

国际特大电网运行年会工作重点

电力系统自动化杂志社

国际特大电网运行年会由美国 PJM 公司、日本东京电力公司 (TEPCO)、中国国家电网公司等 2004 年发起,参与者是 50 GW 以上装机的特大电网。国际特大电网运行年会设立 3 个工作组:①大电网停电事故的防御,组长单位为东京电力公司 (TEPCO);②21 世纪能量管理系统 (EMS) 体系结构,组长单位为美国 PJM 公司和中西部电网独立运行机构 (MISO);③电网运行决策支持及可视化技术,组长单位为法国电网公司。国家电力调度通信中心的辛耀中总工程师和陶洪铸先生参与了第 2 工作组的工作;华北电网有限公司的谢旭先生参与了第 3 工作组的工作。

第 1 工作组通过问卷调查了各国电网大停电事故的共同原因和机理、现有的防范措施和将来的新技术。认为已有几种类型的集中式或分布式自动化系统分别用于电网的监视、预防控制和紧急控制,由于紧急控制的实施是最后不得已使用的手段,所以应将研发集中在监视和预防控制,因为这两方面的工具处在连锁事件故障的“上游”。在总结调查结果的基础上,工作组确定了以下几个研发课题。在加强电网监视方面有:在线动态分析,在线系统稳定性监视,包括应用相量测量装置 (PMU) 和特征值计算,广域相量测量技术,机组和系统频率/负荷性能监视;在加强预防控制方面有在线智能(倒闸操作或机组再调度)系统。建议在研发过程中,必须考虑最新的信息技术 (IT),并行计算技术,适合在线分析的高级算法、软件和结构标准化。该工作组 2006 年将提出一份有关预防连锁故障的“全面调查报告”,以便在一些国际会议(如 CIGRE)上宣讲。为使报告更全面,将吸收新成员并发出问卷,调查内容增加“恢复过程”。

第 2 工作组的目标是提出下一代能量管理系统 (EMS) 和市场管理系统 (MMS) 体系结构的构想,促使该构想得到业界的认同与接受,并促使其成为事实上的工业标准。当前 EMS/MMS 体系及技术的主要问题是:具有市场生存能力的 EMS 及相关的自动化产品有限,且缺乏模块化设计,产品互操作性差;缺乏有力的标准,目前所应用的产品通常仅限于一些低层的通信协议,即使对本来标准的数据模型,

却因有不一样的实现而影响了互操作性;防范网络攻击的措施有限;由于系统设计只着眼于满足实时性能的需要,使系统的扩展不方便,也限制了软件的推广;EMS/MMS 以及其他一些控制系统没有统一的用户界面,限制了调度员作用的有效发挥,也增加了出错的概率。工作组认为任何未来的 EMS/MMS 都必须满足以下原则:基于标准化的研发,与平台无关,可兼容第三方软件;内嵌安全机制;具有功能连续性,便于升级和适应业务的新发展。这些原则体现在以下未来 IT 结构体系的关键要素中:基于组件和以服务为导向的结构,以便集成和重用;将公共信息模型 (CIM) 作为数据标准;安全层;以业界标准为基础;企业门户。下一代 EMS/MMS 体系结构参见图 1。

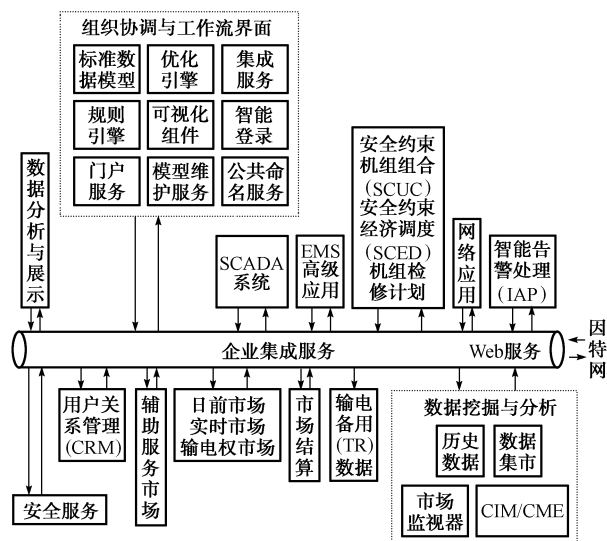


图 1 下一代 EMS/MMS 体系结构
Fig. 1 Architecture of the next generation EMS/MMS

第 3 工作组的目标是:调查目前使用的电网运行决策支持工具,并指出其使用效果和局限性;了解各特大电网运行机构的工作需求;推动相关研究工作,对最需要、最有效的决策支持工具提出建议。工作组调查的课题包括:①用于监视系统稳定性(动态稳定分析)的实时工具;②用于实时监视系统电压稳定性的工具;③PMU 在电网运行中的应用及在提系统安全性方面的作用,基于广域量测系统

(下转第 86 页 continued on page 86)

电力市场评价指标体系的原理和构建方法

刘敦楠, 陈雪青, 何光宇, 周双喜

(清华大学电机系, 北京市 100084)

摘要: 电力市场评价指标体系是通过一系列指标的计算, 定量分析电力市场的科学方法, 是各类市场参与者、市场运营和监管部门进行市场分析所必需的有力工具。指标体系的内容虽不具有通用性, 必须针对不同市场的具体情况分别建立; 但是指标体系的基本原理和构建方法仍有章可循。文中深入探究了电力市场指标体系的基本原理, 并在此基础上提出了指标体系构建的一般方法和步骤。以发电方、购电方、市场运营中心、监管部门为例介绍了指标体系构建的定性分析过程, 同时介绍了聚类分析、主成分分析、鉴别分析等各类统计方法在指标体系定量分析中的应用。

关键词: 电力市场; 指标体系; 定性分析; 定量分析

中图分类号: TM73; F123.9

0 引言

电力市场的评价指标体系是通过一系列指标的计算, 定量分析、评价电力市场的科学方法。它有助于市场参与者、市场运营者、市场监管者等相关各方了解市场的运行状况、存在的问题和变化趋势, 是进行市场分析、管理决策所必需的有力工具, 对电力市场的科学管理和健康发展具有重要作用。

国内外很多电力市场都选用指标作为监管、分析的重要手段, 也有很多文献研究了指标的含义和应用^[1,2]。但是关于指标体系的原理和构建方法, 即如何针对具体电力市场的特点和需要, 建立一套完整、适用的指标体系仍未得到深入研究。

本文基于对国内多家电力市场指标体系实际构建工作的经验总结, 旨在深入探究适用于电力市场的指标体系的基本原理和组成、一般的构建步骤、各步骤的基本问题和解决方法。

1 指标体系的建立步骤

1.1 指标体系的地位和意义

了解市场状况、找出存在问题、预测市场趋势, 是发电方、购电方、市场运营中心、监管部门等相关各方都十分关心的问题。市场分析人员面对市场规则、交易数据、电网参数、市场参与者背景等相关信息, 亟须一套科学的方法, 来帮助他们从海量信息中提取出所关心的问题的答案。

电力市场评价指标体系的作用就是满足各方“分析市场”这一共同需求而建立的, 它是以市场相关信息为分析基础, 综合运用经济学、投资学、电力系统分析、统计、决策、优化等理论及数据仓库、

OLAP 等计算机技术, 利用一系列指标来解决电力市场的定量分析问题的科学方法。

电力市场评价指标体系建立了从市场相关信息到市场分析需要之间的桥梁, 一般可实现市场监视、预警、评价 3 方面功能, 如图 1 所示。

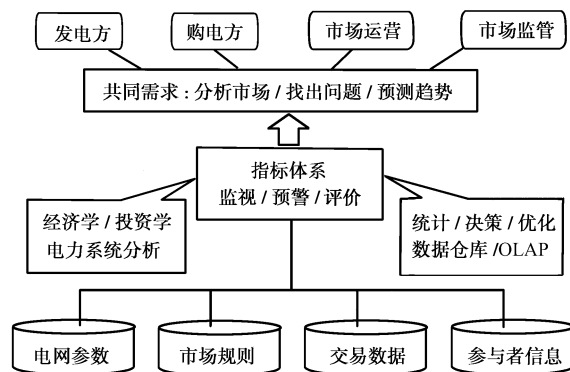


图 1 指标体系的地位和意义

Fig. 1 Status and functions of index system

1.2 指标体系的理论基础

指标体系是由若干有联系的单个指标构成, 理解指标的含义是理解指标体系的基础; 另一方面, 对指标体系的理解比对单个指标的理解更重要。

从认识论基础上讲, 由于电力市场运营状况这个概念本身具有多面性和层次性, 用多个指标同时描述, 才能比较全面地反映其整体特征和相关关系。

从数理基础上讲, 市场变化存在偶然性, 需要分析大量观测结果才能把握其内在规律; 单个指标受随机误差的影响大一些, 指标体系包含的有效指标个数越多, 结果就越可靠^[3]。

因此, 综合地讲, 指标体系评价相对单个指标评价, 在评价的全面性和可靠性上更具优势。

1.3 建立指标体系的步骤

电力市场评价指标体系的建立,一般可分为定性分析和定量分析 2 个阶段,如图 2 所示。

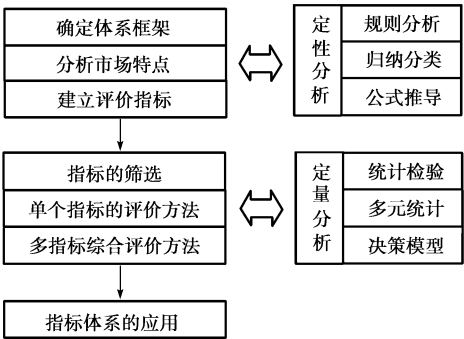


图 2 指标体系的建立步骤

Fig. 2 Flow chart for the construction of index system

1) 定性分析阶段:主要通过对市场特点和交易机理的理论分析,结合以往经验,利用综合、归纳和公式推导等方法来实现。

2) 定量分析阶段:综合运用统计学及数据挖掘技术,主要解决多指标综合评价的数学方法问题。

2 指标体系的定性分析

指标体系定性分析阶段的任务有 2 个:一是根据市场特点建立指标体系框架结构;二是在指标体系框架下建立所需指标。

2.1 确定指标体系的框架结构

2.1.1 指标体系框架结构的选择

指标体系在各行各业都有广泛的实际应用,这对电力市场的预警指标体系有着直接的借鉴意义。目前,指标体系的框架大致可分为以下几类^[4]:单一指标类型、综合核算体系类型、菜单式多指标类型、菜单式少指标类型等。

鉴于电力市场分析的研究对象大都受到市场供需、结构、市场行为、安全约束、外部市场等多方面的影响,而每一方面又可通过多个指标来衡量,因此,我们选用 2 层的菜单式少指标类型框架结构,如图 3 所示。

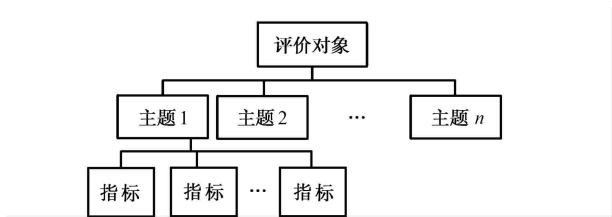


图 3 指标体系的框架结构

Fig. 3 Frame structure of index system

该指标体系的理论基础是层次评分法(AHP),在处理涉及经济、社会、人文等难以量化的影响因素方面有着其他系统方法无可比拟的优势。

在本文中,将该树型结构的根节点称为“评价对象”,下属的第 1 层次称为“评价主题”,每一主题下可以有多个“评价指标”。

2.1.2 指标体系框架的填充

指标体系框架的填充过程可归结为:根据实际需要确定评价对象,根据评价对象确定评价主题。

1) 评价对象的确立:市场相关各方所关心的问题不同,图 3 中“评价对象”即是将各方的实际分析需要进行归纳、提炼而得到的研究对象,如发电方竞标策略、市场运营状况等。

2) 评价主题的确定:评价主题应满足评价对象分析全面性的需要,可根据划分标准确定:按时间可分为竞价前、中、后,按影响因素可分为内部和外部,按市场主体可分为发、购方和市场本身。

表 1 列举了几种主要市场角色的任务和指标体系的基本框架。

表 1 几种主要市场角色的任务和指标体系的基本框架
Table 1 Task and basic framework of indices system for different market roles

评价对象	评价主题
发电方/购电方: 竞标策略评价 ^[5]	竞价前: 竞标地位评价
	竞价中: 竞标策略评价
	竞价后: 风险收益评价
市场运营者: 市场状况评价	竞价前: 市场结构评价
	市场供需评价
	竞价后: 市场竞争性评价 市场效率效益评价
市场监管者: 市场行为监视和 规则评价	主体 1: 发电方竞标行为监视评价
	主体 2: 购电方竞标行为监视评价
	主体 3: 市场竞争充分性评价
	市场条件合理性评价

2.2 市场特点分析

指标体系的目的是满足各方分析市场的需要,因此建立指标体系必须从市场实际情况、特点和需要出发。全面分析市场特点,应把握以下几个方面:

1) 市场规则特点:主要包括市场成员的权利义务、交易体系、市场的结算机制、市场参与者的报价方式和限制、市场信息披露的时间和内容等。

2) 调度运行特点:主要包括市场的安全校核、市场成交后年、月、日的调度权限及协调方法。

3) 电网结构特点:主要包括网架结构分布特点、安全区划分、联络线、网络损耗及安全约束等。

4) 市场参与者特点:主要包括发/购电方的容量、成本、地理分布、独立性、合作关系、债务等。

5) 区域经济特点:主要包括市场所在各地区经

济发展速度、用电需求特点、物价水平等。

例如,2004年试运行的某区域电力市场,与过去省级电力市场相比具有以下3个突出特点,根据这些特点应对表1中的基本框架做相应调整:

1)多种交易并存:该区域市场包括年、月、日、实时等多个集中竞价交易市场。因此,对市场整体运营状况分析时要考虑多市场整体效率和效益,而不能孤立地分析其中单个市场的情况。

2)市场跨越多个省份,安全约束使得地区间电力不能畅通输送,对报价和成交都有重要影响,因此应确立新的主题评价安全约束的影响程度。

3)竞价电厂增多,各发电集团十分重视下属电厂在区域市场中的整体竞价策略。因此,将发电方分为发电集团和电厂2级综合分析其竞标行为。

根据特点1和2,对评价该区域电力市场运营状况的指标体系框架进行修正,如表2所示。

表2 修正后的市场运营状况指标体系框架
Table 2 Improved frameworks for market performance

评价对象	评价主题
市场运营者: 市场状况评价	竞价前: 市场结构评价
	市场供需评价
	竞价后: 市场竞争性评价
	市场效率效益评价
	多市场综合评价
	市场安全约束的影响评价

根据特点3,可对该区域电力市场中评价发电方竞标策略的指标体系框架进行修正,如表3所示。

表3 修正后的发电方评价指标体系框架
Table 3 Improved frameworks for suppliers

评价对象	评价主题
发电方/购电方: 竞标策略评价 ^[5]	竞价前: 电厂竞标地位评价
	发电集团竞标地位评价
	竞价中: 电厂竞标策略评价
	发电集团竞标策略评价
	竞价后: 电厂风险收益评价
	发电集团风险收益评价

2.3 指标公式的建立

在指标体系各个评价主题下,可以建立所需的指标。目前,国内外很多电力市场已经建立了指标并有较好的应用效果^[1,2]。

定义指标公式时,建议参考下列原则:

1)全面性原则:要建立反映各影响因素的指标,不要遗漏;

2)实用性原则:指标力求简明,物理概念、经济意义清晰,公式简单易于理解;

3)可行性原则:指标计算所需的基本量,必须能够从市场交易支持系统或其他渠道获得。

按照上述原则建立指标适用于定性分析阶段,首先重视的是全面性原则,即效益原则;它没有考虑指标间信息重复问题,即效率原则。效率问题将在定量分析中利用统计检验方法解决。

3 指标体系的定量分析

定量分析阶段,负责解决指标体系建立过程中所涉及的数学问题,主要有以下3方面:指标的筛选、单个指标的评价方法、多指标综合评价方法。

3.1 指标的检验和筛选

指标检验的目的是利用统计学方法验证指标的有效性和实用性:一个理论上行得通的指标是否真正适用于电力市场评价,还需要应用实际数据和统计学的方法进行检验。

3.1.1 指标的检验和筛选标准

指标的选取标准有2方面:

1)相关性检验:指标应能有效地反映我们所关心的客观量,因此指标应与目标量相关。

2)可靠性检验:指标本身应具有统计可靠性,指标的统计分布特性稳定,便于测量和比较。

3.1.2 指标的相关性检验

相关系数检验:相关系数可以描述指标值与目标量间关系的密切程度。一般采用简单相关系数和偏相关分析相结合的方法。

1)二元相关系数检验

2个变量间的相关程度可由相关系数^[6]反映:

$$r = \frac{\text{cov}(\mathbf{X}, \mathbf{Y})}{\sqrt{D(\mathbf{X})D(\mathbf{Y})}}$$

式中: $\text{cov}(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ 是2个变量的协方差; $D(\mathbf{X})$ 和 $D(\mathbf{Y})$ 分别是 $\mathbf{X}$ 和 $\mathbf{Y}$ 的方差。

2)偏相关检验

实际中,2个变量间的相关性往往“掺杂”着其他变量的影响成分。偏相关分析^[6]可以排除处于同一系统中的其他因素的影响,研究2个变量间的“净相关性”。3个变量情况下,偏相关系数定义为:

$$r_{12,3} = \frac{r_{12} - r_{13}r_{23}}{\sqrt{(1-r_{13}^2)(1-r_{23}^2)}}$$

反映了排除变量3的影响后,变量1,2间的相关程度。

首先应观察相关系数的正负号,它反映了指标值与目标值是同向变化还是反向变化,它是否与理论上应有的变化趋势一致;其次观察相关系数的绝对值,它反映了相关性的强弱。

3.1.3 指标的可靠性检验

指标的可靠性检验(reliability analysis),与指标值是否正确无关,它的功能在于检验指标本身是

否具有统计稳定性和一致性。

1)Cronbach 的 α 系数法^[6]

目前最常用的可靠性指标是 Cronbach 的 α 系数:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma^2} \right)$$

式中: k 为统计样本数; $\sum \sigma_i^2$ 和 σ^2 分别表示各样本方差之和及总体方差。

α 系数取值为 0~1,越接近 1,其可信度越高。

2)变异系数^[6]

$$V = \frac{\sigma}{E}$$

式中: σ 为样本标准差; E 为期望值; V 为变异系数 (coefficient of variation)。

变异系数可以直观地反映指标取值的分布特性。我们所选取的指标,应当便于横向、纵向比较,因此指标值的统计分布,既不应太分散也不应太集中。

在指标的检验和筛选过程中,相关性检验是硬性标准,与评价目标相关性差的指标应当剔除;可靠性检验起辅助作用,可以通过对指标公式形式和参数的修改改进其分布特性。

3.1.4 应用实例

例如,对某电力市场连续 3 年交易数据进行分析,计算每天 20:00 时的几项指标^[2],并与该时刻的市场边际电价进行二元相关分析,结果如表 4 所示。

表 4 指标检验结果
Table 4 Checkout analysis of indices

统计 分析	持留 比率	高价 成功率	容量 供需比	申报 供需比	高价 时段比	集中度 指标 HHI
与 MCP 相 关系数	-0.099	0.519	-0.349	-0.693	0.471	-0.003
变异系数	1.03	0.28	0.31	0.09	0.45	0.004

表 4 中持留比率与市场边际价格相关系数绝对值很小,这似乎与持留比率理论上的重要意义不符,其原因在于持留比率对电价的影响还取决于市场供需情况:在市场供需一定时,持留比率越高,表明供应者采取限量提价策略,市场价格越高。

对持留比率与市场电价,以容量供需比为控制变量进行偏相关分析,得到相关系数为 0.621。这一结果说明,持留比率的实际统计特性与其理论特性相一致,可以认为是有效的指标。

HHI 与 MCP 相关系数为 -0.003,相关性不强;其变异系数很小,说明指标值分布集中,变化不大。这与 HHI 作为反映市场结构的指标有关:3 年

内市场中参与者个数、装机都没有很大变化,因此 HHI 相对变化不大。

综合看来,表中前 5 个指标与边际价格相关系数绝对值大、相关性强,系数正负号符合其变化趋势的理论分析结果,且变异系数大小适当,易于比较变化趋势,可以认为是有效指标;HHI 反映了市场相当长时期的静态特征,与 MCP 相关性差,且取值集中,不适合作为监测市场逐日变化的指标。

3.2 单个指标的评分方法

为了定量评价和比较电力市场的运营状况,需要确定指标的评分等级及相应的阈值标准。

等级一般可以分“安全、有风险、警告”等几级。可以通过主观法和数理方法 2 类方法来实现。

3.2.1 主观法

主观法确定指标等级和评分标准,是重要而实用的方法,尤其常用于选取值域中的关键点。首先,可从指标本身定义和经济概念出发,找出能使指标所反映的经济含义发生质变的特殊点。例如,对于供需比指标^[2],大于或小于 1,在经济概念上是供大于求与供不应求间的根本区别。再比如,RSI 指标^[1,2]也是以 1 为分水岭,反映一个供应者对市场是否不可缺少。其次,可参考该指标是否已有国际通用标准、行业平均水平等参考值。如 Top- m ^[2],一般取参数 $m=4$,指标大于 70% 则认为市场高度集中。

3.2.2 数理方法

主观法所找到的关键点,往往是概念发生由“好”到“差”的质变的“分水岭”。实际中,指标取值通常在“好”的一侧,数理方法是根据指标实际取值的分布特点,给出若干等级,评价指标接近“分水岭”的程度。

1)系统化方法:所谓系统化方法^[3],是首先找出指标的取值区间,再根据各种原则确定阈值、划分区间。这些原则主要有:多数原则、半数原则、均数原则等。也可每一种原则确定一个阈值,再将各种原则确定的阈值加以综合平均来确定。

2)区间估计法:区间估计^[3]一般假设指标处于各个预警状态区域的概率服从正态分布或 t 分布。根据指标处于不同区域的置信度,查表求出各区域的置信区间,以区间估计值作为各项指标的阈值。

3)聚类方法:聚类分析^[7] (cluster analysis) 是根据各事物本身性质,将性质相近的归为一类,性质差别较大的归为不同的类。常用的是聚类中的动态聚类法(K-means cluster)。

以上 3 种方法各有所长,适用于不同类型的指标,实际中应根据各指标实际取值的分布特性,选择

相应的方法。

表 5 显示了利用动态聚类方法对某电力市场连续 360 个现货交易日相同时段的边际价格和对应的申报供需比指标进行分类的结果。

表 5 申报供需比指标的聚类分析
Table 5 Cluster analysis of supply over demand

聚类结果	样本数	边际价格 中心值	指标中 心值/(%)	预警级别
类别 1	78	378	104.8	良好(80分)
类别 2	241	384	102.1	正常(60分)
类别 3	41	393	99.6	预警(30分)

由表 5 可知,对于 3 种类别,边际价格依次上升,可据此将 3 类分别命名为良好、正常和预警,并赋予相应的百分制分值。表中“指标中心值”即是申报供需比指标的评分标准。

3.2.3 指标评分

各指标的值域不同,因此市场分析人员记住每个指标的取值范围和变化趋势是很困难的事。指标评分,其实是建立起指标值域与我们所熟悉的百分制或五分制之间的一一映射。

例如,计算待测日申报供需比为 101,根据表 5,通过插值法可得待测日指标得分为:

$$S=60+(30-60)\times\frac{101-102.1}{99.6-102.1}=46.8$$

得分低于 60,应给予预警。

3.3 多指标综合评价方法

多指标综合评价方法,即如何运用多个指标反映一个问题,是指标体系的核心,也是统计学领域尚未完全解决的热门问题。其解决思路可归纳为以下 3 类:

1) 综合指标法:先将不同量纲的指标标准化,利用数理统计方法将它们提炼成一个综合指标,再按单个指标评分方法来评价综合指标。

2) 综合评分法:先为各单个指标打分,再设定各指标的权重,以指标各自得分的加权平均值作为最终分数。

3) 综合决策法:直接对多个指标进行多元统计分析,建立评价模型。

现分别介绍 3 种思路的解决办法。

3.3.1 综合指标法

指标并非越多越好,片面追求指标体系的全面性,选用的指标过多,一方面会使评价者难以理解、判断和比较,另一方面指标的重叠会夸大某一因素的影响程度,影响指标体系评价结果的准确性。目前统计学中消除指标间信息重叠的主要方法有:回归分析、主成分分析、因子分析、对应分析等。本文

所采用的是主成分分析和因子分析法。

1) 主成分分析法

主成分分析法^[7]是把多个彼此相关的指标化为少数独立的、新的综合指标(主成分)的方法。

每一主成分都用原始指标 $\mathbf{X}=(x_1,x_2,\cdots,x_n)^T$ 的线性组合 $\mathbf{F}=\mathbf{U}^T\mathbf{X}$ 来表示,同时各个主成分 f_i 互为正交向量($\mathbf{U}^T\mathbf{U}=\mathbf{I}$),从而从根本上解决了指标间的重叠问题,取其中包含原指标 $\mathbf{X}$ 绝大部分信息的前 $m(m<n)$ 个主成分代替原来的 n 个指标。

如表 6 所示,原有 6 个指标,经过正交变换后得到成分 $f_1\sim f_6$,按照各成分包含信息量排序后,前 2 个成分已经包含 6 个指标 83.98% 的信息,可以被选为主成分,代替原有的 6 个指标。

表 6 指标主成分分析结果
Table 6 Principal component analysis of indices

成分	包含信息量	累计包含信息总量 %
f_1	62.94	62.94
f_2	21.04	83.98
f_3	8.71	92.69
f_4	4.24	96.93
f_5	2.21	99.14
f_6	0.86	100.00

2) 因子分析法

对于多指标 $\mathbf{X}=(x_1,x_2,\cdots,x_n)$,影响所有指标的共同原因称为公共因子 $\mathbf{R}=(r_1,r_2,\cdots,r_n)$,每个指标也有特定的影响因子 $\mathbf{E}$,可以表示为 $\mathbf{X}=\mathbf{AR}+\mathbf{E}$ 。因子分析^[7]是用较少个数 $m(m<n)$ 个公共因子 r_i 来表达原有 n 个指标的方法。因子分析和主成分分析的基本思想是一致的,主成分和公共因子都是把指标 $\mathbf{X}$ 中相同类型的信息量抽取出来,经过线性加权得到的,其综合解释效力大于任何一个原始指标。因此,主因子 $\mathbf{R}$ 和主成分 $\mathbf{F}$ 比原始指标层次高、综合性强。

3.3.2 综合评分法

确定各指标在综合评价时所占的比重,是综合评分法必须解决的重要问题。

多指标评价的加权平均模型为:

$$\begin{cases} Z=\sum_{i=1}^nW_iP_i \\ \sum_{i=1}^nW_i=1 \quad W_i\geq 0 \end{cases}$$

式中: Z 表示被评价目标的综合分值; P_i 表示评价对象的第 i 个指标的得分; W_i 表示该指标权重。

指标得分 P_i 的确定在 3.2 节中已有介绍。本节所要解决的是 W_i 如何确定。这同样可通过主观和客观的方法来实现。

1) 主观赋权法: 主观赋权法认为权重的本质是各指标相对于评价目标的相对重要程度的量化值。由于这种相对重要程度是一种客观存在的模糊概念, 可以通过主观判断来获得。

2) 客观赋权法: 客观赋权法认为权重的大小取决于各评价指标与评价目标的离散程度的相对大小。可以用指标与研究目标的协方差作为计算权重系数的基础^[3]:

$$W_i = \frac{\text{cov}(I_i, Y)}{\sum_{i=1}^n \text{cov}(I_i, Y)}$$

式中: I_i 表示第 i 个指标的样本; Y 表示研究目标的样本。

3.3.3 综合决策法

1) 回归分析法

多元回归分析法^[7]在预测工作中有着广泛的应用, 其原理是: 根据历史数据, 计算出因变量 Y 与影响因素 X 之间的相关关系 $Y=f(X)$, 再代入实际的 X^* 求得预测值 Y^* 。

多指标评价时, 可以将反映市场影响因素的指标(如市场供需类指标)视为回归模型中的 X , 将反映评价对象的量视为 Y (如边际电价), 建立回归模型并计算出回归系数。

2) 判别分析法

判别分析^[7]是根据已知观测对象的分类以及若干观测变量值, 判断研究对象如何分类的方法。判别、分析、筛选出能提供较多信息的变量并建立判别函数, 一般为线性函数: $Y=a_1x_1+a_2x_2+\dots+a_nx_n$ 。

应用中, 可先人为对样本进行分类, 比如根据边际价格将历史日分为好中差 3 类; 利用历史数据建立各类影响因素的判别函数; 将待测日影响因素代入判别函数, 即可判断出待测日的市场类型。

4 指标体系的应用

如图 1 所示, 指标体系可以实现监视、预警、评价 3 大功能, 其应用方法如下。

4.1 监视功能的实现

监视功能是指: 指标体系应能提供若干监视量, 清晰、明确地反映研究对象的主要特征和变化趋势。

经过 3.1 节介绍的指标检验和筛选后, 可以选出能最有效地反映目标量变化的某一个指标作为监视量; 或是根据 3.3.1 节中的方法将若干相关指标综合成一个指标, 将综合指标作为监视量, 观测其动态变化的趋势。

4.2 预警功能的实现

预警功能是指: 指标体系应能给出监视量的变

化范围和警戒阈值。单指标预警可根据 3.2 节介绍的分级方法, 得到指标的分级和阈值标准, 对于指标值超过预警阈值的情况, 发出警告信号。多个指标预警可根据 3.3.3 节建立综合决策模型, 反映自变量的各指标值, 根据回归模型或判别函数的计算结果, 决定是否发出警告信号。预警功能的有效性可以通过统计一段时间的预警准确率来实现。

4.3 评价功能的实现

评价功能是指: 指标体系应能对客观事物的外在特征和内在关联给出定性和定量的评价结论。

第 2 节定性分析阶段中介绍的指标体系的框架结构, 就给出了分析实际问题所要考虑的各个方面及关联、隶属关系。指标的深入分析, 可以通过建立分析信息系统^[8], 利用 OLAP 技术, 从时间、报价时段、地区、发电公司等多个维度, 比较指标在不同时段、不同电厂的取值和评分值, 从而找出其中的潜在规律。

5 结语

本文所介绍的评价指标体系的原理和构建方法, 是对上海电力市场监管指标体系、华东市场购电方评价指标体系和东北市场评价指标体系的建立过程和应用实践进行总结、归纳所得到的, 希望能对电力市场分析方法的深入研究起到借鉴作用。

感谢华东电监局李瑞庆、东北电力调度交易中心武亚光、上海电力调度交易中心王伟等同志传授的市场运行经验和对本文工作的指导。

参考文献

- [1] GOLDMAN C, LESIEUTRE B C, BARTHOLOMEW E. A Review of Market Monitoring Activities at U. S. Independent System Operators. <http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1130&context=lbln>.
- [2] 刘敦楠, 李瑞庆, 陈雪青, 等. 电力市场监管指标及市场评价体系. 电力系统自动化, 2004, 28(9): 16—21.
LIU Dun-nan, LI Rui-qing, CHEN Xue-qing et al. Surveillance Indices and Evaluating System of Electricity Market. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(9): 16—21.
- [3] 王庆石. 统计指标导论. 见: 中国当代经济前沿科学文库. 大连: 东北财经大学出版社, 2001.
WANG Qing-shi. Introduction for Statistic Index. In: Scientific Library for China's Economic Foreland. Dalian: Dongbei University of Financial and Economics Press, 2001.
- [4] 王伟中. 地区可持续发展导论. 北京: 商务印书馆, 1999.
WANG Wei-zhong. Introduction for Territorial Continuable Development. Beijing: The Commercial Press, 1999.

(下转第 14 页 continued on page 14)

(上接第 7 页 continued from page 7)

- [5] 刘敦楠,陈雪青,何光宇,等. 电力市场供应者的竞标行为与对策. 电力系统自动化,2005,29(6):24—28.
LIU Dun-nan, CHEN Xue-qing, HE Guang-yu et al. Analysis and Countermeasure for Suppliers' Behaviors in Electricity Market. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(6): 24—28.
- [6] 周概容. 统计学原理. 天津:南开大学出版社,1999.
ZHOU Gai-rong. Statistics. Tianjin: Publishing Company of Nankai University, 1999.
- [7] 袁志发,周静芊. 多元统计分析. 北京:科学出版社,2002.
YUAN Zhi-fa, ZHOU Jing-yu. Multianalysis Statistics. Beijing: Science Press, 2002.
- [8] 李瑞庆,刘敦楠,陈雪青,等. 电力市场运营监管信息系统. 电力

系统自动化,2004,28(14):18—22.

LI Rui-qing, LIU Dun-nan, CHEN Xue-qing et al. Operating Monitoring and Evaluating System of Electricity Market. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(14): 18—22.

刘敦楠 (1979—),男,博士研究生,研究方向为电力市场监管。E-mail: liudunnnan@tsinghua.org.cn

陈雪青 (1936—),女,教授,研究方向为电力系统经济调度及电力市场。E-mail: Xqchen@tsinghua.edu.cn

何光宇 (1972—),男,博士,讲师,研究方向为电力市场。E-mail: gyhe@tsinghua.edu.cn

General Principle and Constitution Process of Evaluating Indices System for Electricity Market

LIU Dun-nan, CHEN Xue-qing, HE Guang-yu, ZHOU Shuang-xi
(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The evaluating indices system for electricity market is a quantitative analysis method of significant meaning for the electricity market. It is a necessary mathematical tool that can help the market participants, operators and supervisors make decisions. Although the indices system varies according to the specific market, we can find a general principle and process for the construction of the system. Examples of the indices system for power generators, purchasers, market operators and supervisors are presented in the paper to illustrate the qualitative analysis process, and the applications of many multianalysis models, such as cluster analysis, factor analysis, discriminant analysis etc. are introduced to explain the quantitative analysis process.

Key words: electricity market; indices system; qualitative analysis; quantitative analysis