

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2013.06.001

RBI技术在港口门座起重机风险评价中的应用

周友涛¹, 张元榕², 郭金泉¹, 张健², 杨晓翔^{1*}

(1. 福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350108;

2. 福建省特种设备检验研究院, 福建 福州 350001)

摘要: 为了精确给出在役港口门座起重机的风险评价价值以及所处风险等级, 以便于对门座起重机进行风险管理, 提出了把基于风险评估的设备检验技术(RBI)原理和模糊层次分析法(FAHP)结合起来的的风险评价方法。从安全系统理论出发, 结合事故可能性与后果严重性, 从人、机、环境和管理四个方面建立了包含门座起重机各生命周期在内的风险评价指标体系, 并运用模糊层次分析法确定了各指标的权重; 最后运用模糊综合评价方法, 结合风险分析矩阵, 确定了案例单位起重机的风险级别。实际应用结果表明, 该评价方法的评价结果与特检部门性能评估技术报告相符, 从而验证了该方法的科学性和适用性。

关键词: 基于风险评估的设备检验技术; 模糊层次分析法; 风险评价; 门座起重机; 模糊综合评价

中图分类号: TH21; X913 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)06-0645-04

Application of RBI technology in the risk assessment of portal slewing crane

ZHOU You-tao¹, ZHANG Yuan-rong², GUO Jin-quan¹, ZHANG Jian², YANG Xiao-xiang¹

(1. School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

2. Fujian Special Equipment Inspection Institute, Fuzhou 350001, China)

Abstract: Aiming at giving the accurate value of risk assessment and the level of portal slewing crane in risk management, a comprehensive evaluation method is came up, which combines with the principle of the risk based inspection(RBI) and fuzzy analytical hierarchy process (FAHP). Considered security system theory, indicator system was organized by factors of human, equipment, environment, management, as well as each stage of the crane's life. What is more, the FAHP was utilized to obtain the weights of indicators. And then, assessment was carried out by fuzzy comprehensive evaluation method and risk analysis matrix to determine the risk level of a case-crane. The results indicate that the proposed method is scientific and applicable, which is consistent with the report of the special inspection departments.

Key words: risk based inspection (RBI); fuzzy analytical hierarchy process (FAHP); risk assessment; portal slewing crane; fuzzy comprehensive evaluation

0 引言

作为特种设备之一的门座起重机, 以其良好的工作性能和通用性, 成为港口装卸作业的重要设备。由于其露天、腐蚀性的工作环境以及较高的使用频率和工作强度, 门座起重机也是作业风险大、事故发生率

较高的特种设备之一。对港口门座起重机进行风险管理是一种有效的管理方法, 而对其开展风险评价, 给出精确的风险值则是风险管理的基础。

我国对起重机的风险管理是以国家和地方特种设备安全监督检验机构的监督检验为主, 对设备的风险评价多以设备的安全性能评估技术报告为主。在评价

收稿日期: 2013-01-14

作者简介: 周友涛(1988-), 男, 湖北十堰人, 主要从事特种设备安全方面的研究. E-mail: zytz@sina.com

通信联系人: 杨晓翔, 男, 教授, 博士生导师. E-mail: yangxx@fzu.edu.cn

体系的建立时,一般只考虑起重机设备本身因素或者体系不全面,这都会影响评价结果的精确性^[1]。

随着安全科学的发展和渗透,目前,国内已经有部分学者从人-机系统评价的角度提出了起重机安全评估的指标体系,具有代表性的有:徐格宁和江凡^[2]运用模糊层次分析法,以桥架、起升机构、运行机构和人员及安全因素对通用桥式起重机的安全性进行了评价;钱尼君、李波等^[3]运用LM神经网络方法对起重机设备本体的安全进行了评价工作。

本研究通过文献调查以及与起重机检验专家的交流,提出把RBI原理和模糊层次分析法结合起来,运用到门座起重机的风险评价中来,在保证门座起重机安全性的基础上,做到与经济性的统一;根据风险评价结果合理安排检验维修计划,减少非计划停机,保证港口门座起重机的运行和使用单位的经济效益。

1 评价模型的建立

1.1 RBI原理

基于风险评估的设备检验技术(RBI)是一种在追求系统安全性与经济性统一的基础上,以风险分析为基础,对系统中固有的或潜在的危险发生的可能性与失效后果进行科学分析,发现主要问题和薄弱环节,确定风险等级,最后找出薄弱环节的现代化检验方法。

RBI最早由挪威船级社应用于海洋平台;美国为改善RBI先后发布了API581和API580两项RBI基本资源文件,为RBI的广泛应用提供了基础;我国自本世纪初开始逐步推行和应用RBI,同时得到国家相关部门的支持与认可。2003年3月,合肥通用机械研究院、法国国际检验局(BV)与中石化茂名分公司合作,采用BV的RB.eye软件及数据库,首次在中国国内石化企业开展定量RBI的应用工作。2006年5月,国家质检总局颁发《关于开展基于风险的检验(RBI)技术试点应用工作的通知》,标志我国基于风险的检验(RBI)技术在中石化、中石油的正式试行^[4]。

目前,RBI技术已在世界范围内石化行业成套装置和管道等领域取得了良好的应用效果,但在机械行业,尤其是港口门座起重机中的应用尚不多见。把RBI原理应用到港口门座起重机的安全评价中,可以定量、全面地掌握起重机的风险等级和风险程度,这既有利于起重机使用单位完善自身的安全管理,也有利于特种设备安全监察机构根据起重机的风险程度,有针对性地实施分类监管。

API定义的风险由两部分组成,即失效可能性(probability of failure, POF)和失效后果(consequence of failure, COF)^[5]。风险的表达式为:

$$R_i = P_i C_i \quad (1)$$

式中: R_i —某一事故所导致的风险, P_i —失效可能性, C_i —失效后果。

1.2 评价体系的建立

门座起重机风险评价体系是进行门座起重机风险评价的基础。该体系是否全面、客观,体系和指标标准的确定是否准确、实际,都会影响到整个评价结果的实用性与正确性。本研究从系统论的角度出发,综合考虑人、机、环境与管理4个方面的因素,建立包含起重机各生命周期的风险评价的指标体系和失效后果评价指标体系。

根据《起重机安全规程》^[6]、《起重机设计规范》^[7]以及《起重机械定期检验规则》^[8]等相关国家和行业标准,并结合起重机检验专家的经验,可将起重机失效因素归纳为人的因素、机的因素、环境因素和管理因素4个二级子因素。①人的因素。涉及到起重机的司机、吊装工和指挥3个三级子因素,可以从工作经验、从业资格和安全素质等8个四级子因素来评价;②机的因素。涉及设计、制造、安装、调试、使用和维护6个三级子因素,可以从设计单位水平、设计方法、材料选用等23个四级子因素来评价,其中,金属结构、司机室、吊具等8个四级子因素还可以进一步细化成金属结构使用年限、锈蚀情况、变形情况等36个五级子因素来评价;③环境因素。涉及轨道条件、安全距离、地理条件、气象条件4个三级子因素,可以从轨距误差、直线度和轨顶高低差等12个四级子因素来评价;④管理因素。涉及制度管理、档案材料和人员管理3个三级子因素,可以从材料的完备性、合理性和可操作性等12个四级子因素来评价。

另外一方面,起重机失效后果因素可以归纳为人员伤亡、设备损坏、环境影响和经济损失4个二级子因素。①人员伤亡。可以从死亡人数、重伤人数和轻伤人数3个三级子因素来评价;②设备损坏。可以从对正常使用的影响程度和恢复所需时间2个三级子因素来评价;③环境影响。可以从对自然环境的影响和社会环境的影响2个三级子因素来评价;④经济损失。可以从直接经济损失和间接经济损失2个三级子因素来评价。

综上所述就构成了一个综合考虑人、机、环境、管理和设备生命周期的评价体系,在实际评价时,根据实际现场检验直接对92个底层子因素进行评价,就可以逐级得到整机的风险值。

2 评价方法的选用

根据上述的评价体系可以看出,港口起重机系统

安全评价涉及很多因素,尤其是某些指标很难量化,只能用“好”、“较好”等这样的等级评语来评价,具有很大的模糊性。为了实现精确的量化风险程度,模糊数学提供了可行的办法,本研究选用模糊综合评价法来对起重机系统进行综合评价。模糊综合评价是目前应用最为广泛的模糊风险评价方法^[9-11]。其基本思想是先对低级子因素中的各个因素进行模糊综合评价,然后再在各类之间(由低层到高层)进行综合评价。

2.1 建立因素集

因素评价集可表示为:

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 其中,元素 $u_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 代表各个影响因素。本研究共有 92 个评价因素。

2.2 建立权重集

针对评价集 U 中各个因素在评价对象中的重要程度不同,必须对各个因素 u_i 按其重要程度的不同给出相应的权重值 $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。各个因素的权重值 $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 组成的集合称为权重集 A 。本研究采用模糊层次分析法建立权重级,其计算步骤如下:

(1) 首先建立判断矩阵,即优先关系矩阵 $F = (f_{ij})_{m \times m}$:

$$f_{ij} = \begin{cases} 0.5 & s(i) = s(j) \\ 1.0 & s(i) > s(j) \\ 0.0 & s(i) < s(j) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $s(i)$, $s(j)$ —因素 i 和 j 的相对重要性程度。

(2) 将优先关系矩阵 F 转换成模糊一致判断矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times m}$:

$$r_i = \sum_{k=1}^m f_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$r_{ij} = \frac{r_i - r_j}{2m} + 0.5 \quad (4)$$

(3) 各因素权重计算:

$$a_i = \frac{l_i}{\sum l_i} = \frac{2l_i}{m(m-1)} \quad (5)$$

其中, l_i 为:

$$l_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} - 0.5 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

2.3 建立评价集

评价集是对评价对象可能做出的评价结果所组成的集合,可表示为:

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, 其中,元素 $v_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 是对评价对象可能做出的评价结果。

针对起重机失效可能性因素,本研究选用的评语集为{很大,大,较大,中等,较小,小,很小}。针对起重机失效后果严重性因素,本研究选用的评语集为{很严重,严重,较严重,一般,较轻微,轻微,很轻微}。

2.4 单因素模糊评价

单因素模糊评价是单独对某一个影响因素进行评价,以确定所评价的对象对评价集元素的隶属程度。设因素集中第 i 个因素 u_i 对评价集中的第 j 个元素 v_j 的隶属度为 r_{ij} ,则因素 u_i 的评价结果可表示为: $R = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\}$, 其中, R 为单因素评价集。

2.5 模糊综合评价

单因素模糊评价仅反映出一个因素对评价对象的影响程度,而模糊综合评价通过综合考虑所有因素对评价对象的影响程度,得到正确的评价结果。单因素评价构成的集合是多因素模糊综合评价的基础,如下式所示:

$$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

据以上建立的因素权重集 A 与评价矩阵 R ,选用合适的模糊算子,进行模糊运算,可得到模糊综合评价集 B , 即:

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (8)$$

其中, $b_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 称为模糊综合评价结果向量。

2.6 模糊综合结果的处理

RBI 原理的结果是风险数值,而非评价向量,采用模糊综合评价得到的是对应评语集的一个评价向量。为了更直观地将其表述成数值,本研究采用等级参数法来对评价结果进行处理,确定起重机的失效总体可能性 P 以及起重机失效后果的严重程度 C 。在此,对等级参数进行以下取值:

$$Q = (q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7)^T = (1, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.2, 0.1)^T$$

则有:

$$P = BQ = \sum_{i=1}^7 b_i \cdot q_i \quad (9)$$

$$C = B'Q = \sum_{i=1}^7 b'_i \cdot q_i \quad (10)$$

进一步可得起重机相对风险值 R :

$$R = PC \quad (11)$$

当评估多台起重机时,对每一台起重机进行失效风险比较与排序,确定风险最大的起重机,进行重点监管或者维护。

2.7 起重机风险矩阵的确定

为了更直观显示管段风险的高低,可以根据 API581 风险矩阵的形式来表示评定的结果。

风险评价矩阵如图 1 所示。

API581 中提供的风险等级划分标准是针对石化

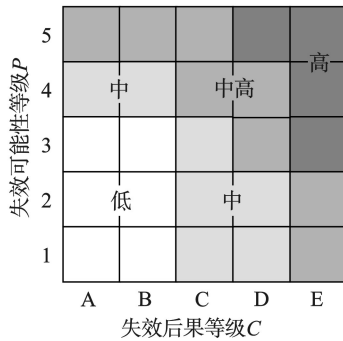


图1 风险评价矩阵

燃气的标准,在机械行业和在起重机中应用时需要重新修订,这既需要长期进行风险管理工作的积累,也需要在使用的过程中结合专家经验进行修正。本研究在特种设备专家的交流中指定了风险等级表。风险矩阵图的具体分级如表1所示。

表1 风险矩阵等级表

失效可能性 P (最大值1)	1	2	3	4	5
	<0.2	$0.2 \leq P$ <0.333	$0.333 \leq P$ <0.466	$0.466 \leq P$ <0.666	≥ 0.666
失效后果 C (最大值1)	A	B	C	D	E
	<0.22	$0.22 \leq C$ <0.385	$0.385 \leq C$ <0.55	$0.55 \leq C$ <0.77	≥ 0.77

根据分级情况,可确定风险矩阵中的失效可能性等级和失效后果等级。由风险矩阵等级和起重机失效可能性 P 及失效后果 C ,即可评价起重机风险的高低。

3 应用实例

某集装箱有限公司的GJ3524D1型门座起重机于1996年1月由上海港口机械制造厂制造,并由上海港联机械技术公司安装在某码头,该机额定起重量为35 t,起吊最大幅度24 m,最小幅度9 m。

2012年10月,特检部门对该起重机进行了定期检验,检验发现失压保护失效,零位保护失效,起重量限制器失效,回转连锁开关功能失效。按照检验TSG Q7015-2008(第二版)起重机械定期检验规则,该机检验结论为不合格,要求起重机使用企业进行整改维护。本研究以此机为例,按照前文的方法进行风险评价。

3.1 五级因素评价

四级因素中的金属结构 D_{21} 、司机室 D_{22} 、吊具 D_{23} 、钢丝绳 D_{24} 、卷筒 D_{25} 、电气系统 D_{26} 、液压系统 D_{27} 、安全装置 D_{28} ,它们下面还细分到五级子因素,其中,金属结构 D_{21} 可分为使用年限 E_1 、锈蚀情况 E_2 、变形情况 E_3 、开裂情况 E_4 、焊缝情况 E_5 这5个子因素,同时它们是最底层评价因素。根据检验结果,对金属结构的评价计算如下:

$$R_{E1}=(0.25,0.25,0.2,0.15,0.1,0.05,0),$$

$$R_{E2}=(0,0.05,0.1,0.15,0.2,0.25,0.25),$$

$$R_{E3}=(0,0.05,0.1,0.15,0.2,0.25,0.25),$$

$$R_{E4}=(0,0.0125,0.05,0.1125,0.2,0.3125,0.3125),$$

$$R_{E5}=(0,0.0125,0.05,0.1125,0.2,0.3125,0.3125),$$

$$a_{E1}=0.1, a_{E2}=0.15, a_{E3}=0.2, a_{E4}=0.25, a_{E5}=0.3。$$

采用模型 $M(\cdot, +)$ 进行模糊运算,则有:

$$B_{D21} = A_{D21} \cdot R_{D21} =$$

$$(a_{E1}, a_{E2}, a_{E3}, a_{E4}, a_{E5}) \cdot (\Gamma_{E1}, \Gamma_{E2}, \Gamma_{E3}, \Gamma_{E4}, \Gamma_{E5})^T =$$

$$(0.025, 0.049, 0.083, 0.129, 0.19, 0.264, 0.259)$$

同理,可得司机室 D_{22} 、吊具 D_{23} 、钢丝绳 D_{24} 、卷筒 D_{25} 、电气系统 D_{26} 、液压系统 D_{27} 、安全装置 D_{28} 的评价向量分别为:

$$B_{D22}=(0,0.022,0.063,0.122,0.2,0.297,0.297),$$

$$B_{D23}=(0,0.05,0.1,0.15,0.2,0.25,0.25),$$

$$B_{D24}=(0,0.05,0.1,0.15,0.2,0.25,0.25),$$

$$B_{D25}=(0,0.022,0.063,0.122,0.2,0.297,0.297),$$

$$B_{D26}=(0.08,0.114,0.132,0.15,0.168,0.186,0.17),$$

$$B_{D27}=(0,0.05,0.1,0.15,0.2,0.25,0.25),$$

$$B_{D28}=(0.063,0.1,0.125,0.15,0.175,0.2,0.188)。$$

3.2 四级因素评价

三级因素中使用的 C_8 包含金属结构 D_{21} 、司机室 D_{22} 、吊具 D_{23} 、钢丝绳 D_{24} 、卷筒 D_{25} 、电气系统 D_{26} 、液压系统 D_{27} 、安全装置 D_{28} 这8个四级子因素,根据前文方法可以得到三级使用因素 C_8 的评价向量为:

$$B_{C8}=(0.022,0.058,0.096,0.140,0.191,0.249,0.245)$$

3.3 三级因素评价

二级因素中的起重机因素 B_2 包含设计 C_4 、制造 C_5 、安装 C_6 、调试 C_7 、使用 C_8 、维护 C_9 这9个三级子因素,根据前文方法,同理可得其评价向量:

$$B_{B2}=(0.005,0.052,0.099,0.148,0.198,0.25,0.249)。$$

3.4 二级因素评价

一级因素失效可能性包含人的因素 $B1$ 、机的因素 $B2$ 、环境因素 $B3$ 、管理因素 $B4$ 这四方面,同理可得失效可能性的评价向量为:

$$B_{A1}=(0.002,0.043,0.09,0.142,0.199,0.262,0.262)。$$

同理,可得失效后果的评价向量为:

$$B_{A2}=(0,0.025,0.067,0.125,0.2,0.292,0.292)。$$

3.5 评价结果的处理

$$Q=(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7)^T=(1, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.2, 0.1)^T$$

运用式(9~10)处理,可得出:

失效可能性 $P=0.32$, 失效后果 $C=0.29$, 相对风险 $R=0.093$ 。将结果与风险矩阵相对照,可知:该机属于较低等级风险,在整改之后可以继续使用。

(下转第 653 页)

提出自适应保护算法。该整定算法基于实时计算,由配电系统的运行方式确定,而传统整定值是不变的;整定时测量单元获得的电压和电流计算系统的阻抗,能够适应风电场并网前后的变化。

自适应继电保护能在保护范围内可靠动作切除故障,对超出保护范围的故障不会误动作。理论分析和仿真实验结果证明,该算法比传统整定方法有良好的可靠性、选择性和灵敏性。

参考文献(References):

- [1] ADLYGIRGI S, SUKUMAR B. Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System [C]//Proceedings of 2001 IEEE PES Summermeeting, July 2001 Large Scale Integration of Micro-Generation to Low Voltage Grids. Canada: IEEE, 2001: 115-119.
- [2] KOJOVIC L A, WITTE J F. Improved Relay Coordination and Relay Response Time by Integrating the Relay Functions [C]//Power Engineering Society Summer Meeting 2000. Washington USA: IEEE, 2000: 1202-1207.
- [3] CUI Yang, YAN Gan-gui, JIANG Da-wei, et al. DFIG-based Wind Farm Equivalent Model for Power System Short Circuit Current Calculation [C]//International Conference on Sustainable Power Generation and Supply. Nanjing: SUPERGEN '09, 2009: 1-5.
- [4] KAWADY TAMER. An Interactive Simulation of Grid-connected DFIG Units for Protective Relaying Studies [C]//1st IEEE-PES/IAS Conference on Sustainable Alternative Energy, SAE. Valencia: IEEE, 2009: 1-8.
- [5] CAO Na, ZHAO Hai-xiang, DAI Hui-zhu. Dynamic Behavior of Integrated Wind Turbines During Fault Condition and Impact on Relay Settings of Distribution Network Feeders [C]//2006 International Conference on Power System Technology. Chongqing: [s.n.], 2006: 8.
- [6] 张磊, 梅柏杉, 杨林涛, 等. 风电场并网运行及其对配电网继电保护的影响[J]. 华东电力, 2010(09): 1409-1412.
- [7] QURESHI W A, NAIR N C. Systematic Development of Low Voltage Ride-Through (LVRT) Envelope for Grids [C]//2010 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2010). Fukuoka: IEEE, 2010: 21-24.
- [8] 杨国生, 李欣, 周泽昕. 风电场接入对配电网继电保护的影响与对策[J]. 电网技术, 2009(11): 87-91.
- [9] JANG S I, CHOI J H, KIM J W, et al. An Adaptive Relaying for the Protection of a Wind Farm Interconnected with Distribution Networks [C]//Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES. Dallas: IEEE, 2003: 296-302.
- [10] SALMAN S K, RIDA I M. Impact of Integration of Wind Farms into a Utility Network on Relay Settings of the Utility Feeders [C]//Quality and Security of Supply in Electrical Networks. London: [s.n.], 1999: 1-8.

[编辑: 罗向阳]

(上接第648页)

4 结束语

在RBI原理的基础上,本研究建立了港口门座起重机的风险评价模型,运用模糊综合评价法进行了风险评价,并依据风险分析矩阵的思想对综合结果进行了分级判定,最后结合现场实测,对某门座起重机进行了风险评价,验证了该模型及方法的科学性、合理性和可靠性。

但是,该评价等级范围的划分和评价指标的完善仍需在实际使用中进一步完善,实际操作中要求风险评价人员具备较高水平的数学和系统评价专业知识是不现实的。因此,该研究成果在推广使用中有赖于随着IT技术的发展,将其演变成便于推广的专业评价软件。

参考文献(References):

- [1] ZHANG Jian, ZHANG Yuan-rong, JI Chao, et al. Safety assessment of crane based on FTA and ANP [C]//The Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management. Pakistan: Springer Verlag Press, 2012: 453-464.
- [2] 徐格宁, 江凡. 基于模糊层次综合法的起重机安全性评价[J]. 安全与环境学报, 2010, 10(2): 196-200.
- [3] 钱尼君, 李波, 程秋平, 等. 基于LM神经网络的起重机械本质安全评价方法[J]. 南昌大学学报: 理科版, 2011, 35(2): 197-200.
- [4] 陈庆娟, 王三明. RBI技术在我国企业的应用研究与改进思考[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(6): 191-196.
- [5] American Petroleum Institute. API 581, Risk-based inspection base resource document (Second Edition) [S]. 2008.
- [6] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中华人民共和国标准化管理委员会. GB 6067. 1-2010, 起重机安全规程 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [7] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中华人民共和国标准化管理委员会. GB/T 3811-2008, 起重机设计规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. TSG Q7015-2008, 起重机械定期检验规则(二次修订版) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [9] 魏碧霞, 杨晓翔. 城区埋地燃气管道失效后果严重度的模糊综合评价[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2008, 36(4): 616-620.
- [10] 陈世旺, 杨晓翔. 基于模糊综合评价的电站锅炉风险评估[J]. 能源与环境, 2009(6): 14-16.
- [11] 魏碧霞, 杨晓翔, 郭金泉, 等. 基于神经网络的模糊风险评估技术的应用[J]. 油气储运, 2009, 28(2): 20-26.

[编辑: 罗向阳]