

框架结构体系的可靠度分析

林银飞¹, 吕泰仁², 李宏²

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 河海大学, 江苏 南京 210000)

摘要:系统地提出了框架结构体系可靠度分析方法,证明了极限状态方程自动生成过程,考虑了变量之间的相关系数。经过充分的讨论证明,文中所提出的方法是可行的、结果是合理的,可用于框架结构可靠度分析。

关键词:框架;可靠度;分析

中图分类号:TU311.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)04-77-79

框架结构体系的可靠度分析与代表整个结构破坏机理的塑性铰产生过程紧密相联系。常用于计算框架体系的可靠度分析方法有非线性优化技术法,基于塑性铰截面的失效概率法,逐渐增量加载法等。这些方法在分析结构体系可靠度的同时,也存在诸如计算困难、人为因素等不能反映复杂的荷载条件下,荷载本身的随机性等缺点。

1 基本公式

1.1 框架与刚架的失效形式与判定方法

在超静定框架体系中,某一截面的失效并不意味着整个结构体系的失效。整个结构体系的失效是定义为机构的形成。机构是依以下方式产生的,当某一截面失效后,在该截面形成塑性铰,从而形成了新的结构形式,结构总刚度有所降低,并且内力发生重分布,以致下一个塑性铰的产生出现。以此下去,当机构出现时,结构体系的刚度为零。此外,对于超静定次数为 r 的结构,当塑性铰个数达到 $r+1$ 个时,结构的自由度为1,属于可变体系,从而形成了机构。

当塑性铰个数 M 小于 $r+1$,自由度为1或具有瞬变性时,这种机构称为部分失效,其所需的内力功较小,出现的概率较大。当塑性铰个数 M 等于 $r+1$,结构自由度为1时,这种机构称为完全失效,该机构所需的内力功较大,出现的概率相对较小。

1.2 自动生成机构极限状态方程的方法

某杆端截面的极限状态方程为

$$Z_i = M_i - S_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中: M_i 为该截面的塑性抗力矩, S_i 杆端截面弯矩

$Z_i \leq 0$ 就表示该截面失效,即塑性铰形成, $P(Z_i \leq 0)$ 就表示该截面失效概率。如果结构体系已出现若干个塑性铰,在这里以 r_i 表示第 i 个杆端截面,即 r_1, r_2, \dots, r_p 已经失效,出现塑性铰。这些塑性铰上分别作用该截面的塑性抗力矩 $M_{r_1}, M_{r_2}, \dots, M_{r_p}$ 。这些杆端截面所对应的极限状态方程为

$$Z_i = M_i + \sum_{j=1}^p a_{ij} M_{r_j} - \sum_{j=1}^m b_{ij} Q_j = 0 \quad (i = p+1, p+2, \dots, n)$$

其中 a_{ij} 为 r_j 处所方向的作用单位弯矩在 i 处所方向产生的弯矩。其中 b_{ij} 为 Q_j 处所方向的作用单位力在 i 处所方向产生的弯矩。 $Z_i \leq 0$ 就表示该截面失效, $P(Z_i \leq 0)$ 表示 r_1, r_2, \dots, r_p 出现塑性铰的情况下,杆端 r_i

收稿日期:2001-01-10

基金项目:空军后勤部科研计划项目

作者简介:林银飞(1963-),男,福建莆田人,副教授,博士生,主要从事岩土工程、结构工程研究。

失效的概率。

从杆端截面的极限状态方程可以知道,由于塑性铰是一个一个形成的,当最后一个杆端截面失效,亦即最后一个塑性铰出现时,结构体系失效。因此最后一个杆端截面的失效概率 $P(Z_{p+1} \leq 0)$ 当然就是结构体系依该机构的失效概率。

$$Z_{p+1} = \sum_{j=1}^{p+1} a_{p+1} M_j - \sum_{i=1}^m b_{p+1} Q_i$$

表示 $r_1, r_2, \dots, r_p, r_{p+1}$ 个塑性铰对应的机构极限状态方程就是杆端截面 r_{p+1} 对应的杆端极限状态方程。

机构极限状态方程和过程该机构若干塑性铰的最后一个对应的杆端极限状态方程为

$$Z_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} M_j - \sum_{k=1}^m b_{ik} Q_k \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中 a_{ij}, b_{ik} 可通过结构矩阵分析自动求出。

2 可靠度指标 β 的计算方法

在框架和刚架可靠度分析中,荷载变量之间、抗力变量之间都是可能相关的,因此,本文提出了考虑变量相关性的 JC 法。

2.1 变量相互独立并正态分布

$$\beta_i = \frac{\mu_{z_i}}{\sigma_{z_i}}, \text{ 其中, } \mu_{z_i} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \mu_{M_j} - \sum_{j=1}^m b_{ij} \mu_{Q_j}, \sigma_{z_i} = \left(\sum_{j=1}^n a_{ij}^2 \sigma_{M_j}^2 + \sum_{j=1}^m b_{ij}^2 \sigma_{Q_j}^2 \right)^{1/2}.$$

2.2 变量相关并正态分布

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \mu_{x_i}}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_i a_j \rho_{x_i x_j} \sigma_{x_i} \sigma_{x_j}) \right)^{1/2}}$$

2.3 变量相关并非正态分布

设计验算点为 $X_i^* = \mu_{x_i} - \beta \sigma_{x_i}$, β 采用迭代求解。

3 算例

如图 1 所示的单跨两层框架(选自文献[2],超静定次数为 6),可能出现塑性铰位置如图 2 所示。荷载与抗力矩参数见表 1,计算结果由表 2 给出。表 2 括号内是文献[2]的计算结果。

通过机构中前面 8 个的计算结果比较可知,本文所提出的方法是可行的,结果是可靠的,计算时间也是可接受的。因此该方法可以用于工程实例分析。

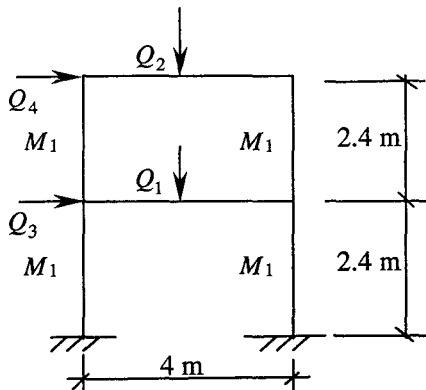


图1 计算简图

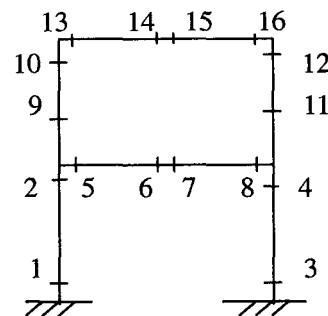


图2 塑性铰位置

表1 统计参数

变量	均值	变异系数
M_1	16 KN-m	0.15
M_2	40 KN-m	0.15
Q_1	40 KN	0.15
Q_2	20 KN	0.25
Q_3	3.5 KN	0.25
Q_4	7 KN	0.25

注: Q_3 与 Q_4 相关系数为1,其余各变量统计独立。

表2 本文计算结果与文献[2]结果比较

机构	塑性铰位置	β	失效概率
1	8,7,5	2.981(2.98)	1.434×10^{-3} (1.44×10^{-3})
2	4,11,3,6,1,9	3.061(3.06)	1.104×10^{-3} (1.11×10^{-3})
3	8,3,7,1,4,9	3.217(3.22)	0.6468×10^{-3} (0.64×10^{-3})
4	4,11,6,5	3.249(无)	0.5786×10^{-3} (无)
5	9,4,6,11,2	3.282(3.28)	0.5146×10^{-3} (0.52×10^{-3})
6	4,3,1,2	3.379(3.38)	0.3636×10^{-3} (0.36×10^{-3})
7	4,11,3,12,6,1,10	3.501(3.50)	0.2321×10^{-3} (0.23×10^{-3})
8	8,3,7,12,1,14	3.645(3.64)	0.1338×10^{-3} (0.14×10^{-3})

4 结束语

本文提出的框架体系可靠度分析方法是一种实用方法。该方法避免遗漏一些主要的失效模式,解决了变量之间的相关性,使机构生成自动化。从结果分析可知,本方法结果合理,计算量也是可接受的。

参考文献:

- [1] 吴世伟. 结构可靠度分析[M]. 北京:人民交通出版社,1990.
- [2] Ma H F, Ang A H. Reliability Analysis of Redundant Ductile Structural Systems Report[R]. UILU - ENG - 81. 2013, University of Illinois, 1981.
- [3] 吕泰仁,吴世伟. 用几何法求构件可靠度指标[J]. 河海大学学报,1988,16(5):86-93.

Analytical Studies on the Reliability of Frame Construction

LIN Yin-fei¹, LU Tai-ren², LI Hong²

(1. The Engineering Institute of the Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Hehai University, Nanjing 210000, China)

Abstract: In this paper, analytical method of frame reliability is advanced systematically. The automatic production process of limitation equation is proved. Correlation coefficient of variables is investigated. After bringing into full discussion, it is shown that the method of this paper is acceptable, the results are reasonable, and the method can be used to analyze the frame reliability.

Key word: frame; reliability; analysis