



21 世纪高等学校规划教材

21Shiji Gaodeng Xuexiao Guihua Jiaocai

土木工程荷载与结构设计方法

Tumugongcheng Hezai Yu Jiegousheji Fangfa

● 张小刚 主编



 中国质检出版社

21 世纪高等学校规划教材

TUMU GONGCHENG HEZAI YU JIEGOU SHEJI FANGFA

土木工程荷载与结构设计方法

张小刚 主编



中国质检出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程荷载与结构设计方法/张小刚主编. —北京: 中国质检出版社, 2011.5

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5026-3439-1

I. ①土… II. ①张… III. ①土木工程-工程结构-载荷分析-高等学校-教材 ②土木工程-工程结构-结构设计-高等学校-教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 058635 号

内 容 提 要

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会确定的教学大纲, 并参照我国最新的规范和相关的工程实例编写而成。本书共分为 10 章, 主要内容有: 荷载与作用、重力、侧压力、风荷载、地震作用、其他作用、荷载的统计分析、结构构件抗力的统计分析、结构可靠度设计方法、综合题。此外, 各章还附有小结和习题, 便于教学使用。

本书可作为高等学校新土木工程专业全日制本科生或土建类成人教育的教材, 也可作为备考国家一、二级注册结构工程师的相关人员的复习资料。

中国质检出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)

北京市西城区复外三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

电话: (010) 64275360 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 19.75 字数 476 千字

2011 年 6 月第一版 2011 年 6 月第一次印刷

*

定价 38.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

编 审 委 员 会

- 顾 问 赵惠新 (黑龙江大学)
- 主 任 邓寿昌 (中南林业科技大学)
- 副主任 刘殿忠 (吉林建筑工程学院)
- 姜连馥 (深圳大学)
- 高 潮 (大连水产学院)
- 郦 伟 (惠州学院)
- 委 员 (按姓氏笔画排序)
- 丁 琳 (黑龙江大学)
- 叶 青 (浙江工业大学)
- 刘 东 (东北农业大学)
- 关 萍 (大连大学)
- 张兆强 (黑龙江八一农垦大学)
- 张季超 (广州大学)
- 张燕坤 (北方工业大学)
- 杨 璐 (沈阳工业大学)
- 侯 威 (内蒙古工业大学)
- 赵文军 (黑龙江大学)
- 郭宗河 (青岛理工大学)
- 原 方 (河南工业大学)
- 徐建国 (郑州大学)
- 薛志成 (黑龙江科技学院)

— 本 书 编 委 会 —

主 编 张小刚（深圳大学）

副主编 郭 楠（东北林业大学）

邵新妍（东北农业大学）

伴随着近年来经济的空前发展和社会各项改革的不断深化，建筑业已成为国民经济的支柱产业和重要的经济增长点。该行业的快速发展对整个社会经济起到了良好的推动作用，尤其是房地产业和公路桥梁等各项基础设施建设的深入开展和逐步完善，也进一步促使整个国民经济逐步走上了良性发展的道路。与此同时，建筑行业自身的结构性调整也在不断进行，这种调整使其对本行业的技术水平、知识结构和人才特点提出了更高的要求，因此，近年来教育部对高校土木工程类各专业的发展日益重视，并连年加大投入以提高教育质量，以期向社会提供更加适应经济发展的应用型技术人才。为此，教育部对高等院校土木工程类专业的具体设置和教材目录也多次进行了相应的调整，使高等教育逐步从偏重于理论的教育模式中脱离出来，真正成为为国家培养生产一线的高级技术应用型人才的教育，“十一五”期间，这种转化将加速推进并最终得以完善。为适应这一特点，编写高等院校土木工程类各专业所需教材势在必行。

针对以上变化与调整，由中国质检出版社（原中国计量出版社）牵头组织了 21 世纪高等学校规划教材的编写与出版工作，该套教材主要适用于高等院校的土木工程、工程监理以及道路与桥梁等相关专业。由于该领域各专业的技术应用性强、知识结构更新快，因此，我们有针对性地组织了中南林业科技

大学、深圳大学、大连海洋大学、黑龙江大学、吉林建筑工程学院、浙江工业大学、东北农业大学、大连大学、沈阳工业大学、青岛理工大学、郑州大学、河南工业大学以及北方工业大学等多所相关高校、科研院所以及企业中兼具丰富工程实践和教学经验的专家学者担当各教材的主编与主审，从而为我们成功推出该套框架好、内容新、适应面广的好教材提供了必要的保障，以此来满足土木工程类各专业普通高等教育的不断发展和当前全社会范围内建设工程项目安全体系建设的迫切需要；这也对培养素质全面、适应性强、有创新能力的应用型技术人才，进一步提高土木工程类各专业高等教育教材的编写水平起到了积极的推动作用。

针对应用型人才培养院校土木工程类各专业的实际教学需要，本系列教材的编写尤其注重了理论与实践的深度融合，不仅将建筑领域科技发展的新理论合理融入教材中，使读者通过对教材的学习可以深入把握建筑行业发展的全貌，而且也将建筑行业的新知识、新技术、新工艺、新材料编入教材中，使读者掌握最先进的知识和技能，这对我国新世纪应用型人才的培养大有裨益。相信该套教材的成功推出，必将会推动我国土木工程类高等教育教材体系建设的逐步完善和不断发展，从而对国家的新世纪人才培养战略起到积极的促进作用。

教材编审委员会

2011 年 4 月

前言 FOREWORD

《土木工程荷载与结构设计方法》属于专业基础平台课程，是土木工程专业的重要教学内容。本课程的教学目的是尽可能地让土木工程不同专业方向的学生了解工程结构可能承受的各种荷载，以及工程结构设计的可靠度背景。本课程的基本要求为：通过本课程的学习，学生应掌握工程结构设计时需考虑的各种主要荷载，这些荷载产生的主要背景，以及各种荷载的计算方法；并掌握结构设计的主要概念、结构可靠度原理和满足可靠度要求的结构设计方法。由此可见，该课程的学习效果对于学生掌握专业基础知识、深入学习后继专业课程具有重大的影响。

21 世纪以来，国家教育部对土木工程专业进行了新的划分，新的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、城镇建设、矿井、隧道、港口工程、水利工程、海岸与海洋工程等专业，同时要求《土木工程荷载与结构设计方法》课程以“大土木”进行授课。因此，本课程的教学内容不能再仅仅局限于建筑结构荷载的详细介绍上，还应包含桥梁结构、水工结构、港口工程、海岸与海洋工程等荷载的介绍。基于此，为适应“大土木”所倡导的“厚基础、宽专业”的培养理念，本教材编写组认真拓宽了适合于土木工程新形势的教学内容。实际上，土木工程荷载类型很多，但它们对不同结构的重要性不尽相同，而且同一荷载，对于不同结构，其计算和确定也会有差别，土木工程结构设计方法目前也并没有完全统一，这些差异都体现在各自的行业规范中，这些都给少学时情况下的学生了解宽口径土木工程荷载及设计方法带来了困难。因而本教材在教学内容拓宽的基础上，尽力考虑不同土木工程结构规范在“荷载与设计方法”方面的差异，即在突出不同专业荷载取值共性的同时，更根据不同土木结构的工程特点，对其特殊性进行适当的囊括和比较，体现出其不同之处，使学生以宽口径土木工程专业的视角了解荷载和设计方法。这是本教材的特色之一。

针对我国大量扩招后的“大土木”高校本科教育，必须由原来的“精英化”教育逐步向“大众化”应用教育转变。因此在确定本教材的教学内容时，编写组避免了采用较大篇幅对荷载与结构设计方法的复杂原理和繁琐公式进行详细推导，这主要是由于这些原理的介绍在学生毕业后的工作中用途相对有限，众多学生毕业后常常抱怨学的东西没用，而工作中要用的东西又没有学到！针对这一现状，

本教材对相关复杂原理和繁琐公式进行深入浅出的编写，并适当删减公式和原理等推导，而更注重相关技术规定和原理的工程实践应用，尽力做到让读者“学以致用”。这是本教材的特色之二。

《土木工程荷载与结构设计方法》的绝大部分授课内容是讲述相关中华人民共和国国家标准上的荷载计算方法和结构设计方法等，如 GB 50009《建筑结构荷载规范》等标准中的荷载取值方法；GB 50010《混凝土结构设计规范》等标准中的荷载组合方法。在 21 世纪以来，尤其在 2010 年前后，我国对相关规范作了很多的调整和补充，对一些荷载的计算方法、结构构造规定等进行了一定的变化和修改，对一些荷载取值也提出了更高的指标要求。比如 GB 50011《建筑抗震设计规范》中抗震水准描述、最大地震影响系数和特征周期取值进行了调整；GB 50010《混凝土结构设计规范》中承载能力极限状态和正常使用极限状态设计进行了完善；JGJ 3《高层建筑混凝土结构技术规程》中考虑地震作用效应和其他荷载效应的基本组合分项系数进行了变换等。由此可见，《土木工程荷载与结构设计方法》教材必须尽快体现国家最新的强制性规定和标准，从而避免学生学到的知识是过时或废弃的东西。因而本教材在已有教材的基础上，根据最新规范和标准，完善和更新了教学内容。这是本教材的特色之三。

土木工程规范中的技术规定全是通过文字介绍，相关工程应用的理解比较晦涩，且已有的荷载与结构设计参考资料中较少结合实际工程来编写典型实际工程例子。无论高等学校的学生，还是备考国家一、二级注册结构工程师的相关人员都苦于没有相关技术规定的详细工程应用说明（解释），相关典型实际工程例子更是少得可怜，导致众多学生及工程人员对规范的理解不够透彻。针对这一现状，本教材在结合实际工程的基础上，编写了较多的典型实际工程应用例题，强调荷载与结构设计在工程实际上的应用和分析，使读者灵活运用所学知识解决工程实际问题，在本教材的最后还引用了参考文献[44]中的综合例题，以便读者能把全书的大部分内容综合连贯起来理解应用。这是本教材的特色之四。

在着重突出上述特色的基础上，本教材的一些内容则直接引用于原有教材、注册结构工程师考试复习资料等相关参考文献，在此表示谢意。本教材可作为高等学校所有新土木工程专业全日制本科生或土建类成人教育的教材（36 学时），也可作为备考国家一、二级注册结构工程师的相关人员的复习资料。

本教材由深圳大学张小刚担任主编，东北林业大学郭楠、东北农业大学邵新妍担任副主编。本教材编写大纲由张小刚制定；书中第一章、第五章、第九章、第十章由张小刚编写；第二章、第四章、第六章由郭楠编写；第三章、第七章、第八章由邵新妍编写；书中部分绘图和校对工作由硕士研究生王娇、谢军完成；最后，本教材由张小刚统稿定稿。由于编者水平有限，加之正处于规范的集中修改期，书中难免有不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 4 月

目 录 CONTENTS

第 1 章 荷载与作用	(1)
1.1 荷载、作用及作用效应	(1)
1.1.1 作用的概念	(1)
1.1.2 荷载与作用的关系	(1)
1.1.3 作用效应的概念	(2)
1.2 作用的分类	(2)
1.2.1 按随时间的变异分类	(2)
1.2.2 按随空间位置的变异分类	(3)
1.2.3 按结构的反应特点分类	(3)
1.3 荷载代表值	(4)
本章小结	(4)
习题	(5)
第 2 章 重力	(6)
2.1 结构自重	(6)
2.2 土的自重应力	(7)
2.3 雪荷载	(9)
2.3.1 基本雪压	(9)
2.3.2 屋面雪压	(10)
2.4 车辆荷载	(14)
2.4.1 公路车辆荷载	(15)
2.4.2 城市桥梁汽车荷载	(19)
2.4.3 列车荷载	(21)
2.5 人群荷载	(21)
2.5.1 公路桥梁人群荷载	(21)
2.5.2 城市桥梁人群荷载	(22)

2.5.3 铁路桥人行道荷载	(22)
2.6 楼面及屋面荷载	(23)
2.6.1 民用建筑楼面活荷载	(23)
2.6.2 工业建筑楼面活荷载	(28)
2.6.3 屋面活荷载	(31)
2.6.4 屋面积灰荷载	(32)
2.6.5 施工和检修荷载及栏杆水平荷载	(33)
2.7 吊车荷载	(35)
2.7.1 吊车的工作制等级和工作级别	(35)
2.7.2 吊车竖向荷载和水平荷载	(35)
2.7.3 多台吊车组合	(38)
2.7.4 吊车荷载的动力系数	(39)
2.7.5 吊车荷载的组合值、频遇值及准永久值	(39)
本章小结	(40)
习题	(41)

第3章 侧压力

3.1 土的侧压力	(43)
3.1.1 土的侧向压力分类	(43)
3.1.2 土压力的基本理论	(45)
3.1.3 土压力计算	(47)
3.1.4 工程中挡土墙土压力计算	(53)
3.2 静水压力及流水压力	(57)
3.2.1 静水压力	(57)
3.2.2 流水压力	(58)
3.3 波浪荷载	(59)
3.3.1 波浪特性	(59)
3.3.2 波浪作用力计算	(62)
3.4 冻胀力	(66)
3.4.1 冻土的概念和性质	(66)
3.4.2 土的冻胀原理及对结构物的作用	(66)
3.4.3 冻胀性类别及冻胀力分类	(67)
3.4.4 冻胀力计算	(67)
3.5 冰压力	(69)
3.5.1 冰堆整体推移的静压力	(69)

3.5.2	大面积冰层的静压力	(69)
3.5.3	冰覆盖层受到温度影响膨胀时产生的静压力	(70)
3.5.4	冰层因水位升降产生的竖向作用力	(70)
3.5.5	流冰冲击力	(71)
本章小结		(72)
习题		(72)
第4章 风荷载		(73)
4.1	风的基本知识	(73)
4.1.1	风的形成	(73)
4.1.2	两类性质的大风	(73)
4.1.3	风级	(74)
4.2	风压	(76)
4.2.1	风压与风速的关系	(76)
4.2.2	基本风压	(78)
4.2.3	非标准条件下的风速或风压的换算	(80)
4.2.4	山区的基本风压	(82)
4.2.5	远海海面 and 海岛基本风压	(83)
4.2.6	我国基本风压分布特点	(84)
4.3	顺风向结构风效应	(84)
4.3.1	风压高度变化系数	(85)
4.3.2	风荷载体型系数	(86)
4.3.3	顺风向风振	(89)
4.4	横风向结构风效应	(102)
4.4.1	横风向风振	(102)
4.4.2	锁定现象和共振区高度	(104)
4.4.3	横风向风振验算	(105)
4.5	桥梁风荷载	(108)
4.5.1	横桥向风荷载的计算	(108)
4.5.2	其他情况下风荷载的考虑	(112)
本章小结		(113)
习题		(115)
第5章 地震作用		(117)
5.1	地震基本知识	(117)

5.1.1	地震成因	(117)
5.1.2	地震的常用术语	(118)
5.1.3	地震波和地面运动	(118)
5.1.4	地震分布	(118)
5.2	地震基本概念	(119)
5.2.1	震级	(119)
5.2.2	烈度	(120)
5.2.3	震级与烈度的关系	(122)
5.3	工程抗震设防	(122)
5.3.1	抗震设防烈度及其区划	(122)
5.3.2	设计地震分组	(122)
5.3.3	工程抗震设防原则	(123)
5.3.4	地震反应谱理论简介	(124)
5.4	单质点体系水平地震作用	(125)
5.4.1	工程结构地震作用的计算方法	(125)
5.4.2	单质点体系水平地震运动方程	(125)
5.4.3	单质点体系水平地震作用的求解	(127)
5.4.4	地震影响系数 α 的设计反应谱	(128)
5.5	多质点体系水平地震作用	(132)
5.5.1	多质点体系计算简图	(132)
5.5.2	多自由度体系在水平地震作用下的运动方程	(132)
5.5.3	计算多质点体系水平地震作用的振型分解反应谱法	(133)
5.5.4	计算水平地震作用的底部剪力法	(135)
5.6	竖向地震作用	(142)
5.7	结构地震扭转效应	(143)
5.8	桥梁地震作用	(144)
5.8.1	梁桥桥墩的地震作用计算	(144)
5.8.2	梁桥桥台水平地震作用	(148)
5.8.3	地震动水压力	(148)
5.8.4	支座及构造连接处的抗震验算	(149)
本章小结		(150)
习题		(152)

第6章 其他作用 (153)

6.1	温度作用	(153)
-----	------------	-------

6.1.1	温度作用的基本概念、原理及其对结构的影响	(153)
6.1.2	温度应力和变形的计算	(154)
6.1.3	温度变化的考虑	(159)
6.2	变形作用	(159)
6.2.1	地基变形的影响	(159)
6.2.2	混凝土收缩和徐变	(162)
6.3	爆炸作用	(163)
6.3.1	爆炸的基本概念	(163)
6.3.2	爆炸荷载的计算	(165)
6.4	浮力作用	(169)
6.5	行车等因素的动态作用	(169)
6.5.1	冲击力	(169)
6.5.2	撞击力	(171)
6.5.3	制动力	(172)
6.5.4	离心力	(173)
6.6	预加力	(174)
6.6.1	预加力的基本概念	(174)
6.6.2	施加预加力的方法	(175)
6.6.3	预应力混凝土结构的几个基本概念	(177)
本章小结		(179)
习题		(180)
第 7 章	荷载的统计分析	(181)
7.1	荷载的概率模型	(181)
7.1.1	荷载的随机过程模型	(181)
7.1.2	荷载的随机变量模型	(183)
7.2	荷载效应组合	(185)
7.2.1	基本概念	(185)
7.2.2	JCSS 组合模型	(186)
7.2.3	J. C. Turkstra 组合模型	(187)
7.3	荷载的代表值	(188)
7.3.1	荷载标准值	(188)
7.3.2	荷载频遇值	(189)
7.3.3	荷载准永久值	(189)
7.3.4	荷载组合值	(190)

本章小结	(190)
习题	(190)
第 8 章 结构构件抗力的统计分析	(191)
8.1 结构构件抗力不定性的主要因素及统计分析	(191)
8.1.1 结构构件材料性能的不定性	(191)
8.1.2 结构构件几何参数的不定性	(193)
8.1.3 结构构件计算模式的不定性	(194)
8.2 结构构件抗力 R 的统计参数及概率分布	(197)
8.2.1 单一材料构成的结构构件抗力 R 的统计参数	(197)
8.2.2 多种材料构成的结构构件抗力 R 的统计参数	(197)
8.2.3 结构构件抗力 R 的概率分布	(199)
本章小结	(200)
习题	(200)
第 9 章 结构可靠度设计方法	(201)
9.1 土木工程结构设计方法的历史发展概况	(201)
9.2 结构可靠度基本原理	(202)
9.2.1 结构功能要求和可靠度定义	(202)
9.2.2 结构的安全等级	(203)
9.2.3 设计基准期和设计使用年限	(204)
9.2.4 结构的极限状态	(205)
9.2.5 结构的功能函数	(205)
9.2.6 结构可靠度分析	(206)
9.2.7 结构目标可靠指标	(208)
9.2.8 可靠度分析方法简介	(209)
9.3 现行规范中可靠度设计表达式	(210)
9.3.1 现行规范中可靠度设计表达式	(211)
9.3.2 承载能力极限状态荷载效应组合	(212)
9.3.3 正常使用极限状态荷载效应组合	(218)
9.3.4 地基基础设计荷载效应组合	(220)
9.3.5 结构倾覆、滑移或漂浮验算	(222)
9.4 结构体系可靠度分析	(223)
9.4.1 结构构件的失效性质	(223)
9.4.2 基本体系	(224)

9.4.3 结构体系的失效模式	(225)
9.4.4 结构体系可靠度分析中的相关性	(225)
本章小结	(226)
习题	(227)
第 10 章 综合题	(228)
附录 1 常用材料和构件的自重	(236)
附录 2 全国各城市的 50 年一遇雪压和风压值	(249)
附录 3 工业建筑楼面活荷载的标准值	(270)
附录 4 风荷载体型系数	(274)
附录 5 我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和 设计地震分组	(285)
参考文献	(299)

第1章 荷载与作用

内容提要

本章介绍了结构荷载、作用及作用效应的概念,对比描述了三者之间的关系;依据作用的时间、空间位置变异及结构的反映性质,进行了作用的分类;给出了荷载代表值的定义,并初步描述了四种荷载代表值的物理意义及其关系。

1.1 荷载、作用及作用效应

1.1.1 作用的概念

土木工程结构是指用土木工程材料建造的房屋、隧道、桥梁、港口及大坝等基础设施。使结构或其构件产生内力(如弯矩、轴力或剪力)、变形(如位移、挠度)和裂缝等效应的各种原因的总称,称为工程结构或其构件上的作用。

承受在施工和使用过程中的各种作用是工程结构最重要的功能,如建筑结构承受的自重、人群和地震作用,隧道结构承受的土压力、水压力和爆炸作用,桥梁结构承受的车辆重力、车辆冲击力和风作用,港口结构承受的波浪、船舶撞击力和腐蚀介质作用,以及大坝结构承受的水压力、土压力和温度收缩作用等。

本教材的一个重要任务(即教材的前六章)就是阐明工程结构上各类作用的产生背景及其统计、取值和计算方法,以便进行准确高效的工程结构建设。

1.1.2 荷载与作用的关系

人们通常将工程结构上的作用分为两类。

第一类称为直接作用。它直接以力的不同集结形式作用于结构,如结构自重、人群作用、车辆重量、风压力、土压力、水压力、雪压力等,人们习惯把直接作用称为荷载(严格意义上的荷载或狭义荷载)。

第二类称为间接作用。与直接作用不同,它不再是直接以力的某种集结形式出现,而是施加于结构上的约束变形和外加变形,同样,这些约束变形和外加变形也能使结构产生内力、变形等效应,如材料的收缩或膨胀、温度变化引起结构约束变形,导致结构中收缩应力和温度应力的产生;外荷载、地基不均匀沉降引起结构外加变形,导致结构中裂缝的产生等。

在日常生活中,人们往往将所有引起结构效应的原因(即作用)统称为荷载(广义荷载),荷载与作用之间的关系如图1—1所示。目前,在建筑结构的行业标准中,我国已经使用“作用”这一概念,而在道桥、水利等行业标准中,尚未使用“作用”代替“荷载”这一概念,