

节能减排调度环境下燃煤电厂发电成本分析

谢瑛¹, 谭忠富², 程晋¹, 胡庆辉², 王舒祥²

(1. 大唐华银金竹山发电分公司, 湖南省冷水江市 417503;

2. 华北电力大学 经济与管理学院, 北京市昌平区 102206)

Generation Cost Analysis of Coal-Fired Power Plant in Environment of Energy Saving and Emission Reduction Dispatching

XIE Ying¹, TAN Zhongfu², CHENG Jin¹, HU Qinghui², WANG Shuxiang²

(1. Datang Huayin Jinzhushan Thermal Power Plant, Lengshuijiang 417503, Hunan Province, China;

2. School of Economics and Management, North China Electric Power University, Changping District, Beijing 102206, China)

ABSTRACT: Energy saving and emission reduction make new requests for power generation enterprises. Coal-fired power generation enterprises must report their own energy consumption and pollutant emission to trading center, meanwhile the energy consumption cost, environmental cost and other cost of these enterprises should be analyzed and on this basis their electricity prices to be reported are decided. By means of analyzing dynamic cost of coal-fired power plant, the constitution elements of generating cost are determined and the analysis model and calculation model of cost elements are built. Through the calculation of actual cases, the relation between generating cost and unit loads, which is available for the reference of coal-fired power plants to control generating cost, coal consumption and pollutant emission, is obtained.

KEY WORDS: coal consumption; energy saving and emission reduction dispatching; coal-fired power plant; cost analysis; environmental cost

摘要: 未来节能减排调度环境对发电企业提出了新的要求。燃煤发电企业需向交易中心申报自己的能源消耗和污染排放, 同时, 还要分析其能耗成本、环境成本以及其他成本, 据此确定其应该申报的发电价格。通过对燃煤电厂的动态成本分析, 确定了发电成本的组成要素, 建立了成本要素的分析和计算模型。通过实例计算, 得出了发电成本与机组负荷之间的关系, 这可以为燃煤电厂控制发电成本、煤耗、污染排放提供参考。

关键词: 煤耗; 节能减排调度; 燃煤电厂; 成本分析; 环境成本

基金项目: 国家自然科学基金项目(71071053)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (71071053).

0 引言

火力发电厂的成本分析对于逐步走向商业化运营的发电企业日益重要。2007 年, 我国的节能调度试点运行, 标志着我国的节能调度工作拉开序幕。节能发电调度从降低能耗的角度安排发电调度, 必将对发电企业产生重要影响。节能发电调度是指在保障电力可靠供应的前提下, 按照节能、经济的原则, 优先调度可再生发电资源, 按机组能耗和污染物排放水平由低到高排序, 依次调用化石类发电资源, 最大限度地减少能源、资源消耗和污染物排放^[1-3]。随着竞价上网、节能减排调度的提出和实施, 燃煤电厂煤耗和环境污染排放问题也逐渐突出, 成本分析越来越重要。对于燃煤发电企业而言, 应该提前做好这些方面的准备工作, 包括准确掌握发电煤耗成本、环境污染排放成本、发电成本等, 以便适应未来的发电交易环境。通过动态成本分析, 得到不同工况下的发电变动成本水平、供电煤耗率、厂用电率、热效率等实时信息, 可以有利于通过实时控制发电成本, 提高利润空间^[4-8]。

火力燃煤发电企业的成本分析主要从发电企业的成本结构出发, 包括变动成本和固定成本 2 个部分^[9], 见图 1。

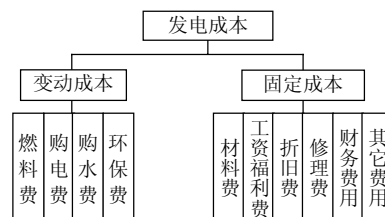


图 1 发电成本结构

Fig. 1 Configuration of the generation cost

1 发电成本分解计算模型

1.1 固定成本分解计算模型

1.1.1 容量成本

对于单个燃煤电厂，需要确定各发电机组的容量成本。具体步骤如下：

1) 将发电机组在建设期逐年的投资折算到投产年。折算后总投资 I 的表达式为

$$I = I_1(1+i)^n + I_2(1+i)^{n-1} + \dots + I_{n-1}(1+i)^2 + I_n(1+i) \quad (1)$$

式中：设每年的投资发生于年初， I_1 、 I_2 、 \dots 、 I_{n-1} 、 I_n 为建设期逐年的投资流； i 为统一的社会贴现率加通货膨胀率； n 为建设年限。

2) 计算总投资的年金，其表达式为

$$A_n = I \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \quad (2)$$

式中 t 为发电机组的经济寿命，火电机组为 25 a。

3) 将计算出的年金折算为目标年的年金。其表达式为

$$A = A_n + (1+i)^j \quad (3)$$

式中 j 为从投产到目标年之间的间隔年数。

4) 日容量成本，其表达式为

$$\text{日容量成本} = A/365 \quad (4)$$

5) 将日容量成本在 24 h 进行分摊。分摊原则是在机组的运行小时内回收应回收的容量成本。由于担任基本负荷的机组和调峰机组的运行小时数不一样，因此，得出的每小时容量成本也不一样，这有利于调峰机组的运营和投资^[10]。

1.1.2 材料费

在动态成本计算中，为使材料费用能够动态反映不同时期的变化情况，并消除由于材料领用和实际消耗之间时间差造成的费用发生的不均衡性，可以采用统计供应部门的出库记录，并对每天的材料费用发生额进行移动平均计算，计算时根据具体情况来取不同的计算周期。

1.1.3 工资费用

在动态成本计算中，将工资费用看作是均衡发生的费用流，因此，将每月的发生额按相应的单位时间(d 或 h)平均分摊，得出日工资费用和时工资费用。

1.1.4 修理费

此项费用应根据发电企业的实际情况来计算。机组的大修费用直接拨给对应的机组。目前，大修费用的分摊方式有 2 种：一种按是“当年费用，当

年分摊”的原则，将当年发生的大修费用在本年度内分摊；另一种是在大修周期内分摊，根据燃煤电厂的实际情况来确定其分摊方式。公共建设或基础设施的修理费用应在机组间进行分摊。

1.1.5 其它费用

其它费用的组成较多，因此在动态成本计算中，将其发生额按发生日期变化的情况分为按月费用和按日费用。月费用是指一个月中，只发生一次或几次的费用。用这一次或几次费用之和除以天数就得到日平均费用。日费用是指每天都发生的费用，直接从该会计项目中取得费用的发生额，计入日成本^[11-12]。

1.2 变动成本分解计算模型

变动成本的表达式为

$$V_p = (V_c + V_o) + V_w + V_g + V_e \quad (5)$$

式中： V_p 变动成本； V_c 燃煤成本； V_o 燃油成本； V_w 发电用水成本； V_g 购电成本； V_e 环境成本。

燃煤电厂环境成本包括发电企业为减少污染物排放而投入设备的成本及运行、维护费用；向有关部门缴纳的排污费；发电排污造成的外部经济损失^[13-15]。外部经济损失指电厂排污对环境容量资源价值损害造成的社会经济损失。

环境容量价值估算模型为

$$V_e = C_f + C_p \quad (6)$$

式中： C_f 为环境投入成本； C_p 为环境损失成本。

在本文实例计算中，由于外部经济损失数据缺失，没有进行计算。

电厂环境投入成本是指电厂从事环境保护活动而支付的成本，由减排设备投资和运行、维护费用组成。

采用将总投资在电厂使用寿命期内均摊方法计算减排设备投资，其年均投资(单位为万元)为

$$\bar{F}_0 = F_0 \left[\frac{i + (i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \right] \quad (7)$$

式中： F_0 为减排设备总的初投资，万元； i 为减排设备投资利率，%； n 为减排设备使用年限。

减排设备环境成本的表达式为

$$C_f = \frac{\bar{F} + Y}{Q} \quad (8)$$

式中： Y 为减排设备年运行、维护费用； Q 为机组年发电量。

电厂环境损失成本是指电厂因环境污染向政府部门缴纳的排污费。目前，电厂废气污染主要征

收 SO₂、NO_x 和烟尘 3 项排污费，冲灰水污染主要征收悬浮物、化学需氧量和总砷 3 项排污费。根据国家制定的排污收费标准和对应污染物的排放量来计算这部分费用，其数学模型为

$$P = \sum_{i=1}^k \lambda_1 \lambda_2 S_i \frac{G_i}{N_i} \quad (9)$$

式中： P 排污费用，元； λ_1 地区收费调整系数，不发达地区的调整系数为 0.8，一般地区的调整系数为 1，发达地区的调整系数为 1.2； λ_2 为环境功能区收费调整系数，三类功能区的收费调整系数为 0.9，二类功能区的收费调整系数为 1.0，一类功能区的收费调整系数为 1.1； S_i 为第 i 种污染物的收费标准，元/当量数； G_i 为第 i 种污染物的排放量，kg/a； N_i 为第 i 种污染物的污染当量值，kg。

环境损失成本为

$$C_p = P/Q \quad (10)$$

2 实例结果与分析

2.1 固定成本

以某电厂 2009 年 12 月的生产经营情况为依据，对 1 号机组的固定发电成本进行计算。目前，该电厂拥有一期扩建工程容量为 2×600 MW，已于 2006 年 3 月投产发电，二期工程容量为 1×600MW，已于 2008 年 5 月投产发电，总装机容量为 1800MW。一期工程动态总投资 48 亿。

该电厂 2009 年 12 月的各项财务数据见表 1。

1 号机单位时段(15 minutes)的固定成本见表 2。

在图 2 所示的 1 号机固定成本比例图中，可以直观地看到在固定成本中，容量成本占主要部分。

表 1 2009 年 12 月财务原始数据
Tab. 1 Financial data in December, 2009

项目	金额/万元
材料费	174.0032
工资及福利费	579.0000
修理费	847.0036
其它费用(管理费用)	500.0000
总计	2 100.6800

表 2 1 号机组单位时段的固定成本

Tab. 2 Fixed cost of No.1 generator during one period of time

项目	金额/元
折旧费	5 875.00
材料费	605.27
工资及福利费	2 010.42
修理费	2 942.22
其它费用	1 736.11
总计	13 169.02

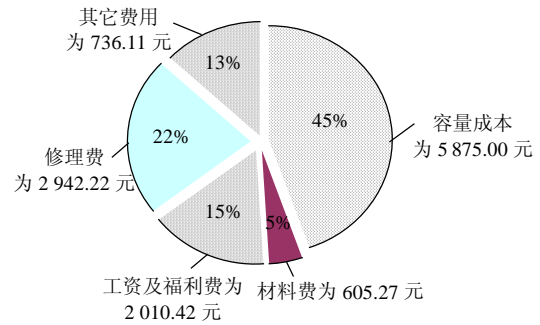


图 2 1 号机组固定成本构成比例

Fig. 2 Fixed cost configuration of No.1 generator

在计算容量成本时，本文采用了等额支付折算的方法。因实例计算中以分析火电厂固定成本为主，故残值问题予以忽略。

2.2 变动成本

通过采集该电厂 2009 年 12 月相关数据，可得汽机效率、厂用电率、供电煤耗、等效可用系数。该机组最低稳燃负荷为 360MW·h。1 号机不同负荷工况下的热经济指标数据见表 3。表中负荷工况是指发电机组在不同发电出力条件下的工作状况，如 60% 负荷工况是指发电机组在额定负荷(600 MW)的 60%，即 360MW 时的工作状况。

表 3 1 号机不同负荷工况下的热经济指标
Tab. 3 The heat economy indices of No.1 generator with different loads

指标	负荷工况				
	60%	70%	80%	90%	100%
发电机功率/MW	360	420	480	540	600
供电煤耗/(g/kW·h)	335.8	329.15	324.8	323.7	319.06
厂用电率/%	6.23	6.01	5.96	5.92	5.90
等效可用系数/%	100	100	100	100	100

该厂设计煤种为某地区无烟煤，折标煤单价为 688.94 元/t。该电厂脱硫系统年运行、维护费用为 2 264 万元，2009 年 12 月烟尘排放量为 33 t，SO₂ 排放量为 98.7t，NO_x 排放量为 412.3t；烟尘排放费和 SO₂ 排污费为 0.6 元/kg，NO_x 排污费收取标准为 0.63 元/kg。各污染物当量数据如下：SO₂ 为 0.95kg，NO_x 为 0.95kg，烟尘为 2.18kg。

该地区收费调整系数和环境功能区收费调整系数均取 1。该电厂采用湿式石灰石-石膏法排烟脱硫装置与发电机组匹配，采用电除尘器、干式气力除灰系统，无脱硝装置。因除尘设备的投资费用已在固定成本中计算，故不再计入。

分别计算不同工况下的发电标准煤耗量，通过计算得出对应负荷下单位时段的煤耗量，并计算燃料成本，如表 4 所示。

表 4 1 号机不同负荷下的煤耗量和燃煤成本
Tab. 4 Coal consumption and fuel coal cost of No.1 generator with different loads

项目	负荷工况				
	60%	70%	80%	90%	100%
煤耗量/t	30.222	35.259	40.296	45.333	50.37
燃料成本/元	20 819.8	23 809.8	2 6848	30 106.7	32 972.7

对不同负荷下的燃油量进行统计，12 月每亿 kW·h 发电量助燃用耗油 19.48t/亿 kW。由于没有产生非计划停运，故只考虑稳燃用油，通过计算计入成本。该厂采用 0 号柴油，原油价格为 6012 元/t。1 号机不同负荷下的耗油量及燃油成本见表 5。

表 5 1 号机不同负荷下的耗油量及燃油成本
Tab. 5 Oil consumption and fuel oil cost of No.1 generator with different loads

项目	负荷工况				
	60%	70%	80%	90%	100%
煤耗量/t	17.532	20.454	23.376	26.298	29.22
燃料成本/元	105.4	122.97	140.5	158.11	178.92

目前，得到单元组的准确耗水情况还有难度，考虑到这项费用相对变化不大，针对该厂 1 号机组水费的使用情况，该厂采用的是一度电一厘钱的水费计费方式，则 1 号机单位时段水费见表 6。在计算周期中，没有发生购电费用，故忽略不计。

通过计算得出，该电厂在单位时段的环境对

表 6 1 号机不同负荷下的水费

Tab. 6 Water consumption of No.1 generator with different loads

负荷工况/%	60	70	80	90	100
水费/元	90	105	120	135	150

表 7 不同负荷下 1 号机组的变动成本

Tab. 7 Variable cost of No.1 generator with different loads

项目	负荷工况				
	60%	70%	80%	90%	100%
发电机功率/MW	360	420	480	540	600
燃料成本/元	20 819.8	23 809.8	27 761.5	30 106.7	32 972.7
燃油成本/元	107.31	122.94	140.5	158.11	178.92
用水成本/元	90	105	120	135	150
环保费用/元	2 430	2835	3 720	3 645	4050
成本总计/元	23 806.55	27 293.25	30 832.66	34 584.44	3 7947.65

表 8 不同负荷下 1 号机组的生产成本和单位成本

Tab. 8 Every production cost and unit cost of No.1 generator with different loads

名称	负荷工况				
	60%	70%	80%	90%	100%
发电机功率/MW	360	420	480	540	600
生产总成本/元	36 975.57	40 462.27	44 001.68	47 753.46	51 116.67
固定总成本/元	13 169.02	13 169.02	13 169.02	13 169.02	13 169.02
变动总成本/元	23 806.55	27 293.25	30 832.66	34 584.44	37 947.65
单位成本/(元/MW·h)	410.83	385.35	366.68	353.73	340.78
单位固定成本/(元/MW·h)	146.32	125.42	109.74	97.55	87.79
单位变动成本/(元/MW·h)	264.52	259.94	256.94	256.18	252.98

策成本为 0.027 元/kW·h，环境损失成本为 0.004 元/kW·h，则脱硫装置的环境成本为 0.031 元/kW·h。将 1 号机组的变动成本汇总，如表 7 所示。

根据 80% 负荷时的数据，得到图 3 所示 1 号机组变动成本构成比例。从图 3 可直观地看到变动成本的构成情况及百分比。

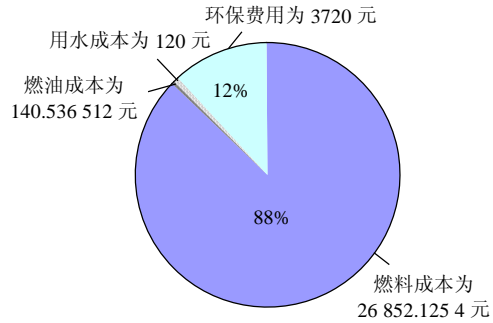


图 3 1 号机组变动成本构成比例

Fig. 3 Variable cost configuration of No.1 generator

2.3 生产总成本

机组生产总成本为机组固定成本与机组变动成本之和，机组单位成本为单位固定成本与单位变动成本之和。对该电厂 1 号机组在不同负荷下的生产总成本和单位生产总成本进行计算，结果见表 8。

根据表 8 中 80% 负荷时的成本数据，1 号机生产总成本见图 4。由图 4 可以得出 1 号机生产总成本的组成情况以及固定总成本和变动总成本所占比例。

图 5 为 1 号机在不同负荷工况下运行时的成本曲线。由图 5 可以直观地看到成本的变化趋势。

1 号机在不同负荷工况下运行时的单位成本曲线见图 6。由图 6 可知，单位固定成本大致与电量

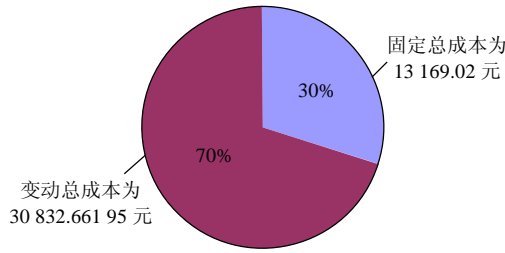


图 4 1 号机生产总成本

Fig. 4 Productive total cost of No.1 generator

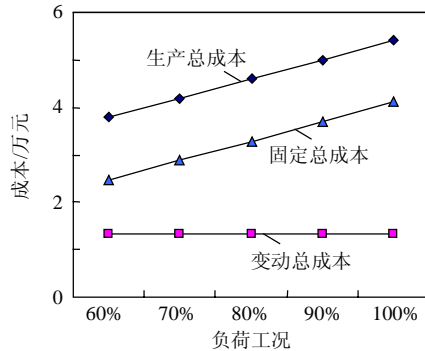


图 5 1 号机在不同负荷工况下运行时的成本曲线

Fig. 5 Operation cost curves of No. 1 generator with different loads

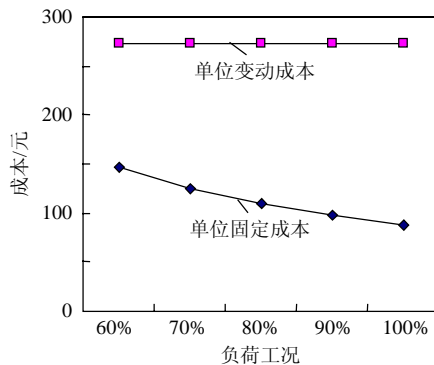


图 6 1 号机在不同负荷工况下运行时的单位成本曲线

Fig. 6 Unit cost curves of No. 1 generator with different loads

成反比。因采用不同时间段的负荷，其煤耗存在不同，故本文不对单位变动成本进行分析。

以上为节能减排发电调度下发电成本的计算结果。在该电厂进行节能减排前，当机组负荷为 80% 时，其 2008 年同期平均供电煤耗为 335.2 g/kW·h，该厂 2008 年年环保运行维护费用达 3851 万元。在 2009 年同比减少 114 万元。SO₂、NO_x、烟尘的排放量分别 150、638.7 和 62.7 t，排污费用进一步减少。

本文对节能减排前后变动成本的主要指标进行比较，在节能减排调试环境下，该电厂在进行了脱硫系统改造、废水利用等减排设备改造，提高了运行业务水平等，在节约原材料(药品、钢球、石灰石)费用、减少排放量、节约排污费用方面获得了良

好的效果。

3 结论

1) 发电企业变动成本中，燃煤比例最大，而煤耗指标对于节约燃煤量起着重要作用。发电企业应利用有效的技术与管理手段合理控制各环节的能源消耗水平。

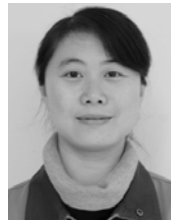
2) 发电企业变动成本中环境成本占有较大的比重。发电企业应该增加高效率的脱硫、除尘设备，减少污染物排放。

3) 通过对节能减排前后变动成本的主要指标进行比较，本文指出，在节能减排调试环境下，发电企业在追求机组经济指标最优的同时，必须更加重视机组的节能环保，提高自身竞争力。主要从降低能耗和降低污染物排放水平两方入手，加强内控管理，提高机组排序水平。

参考文献

- [1] 叶剑波. 节能调度对发电企业的影响及对策[J]. 中国电力企业管理, 2008(1): 58-59.
Ye Jianbo. Research of power enterprises countermeasures in the context of energy-saving dispatching[J]. China Power Enterprise Management, 2008(1): 58-59(in Chinese).
- [2] 尚金成. 兼顾市场机制的主要节能发电调度模式比较研究[J]. 电网技术, 2008, 32(4): 78-85.
Shang Jincheng. Comparative research on main energy-saving generation dispatching model considering market mechanism[J]. Power System Technology, 2008, 32(4): 78-85(in Chinese).
- [3] 张森林. 节能发电调度实用化措施框架体系[J]. 电网技术, 2008, 32(20): 81-85.
Zhang Senlin. A framework system of practicable measures for energy-saving power generation dispatching[J]. Power System Technology, 2008, 32(4): 81-85(in Chinese).
- [4] 刘达, 牛东晓, 杨光. 电力市场中的电价影响因素[J]. 陕西电力, 2008(12): 9-12.
Liu Da, Nu Dongxiao, Yang Guang. Influential Factors analysis on electricity price in the power market[J]. Shaanxi Electric Power, 2008(12): 9-12(in Chinese).
- [5] 廖萍, 李兴源. 实施节能发电调度的研究[J]. 四川电力技术, 2008, 31(1): 8-10.
Liao Ping, Li Xingyuan. Study on implementation of the energy-saving dispatching[J]. Sichuan Electric Technology, 2008, 31(1): 8-10(in Chinese).
- [6] 文福拴, 陈青松, 褚云龙, 等. 节能调度的潜在影响及有待研究的问题[J]. 电力科学与技术学报, 2008, 23(4): 72-77.
Wen Fushuan, Chen Qingsong, Chu Yunlong, et al. Potential impacts and issues for energy-saving dispatching[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2008, 23(4): 72-77(in Chinese).
- [7] 严宇, 马珂, 于钊. 改进发电调度方式实施节能、环保、经济调度的探讨[J]. 中国电力, 2007, 40(6): 6-9.
Yan Yu, Ma Ke, Yu Zhao. Primary research on improvement in generation dispatching mode to implement energy conservation and

- environmental protection and economic dispatching[J]. Electric Power, 2007, 40(6): 6-9(in Chinese).
- [8] 李文义. 电煤市场化影响火电厂效益的因素分析[J]. 科学之友, 2006(9): 40-41.
- Li Wenyi. Analysis of factors influencing the benefit of heat-engine plant[J]. Friend of Science Amateurs, 2006(9): 40-41(in Chinese).
- [9] 熊祥鸿, 周浩. 电力市场中发电成本对上网电价的影响[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2008, 7(3): 321-326.
- Xiong Xianghong, Zhou Hao. Impacts of generating cost on generation price in electricity market[J]. Journal of Jiangnan University: Natural Science Edition, 2008, 7(3): 321-326(in Chinese).
- [10] 李凡生, 徐丽杰, 王玮. 试论火力发电厂动态成本分析[J]. 电网技术, 2001, 25(7): 44-47.
- Li Fansheng, Xu Lijie, Wang Wei. Analysis of dynamic cost in power plant operation for bidding[J]. Power system Technology, 2001, 25(7): 44-47(in Chinese).
- [11] 薛伟. 火电机组实时发电成本分析与辅助报价决策研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2006.
- [12] 庞建军, 杜欣慧. ERP 在发电成本核算中的应用[J]. 电力学报, 2004, 19(3): 208-211.
- Pang Jianjun, Du Xinhui. The adhibition of the ERP in cost of generating electricity[J]. Journal of Electric Power, 2004, 19(3): 208-211(in Chinese).
- [13] 叶发明. 市场经济下的燃煤火电厂的发电成本分析[J]. 广东电力, 2002, 15(5): 68-72.
- Ye Faming. Generation cost analysis of coal-fired power station in market economy situation[J]. Guangdong Electric Power, 2002, 15(5): 68-72(in Chinese).
- [14] 方韬, 李才华, 张粒子. 发电企业环境成本研究[J]. 中国电力, 2005, 38(11): 16-20.
- Fang Tao, Li Caihua, Zhang Lizi. Research of environment cost in generated enterprise[J]. Electric Power, 2005, 38(11): 16-20(in Chinese).
- [15] 戴恩贤. 火电机组绿色成本核算及环境效益评价[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.



谢瑛

收稿日期: 2010-11-10。

作者简介:

谢瑛(1981), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力企业管理, E-mail: xieyin1213@126.com;

谭忠富(1964), 男, 教授, 博士后, 博士生导师, 主要从事电力经济、风险管理理论的研究, E-mail: tanzhongfubeijing@126.com。

(责任编辑 杜宁)