



城市环境土工学

孙 钧 等著

上海科学技术出版社

城市环境土工学

孙 钧 等 著

上 海 科 学 技 术 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

城市环境土工学/孙钧等著. —上海:上海科学技术出版社, 2005. 6
(地下工程技术专著丛书)
ISBN 7-5323-7829-2

I. 城… II. 孙… III. 城市-地下工程:土木工程-研究 IV. TU99

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 129210 号

世纪出版集团 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

新华书店上海发行所经销

上海中华印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 31.5 插页 4

字数 750 000

2005 年 6 月第 1 版

2005 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—1 800

定价: 138.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内 容 提 要

本书是一部讨论在诸多大城市工程建设中因各类地下工程与软土隧道施工活动带来工程周近环境土工公害及其施工变形预测和控制等方面一系列环境维护与安全问题的学术专著。

本书是作者们近 20 年来参加上海市和其他一些城市地铁车站、高层建筑物和悬索大桥锚碇结构的深大基坑、盾构法施工的地铁区间隧道(含交叠隧道)、大型顶管、桩基和沉井工程等隧道与地下工程重大建设项目有关科研、设计和施工这一环境土工学领域,以及相邻建(构)筑物先后施工相互影响问题等方面的研究成果和系统性总结。本书内容还重点涉及并探讨了:地下工程与隧道工程中受扰动土体力学性态的变异,深大基坑与盾构法隧道施工变形预测与控制的人工智能方法,以及盾构掘进施工的多媒体视频监控技术等许多方面。

本书述及的一些内容和研究方法就其研究广度和深度在国内外尚属少见,成果具有相当的创意特色,相信对我国城市工程活动的环境土工学问题在理论与实践两方面均将有一定的推动和助益。

本书可供从事城市市政工程建设的广大设计、施工和科学研究人员参考、使用,也可供相关专业的高等院校师生学习、借鉴。

出版说明

科学技术是第一生产力。21 世纪,科学、技术和生产力必将发生新的革命性突破。

为贯彻落实“科教兴国”和“科教兴市”战略,上海市科学技术委员会和上海市新闻出版局于 2000 年设立“上海科技专著出版资金”,资助优秀科技著作在上海出版。

本书出版受“上海科技专著出版资金”资助。

上海科技专著出版资金管理委员会

作者学术简历



孙钧,男,祖籍浙江绍兴,1926年10月生于苏州。1949年5月上海国立交通大学土木工程系毕业。早年(1954~1956)随苏联桥梁专家 И. Д. 斯尼特柯教授学习,并担任专家技术口译,修毕副博士学位课程并写作论文。1980~1981年间去美国留学,在北卡州立大学任高级访问教授。

20世纪50年代,在同济大学工程力学和桥梁工程专业任教;自1960年起从事工程结构、隧道与地下工程专业的教学、科学研究,并承担工程任务,迄今已逾40年。在地下结构黏弹塑性理论、岩土流变力学和防护工程抗爆动力学等子学科研究方面有相当学术造诣;近10余年来又开拓了城市环境土工学和软科学的理论与方法在岩土力学与地下工程中的应用等两方面的科学研究,也已有新的进取。

从20世纪80年代初叶起,结合承担国家基金和部委、省市基金课题、国家各个五年计划重点科技攻关项目和负责或参加重大工程建设与科研任务,在水工、矿山、铁道、公路、市政、国防和人民防空等工程部门的岩土与地下工程建设中共完成有关工程科研、勘测和设计项目40余项,撰写学术论文260余篇、专著8部,研究成果应用于工程实践,取得了巨大的经济效益和社会效益。

在教学工作方面,除早年培养本科生外,20世纪80年代初起,培养硕士、博士研究生120余名,并出站博士后16名。

曾先后获国家级科技进步二、三等奖3项,部委省(市)级一、二、三等奖14项,由国外和知名人士个人颁发的基金一等奖各1项,连同其他奖励共计20余项。

1979年在同济大学升任教授,1991年任中国科学院技术科学部学部委员(1993年后改称院士)。现担任同济大学校务委员、地下建筑工程系名誉系主任、同济大学科学技术研究院重点学术梯队学科负责人。

序

承老友孙钧先生寄来他的学术新作《城市环境土工学》一书的样稿,嘱我评阅,并邀约我为这部专著的书首写一点文字,我深感荣幸和高兴。

早在解放前夕,孙院士毕业于上海交通大学土木工程学系,以优异的成绩留校任教,1952年院系调整来同济大学。他青年时期从事力学与工程结构方面的教学工作,后又师从前苏联专家,修毕全部副博士课程和写作学位论文;同时担任专业口译,接专家衣钵教授钢桥设计和桥梁施工、计划与组织等专业课程,并积极开展科学研究。20世纪50年代后期,同济大学兴办国内第一个“隧道与地下建筑工程”本科专业,他受命负责组建专业教研室,从此与隧道及地下工程学科结缘,迄今已历近50载。几十年来,他在该学科技术领域潜心进取、默默奉献,结合承担我国多个五年计划的重大科技攻关任务和国家与省市级自然科学基金的许多研究项目,学术上有深厚造诣,也为我国的岩土力学与工程建设、特别是隧道与地下工程事业作出了出色的成绩和贡献,堪为学术界的楷模。

《城市环境土工学》一书是孙院士及其所领导的研究集体近20年来在该子学科领域钻研不懈、全身心地投入到国内诸多城市市政工程建设事业的研究成果结晶,是一部在该领域理论密切联系实际学术专著。综观全书,其研究工作的广度和深度在国内外均属罕见,具有十分明显的创新特色。我认为最值得称道的是该书的学术理念集中地反映在:对工程和生产实践中涌现出来的众多技术难题的研究,不局限于就事论事、只满足于一般的工程可用解,而是经过提炼和升华,力求从问题的本质与机理上深化理解和认识,从而得到更具科学意义而又实践上可行的解决方法。他不企求将理论所获在国内外的专业文献上匆促见刊,而是注意将阶段性的研究成果再次提交于工程实践,以求检验与论证,并进而反馈于研究,以做进一步的修改和完善。他认识到,只有经过实践论证和检验,才能得出行之有效的科学成果,最终完成一项研究的整个循环。我与孙院士在技术业务上切磋探讨,交往数十年,深深感到他这种做学问的思想方法完全符合“实践—理论—实践”这一认识论的基本观点。这一理念在本书中得到了很好的贯彻执行,是十分难能可贵的。

全书共13章,近百万字。研究内容几乎涵盖了当前城市环境土工问题的所有重要方面。10多年来,我国诸大城市由于工程建设事业的发展,各种高层建(构)筑物、地下铁道

和市政工程大规模兴建;与此同时,一系列的环境土工公害问题也随之十分突出。对其进行有效的预测和工程险情监控是非常迫切和必要的。本书除采用传统的数值仿真分析以模拟施工全过程中工程周近土体的力学行为及其变形、沉降性态以外,还重点研讨了各类地下工程与隧道施工中受扰动土体力学属性的变异、深大基坑与盾构法隧道施工变形的智能预测和控制,以及盾构推进中的多媒体视频监控新技术方法等。这些研究成果必将在相当程度上有助于工程环境的维护与安全。值兹新书付梓问世,我乐见其对我市及其他城市基本建设的贡献,并供广大读者同行们参考学习与借鉴,这是可以预期的。是为序。



2004年早秋佳日,于上海

刘建航先生,中国工程院院士、教授级高工,上海市建设委员会科学技术委员会副主任,上海市地铁建设总公司科技委员会主任,同济大学客座教授、博士生导师,原上海市政工程管理局总工程师。

前 言

多年以来,我国的改革开放迎来了各大城市基本建设事业的蓬勃发展,就地下工程方面言,诸如:高楼深置基础的桩基和基坑工程、地下铁道车站和区间、跨越江河的水底隧道、地下过街通道和各类软土隧道、地下商场和商业街、人防地下建筑物、地下车库和各种地下贮库,以及地下沉井泵房与污水治理工程中采用的浅埋、大直径顶管工程等,门类各异,不一而足,掀起了大规模兴建的热潮。这些大型地下工程在市区地域内施工建造,其与工程周近原有的相邻建(构)筑物(特别是受保护的纪念性建、构筑物 and 浅基民居等)、道路路基和路面、各种用途的地下管线(特别是煤气管、污水管与信息管线如光缆、电缆等),以及立交、高架和已建、正建的地下铁道区间隧道等将不可避免地相互干扰,从而经常导致一系列的城市环境土工问题。以上海市为例,据不完全统计,由此带来的土工“损伤”(Soil damage)与公害或其他不利影响,每年约有百数十起,有的问题还十分突出,除了巨额经济损失外,工期延误和质量事故也是相当可观的。因此,在工程设计、施工过程中,在维护工程自身安全的同时,如何兼顾周邻环境土工的安全,已成为一项迫待解决的当务之急,这也是业界人士的共识。诚然,最近一段时期,由于施工技术和机具设备的进步,特别是工程人员设计、施工实践经验的积累和丰富,上述环境维护与安全问题总体上已有了一定程度的缓解,顺利地克服了许多过去不敢奢望解决的困难;但对遇到的不少复杂情况(书中第一章),则尚待在环境土工变形特征和工程力学机理上进一步的深刻理解。运用现已研究掌握、并又行之有效的有关土体移动预测、工程险情预报及其施工变形控制的理论、方法与技术手段,再图谋求问题的更好解决。

从 20 世纪 80 年代后期起的近 20 年来,笔者和所在的研究集体一起,在承担与以上所述问题有关的工程科研任务(计共 13 项)的同时,完成了“八五”和“九五”重点科技攻关项目、国家自然科学基金重点和面上基金课题,以及建设部、教育部、上海市科委、建委的重点和面上基金课题共 11 项,撰写学术论文和研究报告 170 余篇(份),先后分别获部委和省市级科技进步一、二、三等奖励 5 项。针对上述的各种城市环境土工问题,作为解决此类工程问题的理论基础,研究工作试从受工程施工扰动土体力学属性的变异(书中第二章)着手,在书中较深入、系统地探讨了各种地下工程施工活动引起土体移动与其变形位移的施工力学机理,阐述了传统的多种数值模拟分析方法(书中第三至第九章);书中的后半部分又撰述了近 10 多年来所开拓的智能科学的理论与方法在软土地下工程中的应用(书中第十至第十二章),并有了一些方面的创意与进取;进而结合多处工程实践,探索了对地下工程(以盾构施工隧道为例介绍)施工多媒体视频监控技术的工程实施(书中第十三章)。鉴于以上各项研究的

内容和方法在国内外现有的文献报道中尚未多见,故此不揣简陋,有意将这一子学科领域的一些研究成果汇集成书。承上海科技专著出版基金管理委员会的鼎力资助和上海科学技术出版社、上海市城建集团的大力支持,以及笔者所在研究集体各位同仁与现已毕业的笔者的研究生学友们在提供研究素材等方面的慷慨协助,使本书终得以付梓问世,以飨读者。如果拙著能供广大同行在工作中参考借鉴并有所助益,将是笔者们由衷的意愿。

本书前言、第一章和结束语由孙钧写作;其他各章,除由孙钧主持、搜集素材并校阅和定稿外,参加各章撰述、提供并引用研究成果材料,以及协助整理成文的各位作者主要有:第一章:朱忠隆博士;第二章:徐永福、张孟喜、赵永辉博士;第三章:周公佐博士,胡中雄、董建国、张庆贺教授,许清侠硕士,赵永辉博士;第四章:李强、易宏伟博士,曾德顺、靖洪文教授;第五章:方从启博士;第六章:邱柏华硕士,赵永辉博士;第七章:衣振涛硕士,赵永辉博士;第八章:赖允谨、李希元、谢宁博士;第九章:徐林生、刘洪洲博士,赵其华教授;第十章:熊孝波博士、阮文军副教授;第十一章:袁金荣、熊孝波博士,赵其华教授;第十二章:胡向东副教授、朱忠隆、安红刚博士;第十三章:安红刚、周希圣博士,等等。全书文稿和附图均承研究所文秘颜宝新女士费心整理并打字。对于以上各位的辛勤劳作和他(她)们对本书的贡献,本人作为撰著本书的主持人,谨在此深致谢意。

在与本书有关项目的研究工作中,长年得到国家自然科学基金委员会和上海市各有关主管单位以及工程单位,主要有:上海建设和管理委员会科学技术委员会、上海市科学技术委员会、上海城建(集团)公司、上海市隧道工程轨道交通设计研究院、上海隧道工程股份有限公司、上海市地铁建设总公司、上海市第二市政工程有限公司和上海建工(集团)公司及上海市基础工程公司等的大力支持和协助,也谨此表示谢忱。

承笔者挚友、中国工程院院士刘建航先生费心为本书作序并审阅书稿,亦在此敬布谢忱。

由于笔者学识的限制,书中挂一漏万在所难免,并定多谬误不周,敬请赐教、指正。

孙 钧 谨识于

同济大学岩土工程研究所

上海城建集团院士研究室

2004年5月

目 录

第一章 城市地下工程活动的环境土工问题综述	1
第一节 城市地下工程活动土工环境安全维护问题的提出	1
第二节 城市环境土工问题的典型工程实例和研究要求	1
第三节 受不同施工扰动影响土体力学属性变异和其他关键技术的研究	4
第四节 城市地下工程施工安全与环境损伤的智能控制	7
第五节 地下工程施工变形预测与控制智能方法的实施	12
第六节 工程应用前景	13
第七节 研究工作的创意性	14
第八节 结论与认识	14
本章参考文献	15
第二章 地下工程施工受扰动土体力学性态变异研究	16
第一节 概述	16
第二节 受地下工程施工扰动土体的基本特征	20
第三节 隧道盾构施工对周围土体扰动影响的现场监测研究	26
第四节 盾构推进对周围土体扰动影响的试验研究	40
第五节 盾构推进土体扰动的理论分析	48
第六节 受施工卸载作用扰动土体的变形与强度特性研究	51
第七节 地下工程施工对土体扰动的评价	67
第八节 认识与建议	71
本章参考文献	72
第三章 沉桩施工的环境土工学问题	74
第一节 概述	74
第二节 沉桩施工的挤土机理及打桩振动特性分析	75
第三节 群桩效应分析	84
第四节 沉桩施工对周边环境的影响	91
第五节 工程实例计算结果及分析	94

第六节 沉桩环境病害预防与整治·····	100
第七节 认识与建议·····	102
本章参考文献·····	103
第四章 盾构隧道施工的环境土工学问题·····	104
第一节 概述·····	104
第二节 盾构隧道施工对周近土体影响研究的理论基础·····	111
第三节 盾构推进施工对土体影响的现场试验研究·····	117
第四节 半解析元法的理论导演·····	124
第五节 半解析元法数值模拟与验证·····	142
第六节 盾构隧道施工市区环境安全技术管理及其变形沉降控制·····	151
本章参考文献·····	153
第五章 长距离大型顶管市区施工的环境土工学问题·····	156
第一节 概述·····	156
第二节 半解析元法分析顶管施工变形预测的基本原理·····	162
第三节 顶管施工地层运动分析的半解析元法·····	166
第四节 顶管施工地层运动分析半解析元法的数值实现·····	175
第五节 顶管施工效应及其环境危害的预测与防治·····	182
第六节 主要结论和问题·····	184
本章参考文献·····	187
第六章 市区沉井施工的环境土工学问题·····	190
第一节 概述·····	190
第二节 沉井施工对周围环境影响的理论分析·····	191
第三节 沉井施工对周围环境影响的有限元分析及工程实例·····	200
第四节 沉井施工对周围环境影响的预防及环境土工公害治理·····	213
第五节 结论与建议·····	223
本章参考文献·····	224
第七章 相邻建(构)筑物先后施工相互影响的环境土工学问题·····	225
第一节 概述·····	225
第二节 地基沉降的三维黏弹性解答·····	228
第三节 相邻建筑物沉降相互影响黏弹性计算程序及算例分析·····	234
第四节 同时考虑土体固结与流变的三维沉降解答·····	239

第五节 沉降计算中地基模型参数的确定·····	246
第六节 建筑物沉降相邻影响病害的预防及整治·····	250
本章参考文献·····	254
第八章 基坑工程市区施工的环境土工学问题·····	255
第一节 概述·····	255
第二节 考虑土体介质分层特性的三维非线性流变有限元法解析·····	263
第三节 土体三维渗流场与流变应力场耦合的有限元法解析·····	270
第四节 基坑工程渗流与流变非线性耦合问题的数值模拟·····	273
第五节 基坑工程施工分析的计算机程序研制与开发·····	277
第六节 基坑工程施工过程数值模拟的实例分析·····	282
第七节 结论与展望·····	297
本章参考文献·····	298
第九章 地铁交叠隧道盾构工程施工的环境土工学问题·····	300
第一节 盾构推进地层沉降描述及其影响因素·····	300
第二节 三维弹塑性模型的土工参数·····	304
第三节 交叠隧道盾构法施工的三维数值模拟·····	315
第四节 主要结论与建议·····	326
本章参考文献·····	328
第十章 软科学的理论与方法在岩土工程中的应用研究综述·····	330
第一节 概述·····	330
第二节 智能岩土工程的发展历程和国内外的研究应用现状·····	332
第三节 深基坑施工变形预测与控制研究方法综述·····	349
第四节 著述者在深基坑施工变形预测与控制方面的研究成果·····	356
本章参考文献·····	359
第十一章 深大基坑施工变形的智能预测与控制·····	360
第一节 问题的提出·····	360
第二节 基坑工程变形预测问题的神经网络建模与智能控制·····	363
第三节 深大基坑施工土体变形影响因素的递阶分析·····	370
第四节 岩土力学参数辨识及基坑施工过程的动态仿真模拟·····	376
第五节 基坑施工土体变形的神经网络预测·····	382
第六节 润扬长江公路大桥北锚碇基础施工变形的智能预测——工程实录研究·····	384

第七节 深大基坑施工土体变形的智能控制·····	394
本章参考文献·····	403
第十二章 地铁盾构隧道施工变形的智能预测与控制·····	405
第一节 国外研究现状概要·····	405
第二节 盾构隧道施工监控系统数据库的研制·····	407
第三节 基于人工神经网络的盾构施工变形预测研究·····	415
第四节 交叠地铁区间隧道施工变形的小样本智能预测·····	421
第五节 盾构法隧道施工变形智能模糊控制研究·····	429
第六节 盾构工程施工网络多媒体监控管理系统的实施·····	437
本章参考文献·····	441
第十三章 盾构隧道施工多媒体视频监控技术·····	442
第一节 概述·····	442
第二节 地表沉降预测模型研究·····	444
第三节 多媒体监控硬件系统概要·····	453
第四节 盾构隧道施工多媒体仿真软件系统·····	455
第五节 可视化技术在系统仿真中的应用·····	461
第六节 结论·····	484
本章参考文献·····	484
后记·····	486

第一章 城市地下工程活动的环境土工问题综述

第一节 城市地下工程活动土工环境安全维护问题的提出

我国诸大城市的地下工程活动日益增多,在保证工程自身施工安全的同时,如何更好兼顾周近环境的安全,已经成为人们的共识。工程周近环境的土工公害问题,就沿海软土地区的许多城市而言,主要是产生不允许的土层变形位移和过大的地表差异沉降。对其进行行之有效的预测、预报、控制与防治,是当前仍需进一步解决的问题。诚然,近年来通过大量的工程实践及已积累的经验与理论导向,对上述环境土工问题的有效控制已有很大进展,困难有了一定程度缓解,但对后述的不少复杂情况,此类问题仍然十分突出。本书通过多年来的理论与实践探索,试将有关研究成果集中作较系统全面的介绍。

第二节 城市环境土工问题的典型工程实例和研究要求

一、城市环境土工问题研究的主要范围

本书介绍的环境土工问题主要是指城市地下工程活动对浅埋建(构)筑物基础、道路路基和路面、已建地铁与高架、立交及各类地下管线等市政设施的土工危害。

二、城市环境土工问题研究的主要任务

环境土工公害,对软土地基与地下工程而言,即产生不允许的土层变形位移和过大的地表差异沉降的预测、控制与防治,是城市地下工程活动环境土工学问题研究的主要任务。

三、城市地下工程活动产生环境土工问题的主要内容

城市地下工程活动产生环境土工问题的主要内容包括:

- (1) 地铁盾构开挖推进;
- (2) 浅埋、大直径顶管沿老市区浅层地下呈曲线顶进施工(例:上海市一期合流污水治理工程穿越闸北区地下浅层顶进);
- (3) 深大基坑开挖施工;
- (4) 预制打入桩和静压桩的挤土效应;
- (5) 后续工程施工对已运营/已建地铁区间隧道以及对城市立交、高架桥桩的影响;
- (6) 其他,诸如市区沉井下沉、施工降水、新建建(构)筑物施工对相邻老建(构)筑物的

影响,等等。

四、城市环境土工问题最感突出和困难的场合

当前,城市地下工程活动的环境土工问题,以上海市近年来的工程实践为例,最感突出和困难的场合约 20 余处,它们的情况分别是:

(1) 在深、大基坑(含地铁车站基坑)工程施工方面,以上海市市区所见的这类环境土工问题为例:

① 深大基坑紧邻已运营的地铁区间隧道、或贴近危房、旧建浅基、短木桩基楼宇或近旁有要求重点保护的其他建(构)筑物(例:上海轨道交通 2 号线河南路车站);

② 相邻基坑同步(或工序交错)施工(例:浦东开发区);

③ 后期兴建的地铁地下车站基坑与已运营地铁老站正交平接或下穿施工(例:上海轨道交通 4 号线上体馆站与已运营的轨道交通 1 号线车站在同一站位相遇);

④ 深挖沟槽施工中坑外降水(例:接近地下泵站的污水干管区段施工,降水深度可达 7 m);

⑤ 深井施工,井体内外降水(例:上海市复兴东路过江电缆隧道,地下水位高,补给丰富,其工作井直径为 16.5 m,井底板埋深—27.5 m,未采用冻结法施工,降水漏斗标高近—30 m,产生井筒周边大范围土体走动和地表沉降。此例中,沉降量高达 14 cm);

⑥ 悬索大桥重力式锚碇基础施工,其周边有江岸防汛大堤的环境维护要求[例:江苏省润扬长江公路大桥南汉悬索桥北锚碇深大基坑(长 69 m,宽 51 m,深 48 m,并围护结构地连墙嵌岩)开挖,对镇江市世业洲长江防洪大堤的安全维护;武汉市绕城公路阳逻悬索大桥南锚碇基坑工程(直径为 70 m,深 45 m,并地连墙嵌岩),对武汉市防汛大堤的维护,等等]。

(2) 在地铁区间隧道盾构推进施工(兼及大直径顶管浅层顶进)方面,仍以上海市为例:

① 在同一地铁区间内,上、下行线盾构同向或对向推进施工(例:上海轨道交通 1、2 号线区间隧道已几处遇到);

② 上、下行线地铁交叠隧道施工(例:上海轨道交通 4 号线南浦大桥站附近区间遇到高架桥桩而需避开情况);

③ 盾构紧贴城市高架(立交)推进(例:上海轨道交通 4 号线沿南浦大桥浦西引桥桥桩穿越);

④ 盾构穿越大楼桩群(例:上海轨道交通规划线将有几处遇到);

⑤ 盾构、顶管在地下管线(煤气管,地下电缆——电力、通信,污水干管)交叉、密集处施工(例:此种情况经常遇到);

⑥ 盾构进、出工作井时,土体受扰动后地基下沉,产生大的地面变形甚至塌陷(例:一般都不同程度地发生);

⑦ 盾构施工通过不良地质地段,如流塑性粉砂层和富含沼气软弱地带情况,因盾构下陷而上方地表有较大沉降(有时遇到);

⑧ 盾构沿弯道推进(特别是小曲率半径情况下),由于纠偏导致土体扰动,或因地层损失造成隧道上方的地表沉降(有时遇到);

⑨ 在上、下行线盾构的联通道或盾构出入工作井处,采用土壤冻结法施工,以后解冻时因土体扰动而使地面沉降(通常都遇到);

⑩ 浅埋、大直径顶管沿旧城区地下呈曲线形顶进、纠偏施工(例:上海一期合流污水治理工程,顶管在闸北区顶进施工);

⑪ 地铁区间采用双圆盾构隧道施工,开挖断面的毛跨 d 达 10.9 m,而覆盖土层厚度 h 不足 $1d$ (就上海市言,正在施工的 M8 线地铁,覆土层厚 h 仅 5~6 m,且属首次自日本引进技术,国内未有实践经验),其地表隆、沉问题比较突出,等等。

(3) 以盾构推进施工为例,理论上谋求解决问题的难点还在于:受施工扰动影响的土体力学行为的变异,及其对已建工程的不利影响。它主要反映在:

① 盾构周围土体为被作业面刀盘切削后的受扰动土;而遇相邻盾构情况,后推进盾构系在被先推盾构已扰动过的土层中施工,而先前已建区间隧道则将承受第 2 次的变形扰动;

② 在新线盾构施工逼近老线已运营地铁隧道之前,老线隧道的周边土层先已注浆加固,因而,新线盾构亦将在被扰动过的土层中施工。此时,老线隧道则也将承受第 2 次的变形扰动(例:上海轨道交通 2 号线呈正交紧贴穿越已运营的轨道交通 1 号线的下方);

③ 已建桩基因其下方盾构推进开挖而使桩基承载力减弱,导致桩体第 2 次下沉;

④ 已运营/已建地铁区间隧道因其上方基坑开挖而隆起,并承受第 2 次的变形扰动(例:上海广场)。

(4) 新建大楼,其在深厚软土层内的桩基,因土体后期次固结沉降,使其落在沉降盆范围内,近旁已通车的地铁区间线路朝向大楼一边倾侧,导致地铁机车轮轨磨损加剧、卡轨,甚至危及地铁运营的安全。

五、问题解决的构思及对研究工作的要求

综合上述各点,均可称之为受施工扰动影响的土体力学行为的变异,及其对已建地下工程的不利影响。这是一个全新的研究课题。

(1) 由于问题的综合性与复杂性,单凭理论计算,不能从定量上完全解决问题,而要求从:

① 理论预测 → 施工中的环境监测与控制 → 反馈、修正 → 工程完成后的实践验证

按以上步序进行信息化设计、施工,以逐步求得解决。这里,施工全过程三维仿真系统人工(虚拟)的实景模拟(artificial or virtual reality simulation)的预测预报技术,将是计算机工程管理的重要环节;

② 近年来计算手段的进一步完善,有关地基稳定与变形的土力学经典理论与传统数值模拟方法,加之工程施工力学的分析手段,对这类工程实践的导向作用仍具有十分重要的意义。这将在本书的前半部分中按几种主要的软土地下工程类别作分别阐述。

(2) 通过预测和控制以达到更好防治的目的,其具体的要求主要是:

① 使能防范于未然,及早研究落实几乎防治措施;

② 对不同的环境土体变形、位移的允许标准,为确切制定各个设计、施工控制指标体系提供理论依据;

③ 提供更完善地制定地铁隧道红线范围的合理制度及其有关技术标准与判据;

④ 为减小施工不利影响,提出几种因地、因时制宜的变形控制方法(目前仅在施工时应急采用的 3 阶段压浆控制法,它只是一种施工控制);研究认为,更为重要的应该是设计控制,包括如盾构掘进时诸设计、施工参数的实时调整和修正等,及其适用范围和选用原则;

⑤ 为进一步对构造各异的建(构)筑物、基础类别、各种地下管线、不同等级的道路路面、路基等分别制定能以安全承受不同种类变形位移和差异沉降的诸技术参数,提供理论依据。