

截面验算水平下 RC 框架随机分析 中的若干问题^{*}

傅 方 李广慧 王东炜
(郑州工业大学土建系)

摘 要 在现有的建筑结构设计与分析中,通常采用确定性的方法,由均值参数代替实际结构参数进行分析,虽然考虑了荷载和抗力的随机性,但也仅限于构件截面的可靠性分析。本文利用计算机随机模拟技术和 Monte—Carlo 法,对设计对称 RC 框架结构体系进行了随机分析,并得出了几点有用的结论。

关键词 结构体系;随机分析;Monte—Carlo 法

中图分类号 TU31

0 引言

在传统的工程结构分析中,一般是将所讨论的对象视为确定性的。然而现实工程中的结构与理想化的计算模型之间总是有一定差异的^[1,2,3]。用确定性的力学模型来进行分析与计算,事实上只是用某种意义上的均值参数代替实际结构参数,仅把握了结构特征的主导因素,而忽略了实际结构系统内部的某些变异性。这些变异性主要表现在以下几个方面:

- (1)设计结构在今后相当长的使用期限内所承受的荷载是在一定范围内变动的;
- (2)设计中所采用的材料的性能在一定范围内是波动的;
- (3)构件的几何形状、尺寸由于制作安装误差等原因造成的不定性;
- (4)内力计算假定与实际受力情况之间的偏离;
- (5)极限状态方程中假定荷载效应 S 与荷载 Q 之间存在线性关系,而实际上,在某些情况下二者并非是简单的线性关系。

正是由于这些不定性参数的大量存在,采用随机结构分析模型进行分析与计算,是一种必然的选择。

目前的可靠性分析按研究对象分有构件可靠性分析和结构体系可靠性分析^[4,5]。在基于可靠性理论的钢筋混凝土结构设计规范中已考虑了某些随机因素,但主要都是针对结构构件的,仅是在一定程度上提高截面的可靠性,而没有考虑到结构体系以及相邻构件之间随机因素的影响,目前来说还没有较为实用的方法分析整个结构体系的可靠性,而随着对随机性认识的不断深入,采用合理的结构分析方法来计算结构体系的可靠度已成为人们十分关注的课题。

^{*} 国家自然科学基金资助项目(59608008)

收稿日期:1997—11—11

第一作者 女 1972 年 2 月生 硕士研究生

本文利用计算机随机模拟技术,通过统计模拟方法(又称蒙特卡洛法 Monte—Carlo)对 RC 框架结构体系进行随机性分析,以期能为结构可靠性设计理论的不断发展和提高做一些探索性工作。

1 随机分析理论依据

1.1 方法概述

蒙特卡洛方法,简单地说就是通过各种不同分布随机变量的概率模拟来求解实际问题近似数值解的一种概率统计方法。对于一些大型系统的可靠性分析来说,进行蒙特卡洛模拟往往是最有效的解决办法。

蒙特卡洛方法的基本思想可概括为以下几点:

首先,根据实际问题的特点,建立起与要描述的实际问题有相似性且便于在计算机上进行统计模拟的概率模型;然后,在计算机上对该模型进行随机模拟试验;最后,对模拟结果进行统计处理,给出问题解的渐近统计估计值。

1.2 随机数发生器

统计模拟方法的一个重要问题就是如何由计算机产生统计上理想的各种不同分布随机变量的抽样序列,即随机数,这也是统计模拟方法能够成功应用的基础。本文所涉及到的概率分布主要有两种:正态分布和极值 I 型分布。两种分布随机数的具体产生方法见文献[6]。

1.3 荷载与抗力的统计分析

在用极限状态设计法进行设计时,要求抗力 R 大于或等于荷载效应 S , 否则就认为结构或构件将要破坏。由于各种偶然因素的影响, R 和 S 均存在很大的不确定性,所以必须知道 S 和相应 R 的概率分布及统计参数,才能进行构件截面的可靠性分析。

1.3.1 荷载的统计分析

荷载 Q 是工程结构设计中最复杂的参数,考虑到近似概率方法计算时应用的方便且偏于安全等因素,《建筑结构设计统一标准》将几种常见的荷载统一模型化为等时段平稳二项式过程 $\{Q(t), t \in [0, T]\}$ 。由于《统一标准》中给出的结构可靠度分析方法,是将各种基本变量按随机变量考虑的,故将荷载随机过程 $Q(t)$ 转化为设计基准期最大荷载随机变量,记为 Q_T ,即 $Q_t = \max_{0 \leq t \leq T} Q(t)$, 则可得 Q_T 的概率分布 $F_{Q_T}(x) = [F_{Q_T}(x)]^m$, 其中, m 为设计基准期内荷载出现平均次数。

表 1 设计基准期内各种荷载的统计参数

荷载类型	k	δ
恒载	1.06	0.07
楼面活荷载	0.5228	0.3214
风荷载(不按风向)	1.109	0.193
地震荷载	1.0	0.15

各种荷载实测统计分析结果以无量纲的均值系数 K (平均值/标准值)及变异系数 δ 来表示。本文进行随机性分析所用到的参数列于表 1 中(其中,恒载服从正态分布,其余荷载均服从极值 I 型分布。)

荷载按以下简单规则选取：

(1) 节点荷载：水平荷载取为地震荷载，竖向荷载及弯矩按恒载选取，自重亦按恒载选取；

(2) 非节点荷载：水平均布荷载取为风荷载(不按风向)，其余荷载为了使所考虑的随机性大一些，均按临时性住宅楼面活荷载选取。

荷载的随机模拟是以输入的设计荷载为其标准值，然后由相应的均值系数 K 和变异系数 δ 按照不同的概率分布调用相应的随机数发生器，产生随机的荷载值，从而实现荷载的随机模拟。

1.3.2 抗力的统计分析

结构构件抗力 R ，一般是指结构构件截面抵抗荷载效应的能力。严格说来， R 是与时间长短有关的随机过程。不过，这种随时间的变化并不显著，为简单起见，通常将 R 视作与时间无关的随机变量。影响抗力 R 的因素很多，主要有以下几种：

- (1) 结构构件材料性能的不定性 Ω_m ；
- (2) 结构构件几何参数的不定性 Ω_a ；
- (3) 结构构件计算模式的不定性 Ω_p 。

近年来，在全国范围内对各种结构材料的性能、构件的几何尺寸进行了大量的调查实测统计工作。本文中用到的 Ω_m 、 Ω_a 的统计参数如表 2、表 3 所示。

表 2 材料强度 Ω_m 统计参数

结构材料种类	材料品种及受力情况		μ	δ
钢筋	受拉	A3 钢	1.02	0.08
		20MnSi	1.14	0.07
		25MnSi	1.09	0.06
混凝土	轴心受压	C20	1.66	0.23
		C30	1.41	0.19

表 3 钢筋砼构件几何特征 Ω_a 的统计参数

结构构件种类	项 目	μ	δ
钢筋砼构件	截面高度、宽度	1.00	0.02
	截面有效高度	1.00	0.03
	纵筋截面面积	1.00	0.03
	纵筋重心到截面近似边距离	0.85	0.03
	箍筋平均间距	0.99	0.07

结构构件材料性能及几何尺寸的随机模拟是以输入的设计值为其标准值，然后调用正态分布随机数发生器，产生材料强度及几何尺寸的随机值，从而实现其随机模拟。

2 算例分析与结论

2.1 模型介绍

本文选取了一个三跨两层对称 RC 框架结构，梁、柱截面尺寸为 0.25×0.7 和

0.5×0.5,梁、柱砼等级为 C20 和 C30;梁、柱主筋采用 II 级钢。该框架计算简图如下图所示。首先,按现行规范对该结构进行设计,然后利用编制好的框架随机分析程序进行分析与检验。经测试,对该模型进行一千次试验即可得到稳定的结果。

此处,仅考虑了两种荷载作用情况,即竖向荷载作用和水平荷载作用。其中水平荷载为利用底部剪力法反算出来的水平地震作用。(注: $P_1=9.260\text{kN}$, $P_2=12.969\text{kN}$, $q=25\text{kN}$,长度单位为 m)

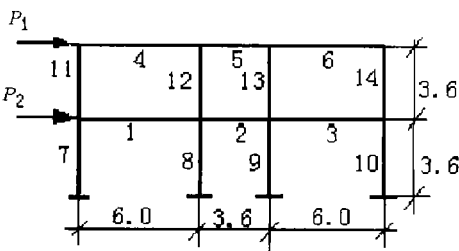
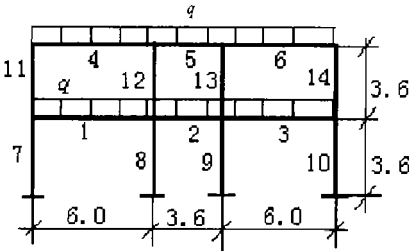


图 1 竖向荷载作用下框架计算简图

图 2 水平荷载作用下框架计算简图

2.2 结论

经试验分析,可得到以下几点结论:

2.2.1 从严格意义上来讲,所谓的对称结构实际上应称为“设计对称”结构。

对于结构构件来说,虽然设计时其截面和配筋完全是对称的,但在每一次随机试验中,截面样本和配筋样本等则完全有可能是不对称的。而且,即使结构是对称的,由于材料性能的随机分布等原因,结构在本质上也是一个事实上的不对称结构。

在工程结构设计中,这一点尤其应当引起设计人员的注意。例如,对于一个对称结构来说,在侧向振动荷载作用下将不产生扭转振动,而如果结构本身存在偏心,即其质量中心与刚度中心不重合,则将不可避免地产生扭转振动。震害经验表明,扭转作用将加重结构的破坏,而且在某些情况下还将成为导致结构破坏的主导因素。所以,如果工程设计人员忽略了这一点,将事实上的非对称结构按对称结构考虑,而没有进行地震扭转效应的计算,将会给建筑物的使用埋下隐患。所以,仅考虑模型化过程中的误差,部分提高截面的强度还是远远不够的。

除此之外,设计中经常取对称结构的一半进行简化计算,如果考虑了事实上的不对称性,此种简化也可能是不太合理的。

2.2.2 偏心受压构件大、小偏压的判定可能有误。

工程设计人员进行框架柱的设计时,判定某根柱子是处于大偏压还是小偏压,其根据往往是截面受压区高度或偏心距的大小。而且,认为在某种荷载组合下,这些值是固定不变的,故此时该柱子一定处于大偏压或者是小偏压。而根据我们的计算结果可以看出,在不同的随机试验中,由于各种随机性因素的影响,尤其是相邻构件之间随机性因素的影响,使得柱子所承受的偏心轴向压力作用点位置不定,即弯矩的方向不定。而且,在不同的随机试验中,对于同一根柱子而言,有时处于大偏压,有时则处于小偏压。有关数据见表 4。

2.2.3 轴力作用点位置不定。

当柱子处于大偏压时轴力作用点的位置具有随机性,有时作用于受拉钢筋与受压钢筋

之间,有时则作用于二者之外。而当柱子处于小偏压时,其受压截面面积的大小同样也具有随机性,有时为全截面受压,有时则为部分截面受压。显然,在工程设计中,这一点也是应当引起设计人员的足够重视的。有关部门数据见表 5。

表 4 弯矩作用方向不定性表

次数	单元号			
	7	8	9	10
1	-2.087E-04	1.633E-01	9.860E-02	1.648E-01
2	-1.600E-01	-9.947E-02	-2.023E-01	-2.591E-02
3	-2.009E-01	-1.644E-01	-2.381E-01	-5.627E-02
4	-1.568E-01	-7.690E-02	-1.765E-01	-8.690E-03
5	5.966E-03	1.666E-01	7.961E-02	1.449E-01
6	1.783E-02	1.948E-01	1.071E-01	1.919E-01
7	-1.684E-01	-9.484E-02	-1.782E-01	-2.643E-02
8	-1.531E-01	-9.841E-02	-2.088E-01	-1.655E-02

(续表 4)

次数	单元号			
	11	12	13	14
1	-4.317E-01	8.209E-01	1.288E-01	9.726E-01
2	-9.493E-01	-7.281E-02	-8.411E-01	4.738E-01
3	-1.074	-3.367E-01	-1.062	2.338E-01
4	-9.302E-01	-1.056E-02	-6.971E-01	5.002E-01
5	-5.082E-01	6.660E-01	1.761E-02	9.088E-01
6	-4.251E-01	7.655E-01	9.622E-02	9.146E-01
7	-9.676E-01	-9.107E-02	-8.132E-01	4.251E-01
8	-9.296E-01	-6.822E-02	-7.959E-01	4.200E-01

表 5 大小偏压不定性表

次数	单元号							
	7	8	9	10	11	12	13	14
1	111	111	100	111	111	111	100	111
2	111	111	111	111	111	100	111	100
3	111	100	100	111	111	111	111	111
4	111	111	111	111	111	100	11	111
5	100	100	100	100	100	100	10	100
6	100	111	100	111	100	100	11	111
7	111	100	100	100	111	111	100	100
8	100	100	100	100	100	100	10	100

注:表 4 中所列数据中的正、负号表示弯矩的正负方向,表 5 中的 100 代表小偏压,111 代表大偏压。由于篇幅所限,此处仅列出一千次随机试验中的前八次试验结果。(以上均为水平荷载作用下的数据。竖向荷载作用下也存在这两种情况,但没有如此明显。)

2.2.4 由于随机因素的影响,可能会使设计思想得不到充分地体现。

现行规范要求将结构按“强柱弱梁”、“强剪弱弯”的原则进行设计,即分别将框架柱柱底组合弯矩设计值和框架梁端部截面剪力设计值乘以相应的增大系数。但是,如果考虑了相

(C) 1994-2025 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

邻构件之间的各种随机性因素的影响,则有可能在不同程度上削弱了这种增大效应,从而使这种设计思想得不到充分的体现。

通过以上的分析我们可以看出,对 RC 框架结构体系进行随机性分析是十分有意义的。它不仅可以更加真实地反映结构所处的实际状况,而且还可以使现有的结构可靠性理论得到进一步的发展与完善。

参 考 文 献

- 1 黄兴棣. 建筑结构可靠性设计. 南京:南京工学院. 1986. 12~60
- 2 李桂青编著. 结构可靠度. 武汉:武汉工业大学出版社. 1989. 153~178
- 3 赵国藩, 曹居易, 张宽权编著. 工程结构可靠度. 北京:水利电力出版社. 1984. 118~146
- 4 王东炜. 建筑工程系统可靠性分析. 博士后研究工作报告, 1996. 2~5
- 5 建筑结构与工程系统可靠性分析(上册). 郑州工学院土建系结构理论教研室编著. 1995. 99~131
- 6 傅方. RC 框架结构失效相关性及其可靠性分析. 硕士研究生论文. 1998. 6~12

Some Problems of RC Framed Structures' Stochastic Analysis Based on Section Checking

Fu Fang Li Guanghui Wang Dongwei
(Zhengzhou University of Technology)

Abstract Deterministic method is generally used in the design and analysis of building structures. Although this method has considered the probability distribution of loads and resisting forces, it is still a reliability analysis method for elements. In this paper, Monte—Carlo method and computing stochastic analogue technique are introduced to analyse the RC framed structures and reach some useful conclusions.

Keywords structural system; stochastic analysis; Monte—Carlo method