

# 基于外部性与动态盈亏平衡分析的燃煤电厂脱硝电价研究

周建国<sup>1</sup>, 安园园<sup>1</sup>, 段三良<sup>1</sup>, 赵毅<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学经济管理学系, 河北 保定 071003; 2. 华北电力大学环境科学与工程学院, 河北 保定 071003)

**摘要:** 通过对外部性内部化理论的分析, 提出了应用动态盈亏平衡分析模型确定脱硝电价的方法, 确定 SCR 工艺作为参照性脱硝技术, 以某发电有限公司新建 2×600 MW 机组烟气脱硝工程为例, 对模型进行了验证, 分别计算了电价收入、影子收入、脱硝可变成本、年固定经营成本、年固定资产投资、回收资产残值, 并在此基础上编制了现金流量表, 计算出脱硝电价。最后通过敏感性分析筛选出影响脱硝电价的主要因素, 并据此对脱硝电价相关配套政策提出了建议。

**关键词:** 外部性; 动态盈亏平衡分析; 脱硝电价; 敏感性分析; SCR

## Research of denitration price in coal-fired power plant based on externality and dynamic breakeven analysis

ZHOU Jian-guo<sup>1</sup>, AN Yuan-yuan<sup>1</sup>, DUAN San-liang<sup>1</sup>, ZHAO Yi<sup>2</sup>

(1. Business Administration School, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Environmental Science and Engineering School, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** The method using dynamic breakeven analysis model to determine the denitration price is proposed in this paper according to the analysis of the externalities internalization theory. The SCR process is selected as a standard of denitrification technology, and a new 2 × 600 MW units flue gas denitration project in a power generation company is taken as the case to validate the model. Then the tariff income, the shadow income, the annual variable cost, the annual fixed run costs, the annual capital investment and the recovery of assets residual value are calculated to make the cash flow statement and to calculate the denitration price. Finally, the main factors which affect the denitration price are screened by sensitivity analysis and the policy suggestion is made.

**Key words:** externality; dynamic breakeven analysis; denitration price; sensitivity analysis; SCR

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)08-0085-07

## 0 引言

到 2020 年, 我国将超过美国成为世界第一大 NO<sub>x</sub>(氮氧化物)排放国<sup>[1]</sup>, 我国大气污染物中排放的 NO<sub>x</sub> 有 70% 来自于煤的燃烧, 而燃煤电厂发电燃煤又占到全国燃煤的 70%<sup>[2]</sup>。为控制 NO<sub>x</sub> 的排放 (又称脱硝), 我国制订了《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223—2003), 规定自 2004 年 1 月 1 日起, 液态排渣煤粉炉执行 V<sub>daf</sub> < 10% 的 NO<sub>x</sub> 排放浓度限值<sup>[3]</sup>, 与此同时, 发布了《排污费征收标准管理办法》, 规定自 2004 年 7 月 1 日起, NO<sub>x</sub> 按每一污染当量 0.6 元收费, NO<sub>x</sub> 的污染当量值为 0.95 千克<sup>[4]</sup>。由于和所有环境污染治理技术一样, 燃煤电厂采用脱硝技术带来的是社会效益, 并不会给企业本身带来直接经济效益。为了鼓励燃煤电厂控制 NO<sub>x</sub> 排放,

国家正计划参照脱硫电价的方法, 以脱硝电价的方式对采用脱硝技术的燃煤电厂给予一定的经济补偿。

脱硝电价, 是国家为控制 NO<sub>x</sub> 排放, 对使用脱硝技术的发电企业在正常电价基础上增加的补偿电价部分。目前, 如何确定脱硝电价, 国家还没有出台统一的标准, 补偿多少还没有统一的规定; 学术界相关的研究也很少。在脱硫电价方面, 我国颁布了《燃煤发电机组脱硫电价及脱硫设施运行管理办法(试行)》, 规定新建机组的脱硫电价为 0.015 元/(kW·h), 对在役机组没有统一规定, 基本按所在厂实际的投资和运行成本费用进行定价<sup>[5-6]</sup>。一些学者提出, 根据环境经济学和技术经济学的理论, 分析盈亏平衡点的成本定价<sup>[7-9]</sup>。本文从外部性理论<sup>[10]</sup>出发, 借鉴动态盈亏平衡定价的研究思路, 以烟气脱硝的代表性技术——SCR (选择性催化还原) 技术作为研究对象, 通过对国华太仓烟气脱硝工程的成本和收益进行分

基金项目: 自然科学基金资助项目 (70671039)

析，得出了该项目的现金流量表，计算出了新建机组的脱硝电价，并研究影响脱硝电价的敏感性因素，以提出有关控制 NO<sub>x</sub> 排放的政策建议，并为在役机组的脱硝电价的制定提出建议。

### 1 确定脱硝电价的基础理论与参照性烟气脱硝技术的选取

#### 1.1 外部性内部化与脱硝电价的确定

外部性是某市场主体在生产或消费时强加给他人的附带成本或效益的经济现象。如果该主体给他人带来收益，却没有从中得到补偿，称为外部经济；若该主体给他人带来损失或额外费用，而又没对他人的损失进行补偿，称为外部不经济。外部性属于市场缺陷，弱化了市场配置资源的效率。解决外部性问题，可以通过“外部性内部化”。外部性内部化，就是将生产者或消费者产生的外部费用，进入他们的生产或消费决策，由他们自己承担或“内部消化”。根据庇古的思路，环境污染的外部性不能通过市场来解决，而必须依靠政府干预。政府通过征收附加税或者发放补贴，使外部性内部化，达到环境资源的有效配置<sup>[11]</sup>。

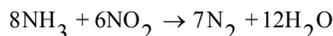
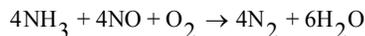
具体到燃煤电厂，燃煤产生 NO<sub>x</sub> 污染，属于外部不经济，我国已通过制定控制 NO<sub>x</sub> 排放标准，并采用征收排污费的办法，使燃煤电厂污染的外部不经济内部化，敦促燃煤电厂少排放 NO<sub>x</sub>；燃煤电厂采用脱硝技术控制 NO<sub>x</sub> 排放，则属于外部经济，国家宜采取补贴的方式，实施一定的脱硝电价补偿，使燃煤电厂控制污染问题上的外部经济内部化，促使燃煤电厂控制 NO<sub>x</sub> 排放。污染的外部性内部化的核心思想，是将强加到企业外部的成本或收益，通过一定的方式，比如政府的收费或补贴的这种经济激励的方式，重新纳入企业的成本、收益、利润的核算中，以期获得污染有效控制。据此，可以采用以研究收入、成本、净现值为主要内容的动态盈亏平衡分析方法，确定脱硝电价；同时，采用敏感性分析的方法，研究脱硝电价的重要影响因素，为制定脱硝电价政策提出建议。

#### 1.2 脱硝电价确定的参照性脱硝技术的选取

在确定脱硝电价时，需要选择代表性的脱硝技术，作为参照系。在众多脱硝技术当中，SCR 脱硝技术具有脱硝装置结构简单、无副产品、运行方便、可靠性高、脱硝效率高等诸多优点，目前，被认为是最好的烟气脱硝技术，在日本和欧美得到了广泛的商业应用，在我国也将成为广泛应用的脱硝技术<sup>[11]</sup>。SCR 脱硝技术是烟气脱硝技术中的代表性工

艺，也是本文所确定的脱硝电价的参照系。

SCR 法就是在固体催化剂存在下，利用还原性气体 NH<sub>3</sub> 与 NO<sub>x</sub> 反应使之转化为 N<sub>2</sub> 的方法。主要反应方程式为：



SCR 脱硝系统的核心由 SCR 反应器及附属系统、氨储存及处理系统和氨注入系统 3 个子系统所组成。除了 3 个核心子系统外，SCR 系统一般还有氨与空气混合系统、省煤器旁路、SCR 旁路、检测控制系统等辅助系统。SCR 脱硝系统工艺流程如图 1 所示。

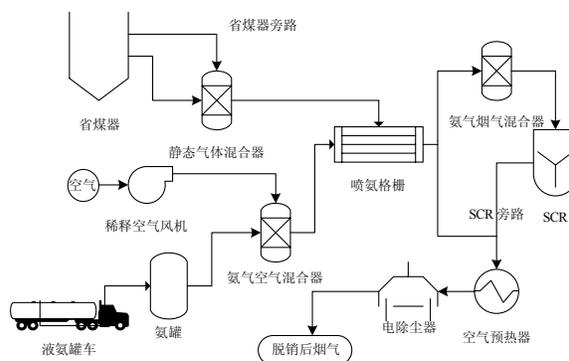


图 1 SCR 脱硝系统工艺流程图<sup>[12]</sup>

Fig.1 Flow chart of SCR denitration technology

## 2 基于动态盈亏平衡分析的脱硝电价模型

### 2.1 动态盈亏平衡分析与脱硝电价模型

盈亏平衡分析，又称保本点分析法，是根据产品的业务量（产量或销量）、成本、利润之间的相互制约关系进行综合分析，用来预测利润，控制成本，判断经营状况的一种技术经济分析方法。项目的盈亏取决于产品的成本、产量和售价<sup>[13-15]</sup>。传统的盈亏平衡分析的主要不足是，它以盈利为零作为盈亏平衡状态，没有考虑资金的时间价值，是一种静态分析。而建设项目生产经营期是一个长期的过程，资金在其运动过程中具有潜在的随时间推移而产生增值的能力，在进行各种投资时，必须考虑投资的时间机会成本、资金的时间价值，按照投资的具体情况、目标以及所在行业的基准收益水平确定一个基准收益率。传统盈利为零的盈亏平衡实际上意味着项目已经损失了基准收益水平的收益，项目存在着潜在的亏损<sup>[16]</sup>。为克服传统静态盈亏平衡分析的不足，本文采取动态盈亏平衡分析。

在动态盈亏平衡分析的实际操作中, 盈亏平衡状态定义为“净现值  $NPV = 0$ ”的状态。其公式为:

$$NPV = \sum_{t=0}^n NCF_t (P/F, i_c, t) = 0 \quad (1)$$

$$\text{即 } \sum_{t=0}^n (R_T - C_V - I_F)_t \left[ 1/(1+i_c)^t \right] + S_V \left[ 1/(1+i_c)^n \right] = 0$$

其中:  $t$  为项目计算期第  $t$  年;  $NCF_t$  (Net Cash Flow) 为所得税前第  $t$  年净现现金流量;  $R_T$  为年脱硝收入;  $C_V$  为年经营成本;  $I_F$  为年固定资产投资;  $S_V$  为回收资产残值;  $i_c$  为基准收益率;  $r$  为销售税金的税率;  $n$  为项目计算期。

## 2.2 脱硝收入模型

脱硝收入模型即脱硝年收入的计算, 脱硝年收入包含脱硝电价收入和脱硝影子收入, 分别计算如下:

脱硝年收入  $R_T$  的计算:

$$R_T = R_1 + R_2 \quad (2)$$

其中:  $R_1$  为脱硝电价收入;  $R_2$  为脱硝影子收入。

① 脱硝电价收入 ( $R_1$ ) 的计算

$$R_1 = P_1 \times Q \quad (3)$$

其中:  $P_1$  为脱硝电价;  $Q$  为年发电量。

② 脱硝影子收入 ( $R_2$ ) 的计算

本文将企业安装脱硝设备而免交排污费所带来的收入, 称为影子收入。《火电厂大气污染物排放标准》规定  $NO_x$  自 2004 年 7 月 1 日起按每一污染当量 0.6 元收费, 本文称为影子价格, 影子收入为:

$$R_2 = P_2 \times Q^* \quad (4)$$

其中:  $P_2$  为影子价格;  $Q^*$  为年减少排污量。

所以, 年脱硝收入 ( $R_T$ ) 为:

$$R_T = R_1 + R_2 = P_1 \times Q + P_2 \times Q^* \quad (5)$$

## 2.3 脱硝经营成本模型

脱硝成本模型即脱硝年经营成本的计算。脱硝年经营成本包含脱硝可变成本和年固定经营成本。分别计算如下:

年经营成本  $C_Y$  的计算:

$$C_Y = C_V + C_{FO} \quad (6)$$

其中:  $C_V$  为脱硝可变成本;  $C_{FO}$  为年固定经营成本。

① 脱硝可变成本 ( $C_V$ ) 的计算

可变成本等于消耗吸收剂的费用, 公式为:

$$C_V = P_{\text{吸收剂}} \times Q \quad (7)$$

② 年固定经营成本 ( $C_{FO}$ ) 的计算

脱硝年固定经营成本包括大修理费、工资及福利、财务费用以及脱硝设备运行消耗的电费。即

$$C_{FO} = C_{\text{大修}} + C_{\text{工资福利}} + C_{\text{财务费用}} + C_{\text{电费}} \quad (8)$$

所以年经营成本 ( $C_Y$ ) 为:

$$C_Y = C_V + C_{FO} = P_{\text{吸收剂}} \times Q + (C_{\text{大修}} + C_{\text{工资福利}} + C_{\text{财务费用}} + C_{\text{电费}}) \quad (9)$$

## 2.4 脱硝固定资产投资模型

脱硝固定资产投资  $I_F$  包括: 建筑工程费, 设备购置费, 安装工程费和其他费用以及催化剂的费用。因为催化剂的更新时间和其他设备的更新时间不一样, 折旧的提取方式不一样, 催化剂费用单独计算。计算公式分别为:

$$I_F = C_{\text{建筑工程}} + C_{\text{设备购置}} + C_{\text{安装工程}} + C_{\text{其他}} \quad (10)$$

$I_F$  表示脱硝固定资产投资中不含催化剂的费用。

催化剂费用包含催化剂设备购置费和安装费, 计算如下:

$$C_{\text{催化剂}} = C_{\text{催化剂设备购置}} + C_{\text{安装}} \quad (11)$$

## 2.5 回收资产残值模型

资产残值包含固定资产残值和催化剂残值, 在投资项目结束后可以对其进行回收, 分别计算如下:

回收资产残值  $S_V$  的计算:

$$S_V = S_{V1} + S_{V2} \quad (12)$$

其中:  $S_{V1}$  为固定资产回收残值;  $S_{V2}$  为催化剂回收残值。

① 回收固定资产残值的计算:

$$S_{V1} = I_F \times N_{\text{固定资产残值率}} \quad (13)$$

② 回收催化剂残值的计算:

$$S_{V2} = C_{\text{催化剂}} \times N_{\text{催化剂残值率}} \quad (14)$$

## 2.6 脱硝电价模型的建立

根据以上动态盈亏平衡模型分类分析可以获得脱硝电价模型, 见式 (15):

$$\sum_{t=0}^n \left[ P_1 \times Q + P_2 \times Q^* - P_{\text{吸收剂}} \times Q + (C_{\text{大修}} + C_{\text{工资福利}} + C_{\text{财务费用}} + C_{\text{电费}}) - \left( C_{\text{建筑工程}} - C_{\text{设备购置}} - C_{\text{安装工程}} - C_{\text{其他}} - C_{\text{催化剂}} \right) \right] \left[ 1/(1+i_c)^t \right] + \left[ (C_{\text{建筑工程}} + C_{\text{设备购置}} + C_{\text{安装工程}} + C_{\text{其他}}) \times N_{\text{固定资产折旧率}} + C_{\text{催化剂}} \times N_{\text{催化剂折旧率}} \right] \left[ 1/(1+i_c)^n \right] = 0 \quad (15)$$

根据脱硝电价模型, 可以获得影响脱硝电价的因素, 用式 (16) 表示:

$$P_{\text{脱硝}} = F(C_{\text{总固定资产}}, C_{\text{催化剂}}, C_{\text{大修}}, C_{\text{工资及财务费用}}, C_{\text{吸收剂}}, C_{\text{电费}}, P_{\text{影子}}, Q) \quad (16)$$

### 3 基于脱硝电价模型的脱硝电价计算与政策分析

利用上述脱硝电价模型,以新建电厂的 SCR 脱硝技术为研究背景,计算脱硝电价。本文的案例是 2007 年完工的国华太仓发电有限公司 2×600 MW 机组烟气脱硝工程<sup>[17]</sup>。该工程为国内企业第一次总承包建设的烟气脱硝工程。下面以该工程为例进行实证研究。

#### 3.1 电价收入

因为脱硝电价收入是  $R_1 = P_1 \times Q$ 。而脱硝电价未知,所以电价收入在此先用  $x$  表示。

#### 3.2 影子收入

电厂每发 1 000 kW·h 电,排放氮氧化物 2.1 kg。根据《排污费征收标准管理办法》,每 0.95 kg 的氮氧化物排放收费 0.6 元

$$R_2 = 600 \times 2 \times 2.1 \times 0.6 \div 0.95 \times 5500 = 8753690 \text{ (元)} \quad (17)$$

#### 3.3 脱硝可变成本

脱硝可变成本为吸收剂的费用,脱硝系统氨消耗为 464 kg/h×2,氨的价格为 2.8 元/kg。

表 1 年可变成本

费用名称	数量	单价/元	合价/元
吸收剂	5 104 000	2.8	14 291 200

#### 3.4 年固定经营成本

大修理费每年为固定资产的 1%。

电厂脱硝新增定员 2 人,年人均工资为 30 000 元,福利费综合费率按工资总额的 55%计算。

财务费用一年为 3 164 820 元。

脱硝装置用电量按 800 kW×2 计算,电费为 0.39 元/kW·h。

表 2 年固定经营成本

序号	费用名称	数量	单价/元	合价/元
1	大修理费	1%	116 428 432.1	1 164 284.321
2	工资	2	30 000	60 000
3	福利费	55%	60 000	33 000
4	财务费用			3 164 820
5	电费	8800000	0.39	3 432 000
	总计			7 854 104.321

### 3.5 年固定资产投资

项目建设期为一年。设备年利用小时数 5 500 h。根据表 3~6 中各单项建筑工程费、设备购置费,安装工程费和其他费用,得年固定资产投资(不含催化剂费用)如表 7 所示。

表 3 建筑工程费  
Tab.3 Construction expense

序号	工程或费用名称	建筑工程费/元
1	主体脱硝设备构架柱	685 107
2	主体脱硝设备构架梁	1 791 064
3	停车场	134 095
4	道路	38 681
5	操作室	76 565
6	设备基础	198 739
7	供氨围堰	14 784
8	供氨简易棚	425 955
9	水泥搅拌桩	1 959 045
10	引风机基础改造	1 337 707
11	其他土建杂项	273 499
12	SCR 桩基及框架结构	8 628 407
	总计	15 563 648

表 4 设备购置费  
Tab.4 Equipment purchase expense

序号	工程费用名称	设备购置费/元
一	工艺部分	26 053 893
1	供氨主系统	2 155 107
2	辅助系统	155 301
3	氨反应系统	949 405
4	引风机改造	8 030 208
5	吹灰器(国产)	4 516 992
6	稀释风机	418 240
7	烟气系统处置及改造	2 509 440
8	空气预热改造	7 319 200
二	控制系统	3 544 584
三	电气系统	1 712 693
	总计	31 311 170

表 5 安装工程费  
Tab.5 Installation expense

序号	工程费用名称	主材费/元	安装费/元	合计/元
一	工艺部分	9 764 280	8 076 747.06	17 841 027.06
1	供氨主系统		143 844.65	143 844.65
2	辅助系统		16 649.95	16 649.95
3	管道	973 680	936 960.10	1 910 640.10
4	氨反应系统	3 065 600	1 175 826.37	4 241 426.37
5	锅炉本体钢架改造	480 000	384 448.53	864 448.53
6	引风机改造	600 000	3 320 608.76	3 920 608.76

续表 5

序号	工程费用名称	主材费/元	安装费/元	合计/元
7	吹灰器(国产)		34 995.28	34 995.28
8	稀释风机		32 658.21	32 658.21
9	风管	45 000	42 025.03	87 025.03
10	烟气系统处置及改造	4 400 000	1 202 347.84	5 602 347.84
11	空气预热改造	200 000	786 382.34	986 382.34
二	控制系统	5 592 629	3 861 558.58	9 454 187.58
三	电气系统	2 841 419	1 996 980.48	4 838 399.48
	总计	18 198 328	13 935 286.12	32 133 614.12

表 6 其他费用

Tab.6 Additional expense		
序号	工程或费用名称	总价/万元
1	建设场地征用及清理费	6
2	项目建设管理费	296
3	项目建设技术服务费	2 949
4	生产准备费	444
5	其他	47
	合计	3 742

表 7 年固定资产投资

Tab.7 Annual capital investment

序号	工程或费用名称	建筑工程费/元	设备购置费/元	安装工程费/元	其他费用/元	合计/元
一	脱硝(SCR)装置	15 563 648	31 311 170	32 133 614.12		79 008 432.12
1	工艺部分		26 053 893	17 841 027.06		43 894 920.06
2	热控部分		3 544 584	9 454 187.58		12 998 771.58
3	电气部分		1 712 693	4 838 399.48		6 551 092.48
4	土建部分	15 563 648				15 563 648.00
二	其他费用				37 420 000	37 420 000.00
	总计					116 428 432.12

催化剂每年更新四分之一, 费用如表 8 所示。

表 8 催化剂费用

Tab.8 Catalyst expense

费用名称	设备购置费/元	安装费/元	合计/元
催化剂	100 678 309	1 171 368.53	101 849 677.53

### 3.6 回收资产残值

固定资产折旧年限为 15 年, 残值率为 5%。

催化剂折旧年限为 4 年, 残值率为 75%。

### 3.7 现金流量表

据以上分析, 得本项目现金流量表<sup>[18]</sup>, 见表 9。

表 9 国华太仓烟气脱硝工程现金流量表

Tab.9 Cash flow of Guohua Taicang flue gas NOx reduction project

年份	1	2	3	4	5	6	7	8
1 现金流入/元	0	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690
1.1 脱硝电价收入/元	0	x	x	x	x	x	x	x
1.2 脱硝影子收入/元	0	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690
1.3 回收固定资产残值(不含催化剂)/元	0	0	0	0	0	0	0	0
1.4 催化剂残值/元	0	0	0	0	0	0	0	0
2 现金流出/元	218 278 109.7	47 607 724	47 607 724	47 607 724	47 607 724	47 607 724	47 607 724	47 607 724
2.1 固定资产投资(不含催化剂)/元	116 428 432.1	0	0	0	0	0	0	0
2.2 催化剂费用/元	101 849 677.5	25 462 419	25 462 419	25 462 419	25 462 419	25 462 419	25 462 419	25 462 419
2.3 固定经营成本/元	0	7 854 104.3	7 854 104.3	7 854 104	7 854 104	7 854 104	7 854 104	7 854 104
2.4 年可变经营成本/元	0	14 291 200	14 291 200	14 291 200	14 291 200	14 291 200	14 291 200	14 291 200
3 净现金流量/元	-218 278 109.7	-38 854 034	-38 854 034	-38 854 034	-38 854 034	-38 854 034	-38 854 034	-38 854 034
折现率	0.925 925 926	0.857 338 8	0.793 832 2	0.735 03	0.680 583	0.630 17	0.583 49	0.540 269

续表 9

年份		9	10	11	12	13	14	15
1	现金流入/元	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	90 962 369.75
1.1	脱硝电价收入/元	x	x	x	x	x	x	x
1.2	脱硝影子收入/元	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690	8 753 690
1.3	回收固定资产残值(不含催化剂)/元	0	0	0	0	0	0	5 821 421.606
1.4	催化剂残值/元	0	0	0	0	0	0	76 387 258.15
2	现金流出/元	47 607 724	47 607 724	47 607 723.7	47 607 724	47 607 723.7	47 607 723.7	22 145 304.32
2.1	固定资产投资(不含催化剂)/元	0	0	0	0	0	0	0
2.2	催化剂费用/元	25 462 419	25 462 419	25 462 419.4	25 462 419	25 462 419.38	25 462 419.4	0
2.3	固定经营成本/元	7 854 104	7 854 104	7 854 104.32	7 854 104.3	7 854 104.321	7 854 104.32	7 854 104.321
2.4	年可变经营成本/元	14 291 200	14 291 200	14 291 200	14 291 200	14 291 200	14 291 200	14 291 200
3	净现金流量/元	-38 854 034	-38 854 034	-38 854 034	-38 854 034	-38 854 033.7	-38 854 034	68 817 065.43
	折现率	0.500 249	0.463 193	0.42 888 286	0.397 113 8	0.367 697 925	0.340 461 04	0.315 241 705

由净现值为 0，根据以上数据计算可得，脱硝电价为 0.09 224 849 元/kWh。

#### 4 结果分析

##### 4.1 脱硝电价

脱硝电价为 0.092 248 49 元/kWh，根据国外研究资料，脱硝成本一般为脱硫成本的 5~6 倍，我国现行的脱硫电价为 0.015 元/kwh，脱硝电价也应该

为脱硫电价的 5~6 倍，可见，本文的所提出脱硝电价模型有一定的参考价值，计算比较合理。

##### 4.2 影响脱硝电价的因素及敏感性分析

根据式(16)，影响脱硝电价的主要因素有：固定资产总投资(不含催化剂)、催化剂、工资及财务费用、吸收剂、电费、排污费、年发电小时，分别对这些因素做敏感性分析，可以获得对脱硝电价有重要影响的敏感性因素，如表 10，图 2 所示。

表 10 敏感性分析表

Tab.10 Sensitive analysis

变化率	-40.00%	-20.00%	-10.00%	0%	10.00%	20.00%	40.00%
固定资产	-6.83%	-3.42%	-1.71%	0%	1.71%	3.42%	6.83%
催化剂	-22.41%	-11.20%	-5.60%	0%	5.60%	11.20%	22.41%
工财费用	-2.87%	-1.43%	-0.72%	0%	0.72%	1.43%	2.87%
吸收剂	-12.58%	-6.29%	-3.14%	0%	3.14%	6.29%	12.58%
电费	-3.02%	-1.51%	-0.76%	0%	0.76%	1.51%	3.02%
排污费	7.70%	3.85%	1.93%	0%	-1.93%	-3.85%	-7.70%
年发电小时	53.51%	20.07%	8.92%	0%	-7.30%	-13.38%	-22.93%

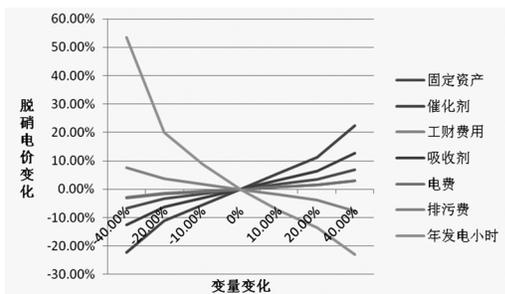


图 2 敏感性分析图

Fig. 2 Sensitive analysis

由表 10 和图 2，可以得知对脱硝电价影响最大的敏感性因素有：年发电小时、排污费、催化剂、

吸收剂。其中：

(1) 年发电小时和排污费与脱硝电价反向变化，即他们的增加能导致电价的减少；其他同向变化。

(2) 尽管年发电小时的斜率最大，影响最大，但产量即发电量在燃煤电厂中基本上是一个固定的量，不会有太大变化，因此，它的敏感性问题可以忽略不计，排污费对脱硝电价影响值得认真研究。

(3) 在同向变化中，催化剂影响最大，是技术改进的方向，吸收剂影响次之，也就是说，在技术改进过程中，催化剂、吸收剂是最值得考虑的因素。

## 5 结论

从污染的外部性内部化理论出发,建立了基于动态盈亏平衡分析的脱硝电价模型,以具有代表性的SCR烟气脱硝技术作为参照系,对如何确定新建电厂的脱硝电价进行了研究;同时,采用敏感性分析的方法研究了脱硝电价的重要影响因素,获得了有益的结论。研究表明,排污费、催化剂、吸收剂是影响脱硝电价最为重要的因素。因此,提出政策建议:(1)国家应大力支持催化剂技术的研发,改变现在主要靠从国外进口的现状。(2)在现在的条件下,提高排污费的价格与脱硝电价。

## 参考文献

- [1] 王长会. 我国氮氧化物的污染现状和治理技术的发展及标准介绍[J]. 机械工业标准化与质量, 2008, 3(11): 20-21.  
WANG Chang-hui. Introduction of Status of Nitrogen Oxide Pollution in China and Development and Standards of Control Technology[J]. Machinery Industry Standardization & Quality, 2008, 3(11): 20-21.
- [2] 杨冬, 徐鸿. SCR 烟气脱硝技术及其在燃煤电厂的应用[J]. 电力环境保护, 2007(1): 49-51.  
YANG Dong, XU Hong. Discussion on the Application of the SCR Technology in Coal-fired Power Plants[J]. Electric Power Environmental Protection, 2007(1): 49-51
- [3] 国家计委、财政部、国家环保总局、国家经贸委令. 排污费征收标准管理办法[Z]. 2003(31).  
State Planning Commission, Ministry of Finance, the State Environmental Protection Administration, the State Economic and Trade Commission Standard Management Practices for Sewage Collection[Z]. 2003(31).
- [4] GB13223—2003, 火电厂大气污染物排放标准[S].  
GB13223—2003, Air Pollutant Emission Standards for Thermal Power Plants[S].
- [5] 任鑫芳. 火电厂 SO<sub>2</sub> 减排政策与脱硫电价机制研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2008.  
REN Xin-fang. Research on the Policy for Thermal Power Plant's SO<sub>2</sub> Emissions Reduction and Desulfurizing Pricing Mechanism[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2008.
- [6] 廖永进, 王力, 骆文波. 火电厂脱硫电价研究与探讨[J]. 中国电力, 2008(3): 71-74.  
LIAO Yong-jin, WANG Li, LUO Wen-bo. Research and Discussion on the Electricity Price for FGD Equipment in Thermal Power Plant[J]. Electric Power, 2008(3): 71-74.
- [7] 孙珂, 夏清. 基于社会总效率的电力市场结构分析[J]. 电力自动化设备, 2008(9): 1-5.  
SUN Ke, XIA Qing. Electricity Market Structure Analysis Based on Social Total Efficiency[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008(9): 1-5.
- [8] 王萍, 崔和瑞. 基于资金利润法的上网电价定价方案[J]. 电力自动化设备, 2008(6): 70-73.  
WANG Ping, CUI He-rui. Pricing Based on Capital Profit Method for Onto-grid Power[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008(6): 70-73.
- [9] 林其友, 陈星莺, 邵甲锁. 集成定价法在输电电价中的应用[J]. 电力自动化设备, 2008(3): 45-50.  
LIN Qi-you, CHEN Xing-ying, SHAO Jia-suo. Application of Integrative Pricing Method in Transmission Pricing[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008(3): 45-50.
- [10] 鲁传一. 资源与环境经济学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. 29-36.  
LU Chuan-yi. Resource and Environmental Economics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. 29-36.
- [11] 陈山. 大型电站锅炉烟气脱硝选择性催化还原系统优化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.  
CHEN Shan. Study on Optimizing SCR System for Large Capacity Utility Boilers[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [12] 介立勋, 赵振宇. 利用 SCR 法控制燃煤电站 NO<sub>x</sub> 的排放[J]. 华北电力技术, 2007(1): 35-37.  
JIE Li-xun, ZHAO Zhen-ning. NO<sub>x</sub> Effluent Control in Coal-fired Power Plant Based on SCR[J]. North China Electric Power, 2007(1): 35-37.
- [13] Wang Y D, Huang Y, McIlveen-Wright D, et al. A Techno-economic Analysis of the Application of Continuous Staged-combustion and Flameless Oxidation to the Combustor Design in Gas Turbines[J]. Fuel Processing Technology, 2006(87): 727-736.
- [14] 吴阿峰, 李明伟, 黄涛, 等. 烟气脱硝技术及其技术经济分析[J]. 中国电力, 2006(11): 71-75.  
WU A-feng, LI Ming-wei, HUANG Tao, et al. Several Practical Flue Gas De-Nox Technologies and Techno-economic Analysis[J]. Electric Power, 2006(11): 71-75.
- [15] 刘季江. 电力市场中火力发电厂计及脱硫成本的电价预测[D]. 北京: 华北电力大学, 2006.  
LIU Ji-jiang. Electricity Price Forecasting for Power Plant Considering Desulfurization Cost in Electricity Market[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2006.
- [16] 王军, 李英慧. 动态盈亏平衡分析[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2005(12): 94-97.  
WANG Jun, LI Ying-hui. Dynamic Break-Even Analysis[J]. Journal of Liao Ning University of Petroleum and Chemical Technology, 2005(12): 94-97.

(下转第 133 页 continued on page 133)

- Modes of Operation in Parallel-connected 12-pulse Uncontrolled Bridge Rectifiers without an Interphase Transformer[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 1997, 44(3):344-355.
- [5] Chen C S, Chuang H J, Shiau H M. Stochastic Harmonic Analysis of Mass Rapid Transit Power Systems with Uncontrolled Rectifiers[J]. IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, 2003, 150(2):224-232.
- [6] 王晓东, 张洪斌. 城市轨道交通直流牵引供电系统的仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(12):1692-1697. WANG Xiao-dong, ZHANG Hong-bin. Simulation Study of DC Traction Power Supply System for Urban Rail Transportation[J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(12):1692-1697.
- [7] 于松伟, 杨兴山. 城市轨道交通供电系统设计原理与应用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2008. YU Song-wei, YANG Xing-san. Design Principle and Application for Urban Rail Power System [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2008.
- [8] 刘海东, 何天健, 袁振洲, 等. 城市轨道交通直流牵引供电仿真系统的研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(9): 1944-1947. LIU Hai-dong, HE Tian-jian, YUAN Zhen-zhou, et al. Simulation of DC Traction Power for Mass Transit Railway[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(9): 1944-1947.
- [9] 刘学军, 于松伟, 刘学. 轨道交通牵引供电仿真模型与算法的研究[J]. 计算机仿真, 2004, 21(12): 213-218. LIU Xue-jun, YU Song-wei, LIU Xue. Model and Algorithm for Traction Power System Simulation of Urban Rail-line[J]. Computer Simulation, 2004, 21(12): 213-218.
- [10] Tzeng Y S, Wu R N, Chen N. Unified AC/DC Power Flow for System Simulation in DC Electrified Transit Railways[J]. IEE Proceedings Electric Power Applications, 1995, 142(6):345-354.
- [11] Harris Ken. Jane's World Railways[M]. UK: Jane's Information Group Limited, 2001.
- [12] 毛保华, 何天健. 通用列车运行模拟软件系统研究[J]. 铁道学报, 2000, 22(1):1-6. MAO Bao-hua, HE Tian-jian. A General-purposed Simulation System on Train Movement[J]. Journal of the China Railway Society, 2000, 22(1): 1-6.
- [13] 刘炜, 李群湛. 地铁牵引仿真计算中的牵引策略研究[J]. 机车电传动, 2006(1): 46-49. LIU Wei, LI Qun-zhan. Study on Traction Strategy in Simulation Calculations of Metro Tractions[J]. Electric Drive for Locomotive, 2006(1): 46-49.
- [14] 王锡凡. 现代电力系统分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003. WANG Xi-fan. Modern Power System Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [15] Chuang H J. Optimization of Inverter Placement for Mass Rapid Transit Systems by Immune Algorithm[J]. IEE Proceedings on Electric Power Applications, 2005, 152(1): 61-71.

收稿日期: 2009-05-08 修回日期: 2009-06-05

作者简介:

刘 炜 (1982-), 男, 博士研究生, 研究方向为供电系统仿真与优化; E-mail: liuwei\_8208@hotmail.com

李群湛 (1957-), 男, 教授, 工学博士, 博导, 研究方向为牵引供电理论, 电力系统分析, 电能质量与控制等。

(上接第 91 页 continued from page 91)

- [17] 孙克勤, 钟秦. 火电厂烟气脱硝技术及工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007. SUN Ke-qin, ZHONG Qin. Thermal Power Plant Flue Gas Denitrification Technology and It's Engineering Application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [18] 任红松, 叶凯, 等. 投资项目动态盈亏平衡分析及 EXCEL 计算方法[J]. 技术经济与管理研究, 2007(6): 10-11. REN Hong-song, YE Kai, et al. Investment Projects Breakeven Analysis and Dynamic Calculation Method EXCEL[J]. Technical and Economic and Management

Research, 2007(6): 10-11.

收稿日期: 2009-08-27; 修回日期: 2010-03-18

作者简介:

周建国 (1965-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为电厂环境技术经济分析与评价、电力工程投资管理分析;

E-mail: dldxzjg@126.com

安园园 (1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力行业技术经济及管理研究;

段三良 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为烟气脱硫脱硝技术经济评价。