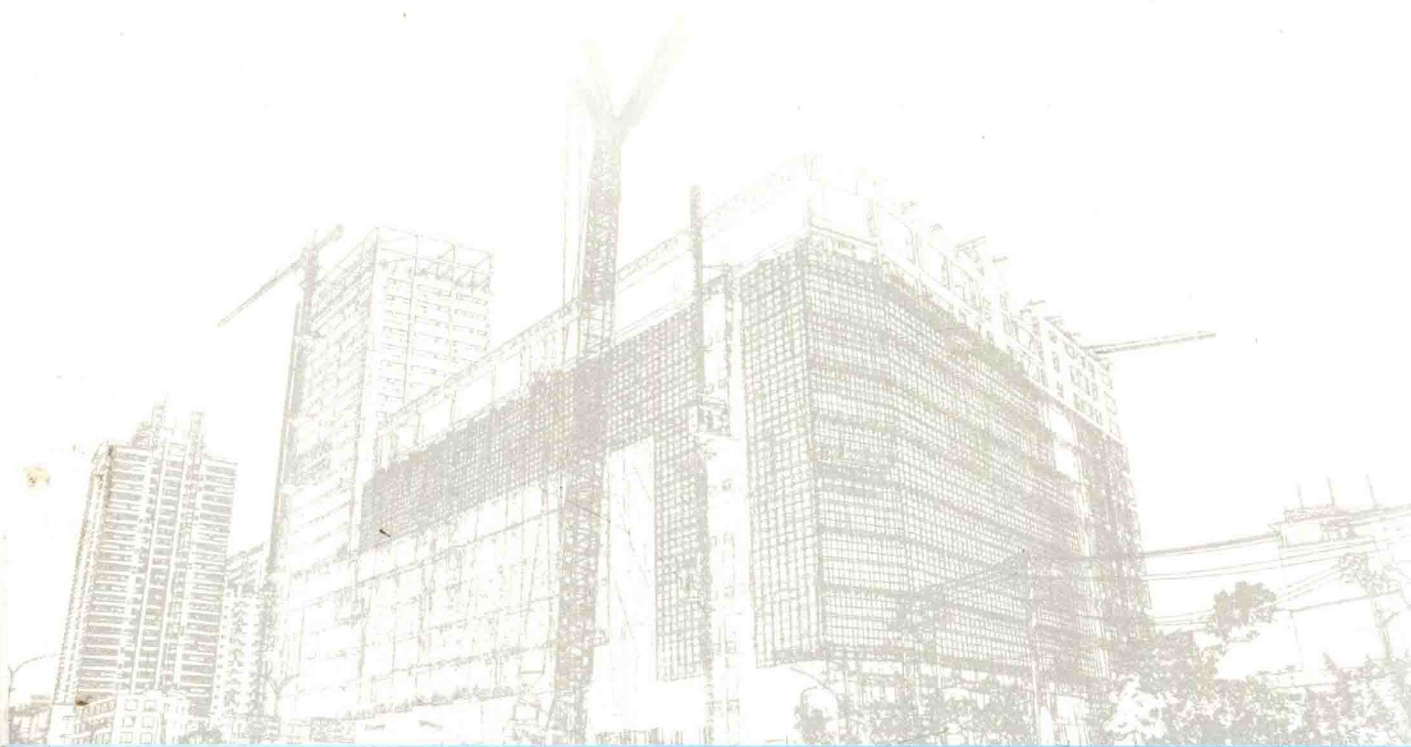




普通高等教育“十二五”规划教材  
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

# 工程结构荷载与结构可靠度设计原理

主编 马芹永 张国芳 张经双  
主审 朱大勇



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材  
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

# 工程结构荷载与 结构可靠度设计原理

主 编 马芹永 张国芳 张经双  
副主编 吴文明 葛清蕴 袁 璞  
主 审 朱大勇



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

工程结构荷载与结构可靠度设计原理/马芹永,张国芳,张经双主编.—武汉:武汉大学出版社,2014.12

普通高等教育“十二五”规划教材

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

ISBN 978-7-307-14945-8

I.工… II.①马… ②张… ③张… 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.TU312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 291123 号

责任编辑:邓瑶

责任校对:李嘉琪

装帧设计:吴极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu\_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:14 字数:380千字

版次:2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷

ISBN 978-7-307-14945-8

定价:28.00元



版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等教育“十二五”规划教材  
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

编审委员会

(按姓氏笔画排名)

顾问:干洪 朱大勇 任伟新 张伟林 程桦 颜事龙

主任委员:丁克伟 徐颖 高飞

副主任委员:戈海玉 方达宪 孙强 杨智良 陆峰 胡晓军

殷和平 黄伟

委员:马芹永 王睿 王长柏 王佐才 韦璐 方诗圣

白立华 刘运林 关群 苏少卿 李长花 李栋伟

杨兴荣 杨树萍 肖峻峰 何夕平 何芝仙 沈小璞

张洵 张速 张广锋 陈燕 邵艳 林雨

周安 赵青 荣传新 姚传勤 姚直书 袁文华

钱德玲 倪修全 郭建营 黄云峰 彭曙光 雷庆关

总责任编辑:曲生伟

秘书长:蔡巍

## 特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

### 课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

### 课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录 [www.stmpress.cn](http://www.stmpress.cn) 下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

# 前言

本书为住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会“2013年度高等教育改革项目土木工程专业卓越计划专项”立项课题成果之一,同年被评为2013年度省级规划教材。

工程结构荷载与结构可靠度设计原理是土木工程专业的基础平台课。本书主要内容包括工程结构中常见的荷载及其在设计中的取值,以及工程结构设计方法和设计示例。本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教材,也可供从事工程结构设计、施工、科研及管理的人员参考。

本书根据高等学校土木工程学科专业指导委员会编写的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》有关工程结构荷载与结构可靠度设计原理的基本要求编写。全书分为四个部分:第一部分(第0章)介绍了《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)和《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)的术语和符号;第二部分(第1~6章)系统介绍了工程结构的各类荷载及其确定方法,主要包括绪论、重力荷载、侧压力、风荷载、地震作用和其他作用;第三部分(第7~9章)介绍了工程结构可靠度设计原理,主要包括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;第四部分(第10章)介绍了房屋建筑结构、地下结构和桥梁结构三类常见工程结构荷载计算示例。

本书由安徽理工大学马芹永、张经双,安徽建筑大学张国芳担任主编,铜陵学院吴文明、皖西学院葛清蕴和安徽理工大学袁璞担任副主编。具体分工如下:第1章、第3章、附录由马芹永编写,第4章、第5章由张国芳编写,第0章、第7章、第9章、第10章由张经双编写,第8章由吴文明编写,第2章由葛清蕴编写,第6章由袁璞编写。全书由马芹永、张国芳和张经双统稿。合肥工业大学朱大勇教授对教材编写大纲提出了宝贵的修改意见,并审阅了书稿,在此表示衷心感谢。

在编写过程中,编者引用和参考了国内近年来正式出版的有关规范、教材和专著等,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中论述难免有不妥之处,欢迎读者批评指正。

编者

2014年12月

# 目录

<b>0 术语和符号</b> .....	(1)
0.1 术语 .....	(2)
0.2 符号 .....	(5)
<b>1 绪论</b> .....	(8)
1.1 荷载与作用 .....	(9)
1.2 作用的分类 .....	(9)
1.3 我国工程结构设计方法的演变 .....	(10)
知识归纳 .....	(11)
思考题与习题 .....	(12)
<b>2 重力荷载</b> .....	(13)
2.1 结构自重 .....	(14)
2.2 土的自重应力 .....	(15)
2.3 雪荷载 .....	(17)
2.4 楼面和屋面活荷载 .....	(25)
2.5 汽车荷载 .....	(34)
2.6 人群荷载 .....	(39)
知识归纳 .....	(40)
思考题与习题 .....	(41)
<b>3 侧压力</b> .....	(42)
3.1 土的侧压力 .....	(43)
3.2 水压力 .....	(47)
3.3 波浪荷载 .....	(50)
3.4 冻胀力 .....	(55)
3.5 冰压力 .....	(59)
知识归纳 .....	(61)
思考题与习题 .....	(61)
<b>4 风荷载</b> .....	(63)
4.1 风的有关知识 .....	(64)
4.2 风压 .....	(67)
4.3 结构的抗风计算 .....	(71)
4.4 顺风向结构风作用 .....	(73)

4.5	横风向结构风作用	(82)
4.6	桥梁结构风荷载	(84)
	知识归纳	(89)
	思考题与习题	(89)
<b>5</b>	<b>地震作用</b>	(90)
5.1	地震的基本知识	(91)
5.2	地震作用分析与计算原则	(98)
5.3	水平地震作用的计算	(100)
5.4	竖向地震作用的计算	(106)
5.5	桥梁地震作用	(107)
	知识归纳	(115)
	思考题与习题	(115)
<b>6</b>	<b>其他作用</b>	(117)
6.1	温度作用	(118)
6.2	变形作用	(120)
6.3	爆炸作用	(123)
6.4	浮力作用	(125)
6.5	制动力	(126)
6.6	撞击力	(128)
6.7	离心力	(132)
6.8	预加力	(132)
	知识归纳	(133)
	思考题与习题	(134)
<b>7</b>	<b>荷载与结构抗力的统计分析</b>	(135)
7.1	随机特性	(136)
7.2	常遇荷载的统计分析与参数	(141)
7.3	荷载与荷载效应	(145)
7.4	结构构件抗力的统计分析	(149)
7.5	材料强度的标准值与设计值	(150)
	知识归纳	(151)
	思考题与习题	(152)
<b>8</b>	<b>结构可靠度分析</b>	(153)
8.1	结构可靠度的基本概念	(154)
8.2	结构可靠度分析的实用方法	(157)
8.3	相关随机变量的结构可靠度计算	(161)
8.4	结构体系的可靠度	(162)
	知识归纳	(165)
	思考题与习题	(166)



---

<b>9 结构概率可靠度设计法</b> .....	(167)
9.1 结构设计的目标 .....	(168)
9.2 结构概率可靠度的直接设计法 .....	(172)
9.3 结构概率可靠度的实用设计表达式 .....	(173)
知识归纳 .....	(178)
思考题与习题 .....	(178)
<b>10 计算示例</b> .....	(179)
10.1 房屋建筑结构荷载计算示例 .....	(180)
10.2 地下结构荷载计算示例 .....	(190)
10.3 桥梁结构荷载计算示例 .....	(196)
知识归纳 .....	(202)
思考题与习题 .....	(202)
<b>附录 常用材料和构件的自重</b> .....	(203)
<b>参考文献</b> .....	(212)

# 术语和符号

## 课前导读

---

### 一 内容提要

本章主要介绍了《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)和《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)中的术语与符号。本章的教学重难点是常用术语的定义和英文表达,以及课程学习时常用的符号。

### 二 能力要求

通过本章的学习,学生应了解本门课程所用到的常用术语和符号,掌握术语的定义和英文表达。

## 0.1 术 语

### 0.1.1 《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)术语

(1) 永久荷载(permanent load)

在结构使用期间,其值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计,或其变化是单调的并能趋于限值的荷载。

(2) 可变荷载(variable load)

在结构使用期间,其值随时间变化,且其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载。

(3) 偶然荷载(accidental load)

在结构设计使用年限内不一定出现,而一旦出现其量值很大,且持续时间很短的荷载。

(4) 荷载代表值(representative values of a load)

设计中用以验算极限状态所采用的荷载量值,例如标准值、组合值、频遇值和准永久值。

(5) 设计基准期(design reference period)

为确定可变荷载代表值而选用的时间参数。

(6) 标准值(characteristic value/nominal value)

荷载的基本代表值,为设计基准期内最大荷载统计分布的特征值(例如均值、众值、中值或某个分位值)。

(7) 组合值(combination value)

对可变荷载,使组合后的荷载效应在设计基准期内的超越概率,能与该荷载单独出现时的相应概率趋于一致的荷载值;或使组合后的结构具有统一规定的可靠指标的荷载值。

(8) 频遇值(frequent value)

对可变荷载,在设计基准期内,其超越的总时间为规定的较小比率或超越频率为规定频率的荷载值。

(9) 准永久值(quasi-permanent value)

对可变荷载,在设计基准期内,其超越的总时间约为设计基准期一半的荷载值。

(10) 荷载设计值(design value of a load)

荷载代表值与荷载分项系数的乘积。

(11) 荷载效应(load effect)

由荷载引起结构或结构构件的反应,例如内力、变形和裂缝等。

(12) 荷载组合(load combination)

按极限状态设计时,为保证结构的可靠性而对同时出现的各种荷载设计值的规定。

(13) 基本组合(fundamental combination)

承载能力极限状态计算时,永久荷载和可变荷载的组合。

(14) 偶然组合(accidental combination)

承载能力极限状态计算时,永久荷载、可变荷载和一个偶然荷载的组合,以及偶然事件发生后受损结构整体稳固性验算时永久荷载与可变荷载的组合。

(15) 标准组合(characteristic/nominal combination)

正常使用极限状态计算时,采用标准值或组合值为荷载代表值的组合。

## (16) 频遇组合(frequent combination)

正常使用极限状态计算时,对可变荷载采用频遇值或准永久值为荷载代表值的组合。

## (17) 准永久组合(quasi-permanent combination)

正常使用极限状态计算时,对可变荷载采用准永久值为荷载代表值的组合。

## (18) 等效均布荷载(equivalent uniform live load)

结构设计时,楼面上不连续分布的实际荷载,一般采用均布荷载代替;等效均布荷载系指其在结构上所得的荷载效应能与实际的荷载效应保持一致的均布荷载。

## (19) 从属面积(tributary area)

考虑梁、柱等构件均布荷载折减所采用的计算构件负荷的楼面面积。

## (20) 动力系数(dynamic coefficient)

承受动力荷载的结构或构件,当按静力设计时采用的等效系数,其值为结构或构件的最大动力效应与相应的静力效应的比值。

## (21) 基本雪压(reference snow pressure)

雪荷载的基准压力,一般按当地空旷平坦地面上积雪自重的观测数据,经概率统计得出 50 年一遇最大值确定。

## (22) 基本风压(reference wind pressure)

风荷载的基准压力,一般按当地空旷平坦地面上 10 m 高度处 10 min 平均的风速观测数据,经概率统计得出 50 年一遇最大值确定的风速,再考虑相应的空气密度,按贝努利(Bernoulli)公式确定的风压。

## (23) 地面粗糙度(terrain roughness)

风在到达结构物以前吹越过 2 km 范围内的地面时,描述该地面上不规则障碍物分布状况的等级。

## (24) 温度作用(thermal action)

结构或结构构件中由于温度变化所引起的作用。

## (25) 气温(shade air temperature)

在标准百叶箱内测量所得按小时定时记录的温度。

## (26) 基本气温(reference air temperature)

气温的基准值,取 50 年一遇月平均最高气温和月平均最低气温,根据历年最高温度月内最高气温的平均值和最低温度月内最低温度的平均值经统计确定。

## (27) 均匀温度(uniform temperature)

在结构构件的整个截面中为常数且主导结构构件膨胀或收缩的温度。

## (28) 初始温度(initial temperature)

结构在施工某个特定阶段形成整体约束的结构系统时的温度,也称合拢温度。

### 0.1.2 《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008) 术语

## (1) 可靠性(reliability)

结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的能力。

## (2) 可靠度[degree of reliability (reliability)]

结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。

## (3) 失效概率(probability of failure)

结构不能完成预定功能的概率。

(4) 可靠指标  $\beta$  (reliability index  $\beta$ )

度量结构可靠度的数值指标,可靠指标  $\beta$  与失效概率  $p_f$  的关系为  $\beta = -\Phi^{-1}(p_f)$ ,其中  $\Phi^{-1}(\cdot)$  为标准正态分布函数的反函数。

(5) 基本变量(basic variable)

代表物理量的一组规定的变量,用于表示作用和环境影响、材料和岩土性能以及几何参数的特征。

(6) 设计基准期(design reference period)

为确定可变作用等的取值而选用的时间参数。

(7) 设计使用年限(design working life)

设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的年限。

(8) 极限状态(limit states)

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态为该功能的极限状态。

(9) 设计状况(design situations)

代表一定时段内实际情况的一组设计条件,设计应做到在该组条件下结构不超越有关的极限状态。

(10) 功能函数(performance function)

关于基本变量的函数,该函数表征一种结构功能。

(11) 概率分布(probability distribution)

随机变量取值的统计规律,一般采用概率密度函数或概率分布函数表示。

(12) 统计参数(statistical parameter)

在概率分布中用来表示随机变量取值的平均水平和分散程度的数字特征。

(13) 分位值(fractile)

与随机变量概率分布函数的某一概率相应的值。

(14) 作用(action)

施加在结构上的集中力或分布力(直接作用,也称为荷载)和引起结构外加变形或约束变形的原因(间接作用)。

(15) 材料性能标准值(characteristic value of a material property)

符合规定质量的材料性能概率分布的某一分位值或材料性能的名义值。

(16) 材料性能设计值(design value of a material property)

材料性能的标准值除以材料性能分项系数所得的值。

(17) 几何参数标准值(characteristic value of a geometrical parameter)

设计规定的几何参数公称值或几何参数概率分布的某一分位值。

(18) 几何参数设计值(design value of a geometrical parameter)

几何参数的标准值增加或减少一个几何参数的附加量所得的值。

(19) 作用效应(effect of action)

由作用引起的结构或结构构件的反应。

(20) 抗力(resistance)

结构或结构构件承受作用效应的能力。

## 0.2 符 号

### 0.2.1 《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)符号

- $A_d$ ——偶然荷载的标准值；  
 $C$ ——结构或构件达到正常使用要求的规定限值；  
 $G_k$ ——永久荷载的标准值；  
 $Q_k$ ——可变荷载的标准值；  
 $R_d$ ——结构构件抗力的设计值；  
 $S_{A_d}$ ——偶然荷载效应的标准值；  
 $S_{G_k}$ ——永久荷载效应的标准值；  
 $S_{Q_k}$ ——可变荷载效应的标准值；  
 $S_d$ ——荷载效应组合设计值；  
 $\gamma_0$ ——结构重要性系数；  
 $\gamma_G$ ——永久荷载的分项系数；  
 $\gamma_Q$ ——可变荷载的分项系数；  
 $\gamma_{L_j}$ ——可变荷载考虑设计使用年限的调整系数；  
 $\psi_c$ ——可变荷载的组合值系数；  
 $\psi_f$ ——可变荷载的频遇值系数；  
 $\psi_q$ ——可变荷载的准永久值系数；  
 $\alpha_{D,z}$ ——高层建筑  $z$  高度顺风向风振加速度,  $m/s^2$ ；  
 $\alpha_{L,z}$ ——高层建筑  $z$  高度横风向风振加速度,  $m/s^2$ ；  
 $B$ ——结构迎风面宽度；  
 $B_z$ ——脉动风荷载的背景分量因子；  
 $C'_L$ ——横风向风力系数；  
 $C'_T$ ——风致扭矩系数；  
 $C_m$ ——横风向风力的角沿修正系数；  
 $C_{sm}$ ——横风向风力功率谱的角沿修正系数；  
 $D$ ——结构平面进深(顺风向尺寸)或直径；  
 $f_1$ ——结构第 1 阶自振频率；  
 $f_{T1}$ ——结构第 1 阶扭转自振频率；  
 $f_1^*$ ——折算频率；  
 $f_{T1}^*$ ——扭转折算频率；  
 $F_{Dk}$ ——顺风向单位高度风力标准值；  
 $F_{Lk}$ ——横风向单位高度风力标准值；  
 $T_{Tk}$ ——单位高度风致扭矩标准值；  
 $g$ ——重力加速度,或峰值因子；  
 $H$ ——结构或山峰顶部高度；  
 $I_{10}$ ——10 m 高度处风的名义湍流强度；

- $K_L$ ——横风向振型修正系数；  
 $K_T$ ——扭转振型修正系数；  
 $R$ ——脉动风荷载的共振分量因子；  
 $R_L$ ——横风向风振共振因子；  
 $R_T$ ——扭转风振共振因子；  
 $Re$ ——雷诺数；  
 $St$ ——斯脱罗哈数；  
 $S_k$ ——雪荷载标准值；  
 $S_0$ ——基本雪压；  
 $T_1$ ——结构第 1 阶自振周期；  
 $T_{L1}$ ——结构横风向第 1 阶自振周期；  
 $T_{T1}$ ——结构扭转第 1 阶自振周期；  
 $w_0$ ——基本风压；  
 $w_k$ ——风荷载标准值；  
 $w_{Lk}$ ——横风向风振等效风荷载标准值；  
 $w_{Tk}$ ——扭转风振等效风荷载标准值；  
 $\alpha$ ——坡度角，或风速剖面指数；  
 $\beta_z$ ——高度  $z$  处的风振系数；  
 $\beta_{gz}$ ——阵风系数；  
 $v_{cr}$ ——横风向共振的临界风速；  
 $v_H$ ——结构顶部风速；  
 $\mu_r$ ——屋面积雪分布系数；  
 $\mu_z$ ——风压高度变化系数；  
 $\mu_s$ ——风荷载体型系数；  
 $\mu_{s1}$ ——风荷载局部体型系数；  
 $\eta$ ——风荷载地形、地貌修正系数；  
 $\eta_a$ ——顺风向风振加速度的脉动系数；  
 $\rho$ ——空气密度，或积雪密度；  
 $\rho_x, \rho_z$ ——水平方向和垂直方向脉动风荷载相关系数；  
 $\varphi_z$ ——结构振型系数；  
 $\zeta$ ——结构阻尼比；  
 $\zeta_a$ ——横风向气动阻尼比；  
 $T_{\max}, T_{\min}$ ——月平均最高气温，月平均最低气温；  
 $T_{s,\max}, T_{s,\min}$ ——结构最高平均温度，结构最低平均温度；  
 $T_{0,\max}, T_{0,\min}$ ——结构最高初始温度，结构最低初始温度；  
 $\Delta T_k$ ——均匀温度作用标准值；  
 $\alpha_T$ ——材料的线膨胀系数；  
 $A_v$ ——通口板面积， $m^2$ ；  
 $K_{dc}$ ——计算爆炸等效均布静力荷载的动力系数；  
 $m$ ——汽车或直升机的质量；

$P_k$ ——撞击荷载标准值；  
 $p_c$ ——爆炸均布动荷载最大压力；  
 $p_v$ ——通口板的核定破坏压力；  
 $q_{ce}$ ——爆炸等效均布静力荷载标准值；  
 $t$ ——撞击时间；  
 $v$ ——汽车速度，m/s。

### 0.2.2 《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)符号

$T$ ——设计基准期；  
 $p_t$ ——结构构件失效概率的运算值；  
 $\beta$ ——结构构件的可靠指标；  
 $f_k$ ——材料性能的标准值；  
 $a$ ——几何参数；  
 $a_k$ ——几何参数的标准值；  
 $C$ ——设计对变形、裂缝等规定的相应限值。



# 绪 论

## 课前导读

### □ 内容提要

本章主要介绍荷载与作用的定义、作用的类型与分类方法以及我国工程结构设计方法的演变。本章的教学重点是工程结构上的作用及其分类，教学难点是作用的分类。

### □ 能力要求

通过本章的学习，学生应掌握荷载与作用的概念与分类，了解我国工程结构设计方法的沿革与发展方向。