

## 现代城市环境工程地质研究的关键技术与问题探讨

李相然<sup>1</sup>, 陈永建<sup>2</sup>, 时向东<sup>1</sup>

(1. 烟台大学, 烟台 264005; 2. 烟台市勘察测绘院, 烟台 264001)

[摘要] 分析了我国城市建设的基本特点和由此引起的主要环境工程地质问题, 研究了现代城市环境工程地质研究的关键技术, 并提出了当前我国城市环境工程地质研究亟待解决的关键问题。

[关键词] 环境工程地质 工程地质环境 现代城市 技术与问题

[中图分类号] P642, X5 [文献标识码] A [文章编号] 0495 - 5331(2001)03 - 0068 - 05

城市化作为人类历史进步的产物, 是世界各国的发展趋势, 已成为各个国家繁荣、发展的标志。到 20 世纪末 21 世纪初, 世界上将有 1/2 的人口居住在城市。新中国建国以来, 尤其是改革开放以来, 加快了城市化进程, 城市数量由建国初期的 132 座发展到 1996 年底的 666 座, 城市人口总数为 51511 万人。随着我国城市化进程加快及经济建设的快速发展, 人类工程活动加速了对自然地质环境的改造, 已经出现并且孕育诸多环境工程地质问题, 为此, 加强现代城市的环境工程地质研究, 改善城市工程地质环境质量, 减少或避免环境工程地质问题发生与发展具有重要意义。

### 1 现代城市工程建设的基本特点

现代城市的工程建设有如下特点。

#### 1.1 城市高层建筑的发展趋势是高、重、大

随着工业化、商业化、城市化的进程, 不少国家和地区城市人口大量聚集, 密度猛增, 造成城市生产和生活用房紧张, 地价昂贵, 迫使建筑物向高空发展。到目前为止, 不少国家和地区的高层建筑, 几乎占了整个城市建筑面积的 30% ~ 40%, 美国的高层建筑数量最多, 高度在 160 m ~ 200 m 的建筑就超过了 100 幢, 1974 年美国芝加哥建成了西尔斯大楼 (Sears Tower) 为 110 层, 高度达 443 m, 其他很多国家和地区的高层建筑都有了较大的发展, 有些国家还出现了高层建筑群, 如法国巴黎的 Defece 区就修建了几十幢 30 ~ 50 层的大楼; 罗马尼亚首都布加勒斯特在几个住宅区盖了几百幢 11 层左右的住宅楼。南斯拉夫、比利时、荷兰等国的建筑比重在近 20 年都提高了若干倍<sup>[1]</sup>。

20 世纪 80 年代以后, 中央批准成立深圳等经

济特区, 城市建设日新月异, 高层建筑如雨后春笋拔地而起, 仅深圳市在仅仅几年就建成 100 多幢高层建筑, 城市高层建筑的建设具有速度快、数量多、体型复杂及层数和总高度增大等特点。据不完全统计, 我国目前已建成或即将建成的 150 m 以上的高层建筑已有很多, 如北京国际贸易中心 39 层, 155.2 m, 北京京城大厦 50 层, 183 m, 上海锦江饭店新楼 44 层, 153 m, 深圳发展中心 43 层, 165.3 m, 北京京广大酒店 53 层, 208 m, 广州广东国际大厦 63 层, 195.8 m, 深圳贸易中心 50 层, 160 m, 上海金茂大厦 88 层, 360 m, 塔顶高 421 m, 上海广播电视塔塔身从地面起高达 468 m, 深圳地王大厦 81 层, 总高 384 m, 上海金龙大厦 88 层, 总高度 420 m 等等<sup>[2]</sup>。

高层建筑的基本特点是层数多、高度高、重量大、基坑深度大。高层建筑一般具有较大的埋置深度, 如上海金茂大厦坑深 15 m, 上海电视塔基坑电梯井深达 20 m, 天津国际大厦坑深 12 m, 海口港澳发展大厦坑深 15.3 m 等, 如此深度的高层建筑的施工对周围地质环境都有不同程度的影响, 有的波及到邻近建筑物, 造成较大的经济损失。

#### 1.2 城市地下空间得到前所未有的发展

近年来的地下空间和城市建设方面的专家学者一致认为, 现代城市的建设, 除了建造高层建筑, 使城市向空中发展外, 开发利用地下空间, 向地下发展是必然趋势, 日本、法国、西德、美国、英国等国家, 为解决大城市中交通、商业、电力通讯、停车场、上下水道等过密化的问题, 已经开始把大量的城市设施向地下转移, 城市地下建筑已经向更广泛的方向发展。1991 年 12 月, 在东京召开的城市地下空间利用国际会议上, 与会代表认为, 从构成城市建筑物的发展历史看, 19 世纪是桥的世纪, 20 世纪是高层建筑

[收稿日期] 2000 - 04 - 01; [修定日期] 2000 - 04 - 28; [责任编辑] 王梅。  
[基金项目] 山东省教委资助项目 (J99E06)。

纪,当今的21世纪是人类开发利用地下空间的世纪;美国明尼苏达大学地下空间中心主任雷·斯特林也认为,“随着土地使用压力和公众对拥有一个更为清洁环境的要求日益突出,人们将越来越多地利用地下建设”。顺应时代潮流,许多国家已将地下开发作为一种国策,日本提出了向地下发展,将国土扩大10倍的设想,美国1974~1984年用于地下工程设施的投资额为7500亿美元,占基本建设投资的30%。目前,一些发达国家已经将地下工程建设,作为城市建设的重要内容。

中国地下空间利用有悠久的历史和丰富的经验,20世纪60年代的人防工程建设,已经提供了巨大的地下空间资源,近年来,为适应城市发展,相继开发利用城市地下空间资源,随着新技术、新方法、新材料的发展,先进施工机具的不断问世,各种施工方法的改进,高级防水材料的涌现,以及工程地质学、岩土力学和工程力学理论研究新进展,为城市地下工程的发展创造了条件,使地下空间的开发利用得到了较快的发展,地下空间规划和开挖技术得到进一步提高。根据专家咨询,对中国城市地下空间利用进行研究结果表明,中国将在2000年前后将进入大规模开发利用地下空间的时代。从我国地下工程建设的历程看,也是如此。20世纪60年代我国建设了许多掩蔽工事、地下工厂、储库和军事设施等;70年代至80年代,我国致力于人防工程的平战结合及公路隧道、地下商业街及地铁建设;进入20世纪90年代,我国城市地下交通与市政设施加快了修建速度,进入城市地铁、地下综合体、地下共同沟建设的新阶段,已开始大规模地开发利用地下空间。城市大规模的地下工程建设,对周围环境,尤其是地质环境会造成不同程度的影响<sup>[3]</sup>。

## 2 现代城市建设中面临的重大环境工程地质问题

环境工程地质学是环境科学的组成部分,是工程地质学的新进展。城市是人类工程活动对环境的影响最为强烈的地域单元,现代城市的工程建设,已经引起或遇到日益严重的环境工程地质问题,表现在如下方面<sup>[4]</sup>。

### 2.1 城市水资源开发引起的环境工程地质问题

我国水资源居世界第六位,但人均水量为世界人均水量的1/4,亩均水量约为世界亩均水量的3/4,属贫水国家,全国缺水城市已达2/3。水资源的日趋短缺,及由此引起的诸多环境问题已引起世界

各国的普遍关注,在世界水资源委员会的倡导下,第一届水资源论坛于1997年3月21日至22日,在马拉喀什举行,并发表公报,警告人类面临的水资源危机。许多专家认为,80%的地质灾害是无节制地开采地下水造成的。我国许多城市由于超采地下水,而引起了地面沉降、地面塌陷等环境工程地质问题,如我国上海、天津、西安、太原、常州、宁波等城市均出现地面沉降,其中上海累计沉降量达2.63m,天津1.78m。据不完全统计,全国各地因开采地下水而引起的地面塌陷已多达800余处。

### 2.2 城市地表工程建设引起的环境工程地质问题

随着城市人口的增加,城市用地短缺,城市建设在中心区大量建设高层建筑的同时,有的山地城市建设还向山坡开发土地,有的是占用农业耕地,摊大饼式的发展。由此造成的水土流失、边坡失稳及软土地基问题时有发生。

#### 2.2.1 水土流失

城市工程建设中,人类工程经济活动对地形的影响是相当宽广的,人类活动中极少有不造成地形变化的,修筑堤岸、堤坝、倾卸物料、筑坡、挖掘等原因产生地形改变,导致城市地区水土流失严重。此外,由于城市建设阶段,大量暴露地面和由于车辆的运动,人工开挖,引起很大扰动,造成土地侵蚀也很严重,沃尔曼和希克(M. G. Wolman & Schich, 1967)指出,为建筑而清除地面,一年内产生的土壤侵蚀相当于自然的甚至农业数十年造成的侵蚀,在马里兰,他们发现在建设期间,沉淀量达55000 t/km<sup>2</sup>·a,而在同样地区,森林下面沉淀速度大约80 t/km<sup>2</sup>·a~200 t/km<sup>2</sup>·a,在农田是400 t/km<sup>2</sup>·a。<sup>[5]</sup>城市水土流失比较严重的是深圳,主要分布在大沙河流域中上游高中台地区。由于土地开发和修筑公路等工程经济活动,破坏了岩土体的原来固有的环境,造成大面积水土流失。水土流失不仅破坏环境,而且还伤人破财,危及后代,总计经济损失达7亿元人民币。

#### 2.2.2 边坡失稳

山地城市在城市建设过程中,人工边坡越来越多,规模越来越大,坡度越来越陡,边坡稳定问题就日益突出。如香港大部分地区坡度为1.5~1.3,而坡度高达1.2的地区也不少,坡度低于1.5的地区却不多,由于平地甚少,城市用地向山坡上发展是自然趋势,工程建设中,边坡失稳日益突出。1972年6月18日港岛半山区宝珊道一个切割斜坡,发生270m长和60m宽的滑坡,把整幢12层高的大厦推到,还毁坏了另一幢大厦的一部分,使67人丧生。大连

市近年来发生岩体或土体边坡滑动、塌落、鼓胀、变形等13处,其中土体失稳边坡6处,岩体失稳边坡7处,主要分布在市区南山地带,直接威胁地面建筑物的稳定和人民生命财产的安全。

### 2.2.3 软土地基问题

软土在我国沿海一带城市分布很广,如渤海湾的天津、塘沽,长江三角洲,浙江,珠江三角洲以及福建的沿海地区,都存在海相或湖相沉积的软土,具有松软、孔隙比大、压缩性高和强度低的特点,因此在软土地区进行工程建设常出现或遇到一些工程地质问题。天津市不少地区土层结构很松软,强度很低,压缩性很大,在建筑荷载作用下变形量很大,易造成墙体开裂,地面裂缝,基坑施工时易产生基坑边坡塌落或桩基位移;上海地面广泛分布的第一、二软土层,工程地质性质差,水平相变复杂,易产生建筑物的不均匀沉降问题,在外荷载作用下极易变形,特别在振动条件下,其结构极易破坏,强度会突然降低。

### 2.3 城市地下工程建设引起的环境工程地质问题

城市地下工程的大规模建设,对地质环境也有影响,主要有地面变形、洞室围岩失稳、地下水水流场改变和地质生态环境恶化。

#### 2.3.1 地面变形

地下工程在施工中或竣工后,出现地面变形问题是最常见的环境工程地质问题,如日本东京地铁施工中引起地面突然出现大陷坑,致使4辆机动车落入坑中。我国城市也不乏其例,深圳市蛇口工业区海王大厦4.0m深的基坑开挖后,虽然基坑边坡混凝土护壁尚好,边坡稳定,但是大孔径2.0m的人工挖孔桩施工深度43m,由于长时间连续掏土、抽水的影响,造成相邻新能源大厦发生不均匀沉降,最大日沉降量10.50cm,楼外墙有裂缝出现,大楼整体结构发生轻微倾斜,还有加快的趋势。天津地铁西门试验段施工中,在箱体顶进过程中,因降水,顶进时超挖及土体扰动,使箱体的整个高程下沉7cm,滑板的端部下沉5cm。

#### 2.3.2 洞室围岩失稳

塌方、冒顶是隧道施工中普遍出现的工程地质问题,在开挖隧道过程中,于风化裂隙发育带、断裂带、岩脉和小断层区、节理密集带、岩脉与围岩接触带等地段,常发生围岩失稳事故。

#### 2.3.3 地质生态环境恶化

地下施工往往要挖出大量的岩石和土体,堆积于隧道顶部或洞口附近,有的可高达6m、7m,不仅

对周围环境有影响,而且若弃土超荷,还可能引起隧道下沉。地下工程中采用化学灌浆来实现加强护壁措施或堵漏处理,化学灌浆材料多数具有不同程度的毒性,特别是有机高分子化合物(环氧树脂、乙二胺、苯酚)毒性复杂,浆液注入构筑物裂缝与地层之中,然后通过溶虑、离子交换、复分解沉淀、聚合等反应,不同程度地污染地下水,导致公害。

### 2.4 城市固体废弃物堆放引起的环境工程地质问题

城市人工废弃物主要是城市垃圾及工业废渣、废料,随着城市化发展,城市生活垃圾剧增,1989年,全国城市垃圾量达12660t,比10年前增加了1倍,目前全国城市人均年产生生活垃圾440kg,城市生活垃圾总量以每年8%~10%的速度增长。我国400多个大中城市中,至少有2/3的城市陷入垃圾包围之中,据最新资料,上海每天产生垃圾 $0.95 \times 10^4 \text{ t} \sim 1.0 \times 10^4 \text{ t}$ ,1991~1993年调查表明,浦东新区共有面积500m<sup>2</sup>以上的垃圾堆场119处,其中生活垃圾26处,工业垃圾20处,混合垃圾73处,共占地 $1.2 \times 10^6 \text{ m}^2$ ,人工废弃物存放的不适宜,会引起诸多环境工程地质问题,造成地表工程地质环境质量的降低,从而使环境发生恶化。垃圾场四周的C、N、Zn、Pb、Cu等金属元素的含量急剧上升,而从垃圾场中渗出的流水中各种元素的含量要比正常的河水和地下水高几十倍,生态学家指出,超大规模垃圾山的形成,已使地球生物圈的物质循环产生严重影响。堆放的垃圾通过自身分解,并接受大气降水的淋滤,其污染物必将随同渗出液一起,以不同的运移方式(下渗式径流)间接和直接地污染地下水和地表水,此外,垃圾对土壤也可造成污染,大气降水及地下水径流的淋滤作用,使垃圾中的易溶有害成分,渗入土壤中,使土壤土质恶化,危害农作物生长。方晓阳认为(1995),所有类型的污染都直接或间接地影响地表土壤的性质,如雨水降落到垃圾堆,将污染地面或地下水系统,被污染的水体将破坏基础的结构,如基脚、沉箱、桩和板桩等,假如使用已污染的水来搅拌混凝土,将影响混凝土的工作性和耐久性<sup>[6]</sup>。

## 3 现代城市环境工程地质研究的关键技术

现代城市工程建设发展迅速,由此引起的环境工程地质问题也日益严重,加强城市环境工程地质技术研究,是当前城市地学研究的重要内容。现代城市环境工程地质研究的关键技术如下。

### 3.1 工程地质环境质量恶化的预测技术

预测是环境工程地质研究中一项非常关键的工作,环境工程地质学的主要任务就是预测人类工程活动和经济活动对环境的影响,塑造人、地和谐的人类生存环境,为工程和经济活动提供充分的依据和基础。现代城市的环境工程地质问题已经十分严重,如何定量预测城市工程地质环境质量变化趋势就极为重要,尤其应重点开发研究操作性强的预测技术。

### 3.2 工程地质环境质量评价与计算技术

工程地质环境质量评价研究始于20世纪80年代中后期,近5年来,结合大江、大河水利、水电资源开发、核电站、城市的选址与规划,如长江三峡工程,黄河中上游流域水利工程、南水北调规划和广东、辽宁核电站选址等,深入开展了区域工程地质环境质量调查与评价,期间,延安、大同、深圳、烟台、厦门、青岛等城市也开展了较深入的工程地质系统研究,在这些研究中,形成了具有中国特色的城市工程地质环境评价理论。但在评价理论与方法上尚有许多改进之处,而且目前的工程地质环境质量评价主要侧重于区域地壳稳定,以城市作为地域单元,着重从环境质量方面进行研究的较少。因此,今后应加强城市工程地质环境质量评价与计算技术研究。

### 3.3 环境工程地质制图技术

环境工程地质学虽已成为一门独立的理论学科,并在许多领域发挥着其它学科所无法比拟的作用,但与其它学科相比较,它还是处于探索阶段的发展学科,为了拓展这一学科的理论体系,发挥更大的应用价值,更加科学准确的表述环境工程地质的研究成果,编制环境工程地质图是十分必要的。环境工程地质制图是一项难度很大的研究工作,到目前为止,还没有公认的图件样板可遵循。因此,需要开展环境工程地质制图技术的探索和研究工作。

### 3.4 工程地质环境恶化改造技术

目前,环境工程地质技术在处理不良地质现象,抑制工程地质环境恶化和防治工程地质环境污染等方面都能取得较大的进展,如在地铁和深部隧道的开挖与支护方面,运用新奥法指导下的各种新技术、新工艺取得了很多成功的经验;通过控制抽水量或采注结合的方法控制地面沉降也取得了良好的效果;在对固态废弃物的处理方面,由以前简单的集中堆放和掩埋,发展到今天的以回收利用为主的系统处理和综合治理。为了有效地防治城市环境工程地质问题的发生、发展,积极开展环境工程地质技术研

究有十分重要的意义。

### 3.5 环境工程地质研究成果应用技术

环境工程地质学的生命力在于成果的应用前景,所以,环境工程地质学的发展,必须以城市建设为中心,对城建选址、土地、水源开发、地基处理、废物堆放及各种环境工程地质问题的防治,都要从环境工程地质方面提出优化意见,充分发挥地质工作的主观能动性。

## 4 现代城市环境工程地质研究亟待解决的关键问题

环境工程地质学的产生,是工程活动不断加剧的必然产物,为了在城市建设的同时,保护地质环境,使人类工程活动与地质环境保持良好的协调关系,今后环境工程地质学研究应重点解决如下问题。

### 4.1 建立与完善城市工程地质环境质量数据库

近年来,计算机应用有明显的拓宽,工程地质数据库、专家系统及制图技术得到更多研究者的重视,许多城市的工程地质数据库系统都已建立,并逐步投入使用。但目前尚未建立城市工程地质环境质量数据库,今后应加强这方面的研究。

### 4.2 开展城市三维空间的工程地质环境质量预测与评价

工程地质环境质量评价是环境工程地质学的重要研究内容(胡广韬,1992)。随着环境工程地质问题的不断出现,相应的评价方法也越来越多,但城市工程地质环境是一个多目标、多层次、多因素的复杂动态大系统,环境工程地质研究的目的在于揭示人类工程活动对地质环境的影响程度,及这种影响给人类所带来的危害程度。城市环境工程地质工作不仅要评价工程地质条件中的各个组分的质量作出定量评价,而且还要将人类工程活动、社会经济环境综合成一个系统一并考虑;不仅要进行二维空间的工程地质环境质量评价,而且随着地下工程的建设与发展,还应积极开展三维空间的工程地质环境质量预测与评价;不仅研究城市的工程地质环境质量,还要研究岩土体的保温、隔热、抗震性能。在综合研究的基础上,选择最佳土地使用方案、最佳工程建设区,并指出不利的工程地质条件分布区。

### 4.3 研究城市工程地质环境质量标度的制定理论与方法

怎样更好地定量表述人类工程活动对地质环境的影响与改造程度是当今环境工程地质学研究的重点与难点,而加强工程地质环境的规范与标度理论

研究,是解决这一问题突破口,为此,应加强工程地质环境质量标度制定理论与方法研究,使环境工程地质学的研究再上一个新的台阶。

#### 4.4 探讨城市工程地质环境恶化的系统调控与工程建设的协调发展理论

环境工程地质学是环境科学的组成部分,环境工程地质问题是环境问题的重要类型,而且其危害性往往是巨大的,对待这样的问题,我们认为也要贯彻可持续发展战略,走城市工程建设与工程地质环境协调发展之路,在城市建设的过程中,采取一系列有效措施,避免、减缓环境工程地质问题的发生,因此,现代城市的建设,应探讨城市工程地质环境恶化

的系统调控与工程建设的协调发展理论。

[参考文献]

- [1] 梁启智. 高层建筑结构分析与设计[M]. 广州:华南理工大学出版社,1992,1~10.
- [2] 宰金珉,宰金璋. 高层建筑基础分析与设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993,1~17.
- [3] 李相然,姜继圣. 我国城市地下空间资源利用的战略思考[J]. 地理学与国土研究,1995,11(3):1~5.
- [4] 李相然. 城市工程地质环境的现状、发展趋势与防治对策研究[J]. 环境科学进展,1997,5(1):61~66.
- [5] [英]安德鲁·古迪著. 人类影响——在环境变化中的作用[M]. 北京:中国环境科学出版社,1989,104~179.
- [6] 方晓阳,刘洁译. 环境岩土工程学[J]. 地下空间,1996,16(2):105~126.

### DISCUSSION ON KEY TECHNOLOGIES AND PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING GEOLOGY RESEARCH IN MODERN CITIES

LI Xiang - ran, CHEN Yong - jian, SHI Xiang - dong

**Abstract:** Basic characteristics of modern urban construction and environmental engineering geological problems caused by urban construction are analysed in this thesis, key technologies of environmental engineering geology research in modern cities are studied, and at present, urgent resolved key problems of environmental engineering geology research in cities of our nation are also proposed by the author.

**Key words:** Environmental engineering geology, Engineering geological environment, Modern cities, Technologies and problems

[第一作者简介]



李相然(1963年-),男,博士,副教授,主要从事环境工程地质、地下工程、岩土工程的科研与教学工作。  
通讯地址:山东烟台市 烟台大学土木工程系 邮政编码:264005

## 国土资源“十五”科技发展目标确定

从国土资源部有关部门获悉:《国土资源部科学技术发展“十五”计划纲要》现已颁布实施。《纲要》明确指出,今后5年我国国土资源科技发展的主要任务:一是依靠关键技术跨越式发展,推进八大领域的科技进步,即集中中央和地方优势力量,开展土地资源可持续利用、基础地质调查、矿产资源评价与资源安全、矿产资源集约利用与可持续发展、地质环境与地质灾害、西部大开发的资源与环境、国土资源信息化、国土资源管理科学领域的科技攻关,提交一批对国民经济建设、社会发展和国土资源工作有重大影响的科技成果,提高对国土资源管理的科技支撑能力。二是加强技术创新,完善提

高六大技术体系,促进高新技术在国土资源工作中的应用,推动国土资源管理调查的现代化。重点是围绕土地利用调查与监测、矿产资源勘查评价、地质灾害监测与防治、区域地质调查技术创新等工作,建立和完善对地观测、国土资源信息技术、地面及深部探测、地质灾害监测与治理、分析测试与实验、矿产资源综合利用六大技术体系,加强技术集成与整合,开发、引进、消化一批先进实用、配套的高新技术。

《纲要》还对国土资源“十五”科技工作作了具体部署,并就加强海洋与测绘科技发展以及科技体制改革、相关基础研究、科技成果转化与推广、科技创新、人才培养、国际合作与交流等作了相应的阐述。