



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

国家“十二五”重点图书出版规划项目

城市地下空间出版工程·防灾与安全系列

城市地下空间防洪与安全

刘曙光 陈 峰 钟桂辉 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLISHING FOUNDATION
国家“十二五”重点图书出版规划项目

城市地下空间出版工程·防灾与安全系列

城市地下空间防洪与安全

刘曙光 陈 峰 钟桂辉 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

上海市高校服务国家重大战略出版工程入选项目

图书在版编目(CIP)数据

城市地下空间防洪与安全/刘曙光,陈峰,钟桂辉著. —上海:同济大学出版社,2014.12

(城市地下空间出版工程·防灾与安全系列)

ISBN 978-7-5608-5700-8

I. ①城… II. ①刘…②陈…③钟… III. ①城市空间—地下建筑物—防洪—研究 IV. ①TU96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 278056 号

城市地下空间出版工程·防灾与安全系列

城市地下空间防洪与安全

刘曙光 陈 峰 钟桂辉 著

策 划: 杨宁霞 季 慧

责任编辑: 胡 毅

责任校对: 徐春莲

封面设计: 陈益平

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
制 作 南京前锦排版服务有限公司
印 刷 上海中华商务联合印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 14
字 数 349000
版 次 2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-5700-8
定 价 88.00 元

版权所有 侵权必究 印装质量 负责调换



内容提要

本书为国家“十二五”重点图书出版规划项目、国家出版基金资助项目、上海市高校服务国家重大战略出版工程入选项目。

全书围绕目前日益受到关注的城市地下空间防洪与安全问题,系统阐述了城市地下空间洪水灾害成因、城市地下空间洪水的水力特性、城市地下空间洪水灾害风险评估体系的内容和研究方法、城市地下空间洪灾防灾减灾和应急管理措施以及城市地下空间防洪安全评估实例。全书内容主要反映了当前在地下空间防洪与安全领域的新成果与新趋势,有助于人们加深对地下空间洪涝灾害的认识,推动学科研究的深化和新成果实际应用转化。

本书可供从事城市及地下空间防洪规划、设计、运行与管理的政府相关部门以及科研机构等人员参考使用,也可供高等院校相关专业师生学习和参考。

《城市地下空间出版工程·防灾与安全系列》编委会

学术顾问

叶可明 中国工程院院士
孙 钧 中国科学院院士
郑颖人 中国工程院院士
顾金才 中国工程院院士
蔡美峰 中国工程院院士

主任

钱七虎

副主任

朱合华 黄宏伟

编委(以姓氏笔画为序)

王怀忠 王明洋 叶永峰 闫治国 刘曙光 宋春明
陈 峰 陈之毅 胡群芳 钟桂辉 袁 勇 顾雷雨
赫 磊 蔡 浩 戴慎志

作者简介

刘曙光 俄罗斯莫斯科大学地理学博士,同济大学海洋科学博士后,同济大学土木工程学院水利工程系教授委员会主任、教授、博士生导师,教育部高等学校水利学科教学指导委员会港口航道与海岸工程专业分委员会委员,上海市学位委员会第四届学科评议组成员,上海市海洋湖沼学会第七届、第八届理事会理事兼海洋工程专业委员会副主任,上海市水文协会第一届理事会理事,上海市欧美同学会第八届、第九届理事会理事,上海市俄罗斯东欧学会理事,上海防灾救灾研究所城市水务与防洪工程研究室主任,中国建筑学会抗震防灾分会村镇绿色建筑综合防灾专业委员会第一届委员,曾任中国留俄学生总会主席。长期从事水利工程专业的教学与科研工作,研究方向为水文水资源、流域与村镇区域防洪与风险管理、城市及城市地下空间防洪减灾、洪水风险图编制、气候变化与海岸带防灾减灾、中俄大河流域水资源与河床演变等。出版专著 3 部,参编教材 2 部,发表学术论文 100 余篇,研究成果获得江苏省、山东省科技进步奖以及其他省部级奖励多项。

陈 峰 硕士,上海宏波工程咨询管理有限公司上海宏波工程设计研究院副院长,高级工程师,上海市地质学会理事。主要从事水利工程设计和防汛减灾研究,参与各类工程项目 100 余项,负责多项上海市重大水利工程的设计研究。近年来,主持完成了上海市轨道交通 7 号线、10 号线、11 号线、12 号线、13 号线等多条地铁线地下公共工程防汛影响专项论证工作。主编书籍 1 部,参编书籍 3 部,在国内各类期刊发表专业论文 20 余篇,其中被 EI 检索 1 篇,中文核心期刊论文 6 篇。获得省部级科技进步奖二等奖 1 项,省部级优秀设计一等奖 1 项,全国工程咨询三等奖 1 项,上海市优秀工程设计和咨询奖 10 余项,重大工程立功竞赛奖 1 项,获得国家专利 2 项。

钟桂辉 博士,同济大学土木工程学院副教授,日本京都大学防灾所访问学者。主要从事流域防洪、地下空间防洪、水利工程、洪水风险分析等研究工作。先后参与国家级、省部级科研项目 10 余项,在国内外期刊、会议上发表学术论文 20 余篇,研究成果获省部级科技进步奖二等奖 1 项,国家专利 1 项。

■ 总 序 ■

国际隧道与地下空间协会指出,21 世纪是人类走向地下空间的世纪。科学技术的飞速发展,城市居住人口迅猛增长,随之而来的城市中心可利用土地资源有限、能源紧缺、环境污染、交通拥堵等诸多影响城市可持续发展的问题,都使我国城市未来的发展趋向于对城市地下空间的开发利用。地下空间的开发利用是城市发展到一定阶段的产物,国外开发地下空间起步较早,自 1863 年伦敦地铁开通到现在已有 150 年。中国的城市地下空间开发利用源于 20 世纪 50 年代的人防工程,目前已步入快速发展阶段。当前,我国正处在城市化发展时期,城市的加速发展迫使人们对城市地下空间的开发利用步伐加快。无疑 21 世纪将是我国城市向纵深方向发展的时代,今后 20 年乃至更长的时间,将是中国城市地下空间开发建设和利用的高峰期。

地下空间是城市十分巨大而丰富的空间资源。它包含土地多重化利用的城市各种地下商业、停车库、地下仓储物流及人防工程,包含能大力缓解城市交通拥挤和减少环境污染的城市地下轨道交通和城市地下快速路隧道,包含作为城市生命线的各类管线和市政隧道,如城市防洪的地下水道、供水及电缆隧道等地下建筑空间。可以看到,城市地下空间的开发利用对城市紧缺土地的多重利用、有效改善地面交通、节约能源及改善环境污染起着重要作用。通过对地下空间的开发利用,人类能够享受到更多的蓝天白云、清新的空气和明媚的阳光,逐渐达到人与自然的和谐。

尽管地下空间具有恒温性、恒湿性、隐蔽性、隔热性等特点,但相对于地上空间,地下空间的开发和利用一般周期比较长、建设成本比较高、建成后其改造或改建的可能性比较小,因此对地下空间的开发利用在多方论证、谨慎决策的同时,必须要有完整的技术理论体系给予支持。同时,由于地下空间是修建在土体或岩石中的地下构筑物,具有隐蔽性特点,与地面联络通道有限,且其周围临近很多具有敏感性的各类建(构)筑物(如地铁、房屋、道路、管线等)。这些特点使得地下空间在开发和利用中,在缺乏充分的地质勘察、不当的设计和施工条件下,所引起的重大灾害事故时有发生。近年来,国内外在地下空间建设中的灾害事故(2004 年新加坡地铁施工事故、2009 年德国科隆地铁塌方、2003 年上海地铁 4 号线事故、2008 年杭州地铁建设事故等),以及运营中的火灾(2003 年韩国大邱地铁火灾、2006 年美国芝加哥地铁事故等)、断电(2011 年上海地铁 10 号线追尾事故等)等造成的影响至今仍给社会带来极大的负面

效应。因此,在开发利用地下空间的过程中需要有深入的专业理论和技术方法来指导。在我国城市地下空间开发建设步入“快车道”的背景下,目前市场上的书籍还远远不能满足现阶段这方面的迫切需要,系统的、具有引领性的技术类丛书更感匮乏。

目前,城市地下空间开发亟待建立科学的风险控制体系和有针对性的监管办法,《城市地下空间出版工程》这套丛书着眼于国家未来的发展方向,按照城市地下空间资源安全开发利用与维护管理的全过程进行规划,借鉴国际、国内城市地下空间开发的研究成果并结合实际案例,以城市地下交通、地下市政公用、地下公共服务、地下防空防灾、地下仓储物流、地下工业生产、地下能源环保、地下文物保护等设施为对象,分别从地下空间开发利用的管理法规与投融资、资源评估与开发利用规划、城市地下空间设计、城市地下空间施工和城市地下空间的安全防灾与运营管理等多个方面进行组织策划,这些内容分而有深度、合而成系统,涵盖了目前地下空间开发利用的全套知识体系,其中不乏反映发达国家在这一领域的科研及工程应用成果,涉及国家相关法律法规的解读,设计施工理论和方法,灾害风险评估与预警以及智能化、综合信息等,以期成为对我国未来开发利用地下空间较为完整的理论指导体系。综上所述,丛书具有学术上、技术上的前瞻性和重大的工程实践意义。

本套丛书被列为“十二五”时期国家重点图书出版规划项目。丛书的理论研究成果来自国家重点基础研究发展计划(973计划)、国家高技术研究发展计划(863计划)、“十一五”国家科技支撑计划、“十二五”国家科技支撑计划、国家自然科学基金项目、上海市科委科技攻关项目、上海市科委科技创新行动计划等科研项目。同时,丛书的出版得到了国家出版基金的支持。

由于地下空间开发利用在我国的许多城市已经开始,而开发建设中的新情况、新问题也在不断出现,本丛书难以在有限时间内涵盖所有新情况与新问题,书中疏漏、不当之处难免,恳请广大读者不吝指正。

刘一虎

2014年6月

■ 前 言 ■

近年来,随着全球气候变化和极端气象事件的频繁发生,城市洪水灾害显现出日趋增多和严重的态势;同时,随着城市化进程的快速发展,城市地下空间的开发利用越发重要、越发迅速,今后 20 年或更长时间,将是中国城市地下空间大规模建设的高峰期。但是,相较于城市地面,城市地下空间由于其具有半封闭性和易灌难排等特点,一旦发生洪水灾害,将造成极为严重的经济损失和人员伤亡。因此,城市地下空间的防洪问题正逐渐成为全社会关注的焦点。

遗憾的是,目前我国城市防洪新形势下的地下空间洪涝灾害的研究正刚刚起步,城市地下空间防洪排涝的专门性规划、标准和规范均相对欠缺,洪灾预报、预警和抢险救援工作亦缺少科学性的实践经验指导,以上针对性措施的缺失使得城市地下空间存在诸多隐患。对于洪水进入地下空间后的扩散机理研究尚未明确,防洪风险评估与防洪措施实施也存在一定欠缺。一旦地下空间遭遇洪水侵袭,其破坏程度不可估量。

针对以上问题,本书在梳理近年来国内外城市地下空间防洪研究现状并总结作者在地下空间防洪所做研究的基础上,系统地介绍了城市地下空间防洪与安全等相关内容,主要涉及地下空间洪水水力特性、洪灾风险评估体系内容和研究方法、防洪减灾措施及应急管理几大方面。全书内容安排如下:

第 1 章介绍目前国内城市地下空间的发展现状及其面临的防洪新形势。通过调查收集国内外大量诸如地铁、地下商场、地下车库、下立交等各类地下空间发生洪涝灾害的案例,指出地下空间在遭遇洪涝灾害时的脆弱性和特殊性,总结城市地下空间防洪所面临的问题,指出地下空间防洪安全研究的发展趋势和亟需开展的工作。

第 2 章论述城市地下空间洪涝灾害的成灾原因。分别从外部防洪环境的危险性和城市地下空间本体的脆弱性两大方面进行系统的阐述。

第 3 章分析洪水入侵地下空间后的水力特性和相应洪水特征实验。其中水力特性主要阐述地下空间各类出入口结构特征的进水方式以及洪水入侵地下空间后位于不同特征位置的水流流态和水力特性;洪水特征实验主要阐述水流在复杂地下空间、地下空间阶梯、地下空间廊道和小型地下空间等特征位置的洪水特性实验成果。

第 4 章论述城市地下空间洪水灾害的风险评估。介绍洪灾风险的概念、体系及评估内容,并从人员安全、财产安全以及地下空间防洪能力等三个方面分别讨论风险评估的内容、方法和

步骤。

第5章介绍城市地下空间防洪措施。在分析城市防洪与地下空间防洪之间的关系基础上,从城市地下空间防洪工程措施和非工程措施两个方面阐述城市地下空间防洪对策。其中城市地下空间防洪工程措施主要介绍了连通口挡水系统、地下空间排水系统和储水系统以及防洪应急设备的布置。城市地下空间防洪非工程措施则介绍了防洪设计标准、洪水风险图、预警预报、洪水保险等措施。

第6章介绍城市地下空间防洪应急管理。包括城市防洪应急管理相关的法律法规、组织体系、应急预案、应急抢险与防洪演练等内容。

第7章介绍城市地下空间防洪安全评估实例。选取地下轨道交通典型案例和地区地下公共空间安全评估案例,通过分析地下空间的防洪风险要素,系统评估城市地下空间防洪安全,并提出针对性的防洪措施。

本书涉及的研究成果是在“十一五”国家科技支撑计划重点项目“城市地下空间建设技术研究与工程示范”课题之五“城市地下空间防灾减灾技术研究”(编号:2006BAJ27B04)、“十一五”国家科技支撑计划重大项目“农村住宅规划设计与建设标准研究”课题之四“住宅建筑综合防灾标准研究”(编号:2008BAJ08B14)以及中国气象局公益性项目“影响上海市基础设施的重大气象灾害动态监测预警和应对技术研究”(编号:GYHY201306055)、“十二五”国家科技支撑计划村镇建设领域项目“村镇综合防灾减灾关键技术研究”课题之二“村镇区域防洪关键技术研究”(编号:2014BAL05B02)的资助下完成的,谨致谢意。

本书由刘曙光、陈峰、钟桂辉合著,负责全书的章节安排、各章节的内容编写和统稿。各章节主要撰写人员为:第1章、第2章和第6章由刘曙光、周正正、娄厦撰写;第3章和第4章由钟桂辉、张洪、曹留伟撰写;第5章和第7章由陈峰、田利勇撰写,另外还有诸宇迪、勾鸿量、卢伟华、蔡小芳、梅轩、韩超、李静晖、鞠权赫、胡子琛等参加了部分章节的资料收集、内容编写和讨论。在此谨向每一位为本书的完成作出贡献的人表示衷心的感谢。书中还部分引用了国内外同行学者一些研究成果,在此一并致谢。

本书的组织和撰写,得到了同济大学、上海市水利工程设计研究院、上海防灾救灾研究所等单位的大力支持和帮助,在此谨表谢意。同时,特别感谢同济大学出版社在本书出版过程中的大力支持和无私帮助。

由于本书所涉及的课题较为新颖,国内外相关的研究成果较少,研究对象包含的影响因素涉及面广,且具有复杂性和不确定性等特点,导致本书所涉许多研究内容无论理论研究还是实践探讨均不够成熟和完善,书中部分研究结论还只是初步成果,是否具备普遍的适用性有待进一步验证。其中还有许多方面的研究分析有待进一步深入和完善,疏漏和不妥之处敬请读者批评指正。

作者

2014年6月于同济大学

■ 目 录 ■

总序 前言

1	绪 论	1
1.1	概述	2
1.1.1	定义	2
1.1.2	城市地下空间的发展	2
1.1.3	城市地下空间的洪涝灾害	4
1.2	城市地下空间洪灾典型实例	7
1.2.1	地铁	7
1.2.2	地下商场、地下车库、过街隧道及下立交	10
1.3	城市地下空间防洪安全研究现状及发展趋势	13
1.3.1	地下空间防洪安全研究现状	13
1.3.2	地下空间防洪研究发展趋势	17
2	城市地下空间洪水灾害成因	19
2.1	洪水灾害分类	20
2.2	洪水灾害特征	20
2.2.1	城市洪涝灾害的特征	20
2.2.2	地下空间洪涝灾害特征	21
2.3	外部防洪环境的危险性	22
2.3.1	暴雨	22
2.3.2	台风	23
2.3.3	风暴潮	24
2.3.4	海平面上升	26

2.3.5	地面沉降	28
2.3.6	热岛效应	29
2.3.7	下垫面改变	31
2.4	地下空间本体防洪的脆弱性	32
2.4.1	规划设计的不合理性	32
2.4.2	标准及规范的不完备性	33
2.4.3	防洪意识的薄弱性	34
3	城市地下空间洪水水力特性	35
3.1	地下空间出入口类型和入水形式	36
3.2	地下空间洪水入侵时的水流流态	38
3.2.1	地面段水流的流态	38
3.2.2	阶梯段水流的流态	38
3.3	地下空间洪水的水力特性	39
3.3.1	解析法	39
3.3.2	物理模型试验	47
3.3.3	数值模拟研究	58
4	城市地下空间洪水灾害风险评估	65
4.1	风险评估体系和内容	66
4.1.1	风险的定义	66
4.1.2	风险的种类	67
4.1.3	风险评估原理和理论	68
4.1.4	风险评估方法	70
4.1.5	灾害系统的风险评估	72
4.2	人员安全风险评估	74
4.2.1	静水作用下门内人体受困风险分析与评估	75
4.2.2	人在洪水中失稳的风险分析与评估	89
4.3	财产安全风险评估	95
4.4	地下空间防洪能力评估	99
4.4.1	地下空间防洪能力评估的方法	99
4.4.2	挡水设施防洪能力的评估内容	102
4.4.3	排水设施防洪能力的评估内容	102

5	城市地下空间防洪措施	105
5.1	城市防洪减灾系统	106
5.1.1	城市防洪系统	106
5.1.2	城市防洪与地下空间防洪之间的关系	109
5.2	城市地下空间防洪工程措施	113
5.2.1	挡水系统	113
5.2.2	排水系统	116
5.2.3	储水系统	118
5.2.4	应急设备	119
5.3	城市地下空间防洪非工程措施	124
5.3.1	城市防洪标准	124
5.3.2	洪水风险图	126
5.3.3	预报预警	128
5.3.4	洪水保险	131
5.3.5	其他对策	134
6	城市地下空间防洪应急管理	137
6.1	城市地下空间防洪应急管理的特点	138
6.2	应急管理机制	139
6.2.1	有关法律法规	140
6.2.2	组织体系	140
6.2.3	应急预案	141
6.3	防洪应急准备	142
6.3.1	防洪风险评估	142
6.3.2	防洪设施准备	143
6.3.3	防洪物资准备	143
6.3.4	通信、供电准备	143
6.3.5	预先巡查	143
6.3.6	培训演练	144
6.3.7	公众避难指导	145
6.4	应急抢险	147
6.4.1	预警级别	147
6.4.2	预警信息接收	149
6.4.3	应急抢险响应	149
6.4.4	应急处置	150

6.4.5	信息报送、处理、发布	151
6.5	灾后处置	152
6.5.1	灾后恢复	152
6.5.2	灾后恢复	152
6.5.3	灾后总结	152
7	城市地下空间防洪安全评估实例	153
7.1	城市地下轨道交通防洪安全评估	154
7.1.1	工程概况	154
7.1.2	外部环境条件及现状防洪态势分析	155
7.1.3	防洪能力分析 & 评估	164
7.1.4	预防和减轻洪灾影响的对策和措施	185
7.2	城市地下公共空间防洪安全总体评估	187
7.2.1	工程概况	187
7.2.2	外部自然环境条件	187
7.2.3	防洪能力分析 & 评估	194
7.2.4	预防和减轻洪灾影响的对策和措施	199
	参考文献	202
	索引	207



1 绪 论

1.1 概述

1.1.1 定义

2001年11月国家建设部在修订并施行的《城市地下空间开发利用管理规定》中把城市地下空间定义为:“城市规划区内地表以下的空间。”

它包括两个方面的含义:一是将“城市规划区内”规定为城市地下空间的空间范围。城市是一个各种要素高度聚集的空间,是目前中国地下空间大规模开发利用的主要区域。二是“地表以下的空间”是城市地下空间的竖向范围,向地下延伸已经是现代化城市空间开发利用的方向之一。

城市地下空间的开发利用是将现代化城市空间发展向地表下延伸,将建筑物或构筑物全部或部分建于地表以下。它的范围很广,包括地下轨道交通、地下商城、地下停车场等建筑空间。

合理开发利用地下空间,建设地铁、隧道等交通设施及地下车库、地下商场等商业设施,可以提高城市容量、缓解城市交通压力、改善城市环境,已成为建设资源节约型、环境友好型现代城市的重要途径。21世纪是地下空间迅速开发利用的世纪,通过进行地下空间的建设,可以集约使用城市土地资源,拓展发展空间,节约能源,优化市政设施,缓解城市交通矛盾,也可以提升城市综合防护能力。

1.1.2 城市地下空间的发展

地下空间的开发利用最早始于欧洲,从1863年伦敦第一条地下铁路到1994年英吉利海峡隧道,欧洲国家发展了多种类型的地下空间,形成了大型地下综合体,如法国卢浮宫的地下扩建工程、巴黎市中心区的LesHalles地区再开发以及凡尔赛宫附近的轻型车辆地下通道等,不仅解决了城市建设用地紧张的局面,而且保护了城市环境和历史景观。

北美则利用地下空间克服恶劣气候,创造舒适的生活环境,满足节省能源方面的需要。加拿大的蒙特利尔市号称拥有全球规模最大的地下城,地下城长达30 km,建筑面积达到360万 m^2 。美国波士顿的隧道开挖工程耗资139亿欧元,不仅将地面高架路上的交通量转入地下,还创造了0.61 km^2 以上城市公园和开敞空间,改善了城市环境,通过地下街道、地下轨道交通、地下公路道路将城市地下空间以点、线、面方式组合起来。同时,美国还兴建了诸如半地下式大学、地下储藏设施、地下核防护工程等地下空间设施。

亚洲对地下空间利用最早的国家是日本,早在20世纪20—30年代,日本就开始对地下空间进行开发,主要目的是解决城市交通拥挤的问题。1927年东京都地铁开通营运2.2 km,1937年大阪市地铁开通营运3.1 km。为了解决城市防洪和排水问题,2006年日本兴建了至今仍为世界上最大的城市地下排水系统,整个系统处于地下50 m深处,长6.3 km,排水系统与地面的河水、沟渠相配合。

我国于1969年在北京开通了第一条地铁,之后天津、上海、广州、南京、厦门等很多城市陆

续开发地下空间,极大地缓解了城市地面交通压力,并推动了商业发展。虽然中国利用城市地下空间的起步较晚,但是中国的城市地下空间发展速度很快。中国城市地下空间的开发和利用逐步呈现出三个主要的特征。

1) 地下空间利用拓展

随着城市的发展,城市地下空间规划与建设面积不断扩大,开发深度不断加深,其建筑功能也不断增多。以上海市为例,上海地下空间总建筑面积从2009年的约2 600万 m^2 上升至2012年的约5 700万 m^2 (图1-1),3年内增加了一倍多;地下空间的功能也从最初的交通、地下停车场、仓储、民防等扩大到商业、住宅、娱乐和城市地下综合体等。

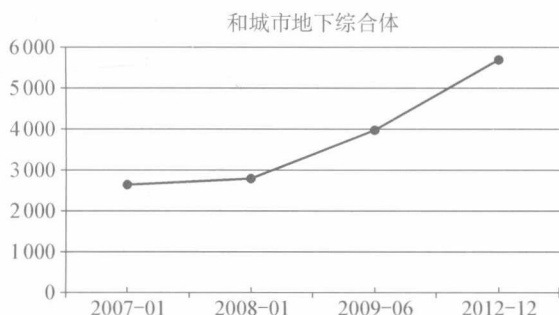
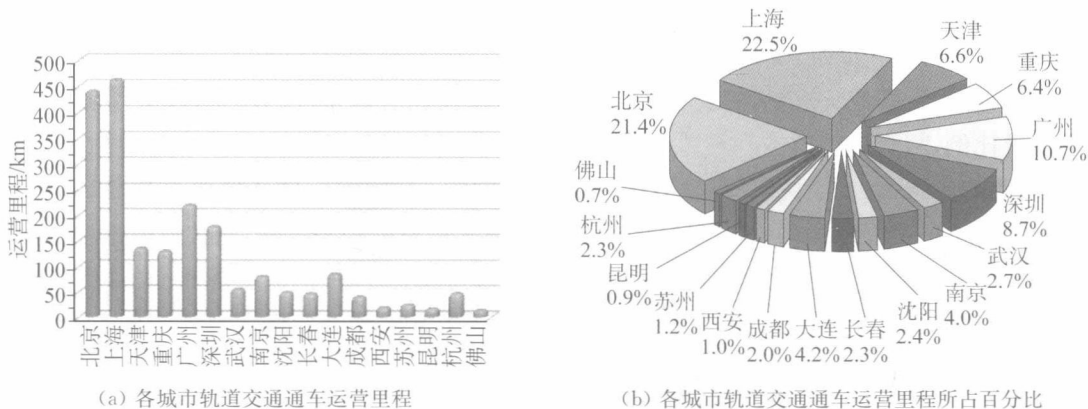


图 1-1 上海市地下空间总建筑面积(上海民防网)

2) 地下交通系统成型

目前,中国的城市轨道交通建设速度和规模已经位居世界首位,截至2012年12月的中国城市轨道交通运营现状如图1-2所示。据城市轨道交通协会统计数据显示,截至2013年底,上海地铁已开通运营14条线路、329座车站,运营里程538 km,全路网客运量达25亿人次,是世界上规模最大的城市地铁系统。预计2014年,上海地铁运营里程将达到600 km,远期规划970 km。同时,城市隧道建设举世瞩目。从20世纪60年代上海第一条打浦路越江隧道投入运行,到目前上海外环线越江沉管隧道,翔殷路、大连路、延安东路、军工路、新建路、复兴东路、人民路、西藏南路、龙翔路、上中路越江隧道,南京玄武湖东西向隧道,宁波甬江隧道,厦门翔安、青岛胶州湾海底隧道等陆续建成,城市隧道工程开始大量涌现。



(a) 各城市轨道交通通车运营里程

(b) 各城市轨道交通通车运营里程所占百分比