

高校土木工程专业规划教材

GAOXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

工程荷载与结构设计方法

(按规范 GB 50009-2012)

季 静 罗旗帜 张学文 主编

GONGCHENG HEZAI YU JIEGOU SHEJI FANGFA

中国建筑工业出版社

013066621

TU312-43
08

高校土木工程专业规划教材

工程荷载与结构设计方法

(按规范 GB 50009—2012)

季 静 罗旗帜 张学文 主编
娄奕红 唐欣薇 参编



TU312-43
08

中国建筑工业出版社



北航

C1673384

图书在版编目 (CIP) 数据

工程荷载与结构设计方法/季静, 罗旗帜, 张学文主
编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 7

(高校土木工程专业规划教材)

ISBN 978-7-112-15410-4

I. ①工… II. ①季… ②罗… ③张… III. ①土木工程-工
程结构-荷载分析-高等学校-教材②土木工程-工程结构-结构
设计-高等学校-教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 087308 号

本书根据《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 编写, 适合宽口径
土木工程专业使用。内容包括: 荷载与作用的概念; 工程荷载的分类及代
表值; 地震作用; 建筑结构的荷载; 桥梁工程的荷载; 水工建筑物的荷
载; 工程结构设计方法的发展; 结构可靠度的基本概念; 结构概率可靠度
设计方法。

本书可供高等院校土木工程、建筑工程、交通土建工程、城镇建设、
矿井、隧道、水利工程、港口工程、海岸与海洋工程专业师生使用。

* * *

责任编辑: 郭 栋 辛海丽

责任设计: 李志立

责任校对: 王雪竹 刘梦然

高校土木工程专业规划教材
工程荷载与结构设计方法

(按规范 GB 50009—2012)

季 静 罗旗帜 张学文 主编

娄奕红 唐欣薇 参编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11 $\frac{1}{4}$ 字数: 550 千字

2013 年 6 月第一版 2013 年 6 月第一次印刷

定价: 27.00 元

ISBN 978-7-112-15410-4

(23426)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

全国高等学校土木工程专业指导委员会,对宽口径土木工程专业课程分为基础平台课程、专业基础平台课程及供选修的若干个领域专业课组。《工程荷载与结构设计方法》属于专业基础平台课程。

建筑工程、交通土建工程、城镇建设、矿井、隧道、水利工程、港口工程、海岸与海洋工程等,它们在荷载和设计方法方面有许多相同或相通的地方。以往以各自的专业,开设有关荷载和设计原则方面的课程,造成“隔行如隔山”,使学生的知识局限在一个很窄的专业范围之内。学生按土木工程宽口径专业培养,荷载和设计方法作为一门专业基础知识,必须适应这一要求。

土木工程荷载类型很多,荷载计算方法及结构设计原则不尽相同,且体现在各自的行业规范中。这在少学时情况下,使学生了解宽口径土木工程荷载及设计原则带来了困难。本书通过叙述它们的共性,通过重点叙述建筑工程、交通土建工程、水利工程的荷载与设计原则,使学生以宽口径土木工程专业的视角了解荷载和设计原则。

本书在内容的详简与取舍进行了以下处理:(1)有些类型荷载,例如建筑结构中单层工业厂房的吊车荷载,由于涉及的相关知识、专业知识很多,它们又是相应专业课程的核心内容,本书未详细叙述,可参考相关专业课程教材。(2)对涉及《水力学》、《土力学》等的荷载,考虑到《水力学》、《土力学》与本课程基本平行开设,而《水力学》、《土力学》又有其系统性,为了避免内容重复,涉及《水力学》、《土力学》等的荷载,参考《水力学》、《土力学》等教材,本书未详细叙述。(3)土木工程荷载的种类很多,但它们对不同结构的重要性不尽相同。而且同一种荷载,对于不同结构,其计算和确定方法也会有差别。土木工程结构设计方法目前也没有完全统一。考虑到篇幅,有些部分对一种结构形式详述,对其他结构简述。

为了便于学生学习中与专业课的联系和应用专业知识,在内容的编排上,一方面对各种土木工程共性的内容,例如第1~3章及第7章~第9章,作为共性的内容讲述。同时对几种主要的结构,例如建筑结构、桥梁结构、水工结构等,根据其特点和相应规范的规定等对其特殊性分章讲述。

本书所引用的一些标准和规范都是目前使用的最新的标准和规范。其中《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012、《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001、《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010、《城市桥梁设计规范》CJJ 11—2011等是近年国家新颁布实施的标准和规范。

本书共分9章,参加本书编写人员是:张学文、季静(第1~4章)、罗旗帜、娄奕红(第5章及第3章部分)、唐欣薇(第6章及第3章部分)、季静(第7~9章)。本书由季静、罗旗帜、张学文主编。

由于编者的水平有限,书中仍难免会有不当甚至错误之处,敬请读者予以批评和指正。

目 录

第1章 荷载与作用的概念	1
1.1 荷载与作用的概念	1
1.2 土木工程与土木工程荷载	2
思考题	3
第2章 工程荷载的分类及代表值	4
2.1 工程荷载的分类	4
2.2 荷载的代表值	6
思考题	12
第3章 地震作用	13
3.1 地震成因及灾害	13
3.2 我国地震的特点及抗震对策	13
3.3 有关地震的概念和名词术语	14
3.4 地震作用的概念	16
3.5 抗震设防	17
3.6 与地震作用计算有关的参数及概念	19
3.7 地震反应谱和地震影响系数 α	22
3.8 建筑结构地震作用	25
3.9 桥梁的地震作用	35
3.10 水工建筑物地震作用	38
思考题	41
习题	41
第4章 建筑结构的荷载	42
4.1 建筑结构荷载的种类及代表值	42
4.2 建筑结构荷载的确定和计算	44
思考题	66
习题	66
第5章 桥梁工程的荷载	67
5.1 荷载类型	67
5.2 荷载取值	68
5.3 各种荷载的计算方法	68
5.4 荷载组合	90
思考题	93
第6章 水工建筑物的荷载	94
6.1 荷载的类型	94

6.2 水工建筑物荷载取值和计算方法	95
6.3 荷载组合	114
思考题	114
第7章 工程结构设计方法的发展	115
7.1 工程结构设计方法的发展	115
7.2 我国目前各种土木工程结构设计方法简介	117
思考题	118
第8章 结构可靠度的基本概念	119
8.1 结构的功能及其极限状态	119
8.2 荷载和结构抗力的统计分析	122
8.3 结构的可靠度	133
8.4 结构的可靠指标	134
8.5 结构可靠度的一般计算方法	138
思考题	140
习题	141
第9章 结构概率可靠度设计方法	142
9.1 极限状态基本设计原则	142
9.2 目标可靠指标的确定	143
9.3 结构概率可靠度设计的实用表达式	146
9.4 结构概率可靠度设计的规范设计表达式	147
9.5 材料强度取值	154
思考题	155
习题	155
附录一 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	156
附录二 楼面等效均布活荷载的确定方法	170
附录三 部分常用体型建筑物的风荷载体型系数	173
附录四 屋面积雪分布系数	175
附录五 结构基频计算	177
参考文献	179

第1章 荷载与作用的概念

1.1 荷载与作用的概念

荷载与作用是土木工程中常常涉及的名词术语,二者之间既有联系又有区别。

在国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132—90 中对作用这样定义:施加在结构上的一组集中力或分布力,或引起结构外加变形或约束变形的原因,统称为结构上的作用。

施加在结构上的集中力或分布力称为直接作用。例如各种土木工程结构的自重、土压力、水压力、风压力、积雪重,房屋建筑中的楼面上人群和家具等的重量;路面和桥梁上的车辆重量等,桥梁、水工结构、港口及海洋工程结构中的流水压力、波浪荷载、水中漂浮物对结构的撞击力等,都是以外加力的形式直接施加在结构上,它们与结构本身性能无关,称为直接作用。

引起结构外加变形或约束变形的原因称为间接作用。例如,地基变形、混凝土收缩徐变、温度变化、焊接变形、地震作用等,它们不是以外加力的形式直接施加在结构上,称为间接作用。

结构上的作用虽然分为直接作用和间接作用,但是它们产生的结果是一样的:使结构或构件产生效应(结构或构件产生的内力、应力、位移、应变、裂缝等)。因此,我们也可以这样定义“作用”:使结构或构件产生效应(结构或构件产生的内力、应力、位移、应变、裂缝等)的各种原因,称为结构上的作用。

因为间接作用不是以力的集结形式直接作用于结构上,它们的大小往往与结构本身性能有关。例如,风水平作用于建筑物和水平地震作用于建筑物,其结果都是使建筑物的结构产生内力和侧向位移等效应,但前者是一个与结构无关的外力直接施加在结构上,而后者是建筑物自身由静止到运动的惯性产生,它的大小与结构自身的性质(例如,结构的刚度等)有关。为了不至于发生误解,我国的国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132—90 将以力的形式出现的直接作用称为“荷载”,而间接作用不称为“荷载”,而称为“作用”。也就是说“作用”是个总称,直接作用可以称为“作用”,也可以称为“荷载”,间接作用只能称为“作用”。

“荷载”和“作用”对实际工程设计来说,主要是一个概念问题,一般并不影响作用效应的计算和结构本身。在国际上,目前也有不少国家对“荷载”和“作用”未加严格区分。在我国,一般情况下,“荷载”专指直接作用,“作用”有时指直接作用和间接作用,有时专指“荷载”或专指间接作用。在工程中,为了使用和交流的方便,常常将直接作用和间接作用均称为“荷载”。这样,我们也可以把“作用”看做广义的荷载。为了方便叙述,本书以后各章涉及的作用,除了温度作用、地震作用称作“作用”外,其余作用则称为“荷载”。

1.2 土木工程与土木工程荷载

1.2.1 土木工程

土木工程是一个涵盖面很宽的学科，国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备，和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。通常把房屋建筑工程、市政道路工程、桥梁工程、隧道工程、海洋港口工程、机场及防空工程、水利水电工程等与人类生活、生产活动有关的工程设施，都称为土木工程。

通常所说的土木工程结构，是指由若干个构件组成的、能承受使用过程中可能出现的各种作用的受力体系。例如，在建筑结构中，通常见到的钢筋混凝土板、梁、柱、基础等称为“构件”，由它们组成的受力体系，使楼面荷载沿板—梁—柱—基础—地基传递，称为结构。在桥梁结构中，由梁、墩台、基础等构件组成的受力体系称为梁桥结构等。结构是土木工程的骨架，也是它们赖以存在的基础。它的主要功能是承受工程在使用期间可能出现的各种荷载并将它们传递给地基。土木工程结构的类型很多，它们的使用功能和使用环境也不相同，因此，土木工程的荷载不仅类型多，而且作用形式复杂。

1.2.2 土木工程设计及与荷载的关系

现代土木工程的建造必须经过论证策划、设计、施工三个主要环节。设计是主要环节之一，包括功能设计和结构设计。功能设计是实现工程建造的目的、用途；结构设计是决定采用怎样形式的骨架将其支撑起来，怎样抵御和传递作用力，各部分尺寸如何，用什么材料制造，等等，工程结构设计是在工程结构的可靠与经济、适用与美观之间，选择一种最佳的合理的平衡，使所建造的结构能满足预定的各项功能要求。工程结构的“功能要求”是指工程结构安全性、适用性和耐久性，统称“可靠性”。当工程结构的可靠性用概率度量时，称为“可靠度”。

要建立上述“最佳的合理的平衡”，例如，要在工程结构的可靠与经济之间建立“最佳的合理的平衡”，就要根据结构、外荷载大小和作用形式，计算外荷载产生的效应（内力、应力、位移、应变、裂缝等），还要根据结构的形式、材料、尺寸等，计算“结构抗力”，即结构可以承受的内力、应力、位移、应变、裂缝等。当“荷载效应”与“结构抗力”的比值越大，结构的可靠度就越大，但这要付出经济方面的代价。“荷载效应”和“结构抗力”之间“最佳的合理的平衡”，就是使工程结构既经济又具有一定的可靠度。为此，我国先后颁布了《工程结构可靠度统一标准》、《建筑结构设计统一标准》、《公路工程结构可靠度设计统一标准》、《港口工程结构可靠度设计统一标准》、《铁路工程结构可靠度设计统一标准》、《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》等有关工程结构可靠度的国家标准和行业标准。当工程结构可靠度满足以上标准的要求时，“荷载效应”和“结构抗力”之间就达到了“最佳的合理的平衡”。关于工程结构可靠度的确定方法，将在本书的第8章和第9章详细讲述。

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。因此结构设计的第一步就是确定结构上的荷

载。作为工程结构设计者,对于某个特定的工程结构,例如一幢房屋、一座桥梁,首先能够分析它在使用过程中可能出现哪些荷载,它们产生的背景、具备什么特点,哪些在时间和空间上是独立的,甚至可以独立存在的,哪些可能是相互关联的或不能独立存在的等等,然后才能确定和正确计算这些荷载。

荷载效应一般用力学的方法分析和计算,属于力学课程讲述的内容。关于结构抗力计算,我国各种土木工程结构设计规范、规程中,对各类土木工程结构、构件抗力规定了计算方法和计算公式,是进行结构设计的依据,将在混凝土结构、钢结构、砌体结构、桥梁工程、水工结构等课程中讲述。

没有正确的荷载取值和荷载计算,就不可能准确计算荷载效应,工程结构也不可能符合规定可靠度的要求。这样导致的后果是:由于结构的可靠度不足,影响结构的正常使用,缩短结构的使用寿命,甚至危及结构的安全;或是浪费材料,使工程造价过高。因此,如何合理确定和正确计算结构的荷载,是土木工程结构设计中一个十分重要的问题。

思考题

1. 荷载与作用的概念有什么不同?
2. 举例说明直接作用和间接作用的区别。
3. 荷载与作用对土木工程设计有何意义?

第2章 工程荷载的分类及代表值

2.1 工程荷载的分类

由于土木工程涵盖的专业领域很宽,土木工程荷载的种类很多。如结构自重、土的自重、风荷载、雪荷载、土的侧向压力、水压力及流水压力、冻胀力、冰压力、预加力,房屋建筑结构的楼面活荷载,桥梁与道路工程的车辆荷载,港口与海洋工程、水工建筑结构的波浪荷载、浮力、船只或漂流物撞击力等,以及在某些情况下产生的地震作用、爆炸、温度、变形、等偶然荷载及间接作用。这些荷载是根据其产生的原因划分的。

计算和确定结构荷载是为了计算荷载效应,分析其对结构的影响。在上述各种荷载中,一些荷载产生的原因可能不同,但荷载效应及对结构的影响是相同的;一些荷载虽然可能大小相同,但产生的荷载效应及对结构的影响并不相同。在工程结构设计中,我们不仅重视荷载产生的原因及荷载的大小,更关注荷载效应及其对结构的影响。在工程中,为了便于计算荷载效应和分析荷载效应对结构的影响,常常根据荷载的性质、设计计算和分析的需要,对荷载进行不同方法的分类。我国的国家标准《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153—92 对建筑结构、铁路工程结构、港口工程结构、公路工程结构、水利水电工程结构上的作用统一分类。按随时间的变异、随空间位置的变异及结构的动力反应可把作用分为3大类。

2.1.1 按随时间的变异分类

按随时间的变异,将作用分为以下三个类别:

(1) 永久作用——在设计基准期内量值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计的作用。因此,永久荷载的统计规律与时间参数无关,其随机性只是表现在空间位置的变异上。例如,结构自重、土压力、预加应力、水位不变的水压力、地基变形、混凝土收缩、钢材焊接变形等属于永久作用。

永久作用中的直接作用,就是通常所指的恒荷载。

(2) 可变作用——在设计基准期内量值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略。可变作用的统计规律与时间参数有关。例如,风荷载、雪荷载、温度变化、波浪荷载、冰荷载、水位变化的水压力;路桥结构上的车辆荷载、人群荷载;房屋建筑中的楼面活荷载、积灰荷载、厂房吊车荷载、港口的堆货荷载等,都属于可变作用。

可变作用中的直接作用,就是通常所指的活荷载。

在桥梁工程规范中,按可变荷载对桥涵结构的影响程度,分为基本可变荷载(活荷载)和其他可变荷载。

(3) 偶然作用——在设计基准期内不一定会出现,而一旦出现,其量值可能很大且持续时间短。例如,爆炸力、撞击力、龙卷风、罕遇地震、火灾、罕遇洪水等可视为偶然作用。

永久作用由于其大小不变，永久地作用在结构上，因此，它可能使混凝土材料产生徐变。例如钢筋混凝土受弯构件，在长期不变荷载作用下，由于受压混凝土的徐变，使构件变形增大，裂缝加宽。从这方面看，永久作用较可变作用对结构更为不利。因此，对于以永久作用为主的混凝土构件，应考虑这一因素的影响。

可变作用和永久作用不同之处是，可变作用可能布满整个结构或构件，也可能只存在于结构或构件的局部。例如图 2-1 所示的等跨三跨连续梁，若该梁在使用中有均布活荷载作用，则活荷载的出现就有 5 种可能；若三跨连续梁的跨度都不相等，则活荷载的出现就有 7 种可能。在计算某个截面的荷载效应时，应考虑上述活荷载出现的各种可能中，哪一种对该截面产生的荷载效应最大。我们把某一截面产生某一最大荷载效应时相应的活荷载分布，称为该截面的不利活荷载布置。

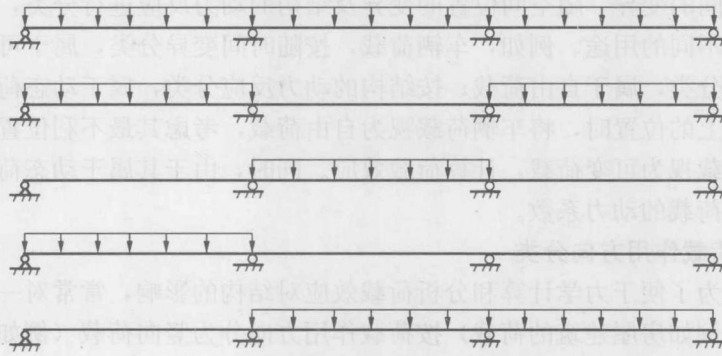


图 2-1 等跨连续梁均布活荷载分布

罕遇地震、爆炸力、撞击力、龙卷风、火灾、罕遇洪水等偶然作用，其量值很大且持续时间短，在结构使用期内，不一定会出现。在工程结构设计中，如果像考虑永久作用和可变作用一样考虑偶然作用，会造成工程造价的大幅度提高，显然是不合理的。考虑到这些偶然作用出现的几率比较小，因此，对偶然作用并不全部考虑，只是根据不同的结构和不同的情况对偶然荷载作适当的考虑。

作用按随时间的变异分类，是作用的最基本分类，它直接关系到作用变量概率模型的选择，也是在工程设计中应用最广泛的作用分类。

2.1.2 按随空间位置的变异分类

荷载按随空间位置的变异分为以下两类：

- (1) 固定作用——在结构上具有固定分布的作用。例如，结构自重、楼面均布活荷载、结构上固定的设备自重等。
- (2) 自由作用——在结构上一定范围内可以任意分布的作用。其出现的位置及量值都可能是随机的。例如，桥梁结构上的车辆荷载、工业厂房中的吊车荷载等。

由于自由作用是可以移动的，设计时应考虑它对结构引起最不利效应的分布位置及量值。

2.1.3 按结构的动力反应分类

作用按结构的动力反应分为以下两类：

- (1) 静态作用（静荷载）——对结构或构件不产生加速度，或者所产生的加速度可以忽略不计的作用。例如，结构的自重、房屋楼面活荷载等。

(2) 动态作用(动荷载)——使结构或构件产生的加速度不可忽略的作用。例如,地震、爆炸力、船舶撞击力、设备的振动、工业厂房中的吊车荷载、以一定的速度通过桥梁的汽车、火车荷载、作用于高耸结构上的风荷载等。

动荷载可以看做是活荷载的突然作用或突然移走,它必然会产生动力效应,动荷载对结构产生的荷载效应(例如内力)要比同样大小的静荷载大,对结构是不利的。在工程中,为了计算方便,一般将动荷载乘以规定的动力系数后,再按静荷载计算。对于如地震等动态作用,则必须按结构动力学的方法进行分析。

划分静态作用和动态作用的原则,不在于作用本身是否具有动力特征,而主要在于它是否使结构产生不可忽略的加速度。例如楼面的人群荷载,其本身可能具有动力特征,但使结构产生的动力效应可以忽略不计,也将其划分为静态作用。

按作用随时间的变异、随空间位置的变异及结构的动力反应进行分类,是3种不同的分类方法,各有不同的用途。例如,车辆荷载,按随时间变异分类,属于可变荷载;按随空间位置的变异分类,属于自由荷载;按结构的动力反应分类,属于动态荷载。如果我们考虑车辆在桥梁上的位置时,将车辆荷载视为自由荷载,考虑其最不利位置;当其位置确定后,将车辆荷载视为可变荷载,计算荷载效应。同时,由于其属于动态荷载,计算荷载效应时,应考虑荷载的动力系数。

2.1.4 按荷载作用方向分类

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,结构都不仅产生内力,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,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。重复荷载可能使结构或构件产生疲劳,承载力降低。

2.2 荷载的代表值

2.2.1 荷载代表值的概念

作用在工程结构上的各种荷载,都具有不同性质的变异性,不仅随地而异,而且随时

而异,其量值具有明显的随机性,只是恒荷载的变异性较小,活荷载的变异性较大。如果在设计中直接引用反映荷载变异性的各种统计参数,通过复杂的概率运算进行具体设计,将会给设计带来许多困难。因此,在设计时,除了采用能便于设计者使用的设计表达式外,对荷载仍规定具体的量值(例如,混凝土自重 25kN/m^3 ,住宅楼面活荷载 2kN/m^2 等),这些确定的荷载值称为荷载的代表值。

进行工程结构或结构构件设计时,可根据不同的设计目的和要求,对荷载采用不同的代表值,以便更确切地反映它在设计中的特点。我国的国家标准《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153—92 对房屋建筑、铁路、公路、港口、水利水电工程结构等,规定了荷载的三种代表值:标准值、频遇值和准永久值。

永久荷载只有一个代表值:标准值;

可变荷载一般有三个代表值:标准值、频遇值和准永久值。

偶然荷载代表值,目前国内还没有比较成熟的确定方法,一般是由各专业部门根据历史记载、现场观测、试验等,并结合工程经验综合分析判断确定。例如地震作用,在《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 中规定了荷载标准值的计算方法;在《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2004 中给出了船只和漂流物的撞击力的确定方法等。

荷载标准值是荷载的基本代表值,是工程结构设计时采用的主要代表值,其他代表值都可在标准值的基础上乘以相应的系数后得出。

由于设计上的需要,有些结构设计规范中,可变荷载除上述代表值外,还规定了其他代表值。

2.2.2 荷载标准值

荷载标准值,是指结构在设计基准期内可能出现的最大荷载值。由于荷载本身的随机性,结构在使用期间的最大荷载也是随机变量,原则上也可用它的统计分布来描述:荷载标准值是具有某种保证率的荷载最大值。结构在使用期间,仍有可能出现量值大于标准值的荷载,只是出现的概率比较小。

若有足够的荷载(直接作用)统计资料,能做出它的最大值的概率分布时,则按统一规定的设计基准期和统一规定的概率分布的分位值百分数来确定作用代表值,原则上取概率分布特征值。该代表值即国际标准中所称的特征值。例如,我国房屋建筑中的办公室和住宅的楼面活荷载,对北京、广州、兰州、成都的 606 间住宅和 358 间办公室进行了实际荷载测定,后来又在全国 25 个城市实测了 133 栋办公楼共 2201 间办公室,对全国 10 个城市的住宅实测了 556 间,取得了大量的统计资料;再如桥梁工程中的人群荷载,在全国六大片区分别选择了沈阳、北京、天津、上海、武汉、广州、西安和昆明等 10 多个城市共 30 座桥梁进行实测调查。每座桥梁选其行人高峰期观测 3d,取得了大量的统计资料。按规定的设计基准期最大荷载的概率分布的分位值百分数,分别确定办公室和住宅的楼面活荷载的标准值及桥梁工程中的人群荷载的标准值。

但是,目前并非对所有荷载都能取得充分的资料,有些尚缺乏系统的统计资料的荷载,只能参考工程实践经验或国际资料,并通过分析判断,协议一个代表值。例如,对住宅、办公室、商店等不同类型建筑,楼面活荷载标准值取值的保证率不同,主要是考虑已有的工程经验。

有些情况下的荷载标准值,可能主要由技术人员根据已有的工程实践经验,结合具体

的工程实际，通过分析判断后，协议给出一个公称值，作为代表值。例如，对于不上人的屋面活荷载，从实际作用的荷载来看，除了屋面雪荷载有专门规定之外，其他如施工荷载（包括维修时的施工荷载）大小与当时的施工方法有关，差别很大，很难统一规定，只能在施工阶段由工程技术人员根据结构的实际情况，采取相应措施，而没有必要因此确定较高的施工荷载。但是对它规定过低，甚至不作规定，也不合适。因为在实际工程中，屋盖结构的工程事故相对比较多。对不上人的屋面活荷载主要是从工程经验出发，经各方面协商判断确定的。

永久作用标准值，例如结构的自重，由于变异性不大，有的是通过实际量测和试验等数据按概率统计得出其最大值分布以分位值确定；有的是取自材料、制造、供应、设备部门提供的数据规定；也有的是按长期使用经验通过判断作出的。对有些材料的自重还规定了上、下限值，以供设计时对结构的有利或不利状态分别选用。至于结构构件自重，则按图纸上的名义尺寸值与材料的单位体积自重的乘积确定。

部分常用材料和构件的自重见表 2-1。

部分常用材料和构件的自重 表 2-1

名 称	自 重	备 注
砖、砂浆及混凝土 (kN/m ³)		
普通砖	18	240×115×53 (648 块/m ³)
普通砖	19	机器制
耐火砖	19~22	230×110×65 (609 块/m ³)
灰砂砖	18	
炉渣砖	17~18.5	
黏土坯	12~15	
锯末砖	9	
水泥花砖	19.8	200×200×24 (1042 块/m ³)
瓷面砖	17.8	150×150×8 (5556 块/m ³)
石灰砂浆、混合砂浆	17	
水泥砂浆	20	
稻草石灰泥	16	
纸筋石灰泥	16	
石灰三合土	17.5	石灰、砂子、卵石
水泥	16	袋装压实
膨胀珍珠岩砂浆	7~15	
素混凝土	22~24	振捣或不振捣
泡沫混凝土	4~6	
沥青混凝土	20	
钢筋混凝土	24~25	
浆砌粗料石	22.0~25.0	
浆砌块石	21.0~23.0	
干砌块石	18.0~21.0	
铸铁	72.5	
钢材	78.5	

续表

名 称	自 重	备 注
锌	70.5	
铅	114	
黄铜、青铜	85	
石灰三合土、石灰土	17.5	
回填土石（不包括土石坝）		
抛块石	17.0~18.0	
抛块石	10.0~11.0	水下
抛碎石	16.0~17.0	
抛碎石	10.0~11.0	水下
细砂、粗砂	14.5~16.5	干
卵石	16.0~18.0	干、松
砂夹卵石	15.0~17.0	干、压实
砂土	16.0~19.0	干、压实
砂土	16.0	
	18.0	湿、压实
花岗岩	24.0~27.5	
玄武岩	25.5~31.5	
辉绿岩	25.0~29.5	
大理岩、石灰岩	26.5~28.0	
砂岩	24.0~27.0	
页岩	23.5~27.0	
墙面、地面及门窗（kN/m ² ）		
贴瓷砖墙面	0.5	厚 25mm，包括水泥砂浆打底
水泥粉刷墙面	0.36	厚 20mm，水泥粗砂
水磨石墙面	0.55	厚 25mm，包括打底
水刷石墙面	0.5	厚 25mm，包括打底
石灰粗砂粉刷	0.34	厚 20mm
剁假石墙面	0.5	厚 25mm，包括打底
外墙拉毛墙面	0.7	厚 25mm，水泥砂浆打底
木框玻璃窗	0.2~0.3	
钢框玻璃窗	0.4~0.45	
木 门	0.1~0.2	
钢铁门	0.4~0.45	
小瓷砖地面	0.55	包括水泥粗砂打底
水泥花砖地面	0.6	砖厚 25mm，包括水泥粗砂打底
水磨石地面	0.65	10mm 面层，20mm 厚水泥砂浆打底

对大部分自然荷载,包括风、雪荷载,习惯上都以其规定的平均重现期(风、雪荷载的重现期为50年,即50年一遇)来定义标准值,也即相当于以其重现期内最大荷载的分布的众值为标准值。

综上所述,荷载的标准值,特别是可变荷载标准值的确定,含有一定的经验性。在工程设计中,虽然在一般情况下,荷载的标准值应按相应规范中规定的标准值取用,但在有些情况下,仍应根据实际情况取用。我国的工程结构设计规范中,有些规范把其中的一些荷载标准值规定为“强制性条款”,在设计中,必须把这些荷载标准值作为荷载最小值采用;对于未作为“强制性条款”的荷载标准值,则应由业主认可后采用,并在设计文件中注明。

永久荷载标准值用符号 G_k 表示;可变荷载标准值用符号 Q_k 表示。

2.2.3 荷载的频遇值和准永久值

可变荷载的代表值除标准值之外,还有两个代表值——频遇值和准永久值。

可变荷载的标准值是根据荷载在设计基准期内可能达到的概率意义上的最大量值荷载来确定的,它没有反映荷载值随时间变异的特性。例如,荷载值超过某一水平持续的时间,频数。在工程结构设计中,常须根据设计的需要,区分可变荷载的短期作用和长期作用。

当只考虑可变荷载的短期作用时,如果可变荷载都采用标准值就不太合理,因为标准值是在设计基准期内概率意义上的最大值。因此,可变荷载的短期作用时,可变荷载的代表值有两种选择:若极限状态被超越时,将对结构产生永久性的损害,可变荷载选用标准值;若极限状态被超越时,将对结构产生局部的损害、较大变形、短暂振动或不适感等情况,可变荷载应选用频遇值。

可变荷载的准永久值,是考虑荷载长期作用时采用的荷载代表值。在工程结构设计中,常常需要考虑荷载长期作用对结构或构件的影响。例如,我们知道,混凝土在“长期不变荷载”作用下会产生徐变,而混凝土徐变会导致钢筋混凝土受弯构件变形和裂缝宽度增大。因此,在计算钢筋混凝土受弯构件变形或裂缝最大值时,除了要计算由永久荷载、可变荷载使构件产生的变形或裂缝宽度值之外,还应计算在“长期不变荷载”作用下,由于混凝土徐变,使构件增加的变形或裂缝宽度值。“长期不变荷载”除永久荷载外,还包括准永久荷载,此时可变荷载的代表值,要选择准永久值。

(1) 荷载的频遇值

荷载的频遇值,是指结构上时而出出现的较大可变荷载值。“时而出出现”,可以用“总持续期”来理解,也可以用“出现次数”来理解。因此,荷载的频遇值有两种确定方法:可按荷载在设计基准期内具有某个规定的较短的总持续期确定,或按规定的跨阈率(出现次数)确定。若结构超越正常使用极限状态,造成结构局部损坏(例如开裂),荷载的频遇值按跨阈率确定;若结构超越正常使用极限状态,造成结构功能降低(例如出现不舒适的振动),则荷载的频遇值按总持续期确定。

根据国际标准 ISO 2394:1998,频遇值是设计基准期内荷载达到和超过该值的总持续时间与设计基准期的比值小于0.1的荷载代表值。由于按严格的统计意义来确定荷载的频遇值还比较困难,我国的结构设计规范规定的各种可变荷载的频遇值,大部分还是根据工程经验并参考国外标准后确定的。

可变荷载频遇值表示形式,是以可变荷载的标准值乘以可变荷载的频遇值系数而得到。各种可变荷载频遇值系数,可以从各类工程结构荷载规范或与荷载有关的结构设计规范中查到。

(2) 荷载的准永久值

可变荷载的准永久值代表结构上经常作用的可变荷载值。“经常作用”是指持续的时间长。例如,住宅楼面活荷载(人群、家具等),在结构使用期间,总会有一部分量值的楼面活荷载持续作用于楼面。一般量值越大的楼面活荷载,持续的时间越短,量值越小,持续的时间越长。这部分活荷载对结构的作用与恒载相似,将这部分持久性活荷载,称之为准永久荷载,其量值称为可变荷载(活载)准永久值。

各种可变荷载准永久值的大小,与持续时间有关,其值可按荷载在设计基准期内具有某个规定的较长的总持续期确定。国际标准 ISO 2394:1998 中建议,准永久值根据在设计基准期内荷载超越该值的总持续时间,与设计基准期的比值为 0.5 确定。我国的国家标准《工程结构可靠度设计统一标准》也规定了按此标准确定的各种可变荷载的准永久值。建筑结构、港口水工结构等的设计基准期为 50 年,桥梁结构的设计基准期为 100 年。“经常作用”,对于建筑结构、港口水工结构等,从理论上可以理解为:在结构设计基准期的 50 年内,作用持续时间达到或超过 25 年;对桥梁结构可以理解为,在结构设计基准期的 100 年内,作用持续时间达到或超过 50 年。《工程结构可靠度设计统一标准》规定,可以根据连续观测数据确定可变荷载准永久值。一般取可变荷载值超越某一数值的总持续时间,与整个观测时间的比值为 0.5 来确定可变荷载的准永久值。

但是,按严格的统计意义来确定荷载的准永久值,目前还比较困难。我国各种工程结构设计规范给出的各种可变荷载的准永久值,大部分还是根据工程经验并参考国外标准确定的。

可变荷载准永久值的表示形式是以可变荷载的标准值乘以可变荷载的准永久值系数而得到。可变荷载的准永久值系数可以在与荷载有关的规范中查到。

2.2.4 荷载的组合值

在建筑结构中,规定了可变荷载的另一种代表值——组合值。也就是说,建筑结构的可变荷载有四个代表值:标准值、准永久值、频遇值和组合值。我国《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 是这样定义荷载组合值的:对于可变荷载,使组合后的作用效应在设计基准期内的超越概率与该作用单独出现时的相应概率趋于一致的作用值;或组合后使结构具有统一规定的可靠指标的荷载值。

当作用在结构上的可变荷载有两种或两种以上时,它们同时出现且都达到最大值的概率显然比某一可变荷载单独出现达到最大值的概率要小得多。例如,作用在房屋结构上的风荷载标准值是按 50 年一遇 10min 的平均风速确定的,在风荷载达到标准值的同时,其他多个可变荷载也达到其标准值的概率是很小的。如果在结构上作用有多个可变荷载,计算时均取其标准值。由于多个可变荷载同时出现且达到标准值的概率小于某一可变荷载单独出现且达到标准值的概率,因此,前者的可靠度要高于后者,且可变荷载的种类越多,其可靠度越高。为了使结构在不同荷载作用时具有大致相同的可靠度,当作用在结构上的可变荷载有两种或两种以上时,此时除主导荷载(产生最大效应的荷载)仍可以其标准值为代表值外,其他可变荷载的代表值采用小于标准值的代表值——组合值。可变荷载采用