

燃煤火电厂减污降碳协同增效评价的研究

孔明

(中国华电科工集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 随着《减污降碳协同增效实施方案》和双碳战略目标的发布, 生态环境多目标治理要求进一步凸显, 协同推进减污降碳已成为我国现阶段经济社会发展全面绿色转型的必然选择。虽然目前我国已建成了全球最大的清洁燃煤发电体系, 但 SO_3 等燃煤发电非常规污染物的排放未得到有效控制, 燃煤发电排放的大量污染物依然是空气污染的主要来源之一。利用生命周期评价方法建立了一种统一的燃煤电厂减污降碳协同增效评价指标, 具有较大的推广应用价值。

关键词: 燃煤火电厂; 减污; 降碳; 协同; 增效; 评价

中图分类号: TM621

DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2023.24.051

Study on Collaborative Efficiency Evaluation of Pollution Reduction and Carbon Reduction in Coal-fired Power Plants

KONG Ming

(China Huadian Engineering Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: With the release of "Implementation Plan for the Synergistic Efficiency of Pollution Reduction and carbon Reduction" and the "two-carbon" strategic goal, the requirement of multi-objective governance of ecological environment has been further highlighted, and coordinated promotion of carbon reduction and pollution reduction has become an inevitable choice for comprehensive green transformation of China's economic and social development at the present stage. Although China has built the world's largest clean coal-fired power generation system, the emission of unconventional pollutants such as SO_3 in coal-fired power generation has not been effectively controlled, and the large amount of pollutants emitted by coal-fired power generation still compose the main sources of air pollution. In this paper, by using life cycle evaluation method, a unified evaluation index for efficiency of synergistic pollution reduction and carbon reduction of coal-fired power plants is established, which has a certain potential of popularization and application.

Key words: coal-fired power plants; pollution reduction; carbon reduction; synergy; efficiency improvement; evaluation

0 引言

鉴于我国富煤乏油少气的能源资源状况, 为保证能源安全和经济发展, 燃煤发电在未来一段时间仍将占据主导地位。如何实现燃煤火电厂减污降碳协同增效是实现社会减污降碳的重点, 但燃煤火电厂的减污降碳存在矛盾统一的关系, 因此亟需开发一种统一的减污降碳协同增效评价指标, 这是大势所趋, 也具有广阔的市场应用前景。

1 生命周期评价 (LCA) 方法

根据 ISO 14040 和 GB/T 24040, 生命周期评价是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价, 主要包括目标和范围的确定、清单分析、影响评价、结果解释四个阶段^[1]。其中, 生命周期影响评价

是生命周期评价的核心部分, 是根据清单分析阶段获取的数据进行量化评价, 以便确定产品系统对外部环境的潜在影响程度, 主要包括分类、特征化、标准化、加权等步骤^[2]。

生命周期影响评价方法根据评价目的的差异分为中点法 (Mid-point) 和终点法 (End-point) 两类^[3]。中点法也称为面向问题的方法, 重点关注产品全生命周期排放物质对环境本身造成的潜在影响, 其环境影响机理主要涉及排放到空气、水、土壤等介质中的物质在环境中的迁移转化规律。中点法将清单分析的结果分别归入气候变化、酸化、富营养化等环境影响类型中, 以污染物当量来表征环境影响 (如以 CO_2 当量来表征全球变暖影响), 计算过程不确定性低, 结果科学性较高。主要的中点法有 EDIP^[4]、CML2001^[4]、EPS^[5]、LUCAS^[6]、TRACI^[7] 等。终点法是以损害评估为主的方法, 更多地关注受体 (如人体健康、生态系统、资源等) 暴露于排放物质后所产生的综合环境损害, 是进入 21 世纪以来生命周期影响评价方法研究的热点, 终点法将清单分析的结果纳入人体健康、生态系统、资源等类别中并对损害程度进行建模评估。由于该

收稿日期: 2023-05-07

作者简介: 孔明 (1991-), 硕士研究生, 从事火力发电厂及新能源电力技术支持服务与管理工

方法开展研究的时间较短,而且涉及环境科学、环境气象学、毒理学、流行病学等多学科交叉研究,因此评估结果的不确定性略高于中点法,但该方法未来影响评价方法发展的趋势。当前主要的终点法有 Eco-indicator99^[8]、IMPACT2002+^[9]、ReCiPe^[10]等。

目前,我国使用最多的本地化生命周期影响评价方法主要是杨建新等建立的中国产品生命周期影响评价方法(LCIA-Y)和王洪涛等建立的节能减排综合评价方法(ECER)。杨建新^[11]等在2001年以EDIP模型方法为基础,建立了包括环境影响类别选择、数据标准化、加权评估及计算环境影响负荷四个步骤的生命周期影响评价方法。该方法标准化采用了1990年我国人均环境基准值,加权评估采用了2000年我国政府污染物削减目标确定权重,并通过环境影响负荷(EIL)指标来表征产品在整个生命周期中对环境压力的大小。王洪涛^[12]等在“十二五”时期根据国家节能减排政策目标,建立了一种面向政策目标的节能减排综合评价指标。该综合指标包括了“十二五”中规定的主要约束性指标,即初级能耗、工业用水量、CO₂排放量、SO₂排放量、COD排放量、NO_x排放量、氨氮排放量七项指标,为了具有可比性,将政策目标统一换算为“十二五”期间GDP的减少率,并以2010年相应指标的消耗或排放总量作为全国基准参考值。

2 研究对象

某在运2×660 MW超临界机组燃煤电厂,锅炉选用超临界参数、一次中间再热、前后墙对冲燃烧、平衡通风、固态排渣、全钢架悬吊结构、露天布置的π型直流炉。锅炉最大连续蒸发量(BMCR)为2112 t/h,额定蒸汽参数为25.4 MPa/571 °C/569 °C。

汽轮机选用超临界参数、一次中间再热、单轴、四缸四排汽、双背压、凝汽式汽轮机,汽轮机额定功率660 MW,额定进汽流量约为1958.8 t/h(RO(THA)工况),额定进汽参数为24.2 MPa/566 °C/566 °C,额定背压为7 kPa。

机组采用海水直流冷却工艺,海水脱硫、SCR脱硝装置和静电除尘装置,安装废气和废水在线监测装置。

3 数据来源

数据来源包括生产日报、废气在线监测系统、废水排污费单据,其中生产日报数据包括发电量、上网电量、外购电量、运行小时数、耗原煤量、液氨消耗量、耗燃油量;废气在线监测系统数据包括NO_x、SO₂、CO、PM和烟气流量,废水主要涉及COD和SS。

4 LCA方法

4.1 系统边界

本文主要涉及发电阶段的生命周期评价,包括资源消

耗、能量使用和环境排放。系统输入包括原材料和能量,系统输出包括废水、废气和固废。

4.2 功能单位

选取1 MWh供电量作为功能单位。

4.3 生命周期清单

选取2021年10~12月数据作为统计数据,相关数据见表1。

表1 供电量为1 MWh的生命周期清单

排放物/资源	单位	数值	排放物/资源	单位	数值
煤	kg	441.22	油	kg	0.26
水	kg	337.82	电	kWh	5.55
CO ₂	kg	1234.52	CO	kg	2.45
SO ₂	kg	0.53	NO _x	kg	0.54
TSP	kg	0.10	COD	kg	1.13
SS	kg	0.93	灰渣	kg	70.99

4.4 影响评价

(1)分类:采用中间点法进行分类,主要影响类别和等效因子见表2。

表2 排放或资源类别及等效因子

中间点法影响类别	排放/资源	主要标准物质	单位	等效系数
资源消耗	钢			3.82
	木材			0.04
	煤			0.03
	石灰石	Fe	kgFe/kg材料	0.82
	汽油			1.47
	柴油			1.46
	水			0.01
全球变暖	电			0.10
	CO ₂			1
	CO	CO ₂	kgCO ₂ /kg排放	2
	CH ₄			25
臭氧层破坏	N ₂ O			320
	CO	C ₂ H ₆	kgC ₂ H ₆ /kg排放	0.03
酸化	CH ₄			0.01
	SO ₂	SO ₂	kgSO ₂ /kg排放	1
健康损害	NO _x			0.7
	CO			1
	SO ₂	CO	kgCO/kg排放	100
富营养化	NO _x			65
	TSP	TSP	kgTSP/kg排放	1
	COD			0.23
	BOD			1.79
固废	SS	NO ₃ ⁻	kgNO ₃ ⁻ /kg排放	0.85
	N			4.43
	P			32
生活垃圾分类	煤矸石			1
	灰渣			1
	泥炭	泥炭	kg泥炭/kg排放	1
	石膏			1
	生活垃圾			1

(2)特征化:

$$EI(n) = \sum EI(n)_m = \sum [C(n)_m \times EF(n)_m] \quad (1)$$

式中, m 为第 m 种排放物; n 为第 n 种中间点影响分类; $EI(n)$ 为第 n 种中间点影响分类的环境影响潜值; $EI(n)_m$ 为第 m 种排放物对第 n 种中间点影响分类的贡献; $C(n)_m$ 为第 n 种中间点影响分类第 m 种排放物的量; $EF(n)_m$ 为等效因子。

(3) 量化:

$$SI(n) = EI(n) \times \frac{1}{U \times R(n)} \quad (2)$$

式中, $SI(n)$ 为标准环境影响潜值; U 为功能单位的生命周期时间; $R(n)$ 为标准基准值。

$$WI(n) = W(n) \times SI(n) \quad (3)$$

式中, $WI(n)$ 为权重影响潜值; $W(n)$ 为权重因子。

相关计算评价结果见表 3, 环境影响总潜值为 0.0502143, 其中全球变暖影响最大, 其次是臭氧层破坏和固废。

表 3 评价结果

分类	影响潜值 / kg/(年)	基准值 / kg/(年)	基准环境 影响潜值	比重	比重潜值	所占 比重
资源消耗	17.5494	13324	0.001317127	0.38	0.000500508	1.00
全球变暖	1239.42	8700	0.142462069	0.2	0.028492414	56.74
臭氧层破坏	0.0735	0.65	0.113076923	0.085	0.009611538	19.14
酸化	0.908	36	0.025222222	0.036	0.000908	1.81
健康损害	90.55	9100	0.009950549	0.085	0.000845797	1.68
烟尘	0.1	18	0.005555556	0.054	0.0003	0.60
富营养化	1.0504	62	0.016941935	0.13	0.002202452	4.39
固废	70.99	251	0.282828685	0.026	0.007353546	14.64

5 碳排放管理系统

鉴于燃煤电厂对温室气体的重大影响及碳交易市场的逐渐推广, 基于 Python 开发了一种燃煤电厂碳排放管理软件, 包括登录界面、主界面、数据管理功能 (煤质元素分析、煤质工业分析、产热量、生产信息)、数据查询功能 (日度数据、月度数据)、数据计算功能。相关界面如图 1~3 所示, 输入相关数据, 可计算碳配额量和碳排放量, 并输出数值和相应图表, 可直观查看当月数据、当前累计数据、全年数据, 为相应评估和决策提供依据。



图 1 计算界面

6 结语

本文利用生命周期评价方法建立了一种统一的燃煤火

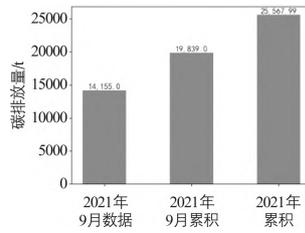


图 2 排放量计算结果

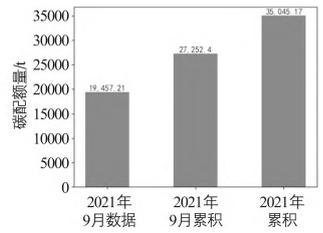


图 3 配额量计算结果

电厂发电过程的 LCA 模型, 其作为减污降碳综合评价指标可为燃煤火电厂优化调整提供指引; 开发了燃煤火电厂碳排放管理软件, 其作为碳排放管理的重要工具可计算碳排放量和配额量, 实现了碳排放管理的程序化、便捷化。

参考文献

- [1] 马雪, 王洪涛. 生命周期评价在国内的研究与应用进展分析 [J]. 化学工程与装备, 2015(2): 164-166.
- [2] GB/T 24040—2008 环境管理生命周期评价原则与框架 [S].
- [3] 谢明辉, 满贺诚, 段华波, 等. 生命周期影响评价方法及本地化研究进展 [J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(6): 2148-2156.
- [4] Dreyer L C, Niemann A L, Hauschild M Z. Comparison of three different LCIA methods; EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99 [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2003, 8(4): 191-200.
- [5] Stem B. A systematic approach to environmental strategies in product development (EPS), Version 2000: general system characteristics, models and data of the default methods [R]. Chalmers University of Technology, Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems, 1999.
- [6] Toffoletto L, Bulle C, Godin J, et al. LUCAS: a new LCIA method used for a Canadian-specific context [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2007, 12(2): 93-102.
- [7] Bare J. TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2.0 [J]. Clean Technologies and Environmental Policy, 2011, 13(5): 687-696.
- [8] Goedkoop M, Spriensma R. The Eco-Indicator 99: a damage oriented method for life cycle impact assessment [J]. Methodology Report, 1999, 11(1): 95.
- [9] Joliet O, Margni M, Charles R, et al. IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2003, 8(6): 324-330.
- [10] Owsianiak M, Laurent A, Bjorn A, et al. IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 and ILCD's recommended practice for characterization modelling in life cycle impact assessment: a case study-based comparison [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2014, 19(5): 1007-1021.
- [11] 杨建新, 王如松, 刘晶茹. 中国产品生命周期影响评价方法研究 [J]. 环境科学学报, 2001, 21(2): 234-237.
- [12] 王洪涛, 侯萍, 翁端. 生命周期节能减排评价方法与指标 [C]. 2013 中国环境科学学会学术年会清华环保优秀论文集, 2013.