



“十三五”国家重点图书出版规划项目

城市安全风险管理体系丛书

编委会主任:王德学 总主编:钟志华 执行总主编:孙建平

城市地下空间防灾理论与规划策略

Urban Underground Space Hazards Mitigation Theory and Planning Strategy

赫磊 著

 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS





国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十三五”国家重点图书出版规划项目

城市安全风险管理体系丛书

编委会主任:王德学 总主编:钟志华 执行总主编:孙建平

城市地下空间防灾理论与规划策略

Urban Underground Space

Hazards Mitigation

Theory and Planning Strategy

赫磊 著

 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

城市地下空间防灾理论与规划策略 = Urban Underground Space Hazards Mitigation Theory and Planning Strategy/赫

磊著. —上海: 同济大学出版社, 2019.11

(城市安全风险管理体系丛书)

“十三五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-5608-8765-4

I. ①城… II. ①赫… III. ①城市空间—地下建筑物—防灾—空间利用—研究 IV. ①TU92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 214614 号

国家出版基金项目

“十三五”国家重点图书出版规划项目

城市地下空间防灾理论与规划策略

Urban Underground Space Hazards Mitigation Theory and Planning Strategy

赫 磊 著

出品人: 华春荣

策划编辑: 高晓辉 吕 炜 马继兰

责任编辑: 吕 炜 李 杰

责任校对: 徐春莲

封面设计: 唐思雯

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店、建筑书店、网络书店

排版制作 南京文脉图文设计制作有限公司

印 刷 上海安枫印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 10.75

字 数 268 000

版 次 2019 年 11 月第 1 版 2019 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-8765-4

定 价 76.00 元

版权所有 侵权必究 印装问题 负责调换

内容简介

本书为国家“十三五”重点图书出版规划项目、国家出版基金资助项目。

全书围绕城市地下空间防灾理论与规划策略展开研究,主要包括城市防灾的基本理论与一般防灾对策、地下空间防灾理论、地下空间防灾规划策略等内容。全书首先剖析了现代城市防灾的供需矛盾,从理论上解释了城市地下空间用于城市防灾的原因,然后结合实际构建了地下空间防灾的规划策略,发展了城市防灾的理论与方法。

本书涵盖了城乡规划学、土木工程、市政工程、灾害学、防灾减灾学等多学科,推动交叉学科研究和新理念、新方法、新技术的实际应用。本书有助于加深读者对地下空间开发利用以及城市综合防灾的认识,可供城市防灾与地下空间开发利用领域从事研究、规划设计和管理人员学习参考。

作者简介

赫 磊

男,山西阳高县人,同济大学建筑与城市规划学院城市规划专业博士,北卡罗来纳大学教堂山分校区域与城市规划系联合培养博士,国家注册城市规划师,中国岩石力学与工程学会地下空间分会理事,上海市住建领域应急管理专家,同济大学建筑与城市规划学院副研究员。专业背景涵盖土木工程、隧道及地下建筑、城乡规划与设计。主要研究方向为城市安全与综合防灾、城市地下空间开发利用与规划理论及方法、城市基础设施安全运维与精细化管理。主持国家自然科学基金面上项目 1 项、参与 2 项,先后参与“十二五”“十三五”国家级课题 4 项、省部级课题 3 项;主持编制上海市地方标准 2 项、市政管网行业标准 1 项,参与编制地方标准 1 项;主持及参与横向课题、咨询项目 20 余项;出版专著 1 部,参与编写教材及专著 6 部,发表中科院一区 SCI 论文 1 篇,中科院二区 SCI/SSCI 论文 1 篇,中文核心期刊论文 20 余篇;申请国家发明专利 3 项、获得软件著作权 1 项;获得全国优秀城乡规划设计奖表扬奖 1 次、省部级优秀城乡规划设计奖一等奖 1 次、三等奖 2 次。近年来围绕地下空间及城市安全防灾开展了大量的科研、教学与实践工作,研究成果在上海等地进行了一定程度的应用,并获得广泛的社会认可。

“城市安全风险管理体系丛书”编委会

编委会主任 王德学

总 主 编 钟志华

编委会副主任 徐祖远 周延礼 李逸平 方守恩 沈 骏 李东序
陈兰华 吴慧娟 王晋中

执行总主编 孙建平

编委会成员（按姓氏笔画排序）

丁 辉	于福林	马 骏	马坚泓	王文杰	王以中
王安石	白廷辉	乔延军	伍爱群	任纪善	刘 军
刘 坚	刘 斌	刘铁民	江小龙	李 垣	李 超
李寿祥	杨 韬	杨引明	杨晓东	吴 兵	何品伟
张永刚	张燕平	陆文军	陈 辰	陈丽蓉	陈振林
武 浩	武景林	范 军	金福安	周 淮	周 嵘
单耀晓	胡芳亮	侯建设	祝卓宏	秦宝华	顾 越
柴志坤	徐 斌	凌建明	高 欣	郭海鹏	涂辉招
黄 涛	崔明华	盖博华	鲍荣清	赫 磊	蔡义鸿

总序

浩荡 40 载,悠悠城市梦。一部改革开放砥砺奋进的历史,一段中国波澜壮阔的城市化历程。40 年风雨兼程,40 载沧桑巨变,中国城镇化率从 1978 年的 17.9% 提高到 2017 年的 58.52%,城市数量由 193 个增加到 661 个(截至 2017 年年末),城镇人口增长近 4 倍,目前户籍人口超过 100 万的城市已经超过 150 个,大型、特大型城市的数量仍在不断增加,正加速形成的城市群、都市圈成为带动中国经济快速增长和参与国际经济合作与竞争的主要平台。但城市风险与城市化相伴而生,城市规模的不断扩大、人口数量的不断增长使得越来越多的城市已经或者正在成为一个庞大且复杂的运行系统,城市问题或城市危机逐渐演变成了城市风险。特别是我国用 40 年时间完成了西方发达国家一二百年的城市化进程,史上规模最大、速度最快的城市化基本特征,决定了我国城市安全风险更大、更集聚,一系列安全事故令人触目惊心,北京大兴区西红门镇的大火、天津港的“8·12”爆炸事故、上海“12·31”外滩踩踏事故、深圳“12·20”滑坡灾害事故,等等,昭示着我们国家面临着从安全管理 1.0 向应急管理 2.0 及至城市风险管理 3.0 的方向迈进的时代选择,有效防控城市中的安全风险已经成为城市发展的重要任务。

为此,党的十九大报告提出,要“坚持总体国家安全观”的基本方略,强调“统筹发展和安全,增强忧患意识,做到居安思危,是我们党治国理政的一个重大原则”,要“更加自觉地防范各种风险,坚决战胜一切在政治、经济、文化、社会等领域和自然界出现的困难和挑战”。中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于推进城市安全发展的意见》,明确了城市安全发展总目标的时间表:到 2020 年,城市安全发展取得明显进展,建成一批与全面建成小康社会目标相适应的安全发展示范城市;在深入推进示范创建的基础上,到 2035 年,城市安全发展体系更加完善,安全文明程度显著提升,建成与基本实现社会主义现代化相适应的安全发展城市。

然而,受制于一直以来的习惯性思维影响,当前我国城市公共安全管理的重点还停留在发生事故的应急处置上,突出表现为“重应急、轻预防”,导致对风险防控的重要性认识不足,没有从城市公共安全管理战略高度对城市风险防控进行统一谋划和系统化设计。新时代要有新思路,城市安全管理迫切需要由“强化安全生产管理和监督,有效遏制重特大安全事故,完善突发事件应急管理体制”向“健全公共安全体系,完善安全生产责任制,坚决遏制重特大安全事故,提升防灾减灾救灾能力”转变,城市风险管理已经成为城市快速转型阶段的新课题、新挑战。

理论指导实践,“城市安全风险管理体系丛书”(以下简称“丛书”)应运而生。“丛书”结合城市安

全管理应急救援与城市风险管理的具体实践,重点围绕城市运行中的传统和非传统风险等热点、痛点,对城市风险管理理论与实践进行系统化阐述,涉及城市风险管理的各个领域,涵盖城市建设、城市水资源、城市生态环境、城市地下空间、城市社会风险、城市地下管线、城市气象灾害以及城市高铁运营与维护等各个方面。“丛书”提出了城市管理新思路、新举措,虽然还未能穷尽城市风险的所有方面,但比较重要的领域基本上都有所涵盖,相信能够解城市风险管理人士之所需,对城市风险管理实践工作也具有重要的指南指引与参考借鉴作用。

“丛书”编撰汇集了行业内一批长期从事风险管理、应急救援、安全管理等领域工作或研究的业界专家、高校学者,依托同济大学丰富的教学和科研资源,完成了若干以此为指南的课题研究和实践探索。“丛书”已获批“十三五”国家重点图书出版规划项目并入选上海市文教结合“高校服务国家重大战略出版工程”项目,是一部拥有完整理论体系的教科书和有技术性、操作性的工具书。“丛书”的出版填补了城市风险管理作为新兴学科、交叉学科在系统教材上的空白,对提高城市管理理论研究、丰富城市管理内容,对提升城市风险管理水平和推进国家治理体系建设均有着重要意义。



中国工程院院士

2018年9月

前言

当前,城市地下空间已经成为我国大中城市开发利用的热点。与城市地上空间相比,一方面,地下空间的自然属性使其在理论上与实践中具有比地上空间更优的防灾性能,能够作为城市防灾的重要资源,补充城市地上空间防灾的不足;另一方面,地下空间却具有易灾性,会对处于地下空间内部的人员造成较大的风险隐患。本书在考虑城市地下空间自身的灾害防御问题的基础上,重点研究发生于城市地下空间之外的城市地上空间的自然灾害(风灾、水灾、震灾)和战争空袭,通过地下空间开发利用实现城市防灾与可持续发展。城市地下空间开发利用与城市防灾相结合,将成为城市防灾的重要手段,促进城市地上地下空间一体化开发利用,促进城市综合防灾领域新的发展,并对进一步认识地下空间、指导其规划具有重要意义。

本书分析了城市地下空间的防灾特征与环境特性,从地下空间自身特征出发,总结了影响地下空间防灾利用的要素,地下空间恒温、恒湿、绝热、密闭以及深埋地面以下的自然特征,对战争空袭、地震、风灾,可起到隔离地面灾害、创造适宜生活环境的作用;对水灾可起到隔离灾害的作用,快速消除灾害影响。城市地下空间防灾利用,能够弥补地上空间防灾的不足,扩展城市防灾手段,为地下空间开发利用研究与城市防灾研究的融合探索新的结合点。

本书得到国家自然科学基金面上项目——城市防灾设施系统失效级联机理与规划优化方法研究(基金号:51178437)课题,以及高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室科研课题(编号:201820204)等的资助;也得到了同济大学相关单位的大力支持和帮助,限于篇幅,不一一列出,在此谨表谢意。

由于著者水平有限,书中尚有许多不足之处和需商榷之处,恳请读者批评指正。



2019年3月于同济大学

目录

总序

前言

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 城市灾害频发灾损严重	1
1.1.2 城市地上空间防灾供需不匹配	1
1.1.3 地下空间已成为城市扩展的重要资源	8
1.2 城市地下空间防灾的研究进展	10
1.2.1 国外城市地下空间防灾的研究进展	10
1.2.2 国内城市地下空间防灾的研究进展	12
1.2.3 国内外研究进展小结	14
1.3 研究内容与框架	16
1.4 研究意义	16
2 城市防灾的基本理论与一般防灾对策	19
2.1 灾害的基本理论与防灾理论	19
2.1.1 灾害的基本构成	19
2.1.2 灾害要素的作用机制	20
2.1.3 灾害的形成条件	22
2.1.4 城市防灾的基本原理	24
2.1.5 城市防灾的基本原则	25
2.2 我国大城市主要灾害类型	26
2.3 空袭、地震、风灾的成灾理论与一般防灾对策	28
2.3.1 空袭、地震、风灾的成灾理论	28
2.3.2 空袭、地震、风灾的一般防灾对策	30
2.3.3 城市避难场所的规划策略	33
2.3.4 一般防灾对策中地下空间利用的局限性	36
2.4 城市内涝的成灾理论与一般防灾对策	37
2.4.1 城市内涝灾害的成灾理论	37
2.4.2 城市内涝影响要素的作用机制	52
2.4.3 城市内涝灾害的一般防灾对策	53

2.4.4	一般防灾对策中地下空间利用的局限性	55
2.5	小结	55
3	城市地下空间防灾理论	57
3.1	城市地下空间的基本内涵	57
3.1.1	城市地下空间的概念	57
3.1.2	城市地下空间开发利用功能	58
3.1.3	城市地下空间立体空间布局	59
3.1.4	城市地下空间开发利用动因	60
3.2	城市地下空间资源的固有特征与环境特性	62
3.2.1	城市地下空间资源的固有特征	62
3.2.2	城市地下空间的环境特性	63
3.3	城市地下空间的防灾特性与影响因素	64
3.3.1	城市地下空间的防灾特性	64
3.3.2	城市地下空间防灾特性的影响因素	66
3.4	城市地下空间的易损性与应对策略	66
3.4.1	城市地下空间的易损性	66
3.4.2	城市地下空间易损性的应对策略	70
3.5	小结	72
4	城市地下空间协同人防、抗震、防风的规划策略	73
4.1	协同防灾的城市地下空间分类与特征	73
4.1.1	人防地下空间	73
4.1.2	非人防地下空间	75
4.2	人防地下空间协同抗震、防风能力分析	75
4.2.1	人防地下空间主体结构的抗震、防风能力分析	75
4.2.2	人防地下空间出入口部的抗震、防风能力分析	83
4.2.3	人防地下空间设施的防灾完备性分析	86
4.3	非人防地下空间协同防空、抗震和防风能力分析	88
4.3.1	非人防地下建筑结构安全性分析	88
4.3.2	非人防地下空间设施的防灾完备性分析	91
4.4	城市地下空间兼作避难场所的规划策略	92
4.4.1	城市地下空间防灾体系与功能	92
4.4.2	城市固定避难场所选址优化模型	95
4.4.3	城市地上地下一体化避难场所布局	100
4.5	居住区人防地下空间的规划策略	101

4.5.1	居住区用地构成与疏散避难需求	102
4.5.2	居住区避难场所与人防地下空间开发利用现状	103
4.5.3	人防地下空间兼作避难场所规划	105
4.6	小结	109
5	城市地下空间协同防涝的规划策略	110
5.1	城市内涝情势分析	110
5.1.1	降雨特征与趋势	110
5.1.2	典型排水分区产汇流分析	114
5.1.3	典型排水分区内涝分析	123
5.2	城市内涝应对措施的分析	125
5.2.1	地下调蓄池开发利用现状	125
5.2.2	源头处理措施	127
5.2.3	过程处理措施	127
5.2.4	末端处理措施	130
5.3	城市地下空间开发利用对内涝的影响	130
5.3.1	城市地下空间开发利用竖向分析	130
5.3.2	城市地下空间开发利用对降雨损失的影响	133
5.3.3	城市地下空间开发利用对径流汇流的影响	135
5.4	城市地下空间防内涝的规划措施及其脆弱性	136
5.4.1	城市地下空间防内涝的规划措施	136
5.4.2	城市地下空间防内涝的脆弱性	137
5.5	开发利用地下空间防御城市内涝的规划对策	138
5.5.1	散点状雨水调蓄池规划对策	139
5.5.2	深层隧道规划对策	141
5.6	小结	146
6	总结与展望	147
6.1	主要结论	147
6.2	展望	149
	参考文献	151
	索引	157

1 绪论

1.1 概述

1.1.1 城市灾害频发灾损严重

进入新千年以来,全球自然灾害频发。2003年印度洋海啸、2005年美国卡特里娜飓风、2006年智利巨震、2010年海地地震、2010年冰岛火山爆发、2011年日本地震与海啸等自然灾害给当地居民的财产造成重大损失,居民生命受到严重威胁。我国2007年济南暴雨、2008年初南方冻雨、2008年汶川大地震、2010年玉树地震、2010年西南地区大旱、2010年舟曲特大泥石流、2012年北京暴雨、2013年雅安地震、2013年东北及广东局部洪水、2016年遭受莫兰蒂台风厦门重创、武汉暴雨内涝等自然灾害对居民生命财产安全、社会经济发展都产生巨大影响。统计表明:洪涝、暴风、地震、干旱、台风、雪灾、泥石流、滑坡、虫害和环境灾害是当今世界面临的十大自然灾害,其中前四类灾害造成的损失约占总损失的90%,仅洪涝灾害就约占40%。据公开的官方数据报道^①,我国近年来由自然灾害造成的直接经济损失逐年递增,2010年达到5000多亿元人民币,占当年GDP的1.34%,如果估计间接经济损失,灾损将更大。2011年是我国自然灾害较少的一年,但灾害直接经济损失仍达3096.4亿元,占当年GDP的0.7%。各类灾害的严重程度依次为:洪涝(41%)、旱灾(30%)、风雹(10%)、冰冻与雪灾(9%),四类灾害占灾害损失的90%以上^②。如图1-1—图1-4所示。2010年后由自然灾害致灾造成的受灾人口和倒塌房屋数量逐年降低,而直接经济损失却在波动中有上升的趋势。这很大程度上是由于我国大中城市中心城区建设密度高、强度高,单位用地面积集聚的建设量和人口密度都高,一旦发生灾害,就会造成更大的财产损失和更多的人员伤亡。

1.1.2 城市地上空间防灾供需不匹配

1. 城市高强度建成区避难场所供需矛盾突出

我国大城市避难场所资源普遍不足。城市避难场所是近年才随着人们对灾害的逐步认识而新兴发展起来的几类用地和设施的总称,在过往城市老城区建设过程中并无疏散避难的要

^① 中华人民共和国民政部,《民政事业发展统计公报》(2000—2017年)。

^② 国家减灾委员会, <http://www.jianzai.gov.cn/>。

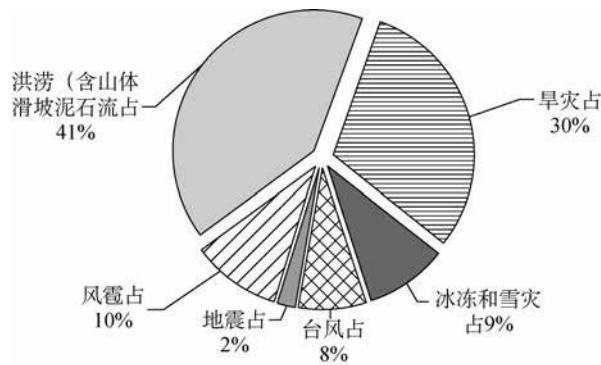


图 1-1 2011 年我国自然灾害直接经济损失分析

数据来源：壹基金救灾微博^①。

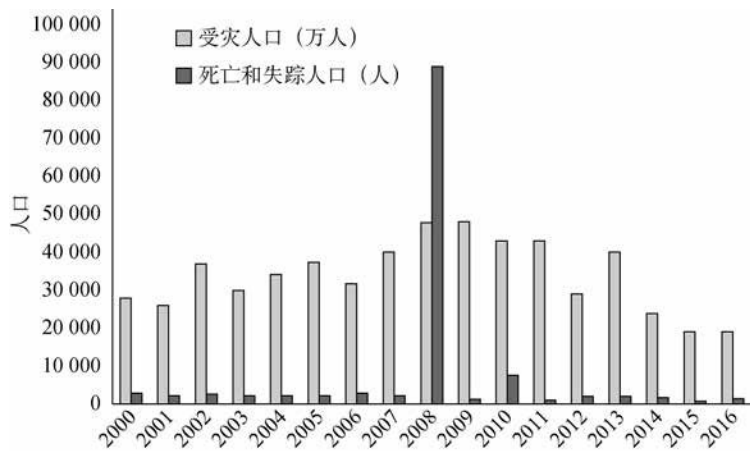


图 1-2 2000—2016 年我国自然灾害受灾人口与死亡和失踪人口统计分析

数据来源：国家民政部《民政事业发展统计公报》(2000—2016)。

求。因此，以现在疏散避难场所的规划建设要求来衡量评价既有建成区的避难场所资源供给，一般均很难满足要求，尤其是高密度开发建设的大都市中心城区。以上海市为例，表 1-1 列出了各个区县可用作避难场所的公园绿地、大型体育场所以及学校操场等开敞空间用地（不含居住区绿地），以及 2012 年上海市统计年鉴中的各个区县常住人口，由此可大致计算人均避难场所用地面积，其中公园绿地可用作避难场所的面积按其总面积的 40% 计^②。经计算可知，上海市中心城的黄浦区、闸北区、虹口区、杨浦区、普陀区、静安区等区人均有效避难面积严重不足，较上海市浦西人均避难面积标准 2.5 m²/人^③的下限相差较多。如果将流动人口纳入，则中心城区避难场所的用地面积缺口将更大。

① 新浪微博，壹基金救灾微博，<http://e.weibo.com/ofdisaster>。

② 依据上海市《城市绿地应急避难场所建设规范讨论稿》中的相关规定取值。

③ 按照避难场所内部的用地功能划分，人均用地至少达到 3 m²，才能满足基本的避难需求。由于浦西内环内用地紧张，可以适度放松到 2.5 m²/人。

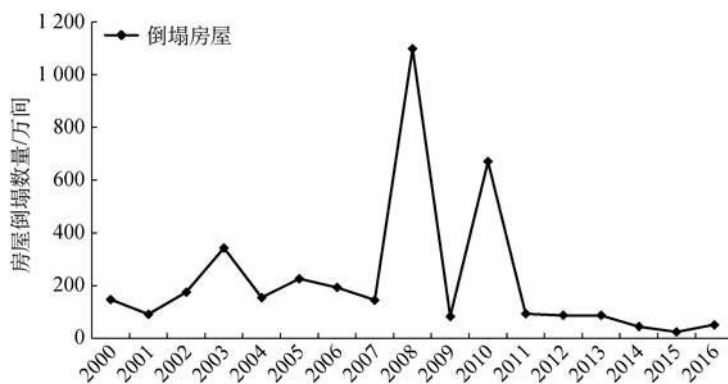


图 1-3 2000—2016 年我国自然灾害受灾房屋倒塌统计分析

数据来源:国家民政部《民政事业发展统计公报》(2000—2016)。

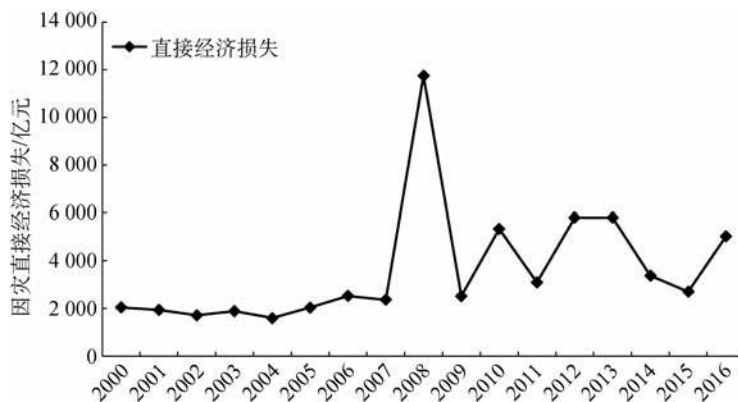


图 1-4 2000—2016 年我国自然灾害受灾直接经济损失统计分析

数据来源:国家民政部《民政事业发展统计公报》(2000—2016)。

表 1-1

2012 年上海市各区县避难场所用地资源统计

行政区	公园、广场、绿地有效面积(公园按 40% 计) ^① /hm ²	大型体育场所总占地面积 ^② /hm ²	学校操场总用地面积 ^③ /hm ²	总计可用作避难场所用地/hm ²	常住人口 ^④ /万人	人均避难场所用地面积/m ²
浦东新区	1 408.7	51.3	136.2	1 596.2	504.4	3.2
黄浦区	80.3	3.2	8.2	91.7	67.9	1.3
静安区	6.9	1.9	2.3	11.1	24.7	0.4
徐汇区	58.5	6.1	43.6	108.2	108.5	1.0
长宁区	128.0	0.4	32.9	161.3	69.1	2.3
普陀区	36.1	2.2	42.6	80.9	128.9	0.6
闸北区	96.1	14.1	30.3	140.5	83.0	1.7

(续表)

行政区	公园、广场、绿地有效面积(公园按40%计) ^① /hm ²	大型体育场所总占地面积 ^② /hm ²	学校操场总用地面积 ^③ /hm ²	总计可用作避难场所用地/hm ²	常住人口 ^④ /万人	人均避难场所用地面积/m ²
虹口区	37.0	5.6	32.0	74.6	85.2	0.8
杨浦区	177.1	32.2	60.9	270.2	131.3	2.0
宝山区	165.9	2.0	31.7	199.6	190.5	1.0
闵行区	78.7	2.8	43.2	124.7	242.9	0.5
嘉定区	51.6	9.3	31.0	91.9	147.1	0.6
金山区	45.8	34.4	19.8	100	73.2	1.3
松江区	257.9	59.0	146.3	463.2	158.2	2.9
青浦区	58.9	1.4	26.4	86.7	108.1	0.8
奉贤区	391.3	12.6	19.8	423.7	108.3	3.9
崇明县	269.1	1.4	32.4	302.9	70.4	4.3
总计	3 003.2	240.3	611.8	3 855.3	2 301.9	1.7

来源:① 2011年上海市容和绿化管理局年报及2012年上海市统计年鉴。

②③ 参考上海市民防办避难场所普查资料。

④ 2012年上海市统计年鉴。

避难场所资源的需求量,依照国家标准《防灾避难场所设计规范》(GB 51143—2015),人均有效避难面积,固定避难场所短期为2.0 m²/人,中期为3.0 m²/人,长期为4.5 m²/人。考虑上海市中心城区浦西地区用地紧凑,取固定避难场所统一为2.5 m²/人。但该值仅为有效避难面积,包括人员宿住和配套应急设施,并不包括指挥、医疗卫生、物资储备及分发、专业救援队伍用地等。地震、龙卷风等突发灾害发生时所有人口,不仅包含常住人口,而且包含短期居住人口、旅游停留人口、事发时经停人口等,都需要应急避难和临时安置,且因为短期居住人口主要集中于中心城区,这样使得上海市中心城区避难场所资源供给不足的几个区供需矛盾更加突出。

2. 城市建成区无法快速排出降雨导致内涝

由于城市建设,改变地面高程及地表覆盖物的透水性态等,导致降水无法快速下渗、蓄滞,从而形成地表径流,产生内涝。以武汉市为例,2016—2017年发生了几次全局性内涝,分析导致内涝的主要原因如下:

(1) 持续降雨,雨强和雨量大。在全球气候变化的背景下,武汉市极端降雨事件具有较大的不确定性。

武汉市2016年6月30日20时至7月6日15时累计雨量574.1 mm,突破1991年7月5—11日7天内542.8 mm的记录。6月1日至7月6日,武汉降水量达932.6 mm,比1998年6月至8月的总降水量多64.6 mm。7月6日降雨量累计达到220.3 mm,最大小时降雨量40.1 mm,如图1-5所示。持续的超强降雨与长江高水位耦合在一起,加剧了洪涝灾害。