

第一章 绪 论

第一节 本门课程的学习内容与目的

本课程包括两大部分内容。

第一部分是有关土木工程中荷载（或广义的“作用”）的问题，包括重力、土压力作用、水的作用、风作用、地震作用和其他作用（如温度作用、变形作用、撞击作用、爆炸作用等）。通过学习可以了解荷载的各种分类形式，熟悉荷载取值的背景内容，从而正确掌握工程结构设计需要考虑的各种荷载的取值方法。

第二部分是有关结构设计方法的问题，在学习理解了荷载与结构抗力的数理统计和概率可靠度理论的基础上，进一步熟悉掌握工程结构的概率极限状态设计法与作用效应组合的有关内容，达到使这些理论应用在结构设计中，做到安全、可靠、有效的目的，也为学习各种土木工程结构设计类的专业课程，如钢结构、砌体结构、混凝土结构、桥梁工程结构等，在设计基本理论方面奠定一定的基础。

确定荷载取值是工程结构设计的一个重要方面，也是设计一个工程必须慎重考虑的重要问题，不少工程事故也证明了这一点。结构设计时，荷载如何合理正确取值计算，应该考虑哪些不同类型的荷载，以及各种作用效应如何组合计算，这些方面的问题将直接关联到结构工作时的安全性，这些知识是一名结构工程师应掌握具备的基本专业知识。

本门课程内容涉及多本国家标准和规范（见参考文献目录），近几年不少规范相继更新，学习中必要时需配备这些最新规范以便学习和查阅。

第二节 结构上的作用与作用效应

一、作用的定义

在国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 54153—2008)中，将作用定义为：施加在结构上的集中力或分布力（直接作用，也称为荷载）和引起结构外加变形或约束变形的原因（间接作用）。

直接作用以力的形式作用于结构上时，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。间接作用以变形的形式作用于结构上，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。

结构上的作用虽然分为直接作用和间接作用两种不同性质的作用，但它们产生的结果是一样的，它们会使结构或构件产生作用效应，即引起结构或结构构件产生内力、应力、位移、应变、裂缝等反应。

有不少工程人员习惯上将结构上的各种作用统称为荷载，但对于间接作用，如温度变化、材料的收缩和徐变、地基变形、焊接变形、地震作用，也称之为“荷载”并不恰当，但为了使用和交流的方便，延续习惯也常常将直接作用和间接作用均称为“荷载”，实际上我们可以把“作

用”看作广义的荷载。

二、作用的分类

结构上的作用可按下列性质分类：

(一) 按随时间的变化分类

1. 永久作用

永久作用是在设计所考虑的时期内始终存在且其量值变化与平均值相比可以忽略不计的作用，或其变化是单调的并趋于某个限值的作用。如：结构自重，土压力，水位不变的水压力，预加应力，地基变形，混凝土收缩，钢材焊接变形，引起结构外加变形或约束变形的各种施工因素。

2. 可变作用

可变作用是在设计使用年限内其量值随时间变化，且其变化与平均值相比不可忽略不计的作用。如：使用时人员、物件等楼面活荷载、屋面活荷载和积灰荷载、安装荷载，车辆荷载，吊车荷载，风荷载，雪荷载，冰荷载，地震作用，水位变化的水压力，扬压力，波浪力，温度变化等。

3. 偶然作用

偶然作用是在设计使用年限内不一定出现，而一旦出现其量值很大，且持续期很短的作

用。如：撞击力，爆炸力，地震作用，龙卷风，火灾，罕遇洪水作用。

(二) 按随空间的变化分类

1. 固定作用

固定作用是在结构上具有固定空间分布的作用，当固定作用在结构某一点上的大小和方向确定后，该作用在整个结构上的作用即得以确定。如：结构自重、结构上固定的设备自重等。

2. 自由作用

自由作用是在结构上给定的范围内具有任意空间分布的作用。如：车辆荷载、吊车荷载等。对于自由荷载，设计时要考虑它对结构引起最不利效应时的分布位置及量值。

(三) 按结构的反应特点分类

1. 静态作用

静态作用是使结构产生的加速度可以忽略不计的作用。

如：结构的自重、雪荷载、楼面人群荷载等。

2. 动态作用

动态作用是使结构产生的加速度不可忽略不计的作用。

如：地震作用，爆炸力，撞击力，设备的振动或冲击荷载，吊车荷载，以一定的速度通过桥梁的汽车、火车荷载，引起结构振动的风荷载等。

这类作用具有突然作用或突然消失的特点，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，简便的计算通常将动荷载乘以规定的动力系数后，再按静荷载计算。但对于地震或风振等动态作用，则必须按结构动力学或风工程学等方法进行分析。

三、作用效应

作用效应：由作用引起的结构或结构构件的反应，在结构内产生的内力（如轴力、弯矩、剪力、扭矩等）和变形（如挠度、转角、裂缝等），被称为“作用效应”，通常用 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 作用在简支梁上，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。

第三节 结构设计方法

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以下四个阶段：

1. 容许应力设计法

早期大多数国家采用以弹性理论为基础的容许应力设计方法。它规定构件在使用荷载作用下截面上的最大应力不应超过材料的容许应力，如下式：

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

式中 σ —— 构件在使用荷载作用下截面上的最大应力；

$[\sigma]$ —— 材料的容许应力，为极限强度与安全系数的比值。

该设计计算方法简单，但没有考虑材料塑性性质；对使用期间荷载的取值凭经验，安全系数 K 的取值也凭经验，取值确定缺乏科学根据；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上。实践证明，这种设计方法与结构的实际情况有很大出入，现在绝大多数国家规范已经不再采用。

2. 破损阶段设计法

考虑了材料的塑性性质，规定在使用荷载作用下截面上的最大内力 M 要满足要求，如下式：

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

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。

破损阶段理论以承载能力值（如 M_u ）为依据，其计算值是否正确可由实验检验，但仍存在一些缺点，安全系数 K 的取值仍须经验确定，荷载 q 的取值仍然是经验值，只考虑了承载力问题，没有考虑正常使用时能否满足变形裂缝等要求。

3. 极限状态设计法

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。结构的极限状态分为承载力极限状态和正常使用极限状态。既考虑了承载力问题，也考虑了正常使用时满足变形裂缝的控制要求，在安全度的表达上有单一系数和多系数两种，考虑了荷载变异、材料性能变异以及工作条件的不同。在部分荷载和材料性能的取值上，按统计方法分析和经验进行确定。

前三种方法都没有把影响结构可靠度的因素作为随机变量来考虑，而是看作定值，各系数的取值上，不是采用概率法确定，因此属于定值设计法。

4. 概率极限状态设计法

以概率理论为基础发展而来的概率极限状态设计法，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（或可靠指标）来度量结构可靠性，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，比容许应力设计法和破损阶段设计法考虑的问题更全面。

这种方法按其精确程度可分为三个水准：

水准 I ——半概率法。对荷载效应和结构抗力的基本变量部分地进行数理统计法分析，并与工程经验结合，引入某些经验系数，所以还不能定量地估计结构的可靠性，因此是一种半概率半经验的设计法。

水准Ⅱ——近似概率法，又称“一次二阶距法”。该方法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处理，在截面设计时一般采用分项系数的实用设计表达式。我国《工程结构可靠度设计统一标准》(GB 54153—2008)采用了这种近似概率法，且在此基础上颁布了各种结构设计的规范。

水准Ⅲ——全概率法。这是完全基于概率论的结构设计方法，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。这种方法无论在基础数据的统计方面还是在可靠度计算理论方面都很不成熟，有待于进一步研究探索，因此目前这种方法还未得到广泛应用。

思考题与习题

1. 什么是工程结构上的作用与作用效应？
2. 作用有哪些类型？特点是什么？
3. 永久作用与可变作用、偶然作用的定义是什么？各主要指哪些作用？
4. 相比其他设计方法，概率极限状态设计法的主要特点是什么？