



中华人民共和国国家标准

GB/T 31593.9—2015

消防安全工程 第9部分：人员疏散评估指南

Fire safety engineering—
Part 9: Guidance on evaluation of behaviour and movement of people

(ISO/TR 16738:2009, Fire safety engineering—Technical information on
methods for evaluating behaviour and movement of people, MOD)

2015-06-02 发布

2015-08-01 实施

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 发布

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	2
5 性能化设计中的人员疏散评估	3
6 疏散场景设计	6
7 预动作时间计算	7
8 运动时间计算	7
9 预动作时间、行走时间、出口通过时间的相互关系	7
10 必需疏散时间 RSET 计算	8
11 火灾烟气和高温对 ASET 和 RSET 的影响	8
附录 A (资料性附录) 本部分章条编号与 ISO/TR 16738:2009 的章条编号对照	11
附录 B (资料性附录) 火灾探测时间和报警时间计算指南	12
附录 C (资料性附录) 行动前行为特性和决定因素	14
附录 D (资料性附录) RSET 计算所需详细信息	16
附录 E (资料性附录) 用于 RSET 计算的疏散场景设计	18
附录 F (资料性附录) 预动作时间分布数据及其推导	23
附录 G (资料性附录) 疏散开始时间计算示例	25
附录 H (资料性附录) 步行速度和流速指南	27
附录 I (资料性附录) 预动作时间和运动时间的相互关系示例	36
附录 J (资料性附录) 烟气对行走速度的影响	38
参考文献	40

前 言

GB/T 31593《消防安全工程》分为以下九个部分：

- 第 1 部分：计算方法的评估、验证和确认；
- 第 2 部分：所需数据类型与信息；
- 第 3 部分：火灾风险评估指南；
- 第 4 部分：设定火灾场景和设定火灾的选择；
- 第 5 部分：火羽流的计算要求；
- 第 6 部分：烟气层的计算要求；
- 第 7 部分：顶棚射流的计算要求；
- 第 8 部分：开口气流的计算要求；
- 第 9 部分：人员疏散评估指南。

本部分为 GB/T 31593 的第 9 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 ISO/TR 16738:2009《消防安全工程 人员疏散行为评估方法的技术信息》。

本部分与 ISO/TR 16738:2009 相比在结构上有较多调整，附录 A 列出了本部分与 ISO/TR 16738:2009 的章条编号对照一览表。

本部分与 ISO/TR 16738:2009 的技术性差异及其原因如下：

- 对规范性引用文件做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，具体调整是采用 GB/T 5907(所有部分)代替了 ISO 13943(见第 3 章)；
- 为便于使用者理解，第 3 章中增加了“探测时间”这一术语并对其进行定义(见 3.17)；
- 为便于使用者理解，增加了疏散评估流程示意图(见图 1)；
- 为便于使用者更清楚地理解疏散评估各参数之间的关系，删除了 ISO/TR 16738:2009 中的图 1，按我国实际重新绘制疏散过程示意图(见图 2)；
- 为便于使用者理解并符合我国实际，增加了有关疏散开始时间和疏散时间的表述条款(见 5.7.5)。

本部分还做了下列编辑性修改：

- 删除了国际标准的前言，重新起草了前言；
- 修改了国际标准的引言，将其作为本部分的引言；
- 将国际标准的“本技术报告”一词改为“GB/T 31593 的本部分”或“本部分”；
- 将国际标准的某些表格中单位表述方法按照我国的要求进行了转化；为方便使用，对部分表格中的多行数据划分为单行表格的形式；
- 将国际标准的某些单位按照我国的要求进行了转化(如“人/s/m”、“人/m/s”转化为“人/(m·s)”等)；
- 将国际标准的某些标点符号修改为符合汉语习惯的标点符号；
- 增加资料性附录 A，并将国际标准的资料性附录 A~附录 I 顺次调整为附录 B~附录 J；
- 修正了国际标准表 E.2 中的编辑错误。

本部分由中华人民共和国公安部提出。

本部分由全国消防标准化技术委员会建筑消防安全工程分技术委员会(SAC/TC 113/SC 13)

GB/T 31593.9—2015

归口。

本部分起草单位：公安部天津消防研究所、中国建筑科学研究院、公安部四川消防研究所、中国科学技术大学。

本部分主要起草人：张向阳、姚松经、韩伟平、刘文利、刘松涛、智会强、阚强、张玉贤、陆守香、毕少颖、胡忠日、邓松华、郭歌、郑巍。

引 言

GB/T 31593 的本部分为消防性能化设计和评估工作中关于人员生命安全方面的评估分析和量化计算提供了指南和必要的信息。评估内容主要是人员在建筑或构筑物火灾状况下的疏散行为,特别是火灾产生的烟热对人员的疏散能力产生的影响。

本部分需要与 GB/T 31593 的其他部分共同使用。这些文件对生命安全分析评估很有帮助,同时也有助于使生命安全评估结果和消防工程设计得到更好地结合。

本部分适合从事消防安全工程的专业人员使用,包括消防设计人员、消防救援人员、消防标准规范制定者、保险商、消防安全管理人员,标准使用者需要充分理解本部分给出的计算方法中相关参数的含义和应用条件。

消防安全工程

第 9 部分：人员疏散评估指南

1 范围

GB/T 31593 的本部分规定了火灾状况下人员的行为，特别是应急疏散行为的评估、量化和管理方法，提出了构成人员安全疏散设计评估基础的参数，提供了确定建筑内人员位置与状态随时间变化所需的流程、评估和计算方面的信息。

本部分为消防安全工程设计人员、管理人员和消防安全技术人员提供了消防安全工程设计中有关疏散策略的工程方法和生命安全评估指南，适用于消防安全工程的人员疏散评估。

本部分所指的人员疏散不包括采用电梯进行的人员应急疏散。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5907(所有部分) 消防词汇

3 术语和定义

GB/T 5907 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

设计疏散场景 design behavioural scenario

对人员特性、建筑环境与建筑系统，以及火灾动力学特性的定性描述，用于识别影响疏散行为和疏散时间的关键因素。

3.2

疏散路线 escape route

人员从建筑内任一点疏散到最终出口或其他安全地点所需经过的路径。

3.3

必需疏散时间 [required safe] escape time

从起火到建筑内所有人员达到安全地点的时间。

3.4

出口 exit

通向相对安全地点的门或开口。

3.5

通过时间 flow time

人群通过房间或建筑内某一特定出口或一系列出口所需要的时间。

3.6

安全裕量 margin of safety

考虑到设计参数的不确定性或统计分布特性对设计性能的影响，对设计计算值或性能要求附加的

一个额外值或乘以一个倍率系数。

注：在人员行为和疏散分析中，考虑到建筑类型和建筑内人员的不同，以及潜在的火灾场景和某一设定场景中 ASET 与 RSET 预测的不确定性，需要考虑适当的安全裕量。

3.7

汇聚比 merge ratio

多股人流汇聚时，进入汇聚地点的各股人流流量的比值。

3.8

预动作时间 pre-travel activity time; PTAT

从发出火灾警报到人员开始向出口移动的时间。

注 1：包括确认时间(3.9)和反应时间(3.10)两部分。

注 2：对于一群人，分为：

——第一个开始疏散人的预动作时间；

——第一个开始疏散人和最后一个开始疏散人之间的预动作时间分布。

3.9

确认时间 recognition time

从发出火灾警报到人员开始做出反应的时间。

3.10

反应时间 response time

从人员对发生的事件做出第一反应到开始向安全区域移动的时间。

3.11

安全地点 safe location

建筑内或建筑外远离火灾或与火灾隔离并且不会受到火灾影响的地点。

注：根据疏散策略的不同，安全地点可以在建筑外，也可以在建筑内。

3.12

耐受指标 tenability criteria

人体受到火灾作用并能承受的最大危害程度。

3.13

运动时间 travel time

建筑内某一区域的人员，从向出口移动开始到进入安全地点所需要的时间。

3.14

行走速度 walking speed

人员不受限制时的步行速度。

3.15

行走时间 walking time

人员从其起始位置行走到现在最近出口所需要的时间。

3.16

报警时间 warning time

从探测到火灾开始，到向建筑内特定区域发出警报信号的时间。

3.17

探测时间 detection time

从起火到通过自动报警系统或人工方式探测到火灾的时间。

4 符号

下列符号适用于本文件。

t_{ASET}	——可用疏散时间。
t_{RSET}	——必需疏散时间。
t_{start}	——疏散开始时间。
t_{evac}	——疏散时间。
t_{det}	——探测时间。
t_{warn}	——报警时间。
t_{pre}	——预动作时间。
t_{trav}	——运动时间。
$t_{trav(walking)}$	——运动时间中的行走时间。
$t_{trav(flow)}$	——运动时间中的出口通过时间。
t_{rec}	——识别(确认)时间。
t_{res}	——反应(响应)时间。
t_{marg}	——安全裕量。

5 性能化设计中的人员疏散评估

5.1 概述

5.1.1 疏散评估的流程

为保证人员生命财产在建筑火灾中的安全,应采取必要的消防安全措施,包括防止火灾发生、阻止火灾快速蔓延、提供消防救援通道与设施、设置探测与报警设施以及提供足够的疏散设施等。消防安全工程的性能化设计中,人员疏散评估就是考察建筑结构及其各消防子系统保证人员疏散的安全性能,其一般流程如图 1 所示。

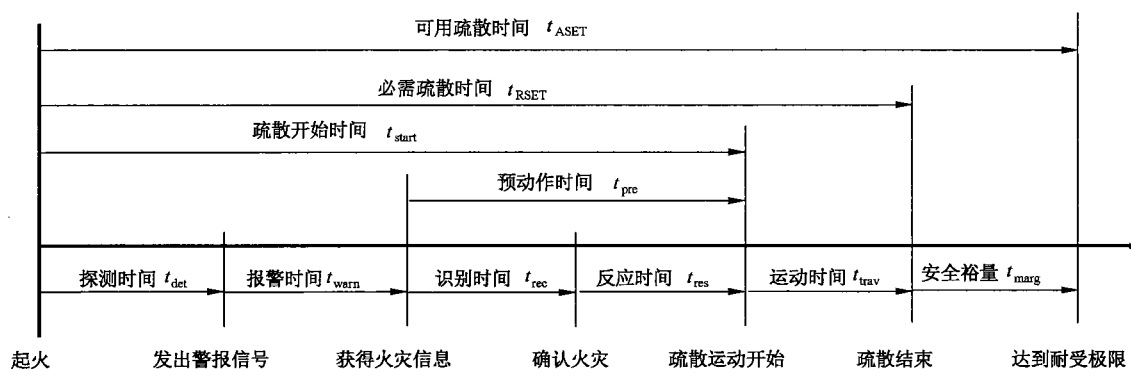


图 1 疏散评估流程示意图

5.1.2 疏散评估的主要内容

消防安全工程的性能化总体设计一般分为一系列既相互关联又相对独立的子系统,应明确每个子系统所采取的措施及其对应结果(参见 GB/T 31540.1)。其中,人员疏散评估以时间为基础,疏散过程可用图 2 所示的示意图来描述。对于任何一个火灾场景,对疏散过程进行评估的主要内容就是计算可用疏散时间(ASET)和必需疏散时间(RSET),通过比较 ASET 和 RSET 对疏散的安全性进行评估。疏散评估中,除性能化方法外,还需要遵循有关规范的要求。

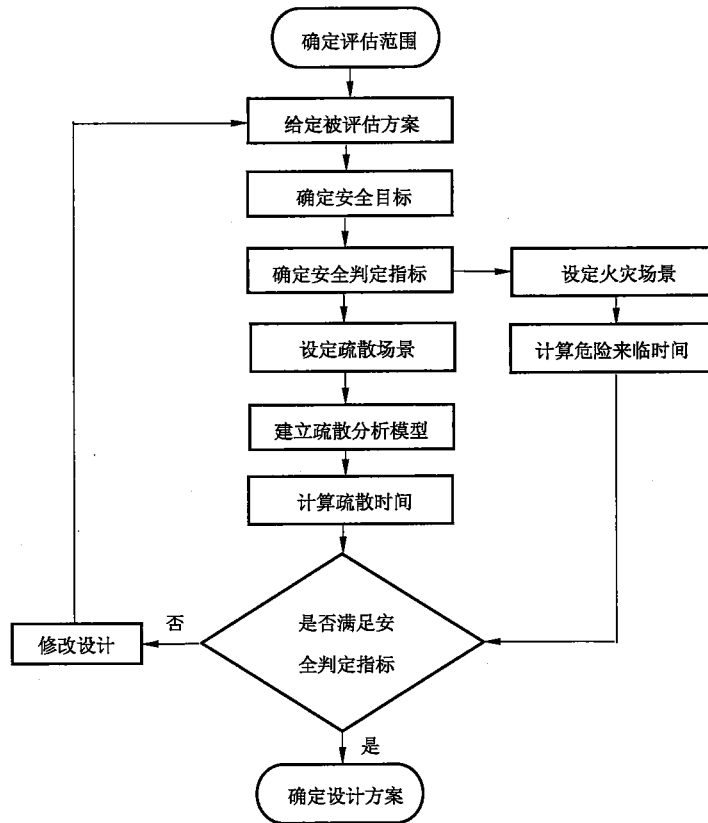


图 2 疏散过程示意图

5.2 人员疏散的性能化设计基础

人员安全疏散设计主要包括人员的防火保护措施和疏散方式两方面,这两方面构成了人员疏散性能设计的基础,具体包括:

- 提供足够的疏散路径(出口与疏散通道的数量和宽度、到达出口的行走距离);
- 人员数量和密度的估算与控制;
- 防火分隔(防火分区间和疏散通道的被动防火措施、防火门与防烟前室);
- 报警措施(手动或自动探测与警报系统、消防安全管理);
- 主动防火措施(自动喷水灭火系统、排烟系统);
- 疏散标志与应急照明等。

5.3 ASET 的计算

对每个场景的 ASET 分析,主要在于计算人员遭受火灾烟气影响且达到不可忍受状态的时间。对于疏散人数很多或疏散时间很长的场景,还需要考虑结构安全和人的心理耐受极限。

ASET 的计算需要分析火灾中主要有毒产物浓度、烟气浓度和热量强度等随时间变化的关系(参见 GB/T 31540.2、GB/T 31593.3~31593.8),并且推导和分析得出 ASET 的临界点(参见 ISO 13571:2007)。

5.4 RSET 的计算

必需疏散时间(RSET)与火灾探测方式、报警方式、人员疏散行为特性有关。其中,疏散行为特性可分为两大类:

- 预动行为特性。涉及到人员开始朝向疏散线路移动之前的反应,有时疏散的预动作时间常常是整个疏散时间中最长的部分。
- 运动行为特性。涉及到人员朝向疏散线路移动并通过疏散线路疏散的物理运动,当人疏散过程中看到火、烟以及受到热、烟气的威胁时,需要进一步考虑火灾环境的作用(见第6章)。

5.5 疏散策略

疏散策略包括同时疏散策略和分阶段疏散策略,不同的疏散策略对疏散时间的影响很大。对于多数建筑物,火灾时所有人员可以同时疏散。对于疏散能力有限的建筑,可采用水平或垂直分阶段疏散策略,即人员逐步从建筑物内受到火灾威胁的区域进行疏散。例如,医院等难以进行快速疏散的建筑可采用分阶段的疏散策略,将人员疏散到相邻区域进行临时避难。

5.6 安全裕量

5.6.1 概述

由于建筑类型和建筑内人员类型的差异,以及潜在的火灾场景和某一设定场景中 ASET 与 RSET 预测的不确定性,消防安全工程中的人员疏散设计应考虑足够的安全裕量。

5.6.2 性能化设计

性能化设计中,安全裕量的确定以 ASET 与 RSET 的计算值为基础。这些计算应反映火灾烟气及其蔓延状况,以及每个阶段的人员疏散情况。每一阶段都应有记录,详细说明所做出的假设,包括参数的范围和不确定性。

关于不确定性的概率处理方法,可参考 GB/T 31593.3。

5.6.3 确定性设计

对于确定性设计,所选择的参数应经过验证,并且需要进行一系列计算来说明关键参数变化所产生的影响。对某一组 ASET 与 RSET 的计算结果,安全裕量(t_{marg})表示为 ASET(t_{ASET})与 RSET(t_{RSET})的差,见式(1):

$$t_{\text{marg}} = t_{\text{ASET}} - t_{\text{RSET}} \dots\dots\dots (1)$$

5.6.4 火灾场景的影响

在确定某一设计的安全裕量时,应考虑设计中设定的火灾场景对相关疏散措施产生的影响,而且应考虑到由于火灾特性、位置以及其他因素的影响,某些参数值可能无法获得。

5.7 RSET 量化计算中的参数

5.7.1 探测时间 t_{det}

探测时间与设置的火灾探测系统和火灾场景有关。着火房间内有关火灾增长特性的预测,参见 GB/T 31540.1、GB/T 31540.2、GB/T 31593.3~31593.8;有关火灾探测的预测指南,参见 GB/T 31540.4。有关人员在火灾探测和报警中的作用参见附录 B。

5.7.2 报警时间 t_{warn}

报警时间可以从零到几分钟甚至十几分钟不等。如果火灾自动报警系统探测到火情即发出警报信号,则报警时间可认为是零;当采用分阶段报警或没有设置火灾自动报警系统时,报警时间会比较长。附录 B 提供了不同系统组态时的默认报警时间。

5.7.3 预动作时间 t_{pre}

在一些疏散模型中,每个人的预动作时间被分解为火灾确认时间和反应时间两部分。对于某一群人而言,从发出警报到第一个人开始疏散的时间,称为第一预动作时间 $t_{pre(\text{first occupants})}$;疏散人群预动作时间的连续分布,称为分布预动作时间 $t_{pre(\text{occupant distribution})}$ 。分布预动作时间可以用每个人的时间分布来表示或用一个时间来表示,当用一个时间来表示时可采用所有人员预动作时间的众数或最后一个人的预动作时间。

预动作时间的量化处理与很多参数有关,这些参数在第6章、第7章中详细讨论。关于预动作时间的更多信息,参见附录C。

5.7.4 运动时间 t_{trav}

运动时间 t_{trav} 包括两个主要组成部分,在设计中需要分别进行识别和计算:

- 行走时间 ($t_{trav(\text{walking})}$), 可以表示为每个人的行走时间的分布,也可以用行走到出口所需的平均时间或最后一个人到达出口的单一时间来表示。行走时间由建筑的几何尺寸、人员分布、行走速度决定。行走速度与行走时间和人员密度有关,人员密度较大,会出现拥挤,导致行走速度下降;人员密度较低且人员行走不受阻碍时,则行走时间最短。
- 通过时间 ($t_{trav(\text{flow})}$), 由疏散人数和出口的通行能力决定,可以单个人员为基础进行计算,也可表示为全体人员通过出口的总时间。通过时间表示所有人员能到达出口处并充分利用这些出口时,通过出口离开房间的时间。

行走时间和通过时间可用来估算全体人员进入受保护疏散走道的时间,也可用于估算通过受保护疏散走道到达建筑最终出口的时间。

行走速度和出口流速的量化与很多变量有关,见第6章、第8章、第9章。

5.7.5 疏散开始时间 t_{start} 和疏散时间 t_{evac}

探测时间 t_{det} 、报警时间 t_{warn} 、预动作时间 t_{pre} 三者的和称为疏散开始时间 t_{start} 。预动作时间 t_{pre} 与运动时间 t_{trav} 的和称为疏散时间 t_{evac} 。

5.7.6 必需疏散时间(RSET)计算

用于确定建筑内人员必需疏散时间(RSET)的基本公式见式(2):

$$t_{RSET} = t_{det} + t_{warn} + (t_{pre} + t_{trav}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

6 疏散场景设计

计算 RSET 需要进行疏散场景设计。人员疏散的预动作时间和运动时间预测与人员的行为密切相关,探测时间与报警时间也受人员行为因素的影响。

进行疏散场景设计时需要考虑以下因素:

- 建筑特征,重点包括建筑类型、探测方式、报警方式、消防安全管理系统、建筑布局等;
- 人员特征,重点包括人员数量、体能、状态以及人员对建筑及其系统的熟悉程度等;
- 火灾的动力学特性,有关火灾烟气的动力学参数计算参见 GB/T 31593.3~31593.8;
- 消防干预的作用。

针对任何建筑,上述的每一项都需要考虑一系列参数,这些参数的详细资料参见附录D,疏散场景选择和应用的方法参见附录E。

7 预动作时间计算

建筑内每个人员都有对应的预动作时间和运动时间,对于疏散人群,预动作时间分布和运动时间分布是相互交叉的,因此在计算疏散时间时这两个时间不宜直接相加。

预动作时间推导方法和相关的公开数据参见附录 F,有关疏散开始时间的计算方法示例参见附录 G。

8 运动时间计算

8.1 运动时间组成

运动时间包括两个部分:

- 从每个房间到达受保护疏散走道的时间;
- 通过受保护疏散走道到达建筑室外的时间。

8.2 运动时间影响因素

8.2.1 运动时间中,从每个房间到达受保护疏散走道的时间主要与以下两个方面因素有关:

- 在房间内,某个人行走至所选择的通往受保护疏散走道的房间出口的距离(或某一人群行走的平均距离)和行走速度;
- 疏散人员在房间出口处的排队等候时间,此时间与需要通过出口的人数、出口的最大通行能力以及每个人到达房间出口处的时间有关。

8.2.2 每个人到达房间出口的行走距离以及某一人群到达房间出口的平均行走距离,与所在房间内的位置、房间的尺寸和可用出口分布情况及所选择的出口有关。当计算行走距离和确定所选择的出口时,需考虑在整个火灾场景所经历的时间内每个出口是否可用,如某个出口受到火灾烟气侵袭或火灾封锁,则需考虑利用剩余的出口进行疏散。

8.2.3 运动时间受人员的身体状况、人员的聚集密度以及火灾烟气的蔓延情况等多种因素影响。有关人员身体状况、人员聚集密度对运动时间的影响以及水平运行速度、竖向运行速度等计算指南参见附录 H,有关预动作时间和运动时间之间的相互关系示例参见附录 I,有关火灾烟气对行走速度的影响指南参见附录 J。

9 预动作时间、行走时间、出口通过时间的相互关系

由于人群的预动作时间服从一定的统计分布,因此预动作时间、行走时间、出口通过时间之间有很大的交叉。疏散时间可以采用计算机疏散模拟的方法进行分析,在下述情况下可以简化这些复杂的关联性,而采用不产生显著误差的简化计算方法:

- 对于人员密度小且出口通行能力大的房间,由于出口处一般不会出现排队等候的现象,因此疏散运动时间主要由最后几个离开房间人员的预动作时间和行走走到出口的时间决定。
- 对于人员密集的房间,疏散运动时间由前几个离开房间并且在出口处出现排队的人员的预动作时间和所有人员通过出口所需的时间决定。

附录 I 提供了一个分别采用简单计算方法和计算机模拟方法的应用示例,从中可以看出预动作时间、行走时间、出口通过时间之间的关系以及它们对疏散运动时间的影响。

10 必需疏散时间 RSET 计算

10.1 计算工具的选择

当涉及到两个或两个以上房间同时进入疏散路线(如疏散走道或楼梯)的情况时,疏散时间与疏散路线的通行能力以及来自不同房间人群的汇聚方式有关。此时,单个房间疏散完毕的时间难以通过手工计算完成,需要借助计算机模拟程序。有关汇聚比的数据比较少,通常采用以下三个主要假设:

- 楼梯内的人流占主导地位,下层人员要等上层人员疏散完毕后才能疏散;
- 由楼层出口进入楼梯间的人流占主导地位,下层的人员疏散完毕后上层人员才能疏散;
- 在楼层出口处的人流汇聚比为 1:1,下层的人员通常比上层先疏散完毕。

10.2 人数对疏散时间的影响

人数在一定程度上决定着多室建筑的疏散时间。当需要疏散的人数与疏散路线的通行能力相比较少时,疏散人流一般不会超过疏散路线的通行能力,此时,疏散时间主要由最后几个离开房间人员的预动作时间、步行速度和到达建筑最终出口的距离决定。

对于人员密集的多层建筑,当多层或整个建筑同时疏散时,疏散运动时间主要由前几个离开房间进入楼梯间人员的预动作时间和进入并通过楼梯间的通行时间决定。

10.3 楼梯间对疏散时间的影响

多层建筑内每层的人员全部疏散到受保护的楼梯间的运动时间与以下参数密切相关:

- 人员通过楼层出口、楼梯间和最终出口的最大流速;
- 楼梯间层间的滞留容量(由楼梯和转换平台可站立面积决定)和楼梯间内的人员密度;
- 楼梯间内的人流和楼层内进入楼梯间的人流在楼层出口处的汇聚比。

楼梯间内的人流在一定程度上还可能会受到逆向人流或局部受阻的影响,例如消防队员通过楼梯上行或在楼梯间内布置消防装备等。此外,还可能受到疏散人员体能的影响,尤其是高层建筑内的人员进行疏散时。当有多部疏散楼梯时,疏散人数在不同楼梯间或楼梯间与疏散电梯之间的分配,也将影响到不同楼梯间内的人员密度,进而影响到疏散运动时间。

10.4 其他影响因素

当高层建筑不同楼层的报警时间与预动作时间及其分布差别较大时,不同楼层的预动作时间分布和楼梯内人流及其聚集形式之间的相互影响也会不同。另外,有必要考虑火灾发展对利用楼梯疏散产生的影响,例如火灾烟气对楼梯间的侵袭、火灾烧穿建筑隔墙或导致结构破坏等。

11 火灾烟气和高温对 ASET 和 RSET 的影响

11.1 概述

11.1.1 火灾烟气和高温对人员产生的威胁对 ASET 和 RSET 都有所影响,主要取决于:

- a) 火灾中有毒产物浓度、烟气浓度和热量强度随时间变化的曲线,这与以下因素有关:
 - 1) 以可燃物质量损失速率(kg/s)表示的火灾发展曲线,可燃物随时间增加不断被消耗;
 - 2) 火灾中有毒产物、烟气和热量的生成率,相关的计算方法参见 GB/T 31540.1, GB/T 31540.2, GB/T 31593.3~31593.8。
- b) 火灾烟气和高温引起的中毒和生理影响。需要考虑以下三个方面:

- 1) 一定浓度或剂量的暴露会对人员心理和/或生理产生影响,从而降低疏散的效率;
- 2) 一定浓度或剂量的暴露会对人员心理和/或生理产生影响,从而使人失去行动能力;
- 3) 一定浓度或剂量暴露浓度甚至会导致人死亡。

当房间内的人员由于烟气、热量或有毒产物的影响完全失去行动能力时,即达到了人员的耐受极限。ASET的临界点是指建筑物每个房间内的状态达到人体耐受极限的时间。

11.1.2 火灾中有毒烟气和高温对人员生理和心理产生的作用,会对人们的疏散能力带来各种不同的影响,主要包括以下方面:

- a) 看到烟气或火焰的影响包括:
 - 1) 害怕靠近被烟气或高温侵袭的区域或疏散路线;
 - 2) 害怕房间内的火焰或烟气,这种心理可能会激励或阻碍人员疏散,这取决于火灾或烟气的位置和强度;
 - 3) 被吸引到发生火灾的房间(亲火综合症)去观察或扑灭火灾;
- b) 烟气的遮蔽和刺激性烟气产物与高温对眼睛的疼痛刺激,会导致视力下降或视野缩小;
- c) 吸入高温刺激性烟气会引起呼吸道疼痛和呼吸困难,甚至呼吸道损伤;在某些极端情况下,由于喉部痉挛和/或支气管缩小(尤其是患有哮喘病或其他易感人群),几分钟之内就可能导导致人员窒息而死亡;通常在几小时之后还会出现肺炎,从而引起不同程度的呼吸道损伤;
- d) 吸入有毒性气体引起的窒息会导致精神错乱和失去意识(尤其是易感人群,比如老人和患有心脏病的人);
- e) 高温引起的裸露皮肤和上呼吸道疼痛,伴随烧伤和体温过高,都会阻碍疏散并导致死亡。

11.1.3 安全疏散的危险性和耐受指标分析主要应考虑以下方面:

- 没有直接暴露在火灾中,由于看到火灾烟气而对人的疏散行为产生的心理影响;
- 由于暴露在高温和有毒性烟气中,而对人的疏散行为和能能力产生的心理和生理上的影响;
- 导致人失去行动能力的区域;
- 导致人死亡的区域。

人员疏散评估中,考虑火灾对人员造成的心理和生理影响主要是为了确定人员的耐受极限,同时也能判定火灾对人员疏散能力和身体健康可能造成的影响。在某些情况下,还需要考虑对可能出现的物理灾害的耐受能力,比如结构失效对疏散路线的影响,或导致直接的身体伤害或死亡。

11.2 “0”暴露的简化指标

如果针对某一设计疏散场景的计算,是基于热烟气层沉降高度的分析,则工程上可接受的耐受标准通常是:保持地面上最小 2.5 m 高的清洁空气层,烟气层的最高温度为 200 ℃。此时,人们能够在热烟层下的清洁空气层中疏散,且烟气层向下的热辐射也被认为是可以忍受的。这个标准表示了不暴露在有毒产物中且热辐射小于 2.5 kW/m² 的耐受指标。

11.3 进入烟气区域的意愿

当烟气与空气的混合气体接近地面高度时,多数情况下人们不会进入烟气弥漫的疏散路线而选择折回。此时,烟气对人的直接影响不是高温,而是可视距离,以及烟气对人的感官刺激。

对建筑火灾的大量研究表明,使人折回的平均烟气密度相当于可视距离为 3 m,其光学密度 ρ_{OD} 为 0.33 m⁻¹(减光系数为 0.76)。烟气层是否高于人员弯腰行走的高度,以及低处是否设置照明灯具以提高能见度等因素,也会影响人的疏散行为。

11.4 穿过烟气区域的能力

人穿越烟气进行疏散的能力与烟气的刺激以及对视线的遮蔽、在建筑内行走的能力以及找到疏散

路线和出口位置的能力有关。与一般的居室相比,大型的建筑空间需要更加严格的标准,因为在大型建筑中为了找到出口需要看得更远,并且通常对周边的环境也不熟悉。

11.5 烟气对行走速度的影响

行走速度受烟密度和刺激性的影响,当疏散人员处于烟气中时,会影响 RSET 的计算结果。针对刺激性烟气和非刺激性烟气,自由行走速度和烟气密度之间的关系式参见附录 J。

11.6 火焰和高温的影响

火焰面积和高度及其与疏散人员、疏散路线之间的相对位置,是判断火焰对疏散影响的重要标准。

当必须从火焰附近或热烟层下穿过时,会受到辐射热的威胁。当直接暴露于热烟气中时,将同时受到辐射热和对流热的影响。

11.7 有毒气体的影响

火灾中的有毒气体是刺激性和窒息性火灾烟气的混合气体。刺激性气体对人员疏散的影响取决于混合气体的浓度和其中每种刺激性组分的效能。ASET 计算中,刺激性气体产物耐受极限的分析方法参见 ISO 13571:2007。RSET 计算中,有关刺激性烟气对运动速度的影响参见附录 J。

火灾中导致人们失去行动能力和死亡的关键窒息性气体,包括一氧化碳、氢氰化物、二氧化碳和缺氧。在受到烟气影响的初始阶段,窒息性气体不会对人员的疏散行为和行进速度(RSET)产生明显影响。但是,窒息性气体却是判断 ASET 分界点的一个决定性因素,即预测人员失去行动能力的时间点的主要决定因素。窒息性气体耐受极限的计算方法参见 ISO 13571:2007。

附 录 A
(资料性附录)

本部分章条编号与 ISO/TR 16738:2009 的章条编号对照

表 A.1 给出了本部分章条编号与 ISO/TR 16738:2009 的章条编号的对照一览表。

表 A.1 本部分章条编号与 ISO/TR 16738:2009 的章条编号对照

本部分章条编号	对应的 ISO/TR 16738:2009 的章条编号
3.17	—
5.1.1	5.1 第 1 段
5.1.2	5.1 第 1 段、第 2 段
5.7.1	5.7 第 2 段
5.7.2	5.7 第 3 段
5.7.3	5.7 第 4 段、第 5 段
5.7.4	5.7 第 6 段、第 7 段、第 8 段、第 9 段
5.7.5	—
5.7.6	5.7 第 1 段
8.1	第 8 章第 1 段
8.2.1	第 8 章第 2 段
8.2.2	第 8 章第 3 段
8.2.3	第 8 章第 4 段、第 5 段、第 6 段、第 7 段、第 8 段、第 9 段
10.1	第 10 章第 1 段、第 5 段、第 6 段
10.2	第 10 章第 2 段、第 3 段
10.3	第 10 章第 4 段、第 7 段、第 8 段
10.4	第 10 章第 9 段、第 10 段
附录 A	—
附录 B~附录 J	附录 A~附录 I

注：表中的章条以外的本部分其他章条编号与 ISO/TR 16738:2009 其他章条编号一致。

附录 B (资料性附录)

火灾探测时间和报警时间计算指南

B.1 概述

火灾探测和报警通常依赖于火灾自动报警系统,但在一定程度上也依赖人的行为,见参考文献[13]。

当设置有火灾自动报警系统时,一旦探测器被触发就向所有人员发出警报。在这种情况下,所有人员的疏散时间都从发出警报的那一时刻开始,而发出警报和探测到火灾基本上在同一时刻发生。探测时间与火灾发展及烟气蔓延情况有关(参见 GB/T 31540.4)。

当没有设置全楼的火灾自动报警系统,只在局部设置独立的报警器时,情况要复杂一些。在这种情况下,人们可以通过最初的火灾征兆,如烟气的探测器或报警器发出的警报发现着火,但是只限于起火附近的一小部分人或监控人员,而不是建筑内所有的人员。当一个人通过火灾烟气或探测报警装置发出的声光信息了解到发生火灾时,即表示这个人接收到了警报信息,其反应时间由此开始计算。如果采用带预警的火灾自动报警系统,一旦探测到火灾,首先会向监控人员发出预警信号。在上述三种情况中,当第一个人接收到警报信号后,都会有一段不同时间的延迟,见参考文献[14]和[15]。

当最初的几个人接收到火灾警报信息后,即进入火灾确认和反应阶段,并伴随着一系列行为的发生,比如进一步了解火灾的情况,向所有其他人员发出警报信息等。一旦向所有人员发出警报,建筑内的其他人员就会意识到火灾的发生,并进入疏散的预动阶段。

火灾的探测和报警可分为三种基本情况:

- a) 一旦探测到火灾,立即向整个建筑内所有受影响区域的人员发出警报信息,则报警时间 t_{warn} 可认为等于 0。
- b) 一旦探测到火灾,立即向管理人员或监控人员发出预警信号,然后通过人工启动整个建筑内所有受影响区域的警报装置,或者在某一设定时间内如果预警信号不解除自动启动整个建筑的警报装置。此时, t_{warn} 可认为等于超时延迟时间,通常从 2 min~5 min;如果没有设置固定的延迟时间,或者监控人员能够解除预警信号,则需要预测监控人员确认火灾和发出警报信号的时间;如果采用 A1 类或 A2 类警报装置(见 E.3.2),则报警时间需要加上警报信息重复两遍所需的时间。
- c) 如果没有设置火灾自动报警系统,或只在火灾发生的局部范围内启动自动探测和警报装置,然后通过人工启动整个建筑的警报装置,则 t_{warn} 与第一接收到警报信息的人员的行为有关。如果发出警报信息的人员受过良好的培训, t_{warn} 会很短(大约小于 2 min),否则会很长,且难以预测。

B.2 疏散策略对报警时间的影响

报警策略是影响报警时间的一个更重要的因素,尤其是包含多个防火分区的大型建筑。

对于小型或不划分防火分区的建筑,不管距离火灾发生的位置有多远,都可以向建筑内的所有人员发出同时疏散的警报信息。

对于有多个防火分区的建筑(通常有多个楼层),可以采用分阶段疏散的策略。受到火灾影响防火分区的人员首先疏散,其他防火分区或楼层的人员原地等候进一步的指令,直到火灾蔓延到一定程度必

须疏散时再疏散。在这种情况下,从起火到发出疏散警报的时间可以长达 1 h 以上。一些建筑可以采用避难疏散策略,即只有直接受到火灾影响区域的人员才需要疏散。针对这类建筑,避难场所的保护时间应该比较长,防火分区要能够在可燃物燃尽前保持完整有效。

附录 C
(资料性附录)
行动前行为特性和决定因素

C.1 预动作时间的两个组成部分

预动作时间由确认时间和反应时间两部分组成,详见 C.2 和 C.3。

C.2 确认时间

确认时间是指从发出火灾警报信息或出现明显的高温或烟气等火灾征兆开始,到建筑内的人员开始做出反应的时间。

在确认阶段,人们可能会继续从事报警前的活动,比如工作、购物、开会等。确认时间的长短变化很大,这与建筑类型、人员特性、建筑报警和管理系统等有关。见参考文献[13]、[16]、[17]、[18]和[19]。

在管理良好的单室建筑中,确认阶段的时间很短(从几秒钟到 1 min 或 2 min)。而在多室建筑中,人们可能距离着火点很远(特别是宾馆、住宅和宿舍这些人员可能出于睡眠状态的建筑),确认时间变化很大,短则几分钟,长则可以达到 1 h 以上。见参考文献[13]、[16]和[17]。当建筑内的人员认为有必要做出反应时,表示确认时间的结束。

C.3 反应时间

反应时间是指从人们确认火灾发生并开始做出反应,到开始进行必要的疏散行动的时间。与确认时间一样,反应时间可以在几秒钟到几十分钟之间变化,这主要取决于环境因素。

在反应过程中,人们停止正常活动开始针对火灾采取一系列的活动。反应过程结束时,每个人已经决定了是原地不动,还是转移到更安全的地点,或者开始向外疏散。

反应阶段的可能活动如下:

- a) 开展调查,包括确认火灾的位置、真实性或警报信息的严重程度;
- b) 停止设备运转与生产过程,或安置与保护钱财和其他贵重物品;
- c) 寻找并集合小孩和其他家庭成员;
- d) 进行灭火;
- e) 确定合适的出口路线;
- f) 从事其他不利于有效疏散的活动,例如根据错误信息或误导信息采取的行动;
- g) 提醒他人。

C.4 总的疏散预动作时间

不论是在某一房间内还是在同一建筑的不同房间内,不同人或人群的预动作时间变化很大。预动作时间的分布与许多因素有关,包括人员特性,距离火源的远近,以及对建筑环境、警报系统和管理系统的了解程度。

例如,在一个开阔的建筑环境中(比如剧院观众厅),预动作时间的分布范围比较窄,即每个人几乎在同一时刻开始疏散。但是,在一个多室建筑中(比如宾馆),预动作时间的分布范围比较宽。起火房间

人员的预动过程要比其他房间人员提前完成,甚至在其他房间人员意识到火灾发生时就已经结束了。

进行疏散时间预测和性能化消防设计,需要为疏散行为模型提供不同情况下的预动作时间数据。尽管现有的预动作时间数据库还不够丰富,但是已能够为许多类型的建筑提供设计计算的基础数据,见参考文献[16]、[17]、[18]和[20]。附录 F 提供了一些关于预动作时间默认值的参考数据。

为了计算预动作时间,需要考虑许多影响因素,其中主要因素包括:

- a) 建筑参数:
 - 1) 建筑用途;
 - 2) 楼层平面、布局和尺寸;
 - 3) 内容物;
 - 4) 报警系统;
 - 5) 消防安全管理应急预案。
- b) 人员状态:
 - 1) 人员数量和位置;
 - 2) 人员特征,比如年龄和健康状况;
 - 3) 人员日常活动;
 - 4) 人员的状态。
- c) 火灾模拟动力学:
 - 1) 建筑环境和火源位置;
 - 2) 火灾烟气的能见度;
 - 3) 受火灾烟气和高温的影响程度;
 - 4) 火灾报警装置状态和类型;
 - 5) 其他报警方式(比如管理人员或其他人员);
 - 6) 主动保护设施的状态。

附录 D
(资料性附录)
RSET 计算所需详细信息

D.1 概述

为了计算 RSET 的值,需要以下信息:

- a) 建筑设计和人员安全疏散策略;
- b) 人员特性;
- c) 火灾模拟动力学特性;
- d) 消防干预的影响。

火灾中人的反应与上述四个方面的参数有关,包括人数、不同时刻的人员分布、对建筑的熟悉程度、疏散能力、行为特性及其他属性;建筑功能、布局及设施;报警措施、疏散设施和应急管理策略;火灾场景的发展与应急干预措施(消防队和灭火救援装备)和上述特性的相互影响等。详见 D.2~D.5。

D.2 建筑特征和消防安全管理策略

建筑特征、建筑消防安全管理以及人员安全疏散应急管理策略,是人员生命安全评估过程的重要要素,具体包括:

- a) 建筑布局和几何尺寸(包括建筑规模、建筑高度、建筑层高,平面布置,空间复杂程度,内部分隔,内部空间划分,不同区域的连通,行走距离,门与楼梯的宽度,日常的交通流线,防火门开与闭所需的力以及门的附属装置等);
- b) 疏散路线[包括:可看到的路线,复杂程度,被动和主动防护措施,长度,水平与垂直(向上或向下疏散),可用性(例如通过击碎玻璃,使用钥匙,使用安全锤),日常用途,最终出口(数量、分布等)];
- c) 建筑内某些区域的使用功能可能对人员行为反应和疏散路线的使用产生影响(有的可能便于人员疏散,有的则不利于人员疏散);
- d) 消防安全管理系统(包括建筑管理,重要设备的管理与维护,建筑内人员的管理,防火管理,管理的适应性,人员的培训,安全与火灾监控,应急处理程序);
- e) 人员安全策略(包括人员安全的设计原理,疏散策略,被动与主动消防控制系统,火灾探测、报警和通讯系统,消防灭火救援设施,应急照明,疏散诱导系统,消防安全管理);
- f) 主动系统应用(包括自动喷水与喷雾系统,气体灭火系统,烟气控制或防排烟系统);
- g) 疏散标志和照明(包括应急照明);
- h) 避难区域(类型,防护等级,通讯系统,以及疏散路线、中转地点、救援通道的连接);
- i) 环境因素(例如,风和内部空气压差对开门造成的压力,在潮湿、炎热或寒冷的条件下的疏散,装修要求,出口处积雪的影响,白天和夜晚的影响)。

D.3 人员特征

人员生命安全评估过程中需要考虑的另一个主要因素是人员特征。主要涉及人员对火灾征兆和警报做出反应的特征和时间,人员运动(特别是疏散运动)的方式和时间,以及火灾烟气和高温的影响。

需要考虑的人员特征包括：

- a) 人员数量和密度：每个区域在不同时间和季节的预期人数；
- b) 对建筑的熟悉程度：与建筑类型、人员光顾的频率和紧急疏散演习等有关；
- c) 人员分布和活动；
- d) 行为关联性：人员与所从事活动的关系；
- e) 警惕性：与从事的活动、当天的时间、睡觉或清醒等状态有关；
- f) 灵活性：与年龄、健康状况和身体有无残疾等因素有关；
- g) 感官与智力的损伤和障碍，比如听觉和视觉障碍等；
- h) 社会关联性：独立的个体还是从属于某个群体，比如家人或朋友等；
- i) 目的关联性及其他；
- j) 角色和责任：一般群众、经理、楼层管理员等；
- k) 位置：所处位置距离疏散通道的远近等；
- l) 义务：对火灾发生前所从事工作承担的职责；
- m) 焦点：人员注意力的导向，比如剧院的舞台和商店的柜台；
- n) 反应：人员易于对警报做出反应的程度；
- o) 整个疏散过程人员状况的改变，由火灾对人造成的影响而定。

D.4 火灾模拟动力学

火灾模拟动力学是人员生命安全评估过程中需要考虑的第三个主要因素。人员生命安全评估的目的是保护人员不受火灾烟气和高温的危害(或由于结构失效造成身体伤害)。这是通过提供足够的疏散途径和保护措施来实现的。为了评估火灾中人员的安全，需要得到火灾及其产物蔓延的信息，以及对建筑物的影响。

为此，需要考虑下面几个具体因素：

- a) 人员可接收到的火灾警报和线索。当某一房间发生火灾时，需要判定“火焰和烟气的能见度”，用于分析人们意识到火灾发生的时间以及做出怎样的反应。不管是有人房间还是无人房间，都有必要了解火灾自动报警系统触发的时间，并通过模拟寻址系统得到火灾蔓延的信息。这主要是为了确定在整个火灾过程中，建筑内的人员能够得到的信息。
- b) 所有房间内的火势大小和蔓延范围、烟气密度、有毒气体浓度、温度和热流。对于所有房间来说，应了解其中火势大小，火场范围或向邻近区域蔓延的范围，建筑结构的破坏程度以及受火灾影响房间的温度和热流；还需要了解烟气的光学密度、刺激性气体的浓度以及产生的窒息性气体浓度，用于估算房间内人员的可耐受状况，这对人员向外疏散的范围也会产生影响。对于无人的房间，当其作为可用疏散通道的一部分或避难场所时，这些信息尤为重要。当火灾烟气被控制在设定的烟层厚度内时，需要提供烟气层的高度和向下的热辐射通量。
- c) 自动灭火和烟气控制系统的启动。自动灭火和烟气控制系统的启动将阻碍火灾烟气在建筑物内的蔓延，这决定了人在疏散和避难过程中是否会受到烟气威胁。

D.5 消防干预的影响

建筑物内发生火灾时，有时需要消防队参与灭火和营救人员。为了配合消防队开展灭火救援，在建筑设计时应包含相应的消防设施。本部分未涉及这些内容。

本部分未涉及紧急疏散时电梯的使用，必要时可参考 ISO/TR 25743、ISO/TR 16765、EN81-72 和 EN81-73。

附录 E (资料性附录)

用于 RSET 计算的疏散场景设计

E.1 概述

在本附录所介绍的方法中,有一部分疏散场景是通过一组定性的基本人员行为特性来确定的,见参考文献[20]。尽管疏散与许多特性有关,疏散场景的分类主要还是基于人员对建筑物及其系统是否熟悉,以及是否处于清醒状态。

对于疏散场景的每一种分类,需要对不同疏散阶段的人员特性和从事相关活动所需时间的影响因素进行说明。报警时间和疏散预动作时间主要由消防安全管理策略和所设置的火灾报警系统决定。空间的复杂程度、行走距离、建筑特征、出口与疏散路线等建筑特性参数则是影响疏散行走时间的重要因素,有时也会影响疏散预动作时间。

如第 6 章所述,为了计算某一建筑的 RSET,需要设计疏散场景。在任何建筑设计中,都需要考虑附录 D 中所列出的各项建筑特性参数。尽管其中一些参数及其对人员疏散的影响可以进行量化,但是那些与人员行为有关的参数本质上还是定性的,见参考文献[17]、[21]和[22]。紧急状态下影响每个人反应过程的参数是很复杂的。虽然每个人的经历不同,当作为群体来考虑时,可以把许多疏散情况和火灾场景看成是一样的。这样可以把问题简化,可在设计中用来预测总体疏散时间,见参考文献[13]、[17]和[23]。

不同疏散阶段的量化数据(特别是报警和预动作时间),可以通过研究消防安全管理制度、火灾中和疏散演练中人的行为得到,参见参考文献[16]、[17]和[20]。这些数据与疏散运动时间相加就可以得到整个疏散时间。

影响疏散时间的人员特性和建筑特性很多,其中主要影响因素如下:

- a) 对于人员:
 - 1) 人数和分布;
 - 2) 清醒或睡眠;
 - 3) 熟悉并受过训练或不熟悉;
 - 4) 体能。
- b) 对于建筑及其系统:
 - 1) 报警系统;
 - 2) 消防安全管理和人员培训;
 - 3) 单室或多室,以及复杂程度。
- c) 对于火灾场景:
 - 1) 火灾警报和其他人们可获得的线索;
 - 2) 火灾的特点与产物。

表 E.1 概括了以上疏散场景,并给出了每类场景中对不同疏散阶段的人员特性和从事相关活动所需时间的影响因素。详见附录 G。

从所做研究可以看出,每个基本类别的报警时间和预动作时间存在某些相同条件和范围。尽管疏散场景设计优先考虑的是人的因素而不是建筑,表 E.1 还是对每个类别给出了一些建筑类型示例。

每一个具体建筑,通常都包含不同类别的设计疏散场景。例如,一个旅馆可能包括职员办公室和工作场所(类别 A),集会场所、饭店或商店(类别 B1 和 B2),旅客卧室(类别 Ciii)。因此,所有这些场景都

在考虑范围之内。

这里定义的基本疏散场景,主要用于估算没有受到火灾烟气直接威胁的人员在接收到警报信号后的预动作时间。当人处于起火房间或受到火灾烟气直接侵袭时,也需要考虑看到火焰或烟气时的人员行为,此时预动作时间可能缩短也可能增加,这要视情况而定,见参考文献[17]、参考文献[24]和附录 G。

每一分类中还可以定义更详细的子类,分类时应主要考虑人的行为特性和行为反应有关的数据。

表 E.1 疏散场景设计和建筑类型

类别	人员警惕性	人员熟悉程度	人员密度	房间/复杂度	建筑类型举例
A	清醒	熟悉	低	一个或很多	办公室或工作场所
B1	清醒	不熟悉	高	一个或几个	商场,饭店,酒吧间
B2	清醒	不熟悉	高	一个(有关注点)	电影院或剧院观众厅
C	睡眠	—	—	—	住宅卧室
Ci	独立建筑	熟悉	低	几个	无 24 h 现场管理
Cii	托管建筑	—	—	—	公寓、学生宿舍
Ciii	睡眠	不熟悉	低	很多	旅馆,招待所
D	医疗护理	不熟悉	低	很多	可以休息的公共机构
E	交通运输	不熟悉	高	很多	火车站/飞机场

E.2 各类设计疏散场景的特征

E.2.1 类别 A:人员保持清醒且熟悉建筑环境

办公室、车间、仓库等工作场所属于类别 A,其特征如下:

- 人处于清醒状态,对建筑及其系统非常熟悉,经常出入建筑物,并长时间停留其中,通常在自己的工作地点活动;
- 人员分散在各个房间内,通常人员密度较低,由于人员分散,预动作时间可能会稍微延长;
- 人员保持清醒状态,对报警系统和消防安全管理预案等建筑环境非常熟悉;
- 对于建筑的运营和应急管理策略,每个人都有明确的责任和义务,且受到过紧急情况下的培训;
- 火灾警铃报警后,楼层管理员和其他职员有责任保证建筑内的人员迅速有效疏散。

E.2.2 类别 B:人员保持清醒但不熟悉建筑环境

类别 B 可分为无焦点区域和有焦点区域两种情况:

- 无焦点区域:商店,饭店,酒吧间,超市,百货公司,购物中心,机场登机口或候机厅,集散场所,日间护理站;
- 有焦点区域:集会,电影院,剧院。

类别 B 的场景特性如下:

- 人们处于清醒状态且行动积极,但对建筑及其系统非常不熟悉,可能从来没有来过此建筑,他们专注于自己的活动、家人或朋友,可能不会对火灾警报做出反应;
- 存在权威人士(售货员,管理人员,乘务员),这些人受到过建筑应急管理系统和方案的培训;
- 工作人员可以通过清场保证人员快速疏散,尽管语音广播是一种有效的警报措施,此时警报可

- 能不会促使人们疏散；
- 饭店和酒吧间需要采用特殊的措施；
- 体育馆等大型室内场所可以作为一个特殊的子类；
- 集会场所室内和出口的布置通常比较简单,但是疏散通道可能比较复杂,难以辨认。

E.2.3 类别 C:睡眠状态

类别 C 可分为对环境熟悉和不熟悉两种情况:

- a) 熟悉的:公寓、住宅;
- b) 不熟悉的:旅馆、招待所。

类别 C 的场景特征如下:

- 人员密度低,居住者的年龄和疏散能力差别较大,可能处于睡眠中;
- 居住者熟悉住所的报警系统和疏散策略,住宅的消防安全管理措施一般比较简单,公寓则比较先进一些;
- 房间面积小,布局简单,且人员熟悉;
- 当某一家庭成员发现火灾征兆或警报时,他的第一反应是查看火灾,并及时通知其他人,因此,在很短的时间内,所有人都会收到火灾警报;
- 当人员处于睡眠、醉酒状态,或火灾征兆不明显时,预动作时间会很长;
- 在旅馆或招待所中,房间较多,旅客对建筑及其系统通常不熟悉,不过,旅馆和招待所中工作人员、保卫人员和管理人员通常都经过消防应急系统和应急处理流程的培训;
- 旅馆或招待所主要是为了住宿,旅客可能对建筑及其系统缺乏了解,对警报不能做出及时的反应;
- 建筑布局比较复杂,不易快速发现疏散通道。

E.2.4 类别 D:医学护理

类别 D 包括医院和疗养院,场景特征如下:

- 对紧急事件的生理或心理承受能力较低的人员;
- 每个人员的疏散都需要一个或多个工作人员的帮助;
- 需要高水平的监督管理和并参与到应急处理过程中;
- 人员卧床不起或被拴在医疗器械上(如打点滴,监控器);
- 疏散包括移动病床和轮椅。

E.2.5 类别 E:交通

E.2.5.1 建筑物(人员处于清醒状态但不熟悉环境的特殊例子)

火车站和飞机场等属于该类别,场景特征如下:

- 大量复杂区间和非常大的空间;不易找到的疏散通道;
- 一些地方的安全约束限制人们的反应行为;
- 一旦发生火灾,人们不愿放弃的行李将阻碍人员疏散;
- 人员密度较高;
- 人们对建筑及其系统非常不熟悉,但是有经过建筑应急系统和应急管理策略培训的销售人员,保卫人员,管理人员和乘务人员的帮助;
- 饭店或酒吧间需要特殊设备;
- 人们所说的语言不同。

E.2.5.2 交通工具

长途汽车、火车、轮船属于该类别,场景特征是:报警时间取决于设置的探测系统和报警系统,以及发现火灾的第一个(群)人(发现火灾的保卫人员或乘客)的反应。如果单从设置的系统来考虑,报警时间是可以计算的,而当报警时间依赖于人员反应时,就需要使用研究得来的数据。

E.3 每一类场景的主要行为特性修正

E.3.1 安全水平

在每一类疏散场景中,人员行为特性,特别是报警时间和预动作时间分布,取决于一系列变量,其中最关键的三个变量如下:

- 报警系统的水平(分类从 A1~A3,见 E.3.2);
- 建筑的复杂程度(分类从 B1~B3,见 E.3.3);
- 消防安全管理水平(分类从 M1~M3,见 E.3.4)。

E.3.2 报警系统对预动行为特性的影响

报警系统对预动行为特性的影响如下所示:

- 水平 A1 报警系统:整个建筑物均设置自动探测系统,立即向建筑内所有受火灾影响区域的人员发出警报;
- 水平 A2 报警系统:整个建筑物均设置自动探测系统,为管理人员和监控人员提供预警,然后通过手动启动受火灾影响区域的警报,如果预警没有被取消,则在一个固定时间延迟后启动全楼的警报;
- 水平 A3 报警系统:仅在火灾位置附近安装了局部自动探测器和报警器,或是没有安装自动探测器,通过手动启动受火灾影响区域的警报(参见附录 B)。

E.3.3 建筑复杂程度对疏散到受保护疏散通道时间的影响

建筑复杂程度对预动作时间和寻找可用疏散通道所需时间的影响如下所示:

- 建筑复杂程度 B1(例如,简易超市)代表的是简易矩形单层建筑,由一个或几个分隔区域组成,布局简单,容易找到疏散通道,行走距离短,出口布置合理且直通室外;
- 建筑复杂程度 B2(例如,简易多层办公大楼)代表的是简易多室(通常为多层)建筑,建筑设计满足规范要求,内部布局简单;
- 建筑复杂程度 B3 代表的是大型复杂建筑,包括大型建筑综合体,其中有许多已存在的建筑物,通常是老旅馆或百货公司,也有大型现代复杂建筑,比如娱乐中心,购物中心和飞机场。这种建筑的主要特征在于内部空间大而且复杂,所以人们在疏散过程中很难找到疏散通道,对疏散的管理也存在一定的难度。

E.3.4 消防安全管理特征分类及其对疏散时间的影响

在许多情况下,疏散预动阶段花费的时间(即预动作时间)和行动阶段的时间,主要由消防安全管理策略的执行力度而定。消防安全管理策略的执行取决于工作人员的培训和应急管理演习,也取决于保证有效及时疏散的设备质量。关键在于报警系统和某些影响建筑复杂度的建筑特征。为了计算消防安全管理对疏散时间的影响,把消防安全管理特征分为三类,可以与报警系统水平分类和建筑复杂程度分类联系起来:

- 管理水平 M1:普通人员(工作人员或居民)应受到高水平的消防安全管理培训,具备良好的灭

火和维护保养制度,设有楼层管理员,有完善的应急预案,定期进行演练。应有高比例的工作人员帮助“清醒但不熟悉”的访问者。应急系统和预案的性能,包括对疏散监控录像的翻查,应符合理论上的设计性能。任何一个事故和误报的监控录像带应为日后的查阅提供资料。M1管理水平意味着有着明显且易找到的疏散通道的设计良好的建筑(水平 B1,最低是 B2),高质量的自动探测和报警系统(水平 A1)。如果是公共场所,应设置广播报警系统。

——管理水平 M2:和管理水平 M1 相同,只是工作人员比例较小,楼层管理员也不是 24 h 值班。可能没有独立检查。建筑复杂程度可能为 B2 或 B3,报警系统水平 A2。比起水平 M1 系统来说,疏散和疏散时间的计算将更加保守。

——管理水平 M3:代表基本的最低的消防安全管理配置。没有独立检查。建筑复杂程度可能为 B3,报警系统水平为 A3。除非有其他措施保证消防安全,比如阻燃材料的使用,高水平的被动防护和(或)主动系统,否则其是不符合防火工程设计的。对消防安全管理的进一步说明参见参考文献[56]。

E.3.5 基于设计疏散场景的预动作时间计算

尽管探测和报警时间可以用单一的时间来表示,但是建筑内每个人员都有自己的预动作时间和运动时间。因此有必要考虑人群的预动作时间和运动时间的分布。首先在单独的房间内,然后经过建筑和疏散路线。在每个房间内,对疏散人群来说,预动作时间分布和运动时间分布是相互关联的,不能直接相加。

预动作时间分布主要取决于设计疏散场景分类和消防安全管理水平,建筑复杂程度对其也有一些影响。建筑疏散的计算机模拟考虑每个人的疏散时间和运动时间。然而,在大多数情况下,只需要考虑两个主要指标,即最早几个从房间开始疏散的人的预动作时间(第 1 个百分点的预动作时间)和最后几个开始疏散的人的预动作时间(第 99 个百分点的预动作时间),就可以大致计算预动作时间。虽然现在不同疏散场景的预动作时间分布数据非常受限,但还是存在一些有规则的分布。基于可用的受限数据,附录 F 给出了不同设计疏散场景第 1 个和第 99 个百分点的预动作时间默认值。从已有数据可以看出,当人员处于清醒状态,且有高标准的消防安全管理水平时,开始疏散的前几个和最后几个人的预动作时间相差很小(几分钟或更短),并能对预动作时间的长短做出预测;当消防安全管理和报警系统水平较低,且建筑内的人们可能处于睡眠状态时,预动作时间就会相差较大且预测的准确度会降低。

附录 F (资料性附录)

预动作时间分布数据及其推导

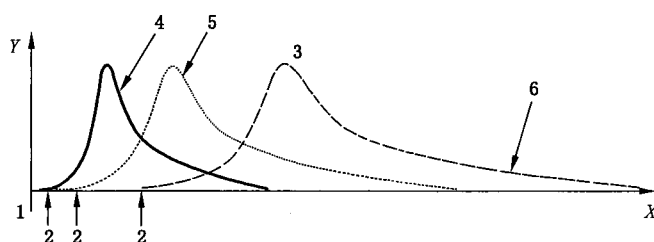
预动作时间分布首先取决于设计疏散场景分类和消防安全管理水平,其次是建筑复杂程度的一些影响。建筑疏散的计算机模拟考虑每个人的疏散时间和运动时间。然而,在大多数情况下,只考虑两个主要标准,即最早几个从房间开始疏散的人的预动作时间(第 1 个百分点的预动作时间)和最后几个开始疏散的人的预动作时间(第 99 个百分点的预动作时间),就可以大致计算预动作时间。虽然现在不同疏散场景的预动作时间分布数据非常有限,但还是存在一些有规则分布,英国消防工程规范的表 C.2 中(参见参考文献[20])给出了不同设计疏散场景第 1 个和第 99 个百分点的预动作时间默认值。从已有数据可以看出,当人员处于清醒状态,且有高标准的消防安全管理水平时,开始疏散的前几个和最后几个人的预动作时间相差很小(几分钟或更短),并能对预动作时间的长短做出预测;当消防安全管理和报警系统水平较低,且建筑内的人们可能处于睡眠状态时,预动作时间就会相差较大且预测的准确度会降低。

可用预动作时间数据是通过大量研究获得的,其中有两个研究通过在不同建筑中的大量实验得到记录数据。预动作时间有时被称为“运动前时间”“延迟时间”“最初反应时间”,或“开始时间”。

预动作时间分布包括以下两个方面:

- a) 从发出警报信号到最早的几个人开始疏散的时间;
- b) 后续大量人员开始疏散的时间分布。

一旦最早的几个人开始疏散,预动作时间分布近似遵循对数正态分布。在疏散曲线的开始阶段,随着疏散人员的快速增加,曲线陡直上升,但由于一直要等到最后几个人开始疏散,曲线有一个长尾巴,如图 F.1 所示。人员特性、报警系统和消防管理的水平影响着最早几个人开始疏散的时间和分布曲线的宽度。



说明:

- | | |
|-------------------|---------------------------|
| X —— 时间, s; | 3 —— 预动作时间分布; |
| Y —— 每秒的人数; | 4 —— 对应管理水平 M1 的预动作时间分布; |
| 1 —— 报警; | 5 —— 对应管理水平 M21 的预动作时间分布; |
| 2 —— 最早几个人的预动作时间; | 6 —— 对应管理水平 M3 的预动作时间分布。 |

图 F.1 预动作时间分布及不同消防安全管理水平影响示意图

在进行疏散时间计算时,应采用实际的预动作时间。

最关键的因素是受火灾影响的最早的几个人(比如第 1 个百分点)的预动作时间和最后几个人(比如第 99 个百分点)的预动作时间。预动作时间的记录来自火灾中人员行为的监控录像和大量未公开的建筑物疏散。从建筑物疏散总时间分析得出最大预动作时间也是有可能的。

研究表明,预动作时间主要取决于人员特性和建筑特征,随着设计疏散场景的不同而不同,具

体到某一场景由消防安全管理水平而定。报警系统和建筑复杂程度的类别也对预动作时间有所影响。

根据大量建筑实验所得的数据,英国消防工程标准 BS 7974-6:2004 提供了预动作时间默认数据,数据分为三个主要不同的疏散场景类别,见表 F.1。

表 F.1 不同设计疏散场景分类的建议预动作时间

单位为分

场景分类 ^a (参见附录 E)				最早的几个人 $\Delta t_{pre(1\%)}$	人员分布 $\Delta t_{pre(99\%)}$	修正水平	
A:清醒和熟悉	M1	B1~B2	A1~A2 ^a	0.5	1.5	对 B3 来说,由于寻找路径加 0.5; 如果人员中存在不熟悉环境的访客,M1 通常需要广播报警	
	M2	B1~B2	A1~A2	1	3		
	M3	B1~B2	A1~A3	>15 ^b	>30 ^b		
B:清醒但不熟悉	M1	B1	A1~A2	0.5	2.5	对 B2 来说,由于寻找路径加 0.5; 对 B3 来说,由于寻找路径加 1.0; M1 通常需要广播报警	
	M2	B1	A1~A2	1.0	4.0		
	M3	B1	A1~A3	>15 ^b	>30 ^b		
Ci:睡眠和熟悉(例如住所、私人建筑)	M2	B1	A1	5 ^b	10 ^b	其他单元统一假设为 1 h	
	M3	B1	A3	10 ^b	>40 ^b		
Cii:管理完善的建筑(例如服务性公寓、住所大厅)	M1	B2	A1~A2	10 ^b	30 ^b		
	M2	B2	A1~A2	15 ^b	40 ^b		
	M3	B2	A1~A3	>20	>40		
Ciii:睡眠和不熟悉(例如旅馆、寄宿处)	M1	B2	A1~A2	15 ^b	30 ^b	对 B3 来说,由于寻找路径加 1.0; M1 通常需要广播报警	
	M2	B2	A1~A2	20 ^b	40 ^b		
	M3	B2	A1~A3	>20 ^b	>40 ^b		
D:医学护理	清醒但不熟悉(例如日间护理站、诊所、诊疗室、牙科医生)	M1	B1	A1~A2	0.5	2	对 B2 来说,由于寻找路径加 0.5; 对 B3 来说,由于寻找路径加 1.0; M1 通常需要广播报警
		M2	B1	A1~A2	1.0	3	
		M3	B1	A1~A3	>15	>15	
	睡眠且不熟悉(例如医院病房、疗养院、养老院)	M1	B2	A1~A2	5	10 ^c	
		M2	B2	A1~A2	10	20 ^c	
		M3	B2	A1~A3	>10	>20 ^c	
E:交通:清醒但不熟悉(例如火车站或汽车站、飞机场)	M1	B3	A1~A2	1.5	4	M1 和 M2 通常需要广播报警	
	M2	B3	A1~A2	2.0	5		
	M3	B3	A1~A3	>15	>15		
<p>注:缺少疏散行为特性和疏散关键方面所需时间的数据。因此,当结合涉及人员行为特性的工程解决方法提出和评定设计方案时,需要考虑数据库的局限性。数据库尤其需要信息,比如疏散时间记录、真实疏散场景(包括火灾)的录像记录和来自每个建筑类型的大量监控疏散的数据来提高和完善自己。这样才能为设计应用软件及疏散和行为模型的进一步发展提供权威性的数据库。</p>							
<p>^a M 表示消防安全管理水平, B 表示建筑复杂程度, A 表示报警系统水平,见附录 E。</p>							
<p>^b 数值具有较大不确定性。</p>							
<p>^c 该时间依赖于有足够的工作人员辅助残疾人疏散。</p>							

附录 G
(资料性附录)
疏散开始时间计算示例

G.1 概述

疏散开始时间的计算方法有很多种,这里介绍《日本建筑标准法规》(参见参考文献[25])中使用的方法。其中,疏散开始时间的计算见式(G.1):

$$t_{start} = t_1 + t_2 \quad \dots\dots\dots(G.1)$$

式中:

- t_1 ——火灾信息传递所需的时间;
- t_2 ——疏散前的反应时间。

G.2 房间疏散

火灾发生后,计算房间内人员开始疏散所需时间 $t_{start,rm}$ 见式(G.2):

$$t_{start,rm} = \frac{\sqrt{\sum A_{area}}}{30} \quad \dots\dots\dots(G.2)$$

式中:

- $t_{start,rm}$ ——火灾发生后,房间内人员开始疏散所需时间,单位为分(min);
- A_{area} ——需要疏散的房间面积之和,单位为平方米(m^2)。

需要疏散的房间面积之和 A_{area} 指着火房间以及必须通过着火房间才能疏散的房的面积之和。如图 G.1 所示,如着火房间为 A_1 ,则 $A_{area} = A_1 + A_2 + A_3$;如着火房间为 A_2 ,则 $A_{area} = A_2$ 。

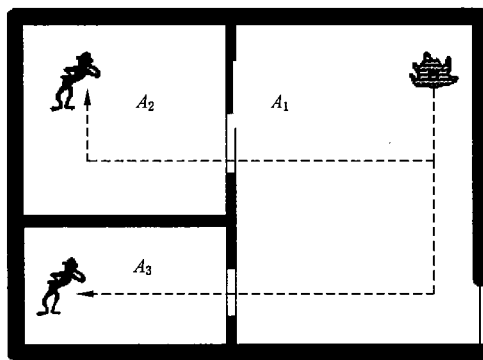


图 G.1 着火房间的疏散开始时间

G.3 楼层疏散

火灾发生后,楼层人员开始疏散所需时间 $t_{start,f}$ 根据建筑用途的不同而不同。对于公寓、旅馆或其他相似用途的建筑(不包括医院、诊所和儿童福利院等)可用式(G.3)进行计算,对于其他用途的建筑(不包括医院、诊所和儿童福利院等)可用式(G.4)计算。

$$t_{\text{start},\text{fl},1} = \frac{\sqrt{A_{\text{floor}}}}{30} + 5 \quad \dots\dots\dots(\text{G.3})$$

$$t_{\text{start},\text{fl},2} = \frac{\sqrt{A_{\text{floor}}}}{30} + 3 \quad \dots\dots\dots(\text{G.4})$$

G.4 全楼疏散

火灾发生后,计算建筑内人员开始疏散所需时间如式(G.5)和式(G.6)所示。其中,式(G.5)用于公寓、旅馆或其他相似用途的建筑(不包括医院、诊所和儿童福利院等),式(G.5)用于其他用途的建筑(不包括医院、诊所和儿童福利院等)。

$$t_{\text{start}} = \frac{2\sqrt{A_{\text{floor}}}}{15} + 5 \quad \dots\dots\dots(\text{G.5})$$

$$t_{\text{start}} = \frac{2\sqrt{A_{\text{floor}}}}{15} + 3 \quad \dots\dots\dots(\text{G.6})$$

附录 H (资料性附录) 步行速度和流速指南

H.1 概述

人群疏散有 3 个基本属性：密度、速度和流速。人群密度以每单位面积多少人来定义，例如 2.0 人/m²。人群密度也能以每个人占多大面积来表示，例如 0.5 m²/人。速度是人员的移动速度，通常以 m/s 来表示。流速是人群通过某一点的速率，比如每单位时间通过一个门口的流速为 2.0 人/s。

从大量对消防工程通用计算方法的研究中得出的水平和垂直行进速度和通行速度结果，在以下部分将予以介绍。本附录还给出了行动不便人员的数据。

H.2 有效宽度概念

当人们通过建筑出口通道时，与墙面或他们通过的其他固定障碍物之间保持有一个边界净空。留有净空的目的是为了侧体摆动和保持身体平衡。

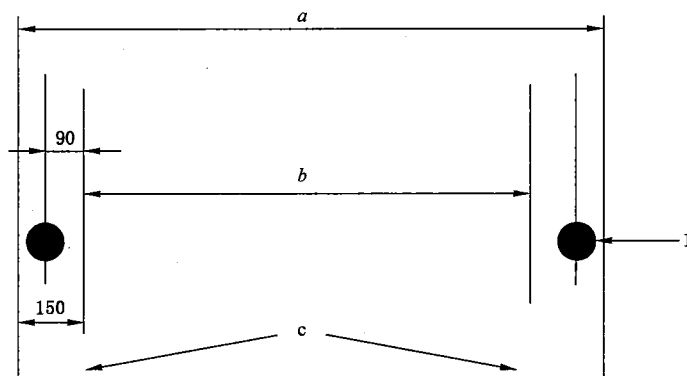
在 Pauls[经 Proulx(参见参考文献[27])复核]、Fruin(参见参考文献[28])、Habicht 和 Braaksma(参见参考文献[29])的研究工作中，分析了这种人群移动现象。出口通道的有用(有效)宽度是指通道净宽度减去边界层的宽度。表 H.1 给出了边界层的宽度。出口通道任一部分的有效宽度等于出口通道那一部分净宽减去边界层的和。

净宽按照以下方法测得：

- a) 在走廊或回廊中墙到墙之间的距离；
- b) 楼梯中梯级的宽度；
- c) 门在打开位置的实际通行宽度；
- d) 集中布置的座席通道间距；
- e) 在集中布置席位时，一排座位中最拥挤部分的座位间距(无人时)。

对于有扶手的情况，应比较没有扶手的有效宽度和有扶手时从扶手边缘计算的净宽度，两个宽度中较小的一个将被采用。只有扶手突出大于 6 cm 时，表 H.1 中的值才可以使用。较小的中间体高度或较低的障碍物，比如门的把手，应以处理扶手一样的方式对待。当通道局部变宽或变窄时，仅该部分的净宽度变宽或变窄。

Pauls 对多层建筑疏散做了广泛的研究，包括 58 项高层建筑疏散实验，见 Proulx(参见参考文献[27])的评论。不同于早期由 Togawa(参见参考文献[30])、Melinek 和 Booth(参见参考文献[32])、Predilinskii 和 Melinskii(参见参考文献[33])提出的预测总疏散时间的模型，Pauls 的主要方法是通过建筑疏散实验找出一个符合经验数据的简单公式。在这个过程中，Pauls 发现楼梯的通行速度是宽度的一个线性函数(也就是，楼梯的通行速度与宽度的递增，而不是“单位宽度”有关)。Pauls 还发现，使用“有效宽度”的概念可以得到数据的最佳公式。由于边界层是常数，所以比起宽的疏散通道，窄的对通行速度计算有更大的影响。递增宽度和通行速度的关系及有效宽度模型在工程计算中被广泛应用，并被用于改进在 SFPE 手册(参见参考文献[35])中 Nelson 和 Mowrer 提到的综合通行计算方法。图 H.1 说明了有效宽度的概念，表 H.1 给出了不同建筑部分的边界层数值。



说明：

- 1 —— 扶手；
- a —— 楼梯的标注宽度；
- b —— 有效宽度；
- c —— 踏步区域。

图 H.1 楼梯的有效宽度[来自 Pauls(参见参考文献[34])]]

表 H.1 边界层宽度

出口通道因素	边界层 mm
剧院座椅,露天运动场长椅	0
栏杆,扶手 ^a	89
障碍物	100
楼梯,门,拱道	150
走廊,斜面墙	200
宽阔的大厅,出入口	460

^a 当有栏杆、扶手时,使用较小的有效宽度值。

H.3 水平行进速度

观测资料和实验都显示人群的疏散速度是人员密度的函数,水平疏散和垂直疏散会有所不同。在 Nelson 和 Mowrer(参见参考文献[35])介绍了人员密度对行进速度的影响。对于人员密度小于 0.54 人/m² 的疏散通道,人们各自按照自己的速度疏散,不会受到其他人速度的影响;当人员密度超过 3.8 人/m² 时,疏散将无法进行。

典型的未受阻碍的行进速度大约为 1.2 m/s。例如,基于办公楼的实验研究,Pauls(参见参考文献[18])引用的为 1.25 m/s。Nelson 和 Mowrer(参见参考文献[35])引用的为 1.19 m/s。他们的方法来自于 Fruin(参见参考文献[28])、Pauls[经 Proulx(参见参考文献[27])复核]及 Predtechenskii 和 Milinskii(参见参考文献[33])的研究工作。

Ando 以及其他(参见参考文献[36])研究发现,火车站旅客未受阻碍的行进速度随着年龄和性别不同而不同。男性和女性的速度/年龄分布是单峰且不对称的,都是在大约 20 岁时出现峰值(男性

大约为 1.6 m/s,女性大约为 1.3 m/s)。

Thompson 和 Marchant(参见参考文献[37])发明了分析人群疏散录像带的新技术,并以人们之间的距离为基础推理出模拟个人疏散的算法。从这项研究中,Thompson 和 Marchant 提出“干扰阈”为 1.6 m,因此,当人们之间的距离大于 1.6 m 时,行进速度不会受到影响。他们还提出男性的无阻碍行进速度大约为 1.7 m/s,女性大约为 0.8 m/s(中值为 1.4 m/s)。根据这个模型,当人们之间的距离小于 1.6 m 时,行进速度随着人们之间距离的减少而下降,当挤满了人时速度几乎降为 0,因此,人们之间的距离应等于他们的身高。

当人员密度在 0.54 人/m²~3.8 人/m² 之间时,Nelson 和 Mowrer(参见参考文献[35])推导出的人员密度和行进速度关系如式(H.1)所示:

$$S = k - akD \quad \dots\dots\dots (H.1)$$

式中:

- S ——疏散时的行走速度,单位为米每秒(m/s);
- D ——人员密度,单位为人每平方米(人/m²);
- k ——水平疏散取 1.4;
- a ——取 0.266。

H.4 垂直行进速度

Ando 以及其他(参见参考文献[36])研究提出楼梯中无阻碍的向下速度大约为 0.8 m/s,向上大约为 0.7 m/s。

Fruin(参见参考文献[28])根据年龄和性别提出了楼梯中行进速度的一系列值。对楼梯中向下疏散来说,从 30 岁以下男性的 1.01 m/s 到 50 岁以上女性的 0.595 m/s;对楼梯中向上疏散来说,从 30 岁以下男性的 0.67 m/s 到 50 岁以上女性的 0.485 m/s。Fruin(参见参考文献[28])的数据来自于两种楼梯的观察资料,一种梯级为 7 in 高、11.25 in 宽,另一种梯级为 6 in 高、12 in 宽。楼梯的梯级高度较小时,向上和向下的行进速度会变快。

Nelson 和 Mowrer(参见参考文献[35])提出了 4 种不同楼梯设计(梯级高度在 6.5 in~7.5 in 之间,梯级宽度在 10 in~13 in 之间)的行进速度。行进速度从 0.85 m/s~1.05 m/s,随着梯级高度的减小而增加。向上和向下行进速度没有区别,不同性别和年龄的速度也没有区别。

人员密度对垂直行进速度的影响见式(H.1),k 的不同常数的使用见表 H.2。

表 H.2 最大无阻碍行走速度和通行流速

疏散通道		k ^a	行走速度 m/s	通行流速 人/(m·s)
走廊,过道,斜坡,门口		1.40	1.19	1.3
梯级高度 mm	梯级宽度 mm	—	—	—
191	254	1.00	0.85	0.94
178	279	1.08	0.95	1.01
165	305	1.16	1.00	1.09
165	330	1.23	1.05	1.16

^a 式(H.1)中的常量,受行走速度密度影响。

表 H.2 列出的数据范围中,楼梯中的疏散速度近似与梯级宽度与高度之比的平方根成比例。现在还没有足够的证据证明这个关系超出数据范围的可能性。

H.5 水平和垂直疏散通道的最大通行速度

H.5.1 通行速度

表 H.3 给出了来自参考文献[37](Thompson 和 Marchant 著)的最大出口通行速度。Pauls 指出表 H.3 给出的更高通行速度界限的来源可能不能反应实际建筑的疏散,像街道或运动场这些地点才有更高的通行速度。

表 H.3 最大通行流速一览

资料来源	最大设计通行速度 人/(m·s)	最终通行能力 人/(m·s)	备注
源自 1947 年以前的法国、英国和美国研究的英国标准 5588-11(参见参考文献[36])	1.33 ^a	—	英国建筑标准法规
SCICON 报告(参见参考文献[38])	1.37	—	来自足球观众的数据
运动场安全指引(参见参考文献[38])	1.82 ^b	—	以日本研究数据为基础,得自 60 人/min 通过 0.55 m 宽的出口计算值
Hankin 和 Wright(参见参考文献[40])	1.48	1.92	伦敦地铁的经常往返者
Fruin(参见参考文献[28])	1.37	4.37	最大通行速度是一组峰值点,在压力下的“漏斗状”通行速度
Daly(参见参考文献[41])	1.43	—	地铁站
Ando 以及其他(参见参考文献[42])	—	1.7~1.8	在火车站经常往返的日本人
消防和建筑, Aqua Group(参见参考文献[43])	1.5	—	纲要
Predtechenskii 和 Milinskii(参见参考文献[33])	—	1.83	成人旺季穿衣的“紧急条件”
SFPE 手册, (Nelson 和 Mowrer)(参见参考文献[35])	1.3 ^c	—	出口宽度扣除 0.15 m×2 的边界层
Polus 以及其他(参见参考文献[44])	1.25~1.58	1.58	以色列人行道的徒步行走
^a 源自出口通行能力。 ^b 每单位出口宽度方法。 ^c 有效出口宽度方法。			

在最大通行能力下,通行速度取决于人员密度和行走速度。通行流速,即每秒通过每米有效宽度的人数,如式(H.2)所示:

$$F_s = SD \dots\dots\dots (H.2)$$

式中:

F_s ——通行流速,单位为人每米秒[人/(m·s)];

D ——人员密度,单位为人每平方米(人/m²);

S ——步行速度,单位为米每秒(m/s)。

由式(H.1)和式(H.2)可得式(H.3):

$$F_s = (1 - aD)kD \quad \dots\dots\dots (H.3)$$

式中的 k 值可从表 H.2 得到。

随着人员密度的增长,特定通行速度增大到最大密度值 1.9 人/m²。当人员密度较高达到 3.77 人/m² 时,通行速度下降为 0。楼梯中的最大通行流速见表 H.2。

通过疏散通道中某一点的通行流量 F_e 可以表示为通行流速和有效宽度的乘积,如式(H.4)所示:

$$F_e = F_s W_e \quad \dots\dots\dots (H.4)$$

式中:

- F_e ——通行流量,单位为人每秒(人/s);
- F_s ——通行流速,单位为人每米秒[人/(m·s)];
- W_e ——有效宽度,单位为米(m)。

一群人通过疏散通道中某一点的通行时间 t_p 可由式(H.5)表示:

$$t_p = P/F_e \quad \dots\dots\dots (H.5)$$

式中:

- t_p ——通行时间,单位为秒(s);
- P ——通过的人数,单位为人;
- F_e ——通行流量,单位为人每秒(人/s)。

H.5.2 过渡点

H.5.2.1 过渡点是指在出口系统中,通道特性或尺寸改变,或通道汇合的任一点。过渡点的典型例子包括:

- a) 出口通道变宽或变窄的点。例如,由于服务台或其他原因,走廊可能在一小段距离内变窄。计算所得人员密度 D 和特定通行速度 F_s 。在到达这段距离前,正在通过这段距离和通过这段距离后三个阶段是不同的。
- b) 走廊与楼梯的衔接点。实际上有两个过渡点:一个发生在疏散人流通过门口时,另一个发生在疏散人流离开门口进入楼梯时。
- c) 两个或更多疏散人流的汇合点。例如,分支过道人流在疏散人流共用的主要过道的相遇点,也是进入多个楼层共用楼梯的相遇点。

H.5.2.2 以下规则用来确定过渡点通道的人员密度和通行速度:

- a) 在过渡点之后的通行速度是人流进入过渡点的一个函数。
- b) 过渡点的计算所得通行速度 F_s 。不能超过最大特定通行速度 F_{sm} ,因为所包含的通道因素是被通道有效宽度 W_e 所乘。
- c) 在 H.5.2.2b) 的范围内,离开过渡点的通道的特定通行速度 F_s 。由以下公式决定:
 - 1) 一股人流进入或离开过渡点的情况见式(H.6):

$$F_{s(out)} = F_{s(in)} W_{e(in)} / W_{e(out)} \quad \dots\dots\dots (H.6)$$

式中:

- $F_{s(out)}$ ——离开过渡点的通行流速;
- $F_{s(in)}$ ——到达过渡点的通行流速;
- $W_{e(in)}$ ——过渡点前的有效宽度;
- $W_{e(out)}$ ——过渡点后的有效宽度。

- 2) 两股人流进入,一股人流离开过渡点的情况,比如下楼梯的一条汇合人流和楼层的两条进入人流见式(H.7):

$$F_{s(out)} = \{ [F_{s(in-1)} W_{e(in-1)}] + [F_{s(in-2)} W_{e(in-2)}] \} / W_{e(out)} \quad \dots\dots\dots (H.7)$$

这里下标(in-1)和(in-2)代表两条进入人流的值。

3) 其他汇合的情况,一般应用式(H.8):

$$[F_{s(in-1)} W_{e(in-1)}] + \dots + [F_{s(in-n)} W_{e(in-n)}] = [F_{s(out-1)} W_{e(out-1)}] + \dots + [F_{s(out-n)} W_{e(out-n)}] \dots\dots\dots (H.8)$$

这里下标(in-n)和(out-n)中的字母 n 等于进入(in-n)或离开(out-n)过渡点的通道总数目。

- d) 按 H.5.2.2c)中的公式,当计算所得离开过渡点的通道特定通行速度 F_s 超过最大特定通行速度 F_{smax} 时,在过渡点的进入端就会出现排队现象。队伍中的人员数量将会以一定比率递增,这个比率等于进入过渡点通道的计算所得通行速度 F_s 与离开过渡点通道的计算所得通行速度之差。
- e) 计算所得的外出人流通行速度 $F_{s(out)}$ 小于最大特定通行速度 F_{sm} ,因为无法预先知道进入通道将如何汇合。通过过渡点,所有通道有平等的机会通向出口,或其中一条通道比起其他通道来更具有优势。在保守计算中,通常假设所关心的通道优先于其他通道。如果所有通道都在考虑范围之内,就有必要通过计算确定每种优先条件下每条通道的界限。

H.5.3 计算多层建筑总疏散通行时间的经验方法

Pauls 对多层建筑疏散做了广泛的研究,包括 58 项高层建筑的疏散,见参考文献[27]和[30]。他的实验模拟把人们沿楼梯的通行速度看作是有效宽度的函数。Pauls 指出当人员密度小于 0.5 人/m² 时,人们能以 1.25 m/s 的速度疏散。当人员密度达到 4 人/m²~5 人/m² 时,等同于相当拥挤的电梯,行进速度会大大下降。在楼梯中,当人员密度较低,人们感觉相对舒适时,沿着楼梯斜面的平均行进速度大约为 1.1 m/s。关于楼梯的计算公式如式(H.9)所示:

$$F = 1.26D - 0.33D^2 \dots\dots\dots (H.9)$$

在理想条件下:

- a) 当人员密度为 2 人/m² 时,每个人占有略小于两个梯级;
- b) 每隔 15 s,每层有一个下坡速度,沿着楼梯斜面的速度为 1.25 m/s;
- c) 通行速度为 1.18 人/(m·s)(有效楼梯宽度)。

因此,楼梯向下的最佳通行速度为 1.18 人/(m·s)(有效宽度)。Pauls 所得数据来自 29 个疏散演习的观测数据,演习主要在 8 层~21 层高的办公楼中进行。Pauls 发现,建筑疏散时间从人员较少时的大约 10 s/层到人员较多时的大约 20 s/层不等。疏散公式从这些疏散时间的观测资料中得出。第一个公式见式(H.10):

$$t_{min} = 0.70 + 0.0133p \dots\dots\dots (H.10)$$

将被用来预测建筑中人员较多[超过 800 人/(有效楼梯宽度)]时的疏散时间。 t_{min} 表示完成通过楼梯的自由总疏散的最小时间,以分计;p 表示每米有效楼梯宽度实际有多少疏散人员,一般在楼梯的出口处测得。

Pauls 使用的“有效楼梯宽度”定义如下:

基于模拟的经验模型把通行速度描绘为楼梯有效宽度的线性函数。楼梯有效宽度是指楼梯实际宽度扣除边缘影响(每面墙的边界层为 150 mm 或 6 in,每一扶手框架的边界层为 90 mm 或 3.5 in)剩下的宽度。楼梯有效宽度考虑了人们移动时左右摇摆的倾向,尤其是在人群中慢慢移动时。因此,使用了基于人员肩膀静态尺寸假设的每单位宽度摆幅传统模型。

第二个公式见式(H.11):

$$t_{min} = 2.00 + 0.0117p \dots\dots\dots (H.11)$$

将被用于每米有效楼梯宽度的人数小于 800 人时的情况。

Pauls 也对在楼梯中自由疏散时的疏散速度和人员密度的关系进行了研究,特别需要强调的是这个疏散是指垂直向下的疏散。

根据 58 层高建筑的实验疏散通行时间的研究为基础,Pauls 推理出式(H.12):

$$t_{\min} = 0.68 + 0.081 p^{0.73} \dots\dots\dots (H.12)$$

用来预测 8 层~15 层高建筑的同时疏散总运动时间的预测曲线的错误率为 0.2%。

H.5.4 行动不便和其他因素对行进速度的影响

行动不便对行进速度的影响最大,如一个家庭的行进速度取决于最慢成员的速度,或拄拐杖的人的行进速度。其他还有许多因素对行进速度有影响,包括:

- 人员特性,如年龄、性别、穿衣和体格等;
- 环境条件,如建筑内的烟气或应急照明、楼梯间或走廊设计、尺寸和地面材料等。

表 H.4 给出了从本部分参考文献得到的行进速度。

表 H.4 参考文献中的行进速度

情况类别		测得的行进速度/(m/s)						
人员 密度 作为 影响 因素	公共区域(参见参考文献[28])	人行道上为 0.51~1.27,楼梯中为 0.36~0.76						
	公共区域(参见参考文献[33])	水平方向最小速度为 0.28,下楼梯为 0.18~0.27						
	剧院和教育机构(参见参考文献[33])	0.25~0.33,最大为 2.33						
	工业建筑(参见参考文献[33])	0.42~0.56,最大为 2.33						
	运输港站(参见参考文献[33])	0.33~0.83,最大为 2.10						
	楼梯中向下疏散(参见参考文献[33])	0.33~0.42,最大为 1.28						
	高层办公楼疏散演习(参见参考文献[47])	平均速度/(m/s)		人员密度/(人/m ²)				
	照明充足的楼梯	0.61		1.30				
	照明较弱的楼梯	0.70		1.25				
	安装有光致发光材料(PLM)和照明较弱的楼梯	0.72		1.00				
	只安装有光致发光材料(PLM)的楼梯	0.57		2.05				
	中层办公楼疏散演习(参见参考文献[48])	下楼梯速度为 0.78						
	中层办公楼疏散演习(参见参考文献[48])	下楼梯速度为 0.93						
	旅馆中沿走廊的疏散演习(参见参考文献[49])	最小值	第 1 个四分位数	中位数	第 3 个四分位数	最大值	平均值	
	白天场景 1	有行动能力的人	0.6	1.1	1.3	1.8	4.0	1.5
		轮椅使用者	0.2	—	—	—	1.2	0.8
		走路有残疾的人	0.1	—	—	—	—	—
	白天场景 2	有行动能力的人	0.3	0.9	1.1	1.3	1.6	1.1
轮椅使用者		0.4	—	—	—	0.7	0.6	
走路有残疾的人		0.7	—	—	—	—	—	
夜晚场景	有行动能力的人	0.5	1.1	1.3	1.7	3.8	1.5	
	轮椅使用者	0.5	—	—	—	0.9	0.7	
	走路有残疾的人	2.4*	—	—	—	—	—	

* 表示这个人以这个速度移动了 4.9 m。

表 H.4 (续)

情况类别		测得的行进速度/(m/s)					
人员 密度 不作 为影 响因 素	运输港站(参见参考文献[28])	人行道上为 1.35					
	“正常状态”下的平均速度(参见参考文献[33])	1.0					
	残疾人实验	最小值	第 1 个四分位数	第 3 个四分位数	最大值	平均值	
	水平方向	所有残疾人	0.10	0.71	1.28	1.77	1.00
		具有运动能力的人	0.10	0.57	1.02	1.68	0.80
		没有帮助的人	0.24	0.70	1.02	1.68	0.95
		借助拐杖的人	0.63	0.67	1.24	1.35	0.94
		借助手杖的人	0.26	0.49	1.08	1.60	0.81
		步行者/依靠助行器行走的人	0.10	0.34	0.83	1.02	0.57
		没有运动能力的人	0.82	1.05	1.34	1.77	1.25
		无帮助的轮椅使用者	0.85	—	—	0.93	0.89
		受到帮助的徒步者	0.21	0.58	0.92	0.40	0.78
	受到帮助的轮椅使用者	0.84	1.02	1.59	1.98	1.30	
	楼梯中向 上疏散	所有残疾人	0.21	0.42	0.74	1.32	0.62
		具有运动能力的人	0.21	0.42	0.72	1.08	0.59
		没有帮助的人	0.30	0.48	0.87	1.08	0.68
		借助拐杖的人	0.35	—	—	0.53	0.46
		借助手杖的人	0.21	0.38	0.70	1.05	0.52
		步行者/依靠助行器行走的人	0.30	—	—	0.42	0.35
没有运动能力的人		0.70	—	—	1.32	1.01	
无帮助的轮椅使用者		0.70	—	—	—	—	
受到帮助的徒步者		0.23	0.42	0.70	0.72	0.53	
受到帮助的轮椅使用者	0.53	0.70	1.05	1.05	0.89		
楼梯中向 下疏散	所有残疾人	0.10	0.42	0.70	1.83	0.60	
	具有运动能力的人	0.10	0.42	0.70	1.22	0.58	
	没有帮助的人	0.28	0.45	0.94	1.22	0.68	
	借助拐杖的人	0.42	—	—	0.53	0.47	
	借助手杖的人	0.18	0.35	0.70	1.04	0.51	
	步行者/依靠助行器行走的人	0.10	—	—	0.52	0.36	
	没有运动能力的人	0.70	—	—	1.83	1.26	
	无帮助的轮椅使用者	1.05	—	—	—	—	
	受到帮助的徒步者	0.42	0.52	0.86	1.05	0.69	
受到帮助的轮椅使用者	0.70	0.96	1.05	1.05	0.96		

表 H.4 (续)

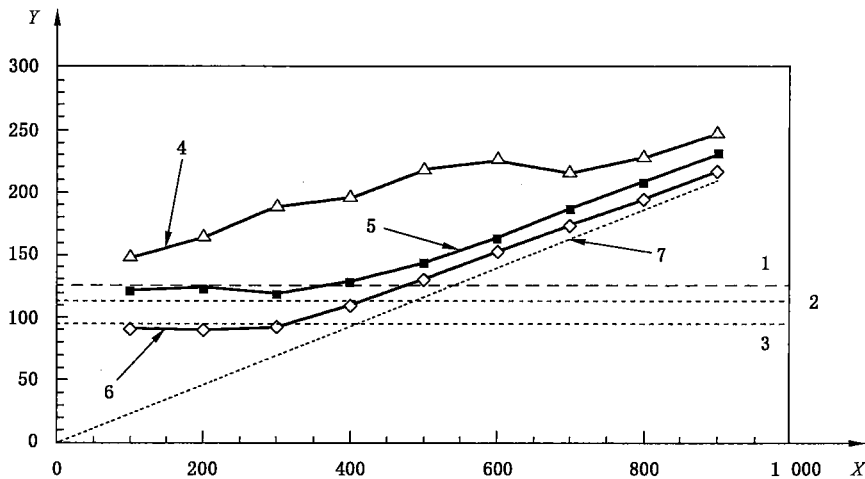
情况类别		测得的行进速度/(m/s)
人员 密度 不作 为影 响因 素	中层公寓楼疏散演习(参见参考文献[45])	楼梯中为 0.47(不同的成人群体从 0.34~1.08 不等;视力削弱的人为 0.31)
	中层公寓楼疏散演习(参见参考文献[45])	楼梯中为 0.44(不同的成人群体从 0.32~0.56 不等)
	中层公寓楼疏散演习(参见参考文献[45])	楼梯中为 0.41(不同的成人群体从 0.30~0.47 不等)
	高层公寓楼疏散演习(参见参考文献[46])	1.05(不同的成人群体从 0.57~1.20 不等)
	高层公寓楼疏散演习(参见参考文献[46])	0.95(不同的成人群体从 0.56~1.12 不等)

附录 I
(资料性附录)

预动作时间和运动时间的相互关系示例

I.1 相互关系计算举例

图 I.1 给出了采用计算机模拟方法[GridFlow(参见参考文献[50])]的疏散时间计算示例。示例所采用的建筑是一个简单的有 4 个可用疏散出口的四方零售店(边长为 42.4 m,直线行走距离为 30 m)。计算模型将每个人看作是一个单独的个体,且行进速度取决于人员密度,设计人员数量为 900 人,采用由 Sprucefield 通过监控疏散得到的预动作时间分布。在这种情况下,第一组人几乎是在警铃响起的一刹那开始行动,因此第一组人的预动作时间只有几秒钟。每个人的行进距离由计算机计算得出,行进速度分布的平均数为 1.2 m/s(标准差为 0.2 m/s,最小速度为 0.3 m/s)。



说明:

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| X —— 人数,人; | 4 —— 全体人员完成疏散所需时间; |
| Y —— 时间,s; | 5 —— 99%人员完成疏散所需时间; |
| 1 —— 99%人员的停留时间; | 6 —— 95%人员完成疏散所需时间; |
| 2 —— 99%人员的预动作时间; | 7 —— Nelson-Mowrer 线。 |
| 3 —— 95%人员的预动作时间; | |

图 I.1 采用 GridFlow 和 Sprucefield 预动作时间分布针对面积为 1 800 m² 的正方形零售店在不同人数条件下计算得到的疏散时间

图 I.1 显示了不同数量的人群疏散所具有的一系列特征。代号为 7 的 Nelson-Mowrer 线表示在假设警铃鸣响后各出口以最大通行能力进行疏散的条件下,人员走出房间所需要的时间,代表了在忽略预动作时间和运动时间的条件下人员疏散所需的最短时间。代号为 3 和 2 的两条水平虚线代表所有人员数量的 95% 和 99% 的理论预动时间分别为 95 s 和 114 s,对于一个给定的人员分布来说是常数。99% 人员的预动时间加上一个平均运动时间值 13 s,得到的停留时间大致为 127 s,由代号为 1 的水平虚线来表示,代表了无任何障碍的疏散所需的最短时间值。

曲线 6、5、4 分别表示不同疏散人数条件下计算机模拟得到的 95%、99% 和全体人员疏散所需的时

间,计算机模拟考虑了不同人员之间的所有交互作用(包括受到阻碍的疏散),并对每个点平均进行了10次模拟)。模拟结果表明,在设计人员数量为900人的情况下,全体人员的疏散时间会大大超过99%人员的预动作时间和最短停留时间,差值达到95 s或82 s。

通过比较 Nelson-Mowrer 时间与99%人员的实际疏散时间,得到排队的形成时间大约为20 s,代表了第一组人的停留时间。在前20 s后,剩余人员的预动作时间和运动时间不再对99%人员的疏散时间有所影响,而只是简单地由人员所需的最大通行时间决定。这清楚地表明,当人员密度设计较高时,一旦第一组人开始疏散,疏散行动就被出口的物理尺寸和形成排队所需的时间所限制,正如式(H.4)所示。

当人员数量小于设计人员数量的1/3时,疏散时间取决于最后一组人员开始疏散的预动作时间,正如式(H.3)所示。

I.2 计算预动作时间和运动时间分布交互作用影响的简单方法

实际上,降低预动作时间和运动时间分布交互作用的复杂度而进行简单的计算是有可能的,且不会导致重大的错误。

在满足以下边界条件时,可以进行简化计算,见参考文献[20]、[25]和[50]:

- a) 一种情况是房间内人员稀少;
- b) 人员密度小于设计的1/3;
- c) 一种情况是房间内具有最大设计人员数量。

对第一种情况来说,疏散时间取决于最后人员决定离开的预动作时间与他们行进到出口和穿过出口的所需时间。由于人员密度较低,到出口的行进速度基本上不会受到阻碍,因此在出口处也不会出现排队现象。疏散时间计算参见式(I.1):

$$\Delta t_{\text{evac}} = \Delta t_{\text{pre}(99\text{th percentile})} + \Delta t_{\text{trav}(\text{walking})} \dots\dots\dots (I.1)$$

式中:

- $\Delta t_{\text{pre}(99\text{th percentile})}$ ——从警铃响起到第一组人开始疏散的时间(参见表 F.1);
- $t_{\text{trav}(\text{walking})}$ ——到出口的平均行进距离(保守的计算使用房间内最大直线行进距离除以无阻碍行进速度)。

第二种情况的疏散时间取决于第一组人的预动作时间和运动时间,加上出口的通行时间,参见式(I.2)。

$$\Delta t_{\text{evac}} = \Delta t_{\text{pre}(1\text{st percentile})} + \Delta t_{\text{trav}(\text{walking})} + \Delta t_{\text{trav}(\text{flow})} \dots\dots\dots (I.2)$$

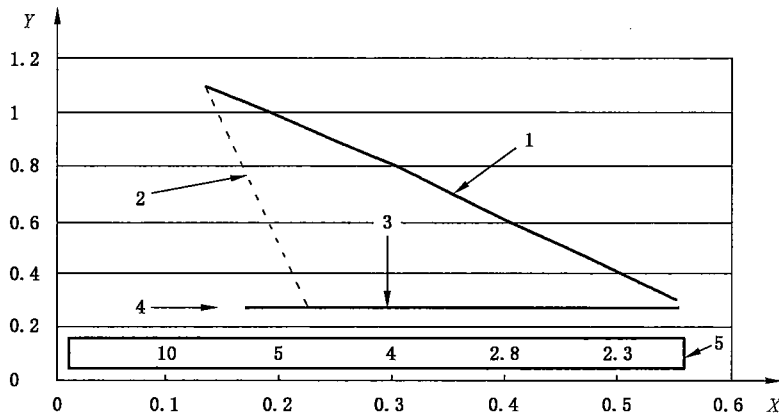
式中:

- $\Delta t_{\text{trav}(\text{flow})}$ ——所有人员通过可用出口的时间。

最长时间的情况可用于设计之中。对于大多数场景,第二种情况将代表最长的所需疏散时间。1%和99%预动作时间的默认值,参见附录 F。

附录 J
(资料性附录)
烟气对行走速度的影响

图 J.1 说明了接触无刺激烟气和刺激性木材烟气对黑暗中进行速度的影响,数据来自 Jin 的研究(参见参考文献[53])。图 J.1 还表明了有多大烟气密度时,30%的人将会选择折回而不会冲入烟气中,见参考文献[25]和[52]。



说明:
 X —— 烟气浓度,每米的光学密度; 3——30%人员折回;
 Y —— 行走速度,m/s; 4——黑暗中的步行速度,m/s;
 1 —— 无刺激烟气; 5——能见度,m。
 2 —— 刺激性的木材燃烧烟气;

图 J.1 无刺激烟气和刺激性烟气中的行走速度

无刺激性烟气中的行走速度 v_{NI} 、有刺激性烟气中的行走速度 v_I 和烟气光学密度 ρ_{OD} 的关系式分别为式(J.1)、式(J.2)所示:

$$v_{NI} = 1.36 - 1.9\rho_{OD} \quad \dots\dots\dots(J.1)$$

$$v_I = 2.27 - 9.0\rho_{OD} \quad \dots\dots\dots(J.2)$$

表 J.1 给出了用来推理耐受极限的主要标准。基于对建筑或交通工具火灾烟气的刺激性的考虑,对小房间比如住所来说,推荐的烟气光学密度的设计耐受极限为烟气光学密度 $\rho_{OD} = 0.2 \text{ m}^{-1}$ 。在这个烟气密度下,一定比例的人可能不会进入烟气中,如果人们进入烟气中,他们在黑暗中的行走速度会降低。对较大房间比如公共建筑中的房间来说,推荐的烟气光学密度的设计耐受极限为烟气光学密度 $\rho_{OD} = 0.08 \text{ m}^{-1}$,在此密度下人们可以调整自己找到出口。

这些极限可以保证建筑内大多数人员的安全疏散。在某些情况下,一些人可能会通过浓密的烟气疏散。烟气中有毒气体和热量的耐受极限也是非常重要的。

基于以上考虑因素,接触烟气中的刺激性气体将严重削弱甚至阻止疏散。对大多数完全燃烧来说,混合烟气刺激物的浓度换算为烟气光学密度后低于耐受极限 $\rho_{OD} = 0.2 \text{ m}^{-1}$ 。除外还有不完全燃烧,其中有机刺激气体产量较高,且包含可以放出大量无机酸性气体(氯化氢、溴化氢、氟化氢、二氧化硫、氮氧化物)的燃料。对火灾中刺激性产物的分析参见 ISO 13571:2007 和 Purser(参见参考文献[51])。

表 J.1 烟气的耐受极限

烟气			能见度(漫反射型)	影响
类型	密度 ρ_{OD} m^{-1}	减光系数		
无烟	—	—	不受影响	行进速度 1.2 m/s
无刺激性	0.5	1.15	2 m	行进速度 0.3 m/s
刺激性	0.2	0.5	降低	行进速度 0.3 m/s
混合性	0.33	0.76	3 m 左右	30%的人折回而不是进入烟气中
<p>注：推荐建筑的耐受极限为：</p> <p>——小房间和行走距离较短时：$\rho_{OD}=0.2 m^{-1}$ (能见度为 5 m)；</p> <p>——大房间和行进距离较远时：$\rho_{OD}=0.08 m^{-1}$ (能见度为 10 m)。</p>				

参 考 文 献

- [1] GB/T 31540.1—2015 消防安全工程指南 第1部分:性能化在设计中的应用
- [2] GB/T 31540.2—2015 消防安全工程指南 第2部分:火灾发生、发展及烟气的生成
- [3] GB/T 31540.4—2015 消防安全工程指南 第4部分:探测、启动和灭火
- [4] GB/T 31593.3—2015 消防安全工程 第3部分:火灾风险评估指南
- [5] GB/T 31593.4—2015 消防安全工程 第4部分:设定火灾场景和设定火灾的选择
- [6] GB/T 31593.5—2015 消防安全工程 第5部分:火羽流的计算要求
- [7] GB/T 31593.6—2015 消防安全工程 第6部分:烟气层的计算要求
- [8] GB/T 31593.7—2015 消防安全工程 第7部分:顶棚射流的计算要求
- [9] GB/T 31593.8—2015 消防安全工程 第8部分:开口气流的计算要求
- [10] ISO 13571:2007 Life-threatening components of fire—Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data.
- [11] ISO/TR 16765 Comparison of worldwide safety standards on lifts for firefighters.
- [12] ISO/TR 25743 Lifts (elevators)—Study into the use of lifts for evacuation during an emergency.
- [13] PURSER, D.A., ASET and RSET: Addressing some issues in relation to occupant behaviour and tenability, Fire Safety Science, Proceedings of the seventh International Symposium, Evans, D. D. (ed), International Association for Fire Safety Science, pp. 91-102, 2003.
- [14] EBIHARA, M., NOTAKE, H., AND YASHIRO, Y., Study of the security staff's action taken in the event of a building fire, Proceedings of the 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA, 26-28th March, 2001, pp. 341-348, Interscience Publications, UK.
- [15] BLAKE, S., GALEA, E.R., WESTENG, R., AND DIXON, A., An analysis of human behaviour during the WTC disaster of 11 September 2001 based on published survivor accounts, Proceedings of 3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, pp. 181-192, Interscience, London, 2004.
- [16] PROULX, G., AND FAHY, R.F., The Time Delay to Start Evacuation: Review of Five Case Studies, Fire Safety Science, Proceedings of the 5th International Symposium, Y. Hasemi, editor, Melbourne, pp. 783-794, 1997.
- [17] PURSER, D.A., AND BENSILUM, M., Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations, Safety Science, 38, 157-182, 2001.
- [18] PROULX, G., AND SIME, J.D., To prevent panic in an underground emergency, why not tell people the truth? in Fire Safety Science, Proceedings of the Third International Symposium, Elsevier Applied Science, New York, 843-852, 1991.
- [19] PURSER, D.A., AND KUIPERS, M., Interactions between buildings, fire and occupant behaviour using a relational database created from incident investigations and interviews, Proceedings of the 3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, Europa Hotel, Belfast, 1-3rd September 2004, Proceedings, pp. 443-456, Interscience Communications, London UK, 2004.
- [20] BS PD 7974-6:2004, The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings—Part 6: Human factors; Life safety strategies—Occupant evacuation, behaviour and condition.
- [21] SIME, J., An occupant response escape time (ORET) model, Proceedings of the First

International Symposium on Human Behaviour in Fire, pp. 299-308, University of Ulster, 1998.

[22] BRYAN, J. L., Behavioural response to fire and smoke, in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed, DiNenno, P. J., et al., (ed.), Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA and National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, Section 3, Chapter 12, pp. 3-315-3-341, 2002.

[23] PURSER, D. A., Behaviour and travel interactions in emergency situations and data for engineering design, Proceedings of the 2nd International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, Greenwich, 2003, Proceedings, pp 355-370, E. Galea Ed. University of Greenwich, London, UK.

[24] BOYCE, K. E., SHIELDS, T. J., AND SILCOCK, G. W. H., Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capability of Disabled People Moving Horizontally and on an Incline, Fire Technology, Vol. 35, No. 1, pp 51-67, February 1999.

[25] Building Standard Law in Japan in 2000.

[26] Japan Ministry of Construction Notification No. 1441 and No. 1442, May 31, 2000.

[27] PROULX, G., Movement of people: The Evacuation Timing, in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed, DiNenno, P. J., et al., (ed.), Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA and National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA Section 3, Chapter 13, pp. 3-342-3-366, 2002.

[28] FRUIN, J. J., Pedestrian planning and design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental planners Inc., New York, 1971.

[29] HABRICHT, A. T., AND BRAAKSMA, J. P., Effective width of pedestrian corridors, Journal of Transportation Engineering, 110, 1, 1984.

[30] TOGAWA, K., Report No. 14 Building Research Institute, Tokyo, 1955.

[31] ANDO, K., OTA, H., AND OKI, T., Forecasting the flow of people (Japanese), Railway Research Review, Vol. 45, pp. 8-14, in Gwynne, et al., 1988.

[32] MELINEK, S. J., AND BOOTH, S., An analysis of evacuation times and the movement of crowds in buildings, BRE Current Paper CP96/75, BRE, Garston, UK, 1975.

[33] PREDTECHENSKII, V. V., AND MILINSKII, A. I., Planning for foot traffic in buildings (translated from Russian), Stroizdat publishers, Moscow, 1969; English translation published for National Bureau of Standards and the National Science Foundation, Washington, by Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd, New Delhi, India, 1978.

[34] PAULS, J. L., Building evacuation: Research findings and recommendations, Fires and Human Behaviour, Ed. D. Canter (1st edition), Wiley, 1980.

[35] NELSON, H. E. "BUD", AND MOWRER, F. M., Emergency movement, in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed, DiNenno, P. J., et al., (ed.), Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA and National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, Section 3, Chapter 14, pp. 3-367-3-380, 1995.

[36] BS 5588-11, Fire precautions in the design, construction and use of buildings—Part 11: Code of practice for shops, offices, industrial, storage and other similar buildings.

[37] THOMPSON, P. A., AND MARCHANT, E. W., A computer model for the evacuation of large building populations, Fire Safety Journal, Vol. 24, pp 131-148, 1995.

[38] POYNER, B., ROBINSON, D., HUGHES, N., AND AYLES, P., Safety in football stadia: a method of assessment, Report for SCICON, Scientific Control Systems, London, 1972.

- [39] Home Office/Scottish Office, Guide to Safety in Sports Grounds, HMSO, London, 1991.
- [40] HANKIN, B. D., AND WRIGHT, R. A., Passenger flows in subways, *Operational Research Quarterly*, 9, pp. 81-88, 1958.
- [41] DALY, P. N., Pedestrian speed/flow relationships for underground stations, *Traffic Engineering Control*, 32, 76-78, 1991.
- [42] ANDO, K., OTA, H., AND OKL, T., Forecasting the flow of people, *Railway Research Review*, 45, pp. 8-14, 1988.
- [43] The Aqua Group, *Fire and Buildings*, Granada Publications, London, 1984.
- [44] POLUS, A., SHOFRER, J. L., AND USHPIZ, A., Pedestrian flow and level of service, *Journal of Transportation Engineering*, 109, pp. 46-47, 1983.
- [45] BOYCE, K. E., SHIELDS, T. J., AND SILCOCK, G. W. H., Towards the Characterisation of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Prevalence, Type and Mobility of Disabled People, *Fire Technology*, Vol. 35, No. 1, pp. 35-50, 1999.
- [46] PURSER, D. A., Human behaviour in fire and other emergencies, BRE Report 80893, 2001.
- [47] PROULX, G., LATOUR, J., AND MACLAURIN, J., Housing Evacuation of Mixed Abilities Occupants, Internal Report No. 661, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, July 1994.
- [48] SHIELDS, T. J., AND BOYCE, K., A Study of Evacuation Time from Large Retail Stores, *Fire Safety Journal*, 35, 25-49, 2000.
- [49] PROULX, G., LATOUR, J. C., MCLAURIN, J. W., PINEAU, J., HOFFMAN, L. E., AND LAROCHE, C., Housing Evacuation of Mixed Abilities Occupants in Highrise Buildings, Internal Report No. 706, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, August 1995.
- [50] BENSILUM, M., AND PURSER, D. A., GridFlow: an object-oriented building evacuation model combining pre-movement and movement behaviours for performance-based design, 7th International Symposium On Fire Safety Science, Worcester Polytechnic Institute, Worcester Massachusetts, USA, 16-21 June 2002 (Proceedings in press), *Fire Safety Science, Proceedings of the seventh International Symposium*, International Association for Fire Safety Science, 2003, pp. 941-952, 2002.
- [51] PURSER, D. A., Human tenability, Proceedings of Technical basis for performance-based fire regulations, Engineering Foundation Conference, San Diego, CA, USA, , 7-11 January, 2001.
- [52] WOOD, P. G., The behaviour of people in fires. Fire Research Station, UK, Fire Research Note 953, 1972.
- [53] JIN, T., Visibility through fire smoke, Part 5. Allowable smoke density for escape from fire. Report of Fire Research Institute of Japan, No. 42, 12, 1975.
- [54] EN 81-72, Safety rules for the construction and installation of lifts—Particular applications for passenger and goods passenger lifts—Part 72; Firefighters lifts.
- [55] EN 81-73, Safety rules for the construction and installation .of lifts—Particular applications for passenger and goods passenger lifts—Part 73; Behaviour of lifts in the event of fire.
- [56] BS 5588-12:2004 Fire precautions in the design, construction and use of buildings—Part 12; Managing fire safety.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
消 防 安 全 工 程
第 9 部 分：人 员 疏 散 评 估 指 南
GB/T 31593.9—2015

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 3.25 字数 85 千字
2015年7月第一版 2015年7月第一次印刷

*

书号: 155066·1-51315 定价 45.00 元



GB/T 31593.9-2015

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107