

文章编号:1673-0836(2006)03-0467-08

城市地下空间防灾减灾回顾与展望^{*}

周 云, 汤统壁, 廖红伟

(广州大学土木工程学院, 广州 510405)

摘 要:介绍了城市地下空间内各类灾害的发生及造成灾害的情况,对地下空间防灾减灾研究状况进行了总结,并提出了建立完善的城市地下空间防灾减灾体系所需要研究的内容和若干主要问题。

关键词: 地下空间; 灾害类别; 防灾减灾

中图分类号: TU9

文献标识码: A

Review and Prospect of Disaster Prevention of Urban Underground Space

ZHOU Yun, TANG Tong-bi, LIAO Hong-wei

(College of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510405, China)

Abstract: Based on the cases of various kinds of disaster occurred in underground structures and corresponding consequences, and the state of investigation and study of disaster prevention, this paper introduces several main problems concerning establishing a perfect disaster prevention system of urban underground space.

Keywords: underground space; kind of disaster; disaster prevention

1 引言

近年来,随着城市经济的高速发展和城市化进程的不断加快,城市发展中的各种矛盾日益突出,很多国家已把地下空间的开发利用作为解决城市土地、人口和环境危机,节约资源,走可持续城市化发展道路的重要措施。随着我国城市经济的高速增长,我国沿海发达城市(北京、上海、广州等)已经掀起了地下空间开发的热潮。

城市是一个地区政治、经济、文化的中心和交通、通讯枢纽,是经济发展的主要载体,一旦发生各种自然、人为灾害或战争灾害,所造成的人员伤亡和物质损失将十分严重。

因此,城市愈发展,城市防灾减灾的课题便愈显示其重要性和紧迫性。随着城市地下空间开发

热潮的到来,城市地下空间开发利用是否合理、防灾减灾体系是否完善,将是制约未来城市可持续发展的一个重要关键因素。

2 城市地下空间灾害

城市面临的灾害主要有两种,即自然灾害和人为灾害。前者包括地震、洪水、风暴、海啸等;后者包括火灾、交通事故、恐怖袭击、战争灾害等。除火灾和洪灾之外,城市地下空间对上述其它各类灾害的防御能力都远远高于地面建筑。因此,城市地下空间将成为居民抵御自然灾害和战争灾害的重要场所。

地下空间由于其自身的特点,一方面它对很多灾害的防御能力远远高于地面建筑,如地震、台风等;而另一方面,当地下空间内部产生某些灾害时,

* 收稿日期:2005-11-16(修改稿)

作者简介:周 云(1965-),男,云南人,博士,教授,主要从事工程抗震、工程减震控制及防灾减灾工程等方面的研究。

E-mail: tangtongbi @126. com

基金项目:广州市城市地下空间综合开发利用与管理项目

所造成的危害又将远远超过地面同类灾害,如火灾、爆炸等。这就使我们一方面要充分利用地下空间良好的防灾功能,使之成为城市居民抵御自然灾害和战争灾害的重要场所;另一方面要重视地下空间内部防灾减灾技术的研究,防止灾害的发生,或将灾害的损失降低到最低限度^[1]。

城市地下空间抵御灾害能力相对较强并不意味着对地下空间内发生的各种灾害进行研究和防治的工作可以放松,相反,随着地下空间的大面积、大规模、深层次开发,城市地下空间中各类灾害的出现有上升的趋势,对城市地下空间的防灾减灾工作更不能有所松懈,必须全面地开展各种灾害的研

究、防治工作,逐步完善、建立系统的城市地下空间防灾减灾体系。

日本是一个灾害频发国家,鉴于其本国国土面积较小,城市地下空间的开发利用起步较早,至今日本城市地下空间开发已处于国际领先地位,在地下空间灾害研究及防治方面的研究投入巨大,许多方面都有我们可以借鉴与学习的地方。例如由720个日本人组成的课题组从1990年起,进行为期3年的系统调研,收集了发生于1970~1990年期间日本本国地下空间内的各种灾害事故,进行归类、汇总和分析,结果如表1所示。

表1 1970~1990年期间日本国内与国外地下空间各种灾害事故对比^[2]

Table 1 Comparison of various disasters occurred in and Outside Japan during 1970~1990

灾害类别		火	空	施	爆	交	水	犯	地	结	水	地	雪	雷	其	合
		灾	气	工	炸	通	灾	罪	表	构	电	震	和	击	它	计
		灾	污	事	事	事	灾	行	沉	损	供	应	冰	事		
发生 次数	国内	191	122	101	35	22	25	17	14	11	10	3	2	1	72	606
	国外	270	138	115	71	32	28	31	16	12	111	7	2	2	74	809
事故比例 (%)		32.1	18.1	15.1	7.4	3.7	3.7	3.3	2.1	1.6	1.5	0.7	0.3	0.2	10.2	100

可以看出,表1中列出的许多灾害在地面建筑中同样会经常遇到,如施工事故、结构损坏、交通事故等。此外,地下空间内一些灾害如火灾、爆炸、地震等在灾害的破坏形式和所造成的损失等方面,与在地面建筑中的同类灾害有着明显的不同。

在近十年来,地下空间灾害的灾害形式呈现多发性和突发性、多样化和严重化趋势等新特点,一些常遇的灾害如施工事故等,有明显上升的趋势;另外一些以前被忽视的灾害如地震,则正在逐渐引起人们的重视。地下空间各种灾害中,火灾仍然首当其冲位于首位,而地震灾害则随着1995年日本阪神地震中首次出现的以地铁车站为主的地下大空间结构严重破坏而愈来愈受到各国的关注。同时,在美国“9.11”恐怖袭击事件和俄罗斯发生的多起地铁爆炸案以后,地下空间结构以“防恐怖袭击”为主的抗爆防毒气灾害问题也日益引起各国的重视。另外,随着城市地下空间的大规模、深层开发利用,地下空间的内部环境越趋复杂,一些以前无法预知的灾害也正在构成威胁。

因此,迫切需要确定一个全新的研究领域,全

面系统地开展城市地下空间各种灾害的研究和防治工作,对城市地下空间结构在各种灾害作用下的结构响应和破坏机理进行深入细致地研究,总结出其内在的规律,并据此提出适宜于地下各类结构应对于各种灾害的防灾减灾方案,以有效控制灾害损失,提高城市地下空间的安全度,进而减少甚至避免灾害的发生。

2.1 城市地下空间火灾灾害

从表1中可知,地下空间内火灾事故几乎占了事故总数的1/3,是地下空间中发生灾害次数最多,损失最为严重的一种灾害。表2给出了我国1997~1999年期间地面高层建筑与地下空间火灾损失对比情况,可以看出地下空间火灾发生次数是地面高层建筑的3~4倍,死亡人数是5~6倍,直接经济损失是1~3倍,可见地下空间火灾的危害性极大,它不但会导致设施瘫痪和人员伤亡,还造成地下结构的损毁,其修复耗费巨大,是最不容忽视的地下空间灾害。表3列出了20世纪90年代以来世界各地地铁火灾的类型案例。

表 2 1997~1999 年期间我国地面高层建筑与地下空间火灾对比情况^[3]

Table 2 Comparison of the loss due to the fire in tall buildings and underground space during 1997~1999 in China

火灾损失	火灾次数			死亡人数			直接经济损失(万元)		
年份	1997	1998	1999	1997	1998	1999	1997	1998	1999
高层	1297	1077	1122	56	47	66	9682.6	4650.9	4749.9
地下	4886	3891	4059	306	288	340	14101.1	13350.4	12952.7

表 3 20 世纪 90 年代以来世界各地地铁火灾典型案例^[2]

Table 3 Typical cases of fire occurred in subway around the world in 1990s

时间	地点	起火原因	伤亡损失
1990.7.03	四川铁路隧道	列车油灌突然爆炸起火	4 人死亡,20 人受伤
1991.4.16	瑞士苏黎世地铁	机车电线短路,停车后与另一地铁列车相撞起火	58 人重伤
1991.8.28	美国纽约地铁	列车脱轨	5 人死亡,155 人受伤
1995.4.28	韩国大邱地铁	施工时煤气泄漏发生爆炸	103 人死亡,230 人受伤
1995.10.28	阿塞拜疆巴库地铁	电动机车电路故障	558 人死亡,269 人受伤
2000.2.24	美国纽约地铁	不详	各种通讯线路中断
2000.11.11	奥地利	电暖空调过热,使保护装置失灵	155 人死亡,18 人受伤
2001.8.30	巴西圣保罗地铁	不详	1 人死亡,27 人受伤
2003.2.18	韩国大邱地铁	精神病患者纵火	198 人死亡,146 人受伤

地下空间构筑在地下岩体或土体中,由于其本身的结构特性,从消防的角度看,它有着比地面建筑更多的不利因素:一是其空间相对封闭狭小;二是人员出入口数量少;三是自然通风条件差;四是难以实现天然采光,主要依靠人工照明。因此,一旦发生火灾,造成的人员伤亡和损失程度便十分严重。主要原因如下^[2]:

(1)烟害特别严重。据国内外资料表明,烟气致死人数约占总死亡人数的 60%~70%,在死亡的人群中,有不少人都是先窒息后被烧死的。由于地下空间的狭小封闭性,火灾时不完全燃烧产生更多烟气、有害气体,大量热量和烟气得不到有效排除,迅速充满整个地下空间,造成严重灾害;

(2)人员疏散困难。地下空间与外界连通的出入口较少,在火灾情况下,人员的疏散和烟气流通的方向一致,且地下采用的人工照明,烟气作用下降低了结构内部的能见度,加之地下空间复杂、疏散线路过长,人群易产生恐慌而盲目逃窜,造成人员不能及时疏散以致人员伤亡;

(3)扑救工作十分困难,首先由于地下空间的相对封闭状态,难以确定发生火灾的具体准确部位,其次由于出入口较少,造成消防人员与疏散人

员在进出之间形成人流交叉,延误扑救时机,最后由于地下空间比较狭小,过多的有害烟气、毒气及高温热量快速积聚等因素,加大了火灾的扑救难度,有时在消防人员无法进入地下空间进行扑救工作的情况下,只能任其自动燃烧至熄灭,造成更为严重的经济损失。

地下空间火灾防治问题几乎涉及到所有的土木工程专业如建筑、结构、通风工程,同时还涉及到材料、燃烧、消防等多个专业,是一个交叉的领域。目前关于地下空间的火灾机理与防灾研究已成为国际地下空间和隧道科学以及火灾科学研究的热点问题,最具影响力的是 2002 年 9 月 1 日由欧洲近 40 个研究实体启动的为期 4 年的欧洲隧道防火计划(简称 UPTUN)研究项目,同时,比利时自然科学基金最近正在资助有关自密实混凝土高温爆裂现象的研究项目。日本对地下空间灾害研究更是投入巨大,目前也取得了一些可喜的成果。

国际社会从 20 世纪 50 年代起便开始重视结构的抗火研究,而我国到 20 世纪 80 年代中后期才开始研究结构抗火。目前我国对地下空间结构火灾方面没有进行系统的研究,地下结构的防火设计一般是参考国外,或借鉴工业与民用建筑的防火设

计。

2.2 城市地下空间爆炸灾害

我国地下空间的开发利用是从早期大规模构筑以防空袭为主的人防工程开始的。美国、前苏联及西欧各国修建的人防工程都是以防核袭击为目标,这由当时的“冷战思维”所决定。

在核武器空爆条件下(与日本广岛、长崎的受袭条件类似),与地面建筑遭摧毁和人员伤亡惨重的现象相对照,地下空间结构的破坏情况要轻得多。地下空间结构在对防核爆炸的冲击波、光辐射、核辐射及核电磁脉冲等作用的防护和在隐蔽重要设施、降低重要目标被直接命中概率的作用上,有着地面建筑无法比拟的优势。

在现代及未来的高技术战争中,空袭和反空袭已成为主要的作战模式之一,掌握制空权已成为夺取战争胜利的重要手段。一旦发生战争,一些重要的大中城市将毫无疑问成为战时空袭的主要袭击目标。

随着科技的发展,武器性能和威力也在不断加大,这便对城市中早期开发的浅层地下空间结构的抗爆能力提出了新的挑战,一旦浅层地下空间结构遭受严重破坏,那么深层地下空间结构以下的避难人员将受到威胁。

由于结构上部覆盖的岩土介质和围岩的稳固保护作用,使得地下空间结构具有良好的抗外部爆炸性能,但随着地下空间的进一步开发与利用,地下空间的利用正从纯防战争需要,走向平战结合的需要,一些地下空间已成为公共活动场所,如地下商业街、地下铁道等。地下空间内部的爆炸事故日益突出(见表4),在地铁、地下空间等地下结构内爆炸所产生的强烈爆炸波冲击作用下,地面和地下各种结构物(民房、公共建筑和高架桥梁等)有可能产生不同形式振动响应和不同程度的破坏,严重的甚至会引起地下和地面建筑的倒塌,进而加重灾害的发生和损失。

表4 地下空间结构内爆炸事件^[2]

Table 4 Explosion occurred in underground structure

时间	地点	爆炸原因	伤亡损失
1980. 8. 16	日本静岗地下街	管道漏气着火爆炸	伤 213 人
1990. 7. 03	四川铁路隧道	列车油灌突然爆炸起火	4 人死亡, 20 余人受伤
1995. 7. 25	巴黎地铁	炸弹爆炸	30 人死亡, 70 人受伤
1996. 6. 11	莫斯科地铁	地铁行车产生爆炸	4 人死亡, 7 人受伤
1998. 7. 13	湘黔铁路隧道	液化气槽车爆炸	4 人死亡, 20 人受伤
2000. 8. 8	莫斯科地下通道	恐怖袭击	8 人死亡, 117 人受伤
2004. 2. 6	莫斯科地铁	恐怖袭击	至少 39 人死亡, 70 人受伤

在美国“9. 11”恐怖袭击事件和俄罗斯发生的几起地铁恐怖袭击爆炸事件以后,地下空间内部防爆抗爆问题的研究日益引起各国重视。为配合国际上严峻的“反恐”形势和消除国内生产中的各类安全隐患,近年来国内外众多学者开始针对地下停车场、地下商场、地铁等结构物在各种爆炸冲击波作用下结构的响应以及冲击波的传播及破坏规律进行了系统的分析研究,提出了相应的防爆理论和设计措施。

在国外,众多学者对土——结构动力相互作用和地下结构在爆炸波冲击下的抗爆研究方面,进行了大量深入细致的研究,建立起各种数值模型进行理论分析,同时还进行了大量的现场试验研究。

在地下结构遭受爆炸波冲击而引起的动力响应及抗爆研究方面,国内学者相继开展了一系列理

论和实验研究。其中,孙杰、朱立新和王飞^[4]等进行了爆炸荷载作用下浅埋结构的振动实验研究与计算,研究出结构断面加速度的分布规律,并给出结构、地坪上振动加速度的计算公式。赵晓兵、方秦等^[5]进行了爆炸荷载作用下多层复合结构力学分析,推导了其广义能量泛函,并提出了结构截面合理的刚度匹配关系。田志敏、钱七虎等^[6]研究了大压力平面爆炸加载作用下高抗力复合圆形结构的抗爆特性,探究了围岩、回填层和钢筋混凝土衬砌三者的变形、振动特点以及它们之间的相互作用机理。曹志远、曾三平等^[7]提出了基于时域边界元与非线性动力有限元的耦合方法,研究了爆炸冲击下马蹄形地下防护结构与围岩间的非线性相互作用问题,同时还真实再现了波在弹性层中的传播及反射过程。

目前,国内外有关本领域的研究取得了试探性和阶段性的进展,然而理论研究还缺乏系统性,工程应用还缺乏实践性。

2.3 城市地下空间地震灾害

对地面建筑结构的抗震研究自1906年旧金山大地震以来,如今已有100年的历史。然而,与地面上部结构相比,地下空间结构的抗震研究近10年来才引起人们的重视。

地下空间结构包围在围岩介质中,地震发生时地下结构随围岩一起运动,与地面结构约束情况不同,围岩介质的嵌固改变了地下结构的动力特征(如自振频率),人们一般认为地震对于地下空间结构的影响很小,同时由于以前城市地下空间开发利用得不够,地下空间结构在规模和数量上相对于地面结构都比较少,受到地震灾害,特别是中震、大震考验的机会也少,加之地下空间结构的震害相对地面结构也比较轻,因此,人们长期以来都认为地下空间结构具有良好的抗震性能。然而,1995年日本阪神地震中,以地铁车站、区间隧道为代表的大型地下空间结构首次遭受严重破坏,充分暴露出地下空间结构抗震能力的弱点,随着城市地下空间开发利用和地下结构建设规模的不断加大,地下空间结构的抗震设计及其安全性评价的重要性、迫切性愈来愈明显。

特别需要指出的是,我国大部分地区为地震设防区,根据地震烈度分布资料,在全国三百多个城市中,有一半位于地震基本烈度为7度或7度以上的地震区,23个百万以上人口的特大城市中,有70%属7度和7度以上的地区,像北京、天津、西安等大城市都位于八度的高烈度地震区。我国地下空间开发利用的潜力巨大,因此在人防工程、地下结构的设计及建设中贯穿抗震减灾思想更显得极其重要^[8]。

国外早年进行的地下空间抗震研究中,美国修建圣弗兰西斯科海湾地区的快速运输隧道(简称BART线)时制定的抗震设计标准具有开创性意义;日本从实验和理论等方面对沉埋隧道和地下铁道的抗震设计进行过探讨,取得了较多成果;前苏联对塔什干等城市的地下铁道的计算、结构形式和构造措施也进行过研究。1995年日本阪神地震后,许多国家加大了对地下空间结构抗震设计的研究投入,日本于1999年对铁道构筑物等重新制定了抗震设计规范,大阪市则对高速电气轨道8号线地下构筑物的设计制定了抗震设计标准及指南,使

之可据以对隧道和地铁的抗震设计作改进。

目前,我国对地下空间结构的抗震研究工作开展不够,基础资料不足。夏明耀介绍了地下结构的抗震设计计算方法,但仍沿用静力法的基本思路。林皋则系统给出了两种地下结构抗震分析的方法:波动解法和相互作用解法(结构动力学法)。蒋通从地基震陷及接缝变形角度,在假想的3种概率水准的地震波条件下,对区间隧道的抗震性能进行研究。周健对地震输入和软土动力参数作进行了假设,并在此基础上采用有效应力动力方法对隧道的抗震稳定性进行了研究^[9]。

我国目前地下空间结构的抗震设计,铁路工程主要采用地震系数法,核电厂主要采用反应位移法(也提及动力有限元法),《地下铁道设计规范》(GB50157-92)对抗震设计并无具体规定。纵观地下空间结构抗震研究的文献资料可以发现:

(1) 现有国内外的各种抗震分析方法都存在不同程度的不足;

(2) 目前,强震观测所取得的地震动资料仍主要限于地表面,对地下深处所取得的资料十分有限,而地下结构的震害主要取决于地震波传播所引起围岩变形的大小,这是地震动观测中的薄弱环节;

(3) 国内外现有的研究主要集中在一维线性地下空间结构(地铁、隧道),大断面、大跨度地下结构抗震试验研究的工作开展得极少;

(4) 缺乏明确统一的地下结构抗震设计规范,目前还没有一个像地面建筑那样以抗几级地震为设计依据的统一标准,也就是哪一级的地下工程应该抗多大的地震;

(5) 缺乏对地下空间结构破坏后的修复加固工作的研究。

地震工程研究的一个主要特点是结构抗震的研究水平随着地震的发生而逐步提高。每一次大的地震发生,都会给结构的抗震研究提出新课题,从而成为研究的主要方向,推动结构抗震研究的发展提高,1995年日本阪神地震便使工程界认识到必须重新具体评价地下结构抗震的安全性。所谓“前车之鉴,后世之师”,我们必须应该认真总结,汲取以往的经验教训,做好防震减灾措施,防患于未然。

总之,阪神大地震提醒人们,地下空间结构在地震作用下并不是绝对安全的,在大力提倡城市地下空间开发利用的21世纪,重新具体评价地下空

间结构抗震安全性,加强研究地下空间结构的抗震性能,对地下空间结构抗震设计提出相应的建议和抗震措施,具有重要的理论意义和工程实用价值。

2.4 城市地下空间洪水灾害

洪灾一直是很多城市需要重点防御的自然灾害之一。目前在我国的江河流域内有 100 多个大中城市,这里集中着全国 50 % 的人口和 70 % 的工农业总产值,其中大部分城市的高程处于江河洪水的水位之下,其中 65 % 以上的城市设施不能满足 20 年一遇洪水标准。除江河溃堤造成的洪灾外,城市内涝的危害也不容忽视。此外,沿海城市还要面临风暴、潮汐的威胁。

一个城市发生洪灾后,首先会殃及城市地下空间。所谓水往低处流,在洪水到来之时,地面建筑尚属安全的情况下,地下空间则会发生口部灌水,乃至波及到整个相连通的地下空间,甚至会直达多层地下空间的最深层,虽然在灌水过程中一般很少造成人员伤亡,但是对于地下的设备和储存物质将会造成严重的损失。

在城市发生洪灾后,即使口部不进水,但由于周围地下水位上升,工程衬砌长期被饱和土所包围,在防水质量不高的部分同样会渗入地下水,早期修建的一些人防工程,就是因为这种原因而报废,严重时甚至会引起结构破坏,造成地面沉陷,影响到邻近地面建筑物的安全。

洪灾的出现带有很强的季节性和地域性,我国处于江河流域沿岸城市和沿海城市,历史上遭遇的洪涝灾害严重。特别要指出的是,现阶段我国地下空间开发利用的热潮主要集中在沿海发达城市,做好地下空间的防洪工作更加显示其重要性和迫切性。从长远来看,如果能在深层地下空间建成大规模的贮水系统,则不但可以将这些多余的水贮存起来,有效地减轻地面洪水压力,而且还可以利用这些贮存起来的水用来解决城市枯水期缺水的问题。

根据地下空间和洪灾的特点,应采取“以防为主,以排为辅,截堵结合,因地制宜,综合治理”的原则,虽然防洪能力较差是地下空间的弱点,但通过适当的口部防灌措施和结构防水措施,是可以避免这类灾害发生,保持地下空间正常使用的。

1998 年,荷兰在住房、空间规划和环境部的国家自然规划服务处(RPD)的倡议下,地下建设中心(LOB)和 Delft 科技大学实施了“荷兰利用地下空间的战略研究”,其中涉及地质环境、地下水灾害等问题^{[10][11]}。

2.5 地下空间空气污染灾害

地下空间内空气污染事故的发生主要有两方面的因素:自然因素和人为因素。

(1) 自然因素。

随着地下空间的开发利用向地下深层发展,地下空间及周围环境渐趋多样性和复杂性,地下空间开发中产生的有害气体增多,同时地下空间结构周围的岩土、地下水中的放射性物质(如镭、铀等)含量也较高,衰变过程中产生各种有害放射线,对于长期处于地下空间里生活、工作的人群会造成无形的伤害,对这类地下空间灾害及其防治的研究还刚起步。

(2) 人为因素。

目前,一方面除了因意外而引发的空气污染事故外,如地下空间中化工用品在运输、储存或使用过程中出现泄漏而造成地下空间内的空气污染,甚至由此引起的火灾、爆炸事故等;另外一个突出的问题便是恐怖袭击,如 1995 年 3 月 20 日,日本首都东京市 3 条地铁电车内发生施放神经性毒气“沙林”事件,造成 12 人死亡,5000 多人因中毒进医院治疗;2001 年 9 月 2 日,加拿大蒙特利尔市中心地铁站发生毒气袭击事件,40 多名乘客受伤。

虽然这类灾害的比例在表 1 中排在第二位,但实际上它所造成的损失和伤亡并不如想象中那么严重,但却突出了城市地下空间的通风、排风设施的重要性。

2.6 施工过程中产生的灾害

由于岩土介质的随机离散性及地下空间施工修建技术的复杂性,在地下空间开发的施工过程中,如深基坑开挖、地铁开挖、相邻区域地下结构修建等,都会引起岩层的扰动和变形以致改变地下空间结构周围岩土介质的特性,甚至有可能影响到在建或已建地下工程、地面建筑的安全性,引发严重的灾难性事故,造成巨大的人员伤亡和工程损失,如 2003 年上海地铁 4 号线、2004 年广州地铁 3 号线和 2004 年新加坡地铁施工造成的地面高速公路塌陷等的重大工程事故。

2.7 地铁运行过程中诱发的振动

在城市地下交通系统中,地铁具有大运量、安全、快捷、准时、方便和舒适的优点,同时,地铁运输不产生空气污染,符合城市可持续发展的原则,在解决城市交通问题中有着特殊的地位和作用。但是,随着地铁的大力发展,它所带来的一些负面影响也日益突出,其中以地铁运输过程中诱发的振动

问题尤为显著,对居民的的生活和工作、周边建筑物的安全性都产生了相当程度的影响。在今后的几十年内,我国的地铁交通将有较大规模的发展,因而如何减轻和控制诸如此类的振动已成为目前亟需解决的问题。

2.8 特殊地下空间存在的灾害问题

一些地下工程虽然不像地铁、地下商场、过江隧道等与人们的日常生活紧密联系,但是它们对于国家的可持续发展却有着重要的意义。如地下能源储存系统、核废料储存、地下水储存与输送等,北欧、日本、新加坡等国家已经建成若干地下能源和资源储备设施,美国一直在开展地下储存核废料的研究。这些地下工程涉及到大深度、高压、极限温度(高低温),其中还存在很多没有发掘的基本认识,如高压气体渗透逸出可能产生的诱发地震、污染物的迁移、长期安全性等。

3 城市地下空间防灾减灾体系需解决的若干问题

城市灾害的发生一般都不是孤立的,如自然灾害和人为灾害、原生灾害和次生灾害、地面上部空间灾害和地下空间灾害等,它们之间都存在着一定的内在联系。随着自然、社会条件的变化,灾害越来越多的以综合形式出现,一灾多果或多灾一果的现象日益增多。这便要求城市的防灾减灾措施不能单独针对某一种灾害,而应考虑到主要灾害与可能引发的其它灾害之间的关系,采取综合防治措施,以提高城市对各种灾害的预测和预警能力、防御能力和快速应变能力以及灾后的自救能力和恢复能力,增强城市的总体防灾能力。

我国城市各类灾害的发生频繁,加之沉重的人口压力和有限的适于居住的国土面积形成了我们现在的城市布局。鉴于我国的基本国情,必须根据自身的特点,逐步建立与社会、经济发展相适应的地下空间综合防治体系,包括城市地下空间的灾害监测与预报系统、灾害规律研究系统、防灾系统、抗灾系统、救灾系统、灾后重建系统和防灾宣传教育系统,增强城市总体防灾能力。

目前,国内外在城市地下空间开发利用及防灾减灾领域的研究取得了试探性和阶段性的进展。但是我们必须清楚地认识到,在城市地下空间开发利用方面,我国远远落后于许多国外发达国家;在地下空间防灾减灾工作方面,我国更是落后于国外发达国家,甚至与我国地面结构的防灾减灾工作相

比,城市地下空间的防灾减灾体系更显得孤立、脆弱,急需进一步加强和完善。作者认为,要建立一个完善的地下空间防灾减灾体系,必须主要对以下六方面的问题进行研究。

3.1 城市地下空间开发与防灾规划

(1)城市地下空间整体综合开发利用和综合防灾规划

(2)城市地下空间区域开发利用和区域防灾规划

(3)城市平战结合公共场所、公用设施等地下空间综合开发利用和防灾规划

(4)城市地下空间生命线工程开发利用规划和防灾规划

3.2 城市地下空间结构抗灾性能研究

(1)城市地下空间火灾灾害下结构的耐火性能研究

(2)城市地下空间爆炸灾害下结构的抗爆性能研究

(3)城市地下空间地震灾害下结构的抗震性能研究

(4)城市地下空间水灾灾害下结构的防水性能研究

3.3 城市地下空间灾害实时检测监控和预警系统研究

(1)城市地下空间火灾灾害检测监控和预警定位系统研究

(2)城市地下空间可燃、有毒气体在线检测监测和预警系统研究

(3)城市地下空间空气质量、自动检测监控和预警系统研究

(4)城市地下空间温度、湿度、电磁场自动监控和预警系统研究

(5)城市地下空间“防恐怖袭击”检测监控技术和预警系统研究

3.4 城市地下空间综合救灾预案和应急救灾方案研究

(1)城市地下空间救灾组织指挥体系和救灾应急方案研究

(2)城市地下空间人员疏散与避难应急方案研究

(3)城市地下空间医疗救护与卫生防疫应急方案研究

(4)城市地下空间物资供应与生活保障救灾预案和应急方案研究

3.5 城市地下空间性能评估和修复加固措施技术研究

(1) 城市地下空间结构原有建(构)筑物结构性能评估和修复加固措施技术研究

(2) 城市地下空间结构健康诊断评估和修复加固措施技术研究

(3) 城市地下空间结构灾后性能评估和修复加固措施技术研究

3.6 加强城市地下空间防灾减灾宣传教育

4 结语

城市地下空间是宝贵的土地资源、经济资源和战备资源,城市地下空间的开发利用应走平战结合与防灾功能相结合的道路,逐步建立完善城市地下空间防灾减灾系统,提高城市总体防灾能力。

参考文献:

- [1] 钱七虎,卓衍荣. 地下城市[M]. 清华大学出版社,暨南大学出版社,2002
- [2] 中国工程院课题组. 中国城市地下空间开发利用研究(1~4)[M]. 中国建筑工业出版社,2001
- [3] 方正. 关于地下建筑火灾防治的若干问题. 建筑、环境和土木工程学科发展战略研讨会论文摘要汇编. 国家自然科学基金委员会,2004. 12
- [4] 孙杰,朱立新,王飞,岳小兵. 爆炸荷载作用下浅埋结构内振动实验研究与计算[J]. 爆破,2003,020(004): 7 - 10
- [5] 赵晓兵,方秦等. 爆炸荷载作用下地下复合结构的合理刚度匹配[J]. 爆炸与冲击,2001,021(002): 117 - 120
- [6] 田志敏,钱七虎. 大压力爆炸动载作用下地下复合圆形结构研究[J]. 特种结构,1997,014(003): 40 - 43
- [7] 曹志远,曾三平. 爆炸波作用下地下防护结构与围岩的非线性动力相互作用分析[J]. 爆炸与冲击,2003,023(005): 385 - 390
- [8] 于翔,越跃堂,郭志昆. 人防工程的抗地震问题[J]. 地下空间,2001,21(1): 29 - 32
- [9] 郑永来,刘曙光,杨林德,童峰. 软土中地铁区间隧道抗震设计研究[J]. 地下空间,2003,23(2): 111 - 114
- [10] (荷兰)J. Edelenbos 等著. 马积新编译. 荷兰利用地下空间的战略研究[J]. 地下空间,2000,20(2): 150 - 155
- [11] (荷兰)R. A. H. Monnikhof 等著. 马积新译. 荷兰利用地下空间前途的可行性研究[J]. 地下空间,2000,20(3): 225 - 231

(上接第 466 页)

6 目前坡体锚固体系存在的主要问题

(1) 锚固段受力问题。由于各个工程环境条件的不同,被锚固介质存在较大的差异,而设计时锚固段多采用经验公式、在工程类比的基础上进行计算选择。缺乏对锚固段受力机理的微观分析研究,以及对整体加固安全度、荷载安全度、材料强度安全度等的分项系数表达。

(2) 预应力损失及锚索体受力不均匀性问题。近年来,各种高效的锚固机具不断研制成功及施工工艺的不断改进,对降低预应力损失和改善不均匀性取得了一定的效果,但问题并未完全消除,不同的工程中仍普遍反映出不同的损失和不均匀情况。

(3) 锚固体系的防腐问题。目前的研究主要是基于腐蚀机理的定性分析研究、室内模拟试验、现场实测分析及防腐技术与防腐材料的研究方面。值得引起注意的是锚索防腐在国外工程界受到普遍重视,研究也较多,而国内则更多地注重锚固技术的应用,专门性的防腐研究工作较少。

7 结语

预应力锚索加固效果已为国内外大量工程实践的成功所证实,成为坡体加固中不可替代的有效手段。但锚固工程中的每个环节都相当重要,一个环节的失误,可造成整个工程的失败。设计及施工应保证预应力锚索体的长期有效性,避免锚固力的损失造成锚固功能的减弱,认真对被加固坡体的性质进行研究,采取合理的工艺与防护手段,保证锚索体在工作期限内的有效性。

参考文献:

- [1] 顾金才,沈俊,陈安敏,明治清. 锚索预应力在岩体内引起的应变状态模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2000,6: 917 ~ 921
- [2] 葛修润,刘建武. 加锚节理面抗剪性能研究[J]. 北京: 岩土工程学报,1988,10(1): 8 ~ 19
- [3] 张宏博,李英勇,宋修广. 边坡锚固工程中锚索预应力的变化研究[J]. 山东大学学报(工学版),2002(6): 574 ~ 577