

排放绩效 电力减排新机制

王金南 高树婷 杨金田 等著

EMISSION PERFORMANCE
FOR POLLUTION REDUCTION
IN UTILITY SECTOR

中国环境科学出版社

排放绩效：电力减排新机制

王金南 高树婷 杨金田 等著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

排放绩效: 电力减排新机制 / 王金南, 高树婷, 杨金田等著. —北京: 中国环境科学出版社, 2006.12

ISBN 7-80209-468-2

I. 排… II. ①王… ②高… ③杨… III. 排放绩效-电力减排-新机制研究 IV. X209

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 560341 号

责任编辑 陈金华
责任校对 扣志红
封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2006 年 12 月第 1 版
印 次 2006 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/18
印 张 19.75
字 数 360 千字
定 价 42.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

主要项目: 利用排放绩效控制电力二氧化硫污染
基于排放绩效的电力行业环保折价政策研究
基于排放绩效的电力二氧化硫排放总量分配研究

主持单位: 国家环境保护总局

资助单位: 美国能源基金会中国可持续能源项目

实施单位: 中国环境规划院
美国电力监管援助机构 (RAP)

参加单位: 江苏省环境保护厅
南京电力环境保护研究所
山西省环境保护局
山西省电力科学研究院
浙江省环境保护局
浙江省环境监测中心站
山东省环境保护局
山东省环境科学研究院

项目管理: 杨富强 博士 (美国能源基金会中国可持续能源项目)
王万兴 博士 (美国能源基金会中国可持续能源项目)
卢 红 (美国能源基金会中国可持续能源项目)

技术组组长: 王金南 研究员

国内专家: 王金南 研究员 (中国环境规划院)
杨金田 研究员 (中国环境规划院)
高树婷 研究员 (中国环境规划院)
曹 东 研究员 (中国环境规划院)
葛察忠 研究员 (中国环境规划院)
陈罕立 研究员 (中国环境规划院)
陈潇君 工程师 (中国环境规划院)

严 刚 工程师 (中国环境规划院)
燕 丽 工程师 (中国环境规划院)
周 颖 工程师 (中国环境规划院)
薛人杰 高级工程师 (江苏省环境保护厅)
朱法华 研究员 (南京电力环境保护研究所)
朱庚富 研究员 (南京电力环境保护研究所)
成 杰 高级工程师 (江苏省环境保护厅)
乔惠琳 高级工程师 (山西省环境保护局)
贺中伟 工程师 (山西省环境保护局)
冯 淼 高级工程师 (山西省电力环境监测中心站)
阎寒冰 工程师 (山西省电力环境监测中心站)
贾烁华 工程师 (山西省电力环境监测中心站)
李柱国 教授级高工 (浙江省环境监测中心站)
许履中 工程师 (浙江省环境保护局)
张 叶 工程师 (浙江省环境保护局)
方志星 高级工程师 (浙江省能源集团公司)
刘建明 工程师 (浙江省环境监测中心站)
吴 砚 工程师 (浙江省环境监测中心站)
山东省环境保护局
山东省环境科学研究院

国际专家: David Moskovitz

Nancy Seidman

Barbara Finemore

Paul Hibbard

前 言

“十五”以来,我国能源消费超常规增长,煤炭消费量从 2000 年的 13.0 亿 t 猛增到 2005 年的 21.4 亿 t, SO_2 排放量也由 2000 年的 1 995 万 t 增加至 2005 年的 2 549.3 万 t, 超过了 1995 年的 2 370 万 t。全国酸雨面积不但没有明显减少,而且局部地区酸雨还有加重的现象。今后 15 年,我国将全面建设小康社会,经济保持高速增长,能源需求持续增加。预测到 2010 年和 2020 年,我国的煤炭需求总量将分别达到 24.5 亿 t 和 29 亿 t, SO_2 产生量将分别达到 3 500 万 t 和 4 350 多万 t。

电力行业是国民经济和社会发展的物质基础,同时也是能源消耗和环境污染控制的重点行业。截至 2005 年底,中国电力装机总量为 50 841 万 kW,其中火电装机容量为 38 413 万 kW,所占比重达 75.6%。2005 年,中国电力生产总量为 24 747 亿 kW·h,其中火力发电为 20 180 亿 kW·h,所占比重达 81.5%;燃煤发电占绝对主导地位,电力工业消耗煤炭约 11 亿 t,占中国煤炭产量 21.9 亿 t 的 50%以上。随着经济的发展和生活水平的提高,电力需求逐步增长,电力污染排放将呈现逐年增长的趋势。2010 年和 2020 年燃煤发电机组将分别增加到 5.5 亿 kW 和 6.6 亿 kW,发电用煤将分别达到 13.4 亿 t 和 17.3 亿 t,电力 SO_2 产生量将分别达到 2 300 万 t 和 3 000 万 t。

我国政府一直关注电力行业的污染控制,制定了一系列的政策法规、排放标准、管理办法、经济政策等,电力行业 SO_2 治理技术也日渐成熟。但是,一个体现科学、公平、合理的电力行业 SO_2 减排机制一直没有形成。随着电力体制改革的推进,脱硫机组发电成本上升,脱硫电厂在竞价上网市场中处于不利地位。因此,必须寻求一种建立清洁电力发展的新机制,在满足电力高速增长目标的同时,达到建设资源节约和环境友好型社会的要求。研究认为,引入电力排放绩效机制,建立灵活的管理机制,就是实现 SO_2 总量控制社会成本最低的一条重要途径和新机制。

2001 年,在国家环境保护总局主持下,美国能源基金会资助中国环境规划院开展了“利用排放绩效控制电力二氧化硫污染”研究,并在江苏、山东、浙江、山西 4 个省进行试点,从国家到地方层面上对排放绩效引入中国的可行性进行了深入的探讨。2002 年,美国能源基金会支持中国环境规划院开展了“基于排放绩效的电力行业环保折价政策研究”,以寻求通过基于排放绩效的电力价

格机制解决脱硫发电的市场竞争问题，促进清洁电力发展。2003 年，美国能源基金会又设立了“基于排放绩效的电力二氧化硫排放总量分配研究”项目，结合国家“十一五”SO₂ 污染物排放总量控制和酸雨控制规划，进一步研究利用排放绩效方法控制电力行业 SO₂ 排放的思路。

本书是在上述 3 个研究项目的基础上整理而成，全书共分排放绩效理论与实践、电力环保折价政策、基于排放绩效的总量分配和排放绩效实施战略 4 部分。本书比较全面地论述了排放绩效在中国实施的可行性和操作方法，提出了电力 SO₂ 排放绩效标准、电力环保折价政策以及基于排放绩效的总量分配方案。这些试点和案例研究证明，排放绩效是一种兼顾公平和效率的、促进清洁发电市场发展、与污染物排放总量控制吻合的市场机制。排放绩效是电力行业减排 SO₂ 的一种新机制，而且可以在其他领域（如减排化学需氧量和 NO_x 等方面）推广使用。实践证明，排放绩效机制完全可以在我国电力和其他行业实施，具有很强的可接受性和可操作性。这种新机制将在我国“十一五”污染物排放总量控制管理中得到广泛的应用。

在项目研究过程中，我们得到了国家环境保护总局、国家发改委能源局、原国家计委基础司、原国家经贸委电力司、原国家电力公司、原南方电力公司、浙江省电力工业局以及江苏省环境保护厅、山西省环境保护局、浙江省环境保护局和山东省环境保护局等部门的支持。在研究过程中，许多政府官员和专家都提出了宝贵的意见。中国环境规划院和美国能源基金会对本书的出版给予了财政上的支持。在此我们对这些指导和支持表示诚挚的感谢。

本书的主要目的是向读者展示排放绩效这种新机制如何用于电力行业 SO₂ 排放削减管理的理论和实践。由于 3 个研究项目处于不同研究时段，研究基础年和预测年不尽相同，同时也受当时国家宏观经济发展预测方案的影响，相互的研究结果之间可能存在不一致的地方，甚至出现一些矛盾的地方。再加上时间和研究水平的限制，难免存在错误和遗漏，在此我们表示歉意。同时，我们欢迎读者批评指正，与我们一起探讨排放绩效新机制在环境管理中的应用。

作者
2006 年 2 月

目 录

第一篇 排放绩效理论与实践

第 1 章 排放绩效和 GPS 的基本理论	2
1.1 GPS 概念	2
1.2 GPS 机制	2
1.3 GPS 的经济学解释	6
1.4 GPS 对美国电价和能源结构影响	8
1.5 中国利用 GPS 分配总量的影响预测	13
第 2 章 排放绩效的国际经验	14
2.1 美国电力行业污染控制的经验	14
2.2 瑞典排放绩效方法的应用	21
2.3 中国电力减排需要新机制	21
第 3 章 排放绩效应用设计	31
3.1 GPS 应用的框架设计	31
3.2 GPS 的作用机制	31
3.3 GPS 在环境标准中的应用	34
3.4 GPS 在总量分配中的应用	57
3.5 排放绩效在电力环保折价政策中的应用	65
第 4 章 排放绩效国内应用案例	70
4.1 江苏省案例	70
4.2 山西省案例	94
4.3 浙江省案例	107
4.4 山东省案例	135

第二篇 电力环保折价政策

第 5 章 发电环保折价的理论和法规	148
5.1 发电环保折价理论分析	148
5.2 发电环保折价的法规基础	154

第 6 章	电力环保折价方案制定	158
6.1	电力环保折价标准框架	158
6.2	电力环保折价方式比较	165
6.3	电力环保折价标准制定方法	169
6.4	电力 SO ₂ 排放绩效评估	172
6.5	电力行业 SO ₂ 削减成本分析	175
6.6	大气污染损失估算	181
6.7	电力环保折价方案	183
第 7 章	电力环保折价实施影响分析	189
7.1	环保折价资金测算	189
7.2	电力环保折价对区域的影响	190
7.3	电力环保折价对不同规模电厂的影响	191
7.4	电力环保折价对新老电厂的影响	193
7.5	电力环保折价对管理机制的影响	193
7.6	电力环保折价对价格的影响	193
7.7	电力环保折价对煤炭市场的影响	195
第 8 章	电力环保折价实施管理	196
8.1	排放绩效的计量和核定	196
8.2	数据传输系统设计	198
8.3	各有关部门的职责	199
8.4	折价资金的使用	200
8.5	折价减免与处罚	201
第 9 章	结论和建议	203
9.1	主要结论	203
9.2	若干建议	206
附录 1	线性折价方案	209
附录 2	分段折价方案	214
附录 3	超标准折价方案	219

第三篇 基于绩效的总量分配

第 10 章	电力行业 SO₂ 排放控制目标	226
10.1	SO ₂ 排放现状及影响评估	226
10.2	电力行业 SO ₂ 排放预测	232
10.3	SO ₂ 减排目标确定	238

第 11 章	电力行业 SO ₂ 总量分配方案	242
11.1	总量分配范围确定	242
11.2	分配方案一：考虑不同时期的火电厂建设项目	249
11.3	分配方案二：考虑不同规模的机组	257
11.4	分配方案三：同时考虑不同时段和各地区现状	265
11.5	三种分配方案的比较	272
第 12 章	基于绩效的总量分配方案影响	273
12.1	分配方案对电力生产的影响	273
12.2	分配方案对各电厂配额使用的影响	274
12.3	分配方案对电力行业总量排放达标的影响	276
12.4	分配方案对电力公司总量排放达标的影响	277
12.5	分配方案对区域排放总量的影响分析	278
12.6	分配方案对不同机组公平性的影响分析	279
12.7	分配方案的总体影响分析评价	279

第四篇 排放绩效实施战略

第 13 章	排放绩效实施政策框架	282
13.1	排放绩效政策手段组合	282
13.2	电力排放绩效标准的实施	286
13.3	基于排放绩效的总量分配机制	288
13.4	与其他环境管理制度的衔接	290
13.5	排放绩效机制实施步骤	295
13.6	开展排放绩效机制的试点	296
第 14 章	排放绩效机制的实施保障	297
14.1	实施排放绩效机制的机构保障	297
14.2	排放绩效实施的管理体系基础	297
14.3	实施排放绩效机制的技术基础	299
14.4	建立包括环境成本的电力价格体系	300
14.5	排放绩效机制的宣传和培训	301

参考文献	302
------------	-----

第一篇 排放绩效理论与实践

1.1 GPS概念

排放绩效是从发电绩效标准（GPS）延伸过来的一个新概念和新机制，是指单位经济活动排放的污染物数量或者是排放强度。作为发电绩效标准应用最为成功的是美国环境保护部门和电力部门。瑞典按生产有效能源返还排污费的方式收到了很好的效果。国内主要利用排放绩效机制在江苏、山西、浙江和山东省进行了试点，同时应用于电力环保折价政策制定以及SO₂排放总量指标的分配。

1.2 GPS机制

GPS机制：是指美国环境保护部门和电力部门在1990年提出的发电绩效标准（GPS）机制，其核心内容是：将发电厂的SO₂排放量与发电量挂钩，实行“总量控制、浓度考核、排污收费、总量交易”的管理模式。

第 1 章 排放绩效和 GPS 的基本理论

排放绩效 (Emission Performance, EP) 是从发电绩效标准 (Generation Performance Standard, GPS) 延伸过来的一个新概念和新机制, 是指单位经济活动排放的污染物数量或者是排放强度。因此, 排放绩效是衡量经济活动乃至经济增长的环境表现绩效的指标。有关 GPS 的基本理论对排放绩效是基本相通的, 主要的差异只是排放绩效机制可以应用到更多的行业和领域。本章主要介绍 GPS 概念的产生以及相应的基本原理。

1.1 GPS 概念

发电绩效标准 (GPS) 是指单位时间内发电机组/电厂或者发电公司每发一度电所排放的某种污染物的数量, 用来反映单位电量的该种污染物排放强度。因此, 单从概念上理解, GPS 是一个相对简单的概念, 只要知道某个电厂的年发电量, 某种污染物的年排放量, 就可以算出该种污染物的年排放强度, 实际上就是一种排放绩效的概念。本书不区分排放绩效 (EP)、发电绩效标准 (GPS)、排放绩效标准 (EPS) 等概念之间的差异性, 统称为发电绩效标准 (GPS)。而且沿用美国环保局的习惯, 简称为 GPS。

由于电厂所排放物中包含几种污染物, 因此 GPS 又可以根据污染物分为 SO_2 的 GPS、 NO_x 的 GPS 等。按发电单元分, GPS 可以分为发电机组的 GPS、电厂 GPS、发电公司 GPS、区域或者国家 GPS。单个机组的 GPS 表示该机组的排放强度, 反映其环境技术特性。电厂 GPS 表示该电厂的排放强度, 反映该电厂所拥有的所有机组单位发电量所产生的污染物数量。发电公司 GPS 表示该公司所有电厂或机组的排放强度, 反映该公司发电所带来的环境绩效。区域或国家 GPS 代表某个区域或者整个国家单位发电所产生的环境绩效。GPS 是以单位电量所排放的污染物数量来表示, 因此用 GPS 可以来比较发电机组、电厂、发电公司、电网、区域或者国家的排放绩效。

1.2 GPS 机制

根据美国应用情况, GPS 可以用来作为电厂的排放标准或总量分配办法。

1.2.1 GPS 作为标准

目前对于电厂，有 3 种排放标准，即浓度标准、热值标准和发电绩效标准。浓度标准是根据现有的、最佳实用技术制定的标准，以此来鼓励发电企业淘汰落后生产工艺，使用现有的最佳技术。一般讲，以技术为基础的标准不利于鼓励技术进步，因为标准不能产生不断的动力和刺激，使企业采取更好的技术。同时浓度标准与总量控制的联系不紧密，存在着这样一种情况，即所有电厂都达到技术标准，但仍会出现排放总量超过规定的总量控制目标的现象。

热值标准是根据电厂发电所耗煤的热值来制定污染物排放标准。由于煤是电厂发电的一种投入，因此也称为以投入为基础的排放标准。热值标准没能考虑电厂的能源使用效率和排污强度。对两个电厂来说，如果它们都需要相同的燃料，但是它们的发电效率和排污强度不一样，它们最终所产生的发电量和污染物是不一样的（图 1-1）。从图 1-1 可见，电厂甲的发电效率为 25%，产生 1 个单位的电，每个单位电排放 2 个单位的污染；电厂乙的发电效率为 50%，产生 2 个单位的电，每个单位电排放 1 个单位的污染。由此可见，以电厂燃煤热值为基础的排放标准不能反映发电效率和排污强度。

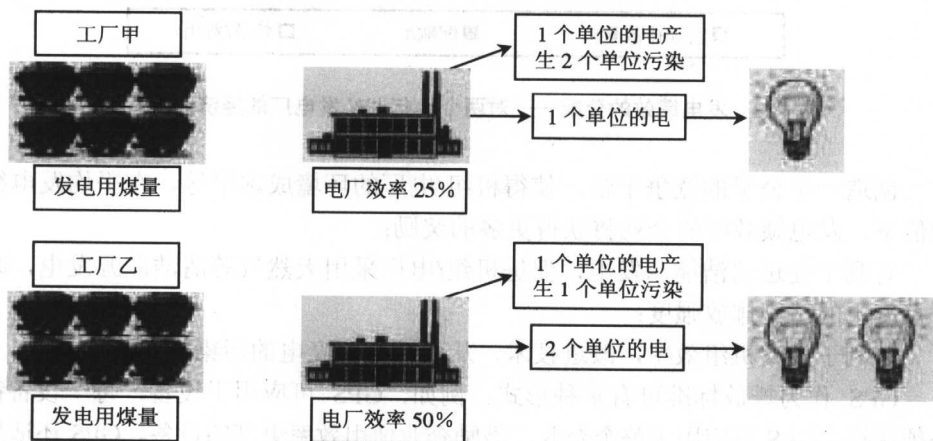


图 1-1 不同发电效率排放绩效比较^①

发电绩效标准根据单位发电量所排放的污染物数量制定，由于发电量对电厂来说是一种产出，所以也称基于产出的绩效标准。与热值标准相比，发电绩效标准只是规定单位电量的排放值，没有规定电厂使用的燃料和采用何种技术，有利于促进电厂提高发电效率，促进清洁能源使用和从环境角度为电厂提供相

^① 资料来源：Susan Freedman 和 Suzanne Watson, 2003。基于产出的标准促进能源技术创新（Output-based Emission Standards Advancing Innovative Energy Technology）。

对公平的竞争环境。假设 2 个企业实际发电量一样，但污染排放不一样，分别为 750 t 和 400 t，如果用平均排放绩效标准进行配额分配，则它们所获得的配额应该一样，均为 250 t，但是两个电厂的效益/费用比不一样，旧式燃煤电厂效益/费用比为 -700，而新式燃煤电厂的效益/费用比为 +25，这样发电绩效标准鼓励新式燃煤发电机组，具有公平、效率和效益 3 个方面的特性（图 1-2）。因此 GPS 标准具有以下 3 个方面的作用：

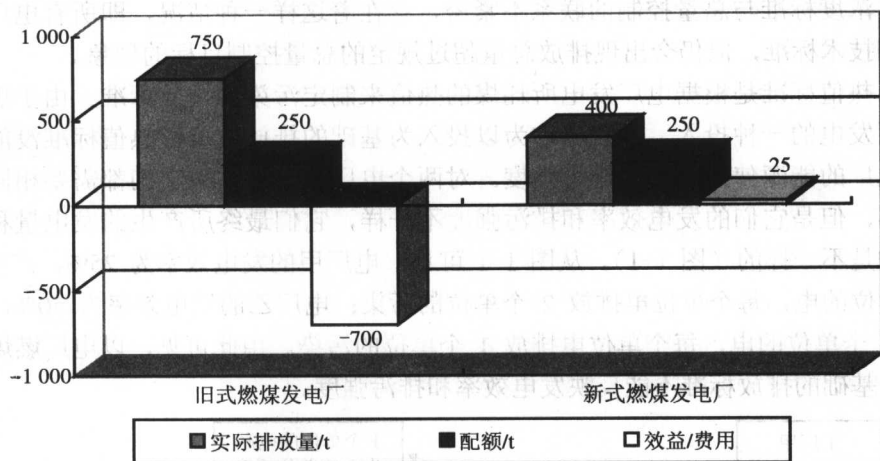


图 1-2 发电绩效的分配——对两个 1 亿 kW 发电厂的经济影响^①

创造一个公平的竞争平台，使得机组/电厂的环境成本平等，在平均发电绩效值下，发电绩效好的企业将获得更多的奖励；

有利于促进清洁能源发电，促进机组/电厂采用天然气等清洁能源发电，减少每度电的污染排放强度；

有利于提高机组效率，改进技术，从而减少每度电的污染排放强度。

GPS 作为排放标准可有多种形式。例如，GPS 可应用于设备，每一设备都必须达标。GPS 可应用于整个企业，鼓励企业使用效率更高的设备。GPS 还适用于区域、国家级排放交易计划中。例如近来被麻省采纳的交易计划，它设定了在一定地区内 NO_x 发电绩效的配额分配和 NO_x 排放的交易规划。发电绩效标准同样适用于电力零售供应商，从销售端促进清洁电力的发展，这种方法更适合中国。

1.2.1.1 对设备的 GPS

最为严格的 GPS 是应用在设备上的。每一个厂家都要求达到相同的单位排

^① 资料来源：Paul J. Hibbard, Nancy L. Seidman, Barbara Finemore 和 David Moskowitz, 2002。基于发电绩效标准的电力排放控制规划。

放限度标准。未达标企业将被停产治理或罚款（如果罚款低于治理成本或关停成本）。如果关闭或治理是最佳选择的话，这一标准的应用将会降低总排放量和平均排放浓度，其作用就是降低高污染设备的污染物排放量使其排放低于设备排放标准，而不影响那些排放物已经达标或更加清洁的设备。

1.2.1.2 以企业为单位的排放绩效标准

发电绩效标准应用于整个企业的一种方式，根据一个企业的所有设备所产生的排放量和产出量的平均值决定它们是否达标。如果这个标准是在整个企业基础之上应用，那么排放绩效值是企业的平均值，因此更容易达标。但是，以企业为单位的排放绩效标准削减效果不如以设备为单位的绩效标准好。

1.2.1.3 区域总量与交易规划

只要企业表示在规定期限内（通常为一年）拥有对每吨排放的配额，就可以设立地方排污交易计划。在标准的电力和蒸汽产生的基础上可以把配额分配到各个企业。如果企业的排放量低于所分配配额，那么配额就可以储蓄起来或卖给其他企业。这一措施就需要建立配额的流通体制和交易机制。美国环保局已成功地在全国范围内建立了 SO_2 规划和在区域范围内建立 NO_x 计划。而环保局^①的这一计划同时也需要有监测和报告制度确保达标。

1.2.1.4 零售商

在新近的州立法中，发电绩效标准将要求电力卖方（可以拥有或不拥有电厂）确保其所有电力供应的平均排放率不超过规定的发电绩效标准。不论以什么方式，发电绩效标准都可使传统的发电厂空气污染法规过渡成为促进生产效率并防治污染的措施。

1.2.2 GPS 作为总量分配的一种手段

总量控制政策是我国“九五”开始实行的一项重要政策，国家对 12 种主要污染物实行总量控制，确定了国家总量控制目标，并采取政策措施进行削减。“九五”期间这些总量指标已经分配到省、市、县，很少分到具体的企业，而且分配方法也是根据历史数据和削减目标，进行分配的，同时适当考虑地区差异作一些微调。“十五”期间，国家探讨如何更合理、公平地将国家总量控制目标分到企业，促进其污染排放，本方法是重点研究内容，并有望在“十一五”期间实施。

根据美国的经验，目前配额分配的方法有拍卖、根据历史数据的分配和

① 王金南，等。二氧化硫排放交易——美国经验与中国前景。北京：中国环境科学出版社，1999。

以发电绩效为基础的分配。在美国酸雨计划中，大部分配额都是按照历史数据进行分配的，只有很少一部分（2%）用来拍卖。美国在 NO_x 控制计划里，采用基于产出的分配方法。而且美国正计划在酸雨计划（二期）中，将基于产出的分配方法用于 NO_x 的分配。

1.3 GPS 的经济学解释

下面将根据完全市场条件下，采用图解法，分析一下 3 种分配机制对电力供需和能源结构的影响。

SO_2 等配额指标拍卖往往发生在配额资源有限的前提下。在配额资源有限的情况下，拍卖价格要高于治理成本。通过拍卖，竞标企业（电厂）将以最高价获得配额指标，也就意味着在获得配额的过程中，有实际成本发生，将增加他们的发电成本。由于发电和售电市场都是开放的，他们成本提升必定反映在他们的终端销售价格上，电价就会提升（ P_1 ）（图 1-3）。对于消费者来说，由于电价提升，他们将选择其他可获得的替代方案（如少用电，用其他能源替代品等），电力消费量将下降，并且最终影响电力需求。对发电企业来说，要想减低电价，他们就需要寻求其他清洁能源来发电，或者改进发电技术，减少发电成本，这样他们就会选择天然气发电等清洁发电，将促进天然气和其他可再生能源的需求。

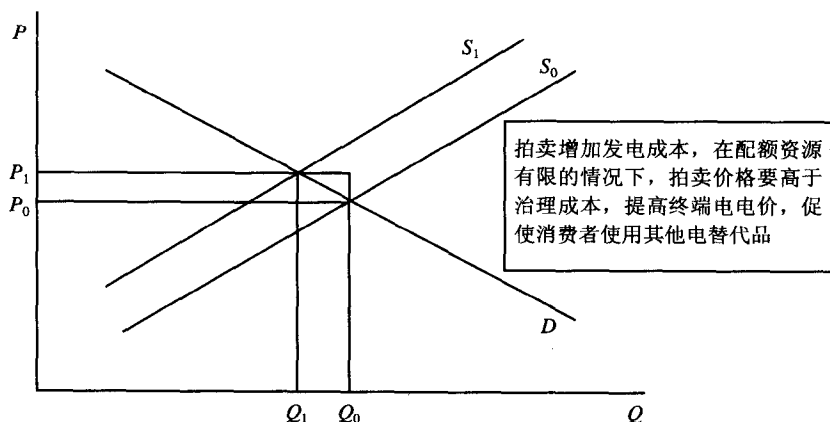


图 1-3 拍卖配额指标对单个企业发电的影响

尽管在基于历史数据的配额分配方法下，配额的获得是无偿的，但是（由于在市场条件下可以交易）配额的使用是有机成本的，这种机会成本就是其治理成本。如果一个电厂每生产一度电要排放 7.6 g SO_2 ，如果 SO_2 的治理成本

是 0.0012 元/g, 那么机会成本就是 $0.0012 \times 7.6 = 0.00912$ 元。在完全市场下, 这部分成本将通过电价上涨 (P_1) 转移给消费者, 而理性的消费者将减少电的使用量, 转向其他的替代方案, 电力消费需求就减少 (图 1-4)。为了增加发电量, 刺激电力消费, 发电企业也将选择其他的清洁发电机制 (如天然气发电等), 减少成本, 从而影响天然气和可再生能源的价格。

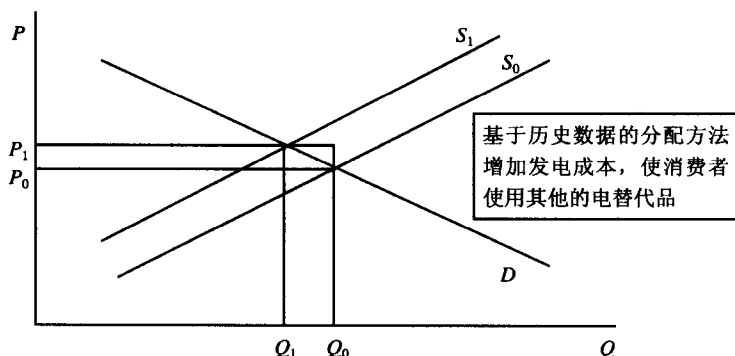


图 1-4 基于历史数据的配额指标分配对单个发电企业的影响

在基于产出的配额分配情况下, 企业将根据其发电量和平均发电绩效标准获得配额, 如果某个电厂的实际发电绩效为 $7.6 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, 平均发电绩效标准为 $7.0 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, 这样其获得一个配额的机会成本为 $0.0012 \times 7.0 = 0.0084$ 元, 低于按历史数据分配的机会成本。与前一种分配方法相比, 它相当于获得 0.00072 元的生产补贴。全成本定价的价格就会减低, 消费者需要支付的价格也减低, 因此鼓励消费者使用更多的电 (图 1-5)。

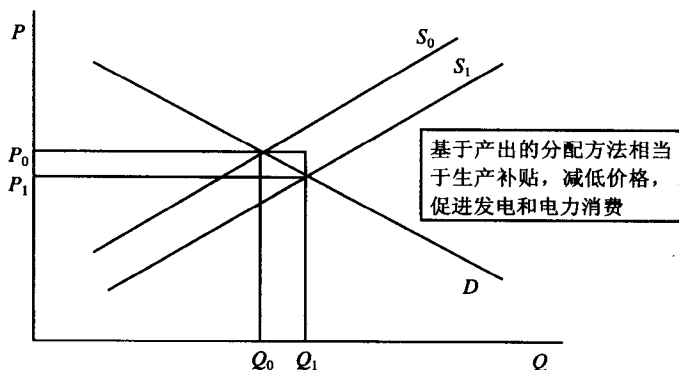


图 1-5 基于产出的配额指标分配对单个企业发电的影响