



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 工程荷载与可靠度 设计原理

主编 郝圣旺



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

主要内容



普通高等教育“十二五”规划教材

# 工程荷载与可靠度设计原理

主 编 郝圣旺

副主编 董建军 高柏峰 李雨浓

全书共分三章。第一章为绪论，介绍工程荷载与可靠度设计的基本概念、发展概况、应用范围及本书的主要内容。第二章为工程荷载，介绍工程荷载的分类、统计特性、设计值及组合。第三章为可靠度设计原理，介绍可靠度的基本概念、可靠度指标、可靠度计算方法及工程应用。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教材，也可供从事工程设计的工程技术人员参考。

ISBN 978-7-302-33529-8

ISBN 978-7-302-33529-8

出 版 社  
地 址  
电 话  
邮 政 编 号  
发 行 所  
印 刷 厂  
印 张  
字 数  
定 价

北京  
冶金工业出版社  
2012

## 内 容 提 要

本书系统地阐述了工程结构各类荷载与作用（如重力作用、侧压力、风荷载、地震作用、温度作用等）的基本概念及其确定方法，以及影响结构可靠性的各种因素和结构可靠度的设计原理。每章都附有复习思考题，便于学生掌握所学知识。

本书为高等学校土木工程专业的教材，也可供相关专业的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程荷载与可靠度设计原理/郝圣旺主编. —北京:冶金工业出版社, 2012. 10

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6068-6

I. ①工… II. ①郝… 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(2012)第 232748 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbcs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6068-6

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2012 年 10 月第 1 版, 2012 年 10 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 11.5 印张; 276 千字; 172 页

28.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

## 前 言

根据教育部颁布的本科专业目录和为适应我国高等学校专业调整要求，土木工程专业开始实施深基础、宽口径的土木工程人才培养模式。当前的土木工程专业涵盖了建筑工程、地下建筑工程、道路桥梁工程、岩土工程、铁道工程等专业。为适应专业拓宽后的教学需求，高等学校土木工程学科专业指导委员会制定的“土木工程专业本科（四年制）培养方案”，将“工程荷载与可靠度设计原理”列为土木工程专业的平台课程，将“工程结构荷载与可靠度设计方法”作为土木工程专业本科生必备的基础知识。2011年，高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》，将“工程荷载与可靠度设计原理”确定为“专业知识体系中的核心知识”，即将其规定为土木工程专业培养计划中刚性要求的知识点。

土木工程是建筑、岩土、地下建筑、桥梁、隧道、道路、铁路、矿山建筑、港口等工程的统称。这些工程结构的一个最重要的功能，就是要能承受其在建造和使用过程中由人们的活动或环境引起的各种荷载作用。一个成功的结构设计，第一步就是要确定结构上的荷载与作用，并以最经济的方法保证结构在其生命全过程中具有足够的抵抗这些荷载与作用的能力，同时将结构的变形、裂缝和振动等控制在不影响正常使用的范围之内。

由于结构上的荷载种类较多，工程结构设计时，认识和了解需要考虑的荷载种类及这些荷载产生的背景和计算方法，是土木工程师应具备的基本专业素养和能力。影响荷载取值和荷载组合及结构抵抗能力的因素十分复杂，从而也导致了结构可靠性的不确定性。作为土木工程师，应了解影响结构可靠性的各种因素，掌握工程结构的可靠度设计原理与分析方法，从而对现行结构规范的设计方法有一个更为深刻的理解。

基于以上原因，我们编写了本书。本书依据“土木工程专业本科（四年

制)培养方案”中的有关要求,以及有关专业的最新规范和标准编写而成,内容全面,希望对学生学习相关知识有所帮助。

本书共10章,由郝圣旺担任主编,董建军、高柏峰和李雨浓担任副主编。其中第2章的2.7节和2.8节、第4章的4.1~4.7节、第9章、第10章的10.1~10.3节由郝圣旺编写,第4章的4.8节、第5章的5.6节、第10章的10.4节由郝圣旺、荚颖编写,第2章的2.1节和2.2节、第3章、第6章、第7章由董建军编写,第2章的2.3~2.6节、第5章的5.1~5.5节由高柏峰、赵大海编写,第1章、第8章由李雨浓编写。硕士研究生张志勇和张保举完成了本书的部分绘图和校对工作,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012年6月

## 冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
冶金建设工程	李慧民 主编	35.00
建筑工程经济与项目管理	李慧民 主编	28.00
建筑施工技术(第2版)(国规教材)	王士川 主编	42.00
现代建筑设备工程(第2版)(本科教材)	郑庆红 等编	59.00
高层建筑结构设计(本科教材)	谭文辉 主编	39.00
土木工程材料(本科教材)	廖国胜 主编	40.00
混凝土及砌体结构(本科教材)	王社良 主编	41.00
工程造价管理(本科教材)	虞晓芬 主编	39.00
土力学地基基础(本科教材)	韩晓雷 主编	36.00
建筑安装工程估价(本科教材)	肖作义 主编	45.00
土木工程施工组织(本科教材)	蒋红妍 主编	26.00
施工企业会计(第2版)(国规教材)	朱宾梅 主编	46.00
流体力学及输配管网(本科教材)	马庆元 主编	49.00
土木工程概论(第2版)(本科教材)	胡长明 主编	32.00
土力学与基础工程(本科教材)	冯志焱 主编	28.00
建筑装饰工程概预算(本科教材)	卢成江 主编	32.00
建筑施工实训指南(本科教材)	韩玉文 主编	28.00
支挡结构设计(本科教材)	汪班桥 主编	30.00
建筑概论(本科教材)	张 亮 主编	35.00
居住建筑设计(本科教材)	赵小龙 主编	29.00
SAP2000 结构工程案例分折	陈昌宏 主编	25.00
建筑结构振动计算与抗振措施	张荣山 著	55.00
理论力学(本科教材)	刘俊卿 主编	35.00
岩石力学(高职高专教材)	杨建中 主编	26.00
建筑设备(高职高专教材)	郑敏丽 主编	25.00
岩土材料的环境效应	陈四利 等编著	26.00
混凝土断裂与损伤	沈新普 等著	15.00
建设工程台阶爆破	郑炳旭 等编	29.00
计算机辅助建筑设计	刘声远 编著	25.00
建筑施工企业安全评价操作实务	张 超 主编	56.00
钢筋混凝土结构技术规程(YB9082—2006)		38.00
现行冶金工程施工标准汇编(上册)		248.00
现行冶金工程施工标准汇编(下册)		248.00

# 目 录

<b>1 荷载分类与基本代表值</b> .....	1
1.1 荷载与作用 .....	1
1.2 作用的分类 .....	1
1.3 荷载的基本代表值 .....	2
复习思考题 .....	2
<b>2 重力作用</b> .....	3
2.1 结构自重 .....	3
2.2 土的自重应力 .....	3
2.3 楼面活荷载 .....	5
2.3.1 楼面活荷载的取值 .....	5
2.3.2 民用建筑楼面活荷载标准值的折减 .....	8
2.3.3 工业建筑楼面活荷载 .....	8
2.3.4 楼面等效均布活荷载的确定方法 .....	11
2.3.5 局部荷载的有效分布宽度 .....	12
2.4 屋面活荷载和屋面积灰荷载 .....	17
2.4.1 屋面均布活荷载 .....	17
2.4.2 屋面积灰荷载 .....	17
2.5 施工、检修荷载和栏杆水平荷载 .....	19
2.5.1 施工和检修荷载标准值 .....	19
2.5.2 栏杆水平荷载标准值 .....	19
2.6 雪荷载 .....	20
2.6.1 基本雪压 .....	20
2.6.2 我国基本雪压的分布特点 .....	21
2.6.3 屋面的雪压 .....	22
2.6.4 建筑结构设计考虑积雪分布的原则 .....	23
2.7 车辆荷载 .....	24
2.7.1 公路桥梁车辆荷载 .....	24
2.7.2 城市桥梁车辆荷载 .....	26
2.8 人群荷载 .....	28
2.8.1 公路桥梁人群荷载 .....	28
2.8.2 城市桥梁人群荷载 .....	29

IV	复习思考题 .....	29
3	侧压力 .....	30
3.1	土的侧向压力 .....	30
3.1.1	土侧压力的基本概念与分类 .....	30
3.1.2	土压力基本原理 .....	30
3.1.3	侧向土压力的计算 .....	32
3.2	水作用 .....	34
3.2.1	静水压力 .....	34
3.2.2	流水压力 .....	35
3.2.3	波浪作用 .....	37
3.2.4	冰压力 .....	42
3.3	撞击力 .....	45
3.3.1	船只和漂流物的撞击力 .....	45
3.3.2	汽车的撞击力 .....	47
	复习思考题 .....	47
4	风荷载 .....	48
4.1	风的形成和基本风速 .....	48
4.1.1	风的形成 .....	48
4.1.2	基本风速 .....	48
4.1.3	我国风气候概况 .....	49
4.2	基本风压 .....	49
4.2.1	基本风压的取值原则 .....	49
4.2.2	非标准条件下的风速或风压的换算 .....	50
4.3	风荷载标准值 .....	51
4.4	风压高度变化系数 .....	51
4.5	风荷载体型系数 .....	56
4.5.1	单体结构物的风荷载体型系数 .....	56
4.5.2	房屋围护构件的风荷载体型系数 .....	57
4.6	顺风向风振和风振系数 .....	57
4.6.1	脉动增大系数 .....	58
4.6.2	脉动影响系数 .....	58
4.6.3	振型系数 .....	60
4.6.4	结构基本自振周期计算公式 .....	61
4.6.5	阵风系数 .....	65
4.7	横风向风振 .....	66
4.8	桥梁风荷载 .....	68
4.8.1	横桥向风荷载标准值 .....	69



4.8.2 顺桥向风荷载标准值	73
复习思考题	73
<b>5 地震作用</b>	<b>74</b>
5.1 地震基本知识	74
5.1.1 地震灾害	74
5.1.2 地震的成因和类型	74
5.1.3 地震分布	75
5.1.4 地震基本术语	76
5.1.5 震级和烈度	76
5.1.6 地震波	77
5.2 单质点体系地震作用	78
5.2.1 单质点体系在地震作用下的运动方程与响应	78
5.2.2 单自由度弹性体系的水平地震作用	81
5.2.3 设计反应谱	81
5.3 多质点体系水平地震作用	83
5.3.1 多质点体系计算简图	83
5.3.2 运动方程	83
5.3.3 运动方程求解	84
5.3.4 振型分解反应谱法	85
5.3.5 底部剪力法	88
5.4 扭转地震作用	91
5.5 建筑结构的竖向地震作用	92
5.6 道路桥梁地震作用	94
5.6.1 公路桥梁的抗震设防	94
5.6.2 规则桥梁地震作用计算	98
复习思考题	101
<b>6 其他荷载作用</b>	<b>102</b>
6.1 温度作用	102
6.1.1 基本概念及温度作用原理	102
6.1.2 温度应力的计算	102
6.2 变形作用	104
6.3 爆炸作用	106
6.3.1 爆炸的基本概念	106
6.3.2 爆炸荷载的计算	107
6.4 制动力与冲击力	109
6.4.1 汽车制动力	109
6.4.2 吊车制动力	110

6.4.3	汽车冲击力	110
6.5	离心力	111
6.6	预加力	111
	复习思考题	113
<b>7</b>	<b>工程结构荷载的统计分析</b>	<b>114</b>
7.1	荷载的概率模型	114
7.1.1	平稳二项随机过程	115
7.1.2	滤过泊松过程	118
7.2	荷载的代表值	118
7.2.1	荷载标准值	119
7.2.2	荷载频遇值和准永久值	120
7.2.3	荷载组合值	121
7.3	荷载效应组合	122
7.3.1	荷载效应	122
7.3.2	荷载效应组合规则	123
7.3.3	我国荷载效应组合的设计状况	125
	复习思考题	125
<b>8</b>	<b>结构构件抗力的统计分析</b>	<b>126</b>
8.1	抗力统计分析的一般概念	126
8.2	影响结构构件抗力的不定性	126
8.2.1	结构构件材料性能的不定性	127
8.2.2	结构构件几何参数的不定性	128
8.2.3	结构构件计算模式的不定性	130
8.3	结构构件抗力的统计特征	132
8.3.1	结构构件抗力的统计参数	132
8.3.2	结构构件抗力的概率分布	134
	复习思考题	135
<b>9</b>	<b>结构可靠度原理与分析方法</b>	<b>136</b>
9.1	土木工程结构设计方法的历史与变革	136
9.1.1	容许应力设计法	136
9.1.2	破损阶段设计法	136
9.1.3	多系数极限状态设计法	137
9.1.4	基于可靠性理论的概率极限状态设计法	137
9.2	结构可靠度原理	138
9.2.1	结构的功能要求	138
9.2.2	结构的设计基准期与设计使用年限	138

9.2.3 结构的极限状态 .....	139
9.2.4 结构可靠性与可靠度 .....	140
9.2.5 结构可靠指标 .....	141
9.3 结构可靠度基本分析方法 .....	143
9.3.1 中心点法 .....	143
9.3.2 验算点法 (JC 法) .....	146
9.4 结构体系可靠度分析 .....	150
9.4.1 结构构件的失效性质 .....	150
9.4.2 基本体系 .....	151
9.4.3 结构体系的失效模式 .....	152
9.4.4 结构体系可靠度分析中的相关性 .....	153
复习思考题 .....	153
<b>10 结构概率可靠度设计方法 .....</b>	<b>154</b>
10.1 结构设计的目标 .....	154
10.1.1 结构的安全等级 .....	154
10.1.2 结构目标可靠指标 .....	154
10.2 结构概率可靠度直接设计法 .....	156
10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式 .....	159
10.3.1 单一系数设计表达式 .....	159
10.3.2 分项系数设计表达式 .....	160
10.3.3 现行规范设计表达式 .....	162
10.4 荷载组合的直接算式 .....	164
10.4.1 房屋建筑结构的荷载组合 .....	164
10.4.2 公路桥涵结构荷载组合 .....	168
复习思考题 .....	171
<b>参考文献 .....</b>	<b>172</b>

# 1 荷载分类与基本代表值

## 1.1 荷载与作用

工程结构建设的根本目的就是为人类和社会服务，比如房屋就是为人类遮风避雨，道路桥梁服务于人类的交通出行等等。在工程结构服役期间，其最重要的一项功能是承受正常施工和使用过程中可能出现的各种作用。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、水流压力和土压力等；隧道结构要承受水土压力、爆炸作用等。工程结构设计的目的就是要保证结构具有足够的抵抗自然界各种作用的承载能力，并能保证结构的变形、振动等能满足其正常使用的要求。为了达到该目的，首先要了解引起结构产生内力、变形等效应的各种作用。

工程结构的作用指的是使结构产生内力、变形、振动等效应的各种因素的总称。其包括两个方面的内容：一是直接作用于结构上的如重力、车辆制动力等集中力或分布力；二是引起结构内力、变形等效应的非直接作用，如地震、温度变化、基础的不均匀沉降等。根据通行做法，一般将可归结为作用在结构上的力的因素称为直接作用；将不是直接以力的形式但同样引起结构效应的因素称为间接作用。严格意义上来说，只有直接作用才可称为荷载。但是，习惯上人们常将间接作用也称为荷载，此时荷载可理解为是广义的。也就是说，广义的荷载与作用是等价的，包括直接作用和间接作用。

结构设计的第一个任务就是要清楚结构上的荷载种类及其特性，清楚这些荷载对结构的作用特点及其引起结构响应的特征。

## 1.2 作用的分类

各种作用本身的特性及其对结构的影响不尽相同，在实际设计中其取值方法也存在着差异。为了便于工程结构设计中确定荷载的取值，且利于考虑不同的作用所产生的效应的性质和重要性不同，可根据其对结构作用的时间和空间差异对作用进行分类。

(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，或其变化的量值与平均值相比可以忽略不计的作用称为永久作用。例如，结构自重、土压力、静水压力、预加压力、基础沉降、混凝土收缩和徐变、焊接应力等。

2) 可变作用。在结构设计基准期内，其值随时间变化，且其变化量值与平均值相比不可忽略的作用称为可变作用。例如，车辆重力、楼面和屋面活荷载、风荷载、雪荷载、温度变化、流水压力、人群荷载等。

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

较短的作用称为偶然作用。例如，地震作用、爆炸、撞击力等。

作用的取值一般与作用出现的持续时间长短有关。由于可变作用的变异性比永久作用的变异性大，所以可变作用的相对取值（与平均值相比）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，所以结构抵抗偶然作用的可靠度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性分类。

1) 固定作用。这种作用在结构空间位置上具有固定的分布，但其量值可能具有时间上的随机性。例如，结构自重、结构上的固定设备荷载等。

2) 可动作用。这种作用在结构空间位置上的一定范围内可以任意分布，出现的位置和量值都可能具有随机性。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。这种作用是逐渐地、缓慢地施加在结构上，作用过程中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。这种作用会对结构或结构构件产生不可忽略的加速度。例如，地震、风的脉动、设备振动、冲击和爆炸作用等。

在结构分析中，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。

### 1.3 荷载的基本代表值

在工程结构设计中，首先应根据结构的功能要求和环境条件来确定作用在结构上的荷载。对于由约束变形和外加变形引起的间接作用，可根据结构约束条件、材料性能、动力特征、外部环境等因素，通过计算确定。在工程结构的使用过程中，直接作用也就是荷载具有明显的随机性或变异性，在设计时为了便于取值，通常根据荷载的统计特征赋予其一个规定的量值，这一量值称为荷载代表值。荷载可以根据不同的设计要求和功能特征规定不同的代表值，使之更确切地反映其在设计中的特点。其中荷载最基本的代表值就是荷载的标准值。

荷载标准值是结构使用期间荷载可能出现的最大值。由于荷载本身的变异性，使用期间的最大荷载量值是一个随机变量，它可通过对每种荷载的长期观察和实际调查，经过数理统计分析，在概率统计分析的基础上确定；也可根据工程实践经验，经判断后协议给出。

#### 复习思考题

1-1 什么是工程结构上的作用？

1-2 荷载与作用在概念上有何异同？

1-3 直接作用与间接作用有什么区别？

1-4 作用有哪些类型的分类？

1-5 荷载最基本的代表值是什么？

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，而应用连续介质力学（例如弹性力学）来研究土中应力的分布时，应注意到土中任意截面上都包括有骨架和孔隙的面积，所以在地基应力计算时都只考虑土中某单位面积上的平均应力。需要注意的是，只有通过土粒接触点传递的粒间应力才能使土粒彼此挤紧，从而引起土体的变形，而且粒间应力又是影响土体强度的一个重要因素，所以粒间应力又称为有效应力。因此，土的自重应力即为土自身有效重力在土体中所引起的应力。

## 2 重力作用

### 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，可按结构构件的尺寸与材料单位体积的自重（也就是重度）来计算确定。

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

式中  $G_b$ ——构件的自重，kN；

$\gamma$ ——构件材料的重度，kN/m<sup>3</sup>；

$V$ ——构件的体积，一般按设计尺寸确定，m<sup>3</sup>。

由于实际工程中结构各构件的材料重度可能不同，在计算结构自重时，可人为地将结构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；

$\gamma_i$ ——第  $i$  个基本构件的重度，kN/m<sup>3</sup>；

$V_i$ ——第  $i$  个基本构件的体积，m<sup>3</sup>。

### 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，而应用连续介质力学（例如弹性力学）来研究土中应力的分布时，应注意到土中任意截面上都包括有骨架和孔隙的面积，所以在地基应力计算时都只考虑土中某单位面积上的平均应力。需要注意的是，只有通过土粒接触点传递的粒间应力才能使土粒彼此挤紧，从而引起土体的变形，而且粒间应力又是影响土体强度的一个重要因素，所以粒间应力又称为有效应力。因此，土的自重应力即为土自身有效重力在土体中所引起的应力。

在计算土中自重应力时，假设天然地面是一个无限大的水平面，因此在任意竖直面和水平面上均无剪应力存在。如果地面下土质均匀，土层的天然重度为  $\gamma$ ，则在天然地面下任意深度  $z$  处  $a$ — $a$  水平面上的竖直自重应力  $\sigma_{cz}$ ，可取作用于该水平面上任一单位面积的土柱体自重  $\gamma z \times 1$  计算，即：

$$\sigma_{cz} = \gamma z \quad (2-3)$$

$\sigma_{cz}$  沿水平面均匀分布，且与  $z$  成正比，即随深度按直线规律分布，如图 2-1 所示。

一般情况下，地基土是由不同重度的土层所组成。天然地面下深度  $z$  范围内各层土的厚度自上而下分别为  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $\dots$ 、 $h_i$ 、 $\dots$ 、 $h_n$ ，则成层土深度  $z$  处的竖直有效自重应力的计算公式为：

$$\sigma_{cz} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (2-4)$$

式中  $n$ ——从天然地面起到深度  $z$  处的土层数；

$h_i$ ——第  $i$  层土的厚度，m；

$\gamma_i$ ——第  $i$  层土的天然重度，若土层位于地下水位以下，由于受到水的浮力作用，单位体积中，土颗粒所受的重力扣除浮力后的重度称为土的有效重度  $\gamma'_i$ ，其是土的有效密度与重力加速度的乘积，这时计算土的自重应力应取土的有效重度  $\gamma'_i$  代替天然重度  $\gamma_i$ 。对一般土，常见变化范围为  $8.0 \sim 13.0 \text{ kN/m}^3$ 。

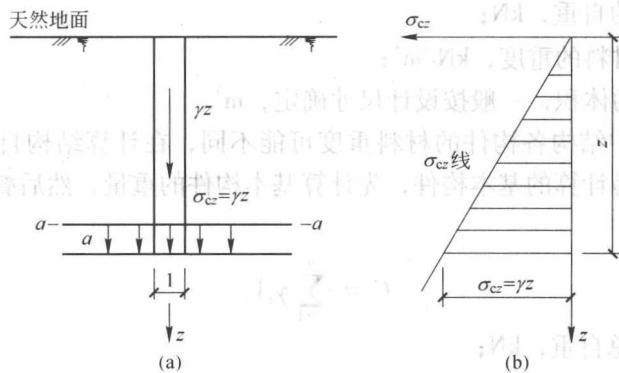


图 2-1 均质土中竖向自重应力

(a) 任意水平面的自重应力；(b) 自重应力沿深度分布

为计算土中竖向自重应力，在划分土层时，一般以每层土为原则，但需考虑地下水位。若地下水位位于某一层土体中，则需将该层土划分为两层土。计算位于地下水位以下土的自重应力时，应以土的有效重度代替天然重度。图 2-2 为一典型成层土中竖向自重应力沿深度变化的分布。

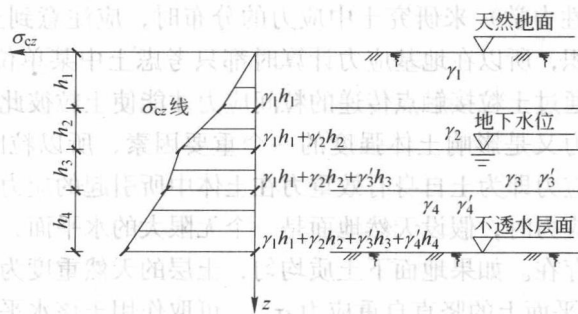


图 2-2 成层土中竖向自重应力沿深度变化的分布

地下水位以下，若埋藏有不透水的岩层或不透水的坚硬黏土层，由于不透水层中不存在水的浮力，所以不透水层界面以下的自重应力应按上覆土层的水土总重计算。在上覆土

层与不透水层界面处自重应力有突变。

## 2.3 楼面活荷载

### 2.3.1 楼面活荷载的取值

(1) 楼面活荷载标准值。楼面活荷载指房屋建筑中生活或工作的人群、家具、用品、设施等产生的重力荷载。由于这些荷载的量值随时间而变化，位置也是可移动的，所以国际上通常用活荷载（live load）这一名词表示房屋中的可变荷载。

考虑到楼面活荷载在楼面位置上的任意性，为便于工程设计应用，一般将楼面活荷载处理为楼面均布荷载。均布活荷载的量值与建筑物的功能有关，如公共建筑（如商店、展览馆、车站、电影院等）的均布活荷载值一般比住宅、办公楼的均布活荷载值大。

各个国家的生活、工作设施有差异，且设计的安全度水准也不一样，因此，即使同一功能的建筑物，不同国家关于楼面均布活荷载取值也不尽相同。

虽然《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2001）对一般民用建筑和某些类别的工业建筑有明确的楼面活荷载取值规定，但设计中有时会遇到要求确定某种规范中未明确的楼面活荷载情况，此时可按以下方法确定其标准值：

1) 对该种楼面活荷载的观测值进行统计，当有足够资料并能对其统计分布作出合理估计时，则在房屋设计基准期最大值的分布上，根据协定的百分位取其某分位值作为该种楼面活荷载的标准值。

所谓协定的某分位值，原则上可取荷载最大值分布上能表征其集中趋势的统计特征值，例如均值、中值或众值（概率密度最大值），当认为数据的代表性不够充分或统计方法不够完善而没有把握时，也可取更完全的高分位值。

2) 对不能取得充分资料进行统计的楼面活荷载，可根据已有的工程实践经验，通过分析判断后，协定一个可能出现的最大值作为该类楼面活荷载的标准值。

对民用建筑楼面可根据在楼面上活动的人和设备的不同分类状况，参考表 2-1 取值。

表 2-1 楼面活荷载标准值取值参考

项次	分类状况	楼面活荷载标准值/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$
1	活动的人较少	2.0
2	活动的人较多且有设备	2.5
3	活动的人很多且有较重的设备	3.0
4	活动的人很集中、有时很挤或有较重的设备	3.5
5	活动的性质比较剧烈	4.0
6	储存物品的仓库	5.0
7	有大型的机械设备	6~7.5

3) 对房屋内部设施比较固定的情况，设计时可直接按给定布置图式或按对结构安全产生最不利效应的荷载布置图式，对结构进行计算。

4) 对使用性质类同的房屋，如内部配置的设施大致相同，一般可对其进行合理分



类,在同一类别的房屋中,选取各种可能的荷载布置图式,经分析研究后选出最不利的布置作为该类房屋楼面活荷载标准值的确定依据,采用等效均布荷载方法求出楼面活荷载标准值。

(2) 楼面活荷载准永久值。对《建筑结构荷载规范》未明确的楼面活荷载准永久值可按下列原则确定:

- 1) 按可变荷载准永久值的定义,由荷载任意时点分布上的中值确定。
- 2) 对有可能将可变荷载划分为持久性和临时性两类荷载时,可直接引用持久性荷载分布中的规定分位值为该活荷载的准永久值。
- 3) 当缺乏系统的观测资料时,可根据楼面使用性质的类同性,参照《建筑结构荷载规范》中给出的楼面活荷载准永久值系数经分析比较后确定。

(3) 楼面活荷载频遇值。对《建筑结构荷载规范》未明确的楼面活荷载频遇值可按下列原则确定:

- 1) 按可变荷载频遇值的定义,可近似在荷载任意时点分布上取其超越概率为较小值的荷载值,该超越概率建议不大于10%。
- 2) 当缺乏系统的观测资料时,可根据楼面使用性质的类同性,参照《建筑结构荷载规范》中给出的楼面活荷载频遇值系数经分析比较后确定。

(4) 楼面活荷载组合值。可变荷载的组合值按其定义是指该荷载与主导荷载组合后取值的超越概率与该荷载单独出现时取值的超越概率相一致的原则确定。

(5) 楼面活荷载的动力系数。楼面在荷载作用下的动力响应来源于其作用的活动状态,大致可分为两大类:一种是在正常活动下发生的楼面稳态振动,例如机械设备的运行、车辆的行驶、竞技运动场上观众的持续欢腾、跳舞和走步等;另一种是偶尔发生的楼面瞬态振动,例如重物坠落、人自高处跳下等。前一种作用在结构上可以是周期性的,也可以是非周期性的,后一种是冲击荷载,引起的振动都将因结构阻尼而消逝。

楼面设计时,对一般结构的荷载效应,在有充分依据时,可不经过结构的动力分析,而直接可将重物或设备的自重乘以动力系数后,作为楼面活荷载,按静力分析确定结构的荷载效应。

在很多情况下,由于荷载效应中的动力部分占比重不大,在设计中往往可以忽略,或直接包含在标准值的取值中。对冲击荷载,由于影响比较明显,在设计中应予考虑。对搬运和装卸重物以及车辆启动和刹车时的动力系数可取1.1~1.3;对屋面上直升机的活荷载也应考虑动力系数,具有液压轮胎起落架的直升机可取1.4。此外,这些动力荷载只传至直接承受该荷载的楼板和梁。

常用的民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数见表2-2。

表2-2 民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数

项次	类别	标准值 /kN·m <sup>-2</sup>	组合值 系数 $\psi_c$	频遇值 系数 $\psi_f$	准永久值 系数 $\psi_q$
1	(1) 住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、托儿所、幼儿园	2.0	0.7	0.5	0.4
	(2) 教室、试验室、阅览室、会议室、医院门诊室			0.6	0.5