

基于模糊综合评价的锅炉汽包安全评估

陈世旺

(福建省锅炉压力容器检验研究院, 福建 福州 350008)

摘 要: 汽包是锅炉设备的重要组成部分, 其安全性和稳定性是保证锅炉安全运行的前提。简要介绍锅炉汽包安全评价研究现状, 阐述现行方法存在的困难和不足, 提出采用模糊综合评价方法对锅炉汽包进行安全评价。通过建立锅炉汽包模糊综合评价体系来对这一方法展开具体分析, 并采用 VB 软件编制锅炉汽包模糊综合评价软件。

关键词: 锅炉汽包; 模糊综合评价; 安全评估; 评价软件

引言

汽包是锅炉的关键性设备, 它的作用是将汽水分离, 具有工作温度高、工作压力大、一旦发生事故将造成无法挽回的损失等特点。随着锅炉的变负荷(启停调峰)运行, 锅炉汽包上存在的高应力区, 如焊接接头部位、开孔部位、接管部位、焊缝内部存在缺陷部位等, 在频繁的交变载荷作用下易扩展成裂纹等缺陷。同时, 在锅炉的启停和变负荷运行过程中, 尤其是在发生故障的情况下, 较快的升压、降压速度和温度急剧变化会导致汽包材料所承受的机械应力与热应力发生较大的变化, 从而造成金属材料产生疲劳损伤与材质劣化, 缩短汽包的使用寿命。因此如何科学地评定汽包的安全等级, 保障锅炉安全、可靠运行, 具有非常重要的意义。

目前, 针对锅炉汽包安全评价的研究主要集中在焊接缺陷评定、应力计算与剩余寿命评估方面。王蓬、王文先^[1]等针对锅炉汽包上存在的焊接缺陷, 分别采用“在役含缺陷压力容器安全评定规程”与“含缺陷结构完整性评定标准”对其进行安全评定, 获得相应评定结果。赵铁成、徐伟勇^[2]采用自适应神经模糊系统重构有限元数值计算结果, 从而建立起相应的汽包应力计算模型。郭帅、段鹏^[3]研究电站锅炉汽包在运行工况下的应力状态与影响汽包低周疲劳寿命的主要因素, 提出采用有限单元法评定无缺陷和含缺陷汽包的剩余寿命的一般方法。但是这些研究仅对影响汽包安全运行的某一方面的因素展开研究, 由于影响汽包安全影响因素极为复杂, 且各因素间高度耦合, 并随着汽包运行状况的变化而变化, 具有很大的模糊性, 无法精确量化, 因此应将汽包安全影响因素当作一个系统来进行研究。

本文采用模糊综合评价法对锅炉汽包展开安全评估, 在评估过程中引入模糊数学理论, 通过对影响汽包安全运行的因素进行专家评价, 然后采用模糊综合评价方法对汽包安全性进行科学评价, 从而使得评价结果更为准确、合理。

1 锅炉汽包模糊综合评价体系

1.1 模糊综合评价原理

模糊综合评价法是将模糊数学理论与模糊统计方法相结合, 通过对影响某一事物的全部因素进行综合考虑, 对该事物的实际状况做出科学评价的方法。模糊综合评价法根据建立的评价标准, 将评价对象的各个影响因素模糊化, 同时确定各个影响因素在评价事物中的重要程度, 经模糊变换得到最终评价结果。模糊综合评价包含 6 个基本要素: ①评价因素论域 U , 表示模糊综合评价中各评价因素所组成的集合; ②评语等级论域 V , 表示模糊综合评价中各个评价因素的评语所组成的集合, 是对评价事物变化区间的一个划分, 如很好、较好、一般、较差、很差等; ③单因素评价集 r , 是指对评价因素集 U 中的单个因素 u 进行评价, 通过引入隶属函数, 确定单因素 u 对评语 v 的隶属程度; ④模糊变换矩阵 R , 表示单因素评价集 r 所组成的评价矩阵; ⑤评价因素权重集 A , 表示评价因素在评价对象中的相对重要程度, 在模糊综合评价中对模糊变换矩阵 R 进行加权处理; ⑥模糊算子; ⑦评价结果向量 B 。

模糊变换矩阵 R 作为评价因素集 U 到评语集 V 的模糊变换器, 输入一组评价因素权重集 A 就可得到相应的评价结果 B 。

利用上述原理, 可建立起锅炉汽包多级模糊综合评价数

据模型。多级模糊综合评价是根据评价对象的性质与功能，将其划分为若干类或若干层次，先对其中一类（层）的各个评价因素进行模糊综合评价，然后再在各类（层）间进行评

价，以此类推，最终得到评价对象的评价结果。本文通过查阅相关的研究成果，建立起锅炉汽包多级模糊综合评价流程，如图1所示。

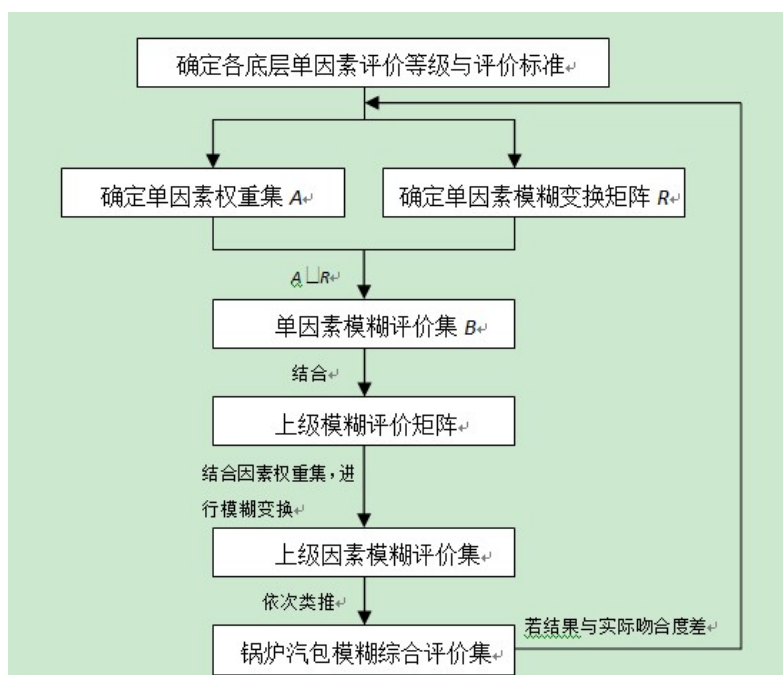


图1 锅炉汽包模糊综合评价流程

1.2 锅炉汽包模糊综合评价方法分析

锅炉汽包模糊综合评价其中一个重要方面在于如何较为系统、全面、定性确定影响汽包安全的各个因素及其评价标准，从而建立起汽包失效可能性因素体系与失效后果因素体系。在确定汽包安全影响因素时，考虑到汽包安全影响因素的复杂性与耦合性，应当根据汽包实际运行情况，通过模糊聚类分析提取影响汽包安全运行模糊影响因素。

本文借鉴长输油气管道和城市埋地燃气管道的风险评价体系结构^[4~6]，在《火力发电厂安全性评价》、《火力发电厂安全性评价查评依据》、API581、API510、《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、《锅炉定期检验规则》、《电力工业锅炉压力容器监察规程》、《锅炉汽包压力容器检验规程》等标准、规范的指导下，根据汽包设计、安装、运行、检验、维护过程中的技术资料与汽包自身的结构特点和实际运行情况，通过模糊聚类分析提取出影响汽包安全运行的模糊影响因素，建立起适应性强的锅炉汽包失效可能性因素体系和失效后果因素体系。

锅炉汽包失效可能性因素分为汽包本体失效可能性因素、安全附件失效可能性因素、汽包管理失效可能性因素三个方面。其中汽包本体失效可能性因素主要包括筒节、封头、汽水分离器、阀门、法兰、支座（吊杆）、人孔、连续排污

管、加药管、紧急放水管、焊缝、管座、汽包保温、膨胀指示器、隔离室15个子因素；安全附件失效可能性因素主要包括安全阀、压力表、水位计3个子因素；汽包管理失效可能性因素主要包括水处理、设计（制造）技术资料、安装技术资料、运行（检验）技术资料4个子因素。各个评价子因素根据自身特点又可再往下细分。

汽包失效意味着可能发生泄漏或爆炸，这将导致锅炉不能正常运行，从而给当地工厂生产和居民生活带来影响。本文对锅炉汽包发生失效事故的严重程度主要考虑人员伤亡、环境影响、设备损坏影响和经济损失四个方面。其中人员伤亡失效后果因素包括事故造成死亡人数、事故造成重伤人数和事故造成轻伤人数3个子因素；环境影响失效后果因素包括事故影响区域面积和恢复环境所需要的代价2个子因素；设备损坏影响失效后果因素包括设备损坏对锅炉正常使用造成的影响和恢复锅炉正常使用前所需要的时间2个子因素；经济损失失效后果因素包括直接经济损失和间接经济损失2个子因素。

锅炉汽包模糊综合评价另一个重要方面是如何确定各个评价因素在评价事物中的相对重要程度，即权重值。目前，确定权重值的方法有客观赋权法与主观赋权法两种。客观赋权法的原始数据由各个评价因素在评价过程中的实际数据

组成,不受人为主观影响,具有较好的客观性,但需收集大量基础数据,并建立复杂的数学模型。主观赋权法是指由专家根据自身经验,通过主观判断评价事物的权重,如 Delphi 法、专家调查法、层次分析法等。由于主观赋权法具有收集的基础数据量少、评价过程简单、快捷等优点,目前针对这一方法的研究较多,研究成果也较为成熟。

我国常用的权重值计算方法有专家调查法、层次分析法、改进的层次分析法、模糊层次分析法等。层次分析法^[7]是美国匹兹堡大学 A. L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代提出的一种将定性分析与定量分析相结合的多准则决策方法。层次分析法由确定研究对象、建立层次分析结构计算模型、构造判断矩阵、层次单排序和层次总排序五个计算步骤组成,通过计算各层次组成要素相对于总目标的组合权重,从而得到不同方案的综合评价价值,为选择最优方案提供依据。目前层次分析法广泛应用于复杂系统的分析、决策。但是层次分析法在赋值时仅考虑两种可能情况,没有考虑到由于系统的复杂性所带来判断的模糊性,从而影响最终结果的准确性。模糊层次分析法将层次分析法与模糊数学理论相结合,利用模糊数代替点值(0 和 1)来建立模糊判断矩阵,解决了各种非确定性事物所带来的模糊的、难以量化的问题,具有结果准确、系统性强等优点。鉴于模糊层次分析法的上述优点,本文采用该方法来计算汽包失效可能性因素与失效后果因素的权重值。

2 锅炉汽包模糊综合评价软件

2.1 评价软件的指导思想

本文开发的“锅炉汽包模糊综合评价软件”采用模糊综合评价法对锅炉汽包的失效可能性因素与失效后果因素进行科学评价,为汽包运行、检验、维护保养人员进一步了解汽包实际运行情况,保障汽包安全运行提供技术支持,从而避免汽包发生安全事故,造成人员伤亡和巨额财产损失。

2.2 评价软件的实现

“锅炉汽包模糊综合评价软件”是以 Windows XP 操作系统为平台,以 Visual Basic6.0 为开发工具,以 Microsoft Excel 为存储工具建立锅炉汽包评价系统。在软件开发的过程中本着实用、简便的原则,考虑到输入的数据量极为庞大,对专家评价界面均采用单选框或复选框输入的方式,能够直观、快捷地完成数据的输入。

评价软件包括因素评价库与因素权重库两个方面。因素

评价库可根据专家人数自动选择模糊统计算法或模糊语言算法来对评价语集进行相应的计算,得到评价向量;因素权重库根据专家对因素的重要程度所进行的排序通过软件计算,得到因素的权重值。

3 结论

本文对锅炉汽包的安全影响因素进行分析,从汽包失效可能性因素与失效后果因素两个方面建立起锅炉汽包安全评价体系,利用模糊综合评价法对锅炉汽包的安全性进行评价,并采用 Visual Basic6.0 编程工具开发“锅炉汽包模糊综合评价软件”。

本文在锅炉汽包安全评价过程中采用的评价体系建立方法与权重计算方法同样适用于锅炉其它部件的评价,且对其它多目标评价系统的研究也具有一定的指导和借鉴意义。

参考文献

- [1] 王 蓬, 王文先, 张红霞, 等. 电站锅炉汽包焊接缺陷的安全评定[J]. 太原理工大学学报, 36(5): 574-576, 588.
- [2] 赵铁成, 徐伟勇. 基于自适应神经模糊系统模型的锅炉汽包应力在线计算与监测[J]. 上海交通大学学报, 34(9): 1245-1248.
- [3] 郭 帅, 段 鹏. 电站锅炉汽包的安全性评定和寿命评估[J]. 华东电力, 33(10): 63-65.
- [4] I. G. Damousis, K. J. Satsios, P. S. Dokopoulos. A Fuzzy logic system for calculation of the interference of overhead transmission lines on buried pipelines[J]. Electric Power Systems Research, 2001(57): 105-113.
- [5] 王曰燕, 罗金恒, 李平全. 利用模糊综合评判方法评价“管中管”输油管道腐蚀程度[J]. 焊管, 2005, 28(4): 74-77.
- [6] 魏碧霞, 杨晓翔, 郭金泉, 等. 城区埋地燃气管道失效后果严重度模糊综合评价[J]. 福州大学学报, 36(4): 616-620.
- [7] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 14(2): 80-88.