

2020 年中国发电行业碳减排目标规划相符性分析

廖夏伟¹, 计军平^{1,2}, 马晓明^{1,2*} (1. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 2. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 广东 深圳 518055)

摘要: 基于发电行业节能减排技术的现有应用规划, 预测 3 种不同的 GDP 增长情景, 即减速发展、基准情景和高速发展情景下, 若能实现我国现有关于发电行业节能减排技术的规划目标, 2020 年发电行业的 CO₂ 排放量将达到 35.32, 39.15, 43.20 亿 t。同时基于中国 2020 年碳强度减排承诺, 计算得国家 2020 年 CO₂ 排放目标在不同发展情景下将达到 97.30~127.96 亿 t 不等。结合上述结果讨论, 发电行业规划目标符合要求 2020 年的 CO₂ 排放比例为 33.27%~36.82%。结果表明, 若能实现我国现有关于发电行业节能减排技术的规划目标, 则对应于不同的 GDP 增长速度, 发电行业总碳排放量能够完成国家承诺碳强度减排的分解目标。

关键词: 减排目标; 规划相符性; 发电行业

中图分类号: X321 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2013)03-0553-07

Consistency analysis between technology plans and reduction target on CO₂ emissions from China's power sector in 2020. LIAO Xia-wei¹, JI Jun-ping^{1,2}, MA Xiao-ming^{1,2*} (1. College of Environmental Science and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China). *China Environmental Science*, 2012, 33(3): 553~559

Abstract: Based on existing energy saving technology plans in the power sector of China, the CO₂ emissions in 2020 was projected to reach 3532, 3915 and 4320 million ton respectively in 3 different scenarios, e.g. high-speed development, baseline scenario and low-speed development, provided that all the planning objectives were achieved. According to China's CO₂ intensity reduction commitments, the CO₂ emission target in 2020 was expected to reach 9730~12796 million ton in accordance with different GDP growth rate. Combining the above results, consistency between technology plans and reduction target required the emission rate of power sector to be between 33.27% and 36.82%, which means the total carbon emissions of the power sector was able to complete the decomposition of national carbon intensity reduction target provided that all the energy saving technology planning objectives were achieved irrespective of the GDP growth rate.

Key words: emission reduction target; consistency analysis; power sector

为应对全球气候变暖, 2009 年底哥本哈根会议前我国提出了自主减排目标, 即到 2020 年单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年降低 40%~45%。在中国郑重做出碳排放强度减排承诺后, 有许多学者对此进行了研究。刘小敏等^[1]利用 CGE 模型对 2020 年中国的碳排放强度目标进行了定量分析, 指出黑色金属矿采选业、有色金属矿采选业、塑料制品业、燃气生产和供应业、建筑业面临较大的减排困难。张友国^[2]利用投入产出结构分解方法实证分析了 1987~2007 年经济发展方式变化对中国 GDP 碳排放强度的影响。李健等^[3]认为第二产业是影响地区碳排放强度的主要因素。现

有关于我国碳排放强度减排目标的研究主要通过 GDP 和产业结构等宏观经济指标, 采用自上向下的模型进行, 而较少采用自底向上模型, 通过行业或部门的技术发展或规划进行分析。

电力是由不同的一次能源转换而成的, 而发电过程中由于燃料的燃烧产生了大量的 CO₂ 排放。本文所讨论的发电行业部门排放是指发电行业作为一个部门的整体排放。根据计军平等^[4]的研究, 发电行业是高碳排放部门。发电行业的减排

收稿日期: 2012-07-05

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目(10YJC790344)

* 责任作者, 教授, xmma@pku.edu.cn

对于全国减排目标的达成具有重要的影响和作用. 本文则将基于现有发电行业节能减排技术的相关规划,通过各类减排技术的减排潜力核算,分析规划目标与减排目标之间的相符性,即能否通过完成规划目标达成减排目标.

1 研究方法

碳排放强度,即单位 GDP 的 CO₂ 排放.相关研究多根据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》^[5](下文简称 IPCC 指南)中核算 CO₂ 的方法对总碳排放量进行核算,并除以当年 GDP 得到碳排放强度.

CO₂ 排放量核算最基本的公式为活动数据(Activity Data,简称 AD)乘以排放因子(Emission Factor,简称 EF).对于发电行业,活动数据可以用发电量或燃料消耗量表示:

$$E=\sum IC_i\cdot T_i\cdot c_i=F_i\cdot c'_i \tag{1}$$

式中: E 表示发电行业 CO₂ 排放量; IC_i 表示技术 i 的装机容量; T_i 表示技术 i 的年发电时间,可由历年数据推测; c_i 表示技术 i 的排放系数; F_i 表示发电过程各类燃料消耗量; c'_i 为不同燃料的碳排放系数.

表 1 国家发改委气候司公布的不同燃料的碳排放因子
Table 1 Emission factors by the climate division, development and reform commission of China

燃料类型	CO ₂ 排放因子 (tCO ₂ /TJ)	燃料类型	CO ₂ 排放因子 (tCO ₂ /TJ)
原煤	87.3	燃料油	75.5
洗精煤	87.3	液化石油气	61.6
其它洗煤	87.3	石油焦	95.7
焦炉煤气	37.3	炼厂干气	48.2
其他煤气	37.3	其他石油制品	72.2
原油	71.1	天然气	54.3
汽油	67.5	液化天然气 ^①	54.3
柴油	72.6		

注:数据来源为2011中国区域电网基准线排放因子;①参照天然气数据

发电行业的燃料来源主要包括煤炭、石油、天然气等,其中以煤炭为主.对于 IPCC 指南提供的燃料含碳量,国家发改委气候司根据我国实际情况进行了调整^[6].本文即以国家发改委气候司

公布的数据为基础进行计算.
电力生产弹性系数是研究电力生产增长速度与国民经济增长速度之间关系的指标,其计算式如下:

$$C=A/a \tag{2}$$

式中: C 指电力生产弹性系数,其数值等于电力生产量的年平均增长速度 A 除以国民经济年平均增长速度 a .

假设我国在未来保持 GDP 年均增速为 a ,根据电力生产弹性计算得 2020 年所需的发电量.根据现有各发电节能减排技术的规划目标计算其发电量,新技术发电量不足部分由传统燃煤技术发电补足.可得发电行业 2020 年的预测 CO₂ 排放量和目标 CO₂ 排放量计算公式(3)和(5):

$$E_{2020}=[P_{2011}(1+A)^9-P']\cdot c_{煤}+e_{节} \tag{3}$$

式中: E_{2020} 为 2020 年 CO₂ 的预计排放量; P_{2011} 为 2011 年总发电量; P' 为节能减排技术发电量; $c_{煤}$ 表示传统煤发电排放系数; $e_{节}$ 表示节能减排技术发电排放量,由于清洁能源发电不排放 CO₂,此处 $e_{节}$ 主要表示提高燃煤效率的减排技术的发电排放量.其中:

$$P'=\sum IC_{节}^{i2020}\cdot T_{节}^{i2020} \tag{4}$$

本文根据现有对于节能减排技术利用的相关规划总结出在 2020 年各项节能减排技术的装机容量 $IC_{节}^{i2020}$,再根据历史数据推测各节能减排技术的年发电时间 $T_{节}^{i2020}$.

$$E'_{2020}=GDP_{2010}(1+a)^{10}\cdot I_{2020}\cdot R \tag{5}$$

式中: E'_{2020} 表示 2020 年的发电行业的目标碳排放量; a 为 GDP 年均增长速度; I_{2020} 为 2020 年目标碳排放强度,可根据 2005 年碳排放强度和我国碳强度减排目标计算求得; R 表示发电行业排放占全国总排放比例.

本文设定了国内生产总值不同增速的 3 种情景 GDP,代入式(3)得 2020 年预测发电量;最后将发电行业 2020 年的预测发电量与排放目标进行比较,并提出政策建议.

2 发电行业 2020 年 CO₂ 排放量预测

2.1 2020 年发电量需求

根据吴敬儒等^[7]综合国内外的研究,指出当

一国经济结构变化不大时,电力弹性系数一般在 1.0~1.1.根据中国的国家发展规划,将对重工业比例进行缩减,电力生产弹性系数取在 0.7~0.8 之间.本文取电力生产弹性系数 C 为 0.75,对 2020 年满足不同国民经济增长情景的发电量需求进行了核算,计算结果如下表所示.

表 2 2020 年发电量预测

Table 2 Estimate on electricity production in 2020

情景假设	减速发展情景	基准情景	高速发展情景
电力生产量年平均增长速度(%)	4.50	5.25	6.00
2020 年预测发电量(亿 kW·h)	70168	74833	79772

注:2011 年电力生产量(47217 亿 kW·h)取自《全国电力工业统计快报(2011 年)》^[8]

2.2 发电行业主要减排技术

据《2050 中国能源和碳排放报告》^[9],2020 年以前可投入使用的发电行业控制 CO₂ 排放的技术,总体上可分为两类:

一是提高煤转化效率,对于发电过程来说,与 CO₂ 减排直接相关的主要有两个途径,一是提高用于推动汽轮机做功的主蒸汽的压力和温度来提高能效,例如超临界和超超临界发电技术;二是通过系统优化集成提高整体发电效率,典型代表是整体煤气化联合循环(IGCC)技术.本文即以这两种技术作为提高煤转化效率技术的典型代表.

二是采用清洁能源代替煤,从而减少 CO₂ 的排放.从发电行业发展情况可以看出,将来中国可能投入使用的的新能源主要有火电、水电、风电、核电、生物质发电等.

2.3 2020 年发电行业排放预测

2.3.1 CO₂ 排放系数 根据 2008~2011 年《中国能源统计年鉴》^[10]中的“中国能源平衡表”列出的各年份火力发电各种能源的投入量,代入式(1)中计算得历年火力发电碳排放量;并除以根据《中国统计年鉴 2004~2011》^[11]《中国电力企业联合会 2010 年电力统计年报数据一览表》^[12]《中国电力企业联合会全国电力工业统计快报(2011 年)》^[8]所得各年火电发电量,得到火力发电

每度电的平均排放量,并和清华大学气候政策研究中心^[13]的研究结果进行对比如表 3 所示.

表 3 1 火电碳排放强度[gCO₂/(kW·h)]

Table 3 Carbon fuel intensity in coal-fired power [gCO₂/(kW·h)]

年份	清华大学气候政策研究中心 ^[13]	本研究
2000	-	1053
2001	-	1042
2002	-	1017
2003	-	993
2004	-	965
2005	936.4	963
2006	933.7	960
2007	915.0	941
2008	887.8	913
2009	866.3	892

注:“-”表示该研究未包含此年份

由表 3 可见,火力发电电碳排放逐年下降.但由于技术发展的不确定性,难以根据这些数据的变化趋势直接预测 2020 年传统燃煤技术发电的排放系数.根据 IEA 公布的 2009 年燃煤发电碳排放强度水平,欧洲为 842gCO₂/(kW·h),京都议定书附件一国家为 804gCO₂/(kW·h)^[14],这些国家目前的技术水平可作为我国在未来一段时间内将要达到的目标,因此计算 2020 年我国传统发电技术的 CO₂ 排放系数取二者中间值 820gCO₂/(kW·h).

超(超)临界发电和 IGCC 等技术通过提高煤转化效率,减少单位发电量的耗煤量,从而减少单位发电量的 CO₂ 强度.假定其他条件不变,可认为采用这些技术时发电效率提高的百分比等于 CO₂ 强度降低的百分比,也即采用这些技术时的单位发电量的减排量等于采用传统技术单位发电量的 CO₂ 排放量乘以效率提高的百分比.

现在传统的亚临界燃煤技术热效率大概在 38%左右,该技术已很成熟,进一步发展的潜力很有限.综合考虑超(超)临界技术和 IGCC 技术的发展现状及相关学者的研究^[15-20],本文初步预测到 2020 年,超临界和超超临界技术的平均发电效率达到 45%,IGCC 技术的发电效率达到 48%,那么

相对于传统燃煤技术,超临界和超超临界技术、IGCC 技术发电效率分别提高 7%和 10%.即超临界和超超临界技术、IGCC 技术的 CO₂ 排放系数能达到 762.6,738gCO₂/(kW·h).

CO₂ 排放主要来自化石燃料燃烧,水电、风电、核电等新能源在电力生产过程中不涉及化石燃料,除了设备生产、电厂建设等过程中的生命周期排放外,可视为零排放.

2.3.2 减排技术发展预测及规划 减排情景需要设定各减排技术在 2020 年的应用规模,本文根据不同技术的发展现状及趋势、规划目标等对在 2020 年的利用规模进行设定.

截止到 2009 年 9 月,我国已建、在建和拟建超临界、超超临界机组共计约 3 亿 kW^[19].目前我国已经或即将批准的 IGCC 电厂达到 315 万 kW^[20],IGCC 电站也将逐步走向商业化阶段.考虑到电站建设周期和电力建设快速发展的需要,预测到 2020 年,我国超临界、超超临界机组装机容量可达到 4 亿 kW,IGCC 装机容量达到 1 亿 kW.

我国发布了一系列关于清洁能源发电的发展规划.2007 年发布了《可再生能源中长期发展规划》、《核电中长期发展规划(2005~2020 年)》,“十二五”初期发布了《“十二五”电力工业发展规划》、《可再生能源发展“十二五”规划》,近期《新兴能源产业发展规划》已通过国家发改委审批并上报国务院,预计即将出台.各规划对 2020 年新能源发电装机容量的目标如表 4 所示.

表 4 2020 年规划装机容量(亿 kW)

Table 4 Planning installed capacity in 2020 (×10⁸ kW)

规划名称	时间	水电	风电	核电	光伏 发电	生物质 发电
可再生能源中长期发展规划	2007-08	3.0	0.3	-	0.018	0.30
核电中长期发展规划 2005-2020	2007-10	-	-	0.40	-	-
“十二五”电力工业发展规划	2010-12	3.3	1.8	0.90	0.200	0.05
新兴能源产业发展规划	近期	3.8	1.5	0.86	0.200	0.30

注:“-”表示规划未包含此电力来源

由表 4 可见,早期规划基于当时的发展情况制定了较低的目标值,但近几年我国新能源发展迅速,原有的规划目标已落后于其实际发展速度,因而“十二五”初期发布的《“十二五”电力工业发展规划》做出了调整,近期通过国家发改委审批的《新兴能源产业发展规划》也有一定调整.因此按照目前的发展势头,本文对各类清洁能源发电装机容量取这些规划中的最高值.

综上所述,根据我国现有发电行业节能减排技术的应用规划或发展现状及趋势,预测到 2020 年超临界和超超临界机组装机容量将达到 4 亿 kW,IGCC 将达 1 亿 kW.水电、风电、核电、光伏发电和生物质发电等新能源发电技术装机容量将分别达到 3.8,1.8,0.9,0.2,0.3 亿 kW.

2.3.3 各技术发电小时数 根据《电力工业统计资料汇编(2010 年)》^[21],2005~2010 年来火电设备利用小时数分别为 5865,5612,5344,4885,4865,5031h.波动较大且并无明显的上升或下降趋势,平均为 5267h.

超临界和超超临界机组相对于传统亚临界机组年运行时间并无太大不同.而 IGCC 运行过程要求各种设备和系统合理配置和配合,以提高整体循环效率.但运行过程中各设备互相牵制,影响了 IGCC 机组的运行时间.目前,IGCC 发电系统的可用率一般为 80%左右^[22].考虑到 IGCC 机组可用率的问题,年有效运行时间将有所降低.按照美国能源部(DOE)、美国电力研究院(EPRI)等机构的预测,商业化的 IGCC 电站性能将在未来不断改善,到 2010 年可用率达到 85%以上,2020 年将超过 90%^[14].考虑到中国与美国在技术方面尚存在一定差距,预计中国 2020 年 IGCC 电站可用率达到 85%.综上,本文取超临界和超超临界机组年运行时间 5300h,IGCC 机组运行时间为 4505h.进而计算得这两类技术在 2020 年发电量分别为 21200 亿 kW·h 和 4505 亿 kW·h.

2004-2010 年水电、核电发电设备利用小时数如表 5 所示.

由表 5 可见,水电、核电设备年利用小时数并无明显的上升或下降趋势,因此,对于 2020 年

水电和核电的设备利用小时数,取 2004~2010 年统计数据的平均值,即分别为 3491,7762h.

表 5 2004~2010 年水电、核电设备利用小时数(h)
Table 5 Operational hours of hydroelectric and nuclear power installations from 2004 to 2010(h)

年份	水电	核电
2004	3462	7605
2005	3664	7755
2006	3434	7774
2007	3532	7737
2008	3589	7825
2009	3328	7716
2010	3429	7924
平均	3491	7762

注:数据来源为《中国电力年鉴(2005~2011年)》^[23]

风电、太阳能和生物质发电等因易受自然条件影响,年运行时间不太稳定,且暂无设备利用小时数的统计数据,只能根据发展规划中提出的目标做大致估计.根据国网能源研究院公布的“十二五”我国新能源发电发展目标^[24],风电装机容量达到 1 亿 kW,年发电量 1900 亿 kW·h;太阳能光伏发电将达到900 万 kW,年发电量 126 亿 kW·h;生物质发电 1300 万 kW,发电量 520 亿 kW·h,由此计算得风电、太阳能光伏、生物质发电的年有效运行时间分别为 1900,1400,4000h.2020 年清洁能源发电量如表 6 所示.

表 6 2020 年清洁能源新增发电量
Table 6 New electricity productions by clean energy in 2020

电力来源	2020 年规划目标 (亿 kW)	年有效运行时间 (h)	发电量 (亿 kW·h)
核电	0.9	7762	6985.8
水电	3.8	3491	13265.8
风电	1.8	1900	3420.0
光伏发电	0.2	1400	280.0
生物质发电	0.3	4000	1200.0

注:*天然气发电装机容量为2009年数据

总的来说,各类技术按照预测和规划在 2020 年的发电量表 7 所示.

2.3.4 2020 年发电行业碳排放核算 以上通过

新技术或者新能源发电不足电力需求的部分由传统煤电补足.将所得数据汇为表 8.

表 7 2020 年各新技术和清洁能源预测发电量
Table 7 Estimated electricity productions by low-carbon techniques in 2020

技术	新技术或新能源	预测发电量(亿 kW·h)
提高煤转换效率技术	超临界和超超临界	21200.0
	IGCC	4505.0
清洁能源发电技术	水电	13265.8
	风电	3420.0
	核电	6985.8
	光伏发电	280.0
	生物质发电	1200.0
总量		50856.6

表 8 2020 年各发电技术预计发电量及排放系数
Table 8 Estimated electricity productions and emission factors of different techniques in 2020

发电技术	排放系数 [gCO ₂ /(kW·h)]	预计发电量(亿 kW·h)
传统煤电	820.0	19312.35(减速发展)
		23977.12(基准情景)
		28915.53(高速发展)
核电	0	6985.80
水电	0	13265.80
风电	0	3420.00
光伏发电	0	280.00
生物质发电	0	1200.00
超(超)临界	762.6	21200.00
IGCC 技术	738.0	4505.00

将上文数据代入式(3),计算得在 2020 年不同的国民经济发展情景下的发电行业预测总碳排放量,如表 9 所示.

表 9 2020 年不同情景下发电行业总碳排放量
Table 9 Total CO₂ emission in different scenarios in 2020

项目	减速发展	基准	高速发展
GDP 年均增长率(%)	6.0	7.0	8.0
电力生产量年均增长速度(%)	4.50	5.25	6.00
2020 年发电行业预测总碳排放量 (亿 tCO ₂)	35.32	39.15	43.20

3 发电行业 2020 年排放目标

3.1 2020 年全国总 CO₂ 排放目标

根据《中华人民共和国国民经济和社会发展规划第十二个五年规划纲要》^[25],今后五年我国国内生产总值的年均增长目标为 7%,本文假设“十三五”期间基准情景的 GDP 年均增长目标仍是 7%,对不同的经济发展情况设置了 3 种情景. 根据美国橡树岭国家实验室 CO₂ 信息分析中心 (CDIAC)^[26]的中国 CO₂ 排放数据以及 2005 年中国 GDP,计算得中国 2005 年碳排放强度为 3.13tCO₂/万元.根据中国的减排承诺,2020 年的目标排放强度应为 1.7215~1.878tCO₂/万元.结合上文所得发电行业排放比例数据,计算得到 2020 年发电行业目标 CO₂ 排放量如表 10 所示.

表 10 2020 年发电行业目标 CO₂ 排放量

Table 10 CO₂ emission target of power sector in 2020

项目	减速发展	基准情景	高速发展
GDP 年均增长率(%)	6.0	7.0	8.0
2020 年 GDP(亿元,2005 年价)	565205.9	620848.7	681374.0
2020 年目标总排放量(亿 tCO ₂)	106.15	116.60	127.96
	97.30	106.88	117.30

注:由于国家统计局尚未发布 2011 年的不变价 GDP,因此此处基于 2010 年的不变价 GDP 计算(2005 年价).2010 年的不变价 GDP 基于《中国统计年鉴 2011》^[11]表 2-3 和表 2-4 计算.GDP2010=315608(亿元,2005 年价)

3.2 发电行业排放比例

通过上文计算可得若实现发电行业现有节能减排技术相关规划后,2020 年预测产生的 CO₂ 排放量;以及根据我国碳强度减排承诺下的 2020 年总的 CO₂ 排放量.

表 11 规划相符对发电行业排放比例要求

Table 11 Emission ratio of power sector required by consistency between technology plans and reduction target on CO₂

项目	减速发展	基准	高速发展
GDP 年均增长率(%)	6.0	7.0	8.0
2020 年发电行业预测总碳排放量(亿 tCO ₂)	35.32	39.15	43.20
	106.15	116.60	127.96
2020 年目标总排放量(亿 tCO ₂)	97.30	106.88	117.30
规划相符情况下发电行业排放贡献比例(%)	33.27	33.58	33.76
	36.30	36.63	36.82

国际能源署(IEA)的研究表明,电力、交通和制造行业是全球 CO₂ 排放的主要来源,其中发电行业排放的 CO₂ 约占总排放量的 40%.^[27]计军平等^[4]指出从生产角度看,电力、热力的生产和供应业的直接排放量最大,占 2007 年排放总量的 36.24%.张雯^[28]指出我国发电行业碳排放占总排放比例在 35%~40%.

4 政策建议

根据我国现有规划,对应于不同的 GDP 增长速度,发电行业都能够完成国家承诺碳强度减排的分解目标.在 GDP 增速过慢或过快时,发电行业减排贡献尤其显著.

由于 GDP 增长过慢不能满足我国发展的需求,而增长过快既不符合实际,而且根据童抗抗等^[29]的研究,应考虑由此带来的排放总量增加.因此我国基于发电行业分解的 CO₂ 减排强度目标在 40%到 45%之间可行.

根据本研究,我国现有发电行业的减排规划能够完成国家 GDP 排放强度减排的分解目标.要达成 GDP 减排强度目标,并不需要对于 GDP 增速采取专门的控制.

5 结论

5.1 根据计算结果可知,若 2020 年发电行业 CO₂ 排放量仍能保持 35%~40%的占比,则发电行业的排放能够达到国家碳排放强度减排分解目标要求,可以通过发电行业减排预测国家碳强度减排目标的可行性.

5.2 保持发电行业高于 33%的某一排放比例不变,无论我国 GDP 年均增速多少,发电行业的预测 CO₂ 排放量都能满足国家 GDP 排放强度下降 40%的分解目标;当 GDP 增长过快或过慢时,甚至能够满足 GDP 排放强度下降 45%的要求.该结果的可能原因是由于当 GDP 发展过慢时,发电行业新的减排技术和新能源的使用发挥了主要作用,减排效果明显,相对应的总 GDP 排放强度也较小;当 GDP 发展过快时,由于 GDP 总量大,相对于任意排放强度值,允许排放的额度都较多,而由于产业结构等的调整,电力生产增速慢于 GDP 增

速,所以达标也较为容易。

参考文献:

- [1] 刘小敏,付加铎.基于 CGE 模型的 2020 年中国碳排放强度目标分析 [J]. 资源科学, 2011,33(4):634-639.
- [2] 张友国.经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响 [J]. 经济研究, 2010,04:120-133.
- [3] 李 健,周 慧.中国碳排放强度与产业结构的关联分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012,22(1):7-14.
- [4] 计军平,马晓明.中国温室气体排放增长的结构分解分析 [J]. 中国环境科学, 2011,31(12):2076-2082.
- [5] 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories [S]. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- [6] 2011 中国区域电网基准线排放因子 [R]. 北京:国家发改委气候司, 2011.
- [7] 吴敬儒,陈剑波.我国电力工业发展规划问题 [J]. 中国电力, 2005,38(9):11-14
- [8] 全国电力工业统计快报(2011 年) [R]. 北京:中国电力企业联合会.
- [9] 2050 中国能源和碳排放研究课题组编著.2050 中国能源和碳排放报告 [R]. 北京:科学出版社, 2009.
- [10] 2008~2011 年中国能源统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社.
- [11] 2004~2011 年中国统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社.
- [12] 2010 年电力统计年报数据一览表 [R]. 北京:中国电力企业联合会.
- [13] 清华大学气候政策研究中心,齐晔主编,中国低碳发展报告 (2011-2012):回顾“十一五”展望“十二五”[M]:北京:社会科学文献出版社, 2011.
- [14] IEA. CO₂ Emissions from fuel combustion [R]. 2011.
- [15] 徐 彤,王新雷.促进 IGCC 发电技术在我国发展的建议 [J]. 中国能源, 2010,32(9):25-27.
- [16] 徐 强,曹 江,周一工,等.整体煤气化联合循环(IGCC)特点综述及产业化前景分析 [J]. 锅炉技术, 2006,37(6):1-9.
- [17] 姜成洋.超大容量超超临界燃煤发电机组的现状与发展趋势 [J]. 锅炉制造, 2006,03:46-49.
- [18] 刘堂礼.超临界和超超临界技术及其发展 [J]. 广东电力, 2007,20(1):19-22.
- [19] 张建中.我国超(超)临界发电机组实际投运水平评述 [J]. 电力建设, 2009,30(4):1-9.
- [20] 吕玉坤,豆中州,赵 锴.整体煤气化联合循环(IGCC)发电技术发展与前景 [J]. 应用能源技术, 2010,10:36-39.
- [21] 电力工业统计资料汇编(2010 年) [M]. 北京:中国电力企业联合会, 2011.
- [22] 王 伟,郭炜煜主编.低碳时代的能源发展政策研究 [M]. 北京:中国经济出版社, 2011:19.
- [23] 2005~2011 年中国电力年鉴 [M]. 北京:中国电力出版社.
- [24] 安祥华,姜 昀.我国火电行业 CO₂ 排放现状及控制建议 [J]. 中国煤炭, 2011,37(1):108-110.
- [25] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要 [R]. 北京:人民出版社, 2011.
- [26] 美国橡树岭国家实验室 CO₂ 信息分析中心(CDIAC).各国 CO₂ 排放总量 [EB/OL]. [2011-06-10] <http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/emissions/prc.dat>.
- [27] IEA 网站. CO₂ Emissions from Fuel Combustion [EB/OL]. [2012-03-05].<http://www.iea.org/co2highlights/CO2highlights.xls>.
- [28] 张 雯.中国发电行业温室气体减排潜力与成本分析 [D]. 北京:北京大学, 2011.
- [29] 童抗抗,马克明.中国的能源消耗与产业产值的相关性研究 [J]. 中国环境科学, 2011,31(7):1212-1218.

作者简介: 廖夏伟(1989-),男,四川宜宾人,北京大学环境科学与工程学院硕士研究生,研究方向为环境规划与管理。

关于《中国环境科学》网上投稿的通知

《中国环境科学》编辑部为提高稿件处理的网络化水平和采编工作的效率,及时让作者了解稿件的处理情况,自 2008 年 3 月 1 日起已开通网上投稿查稿系统,请登陆网址: <http://www.zghjks.com.cn> 点击“作者在线投稿”进行注册后再按要求投稿,点击“作者在线查稿”进行查询.本刊不再接受纸件投稿和电子版稿件的 E-mail 投稿.特此通知.

《中国环境科学》编辑部