

考虑节能减排的优化发电权交易机制研究

陈志刚, 柳瑞禹, 陈 岸

(武汉大学 经济与管理学院, 武汉 430072)

摘 要: 本文以节能减排为目的, 设计了优化的发电权交易机制: 购买发电权采用不完全竞价方式, 出售发电权采用统一出售价方式, 企业可以同时提出购买和出售发电权请求, 由交易中心通过合理的决策, 使节能减排效果最优。根据所设计的发电权交易机制, 构建出决策模型。通过成本收益分析, 引入补贴和分享系数, 分析了发电企业的报价行为, 建立了高效的模型求解算法。

关键词: 节能减排; 电力市场; 发电权交易; 不完全竞价; 统一出售价; 成本收益分析

中图分类号: T M 73; F123.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2010)06-0035-05

我国经济快速增长的同时, 也付出了巨大的资源和环境代价。经济发展与资源环境之间的矛盾日趋尖锐, 节能减排成为一项基本国策。电力工业是能源消耗大和污染物排放多的行业, 十一五规划中电力工业是节能减排的重点领域。根据市场经济发达国家的节能减排经验, 市场机制可以有效地促进节能减排。欧美国家实行节能减排政策的立足点均是充分利用市场机制促进节能减排。同时节能减排取得的重大进展, 也与实施市场机制是密不可分的。在我国电力工业, 政府占主导地位, 计划和市场并存, 没有具备一定经济规模的市场竞争主体, 因此发电权交易成为促进节能减排的主要市场行为。在江苏、陕西等地的实践都证明, 发电权交易可以有效地节能减排^[1-2], 并且国家电监会提出要进一步提高发电权交易的数量^[3]。

发电权是指发电公司在合同市场或目前市场中竞争得到或通过计划获得的发电许可份额^[4]。四川省最早在 1999 年推出“水火置换”的发电权交易, 主要目的是为了充分利用水力资源。文献[4]明确提出了发电权交易的概念, 目标函数是使总效用最大。文献[5]提出新的目标函数, 综合地考虑能耗和效用的加权最优。文献[6]提出了 10 种类型的目标函数, 并分析其特点。其他一些学者, 考虑特殊约束条件下的发电权交易, 如水火电置换、阻塞调度、博弈行为等^[7-9]。

现有的发电权交易模型中, 大都是通过发电权最高购买价和最低出售价之间两两撮合, 使得参与交易的发电企业新增总效用最大。然而, 参加交易

的发电企业已经通过报价(包括出售和购买发电权的价格)实现了自己的效用, 新增的效用是超过发电企业预期的额外效用。目前, 在我国, 实行发电权交易的主要目的是实现节能减排, “上大压小”和顺利关停小火电企业。因此如果能够设计合理的发电权交易机制, 利用新增的效用进一步促进节能减排, 将能创造出更大的社会效益。其次, 现有的发电权交易都假定发电企业预先确定自己是购买还是出售发电权, 限制了发电企业交易范围, 并可能出现总购买发电权量和出售发电权量相差较大的情况。

在公平和保证发电企业利益的前提下, 本文构建合理的优化发电权交易机制, 促进节能减排的进行。进一步将发电企业同时视为潜在的购买和出售发电权的对象, 允许发电企业同时有购买和出售发电权的选择。在上述假设条件下, 建立模型。通过成本和价格分析说明发电权交易中发电企业的报价行为, 建立高效的求解算法。

1 发电权交易机制分析

1.1 目标函数的确定

我国目前以火力发电为主, 发电权交易的主要目标是让环保、节能的大火电企业作为发电权受让方, 替代高能耗、高污染和高排放的小火电企业完成年度发电计划任务。煤耗的大小与能耗成正比, 且与污染物排量正相关。因此, 选用煤耗作为目标函数, 即通过发电权交易, 使参与交易的发电企业总煤耗最小。

1.2 交易机制的确定

收稿日期: 2010-03-11

作者简介: 陈志刚(1977—), 男, 湖北武汉人, 武汉大学经济与管理学院讲师, 研究方向: 优化与决策理论; 柳瑞禹(1955—), 男, 辽宁大连人, 武汉大学经济与管理学院教授, 博士生导师, 研究方向: 项目管理、技术经济; 陈岸(1988—), 女, 湖北黄冈人, 武汉大学经济与管理学院硕士研究生, 研究方向: 项目管理、技术经济。

以往的发电权交易均是通过两两撮合进行。例如: 根据一定的目标函数约束条件, 让发电权购买价 P_B 的发电企业(一般选择当前可选发电企业中购买发电权报价最高的)和发电权出售价 P_S 的发电企业进行交易(一般选择当前可选发电企业中出售发电权报价最低的), 发电权交易的结果为 $P_C, P_S \geq P_C \geq P_B$, P_C 的大小取决于双方的谈判能力, 通常 $P_C = \frac{P_B + P_S}{2}$ 。发电权购买价为 P_B 的发电企业, 以其报价 P_B 购买发电权时, 该发电企业的利益已经得到保障。购买发电权的发电企业, 比其报价多获得 $(P_B - P_C)Q$ 的效用, 其中 Q 为交易电量。同理, 出售发电权的发电企业, 比其报价多获得 $(P_C - P_S)Q$ 的效用, 两发电企业比其预期共多获得 $(P_B - P_S)Q$ 的额外效用。大多数的发电权交易目标函数是总效用最大化, 即使参加发电权交易的企业获得总额外效用最大。但如果能够设计合理的机制将 $(P_B - P_S)Q$ 的效用分配给其他发电企业, 将使得原先一些高能耗高污染的发电权出让企业, 开始找不到受让报价低于其报价的高效节能环保企业, 在接受效用补贴后, 这些高能耗高污染的企业也可以进行发电权交易, 从而促进节能减排的进行。虽然参与发电权交易企业获得的总额外效用减少, 但从国家角度, 社会总效用进一步增加。

只要发电权交易按照两两撮合模式进行, 就必然存在 $(P_B - P_S)Q$ 的额外效用, 为了尽可能地利用额外效用促进节能减排, 必须改变两两撮合的交易模式。将所有参与发电权交易的发电企业分为购买和出售发电权两类。将发电权交易过程视为同时进行的两个交易过程: 购买发电权的发电企业同时向交易中心购买发电权; 出售发电权的发电企业同时向交易中心出售发电权。交易中心根据一定的规则决策后, 统一发布两个交易过程的全部交易结果。

1) 发电权购买过程。

购买发电权的发电企业, 同时向交易中心购买发电权。为了更好地促进发电权交易的进行, 发电权购买过程采用不完全竞价的方式。交易中心按照电力企业购买发电权的报价出售发电权。相同条件下, 出价高的企业, 优先获得发电权。鼓励想获得发电权的企业报出高价。交易中心也可以多获得金额, 去“购买”发电权, 促进发电权的交易。

各发电企业的煤耗是不同的, 购买发电权, 需要经过发电环节才能实现利润。因此按照报价的高低竞争购买发电权是一种合理竞争, 促进了发电权的交易。

2) 发电权的出售过程。

出售发电权的企业没有经过生产环节, 只是发电权利转移。因此, 如果按报价出售发电权, 对于报价较低的企业是不公平行为。而发电权出售价格为统一价, 则保证了公平性。当发电权出售价格都相同时, 可以合理地将煤耗率作为发电权出售的主要参考指标。其次如果按照不完全竞价方式, 发电企业间的博弈变得非常复杂。煤耗率高的企业出售发电权时, 报价是参照其他企业发电权报价, 且尽量报出高价。相反, 使用统一出售价格时, 减少了博弈的复杂性。发电企业尽可能地报出自己真实的低价, 以争取到出售发电权的机会, 促进了发电权交易的进行。

2 模型的建立

根据以上的分析, 建立如下的模型。假设市场中存在 n 个发电企业, 按煤耗率从小到大排列为 $1, 2, \dots, n$ 。每个发电企业 i 分别向交易中心报出自己的: 购买发电权的报价 P_i^+ , 购买最大数量 $Q_{i+}^{\max}$; 出售发电权的报价 P_i^- , 出售最大数量 $Q_{i-}^{\max}$; 煤耗率 b_i 。若不愿意购买发电权, 可以令 $P_i^+ = 0, Q_{i+}^{\max} = 0$ 。若不愿意出售发电权, 可以令 $P_i^- = \infty, Q_{i-}^{\max} = 0$ 。记发电权交易后, 所有的增加或保持发电量不变的企业组成集合 $\{G^+\}$, 增加的发电量为 $Q_i^+ \geq 0$ 。所有减少发电量的企业组成集合为 $\{G^-\}$, 减少的发电量为 $Q_j^- > 0$ 。其中 Q_i^+, Q_j^- 为决策变量。发电中心的目标函数是使交易后总煤耗最小, 则有

$$\min B = \sum_{i \in \{G^+\}} b_i Q_i^+ - \sum_{j \in \{G^-\}} b_j Q_j^- \quad (1)$$

约束条件如下:

①电量平衡的原则。

发电权交易前后, 总发电量保持不变, 即有

$$\sum_{i \in \{G^+\}} Q_i^+ = \sum_{j \in \{G^-\}} Q_j^- \quad (2)$$

②发电企业利益约束。

交易中心出售发电权的总收入为

$$C_{\text{收入}} = \sum_{i \in \{G^+\}} P_i^+ Q_i^+ \quad (3)$$

记 P^* 为 $\{G^-\}$ 中所有发电企业出售发电权报价的最大值。则交易中心购买发电权的总支出为

$$C_{\text{收入}} = \sum_{j \in \{G^-\}} P^* Q_j^- \quad (4)$$

交易中心的总管理成本为 $C_{\text{交}}$, 总收入应该大于总支出和总管理成本之和, 即有

$$\sum_{i \in \{G^+\}} P_i^+ Q_i^+ \geq \sum_{j \in \{G^-\}} P^* Q_j^- + C_{\text{交}} \quad (5)$$

③发电权限额约束。

对于所有的企业均有

$$Q_i^+ \leq Q_{i+}^{\max}, i \in \{G^+\}; \quad (6)$$

$$Q_i^- \leq Q_{i-}^{\max}, i \in \{G^-\}. \quad (7)$$

④变量非负, 即

$$Q_i^- \geq 0; \quad (8)$$

$$Q_i^- > 0. \quad (9)$$

3 成本收益分析

发电权交易中, 价格是由各企业自行报出。然而价格是配置发电权资源、调节发电企业利益的重要杠杆, 直接决定发电权交易能否顺利、有效地进行。合理的报价机制必须与企业的固定成本、可变成本和各发电企业参与发电权交易的意愿结合起来。不合理的报价会阻碍发电权交易的进行, 降低节能减排的效果。因此首先通过对发电企业的成本分析, 提出补贴和分享系数, 确定企业报价的合理范围。进一步利用发电权报价和煤耗率之间的联系, 简化模型的计算。

发电企业 i 生产 Q 单位电量的总成本为:

$$C_i^{\text{总}} = C_i^{\text{固}} + C_i^{\text{变}} Q. \quad (10)$$

其中 $C_i^{\text{固}}$ 为发电企业 i 的固定成本, $C_i^{\text{变}}$ 为生产单位电量的可变成本。令 $c_i = C_i^{\text{变}}/b_i$, 则式(10) 转变为:

$$C_i^{\text{总}} = C_i^{\text{固}} + c_i b_i Q. \quad (11)$$

当发电企业 i 参与发电权交易后, 发电量变化为 ΔQ , 利润变化为(其中 J 为上网电价):

$$R_i^{\text{变}} = \Delta Q(J - c_i b_i). \quad (12)$$

增加发电量的企业随着发电量增加, 利润也相应增加。因此愿意拿出一定比例的利润购买发电权, 记该比例系数为分享系数 θ 。企业愿意分享的利润为 $\theta R_i^{\text{变}}$, 购买发电权的价格为 P_i^+ , 购买的数量为 Q_i^+ 。所以有

$$\theta R_i^{\text{变}} = Q_i^+ P_i^+. \quad (13)$$

由式(12)和式(13)可得:

$$P_i^+ = \theta(J - c_i b_i). \quad (14)$$

增加发电量的企业通常不可能拿出比全部增加利润还多的金额购买发电权, 即分享系数 θ 的值不会超过 1, $0 \leq \theta \leq 1$ 。

减少发电量的企业, 随着发电量减少, 利润相应地降低, 必须得到一定补偿, 才愿意减少发电量。记补贴系数 θ 为得到的补偿金额与损失利润的比例。同理有:

$$\theta R_i^{\text{变}} = Q_i^- P_i^-. \quad (15)$$

即有:

$$P_i^- = \theta(J - c_i b_i). \quad (16)$$

这里只计算了显性成本(损失的利润)。伴随着发电权的减少, 也会有市场份额损失, 后停成本增加

等隐性成本。因此补贴系数至少应大于 1, $\theta \geq 1$ 。对比式(14)和式(16)及 $0 \leq \theta \leq 1$, $\theta \geq 1$ 可得以下引理。

引理 1: 对于发电企业 i , 购买发电权报价 P_i^+ 小于或等于出售发电权的报价 P_i^- 。

由引理 1 可知, 发电企业 i 不可能通过同时买和卖发电权来盈利, 即发电企业不可能同时在 $\{G^+\}$ 和 $\{G^-\}$ 中出现。发电企业 i 在发电权交易中的最优选择, 必定是以下 3 种情况之一: 只购买发电权、只出售发电权和不参与交易。

接着我们分析两个不同发电企业 i, j , 满足 $b_i < b_j$ 。比较低煤耗率的 i 企业出售发电权价格 P_i^- 和高煤耗率的 j 企业购买发电权的价格 P_j^+ 。则分别可得:

$$P_i^- = \theta(J - c_i b_i); \quad (17)$$

$$P_j^+ = \theta(J - c_j b_j). \quad (18)$$

由于 $b_i < b_j$, 发电企业 i 是低煤耗率、技术较先进的企业, 且煤耗成本占总可变成本的 70% 左右, 因此可以认为, 发电企业 i 的生产单位电量的可变成本较小, 即 $c_i b_i < c_j b_j$ 。又 $\theta \geq 1$, $0 \leq \theta \leq 1$ 。由式(17)和式(18)可得:

$$P_i^- > P_j^+. \quad (19)$$

进一步由式(19), 可以得到引理 2。

引理 2: 发电权交易结束后, 最优解中不存在两个发电企业 i, j , 满足 $b_i < b_j$ 。发电企业 i 减少发电 $Q_i^- > 0$, 企业 j 增加发电 $Q_j^+ > 0$ 。

采用反证法, 若引理 2 不成立, 则假设最优解时存两个发电企业 i, j , 满足 $b_i < b_j$ 。发电企业 i 减少发电量为 $Q_i^- > 0$, 发电企业 j 增加发电量为 $Q_j^+ > 0$ 。现在令两个发电企业 i, j 的发电权变化量都减少 1 单位(这里 1 单位代表最微小的发电量单位)。即发电企业 i 减少 $Q_i^- - 1 > 0$ 发电权, 发电企业 j 增加 $Q_j^+ - 1 > 0$ 发电权。由式(19)知, 交易中心的总收入增加了 $P_i^- - P_j^+ > 0$, 而总煤耗减少了 $b_j - b_i > 0$, 同时也满足所有的约束条件 ①~ ④, 即原来的解不为最优解, 假设不成立。引理 2 得证。

由引理 2 知, 进行发电权交易时, 不存在使总煤耗增加的发电权交易。进行发电权交易必然会减少总煤耗。

4 求解算法

第 2 节建立的模型是一个较复杂模型, 每一个发电企业都有增加发电和减少发电两种选择。 n 个发电企业就有 2^n 种选择, 选择数量随着 n 的增加迅速增加。确定增加发电和减少发电企业的集合后, 第 2 节建立的模型是线性规划模型。当 $n = 20$ 时,

相当于求解1百万次20个变量的线性规划,计算量非常巨大。因此必须设计合理的高效求解算法。

1) 发电企业分类确定。

为了确定发电企业是增加或减少发电,在引理2的基础上,进一步推导引理3。

引理3:当模型取最优解时,必定存在一个煤耗率值 b ,对于出售发电权的企业($Q_i^- > 0$)必定有 $b_i > b$;对于增加发电量的企业($Q_i^+ > 0$,此时不包括维持发电量不变的企业)必定有 $b_i < b$ 。

证明:采用反证法,假设引理3不成立,则必定存在两个企业 G_i 和 G_j , G_i 减少发电量($Q_i^- > 0$), G_j 增加发电量($Q_j^+ > 0$),而煤耗率 $b_i < b_j$ 。这与引理2矛盾。得证。

因此, n 个发电企业(按煤耗率值从小到大排列)最优发电权交易结果只可能是以下 $n-1$ 种情况中的一种。前1个发电企业增加发电权,后 $n-1$ 个发电企业减少发电权或维持发电权不变;前2个,后 $n-2$ 个;依次类推,直到最后,前 $n-1$ 个发电企业增加发电权,后1个发电企业减少发电权或维持发电权不变。

2) 出售发电权价格的确定。

当确定了发电企业增加和减少发电权大致分类后,对于发电权购买企业,购买数量为零,并不影响发电企业利益约束,见约束条件②。而对于出售发电权企业,需要进一步区分减少发电权或维持发电权不变。维持发电权不变的发电企业 $Q_i^- = 0$,意味着形成统一发电权出售价格时不需要考虑该企业的出售报价。

为了提高算法的效率,不采用枚举法列举所有减少发电权或维持发电权不变的情况,而是通过对发电企业出售发电权的报价进行分类。

确定前 i 个发电企业可能购买发电权,记为 $\{\bar{G}^+\}$,后 $n-i$ 个发电企业可能出售发电权,记为 $\{\bar{G}^-\}$ 。首先我们只考虑,求解的最优结果满足 $Q_{i+1}^- > 0$ 的情况。若求解最优结果为 $Q_{i+1}^- = 0$ 时,可以视为是前 $i+1$ 个发电企业可能购买发电权,后 $n-i-1$ 个企业可能出售发电权的情况。

当 $Q_{i+1}^- > 0$ 时,最后形成发电权出售价格一定大于或等于 P_{i+1}^* 。因此,对于电力企业 $i+1, i+2, \dots, n$,枚举所有发电权出售报价大于或等于 P_{i+1}^* 的价格集合,记为 $\{\bar{P}_v\}$ 。

3) 最优发电权交易求解。

对于发电权出售报价集合 $\{\bar{P}_v, v = 1, 2, \dots, u\}$ 中的每一个价格 P^* ,进行求解。给定 P^* 时,对于电力企业 $m, m = i+1, i+2, \dots, n$,凡是报价高于 P^* 的企业,均令其减少发电权值 $Q_m^- = 0$,并将其从

减小发电权的企业 $\{\bar{G}^-\}$ 中划去,得到新的集合 $\{\bar{G}\}$,此时形成发电权统一出售价格为 P^* ,模型转变为:

$$\min B = \sum_{i \in \{\bar{G}^+\}} b_i Q_i^+ - \sum_{j \in \{\bar{G}\}} b_j Q_j^-.$$

其约束条件为:

$$\begin{cases} \sum_{i \in \{\bar{G}^+\}} Q_i^+ = \sum_{j \in \{\bar{G}\}} Q_j^-; \\ \sum_{i \in \{\bar{G}^+\}} P_i^* Q_i^+ \geq \sum_{j \in \{\bar{G}\}} P^* Q_j^- + C_{交}; \\ Q_i^+ \geq 0; \\ Q_j^- \geq 0; \\ Q_i^+ \leq Q_i^{\max}, i \in \{\bar{G}^+\}; \\ Q_j^- \leq Q_j^{\max}, i \in \{\bar{G}\}. \end{cases}$$

此时 $\{\bar{G}^+\}$ 、 $\{\bar{G}\}$ 和 P^* 已给定,转换模型是一个线性规划模型,有成熟的方法可以求解。求解时有可能出现某一发电企业 $Q_k^- = 0, k \in \{\bar{G}\}$ 的可能,但并不影响全局最优解满足约束条件①~④。

综上得到如下求解算法:

- ①对于所有的 $i = 1, \dots, n-1$,分别执行②~⑥。
- ②记增加发电权企业集合为 $\{\bar{G}^+\} = \{G_1, G_2, \dots, G_i\}$,减少发电权企业集合为 $\{\bar{G}^-\} = \{G_{i+1}, G_{i+2}, \dots, G_n\}$,对于 $\{\bar{G}^-\}$ 中所有发电权出售报价大于或等于 P_{i+1}^* 的发电企业,将其价格记录下来,构成一个报价集合 $\{\bar{P}_v, v = 1, 2, \dots, u\}$ 。
- ③对于每一个出售价格, $P^* = \bar{P}_v, v = 1, 2, \dots, u$,执行④~⑤。
- ④对于 $\{\bar{G}^-\}$ 中的发电企业,凡是发电权出售报价高于 P^* ,令其减少发电权为零,并从 $\{\bar{G}^-\}$ 中化去。最后得到发电企业集合 $\{\bar{G}\}$ 。
- ⑤计算转换模型,得到总煤耗值的最优解 $B_{i,v}$ 。
- ⑥比较所有的 $v = 1, 2, \dots, u$ 中,最小的总煤耗值为 B_i 。
- ⑦比较 $B_i (i = 1, \dots, n-1)$ 。其中最小的 B^* 为模型的最优解,记对应的 i^* 为分界线,对应的 $Q_i^+, i = 1, \dots, i^*$ 和 $Q_i^-, i = i^* + 1, \dots, n$ 为最优交易结果。

通常各发电企业的煤耗率不相同。如果出现连续 y 个发电企业的煤耗率相同时,即 $b_x = b_{x+1} = \dots = b_{x+y}$ (一般 y 很小),此时仍然可以运用求解算法求解最优解,若分界线 $i^* \in [x, x+y]$ 时,求得的结果即为最优解。若分界线 $i^* \in [x, x+y]$,则枚举所有 y 个发电企业可能增加或减少发电权的可能性,共 2^y 种。在每种情况下,分别运用算法求解。其中最小的一个解即为最优解。

5 结论

本文提出考虑节能减排的优化发电权交易机制。主要贡献有:

1) 改变过去两两撮合的交易机制, 变为向交易中心统一购买发电权和出售发电权。购买发电权采用不完全竞价方式, 出售发电权采用统一出售价方式, 充分地利用发电权交易实现节能减排; 2) 传统发电权交易模型中, 发电企业购买或出售发电权是预先确定的。而本文中, 允许发电企业同时有购买和出售发电权的选择, 扩大了发电权交易选择范围, 使发电权交易的结果更优。3) 进行成本收益分析, 引入补贴和分享系数, 分析发电企业的报价行为。在分析的基础上, 设计高效的模型求解算法。4) 虽然模型是针对火电企业, 目标函数是总煤耗最小。然而模型可以方便地进行扩展, 如考虑水电站时, 可以参考火电企业通过换算得出“煤耗值”。目标函数也可以根据需要换成总能耗最小, 总可变成本最小等等。5) 进一步研究可以考虑网损、阻塞等约束条件

下的优化发电权交易机制。

参考文献

[1] 国家电力监管会市场监管部调研组. 降耗、减排、增效在交易中实现[J]. 中国电力, 2007, 21(3): 32-34.
[2] 白建华, 张凤营, 郑海峰, 等. 发电调度: 电力降耗突破口[J]. 中国电力企业管理, 2007, 25(3): 22-23.
[3] 国家电力监管委员会华东监管局福州监管办公室. 推进发电权交易正当其时[EB/OL]. [2008-06-01]. <http://fzb.serc.gov.cn/Web/NewsdetailInfo.aspx?NewsId=1558>.
[4] 黎灿兵, 康重庆, 夏清, 等. 发电权交易及其机理分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(6): 13-18.
[5] 郑欣, 蒋传文, 李磊, 等. 基于能耗和效益最优的发电权节能降耗分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(24): 39-42.
[6] 尚金成, 何洋. 基于节能减排的发电权交易理论及应用[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(12): 46-52.
[7] 王雁凌, 张粒子, 杨以涵. 基于水火置换的发电权调节市场[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(5): 131-136.
[8] 肖健, 文福拴. 发电权交易的阻塞调度[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(18): 24-29.
[9] 莫莉, 周建中, 李清清, 等. 基于委托代理模型的发电权交易模式[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(2): 30-34.

Study on Optimal Generation Right Exchange Mechanism Based on Energy Saving and Emission Reduction

Chen Zhigang, Liu Ruiyu, Chen An

(School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: For the purpose of energy saving and emission reduction, this paper develops an optimal energy saving and emission reduction mechanism. The generation right is bought in the way of incomplete bidding, whereas it is sold in the way of same bidding price. The enterprises can simultaneously put forward the request of buying and selling generation rights. The exchange center makes the optimal decision to maximize the effect of energy saving and emission reduction. Based on the designed mechanism, the corresponding model is built. This paper analyzes the bidding behavior of the generating enterprises through cost and income analysis. An effective algorithm is developed to solve the model.

Key words: energy saving and emission reduction; electricity market; generation right transaction; incomplete bidding price; same bidding price; cost and profit analysis

(上接第 24 页)

[20] 钟伟金, 李佳. 共词分析法研究(一)——共词分析的过程与方式[J]. 情报杂志, 2008(8): 70-72.
[21] 马费成, 宋恩梅, 张勤. IRM-KM 范式与情报学发展研究[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2008.

Method for Combination of Qualitative and Quantitative Co-word Analysis

Zhang Qin¹, Xu Xusong²

(1. Business School, Beijing Wuzi University, Beijing 101149, China;

2. School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The methodology of complex scientific management is the combination of qualitative and quantitative Co-word analysis, a research method of integrating quantitative analysis and qualitative analysis, is one of the cardinal methods that complex scientific management advocate for researching. This paper firstly elaborates the basic principles, developing history and major application fields of the co-word analysis, summarizing the 4 major steps for its application. On the basis of that, the paper takes the foreign intellectual management research as an example, applying of co-word analysis method, and discovers that there are 9 knowledge structures, 3 theories and 2 research dimensions on foreign intellectual management research, which reveals the bi-paradigms formula exists on intellectual management. Finally, it points out the developing perspective of co-word analysis in complex scientific management.

Key words: complex scientific management; co-word analysis; knowledge management; knowledge structure