

南京林业大学
研究生课程系列教材

高等土木工程 理论基础

ADVANCED THEORETICAL BASIS FOR CIVIL ENGINEERING

杨平 王元纲 郑晓燕◎ 主编

中国林业出版社

南京林业大学研究生课程系列教材

高等土木工程理论基础

主 编 杨平 王元纲 郑晓燕

中国林业出版社

内容简介

本书主要以土木工程、交通运输工程等专业的硕士研究生高等土木工程理论基础,即“土木工程材料学”“高等土力学”“土木工程数值计算”三门专业基础课为背景,全书分三篇内容,系统地介绍了土木工程、交通运输工程等专业的硕士研究生所需土木工程理论基础,第1篇是胶凝材料及其复合材料,主要包括第1章气硬性胶凝材料、第2章水泥、第3章水泥基复合材料、第4章沥青、第5章沥青混合料;第2篇是高等土力学,主要包括第6章土的本构关系、第7章土的固结与流变理论、第8章土的动力特性与动力分析、第9章高等土工试验及测试;第3篇是土木工程数值计算,包括第10章数值计算方法概述、第11章有限元数值计算理论、第12章土木工程有限元分析法、第13章 ANSYS 及在土木工程应用、第14章 ABAQUS 及工程应用、第15章 FLAC 及在土木工程应用。本书每篇相对独立,力求以各类工程问题为基线,注重理论研究与实际应用并重,适当吸收了最新研究成果,并进行一些必要的讨论。全书阐述简明,图文并茂,层次分明、重点突出。

本书主要作为普通高等学校土木工程、交通运输工程、水利水电工程等专业硕士研究生“土木工程材料学”“高等土力学”“土木工程数值计算”等专业基础课及“沥青与沥青混合料”选修课的教材,亦可供其他相关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高等土木工程理论基础 / 杨平, 王元纲, 郑晓燕主编. —北京: 中国林业出版社, 2016. 8

南京林业大学研究生课程系列教材

ISBN 978-7-5038-8650-8

I. ①高… II. ①杨… ②王… ③郑… III. ①土木工程—研究生—教材 IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 182422 号

国家林业局生态文明教材及林业高校教材建设项目

中国林业出版社·教育出版分社

策划编辑: 康红梅

责任编辑: 张东晓

电 话: (010)83143560

传 真: (010)83143516

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail: jiaocaipublic@163.com 电话: (010)83143500

http: //lycb. forestry. gov. cn

经 销 新华书店

印 刷 北京市昌平百善印刷厂

版 次 2016 年 9 月第 1 版

印 次 2016 年 9 月第 1 次印刷

开 本 850mm × 1168mm 1/16

印 张 36.5

字 数 888 千字

定 价 88.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

南京林业大学研究生课程系列教材编委会

顾问：王明庥 张齐生

主任委员：曹福亮

副主任委员：张金池 杨 平

委员(以姓氏笔画为序)：

王 飞 王 浩 王良桂 王国聘

王元纲 方升佐 方炎明 叶建仁

朱丽珺 关惠元 杨 平 张金池

周定国 郑加强 赵茂程 俞元春

曹福亮 康红梅 彭方仁

秘书：曾丽萍

《高等土木工程理论基础》编写人员

主 编：杨 平 王元纲 郑晓燕

参 编(以姓氏笔画为序)：

王宏畅 王海波 刘 成 吕伟华

李 强 侯彦明 黄凯健

前 言

加强研究生课程建设与教材建设是我国研究生教育综合改革,提升研究生培养质量的重要方面,土木工程、交通运输工程等土建类专业的研究生培养,既要求实践性强,又要求有扎实的理论基础,作为土木工程理论基础的“土木工程材料学”“高等土力学”“土木工程数值计算”三门专业基础课,是土木工程、交通运输工程等土建类专业的硕士研究生核心基础课程,为此,作为我校研究生系列教材之一,我们进行了改革尝试,将这三门课程进行组合,编写了本研究生教材。本教材编写遵循土木工程、交通运输工程专业的硕士研究生培养方案,符合三门课程的大纲要求,体现特色和多样性。每篇相对独立,力图考虑学科发展新水平,结合新规范,反映土木工程的成熟和创新性成果,力求以各类工程问题为基线,注重理论研究与实际应用并重,适当吸收了最新研究成果,并进行一些必要的讨论。全书阐述简明,图文并茂,层次分明、重点突出。

本书由南京林业大学杨平教授、王元纲教授、郑晓燕教授任主编,王元纲负责第1篇统稿、杨平负责第2篇统稿、郑晓燕负责第3篇统稿,全书由杨平统稿,具体编写人员分工如下:王元纲编写第1篇第1、3章,黄凯健编写第1篇第2章,侯彦明编写第1篇第4章,王宏畅编写第1篇5.1~5.2节及第3篇第14章,李强编写第1篇5.3~5.8节,杨平编写第2篇第6章、第8章、9.1节、9.4节,刘成编写第2篇第7章,王海波编写9.2~9.3节,郑晓燕编写第3篇第10章、第13章,吕伟华编写第3篇第11章、第12章、第15章。

本书是根据土木工程、交通运输工程学科研究生培养需要而组织编写的,得到了中国林业出版社和南京林业大学的大力支持,并获“南京林业大学研究生课程系列教材建设”项目的经费资助,在此一并表示衷心感谢。本书作者要特别感谢庄惠

敏等研究生为本书相关文字、图表所做的大量工作。本书引用了大量的发表于各类期刊和出版教材、专著的资料成果，并将引用的文章、教材、专著列入参考文献中，但难免会有疏漏，敬请谅解，并在此表示感谢！

限于编者的水平，不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2016 年 1 月

目 录

第 1 篇 胶凝材料及其复合材料

第 1 章 气硬性胶凝材料	(2)
1.1 石灰胶凝材料	(2)
1.1.1 生石灰的结构特性与活性	(3)
1.1.2 生石灰的水化反应	(5)
1.1.3 生石灰水化时的体积变化	(6)
1.1.4 石灰在水作用下的分散与浆体结构形成过程	(8)
1.1.5 石灰浆体的硬化	(10)
1.1.6 石灰产品的性能特点及应用	(10)
1.2 石膏胶凝材料	(11)
1.2.1 石膏的脱水相组成	(11)
1.2.2 建筑石膏的水化与凝结硬化	(14)
1.2.3 石膏胶凝材料的性能及用途	(17)
第 2 章 水 泥	(19)
2.1 概述	(19)
2.2 硅酸盐水泥熟料矿物的结构与胶凝性能的关系	(20)
2.2.1 硅酸盐水泥熟料的矿物组成	(20)
2.2.2 水泥熟料矿物的结构特征	(21)
2.2.3 水泥熟料矿物水化反应能力的热力学判断	(22)
2.2.4 水泥熟料矿物具有胶凝能力的本质与条件	(22)
2.3 硅酸盐水泥的水化反应及机理	(22)
2.3.1 水泥熟料矿物的水化作用	(23)
2.3.2 硅酸盐水泥的水化作用	(26)
2.3.3 水泥的水化速度及其影响因素	(27)
2.3.4 硅酸盐水泥的水化机理	(29)
2.4 水泥浆体的凝结硬化及结构形成过程	(31)
2.4.1 水泥的凝结硬化理论	(31)
2.4.2 水泥浆体的结构及形成过程	(33)
2.5 新拌水泥浆的物理特性及流变性质	(35)
2.5.1 水泥浆中水的作用及泌水性	(35)

2.5.2	水泥浆的流变特性	(37)
2.6	硅酸盐水泥硬化体(水泥石)的结构	(41)
2.6.1	水泥石中水化产物的组成结构与粒子形态	(41)
2.6.2	水泥石的孔结构	(43)
2.6.3	水泥石中的水及其形态	(46)
2.7	硅酸盐水泥的工程性质	(49)
2.7.1	水泥石的强度	(49)
2.7.2	水泥石的变形性质	(52)
2.7.3	水泥石的耐久性	(55)
2.7.4	硅酸盐水泥的技术性质、性能特点及应用	(59)
2.8	其他水泥品种	(61)
2.8.1	通用硅酸盐水泥的其他品种	(61)
2.8.2	铝酸盐水泥	(65)
2.8.3	道路硅酸盐水泥	(67)
第3章	水泥基复合材料	(70)
3.1	水泥混凝土的组成材料	(70)
3.1.1	胶凝材料	(71)
3.1.2	集料(骨料)	(74)
3.1.3	混凝土外加剂	(75)
3.2	混凝土拌和物的性质	(76)
3.2.1	混凝土拌和物的流变特性	(76)
3.2.2	混凝土拌和物的工作性	(78)
3.2.3	混凝土拌和物的泌水性	(83)
3.3	混凝土的结构	(84)
3.3.1	混凝土的宏观堆聚结构	(85)
3.3.2	硬化水泥浆体的微结构	(86)
3.3.3	水泥石与集料的界面过渡层	(87)
3.4	混凝土的物理性质	(87)
3.4.1	混凝土的密实度	(87)
3.4.2	非荷载因素引起的变形	(88)
3.4.3	混凝土的热工性质	(90)
3.5	混凝土的力学性质	(91)
3.5.1	混凝土的强度	(91)
3.5.2	影响混凝土强度的因素	(93)
3.5.3	混凝土破坏机理及强度理论	(96)
3.5.4	荷载作用下的变形性质	(98)
3.6	混凝土的耐久性	(101)
3.6.1	混凝土的抗冻性	(101)

3.6.2	混凝土的碳化	(103)
3.6.3	混凝土的碱—集料反应	(105)
3.6.4	混凝土的耐磨性	(107)
3.7	纤维增强水泥基复合材料	(107)
3.7.1	概述	(107)
3.7.2	纤维材料	(108)
3.7.3	纤维增强水泥基复合材料的阻裂机理	(109)
3.7.4	纤维增强水泥基复合材料性能的评价方法	(110)
3.7.5	纤维增强水泥基复合材料性能特点与工程应用	(110)
3.8	聚合物水泥基复合材料	(111)
3.8.1	概述	(111)
3.8.2	聚合物改性混凝土(PMC)	(111)
第4章	沥青	(116)
4.1	概述	(116)
4.1.1	沥青的定义、分类与用途	(116)
4.1.2	石油沥青的生产工艺	(117)
4.1.3	沥青的元素组成	(118)
4.1.4	石油沥青的化学组分	(119)
4.1.5	石油沥青的胶体结构	(121)
4.2	石油沥青的技术性质	(122)
4.2.1	沥青的黏度	(123)
4.2.2	沥青的延性和脆性	(126)
4.2.3	沥青的感温性	(126)
4.2.4	耐久性	(127)
4.2.5	安全性	(129)
4.3	道路石油沥青评价方法	(130)
4.3.1	我国现行的沥青评价指标体系	(130)
4.3.2	SHRP 沥青胶结料评价方法	(130)
4.4	改性沥青	(136)
4.4.1	改性剂及其分类	(137)
4.4.2	改性剂与沥青的相容性及改性机理	(138)
4.4.3	改性沥青的生产和技术标准	(140)
4.5	沥青材料的流变学性质	(144)
4.5.1	表征沥青材料流变性质的常用模型	(144)
4.5.2	沥青材料的流变性质	(146)
第5章	沥青混合料	(148)
5.1	集料与级配	(148)

5.1.1	集料的一致特性	(148)
5.1.2	沥青路面集料质量控制	(150)
5.1.3	级配设计	(155)
5.2	混合料组成设计	(161)
5.2.1	沥青混合料的综合设计方法	(161)
5.2.2	Superpave 沥青混合料设计方法	(164)
5.2.3	美国旋转压实剪切试验机设计法	(164)
5.3	黏弹性力学行为	(165)
5.3.1	沥青混合料的黏弹性特性	(165)
5.3.2	蠕变函数和松弛函数	(167)
5.3.3	时间—温度等效原理及其应用	(168)
5.4	高温稳定性	(171)
5.4.1	高温病害形式	(171)
5.4.2	车辙形成机理	(172)
5.4.3	车辙影响因素	(173)
5.4.4	高温稳定性评价方法	(176)
5.4.5	车辙预估模型	(179)
5.5	低温抗裂性	(180)
5.5.1	低温开裂机理	(181)
5.5.2	低温抗裂性评价方法	(182)
5.5.3	低温开裂的影响因素及控制措施	(184)
5.6	水稳定性	(186)
5.6.1	沥青混合料水损害机理	(186)
5.6.2	水稳定性评价方法	(189)
5.6.3	水稳定性的影响因素	(191)
5.7	抗疲劳性能	(193)
5.7.1	疲劳试验方法	(194)
5.7.2	疲劳寿命影响因素	(195)
5.7.3	疲劳寿命预估模型	(198)
5.8	新型沥青混凝土及路面再生技术	(200)
5.8.1	浇筑式沥青混凝土	(200)
5.8.2	环氧沥青混凝土	(201)
5.8.3	排水性沥青混凝土	(202)
5.8.4	路面再生技术	(204)
第1篇	参考文献	(208)

第2篇 高等土力学

第6章	土的本构关系	(211)
6.1	概述	(211)

6.1.1	引言	(211)
6.1.2	土体本构关系的发展	(212)
6.2	土的变形特性	(213)
6.2.1	非线性和非弹性	(213)
6.2.2	塑性体积应变和剪胀性	(213)
6.2.3	塑性剪应变	(215)
6.2.4	硬化与软化	(216)
6.2.5	应力路径和应力历史对变形的影响	(217)
6.2.6	固结压力对变形的影响	(218)
6.2.7	中主应力对变形的影响	(219)
6.2.8	各向异性	(220)
6.3	弹性非线性模型	(221)
6.3.1	弹性参数的确定	(222)
6.3.2	双曲线模型($E-v$ 模型和 $E-B$ 模型)	(225)
6.3.3	非线性 $K-G$ 模型	(233)
6.4	弹塑性模型	(234)
6.4.1	破坏准则	(234)
6.4.2	屈服准则	(237)
6.4.3	硬化规律	(238)
6.4.4	流动法则	(240)
6.4.5	弹塑性矩阵	(243)
6.4.6	弹塑性模型举例	(246)
6.5	土与结构接触面模型	(254)
6.5.1	无厚度接触面单元模型	(254)
6.5.2	有厚度接触面单元模型	(257)
6.5.3	接触面本构模型	(260)
6.6	其他模型	(262)
6.6.1	黏弹塑性模型	(262)
6.6.2	土的结构性及土的损伤模型	(263)
第7章	土的固结与流变理论	(272)
7.1	概述	(272)
7.1.1	固结理论研究进展	(272)
7.1.2	影响土压缩性的主要因素	(274)
7.1.3	研究固结问题所需的基本方程	(275)
7.2	单向固结的普遍方程与太沙基理论	(277)
7.2.1	单向固结的普遍方程	(277)
7.2.2	太沙基单向固结理论	(279)
7.3	太沙基—伦杜立克准三维固结理论	(284)

7.4	三向固结轴对称问题—砂井地基固结理论	(285)
7.5	比奥固结理论	(287)
7.5.1	比奥固结理论方程	(288)
7.5.2	比奥固结理论与准三维固结理论的比较	(291)
7.5.3	比奥固结有限元支配方程及其应用	(292)
7.6	土的大变形固结理论	(294)
7.6.1	产生背景及必要性	(294)
7.6.2	研究现状及发展前景	(294)
7.6.3	基本理论	(295)
7.6.4	固结方程	(296)
7.6.5	固结方程的解法	(298)
7.7	土的动力固结理论	(300)
7.7.1	动力夯实	(301)
7.7.2	动力固结	(301)
7.8	土的流变理论	(303)
7.8.1	土的流变性	(303)
7.8.2	基本流变元件	(305)
7.8.3	土的流变模型	(306)
第8章	土的动力特性与动力分析	(315)
8.1	概述	(315)
8.2	砂土振动液化	(316)
8.2.1	砂土振动液化机理	(316)
8.2.2	影响砂土液化的主要因素	(317)
8.2.3	饱和砂土的液化可能性判别	(318)
8.3	动荷载下土的强度特性	(320)
8.3.1	动荷载加荷幅值对土动强度的影响	(320)
8.3.2	动荷载加荷周数对土动强度的影响	(321)
8.3.3	静力初始剪应力对土动强度的影响	(321)
8.4	土的动本构关系	(322)
8.4.1	动载作用下的变形阶段划分	(322)
8.4.2	土的应力应变滞回圈与骨架曲线	(323)
8.4.3	土的主要动力特征参数	(323)
8.4.4	影响土的动剪切模量与阻尼特性的主要因素	(324)
8.4.5	土的动弹塑性模型	(325)
8.4.6	等效非线性黏弹性模型	(327)
第9章	高等土工试验及测试	(329)
9.1	特殊土无侧限抗压强度试验	(329)

9.1.1	水泥土无侧限抗压强度试验	(329)
9.1.2	人工冻土单轴抗压强度及蠕变试验	(331)
9.2	土的三轴试验	(337)
9.2.1	常规三轴压缩试验	(337)
9.2.2	GDS 静动三轴试验	(344)
9.2.3	冻土静动三轴试验	(348)
9.3	人工冻土冻胀融沉试验	(349)
9.3.1	试验设备和试样制作	(350)
9.3.2	试验原理	(350)
9.3.3	试验步骤	(350)
9.3.4	结果整理	(351)
9.4	土与结构接触面剪切试验	(352)
9.4.1	常规土与结构接触面循环加载剪切试验	(352)
9.4.2	冻土与结构接触面循环加载剪切试验	(353)
第2篇	参考文献	(357)

第3篇 土木工程数值计算

第10章	数值计算方法概述	(359)
10.1	力学分析方法概述	(359)
10.1.1	解析法	(359)
10.1.2	实验法	(359)
10.1.3	数值计算法	(360)
10.2	常见的平衡问题数值计算方法	(360)
10.2.1	变分法	(360)
10.2.2	有限差分法	(361)
10.2.3	有限元法	(362)
10.2.4	边界元法	(363)
10.2.5	关键块体理论	(364)
10.2.6	数值流形方法	(364)
10.2.7	无单元法	(365)
10.2.8	广义有限元法	(366)
10.3	现代 CAE 技术	(366)
10.3.1	CAE 技术概述	(366)
10.3.2	CAE 技术的发展趋势	(366)
10.3.3	CAE 分析的步骤	(367)
10.4	主要的 CAE 软件介绍	(367)
10.4.1	ANSYS	(368)
10.4.2	ABAQUS	(368)
10.4.3	FLAC	(368)

第 11 章 有限元数值计算理论	(371)
11.1 有限元数值分析的基本原理	(371)
11.1.1 有限元数值分析的概念和简介	(371)
11.1.2 有限元数值分析的基本过程	(373)
11.1.3 岩土工程问题常见的几种单元	(378)
11.2 有限元数值计算理论依据	(385)
11.2.1 位移变分方程	(386)
11.2.2 最小势能原理	(386)
11.2.3 虚功方程(原理)	(387)
11.2.4 单元刚度矩阵与整体刚度矩阵	(388)
11.3 线性与非线性有限元的数值求解方法	(389)
11.3.1 线性方程组的求解	(390)
11.3.2 工程中的非线性问题及特点	(391)
11.3.3 非线性方程组的求解	(392)
第 12 章 土木工程有限元分析法	(396)
12.1 结构局部与整体稳定问题分析	(396)
12.1.1 结构屈曲基本原理及分类	(396)
12.1.2 结构稳定问题的计算方法	(397)
12.1.3 有限元求解结构屈曲的基本方法	(398)
12.1.4 非线性屈曲分析的具体注意事项	(399)
12.2 岩土工程问题稳定性数值分析方法	(400)
12.2.1 圆弧法计算原理	(401)
12.2.2 条分法计算原理	(402)
12.2.3 毕肖普法计算原理	(403)
12.3 动力学问题的基本方程与求解方法	(404)
12.3.1 动力学问题概述	(404)
12.3.2 振动问题与波动问题	(406)
12.3.3 结构动力学及有限元方程	(407)
12.3.4 结构整体力学有限元方程	(408)
12.3.5 单元质量矩阵和阻尼矩阵的表达式	(409)
第 13 章 ANSYS 及工程应用	(412)
13.1 ANSYS 简介	(412)
13.1.1 有限元软件 ANSYS 发展概况	(412)
13.1.2 ANSYS 软件特点	(413)
13.2 APDL 及土木工程常用单元	(414)
13.2.1 APDL 简介	(414)

13.2.2	土木工程常用单元	(420)
13.3	ANSYS 的分析过程	(421)
13.3.1	前处理	(421)
13.3.2	加载求解	(421)
13.3.3	后处理	(422)
13.3.4	应用举例	(423)
13.4	工程应用实例分析	(432)
13.4.1	钢筋混凝土结构有限元模型建立	(432)
13.4.2	钢筋锈蚀引起的混凝土结构物理场模拟	(437)
第 14 章	ABAQUS 及工程应用	(445)
14.1	有限元软件 ABAQUS 简介	(445)
14.1.1	ABAQUS 软件	(445)
14.1.2	ABAQUS 产品的组成	(446)
14.2	ABAQUS 常用单元	(447)
14.2.1	有限单元	(448)
14.2.2	刚性体	(456)
14.2.3	实体单元的使用	(459)
14.2.4	网格划分技术	(466)
14.3	ABAQUS 的分析流程	(471)
14.3.1	ABAQUS/CAE 的组成(Components)	(471)
14.3.2	ABAQUS/CAE 中的分析模块(Modules)	(473)
14.3.3	ABAQUS/CAE 中的常用工具(Tools)	(477)
14.3.4	ABAQUS 分析模型的组成	(492)
14.4	工程应用实例分析	(493)
14.4.1	路面结构裂缝静态响应的实例分析	(493)
14.4.2	路面结构裂缝动态响应的实例分析	(497)
第 15 章	FLAC 及在土木工程应用	(514)
15.1	有限差分软件 FLAC 简介	(514)
15.2	FLAC 理论背景	(514)
15.2.1	有限差分法	(515)
15.2.2	混合离散法	(515)
15.2.3	材料本构模型	(516)
15.2.4	本构模型的选择	(517)
15.3	FLAC 的安装与启动过程	(519)
15.3.1	软件安装电脑硬件要求	(519)
15.3.2	安装的一般程序	(519)
15.4	FLAC 常用单元	(521)

15.4.1	FLAC 主要功能模块	(521)
15.4.2	结构单元概述	(524)
15.5	FLAC 分析过程	(532)
15.5.1	FLAC2D 使用界面介绍	(533)
15.5.2	网格和节点	(534)
15.5.3	FLAC3D 使用界面介绍	(535)
15.6	一个简单的实例	(538)
15.6.1	问题描述	(538)
15.6.2	启动 FLAC	(539)
15.6.3	建立网格	(539)
15.6.4	定义材料	(540)
15.6.5	定义边界条件	(541)
15.6.6	重力设置	(542)
15.6.7	初始应力计算	(542)
15.6.8	保存状态文件	(543)
15.6.9	查看初始应力计算结果	(543)
15.6.10	查看最大不平衡力	(545)
15.6.11	实际开挖	(546)
15.6.12	设置历史变量	(547)
15.6.13	开挖计算并保存	(548)
15.6.14	后处理	(548)
15.7	盾构开挖对软黏土地层的扰动模拟	(550)
15.7.1	概述	(550)
15.7.2	问题的描述	(551)
15.7.3	FLAC ^{3D} 模拟隧道开挖中若干问题的解决	(552)
15.7.4	计算文件	(557)
15.7.5	计算结果分析	(562)
第3篇	参考文献	(566)