



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

地基处理

(第二版)

龚晓南 陶燕丽 编著
叶书麟 主审

中国建筑工业出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

地 基 处 理

(第二版)

龚晓南 陶燕丽 编著
叶书麟 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

地基处理/龚晓南,陶燕丽编著. —2版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2016.11

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 高校
土木工程专业指导委员会规划推荐教材. 经典精品系列
教材

ISBN 978-7-112-20076-4

I. ①地… II. ①龚…②陶… III. ①地基处理-高等
学校-教材 IV. ①TU472

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第267783号

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

地 基 处 理

(第二版)

龚晓南 陶燕丽 编著

叶书麟 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 15 字数: 307 千字

2017年1月第二版 2017年1月第十一次印刷

定价: 30.00 元(赠送课件)

ISBN 978-7-112-20076-4

(29558)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

近年来,我国地基处理领域取得了许多新的成就,涌现出许多新技术和新方法。为适应新形势下地基处理技术发展的需求,本书作者根据工程实际和教学需求对 2005 年出版的第一版教材进行了修订。

本书继承了第一版教材的特色和体系,增加了若干新的地基处理技术,如真空联合预压法、电渗法、TRD 法及桩网复合地基和桩承堤等。全书分 9 章,主要内容包括:绪论,复合地基理论概要,振密、挤密,置换,排水固结,灌入固化物,加筋,既有建筑物地基加固,纠倾和迁移等。各章末附有各种地基处理方法的典型工程实例,还附有思考题和习题,以便读者复习和自学。

本书可作为土木工程专业教材,也可供土木工程范围内各专业的勘查、设计、施工技术人员参考。

为支持本门课程教学,本书作者制作了教材配套的教学课件,请有需要的读者发送邮件至:jiangongkejian@163.com 免费索取。

* * *

责任编辑:吉万旺 王 跃

责任校对:李欣慰 李美娜

出 版 说 明

1998年教育部颁布普通高等学校本科专业目录,将原建筑工程、交通土木工程等多个专业合并为土木工程专业。为适应大土木的教学需要,高等学校土木工程学科专业指导委员会编制出版了《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》,并组织我国土木工程专业教育领域的优秀专家编写了《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》。该系列教材2002年起陆续出版,共40余册,十余年来多次修订,在土木工程专业教学中起到了积极的指导作用。

本系列教材从宽口径、大土木的概念出发,根据教育部有关高等教育土木工程专业课程设置的教學要求编写,经过多年的建设和发展,逐步形成了自己的特色。本系列教材投入使用之后,学生、教师以及教育和行业行政主管部门对教材给予了很高评价。本系列教材曾被教育部评为面向21世纪课程教材,其中大多数曾被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和普通高等教育土建学科专业“十五”、“十一五”、“十二五”规划教材,并有11种入选教育部普通高等教育精品教材。2012年,本系列教材全部入选第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

2011年,高等学校土木工程学科专业指导委员会根据国家教育行政主管部门的要求以及新时期我国土木工程专业教学现状,编制了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。在此基础上,高等学校土木工程学科专业指导委员会及时规划出版了高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材。为区分两套教材,特在原系列教材丛书名《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》后加上经典精品系列教材。各位主编将根据教育部《关于印发第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材书目的通知》要求,及时对教材进行修订完善,补充反映土木工程学科及行业发展的最新知识和技术内容,与时俱进。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社

第二版前言

近几十年来,我国经济实现了飞速发展,土木工程建设发展尤其迅速,各种工程建设对地基提出了更高的要求。我国地基处理技术发展很快,主要体现在四个方面:地基处理技术得到很大的发展,地基处理技术得到极大的普及,地基处理队伍不断扩大,地基处理水平不断提高。

地基处理领域取得了许多新的成就,涌现出许多新技术和新方法。为适应新形势下地基处理技术发展的需求,基于第一版《地基处理》,笔者编写了第二版《地基处理》,主要修改或增加了以下内容:

(1) 增加了若干新的地基处理技术,如真空联合预压法、电渗法、TRD法及桩网复合地基和桩承堤等;

(2) 对若干章节进行了较大修改或补充,如4.5节“EPS超轻质料填土法”补充了原理、设计、施工和工程实例等方面内容。

其他修改还包括参考文献和课后习题等,不予细述。第二版《地基处理》对各地基处理技术原理和设计等进行了更深入地介绍,并增加了更多工程实例,更能反映地基处理技术发展的新水平,且理论联系实际,更适合作为教学教材之用。

章节安排方面,第二版《地基处理》基本上继承了原版的特色和体系,全书分9章,分别为:绪论,复合地基理论概要,振密、挤密,置换,排水固结,灌入固化物,加筋,既有建筑物地基加固,纠倾和迁移等。在绪论中介绍地基处理目的和意义,地基处理方法分类,选用原则及设计程序等;在复合地基理论概要中简要介绍复合地基基础理论;后续章节介绍常用地基处理方法的加固机理、设计计算方法、施工工艺和工程实例等。各章编有思考题与习题供选用。各高校可因材施教,根据具体情况灵活选用教学内容。

在编写过程中笔者参考和引用了许多科研、高校和工程单位的研究成果和工程实例,已在参考文献中一一列出,在此表示衷心的感谢!

限于作者水平和能力,教材中难免有不当或错误之处,敬请读者批评指正,谢谢!

龚晓南

2016年10月于浙大紫金港

第一版前言

改革开放促进了我国国民经济的飞速发展,自20世纪90年代以来,我国土木工程建设发展很快。为了保证工程质量,现代土木工程建设对地基提出了更高的要求。

当天然地基不能满足建(构)筑物在地基稳定性、地基变形和地基渗透性等三个方面的要求时,需要对天然地基进行地基处理,形成人工地基,以满足建(构)筑物对地基的各种要求。

在土木工程建设领域中,与上部结构相比较,地基领域中不确定的因素多、问题复杂、难度大。据调查统计,在世界各国发生的土木工程建设中的工程事故中,源自地基问题的占多数。因此,处理好地基问题,不仅关系所建工程是否安全可靠,而且关系所建工程投资的大小。

需求促进发展,实践发展理论。在工程建设的推动下,近些年来我国地基处理技术发展很快,地基处理水平不断提高。地基处理已成为活跃的土木工程领域中的一个热点。学习、总结国内外地基处理方面的经验教训,掌握各种地基处理技术,对于土木工程师,特别是对从事岩土工程的土木工程师特别重要,对保证工程质量、加快工程建设速度、节省工程建设投资、提高土木工程师的地基处理水平具有特别重要的意义。地基处理技术已得到土木工程界的各个部门,如勘察、设计、施工、监理、教学、科研和管理部门的关心和重视。

本教材根据高校土木工程专业指导委员会组织制定的教学大纲编写。全书分九章,为:绪论、复合地基理论概要、振密、挤密、置换、排水固结、灌入固化物、加筋、既有建筑物地基加固、纠倾和迁移等。教学时数各校可根据具体情况灵活确定,教学内容请注意与相关课程的配合。书中带“*”号的内容可以不作为教学内容。

在绪论中介绍地基处理目的和意义,地基处理方法分类,选用原则及规划程序等;在复合地基理论概要中简要介绍复合地基基础理论;以后几章介绍常用地基处理方法的加固机理、设计计算方法和施工工艺等。为加深理解,适当收录一些工程实例供读者参考。各章编有思考题与习题供选用。

在编写过程中作者参考和引用了许多科研、高校和工程单位的研究成果和工程实例,在成书过程中,博士研究生金小荣和孙林娜协助部分插图的制作,史海莹和张杰协助校对工作,在此一并表示衷心的感谢。

著名地基处理专家同济大学叶书麟教授担任本书的主审，作者在此表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中难免有不当和错误之处，敬请读者批评指正。

龚晓南

2004.12.16 于杭州景湖苑

目 录

第1章 绪论	1
1.1 地基处理的目的和意义	1
1.2 常见软弱土和不良土	2
1.3 地基处理技术发展概况	5
1.4 地基处理方法分类及适用范围	7
1.5 地基处理方法选用原则和规划程序	13
1.6 关于地基承载力表达形式的说明	15
思考题与习题	17
第2章 复合地基理论概要	18
2.1 概述	18
2.2 桩体复合地基承载力计算	20
2.3 水平向增强体复合地基承载力计算*	24
2.4 复合地基沉降计算	25
2.5 基础刚度和垫层对桩体复合地基性状影响	29
思考题与习题	29
第3章 振密、挤密	31
3.1 概述	31
3.2 强夯法	31
3.3 挤密砂桩法	40
3.4 土桩、灰土桩和夯实水泥土桩法	52
3.5 孔内夯扩法概述	59
思考题与习题	61
第4章 置换	62
4.1 概述	62
4.2 换土垫层法	62
4.3 强夯置换法	68
4.4 石灰桩法	70
4.5 EPS超轻质料填土法	76
思考题与习题	84
第5章 排水固结	85
5.1 概述	85
5.2 加固原理和计算理论	86

5.3	堆载预压法	95
5.4	真空预压法	101
5.5	真空联合预压法	106
5.6	降低地下水位法	108
5.7	电渗法	109
	思考题与习题	114
第6章	灌入固化物	115
6.1	概述	115
6.2	深层搅拌法	115
6.3	高压喷射注浆法	130
6.4	灌浆法	137
6.5	TRD法	144
	思考题与习题	149
第7章	加筋	150
7.1	概述	150
7.2	加筋土垫层法	150
7.3	加筋土挡墙法	153
7.4	锚杆和土钉支护	156
7.5	锚定板挡土结构	162
7.6	低强度桩复合地基	163
7.7	刚性桩复合地基	171
7.8	长短桩复合地基	176
7.9	桩网复合地基和桩承堤	183
	思考题与习题	188
第8章	既有建筑物地基加固	189
8.1	概述	189
8.2	基础加宽技术	190
8.3	墩式托换技术	192
8.4	桩式托换技术	192
8.5	地基加固技术	200
8.6	综合加固技术	201
	思考题与习题	204
第9章	纠倾和迁移	205
9.1	概述	205
9.2	加载纠倾技术	207
9.3	掏土纠倾技术	210

9.4 顶升纠倾技术	219
9.5 迁移技术	222
思考题与习题	223
参考文献	224

第1章 绪 论

1.1 地基处理的目的和意义

改革开放促进了我国国民经济的飞速发展,自20世纪90年代以来,我国土木工程建设发展很快。尤其是进入21世纪,围海造陆工程得到蓬勃发展,城市地下空间资源得到大规模开发,交通运输工程呈现高速化发展,这些工程建设的成功与地基处理技术的合理应用密切相关,也促使地基处理技术得到更大的发展、更广的普及,地基处理队伍不断扩大、水平不断提高。土木工程功能化、城市建设立体化、交通运输高速化,以及改善综合居住条件已成为现代土木工程建设特征。为了保证工程质量,现代土木工程建设对地基提出了更高的要求。

各种建筑物和构筑物对地基的要求主要包括下述三个方面:

(1) 地基稳定性问题

地基稳定性问题是指在建(构)筑物荷载(包括静、动荷载的各种组合)作用下,地基土体能否保持稳定。地基稳定性问题有时也称为承载力问题。若地基稳定性不能满足要求,地基在建(构)筑物荷载作用下将会产生局部或整体剪切破坏。地基产生局部或整体剪切破坏将影响建(构)筑物的安全与正常使用,亦会引起建(构)筑物的破坏。地基的稳定性,或地基承载力大小,主要与地基土体的抗剪强度有关,也与基础形式、大小和埋深有关。

(2) 地基变形问题

地基变形问题是指在建(构)筑物的荷载(包括静、动荷载的各种组合)作用下,地基土体产生的变形(包括沉降,或水平位移,或不均匀沉降)是否超过相应的允许值。若地基变形超过允许值,将会影响建(构)筑物的安全与正常使用,严重的会引起建(构)筑物破坏。地基变形主要与荷载大小和地基土体的变形特性有关,也与基础形式、基础尺寸大小有关。

(3) 地基渗透问题

渗透问题主要有两类:一类是蓄水构筑物地基渗流量是否超过其允许值,如:水库坝基渗流量超过其允许值的后果是造成较大水量损失,甚至导致蓄水失败;另一类是地基中水力比降是否超过其允许值。地基中水力比降超过其允许值时,地基土会因潜蚀和管涌产生稳定性破坏,进而导致建(构)筑物破坏。地基渗透问题主要与地基中水力比降大小和土体的渗透性有关。

当天然地基不能满足建(构)筑物在上述三个方面的要求时,需要对天然地

基进行地基处理。天然地基通过地基处理,形成人工地基,从而满足建(构)筑物对地基的各种要求。

随着土木工程建设规模的扩大和要求的提高,需要对天然地基进行处理的工程日益增多。在土木工程建设领域中,与上部结构比较,地基领域中不确定因素多、问题复杂、难度大。若地基问题处理不善,将会引起严重后果;据调查统计,在全世界发生的土木建设工程事故中,源自地基问题的占多数。处理好地基问题,不仅关系所建工程是否安全可靠,而且影响所建工程投资大小。地基问题的顺利解决将会带来巨大的经济效益。

需求促进发展,实践发展理论。近些年来随着工程建设的发展,尤其是城市空间深度和广度上的开发,滨海区域大规模工程建设,我国地基处理技术发展很快,地基处理水平不断提高,地基处理已成为岩土工程界最为活跃的领域之一。学习、总结国内外地基处理方面的经验教训,掌握各种地基处理技术,对于土木工程师,特别是对从事岩土工程的土木工程师特别重要。提高地基处理水平对保证工程质量,加快工程建设速度,节省工程建设投资具有重大的意义。

1.2 常见软弱土和不良土

判别天然地基是否属于软弱地基或不良地基没有明确的界限,工程师们常将不能满足建(构)筑物对地基要求的天然地基称为软弱地基或不良地基。因此,天然地基是否属于软弱地基或不良地基也可以说是相对的。

在土木工程建设中经常遇到的软弱土和不良土主要包括:软黏土、人工填土、部分砂土和粉土、湿陷性土、有机质土和泥炭土、膨胀土、盐渍土、垃圾土、多年冻土、岩溶、土洞和山区地基等。下面分别加以简略介绍:

(1) 软黏土

软黏土是软弱黏性土的简称。它是第四纪后期形成的海相、泻湖相、三角洲相、溺谷相和湖泊相的黏性土沉积物或河流冲积物。有的软黏土属于新近淤积物。软黏土大部分处于饱和状态,其天然含水量大于液限,孔隙比大于1.0。当天然孔隙比大于1.5时,称为淤泥;当天然孔隙比大于1.0而小于1.5时,称为淤泥质土。软黏土的特点是天然含水量高,天然孔隙比大,抗剪强度低,压缩系数高,渗透系数小。在荷载作用下,软黏土地基承载力低,地基沉降变形大,不均匀沉降也大,而且沉降稳定历时比较长,一般需要几年,甚至几十年。软黏土地基是在工程建设中遇到最多需要进行地基处理的软弱地基,它广泛地分布在我国沿海以及内地河流两岸和湖泊地区。例如:天津、连云港、上海、杭州、宁波、台州、温州、福州、厦门、湛江、广州、深圳、珠海等沿海地区,以及昆明、武汉、南京、马鞍山等内陆地区。

(2) 人工填土

人工填土按照物质组成和堆填方式可以分为素填土、杂填土和冲填土三类。

素填土是由碎石、砂或粉土、黏性土等一种或几种组成的填土，其中不含杂质或含杂质较少。若经分层压实后则称为压实填土。近年开山填沟筑地、围海筑地工程较多，填土常用开山石料，大小不一，有的直径达数米，填筑厚度有的达数十米，极不均匀。人工填土地基性质取决于填土性质、压实程度以及堆填时间。

杂填土是人类活动形成的无规则堆积物，其成分复杂，性质也不相同，且无规律性。在大多数情况下，杂填土是比较疏松和不均匀的。在同一场地的不同位置，地基承载力和压缩性也可能有较大的差异。

冲填土是由水力冲填泥沙形成的填土，在围海筑地中常被采用。冲填土的性质与所冲填泥沙的来源及冲填时的水力条件有密切关系。含黏土颗粒较多的冲填土往往是欠固结的，其强度和压缩性指标都比同类天然沉积土差。以粉细砂为主的冲填土，其性质基本上和粉细砂相同。

(3) 部分砂土和粉土

主要指饱和粉砂土、饱和细砂土和砂质粉土。粒径大于 0.25mm 的颗粒不超过全重的 50%，粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重的 85% 的称为细砂土。粒径大于 0.075mm 的颗粒不超过全重的 85%，但超过 50% 称为粉砂土。粒径大于 0.075mm 的颗粒不超过全重的 50%，而粒径小于 0.005mm 的颗粒含量不超过全重的 10%，塑性指数 I_p 小于或等于 10 的称为砂质粉土。处于饱和状态的细砂土、粉砂土和砂质粉土在静载作用下虽然具有较高的强度，但在机器振动、车辆荷载、波浪或地震力的反复作用下有可能产生液化或产生大量震陷变形。地基会因地基土体液化而丧失承载能力。如需要承担动力荷载，这类地基也往往需要进行地基处理。

(4) 湿陷性土

湿陷性土包括湿陷性黄土、粉砂土和干旱或半干旱地区具有崩解性的碎石土等。是否属湿陷性土可根据野外浸水载荷试验确定。当在 200kPa 压力作用下附加变形量与载荷板宽之比大于 0.015 时称为湿陷性土。在工程建设中遇到较多的是湿陷性黄土。

湿陷性黄土是指在覆盖土层的自重应力或自重应力和建筑物附加应力综合作用下，受水浸湿后，土的结构迅速破坏，并发生显著的附加沉降，其强度也迅速降低的黄土。黄土在我国特别发育，地层多、厚度大，广泛分布在甘肃、陕西、山西大部分地区，以及河南、河北、山东、宁夏、辽宁、新疆等部分地区。当黄土作为建筑物地基时，首先要判断它是否具有湿陷性，然后才考虑是否需要地基处理以及如何处理。

(5) 有机质土和泥炭土

土中有机质含量大于 5% 时称为有机质土，大于 60% 时称为泥炭土。

土中有机质含量升高,强度往往降低,压缩性增大,特别是泥炭土,其含水量极高,有时可达200%以上,压缩性很大,且不均匀,一般不宜作为建筑物地基,如用作建筑物地基需要进行地基处理。

(6) 垃圾土

城市废弃的工业垃圾和生活垃圾形成的地基土。垃圾土的性质很大程度上取决于废弃垃圾的类别和堆积时间。垃圾土的性质十分复杂,垃圾土成分不仅具有区域性,而且与堆积的季节有关。生活垃圾比工业垃圾更为复杂。

垃圾堆场的地基处理也已成为岩土工程师的工作内容,不仅要保持垃圾土地基稳定,而且要解决好防止垃圾污染地下水源等环境保护问题。垃圾场的再利用也已引起人们的重视。

(7) 膨胀土

膨胀土是指黏粒成分主要由亲水性黏土矿物组成的黏性土。膨胀土在环境的温度和湿度变化时会产生强烈的胀缩变形。利用膨胀土作为建(构)筑物地基时,如果没有采取必要的地基处理措施,膨胀土饱水膨胀,失水收缩常会给建(构)筑物造成危害。膨胀土在我国分布范围很广,根据现有的资料,广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、陕西、江苏、内蒙古、贵州和广东等地均有不同范围的分布。

(8) 盐渍土

土中含盐量超过一定数量的土称为盐渍土。盐渍土地基浸水后,土中盐溶解可能产生地基溶陷,某些盐渍土(如含硫酸钠的土)在环境温度和湿度变化时,可能产生土体体积膨胀。除此以外,盐渍土中的盐溶液还会导致建筑物材料和市政设施材料的腐蚀,造成建筑物或市政设施的破坏。

盐渍土主要分布在西北干旱地区的地势低洼的盆地和平原中,盐渍土在滨海地区也有分布。

(9) 多年冻土

多年冻土是指温度连续三年或三年以上保持在 0°C 或以下,并含有冰的土层。多年冻土的强度和变形有许多特殊性。例如,冻土中因有冰和冰水存在,故在长期荷载作用下有强烈的流变性。多年冻土在人类活动影响下,可能产生融化。因此多年冻土作为建筑物地基需慎重考虑,需要采取必要的处理措施。

(10) 岩溶、土洞和山区地基

岩溶或称“喀斯特”,它是石灰岩、白云岩、泥灰岩、大理石、岩盐、石膏等可溶性岩层受水的化学和机械作用而形成的溶洞、溶沟、裂隙,以及由于溶洞的顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等现象和作用的总称。

土洞是岩溶地区上覆土层被地下水冲蚀或被地下水潜蚀所形成的洞穴。

岩溶和土洞对建(构)筑物的影响很大,可能造成地面变形、地基陷落、发生水的渗漏和涌水现象。在岩溶地区修建建筑物时要特别重视岩溶和土洞的影响。

山区地基地质条件比较复杂,主要表现在地基的不均匀性和场地的稳定性两方面。山区基岩表面起伏大,且可能有大块孤石,这些因素常会导致建筑物基础产生不均匀沉降。另外,在山区常有可能遇到滑坡、崩塌和泥石流等不良地质现象,给建(构)筑物造成直接的或潜在的威胁。在山区修建建(构)筑物时要重视地基的稳定性和避免过大的不均匀沉降,必要时需进行地基处理。

1.3 地基处理技术发展概况

地基处理是古老而又年轻的领域。灰土垫层基础和短桩处理在我国应用历史悠久,可追溯到数千年前。而大量进行的地基处理技术是伴随现代文明而产生的。在我国,改革开放促进了基本建设持续高速发展。为了适应工程建设的要求,我国地基处理技术在改革开放以来也得到了飞速发展。表 1-1 为部分地基处理方法在我国得到应用的最早年份。从表 1-1 中可以看出大部分地基处理方法是在改革开放以后才在工程建设中得到应用的。有的地基处理方法是从事国外引进的,并在工程实践中加以改造,以适应我国国情,有的则是我国工程技术人员自行研制的。

部分地基处理方法在我国应用最早年份

表 1-1

地基处理方法	年 份	地基处理方法	年 份
普通砂井法	20 世纪 50 年代	土工合成材料	20 世纪 70 年代末
真空预压法	1980 年	强夯置换法	1988 年
袋装砂井法	20 世纪 70 年代	EPS 超轻质填料法	1995 年
塑料排水带法	1981 年	低强度桩复合地基法	1990 年
砂桩法	20 世纪 50 年代	刚性桩复合地基法	1981 年
土桩法	20 世纪 50 年代中	锚杆静压桩法	1982 年
灰土桩	20 世纪 60 年代中	掏土纠倾法	20 世纪 60 年代初
振冲法	1977 年	顶升纠倾法	1986 年
强夯法	1978 年	树根桩法	1981 年
高压喷射注浆法	1972 年	沉管碎石桩法	1987 年
浆液深层搅拌法	1977 年	石灰桩法	1953 年
粉体深层搅拌法	1983 年		

注:表中资料引自《地基处理》,第 11 卷,第 1 期,4。

自改革开放以来,我国地基处理技术发展很快,主要反映在下述几个方面。

(1) 地基处理技术得到很大的发展

为了满足土木工程建设对地基处理的要求,我国引进和发展了多种地基处理新技术。例如:1977 年引进深层搅拌技术,1978 年引进强夯技术,近年又引进 TRD 工法等。在引进地基处理方法的同时,也引进了新的处理机械、新的处理材料和新的施工工艺。同时,各地还因地制宜地发展了许多适合我国国情的地基处理新技术,取得了良好的经济效益和社会效益,如真空预压技术、锚杆静压桩

技术、低强度桩复合地基技术和孔内夯扩技术等。其中,综合使用多种地基处理方法,形成复合加固技术,是地基处理发展的一大趋势,如在澳门机场建设中,综合应用了换填法、排水固结法、振冲挤密法和碾压法等多种处理技术,又如真空一堆载联合预压技术,在设计、施工、监测和检测等方面发展已较为成熟,并被纳入《建筑地基处理技术规范》JGJ 79—2011中。

我国地基处理技术发展还反映在理论上的进步。如:复合地基概念从狭义复合地基发展到广义复合地基,形成了较系统的广义复合地基理论;按沉降控制复合地基设计和复合地基优化设计思路得到发展。另外,在探讨加固机理,改进施工机械和施工工艺,发展检验手段,提高处理效果,改进设计方法等方面,每一种地基处理方法都取得显著进展;以排水固结法为例,在竖向排水通道设置方面从普通砂井、到袋装砂井、到塑料排水带的应用,施工材料和施工工艺发展很快;在理论方面,考虑井阻的砂井固结理论,超载预压对消除次固结变形的作用、真空预压固结理论以及对塑料排水带的有效加固深度等方面研究取得了不少的进展。目前,我国形成了复合地基工程应用体系,复合地基已成为一种常用的地基基础形式。

(2) 地基处理技术得到极大的普及

在地基处理技术得到很大发展的同时,地基处理技术在我国得到极大的普及。由于工程实践需求的推动,地基处理领域的著作和刊物的出版,各种形式的学术讨论会、地基处理技术培训班的举行,促进了地基处理技术的普及,也促进了地基处理技术的提高。以《地基处理手册》为例,自1988年出版以来已出版三版,发行12万多册。地基问题处理恰当与否关系到整个工程质量、投资和进度,其重要性已越来越多地被人们所认识和重视。

(3) 地基处理队伍不断扩大

越来越多的土木工程技术人员了解和掌握了各种地基处理技术、地基处理设计方法、施工工艺、检测手段,并在实践中应用。与土木工程有关的高等院校、科研单位积极开展地基处理新技术的研究、开发、推广和应用。从事地基处理的专业施工队伍不断增多,相关企业越来越重视地基处理新技术的研发和应用。通过工程实践,人们对各种地基处理方法的优缺点有了进一步了解,对采用合理的地基处理规划程序有了较深刻的认识,在根据工程实际选用合理的地基处理方法方面减少了盲目性。另外,在地基处理施工机械方面,研制了许多新产品,与国外的差距在逐步减小。从事地基处理科研、设计、施工、检测的专业技术队伍已经形成,并不断发展壮大。

(4) 地基处理水平得到不断提高

地基处理技术在我国得到广泛的普及,地基处理水平得到不断提高。地基处理技术已得到土木工程界的各个部门,如勘察、设计、施工、监理、教学、科研和管理部门的关心和重视。地基处理技术的进步带来了巨大的经济效益和社会效益。应该说我国地基处理技术总体上已达到世界领先水平。