

兼顾防灾的高密度地区地下空间规划策略探讨*

赵子维

(陆军工程大学 国防工程学院, 南京 210007)

摘要:随着我国城市化不断推进,城市在建设开发中逐渐成型局部高密度状态,在全球化灾害多发的环境下,城市高密度地区的易损性显著,应充分利用其立体化空间加强防灾减灾建设。地下空间具备先天的防灾特性,可以针对不同灾害中发挥相应的防灾作用,并与地面防灾空间协同构建立体化的防灾空间体系。根据地下空间在城市高密度地区的防灾角色与定位,提出了在地下空间建设中兼顾防灾的规划思路,通过分析适合防灾用途的地下空间特点,对其空间和功能要求进行了研判,并进一步提出了引导方法和规划策略,对城市高密度地区地下防灾空间规划建设进行了探索。

关键词:地下空间, 防灾空间, 高密度地区

中图分类号: TU984

文献标识码: A

文章编号: 1673-0836(2019)02-0333-06

Discussion on the Strategy of Underground Space Planning for Disaster Prevention in Urban High-density Area

Zhao Ziwei

(College of National Defense Engineering, the Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, P.R. China)

Abstract: With the development of urbanization in China, the local high density state is gradually formed in the construction of cities, and the fragility of urban high-density areas is obvious in the context of the multiple disasters of globalization. It should be strengthened that construction of disaster prevention and mitigation by using its stereoscopic space. Combined with the innate disaster prevention characteristics of underground space, this paper analyzes the disaster prevention function in different disasters, and probes into the synergetic relationship between underground and ground disaster prevention space. By studying the role and location of underground space in disaster prevention space system, the contents of underground disaster prevention space are defined, the requirements of suitable disaster prevention use in underground space is analyzed, and the control guidance method and planning strategy is further put forward.

Keywords: underground space; disaster prevention space; urban high-density area

0 引言

在全球灾害多发的背景下,城市作为防灾减灾的中心和重点,综合防灾越来越受到重视,“安全的城市”成为2007年世界人居日的两个主题之一,

而“韧性城市”是2016年联合国“人居Ⅲ”大会重要的主题词之一。随着中国城市化的不断推进,城市尤其是城市中心区逐渐呈现出高密度的状态,高度的财富集中和错综复杂的城市运行体系使城市变得更加脆弱,由此产生的一系列问题(如空间拥

* 收稿日期: 2018-10-16(修改稿)

作者简介: 赵子维(1981-),男,江苏句容人,博士,讲师,主要从事地下空间防灾、人民防空的研究工作。

E-mail: ziiwei@163.com

基金项目: 国家自然科学基金(51608527)

挤、交通阻塞、空气污染等)形成了复杂的孕灾环境以及脆弱防灾能力,使高密度城市空间具有灾害易发、衍生灾害复杂以及灾害损失严重等特征^[1],城市高密度地区防灾减灾问题日益突出。

地下空间在应对很多城市灾害方面有很好的防灾特性,其中部分是地面空间无法比拟的。由于城市高密度地区开发强度大,空间资源紧张导致空间的立体化发展趋势明显,在地面建筑密度和容积率高、广场绿地等开敞空间有限的条件下,应当充分发挥地下空间的防灾特性,提高城市防灾能力。如何合理利用和有效引导地下空间的防灾建设,促进城市高密度地区的地下地上防灾空间协同,对于提高城市空间的防灾效率、优化空间效能、促进可持续发展有重要的意义。

1 我国城市地下空间发展现状与相关研究

1.1 我国地下空间发展现状

我国城市地下空间的开发利用始于20世纪50年代为防备空袭而建造的人防工程,改革开放以来,开发领域逐渐扩展,从地铁隧道、地下人行通道、地下商业街到城市地下综合体及地下综合管廊,已经涵盖了交通、商业、文娱、防灾等多种功能,空间形态也从单体建筑物地下室的点状空间到地下街、地下综合体的面状空间,再发展到网络化、综合化的地下城。目前我国城市地下空间面积增长速度很快,城市(特别是城市中心区)地下空间利用规模越来越大,北京、上海等特大城市地下空间建成面积已超过 $5\times 10^7\text{ m}^2$,深圳市地下空间现有开发量达到 $1.9\times 10^7\text{ m}^2$ 。据预测,到2020年,北京地下空间将达到 $9\times 10^7\text{ m}^2$,中心城区的地下空间将达到地面建筑总面积的20%~30%。且北京分别在丰台丽泽商务区 and 通州新城规划了 $2.3\times 10^6\text{ m}^2$ 和 $2.1\times 10^6\text{ m}^2$ 的超大地下空间,将立体开发到5~6层^[2]。可以预见,在我国城市化发展过程中,伴随地面中心区、商务区等高密度地区的建设,地下空间的大规模开发利用将是必然的。

1.2 地下空间防灾的相关研究

(1)从理论上探讨地下空间与城市防灾关系的研究。钱七虎院士^[3]从城市可持续发展的角度提出了地下空间开发利用中的防灾问题;国际地下空间领域的学者Sterling R和Nelson P对利用地下空间提高城市韧性(resiliency)进行了研究,在分析地下空间防灾的优势和弊端基础上对地铁系统、给排水网络、燃气网络等城市地下基础设施抗灾特性

和对城市韧性的影响进行了研究^[4-5];吕元^[6]、王薇^[7]分别系统构建了城市防灾空间体系并对地下空间的防灾利用进行了分析阐述,陈志龙等^[8-9]对地下空间防灾的工程实例和研究进展进行了归纳;郝磊^[10]对地下空间(包括人防工程)与城市综合防灾的整合策略进行了探讨;以城市高密度地区为研究对象;曾坚等^[11]构建了高密度城市中心区地下防灾系统。

(2)结合城市规划和设计实践探讨地下空间防灾的研究。Makana等^[12]提出了可持续视角下基于韧性的地下空间开发利用的评估框架,并以英国伯明翰东部地区为例进行了实证研究;陈志龙等^[13]、郭东军等^[14]在北京地下空间防空防灾系统规划、南京市综合防灾规划中系统研究了地下空间作为防灾空间的定位和规划模式;冯艳君等^[15]讨论了地下空间总体规划中的防灾减灾规划策略;在具体项目开发上,王海阔等^[16]研究了城市避难场所与地下空间复合开发模式;王琪^[17]探讨了基于城市防灾的广场地面地下一体化设计方法。

在已有的研究中,侧重于对地下空间防灾功能、规划策略以及与地面防灾空间协同框架的分析,而对地下空间防灾的用途和定位还较模糊,特别是在兼顾主体功能与防灾用途以及协同地面防灾空间的策略上还缺少探讨。

2 高密度地区的灾害特点与地下空间防灾定位

2.1 高密度地区的灾害特点

城市中心区、商务区等局部高密度化已经成为现代大型城市建设发展的必然趋势,其典型特征是土地的高强度开发和人口、财富等要素的高度集中。城市高密度地区包含了各类要素的高密度,例如人口高密度、建筑高密度以及各类设施和信息的密度。从测度指标上看,综合国内外部分城市人口密度可以发现,一般大城市各分区人口密度峰值分布在1万人/平方公里以上至4万人/平方公里以上的范围内,我国人口在五大中心城市(北京、上海、天津、广州、重庆)人口密度峰值为2万人/平方公里以上至3万人/平方公里以上,区域中心城市(沈阳、南京、武汉、深圳、成都、西安)人口密度峰值为1万人/平方公里至2万人/平方公里以上。通过人口密度在城市中的层级断裂带,可以基本上确定城市高密度地区的范围。另一种测度指标是通过住宅和非住宅建筑密度控制指标进行分析,首先高密度环境指标对于不同城市也表现

出一定的差异性,其次将住宅密度与非住宅密度分开并进行定义,对于我国内地城市,住宅区高密度环境一般为容积率在 2.0~4.0 范围内,建筑密度为 30%~40% 左右;非住宅建筑的高密度环境中,多层高密度一般容积率大于 4.0,并且建筑密度在 70% 以上,高层高密度环境一般容积率大于 8.0,且建筑密度在 60%~70% 以上。^[18] 高密度环境使得潜在灾害集中、风险增大,一旦发生灾害,往往会造成大量的人员伤亡和经济损失。

城市易发的且对高密度地区损害较大的灾害有自然灾害、事故灾害、公共卫生事件和社会安全事件,主要包括:气象灾害、地震灾害、交通事故和交通堵塞、火灾事故、基础设施事故、环境污染、传染病疫情、恐怖袭击事件和拥挤踩踏事件^[2]。此外,战争灾害作为一种特殊的人为灾害,会造成人员伤亡、设施设备损毁、建筑和构筑物坍塌,以及火

灾、交通堵塞和城市功能瘫痪等衍生灾害。本文在此基础上选取了对高密度地区危害较大,并对防灾空间有一定要求的灾种,作为防灾空间系统的主控灾害,主要包括地震、火灾、气象灾害和战争灾害。

2.2 地下空间防灾特点与定位

地下空间具有密闭性、恒压性、恒湿性、恒温性,地下空间的这些特性使它对一些灾害有较好的防御作用。钱七虎院士曾精辟的指出地下空间防灾有 3 方面的作用:一是弥补地面防灾空间的不足;二是对地面上难以抗御的外部灾害如战争空袭、地震、暴风、火灾等提供较强的防御能力;三是在地面上受到严重破坏后保存部分城市功能^[19]。从综合防灾角度看,地下空间并不是适合所有灾害种类的防灾空间,从上述几个主要灾害来分析地下空间的防灾特点(见表 1)。

表 1 地下空间与地上空间的防灾定位分析

Table 1 Location analysis of underground space and ground space in disaster prevention

	地下空间	地上空间	协同方式
火灾	不利于灾时的避难和疏散,当发生火灾时,人员疏散的方向与烟气扩散的方向一致,不利于逃生。在地下空间设施设备完好情况下可作为临时避难空间。	地面开敞空间适合发生火灾时的人员避难和疏散,以及临时安置。	人员避难和疏散以地面空间为主,地下空间可以作为灾后救援和物资存放等辅助空间。
地震	相较于地面建筑抗震能力更好,抗震能力至少可以比同类地面建筑提高 1~2 个烈度。但是强震下结构仍不安全,可以作为辅助用途。	适合地震发生时的避难和疏散,但是当地面面积较小时,易受到建筑坍塌、火灾等次生灾害威胁。	人员避难和疏散以地面空间为主,当地震烈度没有破坏地下结构时,地下空间作为灾后救援等辅助空间。
气象灾害	可以提供安全的避难空间,适宜应急避难和临时避难,同时作为疏散救援通道,以及用于救援等各项活动,灾害发生时应注重口部的防护措施。	灾害发生时无法提供安全避难空间,灾后可以临时避难和医疗救护等场所。	灾时的避难和疏散以地下空间为主,地上空间作为灾后救援的辅助空间。
战争空袭	以人防工程体系为主体的地下防护空间可以提供安全的防护空间,并在战时支持指挥、抢险、医疗、生产等各项活动。	不利于战时各类活动的防护。	以人防工程为主体,建立战时地下防护空间。

根据对比可见,地下空间与地上空间在应对不同灾害时都互有优劣,应当构建互为主体、相互辅助的立体化防灾空间体系。因此,在构建城市高密度地区立体化防灾空间体系中,针对战争灾害和气象灾害,地下空间应作为主要防灾空间,承担应急避难空间、疏散和救援通道的功能,并在设施完好的情况下作为临时避难的空间;针对火灾和地震等灾害,地面防灾空间应承担主要的防灾功能,作为

避难场所和疏散通道,地下空间作为次要防灾空间,承担医疗救护、救援物资储放等功能,并作为备用的避难和防灾通道。

3 地下空间兼顾防灾的思路与要求

3.1 地下空间兼顾防灾的规划思路

地下空间具有良好的防灾能力,但是如何利用这种特性并形成更加利于防灾的空间形态呢?即

如何把握地下空间建设的“防灾化”。笔者认为泛泛地将地下空间“防灾化”是不可取的,而是应当针对适合防灾的地下空间进行控制和引导,通过合理规划形成有利于防灾的空间形态。

作为城市地下空间中的一部分,人防工程是专门设计和建造作为抵御武器破坏效应的防护工程,将防护功能置于首位是人防工程的规划设计准则。因为对战时防护来说,生存是第一位的。但是对于其他地下空间来说,建设专用防灾空间在管理体制、经费划拨、土地出让等环节都存在目前尚未解决的问题,防灾用途只能是一种“兼顾”,这种“兼顾”的防灾要求还不能高于其使用功能,而只能是位于其次的地位。因此,在探讨地下空间的平时防灾时,只能是在其平时功能的基础上,通过规划建设形成有利于防灾的空间形态,将“专用”与“兼用”统筹好,以达到防灾的目的。

因此,要求地下空间全部“防灾化”既过于浪费也不现实,毕竟除了人防工程以外,地下空间的防灾用途无法让位于其主体功能,对于普通地下空间来说,应当抓住适宜防灾的部分,通过控制和引导这部分地下空间形成防灾“核心能力”,以提高地下空间的防灾能力,这应当才是兼顾防灾的地下空间规划思路。

3.2 地下空间兼顾防灾的用途要求

地下空间有优良的防灾特性,但是根据不同的开发深度、不同的功能和使用要求以及不同的空间特点,在适宜防灾用途和程度上都有所区别。

(1)普通地下空间兼顾防灾。目前地下空间开发深度一般为地下 30 m 以内,多为地下 1 层到 5 层,针对飓风、龙卷风、冰雹、暴风雨(雪)等气象灾害,以及战争常规武器空袭引起的破坏效应,地下空间较地面空间可以提供更安全的避难环境。但是地下空间作为交通、仓储、商业、基础设施等不同的用途时,其空间形态和竖向深度都有所区别,当探讨其兼顾防灾的能力时,应当结合具体的功能和空间特点来判断。

(2)人防工程兼顾防灾。人防工程基于战时防护而设计,对平时防灾功能同样是一种兼顾。在防平时灾害时,基于战时防护要求设计的人防工程有良好的抗冲击性能,但是在未经战时转换时,防护门及相应孔口都未闭合,隔墙也未经封堵,其防灾特点并没有与普通地下空间有显著差别,其高抗力的结构特点在平时防灾时显得过于冗余,而根据战时掩蔽需求设计的防护单元在平时应急避难时

也并无优势。因此,人防工程兼顾防灾虽然有结构上的优势,但是是否利于平时防灾的使用,仍然需要根据人防工程平时的功能和空间特点来判断(如图 1)。

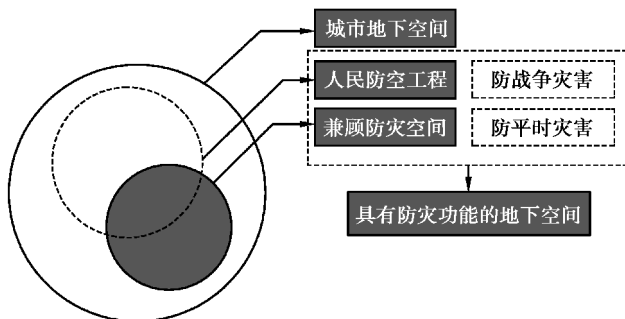


图 1 兼顾防灾用途的地下空间示意图

Fig. 1 Schematic diagram of underground space with the capability of disaster prevention

(3)地下空间兼顾防灾的空间和功能要求。地下空间无论是作为应急避难或疏散空间,还是作为物资储备和救援空间,大型、开敞的公共空间都更为适宜。小型、分割的呈碎片化的空间,以及复杂的指向不明确的空间,都不适合紧急避险和疏散,不宜作为防灾用途。从竖向要求上来说,适用于防灾的地下空间应保持和地面的直接联通关系,以便于人员避难和救援力量进入。从地下空间功能上看,结合防灾用途应具备相当的可用于避难和开展救援工作的空间,因此,兼顾防灾的地下空间应当避免有较多的设施以及较少的次生灾害风险。平时作为停车、仓储、设施空间的地下空间,由于其自身空间已经被机动车、物资和相应的设施设备占用,同时也存在相应的衍生灾害隐患,不宜作为防灾空间。因此,在选择兼顾防灾功能的地下空间时,应优先考虑大型公共活动空间、人行交通、商业和休闲等用途的地下空间。

4 规划引导策略探讨

4.1 构建立体复合防灾空间

由于城市高密度地区建筑密度大、容积率高,利于防灾的地面开敞空间有限,需要充分发挥地下空间的防灾作用。因此从防灾角度考虑,应主动规划构建地面和地下一体的立体复合防灾空间。根据规划区域面临的主要灾害种类,结合地域空间特点和开发要求,具体分析地面和地下空间各自的主控灾害,通过灾害风险评估、避难场所可达性评估等方法,合理布局 and 分别引导地面和地下空间的防灾功能。在确定应具备防灾功能的地下空间,其

规划阶段应对其功能、空间、口部、连通等方面做出相应的要求。

4.2 确定地下防灾空间的需求

需求是非常关键的指标,地下空间规划时通常要根据规划期内承担的交通、商业、基础设施等功能,进而确定地下空间的需求量。在兼顾防灾的地下空间需求预测中,应当一方面根据地下空间作为主要防灾空间时,考虑区域中需要避难的人口数量及相应的防灾救援行动对空间的需求,另一方面要充分考虑地下空间作为次要防灾空间,即作为地面防灾空间的补充时,在进行辅助的防灾救援活动(例如医疗救护和物资储存等行动)时的空间需求。同时,在避难人口方面应考虑区域内居住人口、通勤人口、商业人口等不同人口的时空分布,结合相应的地下空间防灾的人均面积标准,进而确定兼顾防灾用途的地下空间的需求,对地下空间规划提供指导。

4.3 利于防灾的地下空间功能设置

确定应当兼顾防灾功能的地下空间,其在功能设置上应当贴近防灾需求,尽量将适宜防灾用途的功能设置在上层地下空间,以便于应急避难或疏散的实施。例如在地下负一层用作人行交通、商业、展览等功能,在人口密集的商业、旅游、交通枢纽等功能区域下的地下空间应尽量设置为空间开阔的公共空间,将不适合兼顾防灾用途的空间功能向下设置,例如地下停车、设施设备、仓储物流等功能。空间上尽量设计为规则的开敞空间,避免空间感和指向性差的异型、复杂空间,以便于疏散救援等防灾活动的开展。

4.4 加强地下空间的连通

地下空间的连通分为2个方面。一方面是与地面空间的连通,通过下沉广场、坡道、楼梯、竖井等多种方式,灵活地处理地下与地面空间的连通方式。连通的方式应注意双向疏散的需求,通过强化地下防灾空间与地面防灾空间的连通,形成互为备份、互为辅助的复合防灾空间格局,同时作为相互疏散到安全空间的通道。另一方面,地下空间之间连通,特别是具备防灾用途的地下空间之间,要便于避难人口的转移和救援活动的开展,同时还应特别注意与地铁站点、人行通道进行连通,便于更大范围内防灾行动的进行。

4.5 口部设置引导

口部是地上空间与地下空间的连通部分,也是协同的关键环节。建筑内的口部利于建筑内的避

难人口快速进入地下空间,但是空间有限导致疏散能力较弱并容易堵塞,当建筑发生坍塌时口部将无法使用。外部空间口部设置相对而言比较灵活,可以充分结合地面的情况设置为下沉广场、带坡道的大型出入口以及小型口部,有利于避难人口的快速进入和撤出。此外,口部的设置要特别注意一方面避开高密度地区的建筑坍塌以及火灾和危险气体泄漏的影响范围,避免这些灾害影响地下空间的使用;另一方面要注意结合地面防灾空间进行设置,有利于地上和地下防灾空间的相互转换和备份,提高立体化防灾空间的防灾效率。

5 结语

高密度化是城市化过程中的必然趋势,是城市经济、政治、物质等要素在空间上不断集中的具体表征,其给城市带来更多的活力,但同时也成为城市在防灾减灾中的易损环节。结合城市高密度地区空间开发强度大、立体化趋势明显的特点,通过合理利用地下空间的防灾能力,构建立体化防灾空间体系,有利于城市“韧性”的提高,促进城市可持续发展。

在不改变地下空间功能的前提下,对地下空间中适合防灾用途的部分进行合理的利用和引导,可以使地下空间兼顾防灾能力更加突出,提高地下空间的利用效率;通过进一步完善城市地下空间兼顾防灾的规划策略,强化与地面防灾空间的协同建设,有利于推进系统构建立体化防灾空间的理论与实践。同时,在地下空间兼顾防灾的具体规划环节,仍然存在人均避难面积核定、空间引导要求的刚性和弹性要求等问题,这也是下一步研究的方向。

参考文献(References)

- [1] 王屹,曾坚. 高密度城市中心区的防灾规划体系构建[J]. 建筑学报, 2012, 8(增2): 144-148. (Wang Qiao, Zeng Jian. Constructing disaster-prevention planning system for the high density area of a city center [J]. Architectural Journal, 2012, 8(Supp.2): 144-148. (in Chinese))
- [2] 钱七虎. 我国地下空间开发利用综合管理研究[R]. 北京: 中国工程院, 2011. (Qian Qihu. Study on comprehensive management of underground space development in China [R]. Beijing: Chinese Academy of Engineering, 2011. (in Chinese))
- [3] 钱七虎. 城市可持续发展与地下空间开发利用[J]. 地

- 下空间, 1998, 18(2): 69-74. (Qian Qihu. Sustainable development of the cities and the development and utilization of underground space[J]. Underground Space, 1998, 18(2): 69-74. (in Chinese))
- [4] Sterling R, Nelson P. City resiliency and underground space use[A]// The 13th World Conference of ACUUS: Advances in Underground Space Development [C]. Singapore, 2012: 43-55
- [5] Nelson P, Sterling R. Sustainability and resilience of underground urban infrastructure: New approaches to metrics and formalism[A]// GeoCongress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering[C]. Oakland, California, United States, 2012: 3199-3208.
- [6] 吕元. 城市防灾空间系统规划策略研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2004. (Lü Yuan. Study on the planning strategy of urban disaster-prevention space system[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2004. (in Chinese))
- [7] 王薇. 城市防灾空间规划研究及实践[D]. 长沙: 中南大学, 2007. (Wang Wei. Study on disaster-prevention space planning of urban and its experience [D]. Changsha: Central South University, 2007. (in Chinese))
- [8] 陈志龙, 郭东军. 城市抗震中地下空间作用与定位的思考[J]. 规划师, 2008, 24(7): 22-25. (Chen Zhilong, Guo Dongjun. Reflection on the role of underground space in city anti-quake planning [J]. Planners, 2008, 24(7): 22-25 (in Chinese))
- [9] 陈志龙, 陈家运, 郭东军, 等. 地下空间利用与城市防灾研究若干新进展与思考[J]. 中国工程科学. 2013, 15(5): 65-70. (Chen Zhilong, Chen Jiayun, Guo Dongjun, et al. Development and its thoughts on research of underground space and urban anti-disaster [J]. Engineering Sciences, 2013, 15(5): 65-70. (in Chinese))
- [10] 郝磊. 浅析地下空间与城市综合防灾[A]//2009 城市发展与规划国际论坛论文集[C]. 2009: 278-281. (Hao Lei. The research on underground space and urban comprehensive disaster prevention [A]//Proceedings of the International Forum on Urban Development and planning[C]. 2009: 278-281. (in Chinese))
- [11] 曾坚, 王屹, 臧鑫宇. 高密度城市中心区地下防灾系统构建[J]. 建筑学报, 2013, 9(增2): 56-60: 56-60. (Zeng Jian, Wang Qiao, Zang Xinyu. Constructing underground disaster-prevention system for high density area of a city center[J]. Architectural Journal, 2013, 9 (Supp.2): 56-60. (in Chinese))
- [12] Makana L O, Jefferson I, Hunt D V L, et al. Assessment of the future resilience of sustainable urban sub-surface environments [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2016, 55: 21-31.
- [13] 陈志龙, 郭东军. 北京地下空间防空防灾系统规划研究[R]. 北京市首规委科研项目报告, 2004. (Chen Zhilong, Guo Dongjun. Study on the planning of Beijing underground space air defense & disaster prevention system [R]. Report on Beijing Capital Planning Commission scientific Research, 2004. (in Chinese))
- [14] 郭东军, 陈志龙, 谢金容, 等. 城市综合防灾规划编研初探—以南京城市综合防灾规划编研为例[J]. 城市规划, 2012, 36(11): 49-54. (Chen Zhilong, Guo Dongjun, Xie Jinrong, et al. Preliminary study on compiling and research of urban comprehensive disaster prevention planning: a case study on Nanjing[J]. City Planning Review, 2012, 36(11): 49-54. (in Chinese))
- [15] 冯艳君, 曹轶. 地下空间总体规划中防灾减灾的规划策略[A]//城乡治理与规划改革——2014 中国城市规划年会论文集(01 城市安全与防灾规划)[C]. 2014: 100-110. (The planning strategy of disaster prevention and reduction in the overall planning of underground space [A]//Proceedings of China Urban Planning Annual Conference 2014 (01 City safety and disaster prevention planning) [C]. 2014: 100-110 (in Chinese))
- [16] 王海阔, 陈志龙. 城市避难场所与地下空间复合开发模式探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(4): 631-634. (Wang Haikuo, Chen Zhilong. Discussion on combined development mode of shelter and underground space[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, 5(4): 631-634. (in Chinese))
- [17] 王琪. 基于城市防灾的广场地面地下一体化设计方法研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2015. (Wang Qi. The research of square ground and underground intergrated design method based on urban disaster prevention [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2015. (in Chinese))
- [18] 王屹. 高密度环境下的城市中心区防灾规划研究[D]. 天津: 天津大学, 2013. (Wang Qiao. Disaster prevention planning study for the high-density area of city center[D]. Tianjin: Tianjin University, 2013. (in Chinese))
- [19] 钱七虎. 中国城市地下空间开发利用的现状评价和前景展望[J]. 民防苑, 2006(增1): 1-5. (Qian Qihu. Present situation evaluation and prospect of urban underground space development and utilization in China [J]. Civil Defence Realm, 2006(Supp.1): 1-5. (in Chinese))