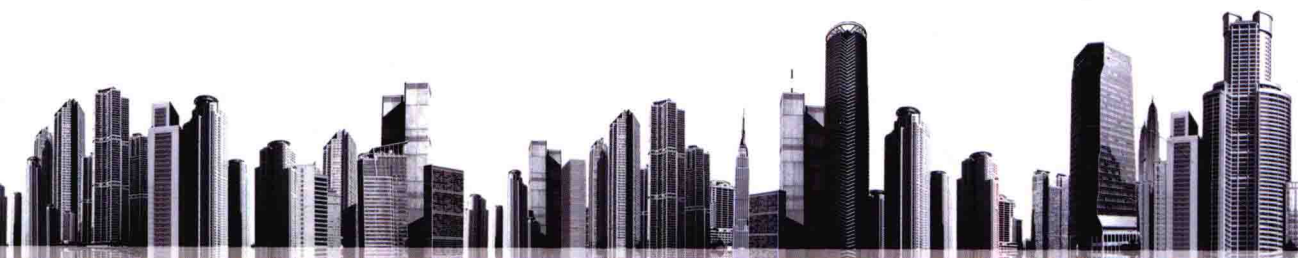


工程荷载 与可靠度设计原理

GONGCHENG HEZAI YU KEKAODU SHEJI YUANLI

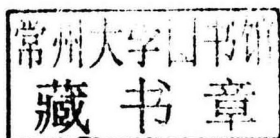
主编 何建 吕建福



清华大学出版社

工程荷载与可靠度设计原理

主 编 何 建 吕建福
副主编 王士龙 陈冬妮



内容简介

本书结合现行结构设计规范,参照高等学校土木工程学科专业指导委员会对土木工程专业学生的基本要求和审定的教学大纲而编写,主要内容分两部分:一部分介绍工程结构可能承受的各种荷载与作用;另一部分介绍工程结构设计的可靠度背景。

本教材可作为高等学校土木工程及相关专业的教学用书,也可用作继续教育的教材、注册工程师考试的参考教材或土建结构设计工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程荷载与可靠度设计原理/何建,吕建福主编.
—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5661-1355-9

I. ①工… II. ①何… ②吕… 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 194537 号

责任编辑 薛力

封面设计 博鑫设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传真 0451-82519699

经销 新华书店

印刷 北京中石油彩色印刷有限责任公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 13.75

字数 367千字

版次 2016年8月第1版

印次 2016年8月第1次印刷

定价 30.00元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

本书结合现行结构设计规范,参照高等学校土木工程学科专业指导委员会对土木工程专业学生的基本要求和审定的教学大纲而编写。全书共分为 10 章,包括:绪论、重力荷载、侧压力、风荷载、地震作用、其他荷载与作用、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。各章除附有思考题和习题外,还附有教学提示和教学要求,便于教学使用。

本教材定位于夯实基础、注重理论与实践结合、提高应用能力、增强自主与继续学习能力,以培养“应用研究型综合人才”为目标而编写。本书具有以下特色:

(1) 本书深入研究土木工程专业各课程内容之间递进、延续关系,教材内容既要反映本学科发展水平,保证教材自身体系的完整性,又要尽量避免各门课程内容的重复,因此本教材进行了专业知识的整合,将原来分散的荷载知识汇集到该课程中,如《混凝土结构基本原理》《钢结构基本原理》《高层建筑结构设计》中的结构设计原则与荷载组合等内容,《结构抗震设计》《高层建筑结构设计》中的地震作用计算内容,《高层建筑结构设计》中的风和地震作用内容等汇集到本教材中,避免教学内容的重复,同时使工程荷载与可靠度设计原理的知识更加紧凑,应用性和继续创造性更强。

(2) 按照宽口径土木工程专业培养方案,注重提高学生综合素质和创新能力,加强学生专业基础知识和优化基本理论知识结构,不刻意追求理论研究型教材的深度,内容少而精,向培养土木工程师从事设计、施工与管理的应用方向拓展。如去掉原来风荷载部分关于风振理论等难度和深度大的内容,增加了结构设计中关于风荷载计算的内容。

(3) 引导学生创新研究意识。要真正掌握土木工程设计计算理论和方法,单靠运用现成的设计方法进行专门的设计技能训练是不够的,因为这些方法随科学技术的发展经常在改变。为了了解并和这些迅速发展的方法同步,本教材的编写侧重培养学生透彻理解教材中的基本理论和基本特性,又同时熟悉现行设计方法的理论依据和工程背景,以不变应万变。

(4) 我国现行有关土木工程类的规范及规程,是在 2010—2015 年间完成修订的,内容

有较大的取舍和更新,反映了我国土木工程设计与施工技术的发展。作为应用型教材,为培养学生毕业后获得注册执业资格,在内容上涉及很多相关规范条文和算例,但并不是规范条文的释义。

(5)当代土木工程结构设计,越来越多地使用计算机程序或采用通用性的商业有限元软件,有些特殊结构,则由工程师自行编写程序进行力学计算。本教材中,在阐述真实结构、简化计算模型、数学表达式之间关系的基础上,给出了设计方法的详细步骤,这些步骤均可容易地转换成工程结构的流程图,有助于培养学生编写计算机程序。

(6)按照科学发展观,从可持续发展的角度,根据课程特点,反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺,以社会发展和科技进步的新近成果充实、更新教材内容,编者尽最大可能在教材中增加了这方面的信息量。

本书的出版得到了哈尔滨工程大学土木工程专业核心课程群建设项目和本科生教材重点立项项目的资助,在此一并表示感谢。

编 者

2016年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 结构上的作用及作用效应	1
1.2 工程结构设计理论及设计方法	4
1.3 思考题	6
第 2 章 重力荷载	7
2.1 结构自重	7
2.2 土的自重应力	8
2.3 雪荷载	9
2.4 汽车荷载	18
2.5 人群荷载	21
2.6 吊车荷载	22
2.7 楼面和屋面活荷载	26
2.8 思考题	38
2.9 习题	39
第 3 章 侧压力	40
3.1 土的侧压力	40
3.2 静水压力及流水压力	56
3.3 波浪荷载	58
3.4 冰荷载	64
3.5 思考题	67
3.6 习题	67
第 4 章 风荷载	69
4.1 风的有关知识	69
4.2 风压	72
4.3 风压高度变化系数	78
4.4 风荷载体型系数	80
4.5 结构抗风计算的几个重要概念	84
4.6 顺风向结构风效应	87
4.7 横风向结构风效应	92

4.8	结构总风效应	96
4.9	思考题	96
4.10	习题	97
第5章	地震作用	98
5.1	地震的有关知识	98
5.2	震级与烈度	104
5.3	工程结构抗震设防	108
5.4	单质点体系地震作用	111
5.5	多质点体系地震作用	120
5.6	思考题	128
5.7	习题	128
第6章	其他荷载与作用	130
6.1	温度作用	130
6.2	变形作用	133
6.3	爆炸作用	133
6.4	浮力作用	137
6.5	制动力	138
6.6	离心力	141
6.7	预应力	141
6.8	思考题	145
第7章	荷载的统计分析	147
7.1	荷载的概率模型	147
7.2	荷载效应组合规则	150
7.3	常遇荷载的统计分析	151
7.4	荷载的代表值	154
7.5	思考题	157
7.6	习题	157
第8章	结构构件抗力的统计分析	158
8.1	结构构件抗力的不定性	158
8.2	结构构件抗力的统计特征	164
8.3	材料强度的标准值和设计值	165
8.4	思考题	165
8.5	习题	166
第9章	结构可靠度分析与计算	167
9.1	结构可靠度的基本概念	167
9.2	结构可靠度计算	171

9.3	相关随机变量的结构可靠度计算	178
9.4	结构体系的可靠度计算	184
9.5	思考题	193
9.6	习题	193
第 10 章	概率极限状态设计法	195
10.1	目标可靠指标	195
10.2	极限状态设计原则	200
10.3	直接概率设计法	202
10.4	规范中的实用设计公式	203
10.5	思考题	207
10.6	习题	207
参考文献	208

第 1 章 绪 论

【教学提示】

本章介绍了工程结构上的作用及作用效应(按时间的变异分类,按空间位置的变异分类及按结构的反应分类)和工程结构设计理论。工程结构设计理论是处理工程结构的适用性、安全性与经济性的理论及方法。随着社会与科学技术的发展,工程结构设计理论经历了从弹性理论到极限状态理论的转变,设计方法经历了从定值法到概率法的发展。我国的工程结构设计方法经历了容许应力设计法、破损阶段设计法、概率极限状态设计法和多系数极限状态设计法 4 个阶段。

【教学要求】

学生应掌握结构上的作用及作用效应的基本概念,了解工程结构设计的目的及理论概况。

工程是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等技术活动,也指工程建设的对象。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、管道、隧道、桥梁、运河、堤坝、港口、电站、飞机场、海洋平台、给水排水以及防护工程等。工程结构是房屋建筑和土木工程的建筑物、构筑物及其相关组成部分的总称。在房屋、桥梁、铁路、公路、水工、港口等工程的建筑物、构筑物和设施中,工程结构是以建筑材料制成的各种承重构件相互连接成一定形式的组合体;除满足工程所要求的功能和性能外,还必须在使用期内安全、适用、经济、耐久地承受外加的或内部形成的各种作用。

工程结构设计是为了使所建造的结构能满足各种预定功能要求与美观要求,选择一种最佳的合理的结构设计方法。在正常的维护条件下,设计的结构和结构构件在规定的使用年限内,应能保持其使用功能,而不需大修加固。为使工程结构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及作用效应。

1.1 结构上的作用及作用效应

1.1.1 结构上的作用

《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)中对结构上的作用的明确阐述如下:

1. “结构上的作用”的定义

施加在结构上的集中荷载或者分布荷载,以及引起结构外加变形或约束变形(地震,基础沉降,温度变化,焊接等)的原因的总称。作用在结构上的荷载会使结构产生内力、变形(称为效应)。而结构设计的目的就是确保结构的承载能力足以抵抗内力,从而使变形控制在结构能正常使用的范围内。

荷载作用是工程结构设计的一个重要方面,也是着手一项工程设计要解决的一个重要问题。作用就其形式而言,可分为以下两类(见图 1-1):

(1) 直接作用

当以力的形式作用于结构上时,称为直接作用,习惯上称为荷载。

例如由于地球引力而作用在结构上的结构自重,建筑、家具、船舶、车辆等重力,以及土压力、雪压力、水压力等。

(2) 间接作用

当以变形的形式作用于结构上时,称为间接作用。

例如基础沉降引起结构外加变形;材料收缩,徐变或温度变化引起结构约束变形;由于地震造成地面运动,致使结构产生惯性力等。

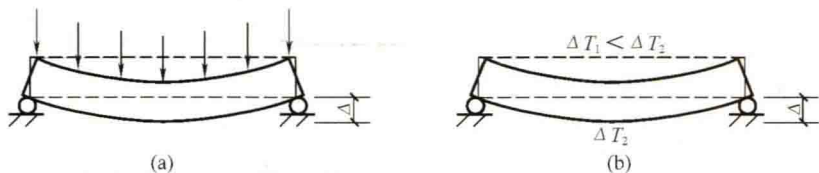


图 1-1 作用与效应

(a) 直接作用(重力);(b) 间接作用(升温)

为了便于工程结构设计,且利于考虑不同作用所产生的效应的性质与重要性不同,对于结构承受的各种环境作用,可按照不同的原则进行分类。

2. “结构上的作用”的分类

按时间的变异分类:

(1) 永久作用

在结构使用期间,其量值不随时间而变化,或其变化值与平均值相比可以忽略不计,或其变化是单调的并能趋于某一限值的作用。

例如结构自重、土压力、预加力、基础沉降、焊接、水的浮力,混凝土收缩及徐变作用等。

(2) 可变作用

在结构使用期间,其量值随时间而变化,且其变化值与平均值相比不可以忽略不计的作用。

例如安装荷载、楼面活荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载、汽车荷载、汽车离心力、汽车制动力、流水压力、冰压力和温度作用等。

(3) 偶然作用

在结构使用年限内不一定出现,一旦出现,其值很大且持续时间很短的作用,具有很大的危害。

例如地震作用(地震力和地震加速度等)、爆炸、船舶或漂流物的撞击作用和汽车撞击

作用等。

永久作用和可变作用类同于以往所谓的恒荷载和活荷载,而偶然作用也相当于特殊荷载。按时间的变异分类是结构作用的基本分类,应用广泛。在分析结构可靠度时,它直接关系到作用概率模型的选择;在按各类极限状态设计时,它关系到荷载代表值及其效应组合形式的选择。如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应比永久作用的相对取值大;偶然作用出现的概率小,结构抵抗偶然作用的可靠度可比抵抗永久作用的可靠度小,偶然作用危害巨大。

3. 按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,但其量值可能具有随机性。

例如工业与民用建筑楼面上的固定设备荷载,结构构件自重等。

(2) 自由作用

在结构空间位置上一定范围内可以任意分布,出现的位置和量值都可能是随机的。

例如工业与民用建筑楼面上的人员荷载,吊车荷载等。

4. 按结构的反应分类

(1) 静态作用

不使结构或结构构件产生加速度或产生的加速度很小可以忽略不计的作用。

例如结构自重、楼面上人员荷载、雪荷载、土压力等。

(2) 动态作用

使结构或结构构件产生不可忽略的加速度的作用。

例如地震作用、吊车荷载、设备振动、作用在高耸结构上的风荷载、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,用结构动力学方法进行分析;或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。

1.1.2 作用效应 S

“作用效应”是结构对所受作用的反应,即由于直接作用或间接作用于结构构件产生的内力、位移、挠度、裂缝、损伤等的总称,用 S 表示。当作用为直接作用(荷载)时,其效应也被称为“荷载效应”。荷载 Q 与荷载效应之间,一般近似按线性关系考虑:

$$S = CQ \quad (1-1)$$

式中,常数 C 为荷载效应系数。例如均布荷载 q 作用在 $l/2$ 处的简支梁,最大弯矩为 $M = ql^2/8$, M 就是荷载效应, $l^2/8$ 就是荷载效应系数, l 为梁的计算跨度。

结构上的作用,除永久作用外,都是不确定的随机变量,有时还与时间变量甚至空间参数有关,所以作用效应一般来说也是随机变量或随机过程,甚至是随机场,它的变化规律与结构可靠度的分析关系密切。

1.2 工程结构设计理论及设计方法

工程结构设计理论是处理工程结构的安全性、适用性与经济性的理论及方法,主要解决工程结构产生的各种作用效应与结构材料抗力之间的关系,涉及有关结构上的作用结构抗力、结构可靠度和结构设计方法及优化设计等方面的问题。

早期的工程结构中,保证结构安全主要依赖经验。随着科学的发展和技术的进步,工程结构设计理论经历了从弹性理论到极限状态理论的转变,设计方法经历了从定值法到概率法的发展。我国的工程结构设计方法经历了容许应力设计法、破损阶段设计法、概率极限状态设计法和多系数极限状态设计法4个阶段。

1.2.1 容许应力设计法

容许应力法是建立在弹性理论基础上的设计方法,在使用荷载作用下,它规定结构构件在使用阶段截面上的最大应力不超过材料的容许应力。以结构构件的计算应力 σ 不大于有关规范所给定的材料容许应力 $[\sigma]$ 的原则来进行设计的方法。结构构件的计算应力 σ 按荷载标准值以线性弹性理论计算。容许应力 $[\sigma]$ 由规定的材料弹性极限(或极限强度、流限)除以大于1的单一安全系数而得。在应力分布不均匀的情况下,如受弯构件、受扭构件或静不定结构,用这种设计方法比较保守。实践证明,这种设计方法与结构的实际情况有很大出入,并不能正确揭示结构或构件受力性能的内在规律,现在已被绝大多数国家弃用。容许应力设计法以线性弹性理论为基础,以构件危险截面的某一点或某一局部的计算应力小于或等于材料的容许应力为准则。其表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1-2)$$

式中 σ ——构件在使用阶段(使用荷载作用下)截面上的最大应力;

$[\sigma]$ ——材料的容许应力。

容许应力设计法计算简单,但其有许多缺点:

(1)没有考虑材料塑性性质。

(2)没有对作用阶段给出明确的定义,也就是使用期间荷载的取值原则规定得不明确。实际上,使用荷载是由传统经验或个人判断确定的,缺乏科学根据。

(3)把影响结构可靠的各种因素(荷载的变异、施工的缺陷、计算公式的误差等)统统归结在反映材料性质的容许应力 $[\sigma]$ 上,显然不够合理。

(4) $[\sigma]$ 的取值无科学根据,纯属经验的,历史上曾多次提高过材料的容许应力值。

(5)按容许应力法设计的构件是否安全可靠,无法用实验来验证。

1.2.2 破损阶段设计法

考虑结构材料破坏阶段的工作状态,在此工作状态下进行的结构构件设计技术的方法。针对容许应力设计法存在的缺陷,之后出现了假定材料均已达到塑性状态,依据截面所能抵抗的破损内力建立的计算公式。其设计表达式为

$$M \leq M_u / K \quad (1-3)$$

式中 M_u ——构件最终破坏时的承载能力；

K ——安全系数,用来考虑影响结构安全的所有因素。

式(1-3)的优点:这种方法以构件破坏时的受力状态为依据,考虑了材料的塑性性能,在表达式中引入了安全系数,使得构件有了总体安全度的概念。

苏联曾把该理论用下式来表达

$$KM(\sum q_i) \leq M_u(\mu_{f1}, \mu_{f2}, \dots, a, \dots) \quad (1-4)$$

式中 M ——正常使用时,由各种荷载 q_i 所产生的截面内力；

μ_{f1}, μ_{f2} ——材料强度的平均值；

a ——反映截面尺寸等的尺寸函数。

破损阶段理论仍存在一些重大缺点：

- (1)安全系数的取值仍然凭经验确定。
- (2)采用笼统的单一安全系数,无法就不同荷载、不同材料结构件安全的影响加以区别对待,不能正确地度量结构的安全度。
- (3)荷载 q_i 的取值仍然也是经验值。
- (4)没有考虑到构件在正常使用时的变形和裂缝问题。

1.2.3 概率极限状态设计法

概率极限状态设计法是“以概率理论为基础的极限状态设计法”的简称。承载能力的极限状态,即结构或结构构件达到最大承载力或不适于继续承载的变形状态。所谓“极限状态”,就是当结构的整体或某一部分,超过了设计规定的要求时,这个状态就叫作极限状态。

极限状态设计法明确将结构的极限状态分成承载力极限状态和正常使用极限状态。承载力极限状态要求结构构件可能的最小承载力不小于可能的最大外荷载所产生的截面内力,正常使用极限状态是指对构件的变形以及裂缝的形成和开展宽度的限制。

这里讲“概率计算”,就是以结构的失效概率来确定结构的可靠度。过去容许应力法采用了一个安全系数 K (简称单一系数法),就是只用一个安全系数来确定结构的可靠程度。而现在采用了多个分项系数(简称多系数法),把结构计算划分得更细更合理,分别根据不同情况,给出了不同的分项系数。这些分项系数是由统计概率方法进行确定的,所以具有实际意义。这些系数都是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(也即可靠度)。所以这个计算方法的全称应该为“以概率理论为基础的极限状态设计法”。

国际上把处理可靠度的精确程度分为3个水准：

(1)水准 I ——半概率方法

在概率设计法的研究进程中,首先考虑荷载和材料强度的不确定性,用概率方法确定它们的取值。根据经验确定分项安全系数,仍然没有将结构可靠度和概率联系起来。

(2)水准 II ——近似概率法

目前我国的《工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50153—1992)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)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。该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,并采用了非线性变量线性化和非正态变量正态化的近似手

段,在设计截面时一般采用分项系数的实用设计表达式。

(3)水准Ⅲ——全概率法

这是完全基于概率论的结构整体优化设计方法,要求对整个结构采用精确的概率分析,求得结构最优失效概率作为可靠度的直接度量。由于这种方法无论在基础数据的统计方面还是在可靠度计算方面都不成熟,目前尚处于研究探索阶段。

1.2.4 多系数极限状态设计法

破损阶段理论仍有许多缺点,因此进一步发展的极限状态理论便应运而生。当时曾提出了3种极限状态:承载力极限状态、挠度极限状态、裂缝开展宽度极限状态。其表达式分别为

$$M \leq M_u \quad (1-5)$$

$$f_{\max} \leq f_{\lim} \quad (1-6)$$

$$W_{\max} \leq W_{\lim} \quad (1-7)$$

这样,它就克服了破损阶段理论无法了解构件在正常使用时能否满足正常使用要求的缺陷。

1.3 思考题

1. 工程结构设计理论是什么?
2. 结构上的作用按时间不同可分为什么?按空间位置不同可分为什么?
3. 作用(荷载)有哪些类型?
4. 什么是容许应力设计法?
5. 什么是概率极限状态设计法?国际上把处理可靠度的精确程度分为哪3个水准?

第2章 重力荷载

【教学提示】

本章介绍了结构自重、土的自重应力及雪荷载的计算方法,楼面及屋面活荷载的取值方法,以及吊车荷载、车辆荷载、人群荷载的确定途径。

【教学要求】

学生应掌握各种重力荷载的取值和计算方法。

2.1 结构自重

结构的自重是由地球引力产生的组合结构的材料重力。通常只要知道结构的材料种类、材料体积和材料容重即可计算结构自重,即

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

式中 G_k ——构件的自重, kN;

γ ——构件材料的容重, kN/m³;

V ——构件的体积,一般按照设计尺寸确定, m³。

施工阶段构件在吊装运输或悬臂施工时,其结构内力有可能大于正常设计荷载产生的内力,则在此阶段构件重力应乘以适当的动力系数来满足验算构件的强度和稳定的要求。

结构自重需按照均匀分布的原则计算。常见材料和构件的容重见《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)附录 A。式(2-1)适用于一般建筑结构、桥梁结构及地下结构等各构件自重的计算,但要注意土木工程中结构各构件各组成部分材料重度如果不同,则可利用叠加原理得到结构总自重,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;

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。

为应用方便起见,在工程的简化设计及施工验算中有时将建筑物看成一个整体,则此时建筑自重可简化为平均楼面恒载。一般木结构建筑为 2.0 ~ 2.5 kN/m²,钢结构建筑为 2.5 ~ 4.0 kN/m²,钢筋混凝土结构建筑为 5.0 ~ 7.5 kN/m²。

【例 2.1】 计算某现浇楼面结构的自重标准值。

解 20 mm 厚水泥砂浆面层: $0.02 \times 20 \text{ kN/m}^2 = 0.4 \text{ kN/m}^2$;

80 mm 厚现浇钢筋混凝土板: $0.08 \times 25 \text{ kN/m}^2 = 2.0 \text{ kN/m}^2$;

12 mm 厚纸筋石灰泥粉底: $0.012 \times 16 \text{ kN/m}^2 = 0.192 \text{ kN/m}^2$;

$$G = \sum_{i=1}^n \gamma_i V_i = 2.592 \text{ kN/m}^2。$$

2.2 土的自重应力

土壤是由土颗粒、水和气所组成的三相非连续介质。若把土体简化为连续体,则应用连续介质力学来计算土中应力时,通常又将土体视为均匀弹性介质。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。地基应力计算时只考虑土中某单位面积上的平均应力,因为土中任意截面不仅包括土体骨架的面积还包括孔隙的面积。实际上,只有通过颗粒接触点传递的粒间有效应力才能使土粒彼此挤紧,引起土体变形。如图 2-1(a)所示,天然地面以下深度 z 处的 $\alpha-\alpha$ 水平面上,土体因自身重力产生的竖向应力可取该截面上单位面积的土柱体的重力,即

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

式中 σ_{α} ——土的自重应力, kN/m^2 ;

γ ——土层天然重度, kN/m^3 。

可见自重应力 σ_{α} 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。

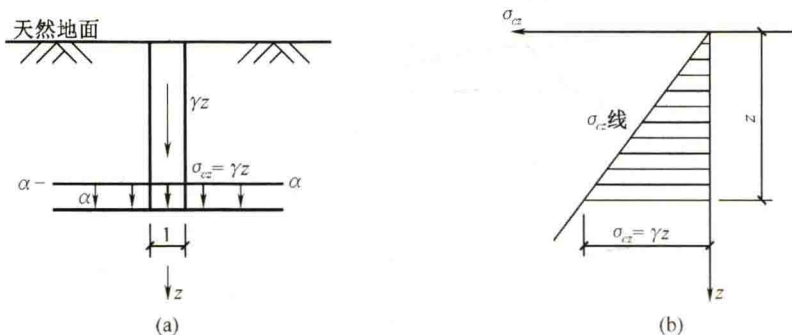


图 2-1 均质土中竖向自重应力

(a) 任意深度水平截面上的土自重应力; (b) 自重应力呈线性增加

一般情况下,地基土由不同重度的土层所组成。如图 2-2 所示,天然地面下深度 z 范围内各层土的厚度自上而下分别为 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n$, 则多层土深度 z 处的竖直有效自重应力的计算公式为

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

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;

γ_i ——第 i 层土的天然重度, (单位为 kN/m^3), 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 γ'_i , 即

$$\gamma'_i = \gamma_i - \gamma_w \quad (2-5)$$

γ_w ——为水的重度, 一般取值为 $10 \text{ kN}/\text{m}^3$, 这时计算土的自重应力应取土的有效重度 γ'_i 代替 γ_i 。

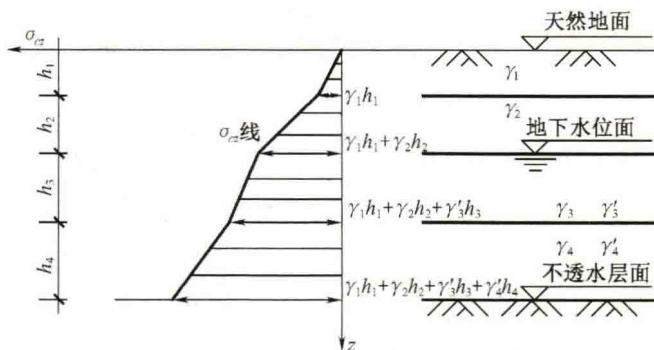


图 2-2 成层土中竖向自重应力沿深度分布

地下水位以下, 若存在不透水的岩层或不透水的坚硬黏土层, 则由于不透水层中没有水的浮力, 不透水层界面以下的自重应力需按上覆土层的水土总量计算, 并且自重应力在上覆土层与不透水层界面处有突变。

2.3 雪 荷 载

2.3.1 基本雪压

1. 基本雪压的取值原则

基本雪压是指当地空旷平坦地面上根据气象记录资料, 经统计得到的在结构使用期间可能出现的最大雪压值。根据当地气象台(站)观察并收集的每年最大雪压, 经统计得出的 50 年一遇的最大雪压(重现期为 50 年的最大雪压), 即为当地的基本雪压。

观察并收集雪压的场地应符合下列要求:

- (1) 观察场地周围的地形为空旷平坦地形;
- (2) 积雪的分布保持均匀;
- (3) 设计项目地点应在观察场地的范围内, 或它们具有相同的地形。

雪压是指单位水平面积上的雪重, 决定雪压值大小的是雪深度与雪重度, 因此年最大雪压 S 可按下式确定, 即

$$S = h\rho g \quad \text{kN}/\text{m}^2 \quad (2-6)$$