



面向21世纪课程教材



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

工程结构荷载与 可靠度设计原理

(第四版)

李国强 黄宏伟 吴迅 刘沈如 孙飞飞 编著

中国建筑工业出版社

面向 21 世纪 课 程 教 材

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

工程结构荷载与 可靠度设计原理

(第四版)

世界银行贷款资助项目
上海市教育委员会组编

李国强 黄宏伟 吴 迅 刘沈如 孙飞飞 编著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构荷载与可靠度设计原理/李国强等编著.
4 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 6

面向 21 世纪课程教材. “十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材 (经典精品系列教材)

ISBN 978-7-112-19456-8

I. ①工… II. ①李… III. ①工程结构-结构荷载-高等学校-教材 ②工程结构-结构可靠性-高等学校-教材
IV. ①TU312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 110788 号

面向 21 世纪课程教材 “十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材 (经典精品系列教材)

工程结构荷载与可靠度设计原理 (第四版)

世界银行贷款资助项目

上海市教育委员会组编

李国强 黄宏伟 吴 迅 刘沈如 孙飞飞 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 16 $\frac{3}{4}$ 插页: 2 字数: 343 千字

2016 年 7 月第四版 2016 年 7 月第二十九次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-19456-8

(28723)

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)

本书是根据教育部大学本科专业目录规定的土木工程专业培养要求及《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写的，此次修订是在第三版基础结合近年来我国工程结构领域新规范、新标准及实际教学改革要求完成的。

荷载是工程结构设计的重要方面，也是着手工程设计需要解决的重要问题，而概率可靠度方法已成为各类工程结构（房屋、桥梁、地下建筑、道路等）设计的理论基础。本书全面、系统地介绍了工程结构各类荷载的基本概念及其确定方法以及结构可靠度的设计原理。全书分3篇13章，第1、2篇主要内容有：荷载类型、重力、侧压力、风荷载、地震作用、荷载的统计分析、结构抗力的统计分析、结构可靠度分析、结构概率可靠度设计法等；第3篇主要内容为工业与民用建筑、桥梁、隧道衬砌三类结构荷载的计算方法及详细示例。

可作为土木工程专业的专业基础课教材，也可供从事各类工程结构设计与施工的工程技术人员参考。

* * *

责任编辑：吉万旺 朱首明

责任校对：王宇枢 党 蕾

出版说明

1998年教育部颁布普通高等学校本科专业目录，将原建筑工程、交通土建工程等多个专业合并为土木工程专业。为适应大土木的教学需要，高等学校土木工程学科专业指导委员会编制出版了《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》，并组织我国土木工程专业教育领域的优秀专家编写了《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》。该系列教材2002年起陆续出版，共40余册，十余年来多次修订，在土木工程专业教学中起到了积极的指导作用。

本系列教材从宽口径、大土木的概念出发，根据教育部有关高等教育土木工程专业课程设置的教學要求编写，经过多年的建设和发展，逐步形成了自己的特色。本系列教材投入使用之后，学生、教师以及教育和行业行政主管部门对教材给予了很高评价。本系列教材曾被教育部评为面向21世纪课程教材，其中大多数曾被评爲普通高等教育“十一五”国家级规划教材和普通高等教育土建学科专业“十五”、“十一五”、“十二五”规划教材，并有11种入选教育部普通高等教育精品教材。2012年，本系列教材全部入选第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

2011年，高等学校土木工程学科专业指导委员会根据国家教育行政主管部门的要求以及新时期我国土木工程专业教学现状，编制了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。在此基础上，高等学校土木工程学科专业指导委员会及时规划出版了高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材。为区分两套教材，特在原系列教材丛书名《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》后加上经典精品系列教材。各位主编将根据教育部《关于印发第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材书目的通知》要求，及时对教材进行修订完善，补充反映土木工程学科及行业发展的最新知识和技术内容，与时俱进。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社

第四版前言

2010年以后,我国建筑、桥梁、地下工程等结构相关设计规范陆续出版了新版本,其中相关荷载及结构可靠度设计方法的一些概念或内容有了新的调整和补充。

为使本教材与我国现行有关设计规范相协调,满足课堂教学和课后自学相结合的需求,决定对本教材进行新的修订。

本次修订的主要内容有:

(1) 将教材中与规范相关的内容,更新为新规范的规定。其中改动最大的是风荷载部分。

(2) 部分章节补充了例题。

(3) 对每章的思考题进行了补充,并增加了是非题和计算题以促进学生对基本概念、基本方法的理解。

本次修订由孙飞飞、刘沈如、吴迅、张冬梅分工完成,最后仍由我修改与统稿。

衷心希望本教材读者继续给我们提出意见和建议。

李国强

2016年3月

第三版前言

2002年以后,我国建筑、桥梁、地下工程等结构相关设计规范陆续出版了新版本,其中相关荷载及结构可靠度设计方法的一些概念或内容有了新的调整和补充。

为使本教材与我国现行有关设计规范相协调,作者结合多年讲授本教材内容的实践经验,决定对本教材第二版进行修订。

本次修订的主要内容有:

(1) 将教材中与规范相关的内容,更新为新规范的规定。如全国基本风压分布图、风荷载地貌(地面粗糙度)分类、车辆荷载等。

(2) 补充了荷载频遇值的概念。

(3) 删除了第4章与第9章中一些较深的理论推导。

(4) 增加了第3篇。这一篇对工程中常用的建筑结构、桥梁结构和地下结构的荷载计算规定与方法进行了介绍与实例演示。

本次修订增加的第3篇的内容,是前两篇内容的实际工程应用,对学生理解和掌握本教材内容会有所帮助。在教学中不一定讲授这一篇的内容,可要求学生自己阅读。

本教材原作者之一郑步全因身体原因未能参加本次修订,由吴迅接替。新增的第11章由刘沈如执笔、第12章由吴迅执笔、第13章由黄宏伟执笔,最后仍由我修改与统稿。

衷心希望本教材读者继续给我们提出意见和建议。

李国强

2005年6月

第二版前言

为适应高校教育教学改革后土木工程专业的教学需要，本教材第一版于1999年底出版，同济大学于2000年开始开设“荷载与结构设计原理”课并使用本教材。由于是第一次开设这门课程，教师以本教材为基础进行了集体备课，讨论了讲课重点，准备了共用的投影胶片，授课效果良好，让学生对工程结构设计需考虑的荷载和设计的一些基本概念有较全面的了解，尽管学生反映课内学时较少，但通过参阅本教材，也能掌握本教材所述主要内容。其他学校教师反映也较好。

承蒙全国高校土木工程学科专业指导委员会的推荐，本教材被教育部批准为“面向21世纪课程教材”，趁出版第二版之机，我们对本教材内容做了少许调整和补充，同时对原版中的一些错误作了更正。由于本教材出版时间还不长，衷心期望读者和使用本教材的教师多给我们提出意见和指出书中不当或错误之处，以便我们今后进一步修订、完善。

李国强

2001年4月

第一版前言

1998年，教育部颁布了新的大学本科专业目录，将原来500多个专业合并减少了一半，其中原建筑工程专业、交通土建专业等合并拓展成土木工程专业。这一举措，实际上是我国高等教育改革的一项重要内容，标志着我国高级人才培养模式向专业宽口径转变。为适应这一转变，建设部专门列出了面向21世纪的土木工程专业结构系列课程教学改革研究课题，该课题的研究结论之一，就是建议将工程结构荷载和可靠度设计原理列为土木工程专业学生的专业基础教学内容。

各类工程结构（如建筑、桥梁、输电塔等）的最重要功能，就是承受其生命全过程中可能出现的各种荷载。结构设计时，荷载取值的大小及应考虑哪些荷载，将直接影响结构工作时的安全性。因此，工程结构设计时，需考虑哪些荷载，这些荷载产生的背景，以及各种荷载的计算方法应是一名结构工程师所具备的基本专业知识，因而也是土木工程专业学生需掌握的结构工程基本内容。

工程结构的设计方法经历了经验定值设计法、半经验半概率定值设计法和概率定值设计法三个阶段，目前国际上关于工程结构设计，普遍采用概率定值设计法。所谓概率定值设计法，是以结构概率可靠度为基础，以确定性荷载和确定性结构抗力为形式的结构设计方法。这种设计方法既便于工程师直观地运用，又具有明确的概率可靠度意义，而为我国各种工程结构设计规范所采用。因此，要理解我国现行工程结构设计方法，就必须掌握工程结构可靠度设计原理。

结构设计包括三部分内容：一是荷载，二是结构抗力，三是结构设计方法。本书涉及荷载和结构设计方法两部分内容，而结构抗力则由有关“钢筋混凝土结构”、“钢结构”等书或教材介绍。本书分两篇，分别介绍了荷载的分类及重力、土压力、水压力、风荷载、地震作用、爆炸作用、温度作用、波浪荷载等重要荷载的概念、原理和计算方法，以及荷载与结构抗力的统计分析、结构可靠度分析、结构概率可靠度设计法等重要内容。本书大纲的拟定和统稿由李国强负责，其中第二章第一、二节、第三章、第六章第一、二、三、四节由黄宏伟执笔，第二章第四节、第六章第五、六、七节由郑步全执笔，其余各章节由李国强执笔。

本书作者感谢建设部土木工程专业结构系列课程教学改革课题组的陈以一、袁勇、朱合华、李国平等教授，他们对本书大纲的确定提出了许多建设性意见。另要特别感谢潘士劼教授、张庆智教授和陈忠延教授，他们仔细阅读了本书的手稿，对本书的内容提出了很多宝贵的意见和建议。我本人还要感谢香港 Croucher 基金会和香港理工大学土木及结构工程系，他们为我于1999年初在香港短

期工作访问提供了很好的工作条件，使我在香港期间完成了本书的修改与定稿工作。最后，我要感谢我的硕士研究生段颖智同学，她花费了大量时间和精力打印了本书的手稿。

本书作为大学本科关于结构工程的一本专业基础教学参考书还是第一次，由于我们学识有限，书中不当或错误之处，敬望读者批评指正。

李国强

1999年5月

目 录

第 1 篇 工程结构荷载

第 1 章 荷载类型	1
1.1 荷载与作用	1
1.2 作用的分类	2
习题	2
第 2 章 重力	4
2.1 结构自重	4
2.2 土的自重应力	4
2.3 雪荷载	6
2.4 汽车(列车)荷载.....	11
2.5 楼面活荷载.....	15
2.6 人群荷载.....	16
习题	17
第 3 章 侧压力	18
3.1 土的侧向压力.....	18
3.2 水压力及流水压力.....	23
3.3 波浪荷载.....	25
3.4 冻胀力.....	30
3.5 冰压力.....	34
3.6 撞击力.....	35
习题	35
第 4 章 风荷载	37
4.1 风的有关知识.....	37
4.2 风压.....	40
4.3 结构抗风计算的几个重要概念.....	47
4.4 顺风向结构风效应.....	53
4.5 横风向结构风效应.....	63
习题	71
第 5 章 地震作用	74
5.1 地震基本知识.....	74

5.2	单质点体系地震作用	85
5.3	多质点体系地震作用	94
	习题	103
第6章	其他作用	105
6.1	温度作用	105
6.2	变形作用	107
6.3	爆炸作用	110
6.4	浮力作用	113
6.5	制动力、牵引力与冲击力	114
6.6	离心力	116
6.7	预加力	117
	习题	120
第2篇 工程结构可靠度设计原理		
第7章	荷载的统计分析	121
7.1	荷载的概率模型	121
7.2	荷载的各种代表值	125
7.3	荷载效应及荷载效应组合	127
	习题	130
第8章	结构抗力的统计分析	131
8.1	影响结构抗力的不定性	131
8.2	结构构件材料性能的不定性	132
8.3	结构构件几何参数的不定性	134
8.4	结构构件计算模式的不定性	135
8.5	结构构件抗力的统计特征	137
	习题	141
第9章	结构可靠度分析	142
9.1	结构可靠度基本概念	142
9.2	结构可靠度分析的实用方法	147
9.3	随机变量间的相关性对结构可靠度的影响	157
9.4	结构体系的可靠度	158
	习题	163
第10章	结构概率可靠度设计法	165
10.1	结构设计的目标	165
10.2	结构概率可靠度的直接设计法	166
10.3	结构概率可靠度设计的实用表达式	170

习题	185
----------	-----

第 3 篇 典型工程结构的荷载计算

第 11 章 工业与民用建筑结构	187
11.1 设计要求	187
11.2 各种荷载的取值	187
11.3 示例	196
第 12 章 桥梁结构	209
12.1 作用的分类	209
12.2 作用的代表值	210
12.3 作用效应组合	222
12.4 装配式钢筋混凝土简支 T 梁荷载计算示例	225
第 13 章 隧道衬砌结构	233
13.1 荷载的分类	233
13.2 荷载的计算	234
13.3 示例	241
附录 常用工程结构材料密度	244
参考文献	248

第 1 篇 工程结构荷载

第 1 章 荷载类型

1.1 荷载与作用

工程结构（如房屋、桥梁、隧道等）最重要的一项功能是承受其使用过程中可能出现的各种环境作用，如房屋结构要承受自重、人群和家具重量以及风和地震作用等；桥梁结构要承受车辆重力、车辆制动力与冲击力、水流压力等；隧道结构要承受水土压力、爆炸作用等。将由各种环境因素产生的直接作用在结构上的各种力称为荷载。由地球引力产生的力为重力，任何结构都将受到重力的作用。由土、水、风等产生的作用在结构上的压力称为土压力、水压力、风压力（习惯称风荷载或风载）。由爆炸、运动物体的冲击、制动或离心作用等产生的作用在结构上的其他物体的惯性力也均称为荷载。

作用在结构上的荷载会使结构产生内力、变形等（称为效应）。结构设计的目标就是确保结构的承载能力足以抵抗内力，而变形控制在结构能正常使用的范围内。工程师发现，进行结构设计时，不仅要考虑上述直接作用在结构上的各种荷载作用，还应考虑引起结构内力、变形等效应的其他非直接作用因素。能够引起结构内力、变形等效应的非直接作用因素，如地震、温度变化、基础不均匀沉降、焊接等，称为间接作用。

为了统一，将能使结构产生效应（结构或构件的内力、应力、位移、应变、裂缝等）的各种因素总称为作用；而将可归结为作用在结构上的力的因素称为直接作用（图 1-1a）；将不是作用力但同样引起结构效应的因素称为间接作用（图 1-1b）。只有直接作用才可称为荷载。

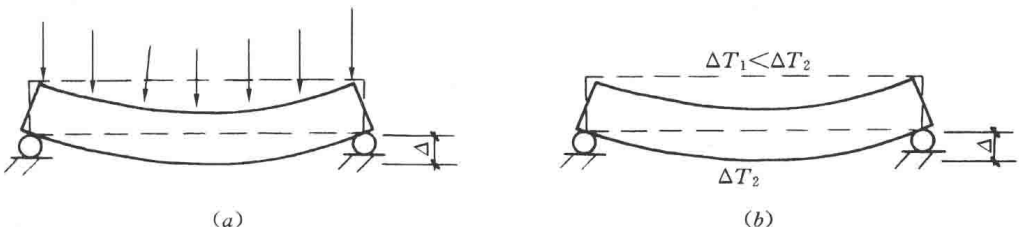


图 1-1 作用与效应

(a) 直接作用（重力）；(b) 间接作用（升温）

1.2 作用的分类

为便于工程结构设计，且利于考虑不同的作用所产生效应的性质和重要性不同，对结构承受的各种环境作用，可按下列原则分类：

1. 按随时间的变异分类

(1) 永久作用：在结构设计基准期内其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计。例如，结构自重、土压力、水压力、预加应力、基础沉降、焊接等。

(2) 可变作用：在结构设计基准期内其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可忽略。例如，车辆重力、人员设备重力、风荷载、雪荷载、温度变化等。

(3) 偶然作用：在结构设计基准期内不一定出现，而一旦出现其量值很大且持续时间较短。例如，地震、爆炸等。

由于可变作用的变异性比永久作用的变异性大，可变作用的相对取值（与其平均值之比）应比永久作用的相对取值大。另外，由于偶然作用的出现概率较小，结构抵抗偶然作用的可靠度可比抵抗永久作用和可变作用的可靠度低。

2. 按随空间位置的变异分类

(1) 固定作用：在结构空间位置上具有固定的分布。例如，结构自重、结构上的固定设备荷载等。

(2) 可动作用：在结构空间位置上的一定范围内可以任意分布。例如，房屋中的人员、家具荷载、桥梁上的车辆荷载等。

由于可动作用可以任意分布，结构设计时应考虑它在结构上引起最不利效应的分布情况。

3. 按结构的反应分类

(1) 静态作用：对结构或结构构件不产生加速度或其加速度可以忽略不计。例如，结构自重、土压力、温度变化等。

(2) 动态作用：对结构或结构构件产生不可忽略的加速度。例如，地震、风、冲击和爆炸等。

对于动态作用，必须考虑结构的动力效应，按动力学方法进行结构分析，或按动态作用转换成等效静态作用，再按静力学方法进行结构分析。

习 题

- 1.1 荷载与作用在概念上有什么不同？
- 1.2 说明直接作用和间接作用的区别。
- 1.3 作用有哪些类型？请举例说明哪些是直接作用？哪些是间接作用？
- 1.4 什么是效应？是不是只有直接作用才能产生效应？

1.5 举例说明哪些是永久作用？哪些是可变作用？哪些是偶然作用？

1.6 是非题：

(1) 严格意义上讲，只有直接作用才能称为荷载。

(2) 土压力、风压力和水压力是荷载，由爆炸、离心作用等产生的作用在物体上的惯性力不是荷载。

(3) 按照间接作用的定义，温度变化、基础不均匀沉降、制动力、地震等均是间接作用。

(4) 只有直接作用才能引起结构效应，间接作用并不能引起结构效应。

第2章 重 力

2.1 结 构 自 重

结构的自重是由地球引力产生的组成结构的材料重力, 一般而言, 只要知道结构各部件或构件尺寸及所使用的材料资料, 就可根据材料的重度, 算出构件的自重:

$$G_b = \gamma V \quad (2-1)$$

式中 G_b ——构件的自重 (kN);

γ ——构件材料的重度 (kN/m³);

V ——构件的体积, 一般按设计尺寸确定 (m³)。

本书附录列举了工程结构基本材料的质量密度, 可予以参考。式 (2-1) 适用于一般建筑结构、桥梁结构以及地下结构等各构件自重计算, 但必须注意土木工程中结构各构件的材料重度可能不同, 计算结构总自重时可将结构人为地划分为许多容易计算的基本构件, 先计算基本构件的重量, 然后叠加即得到结构总自重, 计算公式为:

$$G = \sum_{i=1}^n \gamma_i V_i \quad (2-2)$$

式中 G ——结构总自重 (kN);

n ——组成结构的基本构件数;

γ_i ——第 i 个基本构件的重度 (kN/m³);

V_i ——第 i 个基本构件的体积 (m³)。

在进行建筑设计时, 为了工程上应用方便, 有时把建筑物看成一个整体, 将结构自重转化为平均楼面恒载。作为近似估算, 对一般的木结构建筑, 其平均楼面恒载可取为 1.98~2.48kN/m²; 对钢结构建筑, 平均恒载大约为 2.48~3.96kN/m²; 对钢筋混凝土结构的建筑, 其值在 4.95~7.43kN/m² 之间; 而对预应力混凝土建筑, 建议可取普通钢筋混凝土建筑恒载的 70%~80%。

在进行道路工程设计时, 尤其在高速公路的设计中, 应特别重视路堤的重力效应。路堤的自重计算可参照下一节土的自重计算, 在此不再赘述。

2.2 土 的 自 重 应 力

土是由土颗粒、水和气所组成的三相非连续介质。若把土体简化为连续体, 试读结束: 需要全本请在线购买: www.ertongbook.com