

高 等 学 校 引 进 版 经 典 系 列 教 材

■ [美] 约瑟夫·E·波勒斯 著

■ 童小东 等译

# 基础工程分析与设计 (第5版)

F O U N D A T I O N  
A N A L Y S I S  
A N D D E S I G N

中国建筑工业出版社

高等学校引进版经典系列教材

# 基础工程分析与设计

(第5版)

[美] 约瑟夫·E·波勒斯 著

童小东 等译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字: 01-2003-2627 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

基础工程分析与设计: 第 5 版/ (美) 波勒斯 (Bowles, J. E.)

著; 童小东等译. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004

(高等学校引进版经典系列教材)

ISBN 7-112-06400-7

I. 基… II. ①波… ②童… III. 地基—基础 (工程) —  
高等学校—教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 022853 号

本书由美国麦格劳 - 希尔教育 (亚洲) 出版集团正式授权我社在中国翻译、出版、发行中文版  
FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN / JOSEPH E. BOWLES, 5th ed. ISBN 0-07-912247-7  
Copyright ©1996 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Translation Copyright © 2004 China Architecture & Building Press

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and China Architecture & Building Press.

本书中文简体字翻译版由中国建筑工业出版社和美国麦格劳 - 希尔教育 (亚洲) 出版集团合作出版。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

高等学校引进版经典系列教材

**基础工程分析与设计**

(第 5 版)

[美] 约瑟夫·E·波勒斯 著

童小东 等译

\*

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

北京同文印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 65¼ 字数: 1638 千字

2004 年 10 月第一版 2004 年 10 月第一次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 88.00 元

ISBN 7-112-06400-7

TU·5652 (12414)

**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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是美国一部知名的大学基础工程课程教材，首次出版于 1968 年，本次是根据第 5 版译出。它保持了本书传统的优点，本版又增加了许多新内容，增加了电算程序，并基本上采用了 SI 国际单位制。本书共有 20 章，介绍了土力学与基础工程的基本概念，岩土工程勘察与测试，基础承载力，基础沉降计算，地基处理及基础设计时应考虑的各种因素，并着重叙述了各种基础（包括扩展基础、特殊基础及弹性地基上的梁、筏形基础、桩基础、墩基与沉井、围堰等）的设计、计算以及土压力与基坑开挖，基础振动等。反映了岩土工程领域国际上新发展和新成果。

本书可作为大学土木工程专业本科生和研究生教材，亦可供土建工程技术人员继续教育学习参考。

责任编辑：朱象清

责任设计：崔兰萍

责任校对：王 莉

## 序

本书的第5版延续了前4版的版式,为读者提供了在当前“基础工程”领域的技术发展现状(SOA)和实践发展现状(SOP)。根据笔者与读者的相互交流,本人已断定SOP平均落后于SOA约10年。当然,一些大的组织可能位于技术发展的前沿,而许多其他组织(尤其是较小的公司)可能处于不同的发展阶段。

本书(亦被专业人员广为参阅)包括了SOP内容,但是重点在于SOA。后者通过将实践与最新推荐的设计/分析方法相结合而实现。这就使得本书与美国土木工程师学会(ASCE)和其他专业组织的总目标相符合,这些组织曾测定出工科大学毕业生仅在其毕业5~7年后,其以前所学的知识在实践中将逐渐过时。

不同地区的设计方法会有所不同,部分原因可归结为受教师的影响,此外还因为几乎没有“绝对的设计”。因此有必要在本书中介绍被普遍接受的不同方法,但应对其用法进行介绍并提出建议。这可使读者了解地区的差异,并提出“常规的”设计方案或根据具体场地条件提出可供选择的方法,以从中选择最恰当的方法。尽管这些注释看上去似乎过于面向实际,而事实上学生必须认识到这些现实冲突、地区差异和可供选择的方法,以使得他们更具备实际工作能力。

本书着重介绍了计算机方法和有限单元法(FEM)(包括以前版本所介绍的矩阵法),以反映个人计算机和FEM在实际中的广泛应用。但是应当注意对有限单元法的定义并不惟一。对于一些专业人员来说,有限单元法是指采用离散(或有限)单元对连续体(梁、板或其他实体)的任何数学表示法。而对于其他专业人员,FEM的定义仅被用于模拟地基土体及与之相接触的结构构件——有时称为“地基-结构相互作用”的模拟。在本书中采用前者的定义,因为在实践中和大多数FEM的专用教材中均广为采用此定义。

本书对建立FEM模型的基础理论进行了充分介绍,所以一般的读者在应用此方法来设计/分析书中所采用的地基-结构接触类型的问题时应不会存在很大困难。此处内容的编写是基于对读者的合理假设,即应用此书的大多数学生已对静力学的FEM和矩阵法、基础结构以及大学水平所必需的数学等课程均进行了学习。作为进一步的帮助,还采用了电算程序(已经过编译,存贮在所附磁盘中),所以读者在应用上述方法时就无须再掌握FEM的编程知识。

### 本书的新增内容

本书已经过了大量的修订,包括增加了适当的新内容以及对以前内容的展开讨论。对大量的图进行了修改并增添了若干新图。之所以能做到上述内容的增加而使书的总页数仅有少量增加,是由于现在将原来版本中所列出的电算程序存贮在磁盘中,从而节省了篇幅。以下为新旧版本的主要变化:

a. 将书中的例题和习题进行了修订,均采用了SI制。仅有两、三个例题属于例外,原因在于它们原来就是采用Fps制发表的,而且读者需要花费很大的努力在两套单位体系

之间进行反复转换才可实现校核。

b. 在基本的程序包中又增添了 5 个电算程序, 所以现在的磁盘中一共有 16 个程序。本书中可采用所附程序进行计算的例题, 其输入数据文件也几乎全都存贮于磁盘中。这些对读者而言是非常有用的, 因为这样可迅速得到更为易读的电算输出结果。在章节后面许多习题的求解中, 读者还可对所附数据文件的拷贝进行编辑并执行。

c. 对习题进行了修订, 只要在所附磁盘中有所用的电算程序, 就必须采用此程序来求解。

d. 对前一版本的几个公式和图进行了改正。

e. 对承受倾覆力矩基础 (见第 8 章) 的计算方法进行了修改, 采用由 Meyerhof 在 1953 年首次提出的用于计算承载力和实际基础设计的一套方法。

f. 将第 11 章中对侧向土压力的讨论进行了展开。

g. 对例题的格式普遍进行了改进, 以使计算过程更为清楚。

尽管本书并不是文献综述, 但仍需要列出大量的参考文献, 一方面可为本书所介绍的内容提供依据, 另一方面也对那些为基础工程的理论和实践发展做出贡献的文献给予专业上的赞许。由于篇幅的限制, 笔者不得不将所涉及的任一主题的参考文献限制在很少超过一两篇。但是, 笔者试图引用那些包括了最新和最丰富文献列表的文献, 从而使得感兴趣的读者可通过最小的文献检索, 努力即可得到任何后续核实或背景知识的补充。如果由于对文献列表的限制而造成对任何重要文献的遗漏, 笔者诚恳地表示歉意。同时笔者对两个以上作者的文献均采用了“第一作者等”的表述方式, 希望没有对后面的作者造成冒犯。

若要对本书第 1 章绪论中所定义的“基础工程”中的内容进行汇总, 可以发现需要涉及的主题相当广泛。这些主题在计算上的难度可以要求采用可编程的先进计算器一直提高到采用数字计算机。如此丰富的内容使得本书可通过审慎的主题选择以用于土木、结构、建筑和施工工程专业的课程, 且至少应对此书开设两门课程。

尽管本版几乎是完全重写的, 但仍保留了第 4 版的大多数编排方式, 因为第 4 版也有大量的重写部分。本版更加侧重于对那些读者要求论述的或笔者认为必要的主题进行澄清和阐述。

本版与第 4 版的主要区别在于本版在所附磁盘中提供了编译格式的电算程序 (在第 4 版中则直接附于书中)。所有的程序均经过了编译以使用户可根据屏幕提示输入数据。当数据文件很大时, 用户可选择采用屏幕编辑器来生成数据文件并将其存入磁盘以备以后的修改, 这样就可容易地进行参数研究。除了增加了一些屏幕程序语句以外, 本版的程序基本上与第 4 版相同。之所以这样做的原因在于许多教师从笔者这里获得了那些程序的源代码的拷贝 (也有教师让他们的学生对程序进行录入), 若对这些源程序做了大量修改就有可能使得程序用户应用第 5 版的程序得不到与第 4 版完全相同的输出次序。此外, 在用户得到源代码程序的同时还可得到一份用户手册, 在用户手册中给出了输入变量名、输入次序和输入参数的单位。

正如以前的版本一样, 本版中也附上了大量的例题。本版对那些从以前版本延续下来的例题进行了重做, 与新添加的例题一样, 都对求解过程的步骤给出了相当详细的说明。笔者在本版中一如既往地试图引用实际的工程实例——尽可能在本书允许的篇幅以内。这些例题通常引自己出版或发表的文献, 所以教师可要求学生进行相关背景知识的调研, 以

使他们对通过专业期刊使用他人成果的难度有所体会。若书中的例题是通过手算得出的,一般在例题结束时对计算结果和设计过程中可能进行的下一步工作会给出注释和讨论。若采用了电算的输出结果,例题中也总会给出一些注释,告知读者如何对输出结果进行校核以判断对该模型的解答是否正确。这些注释可作为对先前正文中关于电算程序的讨论的补充。

笔者愿向本教材国内外的许多读者表示感谢,他们以书面或口头的形式向笔者提出了建议或建设性的批评意见,或仅仅是为了对某一方法进行探讨。笔者同时还要向参与 McGraw-Hill 出版公司读者调查(以为本次修订提供反馈意见)的先生/女士们表示感谢,其中包括 Rutgers 大学 Busch 校区的 Y. S. Chae, 爱荷华州立大学的 K. L. Bergesen, Southern Florida 大学的 M. Gunaratne, Purdue 大学的 C. W. Lovell, 俄克拉何马州立大学的 Mete Oner 以及 Colorado 大学的 Stein Sture。

最后,笔者要对笔者妻子 Faye 做出的很大贡献表示感谢,她帮助进行了图和文献的校核并处理了大量的复杂事务,以使书稿得以完成。

Joseph E. Bowles

# 目 录

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 第 1 章 绪论 .....                           | 1   |
| 1-1 基础的重要性及其用途 .....                     | 1   |
| 1-2 基础工程 .....                           | 1   |
| 1-3 基础的分类与定义 .....                       | 2   |
| 1-4 基础的一般要求 .....                        | 5   |
| 1-5 基础设计需要考虑的其他因素 .....                  | 6   |
| 1-6 基础类型的选择 .....                        | 7   |
| 1-7 国际单位制 (SI) 和英尺-磅-秒制 (Fps) .....      | 8   |
| 1-8 计算精度与设计精度 .....                      | 10  |
| 1-9 基础分析与设计的电算程序 .....                   | 11  |
| 第 2 章 岩土的性质及其特性指标: 室内试验; 沉降与强度的相关性 ..... | 13  |
| 2-1 引言 .....                             | 13  |
| 2-2 地基土体 .....                           | 14  |
| 2-3 土体体积与密度的关系 .....                     | 15  |
| 2-4 影响土体工程性质的主要因素 .....                  | 18  |
| 2-5 测定土体指标的常规室内试验 .....                  | 21  |
| 2-6 基础设计中的土体分类法 .....                    | 25  |
| 2-7 土的分类名称 .....                         | 30  |
| 2-8 原位应力与 $K_0$ 状态 .....                 | 34  |
| 2-9 土中水与土中水力学 .....                      | 40  |
| 2-10 固结原理 .....                          | 48  |
| 2-11 抗剪强度 .....                          | 79  |
| 2-12 灵敏度和触变性 .....                       | 98  |
| 2-13 应力路径 .....                          | 98  |
| 2-14 土体的弹性参数 .....                       | 105 |
| 2-15 各向同性和各向异性的土体 .....                  | 111 |
| 习题 .....                                 | 114 |
| 第 3 章 勘探、取样及土体的原位测试 .....                | 118 |
| 3-1 设计所需的资料 .....                        | 118 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 3-2 勘探方法 .....                        | 119 |
| 3-3 勘探计划的制定 .....                     | 120 |
| 3-4 土质钻探 .....                        | 122 |
| 3-5 采取土样 .....                        | 126 |
| 3-6 水下采样 .....                        | 132 |
| 3-7 标准贯入试验 (SPT) .....                | 133 |
| 3-8 标准贯入试验中的相关关系 .....                | 141 |
| 3-9 设计 $N$ 值 .....                    | 143 |
| 3-10 其他贯入试验方法 .....                   | 144 |
| 3-11 圆锥触探试验 (CPT) .....               | 146 |
| 3-12 现场十字板剪切试验 (FVST) .....           | 158 |
| 3-13 钻孔剪切试验 (BST) .....               | 164 |
| 3-14 扁铲侧胀试验 (DMT) .....               | 165 |
| 3-15 旁压试验 (PMT) .....                 | 168 |
| 3-16 测定原位 $K_0$ 的其他方法 .....           | 171 |
| 3-17 采取岩样 .....                       | 174 |
| 3-18 地下水位 (GWT) 的确定 .....             | 177 |
| 3-19 钻孔的数量和深度 .....                   | 177 |
| 3-20 封闭的填埋场或有害废物场地中的<br>钻孔和/或勘探 ..... | 178 |
| 3-21 勘探报告 .....                       | 178 |
| 习题 .....                              | 182 |
| 第 4 章 基础承载力 .....                     | 185 |
| 4-1 引言 .....                          | 185 |
| 4-2 承载力 .....                         | 186 |
| 4-3 承载力公式 .....                       | 190 |
| 4-4 使用承载力公式的其他考虑 .....                | 198 |
| 4-5 承载力算例 .....                       | 200 |
| 4-6 偏心或倾斜荷载下的基础 .....                 | 204 |
| 4-7 地下水位对承载力的影响 .....                 | 215 |
| 4-8 层状地基上基础的承载力 .....                 | 217 |
| 4-9 斜坡上基础的承载力 .....                   | 222 |
| 4-10 由 SPT 确定承载力 .....                | 227 |
| 4-11 由 CPT 确定承载力 .....                | 229 |

|                                              |     |                                     |     |
|----------------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 4-12 由现场载荷试验确定承载力·····                       | 230 | 6-10 旋喷灌浆·····                      | 317 |
| 4-13 承受上拔或拉力的基础的<br>承载力·····                 | 233 | 6-11 基础灌浆及化学加固·····                 | 317 |
| 4-14 按建筑规范确定承载力<br>(推断承载力)·····              | 236 | 6-12 提高土体密实度的振冲法·····               | 318 |
| 4-15 基础设计中的安全系数·····                         | 237 | 6-13 采用土工织物加固土体·····                | 320 |
| 4-16 岩石的承载力·····                             | 239 | 6-14 改变地下水条件·····                   | 321 |
| 习题·····                                      | 241 | 习题·····                             | 321 |
| 第5章 基础的沉降·····                               | 245 | 第7章 基础设计中考虑的因素·····                 | 323 |
| 5-1 沉降问题·····                                | 245 | 7-1 基础的埋置深度和间距·····                 | 323 |
| 5-2 由基底压力引起的地基土体中的<br>应力·····                | 246 | 7-2 挖除土的影响·····                     | 325 |
| 5-3 计算地基土体中应力增量 $q_v$ 的<br>Boussinesq 法····· | 247 | 7-3 基底净压力与总压力——基底设计<br>压力·····      | 326 |
| 5-4 特殊荷载情形下的 Boussinesq 解·····               | 256 | 7-4 邻近水流的结构物的冲刷问题·····              | 326 |
| 5-5 计算土中应力的 Westergaard 法·····               | 261 | 7-5 防腐措施·····                       | 327 |
| 5-6 瞬时沉降计算·····                              | 262 | 7-6 水位的起落·····                      | 328 |
| 5-7 基础的转动·····                               | 269 | 7-7 砂土层和粉土层中的基础·····                | 328 |
| 5-8 瞬时沉降计算中需要考虑的<br>其他因素·····                | 272 | 7-8 黄土和其他湿陷性土上的基础·····              | 329 |
| 5-9 影响沉降和承载力的尺寸效应·····                       | 276 | 7-9 体积随含水率变化的不饱土上的<br>基础·····       | 331 |
| 5-10 计算弹性沉降的其他方法·····                        | 281 | 7-10 黏土和黏质粉土上的基础·····               | 344 |
| 5-11 成层和各向异性土体中的应力<br>和位移·····               | 284 | 7-11 残积土上的基础·····                   | 345 |
| 5-12 固结沉降·····                               | 286 | 7-12 生活垃圾填埋场上的基础·····               | 345 |
| 5-13 沉降计算的可靠性·····                           | 294 | 7-13 冻结深度及永久冻土上的基础·····             | 347 |
| 5-14 填土地地上的建筑物·····                          | 294 | 7-14 环境保护方面的考虑·····                 | 348 |
| 5-15 建筑物的容许沉降和差异沉降·····                      | 295 | 习题·····                             | 348 |
| 5-16 沉降综述·····                               | 297 | 第8章 扩展基础设计·····                     | 350 |
| 习题·····                                      | 298 | 8-1 基础的分类和用途·····                   | 350 |
| 第6章 地基加固·····                                | 301 | 8-2 扩展基础设计中的地基容许承<br>载力·····        | 351 |
| 6-1 引言·····                                  | 301 | 8-3 基础设计中的假定·····                   | 352 |
| 6-2 轻质结构填料·····                              | 302 | 8-4 钢筋混凝土设计: 极限强度设计<br>(USD) 法····· | 353 |
| 6-3 压实·····                                  | 303 | 8-5 扩展基础的结构设计·····                  | 359 |
| 6-4 水泥、石灰和粉煤灰稳定土·····                        | 307 | 8-6 支承板和锚栓·····                     | 369 |
| 6-5 加固场地土层的预压法·····                          | 307 | 8-7 柱脚·····                         | 376 |
| 6-6 采用砂垫层和砂井排水·····                          | 309 | 8-8 倾覆弯力矩下的支承板设计·····               | 380 |
| 6-7 提高地基刚度的砂桩·····                           | 311 | 8-9 矩形基础·····                       | 387 |
| 6-8 碎石桩·····                                 | 313 | 8-10 偏心荷载下的扩展基础·····                | 391 |
| 6-9 水泥土桩·····                                | 315 | 8-11 非对称基础·····                     | 406 |
|                                              |     | 8-12 墙基及住宅建筑基础·····                 | 406 |

|                                         |     |                                 |     |
|-----------------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 习题 .....                                | 409 | 11-7 运用塑性理论的主动和被动土<br>压力 .....  | 538 |
| 第 9 章 特殊基础和弹性地基上的梁 ..                   | 412 | 11-8 墙上土压力、土拉力的影响,<br>断裂区 ..... | 541 |
| 9-1 引言 .....                            | 412 | 11-9 侧向土压力的可靠性 .....            | 545 |
| 9-2 矩形联合基础 .....                        | 412 | 11-10 侧向土压力计算中的<br>土体参数 .....   | 545 |
| 9-3 梯形基础设计 .....                        | 421 | 11-11 挡土墙问题中的土压力理论 ..           | 548 |
| 9-4 联梁式(或挑梁式)基础设计 ..                    | 425 | 11-12 侧向土压力的图解和<br>计算结果 .....   | 551 |
| 9-5 工业设备基础 .....                        | 428 | 11-13 由弹性理论得到的侧向压力 ..           | 556 |
| 9-6 基床反力系数 .....                        | 439 | 11-14 侧向压力的其他起因 .....           | 566 |
| 9-7 弹性地基梁的经典解 .....                     | 444 | 11-15 地震引起的侧向墙压力 .....          | 566 |
| 9-8 弹性地基梁的有限元解 .....                    | 447 | 11-16 筒仓、谷仓及煤仓内的压力 ..           | 571 |
| 9-9 环形基础 .....                          | 460 | 习题 .....                        | 577 |
| 9-10 对有限元法的概括评述 .....                   | 469 | 第 12 章 加筋土和混凝土挡土墙 ..            | 581 |
| 习题 .....                                | 470 | 12-1 引言 .....                   | 581 |
| 第 10 章 筏形基础 .....                       | 473 | 12-2 加筋土挡土墙 .....               | 581 |
| 10-1 引言 .....                           | 473 | 12-3 加筋土挡土墙设计 .....             | 587 |
| 10-2 筏形基础的形式 .....                      | 474 | 12-4 混凝土挡土墙 .....               | 602 |
| 10-3 筏形基础的承载力 .....                     | 474 | 12-5 悬臂式挡土墙 .....               | 604 |
| 10-4 筏形基础的沉降 .....                      | 476 | 12-6 挡土墙的稳定性的 .....             | 605 |
| 10-5 用于筏形(或整板)基础的基床<br>反力系数 $k_b$ ..... | 479 | 12-7 墙接缝 .....                  | 611 |
| 10-6 筏形基础的设计 .....                      | 483 | 12-8 墙体排水 .....                 | 612 |
| 10-7 筏形基础的有限差分法 .....                   | 486 | 12-9 挡土墙的土体参数 .....             | 613 |
| 10-8 筏形基础的有限单元法 .....                   | 490 | 12-10 混凝土挡土墙设计的综合考虑 ..          | 614 |
| 10-9 筏形基础的有限网格法<br>(FGM) .....          | 491 | 12-11 容许承载力 .....               | 615 |
| 10-10 应用有限网格法分析筏形<br>基础的算例 .....        | 498 | 12-12 挡土墙沉降 .....               | 615 |
| 10-11 筏形基础-上部结构的<br>相互作用 .....          | 508 | 12-13 变高度的挡土墙、桥台及翼墙 ..          | 616 |
| 10-12 圆形筏形(或整板)基础 .....                 | 509 | 12-14 扶壁式挡土墙 .....              | 618 |
| 10-13 边界条件 .....                        | 519 | 12-15 地下室墙或基础墙、住宅建筑<br>的墙 ..... | 619 |
| 习题 .....                                | 519 | 12-16 ACI 318-比选设计法要素 .....     | 620 |
| 第 11 章 侧向土压力 .....                      | 521 | 12-17 悬臂式挡土墙实例 .....            | 621 |
| 11-1 侧向土压力问题 .....                      | 521 | 习题 .....                        | 638 |
| 11-2 主动土压力 .....                        | 521 | 第 13 章 板桩墙——悬臂式和<br>锚固式 .....   | 640 |
| 11-3 被动土压力 .....                        | 524 | 13-1 引言 .....                   | 640 |
| 11-4 库伦土压力理论 .....                      | 525 | 13-2 板桩的形式与材料 .....             | 643 |
| 11-5 朗肯土压力 .....                        | 531 |                                 |     |
| 11-6 两种方法的全面评述 .....                    | 534 |                                 |     |

|        |                         |     |        |                      |     |
|--------|-------------------------|-----|--------|----------------------|-----|
| 13-3   | 板桩墙的土体参数                | 647 | 土体参数   | 777                  |     |
| 13-4   | 板桩墙的稳定系数                | 650 | 16-7   | 桩的静承载力               | 779 |
| 13-5   | 倾斜开挖线                   | 651 | 16-8   | 桩端极限承载力              | 784 |
| 13-6   | 板桩墙的有限元分析               | 653 | 16-9   | 桩侧摩阻力                | 790 |
| 13-7   | 有限单元法示例                 | 658 | 16-10  | 桩的沉降                 | 797 |
| 13-8   | 锚锭式板桩墙的锚杆、撑梁<br>及锚锭     | 682 | 16-11  | 桩静承载力: 算例            | 799 |
| 13-9   | 墙体的稳定性及安全系数             | 691 | 16-12  | 永冻土中的桩               | 808 |
|        | 习题                      | 692 | 16-13  | 用荷载传递试验数据确定桩<br>静承载力 | 812 |
| 第 14 章 | 基坑支护墙体                  | 694 | 16-14  | 抗拔桩——用于抵抗上拔的桩        | 814 |
| 14-1   | 基坑构造                    | 694 | 16-15  | 侧向受荷桩                | 815 |
| 14-2   | 基坑支护墙体上的土压力             | 698 | 16-16  | 侧向受荷桩算例              | 830 |
| 14-3   | 基坑支护墙体的常规设计             | 702 | 16-17  | 全部和局部埋置桩和<br>杆的压曲    | 838 |
| 14-4   | 基坑周边地基失稳的估计             | 708 |        | 习题                   | 843 |
| 14-5   | 支撑开挖的有限元分析              | 711 | 第 17 章 | 单桩动力分析与荷载试验          | 847 |
| 14-6   | 基坑底部隆起产生的失稳             | 715 | 17-1   | 动力分析                 | 847 |
| 14-7   | 围堰失稳的其他原因               | 719 | 17-2   | 打桩                   | 847 |
| 14-8   | 降水施工                    | 719 | 17-3   | 打桩理论公式               | 851 |
| 14-9   | 地下连续墙(或泥浆槽)施工           | 722 | 17-4   | 其他的动力公式和一般讨论         | 855 |
|        | 习题                      | 727 | 17-5   | 动力打桩公式的可靠性           | 861 |
| 第 15 章 | 格型围堰                    | 729 | 17-6   | 波动方程                 | 863 |
| 15-1   | 格型围堰: 类型和使用             | 729 | 17-7   | 桩承载试验                | 871 |
| 15-2   | 格室填料                    | 736 | 17-8   | 打桩应力                 | 874 |
| 15-3   | 格型围堰的稳定性和设计             | 736 | 17-9   | 关于打桩的一般讨论            | 877 |
| 15-4   | 承载力                     | 746 |        | 习题                   | 878 |
| 15-5   | 格室沉降                    | 746 | 第 18 章 | 桩基础: 群桩              | 880 |
| 15-6   | 格型围堰设计中的实际问题            | 747 | 18-1   | 单桩和群桩                | 880 |
| 15-7   | 隔板围堰格室设计                | 749 | 18-2   | 竖向受荷的群桩              | 881 |
| 15-8   | 圆形格室设计                  | 754 | 18-3   | 群桩效应                 | 882 |
| 15-9   | 苜蓿叶形围堰设计                | 760 | 18-4   | 下卧土层中的应力             | 884 |
|        | 习题                      | 761 | 18-5   | 群桩的沉降                | 891 |
| 第 16 章 | 单桩——静承载力、水平荷载;<br>桩/桩压曲 | 763 | 18-6   | 桩承台                  | 897 |
| 16-1   | 引言                      | 763 | 18-7   | 斜桩                   | 899 |
| 16-2   | 木桩                      | 769 | 18-8   | 负摩阻力                 | 899 |
| 16-3   | 混凝土桩                    | 770 | 18-9   | 侧向受荷的群桩              | 904 |
| 16-4   | 钢桩                      | 774 | 18-10  | 群桩的矩阵分析              | 909 |
| 16-5   | 钢桩的腐蚀                   | 777 | 18-11  | 承台的计算机设计             | 917 |
| 16-6   | 确定桩静承载力所需的              |     |        | 习题                   | 919 |

|                   |     |                                    |      |
|-------------------|-----|------------------------------------|------|
| 第 19 章 钻孔墩或沉井     | 921 | 20-9 动力基础响应的埋置影响                   | 980  |
| 19-1 引言           | 921 | 20-10 动力基础设计的要点                    | 981  |
| 19-2 目前的施工方法      | 921 | 20-11 桩承动力基础                       | 983  |
| 19-3 钻孔墩的使用条件     | 927 | 习题                                 | 988  |
| 19-4 钻孔墩的其他实际问题   | 928 | 附录 A 通用的桩和桩锤的参数表                   | 990  |
| 19-5 钻孔墩的承载力分析    | 929 | 表 A-1 HP 桩的尺寸及截面特性                 | 991  |
| 19-6 钻孔墩沉降计算      | 935 | 表 A-2 不同制造商的典型桩锤                   | 992  |
| 19-7 钻孔墩的结构设计     | 938 | 表 A-3 美国 (a)、欧洲 (b) 生产的钢板<br>桩的截面  | 993  |
| 19-8 钻孔墩设计实例      | 939 | 表 A-4 用作桩和沉井套的标准钢管<br>截面           | 996  |
| 19-9 侧向受荷的钻孔墩分析   | 943 | 表 A-5 预应力混凝土桩的典型截面                 | 997  |
| 19-10 钻孔墩的检测及承载试验 | 948 | 参考文献                               | 998  |
| 习题                | 949 | 作者索引                               | 1019 |
| 第 20 章 控制振动的基础设计  | 951 | 主题索引                               | 1023 |
| 20-1 引言           | 951 | 标准混凝土配筋的标称尺寸                       | 1030 |
| 20-2 振动原理         | 951 | U.S. (美制) 与 SI (国际单位制)<br>常用单位换算系数 | 1031 |
| 20-3 振动基础的一般情况    | 956 | 译后记                                | 1032 |
| 20-4 土的弹簧系数及阻尼系数  | 959 |                                    |      |
| 20-5 动力基础设计的土体参数  | 964 |                                    |      |
| 20-6 不平衡机械力       | 969 |                                    |      |
| 20-7 动力基础示例       | 971 |                                    |      |
| 20-8 耦合振动         | 978 |                                    |      |

# 第1章 绪 论

## 1-1 基础的重要性及其用途

所有建造在地球上的工程结构物，都必须支承在一种称为“基础”<sup>①</sup>的结构构件上。基础为整个工程体系的一部分，它用来将其所承受的上部荷载及其自重传递至其下伏的土层或岩层。这些荷载会导致地基土体中原有应力状态的改变，在土体中产生附加于原有应力之上的应力（附加应力）。而原有应力则是指由土体自重及地质历史所形成的土体中的应力。

“上部结构”一词通常用来描述对基础或下部结构施加荷载的那部分工程体系。“上部结构”一词对于建筑物和桥梁来说具有特定意义，而在另外一些情况下，比如基础也可以只用于支承机器，支承工业设备（如管道、塔式建筑物、贮罐），作为标志牌基础等。鉴于上述原因，最好将基础描述为工程体系中的一部分，它将承载构件与地基连接起来。

根据上述定义，基础显然是工程体系中最为重要的部分。

## 1-2 基 础 工 程

“基础工程师”是指经过系统的培训和实际工程的经历，能熟练应用科学原理和工程判断（通常称为“技能”）进行基础设计的人员，可以说，工程判断是设计过程中具有创造性的环节。

必需的科学原理可通过对岩土工程（土力学、地质学、基础工程学）和结构工程（钢筋混凝土和钢结构的分析与设计）领域的正规教育课程的学习获得，也可以通过短期培训、专业会议、期刊阅读等“持续的自学”获得。

由于岩、土体的非均质特性，即使位于相邻工地的两个基础的性状也很少相同。由于每个基础工程都或多或少地带有对未知领域的冒险，所以了解别人的解决办法（可通过对会议报告、期刊学术论文以及相关文献综述教材的学习获得）是非常有益的。为了提出经济、可行、安全的地下结构设计方案而将工程经验、对别人在相似条件下做法的研究以及具体场地的岩土工程信息进行综合即为工程判断的应用。

以下为基础设计的基本步骤：

1. 确定场地和荷载位置。基础荷载的大致估算通常由业主提供或通过室内计算获得。根据场地或荷载系统的复杂程度，可能需要进行文献调研，以了解别人是如何解决类似问题的。

---

① 基础有时也被称为“下部结构”。

2. 亲自检查场地。以确定是否在地质或其他方面存在可能导致潜在设计问题的因素, 在进行设计或提出设计建议时应对其给予重视。采用前期获得的任何土体参数对此检查结果进行补充。

3. 制定野外勘探计划并根据最初阶段发现的情况提出必需补充的现场试验以及室内试验计划。

4. 根据试验数据、科学原理和工程判断的综合, 确定必需的土体设计参数。结合具体情况, 可能需要进行一些简单或复杂的电算分析。对于复杂的问题, 将建议的设计数据与已发表的相关文献进行比较, 或聘请别的岩土工程顾问对设计结果进行客观审查。

5. 采用第4步确定的土体参数来设计基础。此基础设计方案应为经济的, 且应能够为当前的施工人员所实施。应考虑到实际的施工容许偏差以及当地的施工实践。还应与相关部门(业主、工程师、建筑师、承包方)充分交换意见, 使得地下结构体系的设计不致过于保守, 而风险也可控制在容许的范围之内。在这一步中, 可广泛地使用计算机, 当然, 也可根本不使用计算机。

基础工程师应该经历并参与上述所有的5个步骤。但在实际工程中情况并非如此。一个独立的岩土工程公司(其专业为地基勘探、土工试验以及填土、堤坝和水污染控制设计等)通常会委派一位岩土工程师来完成上述的第1~4步。然后将第4步的结果提交给业主, 而一般由一位专业为结构构件设计的基础工程师来实施地下结构体系的设计。以上处理过程的主要不足在于结构工程师对待土体设计参数的意向。岩土工程师是通过对质量不一的试样进行土工试验并在很大程度上结合工程判断来得到土体的设计参数, 而结构工程师则认为土体的设计参数为准确的数值, 其重要性完全不容侵犯。因此, 基础工程师和岩土工程顾问必须密切合作, 或至少随着设计的进程经常进行讨论。显然, 双方都需要意识到彼此的问题, 尤其是基础设计工程师必须对确定土体设计参数所采用的近似方法有所了解。这种相互的理解可通过彼此在对方专业领域内进行培训来获得。

综上所述, 本书的主要内容包括建筑物、机器和支挡结构基础构件的分析与设计, 并介绍了用于获得完成设计所必需的土体参数的一些土力学原理。本书将对包括浅基础构件(如基座和筏形基础)及深基础构件(如桩和钻孔墩)在内的一些具体的基础构件进行论述。在后面的章节中也将对支挡结构进行介绍。

土体的强度和变形以及土中水对强度和变形的影响是土木工程的基本问题。当前的趋势是将大型工程建在土体性质较差的场地之上(因为好的场地已所剩无几), 因此在本书的第6章将简要介绍通过地基加固来提高土体强度和变形特性的方法。

## 1-3 基础的分类与定义

### 1.3.1 浅基础与深基础

可根据基础的埋置深度对基础进行分类:

“浅基础”——有墙基、基座、扩展基础或筏形基础。其埋深与基础宽度之比一般为  $D/B \leq 1$ , 但也可稍大一些, 参见图 1-1a。

“深基础”——有桩、钻孔墩或钻孔沉井。一般有  $L_p/B \geq 4$ , 图 1-1b 为桩基础的示意图。

图 1-1 给出了本书将要讨论的 3 种基本基础类型的一般形式, 并提供了其常用的一些定义。由于图中所示的所有定义和符号都将贯穿全书, 所以读者应对此图进行仔细研究。

上部结构通过柱类型的构件将荷载传递给基底土体。承载的柱子一般采用钢柱或混凝土柱, 其容许的压应力设计值为  $140\text{MPa}$  (钢)  $\sim 10\text{MPa}$  (混凝土), 所以柱的横截面积相对较小。而地基的承载能力 (不论是从土体的强度还是变形的角度考虑) 一般很少有超过  $1000\text{kPa}$  的, 大多数通常为  $200\sim 250\text{kPa}$ 。这就意味着基础连接着强度比值达到数百的两种材料。所以必须在某种意义上将上部结构的荷载“扩散”到地基土体中, 这样才会使土体中的压力不超过土体的极限强度, 并将土体产生的变形控制在容许的范围以内。浅基础通过侧向扩散荷载来实现上述目的, 所以称其为“扩展基础”。一个扩展基础 (或仅仅一个基座) 往往支承一根柱子, 而“筏形基础”是一种特殊的基础, 它可用于支承数根间距不等或数排平行排列的柱子, 它可下伏于部分甚至整个建筑物之下。筏形基础也可由桩或钻孔墩来支承。用于支承机器设备之类的基础有时被称为“机座”。机器设备等可在一小块区域之上产生很大的荷载强度, 所以机座也与基础类似, 是用于扩散荷载的装置。

深基础与扩展基础相似, 所不同的是它是向竖直方向而不是水平方向扩散荷载。图 1-1b 为桩沿深度的荷载分布示意图。“钻孔墩”和“钻孔沉井”均为桩类型的构件, 其施工过程是在地基中钻一个直径在  $0.76\text{m}$  以上的孔, 如有必要就设置钢筋笼, 然后在钻孔中填筑混凝土。桩和沉井的设计与施工将在第 16~19 章进行详细介绍。

对于扩展基础 (以及筏形基础) 和桩来说, 需要着重考虑的问题是基础 (基底或桩端) 以下应力影响区域内的应力分布情况。图 1-1a 所示为一埋置于一定深度处的方形基础以下土体中竖向应力的理论分布曲线。显而易见, 在距基底约  $5B$  的临界深度以下, 由基础荷载所引起的应力增量可忽略不计 (约为  $0.02q_0$ )。不过此影响深度与  $B$  有关。举个例子, 若  $B=0.3\text{m}$ , 临界影响深度为  $5\times 0.3=1.5\text{m}$ , 而若  $B=3\text{m}$ , 则临界影响深度为  $15\text{m}$ , 两者的影响深度之比为  $1:10$ 。由于大型建筑物的  $B$  可在一定合理的范围内取值, 在基底  $2\text{m}$  以下任何软弱土层的存在都会对较宽基础的设计产生相当大的影响。

用于支挡土体或其他材料 (见图 1-1c), 使之维持一定形状 (而不同于在重力作用下自然形成的形状) 的结构称为支挡结构。支挡结构可采用许多材料来建造, 这些材料有土工织物、木板和金属板、素混凝土或钢筋混凝土、加筋土、预制混凝土构件、密排的排桩、互锁的木质或金属构件 (框格式挡墙) 等。支挡结构可分为永久性的和临时性的 (当不再需要时就被拆除)。

由于本书所研究的基础类型较多, 这就决定了对每一类型基础的专门研究必须精当。现有的每一个建筑物都是建造在一个基础之上, 无论这个基础是否经过了正规设计。任何建筑物的地下室墙均为支挡结构, 同样无论它是否经过了正规设计。在下卧层为深厚黏性土的地区建造大型建筑物几乎总是采用桩基础或钻孔沉井基础, 以将荷载沿竖向传递至更为坚硬的地层, 主要的目的是为了控制沉降。注意到几乎在所有下卧土层为黏土的大城市或在黏土发育的地区, 一般均要求采用桩基础或沉井基础。许多桥梁在桥台处都设有支挡结构物, 并采用扩展基础来支承中间跨。桥台的端部反力一般均由桩传递至地基中。港口和近海结构物 (主要用于石油开采) 均广泛地采用桩基础来承受竖向和横向荷载。

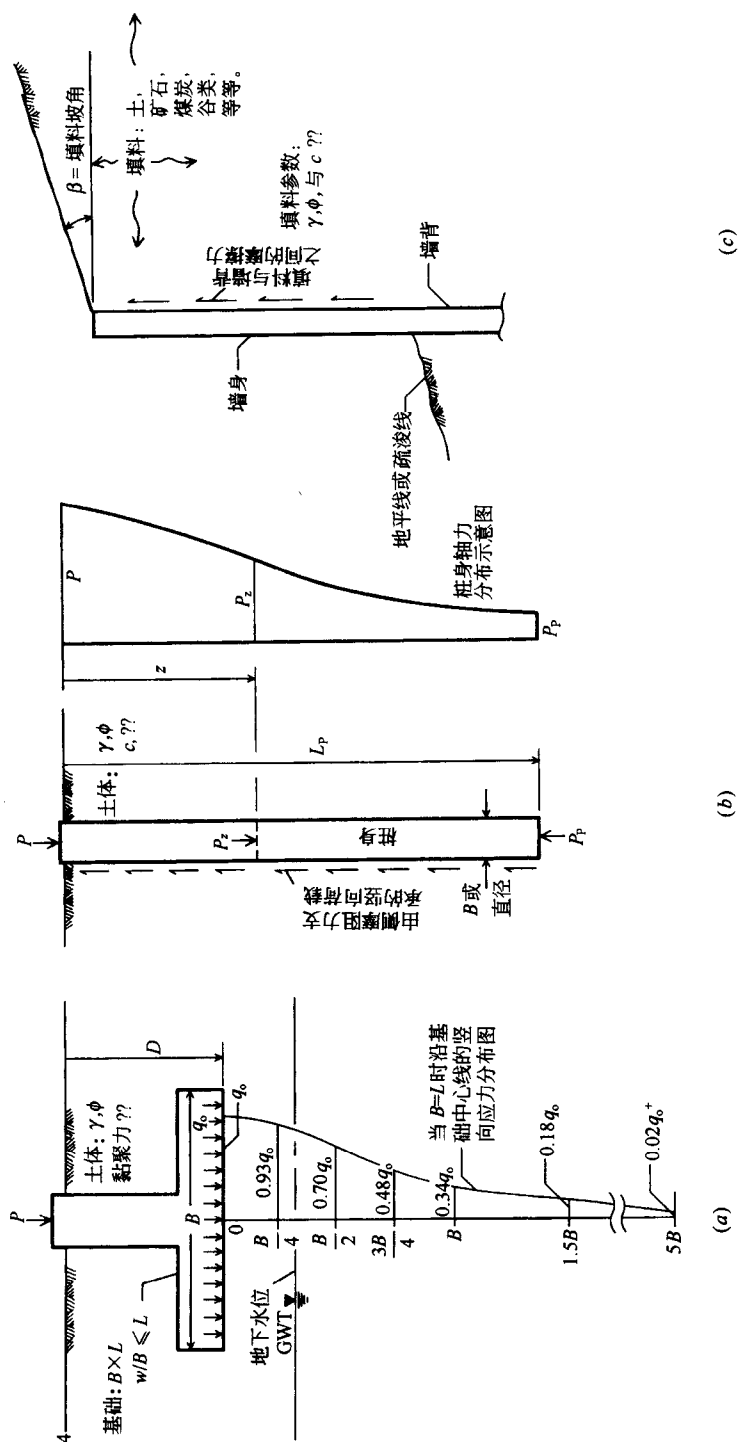


图 1-1 基础工程中一些术语的定义。参见序后的主要符号表

(a) 扩展基础, 基底接触压力  $q_0 = \frac{P}{BL}$  (单位一般采用 kPa);

(b) 桩基础,  $P_p$  为桩端 (或桩尖) 荷载 (单位为 kN); (c) 挡土结构

### 1-3.2 其他基础

岩土/基础工程师可能遇到的许多其他类型的“基础”并不易于进行分类。比如对已有建筑物基础的加固,需要进行加固的原因可能是基础已发生了过大的沉降或建筑物需要加高,要求基础能承受增大后的荷载。也有可能是将已有的基础(整体或部分)移走而代之以地下室或其他结构,亦即将新的基础埋置于更深的位置。还有可能是在已有结构物下开挖隧道(地下铁道或公用设施)或用于某种类型的振动控制。在上述的一些情况下并不需要设计新的基础。但是工程师必须对已有建筑物可能产生的任何不利影响进行定量评价。如果不利影响超过了容许的范围,工程师必需进行加固设计。

上述几种类型“基础”的形式多样(常常是一个具体的工程就是一种),因此不宜在一般的基础工程教材中对它们进行研究。这些类型基础的设计要求岩土工程师在土工原理方面具有坚实的基础(一般具有较高的学位),具备一定的工程经验,并且要具有勇于创新的精神以及在相关的技术学会中以会员身份吸取别人经验的愿望。

## 1-4 基础的一般要求

基础构件的尺寸必须既要保证基底压力处于安全的应力水平,又要将沉降控制在容许的范围内。在过去的 50 多年里,很少有建筑物(但是许多堤坝类型除外)因地基承载力不足而破坏。相反,沉降过大的问题却相当普遍,但是只有最引人注目的工程才会被披露出来,而大多数工程的沉降问题都因被掩盖而鲜为人知。

现代建筑物很少因沉降过大而破坏,但结构构件中的局部破坏问题却并不少见。最常出现的情况是墙和楼板的不雅观的裂缝、不平的楼板(凹陷和有斜坡)以及被卡住的门窗等。

地基土体的可变性以及未能预见的荷载或后来的地基运动(例如地震)均可导致设计者几乎无法控制的沉降问题。换句话说,在当前技术现状下的设计方法只能大大降低沉降问题发生的可能性(风险系数),但是一般无法保证工程毫无风险。尽管如此,但是平心而论,仍不能否认一些沉降问题产生的直接原因在于水平低劣的设计——由于疏忽大意或工程技术能力的不足。不错,正如既有称职的也有无能的医生、律师或其他专业人员一样,也存在着称职的和无能的工程师!

使基础设计大为复杂化的一个主要因素在于用于设计的地基土体参数是在工程开始之前得到的。之后当基础坐落于地基土体之上(或之中)时,地基土体的性质可能与原始状态相比已发生了相当大的改变,其原因就在于施工过程或基础的设置,即地基土体可能被开挖并/或置换且被压实。开挖过程的卸载可使下伏土体产生膨胀,打桩往往可使土体更加密实等。上述任一过程都可直接更换土体(置换)或使得原先估算的土体强度参数发生改变。

由于在荷载、土体性质和对土体可变性进行解释的尝试以及其他因素方面存在着不确定性,通常在实际设计基础这一部分时需要采取一定的安全储备。应当认识到由于基础是建筑物中最为重要的、而且是一旦出现问题时最难处理的部分,因此相对于工程体系的其他部分,对基础采取有一定安全储备的甚至是保守的设计可使投资得到更为可靠的回报。