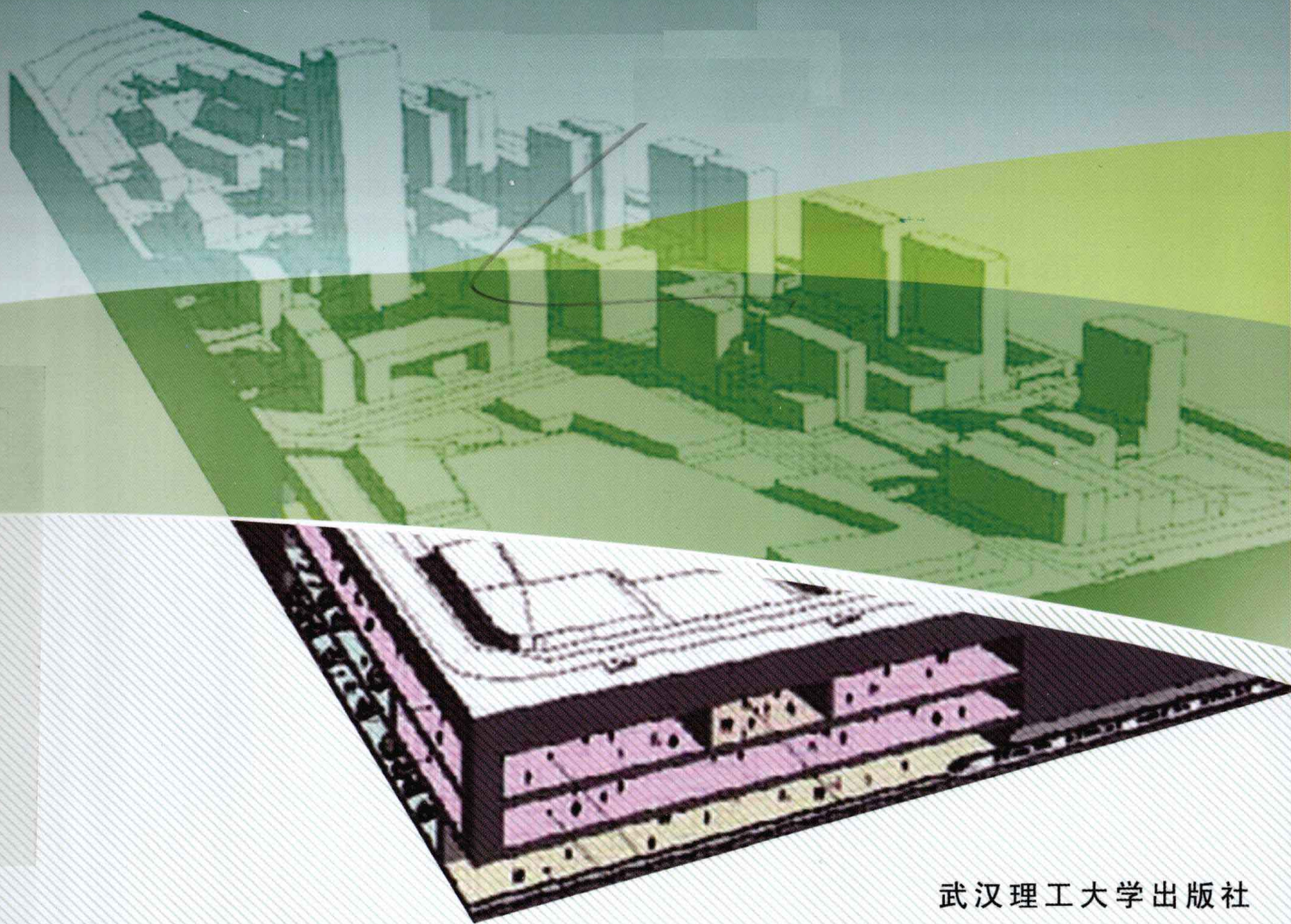


2011

中国城市地下空间开发 高峰论坛文集

中国市政工程协会 武汉市城乡建设委员会 中国武汉工程设计产业联盟



武汉理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

2011 中国城市地下空间开发高峰论坛文集/中国市政工程协会,武汉市城乡建设委员会,中国武汉工程设计产业联盟主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2011. 11

ISBN 978-7-5629-3610-7

I. ① 2…

II. ① 中… ② 武… ③ 中…

III. ① 城市规划-地下建筑物-开发-中国-文集

IV. ① TU984. 11-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 222045 号

项目负责人:蔡德民 高 英

责任编辑:黄玲玲 汪浪涛

责任校对:汪浪涛

装帧设计:牛 力

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:22.75

字 数:756 千字

版 次:2011 年 11 第 1 版

印 次:2011 年 11 月第 1 次印刷

定 价:120.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87394412 87383695 87384729 87397097(传真)

• 版权所有 盗版必究 •

序

逢武昌首义·辛亥革命百年之际,“2011 中国城市地下空间开发高峰论坛”于金秋之时在江城武汉举行。本次论坛云集了业界众多著名专家学者,进行广泛的技术交流,是我国城市地下空间开发利用方面的一次盛会。

近年来,随着我国城市化进程快速推进,城市地下空间开发建设方兴未艾。我国幅员辽阔,各地区之间差别较大,工程地质和水文地质条件异常复杂,给城市地下空间开发和利用提出了更高的技术要求,在地下空间开发建设中出现了诸多技术难题,例如,城市地下空间与地面空间协调发展规划问题、心理环境设计问题、大型基坑工程和软土隧道的结构设计和施工技术问题、地下水治理及周边环境保护问题、地下空间工程安全与防灾减灾问题等,深感欣慰的是业内同仁们将面临的挑战作为发展的机遇,通过持续的探索、研究和实践,使我国城市地下空间的开发利用和地下工程建设设计发展达到了一个新水平。

在这次中国城市地下空间开发高峰论坛上,国内学者、专家和工程人员踊跃撰文,征集论文近百篇,经选编汇成此集。文集涵盖了城市地下空间开发规划、防灾减灾、岩土工程勘察、设计、施工等领域,是我国城市地下空间开发领域科研成果和工程实践经验的总结,充分展现了近年来我国正在稳步提高的城市地下空间开发技术。文章大多来源于国内重大工程实践,涉及北京、上海、天津、广州、杭州、南京、武汉等地的典型地下工程项目,通过对各类复杂的技术难题进行研讨、分析和研究,产生了丰硕的技术创新成果,并形成了实用的标准或工法,是当前业界同仁的智慧结晶和工程建设的宝贵经验,具有很强的实用性和指导性,可供广大从业者参考和借鉴。

顾金才

2011 年 10 月 19 日

前 言

随着我国国民经济的发展,城市建设进程的加快,城市地下空间的综合开发利用越来越受到社会各界的广泛关注,各种新的理念、新的技术、新的管理模式等不断涌现。由中国市政工程协会、武汉市城乡建设委员会、中国武汉工程设计产业联盟联合主办的“2011中国城市地下空间开发高峰论坛”活动,旨在推动城市地下空间开发理念的提升和科学技术管理水平的提高。

《2011中国城市地下空间开发高峰论坛论文集》是“2011中国城市地下空间开发高峰论坛”活动的重要组成部分,共征集到论文近百篇,经过筛选,收录70余篇,内容涉及城市隧道、地下铁道、地下空间建设的规划、设计、施工、风险控制、灾害防治与控制、管理研究与应用技术等方面,总体反映了地下空间开发建设的成就、发展趋势和规律,对我国方兴未艾的城市地下空间开发建设具有较强的指导意义和促进作用。

本论文集在编辑、出版过程中,得到了国内许多建设单位、勘察设计单位、施工企业、行业协会和有关主管部门的积极协助和大力支持,对此,一并表示诚挚的谢意。同时,对所有应征投稿的各界朋友们表示衷心的感谢。

由于文稿数量多,编辑工作量大、时间紧,且编者水平有限,本论文集有不当之处,敬请作者和读者指正。

编 者

2011年11月

2011 中国城市地下空间开发 高峰论坛论文集

目 录

发展篇

城市地下空间抗震性能评价在《武汉市抗震规划》中的考虑与实现	孙 明 谢伟平 王国波(1)
室内基准基床系数测试仪的研制与地下空间应用介绍	陈定安 熊建华(6)
高铁配套综合交通枢纽地下空间设计的启思	张 竹 林 路(10)
软土地区轨道交通地下车站与综合开发接口的结构设计要素探讨	王秀志 朱 红(18)
城市地下空间心理环境的科学设计与政府法规保障	张凯萍(21)
对城市地下空间开发利用的思考	崔 凯(25)
地下空间开发利用与城市交通	刘 博(28)
综合管沟的规划设计及应用前景	杨 斌(30)
城市地下空间开发弃土再生混合轻量土研究	徐光黎 马 郢 贾 伟 刘佑祥(36)

技术篇

钢管隔离桩在地铁沿线建筑物加固中的应用	吴坤标(41)
武汉长江隧道岩土工程勘察难点及措施	万凯军 李大毛(47)
黏土浆液在复合式衬砌隧道背后注浆中的应用研究	夏春蕾 叶 英(50)
超长地下结构温度应力计算及工程应用	王 维(53)
轨道交通高架车站轨道梁垂直落梁施工技术研究	孙华星(59)
陆家嘴塘东总部基地中块地下空间开发项目框架逆作施工工艺的应用	丁 鼎(68)
地铁深基坑施工的现代气压沉箱法及其风险控制	李春阳(74)

城市轨道交通防灾系统的思考与研究	朱 蕾(78)
五院天津基地基础设施配套工程管线工程设计和体会	邢文文(82)
结合工程实例浅谈地道排水设计	陈展弘 曹美娟(85)
桩锚支护+止水帷幕在临江复杂地质超深基坑中的应用	肖德君(89)
自进式中空注浆锚杆在砾岩层中的应用	张利娜 熊 挺 李晋宝(94)
昆明东外环交通隧道停靠区通风设计研究	郭旭晖(98)
苏州火车站地下空间环形车道通风设计研究	庄炜茜(106)
南京南站出站层停车场通风设计研究	陈 生(111)
南村隧道三台阶施工与监控量测研究	申国奎 胡建华(117)
大型地下交通建筑消防设计实践	董乃进(123)
地铁施工中管线改移综合思路及处理方案探讨	李军军(130)
复杂条件下暗挖隧道穿越饱和微压粉细砂层帷幕注浆止水试验研究	张 东(132)
泡桐坪隧道进出口浅埋段偏压条件下施工	刘玉飞(139)
桥式滤水管在地铁车站基坑降水中的应用技术	牛运君 郑立志(142)
φ6.14 m 日立盾构机大修改造技术研究	桂轶雄(145)
全断面砂砾层中盾构刀具长距离掘进技术研究	方依文(148)
中国岩土锚固技术研究进展	陈安敏 沈 俊 顾金才 冯进技 庞伟宾(154)
上海世茂天马深坑酒店深坑边坡支护设计	白彦光 庞有超 查吕应 翟金明(162)
双排桩体系在武汉某软土深基坑工程中的应用	查吕应 庞有超 白彦光 杨大峰 刘国权(168)
管线综合工程设计工作总结	陈展弘(171)
一种应用于“平改立”工程项目的新技术	陈峰军 吴欣之 胡玉银(175)
紧贴多条运营地铁线的先拆后建深基坑工程的变形控制	卜秋华(179)
基坑回弹监测管涌水处理施工技术	陈台礼(183)
盾构隧道多次近距离穿越大直径污水管沉降控制技术研究	裘水根(189)
盾构近距离穿越大直径污水管进洞施工技术	裘水根(200)
浅议武汉地区地下空间建设中的施工技术问题	唐传政 熊秋梅(204)
地铁工程地连墙质量问题的预防及治理	沙 莎 张文佳 赵晓萍(208)
文化中心地下交通枢纽工程钢管柱施工工法	黄 芑(211)
考虑时空效应原理的基坑支护设计与施工技术	刘 剑(216)
泥水盾构穿越大直径供水管施工控制技术	周均立 荣 建 邵 亮(219)
装配式预应力鱼腹梁钢支撑施工技术	赵 琪(224)
地铁隧道穿越饱和动水砂层止水加固技术研究	吕 波 熊 挺(228)
新型锁口钢管桩基坑支护施工技术在人工填海地区的应用	郭志仁 孙圣明 尤宏坤(233)
砂卵石地层旋挖钻机围护桩施工技术	丛欣江 梁 宇(240)
地铁暗挖隧道拱顶穿越粉细砂层施工技术	朱金山 贾宝情(244)
单侧模板支撑体系在地铁明挖车站的应用技术	陈立锦 丛欣江(247)
地铁明挖车站结构细部施工技术	丛欣江 翟雪裴(251)
地铁换乘通道下穿京包铁路施工技术	薛洪松 廖小勇(255)
地铁隧道下穿大直径对接拼装地下污水管线施工技术	薛洪松 王利民(262)
北京地铁 10 号线二期宋石区间隧道近距离下穿京点家常菜楼施工技术	段学锋 廖小勇(267)
高压旋喷加劲水泥土桩锚技术在深基坑工程中的应用	姚颖康 邓利明 刘全林(274)
双排桩支护结构在金地名郡项目地下室深基坑工程中的应用	马 郎 刘佑祥 贾 伟 徐光黎(278)
压力分散型锚索与全喷锚加固技术相结合加固超深基坑的工程实例	张 勇 赵红玲 盛宏光(283)

中一路暗挖汽车通道矩形断面初期支护破除施工技术	薛洪松	廖小勇(288)
上海轨道交通 10 号线的盾构穿越施工技术	马忠政	刘朝明(297)
上海轨道交通 10 号线工程中的穿越近接施工技术	马忠政	张 锋(307)

管 理 篇

某地铁新线车辆运输对既有站台安全门的影响分析与改造	高金辉	(315)
城市轨道交通紧急关闭按钮装置研究	洪海珠 张琼燕	陆晓地(320)
某新建地铁站台绝缘带与屏蔽门设备接口划分方案	张宏林	(325)
连通情况下车库和辅道的投资与管理模式探讨	王 敏	(328)
风险评估在轨道交通建设项目管理中的应用	童莉莉	(331)
城市敏感区域道路隧道工程安全风险的防范与控制	刘艳滨	(337)
上海轨道交通宜山路站超深基坑施工风险控制和管理	沈 尉	(342)
网络化运营环境下票卡管理模式的探讨	李唯珂	顾昌盛(346)
自动售检票(AFC)系统线路中心管理模式的研究	顾昌盛	李唯珂(349)
浅谈轨道交通电子设备维修中的防静电问题	何 杨	(353)

发展篇

城市地下空间抗震性能评价在 《武汉市抗震规划》中的考虑与实现

孙 明¹ 谢伟平² 王国波³

(1. 武汉市城乡建设委员会; 2. 武汉理工大学土木工程与建筑学院;

3. 武汉理工大学道路桥梁与结构工程湖北省重点实验室)

摘 要:武汉市是全国特大型城市,地理位置重要,经济发展迅速,城市地下空间的发展也方兴未艾。在此背景下,武汉市抗震防灾规划(2010~2020)在国内特大型城市的抗震防灾规划中首次将城市地下空间抗震性能评价作为一个专题研究纳入城市抗震防灾规划当中。本文拟从城市地下空间的功能、抗震性能计算与评价、建议等几个方面,详细介绍武汉市抗震规划修编中对城市地下空间的考虑。研究方法和成果对国内其他城市抗震规划可起到参考作用。

关键词:抗震规划 防灾 地下空间 抗震性能

1 武汉市抗震防灾规划的背景

随着城市经济的迅速发展,城市化进程步伐加快,城市抵抗自然灾害的能力也越来越引起人们的关注,其中尤以地震以及由于地震引起的次生灾害所带来的灾害最为突出。因此,诸多城市相继开始了城市抗震防灾规划的编制与修编工作,如沈阳、厦门、合肥、宜昌等。

武汉市作为湖北省的省会,华中地区政治、经济和文化的中心,素有九省通衢的美称,同时长江、汉江以及众多河流湖泊横穿市区,一旦发生地震,后果不堪设想。同时,《武汉城市总体规划(2006—2020)》已修编完成,其中抗震防灾工作是保障城市安全、实现城市发展目标的重要条件之一。另外,武汉市被列为国家地震重点防御区域,应强化抗震防灾工作。在此背景下,武汉市政府从2007年即开始武汉市抗震防灾规划的修编工作,历时4年终于完成。

2008年,市城建委分管领导、专家一行去汶川、成都等地实地考察后发现,城市地下空间的发展速

度迅速,同时其在发挥城市功能方面发挥着重要作用,因此,极富前瞻性地将城市地下空间抗震性能作为城市基础设施下的一个专题研究纳入抗震防灾规划,这在全国特大型城市的抗震防灾规划中尚属首次。

2 城市地下空间的功能

随着我国城市化进程的不断深入,以及限于有限的城市地面资源,城市地下空间在缓解交通压力、拓展城市发展空间等方面发挥着越来越重要的作用。目前,地下空间广泛应用于社会生活的各个方面,如交通、仓储、防空、环保、能源、居住、商业、文化、娱乐、体育、信息、生物、科技实验室等领域。归结起来,城市地下空间主要有以下几个方面的功能:

- (1) 交通:缓解交通压力;
- (2) 防灾:地震、战时等的避震疏散场所;
- (3) 扩容:扩大城市空间;
- (4) 收容:如市政管线的集中管理等;

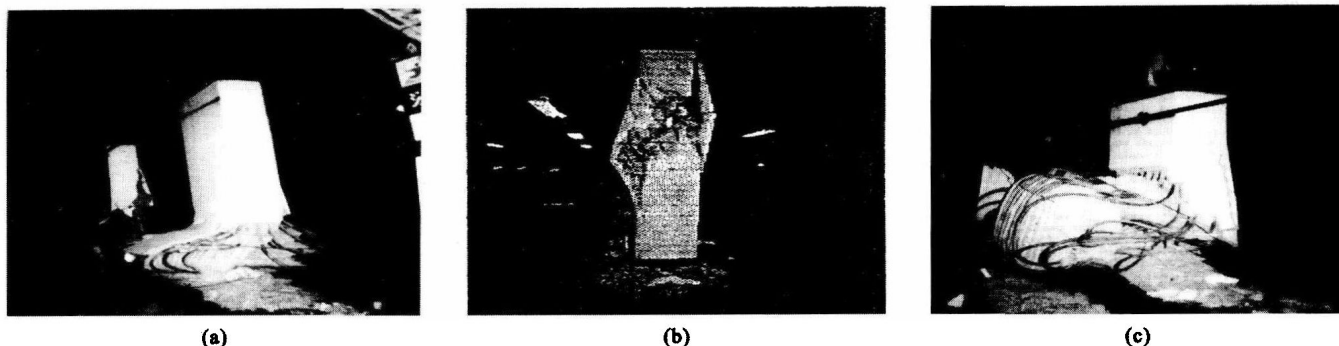


图1 地铁车站中柱破坏形式

(a) 大开站中柱弯曲破坏;(b) 上泽站中柱剪切破坏;(c) 大开站中柱弯剪联合破坏

(5) 保存:在地面上受到严重破坏时保存部分城市功能;

(6) 其他:能源设施、物流、仓储、科研等。

3 城市地下空间的震害

从历次地震中积累了丰富的各类地面结构的震害资料,但对地下结构所受的震害的记录和报道却相对较少,尤其是在1995年日本神户地震以前,地下结构的震害并不引人瞩目。较早的报道大多是针对城市地下埋设管道的震害报道,神户地震后,才开始有关于地铁系统的震害报道,目前关于人防工程的震害报道很少。因此,本文仅给出了地铁系统的震害。

3.1 地铁车站的震害

1995年日本发生阪神地震前,世界范围内历次地震中虽然有关于地下线形结构及小型供水系统结构遭受地震破坏的报道,但关于地铁震害的报道却非常少见,且损坏程度都较轻。1995年阪神地震中,神户市的部分地铁车站和区间隧道遭到不同程度的破坏。其中大开站最为严重,一半以上的中柱完全坍塌,导致顶板坍塌破坏,上覆土层沉降,最大沉降量达2.5 m之多。中柱震害的外在表现形式可大致归结为三类,即弯曲破坏、剪切破坏和弯剪联合破坏,如图1所示。

3.2 地铁区间隧道的震害

神户地震中,明挖区间隧道的震害也较为严重,盾构隧道的震害则很轻微。在大开站和新开站间的全长900 m的区间隧道上,逾90%的区段在左右两侧墙上产生了沿线路方向的裂缝,且有漏水现象。但盾构隧道在震后很快投入了营运,表明:相对于地铁车站而言,盾构隧道的震害较轻。

4 城市地下空间抗震性能评价

“城市地下空间抗震性能评价”作为《武汉市抗震防灾规划》的一个专题研究,根据武汉市地下空间的基本状况(结构型式、地质条件、功能、分布、建设年代等),进行分类统计,对每类地下空间选取典型工程,根据《城市抗震防灾规划标准》(GB 50413—2007)的要求,采用群体评价方法评价武汉市地下空间的抗震性能,最后对地下空间的抗震规划、构造措施等提出相关建议。具体包括如下几个方面:

4.1 典型地下工程的选取

4.1.1 地铁工程

目前施工中的地铁2号线一期工程和4号线一期工程共有车站36座(二号线21个,四号线15个)。根据《城市抗震防灾规划标准》(GB 50413—2007)第6.1.5款关于抽样率的要求(一类工作区不小于5%),只需分析两个车站($36 \times 5\% = 1.8$ 个)。

4.1.2 人防工程

新时期的人防工程也是武汉市地下空间开发利用的主要组成部分,战时是人防工事,平时是地下商场、停车场、仓库、设备房等,平战相结合,目前武汉市人防工程达1000多处,地下建筑面积达300万平方米,其中主要是附建式人防工程,单件式人防工程仅60多个,其中绝大部分作为地下车库,仅少量用作地下商场和地下仓库。

分析对象的选取可从如下几个方面考虑:

(1) 人防工程的选取受限于保密性等特殊情况。

(2) 根据武汉市人防办的要求,2000年以前修建的人防工程正在考虑逐步报废处理,因此,没有

将这类人防工程考虑进来。

(3) 统计资料表明:① 人防工程的结构型式多以包括梁、板、柱的框架结构为主,辅以少量的无梁板结构;② 人防工程主要集中在硚口区、江汉区、江岸区、武昌区和洪山区,而这几个区域也正好位于50年超越概率10%的基岩水平向峰值加速度最大的区域内。因此,可在该四个区域内选取框架结构作为计算分析的样本工程。

(4) 根据《城市抗震防灾规划标准》(GB 50413—2007)第6.1.5款关于抽样率的要求(一类工作区不小于5%),共需分析4个工程($67 \times 5\% = 3.35$ 个)。从上述4个区域中分别各选一个工程(如表1所示),可满足要求。

表1 计算分析的人防工程

区域	工程名称	平时功能	防护等级
江汉区	绿色家园人防工程	地下车库	六级
江岸区	怡菊苑人防工程	车库/设备房	六级
洪山区	武汉礼尚人家人防工程	地下仓库	六级
武昌区	光谷光电电子市场人防工程	地下商场	六级

4.2 地下空间抗震性能评价方法

目前还没有成熟的地下结构抗震性能评价方法,本文基于文献^[4]所建立的以结构变形评价为主,结构受力评价为辅的抗震性能评价方法,对典型地

下工程的抗震性能做出评价,并将评价结果推广,以评价武汉市地下空间的抗震性能。

4.3 地下空间抗震性能评价结果

针对选取的典型工程,建立其三维计算模型,计算结构在不同幅值的武汉人工波作用下的地震响应,主要包括结构的受力和变形以及地震荷载引起的结构内力的增幅。具体计算过程参见文献^[5],本文仅列出计算结果,以便进行抗震性能评价。

4.3.1 人防工程变形验算

人防工程均为地下一层的框架结构。表2为人防工程结构的柱端最大相对水平位移及层间位移角。

(1) 在中震水平的地震作用下,各人防工程的变形均处于弹性阶段(层间角位移均小于1/550),表明这些结构在中震水平下具有良好的抗震性能。

(2) 在大震水平的地震作用下,仅光谷电子市场人防工程的变形(1/517)进入了塑性变形阶段,但小于1/250,即结构安全仍有保障。

由上述可见:由于人防工程层高相对较小,其抗震性能也较好,人防工程满足不同地震水平下的变形要求。

4.3.2 地铁车站变形验算

表3为地铁车站上柱和下柱的最大相对水平横向位移及层间位移角。

表2 人防工程的柱端最大相对水平位移及层间位移角

工程名称	层高(m)	中震*		大震*	
		柱端相对位移(mm)	层间位移角	柱端相对位移(mm)	层间位移角
礼尚人家	3	1.6	1/1875	1.8	1/1667
武汉光谷电子	3	3.6	1/833	5.8	1/517
绿色家园	4	2.1	1/1904	3.5	1/1143
江岸区怡菊苑	4	3.5	1/1143	6.8	1/588

注:※——中震和大震是指武汉市50年超越概率分别为10%和2%。

表3 地铁车站上柱和下柱的最大相对水平横向位移

工程名称	部位	层高(m)	中震		大震	
			柱端相对位移(mm)	层间位移角	柱端相对位移(mm)	层间位移角
金色雅园站	上柱	4	6.5	1/615	10.4	1/385
	下柱	8	13	1/615	19.4	1/412
街道口站	上柱	6	8	1/750	12	1/500
	下柱	8	11	1/727	17.7	1/452

(1) 在中震水平的地震作用下,地铁车站变形均处于弹性阶段(层间角位移均小于 $1/550$),表明这些结构在中震水平下具有良好的抗震性能;

(2) 在大震水平的地震作用下,两车站的变形均进入了塑性阶段(层间角位移大于 $1/550$),但仍位于罕遇地震作用下钢筋混凝土框架结构弹塑性层间位移角的限值内($1/250$),因此,结构安全仍有保障。

由上述分析可见,地铁车站结构可满足不同抗震等级的要求,但需注意的是各地铁车站柱子的变形在巨震时已非常接近其极限状态。

4.3.3 强度验算

由于:① 目前国内外还没有成熟、合理的强度验算方法;② 缺乏各工程具体的配筋情况;③ 上述变形分析表明金色雅园车站的抗震性能最低。因此,本文仅给出金色雅园地铁车站的验算情况,按地铁车站柱子的一般配筋,进行强度验算。

由表4可见:在巨震作用下,金色雅园地铁车站的中柱上会出现部分拉裂纹,抗压强度满足要求,表明结构仍能抵抗大震的作用。

表4 金色雅园车站中柱混凝土强度(单位:MPa)

	强度有效值	抗拉强度	强度有效值	抗压强度
中震	1.15	1.43	6.7	14.3
大震	1.32		9.1	

4.4 评价结果

基于对武汉市典型地下结构地震响应的计算分析结果、地下结构地震反应特点以及震害调查结果,可以得到如下一些结论:

(1) 对于地铁车站而言,选取工程的地理位置包括了江北(汉口:金色雅园站)和江南(武昌:街道口站),土层特性包括了较软地段(金色雅园站)和较硬地段(街道口站),结构形式包括两层三跨(金色雅园站)和两层两跨(街道口站),结构埋深包括4 m和8 m,结构层高包括4 m、6 m和8 m,这些参数(土层和结构)几乎涵盖了目前常见地铁车站结构和周围土层的参数选取范围。另外,金色雅园地铁车站,其周围地质条件较差,且结构跨度和层高较大,沿纵向结构形式还有一定的变化;街道口地铁车站考虑了出入口及墙、板开洞等的不利影响。因此,上述两个典型地铁车站抗震性能的评价结果

可应用于武汉市其他的地铁车站结构。也即:武汉市地铁车站结构具有抵抗中震、大震的抗震能力。

(2) 对于人防工程而言,结构均为地下一层结构,选择的结构分布区域广(江汉区、江岸区、洪山区和武昌区)、结构型式多样(跨度2、3、5、6跨,结构形式纵向有变化)、不同结构层高(3 m和4 m)、较浅的结构埋深(1 m和2 m)以及不同的土层参数,这些参数也涵盖了人防工程中的主要参数,因此,对已计算分析的4个人防工程抗震性能的评价结果可推广应用于武汉市单建式人防工程,即武汉人防工程亦具有抵抗中震和大震的抗震能力。

总之,武汉市区范围内的地下结构绝大部分位于地震动加速度较大的IIA和IIIA区域,结合计算结果及神户地震震害调查结果(区间隧道在地震动加速度最大值超过了1 g时仍只有轻微破坏),可以认为武汉市的地铁工程和人防工程具有足够的抗震能力,可以作为避震疏散的场所。

5 建议

上述计算分析已表明武汉市区内的地下结构(地铁车站和人防工程)已有足够的抗震性能,可以作为避震疏散的场所,但尚需考虑相关配套设施,以确保其避震疏散的功能,主要包括:

5.1 结构方面

(1) 应做好地下建筑结构的城市用地规划,做好选址工作,尽量避免通过软弱地基、避免结构覆土厚度急剧变化、避免隧道曲率过小等对结构抗震不利的因素。

(2) 与地面结构的抗震设计类似,地下结构也应进行抗震概念设计,如地下结构的建筑布置应力求对称、规则、平顺,形状和构造不宜沿结构的纵向经常变化、结构的侧向刚度宜均匀变化、竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小,避免抗侧力结构的侧向刚度和承载力突变等。

(3) 地面结构抗震设计经验表明:抗震构造措施十分重要。对于地下结构而言,同样需做好必要的抗震构造措施。

5.2 规划方面

地下空间的开发应与城市的防空防灾系统进行统筹考虑。地下空间作为重要的避难、避灾设施和场所,其开发要与城市的综合防灾系统、防空系统之间进行有机衔接,确保平时、灾时、战时的转换

利用。同时应加强城市总体规划、人防工程规划及相关规划的衔接和协调,使规划内容具有可实施性。

地下建筑的规划建设要与城市地上建筑有机结合起来,合理确定地下结构的位置、防火间距、消防车道、疏散口位置和消防水源等。

5.3 出入口

震害调查表明:只要通向地面的竖井和出入口不被破坏或堵塞,地下结构基本上是安全的。由此可见,地下结构出入口对地下结构的重要性不一般。

因此,出入口的设置首先必须满足相关国家规范的基本要求,如《人民防空地下室设计规范》(GB 50038—2005)和地铁设计规范(GB 50157—2003)。同时应满足出入口的选址、数量、尺寸、标识以及构造等方面的要求。

参考文献

- [1] 孙辉. 武汉市城市地下空间开发利用研究[D]. 武汉:华中科技大学硕士学位论文,2005.
- [2] 王国波. 软土地铁车站结构三维地震响应计算理论与方法研究[D]. 上海:同济大学博士学位论文,2007.
- [3] 马险峰. 地下结构的震害研究[D]. 上海:同济大学博士学位论文,2000.
- [4] 王国波,谢伟平,孙明,刘卫国. 地下框架结构抗震性能评价方法的研究[J]. 岩土工程学报,2011,33(4):593~598.
- [5] 城市地下空间抗震性能评价课题组. 城市地下空间抗震性能研究专题研究报告[R]. 2009.

6 结语

论文详细介绍了《武汉市抗震规划》编制是如何考虑城市地下空间抗震性能评价的,其中包括城市地下空间的历史与规划、地下空间的功能、地下空间的震害、地下空间抗震性能的评价以及相关建议等诸多方面。该编制思路和成果可为国内其他城市抗震规划的编制工作提供参考和借鉴。

7 致谢

本文的研究工作得到了武汉市城乡建设委员会2009年建设科技项目“武汉市抗震规划编制”之专题研究“武汉市地下空间抗震性能评价”的资助,在此深表感谢。同时,还要感谢武汉市人民防空办公室以及武汉市勘测设计研究院在资料收集上给予的大力帮助,在此一并表示感谢!

室内基准基床系数测试仪的研制与地下空间应用介绍

陈定安 熊建华

(中冶集团武汉勘察研究院有限公司)

摘要:本文介绍研制的室内测定基准基床系数测试仪器与测试方法,陈述了该测试仪在地下空间开发中的应用价值。

关键词:基床系数 等应变 等固结度 模型

1 前言

随着我国经济的快速发展及农村人口城镇化的步伐加快,全国各大城市为了解决城市人口膨胀、住房困难、用地紧张、环境污染及交通堵塞等共同问题,不约而同地加快开发地上空间和地下空间,以满足人们日益增长的刚性需求。各种深基础、大跨度的地铁隧道等建设对岩土工程提出了更高的要求。

到目前为止,基础沉降计算仍是地基基础工程难题之一,一百多年来,很多专家学者都对此作出过贡献,但至今还没有完全解决。尤其是超高层建筑深基础、各种复杂地质条件下的地下洞室。如武广高铁设计计算的工后沉降为 20~30 mm,而实测工后沉降仅为 5~10 mm,武汉地铁隧道在设计计算的基床系数基本采用经验值,计算配筋量较大。随着各种实例工程实测数据的增多,这些问题必将受到岩土工程界的高度重视。

当前用于深基础沉降计算的地基模型主要有:文克尔地基模型、弹性半空间地基模型、分层地基模型、双参数弹性地基模型、层向各向同性体模型、非线性弹性模型等。很多实例计算与测试结果表明,计算结果的精度取决于土性参数的选择,上述模型中用到的主要参数有文克尔基床系数、土的泊松比、土的变形模量与压缩模量等,它们的取值非常重要。

原位 K_{30} 荷载试验是当前获得标准基床系数的唯一标准方法。随着基础设施投资规模的不断扩

大,地铁隧道、深基坑、超深基坑越来越多,原位 K_{30} 荷载试验测定基床系数受到很多客观条件限制(如工期、地层埋深大、费用高等),现实中难以实施。

《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》(GB 50307—1999)规范中提出的采用三轴试验和固结试验方法确定基床系数的方法无法令人满意,其试验值很难用于工程,尤其是采用固结试验得出的基床系数值随变形变化的规律性与工程实际基床系数的变化规律更是截然不同。笔者 2002 年至 2005 年在武汉长江隧道、天津地铁等工程试验测试中,运用《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》(GB 50307—1999)中提供的室内试验方法系统研究并比较了三轴试验、固结试验与原位 K_{30} 试验测定基床系数的方法,结果发现固结试验与原位 K_{30} 试验测定的结果竟相差 5~10 倍!且这两种方法的室内试验的边界条件与 K_{30} 荷载试验的边界条件差异很大,很难建立起前者测定值与 K_{30} 试验标准值之间的关系。

研制出科学的室内基准基床系数测试方法与测试仪器,既是工程测试的现实需求,又具有较大的经济与社会价值。我公司科研人员经过多年的努力,研制了国内首台基准基床系数测试仪并编制了相应的标准测试方法,该课题成果已于 2009 年 12 月通过了中国冶金科工集团组织的部级鉴定:“本项研究开创性地研制了室内基床系数测试装置和方法,测试装置已获得实用新型专利权,是岩上

工程技术领域的一项创新成果。该成果总体上达到国际先进水平,通过中冶集团科技成果鉴定,建议继续进行更多的试验比对工作,尽快推广应用,并拓展适用范围”。

近几个月我们又进行了一些完善与拓展工作,在此将我们所做的一些工作与广大同行交流探讨,希望在争论中共同推动测试技术的发展与进步,为武汉市地下空间的开发与利用尽微薄之力。

2 测试装置

试验装置由特制的试验容器(图1)、垂向加载系统、全自动液压侧压稳压系统、垂向变形量测系统等组成。

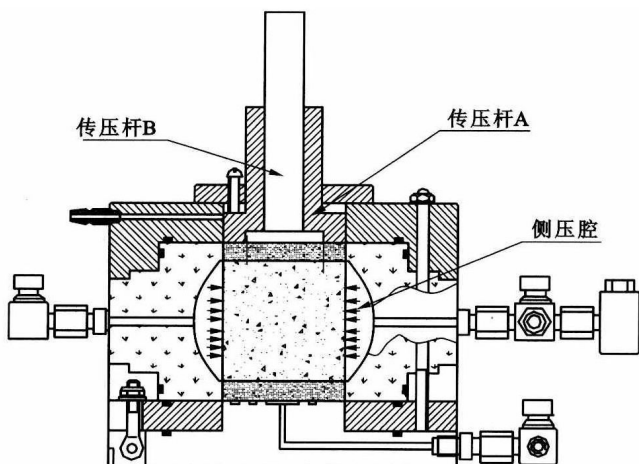


图1 特制容器原理图

特制试验容器设计两套,一套适用于直径为95~102 mm,高度120~160 mm试样;另一套适用于直径为145~150 mm,高度120~160 mm试样。试验容器有两套独立的加压系统,垂向压力与侧向压力分别施加互不关联。

垂向压力设计成两套加荷方式,在恢复原位应力状态时,通过传压杆A及传压杆B进行全断面加载,在基床系数试验测试时通过传压杆B进行局部断面加载。压板直径为5.0 cm。液压稳压器最大压力2.0 MPa,稳压误差小于1%,砝码质量误差小于0.2%。上部透水板由一块大圆环与一块小圆环组成。

3 试验方法

将试验容器按要求装配好,往压力腔容积调节管中注满脱气水(图2),排除压力腔全部空气。打开进水阀,往压力腔中注满水,排除气泡。将校正块(直径100 mm或150 mm、高度160 mm)放入容

器,按100 kPa/min施加侧压力,直至800 kPa,保持800 kPa压力20~30 min不漏水即可。取出校正块,将试样按要求放入容器,使乳胶膜紧贴试样,并产生3~5 kPa接触压力,关闭进水阀,对试样施加自重固结压力。自重固结完成后,开启液压稳压器,让侧压稳定在试样在原位受到的实际侧压力上并安装位移传感器。注意:在施加原位自重压力时,圆环部分的压力施加在传压杆A上,中间圆形部分力施加在传压杆B上。

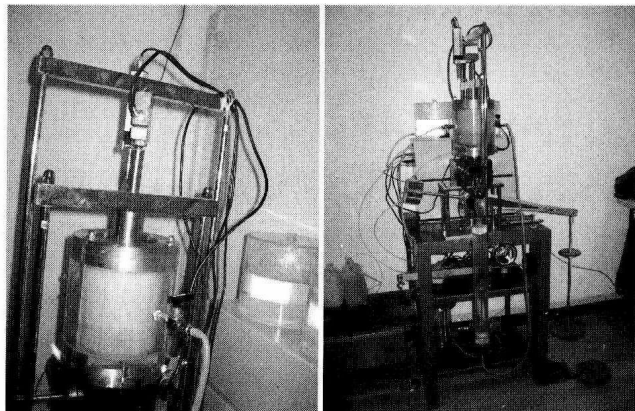


图2 测试仪实景

当采用浅层载荷试验弹性力学公式计算变形模量与基床系数时,先卸去全部施加的垂向自重固结压力,同时测记回弹量。回弹基本稳定后,传感器归零。通过传压杆B对试样分级加载,直至试样破坏。加载级数,在出现拐点前不少于5级,总级数不少于10级。

当采用深层载荷试验弹性力学公式计算变形模量与基床系数时,直接将传感器归零后,通过传压杆B对试样进行分级加载,直至试样破坏。加载级数,在出现拐点前不少于5级,总级数不少于10级。

4 试验原理

本套试验仪相当于一套能精确控制边界应力条件的室内模拟载荷试验装置,属于宏观的模型试验的范畴,其测试结果必能较好地反映各种地基土真实的复杂的力学特性。由于模型试验与实际载荷试验尺寸效应的差异,其试验结果虽能真实反映地基土在荷载作用下真实的变形特征,也不能直接应用。必须将其换算成标准的测试结果才有实用价值。

基床系数本身就是基础尺寸的函数,设计计算的取值是按基础尺寸的大小及形状对 K_{30} 标准值进行换算而得。用 K_{30} 以外的任何测试方法测得的基

床系数值只有与 K_{30} 值等效才有实用价值。

在《工程地质手册》(第四版)和《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)中测试基床系数的标准方法是用直径 30 cm 载荷板在原位对土体分级施加竖向荷载,每级荷载在连续两小时每小时的变形均不大于 0.1 mm 判为稳定,取临塑荷载前直线段斜率或变形为 1.25 mm 时的应力与变形的比值(即 $P_{1.25}/1.25$)或临塑荷载一半时的 P/S 值作为基床系数。在规范中给出了 E_0 两个计算公式:

浅层平板荷载试验:

$$E_0 = I_0(1-\nu^2)\frac{Pd}{S}$$

深层平板荷载试验:

$$E_0 = \omega \frac{Pd}{S}$$

式中 E_0 ——土的变形模量;

I_0 ——刚性承压板的形状系数;

ν ——土的泊松比;

d ——承压板直径;

P —— P ~ S 曲线线性段压应力;

S ——与 P 对应的沉降;

ω ——与试验深度和土类有关的系数。

由固结理论可知,均匀饱和土体,在固结度完全相同时,其固结系数、压缩模量、变形模量是土体的固有参数,在相同的应力路径下是个常量(前提是只适用于土体发生破坏之前的压密变形)。据此可总结出两点:① 相同性质的土层在相同单位荷载作用下由一种状态到另一种状态,如果固结度变化相同,则土的变形模量相同;② 相同性质不同厚度的土层,在相同单位荷载作用下,达到相同固结度时,所用时间不同,但固结系数是相同的。因此只要能用室内试验准确合理地测得相应的土体变形模量,即可计算出该土层标准的 K_{30} 值。

假如土层是完全均质,不考虑细微构造的差别,结合当前取土器技术标准,在室内用直径为 5 cm 的压板进行与 K_{30} 相同的边界条件及应力路径的模拟荷载试验,如果控制方法恰当,应该能得到与 K_{30} 试验等效的 P/S 值或者 E_0 值,关键是如何确定控制方法。

5 测试控制方法与计算公式

5.1 等应变控制

在试验中,如果让 K_{30} 试验与模拟荷载试验在相同的单位荷载作用下,分别按每小时应变增量相

等作为稳定判定标准,则二者 P/S 值之间有个固定的量的关系,只是分别达到稳定时,二者的固结度不一样,厚度大的固结度低,厚度小的达到的固结度高。

K_{30} 载荷板直径 $\phi=30$ cm,模拟荷载试验压板 $\phi=5.0$ cm。

K_{30} 稳定标准为每小时变形小于 0.1 mm,令模拟荷载试验稳定标准为每小时不大于 X ,取压缩层厚度为两倍载荷板直径,则: $\frac{0.1}{60} = \frac{X}{10} \Rightarrow X = \frac{1}{60} = 0.017$ mm。结合当前的固结试验稳定标准,取 $X=0.01$ mm。

取模拟荷载试验按每小时变形增量不大于 0.01 mm 作为稳定标准,测得的 P - S 曲线上应变为 0.21% 对应的单位压力与 1.25 mm 的比值与 K_{30} 采用每小时形增量不大于 0.1 mm 所得基床系数值的相当值。

5.2 等固结度控制

不同厚度的均质土层,在相同单位荷载作用下,达到相同固结度,所用时间不同,但固结系数是相同的,且时间因素是个常量。

K_{30} 载荷板直径 $\phi=30.0$ cm,压缩层影响深度按 $2\phi=60.0$ cm 考虑;模拟载荷板直径 $\phi=5.0$ cm,压缩层厚度按 $2\phi=10.0$ cm 计。两者均按单面排水考虑,则:

$$T_{v30} = \frac{C_v t_{30}}{H_{30}^2} \quad T_{v5.0} = \frac{C_v t_{5.0}}{H_{5.0}^2}$$

式中 C_v ——固结系数;

$T_{v30}/T_{v5.0}$ —— K_{30} 试验或室内模拟荷载试验的时间因素;

$t_{30}/t_{5.0}$ ——达到某一固结度 K_{30} 试验或室内模拟荷载试验所需要的时间;

$H_{30}/H_{5.0}$ —— K_{30} 试验或室内模拟荷载试验的排水距离。

因为, t_{30} 按规范采用每小时变形不大于 0.1 mm,所以 $t_{5.0} = \frac{60 \times 10^2}{60^2} = 1.67$ 分钟。

故模拟荷载试验采用每 1.67 分钟(取 2 分钟)变形不超过 0.1 mm 作为稳定标准测得的变形模量与 K_{30} 试验等效。

以浅层平板荷载试验为例:

由浅层平板荷载试验变形模量计算公式 $E_0 = I_0(1-\nu^2)\frac{pd}{S}$,得:

$$I_0(1-\nu^2)\frac{P_{30}}{S_{30}}d_{30}=I_0(1-\nu^2)\frac{P_{5.0}}{S_{5.0}}d_{5.0}$$

$$\text{式中 } \frac{P_{30}}{S_{30}}=K_{30}, \frac{P_{5.0}}{S_{5.0}}=K_{5.0};$$

$$K_{30}=\frac{1}{6}K_{5.0} \quad (1)$$

也即是将模拟浅层载荷试验相应压力的变形量放大 6 倍,即与原位 K_{30} 曲线等效。

同理可推得模拟深层载荷试验与深层平板载荷之间的关系。

深层平板荷载试验:

$$E_0=\omega\frac{Pd}{S}$$

$$\text{式中 } \omega=I_0I_1I_2(1-\nu^2)Pd/S;$$

I_0 ——刚性承压板的形状系数。

$$I_1=0.5+0.23\frac{d}{s}$$

$$I_2=1+2\nu^2+2\nu^4$$

$$K_{30}=\frac{115+0.5Z}{690+0.5Z}\times k_{5.0} \quad (2)$$

式中 Z ——土的实际埋深(m)。

当埋深为 0 时,与浅层载荷试验相同,实际当试样埋深在 20 m 以内时用(1)和(2)两公式计算的结果相差不大,也可以仅用(1)式换算。

6 实测试验资料

表 1 中的数据是原位 K_{30} 试验与在相同层位采取的原状试样进行的按等固结度控制的室内试验成果对比表。从表中的数据可以看两者的测试结果基本一致,且在相关规范推荐值范围内。这说明采用等固结度控制的室内试验方法是可靠的。

表 1 原位测试与室内试验成果对比表

试验点/试样深度	统计	液限	塑限	塑限指数	液限指数	K_{30} K 值	等固结度 K	规范推荐值	土的类别
m						MPa/m	MPa/m	MPa/m	
1.00~6.00	最大	39.9	24.7	16.1	1.42	13.2	13.7	5~10	淤泥质粉质黏土
	最小	32.6	19.0	10.6	1.06	7.5	7.8		
	平均	37.0	22.5	14.5	1.23	9.5	9.9		
	件数	23	23	23	23	13	13		
1.00~6.00	最大	38.6	23.6	16.5	1.28	24.6	24.9	10~20	粉质黏土
	最小	32.1	20.1	10.6	0.63	8.7	8.0		
	平均	35.6	21.9	13.7	0.91	15.4	16.3		
	件数	21	21	21	21	13	16		

7 总结

本仪器是为室内测定基准基床系数而研制的,在文中笔者给出了等应变与等固结度两种控制方法。等固结度控制仅适用于饱和细粒土,且经过多次验证试验,该方法是可靠的。等应变控制适用各类最大粒径不大于 5 mm 的土层,其可靠性有待进一步验证与完善。

参考文献

- [1]《工程地质手册》编委会.工程地质手册(第四版).北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2]岩土工程勘察规范(GB 50021—2001)
- [3]上海市岩土工程勘察规范(DGJ 08—37—2002)
- [4]地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范(GB 50307—1999)

本仪器虽是为室内测定基准基床系数而设计制作的,但其能很好地模拟土层在原位所受的应力状态,可以用来测定变模量、回弹模量、静止侧压力系数等变形参数等。同时它又是一试验模型,可以用来研究基底下压缩层厚度与基础宽度的关系、基坑底部土层回弹的影响深度及压力扩散角等。

高铁配套综合交通枢纽地下空间设计的启思

——以沈阳南站市政交通工程为例



张 竹 林 路

(上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司)

摘 要:随着城市化进程的不断发展和中国铁路大提速时代的到来,与高铁站配套的地下交通综合枢纽的设计和运作模式显得越来越重要。本文以沈阳南站高铁配套东西广场枢纽综合交通工程为例,针对其地理区位、建设背景、建设条件进行分析,立足其地下空间的重要特征,本着以人为本的设计原则,提出了针对沈阳自身气候特点的以人为本的新型城市综合型、复合型、资源节约型及环境友好型交通枢纽的设计开发方案,作为大型城市高铁站配套交通综合枢纽工程方面的设计案例,为相关人员提供借鉴与参考。

关键词:高铁综合交通枢纽 地下空间

0 引言

“如果地球上所有人都按照欧美生活方式生活,全世界每年所消耗的物质资源相当于地球每年被剥去 5 mm 后的皮,这些物质装在现代化的列车中,总长可绕地球 3250 圈,而这些物质中的 30%~40%被转化为高楼大厦、道路、厂房及其他供享受的消费品。”

——“地球剥皮运动”(1988 年德国著名生态学者 Stefan Brinzeu)

按照这样的剥皮速度,地球人口不断增加,有限的水资源、森林面积、粮食危机、恶化的环境和不可再生的化石燃料,是否在叱问我们:“我们要怎样活着?”近两三年地震频发、海啸来袭、旱涝不均、土地退化又是否在检验人类可持续发展的成果?自 1863 年英国伦敦建成世界上第一条地下铁道为标志,现代城市开始了城市地下空间的开发和利用,以此作为解决城市化所带来的“城市病”的一种发展模式。中国也于 20 世纪中叶对地下空间展开了大规模有计划的开发利用,而中国的城市化的速度也促使很多大城市不得不向地下要空间来发展城市,因此,城市发展中的矛盾和可持续发展的要求促使工程项目要对地下空间进行充分的挖掘和利

用。这也是沈阳南站市政交通工程项目最根本的设计依据和原则。

1 项目背景

沈阳南站工程是国家发改委正式批复沈阳经济区为国家新型工业化综合配套改革试验区,沈阳经济区上升为“国家战略”,沈阳市将东陵区、浑南新区、航高基地三区合署办公,揭开“建设大浑南、迎接全运会”的序幕,全面启动大浑南开发建设的重要组成部分,它也是沈阳铁路枢纽的三大主要客运站之一。沈阳南站位于浑南新区白塔街道小羊安村,衔接哈大、沈丹、京沈客运专线及沈大、沈抚城际铁路,地铁 4 号线和 10 号线呈南北和东西走向贯穿于此。沈阳南站占地 1.5 平方千米,为 12 座站台 22 条铁路线(此外还有 4 条直通铁路线,不经停),在经停的 22 条铁路线中,6 条为城际线。

沈阳南站市政交通工程则是与沈阳南站共同构成沈阳市对外交通的崭新门户,是集高铁、地铁、城际巴士、公交为一体的区域性综合交通枢纽区,它主要服务高铁客流,方便内外交通的对接和转换;利用地下空间,实现“立体交通,零换乘”;美化地面环境,塑造高品质的城市门户形象;完善服务配套。