

UDC

中华人民共和国国家标准

P



GB50068—2001

建筑结构可靠度设计统一标准

Unified standard for reliability design

of building structures

条文说明

2001—11—13 发布

2002—03—01 实施

中华人民共和国建设部
国家质量监督检验检疫总局 联合发布

中华人民共和国国家标准

建筑结构可靠度设计统一标准

Unified standard for reliability design
of building structures

GB 50068—2001

条文说明

主编部门：中华人民共和国建设部

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2002年3月1日

中国建筑资讯网

2001 北 京

中华人民共和国国家标准

建筑结构可靠度设计统一标准

GB 50068-2001

条文说明

目 次

目 次 4

1 总 则 5

2 术语、符号 7

3 极限状态设计原则 8

4 结构上的作用 11

5 材料和岩土的性能及几何参数 15

6 结构分析 16

7 极限状态设计表达式 17

8 质量控制要求 20

1 总 则

1.0.1~1.0.2 本标准对各类材料的建筑结构可靠度和极限状态设计原则做出了统一规定,适用于建筑结构、组成结构的构件及地基基础的设计;适用于结构的施工阶段和使用阶段。

1.0.3 制定建筑结构荷载规范以及各类材料的建筑结构设计规范均应遵守本标准的规定,由于地基基础和建筑抗震设计在土性指标与地震反应等方面有一定的特殊性,故规定制定建筑地基基础和建筑抗震等设计规范宜遵守本标准规定的原则,表示允许稍有选择。

1.0.4 设计基准期是为确定可变作用及与时间有关的材料性能取值而选用的时间参数,它不等同于建筑结构的设计使用年限。本标准所考虑的荷载统计参数,都是按设计基准期为 50 年确定的,如设计时需采用其他设计基准期,则必须另行确定在设计基准期内最大荷载的概率分布及相应的统计参数。

1.0.5 随着我国市场经济的发展,建筑市场迫切要求明确建筑结构的设计使用年限。值得重视的是最新版国际标准 ISO 2394:1998《结构可靠度总原则》上首次正式提出了设计工作年限(design working life)的概念,并给出了具体分类。本次修订中借鉴了 ISO 2394:1998,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设计规定的一个时期,在这一规定时期内,只需进行正常的维护而不需进行大修就能按预期目的使用,完成预定的功能,即房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和维护下所应达到的使用年限,如达不到这个年限则意味着在设计、施工、使用与维护的某一环节上出现了非正常情况,应查找原因。所谓“正常维护”包括必要的检测、防护及维修。设计使用年限是房屋建筑的地基基础工程和主体结构工程“合理使用年限”的具体化。

1.0.6 结构可靠度与结构的使用年限长短有关,本标准所指的结构可靠度或结构失效概率,是对结构的设计使用年限而言的,当结构的使用年限超过设计使用年限后,结构失效概率可能较设计预期值增大。

结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的能力,称为结构可靠性。结构可靠度是对结构可靠性的定量描述,即结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。这是从统计数学观点出发的比较科学的定义,因为在各种随机因素的影响下,结构完成预定功能的能力只能用概率来度量。结构可靠度

的这一定义，与其他各种从定值观点出发的定义是有本质区别的。

本标准规定的结构可靠度是以正常设计、正常施工、正常使用为条件的，不考虑人为过失的影响。人为过失应通过其他措施予以避免。

1.0.7 在建筑结构必须满足的四项功能中，第 1、第 4 两项是结构安全性的要求，第 2 项是结构适用性的要求，第 3 项是结构耐久性的要求，三者可概括为结构可靠性的要求。

所谓足够的耐久性能，系指结构在规定的工作环境中，在预定时期内，其材料性能的恶化不致导致结构出现不可接受的失效概率。从工程概念上讲，足够的耐久性能就是指在正常维护条件下结构能够正常使用到规定的设计使用年限。

所谓整体稳定性，系指在偶然事件发生时和发生后，建筑结构仅产生局部的损坏而不致发生连续倒塌。

1.0.8 在本标准中，按建筑结构破坏后果的严重性统一划分为三个安全等级，其中，大量的一般建筑物列入中间等级，重要的建筑物提高一级；次要的建筑物降低一级。至于重要建筑物与次要建筑物的划分，则应根据建筑结构的破坏后果，即危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等的严重程度确定。

1.0.9 同一建筑物内的各种结构构件宜与整个结构采用相同的安全等级，但允许对部分结构构件根据其重要程度和综合经济效益进行适当调整。如提高某一结构构件的安全等级所需额外费用很少，又能减轻整个结构的破坏，从而大大减少人员伤亡和财物损失，则可将该结构构件的安全等级比整个结构的安全等级提高一级；相反，如某一结构构件的破坏并不影响整个结构或其他结构构件，则可将其安全等级降低一级。

2 术语、符号

本章的术语和符号主要依据国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》(GBJ 132—90)、国际标准《结构可靠性总原则》(ISO 2394:1998)以及原标准(GBJ 68—84)的规定。

3 极限状态设计原则

3.0.2 承载能力极限状态可理解为结构或结构构件发挥允许的最大承载功能的状态。结构构件由于塑性变形而使其几何形状发生显著改变,虽未达到最大承载能力,但已彻底不能使用,也属于达到这种极限状态。

疲劳破坏是在使用中由于荷载多次重复作用而达到的承载能力极限状态。

正常使用极限状态可理解为结构或结构构件达到使用功能上允许的某个限值的状态。例如,某些构件必须控制变形、裂缝才能满足使用要求。因过大的变形会造成房屋内粉刷层剥落、填充墙和隔断墙开裂及屋面积水等后果;过大的裂缝会影响结构的耐久性;过大的变形、裂缝也会造成用户心理上的不安全感。

3.0.3 本条中“环境”一词的含义是广义的,包括结构所受的各种作用。例如,房屋结构承受家具和正常人员荷载的状况属持久状况;结构施工时承受堆料荷载的状况属短暂状况;结构遭受火灾、爆炸、撞击、罕遇地震等作用的状况属偶然状况。

3.0.5 建筑结构按极限状态设计时,必须确定相应的结构作用效应的最不利组合。两类极限状态的各种组合,详见 7.0.2 和 7.0.5 条。设计时应针对各种有关的极限状态进行必要的计算或验算,当有实际工程经验时,也可采用构造措施来代替验算。

3.0.6 当考虑偶然事件产生的作用时,主要承重结构可仅按承载能力极限状态进行设计,此时采用的结构可靠指标可适当降低。

由于偶然事件而出现特大的作用时,一般说来,要求结构仍保持完整无缺是不现实的,只能要求结构不致因此而造成与其起因不相称的破坏后果。譬如,仅由于局部爆炸或撞击事故,不应导致整个建筑结构发生灾难性的连续倒塌。为此,当按承载能力极限状态的偶然组合设计主要承重结构在经济上不利时,可考虑采用允许结构发生局部破坏而其剩余部分仍具有适当可靠度的原则进行设计。按这种原则设计时,通常可采取构造措施来实现,例如可对结构体系采取有效的超静定措施,以限制结构因偶然事件而造成破坏的范围。

3.0.7 基本变量是指极限状态方程中所包含的影响结构可靠度的各种物理量。它包括:引起结构作用效应 S (内力等)的各种作用,如恒荷载、活荷载、地震、温度变化等,构成结构抗力 R (强度等)的各种因素,如材料性能、几何参数等。分析结构可靠度时,也可将作用效应或结构抗力作为综合的基本变量考虑。基本变量一般可认为是相互独立的随机变量。

极限状态方程是当结构处于极限状态时各有关基本变量的关系式。当结构设计问题中仅包含两个基本变量时,在以基本变量为坐标的平面上,极限状态方程为直线(线性问题)或曲线(非线性问题);当结构设计问题中包含多个基本变量时,在以基本变量为坐标的空间中,极限状态方程为平面(线性问题)或曲面(非线性问题)。

3.0.8~3.0.9 为了合理地统一我国各类材料结构设计规范的结构可靠度和极限状态设计原则,促进结构设计理论的发展,本标准采用了以概率理论为基础的极限状态设计方法,即考虑基本变量概率分布类型的一次二阶矩极限状态设计法。在原标准(GBJ 68—84)编制过程中,主要借鉴了欧洲-国际混凝土委员会(CEB)等六个国际组织联合组成的“结构安全度联合委员会”(JCSS)提出的《结构统一标准规范国际体系》的第一卷——《对各类结构和各种材料的共同统一规则》及国际标准化组织(ISO)编制的《结构可靠度总原则》(ISO 2394)。美国国家标准局 1980 年出版的《为美国国家标准 A58 拟定的基于概率的荷载准则》和前西德 1981 年出版的工业标准《结构安全要求规程的总原则》(草案)均采用了类似的方法。许多其他欧洲国家也采用这种方法编制了有关的国家标准草案。

以往采用的半概率极限状态设计方法,仅在荷载和材料强度的设计取值上分别考虑了各自的统计变异性,没有对结构构件的可靠度给出科学的定量描述。这种方法常常使人误认为只要设计中采用了某一给定安全系数,结构就能百分之百的可靠,将设计安全系数与结构可靠度简单地等同了起来。而以概率理论为基础的极限状态设计方法则是以结构失效概率来定义结构可靠度,并以与结构失效概率相对应的可靠指标 β 来度量结构可靠度,从而能较好地反映结构可靠度的实质,使设计概念更为科学和明确。

当极限状态方程中仅有作用效应 S 和结构抗力 R 两个基本变量时,可采用式(3.0.9-1)计算结构构件的可靠指标 β 。当基本变量均按正态分布时,式(3.0.9-1)可以直接应用;当基本变量不按正态分布时,则须将其转化为相应的当量正态分布,也就是在设计验算点处以概率密度函数值和概率分布函数值各自相等为条件,求出当量正态分布的平均值、标准差,然后代入式(3.0.9-1)计算。由于设计验算点在设计时往往是待求的,因此就需要从假定设计验算点的坐标值开始,通过若干次迭代过程,最后得出所需的设计验算点和相应的统计参数。利用计算机进行计算是较为简便的。

在实际工程问题中,仅有作用效应和结构抗力两个基本变量的情况是很少的,一般均为多个基本变量。上述的原则和方法也适用于多个基本变量情况下结构可靠指标的计算。

3.0.11 表 3.0.11 中规定的结构构件承载能力极限状态设计时采用的可靠指标，是以建筑结构安全等级为二级时延性破坏的 β 值 3.2 作为基准，其他情况下相应增减 0.5。可靠指标 β 与失效概率运算值 p_f 的关系见下表：

β	2.7	3.2	3.7	4.2
P_f	3.5×10^{-3}	6.9×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.3×10^{-5}

表 3.0.11 中延性破坏是指结构构件在破坏前有明显的变形或其他预兆；脆性破坏是指结构构件在破坏前无明显的变形或其他预兆。

表 3.0.11 中作为基准的 β 值，是根据对 20 世纪 70 年代各类材料结构设计规范校准所得的结果，经综合平衡后确定的。本次修订根据“可靠度适当提高一点”的原则，取消了原标准“可对本表的规定值作不超过 ± 0.25 幅度的调整”的规定，因此表 3.0.11 中规定的 β 值是各类材料结构设计规范应采用的最低 β 值。

表 3.0.1 中规定的 β 值是对结构构件而言的。对于其他部分如连接等，设计时采用的 β 值，应由各类材料的结构设计规范另作规定。

目前由于统计资料不够完备以及结构可靠度分析中引入了近似假定，因此所得的失效概率 p_f 及相应的 β 尚非实际值。这些值是一种与结构构件实际失效概率有一定联系的运算值，主要用于对各类结构构件可靠度作相对的度量。

3.0.12 为促进房屋使用性能的改善，根据 ISO 2394:1998 的建议，结合国内近年来对我国建筑结构构件正常使用极限状态可靠度所做的分析研究成果，对结构构件正常使用的可靠度做出了规定。对于正常使用极限状态，其可靠指标一般应根据结构构件作用效应的可逆程度选取：可逆程度较高的结构构件取较低值；可逆程度较低的结构构件取较高值，例如 ISO 2394:1998 规定，对可逆的正常使用极限状态，其可靠指标取为 0；对不可逆的正常使用极限状态，其可靠指标取为 1.5。

不可逆极限状态指产生超越状态的作用被移掉后，仍将永久保持超越状态的一种极限状态；可逆极限状态指产生超越状态的作用被移掉后，将不再保持超越状态的一种极限状态。

4 结构上的作用

4.0.1 结构上的某些作用，例如楼面活荷载和风荷载，它们各自出现与否以及数值大小，在时间上和空间上均彼此互不相关，故称为在时间上和空间上互相独立的作用。这种作用在计算其效应和进行组合时，可按单独的作用处理。

4.0.2

1 作用按随时间的变异分类，是对作用的基本分类。它直接关系到概率模型的选择，而且按各类极限状态设计时所采用的作用代表值一般与其出现的持续时间长短有关。

1)永久作用的特点是其统计规律与时间参数无关，故可采用随机变量概率模型来描述。例如结构自重，其量值在整个设计基准期内基本保持不变或单调变化而趋于限值，其随机性只是表现在空间位置的变异上。

2)可变作用的特点是其统计规律与时间参数有关，故必须采用随机过程概率模型来描述。例如楼面活荷载、风荷载等。

3)偶然作用的特点是在设计基准期内不一定出现，而一旦出现其量值是很大的。例如爆炸、撞击、罕遇的地震等。

2 作用按随空间位置的变异分类，是由于进行荷载效应组合时，必须考虑荷载在空间的位置及其所占面积大小。

1)固定作用的特点是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，房屋建筑楼面上位置固定的设备荷载、屋盖上的水箱等。

2)自由作用的特点是可以结构的一定空间上任意分布，出现的位置及量值都可能是随机的。例如，楼面的人员荷载等。

3 作用按结构的反应分类，主要是因为进行结构分析时，对某些出现在结构上的作用需要考虑其动力效应(加速度反应)。作用划分为静态或动态作用的原则，不在于作用本身是否具有动力特性，而主要在于它是否使结构产生不可忽略的加速度。有很多作用，例如民用建筑楼面上的活荷载，本身可能具有一定的动力特性，但使结构产生的动力效应可以忽略不计，这类作用仍应划为静态作用。

对于动态作用，在结构分析时一般均应考虑其动力效应。有一部分动态作用，例如吊车荷载，设计时可采用增大其量值(即乘以动力系数)的方法按静态作用处理。另一部分动态作用，例如地震作用、大型动力设备的作用等，则须采用结构动力学

方法进行结构分析。

作用按时间、按空间位置、按结构反应进行分类,是三种不同的分类方法,各有其不同的用途。例如吊车荷载,按随时间变异分类为可变作用,按随空间位置变异分类为自由作用,按结构反应分类为动态作用。每种作用按此分类方法各属何类,需依据作用的性质具体确定。本条中的举例,旨在说明分类的基本概念,而不是全部的分类。

4.0.3 施加在结构上的荷载,不但具有随机性质,而且一般还与时间参数有关,所以用随机过程来描述是适当的。

在一个确定的设计基准期 T 内,对荷载随机过程作一次连续观测(例如对某地的风压连续观测 50 年),所获得的依赖于观测时间的数据就称为随机过程的一个样本函数。每个随机过程都是由大量的样本函数构成的。

荷载随机过程的样本函数是十分复杂的,它随荷载的种类不同而异。目前对各类荷载随机过程的样本函数及其性质了解甚少。对于常见的楼面活荷载、风荷载、雪荷载等,为了简化起见,采用了平稳二项随机过程概率模型,即将它们的样本函数统一模型化为等时段矩形波函数,矩形波幅值的变化规律采用荷载随机过程 $\{Q(t), t \in [0, T]\}$ 中任意时点荷载的概率分布函数 $F_Q(x) = P\{Q(t_0) \leq x, t_0 \in [0, T]\}$ 来描述。

对于永久荷载,其值在设计基准期内基本不变,从而随机过程就转化为与时间无关的随机变量 $\{G(t) = G, t \in [0, T]\}$,所以样本函数的图像是平行于时间轴的一条直线。此时,荷载一次出现的持续时间 $\tau = T$,在设计基准期内的时段数 $r = T/\tau = 1$,而且在每一时段内出现的概率 $p = 1$ 。

对于可变荷载(住宅、办公楼等楼面活荷载及风、雪荷载等),其样本函数的共同特点是荷载一次出现的持续时间 $\tau < T$,在设计基准期内的时段数 $r > 1$,且在 T 内至少出现一次,所以平均出现次数 $m = pr \geq 1$ 。不同的可变荷载,其统计参数 τ 、 p 以及任意时点荷载的概率分布函数 $F_Q(x)$ 都是不同的。

对于住宅、办公楼楼面活荷载及风、雪荷载随机过程的样本函数采用这种统一的模型,为推导设计基准期最大荷载的概率分布函数和计算组合的最大荷载效应(综合荷载效应)等带来很多方便。

当采用一次二阶矩极限状态设计法时,必须将荷载随机过程转化为设计基准期最大荷载

$$Q_T = \max_{0 \leq t \leq T} Q(t)$$

因 T 已规定, 故 Q_T 是一个与时间参数 t 无关的随机变量。

各种荷载的概率模型必须通过调查实测, 根据所获得的资料和数据进行统计分析后确定, 使之尽可能反映荷载的实际情况, 并不要求一律选用平稳二项随机过程这种特定的概率模型。

4.0.4 任意时点荷载的概率分布函数 $F_Q(x)$ 是结构可靠度分析的基础。它应根据实测数据, 运用 χ^2 检验或 K-S 检验等方法, 选择典型的概率分布如正态、对数正态、伽马、极值 I 型、极值 II 型、极值 III 型等来拟合, 检验的显著性水平统一取 0.05。显著性水平是指所假设的概率分布类型为真而经检验被拒绝的最大概率。

荷载的统计参数, 如平均值、标准差、变异系数等, 应根据实测数据, 按数理统计学的参数估计方法确定。当统计资料不足而一时又难以获得时, 可根据工程经验经适当的判断确定。

4.0.5 荷载代表值有荷载的标准值、组合值、频遇值和准永久值, 本次修订中增加了频遇值。根据各类荷载的概率模型, 荷载的各种代表值均应具有明确的概率意义。

4.0.6 根据概率极限状态设计方法的要求, 荷载标准值应根据设计基准期内最大荷载概率分布的某一分位值确定。在原标准的编制过程中, 各类荷载的标准值维持了当时规范的取值水平, 只对个别不合理者作了适当调整。

各类荷载标准值的取值水平分别为:

永久荷载标准值一般相当于永久荷载概率分布(也是设计基准期内最大荷载概率分布)的 0.5 分位值, 即正态分布的平均值。对易于超重的钢筋混凝土板类构件(屋面板、楼板等)的调查表明, 其标准值相当于统计平均值的 0.95 倍。由此可知, 对大多数截面尺寸较大的梁、柱等承重构件, 其标准值按设计尺寸与材料重力密度标准值计算, 必将更接近于重力概率分布的平均值。

对于某些重量变异较大的材料和构件(如屋面的保温材料、防水材料、找平层以及钢筋混凝土薄板等), 为在设计表达式中采用统一的永久荷载分项系数而又能使结构构件具有规定的可靠指标, 其标准值应根据对结构的不利状态, 通过结构可靠度分析, 取重力概率分布的某一分位值确定, 例如 0.95 或 0.05 分位值。计算分析表明, 按第 7 章给出的设计表达式设计, 对承受自重为主的屋盖结构, 由保温、防水及找平层等产生的恒荷载宜取高分位值的标准值, 具体数值应符合荷载规范的规定。

根据统计资料, 新修订的荷载规范规定的楼面活荷载标准值(2.0kN/m^2), 对于办公楼楼面活荷载相当于设计基准期最大荷载平均值加 3.16 倍标准差, 对于住宅楼面活荷载相当于设计基准期最大荷载平均值加 2.38 倍标准差。

根据统计资料,荷载规范规定的风荷载标准值接近于设计基准期最大风荷载的平均值。某些部门和地区曾反映,对于风荷载较敏感的高耸结构,规范规定的风荷载标准值偏低,有些输电塔还发生过风灾事故。新修订的建筑结构荷载规范已将风、雪荷载标准值由原来规定的“三十年一遇”值,提高到“五十年一遇”值。

4.0.7 荷载组合值是对可变荷载而言的,主要用于承载能力极限状态的基本组合中,也用于正常使用极限状态的标准组合中。组合值是考虑施加在结构上的各可变荷载不可能同时达到各自的最大值,因此,其取值不仅与荷载本身有关,而且与荷载效应组合所采用的概率模型有关。荷载组合值系数 S_{G_k} 可根据荷载在组合后产生的总作用效应值在设计基准期内的超越概率与考虑单一作用时相应概率趋于一致的原则确定,其实质是要求结构在单一可变荷载作用下的可靠度与在两个及以上可变荷载作用下的可靠度保持一致。

4.0.8 荷载频遇值也是对可变荷载而言的,主要用于正常使用极限状态的频遇组合中。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。

4.0.9 荷载准永久值也是对可变荷载而言的。主要用于正常使用极限状态的准永久组合和频遇组合中。准永久值反映了可变荷载的一种状态,其取值系按可变荷载出现的频繁程度和持续时间长短确定。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达到和超过该值的总持续时间与设计基准期的比值为 0.5 确定。对住宅、办公楼楼面活荷载及风雪荷载等,这相当于取其任意时点荷载概率分布的 0.5 分位值。准永久值的具体取值,将由建筑结构荷载规范作出规定。在结构设计时,准永久值主要用于考虑荷载长期效应的影响。

4.0.10 目前,由于对许多偶然作用尚缺乏研究,缺少必要的实际观测资料,因此,偶然作用的代表值及有关参数,常常只能根据工程经验、建筑物类型等情况,经综合分析判断确定。对有观测资料的偶然作用,则应建立符合其特性的概率模型,给出有明确概率意义的代表值。

5 材料和岩土的性能及几何参数

5.0.1 材料性能实际上是随时间变化的,有些材料性能,例如木材、混凝土的强度等,这种变化相当明显,但为了简化起见,各种材料性能仍作为与时间无关的随机变量来考虑,而性能随时间的变化一般通过引进换算系数来估计。

5.0.2 用材料的标准试件试验所得的材料性能 f_{spe} ,一般说来,不等同于结构中实际的材料性能 f_{str} ,有时两者可能有较大的差别。例如,材料试件的加荷速度远超过实际结构的受荷速度,致使试件的材料强度较实际结构中偏高;试件的尺寸远小于结构的尺寸,致使试件的材料强度受到尺寸效应的影响而与结构中不同;有些材料,如混凝土,其标准试件的成型与养护与实际结构并不完全相同,有时甚至相差很大,以致两者的材料性能有所差别。所有这些因素一般习惯于采用换算系数或函数 K_0 来考虑,从而结构中实际的材料性能与标准试件材料性能的关系可用下式表示:

$$f_{str} = K_0 f_{spe}$$

由于结构所处的状态具有变异性,因此换算系数或函数 K_0 也是随机变量。

5.0.3 材料强度标准值一般取概率分布的低分位值,国际上一般取 0.05 分位值,本标准也采用这个分位值确定材料强度标准值。此时,当材料强度按正态分布时,标准值为

$$f_k = \mu_f - 1.645\sigma_f$$

当按对数正态分布时,标准值近似为

$$f_k = \mu_f \exp(-1.645\delta_f)$$

式中 μ_f 、 σ_f 及 δ_f 分别为材料强度的平均值、标准差及变异系数。

当材料强度增加对结构性能不利时,必要时可取高分位值。

5.0.4 岩土性能参数的标准值当有可能采用可靠性估值时,可根据区间估计理论确定,单侧置信界限值由式 $f_k = \mu_f \left(1 \pm \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}} \delta_f \right)$ 求得,式中 t_α 为学生氏函数,按置信度 $1-\alpha$ 和样本容量 n 确定。

5.0.5 结构的某些几何参数,例如梁跨和柱高,其变异性一般对结构抗力的影响很小,设计时可按确定量考虑。

6 结构分析

6.0.1 结构的作用效应是指在作用影响下的结构反应。通常包括截面内力(如轴力、剪力、弯矩、扭矩)以及变形和裂缝。设计时,将前者与计算的结构抗力相比较,将后者与规定的限值相比较,可验证结构是否可靠。

6.0.3 一维的结构计算模型适用于结构的某一维(长度)比其他两维大得多的情况,如梁、柱、拱;二维的结构计算模型适用于结构的某一维(厚度)比其他两维小得多的情况,如双向板、深梁、壳体;三维的结构计算模型适用于结构中没有任何一维显著大于或小于其他两维的情况。

6.0.7 作用效应及结构构件抗力计算模式的不精确性,是指计算结果与实际情况不相吻合的程度。其中包括确定作用效应时采用的计算简图和分析方法的误差,截面抗力的计算公式的误差,以及关于作用、材料性能、几何参数统计分析中的误差等。这类误差不是定值而是随机变量,因此,在极限状态方程中应引进附加的基本变量予以考虑。它的概率分布函数和统计参数,理论上应根据作用效应和结构构件抗力的实际值与按规范公式的计算值的比值,运用统计分析方法来确定。在具体实践时,作用效应和结构构件抗力的实际值,可以采用精确计算值或试验实测值。因为进行精确计算往往有困难,所以通常是根据试验结果,辅以工程经验判断,对这种误差的统计规律做出估计。

7 极限状态设计表达式

7.0.1 为了使所设计的结构构件在不同情况下具有比较一致的可靠度,本标准采用了多个分项系数的极限状态设计表达式。

本标准将荷载分项系数按永久荷载与可变荷载分为两大类,以便按荷载性质区别对待。这与目前许多国家规范所采用的设计表达式基本相同。考虑到各类材料结构的通用性,通过对各种结构构件的可靠度分析,本标准对常用荷载分项系数给出了统一的规定。

结构构件抗力分项系数,应按不同结构构件的特点分别确定,亦可转换为按不同的材料采用不同的材料性能分项系数。本标准对此未提出统一要求,在各类材料的结构设计规范中,应按在各种情况下 β 具有较佳一致性的原则,并适当考虑工程经验具体规定。

7.0.2 原标准中规定的荷载分项系数系按下列原则经优选确定的:在各种荷载标准值已给定的前提下,要选取一组分项系数,使按极限状态设计表达式设计的各种结构构件具有的可靠指标与规定的可靠指标之间在总体上误差最小。在定值过程中,对钢、薄钢、钢筋混凝土、砖石和木结构选择了14种有代表性的构件,若干种常遇的荷载效应比值(可变荷载效应与永久荷载效应之比)以及三种荷载效应组合情况(恒荷载与住宅楼面活荷载、恒荷载与办公楼楼面活荷载、恒荷载与风荷载)进行分析。最后确定,在一般情况下采用 $\gamma_G=1.2$, $\gamma_Q=1.4$,本标准继续采用。

为保证以永久荷载为主结构构件的可靠指标符合规定值,本次修订增加了式(7.0.2-2),与式(7.0.2-1)同时使用,该设计表达式对以永久荷载为主的结构起控制作用。

一般情况下,一个建筑总有两种及两种以上荷载同时作用。每个荷载的大小都是一个随机变量,而且是随时间而变化的,不应也不可能同时都以最大值出现在同一结构物上。将荷载模型化为等时段矩形波函数,按荷载组合理论,依据可靠指标一致性原则,可根据荷载统计参数与荷载样本函数求得组合值系数。原《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84),仅给出当风荷载与其他可变荷载组合时,组合值系数可均采用0.6这一规定,避而不谈其他情况,其原因是荷载规范一直沿用遇风组合原则,当时规范编制者认为这种情况最有把握。这样规定的结果可能产生其他情况不应考虑组合值系数的误解。新修订的荷载规范认为“遇风组合”原则过于保守,因

此取消“遇风组合”规定，采用两种及两种以上可变荷载均应考虑组合值系数的规定。

考虑到采用式(7.0.2-1)对排架和框架结构可能增加一定的计算工作量，为了应用简便起见，本标准允许对一般排架、框架结构采用简化的设计表达式(7.0.2-3)，并与式(7.0.2-2)同时使用。

当结构承受两种或两种以上可变荷载，且其中有一种量值较大时，则有可能仅考虑较大的一种可变荷载更为不利。

荷载效应与荷载为线性关系是指两者之比为常量的情况。

偶然组合是指一种偶然作用与其他可变荷载相组合。偶然作用发生的概率很小，持续的时间较短，但对结构却可造成相当大的损害。鉴于这种特性，从安全与经济两方面考虑，当按偶然组合验算结构的承载能力时，所采用的可靠指标值允许比基本组合有所降低。国际“结构安全度联合委员会”(JCSS)编制的《对各类结构和各种材料的共同统一规则》附录一中也反映了这个原则，其偶然状态下可靠指标的计算公式如下：

$$\beta = -\phi^{-1}\left(\frac{p_f}{p_0}\right)$$

式中 p_f —正常情况下结构构件失效概率的运算值；

p_0 —在结构的设计基准期内偶然作用出现一次的概率；

$\phi^{-1}()$ —标准正态分布函数的反函数。

应该指出，当 $p_f \geq p_0/2$ 时 β 为负值，故应用上述公式时尚需规定其他条件。

由于不同的偶然作用，如撞击和爆炸，其性质差别较大，目前尚难给出统一的设计表达式，故本标准只提出了建立偶然组合设计表达式的一般原则。对于偶然组合，一般是：(1)只考虑一种偶然作用与其他荷载相组合；(2)偶然作用不乘以荷载分项系数；(3)可变荷载可根据与偶然作用同时出现的可能性，采用适当的代表值，如准永久值等；(4)荷载与抗力分项系数值，可根据结构可靠度分析或工程经验确定。

7.0.3 结构重要性系数 γ_0 在原标准中是考虑结构破坏后果的严重性而引入的系数，对于安全等级为一级和三级的结构构件分别取 1.1 和 0.9。可靠度分析表明，采用这些系数后，结构构件可靠指标值较安全等级为二级的结构构件分别增减 0.5 左右，与表 3.0.11 的规定基本一致。本次修订中除保留原来的意义外，对设计使用年限为 100 年及以上和 5 年的结构构件，也通过结构重要性系数 γ_0 对作用效应进行调整。考虑

不同投资主体对建筑结构可靠度的要求可能不同，故允许结构重要性系数 γ_0 分别取不应小于 1.1、1.0 和 0.9。

7.0.4 对永久荷载系数 γ_G 和可变荷载系数 γ_Q 的取值，分别根据对结构构件承载能力有利和不利两种情况，做出了具体规定。

在某些情况下，永久荷载效应与可变荷载效应符号相反，而前者对结构承载力起有利作用。此时，若永久荷载分项系数仍取同号效应时相同的值，则结构构件的可靠度将严重不足。为了保证结构构件具有必要的可靠度，并考虑到经济指标不致波动过大和应用方便，本标准规定当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时， γ_G 不应大于 1.0。

7.0.5～7.0.6 对于正常使用极限状态，本标准规定按荷载的持久性采用三种组合：标准组合、频遇组合和准永久组合。由于目前对正常使用极限状态的各种限值及结构可靠度分析方法研究得不充分，因此结构设计仍需以过去的经验为基础进行。频遇组合和准永久组合在设计时如何应用，应由各类材料结构设计规范根据各自的特点具体规定。

8 质量控制要求

8.0.1 材料和构件的质量可采用一个或多个质量特征来表达,例如,材料的试件强度和其他物理力学性能以及构件的尺寸误差等。为了保证结构具有预期的可靠度,必须对结构设计、原材料生产以及结构施工提出统一配套的质量水平要求。材料与构件的质量水平可按各类材料结构设计规范规定的结构构件可靠指标 β 近似地确定,并以有关的统计参数来表达。当荷载的统计参数已知后,材料与构件的质量水平原则上可采用下列质量方程来描述:

$$q(\mu_f, \delta_f, \beta, f_k) = 0$$

式中 μ_f 和 δ_f 为材料和构件的某个质量特征 f 的平均值和变异系数, β 为规范规定的结构构件可靠指标。

应当指出,当按上述质量方程确定材料和构件的合格质量水平时,需以安全等级为二级的典型结构构件的可靠指标为基础进行分析。材料和构件的质量水平要求,不应随安全等级而变化,以便于生产管理。

8.0.2 材料的等级一般以材料强度标准值划分。同一等级的材料采用同一标准值。无论天然材料还是人工材料,对属于同一等级的不同产地和不同厂家的材料,其性能的质量水平一般不宜低于各类材料结构设计规范规定的可靠指标 β 的要求。按本标准制定质量要求时,允许各有关规范根据材料和构件的特点对此指标稍作增减。

8.0.7 材料及构件的质量控制包括两种,其中生产控制属于生产单位内部的质量控制;合格控制是在生产单位和用户之间进行的质量控制,即按统一规定的质量验收标准或双方同意的其他规则进行验收。

在生产控制阶段,材料性能的实际质量水平应控制在规定的合格质量水平之上。当生产有暂时性波动时,材料性能的实际质量水平亦不得低于规定的极限质量水平。

8.0.8 由于交验的材料和构件通常是大批量的,而且很多质量特征的检验是破坏性的,因此,合格控制一般采用抽样检验方式。对于有可靠依据采用非破损检验方法的,必要时可采用全数检验方式。

验收标准主要包括下列内容:

- 1 批量大小——每一交验批中材料或构件的数量;
- 2 抽样方法——可为随机的或系统的抽样方法。系统的抽样方法是指抽样部位或时间是固定的;

3 抽样数量——每一交验批中抽取试样的数量;

4 验收函数——验收中采用的试样数据的某个函数,例如样本平均值、样本方差、样本最小值或最大值等;

5 验收界限——与验收函数相比较的界限值,用以确定交验批合格与否。

当前在材料和构件生产中,抽样检验标准多数是根据经验来制订的。其缺点在于没有从统计学观点合理考虑生产方和用户方的风险率或其他经济因素,因而所规定的抽样数量和验收界限往往缺乏科学依据,标准的松严程度也无法相互比较。

为了克服非统计抽样检验方法的缺点,本标准规定宜在统计理论的基础上制订抽样质量验收标准,以使达不到质量要求的交验批基本能判为不合格,而已达到质量要求的交验批基本能判为合格。

8.0.9 现有质量验收标准型式很多,本标准系按下述原则考虑:

对于生产连续性较差或各批间质量特征的统计参数差异较大的材料和构件,很难使产品批的质量基本维持在合格质量水平之上,因此必须按控制用户方风险率制订验收标准。此时,所涉及的极限质量水平,可按各类材料结构设计规范的有关要求和工程经验确定,与极限质量水平相应的用户风险率,可根据有关标准的规定确定。

对于工厂内成批连续生产的材料和构件,可采用计数或计量的调整型抽样检验方案。当前可参考国际标准 ISO 2859 及 ISO 3951 制定合理的验收标准和转换规则。规定转换规则主要是为了限制劣质产品出厂,促进提高生产管理水平;此外,对优质产品也提供了减少检验费用的可能性。考虑到生产过程可能出现质量波动,以及不同生产单位的质量可能有差别,允许在生产中对质量验收标准的松严程度进行调整。当产品质量比较稳定时,质量验收标准通常可按控制生产方的风险率来制订。此时所涉及的合格质量水平,可按规范规定的结构构件可靠指标 β 来确定。确定生产方的风险率时,应根据有关标准的规定并考虑批量大小、检验技术水平等因素确定。

8.0.10 当交验的材料或构件按质量验收标准检验判为不合格时,并不意味着这批产品一定不能使用,因为实际上存在着抽样检验结果的偶然性和试件的代表性等问题。为此,应根据有关的质量验收标准采取各种措施对产品做进一步检验和判定。例如,可以重新抽取较多的试样进行复查;当材料或构件已进入结构物时,可直接从结构中截取试件进行复查,或直接在结构物上进行荷载试验;也允许采用可靠的非破损检测方法并经综合分析后对结构做出质量评估。对于不合格的产品允许降级使用,

直至报废。