

建筑结构
的
荷载

JIANZHUJIEGOU
DE HEZAI

中国建筑科学研究院
《建筑结构荷载规范》管理组

86.217
8907960

建筑结构的荷载

《建筑结构荷载规范》宣讲材料

中国建筑科学研究院

《建筑结构荷载规范》管理组编

出 版 前 言

这本宣讲材料是在对《工业与民用建筑结构荷载规范》(TJ9-74)修订后,于1986年编写的,曾以油印资料发行过,并在一定范围内组织过宣讲活动。现该规范更名为《建筑结构荷载规范》(GBJ9-87),已由国家计委于1987年正式批准,并将与其它的结构设计规范同时施行。为此,我们对原资料进行修改补充,正式铅印出版,在内部发行,供工程技术人员参考,以便于他们了解新规范的主要内容和有关的背景材料。

荷载是结构设计中的一个主要因素,荷载设计取值的合理性对建筑结构的经济性和安全性的影响特别明显。但是,关于它的确定原则和方法,尤其是要求引入以概率的概念来考虑以后,对设计技术人员来说,还是很不熟悉的。目前在土建类的高等学校内,涉及荷载部分内容的结构可靠性课程还是刚开始设置。为了弥补这方面的不足,作为结构设计方面的基本知识,编写这本材料,对广大设计技术人员还是有必要的。

这本宣讲材料共分五讲,大致是按照规范章节顺序,择其条文中的主要内容,作了比较系统的阐述。但由于这项工作是初次尝试,限于我们的水平,不一定都能满足各方面的要求,难免其中还有一些错误和解释不恰当之处,希望广大读者给以批评指正。

本材料分别由中国建筑科学研究院陈基发(第一、二、四讲)、金新阳(第五讲)和机械电子工业部发展规划院何平蕃、北方设计研究院徐鸿业(第三讲)等同志执笔。

《建筑结构荷载规范》管理组

目 录

第一讲	制订荷载规范的基本原则	(1)
第二讲	楼面活荷载	(25)
第三讲	吊车荷载	(48)
第四讲	风荷载	(68)
第五讲	雪荷载	(128)
附 件		
一、	建筑结构荷载规范 (全文)	(143)
二、	建筑结构荷载规范条文说明	(227)

第 一 讲

制订荷载规范的基本原则

规范是标准或技术标准的一种形式，它指在工程建设中为简化和统一工程的设计、建造过程及规定安全要求而制订的标准文件。

为了正确地对待规范的制订、修订和贯彻，我们尽可能地对标准和标准化的含义有所了解。国际标准化组织(ISO)标准化原理研究常设委员会(STACO)曾对标准化定义如下：

“标准化”是为了所有有关方面的利益，特别是为了促进最佳的全面经济并适当考虑到产品使用条件与安全要求，在所有有关方面的协作下，进行有秩序的特定活动所制订并实施各项规则的过程。

标准化以科学、技术和实验的综合成果为依据。标准化不仅为现在而且也为将来的发展奠定基础。标准化应跟上科学技术发展的步伐。

在《中华人民共和国标准化管理条例》中，对技术标准有如下规定：

技术标准是从事生产、建设工作以及商品流通的一种共同技术依据。凡正式生产的工业商品、重要的农产品、各类工程建设、环境保护、安全和卫生条件、以及其它应当统一的技术要求，都必须制订标准，并贯彻执行。

综合上述内容，目前我们可以重新对标准或技术标准作

出如下定义：

标准是对需要协调统一的技术或其它事物所作的统一规定。它以科学技术和实践经验为基础，经有关方面协调同意，由公认的机构批准，以特定形式发布，其目的是为了获得最佳秩序和社会效益。

从这个定义中我们得出如下有关标准的含义：

1. 制订标准的目的是为了获得最佳秩序和社会效益。
2. 标准化的对象是需要协调统一的技术或其它事物，这些技术或其它事物具有重复性和多样性的特征。
3. 制订标准要以科学技术和实践经验为基础，并经有关方面协调同意，以期达到先进、合理与可行。
4. 标准须经公认的机构批准，以特定的形式发布，才能在一定范围内起作用。这说明标准具有法规性。

标准化工作在我国的建设中起着重要的作用。建国以来，由原国家建委，后改由国家计委和各工业部门颁布了大量的设计和施工规范。在土建领域中，荷载规范是一本基础性的设计标准，它是各类结构和地基基础设计的主要依据。

我国最早颁布的是建国初期的《荷载暂行规范》（规结1-54），它为第一个五年计划苏联承建的项目提供了必需的设计荷载依据。该规范内容是当时的容许应力和破坏阶段的设计方法适应的。

第二个版本是《荷载暂行规范》（规结1-58），规范内容不仅由于增加的统计资料而得以充实，而且对不同荷载规定了荷载系数（或称超载系数），以适应多系数的计算极限状态的设计方法。

1970年根据对荷载的大量调查研究和综合分析，对设计

荷载又提出了新的建议，出版了《建筑结构设计荷载》一书。虽然不是正式经批准颁布的规范，但在当时对设计实践曾起了很大的作用。

1974年配合其它设计规范的修订，正式颁布了《工业与民用建筑结构荷载规范》(TJ9-74)，进一步对各项荷载以及荷载组合等内容作了充实和提炼，并适用于多系数分析、单系数表达的极限状态设计方法。

在动乱十年结束以后，对结构设计方法作了进一步的总结，摸清了当时国外在结构安全性设计方面的发展动向，通过调查研究，制订了《建筑结构设计统一标准》(GBJ68-84)（以下简称《统一标准》），新的荷载规范的修订就是以该标准为依据。

制订荷载规范的目的，是在于对各类工程设计，统一规定设计荷载的取值，使之获得最佳的效益。为此，在这一讲里将对荷载的分类、荷载代表值的选用、分项系数的确定和荷载组合等基本问题给以讨论。然后在各讲中分别介绍工程中主要荷载的规范取值。

一、荷载的分类

在《统一标准》第3.0.1条中对结构上的作用给出经典的定义。它是指能使结构产生效应（内力、变形、应力、应变、裂缝等）的各种原因的总称，其中包括施加在结构上的集中力或分布力系，以及形成结构外加变形或约束变形的原因。这两种作用分别被称为直接作用和间接作用。

结构上的作用习惯上也统称为荷载，这一点在国际上也是如此，因为大部分的作用都是由各种负载力形成。但“荷

载”这个术语对间接作用并不恰当，例如温度变化、材料的收缩和徐变、地基变形和地震等现象，这类作用不是以力的形式出现，过去也曾以“荷载”来概括，而称之为温度荷载、地震荷载等，这就混淆了两种性质不同的作用而容易发生误解，譬如将地震荷载误认为施加在结构上而与地基和结构本身无关的外力。而今在荷载规范中仅将荷载限于直接作用。而对间接作用，除地震作用外，暂时还未制订规范。

对荷载不能仅仅以其量值的大小而给以区分，而且还应考虑它在结构上随时间的变异性和持续性，因此在设计上将它分成三个类别：

(一) 永久荷载 在一个给定的设计状况下，其量值随时间的变异与平均值相比可以忽略不计者；也包括具有某个限值的单调变异的荷载。例如结构自重、土压力等。

(二) 可变荷载 在一个给定的设计状况下，其量值随时间的变异既不是单调的，与平均值相比又不可忽略的荷载。例如楼面活荷载、屋面活荷载和积灰荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等。

(三) 偶然荷载 在设计所考虑的结构使用期间不一定出现的荷载，但它一旦出现，其量值很大且持续时间很短。例如爆炸力、撞击力、龙卷风荷载等。

除按上述的分类外，设计时还必须按其随空间的变异性及结构的动力反应来区分荷载。

按空间的变异性可将荷载分为固定的和自由的两类。设计中应对自由荷载或荷载中的自由部分考虑它在结构上引起最不利效应的荷载布置情况。

按结构的动力反应可将荷载分为静态的和动态的两类。当荷载在结构上引起不能忽略的加速度时，应以动态荷载对

待，结构必须按结构动力学的方法进行分析，或对静态荷载乘以规范给定的动力系数，再按静力学方法分析。

二、荷载的代表值

对任何一类荷载都具有不同性质的变异性，不仅随地而异，还随时而异。即使是同类结构材料的自重，实际上也存在着某种程度的变异。因此，为了在设计中对各类荷载规定一个量值，有必要事前规定一些原则。《统一标准》根据设计中必须考虑到的一些要求，规定了几种荷载的代表值。

(一) 荷载标准值

荷载的最大值一般是设计者最感兴趣的，因为它经常是结构安全性问题中的主要矛盾方面，结构设计应规定结构的设计使用期限，也即为预期的使用寿命，《统一标准》为了评定结构的可靠度，统一规定了一个设计基准期为50年，它只是为了便于比较不同结构的可靠度指标，并不是统一规定结构的使用寿命。这样，很自然地想到，将荷载在规定期限中的最大值作为设计取值的依据。

由于荷载的随机性，它可以被认为是随机过程或随机变量，而其在规定期限内的最大值也应该是随机变量，其量值的大小在客观上具有某个统计分布。如有足够的资料，我们可以对其分布作出合理的估计。在该最大值的分布上，根据协定的百分数取其分位值作为该荷载的代表值，称之为特征值 (Characteristic value)。

并不是对所有荷载，都可能取得充分的资料，通过其统计分布来规定其特征值。此时，不得不从实际出发，根据已有的工程实践经验，通过分析判断后，规定一个公称值 (No-

minal value) 作为荷载代表值。

这两类代表值统称为荷载标准值 (Normal value)。

当根据荷载的统计资料确定特征值时, 在其最大值的统计分布上, 如何规定分位值的百分数, 目前还难以统一规定, 但不外乎有这样三种观点:

1. 在最大值分布上, 规定较高的分位值为荷载特征值, 例如采用不低于90%的百分位数, 使其代表值本身具有较高的保证率。

2. 在最大值分布上, 规定平均值为特征值, 使其代表值的取值水平适中。

3. 在最大值分布上, 规定峰值为特征值, 该值作为最大值出现的可能性最大。

当前, 在荷载规范中, 我们还不可能按同一种观点来选定特征值, 大部分还是结合过去的设计经验, 选用适当的分位值, 百分数是不统一的。

荷载的标准值是其基本的代表值, 其它代表值是可在标准值的基础上换算而得。

(二) 荷载常遇值和准永久值

荷载标准值只是在概率的意义上根据荷载在规定期限内可能达到的最大量值, 对可变荷载, 这里还没有充分考虑到作为随机过程, 它还具有随时间的变异性和持续性。当结构按使用要求进行设计时, 例如要求控制房屋的变形、裂缝、局部损坏以及引起不适感的振动, 此时就应该从这个角度出发来选择荷载的代表值。

在荷载的随机过程中 (图1-1), 荷载超过某水平 x 具有两种特性: 其一是在规定期限 (可以统一采用设计基准期) T 内, 荷载超过 x 的次数 n_x , 或平均跨阈率 ν_x ; 其二是超过 x

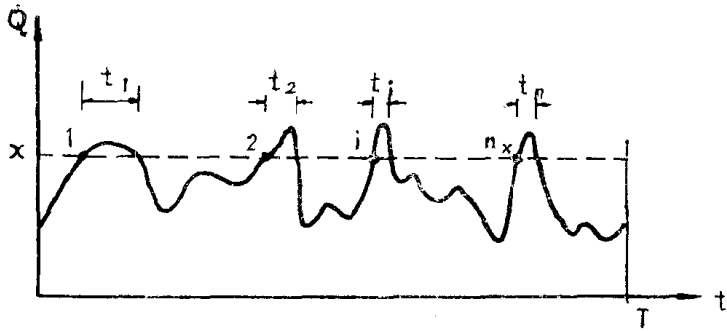


图 1-1

的总持续时间 $T_x = \sum t_i$ 的期望值，或它与规定期限 T 的比值 μ_x 。我们可以根据设计中使用要求的性质，根据 ν_x 或 μ_x 的统一规定来确定相应的荷载代表值。

在国际标准 ISO2394 《结构可靠性的总原则》的修订本中，为此规定了两种荷载代表值：常遇值和准永久值。

常遇值系指在结构上时而出现的较大荷载值。当考虑结构的局部损坏或疲劳破坏时，设计中应根据荷载可能超过的次数，也即通过 ν_x 来确定其代表值。当考虑结构使用中引起的不适感时，就应根据较短的持续时间，也即通过 μ_x 来确定其代表值，以限制这种不适感在人们能接受的水平内。

由于当前对可变荷载的随机性质研究得还不够充分，对与常遇值有关的设计规定，还没有比较成熟的建议，因此在新的荷载规范中，对此也暂不予以规定。

准永久值系指在结构上经常作用的荷载值，它在规定的期限内具有较长的总持续期 T_x ，它对结构的影响有如永久荷载。ISO2394 建议取 $\mu_x \leq 0.5$ 。若可变荷载可被认为是各态历经的过程时，此时的准永久值也即不低于荷载分布中的中

值。

荷载规范根据统计资料，并通过经验判断规定了各类荷载的准永久值 $\psi_q Q_k$ ，其中 ψ_q 为小于1的准永久值系数。

(三) 荷载组合值

当作用在结构上的可变荷载有两种或两种以上时，荷载不可能同时以其最大值出现，此时的荷载代表值可采用其组合值，或在设计表达式中通过荷载组合系数来考虑。

三、荷载分项系数

根据《统一标准》第5.0.1条的规定，在结构设计中采用的各类极限状态设计表达式，应根据各种极限状态的设计要求，采用有关的荷载代表值，材料性能标准值，几何参数标准值以及各种分项系数来表达。其中荷载分项系数 γ_G 、 γ_Q ，抗力分项系数 γ_R 或材料性能分项系数 γ_f 应根据结构功能函数中各基本变量的统计参数和概率分布类型以及规定的可靠指标 β ，通过计算分析确定。确切地说，设计表达式中的分项系数是在荷载代表值以及材料性能和其它基本变量的标准值为既定的前提下，根据规定的可靠指标来确定。

为了更好地理解荷载分项系数，这里先扼要说明一下结构可靠指标与建立设计表达式的关系。先考虑一个最简单的设计模式，称 $R-S$ 模式，即在设计中只考虑两个基本变量：结构抗力 R 和荷载效应 S 。结构达极限状态时的条件，用极限状态方程式表示：

$$R - S = 0 \quad (1-1)$$

它在二维空间 (R, S) 中呈一条直线(图1-2a)，将空间划分为两部分。当 $R - S > 0$ ，结构为安全；当 $R - S < 0$ ，结

构为失效。

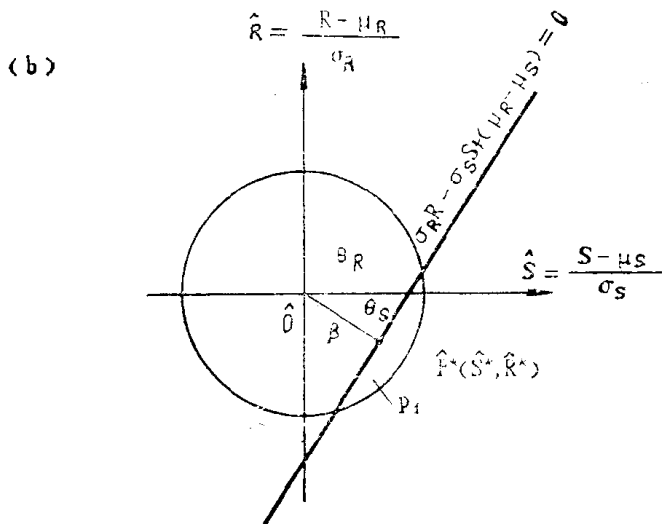
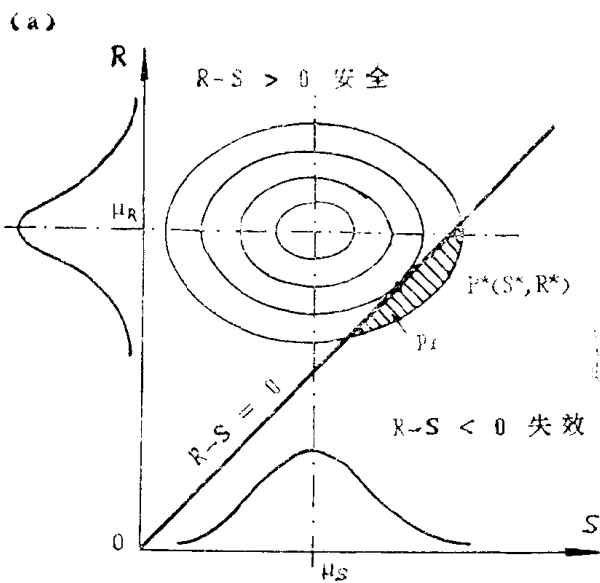


图 1-2

图中还给出 R 和 S 的二维概率分布密度等值线,分布密度曲面与极限状态平面在 (R, S) 平面上所围成的体积,在失效区内就是结构的失效概率 p_f 。

R 和 S 的平均值各为 μ_R 和 μ_S ,标准差为 σ_R 和 σ_S 。为了使问题具有一般性,将 R 和 S 经标准化变换到坐标系 (\hat{R}, \hat{S}) ,令

$$\hat{R} = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R} \quad (1-2)$$

$$\hat{S} = \frac{S - \mu_S}{\sigma_S}$$

在新坐标系上的极限状态方程式为

$$\sigma_R \hat{R} - \sigma_S \hat{S} + (\mu_R - \mu_S) = 0$$

坐标变换不会改变失效概率的性质。若 R, S 为正态分布,则 \hat{R}, \hat{S} 将服从标准正态分布,即均值为零,标准差为1的正态分布。此时,在新坐标系中,原点 \hat{O} 到极限状态平面的距离 β 与失效概率 p_f 具有一一对应的关系,规定 β 的要求,相当于对 p_f 的限制。称 β 为结构可靠指标, p_f 愈小, β 相应愈大。根据几何关系可得

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-3)$$

在极限状态平面上离原点 \hat{O} 最近的点 \hat{P}^* (\hat{S}^*, \hat{R}^*)称为设计验算点,其坐标值为

$$\hat{S}^* = \beta \cos \theta_S = \alpha_S \beta \quad (1-4)$$

$$\hat{R}^* = \beta \cos \theta_R = \alpha_R \beta$$

其中方向余弦为

$$\alpha_S = \frac{\sigma_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-5)$$

$$\alpha_R = -\frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

将 \hat{P}^* 逆变换到原坐标系为 P^* (S^* , R^*)，其坐标值

$$\begin{aligned} S^* &= \mu_S + \sigma_S \hat{S}^* \\ &= \mu_S + \alpha_S \beta \sigma_S = \mu_S (1 + \alpha_S \beta \delta_S) \\ R^* &= \mu_R + \sigma_R \hat{R}^* \\ &= \mu_R + \alpha_R \beta \sigma_R = \mu_R (1 + \alpha_R \beta \delta_R) \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中 δ_S 和 δ_R 各为 S 和 R 的变异系数。

为满足可靠指标 β 要求的设计条件，可以根据 $R^* - S^* = 0$ 得出，即

$$\mu_S (1 + \alpha_S \beta \delta_S) = \mu_R (1 + \alpha_R \beta \delta_R) \quad (1-7)$$

当 R 和 S 的标准值已经规定为 R_k 和 S_k ，而设计表达式采用下述形式

$$\gamma_S^* S_k = \frac{1}{\gamma_R^*} R_k \quad (1-8)$$

式中 γ_S^* 和 γ_R^* 是以设计验算点为依据的分项系数，与(1-7)式比较可得

$$\begin{aligned} \gamma_S^* &= \frac{\mu_S (1 + \alpha_S \beta \delta_S)}{S_k} \\ \gamma_R^* &= \frac{R_k}{\mu_R (1 + \alpha_R \beta \delta_R)} \end{aligned} \quad (1-9)$$

若 R 、 S 不是正态分布，可以采用Rackwitz-Fiessler的算法，将非正态的基本变量，在验算点处，按其分布函数及密度函数与正态变量等量的条件，按当量正态分布考虑，这里不作详细介绍。

当设计采用几个基本变量的模式时，设其极限状态方程

式为

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad (1-10)$$

其中 $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为基本变量。若 $g > 0$ ，则结构安全； $g < 0$ ，则结构失效。

同理也可得到以验算点表示的设计表达式

$$g(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) = 0 \quad (1-11)$$

其中 $X_i^* (i = 1, 2, \dots, n)$ 为设计验算点 P^* 的坐标值。

$$X_i^* = \mu_{x_i} (1 + \alpha_i \beta \delta_{x_i}) \quad (1-12)$$

$$\alpha_i = - \frac{\frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{P^*} \sigma_{x_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{P^*} \sigma_{x_i} \right)^2}} \quad (1-13)$$

表达式采用分项系数的形式，则得

$$g\left(\gamma_s^* X_{sk}, \frac{1}{\gamma_r^*} X_{rk}\right) = 0 \quad (1-14)$$

$$(s = 1, 2, \dots, m; r = m + 1, \dots, n)$$

与(1-11)比较可得

$$\gamma_s^* = \frac{\mu_{X_s} (1 + \alpha_s \beta \delta_{X_s})}{X_{sk}}, \quad (s = 1, 2, \dots, m) \quad (1-15)$$

$$\gamma_r^* = \frac{X_{rk}}{\mu_{X_r} (1 + \alpha_r \beta \delta_{X_r})}, \quad (r = m + 1, \dots, n)$$

由(1-15)式可知，各个分项系数都可按公式根据基本变量的标准值或其它代表值，平均值和变异系数，方向余弦和要求的可靠指标来确定。可以看出，其中方向余弦 α 是随设计条件的改变而各不相同。因此，为了使 β 取得一致，在不同的设计条件下，必须采用不同的分项系数组，这显然是

不可能的。

能否通过规范的规定，固定大部分分项系数，尤其是固定荷载分项系数不变，而针对不同的设计条件，只变动一小部分的分项系数，例如抗力分项系数，而达到可靠指标一致性的目的。

如在极限状态平面上任选一个设计点 $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，它在标准化变换后的坐标系内，离原点 \hat{O} 的距离为 β' ，（图1-3），方向余弦为 α'_i ，即 $\hat{X}_i = \alpha'_i \beta'$ ，则可得

$$X_i = \mu_{X_i}(1 + \alpha'_i \beta' \delta_{X_i}) \quad (1-16)$$

令 $\alpha'_i \beta' = \theta_i \beta$ (1-17)

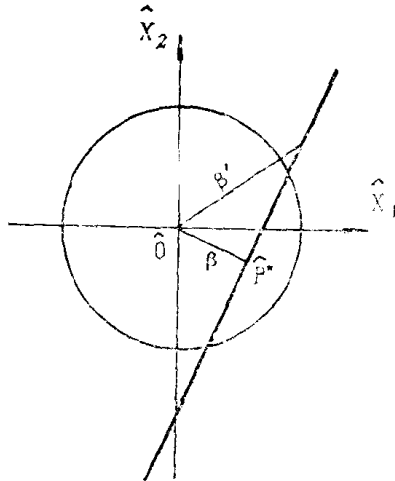


图 1-3

由图 3 可知， β 为 β' 在 $\hat{O}\hat{P}^*$ 上的投影，因此它也等于 β' 在 \hat{X}_i 轴上诸分量 $\alpha'_i \beta'$ 在 $\hat{O}\hat{P}^*$ 上投影的总和，即

$$\sum (\alpha'_i \beta') \alpha_i = \beta \quad (1-18)$$

以 (1-17) 式代入得

$$\sum \theta_i \alpha_i = 1 \quad (1-19)$$

这样就可以在极限状态平面上选用任意设计点 $P(X_1, X_2, \dots,$