

荷载与结构可靠度

HEZAI YU JIEGOU KEKAODU

哈莉娅·达力列汗 主 编

新疆大学出版社
XINJIANG UNIVERSITY PRESS

荷载与结构可靠度

哈莉娅·达力列汗 主 编

哈里曼·达力汗 副主编

新疆大学 出版社

图书在版编目(CIP)数据

荷载与结构可靠度/哈莉娅·达力列汗主编. —乌鲁木齐

齐:新疆大学出版社, 2009. 2

ISBN 978 - 7 - 5631 - 2201 - 1

I. 荷… II. 哈… III. 工程结构—结构载荷—可靠性—

高等学校—教材 IV. TU312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 022575 号

内 容 简 介

荷载是工程结构设计的重要方面,也是着手工程设计需要解决的重要问题,而概率可靠度方法已成为各类工程结构设计的理论基础。本教材介绍了工程结构各类荷载的基本概念及其确定方法,以及结构可靠度的基本原理。全教材共分两个部分:第一部分介绍了工程结构荷载及其确定方法,内容包括为:绪论、重力荷载、侧压力、地震作用、风荷载、其他作用;第二部分介绍了工程结构可靠度基本概念和设计方法,内容包括:工程结构荷载的统计分析、结构构件抗力的统计分析、结构可靠度理论的数学基础和基本概念、结构可靠度的计算方法、基于结构可靠度的结构设计。

本教材是根据教育部大学本科新专业目录规定的土木工程专业培养要求编写的,可作为土木工程专业的基础课教材,也可供从事各类工程结构设计与施工的工程技术人员参考。

荷载与结构可靠度

哈莉娅·达力列汗主编

新疆大学出版社出版发行

(乌鲁木齐市胜利路 14 号 邮编:830046)

乌鲁木齐旭鸿工贸有限公司印刷

787mm × 1092mm 1/16 350 千字 13.875 印张

2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷

印数:001 ~ 500 册

ISBN 978 - 7 - 5631 - 2201 - 1

定价:19.80 元

前 言

1998 年,教育部颁布了新的大学本科专业目录,将原来 500 多个专业合并减少了一半,其中原建筑工程专业、交通土建专业等合并拓展成土木工程专业。建议将工程结构荷载和可靠度设计原理列为土木工程专业学生的专业基础教学内容。

各类工程结构的最重要功能,就是承受其生命全过程中可能出现的各种荷载。结构设计包括三部分内容:一是荷载,二是结构抗力,三是结构设计方法。结构设计时,荷载取值的大小及应考虑哪些荷载,将直接影响结构工作时的安全性。因此,工程结构设计时,需考虑哪些荷载,这些荷载产生的背景,以及各种荷载的计算方法应是一名结构工程师所具备的基本专业知识,因而也是土木工程专业学生需掌握的结构工程基本内容。而结构抗力则由有关“钢筋混凝土结构”、“钢结构”等书或教材介绍。工程结构的设计方法经历了经验定值设计法、半经验半概率定值设计法和概率定值设计法三个阶段,目前国际上关于工程结构设计,普遍采用概率定值设计法。所谓概率定值设计法,是以结构概率可靠度为基础,以确定性荷载和确定性结构抗力为形式的结构设计方法。本教材涉及荷载和结构设计方法两部分内容。通过对本课程的学习,学生应掌握工程结构设计时需考虑的各种主要荷载,这些荷载产生的背景以及各种荷载的计算方法,并掌握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。

本教材是基于 2001 年的校内自编讲义,在新疆大学经过 7 年使用(两次印刷)的基础上正式出版。在此非常感谢在 2001 年编写讲义时给予很大帮助的大连理工大学土木水利学院袁永博教授,上海建泰预应力工程公司张保和博士,新疆大学建筑工程学院乐凤江副教授、胡西塔尔、卡德尔老师及现给予大力支持的新疆大学出版社、教务处及院系领导。

由于编者水平有限,书中难免有不当和错误之处,敬请各位读者批评指正。

目 录

1 绪论	1
1.1 作用与荷载	1
1.2 结构上的作用及作用分类	1
1.3 结构可靠性定义	3
1.4 工程结构设计理论演变简况	4
2 重力作用	7
2.1 结构自重	7
2.2 土的自重应力	7
2.3 雪荷载	9
2.4 屋面及楼面活荷载	11
2.5 工业建筑楼面活荷载	19
2.6 人群荷载	23
2.7 车辆设计荷载	24
2.8 厂房吊车荷载	28
3 侧压力	32
3.1 土的侧向压力	32
3.2 基本原理	33
3.3 土的侧压力计算	35
3.4 水压力及流水压力	37
3.5 冰压力	40
3.6 冻胀力	43
3.7 浮托力	46
4 地震作用	48
4.1 地震成因及震害	48
4.2 我国地震的特点及抗震对策	48
4.3 有关地震的概念和名词术语	49
4.4 地震波与地面运动	52
4.5 抗震设防	55

4.6	与地震作用计算有关的参数及概念	58
4.7	地震作用确定方法	61
4.8	多质点体系水平地震作用	71
4.9	计算多质点体系水平地震作用的振型分解反应谱法	77
4.10	计算水平地震作用的底部剪力法	80
4.11	竖向地震作用	83
4.12	时程分析法、能量分析法简介	86
4.13	桥梁的地震作用	86
5	风荷载	91
5.1	风的有关知识	91
5.2	风压高度变化系数 μ_z	96
5.3	风载体型系数	98
5.4	结构抗风计算的几个重要概念	100
5.5	结构总风效应	113
6	其他作用	114
6.1	温度作用	114
6.2	变形作用	117
6.3	爆炸作用	118
6.4	制动力与冲击力	121
6.5	离心力	123
6.6	预应力	123
7	工程结构荷载的统计分析	130
7.1	荷载的概率模型	130
7.2	荷载的代表值	135
7.3	荷载效应组合	138
8	结构构件抗力统计分析	144
8.1	抗力统计分析的一般概念	144
8.2	结构构件抗力不定性诸因素	145
8.3	结构构件抗力的统计特征	147
9	结构可靠度理论的数学基础和基本概念	150
9.1	结构可靠度的数学基础	150
9.2	结构可靠性中的若干基本概念	157

10 结构可靠度的计算方法.....	169
10.1 一次二阶矩法.....	169
10.2 随机变量间的相关性对结构可靠度的影响.....	174
10.3 结构体系的可靠度.....	175
11 基于可靠度理论的结构设计.....	183
11.1 结构设计的目标.....	183
11.2 校核结构的可靠度.....	186
11.3 进行结构构件截面设计.....	187
11.4 结构抗震设计表达式.....	195
11.5 材料强度取值.....	198
附录 1 我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组	200
附表 1 正态分布的密度函数表	208
附表 2 正态分布表	210
附图 1 全国基本雪压分布图	212
附图 2 全国基本风压分布图	213
参考文献.....	214

1 绪论

工程是指用石材、砖、砂浆、水泥、混凝土、钢材、钢筋混凝土、木材、塑料、铝合金等建筑材料修建的房屋、铁路、道路、桥梁、隧道、运河、堤坝、港口、塔架等设施。结构是指由若干构件连接而成的能够承受作用的平面或空间体系。工程结构就是能为人们的“衣、食、住、行”提供各种活动所需要的、功能良好、舒适美观的空间和通道,并具有承受其使用过程中可能出现的各种环境作用而满足安全、适用、耐久的功能。

进行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能力,满足各种预定的功能要求。设计的结构和结构构件在规定的使用年限内,在正常的维护条件下,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(类型和大小)。

1.1 作用与荷载

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,作用于桥面的车辆、人群,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,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,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”。按照国际通行做法和现行国家标准,“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。但目前在涉及道路、桥梁、隧道设计的行业标准中,尚未引进“作用”代替“荷载”,仍沿用“荷载”一词表述引起结构产生效应的直接作用和间接作用。

1.2 结构上的作用及作用分类

《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068 - 2001)对结构上的作用有明确的阐述。结构上的作用是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。

1.2.1 作用按其形式不同可分为以下两类

(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、人群、家具、设备、车辆等重力,以及雪压力、土压力、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;材料收缩和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。

1.2.2 作用按时间不同可分为以下三类

(1)永久作用。在结构使用年限内,其值不随时间变化,或其变化的量值相对于平均值而言可以忽略不计,或其变化是单调的并能趋于限值的作用。例如结构自重,随时间单调变化而能趋于限值的土压力、预应力,水位不变的水压力,在若干年内基本上完成的混凝土收缩和徐变、基础不均匀沉降等均可列为永久作用。

(2)可变作用。在结构使用年限内,其值随时间变化,且其变化的量值与平均值不可忽略不计的作用。例如楼面活荷载、车辆、人群、设备重力、车辆冲击力和制动力、风荷载、雪荷载、波浪荷载、水位变化的水压力及温度变化等均属可变作用。

(3)偶然作用。在结构使用年限内不一定出现,但一旦出现,其值很大且持续时间很短的作用。例如地震作用、爆炸力等均属偶然作用。

随时间变异的作用分类是结构作用的基本分类,应用非常广泛。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。

永久荷载和可变荷载类同于以往所谓的恒荷载和活荷载,而偶然荷载也相当于特殊荷载。

1.2.3 作用按空间位置不同可分为以下两类

(1)固定作用。在结构空间位置上具有固定不变的分布,但其量值可能具有随机性。例如固定设备荷载、屋顶水箱重量等。

(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。例如车辆荷载、吊车荷载等。

由于自由作用是可以任意分布的,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。

1.2.4 作用按结构反应不同可分为以下两类

(1)静态作用:不使结构或结构构件产生加速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。

1.2.5 作用按方向分类

在工程中,为了便于力学计算和分析荷载效应对结构的影响,常常对一部分土木工程结构上的荷载(例如房屋建筑的荷载)按荷载作用方向分为竖向荷载(例如结构自重、楼面荷载等)和水平荷载(例如风荷载、水平地震作用等)。

在建筑结构中,除了结构特别不对称及竖向荷载特别不对称的情况之外,在竖向荷载(特别是恒载)作用下,结构产生内力,许多构件会产生一定量的竖向位移,例如楼面的梁、板会产生挠度,墙、柱会有一些缩短等。在竖向荷载作用下,结构产生的侧向位移很小,可以忽略不计。结构在水平荷载作用下,不论结构是否对称,结构不仅产生内力,而且产生明显的侧向位移,特别是高层建筑。这样,在进行结构的荷载效应计算时,可以用不同的简化方法分别计算竖向荷载和水平荷载作用下的荷载效应,通常只考虑在水平荷载作用下产生侧向位移。在结构设计的方案阶段,可以将结构上的荷载分为竖向荷载和水平荷载两部分,并对其大小进行估算,根据两者对结构作用的关系,评价结构的抗倾覆能力和结构高宽比的合理性。在高层建筑结构设计中,由于结构的侧向位移是一个主要的控制指标,因此,在结构设计的初步阶段,可以仅考虑结构在水平荷载作用下的侧向位移,并以此评价结构的合理性。

另外,若荷载对结构高频率重复作用(例如工业厂房中吊车对吊车梁的作用,某些情况下车辆对桥梁的作用等),则称为重复荷载。重复荷载可使结构或构件产生疲劳,承载力降低。

1.3 结构可靠性定义

结构在其使用期内,承受设备、人群、车辆等动、静使用载荷,经受风、雨、冰雪、日照等气象作用,经受波浪、水流、地震等自然作用,有的还要经受冲击、振动、过载和气动载荷等这样一些动载作用。这些载荷作用我们无法预知并且不可能完全确定它们。

结构可靠性就是研究结构在各种因素作用下的安全问题。它的内容包括:结构的安全性、适用性、耐久性及其组合。对于结构可靠性,给出如下定义:结构在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的能力。

在实际应用中,为了定量地进行分析计算,给出结构可靠性的数量指标,引入了可靠度的概念:结构在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的概率。

有时,为了计算方便,把结构可靠度定义为在某个寿命跨度上,结构实际上将留存的概率。

结构可以是一个构件,也可以是一个部件或是一个结构系统,这要视具体的研究对象而定。根据结构可靠性的定义,结构可靠性明显地与时间有关。因为我们研究的任何结构对象,有的是几年、几十年或者更长的时间,如一些工业及民用建筑结构。这种时间称为结构的有效时间或使用时间,一般在设计时就予以确定,超出了这个时间,结构的可靠性会降低到规定的标准以下,不宜继续使用,或者再谈论结构的可靠性问题就没有意义了。

与结构可靠性密切相关的另一个问题是规定条件,这种条件是指结构所处的外部环境条

件,诸如外力、温度、振动、冲击、周围介质等等情况。同一种结构,在不同的外部环境条件下,其可靠性可能全然不同。某些结构,在恶劣的外部环境条件下,也许根本不能胜任工作,或者说具有很低的可靠性。

我们在设计或制造任何一种工程结构时,都赋予它一定的功能。例如,桥梁的功能是保证车辆、行人安全通行,机床的功能是进行机械加工,有些结构,可能会有多种功能。结构可靠性所研究的,正是这些规定功能的实现情况。在结构可靠度的计算中,用概率将这种功能的实现情况定量地表示出来。这就暗含着所规定的结构功能可能会实现,但在另一方面,也存在不会实现的可能性,也就是说,允许有失效或者故障发生。可靠和失效是一个统一体内存在着的事物的两个方面,在估价结构可靠性时,必须对结构失效有充分的了解。

结构的安全与否,关系到工农业生产,关系到人民的生命财产,关系到科技进步的进程,直接关系到国家的信誉及安危。进行结构可靠性分析的目的,就是讲结构可靠性或失效可能性的大小,用概率定量地表示出来,以保证结构具有足够的安全水平。

1.4 工程结构设计理论演变简况

工程结构设计的目的在于保证设计结构和结构构件在施工和使用过程中能满足预期的安全性和使用性能要求。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。我国的工程结构方法经历了容许应力设计法、破损阶段设计法、多系数极限状态设计法和概率极限状态设计法4个阶段。

1.4.1 容许应力设计法

早期由于人们对结构材料的性能及其内在规律尚未认识,大多数国家采用以弹性理论为基础的容许应力设计方法。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,现在已不被绝大多数国家采用。容许应力设计法是建立在弹性理论基础上的设计方法。其表达式为:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1.1)$$

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,但其有许多问题:(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。

1.4.2 破损阶段设计法

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：

$$M \leq M_u/k \quad (1.2)$$

式中, M_u ——构件最终破坏时的承载力;

k ——安全系数,用来考虑影响结构安全的所有因素。

式(1.2)的优点为:(1)它可以反映材料的塑性性质,结束了长期以来假定混凝土为弹性体的局面。(2)采用一个安全系数,使构件有了总的安全度的概念。(3)它以承载能力值(如 M_u)为依据,其计算值是否正确可由实验检验。

破损阶段理论仍存在一些重大缺点:(1)破损阶段计算,构件的承载力是得以保证,但却无法了解构件在正常使用时能否满足正常使用要求。(2)安全系数 k 的取值仍须经验确定,并无严格的科学依据。(3)采用笼统的单一安全系数,无法就不同荷载、不同材料结构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。(4)荷载的取值仍然也是经验值;(5)表达式中采用的材料强度是平均值,它不能正确反映材料强度的变异程度,显然也是不够合理的。

1.4.3 多系数极限状态设计法

由于破损阶段理论仍有许多缺点,进一步发展的极限状态理论便应运而生。极限状态的主要概念是明确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。当时曾提出了三种极限状态: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:

$$M \leq M_u \quad (1.3)$$

$$f_{\max} \leq f_{\lim} \quad (1.4)$$

$$W_{\max} \leq W_{\lim} \quad (1.5)$$

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。

1.4.4 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,将作用效应和影响结构抗力的主要因素作为随机变量,根据统计分析确定可靠概率来度量结构可靠性的结构设计方法。其特点是有明确的、用概率尺度表达的结构可靠度的定义,通过预先规定的可靠指标值,使结构各构件间,以及不同材料组成的结构之间有较为一致的可靠度水平。

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。对荷载效应和结构抗力的基本变量部分地进行数理统计分析,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。

(2)水准 II ——近似概率法。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,并采用了线性化的近似手段,在设计截面时一般采用分项系数的实用设计表达式。目前我国的《工程结构可靠度设计统一标准》(GB50153 -

92)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068 - 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。

(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。

习 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 工程结构设计中,如何对结构上的作用进行分类?
- 1.3 举例说明直接作用和间接作用的区别。
- 1.4 什么是概率极限状态设计法?

2 重力作用

地球上一定高度范围内的物体均会受到地球引力的作用而产生重力,该重力导致的荷载称为重力荷载,主要包括结构自重、土的自重、雪荷载、车辆重力、屋面和楼面活荷载、吊车荷载等。

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,一般而言,可以根据结构各部件或构件尺寸及所使用的材料种类、构件尺寸和材料重度计算构件自重。

$$G_k = \gamma V \quad (2.1)$$

式中, G_k —— 构件的自重 (kN);

γ —— 构件材料的重度 (kN/m³);

V —— 构件的体积,一般按照设计尺寸确定 (m³)。

常见材料和构件的重度见《建筑结构荷载规范》(GB 50009 - 2001) 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的材料重度可能不同,计算结构总自重时可将结构人为地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。

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

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)。

2.2 土的自重应力

2.2.1 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 γ ,在深度 z 处水平截面如图 2-1(a),土体因自身

重量产生的竖向应力 σ_{cz} 可取该截面上单位面积的土柱体的重力即：

$$\sigma_{cz} = \gamma z \quad (2.3)$$

可见自重应力 σ_{cz} 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。图 2-1(b) 所示。

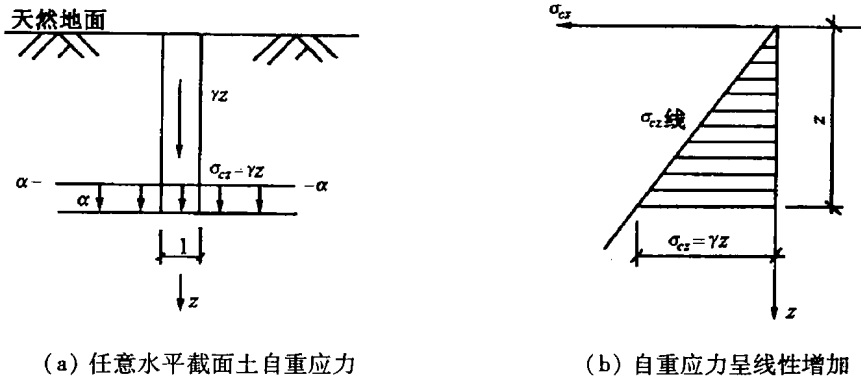


图 2-1 均质土中竖向自重应力

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。因此粒间应力是影响土体强度的重要因素, 粒间应力又称为有效应力。如土层处于地下水位以上, 按式(2.3) 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, 则应以地下水位面作为分层界面, 界面以下土层应扣除浮力的影响, 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。

2.2.2 成层土自重应力

一般情况下, 地基土是由不同重度的土层组成的层状介质, 设天然地面以下各土层的厚度 h_i , 重度 γ_i , 则天然地面下深度 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

$$\sigma_{cz} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \cdots + \gamma_n h_n = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (2.4)$$

式中, n —— 从天然地面起到深度 z 处土的层数;

h_i —— 第 i 层土的厚度 (m);

γ_i —— 第 i 层土的天然重度 (kN/m^3), 对地下水位以下的土层, 取有效重度 γ'_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粘土层, 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 为成层土中竖向自重应力沿深度分布示意图。

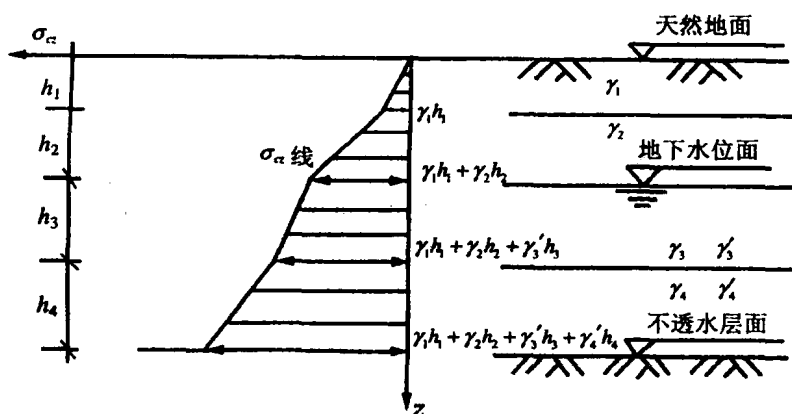


图 2-2 成层土中竖向自重应力沿深度分布

2.3 雪荷载

雪荷载是房屋屋面的主要荷载之一。在我国寒冷地区及其他大雪地区,因雪荷载导致屋面结构以及整个结构破坏的事例时有发生。尤其是大跨度结构,因此在有雪地区,在结构设计中必须考虑雪荷载。

2.3.1 雪压

所谓雪压是指单位面积地面上积雪的自重。

$$s = \gamma d \quad (2.5)$$

式中, s ——雪压 (N/m^2);

γ ——雪重度 (N/m^3);

d ——雪深 (m)。

2.3.2 雪重度

雪重度是一个随时间和空间变化的量,它随积雪厚度、积雪时间的长短即地理气候条件等因素的变化而有较大的差异。新鲜下落的雪重度较小,大约为 $500 \sim 1000 \text{N}/\text{m}^3$ 。当积雪达到一定的厚度时,积存在下层的雪由于受到上层雪的压缩其密度增加。越靠近地面,雪的重度越大,雪深越大,下层的重度越大。

在寒冷地区,积雪时间一般较长甚至存在整个冬季,随着时间的延续,积雪由于受到压缩、融化、蒸发及人为搅动等,其重量不断增加。从冬初到冬末,雪重度可差 1 倍。

国际结构安全联合委员会建议的公式为:

$$\gamma = 3000 - 2000e^{-1.5d} \quad (2.6)$$

式中, d ——雪深 (m)

可见,雪重度是随雪深和时间变化的。但为了工程上应用方便,常将雪重度定为常数,即以某地区的气象记录资料经统计后所得雪重度平均值或某分位值作为该地区的雪重度。考虑到我国国土幅员辽阔,气候条件差异较大,对不同的地区取用不同的雪重度:东北及新疆北部地

区的雪重度取 150kg/m^3 ;华北及西北地区取 130kg/m^3 ,其中青海取 120kg/m^3 ;淮河、秦岭以南地区取 150kg/m^3 ,其中江西、浙江取 200kg/m^3 。

2.3.3 基本雪压

基本雪压是指当地空旷平坦地面上,积雪分布保持均匀的情况下,根据气象记录资料统计得到的在结构使用期间可能出现的最大雪压值(重现期为 50 年的最大雪压)。

当气象台站有雪压记录时,应直接采用雪压数据计算基本雪压;当无雪压记录时,可取为当地的最大积雪深度与当地积雪平均重度的乘积。应当指出,最大积雪深度与最大积雪重度并不一定同时出现。当年的最大雪深出现时,对应的雪重度往往不是该年度的最大值。因此采用平均雪重度来计算基本雪压是合理的。当然最好的方法是直接记录地面雪压值,这样可以避免最大积雪深度和最大积雪重度不同时出现带来的问题,准确确定基本雪压值。

附图 1 给出了我国城市 50 年一遇的基本雪压值。当城市或建设地点的基本雪压值在附图 1 中没有给出时,可根据当地年最大雪压或雪深资料,按基本雪压定义,通过统计分析确定。当地没有雪压和雪深资料时,可根据附近地区规定的基本雪压,通过气象和地形条件的对比分析确定;也可按《建筑结构荷载规范》GB50009 - 2001 给出的全国基本雪压分布图近似确定。

为了满足实际工程中某些情况下需要的不是重现期为 50 年的雪压数据要求,在《建筑结构荷载规范》(GB 50009 - 2001)附录 D 中对部分城市给出重现期为 10 年、50 年和 100 年的雪压数据。已知重现期为 10 年及 100 年的雪压时,求当重现期为 R 年时的相应雪压值时可按下式确定:

$$X_R = X_{10} + (X_{100} - X_{10})(\ln R / \ln 10 - 1) \quad (2.7)$$

式中, X_R ——重现期为 R 年的雪压值 (N/m^2);

X_{10} ——重现期为 10 年的雪压值 (N/m^2);

X_{100} ——重现期为 100 年的雪压值 (N/m^2)。

当地的年最大雪压资料不足 10 年,可通过与有长期资料或有规定基本雪压的附近地区进行比较分析,确定其基本雪压。当地没有雪压资料时,可通过对气象和地形条件的分析,并参照全国基本雪压分布图(附图 1)上的等压线用插入法确定其基本雪压。

山区的基本雪压应通过实际调查后确定,无实测资料时,可按当地空旷平坦地面的基本雪压值乘以系数 1.2 采用。但对于积雪局部变异特别大的地区,以及高原地形的山区,应予以专门调查和特殊处理。对雪荷载敏感的结构,基本雪压适当提高的,并应由有关结构设计规范具体规定。

2.3.4 我国基本雪压的分布特点

(1) 新疆北部是我国突出的雪压高值区。该地区由于冬季受到北冰洋南侵冷湿气流影响,雪量丰富,且阿尔泰山、天山等山脉对气流有阻滞作用,更有利于降雪。加上温度低,积雪可以保持整个冬季不融化,新雪覆盖老雪,形成了特大雪压。在阿尔泰山区域雪压值可达 1N/m^2 。

(2) 东北地区由于气旋活动频繁,并有山脉对气流起抬升作用,冬季多降雪天气,同时气温低,更有利于积雪。因此大兴安岭及长白山区是我国另一个雪压高值区。黑龙江北部和吉林