

建筑结构服役全过程可靠性概念注记^{*}

吴 澎

郭院成 陈少伟

(河南师范大学, 新乡, 453002) (郑州工业大学土木建筑工程学院)

摘 要 从建筑结构的可维修性出发, 根据结构从设计到服役直至破坏全过程各阶段综合抗力和综合荷载效应的不同特点, 详细探讨了结构各阶段概率极限状态设计中可靠性概念的实质涵义。对结构设计及正常使用过程中结构动态可靠度水平的识别和控制有一定的意义。

关键词 服役全过程; 最优设防水平; 维修可靠度

中图分类号 TU 312.3

建筑结构的设计必须满足一定的可靠性要求。若以 R 表示建筑结构的综合抗力水平, 以 S 表示结构在其使用基准期内所产生的综合荷载效应。则结构的功能函数可表示为

$$Z(R, S) = R - S$$

相应的结构可靠度为

$$P(Z > 0) = P(R - S > 0) = P(R > S)$$

因此建筑结构的可靠性设计从广义上讲就是使结构的抗力水平 R 大于结构的荷载效应 S 。在建筑结构的荷载效应 S 一定的情况下, 增加结构的抗力水平 R ; 或者在结构的抗力水平 R 不变的情况下, 减小结构的荷载效应 S 都可提高建筑结构的可靠度水平。建筑结构可靠度的概念贯穿了结构设计及使用的全过程, 在不同的阶段, 结构的综合抗力水平和荷载效应具有不同的特点, 从而使得结构的可靠度在其服役全过程中的不同阶段具有不同的涵义。因此, 可靠性设计和可靠性跟踪决策过程中可靠度的实现方法也各不相同。

对于可维修的建筑结构, 从其可行性论证、方案构思、结构设计到实际使用直至结构完全破坏, 从结构的综合抗力及其荷载效应在不同阶段的特点出发, 可以将建筑结构分为“概念结构”、“设计结构”、“新建结构”、“在役结构”、“受灾结构”和“维修结构”。

1 “概念结构”的最优设防水平

从优化的观点来看, 结构的设计和维修必须兼顾近期投资和长远效益, 只有在结构服役全过程中, 总经济效益与总投资相比有利时, 结构设计才可能是“优化的”、“令人满意的”, 而综合考虑近期投资和远期效益的控制指标取可靠度最为合适, 可靠性概念实际上贯穿了结构设计和服役的全过程。

对“概念结构”来说, 结构还只是一个非常模糊的总体概念。其具体几何尺寸及材料性能指标还属于未确定量, 此时从“优化”设计的角度出发, 结构的可靠性设计概念主要体现在“最优设防水平”决策上。即建筑结构所在地的荷载情况基本上可预先确知, 要满足结构的

^{*} 河南省自然科学基金资助项目 (964040500)

收稿日期: 1998—02—16

第一作者 男 1964 年 6 月生 学士学位 工程师

可靠性水平设计,必须使结构的抗力水平建立在一个较为科学、合理的水平上。根据“概念结构”抗灾强度和延性的模糊综合评估以及结构在计划服役期内的荷载危险性分析,可将未来结构的设防水平确定在最优水平上。所以对“概念结构”来说,还根本谈不上可靠度的问题,建筑结构的综合抗力水平和荷载综合效应均属于一个非常“模糊”的概念,且其实现过程的复杂性使其具有极大的“随机”性。

2 “新建结构”的安全度概念

由结构的最优设防水平,即可实现结构的设计,将结构的计算简图规定出来,得到“设计结构”,此时结构的材料性能及几何尺寸都具有明确的定义。但其可靠度还只是针对计算简图而言的,故称其为“设计结构”的安全度。

据此“设计结构”进行施工即得“新建结构”,显然“新建结构”与“设计结构”可靠度(安全度)概念的区别仅在于施工条件方面。一方面实际工程结构与计算简图之间存在着差异,另一方面施工条件对材料性能及结构几何尺寸会有不同程度的影响,使材料性能及结构几何尺寸具有明显的变异性,但“新建结构”是依据“设计结构”建成的。可采用修正“设计结构”可靠度的方法来评估“新建结构”的可靠度^[1]。

$$\Psi(0, T) = \rho_{\pm} \rho_{材} \rho_{计} \Psi_0(T) \tag{1}$$

式中 $\Psi_0(T)$ ——“设计结构”安全度; ρ_{\pm} ——考虑施工质量的调整系数; $\rho_{材}$ ——实际材料质量调整系数; $\rho_{计}$ ——考虑计算简图与实际结构间差异的计算调整系数。

这些系数可以利用专家经验进行模糊综合评估而得到。对可实测结构,“新建结构”的可靠度可表示为

$$\Psi(0, T) = \rho_0 \Psi_{计}(0, T) \tag{2}$$

式中 $\Psi_{计}(0, T)$ 为根据实测数据计算所得的结构可靠度; ρ_0 为考虑施工质量、材料性能等因素的综合调整系数,也可根据专家经验进行模糊评估而得。

3 “在役结构”的可靠度概念

“在役结构”是指处于服役过程中的结构,即满足承载能力极限状态,处于正常使用状态下的建筑结构。若假定随机变量 $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ 分别表示结构强度、工作性能及耐久性能满足要求,则结构的可靠度可表示为

$$P(\Omega) = P(\Omega_1 \cap \Omega_2 \cap \Omega_3)$$

考虑到结构的安全性、适用性和耐久性是相互关联的,故结构可靠度亦可表示为^[2]

$$P(\Omega) = P(\Omega_1)P(\Omega_2 | \Omega_1)P(\Omega_3 | \Omega_1 \Omega_2)$$

实际上“在役结构”的安全度与“新建结构”的安全度是密切相关的,即有 $P(\Omega)(0, T) = \Psi(0, T)$ 存在。而单独考虑结构适用性时,其状态方程可表示为

$$Z = g_2(A, A^a) = A^a(t_1, T_1) - A(t_1, T_1) \tag{3}$$

式中 A, A^a 分别表示荷载的变形效应综合变量和与之相对应的限制值。显然有

$$P(\Omega_2) = P(A^a - A \geq 0) = P(A^a \geq A) \tag{4}$$

单独考虑结构的耐久性时,其状态方程为

$$Z = g_3(D, D^a) = D^a(t_1, T_1) - D(t_1, T_1) \tag{5}$$

式中 D, D^a 分别表示反映结构耐久性能指标的综合变量及其相应的限制值。则有

$$P(\Omega_3) = P(D^a - D \geq 0) = P(D^a \geq D) \quad (6)$$

考虑在可靠性设计中,安全性、适用性和耐久性所处的地位是不同的,通常以安全性为主要研究对象。因此,在可靠性评估中我们以“新建结构”安全性为基础,通过结构在服役期间的适用性和耐久性能方面的具体表现来对此加以修正,从而得到“在役结构”的可靠度。若以 $\Psi(t_1, T_1)$ 表示“在役结构”的可靠概率,则

$$\Psi(t_1, T_1) = \rho_A(t_1) \rho_D(t_1) \rho_0(t_1, T_1) \Psi(0, T) \quad (7)$$

式中 $\rho_A(t_1)$ ——考虑服役期 t_1 内的结构适用性的调整系数, $\rho_A(0)=1.0$; $\rho_D(t_1)$ ——考虑结构耐久性能的调整函数, $\rho_D(0)=1.0$; $\rho_0(t_1, T_1)$ ——考虑到在役结构役龄 t_1 时结构抗力水平及后续服役期 T_1 中荷载变化情况的综合调整系数,显然有 $\rho_0(0, T)=1.0$ 。

针对具体实际问题, $\rho_A(t_1), \rho_D(t_1), \rho_0(t_1, T_1)$ 可根据结构役龄为 t_1 时对结构进行的实测数据,并考虑专家经验取得。一般情况下, $\rho_A(t_1), \rho_D(t_1)$ 都要具有程度不同的折减性质,而 $\rho_0(t_1, T_1)$ 在不考虑结构计算模式发生变化时,仅由荷载危性分析决定。对特殊情况 $T_1=T$ 有: $\rho_0(t_1, T_1)=1.0$ 。

4 “受灾结构”的可靠度概念

建筑结构属于可维修结构,在其使用期内遭受外部特大荷载作用时,结构就可能发生局部或整体的破坏,为恢复建筑结构的使用功能,首先就要对灾后结构的承载能力及使用功能做出真实的、科学的评价。可靠度指标是一个综合考虑结构承载能力、正常使用功能的具有高度概括性的参数,受灾结构的可靠性评估的主要依据是灾后结构表现数据、部分实测数据和专家经验,在这里充分考虑了专家经验的作用和实测数据,它反映了此问题目前的研究水平。

但这里还存在着两个问题:一是以局部实测数据来表述结构整体功能状态值,肯定不够全面、准确;二是对灾后结构可靠性的评估忽略了灾前结构的可靠度现状。实际上每次灾害给结构带来的破坏影响,即灾后结构的可靠度是与本次灾害的等级情况、灾前结构的可靠度密切相关的,对受灾结构进行可靠度评估时,不仅要针对灾后结构本身进行,还应该考虑灾前结构的可靠度水平,因为在役结构的可靠度从全面、综合的角度考虑了结构的抗灾水平和延性变形能力。当然,灾前在役结构可靠度在很多情况下都没有实测数据,而需依靠专家经验对服役结构的表现作出主观的“分析和评估”。对不同的灾害级别,它对结构本身的破坏影响肯定是不同的。特别对于结构的深层表现和整体表现,综合考虑灾前结构可靠度及本次灾害的等级水平,可以从整体出发,较全面地反映情况。再结合灾后结构现状的专家评估结果,即可使灾后结构的可靠性评估建立在比较客观、全面和科学的基础之上。以 $\Psi'(t_1, T_1)$ 表示灾后结构可靠度则可写为

$$\Psi'(t_1, T_1) = \rho_D(t_1) \rho_R(t_1) \rho_S(t_1) \rho_H(t_1) \Psi(t_1, T_1) \quad (8)$$

式中 $\rho_D(t_1)$ ——表示综合考虑灾前结构可靠度及本次灾害等级水平的调整系数, $\rho_D(t_1) \leq 1.0$; $\rho_R(t_1)$ ——表示根据灾后结构现场情况由专家评估得到的结构刚度折减系数; $\rho_H(t_1)$ ——表示考虑受灾前后结构计算模型变化的计算调整系数。

显然这些调整系数都需要进行模糊综合评判或充分利用专家经验才能得出。

