



高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

# 工程荷载与可靠度设计原理 (第3版)

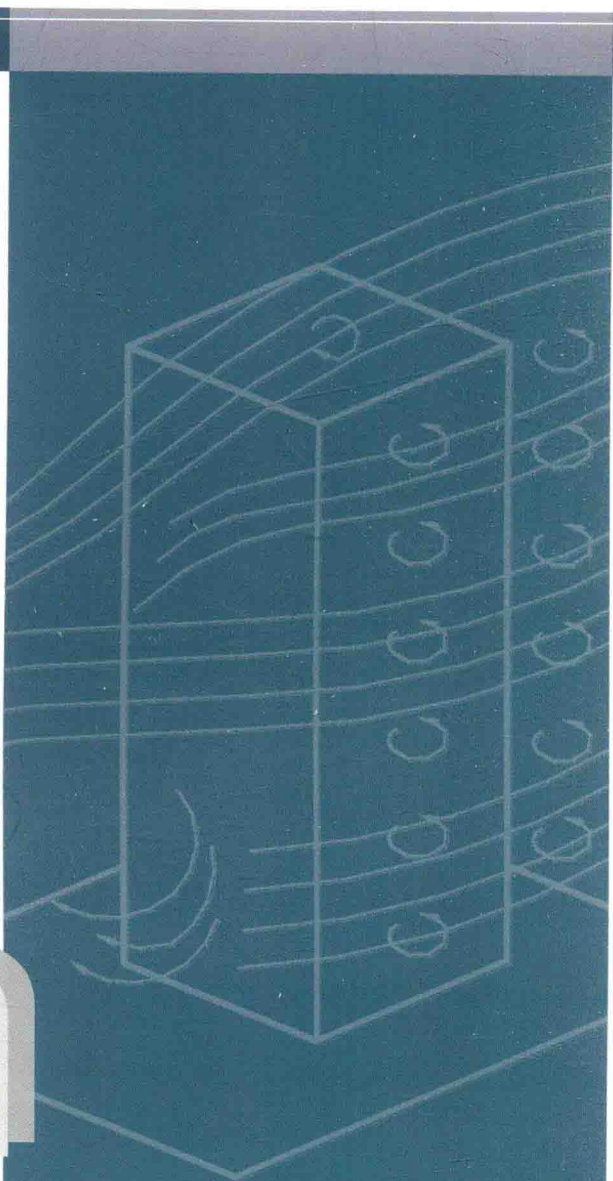
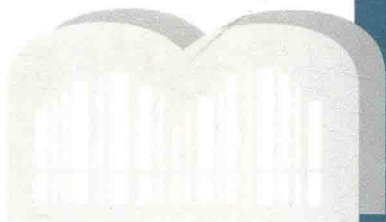
GONGCHENG HEZAI  
YU KEKAODU SHEJI  
YUANLI

主 编 王 辉

副主编 柳炳康



重庆大学出版社





高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何孝

# 工程荷载与可靠度设计原理 (第3版)

GONGCHENG HEZAI  
YU KEKAODU SHEJI  
YUANLI

主 编 王 辉

副主编 柳炳康



重庆大学出版社

## 内 容 提 要

本书根据“高等学校土木工程本科指导性专业规范”知识体系新的要求,以及新一轮土木相关规范、标准编写,反映较新研究成果和工程实际需求,主要配合建筑结构和公路工程的相关标准和规范给出了工程荷载确定方法及可靠度设计原理。

全书分为两个部分,第一部分介绍了工程结构荷载,包括荷载与作用分类;重力作用引起的土压力、建筑结构恒载与活载、公路桥梁车辆及人群荷载、雪荷载;水作用引起的静水和流水压力、波浪压力、冰压力、撞击力和浮托力;建筑结构顺风向平均风效应和脉动风效应、横风向风振;桥梁结构风致振动及静力风荷载;建筑结构水平、竖向和扭转地震作用确定方法及考虑原则,梁桥桥墩、桥台、支座水平地震作用和地震动水压力计算方法;环境因素引起的温度应力、冻胀力和变形产生的内力,爆炸产生机理和力学性质,行车动态作用等。第二部分介绍了工程结构可靠度设计原理与方法,包括工程结构荷载统计的概率模型,荷载代表值的定义和统计特征以及建筑结构和公路工程承载能力与正常使用极限状态作用效应组合;影响结构构件抗力的因素及结构构件抗力的统计特征,结构可靠度的基本概念、结构功能函数、目标可靠度及结构概率可靠度设计的实用表达式。各章中均有导读、小结和思考题。

本书可作为土木工程专业全日制本科生或土建类成人教育的教材,也可供土木工程技术人员阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程荷载与可靠度设计原理/王辉主编.—3版.

—重庆:重庆大学出版社,2017.6

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

ISBN 978-7-5689-0463-6

I.①工… II.①王… 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(2017)第 060321 号

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

### 工程荷载与可靠度设计原理

(第3版)

主 编 王 辉

副主编 柳炳康

责任编辑:王 婷 林青山 版式设计:莫 西

责任校对:邹小梅 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

万州日报印刷厂印刷

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:16.75 字数:418千

2017年6月第3版 2017年6月第4次印刷

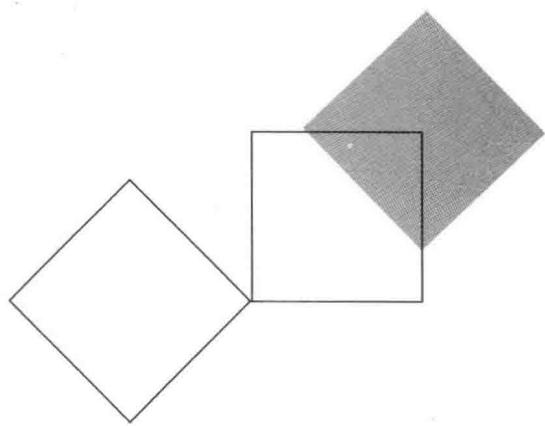
印数:9 001—12 000

ISBN 978-7-5689-0463-6 定价:35.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究



# 编委会名单

总主编：何若全

副总主编：杜彦良      邹超英      桂国庆      刘汉龙

编 委（以姓氏笔画为序）：

卜建清	王广俊	王连俊	王社良
王建廷	王雪松	王慧东	仇文革
文国治	龙天渝	代国忠	华建民
向中富	刘 凡	刘 建	刘东燕
刘尧军	刘俊卿	刘新荣	刘曙光
许金良	孙 俊	苏小卒	李宇峙
李建林	汪仁和	宋宗宇	张 川
张忠苗	范存新	易思蓉	罗 强
周志祥	郑廷银	孟丽军	柳炳康
段树金	施惠生	姜玉松	姚 刚
袁建新	高 亮	黄林青	崔艳梅
梁 波	梁兴文	董 军	覃 辉
樊 江	魏庆朝		

# 总 序

进入 21 世纪的第二个十年,土木工程专业教育的背景发生了很大的变化。“国家中长期教育改革和发展规划纲要”正式启动,中国工程院和国家教育部倡导的“卓越工程师教育培养计划”开始实施,这些都为高等工程教育的改革指明了方向。截至 2010 年底,我国已有 300 多所大学开设土木工程专业,在校生达 30 多万人,无疑是世界上该专业在校大学生最多的国家。如何培养面向产业、面向世界、面向未来的合格工程师,是土木工程界一直在思考的问题。

由住房和城乡建设部土建学科教学指导委员会下达的重点课题“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的研制,是落实国家工程教育改革战略的一次尝试。“专业规范”为土木工程本科教育提供了一个重要的指导性文件。

由“高等学校土木工程本科指导性专业规范”研制项目负责人何若全教授担任总主编,重庆大学出版社出版的“高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材”力求体现“专业规范”的原则和主要精神,按照土木工程专业本科期间有关知识、能力、素质的要求设计了各教材的内容,同时对大学生增强工程意识、提高实践能力和培养创新精神做了许多有意义的尝试。这套教材的主要特色体现在以下方面:

(1) 系列教材的内容覆盖了“专业规范”要求的所有核心知识点,并且教材之间尽量避免了知识的重复;

(2) 系列教材更加贴近工程实际,满足培养应用型人才对知识和动手能力的要求,符合工程教育改革的方向;

(3) 教材主编们大多具有较为丰富的工程实践能力,他们力图通过教材这个重要手段实现“基于问题、基于项目、基于案例”的研究型学习方式。

据悉,本系列教材编委会的部分成员参加了“专业规范”的研究工作,而大部分成员曾为“专业规范”的研制提供了丰富的背景资料。我相信,这套教材的出版将为“专业规范”的推广实施,为土木工程教育事业的健康发展起到积极的作用!

中国工程院院士 哈尔滨工业大学教授

沈世钊

# 第3版前言

中国已成为国际本科工程学位互认协议《华盛顿协议》的正式会员,意味着我国土木工程专业教育需要着眼于培养“厚基础、宽口径、强实践、国际化”的高素质专门人才和拔尖创新人才。随着全国工程教育专业认证的深入开展,土木工程专业评估也要全面对接新的标准,无论从内涵还是从形式都将有很大的变化,这也要求专业课程教材需要适应新的培养要求。2011年,全国高等学校土木工程专业指导委员会曾制订《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,在“结构基本原理与方法知识领域的核心知识单元和知识点”强调工程结构荷载和可靠度设计方法的讲授,认为该部分内容应作为土木工程专业本科学生必备的基础知识,各高等学校都需要将工程荷载与可靠度设计原理列为专业学习的重要知识内容,为学习各种土木工程结构的设计奠定基本理论方法基础。

本书为“高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材”之一,较全面、系统地介绍了工程结构各类荷载与作用的概念、原理和确定方法,以及可靠度原理和设计方法。由于工程结构种类繁多,荷载与作用产生的环境和背景各有差异,其作用方式和大小也不尽相同,考虑到土木工程专业特点,教材主要涉及建筑结构和公路工程结构,给出荷载与作用的确定方法及可靠度设计原理,帮助读者深入掌握相关理论与方法。

全书分为两个部分:第一部分介绍了工程结构荷载与作用,内容包括:荷载与作用分类;重力作用引起的土压力、建筑结构恒载与活载、公路桥梁车辆与人群荷载、雪荷载;水作用引起的静水和流水压力、波浪作用力、冰压力、撞击力和浮托力;建筑及桥梁结构顺风向和横风向作用力;建筑结构地震作用确定方法、桥梁水平地震作用和地震动水压力计算方法;环境因素引起的温度应力、冻胀力和变形产生的内力,爆炸产生的机理和力学性质,行车动态作用等。第二部分介绍了工程结构可靠度设计原理与方法,内容包括:工程结构荷载统计的概率模型,荷载代表值的定义和统计特征以及建筑结构和公路工程极限状态作用效应组合;影响结构构件抗力的因素及结构构件抗力的统计特征,结构可靠度的基本概念、结构功能函数、目标可靠度及结构概率可靠度设计的实用表达式。

近年来,我国先后颁布各类工程结构新的标准和规范,因此教材的内容需作相应调整。另外,教材使用中一些读者也指出了书中存在的若干印校错误。本次结合目前专业认证及评估对知识体系的要求,跟进新一轮土木工程相关标准、规范的实施,对全书内容进行修订。较第2版而言,全书总体内容不变,仍分为10章,其中对第2章重力作用中的城市桥梁汽车荷载部分、第

3章水作用中的波浪作用力部分、第4章风荷载中的桥梁风荷载部分、第10章结构概率可靠度设计法中的实用表达式部分作了较大幅度的修改。同时,本次修订时也对配套提供的电子课件及课后习题参考答案进行了同步更新,读者可到重庆大学出版社教育资源网(网址:<http://www.cqup.net/edusrc>)免费下载。

全书由王辉担任主编,柳炳康担任副主编。书中第1、2、3、5、6章以及第4章4.1—4.6节由柳炳康编写,第7、8、9、10章以及第4章4.7节由王辉编写。限于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

王辉

2017年1月

# 目 录

1	荷载与作用	1
1.1	工程结构荷载与作用	1
1.2	作用分类	2
1.3	荷载代表值	3
	本章小结	4
	思考题	4
2	重力作用	5
2.1	土的自重应力及土的侧压力	5
2.2	结构自重	15
2.3	楼面及屋面活荷载	15
2.4	厂房吊车荷载	26
2.5	汽车荷载	29
2.6	人群荷载	33
2.7	雪荷载	34
	本章小结	37
	思考题	39
3	水作用	40
3.1	静水压力	40
3.2	流水压力	41
3.3	波浪作用力	43
3.4	冰压力	51
3.5	撞击力	56
3.6	浮托力	58
	本章小结	59
	思考题	60



4	风荷载	61
4.1	风的基本知识	61
4.2	基本风速和基本风压	64
4.3	风压高度变化系数	69
4.4	风荷载体型系数	72
4.5	顺风向风振	76
4.6	横风向风振	83
4.7	桥梁风荷载	89
	本章小结	100
	思考题	102
5	地震作用	103
5.1	地震基础知识	103
5.2	地震区划与地震作用	113
5.3	单质点体系水平地震作用	118
5.4	多质点体系水平地震作用	129
5.5	结构的扭转地震效应	141
5.6	竖向地震作用	146
5.7	地震作用及计算方法	149
5.8	公路桥梁地震作用	150
	本章小结	165
	思考题	168
6	其他荷载与作用	169
6.1	温度作用	169
6.2	变形作用	174
6.3	冰胀力	177
6.4	爆炸作用	180
6.5	行车动态作用	184
6.6	预加力	187
	本章小结	189
	思考题	190
7	工程结构荷载的统计分析	191
7.1	荷载的概率模型	191
7.2	荷载的代表值	196
7.3	荷载效应组合	200
	本章小结	203
	思考题	204

8	结构构件抗力的统计分析 .....	205
8.1	抗力统计分析的一般概念 .....	205
8.2	影响结构构件抗力的不定性 .....	206
8.3	结构构件抗力的统计特征 .....	211
	本章小结 .....	214
	思考题 .....	215
9	结构可靠度分析与计算 .....	216
9.1	结构可靠度基本原理 .....	216
9.2	结构可靠度基本分析方法 .....	220
9.3	结构体系可靠度分析 .....	229
	本章小结 .....	234
	思考题 .....	235
10	结构概率可靠度设计法 .....	236
10.1	土木工程结构设计方法的演变发展 .....	236
10.2	结构设计的目标和原则 .....	238
10.3	结构概率可靠度直接设计法 .....	242
10.4	结构概率可靠度设计的实用表达式 .....	245
	本章小结 .....	253
	思考题 .....	253
	附录 .....	254
	参考文献 .....	255



# 荷载与作用

## 本章导读:

本章叙述了工程结构上的荷载与作用,介绍了结构上的作用按随时间变化、空间位置变异和结构反应性质分类的方法,给出了荷载代表值的定义。

## 1.1 工程结构荷载与作用

工程结构是指用建筑材料建造的房屋、道路、桥梁、隧道、堤坝、塔架等工程设施。工程结构首先应满足自身功能要求,服务于社会,例如建造房屋遮风避雨形成人类活动空间,架桥铺路为人群和车辆提供通道。其次,工程结构需要形成一个坚实的骨架承受使用过程中可能出现的各种环境作用,例如房屋结构要承受自身质量、人群和家具质量、风压力 and 雪重等作用,道路桥梁要承受车辆质量、车辆制动力和冲击力、水压力和土压力等作用,在地震区的工程结构还要承受地震作用。结构在各种环境因素作用下产生效应(应力、位移、应变、裂缝等)。工程结构设计的目的就是要保证结构具有足够的承载能力以抵抗自然界各种作用力,并将结构变形控制在满足正常使用的范围内。为使结构物在规定的使用年限内具有足够的可靠度,结构设计的第一步就是要确定结构上的作用。

结构上的作用是指能使结构产生效应的各种原因的总称。引起结构产生作用效应的原因有两种:一种是施加于结构上的集中力和分布力,例如结构自重,作用于楼面的人群、家具、设备的重力,作用于桥面的车辆、人群的重力,施加于结构物上的风压力、水压力、土压力等。它们都是直接施加于结构,使其产生内力发生变形,这类力可用“荷载”一词来表达。另一种是施加于结构上的外加变形和约束变形,例如基础沉降导致结构外加变形引起的内力效应,材料收缩和徐变或温度变化引起结构约束变形产生的内力效应,由于地震造成地面运动致使结构产生惯性力引起的作用效应等。它们都是间接作用于结构,作用效应常与结构

本身特征和所处环境有关。

在工程结构中,由于常见的能使结构产生效应的原因多数可归结为直接作用在结构上的外力,长期以来,习惯上将所有引起结构反应的原因统称为“荷载”。按照国际通行作法和现行国家标准,“作用”泛指使结构产生内力、变形的所有原因,包括直接作用和间接作用;而“荷载”仅等同于施加于结构上的直接作用。

## 1.2 作用分类

各种作用对结构产生的影响力是不一样的,不同作用的取值方法也存在差异。在工程结构设计中,为便于考虑不同的作用所产生的效应,可将结构上的作用按随时间或空间位置的变异分类,或按结构的反应性质分类。

### 1.2.1 按时间变异分类

#### 1) 永久作用

永久作用是指在结构设计基准期内,其值不随时间变化,或者变化的量值相对平均值而言可以忽略不计,例如结构自重、土的侧压力、静水压力、预加应力、钢材焊接应力等。混凝土收缩和徐变、基础不均匀沉降在若干年内已经基本上完成,它们均随时间单调变化而趋于限值,也可列入永久作用。

#### 2) 可变作用

可变作用是指在结构设计基准期内,其值随时间发生变化,变化的量值相对平均值而言不可忽略不计。例如楼面活荷载、车辆荷载、人群荷载、车辆冲击力和制动力、风荷载和雪荷载、流水压力、波浪荷载、温度变化引起的结构内力效应等均属可变作用。

#### 3) 偶然作用

偶然作用是指在结构设计基准期内不一定出现,而一旦出现其持续时间较短,且量值可能很大。例如地震作用、爆炸力、船只或漂流物撞击力等均属偶然作用。

作用按时间变异分类应用较为广泛,是结构作用的基本分类。在结构设计中,作用的取值往往与作用出现的持续时间长短有关,它直接关系到作用概率模型的选择。

### 1.2.2 按空间位置变异分类

#### 1) 固定作用

固定作用的特点是在结构上出现的空间位置固定不变,但其量值可能具有随机性,例如固定设备荷载、屋顶水箱质量等。

#### 2) 自由作用

自由作用的特点是在结构上的一定空间任意分布,出现的位置和量值都可能是随机的,例如车辆荷载、吊车荷载等。

由于自由作用是可以移动的,结构设计时应考虑其位置变化在结构上引起的最不利效应分布。

### 1.2.3 按结构反应分类

#### 1) 静态作用

这种作用是逐渐地、缓慢地施加在结构上,作用过程中不产生加速度或加速度甚微可以忽略不计,例如楼面上人群荷载、雪荷载、土压力等。

#### 2) 动态作用

施加这类作用时,会使结构产生显著的加速度,例如地震作用、设备振动、阵风脉动、打桩冲击等。

在进行结构分析时,对于动态作用应当考虑其动力效应,运用结构动力学方法考虑其影响;也可采用乘以动力系数的简化方法,将动态作用转换为等效静态作用。

## 1.3 荷载代表值

在进行工程结构设计时,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间接作用和直接作用。结构由于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。例如混凝土收缩应力可根据构件约束条件、混凝土收缩性能、温度和湿度变化求得。地震作用可根据结构物的质量、刚度、阻尼等动力特征及地面运动规律,由结构动力学方法确定。由于施加在结构上的集中力和分布力引起的直接作用具有明显变异性,在设计时为了便于取值,通常是考虑荷载的统计特征赋予一个规定的量值,称为荷载代表值。荷载可以根据不同设计要求规定不同的代表值,以使之能更确切地反映其在设计中的特点。《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)和《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)等工程建设国家标准给出了荷载的4种代表值:标准值、组合值、频遇值和准永久值,其中荷载标准值是荷载的基本代表值,是结构设计的主要参数,其他代表值都可在标准值的基础上乘以相应系数得到。

#### 1) 荷载标准值

荷载标准值是指荷载在结构使用期间可能出现的最大值。由于荷载本身的变异性,使用期间的最大荷载值是随机变量,它可通过对某类荷载长期观察和实际调查,经过数理统计分析,在概率含义上确定;也可根据工程实践经验,经判断后协议给出。

#### 2) 荷载组合值

荷载组合值是指当有两种或两种以上的可变荷载同时作用于结构上,所有可变荷载同时达到其最大值的概率极小时,此时主导荷载(产生最大效应的荷载)取标准值,其他伴随荷载取小于其标准值的组合值。

#### 3) 荷载频遇值

荷载频遇值是指可变荷载在结构上较频繁出现且量值较大的值,主要用于荷载短期效应组

合中。可变荷载的频遇值可通过乘以频遇值系数得到,频遇值系数由调查统计结果并结合工程经验综合分析后确定。

在进行工程结构设计时,永久荷载采用标准值作为代表值;可变荷载根据工程设计要求可采用标准值、组合值、准永久值或频遇值作为代表值;偶然荷载可依据观察资料、试验数据以及工程经验来确定其代表值。

#### 4) 荷载准永久值

荷载准永久值是指可变荷载在结构使用期间经常达到和超过的值。设计时需要考虑荷载的持久性对结构的影响。可变荷载的准永久值可在标准值上乘以一个准永久值系数得出,准永久值系数由调查统计和工程经验确定。

## 本章小结

1. 引起工程结构产生作用效应的原因有两种:一种是直接施加于结构上的集中力和分布力;另一种是间接施加于结构上的外加变形和约束变形。按照通行作法,“作用”泛指结构产生内力、变形的所有原因,包括直接作用和间接作用,而“荷载”仅指结构上的直接作用。

2. 作用按随时间变异可分永久作用、可变作用和偶然作用;按空间位置变异可分为固定作用和自由作用;按结构反应性质可分为静态作用和动态作用。

3. 荷载代表值是考虑荷载变异特征所赋予的规定量值,工程建设相关的国家标准给出了荷载4种代表值:标准值、组合值、频遇值和准永久值。荷载可根据不同设计要求规定不同的代表值,其中荷载标准值是荷载的基本代表值,其他代表值都可在标准值的基础上考虑相应的系数得到。

## 思考题

- 1.1 什么是施加于工程结构上的作用?荷载与作用有什么区别?
- 1.2 结构上的作用如何按时间变异、空间位置变异、结构反应性质分类?
- 1.3 什么是荷载的代表值?它们是如何确定的?

# 2

## 重力作用

### 本章导读:

本章叙述了土的自重应力、土的侧压力及结构自重的计算方法,介绍了工业与民用建筑楼面及屋面活荷载的分布规律,分析了工业厂房吊车荷载的作用特点,给出了公路桥梁和城市桥梁汽车荷载及人群荷载的确定途径,最后讨论了雪荷载的确定方法。

## 2.1 土的自重应力及土的侧压力

### 2.1.1 土的自重应力

#### 1) 均匀土自重应力

在计算土中应力时,通常将土体视为均匀连续的弹性介质。假设天然地面是一个无限大的水平面,土体在自重作用下只产生竖向变形,而无侧向变形和剪切变形,因此在任意竖直面和水平面均无剪应力存在。若土层天然重度为 $\gamma$ ,在深度 $z$ 处水平截面如图2.1(a)所示,土体因自身质量产生的竖向应力 $\sigma_z$ 可取该截面上单位面积的土柱体的重力,即:

$$\sigma_z = \gamma z \quad (2.1)$$

可见,自重应力 $\sigma_z$ 沿水平面均匀分布,且与 $z$ 成正比,即随深度按直线规律增加,如图2.1(b)所示。

土中任意截面都包括土体骨架和孔隙的面积,地基应力计算时只考虑土中某单位面积上的平均应力。实际上,只有通过土颗粒接触点传递的粒间应力才能使土粒彼此挤紧,引起土体变形。因此粒间应力又称为有效应力,它是影响土体强度的重要因素。如土层处于地下水位以上,按式(2.1)计算的土中的自重应力即为有效自重应力;如土层位于地下水位以下,则应以地

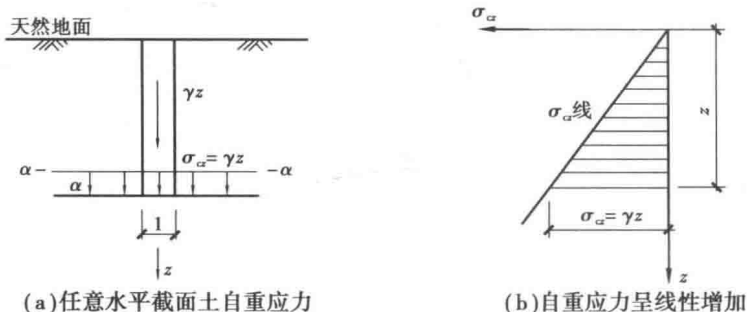


图 2.1 均质土中竖向自重应力

下水位面作为分层界面,界面以下土层应扣除浮力影响,才能得到土的有效重力。土的自重应力一般是指土的自身有效重力在土体中引起的应力。

### 2) 成层土自重应力

地基土往往是由不同重度的土层组成的层状介质。如图 2.2 所示,设天然地面以下各土层的厚度为  $h_i$ ,重度为  $\gamma_i$ ,则地面以下深度  $z$  处土的自重应力可通过对各层土的自重应力求和得到,即

$$\sigma_{\alpha} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (2.2)$$

式中  $n$ ——从天然地面起到深度  $z$  处土的层数;

$h_i$ ——第  $i$  层土的厚度, m;

$\gamma_i$ ——第  $i$  层土的天然重度,  $\text{kN}/\text{m}^3$ ,对地下水位以下的土层,取有效重度  $\gamma'_i$ 。

若土层位于地下水位以下,计算土的自重应力时,应以土的有效重度代替天然重度。土的有效重度是扣除水的浮力后单位体积土体所受重力。

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。在上覆层与不透水层界面处自重应力有突变。

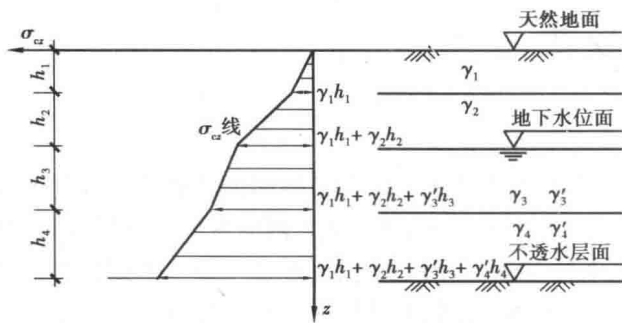


图 2.2 成层土中竖向自重应力沿深度分布

## 2.1.2 土的侧向压力

### 1) 土的侧向压力分类

挡土墙是防止土体坍塌的构筑物,常用砖石、素混凝土、钢筋混凝土等材料建成,广泛应用



于建筑工程中。土的侧压力是指挡土墙后的填土因自重或外荷载作用对墙背产生的土压力,土压力的大小及分布与墙身的位移、填土的性质、墙体的刚度、地基的土质等因素有关。根据挡土墙的移动情况和墙后土体所处应力状态,土压力可分为静止土压力、主动土压力和被动土压力 3 种类别。

### (1) 静止土压力

当挡土墙在土压力作用下,不产生任何位移或转动如图 2.3(a) 所示,墙后土体处于弹性平衡状态,此时墙背所受的土压力称为静止土压力,一般用  $E_0$  表示。例如地下室外墙由于受到内侧楼面支撑可认为没有位移发生,这时作用在墙体外侧的回填土侧压力可按静止土压力计算。

### (2) 主动土压力

当挡土墙在土压力的作用下,向离开土体方向移动或转动时如图 2.3(b) 所示,作用在墙背上的土压力从静止土压力值逐渐减少,直至墙后土体出现滑动面。滑动面以上的土体将沿这一滑动面向下向前滑动,在滑动楔体开始滑动的瞬间,墙背上的土压力减少到最小值,土体内应力处于主动极限平衡状态,此时作用在墙背上的土压力称为主动土压力,一般用  $E_a$  表示。例如基础开挖时的围护结构,由于土体开挖,基础内侧失去支撑,围护墙体向基坑内产生位移,这时作用在墙体外侧的土压力可按主动土压力计算。

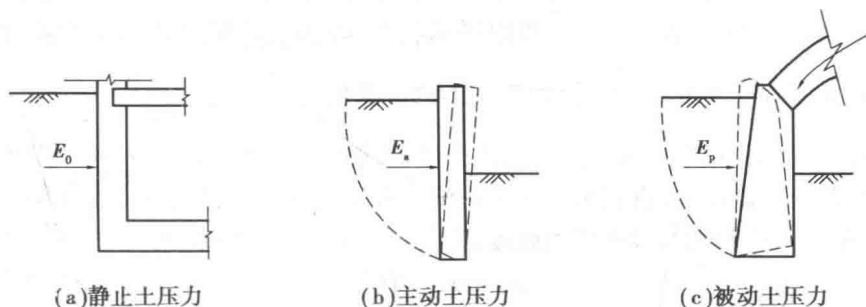


图 2.3 挡土墙的 3 种土压力

### (3) 被动土压力

当挡土墙在外力作用下向土体方向移动或转动时如图 2.3(c) 所示,墙体挤压墙后土体,作用在墙背上的土压力从静止土压力值逐渐增大,墙后土体也会出现滑动面,滑动面以上土体将沿滑动方向向上向后推出,在滑动楔体开始隆起的瞬间,墙背上的土压力增加到最大值,土体内应力处于被动极限平衡状态。此时作用在墙背上的土压力称为被动土压力,一般用  $E_p$  表示。例如拱桥在桥面荷载作用下,拱体将水平推力传至桥台,挤压桥台背后土体,这时作用在桥台背后的侧向土压力可按被动土压力计算。

在相同的墙高和填土条件下,主动土压力小于静止土压力,而静止土压力又小于被动土压力,即:

$$E_a < E_0 < E_p \quad (2.3)$$

## 2) 土压力基本原理

### (1) 朗金土压力理论

土的侧向压力可采用朗金土压力理论或库仑土压力理论计算,下面以朗金土压力理论介绍土体侧向压力的基本原理和计算方法。

朗金土压力理论是根据半空间内土体的应力状态和极限平衡条件导出的土压力计算方法。