



世纪高等教育土木工程系列规划教材

荷载与 结构设计方法

李长凤 赵晓花 主编

Seismic Design of Engineering Structure

非
计
算
机



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

荷载与结构设计方法

主 编	李长凤	赵晓花		
副主编	薛志成	孟丽岩	杜文学	
参 编	赵延林	吴 桐	郝立夫	刘源春
主 审	韩 雪			



工业出版社

本书依据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》(2011年版)有关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的基本要求,同时结合最新修订的土木工程相关规范、标准编写。全书共10章,主要包括绪论、竖向荷载、土侧压力及水压力、风荷载、地震作用、其他作用、工程结构荷载的统计分析、结构构件抗力的统计分析、结构可靠度分析与计算、概率极限状态设计法。为了便于教学和学生学学习,各章均编写了学习要求、本章小结、思考题和习题。

本书既可作为高等学校土木工程专业及相关专业的教学用书,又可作为从事土木工程设计、施工等技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

荷载与结构设计方法/李长风,赵晓花主编. —北京:机械工业出版社,2018.12

21世纪高等教育土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-61232-2

I. ①荷… II. ①李… ②赵… III. ①建筑结构-结构载荷-结构设计-高等学校-教材 IV. ①TU312

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第245116号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 臧程程 任正一

责任校对:刘 岚 封面设计:张 静

责任印制:孙 炜

天津千鹤文化传播有限公司印刷

2019年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.75印张·362千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61232-2

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前言

本书根据高等学校土木工程专业教学指导委员会 2011 年颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》有关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,同时结合国家现行的土木工程专业相关标准、规程、规范等编写而成。

本书包括两部分内容,第一部分为土木工程领域的各类荷载与作用的概念、原理与计算方法,第二部分为工程结构可靠度原理和满足可靠度要求的土木工程结构设计方法及相关规范应用。通过对本课程的学习,学生掌握工程结构设计考虑的各种荷载原理和计算方法,掌握结构可靠度的原理和满足可靠度要求的现行实用结构设计方法,熟练使用现行行业规范和规程。

本书遵从“荷载与结构设计方法”课程涉及的内容知识面广、交叉性强的特点,紧密联系实际,注重理论与实践的结合,力求反映土木工程结构的荷载确定和结构设计方法在理论和实践中的应用;结合工程实例,利用数字化和网络技术,补充、更新和延伸学习资源,注重本课程不同形式教学资源的相互补充,有助于学习和参考。

本书由李长凤和赵晓花任主编,薛志成、孟丽岩、杜文学任副主编。具体编写分工为:黑龙江科技大学李长凤和中国建筑技术集团有限公司高级工程师赵晓花编写第 1~3 章、第 5 章、第 10 章;浙江水利水电学院杜文学编写第 4 章;东北农业大学刘源春和黑龙江科技大学吴桐编写第 6 章;黑龙江科技大学孟丽岩编写第 7 章,赵延林和郝立夫编写第 8 章,薛志成编写第 9 章。全书由李长凤统稿。

黑龙江科技大学韩雪教授审阅了本书,并提出了宝贵意见,编写过程中得到了中国建筑技术集团等相关单位提供的技术资料支持,在此一并表示衷心感谢。

本书编写过程中参考了国内近年来出版的相关文献;同时,本书的编写得到了机械工业出版社的支持和帮助,在此表示谢意。

由于编者水平有限,书中疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者的电子邮箱:lc0451@126.com。

编 者

目 录

前 言

第1章 绪论	1
1.1 工程结构荷载与作用	1
1.2 作用和荷载分类	2
1.3 工程结构设计理论及方法的发展	4
1.4 本课程的研究内容及地位	6
本章小结	7
思考题	7
第2章 竖向荷载	8
2.1 结构自重	8
2.2 雪荷载	10
2.3 楼面及屋面活荷载	16
2.4 起重机(吊车)荷载	25
2.5 车辆荷载	30
2.6 人群荷载	34
2.7 土体有效自重应力	35
本章小结	37
思考题	38
习题	38
第3章 土侧压力及水压力	39
3.1 土体侧压力计算理论	39
3.2 水压力及流水压力	50
3.3 波浪荷载	52
3.4 冰压力	56
本章小结	57
思考题	57
习题	58
第4章 风荷载	59
4.1 风的基本知识	60
4.2 风荷载计算的基本概念	62



4.3 结构的风力和风效应	66
4.4 建筑工程结构风荷载计算	69
4.5 桥梁工程风荷载计算	87
本章小结	92
思考题	93
习题	93
第5章 地震作用	94
5.1 地震的基本知识	94
5.2 工程结构抗震设防基本概念	99
5.3 结构地震作用计算	105
5.4 公路桥梁结构的地震作用计算	118
本章小结	120
思考题	120
习题	121
第6章 其他作用	122
6.1 温度作用	122
6.2 变形作用	124
6.3 浮力作用	125
6.4 冲击力与撞击力	126
6.5 制动力	127
6.6 离心力	128
6.7 预应力	128
6.8 爆炸作用	129
本章小结	133
思考题	133
第7章 工程结构荷载的统计分析	135
7.1 荷载的概率模型	135
7.2 荷载效应组合原则	139
7.3 荷载的代表值确定	141
7.4 荷载的设计值与荷载分项系数	143
本章小结	143
思考题	143
第8章 结构构件抗力的统计分析	144
8.1 结构抗力的不定性	145
8.2 结构构件抗力的统计特性	150
8.3 材料强度标准值和设计值	151
本章小结	152
思考题	153
第9章 结构可靠度分析与计算	154
9.1 结构可靠度的基本概念	154

荷载与结构设计方法	
9.2 结构可靠度的计算方法	160
9.3 相关随机变量结构可靠度的计算方法	169
9.4 结构体系可靠度的计算方法	174
本章小结	179
思考题	180
第 10 章 概率极限状态设计法	
10.1 极限状态设计要求	181
10.2 直接概率设计法	185
10.3 基于分项系数表达的概率极限状态设计法	187
本章小结	200
思考题	200
习题	200
附录	
附录 A 常用材料和构件的自重	202
附录 B 全国各城市的雪压、风压和基本气温	212
参考文献	
	228

绪论 第1章

【学习要求】

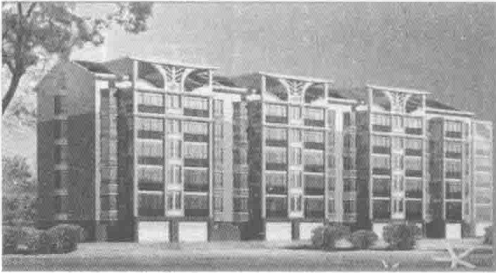
本章要求了解土木工程各类工程结构，掌握荷载和作用的分类，熟悉工程结构设计理论及其发展演变，掌握本课程的研究内容及其地位和学习方法。

1.1 工程结构荷载与作用

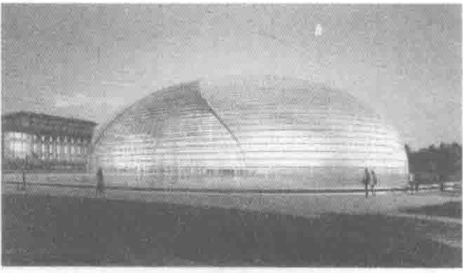
土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称。即建造在地上或地下、陆上或水中，直接或间接为人类生活、生产、军事、科研服务的各种工程设施，例如房屋、道路、铁路、运输管道、隧道、桥梁、运河、堤坝、港口、电站、飞机场、海洋平台、给水和排水以及防护工程等（图 1.1）。工程结构是由各个基本构件组成的结构空间承重体系，具体按材料分可分为砌体结构、混凝土结构、钢结构、组合结构等。工程结构有两项基本功能：一是提供良好的为人类生活和生产服务，满足人类使用要求、审美要求的结构空间；另一个是承受和抵御结构服役过程中出现的各种作用（如风、地震等）、环境影响（如温度、侵蚀性介质等）及意外事件（如火灾、爆炸等）。这些作用、环境影响和意外事件不仅使工程结构产生各种内力和变形，也会导致结构材料的劣化和损伤，乃至结构的严重破坏。

工程中将使结构产生效应（结构或构件的内力、应力、位移、变形、裂缝）的各种原因总称为结构上的作用，即指施加在结构上的集中或分布荷载，以及引起结构外加变形或约束变形的原因。结构上的作用就其形式而言，一般可分为以下两类：第一类为直接作用，它是以力的形式作用于结构上，习惯上称为荷载，如结构自重、土压力、风压力、雪压力、房屋建筑中人群和家具重量、桥梁上的车辆重量、港口和海洋工程中流水压力、波浪荷载等；第二类为间接作用，它是以变形或约束变形（包括裂缝）及振动的形式作用于结构上，也能使结构产生效应，如地基变形、混凝土收缩和徐变、温度变形、焊接变形、地震作用等。

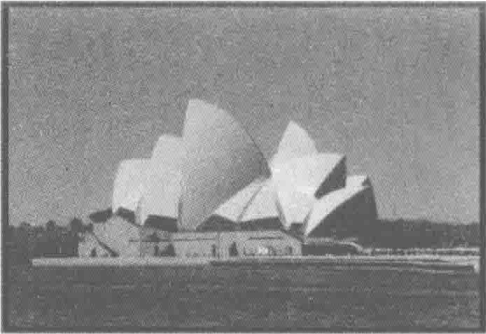
工程结构设计通过设计科学合理的结构形式，使用具有一定性能的材料，使结构在规定的时间内能够在具有足够可靠性的前提下，保证结构的安全性、适用性和耐久性。因此工程结构的设计不仅要重视作用产生的原因及其大小，更应关注作用效应及其对结构的影响。然而要保证工程结构的准确设计计算，在进行荷载效应和结构抗力计算之前，第一步是准确计算出结构所承受的作用或荷载，这也是结构设计的一个重要的组成部分。



a) 多层房屋(砌体结构)



b) 国家大剧院(钢结构)



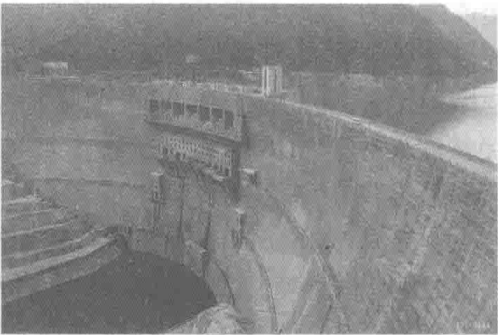
c) 悉尼歌剧院(钢筋混凝土结构)



d) 上海中心大厦(组合结构)



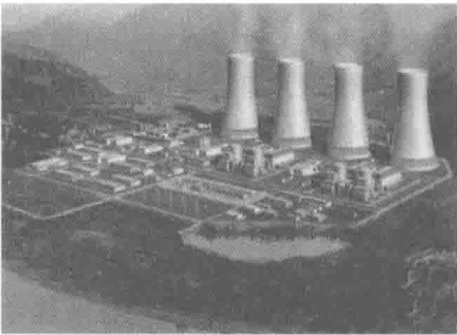
e) 港珠澳大桥(组合结构)



f) 水坝(钢筋混凝土结构)



g) 隧道工程



h) 核电站

图 1.1 常见各类工程结构及结构形式

1.2 作用和荷载分类

如前所述，各种工程结构的一个重要功能就是承受和抵御结构服役过程中可能出现的各

种环境作用。严格来讲荷载与作用并不完全等价,直接作用等价于荷载,但是间接作用和广义的荷载等价于作用。工程结构所承受的荷载有的是直接作用也有的是间接作用。这些作用中,某些作用产生的原因可能相同,但其效应对结构的影响不同,而另一些作用产生的原因可能不同,但其效应对结构的影响相同。因此,在工程设计中,不仅要重视作用产生的原因及其大小,而且更要关注作用效应对结构的影响。根据作用性质、设计计算和分析的需要,工程结构作用可按下列性质分类。

1.2.1 按随作用时间的变异性分

(1) 永久作用 永久作用也称永久荷载或恒载,指在结构使用期间,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,主要包括结构自重、土体自重力等由重力引起的荷载,以及土侧压力、静水压力、水浮力、预加应力、混凝土收缩和徐变影响力、地基变形影响力。在桥梁等的基础透水时浮力总是存在的,它也属于永久荷载。

(2) 可变作用 可变作用也称可变荷载或活载,指在结构使用期间,其值会随时间发生变化,且其变化值与平均值相比不可忽略的荷载,主要包括结构在使用过程中所承受的各种活荷载。如楼面活荷载、屋面活荷载、车辆荷载及其冲击力、离心力、人群荷载、流水压力、波浪荷载、冻胀力、雪荷载、冰压力、风荷载、车辆制动力、温度影响力、变形作用、支座摩阻力等。

(3) 偶然作用 偶然作用也称偶然荷载,指那些在结构使用期间不一定出现,作用时间较短暂,但一旦出现其值很大且持续时间很短的荷载,主要包括地震作用、船只或漂流物的撞击力、爆炸力、火灾、严重的侵蚀以及洪灾等。

1.2.2 按结构反应分

(1) 静态作用 静态作用也称静载,是指不使结构或构件产生加速度,或者产生的加速度很小可以忽略不计的荷载,如结构自重、楼面上人员荷载、土压力等。

(2) 动态作用 动态作用也称动载,是使结构或构件产生不可忽略的加速度的荷载,即使结构产生动力反应。如地震作用、设备振动、打桩冲击力、爆炸等。

1.2.3 按空间位置的变异分

(1) 固定作用 固定作用也称固定荷载,在结构空间位置上具有固定分布的作用。如固定的设备荷载、结构自重等。

(2) 可动作用 可动作用也称移动荷载,在结构空间位置上的一定范围内可以任意分布的作用。如楼面的人员荷载、车辆荷载、起重机荷载等。

1.2.4 按产生的原因

(1) 重力荷载 结构的自重,由地球引力产生的。

(2) 外荷载 各种外界环境作用使结构产生内力和变形。如风荷载、雪荷载、地震作用、土压力、水压力、车辆荷载、车辆制动力以及温度变形、基础沉降、地震等。

1.2.5 按作用施加方向分

(1) 竖向作用 当作用方向与重力加速度方向一致（与地面垂直）时，称为竖向作用。例如结构自重、楼面活荷载、雪荷载等。

(2) 水平作用 当作用方向与重力加速度方向垂直（与地面平行）时，称为水平作用。例如：地震作用等。根据水平作用与建（构）筑物轴线之间的平行或垂直关系，又可将水平作用分为横向水平作用和纵向水平作用。例如，起重机起动或制动时的水平作用可分为横向制动力和纵向制动力。

各种作用或荷载对结构产生的作用影响是各不相同的，各种作用或荷载的取值范围也各有差异。因此，根据工程结构设计和规范的要求按照荷载的分类对不同荷载应采用不同的代表值。对永久荷载，采用荷载标准值作为代表值；对可变荷载，应根据设计要求采用标准值、组合值或准永久值作为代表值；对偶然荷载，应根据具体条件、试验资料，结合工程经验确定其代表值。同时，结构设计应根据使用过程中在结构上可能同时出现的荷载，分别进行荷载效应组合，并取各自的最不利的组合进行设计。

结构的设计状态可用两个对立的方面来描述：作用效应和结构抗力。作用效应是指作用在结构构件上，在结构内产生的内力（如轴力、弯矩、剪力、扭矩等）和变形（挠度、转角等）。结构抗力是指结构构件承受内力和变形的能力，如构件的承载能力、刚度等，它是结构材料性能、几何参数等的函数。从而引入结构的可靠指标和失效概率，运用概率论和数理统计方法，对工程结构、构件或截面设计的可靠度做出较为近似的相对估算，是一种更科学的设计方法。

1.3 工程结构设计理论及方法的发展

随着科学的发展和技术的进步，工程结构在结构设计理论上经历了从弹性理论到极限状态理论的转变，在设计方法上经历了从定值法到概率法的发展，目前这些方法在实际工程中均有使用，下面做简要的介绍。

1. 容许应力设计法

19 世纪 20 年代，法国学者纳维提出了建立在弹性理论基础上的设计方法。该方法将工程结构材料都作为弹性体，用材料力学或弹性力学方法计算结构或构件在使用荷载作用下的应力，要求截面内任何一点或某一局部的计算的最大应力不应大于结构设计规范规定的材料的容许应力，其设计表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{f}{k} \quad (1.1)$$

式中 $[\sigma]$ ——材料的容许应力；

f ——材料的极限强度（如混凝土）或屈服强度（如钢材）；

k ——经验安全系数。

容许应力设计法虽然计算简单，但是有许多问题：没有考虑混凝土、钢材及木材等塑性性能；对使用阶段荷载取值规定不明确；把影响结构可靠性的荷载变异、施工的缺陷等统统归结在反映材料性质的容许应力上；容许应力 $[\sigma]$ 和安全系数 k 的取值凭经验确定，缺少

科学依据。该方法认为结构中任意一点应力超过容许应力时,结构即失效,这与实际工程结构的失效有很大出入,不能反映结构或构件失效的本质,因此目前绝大多数国家规范已不再采用。

2. 破损阶段设计法

20世纪30年代苏联学者格沃兹捷夫、帕斯金尔纳克等提出了考虑塑性破损阶段的设计方法,即以构件破坏时的承载力为基础,要求按材料平均强度计算得到的承载力必须大于外荷载效应(构件的内力),同时采用了单一的经验安全系数。该设计方法假定材料均已达到塑性状态,依据构件破坏时截面所能抵抗的破损内力建立计算公式,其设计表达式为

$$M \leq \frac{M_u}{K} \quad (1.2)$$

式中 M ——正常使用构件的效应;

M_u ——构件最终破坏的承载力;

K ——安全系数,用来考虑影响结构安全的所有因素。

破损阶段设计法的优点是反映了材料的塑性性质,打破了长期假定混凝土为弹性体的局面;在表达式中引入一个安全系数 K ,使构件有了总安全度的概念;以承载力值为依据,其计算值是否正确可以由试验检验。然而,该方法仍存在一些缺点,破损阶段计算,仅考虑了承载力问题,没有考虑构件在正常使用情况下的变形和裂缝问题,而且安全系数仍凭经验来确定。

3. 多系数极限状态设计法

20世纪50年代在对荷载和材料强度的变异系统研究的基础上,提出了极限状态设计法,认为结构或构件进入某种状态后就丧失其原有功能,这种状态被称为极限状态。苏联的设计规范中首先将单一的经验安全系数改进为分项系数,即荷载系数、材料系数和工作条件系数,因而称之为多系数极限状态设计法。20世纪60年代以后,我国的一些结构设计规范中开始采用极限状态设计法。这种方法将结构的极限状态分为两类,即承载力极限状态和正常使用极限状态。正常使用极限状态包括挠度极限状态和裂缝开展宽度极限状态。

(1) 承载力极限状态

$$M(\sum n_i q_{ik}) \leq m M_u(k_s f_s, k_c f_c, a, \dots) \quad (1.3)$$

式中 n_i ——荷载系数;

q_{ik} ——荷载的标准值;

m ——结构的工作条件系数;

k_s 、 k_c ——钢筋和混凝土的匀质系数;

f_s 、 f_c ——钢筋和混凝土强度的标准值;

a ——反映截面尺寸的尺寸函数。

(2) 正常使用极限状态

进行挠度验算时,要求

$$f_{\max} \leq [f_{\max}] \quad (1.4)$$

式中 $f_{\max}$ ——构件在荷载标准值作用下考虑长期荷载影响后的最大挠度值;

$[f_{\max}]$ ——规范规定的最大挠度值。

进行裂缝宽度验算时,要求

$$\omega_{\max} \leq [\omega_{\max}] \quad (1.5)$$

式中 $\omega_{\max}$ ——构件在荷载标准值作用下的最大裂缝宽度值；

$[\omega_{\max}]$ ——规范允许的最大裂缝宽度值。

极限状态设计法是结构设计的重大发展，这一方法明确提出了结构极限状态的概念，不仅考虑了构件承载力问题，而且考虑了构件在正常使用阶段的变形和裂缝问题，比较全面地考虑了结构的不同工作状态。极限状态法在确定荷载和材料强度取值时，引入了数理统计方法，但系数的取值等仍凭工程经验确定，因此属于半概率、半经验方法。

容许应力法、破损阶段设计法和多系数极限状态设计法均属于定值设计法，没有将影响结构可靠性的各类设计参数视为随机变量，而是看作固定值，用经验或半经验、半概率的方法来确定各安全系数并度量结构的可靠性。

4. 概率极限状态设计法

20 世纪 70 年代以来，国际上趋于采用以概率论为基础的极限状态设计法，此种方法将作用效应和影响结构抗力的主要因素作为随机变量，通过与结构可靠度有直接关系的极限状态方程来描述结构的极限状态，提出了结构可靠度的概念和具体的计算方法，认为影响结构荷载和抗力的各种因素都是随机变量，是一种借助于统计分析确定出结构可靠度而度量结构可靠性的方法。

这种方法按其精确程度可分为三个水准：

水准 I ——半概率法。对荷载效应和结构抗力的基本变量部分地进行数理统计法分析，并与工程经验结合，引入某些经验系数，所以尚不能定量地估计结构的可靠性。因此是一种半概率半经验的设计法。

水准 II ——近似概率法。该方法对结构可靠性赋予概率定义，以结构的失效概率或可靠指标来度量结构可靠性，并建立了结构可靠度与结构极限状态方程之间的数学关系，在计算可靠指标时考虑了基本变量的概率分布类型并采用了线性化的近似处理，在截面设计时一般采用分项系数的实用设计表达式。我国 GB 50068—2001《建筑结构可靠度设计统一标准》和 GB/T 50283—1999《公路工程结构可靠度设计统一标准》都采用了这种近似概率法，在此基础上颁布了各种结构设计的规范。

水准 III ——全概率法。这是完全基于概率论的结构设计方法，要求对整个结构采用精确的概率分析，求得结构的失效概率作为可靠度的直接度量。这种方法无论在基础数据的统计方面还是在可靠度计算理论方面都很不成熟，有待于进一步研究和探索。

1.4 本课程的研究内容及地位

本课程涉及荷载和结构设计方法两部分内容。主要研究工程结构设计时所涉及的各种荷载，即重力、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，这些荷载产生的背景、各种荷载的计算原理和方法，以及荷载与结构抗力的统计分析、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等重要内容。

本课程是土木工程专业的专业基础课，在土木工程专业课程中起着基础平台的作用，而且荷载计算是工程结构设计与施工的重要组成部分。一方面，它以高等数学、概率统计、理论力学、材料力学等课程为基础，另一方面，它又是钢筋混凝土结构、钢结构、砌体结构、

土力学与地基基础、结构抗震等专业课的基础。本课程不但为后续课程提供必需的基础知识和计算方法,而且在课程设计、毕业设计的过程中也要反复用到荷载与结构设计方法的知识。因此在整个课程体系中处于承上启下的核心地位。

由于本门课程涉及的知识范围比较广,因此本课程的学习除了掌握基本的积累、概况总结、善于提出问题、熟练应用等方法外,更多地将理论知识与本专业的工程实际相结合,通过课本、网络及现场去了解工程,在头脑中对所学的知识形成空间的概念,领悟所学知识的含义,融会贯通,并将书本上所学的知识变成自己的,达到落地生根且能够不断创新的效果,这样对本门课程乃至整个专业课程才会更好地理解 and 掌握。

本章小结

- 1) 工程结构的类型及其荷载与作用,主要阐述了各类工程结构中所产生的荷载与作用。
- 2) 荷载与作用的区别和联系、荷载与作用的分类,主要阐述了作用按作用性质和发生概率、按结构反应和按产生原因的分类。
- 3) 工程结构设计理论及方法的发展,主要阐述了从容许应力设计法、破损阶段设计法、多系数极限状态设计法到概率极限状态设计法的演变和发展过程。

思考题

1. 阐述工程结构及其类型。
2. 说明荷载与作用的区别和联系。
3. 工程结构设计中结构上的作用如何进行分类?举例说明各种作用。
4. 工程结构设计方法演变经历了哪几个阶段?试分析各种设计方法的不同。

竖向荷载

第2章

【学习要求】

本章要求了解各种竖向荷载产生的原理和定义；掌握结构自重、楼屋面活荷载、雪荷载、积灰荷载、车辆荷载计算原则，车辆荷载的纵横向布置和公路（城市）桥梁人群荷载的取值；掌握起重机荷载的计算和土体的有效自重应力的计算。

竖向荷载包括结构构件和围护构件的自重、屋面和楼面活荷载、雪荷载、车辆重力、土体自重等，根据计算荷载效应的需要，可表示为集中力或总的荷载值（kN）、面荷载（kN/m²）、分布的线荷载（kN/m）。

2.1 结构自重

2.1.1 材料自重

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材料的重度，即可计算出构件的自重，即

$$G_i = \gamma_i V_i \quad (2.1)$$

式中 G_i ——第 i 个基本构件的自重（kN）；

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）。

常见材料和构件的重度见附录 A 或 GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》。

工程结构由多个基本构件组成，在计算结构中各构件的材料重度可能不同，因此在计算结构总自重时可将结构划分为一些基本构件，然后各基本构件的重量求和即得到结构总自重，即

$$G = \sum_{i=1}^n \gamma_i V_i \quad (2.2)$$

式中 G ——结构总自重（kN）；

n ——组成结构的基本构件数。

通常设计计算时有关结构的自重的计算可以根据设计计算需要，有时取集中力（单位：kN）的形式，有时取面荷载（单位：kN/m²）的形式，有时取线荷载（单位：kN/m）的形式。例如，计算楼（屋）板荷载时，一般将楼（屋）板的自重和楼（屋）面的建筑构造做法合为重力荷载之中一起计算，表示为面载形式；计算楼（屋）板自重产生的效应和对梁

或墙体的作用效应时,一般根据楼(屋)板的传递路径及楼(屋)板两个方向的尺寸关系,将荷载导算为作用在支撑构件上的分布荷载(单向板为均布荷载,双向板为梯形或三角形荷载);计算梁的自重对其本身产生的荷载效应时,一般将梁的自重表示为线荷载,有时也根据计算需要,简化为多点集中力;计算梁的自重对墙和柱产生的效应或柱自重产生的效应时,一般将自重表示为集中力;对于承重墙体,当计算其自重产生的荷载效应时,一般将其自重表示为线荷载,即墙体竖向截面面积与材料自重的乘积;对于填充墙自重将其计算为作用在梁上的线荷载,因为其本身不必计算荷载效应;对灵活布置的轻质隔墙,可按等效均布活荷载考虑。

2.1.2 例题

【例 2-1】 计算双面水泥粉刷厚 220mm 普通砖墙的自重 g_k (kN/m^2) (20mm 厚水泥砂浆面)。

【解】 查材料重度表可知普通砖墙重度为 19kN/m^3 , 20mm 厚水泥砂浆重度为 0.36kN/m^2 。

$$g_k = 0.22\text{m} \times 19\text{kN/m}^3 + 0.36\text{kN/m}^2 \times 2 = 4.90\text{kN/m}^2$$

【例 2-2】 某现浇 100mm 厚钢筋混凝土板,上部 20mm 厚水泥砂浆面层,底部 12mm 厚纸筋石灰水泥粉底,计算某现浇楼面结构自重的标准值 g_k (kN/m^2)。

【解】 查材料重度表可知钢筋混凝土重度为 25kN/m^3 , 水泥砂浆重度为 20kN/m^3 , 纸筋石灰水泥粉底为 16kN/m^3 。

20mm 厚水泥砂浆面层

$$0.02\text{m} \times 20\text{kN/m}^3 = 0.4\text{kN/m}^2$$

100mm 厚现浇钢筋混凝土板

$$0.10\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 2.5\text{kN/m}^2$$

12mm 厚纸筋石灰水泥粉底

$$0.012\text{m} \times 16\text{kN/m}^3 = 0.192\text{kN/m}^2$$

$$g_k = \sum g_{ki} = 3.092\text{kN/m}^2$$

【例 2-3】 某框架结构,填充墙采用加气混凝土砌块墙体,外墙厚 300mm,内隔墙厚 200mm,外墙外侧 20mm 厚水泥砂浆抹灰,外墙内侧及内墙两侧均为 20mm 水泥混合砂浆抹灰,标准层外墙净高 3.1m,内墙净高 3.3m,试计算作用于标准层梁上的墙体荷载标准值 g_k 。

【解】 考虑墙体砌筑时,在门窗洞口处、墙体底部和顶部必须混砌部分普通砖,因此计算自重时应考虑两种材料混合砌筑的自重。

加气混凝土砌块重度取 5.50kN/m^3 , 普通砖重度取 19kN/m^3 , 混砌比例取 8:2, 则砌体的折算重度为

$$\gamma = (5.5 \times 0.8 + 19 \times 0.2)\text{kN/m}^3 = 8.2\text{kN/m}^3$$

(1) 考虑双面抹灰的荷载,则砌体自重折算面荷载标准值

$$\text{内墙: } g_{k\text{内}} = (8.2 \times 0.2 + 17 \times 0.02 \times 2)\text{kN/m}^2 = 2.32\text{kN/m}^2$$

$$\text{外墙: } g_{k\text{外}} = (8.2 \times 0.3 + 20 \times 0.02 + 17 \times 0.02)\text{kN/m}^2 = 3.2\text{kN/m}^2$$

(2) 作用于梁上的线荷载标准值

内墙: $g_{k内} = 2.32 \times 3.3 \text{ kN/m} = 7.66 \text{ kN/m}$

外墙: $g_{k内} = 3.2 \times 3.1 \text{ kN/m} = 9.92 \text{ kN/m}$

2.2 雪荷载

在我国寒冷地区及其他大雪地区,雪荷载作为可变荷载,是房屋屋面上的主要荷载之一。因雪荷载导致屋面结构以及整个结构破坏的事故时有发生(图2.1)。尤其是大跨度结构对雪荷载更为敏感。因此,在结构设计中确定的雪荷载量值及其在屋面的分布是否合理,将直接影响结构的安全性、适用性和耐久性。

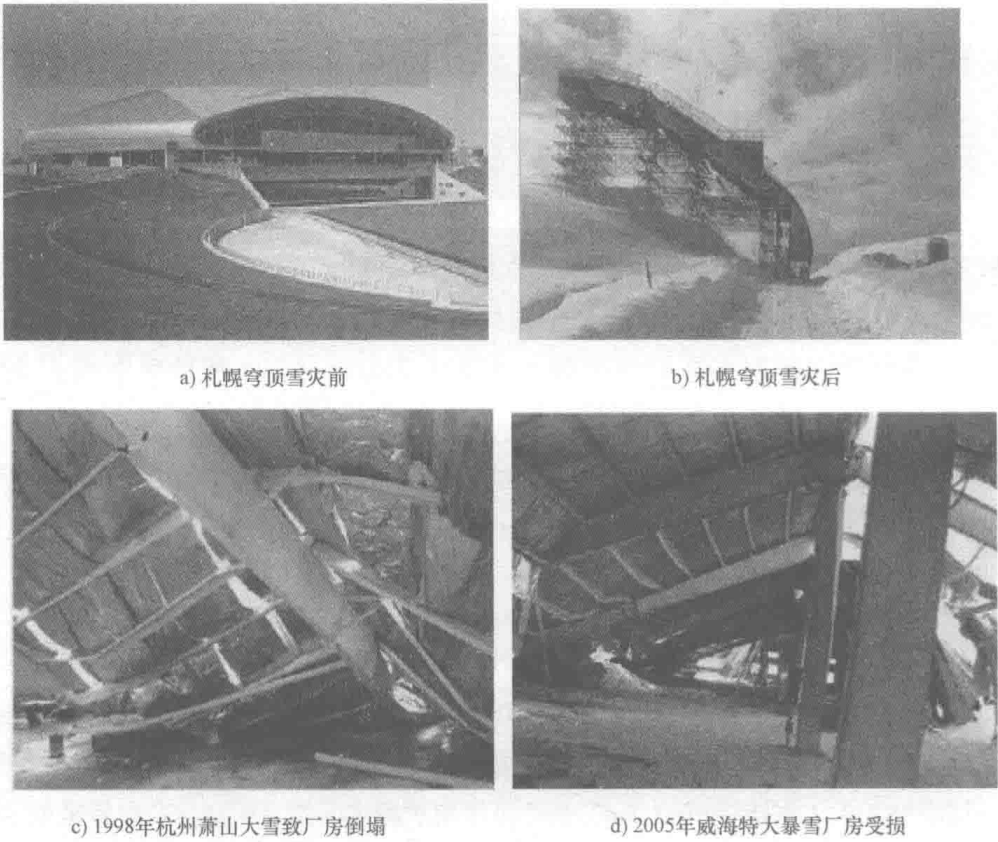


图 2.1 雪荷载引起的事故

2.2.1 雪压

雪压是指单位水平面积上积雪的自重,其值大小取决于积雪深度和雪重度。年最大雪压可按下式确定:

$$s = \gamma_s h \tag{2.3}$$

式中 s ——雪压 (N/m^2);
 γ_s ——雪重度 (N/m^3);