

煤电链边际碳排放的演化情景估算

夏德建

(重庆文理学院 经济管理学院, 重庆 402160)

摘要:煤电污染历来深受关注。对于用电终端单位电能需求对煤电厂的边际发电量和碳排放量的影响,通过设定煤电技术、电网线损率、厂用电率等因素在不同碳约束条件下的演化情景,估算用电终端引致的煤电链边际碳排放数值的演化趋势,对比发现采用低碳情景或强化低碳情景下的煤电管制技术是电力低碳化发展的必然选择。

关键词:碳排放;煤电链;用电侧;发电侧;边际

中图分类号:X773 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2012)09-0058-05

时下,低碳环保已逐渐成为一种时尚的生产和生活方式,全球各领域刮起了一股低碳经济的旋风,尤以高消耗高排放的能源产业为先锋。低碳,意味着较低的温室气体(CO_2 为主)排放。然而,在各大行业中,电力行业是 CO_2 排放最多的,其中火电碳排放就占据了全人类活动 CO_2 排放的25%^[1-2]。低碳电力是未来电力行业的发展大势。中国有超过50%的煤用于火力发电^[3],虽然煤转化的高污染是老少妇孺皆知的事实,但电能从供到需的时空链条复杂多变,电力的低碳化不得不从细微处抓起。随着人们环保意识的提高,基于系统优化的角度,长期以来被视为“零污染”的水电、风电等发电形式也不再清洁。由于存在能效损失,电厂发1度电通过电网、配(变)电站及进户线到达我们用电侧的负载时已不足1度,损失的数额通过电能传输链条就会影响到发电厂的最终出力和污染物排放。在不同的碳管制情景下,从电能产业链角度,对电能在生产、运输及使用等环节进行能耗及影响因子分析,进而量化用电终端单位电能需求对出力端电厂的响应发电量和污染物排放值,为宏观上致力于电力的低碳化发展提供应对之策。

1 情景分析方法的应用概述

情景是一种对未来可能出现的状态描述。情景分析就是对不同的政策、规划、技术、措施对未来的发展趋势产生的影响和效果进行定性与定量相结合的系统分析,它被广泛应用于经济、能源、环境、军事等领域。文章设置了基准情景(business as usual, BAU)、低碳情景(low carbon scenario, LC)及强化低

碳情景(enhanced low carbon scenario, ELC)等不同碳约束场景,利用不同发电技术、电网损耗率、电厂用电率等因素对发电中心的出力影响及其情景设定,算得了电力消费终端单位电能需求引致的煤电边际发电量及归一化 CO_2 当量排放^[4](以下简称“碳排放”,记为 g/kWh)的演化数据,为我们定量直观地掌握用电端使用1度电最终给煤电厂带来的实发边际电量和碳污染排放量,有针对性的提出煤电减排措施提供数据参考。

2 煤电链碳排放系数现状及演化情景的设定

2.1 煤电链碳排放系数现状

煤电碳排放系数(指电厂供应电网1度电,包括发电厂发电在内的整个发电侧耗能带来的归一化碳当量排放)很大,约为 975.16g/kWh ,主要为 CO_2 排放,发电环节的碳排放最为显著(接近整个煤电链碳排放的8/9),表1是对当前我国煤电链碳排放系数的估算。

2.2 煤电新兴技术的应用前景

燃煤发电过程为煤电链的主要碳排放环节,而我国煤电厂长期以来的高供发电(标准)煤耗对煤电产业的碳排放起到了决定性影响,尤其是更高的供电煤耗是煤电链污染的主要考察对象。我国已相继淘汰了大量老小火电机组,6000kW及以上电厂的供发电煤耗由改革开放前的 $400\sim 500\text{g/kWh}$ 降至了目前的 $330\sim 350\text{g/kWh}$ (见图1),显著减少了煤电排放。但是,我国供发电煤耗与发达国家相比仍差距明显,普遍高出 $10\sim 30\text{g/kWh}$,法、日、德等国更是已降

收稿日期:2012-07-06

作者简介:夏德建(1984—),男,重庆永川人,重庆文理学院经济管理学院助教,硕士研究生,从事电力与环境、供应链管理等方面的研究。

至 300g/kWh 上下水平^[6]。

表 1 煤电链碳排放系数^[5] g/kWh

环 节	原煤生产			电煤运输		燃煤发电	
温室气体类型	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	N ₂ O	CO ₂	N ₂ O
排放数值	51.64	2.597 1	0.002 8	6.94	0.000 037	840.19	0.053 4
归一化碳当量排放	51.64	59.732 7	0.844 0	6.94	0.011 0	840.19	15.792
归一化碳当量排放	112.22			6.95		855.98	
归一化碳当量排放	975.16						

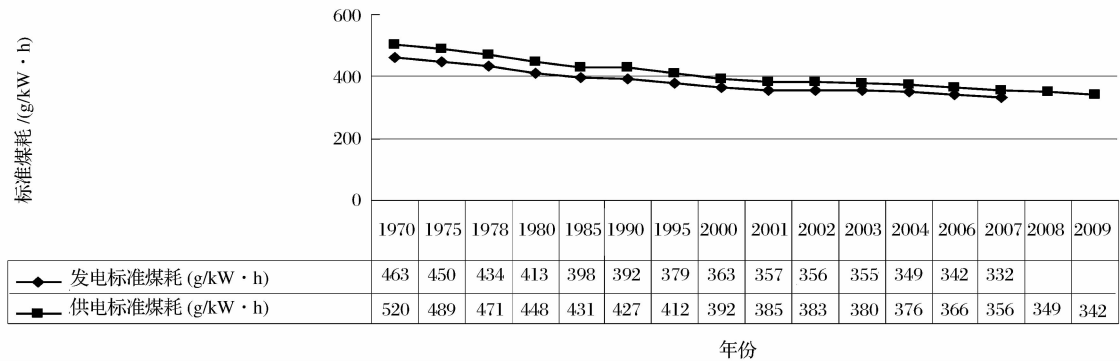


图 1 供发电煤耗^[3] g/kWh

国际上普遍倾向采用超(超)临界机组(Super Critical Unit (SC) & Ultra-Super Critical Unit (USC))和煤气化联合循环(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)2 种发电技术提高燃煤发电效率来降低碳排放。目前,我国已基本实现了超(超)临界机组的国产化。IGCC 利用已经成熟的煤气化技术、集成蒸汽燃气联合循环技术实现高效清洁发电,可比同容量常规电站每单位电力减少 10%~15%的碳排放量。未来 IGCC 电站将朝着实现微碳排放或零排放方向发展,但经济性还有待提升^[7]。

此外,碳捕集和封存技术(Carbon Capture and Sequestration, CCS)也将在未来电力行业碳减排上大有作为,其将捕集到的 CO₂,经输送后长期埋入地下,可使排量减少 90%。CCS 与 IGCC 发电技术联合使用,对火电行业的碳减排更为明显(见表 2)。目前 CCS 还处在研发、示范前期,成本较高,安全测试等工作也待深入(见表 3)。

表 2 IGCC 结合 CCS 的碳减排能力 kg/kWh

电厂绩效	IGCC
捕获 CO ₂	0.67~0.94
净捕获 CO ₂	0.59~0.73

数据来源:IPCC,2005.

表 3 2010—2050 年各情景下的 CCS 应用前景^[8]

项目	BAU	LC	ELC
发电技术	超(超)临界为主	2030 年以超临界为主,之后开始以 IGCC 为主	2020 年开始以 IGCC 为主
CCS	不考虑	2020 年开始示范项目,之后运行低成本 CCS,2050 年开始与所有新建 IGCC 电站匹配	结合 IGCC 电站全部使用 CCS,2030 年之后普及

2.3 煤电链碳排放系数演化情景的设定

通过历年供电煤耗可时间序列回归得出我国 2010—2050 年的 BAU 供电煤耗(见表 4)。根据煤电和碳减排技术展望,假设中长期我国煤炭生产、运输环节碳排放不变,重点计量燃煤发电环节供电煤耗带来的发电碳排放及煤电链碳排放。LC 和 ELC 碳排放假定:超(超)临界发电为主、CCS 示范运行的情景,采用 BAU 数据;IGCC 发电为主的情景,在 BAU 基础上减去此排放值的 12.5%(取 10%~15%中值);IGCC 与 CCS 结合的情景,在 BAU 基础上减去 CCS 吸纳的净碳捕获中值 0.66kg/kWh。

表 4 2010—2050 年 BAU 供电煤耗 g/kWh

年份	2010	2020	2030	2040	2050
供电煤耗	338	297	256	214	173

根据吨标煤产生 2.456 7t CO₂(发改委能源研究所推荐值)、0.015 6t NO_x(节能手册 2006)及其 1%的 N₂O^[9],可算得各情景煤电链发电环节的碳排放。结合煤炭生产及运输环节的碳排放(见表一),就可得到 2010—2050 年煤电链的碳排放系数的演化情景(见表 5)。

表 5 2010—2050 年煤电链碳排放系数的情景设定 g/kWh

年份	2010	2020	2030	2040	2050
BAU	超临界和超超临界为主,不考虑 CCS				
碳排放	965.22	862.43	759.93	654.67	552.17
LC	超临界和超超临界为主, CCS 示范运行			IGCC 为主	IGCC 与 CCS 结合
碳排放	965.22	862.43	759.93	572.84	0
ELC	超临界和超超临界为主	IGCC 为主	IGCC 与 CCS 结合	IGCC 电站全部使用 CCS	
碳排放	965.22	754.63	99.93	0	0

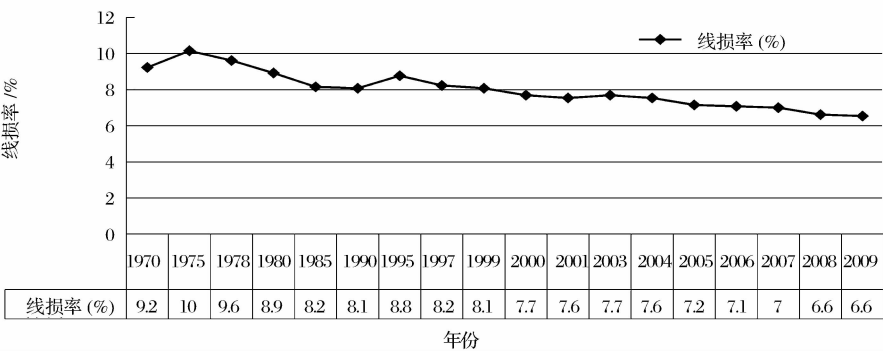


图 2 电网线损率^[3] %

3.2.2 降损技术的发展前景

我国煤炭资源集中蕴藏于西部、北部地区,坑口电站的电能必须通过电网进行远距离、大规模输送至东中部的用电大户。但是,我国电网输电的电压等级总体不高,造成了较高的电能线损率。为了提高远距离传输效率,我国已采用 500 千伏超高压甚至 1 000kV 特高压输电线路进行电能传输。目前,我国总投资约 58 亿元自主研发、设计和建设的首条“晋东南—南阳—荆门”1 000 千伏特高压交流试验示范工程已正式运行。按照国家电网公司的规划,到 2020 年,我国将基本建成特高压电网和发展坚强智能电网。

3 煤电边际发电量的演化情景估算

3.1 边际发电量定义

边际发电量是指用电终端每使用单位电能通过电能链传递引致的发电中心的电力生产量,可表为: $M=1/[(1-T) * (1-L) * (1-P)]$,M 表示边际发电量,T 表示用电终端的电能转换损失率,L 表示线损率,P 表示厂用电率。由于用电终端的电能转换率因用电设备、用电方式各异而不同,故取 1 处理,意即 T 为 0。

3.2 线损率现状及演化情景估算

3.2.1 线损率现状

电网线损率,又名网损,它是输配电过程中的一个主要技术经济指标,反映了电力公司的网架结构水平及运营管理水平,包括输电线、变压器、高压开关及其他电气设备上损失的电能。近年来,我国致力于电网技术改造、电网管理调度,网损控制取得了较好成果。电网线损率整体呈现下降走势,于 2000 年首次跌破 8%的高位,并保持在目前 6.6%左右水平(见图 2)。但是,与世界前列相比,我国的线损率仍处较高水平,比美、韩、日、德等发达国家高出 1~3 个百分点。

3.2.3 线损率演化情景的设定

随着我国输电电压等级的提高,线损的变动将持续走低。将我国历年(1970—2009)线损率按时间序列回归得到 2010—2050 年的线损率(见表 6)。结合我国电网建设规划和世界电网发展潮流,假设高压输电为当前情景,选取 500kV 和 1 000kV 超(特)高压输电为我国未来的电网输电技术主力(智能电网还处于探索阶段,只将其迅速发展情景下的线损率尾数舍去作为其对降损的贡献)。假定其它线路(如 10kV、400V 及以下低压)配变损耗、站用电及管理损耗不变,根据输电技术运行情况对回归线损率作进一步调整。调整算式: $La= Lr * (1-N * Nr)$,La、Lr、N、

Nr 分别表示调整线损率、时间序列回归线损率、新输电技术占比上升率及新输电技术降损率。假设普及、基本普及、示范运行比例分别为 100％、50％、0。据

线损理论,1 000kV 特高压相对 500kV 超高压输电的单位长度功率降损率取 1/16。

表 6 2010—2050 年输电技术及线损率的情景设定 %

年份	2010	2020	2030	2040	2050
回归线损率	6.53	5.86	5.13	4.41	3.68
输电技术情景	普及超高压,示范运行特高压	特高压基本普及,智能电网在配变侧示范运行	特高压普及,智能电网在配变侧基本普及	智能输电网示范运行	智能输电网发展迅速
调整线损率	6.53	5.68	4.80	4.41	3.60

3.3 煤电厂用电率现状及演化情景估算

3.3.1 煤电厂用电率现状

厂(综合)用电率也是电厂的重要技术经济指标之一。由于火电厂有球磨机、鼓风机、除尘设备、控制设备等大功率设备,其厂用电率较其他发电形式要

高。近年来,我国电厂向大装机容量发展,同时设计、管理水平也有所提高,厂综合用电率、火电厂用电率趋于走低,分别降到了 5.95％、6.84％的水平(见图 3),但与世界先进水平的差距仍然明显,如日本 2002 年的平均厂用电率只有 3.45％^[7]。

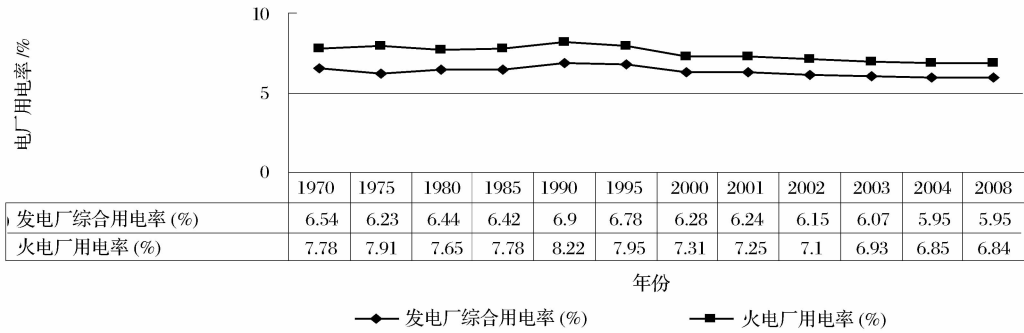


图 3 厂用电率^[3] %

3.3.2 煤电厂用电率演化情景的设定

由我国历年(1970—2008)火电厂用电率,按时间序列回归,得出中长期煤电厂用电率的演化情景(见表 7)。

表 7 2010—2050 年的煤电厂用电率的情景设定 %

年份	2010	2020	2030	2040	2050
煤电厂用电率	5.94	5.83	5.70	5.57	5.44

3.4 煤电边际发电量的演化情景估算

由 $M=1/[(1-T) \times (1-L) \times (1-P)]$,可算出用电终端消费 1 度电引致的煤电边际发电量的演化情景(见表 8)。

表 8 2010—2050 年煤电边际发电量 kWh

年份	2010	2020	2030	2040	2050
线损率	6.53	5.68	4.8	4.41	3.6
厂用电率	5.94	5.83	5.7	5.57	5.44
煤电边际发电量	1.137 4	1.125 9	1.113 9	1.107 8	1.097 0

4 煤电链边际碳排放的演化情景估算

由煤电链碳排放系数及边际发电量的演化情景,易得我国电力终端消费一度电引致的煤电链边际碳排放的演化情景(见表 9)。煤电链边际碳排放的算式可表为: $Em=Eu \times M$ 。其中, Em 为煤电链边际碳排放, Eu 为煤电链碳排放系数, M 为煤电边际发电量。

数据显示,电力终端单位用能引致的 BAU 碳排放最多,LC 次之,ELC 最低。由于 BAU 不采取重大的碳管制对策,2010 年 BAU 煤电碳排放高达 1 000g 以上。而 LC 和 ELC 中后期的煤电碳排放水平出现了大幅下降甚至为 0,主要源于燃煤发电、输电新技术及 CCS 等碳吸收技术的应用。

5 总结

由于我国煤电技术正处于升级阶段,供电煤耗仍有很大的下降空间,厂用电率和线损率也不及世界同行先进,导致电力终端用电引致的煤电侧边际发电量就很高,相应的煤电链边际碳排放也“水涨船高”。通

过对整个煤电链碳排放影响因素的分析及不同碳约束情景下影响因子的情景设定与估算,对比清晰发现:相对于只注重经济发展、而不着力于环境保护的基准情景而言,采用低碳情景或强化低碳情景中的节能减排技术能有效减轻电力行业的碳排放污染。

表 9 2010—2050 年煤电链边际碳排放的演化情景 g/kWh

年份		2010	2020	2030	2040	2050
BAU	煤电链碳排放系数	965.22	862.43	759.93	654.67	552.17
	煤电边际发电量	1.137 4	1.125 9	1.113 9	1.107 8	1.097 0
	煤电链边际碳排放	1 097.84	971.01	846.49	725.24	605.73
LC	煤电链碳排放系数	965.22	862.43	759.93	572.84	0
	煤电边际发电量	1.137 4	1.125 9	1.113 9	1.107 8	1.097 0
	煤电链边际碳排放	1 097.84	971.01	846.49	634.59	0
ELC	煤电链碳排放系数	965.22	754.63	99.93	0	0
	煤电边际发电量	1.137 4	1.125 9	1.113 9	1.107 8	1.097 0
	煤电链边际碳排放	1 097.84	849.64	111.31	0	0

尽管短期内我国煤电为主的电源结构难以重大改变,电力行业的高碳排放仍将有所延续,但是,新兴燃煤发电及电能传输技术的蓬勃发展,又让我们看到了未来煤电产业走向低碳化发展之路的曝光。新形势下计及我国煤电环境管控的电能管理,除了继续降低煤电比重,优化电源结构之外,还应大力升级燃煤发电技术、减少厂自用电、降低电网线损比率等举措。同时,还应强化电力需求侧的用电管理,减少用电端的电能浪费,做好电能传输链条能源管理的开源与节流,共谋电力行业的低碳化发展。

参考文献

[1] 赵风华. 我国应加快推广二氧化碳封存技术[N]. 北京:科技日报,2010-03-16(1).

[2] 龚国军. 智能电网,低碳时代的重要选择[J]. 北京:中国电力企业管理,2010(2):26-29.
[3] 中电联. 2008 年、2009 年全国电力工业统计快报[R]. 北京:中国电力企业联合会,2008-2009.
[4] IPCC. 第三次评估报告[R]. 日内瓦:政府间气候变化问题小组,2001.
[5] 夏德建,任玉珑,史乐峰. 中国煤电能源链的生命周期碳排放系数计量[J]. 统计研究,2010(8):82-89.
[6] 国家电网公司. 国际能源与电力统计手册[M]. 北京:国家电网公司,2010:244.
[7] 王俊有,李太兴,等. IGCC 环保特性的研究[J]. 南京:燃气轮机技术,2007,20(2):15-17.
[8] 2050 中国能源和碳排放报告课题组. 2050 中国能源和碳排放报告[M]. 北京:科学出版社,2009.
[9] 何积惠. 新电厂不减排将无处容身[N]. 上海:文汇报,2009-06-29(12).

Estimation on Marginal Carbon Emissions of Coal Energy Chain in Evolution Scenario

XIA De-jian

(School of Economics and Administration,Chongqing University of Arts and Sciences,Chongqing 402160,China)

Abstract: Electricity pollution is given close attention. For the marginal power generated and carbon emissions caused impact on unit electricity of the power consumption side, through setting up evolution scenario of power generation technology, power loss rate, power plant consumption rate and so on and forth in different carbon control scenarios, it calculates the trend of marginal carbon evolutionary emissions of coal energy chain that caused by unit power consumption. Comparing marginal carbon emissions results of different carbon constrained scenarios, it founds that taking use of electric control technology in low carbon scenario or enhanced low carbon scenario is inevitable choice to low carbon development of coal power industry.

Key words: carbon emissions;coal energy chain;electricity consumption side;electricity generation side;marginal