



普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材



工程荷载与可靠度设计原理

主编 王显利 秦 力



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

ISBN 978-7-307-10830-7

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材

工程荷载与可靠度设计原理

主 编 王显利 秦 力
副主编 刘 卉 陈 岩



武汉大学出版社
地址：武汉市武昌区
电话：(027) 87543000
ISBN 978-7-307-10830-7



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程荷载与可靠度设计原理/王显利,秦力主编. —武汉:武汉大学出版社,2018.4

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材

ISBN 978-7-307-19826-5

I. 工… II. ①王… ②秦… 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. TU312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 276553 号

代 秦 保 显 王 编 主
法 秦 力 编 主 撰

责任编辑:孙 丽 杨赛君

责任校对:杜筱娜

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:9.75 字数:267千字

版次:2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷

ISBN 978-7-307-19826-5

定价:28.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材 编审委员会

(按姓氏笔画排名)

主任委员:刘殿忠

副主任委员:张利 孟宪强 金菊顺 郑毅 秦力

崔文一 韩玉民

委员:马光述 王睿 王文华 王显利 王晓天

牛秀艳 白立华 吕文胜 仲玉侠 刘伟

刘卫星 李利 李栋国 杨艳敏 邱国林

宋敏 张自荣 邵晓双 范国庆 庞平

赵元勤 侯景鹏 钱坤 高兵 郭靳时

程志辉 蒙彦宇 廖明军

总责任编辑:曲生伟

秘书长:蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导模式转变为建设性、发现性的学习,从被动学习转变为主动学习,由教师传播知识到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,逐步配备基本数字教学资源,主要包括:

文本:课程重难点、思考题与习题参考答案、知识拓展等。

图片:课程教学外观图、原理图、设计图等。

视频:课程讲述对象展示视频、模拟动画,课程实验视频,工程实例视频等。

音频:课程讲述对象解说音频、录音材料等。

数字资源获取方法:

- ① 打开微信,点击“扫一扫”。
- ② 将扫描框对准书中所附的二维码。
- ③ 扫描完毕,即可查看文件。

更多数字教学资源共享、图书购买及读者互动敬请关注“开动传媒”微信公众号!



前 言

荷载是工程结构设计的重要方面,也是工程设计必须解决的关键问题。本书根据全国高等学校土木工程专业指导委员会对土木工程专业的培养要求、卓越工程师人才培养要求和教学大纲要求、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等编写而成,全面、系统地介绍了工程结构各类荷载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。

本书的编写虽以教学为主,但严格遵从该课程实践性强的特点,所述内容紧密联系实际;力求文字简练,重点突出;注重理论与实践相结合,确保其实践性和应用性。本书每章前有内容提要 and 能力要求,章中有典型例题,章后附有知识归纳和独立思考,便于读者理解、掌握与复习。

本书可作为高等院校土木工程专业“工程荷载与可靠度设计原理”课程的教材,也可作为工程技术人员的参考资料。

本书由北华大学王显利、东北电力大学秦力担任主编,长春工程学院刘卉、长春建筑学院陈岩担任副主编。具体编写分工为:王显利(第1章、第9章、第10章),刘卉(第2~4章、第6章),秦力(第5章),陈岩(第7章、第8章),全书由王显利负责统稿。

本书编写过程中,学习和参考了相关教材和论著,北华大学的常广利老师也参与了文字处理和图表制作等工作,同时本书的编写也得到了几位专家、教授的宝贵意见,在此一并表示感谢!

限于编者水平,书中尚有不足之处,敬请广大读者批评、指正。

编 者

2017年12月



目 录

1 荷载类型	1
1.1 荷载与作用/1	
1.2 结构的功能和极限状态/3	
1.3 荷载效应与结构抗力/6	
2 重力	8
2.1 结构自重/8	
2.2 土的自重应力/9	
2.3 雪荷载/11	
2.4 车辆荷载/15	
2.5 楼面活荷载/16	
2.6 人群荷载/20	
2.7 吊车荷载/21	
3 侧压力	24
3.1 土的侧向压力/24	
3.2 静水压力及流水压力/29	
3.3 波浪荷载/31	
3.4 冻胀力/36	
3.5 冰压力/38	
3.6 撞击力/40	
4 风荷载	42
4.1 风的有关知识/42	
4.2 结构抗风计算的几个重要概念/51	
4.3 结构风效应/54	
5 地震作用	61
5.1 地震基本知识/61	
5.2 单质点体系地震作用/72	
5.3 多自由度体系的地震反应分析与水平地震作用计算/79	
6 其他作用	91
6.1 温度作用/91	

6.2	变形作用/94	
6.3	爆炸作用/96	
6.4	浮力作用/100	
6.5	制动力、牵引力和冲击力/101	
6.6	离心力/103	
6.7	预加力/104	
7	荷载的统计分析	109
7.1	荷载的概率模型/109	
7.2	荷载的各种代表值/112	
7.3	荷载效应及荷载效应组合/113	
8	结构抗力的统计分析	116
8.1	影响结构抗力的不定性/116	
8.2	结构构件材料性能的不定性/117	
8.3	结构构件几何参数的不定性/118	
8.4	结构构件计算模式的不定性/119	
8.5	结构构件抗力的统计特征/119	
9	结构可靠度分析	122
9.1	结构可靠度基本概念/122	
9.2	结构可靠度分析的适用方法/126	
9.3	随机变量的相对性对结构可靠度的影响/132	
9.4	结构体系的可靠度/133	
10	结构概率可靠度设计法	138
10.1	结构设计的目标/138	
10.2	结构概率可靠度的直接设计法/139	
10.3	结构概率可靠度设计的实用表达式/142	
	参考文献	148



1 荷载类型

内容提要

本章主要内容包括荷载与作用、作用的分类、结构的功能和极限状态、荷载效应和结构抗力等基本概念。



5 分钟
看完本章

能力要求

通过本章的学习,学生应充分理解相关的基本概念,掌握各种荷载的取值及计算方法。

1.1 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,例如建造房屋可遮风挡雨,形成人类活动的空间;架桥铺路为人群和车辆提供通道。

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外力和环境作用,例如房屋结构要承受自重、人群和家具重量、风压力 and 雪压力等作用;道路桥梁要承受车辆重量、车辆制动力和冲击力、水压力和土压力等作用;地震区的工程结构还要承受地震作用。

工程结构设计的目的是确定外界作用对结构产生的效应(如应力、位移、变形等)和结构本身的抵抗能力(如承载力、刚度、延性等),然后将两者加以比较,使得结构的抗力大于外力,获得必要的安全性,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正常使用的范围内。

工程结构荷载确定不当或是结构抗力不足导致的结构倒塌破坏如图 1-1、图 1-2 所示。



荷载图



图 1-1 雪荷载造成的轻钢厂房垮塌



图 1-2 地震作用造成房屋倒塌

荷载是指使结构或构件产生内力和变形的外力及其他因素,习惯上是指施

加在工程结构上使工程结构或构件产生效应的各种直接作用,常见的有结构自重、楼面活荷载、屋面活荷载、屋面积灰荷载、车辆荷载、吊车荷载、设备动力荷载以及风、雪、裹冰、波浪等自然荷载。

结构上的作用是指能使结构产生效应(如内力、变形、位移等)的各种原因的总称(如地震、基础沉降、温度变化、焊接等)。引起结构产生作用效应的原因有以下两种:

(1)施加于结构上的集中力和分布力,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。它们都直接施加于结构,可用“荷载”表达。

(2)施加于结构上的外加变形和约束变形,如基础沉降导致结构外加变形而引起的内力效应,材料收缩和徐变或温度变化引起的约束变形产生的内力效应,由于地震作用造成地面运动致使结构产生惯性力而引起的作用效应等。它们都间接作用于结构,作用效应常与结构本身特征和所处环境有关。

作用可以分为直接作用和间接作用。直接作用直接以力的不同集结形式(集中力和分布力)作用于结构,例如结构自重、人群荷载、风荷载等;间接作用不直接以力的形式出现(外加变形和约束变形),但对结构产生内力,例如基础沉降、温度变化、地震作用等。

1.1.1 作用分类

为便于考虑不同作用所产生的效应,结构上的作用可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,或按作用方向分类,或按作用面大小分类。

1.1.1.1 按随时间的变异分类

(1)永久作用(永久荷载或恒荷载):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、土体侧压力、静水压力、预加应力、混凝土收缩和徐变、基础不均匀沉降等(后两者随时间单调变化而趋于限值)。

(2)可变作用(可变荷载或活荷载):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、风荷载、雪荷载、流水压力、温度变化等。

(3)偶然作用(偶然荷载、特殊荷载):在结构设计基准期内不一定出现,一旦出现其持续时间较短,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。

作用按时间的分类是最主要的分类,应用最多。

1.1.1.2 按随空间位置的变异分类

(1)固定作用: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,例如结构自重、固定设备自重、屋顶水箱重量等。

(2)可动作用: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,需要考虑其位置变化引起的最不利效应。

1.1.1.3 按结构的反应性质分类

(1)静态作用(静力作用):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,例如楼面上人员荷载、雪荷载、土压力等。

(2)动态作用(动力作用):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。

动态作用应当考虑其动力效应,一般采用乘以动力系数,将动态作用等效于静态作用的简化设计方法。

1.1.1.4 按作用方向分类

(1)竖向作用(竖向荷载),例如结构自重、楼面荷载等。

(2)水平作用(水平荷载),例如风荷载、水平地震作用等。

1.1.1.5 按作用面大小分类

(1)均布面荷载。如铺设的木地板、地砖、花岗石、大理石面层等重量而引起的荷载,可用材料的重度乘以面层材料的厚度得出均布面荷载值。

(2)线荷载。例如,建筑物原有的楼面或层面上的各种面荷载传到梁上或条形基础上时,可简化为单位长度上的分布荷载,即为线荷载。

(3)集中荷载。例如,建筑物的楼面放置或悬挂较重物品(如洗衣机、冰箱、空调机、吊灯等)时,其作用面积很小,可简化为作用于某一点的集中荷载。

除上述荷载外,还有在施工过程中出现的施工荷载。

1.1.2 荷载代表值

在设计时为了便于取值,给考虑荷载变异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,如标准值、组合值、频遇值和准永久值。荷载标准值是荷载的基本代表值,其他代表值都可以通过在标准值的基础上乘以相应系数得到。

(1)荷载标准值:荷载在结构使用期间可能出现的最大值,通过对某类荷载长期观察和实际调查,经统计分析给出。由于最大荷载值是随机变量,因此原则上应由设计基准期(50年)荷载最大值概率分布的某一分位数来确定,但有些荷载并不具备充分的统计参数,只能根据已有的工程经验确定,故实际上荷载标准值取值的分位数并不统一。

永久荷载标准值,对于结构或非承重构件的自重,由于其变异性不大,且多为正态分布,一般以其分布的均值(分位数为0.5)作为荷载标准值,可由设计尺寸和材料单位体积的自重计算确定。对于自重变异较大的材料,尤其是制作屋面的轻质材料和构件(如薄壁构件等),考虑结构的可靠性,在设计中应该根据该荷载对结构有利还是不利,分别取其自重的上限值和下限值。

可变荷载标准值由《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012,以下简称《荷载规范》)给出,设计时可直接查用,如住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、教室、实验室等楼面均布荷载标准值为 2.0kN/m^2 ;食堂、餐厅、一般资料档案室等楼面均布荷载标准值为 2.5kN/m^2 。

(2)荷载组合值:两种或两种以上可变荷载同时作用于结构,主导荷载取标准值,伴随荷载取小于标准值的组合值,即标准值乘以一个组合值系数。

(3)荷载准永久值:可变荷载在结构使用期间经常达到和超过的值,可在标准值上乘以一个准永久值系数得出。荷载准永久值系数由《荷载规范》给出,设计时可直接查用。

(4)荷载频遇值:可变荷载在结构上频繁出现且量值较大的值,可以通过乘以频遇值系数得到。

(5)荷载设计值:为荷载代表值与荷载分项系数的乘积。

在工程结构设计时,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;偶然荷载依据观察资料、试验数据以及工程经验确定代表值。

1.2 结构的功能和极限状态

1.2.1 结构的功能要求

土木工程结构设计的基本目标是,在一定的经济条件下,赋予结构以足够的可靠度,使结构建成后在规定的设计使用年限内能满足设计所预定的各种功能要求。一般说来,房屋建筑、公路、桥

梁等结构必须满足的功能要求可概括为以下三方面。

(1) 安全性。在正常施工和正常使用时,结构应能承受可能出现的各种外界作用(如各类外加荷载,温度变化,支座移动,基础沉降,混凝土收缩、徐变等);在预计的偶然事件(如地震、火灾、爆炸、撞击、龙卷风等)发生时及发生后,结构仍能保持必需的整体稳定性,不致发生连续倒塌。

(2) 适用性。结构在正常使用时应具有良好的工作性能,其变形、裂缝或振动性能等均不超过规定的限度,如吊车梁变形过大则影响运行,水池开裂便不能蓄水。

(3) 耐久性。结构在正常使用、维护的情况下应具有足够的耐久性能,如混凝土保护层不得过薄,裂缝不得过宽而引起钢筋锈蚀;混凝土不得风化,不得在化学腐蚀环境下影响结构预定的设计使用年限等。

结构在预定的期限内,在正常使用条件下,若能同时满足上述要求,则称该结构可靠。因此,可以将结构的安全性、适用性和耐久性统称为结构的可靠性。

1.2.2 结构的设计基准期与设计使用年限

设计基准期和设计使用年限是极易混淆的两个基本概念。结构的设计基准期 T 是在确定可变荷载及与时间有关的材料性能取值时选用的时间参数,它不等同于结构设计的使用年限。我国针对不同的工程结构,规定了不同的设计基准期,如建筑结构为 50 年,桥梁结构为 100 年,水泥混凝土路面结构不大于 30 年,沥青混凝土路面结构不大于 15 年。

《混凝土结构设计规范(2015 年版)》(GB 50010—2010)借鉴国际标准首次提出了各种建筑结构的“设计使用年限”,明确了设计使用年限是结构在正常设计、正常施工、正常使用和维护条件下所应达到的使用年限。在这一规定时期内,结构只需进行正常的维护而不需要进行大修就能按预期目的使用,以完成预定的功能。如达不到这个年限,则说明在设计、施工、使用与维护的某一环节上出现了非正常情况,应及时查找原因。结构可靠度或失效概率就是相对于结构的设计使用年限而言的,当结构的实际使用年限超过设计使用年限后,结构失效概率将会比设计时的预期值增大,但并不意味着该结构立即丧失功能或报废。《混凝土结构设计规范(2015 年版)》(GB 50010—2010)规定的各类建筑结构设计使用年限列于表 1-1 中。

表 1-1 建筑结构设计使用年限分类

类别	设计使用年限/年	示例
1	5	临时性结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

1.2.3 结构的安全等级

合理的工程结构设计应兼顾结构的可靠性与经济性。若将结构的可靠度水平定得过高,则会提高工程造价,不符合经济性的原则;但一味强调经济性,又不利于可靠性。因此,设计时应根据结构破坏可能产生的各种后果(危及人的生命,造成经济损失,产生社会影响等)的严重程度,对不同的工程结构采用不同的安全等级。建筑结构的安全等级如表 1-2 所示。

对于有特殊要求的工程结构,其安全等级可根据具体情况另行确定,并应符合有关规范的规定。

一般情况下,同一结构中各类构件的安全等级宜与整体结构同级,同一技术等级公路路面结构

表 1-2 建筑结构的的安全等级

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一级	很严重	重要的房屋
二级	严重	一般的房屋
三级	不严重	次要的房屋

的安全等级也宜相同,必要时也可调整其中部分构件或部分路面地段的安全等级,但调整后的安全等级不得低于三级(建筑结构)或其级差不得超过一级(公路桥梁结构)。

1.2.4 结构的极限状态

极限状态是判断结构是否满足某种功能要求的标准,是结构可靠(有效)或不可靠(失效)的临界状态。极限状态的一般定义是:整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态称为该功能的极限状态。

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。

《混凝土结构设计规范(2015年版)》(GB 50010—2010)和《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)都将极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。对于结构的各种极限状态,均应规定明确的标志及限值。

(1) 承载能力极限状态。

这类极限状态对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。当结构或结构构件出现下列状态之一时,即认为超过了承载能力极限状态:

① 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡(如雨篷、烟囱等倾覆,挡土墙滑移等)。

② 结构构件或其连接因超过材料强度而破坏(包括疲劳破坏,如轴心受压构件中混凝土达到轴心抗压强度,构件钢筋因锚固长度不足而被拔出等),或者因为过度的塑性变形而不适于继续承受荷载。

疲劳破坏是在使用中由于荷载多次重复作用而使构件丧失承载能力。结构构件由于塑性变形过大而使其几何形状发生显著改变,这时虽未达到最大承载能力,但已彻底不能使用,故应属于达到这类极限状态。

③ 由于某些截面或构件的破坏而使结构变为机动体系。

④ 结构或结构构件丧失稳定(如压屈等)。

⑤ 地基丧失承载能力而破坏(如失稳等)。

(2) 正常使用极限状态。

这类极限状态对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。当结构或结构构件出现下列状态之一时,即认为超过了正常使用极限状态:

① 影响正常使用或有碍外观的变形;

② 影响正常使用或耐久性能的局部损坏(包括裂缝过宽等);

③ 影响正常使用的振动;

④ 影响正常的其他特定状态(如混凝土腐蚀,结构相对沉降量过大等)。

除了上述划分方法外,极限状态根据结构或结构构件超越后的状态划分为不可逆极限状态和可逆极限状态。

(1) 不可逆极限状态:引起超越的作用撤除后仍将长期保持超越效应的极限状态,也即因超越极限状态而引起的损坏和功能失常不能自动恢复。

(2)可逆极限状态:引起超越的作用撤除后,将不再保持超越效应的极限状态,即结构自身功能由不期望状态转变为期望状态。

超过承载能力极限状态的过程一般是不可逆的,一旦出现将会引起结构失效;超过正常使用极限状态的过程一般是可逆的,但有些情况下是不可逆的,如永久性的局部损坏和永久性的不可接受变形。

在结构设计时,应考虑所有可能的极限状态,以保证结构具有足够的安全性、适用性和耐久性,并按不同的极限状态采用相应的可靠度水平进行设计。承载能力极限状态的出现概率应当控制得很低,因为它可能导致人身伤亡和大量财产损失。正常使用极限状态可理解为结构或结构构件使用功能的破坏或损害,或结构质量的恶化,与承载能力极限状态相比,其由于危害较小,故允许出现概率可以相对高些,但仍应予以足够的重视。因为结构构件的过大变形虽然一般不会导致破坏,但是会造成房屋内粉刷层剥落,填充墙和隔断墙开裂以及屋面积水等不良后果,过大的变形也会给用户造成心理上的不安全感。钢筋混凝土构件过大的裂缝不仅有损建筑物外观,而且会影响结构的耐久性,有时也会导致重大的工程事故。

1.3 荷载效应与结构抗力

1.3.1 荷载效应及荷载效应组合

1.3.1.1 荷载效应

荷载效应是指在建筑结构设计中,由荷载作用引起的结构或结构构件内产生的内力(如轴力、剪力、弯矩等)变形和裂缝等的总称。

1.3.1.2 荷载效应组合

结构或结构构件在使用期间,除承受恒荷载外,还可能同时承受两种或两种以上的活荷载,这就需要给出这些荷载同时作用时产生的效应,这就是荷载效应组合的概念。例如,一般用途的高层建筑结构承受的竖向荷载有结构、填充墙、装修等自重(永久荷载)和楼面使用荷载、雪荷载等(可变荷载),水平荷载有风荷载及地震作用。各种荷载可能同时出现在结构上,但是出现的概率不同。

按照概率统计和可靠度理论把各种荷载效应按一定规律加以组合,就是荷载效应组合。

《荷载规范》中给出的自重及使用荷载、雪荷载等值,以及风荷载、地震等效荷载值都称为荷载标准值。各种标准荷载独立作用产生的内力及位移称为荷载效应标准值,在组合时各项荷载效应应乘以分项系数及组合系数。分项系数是考虑各种荷载可能出现超过标准值的情况而确定的荷载效应增大系数,而组合系数则是考虑某些荷载同时作用的概率较小,在叠加其效应时要乘以小于1的系数。例如,风荷载和地震作用同时达到最大值的概率较小,因此在风荷载和地震作用组合时风荷载乘以组合系数0.2。

1.3.2 结构抗力

结构抗力是指整个结构或结构构件承受作用效应(即内力和变形)的能力,如构件的承载能力、刚度等。例如,混凝土结构构件的截面尺寸、混凝土强度等级以及钢筋的种类、配筋的数量及方式等确定后,构件截面便具有一定的抗力。结构抗力是结构内部固有的,可按一定的计算模式确定。影响抗力的主要因素有材料性能(强度、变形模量等)、几何参数(构件尺寸)和计算模式的精确性(抗力计算所采用的基本假设和计算公式不够精确等)等。这些因素都是随机变量,因此由这些因

素综合而成的结构抗力也是一个随机变量。

综上所述,结构上的作用(特别是可变作用)与时间有关,结构抗力也与时间有关,结构抗力随时间变化。

知识归纳

- (1) 荷载与作用的分类及其代表值。
- (2) 结构的几种功能及极限状态的概念。
- (3) 荷载效应和结构抗力的定义。

独立思考

- 1-1 什么是作用、效应? 请举例说明。
- 1-2 荷载代表值有哪些? 都如何取值?
- 1-3 什么是结构的极限状态? 它分为哪几种极限状态?



扫一扫
手机扫码



扫码时请
用手机扫码

2 重 力



5 分钟
看完本章

内容提要

本章主要内容包括结构、土的自重计算方法,雪荷载的取值原则、分布及计算方法,汽车荷载、人群荷载和吊车荷载的取值及计算方法,楼面活荷载的取值及折减方法。

能力要求

通过本章的学习,学生应掌握各种荷载的取值及计算方法。

2.1 结构自重



材料和建筑
构件重量表

结构自重是由地球引力产生的组成结构的材料重力,结构自重的标准值可按结构构件的设计尺寸与材料单位体积的自重计算确定[式(2-1)]。一般材料和构件的单位自重可取其平均值,对于自重变异较大的材料和构件(如现场制作的保温材料、混凝土薄壁构件等),其自重的标准值应根据对结构的不利状态,取上限值或下限值。固定隔墙的自重可按永久荷载考虑,位置可灵活布置的隔墙自重应按可变荷载考虑。

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

式中 G_b —— 构件的自重, kN;

γ —— 构件材料的重度, kN/m³;

V —— 构件的体积,一般按设计尺寸确定, m³。

式(2-1)适用于一般建筑结构、桥梁结构以及地下结构等各构件的自重计算,但必须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,然后叠加即可得到结构总自重,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;

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。

【例 2-1】 某单层工业厂房屋盖,屋面做法是:20mm 厚 1:3 水泥砂浆找平层;冷底子油两道隔汽层;100mm 厚泡沫混凝土隔热层;15mm 厚 1:3 水泥砂浆

找平层;防水层是冷底子油一道,二毡三油防水层,绿豆砂保护层。屋面结构部分由 $1.5\text{m} \times 6.0\text{m}$ 大型屋面板和屋架组成。试确定屋盖重力荷载设计值(恒荷载分项系数取 1.2)。

材料容重标准值取值如下:

- ①水泥砂浆找平层 $20\text{kN}/\text{m}^3$;
- ②冷底子油两道隔汽层 $0.05\text{kN}/\text{m}^2$;
- ③泡沫混凝土隔热层 $5\text{kN}/\text{m}^3$;
- ④1:3 水泥砂浆找平层 $20\text{kN}/\text{m}^3$;
- ⑤冷底子油一道、二毡三油防水层、绿豆砂保护层 $0.35\text{kN}/\text{m}^2$;
- ⑥屋架支撑 $0.06\text{kN}/\text{m}^2$;
- ⑦ $1.5\text{m} \times 6.0\text{m}$ 屋面板 $(1.3+0.1)\text{kN}/\text{m}^2$ 。

【解】 各结构层重力荷载计算如下。

20mm 厚 1:3 水泥砂浆找平层:

$$1.2 \times 20 \times 0.02 = 0.48 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

冷底子油两道隔汽层:

$$1.2 \times 0.05 = 0.06 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

100mm 厚泡沫混凝土隔热层:

$$1.2 \times 5 \times 0.1 = 0.6 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

15mm 厚 1:3 水泥砂浆找平层:

$$1.2 \times 0.015 \times 20 = 0.36 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

冷底子油一道、二毡三油防水层、绿豆砂保护层:

$$1.2 \times 0.35 = 0.42 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

屋架支撑:

$$1.2 \times 0.06 = 0.072 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

$1.5\text{m} \times 6.0\text{m}$ 屋面板:

$$1.2 \times (1.3 + 0.1) = 1.68 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

屋面重力荷载设计值:

$$0.48 + 0.06 + 0.6 + 0.36 + 0.42 + 0.072 + 1.68 = 3.672 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

2.2 土的自重应力

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。一般假定在土体自重应力作用下的地基为均质线性变形半无限空间,即任一竖直平面均为对称面。因此在任意竖直平面和任意水平面上,土的自重都不会产生剪应力,只有主应力存在。如果地面下土质均匀,土层的天然重度为 γ ,则在天然地面下任意深度 z 处[图 2-1(a)中 $a-a$ 水平面上]的竖向自重应力 σ_{cz} ,可取作用于该水平面上任意单位面积的土柱体自重($\gamma \times z \times 1$) 计算,即

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

可见自重应力沿水平面均匀分布,且与 z 成正比,即随深度按直线规律增加,如图 2-1(b)所示。

当地基土由成层土组成时,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_n ,则成层土深度 z 处的竖直有效自重应力的计算公式为