

多层综合交通枢纽 防灾设计

李引擎 主 编

刘栋栋 副主编

中国建筑工业出版社

多层综合交通枢纽防灾设计

李引擎 主 编
刘栋栋 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

多层综合交通枢纽防灾设计/李引擎主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2010.9
ISBN 978-7-112-12648-4

I. ①多… II. ①李… III. ①交通运输中心-防灾-
研究 IV. ①U115

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 226929 号

本书由中国建筑科学研究院建筑防火研究所、北京建筑工程学院、重庆大学和北京市市政工程设计研究总院共同编著。主要介绍我国地下交通枢纽防灾设计最新的研究成果、工程实践经验和建设发展方向, 具体内容包括了烟气控制技术、紧急疏散设计、抗震抗爆设计、防水设计、防恐研究、安全监控设计及安全综合评价方法, 内容新颖全面。

本书可为交通枢纽的防灾设计、改造和研究提供参考, 也可作为在校本科生和研究生的教材。

* * *

责任编辑: 王 梅
责任设计: 赵明霞
责任校对: 马 赛 张艳侠

多层综合交通枢纽防灾设计

李引擎 主 编
刘栋栋 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22¼ 字数: 555 千字

2010 年 9 月第一版 2010 年 9 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-12648-4

(19947)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本书由中国建筑科学研究院建筑防火研究所、北京建筑工程学院、重庆大学和北京市市政工程设计研究总院共同编著。本书在参编单位多年科学研究和工程实践基础上，结合国家 863 课题《多层地下综合交通枢纽安全设计技术》、国家“十一五”科技支撑计划课题《既有建筑防火改造技术研究》等课题研究成果编著而成。本书反映了我国地下交通枢纽防灾设计最新的研究成果、工程实践经验和建设发展方向，可为交通枢纽的防灾设计、改造和研究提供参考，也可作为在校本科生和研究生的教材。

本书主编李引擎，副主编刘栋栋，各章执笔人是：

第一章 绪论：刘栋栋、李磊、周江天、赵东拂、张雷、庄鹏；

第二章 烟气控制技术：李磊、孙旋、刘松涛、王大鹏、华高英；

第三章 紧急疏散设计：刘栋栋、彭华、蒋方、曾杰、唐海；

第四章 抗震与抗爆设计：李英民、刘立平、王璐、王贵珍；

第五章 防水（灾）设计：周江天、刘立平、王贵珍；

第六章 防恐研究：赵东拂；

第七章 安全监控设计：张雷、王佳、李雁；

第八章 安全综合评价方法：庄鹏、刘松涛。

由于我国多层交通枢纽的防灾设计、建设和科研工作尚处于初级阶段，加之编写者水平有限，书中难免会有一些疏漏和不当之处，敬请读者提出宝贵意见。

本书在编著过程中参考了国内外大量的已有科技成果和相关枢纽工程设计、建设、使用与管理单位提供的资料，在此对他们的工作表示由衷的感谢。由于篇幅和其他条件限制，书中所列出的参考资料会有遗漏，特此说明。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 我国交通枢纽的建设与发展	1
第二节 国内外交通枢纽防灾设计的发展现状与趋势	3
一、多层地下综合交通枢纽防灾设计面临的挑战	3
二、烟气控制的发展现状	6
三、交通枢纽人员安全疏散的发展现状	7
四、交通枢纽安全评价的发展现状	10
五、地下工程抗震抗爆设计的发展现状	12
六、地下工程防水设计的发展现状	14
七、交通枢纽安全监控体系的发展现状	14
八、交通枢纽反恐的发展现状	16
第二章 烟气控制技术	18
第一节 火灾危险性分析	19
一、地铁车站火灾危险性分析	19
二、地下商业火灾危险性分析	20
三、火车站火灾危险性分析	21
四、行人交通系统火灾危险性分析	21
五、车行隧道火灾危险性分析	22
六、火灾危险性分析综合分析	22
第二节 烟气流动分析研究	23
一、地铁烟气流动分析研究	23
二、地下商业烟气流动分析研究	38
第三节 烟气控制方式	46
一、挡烟垂壁及活动挡烟垂帘设置分析及研究	46
二、气幕系统设置分析及研究	50
三、正压送风系统设置分析及研究	51
四、地下车站防火屏蔽门系统研究	56
五、交通枢纽地下联系通道防排烟设计	61
第四节 烟气控制设计	66
一、某火车站概况	66
二、站房各区域概况	67

三、烟气控制方案研究	69
四、高架层进站广厅烟控设计与分析	70
第三章 紧急疏散设计	77
第一节 国内外紧急疏散研究现状	77
一、国外研究现状	77
二、国内研究现状	78
第二节 人员安全疏散分析的性能判断标准和规范要求	80
一、人员安全疏散分析的性能判断标准	80
二、人员疏散分析的规范要求	81
第三节 基本原则和方法	85
一、制定疏散策略分析	85
二、分析疏散出口系统与路径分析	86
三、确定疏散人数与容量	87
四、疏散分析要求	88
五、常用人员疏散分析方法及其适用性	92
第四节 地铁交通枢纽行人特征的调查与分析	96
一、地铁换乘站行人特征参数调查	96
二、地铁换乘站行人参数统计分析	97
三、对比国内其他研究成果	101
第五节 北京铁路车站行人特征的调查与分析	102
一、北京站、北京西站行人特性调查	102
二、北京站、北京西站行人参数统计分析	103
三、国内外研究成果的比较	106
第六节 北京综合交通枢纽行人特征的调查与分析	106
一、北京南站行人特征参数调查方法	106
二、北京南站行人参数统计分析	107
三、对比国外其他研究成果	111
第七节 人员安全疏散计算软件	113
一、疏散仿真技术的发展	113
二、社会力模型简介	117
三、疏散软件模块结构划分	120
四、软件功能介绍及与其他疏散模拟软件的比较	121
五、利用 UC-WIN/ROAD 软件制作插件实现三维演示功能	122
第八节 多层地下交通枢纽人员安全疏散分析实例	123
一、STEPS 疏散软件有效性验证与分析对比	123
二、STEPS 疏散软件工程应用实例	125
第九节 标志系统的调查与研究	131
一、多层地下综合交通枢纽的标志系统理论简述	131
二、实例分析	133

三、标志设计一般原则	137
参考文献	139
第四章 抗震与抗爆设计	141
第一节 地下综合交通枢纽的抗震设计	141
一、地下结构的震害现象与特征	141
二、地下结构抗震分析方法	143
三、地下综合交通枢纽结构的抗震性能	147
四、地下综合交通枢纽结构的抗震设计方法	176
第二节 地下综合交通枢纽的抗爆设计	179
一、爆炸与爆炸作用	179
二、爆炸荷载与地震作用对建筑结构影响比较	180
三、结构抗爆设计方法	182
四、地下结构内部爆炸荷载	183
五、地下结构抗内部爆炸设计	184
第三节 小结	186
参考文献	186
第五章 防水(灾)设计	188
第一节 水对地下工程的影响及灾害	188
一、对地下工程围岩性能的影响	188
二、对地下结构性能的影响	188
三、对地下工程的设备和人员的影响	190
第二节 地下工程的防水设计与措施	190
一、地下工程的防水特点与类型	190
二、地下工程的防水设计要求	191
三、地下工程的刚性防水设计	193
四、地下工程的柔性防水设计	198
五、地下工程的其他防水方法	202
第三节 地下工程的渗(涌)水及治理	203
一、地下工程渗(涌)水原因	203
二、地下工程渗(涌)水治理的原则	204
三、地下工程渗(涌)水治理的步骤	205
四、主体结构的渗(涌)水原因及治理	206
五、地下工程的接缝部位的渗(涌)水原因及治理	208
第四节 地下工程的洪涝灾害原因及对策	209
一、地下工程的洪涝灾害原因	209
二、地下工程的洪涝灾害的技术对策	210
参考文献	211
第六章 反恐研究	212
第一节 恐怖活动及其特点	212

一、恐怖活动形式与案例分析	212
二、恐怖活动的特点	218
第二节 防恐系统	221
一、防恐公约、协定及立法	221
二、构建防恐应急体系	222
三、防恐机制	225
四、防恐技术措施	229
参考文献	234
第七章 安全监控设计	236
第一节 枢纽安全监控的目的和意义	236
第二节 枢纽安全监控系统发展现状	237
一、地铁综合监控系统的概念	237
二、分离与综合监控系统特点	238
第三节 枢纽安全监控系统的结构设计	240
一、地铁综合监控系统	240
二、优化地铁指挥控制中心	245
三、优化系统的结构特点	248
四、综合监控系统软件结构	249
五、构建枢纽安全监控中心	250
第四节 枢纽安全监控系统的联动控制设计	253
一、安全监控子系统	253
二、BAS 和 FAS 集成方案设计	257
第五节 枢纽安全监控系统的设计实例	261
一、系统总体设计	261
二、实时数据库分系统设计	264
三、系统功能设计	269
四、人机界面	272
五、安全性控制	275
参考文献	278
第八章 安全综合评价方法	279
第一节 绪论	279
一、引言	279
二、国内外研究现状	279
三、安全评价的主要内容与技术路线	281
第二节 地下多层综合交通枢纽危险因素辨识	283
一、概述	283
二、火灾危险源辨识	283
三、地下多层综合交通枢纽水灾风险分析	287
四、地下综合交通枢纽恐怖袭击风险分析	288

五、地下综合交通枢纽地震灾害风险分析	289
第三节 地下多层综合交通枢纽安全评估指标体系	290
一、指标体系建立的原则和方法	290
二、火灾风险评估指标体系的组成和说明	291
三、炸弹和生化袭击风险评估指标体系的组成和说明	296
四、水灾风险评估指标体系	298
五、地震灾害风险评价	299
第四节 地下多层综合交通枢纽的多灾种风险评价方法	302
一、评估方法的选择	302
二、评估单元划分	304
三、基本单元危险度量化方法	304
四、基于层次分析法的各级指标权重计算	304
五、模糊综合评价步骤	307
六、风险度判断的专家打分法	309
第五节 应用案例——某地下多层交通枢纽多灾种风险评估	310
一、概述	310
二、评估依据	311
三、某地下多层交通枢纽工程概况	311
四、多灾种风险评价指标权重	314
五、多灾种风险模糊综合评价	318
六、基于专家打分法的某地下多层交通枢纽多灾种安全评价	326
参考文献	344

第一章 绪 论

第一节 我国交通枢纽的建设与发展

随着我国城市化进程的发展，一线大城市地铁建设方兴未艾，二、三线城市大规模建设地铁的浪潮已经到来，2010 年全国有将近 50 个城市都具备了地铁建设的需求和条件，22 个城市已经开展了地铁和轻轨的建设。为满足城市交通的组织 and 运营，多层地下综合交通枢纽的应用将越来越广泛。多层地下综合交通枢纽需采用立体空间布置方式，占据空间大，不同的交通方式沿高度分层布置，将车流和人流分开，同时，多层地下综合交通枢纽通常需要餐饮、商业等配套设施。因此，集民航、铁路客运、长途客运、城市轨道交通、公交、出租等不同交通工具于一体、人员密集、人员流动性大的多层地下综合交通枢纽已成为城市交通系统中的关键性节点。

根据《北京城市总体规划（2004 年—2020 年）》，中心城规划建设交通枢纽 33 处，其中大型综合换乘交通枢纽（公交与轨道、铁路）13 处；对外与铁路换乘接驳的综合交通枢纽 4 处；与省际长途客运换乘接驳的综合交通枢纽 4 处；其他综合换乘交通枢纽 5 处。其发展目标为建成完整、统一、协调的城市地上地下综合交通系统，上下部各种交通方式之间衔接、组合、换乘方便合理，逐步形成以地铁线网为骨架、以地铁车站和交通枢纽为重要节点、以中心城区为主体、包括地下停车系统和地下快速路系统的城市地下交通系统。在这个系统中，多种交通方式的换乘使得多层地下综合交通枢纽占有特别重要的地位。例如：北京东直门交通枢纽，有北京地铁 2 号线、首都机场轨道交通线及城市轨道交通 13 号线等三条轨道交通线之间的换乘，并与地上有公共交通枢纽进行地上与地下之间的交通换乘。在北京南站交通枢纽中，地铁 4 号线与北京南站地下一层的联通，使北京南站成为真正意义上的多层交通枢纽工程（图 1-1-1）。



图 1-1-1 北京南站多层地下综合交通枢纽

目前北京为解决交通紧张的状况,正在大力发展轨道交通,多条地铁线路处于设计建设中,如CBD、中关村等一批交通紧张区域,需要通过地上地下衔接组合的方式解决换乘等交通问题,故针对多层综合交通枢纽开展安全设计技术研究,具有十分重要的实用性和迫切性。

《上海市综合客运交通枢纽布局规划》在“十一五”期间建设完成综合交通枢纽60个,其中包括A类枢纽3个(虹桥综合交通枢纽(图1-1-2)、浦东国际机场枢纽和铁路上海站枢纽(扩建)),B类枢纽36个,C类枢纽16个,D类枢纽5个。加上目前已建成的枢纽24个,2010年上海市共建成综合交通枢纽84个。其中A类枢纽为规模最大,有对外交通功能,即以航空、铁路等大型对外交通设施为主,配套设置轨道交通车站、公交枢纽站等,将形成虹桥综合交通枢纽、浦东国际机场枢纽、铁路上海站枢纽等一体化市内外综合交通枢纽;B类枢纽是以轨交为主体的综合交通换乘枢纽,包括以三线及以上轨道交通换乘站为主体的大型枢纽;C类枢纽分布在外环周围,主要是轨道交通与机动车换乘,赋予便捷的换乘和优惠的停车收费条件;D类枢纽为公交换乘枢纽,为距离轨道交通站点较远的、多条常规公交始末线集中布局而形成的枢纽。

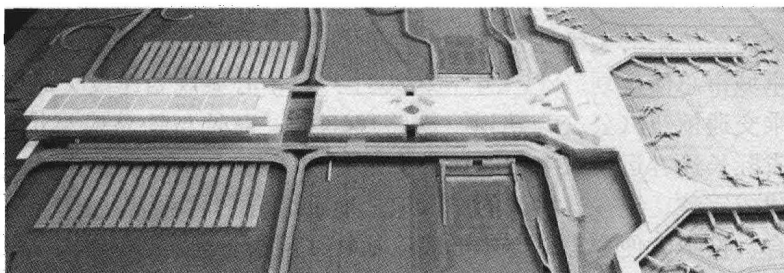


图 1-1-2 虹桥综合交通枢纽

2010年已经投入运营的地下多层综合交通枢纽并不多,只有北京南站和上海虹桥交通枢纽属于此类交通枢纽。但是随着我国交通枢纽建设的高速发展,地下多层综合交通枢纽将如雨后春笋,破土而出。

公共交通系统的安全已成为国际社会关注的问题。作为城市交通的关键节点且集多种功能于一身的交通枢纽系统,由于人员密集、流动性大,极易受到攻击和损害。多层地下交通枢纽更是因空间较封闭、疏散较困难、救灾困难等,系统安全比较脆弱,一旦发生安全事故则可能发生重大的伤亡事故和巨大的财产损失,并可能导致交通瘫痪甚至影响到社会稳定。目前,虽然我国在城市防灾减灾、交通系统防灾减灾、城市公共安全与规划、公共场所的危险性评估、火灾危险性评估、建筑防火设计等方面进行了一系列研究,取得一定的成果,但是对多层地下交通枢纽防灾问题仍缺乏专门系统的深入研究,对多层地下交通枢纽的致灾因素及致灾机理尚不确定,没有专门的安全设计标准和抗灾设计理论,也缺乏安全综合评价、预警及应急决策方法,而目前通常借鉴传统建筑或地下空间的设计方法,安全防范和防灾减灾技术落后且无针对性。国际上已经开始重视地下交通枢纽的安全问题并开展了一些研究和应用,我国则刚刚起步,有许多亟待填补的空白。因此,有针对性地对多层地下交通枢纽开展安全问题的系统研究,是我国城市建设和安全保障之所需,对发展和完善多层地下交通枢纽防灾减灾理论、提高综合防灾减灾能力、促进安全保障技

术发展等具有重要的理论意义和应用价值。

第二节 国内外交通枢纽防灾设计的发展现状与趋势

1987年11月18日,英国伦敦地铁 King's Cross 站发生火灾,导致31人死亡。2009年12月22日,上海地铁一号线列车侧面相撞,造成上海第一交通大动脉全线瘫痪长达4小时,乘客长时间不能下车,沿线大量乘客滞留。3天之后,上海地铁一号线列车再出故障。

1995年3月20日,日本东京地铁站发生沙林毒气投放事件,造成12人死亡,14人终身残疾,5000多人受伤;同年7月25日,巴黎地铁快线B线发生爆炸恐怖事件,造成8人死亡,150余人受伤;10月6日,巴黎地铁快线C线再次发生爆炸恐怖事件,造成30多人受伤。2000年12月,日本逮捕了一名在大阪地铁站施放放射性物质 ^{125}I 的人。2001年9月2日,加拿大蒙特利尔市中心地铁车站发生毒气袭击事件案,造成40多名乘客受伤。

2001年美国发生“9.11”恐怖袭击事件之后,西方国家成为恐怖袭击的对象。2003年2月28日,韩国大邱广域市的地铁车站因为人为纵火而产生火灾,12辆车厢被烧毁,192人死亡,148人受伤。2004年马德里市中心阿托查火车站的列车爆炸事件造成173人死亡,300多人受伤。2005年伦敦地铁和公交汽车相继发生多起爆炸,造成56人死亡,700多人受伤。2010年3月29日,俄罗斯莫斯科市地铁发生两次爆炸,造成41人死亡,100多人受伤。公共交通系统的安全成为国际社会关注的问题,世界各国的政府和研究机构对交通枢纽系统安全政策和技术开始进行全面的,并不断加大研究经费的投入。

交通枢纽系统安全的威胁因素有:恐怖袭击(包括炸弹袭击、化学武器袭击、生物武器袭击)、火灾(包括失火和纵火)、流行性传染病、环境空气污染、运营事故和社会犯罪等等。国外研究将交通枢纽系统安全技术归纳为三个支柱,即灾害的预防、灾害的对策、灾害后的恢复。

灾害预防的研究主要包括:交通枢纽系统安全政策与计划、交通枢纽系统安全性设计、安全与经济的相互影响、多媒体安全性提示(电话、电视、广播、互联网、布告)、灾害的调查与研究。

灾害准备与对策的研究主要包括:紧急疏散方案、旅客和行李的安全检查、巡视和盘查、电视监控系统、预警报警系统、保安和职工的安全培训。例如1998年美国华盛顿地铁联合能源部、全国检察院、联邦交通管理局开展了对生化恐怖袭击的研究(PROTECT),研制成能够对生化武器进行探测的传感器。

灾害后恢复的研究主要包括:抢救、评估和快速修复。

虽然以上交通枢纽系统安全技术的内容本书均有涉及,但是本书主要侧重于交通枢纽的烟气控制、人员安全疏散、地下结构抗震、地下工程防水、安全评价体系和安全监控系统。

一、多层地下综合交通枢纽防灾设计面临的挑战

多层地下综合交通枢纽往往会占据多层地下空间,建设总体规模较大,为了实现日常交通的流线组织,其建筑空间要求开敞、通透。为满足日常运营要求,需要大量的餐饮、

商业等配套设施。建筑形式非常独特,而现有建筑防火规范、地铁设计规范等设计标准不能完全涵盖。例如地下工程的总体建筑面积如果大于 20000m^2 ,按照规范对于地下商业的要求,应按照 20000m^2 的要求用防火墙进行完全分隔。而对于地下交通隧道等地下空间建筑,无法采用防火墙完全进行分隔。

(一) 防火分区面积的划分

设置防火分区的目的是为了控制火灾的最大规模,限制火灾的大面积蔓延,从而减少由此而带来的财产损失和人员伤亡。为了实现上述目的,一种做法是严格依照现行消防规范进行设计,即“处方式”的方法;另外一种做法是根据建筑物的建筑结构形式、可燃物的分布、火灾的危险性等条件,具体分析火灾蔓延的条件、对人员疏散的影响等因素,来确定防火分区的范围及其分隔方式。

地下交通功能的开敞通透要求必然会引起建筑防火分区扩大的问题,按照现有规范的要求将要设置大量的防火卷帘或者防火墙,必然会影响建筑的设计理念。同时防火分区的划分也需要设置大量的直通室外的楼梯间,这在城市规划、现有城市地面建筑及交通道路上也是很难实现的。

(二) 烟气控制

由于地下工程的内部空间比较封闭,发生火灾后,烟、热不能及时排出去,使热量集聚,内部空间温度上升很快,发生“轰燃”的时间也比较短。但发生“轰燃”后,由于通风量的限制,轰燃之后的燃烧速度比地面建筑慢,而且燃烧产物中的毒性成分、一氧化碳等浓度较高、散热慢,由烟、热造成的危害更大。

(三) 人员安全疏散

对交通枢纽人员安全疏散分析尚缺乏大量的数据统计,缺乏能够准确反映我国交通枢纽行人流特征的数学模型,缺乏对交通枢纽内滞留人数进行估算的依据。对行人速度与密度和流率的关系、结伴同行的比例、携带行李多少、恐慌和从众心理的影响、年龄及性别差异、对环境的认知程度、火灾烟气的影响、指挥监控的实际效能、安全标识的优化等还不能准确把握。需要研发具有自主知识产权的人员安全疏散数值仿真软件,并综合考虑疏散人员在紧急情况下逃生的生理、心理和环境等因素的影响。需要综合理论研究和设计经验,建立适合我国国情的人员安全疏散设计标准。

(四) 抗震与抗爆设计

根据地下空间的震害经验,城市地下交通系统的综合枢纽站,在进行抗震防灾时应考虑如下因素:(1)在建筑和结构上的各个细部应考虑边角连接处的开裂以及脆性材料的开裂,在结构上明显的不连续部分最容易发生破坏;(2)地下交通综合枢纽站的抗震应区别不同的围岩条件和施工方法,根据地下结构在地震作用下的受力和破坏特点有针对性地采取抗震措施;(3)抗震构造措施是提高大震时结构整体抗震能力、保证实现预期的设防目标、延迟结构破坏的重要手段,在一定条件下,适当的构造措施比单纯提高设防标准来提高结构抗震能力更为经济合理。目前我国在地下结构抗震设计中结构构件应采用的抗震构造措施还缺乏统一认识,有待进一步研究。

近年来随着世界各国地下空间得到大规模开发,地下交通系统及其枢纽站开始遍布各地,而与此相对应的是恐怖爆炸袭击越来越猖獗,使人们的生命财产安全受到极大的威胁。目前流行的抗爆设计方法是利用能量守恒原理将结构构件简化等效为单自由度体系,

进行无阻尼弹塑性体系强迫振动的动力分析得出动力系数，将动力问题转化为静力问题进行结构设计，这种方法得到广泛的应用。在国内针对一般建筑（相对于人防工程和军事工程）的抵抗恐怖袭击的抗爆静力设计方法至今没有提出，其难点在于：（1）恐怖袭击不确定性；（2）抗爆设防目标设定困难；（3）抗爆设计造价高；（4）抗爆设计方法应用范围狭窄。这一局面造成地下建筑结构的抗爆储备极为有限，甚至没有。

（五）防水设计

由于位于地表以下，受大气降水、地表水系、地下水和市政设施影响，综合地下交通枢纽的水患危机不容忽视，因此，综合地下交通枢纽的防水，需要从宏观政策、局部治理、工程措施三个层面统筹协调、综合治理。

在城市总体规划制订时，应以完善的城市防洪规划为基准，确保特大洪涝灾害发生时，城市综合实体正常运行。在进行多层地下综合交通枢纽规划设计时，场站选址应结合地形、地貌、地质条件等因素，与区域市政设施和救援体系紧密结合，在地质灾害、洪涝灾害、火灾等灾害发生时，多层地下综合交通枢纽应仍能正常运行，为灾害条件下救援组织提供交通保障。在多层地下综合交通枢纽规划建设时，做到精心组织、精心设计、精心施工，确保工程安全、质量，为长期运营创造一个舒适的地下空间。当然，运行期间应严格按照预定的功能进行使用，定期维护保养，确保枢纽在正常使用期间持续保持安全、高效运行。

（六）安全评价体系

城市地下交通综合枢纽作为各种交通方式相互连接的中心环节，具有线路多、人员密度大、风险因素复杂等特点。针对枢纽的空间致灾机理及影响因素需要突破宏观概念，细化到具体指标环节；枢纽综合安全评价指标体系的完善需要大量的基本调研数据进行支持，对此需要进行深入的调研，从而避免所建立的指标带有较大的主观性；具体实施综合评价计算时是将多指标问题综合成一个单指标的形式，以便在一维空间中实现综合评价，为此，需要合理地确定评价指标的权重，同时，应采用多种计算方法，充实计算结果，完善计算软件，建立分级评价标准，对评估计算结果进行深入分析，并给出改进的建议和措施。

（七）安全监控体系

轨道交通安全监控系统是指对地铁设备进行监视和控制的计算机监控系统，是地铁安全可靠运行的重要保障。目前，多层地下交通枢纽内技术层面上的安全监控，仅局限于枢纽内单独个体的研究。伴随着枢纽内部交通规模越来越庞大，系统监控自动化水平越来越高，亟须针对区域范围内枢纽体系的协作发展以及枢纽体系的系统效应问题进行研究。

以轨道交通为主体的地下交通枢纽中，多线地铁同时运营，由于同一车站的不同站台分属于不同的线路，站台间安全警示系统的共享与联动是实现枢纽安全运行、防灾减灾的重要内容。因此，如何构建地铁综合监控系统及其子系统，在此基础上进一步构建适合多层地下交通枢纽的监测和控制系统，最大限度地减少各种灾害损失是研究的重点。

（八）交通枢纽反恐

交通枢纽人员密集、流动性大，因而也是恐怖分子在轨道交通方面进行恐怖活动的首选目标。目前，地下综合交通枢纽的反恐研究以及反恐设计都是枢纽防灾设计的薄弱环节，其面临的主要问题：首先，恐怖活动的发生与预防不对等，即恐怖活动是小概率事

件,仅可能发生在少数城市的少数枢纽,发生的时间也很短暂,其形式也多种多样,比如纵火、爆炸、投放生物或化学试剂以及放射性物质、制造交通事故、绑架劫持人质、武装袭击、网络黑客等形式。因而恐怖活动具有突发性和不可预知性的特点,而反恐则必须针对所有的城市、所有的枢纽、所有的形式全天候予以考虑,这就需要在研究、设计以及人力、物力、财力等方面做大量的投入。其次,多层地下综合交通枢纽内可能存在的城市轨道交通、国铁、公交、商业企业等各部门之间在管理上的欠衔接、彼此壁垒,要建立有效的统一指挥、彼此联动的反恐应急体系和机制,还有很多问题有待研究和解决。

二、烟气控制的发展现状

近二十年来,火灾科学在推动火灾防护和防火灭火技术工程方面进步显著,特别表现在:

(1) 已经提出了工程中可以应用的许多计算机程序,如建筑物火灾模型,可用于计算火焰、烟气、毒气蔓延运动、逃生时间,计算结构的火灾承受能力和稳定性及作为火灾灾害评定的专家系统。

(2) 已建立了材料可燃性能和毒性测试的试验设备和测试方法,找到了一批新的耐火、阻燃、灭火材料。

(3) 出现了火灾安全防护的新措施、新结构、新系统,而且对这些火灾安全防护工程有了计算机辅助的火灾火险或安全评估方法。

(4) 对城市、城市街区、建筑物制定了安全防护设计方法并进行鉴评。

(5) 在整个火灾统计、火灾评定,火灾安全防护工程中很重视谋求实效和经济效益。

火灾科学现在已发展到了应用现代科学技术进入定量分析的阶段,火灾科研在控制火灾损失方面已取得了明显效果。

英国、美国、澳大利亚等国家已经编写了性能防火设计规范及设计指南。尽管我国还没有相应的性能化防火设计规范,但我国在火灾科学的基础理论和防治原理方面开展了深入研究,也编写了相应的软件。在过去的十几年间,我国曾多次召开关于消防新技术的国际讨论会和报告会,会议的重要议题之一就是性能化防火设计。中国建筑科学研究院建筑防火研究所利用自身的优势,在广泛吸取英国、美国、澳大利亚、加拿大、日本等国的先进技术的基础上,开始将性能化防火设计的理念运用到工程中,是国内最早运用该项新技术的单位之一。我国加入 WTO 之后,许多国外知名的设计公司进入国内市场,其先进的设计理念也推动了我国性能化防火设计的发展。2008 年奥运会的众多场馆与配套设施,通过采用性能化设计的技术已经付诸实施。

多层综合交通枢纽立体交叉换乘的功能要求使交通枢纽的层间不能被分隔为传统意义上的防火分区,因此,必然会出现防火分区面积超大、人员疏散距离较长的问题。现行建筑防火规范已经不能有效指导多层综合交通枢纽的消防设计,为了定量地计算多层综合交通枢纽消防安全水平,必须采用性能化消防设计的方法。重点考虑划分防烟分区、防火单元,合理布置交通枢纽商业服务设施,严格限制商业服务规模,对这些火灾荷载较大的场所应重点控制,设置灭火及排烟措施将火灾控制在初期甚至被扑灭。应采取合理的消防措施将烟气控制在一定区域,避免对上、下层建筑内人员的影响。性能化防火设计根据防火安全评估目标,通过对多层综合交通枢纽各个建筑空间内部的火灾危险性的评估,选择合

理的消防设施,确定其最佳排烟控制方案、人员疏散方案,应用 CFD 技术模拟计算火灾烟气的流动,对建筑内人员安全疏散进行定量的计算,在满足建筑的防火安全要求的前提下,确定最终建筑设计方案。

三、交通枢纽人员安全疏散的发展现状

地下交通枢纽的人员数量众多,并且地下交通枢纽由于受到条件限制,出入口少,疏散的距离较长;火灾时,人员疏散只能步行通过出入口或联络通道。当出入口没有排烟设施或排烟设施效果较差时,火灾时将成为排烟口,由于高温烟气的流动方向与人员逃生的方向一致,烟气的扩散流动速度往往比人群的疏散逃生速度快得多,人们在高温浓烟的笼罩下逃生,能见度低,人群心理更加恐慌,同时烟气中的有毒气体,如氨气、氟化氢和二氧化硫等的刺激,使行人睁不开眼睛,可能会发生拥挤踩踏,造成严重伤亡。

随着研究的不断深入,研究内容已经呈现出多学科交叉的趋势,涉及系统仿真、人群心理学、人工智能、安全工程等,当前研究的热点之一是将人工智能与计算机仿真技术应用于交通枢纽人员疏散。然而到目前为止,还没有一个模型能完全把疏散群体所有的行为都能被充分认识和完全量化,因此在未来的发展中,新的模型或理论仍然会不断出现。

20 世纪 80 年代,研究人员开始利用计算机技术模拟人员疏散运动,1982 年发表了最早的一篇研究火灾紧急疏散模拟的论文。到目前为止,世界上已经开发出了多种用以描述建筑物中疏散模式的模拟方法,相应地出现了许多计算机疏散模型,如流体模型、元胞自动机模型、磁力模型、格子气模型、排队网络和社会力模型,归纳起来基本分为两类模式。

第一类模式仅仅考虑建筑物及其各部分的疏散能力,这类模型通常称为“水力”模型,或称“滚珠”模型。“水力”模型以人群整体运动作为分析目标,其典型的模拟方法为优化法,由 Pauls 和 Fruin 等人在实验调查的基础上提供的“经验公式”算法作为数学基础;对于建筑空间的构造通常为一节点和连接为单位的粗略网格模型。模型的特点是计算速度快,但无法描述疏散过程中人的行为细节,计算结果较实际情况偏差大。通过该模式开发的软件模型主要有:EVACSIM、EXITT、EVACNET、WAYOUT 等。

第二类模式不仅考虑了建筑空间的物理特性,而且考虑到每个人对火灾信号的响应及其个体行为,这类模型通常称为“行为”模型。“行为”模拟以人员在人群中的个体特性作为分析目标,依靠某一特定算法来驱动人员向出口行走,人的行为受到环境间相互作用的影响。

按照疏散人员行走路径的方式,可以分为基于网格模型和基于网络路径模型两类。网格是将地铁的疏散空间划分为单位网格,每个网格设置为无人、有人和被建筑物占据等状态,根据算法制定的规则模拟疏散人员在相邻网格中的移动,网格模型建立的关键在于对疏散人员行为和群聚行为的充分理解上建立准确完善的移动规则。通过该模式开发出的软件模型主要有:STEPS、EXODUS、AEA EGRESS、SIMULEX 等。

著名 Helbing 社会力模型 (Social Force Model) 将行人视为相互作用的粒子,将行人的运动视为在某种力的作用下的力学运动,从而利用牛顿力学方程给出行人的运动方程。社会力模型中行人会期望选择一条尽可能短的路径;一个行人的行为会受到其他行人的影响,离一个陌生人越近,越感到不舒服,离建筑物边界、墙壁、障碍物等越近,越感到不舒服;行人有时候会被其他人(如朋友、亲人、街道艺人等)或物体(如商品展销

等)吸引;在没有阻挡的情况下,行人会自主加速到期望速度。

疏散安全对策是在生命安全上的最后一道防线。决定疏散安全与否关键在于避难行动与火、烟气等危害之间的竞赛,避难者若能在容许时间内进入安全区即为避难成功。由于手算式的疏散时间计算已是经过了简略及概化的过程,并无法得知人员真正避难安全性有多少,选择适当的计算机评估软件作为评估避难安全的方式,不仅可以带给设计者较大的设计空间,同时也让消防安全主管机关与设计者在评估避难安全时,有明确而清楚的沟通界面和衡量工具。表 1-2-1 列出了若干疏散计算模拟软件。

然而无论采用何种先进的疏散仿真软件,首先必须掌握交通枢纽行人流的特征和数学模型,掌握行人速度与密度和流率的关系、结伴同行的比例、携带行李多少、恐慌和从众心理的影响、年龄及性别差异、对环境的认知程度、火灾烟气的影响、指挥监控的实际效能、安全标识的优化等,并能够对交通枢纽内滞留人数进行准确的估算。对滞留人数估算往往困难很大,例如在北京西站改造工程中,地下换乘大厅中有下火车的行人、换乘地铁的行人、买票的人、接站的人、穿行的人、休息的人、还有车站工作人员等,准确地确定滞留人数难度很大。因此,进行大量数据的调查和统计分析是必不可少的前提,也是行人疏散分析结果可靠性的保障。

考虑到疏散过程中存在的某些不确定性因素(实际人员组成、人员状态等),需要在分析中考虑一定的安全余量以进一步提高建筑物的疏散安全水平。安全余量的大小应根据工程分析中考虑的具体因素、计算模拟结果的准确程度以及参数选取是否保守,是否考虑了足够的不利因素(如考虑在火灾区附近的疏散出口被封闭)等多方面确定。

疏散模拟软件一览

表 1-2-1

数理方法	软件名称	设计开发者	应用特征
模拟方式	DONEGAN'S ENTROPY MODEL	Donegan 等	适用于单一出口的多层建筑物,可应用于调查建筑物避难上的相对复杂性问题
模拟方式	EXIT89	NFPA	模拟大量人员的移动(上限至 700 人),人员由区域移动至最近出口的方法是应用最短路径演算法
模拟方式	PAXPORT	Halcrow Fox	模拟大量旅客的移动(上限至 30000 人),设计航站楼大厦内的旅客容量与流量
模拟方式	EXITT	Levin	针对住宅避难者设计,模拟人在火灾中所做的决策和不连续行动的状态
模拟方式	EVACSIM	澳洲环境安全与危险工程中心(CESARE)	以不连续事件来模拟高层建筑物火灾的避难模式,可模拟大量人员情况,仍考虑人的行为特性
模拟方式	E-SCAPE	Kendik	模拟行动的结果成功与否,检验完成行动所需的时间
模拟方式	MAGNET MODEL	Okazakim 与 Matsushita	用库仑定律的磁场来代表避难空间,个体人依据磁场强弱来选择出口和逃生路径
模拟方式	SIMULEX	Edinburgh 大学设计	看重个体空间、碰撞角度及避难时间等生理行为,同时考虑个人在其他避难者、环境影响下的心理反应