

建筑施工工程师技术丛书

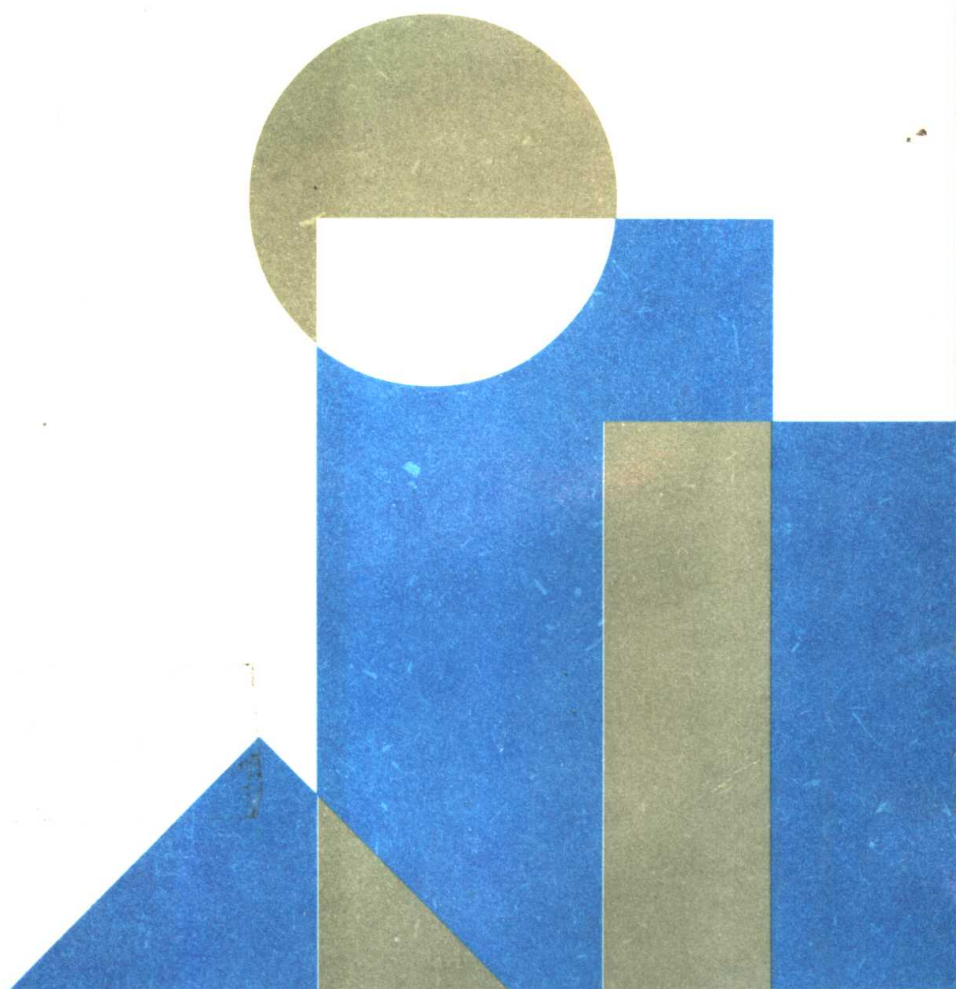
地基处理 与托换技术

(第二版)

叶书麟

韩 杰 编著

叶观宝



中国建筑工业出版社

建筑施工工程师技术丛书

地基处理与托换技术

(第二版)

叶书麟 韩杰 叶观宝



中国建筑工业出版社

本书结合《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—91)的技术要求,详细介绍当前国内外地基处理的新技术,如砂石(灰土、粉煤灰等)垫层法、强夯法、砂石桩挤密法、振动水冲法、干振挤密碎石桩、水泥粉煤灰碎石桩、堆载预压法、真空预压法、灌浆法、高压喷射注浆法、深层搅拌法、粉体喷射搅拌法、土工织物、加筋土、土钉法、树根桩、复合地基理论和托换技术等。并阐明以上各种地基处理方法的加固机理、设计、施工和质量检验等。各章末附有各种地基处理方法适用土质条件的典型工程实例。

本书可供土建专业和工程地质专业从事勘察、设计、施工的技术人员使用,也可供以上专业学生作教材或参考资料。

* * *

责任编辑 余永祯

建筑施工工程师技术丛书

地基处理与托换技术

(第二版)

叶书麟 韩杰 叶观宝 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本:850×1168毫米 1/32 印张:21 $\frac{1}{8}$ 字数:567千字

1994年12月第二版 2000年2月第九次印刷

印数:57,431—58,930册 定价:27.00元

ISBN 7-112-02278-9

TU·1766(7303)

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)

第二版出版说明

建筑施工工程师技术丛书自1986年初版发行以来,深受在工程施工生产第一线的建筑施工工程师的欢迎。这些工程技术人员常年担负着繁忙而复杂的工程任务,无暇博览群书。这套丛书帮助他们用有限的时间,学习建筑工程的新技术,更新自己的知识结构,更好地适应现代化建筑施工技术的要求。因此,这套丛书对于在职科技人员的继续教育,起了积极地作用。同时,这套丛书也成为大专院校工民建专业学生的选修教材。

但是,丛书第一版出版至今已经八年。这八年的时间,在改革开放大潮的推动下,我国的建筑事业蓬勃发展,兴建了许多高新建筑,促使新材料、新工艺、新技术不断涌现,并形成了许多新的成套技术。在此期间,国家颁发了新的设计、施工标准规范。这些新的变化,使本套丛书第一版的内容已显得陈旧,不能满足建筑工程技术人员学习、更新知识的欲望。为此,我们组织了本套丛书第二版的修订。

本套丛书第二版,着重补充近几年我国建筑工程施工技术与管理方法的最新成果和成熟的施工经验,以及高新技术在建筑工程中的应用,适当介绍国外的最新技术,并按新颁国家标准、规范的要求进行修订。对第一版中存在的问题,本次修订时也尽可能一一作了订正。

我们希望本套丛书第二版,继续对现场施工工程师们学习新技术有所裨益。同时,我们也欢迎广大读者对本套丛书的内容提出宝贵意见,以便我们改进。谢谢!

第 一 版 前 言

我国土地辽阔、幅员广大、自然地理环境不同、土质各异、地基条件区域性较强，因而使地基基础这门学科特别复杂。随着当前经济建设的蓬勃发展，不仅事先要选择在地质条件良好的场地从事建设，而且有时也不得不在地质条件不好的地方进行修建。因此，就需要对天然的软弱地基进行处理。

地基处理的主要目的是指提高软弱地基的强度、保证地基的稳定；降低软弱地基的压缩性、减少基础的沉降和不均匀沉降；防止地震时地基土的振动液化；消除区域性土的湿陷性、胀缩性和冻胀性。

目前国内、外地基处理方法很多，很多方法尚在不断发展之中。每一种处理方法都有它的适用范围和局限性，因而针对各种特殊土其地基处理方法各异。为此，本书编写的原则是尽量反映国内、外地基处理的新技术和新经验，并对各种地基处理的方法阐明其加固机理、设计和施工方法，每章尽可能附以工程实例或算例，并对各种地基处理方法进行比较和综合考虑。

本书遵照全国土力学基础工程学会“土力学基础工程名词委员会”编制的《土力学及基础工程名词》（中国建筑工业出版社出版）一书统一全书专业技术名词；有的地基处理技术名词还注出英语原文，并简要阐明其定义。

本书各章节安排乃按地基处理的作用机理进行分章列节，编者认为可体现各种处理方法的主要特点和将某些地基处理方法的共性归纳入同一章内。但考虑读者阅读方便，为保持各章节的独立性，因而个别章节在内容上不免有极少部分搭接。

本书引用了许多科研和工程单位的一些科研成果和技术总

结，很多同志主动提供材料，谨向这些同志致以衷心的感谢。

限于编者水平，本书不足和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1987年4月

第 二 版 前 言

原《地基处理》一书自1988年第一版问世以来，已有6年多。在这6年中，我国经济建设突飞猛进，因而如何选择既满足工程要求，又节省建设资金的地基处理方法，成为广大工程技术人员所关注的重大技术问题。

本书再版编写的原则是：

1. 考虑托换技术这一领域正在全国各地蓬勃兴起，有必要增补这部分内容介绍给广大读者。由于托换技术与地基处理有相同之处，也有不同点，故在本书内专列一章。为了区别于《地基处理》，故这次再版后将书名改为《地基处理与托换技术》。

2. 当前我国《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—91)已正式颁布。为此，本书编写时是根据该规范技术要求和符号进行编写的，以使读者在工作中参考使用时较为方便。

3. 本次再版编写时，鉴于当前地基处理技术发展情况，为反映国内外最新技术成果，对第一版内各章进行了补充和加深。增加的内容有粉煤灰垫层、强夯置换、干振挤密碎石桩、水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)、真空预压、土钉技术；另外增加了“复合地基理论”和“托换技术”两章。

4. 鉴于第一版问世后有很多大专院校将它作为土建专业和工程地质专业大专生的必修课或选修课教材、成人教学的培训教材，因而这次编写中既考虑了工程技术人员参考时的实践性，又考虑了符合教学的特定规律性，故在各章末都尽可能附有各种地基处理方法的适用土质条件的典型工程实例。

本书共分8章。第1、2、8章由叶书麟编写；第3、6、7章由韩杰编写；第4、5章由叶观宝编写。全书由叶书麟担任

主编和校审工作。

本书编写过程中引用了很多单位的科研成果和技术总结，再次谨向这些同志致以衷心感谢。限于编者水平，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1994年10月

目 录

1. 绪言

1.1 场地、地基、基础和地基处理间关系	1
1.1.1 场地	1
1.1.2 地基	1
1.1.3 基础	2
1.1.4 地基处理	3
1.2 软弱地基和特殊土地基的工程性质及其对建筑物的危害	3
1.2.1 软弱地基	3
1.2.2 特殊土地基	4
1.3 地基处理方法的分类	7
1.4 地基处理设计前的调查研究和方案选择	12
1.5 地基处理工程的施工管理	16
1.6 地基处理技术的国内外发展情况	17

2. 换填

2.1 概述	19
2.2 垫层设计	20
2.2.1 砂(或砂石、碎石)垫层设计	20
2.2.2 素土(或灰土、二灰)垫层设计	23
2.2.3 粉煤灰垫层设计	23
2.2.4 干渣垫层设计	24
2.3 填土的压实作用	26
2.4 垫层施工	28
2.4.1 按密实方法分类	28
2.4.2 按垫层材料分类	31
2.5 工程实例	34

3. 深层密实

3.1 强夯	41
--------------	----

3.1.1	概述	41
3.1.2	加固机理	43
3.1.3	设计计算	49
3.1.4	施工工艺与质量检验	54
3.1.5	现场测试	58
3.1.6	工程实例	60
3.2	碎石桩和砂桩	72
3.2.1	概述	72
3.2.2	按施工方法分类及其适用性	73
3.2.3	加固机理	75
3.2.4	设计计算	81
3.2.5	施工工艺	95
3.2.6	质量检验	106
3.2.7	工程实例	107
3.3	石灰桩	128
3.3.1	概述	128
3.3.2	加固机理	129
3.3.3	设计计算	132
3.3.4	施工工艺	134
3.3.5	质量检验	137
3.3.6	工程实例	138
3.4	土桩及灰土桩	146
3.4.1	概述	146
3.4.2	加固机理	147
3.4.3	设计计算	150
3.4.4	施工工艺	153
3.4.5	质量检验	156
3.4.6	工程实例	157
3.5	水泥粉煤灰碎石桩	163
3.5.1	概述	163
3.5.2	材料配合比及其力学性能	163
3.5.3	加固机理	170
3.5.4	设计计算	172
3.5.5	施工工艺	174
3.5.6	工程实例	175

4. 排水固结	178
4.1 概述	178
4.2 排水固结的原理	180
4.3 排水固结法的设计与计算	183
4.3.1 预压法	184
4.3.2 砂井排水	196
4.3.3 地基土抗剪强度增长的预估	217
4.3.4 稳定分析	220
4.3.5 沉降计算	224
4.4 施工工艺	228
4.4.1 水平排水垫层的施工	229
4.4.2 竖向排水体的施工	230
4.4.3 预压荷载	241
4.5 效果检验及加荷速率的控制	246
4.5.1 现场观测	246
4.5.2 加荷速率控制	248
4.5.3 质量检验	252
4.6 工程实例	253
5. 化学加固	267
5.1 灌浆法	267
5.1.1 概述	267
5.1.2 浆液材料	269
5.1.3 灌浆理论	283
5.1.4 灌浆设计计算	291
5.1.5 施工工艺	301
5.1.6 质量检验	311
5.1.7 工程实例	313
5.2 高压喷射注浆	322
5.2.1 概述	322
5.2.2 加固机理	329
5.2.3 设计计算	337
5.2.4 施工工艺	348
5.2.5 质量检验	353
5.2.6 工程实例	356

5.3 水泥土搅拌法	361
5.3.1 概述	361
5.3.2 加固机理	364
5.3.3 水泥加固土的室内外试验	367
5.3.4 设计计算	381
5.3.5 施工工艺	392
5.3.6 质量检验	402
5.3.7 工程实例	405
6. 土的加筋	413
6.1 加筋土挡墙	414
6.1.1 概述	414
6.1.2 加固机理	417
6.1.3 设计计算	420
6.1.4 施工技术	432
6.2 土工聚合物	447
6.2.1 概述	447
6.2.2 土工聚合物产品类型	448
6.2.3 土工聚合物特性与试验	450
6.2.4 土工聚合物应用在工程上作用	460
6.2.5 设计计算	468
6.2.6 施工技术	474
6.2.7 工程实例	476
6.3 土钉	484
6.3.1 概述	484
6.3.2 土钉的类型、特点及适用性	485
6.3.3 土钉与加筋土挡墙、土层锚杆的比较	487
6.3.4 加固机理	489
6.3.5 设计计算	493
6.3.6 施工技术	502
6.3.7 检验和监测	506
6.3.8 工程实例	506
7. 复合地基理论	515
7.1 概述	515
7.2 概念及分类	515
7.2.1 概念	515

7.2.2 分类	517
7.3 作用机理和破坏模式	517
7.3.1 作用机理	517
7.3.2 破坏模式	519
7.4 应力特性	521
7.4.1 基底反力	521
7.4.2 附加应力分布	522
7.4.3 桩土应力比	523
7.5 承载力及变形特性	529
7.5.1 复合地基承载力	529
7.5.2 复合地基变形	531
7.6 固结特性	533
7.6.1 孔隙水压力特性	533
7.6.2 固结度	534
7.7 动力特性	539
8. 托换技术	540
8.1 概述	540
8.1.1 托换技术分类	542
8.1.2 托换前调查研究	543
8.1.3 特殊土地上常见的建筑物危害	543
8.1.4 建筑物损坏程度的判断	552
8.1.5 托换技术施工要点和工程监理	554
8.2 基础加宽托换	555
8.3 坑式托换	559
8.3.1 施工步骤	559
8.3.2 设计要点	560
8.4 桩式托换	565
8.4.1 静压桩	566
8.4.2 打入桩、灌注桩、灰土桩	584
8.4.3 树根桩	591
8.5 灌浆托换	610
8.6 高压喷射注浆托换	622
8.7 热加固托换	623
8.8 基础减压和加强刚度托换	626

8.9 建筑物纠偏	632
8.9.1 堆载加压纠偏	633
8.9.2 锚桩加压纠偏	636
8.9.3 掏土纠偏	639
8.9.4 降水掏土纠偏	646
8.9.5 压桩掏土纠偏	646
8.9.6 浸水纠偏	648
8.9.7 顶升纠偏	652
参考文献	660

1. 绪 言

1.1 场地、地基、基础和地基处理间关系

1.1.1 场 地

场地 (Site) 是指工程建设所直接占有并直接使用的有限面积的土地。场地范围内及其邻近的地质环境都会直接影响着场地的稳定性。

场地的概念是宏观的, 它不仅代表着所划定的土地范围, 还应扩大涉及某种地质现象或工程地质问题所概括的地区。所以场地的概念不能机械地理解为建筑占地面积, 在地质条件复杂的地区, 还应指包括该面积在内的某个微地貌、地形和地质单元。

场地的评价实际上是工程选址或工程总体规划的一个组成部分。对占有较大地域的工程项目而言, 它也是前期工作中可行性研究的一项主要组成部分。其内容包括:

1. 考虑区域工程地质条件, 并结合场地的具体情况, 判断场地范围内及其附近是否存在直接威胁工程安全或影响正常运营的不良地质因素;

2. 如确实存在不良地质因素, 则必须进一步说明工程可能带来的具体风险, 及为此所需采取的措施和工程额外增加的造价。

1.1.2 地 基

地基 (Foundation, Subgrade) 是指承托建筑物基础的这一部分范围很小的场地。

我国土地辽阔、幅员广大、自然地理环境不同、土质各异、地基条件区域性较强，因而使地基基础这门学科特别复杂。随着当前经济建设的蓬勃发展，不仅事先要选择在地质条件良好的场地从事建设，而且有时也不得不在地质条件不好的场地进行修建，为此必须对地基进行处理。

建筑物的地基所面临的问题有以下四方面：

一、强度及稳定性

当地基的抗剪强度不足以支承上部结构的自重及外荷载时，地基就会产生局部或整体剪切破坏。它会影响建（构）筑物的正常使用，甚至引起开裂或破坏。

二、变形

当地基在上部结构的自重及外荷载作用下产生过大的变形时，会影响结构物的正常使用；当超过建筑物所能容许的不均匀沉降时，结构可能开裂。沉降量较大，不均匀沉降也随之较大。湿陷性黄土遇水湿陷、膨胀土的遇水膨胀、失水收缩也属这类问题。

三、渗漏

渗漏（Seepage）是由于地下水在运动中出现的问题，会产生水量损失；或因潜蚀和管涌而可能导致建筑物发生事故。

四、液化

在动力荷载（地震、机器以及车辆振动、波浪和爆破等）作用下，会引起饱和松散粉细砂（包括部分粉土）产生液化（Liquefaction），它是使土体失去抗剪强度近似液体特性的一种现象，并会造成地基失稳和震陷。

1.1.3 基 础

任何建筑物的荷载最终将传递到地基土，由于上部结构材料强度很高，而相应地基土的强度很低和压缩性较大，因此必须设置一定结构型式和尺寸的基础。

基础（Foundation, Footing）具有承上启下的作用。它处于

上部结构的荷载及地基反力的相互作用下,承受由此而产生的内力(轴力、剪力和弯矩)。另外,基础底面的反力反过来又作为地基上的荷载,使地基土产生应力和变形。

基础设计时,除需保证基础结构本身具有足够的刚度和强度外,同时还需选择合理的基础尺寸和布置方案,使地基的强度和变形满足规范的要求。因此,基础方案的论证常是地基评价的自然引伸和必然结果,地基和基础的设计往往是不可截然分割的。在英语名词中对“地基”和“基础”均用“Foundation”一词,可见在实用上两者的一体性,所以基础设计又常被称为地基基础设计。

1.1.4 地 基 处 理

凡是基础直接建造在未经加固的天然土层上时,这种地基称之为天然地基。若天然地基很软弱,不能满足地基强度和变形等要求,则事先要经过人工处理后再建造基础,这种地基加固称为地基处理 (Soil Treatment, Soil Improvement)。

地基处理的目的是利用置换、夯实、挤密、排水、胶结、加筋和热学等方法对地基土进行加固,用以改善地基土的剪切性、压缩性、渗透性、振动性和特殊土地基的特性。

1.2 软弱地基和特殊土地基的工程性质及其对建筑物的危害

地基处理的对象是软弱地基和特殊土地基。

1.2.1 软 弱 地 基

我国的《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)中规定:“软弱地基 (Soft Foundation) 系指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其它高压缩性土层构成的地基”。

一、软(粘)土

淤泥及淤泥质土总称为软(粘)土,其分类和特性在第1.2.2