

基于层次分析法和隶属度的可靠性评定简述

银小刚

(华南理工大学 广东广州 510641)

【摘 要】 简述根据隶属度划分构件可靠性评定等级,应用层次分析法确定构件在体系中权重、以及对体系可靠性评定方法。

【关键词】 可靠性; 隶属度; 层次分析法; 既有结构

【中图分类号】 TU311.2

【文献标识码】 A

目前,我国既有结构可靠性评定的主要依据有《民用建筑可靠性鉴定标准》和《工业厂房可靠性鉴定标准》,结构整体可靠性根据构件可靠性等级,按照一定的评级标准进行评定,避免了结构的整体可靠性分析,实际工程较容易实现。但是一方面由于评定等级划分不太合理,另一方面由于没有考虑构件的权重,无法反映各构件在结构体系中的不同地位和作用,评价结果和实际相差较大。因此,为了使结构体系的可靠性评定更好符合工程实际,应采用合理评价标准并正确地合理地确定构件的权重。文中针对以上问题提出了基于层次分析法和隶属度的可靠性评定方法,给出了一种既有结构体系可靠性评定的实用方法。

1 根据隶属度评定构件的安全等级

《工业厂房可靠性鉴定标准》(GBJ 144-90)和《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292-1999)均将因素评价域分成四个等级,即评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} = \{a, b, c, d\}$ ^[1]。这种评价标准并非合理,例如对于常见的安全等级为二级的结构延性破坏极限状态时 β 为 2.591 被评为 b 级 β 为 2.949

被评为 c 级,而 $\beta = 2.950 \sim 3.200$ 均被评为 d 级。前者两个级别仅差 0.002,而被评为两个不同级别,后者相差 0.250 却属于一个级别,显然不太合理。为克服这一缺陷,建立用模糊数学的隶属函数来处理评级标准^[2]。

对于构件的可靠性评定,其评定因素为可靠性指标,为定量因素,可以用隶属函数建立评判标准。设 u 为可靠性指标的物理量 β ,按现行标准取 $u \geq u_1$ 为 a 级, $\mu_1 \geq u \geq u_2$ 为 b 级, $u_2 \geq u \geq u_3$ 为 c 级, $\mu \leq u_3$ 为 d 级。为了连续化,规定 u_1 为 a 级标准值, $\frac{u_1 + u_2}{2}$ 为 b 级标准值, $\frac{u_2 + u_3}{2}$ 为 c 级标准值, u_3 为 b 级标准值。相应 a b c d 各级隶属函数表达式如图 1。

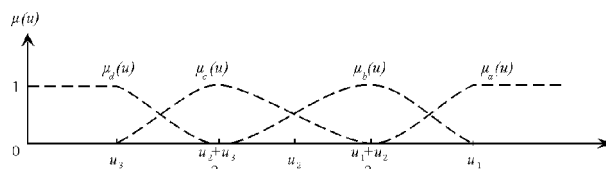


图 1 因素 u 的隶属函数

$$\mu_a(u) = \begin{cases} 1 & u_1 < u \\ 0.5 + 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_2} \left(u - \frac{3u_1 + u_2}{4} \right) & \frac{u_1 + u_2}{2} < u \leq u_1 \\ 0 & u \leq \frac{u_1 + u_2}{2} \end{cases}$$

$$\mu_b(u) = \begin{cases} 0 & u_1 < u \\ 0.5 - 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_2} \left(u - \frac{3u_1 + u_2}{4} \right) & \frac{u_1 + u_2}{2} < u \leq u_1 \\ 0.5 + 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_3} \left(u - \frac{u_1 + 2u_2 + u_3}{4} \right) & \frac{u_2 + u_3}{2} < u \leq \frac{u_1 + u_2}{2} \\ 0 & u \leq \frac{u_1 + u_2}{2} \end{cases}$$

【定稿日期】2010-08-13

【作者简介】银小刚(1984~),男,硕士研究生,研究方向:高层建筑结构。

$$\mu_c(u) = \begin{cases} 0 & \frac{u_1 + u_2}{2} < u \\ 0.5 - 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_2} \left(u - \frac{3u_1 + u_2}{4} \right) & \frac{u_2 + u_3}{2} < u \leq \frac{u_1 + u_2}{2} \\ 0.5 + 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_3} \left(u - \frac{u_1 + 2u_2 + u_3}{4} \right) & u_3 < u \leq \frac{u_2 + u_3}{2} \\ 0 & u \leq u_3 \end{cases}$$

$$\mu_d(u) = \begin{cases} 1 & u < u_3 \\ 0.5 + 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_2} \left(u - \frac{3u_1 + u_2}{4} \right) & u_3 < u \leq \frac{u_2 + u_3}{2} \\ 0 & \frac{u_2 + u_3}{2} \leq u \end{cases}$$

用隶属度评价构件能较好地反映量变规律,避免了在分临界点附近的突变。但是在隶属函数确定、算法的选取等很多方面都带有主观性,这就要求在这些问题上应持慎重态度。在对具体问题深入分析的基础上,合理确定各种参数和算法以使评价结果尽可能科学、合理、客观。隶属函数在评定单一构件时并无太大的应用,但是在评价有构件组成体系时,各个构件的隶属度可以应用到体系时,各个构件在各等级的隶属度可以应用到体系可靠性评价中,提供一个具体的量化的指标。

2 层次分析法在可靠性评定中应用

层次分析法的基本思路是首先找出影响复杂系统的各种主要因素,并将这些因素按其相互关系、隶属关系构造出递阶的多层结构模型。通过对层结构中各因素间相对重要性进行判断和简单的排序计算来解决问题^[3]。也就是说层次分析法实际上是一种处理问题决策思维方法,它把复杂问题分解为各个组成因素,将这些因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构,通过两两比较的方式确定层次中诸多因素的相对重要性,然后综合人们的判断以决定决策诸因素相对重要性的总顺序。运用层次分析法评定既有结构的可靠性一般分为以下几个步骤^[4]:(1)建立可靠性评估系统的递阶层次结构;(2)构造判断矩阵;(3)层次单排序与总排序;(4)一致性检验和调整。文中重点介绍递阶层次结构和判断矩阵的建立。

2.1 递阶层次结构

对于没有统一的结构、弄不清秩序、相互牵连制约的复杂系统,认真分析其相互联系、逻辑归属及重要性级别,进行分层排列,构成一个由上而下的递阶层次结构,如图2所示。这里最高层体系可靠性指标A是我们要评估的最终结果,称为目标层。第二层构件破坏危害性各因素对可靠性指标的影响 B_1 、构件间相关系数对可靠性指标的影响 B_2 。第二层是相互较为独立的综合影响因素,它既是下一层基本影响因素的结果,又是产生目标层的原因,是承上启下的层次,称为准则层。第三层也就是最下一层的构建类型(梁、柱) C_1 、构件位置(中框架、边框架) C_2 、构件所在层数 C_3 等,称为方案层,它们是最基本的影响因素,相互独立,但又都交叉地影响着准则层,也就是说方案层的某一因素即可以只对一个准则层因素产生影响,也可以同时对几个准则层因素产生影响。

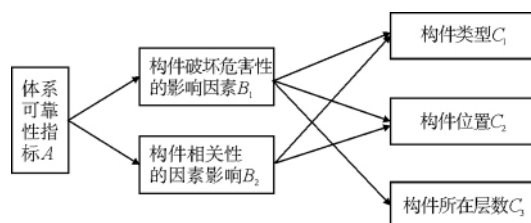


图2 框架结构递阶层次结构

2.2 建立判断矩阵

就每一个上层因素,对于逻辑关系的所有下层因素进行一对一的成对比较,确定下层因素就上一层而言的相对重要性,比较得出的判断结果构成判断矩阵。通常使用9级标度层,也就是说,对于两个与某一层因素有关的同层因素 v_i 与 v_j 用1,3,5,7,9这五个数分别标价 v_i 比 v_j 同等重要、 v_i 比 v_j 明显重要、 v_i 比 v_j 强烈重要、 v_i 比 v_j 极为重要,而2,4,6,8则表示结果属于相邻判断1和3;3和5;5和7;7和9之间,倒数表示 v_j 比 v_i 重要程度。具体规定如表1所示。

表1 判断矩阵的比例标度及含义

标度	含义
1	两个元素相比,具有同样重要性
3	两个元素相比,前者比后者稍重要
5	两个元素相比,前者比后者明显重要
7	两个元素相比,前者比后者强烈重要
9	两个元素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
1/数值	两元素相比,后者比前者的主要程度

在体系可靠性评定中,可先计算单个杆件的可靠度,后选取各构件中可靠性指标最小者,计算此构件对安全等级的隶属度,用隶属度加权后得到整个结构对安全等级的隶属度,将各类构件的隶属度求和使得整个体系对各安全等级的隶属度,从而完成整个体系的可靠性的评定。

参 考 文 献

- [1] GB 50292-1999 民用建筑可靠性鉴定标准[S]

(下转第115页)

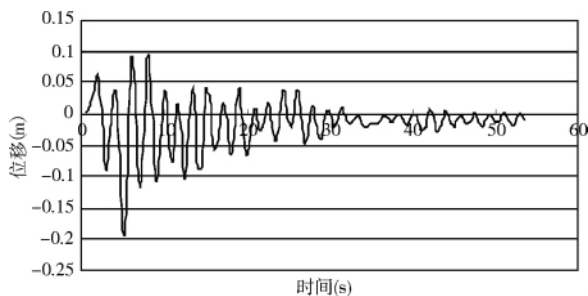


图 8 顺桥向 E 波作用下的 B 塔顶位移时程曲线

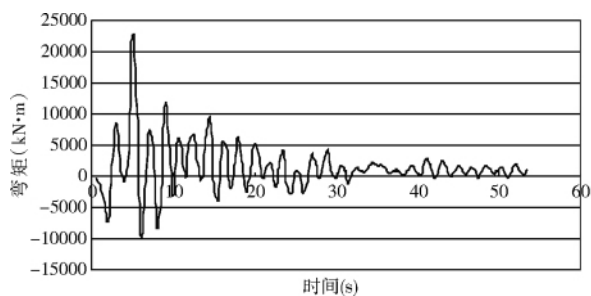


图 9 顺桥向 E 波作用下的 B 塔底弯矩时程曲线

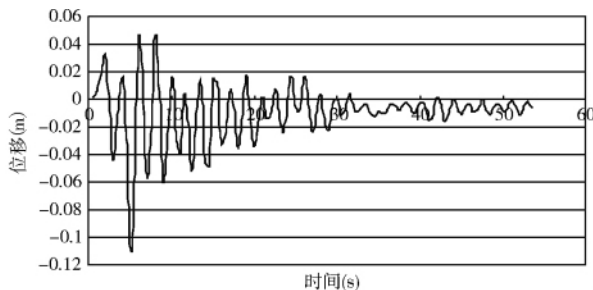


图 10 顺桥向 E 波作用下的 B 墩顶位移时程曲线

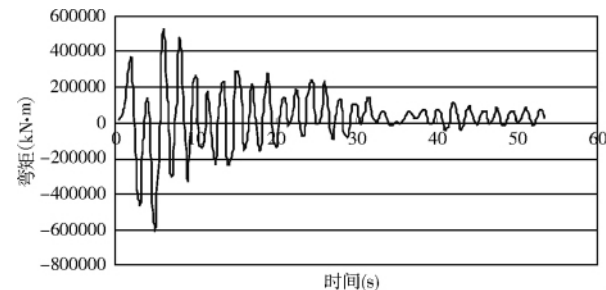


图 11 顺桥向 E 波作用下的 B 墩底弯矩时程曲线

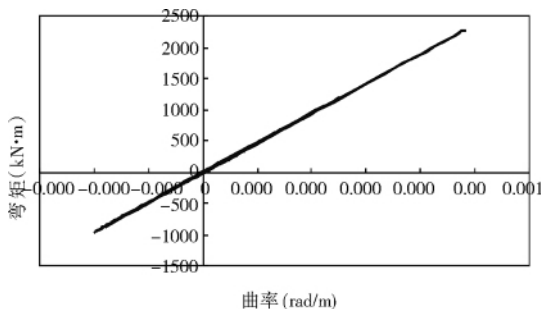


图 12 E 波作用下桥塔底弯矩 - 曲率滞回曲线

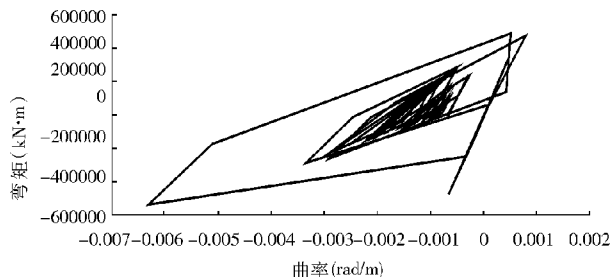


图 13 E 波作用下桥墩底弯矩 - 曲率滞回曲线

4 结 论

本文通过对该桥进行罕遇地震下的弹塑性地震反应分析,即非线性时程反应分析,主要得到如下结论:

(1) 在顺桥向罕遇地震波作用下,墩底进入塑性,但塔底均处于弹性范围内;而横向地震波作用下,墩底、塔底均处于弹性范围内,未发生屈服。

(2) 在顺桥向罕遇地震波作用下,经过计算 $\mu_u = 3.05 < [\mu_u] = 4.8$, 满足延性要求。

参 考 文 献

[1] 陈兴冲,虞庐松,吴高峰,等.兰州小西湖部分斜拉桥抗震分析

[J]. 兰州铁道学院学报, 2003(3): 42-44

[2] 邱新林.大跨斜拉桥空间非线性地震反应分析[J].华东公路, 2001(3): 8-12

[3] 陈亨锦,王凯,李承根.浅谈部分斜拉桥[J].桥梁建设, 2002(1): 44-47

[4] 范立础,胡世德,叶爱君.大跨度桥梁抗震设计[M].北京:人民交通出版社, 2001

[5] 陈兴冲.工程结构抗震设计[M].重庆大学出版社, 2001

[6] GB 50111-2006 铁路工程抗震设计规范[S]

[7] 朱晞,陈兴冲.混凝土桥墩的非线性分析[J].铁道学报, 1993(1): 87-92

[8] 王克海.桥梁抗震研究[M].北京:中国铁道出版社, 2007

(上接第 112 页)

[2] 张誉,李立树.旧房可靠性的模糊综合评价[J].建筑结构学报, 1997(5): 12-20

[3] 王莲芬,许树柏.层次分析法引论[M].北京:中国科技出版

社, 1990

[4] 宋毅,霍达.现代系统工程学基础[M].北京:中国科学技术出版社, 1992