规律与应急管理研究的人员。迟菲博士编著了第1章，第2章的2.1、2.2、2.3.2部分，合写了第3章，并最后审订了全书内容；胡成编著了第6章；李凤编著了第5章。刘晓琴负责了第7章的编著；张昊宇负责了第2章2.3.1小节的编著；李季梅负责了第2章2.4小节以及第4章4.4小节的编著；宁利君负责了第4章4.1、4.3.2、4.3.4和4.3.5小节的编著；郑金鹏负责了第4章4.2和4.3.1小结的编著；王光辉负责了4.3.3和4.3.6小节的编著；郑晓洋参与了第3章的编著；刘霞负责了部分章节的修改工作。此外，中国安全生产科学研究院公共安全研究所的姜传胜博士也在编书过程中对书稿进行了审阅。

在本书的前期调查研究和后期成书过程中，很多单位和个人都给予了大力支持。西长安街街道办事处、西单商业区综合管理办公室、北京市地铁运营有限公司、北京市地铁设计研究所、第29届奥林匹克运动会组织委员会、柏诚工程技术（北京）有限公司等单位为课题调研提供了支持。此外，朱伟博士为本书提供了大型场馆火灾环境下人员疏散研究的素材；方曼在西单地区行人分配规律调查策划中的工作也为本书提供了素材。

本书的部分研究成果得到“西单地区人员密集场所日均人流量估计方法及人群流动规律研究”、国家自然科学基金重大研究计划培育项目“非常规突发事件的‘事中’评价策略与动态研判方法研究”（项目编号：91024004）以及“地铁车站大客流应急疏散模拟研究”项目的资助。

最后还要感谢为本书提供了参考资料的各位学者，他们在密集人群流动规律与模拟技术方面的研究工作丰富了本书的内容。

限于编著者的水平，书中疏漏及不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

2011年11月18日

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 人群流动规律	1
1.1.1 人群流动规律的含义	1
1.1.2 人群流动状态的类型	2
1.2 密集人群流动规律研究的意义	4
1.3 密集人群流动规律研究的历史与现状	5
参考文献	9
第 2 章 人群流动的基本规律与应用	10
2.1 人群流动的相关因素	10
2.1.1 人群速度	10
2.1.2 人群密度	12
2.1.3 人体所占空间	14
2.1.4 场地情况	16
2.1.5 人群流量	18
2.1.6 人群构成与状态	19
2.2 不同场所的人群流动特征	23
2.2.1 大型场馆型	23
2.2.2 露天道路型	25
2.2.3 室内通道型	25
2.2.4 广场型	27
2.2.5 室内小户型	28
2.3 人群流动规律的研究方法	30
2.3.1 人群流动数据的采集方法	30
2.3.2 人群流动规律的分析方法	46
2.4 人群流动规律的应用	49
2.4.1 建筑设计方面	50
2.4.2 人群管理方面	52
2.4.3 道路设施设计	53
2.4.4 应急设施方面	56

参考文献	58
------------	----

第3章 密集人群流动导致的事件 60

3.1 人群聚集导致的事件类型	60
3.1.1 人员密集场所分类	60
3.1.2 事件类型	61
3.2 事件的发生机理分析	62
3.2.1 人群聚集的原因	62
3.2.2 事件发生的原因	63
3.3 事件的后果	65
3.4 事件的处置机制	65
3.4.1 事前预防与监测预警	66
3.4.2 事中处置与控制	67
3.4.3 事后恢复与评估	68
3.5 人群拥挤踩踏事件分析	68
3.5.1 拥挤踩踏事件的特点	69
3.5.2 拥挤踩踏事件的原因及对策	70
3.5.3 典型拥挤踩踏事件分析	71
参考文献	73

第4章 人群流动规律模拟模型 75

4.1 模型的分类	75
4.2 流体力学模型	78
4.3 微观模型	80
4.3.1 社会力模型	81
4.3.2 磁场力模型	87
4.3.3 成本-效益元胞模型	88
4.3.4 元胞自动机模型	91
4.3.5 格子气自动机模型	97
4.3.6 排队网络模型	101
4.4 模型的对比	104
参考文献	105

第5章 人群流动规律模拟软件介绍 107

5.1 模拟软件分类及选用	107
5.1.1 软件分类	107
5.1.2 软件选用	108
5.2 常用商业软件介绍	109
5.2.1 BuildingEXODUS	109

5.2.2 STEPS	115
5.2.3 Simulex 软件介绍	117
5.2.4 Legion	119
5.2.5 Guarder	120
参考文献	125

第6章 模拟技术的应用案例

126

6.1 人群流动模拟分析的流程	126
6.2 地下场所人群模拟——以地铁人员疏散为例	128
6.2.1 模拟参数	129
6.2.2 模拟场景的拟定	134
6.2.3 “拥挤车站”场景模拟结果分析示例	135
6.3 体育场馆类建筑疏散模拟——以摔跤馆火灾疏散为例	137
6.3.1 体育场馆建筑人员安全特点分析	138
6.3.2 模拟方法和模拟软件选择	138
6.3.3 疏散设施数据勘测	142
6.3.4 人员特征参数的确定	143
6.3.5 火灾影响下的人员疏散模拟	149
6.3.6 摔跤馆西侧媒体区起火的场景结果分析示例	155
6.3.7 模拟总结	158
6.4 开放广场类场所人群模拟——以国家体育场东侧广场步行人流模拟 为例	158
6.4.1 国家体育场东侧广场简介	158
6.4.2 模拟总体方案及模拟假设	159
6.4.3 模拟结果及分析	160
6.4.4 结论和建议	167
参考文献	167

第7章 人群流动规律研究的发展

168

7.1 人群流动规律理论研究发展	168
7.2 人群流动规律模拟方法发展	169
7.2.1 人群流动规律建模方法的发展	169
7.2.2 人群流动规律模型的发展	170
7.3 人群流动规律模拟技术发展	171
7.3.1 数据收集技术	171
7.3.2 三维建模技术	171
7.3.3 大规模建模技术	172
7.3.4 基于 Agent 建模技术	172
7.3.5 基于 GIS 的建模技术	172
参考文献	173

第1章

概述

由于社会的不断发展，人群活动的范围也越来越大。在公共场合，无论是大型活动场所还是居民区，无论是车站还是马路，都会有人群聚集的现象。当众多人群聚集在一起形成密集人群的时候，容易发生拥挤踩踏等事故，因此需要对密集人群进行有效地管理。这就首先需要了解人群的一些特征：人群的组成如何？单位时间内有多少人通行？人群的密集程度如何？人群的速度大小如何？遇到突发事件时人群的行为会如何？诸如此类。这些特征就是人群流动规律的体现。此外，由于建筑、设施、交通等都是为人服务的，因此建筑和设施、交通等的规划设计也都需要以人群流动的规律为基础。

1.1 人群流动规律

要了解人群流动规律，首先应该了解什么是人群流动规律，人群流动状态有哪些类型，有哪些外在的特征。下面将对反映人群流动规律的这些基本信息做初步的介绍。

1.1.1 人群流动规律的含义

人群流动规律是指人群行走时表现出来的群体运动规律。因此人群流动规律也常常被叫做行人行走规律、人群运动规律、行人运动规律等。人群流动规律包括宏观规律和微观规律两部分的内容。宏观规律主要指行人集体所表现出来的密度、速度和流量等特征；微观规律主要指行人单个个体在某段时间内因其心理和生理因素的影响而表现出来的决策行为和采取的动作。

密集人群流动规律的研究有其天然的难度。这是因为，人是自然界复杂的个体，人的每一个行为都是复杂的感知和决策过程的结果，人类对自身行为认识还远远不够。此外，现实世界中人群的每个人都是一个独立的个体，即使拥有共同的目标，每个人的立场、性格也不相同，甚至对于共同目标的认识也不尽相同，因此很难抽象出隐藏在复杂现象背后的共性特征。

尽管人的行为比较复杂，会在一定程度上表现出无序性，但其行走仍然可以找到一定的规律性，尤其是人群拥挤时，人的运行容易受到其他人的影响，则人群的运动表现出一些单个个体不具备的群体特征。

下面列举了一些人群流动常见的规律与现象。

(1) 人群密度越大，由于身体间的相互影响，人群速度越慢。

(2) 人们对于绕道或者向相反方向运动表示出强烈的厌恶心理；行人总是与他人或公共设施边界保持一定的距离；行人有时会重复别人的行为方式；在拥挤场合，人群通常会因为恐慌造成推挤和惊跑，从而导致冲撞践踏并引起伤亡事故等。

(3) 密集人群中双向流动会产生“自动队列”（双向的人群都自动排成队列）的自组织现象。自组织的含义是指这种现象并不是提前刻意计划、组织形成的，比如通过指示牌、法规、习惯等方式，而是自然形成的。“自动队列”现象是指在双向人流中，行走方向大致相同的行人之间形成条状的通道，后面的行人跟随前面的行人前进。这些“自动队列”在运行当中是动态变化的，并没有固定的位置和规模，在通道中“自动队列”的数量与通道的宽度和行人流的密度有关。

(4) 当人群通过一个入口或出口处时，若有次序地行进，可顺畅流通。行进速度愈快则流量愈大。而当人群很拥挤时，则流量大大减少。这就是所谓的“瓶颈效应”。

(5) 整个人群同步接受到紧急撤离信息后，同步或在相近时间内做出响应行动，当出口的宽度限制了密集人群的流动，导致密集型人群移动在出口处形成聚集，呈现拱形分布的特点（见图 1.1）。当个体的期望方向受到四面阻碍后，其所受的排斥作用使其运动逐渐偏离期望方向，在运动过程中，仍然希望尽可能地保持与出口的最短距离。个体会根据受力的结果自动调整运动方向，最终，个体组成的整个人群会自发形成拱形的分布。产生拱形效应后，由于个体自身的驱动力无法克服相互挤压产生的排斥力和摩擦力，行人被拥挤的无法动弹或者偏离了期望方向，当拥挤比较严重时，甚至会出现所有在出口处被挤住的人都无法移动的情况，因此，行人均无法前进到达出口，行人间的相互重叠而在出口处形成了一种“死锁”状态，在体积排斥规则下，某一段时间内所有人均不能通过出口。一旦有人挤出出口，就会导致一部分人紧接着通过出口直到拥塞再次发生。

1.1.2 人群流动状态的类型

人群流动状态可以根据不同的特征而分成不同的类型，最常见的三种分类方式是按照人群密度分类、按照人群流动方向分类和按照混乱程度分类。

(1) 按照人群密度分类 按照人群密度的不同，人群流动状态可以大致分为低密度型、中密度型、高密度型和极高密度型三种状态。对于这几种类型的描述与定义，国际上目前还没有一个明确的规定，本书给了以下的定义和描述。

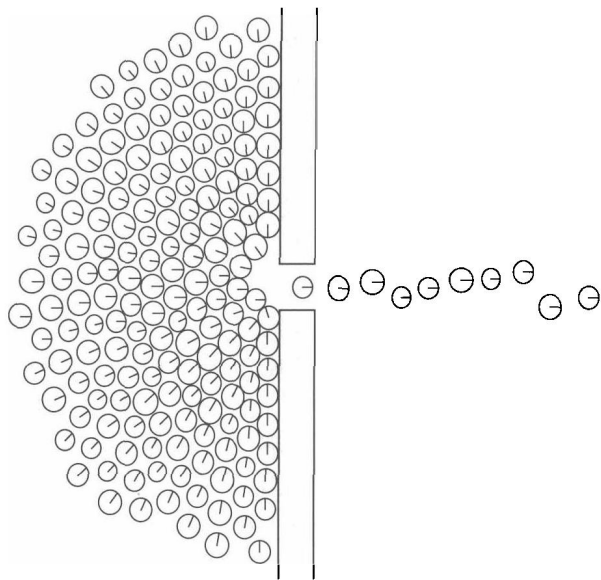


图 1.1 拱形效应示意

① 低密度型。指人的行走不受到任何他人的限制的自由流动状态。在这种状态下，人们可以根据自己的想法作出特定的行走行为而不受到他人的干扰和限制。国际上有学者研究得到的能够自由流动的人群密度值大约等于或低于 $0.54 \text{ 人}/\text{m}^2$ 。

② 中密度型。指人的行走略微受到周围的人限制的状态。在这种状态下，人们正常行走一般不会受到周围的人的限制，但如果人的速度大小或者方向改变，则会在一定程度上受到周围的人的限制。例如，一个人如果提高速度，和走在前面的人的距离减小，会受到前面的人的速度的限制；一个人如果想掉头行走，则需要在一定程度上避开正面迎来的人。

③ 高密度型。指人的行走会严重受到周围的人的限制的状态。在这种状态下，个体的行走速度受到周围的人的影响，因此个体行走速度的差异性减小，单个个体的速度很难超越前面的人，并且在行走过程中有可能会接触到周围的人。

④ 极高密度型。指因人群密度太大，而导致人群移动艰难的状态。在这种状态下，人与人之间紧密挨着，很难移动，甚至有被挤压的现象。一般来说，当人群密度大于 $3.8 \text{ 人}/\text{m}^2$ 时，呈现极高密度型的状态。

本书中所说的密集人群主要指中密度型、高密度型和极高密度型的人群。密集人群由于人群密度大，很容易发生各种事故，因此，成为人们研究和关注的热点；并且由于人群密集，单个人的个性行为被淹没，而表现出一种群体特征，这种群体特征比个体特征更有规律性。

(2) 按照人群流动方向分类 按照人群流动方向的不同，人群流动状态可以分为同向流动型、双向流动型、中心聚拢型、四周发散型、散漫无序型五种类型。

① 同向流动型。同向流动型是指人群朝着同一个方向行进。地铁换乘的单行通道中人群的流动、大型场馆入口和出口处观众的流动、运动会上运动员队伍的流动等

都是同向流动型的例子。

② 双向流动型。双向流动型是指人群朝着正反两个方向行进。这种双向行进过程中，往往人们会自发地分成两个方向的队伍，形成“自组织现象”。双向流动型的例子包括非单行道的地铁通道里人群的流动，过街天桥上人群的流动，楼梯、地铁进出口人群的流动等。

③ 交叉流动型。交叉流动型是指有一股人群和另外一股人群的运动方向相交叉。例如在没有红绿灯的十字路口上行人的流动是交叉流动型的。

④ 中心聚拢型。中心聚拢型是指人群朝着同一个中心点聚拢。例如大卖场上人们的聚集抢购、场馆内发生事故时人们朝着同一个狭窄的出口逃离等。中心聚拢型的人群流动方向会使聚拢中心点的人群密度急剧增大，更易发生人群拥挤、踩踏事故。

⑤ 四周发散型。四周发散型是指人群从一个中心点朝着周围的方向流动。这种类型常见于在宽阔的广场上，当聚集的人群解散时，会朝着四周运动。

⑥ 散漫无序型。散漫无序型是指人群在某个场所各自按照自己设定的方向前进，没有特定的行进方向。这种状态常见于广场上闲逛的人群等。

1.2 密集人群流动规律研究的意义

随着社会的发展与进步，随着世界上人口的不断增加，对密集人群流动规律的研究越来越受到重视，密集人群流动规律的研究成为了建筑、交通、商业等学科的研究热点。研究的意义表现为以下三个方面。

(1) 有效地进行人群管理，避免拥挤踩踏事件 随着人口的增加与人类活动场所的发展，人群活动也日益增加，因此人群安全问题也越来越突出，尤其是密集人群的流动，更容易导致各种事件，尤其是拥挤踩踏事件。拥挤踩踏事件是指在人员密集场所中，由于现场秩序失去控制，发生拥挤、混乱，导致大量人员被挤伤、窒息或踩踏致死的事件。最早被研究并记入史册的群体性拥挤踩踏事件，发生于1896年5月18日，在莫斯科官方举办的活动中，沙皇心血来潮，向其臣民散发金币，结果在人们疯狂的争抢中，大约有2000人因被挤压踩踏而丧生。近年来，由于人群密集而导致的拥挤踩踏事件更加频繁。

我国近年来也发生过多起拥挤踩踏事件，下面列举了2000年以来我国发生的一些拥挤踩踏事件的例子。

2002年9月23日，内蒙古乌兰察布盟丰镇市第二中学发生学生拥挤造成楼梯护栏坍塌事故，事故中21名学生死亡，47名学生受伤。

2004年2月5日，北京市密云县密虹公园里，因一观灯游人在公园桥上跌倒，引起身后游人拥挤，造成踩死挤伤游人特大恶性事故，37人死亡，15人受伤。

2005年10月25日晚，四川省巴中市通江县广纳小学发生拥挤踩踏事件，造成8名学生死亡，17名学生受伤。

2006年18日晚，江西省都昌县土塘中学发生一起学生拥挤踩踏伤亡事件，致6人死亡，90余人受伤。

2009年12月7日晚，湖南省湘潭市辖内的湘乡市的私立学校育才中学发生一起

伤亡惨重的校园踩踏事件，造成8人死亡，26人受伤。

2010年11月29日，位于新疆阿克苏市杭州大道的阿克苏第五小学发生踩踏事故，踩踏事故中住院人数41人，其中1人病危、6人重伤。

该类事故后果及其严重程度，都造成了重大的人群伤亡，社会负面影响恶劣。要减少或避免拥挤踩踏事件的发生，降低事件的危害，需要对密集人群流动规律进行研究，掌握密集人群流动的特征，并以此为基础设计人群管理与事故应急管理策略。

(2) 遇到突发事件时能及时有效地疏散人群，减少伤亡 当某个人群密集场所遇到突发事件时，需要紧急疏散人群，如果疏散不畅，会造成更严重的后果。在疏散过程中，疏散效率取决于建筑物的结构、人群速度、人群密度、人群状态等因素。因此对人群流动规律的研究可以为疏散管理提供理论依据。

(3) 为建筑设计、交通设计、商业策略、疾病防控等其他领域提供一些理论上的支持 建筑设计师可以根据人群流动规律更好地设计人群分流模式，提高建筑物的安全系数；还可以根据人群分布、人群特征等设计室内设施和家具用品等。在交通方面，可以根据人群流动规律设计马路宽度、交通设施布局等。商家可以根据人流量、人群类别与特征等合理安排空间、时间以及相关工作人员的数量。在疾病防控中，管理者可以根据人群分布等设计防控措施。

1.3 密集人群流动规律研究的历史与现状

密集人群流动规律的研究是20世纪以后才逐渐发展起来的研究领域。总体来说，历史上对密集人群流动规律的研究大多是为人群疏散提供理论支持，因此，围绕疏散方面的研究较多，大致可以划分为三个阶段。

(1) 第一个阶段是萌芽阶段 大约是从20世纪初到20世纪60年代。在20世纪早期主要采取观测和统计分析的研究方法。例如：前苏联艺术科学院建筑研究所(VAKH)、前苏联火灾防治科研中心(VNIPO)、英国的Hankin和Wright等学者以及美国的一些学者或研究机构都针对行人流的宏观统计规律开展过研究。

1935年美国一份会议报告“建筑物疏散口的设计和建造”(Design and Construction Building Exits)中对疏散口的人群流动作了一些定性和定量的研究。然而，报告对疏散口单位宽度上的人流量作了过高的估计，报告中给出下楼梯时单位宽度的疏散口每分钟通过45人。同时期，英国的一份报告“战后建筑研究第29号文件”(post-War Building Studies, No. 29)提出对一个起火建筑来说应该在2.5min内完成人员疏散。其依据是1911年英国爱丁堡帝国宫剧院在起火后2.5min内完成了疏散。报告还建议在计算疏散口的疏散能力时采用较高的人流量：530mm的宽度上每分钟通过40个人。该阶段对密集人群流动规律的研究属于初步研究阶段，对人群流动特征的获取是建立在直接观察的基础上，此时的研究并未形成一套理论与体系。

日本的Kikuji Togawa在1955年提出了自己的观点和一些经验数据，并提出了计算建筑物内人员疏散的经验公式。该公式既考虑到人员疏散出建筑物的时间，又考虑了通过某一段距离所用时间。Togawa的研究工作通常被归类于人群运动的综合研究。

(2) 第二个阶段是发展阶段 是 20 世纪 60~70 年代到 80 年代末，该阶段是密集人群流动规律研究快速发展的阶段，人们开始用数学模型来描述行人的宏观统计特性。在此阶段中，有大量的人群流动规律的研究成果，并提出了很多模型。这个阶段的初期，人们主要关心流量-速度-密度的关系和行人设施的容量。那时计算机技术还不发达，大部分的研究也仅仅是靠肉眼观察、拍照、胶片记录等方式宏观评价人群流动。

到了 20 世纪 60 年代末，高层建筑增多，引发了高层建筑物的防火安全和消防标准规范的制定问题。Galbreath Melinek 和 Booth，在高层建筑疏散时间与楼梯、出口宽度方面作了大量的工作，并在 Togawa 等人研究的基础上提出了楼梯宽度与最短疏散时间的计算方法。1969 年，Pauls 在渥太华开始系统地研究高层建筑人员疏散演习，在获取大量数据后，提出了“有效宽度模型”。同时 Pauls 还开展了人在火灾中行为的研究，提出了人员疏散过程包括开始准备疏散过程和运动疏散过程。

在人群运动的综合研究方面，John Fruin 做了大量的工作。一个比较早的宏观行人仿真模型是由 Fruin 在 1971 年提出的，他的模型已经被美国的通行能力手册 (Highway Capacity Manual, 简称 HCM) 所采用作为分析宏观行人流特性的方法。这些研究因为没有考虑行人间的相互影响所以不太适合用于预测步行区域或建筑物内的行人流特性，而且这些研究大部分继承的是机动车交通流的理论。客观的说，这些模型对于计算一些常态下的宏观参数是有效的，但是如果要求更细一些或场景更复杂些，它们就无能为力了。Fruin 在人群流量、人群速度和密度方面作了大量的调查研究，认为人群流量与通道宽度是线性关系，而与单位宽度上的人群数量则是非线性关系，并出版了一本有关人群流动的综合性专著《步行者的分布与设计》(Pedestrian Planning and Design)，在该书中 Fruin 运用人机工程学以及心理和生理学的理论，讨论了行人的身体尺寸、个人空间感知区域、行人的运动空间区域、行人对城市空间的感知、行人行走或运动等概念；对人行道、楼梯等设施行人交通的一些基本参数，如人行道的交通流、出入口、排队以及行人的到达特性做了一些研究；还从行人的设施和网络的规划设计进行了研究。

通过大量的实际观测，Fruin 针对人员间距和人员步行能力的关系，以及人和周围空间结构的间距对人员行动能力的影响等进行了深入的研究，获得了一系列非常有价值的资料，进而将人员步行行动状态划分为六个等级。很多国家在制定建筑规范时将 Fruin 的研究成果作为标准广泛采用，如表 1.1 所示。

表 1.1 6 种人员密度下队列的流动情况

分类	人均面积/m ²	人与人之间的距离/m	队列的流动情况
A	>1.2	1.2	受轻微限制
B	0.9~1.2	1.1~1.2	受限制
C	0.7~0.9	0.9~1.1	受限制
D	0.3~0.7	0.6~0.9	严重受限制
E	0.2~0.3	0.6	不可能
F	<0.2	—	不可能