

电力客户能效状态模糊综合评估

吴剑飞¹, 姚建刚¹, 陈华林², 龚陈雄², 李昀²

(1. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 湖南湖大华龙电气信息技术有限公司, 湖南 长沙 410082)

摘要: 能效状态评估的关键是建立合适的评估指标体系与评估模型。对影响电力客户用电能效因素进行分类共性分析, 将能效评估的指标体系划分为三层, 包含经济能效、电能信息、生产信息及电能污染四类指标。基于模糊综合评判原理, 对状态因素集、评判集、权重系数进行分析, 结合指标体系建立了能效评估模型。在实例分析中, 评估结果保留了各层评价指标的全部信息, 并能转化为分值排序, 这有助于电力企业直观了解电力客户能效状态。提出一套基于 J2EE 三层架构能效评估系统设计方案, 对现代能效管理具有理论意义和实际参考价值。

关键词: 指标体系; 评估模型; 能效评估系统; 模糊综合评估; 因素集

Fuzzy comprehensive evaluation of power customer energy efficiency assessment

WU Jian-fei¹, YAO Jian-gang¹, CHEN Hua-lin², GONG Chen-xiong², LI Yun²

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Hunan Hualong Electric Power Company, Changsha 410082, China)

Abstract: The key of energy efficiency assessment is to establish appropriate evaluation index system and evaluation model. The paper analyzes the electric energy efficiency factors of customers, and classifies into three layers by evaluation index system of energy efficiency, including economic efficiency, energy information, production information, energy pollution and so on. It establishes evaluation model of energy efficiency by state factor set, evaluation set, the weight coefficient and the principle of fuzzy comprehensive evaluation. The assessment result through case analysis retains all the information of each index and is easily converted to score sort, which helps power enterprise to understand vividly energy efficiency of state electricity customers. Finally, the paper proposes a three-tier architecture design of energy efficiency rating assessment system (EERAS) based on J2EE, which is a meaningful way to modern energy management.

Key words: index system; evaluation model; EERAS; fuzzy comprehensive evaluation; factors

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)13-0094-05

0 引言

目前国内外各项节能技术的研究日益深化, 但在具体的评测体系方面缺乏完整有效的评价体系, 难以对各类节能效果及其设备给予较为全面准确的评估。能效评估指标体系的建立为实施节电改造及节能考核提供科学准确的依据, 促进用电客户进行结构调整和产业升级, 因此越来越多的专家和学者致力于电力能效评估研究。文献[1]针对企业能源系统建立了包括经济、能源、技术和环境四项指标的能耗水平模型。文献[2]运用层次分析法, 建立 DSM 实施成效评估的层次结构模型。文献[3]结合模糊理论对变压器运行状态进行模糊评价的多级评估方法。文献[4-6]对用电设备的能效进行分析。文献[7]

提出以社会效益最大化为目标, 通过结构化的方法来评估能效。文献[8]利用综合效率能效指数对国家或地区的能效趋势进行预测。

本文结合用电客户的电能信息与生产信息, 基于模糊综合评估法对电力客户能效状态进行整体上的评估, 对评估的三个关键——状态因素集、评判集、权重系数进行分析, 建立了电力能效评估的指标体系, 最后提出基于 J2EE 三层架构的评估软件设计方案, 为系统实现电力客户能效评估提供了新的思路, 对电力能效管理工作具有积极的、深远的指导意义。

1 评估体系研究的总体思路

评估体系是评估系统的基础, 包括评估的指标

体系、评估流程、评估模型、评估方法等。本文研究的评估体系首先对影响用电能效的因素进行分类共性分析, 抽象出电力能效评估的指标体系, 然后结合评估原则, 运用模糊综合评判原理, 建立模糊综合评估模型。其中, 评判集可参考现有评价标准及各项规程并进行隶属度分析得出, 各指标的权重可采用群决策层次分析法加以确定。总的示意图如图 1 所示。

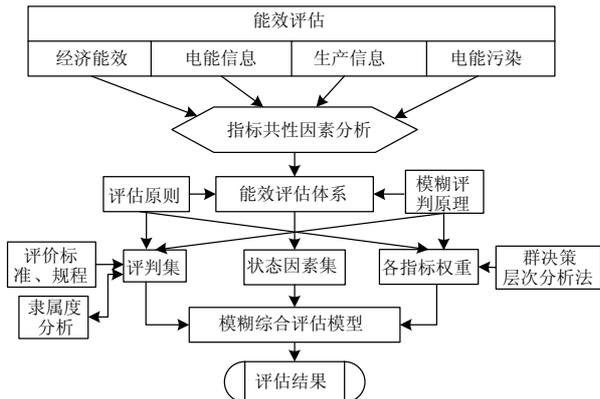


图 1 电力能效评估体系示意图
Fig.1 Sketch map of EERAS

2 评估的指标体系

节能是衡量企业节能成效的主要指标, 重点研究企业能效与节能量化方法。通过采集客户经济能效、电能信息、生产信息及电能污染进行能效管理, 建立适宜的指标体系进行节能减排评价。本文电力能效评估指标体系如图 2 所示。

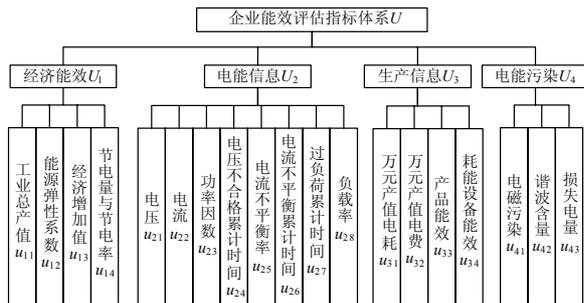


图 2 电力能效评估指标体系
Fig.2 Indices system of EERAS

3 电力客户能效状态模糊综合评估

模糊综合评估的基本思想^[9]是利用模糊线性变换原理和最大隶属度原则, 考虑与被评价目标相关的各个因素, 先从最低级层次的各个因素进行综合评价, 再依次向上, 直到最高的目标层, 进而得出最终评价结果。本文的电力客户能效状态评估采用模糊综合评估, 其基本步骤如图 3 所示。

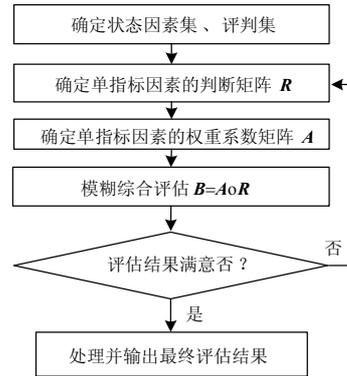


图 3 电力能效模糊综合评估流程图
Fig.3 Flowchart of fuzzy comprehensive assessment

3.1 确定状态因素集

设 U 为包含所有评判因素的因素集, 将 U 中的因素按照某一准则分组, 性质相近的因素分在一组, 设 U 中的因素分为 l 组, 即

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_l\} \quad (1)$$

$$U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}\} \quad (2)$$

其中: U 为高层因素集, $U_i (i=1, 2, \dots, l)$ 为底层因素集。

本文将能效评估指标体系分为 2 层, 如图 2 所示, 则综合评判因素集 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$, 最底层的单因素集分别为:

$$U_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}\}$$

$$U_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}, u_{25}, u_{26}, u_{27}, u_{28}\}$$

$$U_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}, u_{34}\}$$

$$U_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}, u_{44}\}$$

3.2 设置评判集及权重系数

设 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ 表示评判集, 它对任一层、任一因素的评判都适用。另假设 $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$ 为 U_i 中各因素相对 V 的权重系数集, 且满足 $a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{im} = 1$, a_{im} 根据 U_i 中各因素的重要程度分配。同理, 对于高层因素集, 可设 $A = (a_1, a_2, \dots, a_l)$ 为 U 中各因素相对 V 的权重系数集, 且满足 $a_1 + a_2 + \dots + a_l = 1$, a_{il} 根据 U 中各因素的重要程度分配。

本文将电力客户能效状态由高到低分为 6 级, 分别为: 黑、红、橙、黄、蓝、绿。各等级表示的能效状态情况大致如下:

黑色: 表示电力客户能效很低, 用电极不合理, 产品不具备市场竞争力。

红色: 表示电力客户能效较低, 用电很不合理, 产品市场竞争力很差。

橙色：表示电力客户能效低，用电不合理，产品的市场竞争力差。

黄色：表示电力客户能效一般，用电合理，产品具备一定市场竞争力。

蓝色：表示电力客户能效指标良好，用电比较合理，产品的市场竞争力强。

绿色：表示电力客户能效指标非常好，用电设备运行合理，电能质量高，产品具有很强的市场竞争力。

故评判集可表示为： $V = \{\text{黑, 红, 橙, 黄, 蓝, 绿}\}$ 。

3.3 综合评判矩阵的求取

通过各单因素模糊评价获得模糊综合评判矩阵 R_i ：

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{in} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

r_{ij} 表示对 u_i 的评价中，评判等级 $v_j (j=1, 2, \dots, m)$ 所占份额。

$$r_{ij} = f_{ij} / \sum_{j=1}^n f_{ij} \quad (4)$$

式中： f_{ij} 为第 i 个因素被评为第 j 个评判等级 v_j 的总次数。

利用复合运算求出对子因素集 U_i 的综合评判结果：

$$B_i = A_i \circ R_i = [b_{i1} \quad b_{i2} \quad \cdots \quad b_{im}] \quad (5)$$

$$b_{ij} = \sum_{k=1}^n (a_{ik} r_{kj}) \quad 1 \leq j \leq m \quad (6)$$

下一步对高层因素集进行评判，即对评判空间 (U, V, R) 进行综合评判，对于因素集 U 的单因素评判矩阵 R 则由较低层次的综合评判输出 B_i 构成：

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ \vdots \\ A_l \circ R_l \end{bmatrix}_{l/m} \quad (7)$$

对于因素集 U 的最后综合评判结果为

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

以上是二级综合评判模型，更多层次的评判模型的建立方法与二级模型类似，这里从略。

4 能效评估实例分析

电力能效评估体系如图 2 所示，假设评估专家

对某一用电客户能效指标相关信息整理判断之后，根据第 3 节的定义得到相应的模糊评判矩阵 R_i 和权重系数集 A ，详见表 1。

4.1 能效评估计算

结合表 1 的数据，因素集权重为

$$A = [0.2 \quad 0.4 \quad 0.2 \quad 0.2]$$

子因素集权重分别为

$$A_1 = [0.2 \quad 0.2 \quad 0.3 \quad 0.3]$$

$$A_2 = [0.1 \quad 0.1 \quad 0.1 \quad 0.1 \quad 0.1 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.1]$$

$$A_3 = [0.3 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.3]$$

$$A_4 = [0.3 \quad 0.4 \quad 0.3]$$

模糊评价矩阵 R_1 为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

表 1 各层评判因素集、权重分配单因素评判矩阵

Tab.1 Assessment factors, weight coefficient and assessment matrix of single factor located

因素集	权重	子因素集	权重	模糊评判矩阵					
				黑	红	橙	黄	蓝	绿
U_1	0.2	u_{11}	0.2	0	0	0.2	0.5	0.3	0
		u_{12}	0.2	0	0.1	0.4	0.2	0.3	0
		u_{13}	0.3	0	0	0	0.3	0.6	0.1
		u_{14}	0.3	0	0.2	0.2	0.4	0.2	0
U_2	0.4	u_{21}	0.1	0	0	0.2	0.3	0.4	0.1
		u_{22}	0.1	0	0.1	0.2	0.6	0.1	0
		u_{23}	0.1	0	0	0.3	0.4	0.2	0.1
		u_{24}	0.1	0	0	0.1	0.4	0.5	0
		u_{25}	0.1	0	0	0	0.4	0.4	0.2
		u_{26}	0.2	0	0.1	0.7	0.1	0.1	0
		u_{27}	0.2	0	0.1	0.1	0.5	0.3	0
		u_{28}	0.1	0.1	0.1	0.6	0.2	0	0
U_3	0.2	u_{31}	0.3	0	0	0	0.4	0.5	0.1
		u_{32}	0.2	0	0.2	0.5	0.1	0.2	0
		u_{33}	0.2	0	0.2	0.2	0.3	0.3	0
		u_{34}	0.3	0	0	0.1	0.6	0.2	0.1
U_4	0.2	u_{41}	0.3	0	0	0	0.8	0.2	0
		u_{42}	0.4	0	0.1	0.2	0.4	0.3	0
		u_{43}	0.3	0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1

单因素集 U_1 的综合评判结果为

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix}^T \circ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.08 & 0.18 & 0.35 & 0.36 & 0.03 \end{bmatrix}$$

同理求出 U_2, U_3, U_4 的综合评判结果, 分别为

$$B_2 = A_2 \circ R_2 = [0.01 \ 0.06 \ 0.3 \ 0.35 \ 0.24 \ 0.04]$$

$$B_3 = A_3 \circ R_3 = [0 \ 0.08 \ 0.17 \ 0.38 \ 0.31 \ 0.06]$$

$$B_4 = A_4 \circ R_4 = [0 \ 0.07 \ 0.14 \ 0.46 \ 0.3 \ 0.03]$$

由 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 可求得最高层模糊评价矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.08 & 0.18 & 0.35 & 0.24 & 0.03 \\ 0.01 & 0.06 & 0.3 & 0.35 & 0.24 & 0.04 \\ 0 & 0.08 & 0.17 & 0.38 & 0.31 & 0.06 \\ 0 & 0.07 & 0.14 & 0.46 & 0.3 & 0.03 \end{bmatrix}$$

该企业电力能效评估综合评判结果为

$$B = A \circ R = [0.004 \ 0.07 \ 0.218 \ 0.378 \ 0.29 \ 0.04]$$

4.2 结果分析

根据计算结果, 由各个指标模糊运算得到的 1 级评判结果和 2 级评判结果分别见表 2、表 3。

表 2 模糊综合评价 1 级评判结果

Tab.2 The first grade evaluation results of fuzzy comprehensive evaluation

指标	评判结果					
	黑	红	橙	黄	蓝	绿
U_1	0	0.08	0.18	0.35	0.24	0.03
U_2	0.01	0.06	0.3	0.35	0.24	0.04
U_3	0	0.08	0.17	0.38	0.31	0.06
U_4	0	0.07	0.14	0.46	0.3	0.03

表 3 模糊综合评价 2 级评判结果

Tab.3 The second grade evaluation results of fuzzy comprehensive evaluation

黑	红	橙	黄	蓝	绿
0.004	0.07	0.14	0.46	0.3	0.03

根据最大隶属度原则, 由表 3 可知, 对该用电客户评价结果, 在 6 个隶属度中 0.46 值最大, 评判值为“黄色”, 即表示用电客户能效一般, 说明该客户能效评估总体合格, 用电合理。从本文第 3 节的定义看出, 黄、蓝、绿 3 种颜色代表用电能效指标合理, 其他颜色代表用电能效不合格。据此看出大约有 79% (46%+30%+3%) 的评估专家认为该客户能效指标达标。

为了便于各指标进一步比较, 将评判结果转化为分值并进行排序。设评判集 $V = \{\text{黑, 红, 橙, 黄, 蓝, 绿}\} = \{0, 30, 50, 60, 80, 100\}$, 结合表 2 得到各指标分值及排序结果, 如表 4 所示。

表 4 各指标分值及排序结果

Tab.4 Score of each index and the results of ranking

指标	U_1	U_2	U_3	U_4
分值	65	61.6	65.3	64.4
排序	2	4	1	3

可以看出该用电客户各项能效指标较为平均, 但都处于合格状态附近, 尚有很大改善空间。

5 电力能效评估系统设计

系统采用开放式体系结构和分布式系统设计, 基于 J2EE 三层架构设计, 运用 GIS 和计算机图形与数据库技术, 实现全网在线动态的电能质量监控、能效评估与预警。电力能效评估系统模型如图 4 所示。

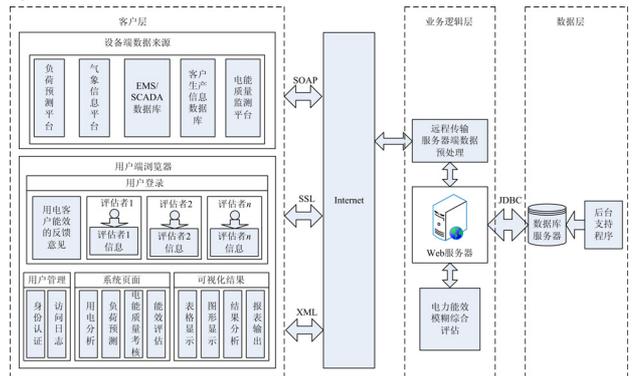


图 4 基于 J2EE 三层架构的电力能效评估系统模型

Fig.4 System model of EERAS based on the J2EE 3-tier application

5.1 客户层

客户层包括设备端和用户端, 见图 4。设备端任务在于采集信息: 数据主要来源于电能质量监测系统、能量管理系统 (EMS)、监控与数据采集系统 (SCADA) 等, 包括用户电能和能耗数据、信息的收集和管理, 现场能效测试系统接口和用户实时能耗监测控制系统接口数据, 气象类、经济类数据的采集, 数据预处理等。用户端包括用户登录、用户管理、评估页面、评估结果四大功能模块。用户登录后, 须录入评估者姓名、学历、年龄、工作岗位等信息, 并进行身份认证, 确认具有评估资格和权限, 不具备评估资格的用户视为游客, 可以反馈意见和一般的查询。系统自动获取访问用户的用户名、访问时间和 IP 地址, 按照访问时间排序。在评

估页面中, 评估者就某一大用户按照评估的各项指标参考评判集进行模糊评估。最终评估结果以表格和图形化形式显示出来, 针对结果进行必要的分析, 并形成报表输出。

5.2 业务逻辑层

业务逻辑层可视为在数据层和客户层之间进行数据交换的桥梁, 主要体现为评估的算法程序在 Web 服务器执行。为减轻服务器的工作压力, 在远程原始数据进入服务器之前进行数据预处理是必要的。系统采用文献[10]提出的基于数据仓库 ETL (即 Extract Transform Load, 数据抽取、转换、装载) 技术的电力数据预处理方法。为了使系统产生更好的用户体验, 技术应用上采用 Ajax 方法, 具体设计的关键是在用户和服务器之间引入 Ajax 引擎, 允许用异步的方式实现用户和程序的交互, 无需等待服务器的响应, 应用模型如图 5 所示。



图 5 Ajax Web 应用模型

Fig.5 The Ajax Web application model

5.3 数据层

常用的大型关系数据库服务器有 ORACLE、SQL Server、DB2、Sybase 等, 比较各数据库服务器的性能, 考虑评估系统在安全性和稳定性方面有较高的要求, 宜采用 ORACLE 作为数据库服务器。

5.4 数据传输及接口

现有的客户层与业务逻辑层之间的通信技术主要有 JAVA RMI、CORBA、COM/DCOM、SOAP 等。设计考虑系统需要在分布式环境中交换结构化信息, 不受制于传输协议, 且允许服务器和客户层经过防火墙在 Internet 进行通信交互, 故采用 SOAP 技术。系统基于 J2EE 开发模式, 由于 ODBC 使用 C 语言接口, 不适合直接在 Java 中使用, 因此本系统采用 JDBC 作为数据接口。

5.5 系统安全及防范措施

本系统从网络通讯、操作系统、数据库管理、应用系统和计算机病毒防治五个方面提供安全保障机制, 具体措施如下:

1) 网络通讯除了采用 SOAP 技术外, 还采用虚拟专网技术和防火墙技术, 将系统所用服务器部署在虚拟子网内, 通过防火墙与外界逻辑隔离。

2) 利用操作系统安全功能, 对操作系统的用户、用户组及其访问权限作严格规定。关掉可能导致安全漏洞的服务, 如 Telnet、Ftp、SendMail 等。

3) 利用 ORACLE 强大的安全功能对访问进行

控制。关键数据采用数据维护触发器对操作信息、操作时间等进行跟踪, 提供数据修改踪迹查询等。

4) 应用系统采用严格的用户授权和身份验证机制, 保证系统的核心功能只有具有相关权限的人员才能操作。审计跟踪用户访问、操作及 IP 日志。

5) 计算机病毒的防治, 主要在 Web 服务器和数据库服务器上采用硬件和软件进行防范。

6 结论

随着我国节能减排工作的进一步实施, 对用电客户能效状态评估已成为一种必然趋势。本文建立了电力客户能效评估体系的指标体系, 采用模糊综合评估法对电力客户能效状态进行综合评估, 全面考虑了影响电力客户能效评估的多种因素, 保留了各层次评价指标的全部信息, 并将评价结果转化为分值排序, 有助于电力企业更直观地了解电力客户能效状态, 为实施节电改造及节能考核提供科学准确的依据。

参考文献

- [1] 徐勇, 王坚. 基于 AHP 和 PCA 的企业能耗水平评价[J]. 价值工程, 2008, 27 (8): 9-12.
XU Yong, WANG Jian. To evaluate on the level of enterprise energy consumption based on AHP and PCA[J]. Value Engineering, 2008, 27 (8): 9-12.
- [2] 郑雪茹, 何建敏. 基于层次分析法的电力需求侧管理评价指标权重确定方法[J]. 现代管理科学, 2006(8): 8-9.
ZHENG Xue-ru, HE Jian-min. The method of define the weight of DSM's factor based on AHP[J]. Modern Management Science, 2006(8): 8-9.
- [3] 廖瑞金, 王谦, 等. 基于模糊综合评判的电力变压器运行状态评估模型[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(3): 70-74.
LIAO Rui-jin, WANG Qian, et al. Condition assessment model for power transformer in service based on fuzzy synthetic evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (3): 70-74.
- [4] Wong L T, Mui K W. Efficiency assessment of indoor environmental policy for air-conditioned offices in Hong Kong[J]. Applied Energy, 2009, 86: 1933-1938.
- [5] Bujak J. Experimental study of the energy efficiency of an incinerator for medical waste[J]. Applied Energy, 2009, 86: 1933-1938.
- [6] Lee W L, Yik F W H, Jones P. A strategy for prioritising interactive measures for enhancing energy efficiency of air-conditioned buildings[J]. Energy, 2003, 28: 877-893.
- [7] Neves L P, Dias L C. Structuring an MCDA model using SSM: a case study in energy efficiency[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 199: 834 - 845.

(下转第 103 页 continued on page 103)

参考文献

- [1] 窦晓波, 吴在军, 胡敏强. 借鉴IEC 61850功能分层的保护装置的设计[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(23): 65-70.
DOU Xiao-bo, WU Zai-jun, HU Min-qian. Design of protection by referring to function leveling in IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(23): 65-70.
- [2] 童晓阳, 李岗, 陈德明, 等. 采用IEC 61850的变电站间隔层IED软件设计方案[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(14): 54-58.
TONG Xiao-yang, LI Gang, CHEN De-ming, et al. IEC 61850 based software design scheme of bay level IED in substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(14): 54-58.
- [3] 张国庆. 全寿命周期管理引领基建未来[J]. 国家电网, 2008(12): 22.
- [4] 童良. 全寿命周期成本管理与可持续发展[J]. 国家电网, 2008(12): 31.
- [5] 输电线路建设工程全寿命周期管理的探讨[J]. 山西电力, 2007. 143(S1): 88-92.
- [6] 易永辉, 等. 基于IEC 61850 标准的新型集中式IED[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(12): 36-40.
YI Yong-hui, et al. A new centralized intelligent electrical device based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(12): 36-40.
- [7] 陈俊山, 洪兰秀, 郑志远. 电力系统低频减载研究与应用发展[J]. 继电器, 2007, 35(14): 79-82.
CHEN Jun-shan, HONG Lan-xiu, ZHENG Zhi-yuan. Investigation and application of under frequency loading shedding[J]. Relay, 2007, 35(14): 79-82.
- [8] 黄建华, 全零三. 变电站高压电气设备状态检修的现状及其发展[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(16): 56-61.
HUANG Jian-hua, QUAN Ling-san. Current status and development of condition-based maintenance of high-voltage electric power equipment in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(16): 56-61.
- [9] 苏鹏声, 王欢. 电力系统设备状态监测与故障诊断技术分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(1): 61-65, 82.
SU Peng-sheng, WANG Huan. Technology analysis of state monitoring and fault diagnosis in electric power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(1): 61-65, 82.
- [10] 丁茂生, 王钢, 贺文. 基于可靠性经济分析的继电保护最优检修间隔时间[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(25): 44-48.
DING Mao-sheng, WANG Gang, HE Wen. The optimum routine maintenance interval of protection based on reliability economic analysis[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(25): 44-48.
- [11] 李永丽, 李致中. 继电保护装置可靠性及其最佳检修周期的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(6): 63-64.
LI Yong-li, LI Zhi-zhong. Study of reliability and optimal routine test interval of protective relays[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(6): 63-64.
- [8] Ang B W. Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: from energy-GDP ratio to composite efficiency index[J]. Energy Policy, 2006, 34: 574-582.
- [9] 周黎莎, 于新华. 基于网络层次分析法的电力客户满意度模糊综合评价[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 191-197.
ZHOU Li-sha, YU Xin-hua. Fuzzy comprehensive evaluation of power customer satisfaction based on analytic network process[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 191-197.
- [10] 吴蓉晖, 荣宏. 数据预处理在电力远程智能监测系统的应用[J]. 高电压技术, 2005, 31(7): 58-60.
WU Rong-hui, RONG Hong. Application of data preprocessing in power remote intelligent monitoring system[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(7): 58-60.

(上接第 98 页 continued from page 98)

收稿日期: 2009-08-18; 修回日期: 2009-11-08

作者简介:

易永辉(1969-), 男, 工学博士, 研究方向为智能变电站及电力系统继电保护等; E-mail: yyh6006@163.com

王坤(1972-), 男, 高级工程师, 研究方向为变电站运行及管理;

王震学(1976-), 男, 高级工程师, 研究方向为电力系统调度自动化。

收稿日期: 2009-08-06; 修回日期: 2009-12-29

作者简介:

吴剑飞(1985-), 男, 硕士, 主要研究方向为电网规划、电网安全稳定、电力市场及电力系统自动化; E-mail: jianfei23@163.com

姚建刚(1952-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力市场、电网安全、电力系统自动化和高压外绝缘等; E-mail: yaojiangang@126.com.cn

陈华林(1984-), 男, 硕士, 主要研究方向为电力市场、电力系统自动化。