

四川电网节能发电调度节能减排效果分析

杨 柳¹, 凌 亮², 唐茂林², 秦毓毅², 刘俊勇¹, 刘继春¹, 孙 毅²

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 四川省电力公司, 四川 成都 610061)

摘 要: 实施节能发电调度旨在减少单位电能生产中的能源消耗和污染物排放, 其中减少火电厂的耗煤量与二氧化硫、二氧化碳排放量是其重要环节。基于四川电网的主要火电厂数据, 分析节能调度前后耗煤量的变化, 计算节能调度前后四川省各火电厂的 SO_2/CO_2 排放情况, 引入排放绩效指标进行精确分析, 验证了节能发电调度政策的有效性。

关键词: 节能发电调度; 节能减排; 耗煤量; 二氧化硫排放量; 二氧化碳排放量

Abstract: The objective of implementing energy-saving generation dispatching is to reduce the energy consumption and the pollutant emissions produced by unit energy, in which reducing the coal consumption, the emission of sulfur dioxide and carbon dioxide in thermal power plant is an important part. Based on the data of major thermal power plants in Sichuan Power Grid, the change of coal consumption before and after the energy-saving generation dispatching is analyzed, the SO_2/CO_2 emissions of every thermal power plant before and after the energy-saving generation dispatching are calculated, the indicators of emission performance are introduced for the accurate analysis, and the effectiveness of energy-saving generation dispatching policy is verified.

Key words: energy-saving generation dispatching; energy-saving and emission-reducing; coal consumption; SO_2 emission; CO_2 emission

中图分类号: TM734 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)02-0087-04

0 引 言

中国电力行业以煤电为主的能源结构长期不变, 燃煤电厂二氧化硫、二氧化碳排放量在全国排放总量中占很大比重, 污染气体的排放造成了温室效应和中国一些地区酸雨污染严重, 亟待解决。控制燃煤电厂 SO_2/CO_2 排放, 已成为中国大气污染防治的迫切任务^[1-2]。针对该问题, 电力工业提出了节能发电调度, 优先利用可再生资源, 减少以煤炭为主的一次能源消耗, 从而有效地减少电力行业的 SO_2/CO_2 排放量, 以期达到节能减排的目标, 促进电源结构向高效、低污染的方向发展^[3-5]。

已有大量文献对节能发电调度进行了研究, 包括: 讨论其相关政策对电力企业的影响; 阐述其理论与技术支撑体系; 建模分析节能调度下的火电机组节能减排情况; 联合分析节能降耗与电力市场, 从经济学角度讨论各种可供参考的方法^[6-11]。下面将从耗煤量、二氧化硫、二氧化碳排放量这 3 个方面对节能调度下的节能减排效果进行分析, 验证其有效性。

基于四川电网 2007—2009 年间主要的火电机组

数据, 研究耗煤量, 定量分析实行节能调度前后四川电网的节能效果; 计算相应的二氧化硫、二氧化碳排放量, 使用排放绩效这一指标明确各火电厂的减排效果。通过分析可知, 实行节能发电调度后, 四川电网实现了有效减少火电厂耗煤量和二氧化硫、二氧化碳排放量的目标, 达到了节能减排的目的, 有力地促进了电源结构向高效、环保的方向发展, 优化了能源结构, 验证了节能发电调度政策的可行性和高效性。

1 四川省节能减排情况分析

基于四川省 2007—2009 年 23 个主要火电厂数据, 分析节能调度前后耗煤量的变化, 计算二氧化硫和二氧化碳排放量和相应的绩效, 验证节能减排效果。

根据计算结果, 首先从全局角度对四川省 2007—2009 年 3 年间的节能减排效果综合情况进行比较分析; 然后对各电厂的煤耗、二氧化硫减排量、二氧化碳减排量和相应绩效指标分别比较, 分析节能减排效果良好的电厂的特性, 为进一步实施节能调度提供可供参考的依据。四川省 2007—2009 年节能减排综合情况如表 1 所示。

表 1 四川省 2007—2009 年节能减排效果综合情况

年份	2007	2008	2009
发电量总和 /MWh	3 434 123	3 102 987	46 321 420
耗煤量总和 /t	14 137 865.8	9 663 755.65	15 740 548.2
二氧化硫排放量总和 /t	739 788.32	557 738.75	464 368.36
二氧化硫排放绩效	0.05 232 673	0.05 771 449	0.02 950 141
二氧化碳排放量总和 /t	22 834.84	20 959	17 557.96
二氧化碳排放绩效	0.001 615	0.002 169	0.001 115

分析可知:由于 2007 年还未实施节能调度,各电厂的 SO₂/CO₂ 排放量与 2008、2009 年有较大区别;相较于 2007 年,2008 年节能调度的实施以及地震的影响使得总体排放水平巨减,减排的 SO₂/CO₂ 量达 182 049.57/1 875.84 t;2009 年大力开展节能调度,在发电量和煤耗有大幅度增长的同时,总体减排效果仍然明显,减排的 SO₂/CO₂ 达 275 419.96/5 276.88 t;其中容量大、能效高、脱硫效率高的电厂减排效果尤为显著。

1.1 节能情况分析

四川省主要火电厂 2007—2009 年的耗煤量如图 1 所示。

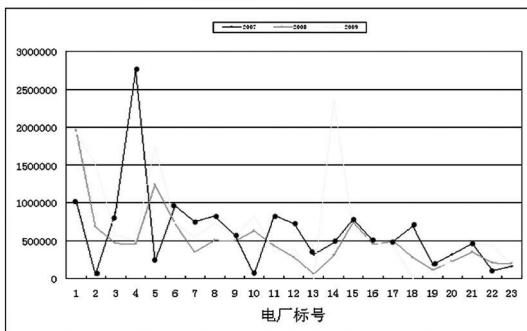


图 1 各电厂 2007—2009 年耗煤量 (t)

分析可知:图 1 显示了四川省 23 个主要火电厂在节能调度前后煤耗情况。由于 2008 年四川发生特大地震灾害,部分火电厂机组受到不同程度影响,整体发电水平下降,所以 2008 年各电厂耗煤量较 2007 年均均有较大幅度的减少;2009 年全省大力实施节能调度,耗煤量虽较 2008 年有所上升,但与 2007 年相比明显减小,其中带有大容量、高效能机组的电厂节约耗煤效果最好。

1.2 二氧化硫减排情况分析

燃煤 SO₂ 排放量常规计算方法主要有以下 5 种:

实测法、经验算法、产排污系数法、硫元素平衡法和物料衡算法。其中,物料衡算法简单、明了、快速、易操作、影响因素较少,其他算法的参数测定较苛刻,与实际情况很难一致,客观性较差。

所以选择方法物料衡算法对四川电网的 SO₂ 减排情况进行计算分析。通过计算也验证了该方法的准确性。

物料衡算法是根据质量守恒定律,对生产过程中使用的物料变化情况进行定量分析的一种方法。在生产过程中,投入物料总量等于所得产品总量与物料和产品流失量之和。根据煤中二氧化硫转化效率的物料衡算法。公式为

$$M_{SO_2} = 2 \cdot B \cdot F \cdot S \cdot (1 - N_{SO_2}) \quad (1)$$

式中, F 为煤中硫转化为二氧化硫的效率(火电厂锅炉取 0.90,工业锅炉、炉窑取 0.85,营业性炉灶取 0.8); S 为煤中的全硫含量百分比; N_{SO₂} 为脱硫效率,若未采用脱硫装置, N_{SO₂} 为 0。

基于四川省 2007—2009 年主要的 23 个火电厂数据,计算得到相应的二氧化硫排放量。表 2 为计算所得 2007—2009 年间四川省全省二氧化硫排放量数据与省环保厅数据的对比。

表 2 2007—2009 年四川省 SO₂ 排放量数据对比

年份	2007	2008	2009
(省环保)全省排放总量 /t	117.9 × 10 ⁴	114.79 × 10 ⁴	108.59 × 10 ⁴
(厅数据)按比例计算到火电厂 /t	74.63 × 10 ⁴	57.39 × 10 ⁴	48.87 × 10 ⁴
计算所得主要火电厂排放总量 /t	73.98 × 10 ⁴	55.77 × 10 ⁴	46.44 × 10 ⁴

由表 2 分析可知:根据从省环保厅的数据节能调度前即 2007 年火电行业二氧化硫排放量占全省总排放量的 63%,为了实现低碳经济,节能调度势在必行;节能调度后的 2008 年该降至 50%,2009 年降至 45%。由于计算时只考虑了主要的 23 个火电厂,没有计入小火电部分(总装机容量 500 MW),计算所得结果比省环保厅的数据稍小。但计算精度达 96% 以上,仍然较高,数据可参考性强。由于计算精度较高且包含了四川省主要的火电厂,所以可将计算所得排放量视为火电行业总排放量。通过对比也验证了物料衡算法的准确性和可行性。

图 2 为各电厂的二氧化硫排放情况。分析可知:2007 年 SO₂ 排放量达 4 000 t 的电厂占 43.5%,实施节能调度后,2008 年这一数据下降为 21.7%,2009

年与 2008 年相近,但 2009 年中燃煤电厂普遍趋近于低排量电厂,相较于 2008 年总体水平大幅减小。由此可见,在四川省施行的关停高耗的小机组在节能调度中效果明显。

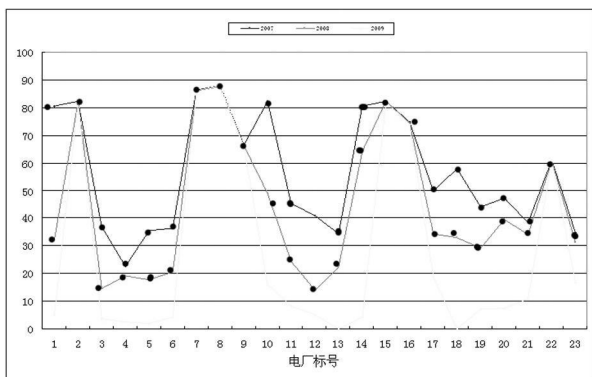


图 2 各电厂 2007—2009 年 SO₂ 排放量 (t)

由各火电厂二氧化硫排放绩效对各火电厂进行分析,为了便于分析,计算中对应于吨煤的污染物排放单位取 kg。各火电厂 2007—2009 年排放绩效如图 3 所示。

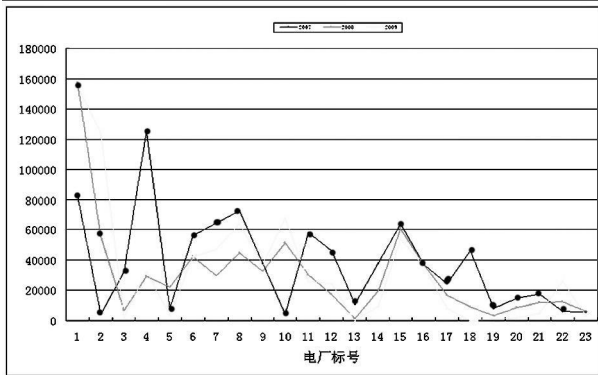


图 3 各电厂 2007—2009 年 SO₂ 排放绩效

由图 3 分析可知:2007—2009 年大部分电厂排放绩效均有明显降低,除一些火电厂因排放不达标被关停导致绩效降低外,其余均是由于有高效运行脱硫设备。比较可知标号为 2、7、8、9、15、16 和 22 的电厂排放绩效在三年间改变甚小,其减排工作还需加强。

通过分析四川省主要火电厂的耗煤量和二氧化硫排放量,以标煤进行折算后得到 1 t 标煤所对应的二氧化硫排放量,如表 3 所示。

表 3 各单位标煤对应的二氧化硫排放量

年份	2007	2008	2009
1 t 标煤排放二氧化硫量 /kg	52.33	52.54	28.87

由于受地震影响,2008 年节能调度的实施受到

很大阻碍,其值基本与 2007 年持平;2009 年单位吨标煤对应排放的二氧化硫量比 2007 年减少了 23.46 kg 降幅达 44.83%。以 2009 年的数据为基础,每节约 10 000 t 标煤,排放的二氧化硫量减少 288.7 t 减排成效非常明显,这与节能调度的大力开展是紧密相关。由于节能调度政策的实施,火电厂选用的煤炭含硫水平有所下降,而且由于省环保厅对各主要电厂的二氧化硫排放系统实施了联网检测,使脱硫设施运行情况良好,效率高效,此外小火电高排放机组的关停也是起主要作用的因素之一。

1.3 二氧化碳减排情况分析

现行火电厂 CO₂ 排放量计算方法较为成熟,方法也较多,这里采用下式进行计算。

$$G_{CO_2} = 29.306 \cdot (11/3) \cdot f(x) \cdot E \cdot K_{CO_2} \quad (2)$$

式中, G_{CO_2} 为单位供电的 CO₂ 排放量; $f(x)$ 为单位供电标准煤耗; x 为机组负荷率; E 为单位热值下潜在的碳排放量,取国内实测平均值 0.02474 g/kJ; K_{CO_2} 为燃料中碳的氧化率,通常取 0.9。

基于四川省 2007—2009 年主要火电厂数据计算得到相应的二氧化碳排放情况如图 4 所示,对应的排放绩效如图 5 所示。

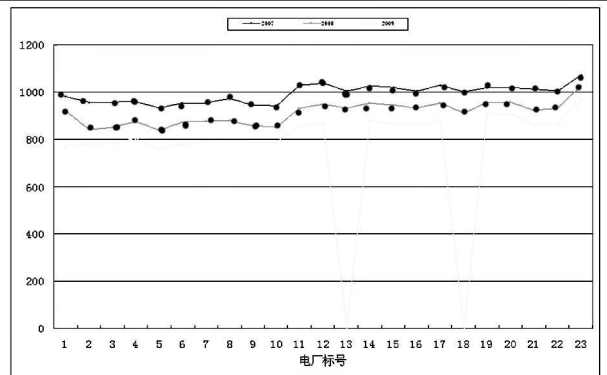


图 4 各电厂 2007—2009 年 CO₂ 排放量 (t)

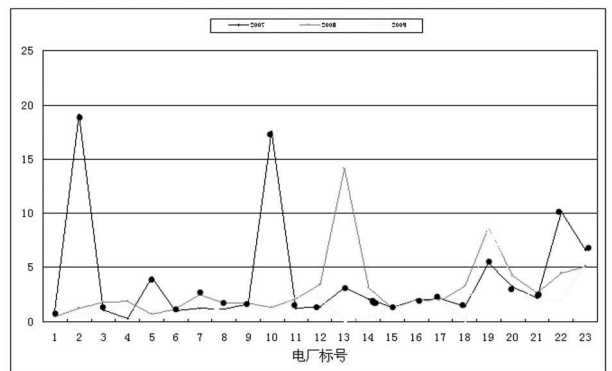


图 5 各电厂 2007—2009 年 CO₂ 排放绩效

由图 4 可知,四川省各主要火电厂 2007—2009 年二氧化碳排放量呈逐年下降的趋势。节能调度实施后,由于各火电机组需按照排序表进行发电,煤耗低能效高的机组优先发电,这使得火电厂采取各种技术手段来降低机组的煤耗,进而大大降低了二氧化碳的排放量。

由图 5 分析可知:2007—2009 年大部分电厂排放绩效均有明显降低,除一些火电厂因排放不达标被关停导致绩效降低外,其余均是由于有高效运行。比较可知标号为 2、10 和 22 的电厂二氧化碳排放绩效在三年间改变较大,其减排工作十分良好。

通过分析四川省主要火电厂的耗煤量和二氧化碳排放量,以标煤进行折算后得到 1 t 标煤所对应的二氧化碳排放量,如表 5 所示。

表 5 每单位标煤对应的二氧化碳排放量

年 份	2007	2008	2009
1 t 标煤排放二氧化碳量 /kg	1.615	2.169	1.115

从表 4 可以明显看出 2009 年减排效果非常明显,2008 年由于受地震影响,节能调度的实施受到很大阻碍,其值基本较 2007 年值有所提升;2009 年 1 t 标煤对应排放的二氧化碳量为 1.115 kg 比 2008 年减少了 1.054 kg 降幅达 48.59%;以 2009 年的数据为基础,当每节约 10 000 t 标煤时,能够减少排放的二氧化碳量达 11 150 kg 减排成效非常明显。在节能调度政策的强制下,火电厂引进各种技术手段降低机组的煤耗,能较大幅度地减少二氧化碳的排放量。

2 结 论

四川省经济发展迅速,所需电量不断增大,作为全国的节能调度试点省份,通过计算分析可知节能发电调度的开展有力地保证了在发电量大幅度增长的同时,煤耗量和二氧化硫、二氧化碳排放量的同比减小,节能减排成绩是可观的。通过数据也可以看出 2009 年四川省加大了火电厂减排污染气体的督促力度,达到了较好的效果,其中容量大、能效高、脱硫效率高的火电厂效果尤为显著。但同时仍然有以下问题需进一步解决:①节能减排的法律意识需要进一步增强;②发电侧节能降耗调度方案仍有待完善;③脱硫设施装置建设质量与运行管理水平两方面亟待提

高;④市场在配置资源与节能减排中所起的作用需要进一步发挥;⑤脱硫副产品的综合利用率还需提高;⑥一次能源的清洁高效利用仍需进一步研究。

参考文献

- [1] 杨继贤,何迎庆,张秀云,等. 低碳经济背景下我国能源发展趋势及煤炭企业对策 [J]. 中国矿业, 2010, 19(8): 54—57.
- [2] 董广霞,傅德黔. 全国火电厂二氧化硫污染现状及其控制对策 [J]. 中国环境监测, 2003, 19(6): 33—36.
- [3] 韩国刚,吴波,韩振宇,等. 中国 SO₂ 减排控制指标体系与减排控制对策研究 [J]. 电力环境保护, 2007, 24(4): 36—39.
- [4] 耿静,严正,冯冬涵,等. 节能调度综述 [J]. 华东电力, 2010, 38(1): 54—58.
- [5] 张粒子,谢国辉,朱泽,等. 准市场化的节能发电调度模式 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(8): 29—32.
- [6] 王超,张晓明,唐茂林,等. 四川电网节能减排发电实时调度优化模型 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(4): 89—92.
- [7] 尚金成. 电力节能减排的理论体系与技术支撑体系 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(6): 31—35.
- [8] 傅书边,王海宁. 关于节能减排与电力市场的结合. 电力系统自动化 [J], 2008, 32(6): 31—34.
- [9] 杨梅,王黎,马光文,等. 节能调度对电力企业的影响及对策研究 [J]. 水力发电, 2009, 35(1): 88—91.
- [10] 卫炜,焦莹,居勇,等. 节能调度下的火电机组节能减排效果研究 [J]. 华东电力, 2010, 38(1): 31—33.
- [11] 胥传普,杨立兵,刘福斌. 关于节能降耗与电力市场联合实施方案的探讨 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(23): 99—103.

作者简介:

杨 柳 (1987), 女, 硕士研究生, 从事电力市场研究;

凌 亮 (1970), 通讯作者, 男, 工程硕士, 从事电力市场辅助服务定价研究;

唐茂林 (1962), 男, 硕士, 高级工程师, 主任, 主要从事电网调度运行管理等方向的研究;

秦毓毅 (1972), 通讯作者, 男, 重庆万州人, 博士研究生, 从事调度运行管理、调度计划管理和电力市场运行方面的研究;

刘俊勇 (1963), 男, 教授, 博士研究生导师, 长期从事电力市场等领域的研究。

(收稿日期: 2010—11—12)