



大学生毕业设计指南丛书

# 土木工程专业毕业设计指南

## 岩土工程分册

袁聚云 李镜培 陈光敬 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

大学生毕业设计指南丛书

土木工程专业毕业设计指南

# 岩土工程分册

袁聚云 李镜培 陈光敬 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书系《大学生毕业设计指南丛书》之《土木工程专业毕业设计指南·岩土工程分册》，是专门为土木工程专业应届毕业生进行岩土工程毕业设计而编写的，同时兼顾了在职的工程技术人员实际需要。

本书共6章，主要包括岩土工程毕业设计基本知识、基础工程设计、基坑围护工程设计、地基处理设计、毕业设计实例及点评、岩土工程专业毕业设计质量及答辩要求等。本书力图引导学生把在课堂上学到的专业知识很好地应用于工程实践。

本书主要供土木工程专业应届毕业生、已工作的设计师以下人员、大专学生及“五大”学生使用，亦可供土木工程设计、勘察、施工、教学等人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程专业毕业设计指南·岩土工程分册/袁聚云等编著. -北京: 中国水利水电出版社, 1999

(大学生毕业设计指南丛书)

ISBN 7-80124-993-3

I. 土… II. 袁… III. ①土木工程-建筑设计-高等学校-指南 ②岩土工程-建筑设计-高等学校-指南 IV. 152

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 05739 号

书 名	大学生毕业设计指南丛书 土木工程专业毕业设计指南·岩土工程分册
作 者	袁聚云 李镜培 陈光敬 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云红光照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂印刷
规 格	787×1092 毫米 16 开本 11 印张 254 千字
版 次	1999 年 4 月第一版 1999 年 4 月北京第一次印刷
印 数	0001—4200 册
定 价	18.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换  
版权所有·侵权必究

# 序

我国高等教育早在 50 年代学习前苏联，在教学体制方面，于土木工程一级学科门类中先后设置了许多专门性很强的专业，四十多年来为国家培养了大量的高级建设人材。改革开放 20 年来，特别是建立社会主义市场经济体制以来，为了适应新的经济形势的发展，在学科建设上也相应地进行了必要的专业调整。把原先众多的专业归并、统一为现在的“大”土木工程专业，而在专业学习阶段又视各校情况可以分别设置诸如工业与民用建筑工程、隧道及地下工程、桥梁工程、岩土工程、道路与铁道工程、防灾减灾与防护工程以及测量工程等等专业方向，供学生在上述不同的专业方向上自由选修相应的专门课程，并需完成与上述各个方向相应的毕业设计（论文）。当前，这一新的教学体制正在试行，并在其基础上谋求进一步的充实、改进和完善。

众所周知，毕业设计（论文）是大学本科教学的最后一个重要环节。做好毕业设计（论文）可以使学生所学到的基础理论和专业技术知识更加系统、巩固、延伸和拓展，使他们在生动的设计实践与科学研究中提高自身独立思考和解决工程实际问题的能力。因此编写对各专业方向比较实用的毕业设计指南，旨在引导学生重视并做好毕业设计（论文），也帮助教师指导学生进一步提高毕业设计（论文）的质量，进而使毕业设计（论文）的教学更加规范、有序。

早在 1954 年我国高校学习前苏联时代，我自己就有过这方面的亲身经历和体验。当年，我作为前苏联桥梁专家斯尼特柯教授的专业口译，曾参与过《桥梁与隧道专业毕业设计指导书》的制定和翻译，并协助前苏联专家指导青年教师们使用指导书试做该专业的毕业设计。在自己的具体教学实践中，深感指导书为引导教师和学生更好地进行专业毕业设计，提高设计质量，曾发挥过极其重要的作用。光阴荏苒，而今已历尽四十余春秋，那本色泽已泛黄的、油印的中、俄文毕业设计指导书，仍保存在我书架的里层，作为美好的回忆和纪念。此后的三四十年，多数高校师生在毕业设计中已不再见到有指导书一类的教学文书了，也可能它已为许多教师所遗忘或不甚了了，这是很遗憾的。今天，科学和工程事业以及我国的工科教育都经历了翻天覆地的变化，尽管在毕业设计指导的思想、内容和方法上也都有了极大的改革和提高，但是，一本好的毕业设计指导书所应起到的重要作用，我想，仍然是不会改变的。

经对这次组织编写的几个专业方向的毕业设计（论文）指导书粗习一遍，许

多有丰富教学经验的老师们为此投付了很大精力，编写的这些土木工程各个专业方向的毕业设计（论文）指导书都是他们多年来教学实践的结晶，相信在毕业设计（论文）指导工作中定将发挥应有的作用。老师们对我国高校的土木工程专业教学做出了自己的贡献。为此，在本书付梓之日，我乐于应约写述了上面的一点文字来祝贺本书的出版。是为序。

孙钧

1999年2月于同济大学

孙钧，中国科学院院士，同济大学土木工程学院教授，中国土木工程学会顾问、名誉理事

# 前 言

随着我国现代化事业的蓬勃发展,各类高层建筑、重型厂房、地下铁道、港口、机场、高速公路、地下库房等日益广泛地被兴建,这些建设项目都与它们所赖以存在的岩土体有着密切的关系。由于建设的需要,一方面,结构物不断趋向于高、大、重、深,从而对岩土体提出更高的要求;另一面,我国地域辽阔,自然地理环境各不相同,土类也多种多样,这些又构成了岩土工程的复杂性。因此,如何正确地设计和处理岩土工程问题,对于各类工程项目的成功建设是至关重要的,而且也是首先必须要解决的问题。

本书是为了配合土木工程专业应届毕业生进行岩土工程毕业设计而编写的,书中反映了作者多年的教学心得以及工程实践经验,并采用了国家有关岩土工程最新的设计和施工规范及规程。根据岩土工程设计的特点,本书强调理论联系实际,力求详细、易懂、完整和实用,各章均配有详细的设计算例,并配有毕业设计实例及点评,以便自学和参考,但鉴于岩土工程自身的复杂性,本书只介绍常用的岩土工程设计方法。

本书分为岩土工程毕业设计基本知识、基础工程设计、基坑围护工程设计、地基处理设计、毕业设计实例及点评、岩土工程专业毕业设计质量及答辩要求等六章。其中,绪论、第一章、第四章、第六章由袁聚云编写;第二章由李镜培编写(其中第二节中的设计实例由楼晓明撰写);第三章由陈光敬编写;第五章由袁聚云、李镜培、陈光敬编写。

全书由洪毓康教授审阅。

本书在编写过程中引用了许多专家、学者在教学、科研、设计和施工中的科研成果及技术总结,由于篇幅有限,文献目录未能一一列出,在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

1999年2月

# 目 录

序

前 言

绪 论	1
一、岩土工程设计的对象和作用	1
二、岩土工程设计的发展概况	2
三、岩土工程毕业设计的选题	3
第一章 岩土工程毕业设计基本知识	4
第一节 地基模型及其参数的确定	4
一、线性弹性地基模型	4
二、非线性弹性地基模型	8
三、地基模型参数的确定	9
四、地基模型的选择	12
第二节 岩土工程勘察报告的阅读与应用	13
一、岩土工程勘察的任务和内容	13
二、岩土工程勘察方法	16
三、勘察报告书的主要内容	18
四、勘察报告的分析与应用	19
第二章 基础工程设计	24
第一节 浅基础设计	24
一、浅基础的一般设计步骤	24
二、浅基础的类型和选择	24
三、基础埋置深度的选择	25
四、地基承载力设计值的确定	26
五、基础底面尺寸的确定	28
六、地基的变形与稳定验算	29
七、墙下条形基础设计	31
八、柱下单独基础设计	33
九、柱下条形基础设计	37
十、柱下交梁基础设计	43
十一、筏形基础设计	45
十二、箱形基础设计	48
第二节 桩基础设计	51
一、桩基设计的基本原则	51
二、桩基设计的基本资料	51
三、桩基的一般构造要求	51

四、桩基的设计与计算 .....	53
五、桩基设计实例 .....	61
<b>第三章 基坑围护工程设计 .....</b>	<b>68</b>
第一节 基坑围护工程设计的基本内容 .....	68
第二节 基坑围护工程设计的依据 .....	72
一、基坑工程的等级 .....	72
二、全国及各地区的有关规范规程 .....	72
三、场地岩土工程地质勘察资料 .....	73
四、周围环境资料 .....	74
五、主体结构的设计资料 .....	74
六、施工条件 .....	74
第三节 围护墙体设计 .....	74
一、深层搅拌桩 .....	74
二、板式围护桩 .....	79
三、设计算例 .....	86
第四节 内支撑系统设计 .....	88
一、内支撑系统的材料选择及结构布置 .....	88
二、内支撑系统的计算 .....	89
三、内支撑系统的构造要求 .....	91
四、内支撑系统的施工要求 .....	92
第五节 井点降水 .....	94
一、井点类型的选择 .....	94
二、降水系统的布置 .....	94
三、降水观测 .....	94
四、井点拔除 .....	95
第六节 土方开挖 .....	95
一、挖土与支撑及浇垫层的关系 .....	95
二、开挖底标高不同时的处理 .....	95
三、中心岛盆式开挖 .....	95
四、其他注意事项 .....	95
<b>第四章 地基处理设计 .....</b>	<b>96</b>
第一节 地基处理对象、目的和方法分类 .....	96
一、地基处理的对象和目的 .....	96
二、地基处理方法的分类 .....	97
第二节 地基处理方案的选择 .....	99
一、地基处理方案选择前的调查研究 .....	99
二、确定地基处理方案时应具备的资料 .....	100
三、地基处理方案的确定步骤 .....	100
第三节 换填法设计 .....	101
一、换填法的作用和适用范围 .....	101
二、设计计算 .....	102



## 目 录

三、设计要点及设计施工说明 .....	105
四、设计实例 .....	107
第四节 预压法设计 .....	110
一、预压法的作用和适用范围 .....	110
二、设计计算 .....	110
三、设计施工说明 .....	118
第五节 复合地基设计 .....	119
一、复合地基的作用和适用范围 .....	119
二、设计计算 .....	120
三、设计要点及设计施工说明 .....	125
四、设计实例 .....	126
第五章 毕业设计实例及点评 .....	130
第一节 梁板式筏形基础毕业设计实例及点评 .....	130
一、毕业设计实例 .....	130
二、点评 .....	133
第二节 基坑围护毕业设计实例及点评 .....	135
一、毕业设计实例 .....	135
二、点评 .....	144
第三节 地基处理毕业设计实例及点评 .....	145
一、毕业设计实例 .....	145
二、点评 .....	154
第六章 岩土工程毕业设计质量及答辩要求 .....	156
一、性质和目标 .....	156
二、教学基本要求 .....	156
三、选题 .....	156
四、任务书与指导书 .....	157
五、指导教师 .....	157
六、答辩 .....	157
七、成绩评定 .....	157
八、时间安排 .....	158
附 录 .....	160
附录一 沉降计算系数 .....	160
附录二 弹性地基梁计算系数 .....	162
附录三 单桩承载力计算系数 .....	164
参考文献 .....	167

# 绪 论

## 一、岩土工程设计的对象和作用

岩土工程 (Geotechnical Engineering) 是以岩土体的利用、改造与整治问题为研究设计对象的工程领域, 是一门解决各类建设项目中与岩土介质有关的工程学科。

岩土工程设计的主要对象是岩土体, 它是自然界的产物, 其形成过程、物质成分、工程特性是极为复杂的, 并且又随着不同工程对象的环境条件和工程因素而变化, 所以, 在进行各类工程建设项目设计和施工之前, 必须对工程项目所在的场地进行岩土工程勘察, 以充分了解岩土体的成因、构造、物理力学性质、地下水位情况以及是否存在影响场地稳定性的不良地质现象 (如滑坡、岩溶、地震等), 从而对场地的岩土工程地质条件作出正确的评价, 因此, 岩土工程是各类工程建设项目中首先必须要解决的问题。

随着我国现代化事业的蓬勃发展, 各类高层建筑、重型厂房、地下铁道、港口、机场、高速公路、地下库房等日益广泛地被兴建, 与此同时, 还不断向海洋寻找资源以及向地下争取空间等, 这些建设项目都与它们所赖以存在的岩土体有着密切的关系, 各类工程的成败, 可以说在很大的程度上取决于岩土体能否提供足够的承载力, 在很大的程度上取决于工程结构不至于遭受超过设计限度的地基沉降、水平位移、差异变形等, 因此, 岩土工程问题的解决对于各类工程项目的成功建设是至关重要的。

岩土工程是一门解决各类建设项目中与岩土介质有关的工程学科, 由于岩土介质的特殊性, 岩土工程设计和施工与一般结构工程的设计和施工有着明显的区别。岩土工程设计和施工所涉及的内容主要有工程地质勘察、基础工程、地基处理、基坑开挖和围护、上部结构与地基基础共同作用以及环境岩土工程等。岩土工程问题的解决是通过工程勘察、试验测定、分析计算、方案论证、监测控制、反演分析、方案修改并确定等特殊的工作程序来进行的。岩土工程的研究方法是以数学模拟 (建立岩土本构模型进行数值分析)、物理模拟 (定性的模型试验、以离心机中的模型进行定量测试和其他物理模拟试验) 和原位观测 (对工程实体进行现场观测) 三种相辅相成的基本手段综合而成的。因此, 岩土工程有着区别于结构工程的特殊性, 但是, 根据地质勘察和室内试验提供的岩土体性质资料, 利用岩土力学理论和岩土工程技术与原理解决诸如高层建筑、大跨度桥梁和隧道以及大型水坝等的基础设计和施工问题, 岩土工程又与结构工程, 包括桥梁工程、隧道工程、水工结构工程、港口工程等, 有着密不可分的关系。

岩土工程还是一门实践性很强的学科。这是因为, 与其他各种连续体 (弹性体、塑性体、流体等) 相比, 天然岩土体具有一系列复杂的物理力学性质, 而且容易受到环境条件 (温度、湿度、地下水等) 变化的影响, 现有的岩土工程理论还难以全面模拟、概括岩土体在建筑物等外荷作用下所表现的各种力学性状的全貌, 另外, 岩土工程还有很强的针对性, 因此, 虽然土力学理论、岩体力学、工程地质学等理论是指导我们从事岩土工程实践的重要理论基础, 但还必须通过实验和实测, 并紧密结合实践经验进行合理分析, 如此才能获

得工程实际问题的妥善解决,而且,只有在反复总结实际经验的基础上,才能逐步提高和丰富对设计理论的认识,才能不断增强处理岩土工程问题的能力。

岩土工程作为土木类中一个新兴的且兼容多方面专业技术的工程领域和学科,是现代土木工程中最活跃的学科之一,它所为之服务的工程类型覆盖面广泛而多样,包括土建、水利、桥梁、隧道、道路、港口、海洋等有关工程,它的地位和作用已日益为人们所认识。由于建设的需要,一方面,结构物不断趋向于高、大、重、深,从而对岩土体提出更高的要求;而另一面,我国地域辽阔,自然地理环境各不相同,土类也多种多样,这些都构成了岩土工程的复杂性,以至于在工程实践中新问题层出不穷,因此,岩土工程的重要性正日益受到人们的极大重视。如果设计者能熟练地应用岩土工程基本理论,重视对岩土体性能的了解和掌握,经过精心设计、精心施工,不仅可避免岩土工程事故的发生,同时还可给国家经济建设获得巨大的经济效益和社会效益。

## 二、岩土工程设计的发展概况

岩土工程既是一项古老的工程技术,又是一门年青的应用科学。追本溯源,我们的祖先早在史前的建筑活动中就已创造了自己的岩土工程工艺,历代修建的无数建筑物都出色地体现了我国古代劳动人民在岩土工程方面的高超水平,如举世闻名的长城、大运河等,蜿蜒千万里,若处理不好有关的岩土工程问题,是不可能穿越各种复杂地质条件的广阔地区的;宏伟壮观的宫殿寺院,则要依靠精心设计的地基基础,才能度过千百年而留存至今;遍布各地的巍巍高塔,正是由于基石牢固,方可历经多次大风强震的考验而安然无恙。但是古代劳动人民的无数岩土工程实践经验,主要是体现于能工巧匠的高超技艺,由于当时生产力水平的限制,还未能提炼成为系统的科学理论。

岩土工程的研究主要是始于18世纪欧洲工业革命时期,当时随着资本主义工业化的发展,为了满足向国内外扩张市场的需要,陆上交通进入了铁路时代,因此,最初有关岩土工程的理论多与解决铁路路基问题有关。1773年,法国的库伦(Coulomb)根据试验创造了著名的砂土抗剪强度公式,提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论;九十余年后,英国的郎金(Rankine, 1869)又根据土中应力的极限平衡条件提出了计算挡土墙的主动土压力理论和被动土压力理论;此外,法国的布西奈斯克(Boussinesq, 1885)求得了弹性半空间在竖向集中力作用下的应力和应变的理论解答;瑞典的费兰纽斯(Fellenius, 1922)提出了土坡稳定的分析方法。这些古典理论,对岩土工程的发展起了极大的推动作用,至今仍不失其理论和实用的价值。

系统地归纳和总结以往成就的是太沙基(Terzaghi, 1925),他建立了土力学作为一门独立学科的基本理论,并编著了第一本内容广博的著作——《土力学》,在这本书中他阐明了土工试验与力学计算之间的关系,其中用于计算沉降的方法一直沿用至今,被认为是一种有效的方法。这本比较系统完整的科学著作的出现,带动了各国学者对岩土工程各个方面的探索,并取得不断的进展。近几十年来,由于土木工程建设的需要,特别是电子计算机和计算技术的使用,使岩土工程得到了迅速的发展,目前已经可以把岩土变形和强度问题统一起来进行分析,并可考虑岩土的非线性应力应变性状,基础分析也已从过去的单独计算发展到考虑地基基础与上部结构共同作用的整体分析。在土工试验方面,则开创了許多新的测试技术和仪器设备,例如静力触探仪、十字板剪力仪、分层沉降仪、测斜仪、孔

隙水压力仪、土压力盒、离心模型试验等,使人们能够更直观地掌握岩土体的各种反应,从而为设计与施工提供了较准确的数据和资料。在基础工程方面,无论在设计理论上,还是在施工技术上,都有了新的发展,出现了如补偿式基础、桩一筏基础、桩一箱基础、巨型钢筋混凝土浮运沉井等基础形式;在地基处理技术方面,如强夯法、砂井预压法、真空预压法、振冲法、旋喷法、深层搅拌法、树根桩、压力注浆法等都是近几十年来创造和完善的方法。另外,由于深基坑开挖支护工程的需要,出现了盾构、顶管、地下连续墙、深层搅拌水泥土挡墙、锚杆支护及加筋土等支护结构形式。可是,由于岩土组成的复杂性,再加上其生成历史和环境的巨大差异,使得岩土这一工程领域变得十分复杂,虽然目前的岩土工程设计理论和施工技术比几十年前有了突飞猛进的发展,但要全面地模拟和概括岩土体的受力条件和施工过程,还存在着一定的困难,还有许多问题值得研究和探讨。

### 三、岩土工程毕业设计的选题

毕业设计是高等教学教育中一直强调和重视的教学环节,是继课堂教学、实验教学、社会实践等环节之后的一个时间较长、综合性较强的教学阶段,是毕业生从学校到社会、尽快适应科研生产第一线的重要桥梁。岩土工程作为是一门实践性很强的专业,其毕业设计必须强调理论与实践相结合,紧密联系工程实际,无论是选题还是内容,都应尽可能地真题真做。

合适的选题是岩土工程毕业设计能否取得成功的基础,而选题的来源在很大程度上决定了它的实践意义,一般可从以下几种来源中选取:

(1) 企事业单位需要的选题。每一个单位都有急需解决的问题或难题,需要科研力量给予帮助,如果在进行毕业设计选题时,能结合企事业单位的要求,选择内容、规模、时间等合适的题材作为毕业设计选题,不仅会受到企事业单位的欢迎,而且还可能会得到企事业单位的支持。

(2) 就业要求的选题。近年来,毕业生在进行毕业设计之前,往往已落实了工作单位,如果将毕业设计的选题与学生今后就业岗位结合起来,则能起到一举两得的效果。

(3) 科研课题的选题。高等学校中有许多教师都承担了科研课题,这些课题又大多与社会实际应用和理论研究相结合,如果在科研课题中分解出一部分任务,并从中选题,这不仅是一种实践锻炼的好方法,同时还能解决部分经费问题。

(4) 设计任务的选题。目前高等学校中还有不少教师承接了具体工程的设计任务,如果能让学生参加其中的部分工作,这是最好的选题来源,能使学生在真实环境中得到充分锻炼。

# 第一章 岩土工程毕业设计基本知识

当土体受到外力作用时，土体内部就会产生应力和应变。地基模型就是土体在受力状态下土体内应力~应变关系的数学表达式，合理地选择地基模型是岩土工程设计和分析中的一个非常重要的问题。同样，在进行岩土工程设计之前，必须对工程所在的场地进行勘察，以对场地的岩土工程地质条件作出正确的评价，并在设计中正确地选取有关参数。本章主要对岩土工程毕业设计所必需的地基模型以及岩土工程勘察报告的阅读与应用等基本知识进行介绍。

## 第一节 地基模型及其参数的确定

地基模型的选择与土的种类、基础类型和外荷载性质等因素有关，所选用的地基模型应尽可能准确地反映土体在一定岩土工程条件下的主要力学性状，同时还要便于利用已有的数学方法和计算手段进行分析。随着人们认识的发展，曾经提出过不少地基模型，包括线性弹性地基模型、非线性弹性地基模型、弹塑性地基模型、粘弹塑性地基模型以及内时地基模型等。然而，由于土的性状的复杂性，想要用一个普遍都能适用的数学模型来描述地基工作性状的全貌是很困难的，各种地基模型实际上都具有一定的局限性，本节所介绍的主要是实际工程中常用的几种地基模型及其参数的确定。

### 一、线性弹性地基模型

线性弹性地基模型认为地基土在荷载作用下，其应力与应变之间的关系为直线关系，可用广义虎克定律表示：

$$\{\sigma\} = [D_e]\{\epsilon\} \quad (1-1)$$

式中： $\{\sigma\} = \{\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \tau_{xy} \quad \tau_{yz} \quad \tau_{zx}\}^T$ ； $\{\epsilon\} = \{\epsilon_x \quad \epsilon_y \quad \epsilon_z \quad \gamma_{xy} \quad \gamma_{yz} \quad \gamma_{zx}\}^T$ ； $[D_e]$ 为弹性矩阵。

$$[D_e] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & & & & & \\ \nu & 1-\nu & & & & \\ \nu & \nu & 1-\nu & & & \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (1-2)$$

式中： $E$ 为材料的弹性模量； $\nu$ 为材料的泊松比。

文克勒地基模型和弹性半空间地基模型正好代表线性弹性地基模型的两个极端情况，另外，分层地基模型以及层状横向各向同性弹性半空间地基模型也属于线性弹性地基模型。

#### (一) 文克勒地基模型

捷克工程师文克勒 (Winkler) 在 1867 年提出地基上任一点所受的压力强度  $p$  与该点的地基沉降  $s$  成正比的假设, 即

$$p = ks \tag{1-3}$$

式中:  $p$  为地基表面某点单位面积上的压力 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ );  $s$  为  $p$  作用位置上的地基变形 ( $\text{m}$ );  $k$  为基床系数 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )。

文克勒假设的实质是将地基看作为由许多独立的且互不影响的弹簧所组成的体系, 弹簧的刚度即为基床系数  $k$ , 这就是著名的文克勒地基模型。图 1-1 表示的是文克勒地基的变形和反力分布情况, 由图可见, 假设基底反力为直线分布的计算方法就是文克勒地基上绝对刚性基础的情况。

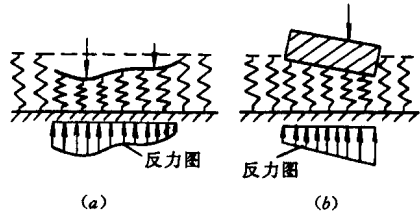


图 1-1 文克勒地基模型  
(a) 弹簧模型; (b) 文克勒地基上的刚性基础

按照文克勒地基模型, 地基沉降只发生在基底范围以内, 而基底范围以外没有任何地基变形, 这与实际情况是不符的。其原因在于文克勒地基模型忽略了地基中的剪应力, 而正是由于地基中剪应力的存在, 地基中的附加应力才能向外扩散, 从而使基底以外的地表发生沉降。但由于文克勒地基模型比较简单, 故在地基梁、板和桩的计算分析中仍被经常采用, 一般认为, 当地基土的抗剪强度较低 (如淤泥、软粘土等) 或厚度不超过基础宽度之半的薄压缩层地基, 采用文克勒地基模型进行计算比较合适。

(二) 弹性半空间地基模型

弹性半空间地基模型是将地基看作为均质的、各向同性的弹性半无限体。当弹性半空间体表面上作用一集中力  $P$  时 [图 1-2 (a)], 根据布西奈斯克 (Boussinesq) 解可得到弹性半空间体表面任一点的竖向位移:

$$s = \frac{P(1 - \nu^2)}{\pi Er} \tag{1-4}$$

式中:  $r$  为集中力至计算点的距离;  $E$  为材料的弹性模量;  $\nu$  为材料的泊松比。

从上式可知, 当  $r$  趋于零时, 会得到  $s$  趋向于无穷大的不合理结果, 事实上, 集中荷

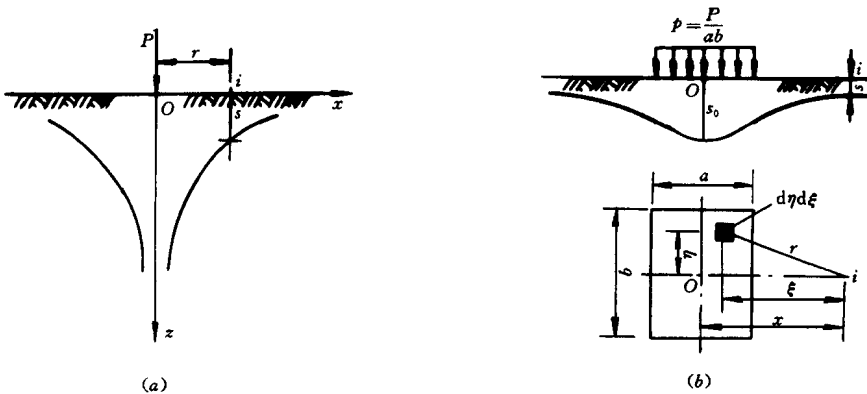


图 1-2 弹性半空间体表面的竖向位移计算  
(a) 集中荷载; (b) 矩形面积均布荷载



对于弹性半空间地基上的基础，为了求得各点基底反力与沉降之间的关系，可将基底平面划分为若干个矩形网格（图 1-3），设其总数为  $n$ ，作用于各网格面积上的基底压力可以认为是均布的。如果以沉降系数  $\delta_{ij}$  表示网格  $i$  的中点由作用于网格  $j$  上的单位集中力  $P_j=1$  引起的沉降，则按叠加原理， $i$  网格中点的沉降  $s_i$  应为所有  $n$  个网格上的基底压力分别引起的沉降之和，即

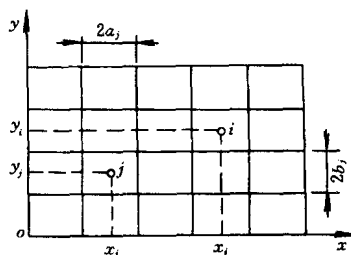


图 1-3 基底网格的划分

$$s_i = \delta_{i1}P_1 + \delta_{i2}P_2 + \dots + \delta_{in}P_n = \sum_{j=1}^n \delta_{ij}P_j \quad (1-9)$$

对于整个基础，各网格基底集中力与沉降之间的关系可表达为

$$\begin{Bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \dots & \delta_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ \delta_{n1} & \dots & \delta_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_n \end{Bmatrix} \quad (1-10)$$

或  $\{s\} = [\delta]\{P\} \quad (1-11)$

式中： $\{s\}$  为基底各网格中点沉降列向量； $\{P\}$  为基底各网格集中力列向量； $[\delta]$  为地基柔度矩阵。

对于地基柔度矩阵  $[\delta]$  中的各元素  $\delta_{ij}$ ，当  $i \neq j$  时，可近似地按式 (1-4) 计算；当  $i = j$  时，即计算某网格集中力作用下对其本网格中点产生的沉降，应按式 (1-7) 计算。

弹性半空间地基模型考虑了基底压力的扩散作用，比文克勒地基模型要合理些，但是该模型没有反映地基土的分层特性，且该模型的压力扩散能力往往超过了地基的实际情况，所以计算所得的沉降量和地表的沉降范围，常较实测结果为大。

(三) 分层地基模型

地基土通常是分层的，并且地基可压缩土层厚度实际上也是有限的，为此，提出了分层地基模型，或称为有限压缩层地基模型。该模型采用弹性理论方法计算地基中的应力，而地基变形则应用分层总和法进行计算，其表达式为

$$s = \sum_{t=1}^n \frac{\sigma_t}{E_{st}} \Delta h_t \quad (1-12)$$

式中： $n$  为地基压缩层厚度范围内的分层数； $\Delta h_t$  为第  $t$  土层的厚度 (m)； $E_{st}$  为第  $t$  土层的压缩模量 (kPa)； $\sigma_t$  为第  $t$  土层的平均附加应力 (kPa)。

按分层地基模型进行分析时，首先是将地基与基础的接触面划分成  $m$  个单元网格，然后再将基础下的地基分割成截面与网格相同的棱柱体，棱柱体的下端即为地基压缩层的底部（图 1-4）。设面积为  $f_j$  的基底  $j$  单元上作用着集中附加压力  $P_j=1$ ，依据弹性理论的布辛奈斯克公式可求得由  $p_j=1/f_j$  在  $i$  单元中点下第  $t$  土层所产

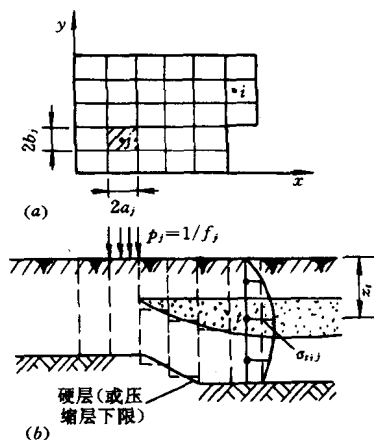


图 1-4 分层地基模型

(a) 基底网格；(b) 地基土的计算分层



生的平均附加应力  $\sigma_{ij}$ , 通常可用该层中点处的附加应力来代替, 再由式 (1-12) 可得到  $i$  单元中点的沉降系数  $\delta_{ij}$ , 即

$$\delta_{ij} = \sum_{t=1}^n \frac{\sigma_{ij}}{E_{st}} \Delta h_{it} \quad (1-13)$$

式中:  $\Delta h_{it}$  为  $i$  单元下第  $t$  土层的厚度 (m);  $E_{st}$  为  $i$  单元下第  $t$  土层的压缩模量 (kPa);  $\sigma_{ij}$  为  $j$  单元作用单位力在  $i$  单元中点下第  $t$  土层中引起的平均附加应力 (kPa)。

根据叠加原理,  $i$  单元中点的沉降  $s_i$  为基底各单元压力分别在该单元引起的沉降之和, 即

$$s_i = \sum_{j=1}^m \delta_{ij} P_j \quad (1-14)$$

分层地基模型能较好地反映基底下各土层的变化特性, 比较符合实际情况, 其计算结果一般介于文克勒地基模型与弹性半空间地基模型之间, 但是, 该模型仍没有考虑到基底反力的塑性重分布。

## 二、非线性弹性地基模型

地基土在荷载作用下的应力—应变关系假设为线性关系显然与实测结果不一致, 因为地基土的加载应力—应变关系实际上是呈非线性的, 见图 1-5 (a)。在非线弹性模型中, 应用得较多的是邓肯—张 (Duncan—Chang) 模型, 该模型认为在常规三轴试验条件下土的

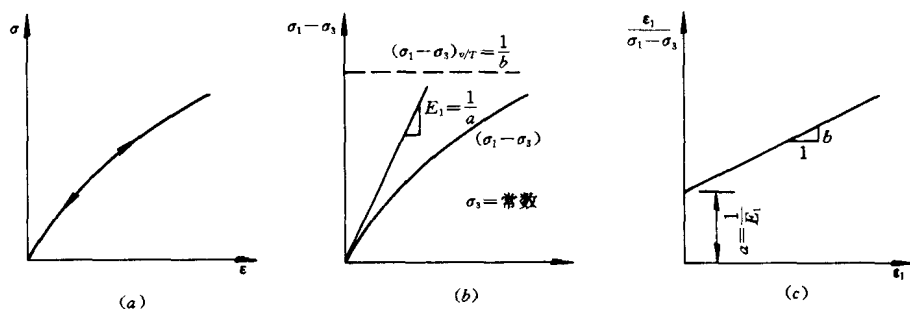


图 1-5 非线性弹性模型的应力—应变关系

加载和卸载应力—应变曲线均为双曲线 [图 1-5 (b)], 其切线模量  $E_t$  的表达式可表示为

$$E_t = K p_a \left( \frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \left[ 1 - \frac{R_f (1 - \sin \varphi) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos \varphi + 2\sigma_3 \sin \varphi} \right]^2 \quad (1-15)$$

式中:  $R_f$ 、 $c$ 、 $\varphi$ 、 $K$ 、 $n$  为确定切线模量  $E_t$  的 5 个试验常数;  $p_a$  为与  $\sigma_3$  单位相同的大气压力。

切线泊松比  $\nu_t$  的表达式为

$$\nu_t = \frac{G - F \lg(\sigma_3/p_a)}{\left\{ 1 - \frac{d(\sigma_1 - \sigma_3)}{K p_a (\sigma_3/p_a)^n [1 - R_f (1 - \sin \varphi) (\sigma_1 - \sigma_3) / (2c \cos \varphi + 2\sigma_3 \sin \varphi)]} \right\}^2} \quad (1-16)$$

因此, 确定切线泊松比  $\nu_t$  还需增加 3 个试验常数  $G$ 、 $F$  和  $d$ 。