

土

TULIXUE YU JICHU GONGCHENG

力学与基础工程

董晓丽 主 编
李文利 副主编



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

土力学与基础工程

董晓丽 主 编
李文利 副主编

清华大学出版社
北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本教材是一本供土木工程专业开设的“土力学与基础工程”课程或“土力学”和“基础工程”课程用的教科书。本书系统阐述了土的性质及工程分类、地基的应力和沉降计算、土的抗剪强度、土压力及挡土墙和土坡稳定分析；重点讨论了浅基础、桩基础的常规设计计算；简要介绍了我国目前常用的各种软土地基处理技术。

本书由浅入深，概念清楚、层次分明、重点突出、理论联系实际，既可作为高等学校土木工程专业本科学生的教材，也可作为建筑工程类大中专学生的教材，或供土木工程（包括建筑工程、公路桥梁工程等）技术人员阅读参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学与基础工程/董晓丽主编. —北京：清华大学出版社；北京交通大学出版社，2009.6
ISBN 978-7-81123-675-0

I. 土… II. 董… III. ①土力学-高等学校-教材 ②基础(工程)-高等学校-教材
IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 093738 号

责任编辑：杨正泽

出版发行：清华大学出版社 邮编：100084 电话：010-62776969

北京交通大学出版社 邮编：100044 电话：010-51686414

印刷者：北京东光印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×230 印张：18.25 字数：410千字

版 次：2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

书 号：ISBN 978-7-81123-675-0/TU·44

印 数：1~4 000册 定价：28.00元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。
投诉电话：010-51686043, 51686008；传真：010-62225406；E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

“土力学”与“基础工程”是土木工程专业的主干课程。本教材是按照国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2002等相关规范，并参照全国高等学校土木工程专业指导委员会审定的土力学与地基基础课程教学大纲编写的。

全书共12章，第1~6章为土力学的基本理论，第7、8章为基础工程设计，第9章简要介绍了工程地质勘察方法，第10章介绍了基坑工程常用的几种基坑支护设计计算方法，第11章为特殊土地基，第12章为地基处理的常用方法。本教材由董晓丽担任主编，李文利担任副主编。两位编者均为长期从事一线教学工作，并积累丰富教学经验的教师。

一本适合教学工作的教材，往往要通过反复教学使用，发现其中存在的问题，进行多次修订才能逐步完善。对于本书的错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者
于北京城市学院

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地基、基础及土力学的基本概念	1
1.1.1 地基定义及分类	1
1.1.2 基础的定义	2
1.1.3 土力学的定义和研究对象	3
1.2 地基基础在工程中的地位及重要性	3
1.3 本学科发展概况	4
1.4 本课程的特点和学习方法	5
1.4.1 本课程的特点	5
1.4.2 学习方法和建议	6
第 2 章 土的物理性质及工程分类	7
2.1 土的定义及成因	7
2.2 土的组成	8
2.3 土的基本物理性质	11
2.4 土的物理状态指标	18
2.5 土的透水性	21
2.6 土的工程分类	23
◇ 思考题	25
◇ 习题	25
第 3 章 土中应力及计算	27
3.1 概述	27
3.2 土中的自重应力	27
3.3 基底压力	30
3.3.1 基底压力及其分布规律	30
3.3.2 基底压力的简化计算	30
3.3.3 基础底面附加应力 p_0	34
3.4 地基附加应力及计算方法	35
3.4.1 竖向集中荷载作用下地基中的附加应力	35
3.4.2 矩形面积作用均布荷载的情况	40

3.4.3	矩形面积承受竖直三角形分布荷载作用时的附加应力	43
3.4.4	条形荷载下的土中附加应力	45
◇	思考题	46
◇	习题	46
第4章	土的压缩性与地基变形计算	48
4.1	概述	48
4.2	土的压缩性	49
4.2.1	室内压缩试验	49
4.3	地基最终沉降量计算	54
4.3.1	分层总和法	54
4.3.2	《规范》推荐法	57
4.4	土的应力历史与天然土层的固结状态	62
4.5	地基沉降与时间的关系	65
4.6	地基容许沉降量与减小沉降危害的措施	72
4.6.1	容许沉降量	72
4.6.2	减小沉降危害的措施	73
◇	思考题	74
◇	习题	74
第5章	土的抗剪强度	76
5.1	概述	76
5.2	土的抗剪强度的基本理论	77
5.2.1	直剪试验	77
5.2.2	土的抗剪强度的构成及影响因素	78
5.2.3	土的极限平衡条件	79
5.3	抗剪强度试验方法	84
5.3.1	直接剪切试验	84
5.3.2	三轴压缩试验	84
5.3.3	无侧限抗压试验	87
5.3.4	十字板剪切试验	87
◇	思考题	88
◇	习题	89
第6章	土压力理论和土坡稳定分析	90
6.1	概述	90
6.1.1	土压力	90
6.1.2	静止土压力计算	92

6.2	朗肯土压力理论	93
6.2.1	主动土压力	93
6.2.2	被动土压力	95
6.2.3	几种情况下朗肯土压力的计算	97
6.3	库仑土压力理论	100
6.3.1	主动土压力	101
6.3.2	被动土压力	102
6.4	挡土墙设计	103
6.4.1	挡土墙的分类	103
6.4.2	重力式挡土墙的构造与布置	105
6.4.3	重力式挡土墙稳定性验算计算	108
6.5	土坡稳定分析	110
6.5.1	无黏性土坡的稳定分析	110
6.5.2	黏性土土坡的整体稳定分析	111
6.6	地基承载力	113
6.6.1	地基的破坏形式	113
6.6.2	地基变形的三个阶段和荷载特征值	114
6.6.3	按塑性变形区发展范围确定地基容许承载力	115
◇	思考题	121
◇	习题	121
第7章	天然地基上浅基础设计	123
7.1	浅基础的类型	124
7.1.1	按材料分类	124
7.1.2	按结构形式分类	126
7.2	基础埋置深度	129
7.2.1	上部结构情况	129
7.2.2	基础上荷载大小及性质	129
7.2.3	工程地质和水文地质条件	130
7.2.4	季节性冻土的影响	130
7.2.5	相邻基础的影响	131
7.3	地基承载力的确定	131
7.3.1	地基承载力基本值 f_0 、特征值 f_{ak} 和修正后的承载力特征值 f_a	131
7.3.2	根据《地基基础规范》表格确定	132
7.3.3	按静载荷试验方法确定地基承载力	136
7.3.4	按当地建筑经验确定地基承载力	138

7.4	基础底面尺寸	138
7.4.1	中心荷载作用下的基础	138
7.4.2	偏心荷载作用下的基础	139
7.4.3	验算地基软弱下卧层强度	140
7.4.4	地基变形验算	141
7.5	刚性基础设计	142
7.6	扩展基础设计	145
7.6.1	扩展基础的构造要求	145
7.6.2	扩展基础的计算	146
7.7	减轻不均匀沉降的措施	157
7.7.1	建筑措施	157
7.7.2	结构措施	159
7.7.3	施工措施	160
◇	思考题	160
◇	习题	160
第8章	桩基础与其他深基础简介	163
8.1	概述	163
8.2	桩基础的类型	164
8.2.1	按承载性状分类	164
8.2.2	按桩身材料分类	164
8.2.3	按成桩方法分类	165
8.2.4	按桩径大小分类	166
8.3	单桩竖向极限承载力标准值 Q_{uk}	166
8.3.1	静载试验法	166
8.3.2	静力触探法	169
8.3.3	经验参数法	169
8.3.4	动力测试法	172
8.4	单桩竖向承载力设计值 R	172
8.5	单桩水平承载力	175
8.6	桩侧负摩阻力	176
8.7	桩基础设计	178
8.7.1	选择桩的类型及规格	178
8.7.2	确定单桩竖向承载力设计值 R	178
8.7.3	确定桩数及桩的平面布置	179
8.7.4	桩基础的承台设计	180

8.7.5 桩基础中各桩承载力验算	181
8.7.6 桩基沉降验算	185
8.8 其他深基础简介	191
8.8.1 沉井基础	191
8.8.2 地下连续墙	192
◇ 思考题	193
◇ 习题	193
第9章 工程地质勘察	195
9.1 工程地质勘察任务及分类	195
9.2 工程地质勘察的方法	197
◇ 思考题	202
第10章 基坑工程	203
10.1 概述	203
10.2 基坑支护结构的类型及适用条件	204
10.3 作用于支护结构上的荷载及土压力计算	205
10.4 板桩墙的计算	206
10.4.1 侧向压力计算	206
10.4.2 悬臂式板桩墙的计算	207
10.4.3 单支撑(锚碇式)板桩墙的计算	210
10.4.4 多支撑板桩墙计算	214
10.4.5 基坑稳定性验算	215
10.4.6 封底混凝土厚度计算	216
10.5 水泥土桩墙支护结构	217
10.5.1 概述	217
10.5.2 水泥土桩墙计算	218
10.5.3 水泥土桩墙变形计算	220
10.5.4 水泥土桩墙构造要求及设计特性	221
10.6 土钉支护结构	222
10.6.1 概述	222
10.6.2 土钉支护结构参数的确定	222
10.6.3 土钉抗力设计	224
10.6.4 土钉墙支护稳定性分析	225
◇ 思考题	227
◇ 习题	227
第11章 特殊土地基	229

11.1	概述	229
11.2	湿陷性黄土地基	229
11.2.1	黄土的特征和分布	229
11.2.2	影响黄土地基湿陷性的主要因素	230
11.2.3	湿陷性黄土地基的勘察与评价	231
11.2.4	湿陷性黄土地基的处理	234
11.3	膨胀土地基	235
11.3.1	膨胀土的判别和膨胀土地基的胀缩等级	236
11.3.2	膨胀土地基的工程措施	238
11.4	山区地基及红黏土地基	239
11.4.1	土岩组合地基	239
11.4.2	岩溶	240
11.4.3	红黏土地基	242
11.5	冻土地基及盐渍土	243
11.5.1	冻土地基	243
11.5.2	盐渍土地基	245
◇	思考题	246
◇	习题	246
第12章	地基处理	247
12.1	概述	247
12.2	软土地基	250
12.2.1	软土的成因及划分	250
12.2.2	软土地基的承载力、沉降和稳定性的计算	251
12.3	换土垫层法	255
12.3.1	换填垫层法的原理	256
12.3.2	砂垫层的设计	256
12.3.3	施工要点	258
12.4	排水固结法	258
12.4.1	加固原理与应用条件	259
12.4.2	砂井排水固结法	259
12.4.3	袋装砂井和塑料排水板预压法	263
12.4.4	天然地基堆载预压法	264
12.4.5	真空预压法和降水预压法	265
12.5	挤(振)密法	265
12.6	碾压法与夯实法	269

12.6.1 机械碾压法	269
12.6.2 夯实法	269
12.7 振冲法	272
12.8 托换技术	274
12.8.1 基础托换	274
12.8.2 建筑物纠偏	276
◇ 思考题	277
参考文献	278

第 1 章

绪 论

本书主要包括两门学科的内容，即土力学与基础工程，前者是土木工程专业的专业基础课，后者是专业课。

本课程属技术基础课，是一门边缘性学科。土力学是力学的一个分支；基础工程则涉及结构设计和施工技术。本课程所涉及的邻近学科很多，如弹性理论、塑性理论、水力学及地下水动力学、材料力学、结构力学、工程地质与水文地质、勘察和土工试验技术等，它在土木、道桥、水利等有关专业中占有重要的地位。

1.1 地基、基础及土力学的基本概念

1.1.1 地基定义及分类

任何建筑物都建造在一定的地层（土层或岩层）上，通常把直接承受建筑物荷载影响的地层称为地基（见图 1-1）。地基分为天然地基和人工地基。

1. 天然地基

地质情况良好，未加处理就可满足设计要求的地基称为天然地基。

承载能力和抗变形能力是地层能否作为天然地基的基本要求。承载能力要求是指该地层必须具有足够的强度和稳定性以及相应的安全储备；抗变形能力要求是指该地层承受建筑物荷载后不能产生过量的沉降和过大的不均匀沉降。

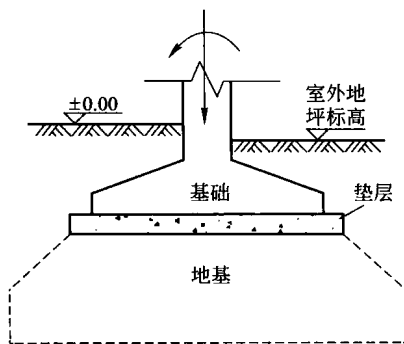


图 1-1 地基及基础示意

2. 人工地基

软弱、承载力不能满足设计要求，需进行加固处理的地基称为人工地基。如换填法处理、排水固结法处理地基等属人工处理地基。

1. 1. 2 基础的定义

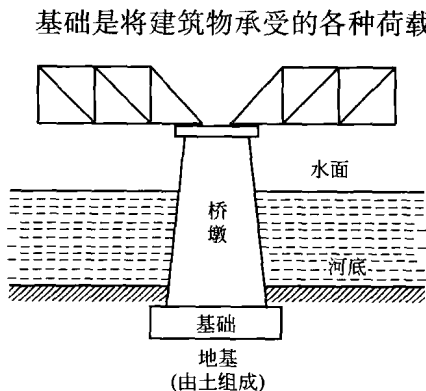


图 1-2 桥墩下基础示意

基础是将建筑物承受的各种荷载传递给地基上的实体结构（见图 1-1）。由于地层土的压缩性大，强度低而不能直接承担通过墙和柱等竖向传力构件传来的建筑物的上部结构荷载，所以只能在竖向传力构件（墙和柱等）等直接与地基的接触处设置一层尺寸大于墙或柱断面的结构将荷载扩散后安全地传递给地基。图 1-2 所示为一桥梁结构，桥梁荷载通过桥墩传递给基础，再通过基础传递给地基。

基础是连接上部结构与地基的结构构件，基础应符合上部结构使用要求。基础按埋置深度和传力方式可分为浅基础和深基础。

1. 浅基础

若基础埋深不大（一般浅于 5 米），只需经过挖槽、排水等普通的施工程序就可建造起来的基础称为浅基础。浅基础按结构形式分为：独立基础、条形基础、板式基础、筏式基础、箱形基础、壳体基础等。由于浅基础施工简单，造价低，不需要特殊的施工机具和施工方法，因此，在选择基础方案时应优先选用浅基础。

2. 深基础

若浅层土质不良，须将基础埋置于较深的良好土层，并需借助特殊的施工方法建造的基础称为深基础。如桩基础、沉井基础、地下连续墙等。

地基—基础—上部结构是密切相关的整体（见图 1-3）。一些建筑物的失效（建筑物开裂、严重倾斜，甚至失稳和倒塌），常由于对地基土的性状缺乏了解或由于地基工程设计不当所引起。此外，由于地基（或基础）方面的费用较大，一般占建筑总费用的 8%~30%（对很差的地基可能更高），因而工程人员也应对此予以极大的关注，不但对地基处理（或深基础）的技术可能性，还要对工程的经济性进行考虑。

地基与基础设计的基本条件：

- 作用于地基上的荷载效应不得超过地基容许承载力值。
- 基础沉降不得超过地基变形容许值。
- 具有足够防止失稳破坏的安全储备。

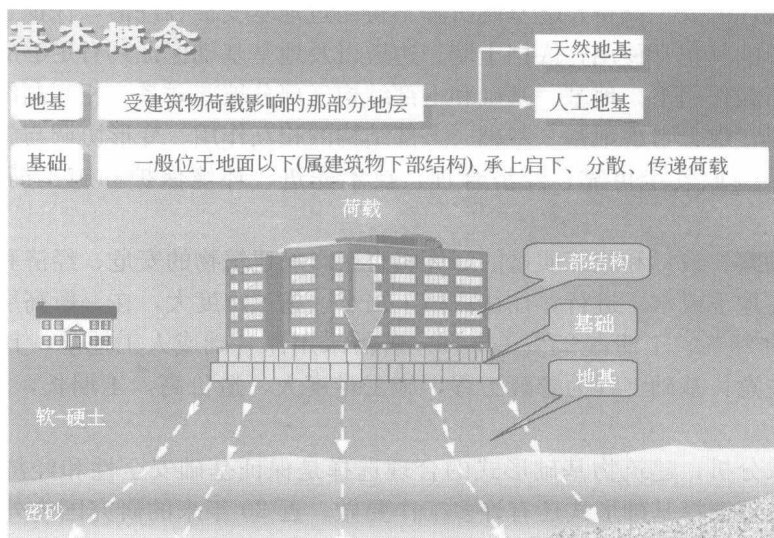


图 1-3 地基、基础关系示意图

1.1.3 土力学的定义和研究对象

土力学是工程力学的一个分支,是利用力学的基本原理研究土的物理性质和土的应力、变形、强度、稳定、渗透性及其随时间的变化规律的学科。

由于土力学研究的对象“土”是散粒体属于三相体系,其力学性质与一般材料不同,在解决土工问题时,土力学很难像其他力学学科一样具备系统的理论和严密的数学公式,土力学常常要借助于工程实践经验的积累、现场试验以及室内土工实验来分析,所以,土力学是一门依赖于实践、理论与实际紧密结合的学科。

本课程主要阐述土力学的基本原理及其应用,土的工程性质和有关勘察的基本知识,以及土的一些试验技术原理和土工指标取值方法等内容。

1.2 地基基础在工程中的地位及重要性

基础工程是研究基础或包含基础的地下结构与施工的一门科学,既是结构工程中的一部分,又是独立的地基基础工程。基础设计与施工也就是地基基础设计与施工。其设计必须满足三个基本条件:①作用于地基上的荷载效应(基底压应力)不得超过地基容许承载力或地基承载力特征值,保证建筑物不因地基承载力不足造成整体破坏或影响正常使用,具有

足够防止整体破坏的安全储备；②基础沉降不得超过地基变形容许值，保证建筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用；③挡土墙、边坡以及地基基础保证具有足够的防止失稳破坏的安全储备。荷载作用下，地基、基础和上部结构三部分彼此联系、相互制约。设计时应根据地质勘察资料，综合考虑地基—基础—上部结构的相互作用、变形协调与施工条件，进行经济技术比较，选取安全可靠、经济合理、技术先进、环境保护和施工简便的地基基础方案。

基础工程勘察、设计和施工质量的好坏将直接影响建筑物的安危、经济和正常使用。基础工程施工常在地下或水下进行，往往需挡土挡水，施工难度大，在一般高层建筑中，其造价约占总造价的25%，工期占25%~30%。若需采用深基础或人工地基，其造价和工期所占比例更大。注意：基础工程为隐蔽工程，施工难度大，造价高，工期长，失事难以处理，应慎重处理。

从合理性来分析，建筑物基础形式的合理选择是保证基础安全性和经济性的关键。但是，如何做到合理选择基础形式还有许多工作要做。近20年来的研究国内外提出了许多新型的基础形式，这些工作为合理选择基础形式提供了技术支持。

随着大型、重型、高层建筑和大跨径桥梁等的日益增多，在基础工程设计与施工方面积累了不少成功的经验和工程典范，然而也有不少失败的教训。

1.3 本学科发展概况

土力学始于18世纪兴起工业革命的欧洲。大规模的城市建设和水利、铁路的兴建面临着许多与土相关的问题，促进了土力学理论的产生和发展。1773年，法国库仑（Coulomb）根据试验提出了著名的砂土抗剪强度公式，创立了计算挡土墙土压力的滑楔理论。1869年，英国朗肯（Rankine）从另一途径提出了挡土墙的土压力理论，有力地促进了土体强度理论的发展。此外，法国布森涅斯克（Boussinesq, 1885）提出的弹性半空间表面作用竖向集中力的应力和变形的理论解答；瑞蜂兰纽斯（Fellenius, 1922）提出的土坡稳定分析法等，这些古典的理论和方法，至今仍不失其理论和实用价值。通过许多学者的不懈努力和经验积累，1925年，美国太沙基（Terzaghi）在归纳发展已有成就基础上，发表了《土力学》一书，他被认为是土力学的奠基人。

从1936年在美国召开的第一届国际土力学与基础工程会议起，土力学与基础工程方面的国际学术交流日益活跃。世界各地包括中国在内的许多国家也都交流和总结了本学科新的研究成果和实践经验，促进了该学科的发展。

基础工程学是一门古老的工程技术和年青的应用科学。远在古代人类就创造了自己的地基基础工艺。如我国都江堰水利工程、举世闻名的万里长城、隋朝南北大运河、黄河大堤、

赵州石拱桥以及许许多多遍及全国各地的宏伟壮丽的宫殿寺院、巍然挺立的高塔等，都因奠基牢固，虽经历了无数次强震强风仍安然无恙。又如秦代修筑驰道时采用的“隐以金椎”（《汉书》）路基压实方法；至今常用的石灰桩、灰土、瓦渣垫层和砂垫层等古有的传统地基处理方法。再如北宋初著名木工喻皓建造开封开宝寺木塔时（公元989年），因当地多西北风而将建于饱和土上的塔身向西北倾斜，以借长期风力作用而渐趋复正，克服建筑物地基不均匀沉降。我国木桩基础更是源远流长。如钱塘江南岸发现的河姆渡文化遗址中7000年前打入沼泽地的木桩世所罕见；《水经注》记载的今山西汾水上三十墩柱木柱梁桥（公元前532年），以及秦代的渭桥（公元前221—公元206年，《三辅黄图》）等也都为木桩基础；再如郑州隋朝超化寺打入淤泥的塔基木桩（《法苑珠林》）、杭州湾五代大海塘工程木桩等都是我国古代桩基技术应用的典范。只是当时生产力发展水平所限而未能提炼成系统的科学理论。

1.4 本课程的特点和学习方法

1.4.1 本课程的特点

本课程是土木工程专业的一门主干课程，是一门理论性和实践性均较强的课程。许多内容涉及工程地质学、土力学、结构设计和施工等几个学科领域，内容广泛，综合性、理论性和实践性很强，因此必须很好地掌握好上述先修课程的基本内容和基本原理，为本课程的学习打好基础。

不同地区的地质条件各不相同，不同地区均有许多适应于该地区地质条件的基础形式。换句话说，一个好的地基基础设计方案应在充分了解地质资料，对地基土的特性进行仔细分析并结合土力学知识、基础设计方法和各地区的实践经验后才能得出。

基础工程的设计和施工必须遵循法定的规范、规程。但不同行业有不同的专门规范，且各行业间不尽平衡，土木工程专业的学生培养涉及住房和城乡建设部、交通运输部、铁道部等部门，各部委标准也未完全统一，故本课程所涉及的规范规程比较多。因此，在课堂上讲授和理论学习阶段应以学科知识体系为主，弄清基础工程设计和施工中的主要内容和基本方法；在课程设计中，可根据不同专业方向，使用、熟悉各自的行业规范，进行具体工程的设计实践训练。

本课程具有如下特点和要求。

- ① 在规划、勘探、设计、施工及使用阶段，地基基础问题是一个最基本的、需要分析和解决好的问题。
- ② 地基基础属于隐蔽工程，其质量直接影响到结构安全，一旦发生质量问题，处理起

来相当复杂和困难。

③ 地基土的条件千变万化，建筑场地一旦确定，均要根据该场地的地质条件来设计基础，所以通过地质勘探来了解地质条件是必不可少的工作。

④ 地基基础涉及的内容广泛，要有综合的知识。同时，理论知识与实践经验的结合是地基基础课程的又一大特点。地基基础课程与工程力学，建筑材料、建筑设计、施工技术、工程地质与土的力学性能等有着密切的关系，应充分掌握上述学科的基本原理和相关关系，做好地基基础的设计与施工工作。

⑤ 本课程的知识更新周期较短。随着科技的发展，涌现了大量新的基础形式和地基基础新技术，这就要求不断学习，求真务实。

1.4.2 学习方法和建议

1. 掌握基本理论和方法

学会运用土力学等基本原理和概念，结合结构设计方法和施工技术，提高分析问题和解决问题的能力。

2. 采用综合的思维方式来学习

要注意到地基基础学科与其他学科的联系，特别是结构设计、抗震设计等。这些学科中有许多概念和方法在地基基础设计时必须用到。

3. 理论与实践必须相结合

教学环节要分理论教学和实践教学，必要时可组织现场教学，参观施工现场。只有通过理论与实践的比较才能逐步提高认识、提高地基基础的设计与施工能力。