

基于焓生命周期法的电站锅炉静电除尘器环境影响评价

潘卫国^{1,3}, 韩 涛^{1,3}, 王文欢^{1,3}, 丁承刚², 郭士义²

(1. 上海电力学院, 上海 200090; 2. 上海电气电站环保工程有限公司, 上海 200090;

3. 上海发电环保工程技术研究中心, 上海 200090)

摘 要: 静电除尘器在我国电厂烟尘减排中广泛应用,运用焓生命周期法(exergy life cycle assessment, ELCA),以某电厂 600 MW 锅炉的静电除尘器为研究对象,对钢铁生产和运输及静电除尘器运行 3 个过程进行清单分析,计算不同过程能源消耗及环境影响。结果表明:每年烟气直接排入大气造成的环境影响潜值为 2 575 894.44 人当量,但静电除尘器可以将其环境影响潜值降低到 4 052.95 人当量。因此,静电除尘器可以有效改善环境影响。

关键词: 静电除尘器; 焓生命周期评价; 环境影响

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 1672-4763(2016)02-0011-06

0 前 言

我国的能源结构以煤炭为主,每年消耗煤炭在 34 亿吨以上,其中一半以上用于火力发电,在煤炭燃烧过程中会排放大量烟尘,这就不可避免的会产生环境污染。烟尘会造成雾霾,严重影响人体健康和交通运输等,如何控制烟尘排放量,成为各届政府关注的焦点^[1-5]。

国家环保部出台了新标准《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223—2011)对烟尘排放浓度有了更严格的规定。一般地区烟尘排放浓度限值^[6]为 30 mg/m³,重点地区为 20 mg/m³,这就对电厂的烟尘排放提出了更高的要求。目前国内除尘以静电除尘器为主,其生产和应用规模均位居世界首位。

全生命周期在产品系统和服务系统的应用越来越为广泛,可以避免传统环境影响评价的不足而得出的片面结论。这种评价方法从原材料开采和加工、产品制造、运输、销售、使用、维护、循环利用及最终处理等方面来分析,即贯穿产品的整个生命周期^[7-8]。此前关于静电除尘器的研究评价多集中在其除尘效率,经济性分析等方面。在本文中将以某电厂 600 MW 机组静电除尘为研究对象对其进行焓生命周期分析,确定其积累焓量,评价静电除尘器系统科

学性。

1 静电除尘器的焓生命周期评价模型

1.1 焓生命周期范围的界定

在生命周期分析过程中考虑除尘器建造原材料的生产、运输、运行等方面对资源消耗及造成的环境影响。在计算过程中忽略非主要过程的资源消耗量和环境影响。

1.2 清单分析

静电除尘器制造过程会消耗大量钢材,铁矿石开采、钢铁冶炼、钢材运输、除尘器运行和维修等方面消耗能源总和及污染物排放包括烟尘、NO_x、SO₂、HC 和 CO 等。构建静电除尘器全生命周期生命清单,通过计算得出静电除尘器全生命周期积累焓量及产生的环境影响。

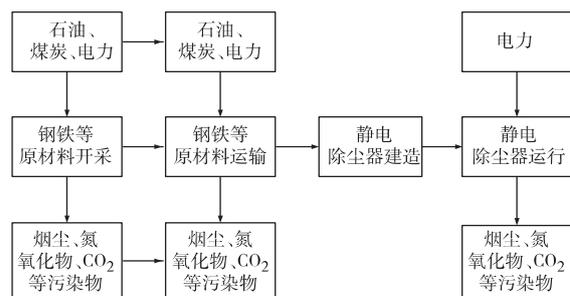


图 1 静电除尘器生命周期目标范围

收稿日期:2015-06-30

基金项目:上海市科委科技攻关项目资助(14DZ1200200)

作者简介:潘卫国(1967-),男,硕士生导师、教授,主要从事锅炉燃烧优化与污染物控制、节能与清洁能源技术、多相流理论与测试。

1.2.1 钢铁生产过程能耗

600 MW 电厂 2 台双室四电场静电除尘器钢材耗量约为 2 500 t。钢铁生产过程资源消耗与污染物排放见表 1。

表 1 吨钢生产过程资源消耗及污染物排放^[9]

项目	基准值
吨钢综合能耗(标煤)/(kg·t ⁻¹)	604
吨钢 SO ₂ 排放/(kg·t ⁻¹)	1.65
吨钢 CO ₂ 排放/(kg·t ⁻¹)	1.47
吨钢 NO _x 排放/(kg·t ⁻¹)	1.14
吨钢天然矿物消耗/(t·t ⁻¹)	2.4
吨钢废水排/(t·t ⁻¹)	4
吨钢烟尘排放/(kg·t ⁻¹)	0.98

从表 1 中可以计算出静电除尘器钢铁生产过程中能源消耗及污染物排放量,可以计算出钢铁生产过程消耗标煤 1 510 t,排放废水 10 000 t, CO₂ 3 675 t, SO₂ 4.13 t, 烟尘 2.45 t, NO_x 2.85 t。假设静电除尘器使用寿命为 25 年,则算出静电除尘器年用钢标煤消耗为 100 t,排放废水 400 t, CO₂ 147 t, SO₂ 0.17 t, 烟尘 0.1 t, NO_x 0.11 t。根据 2011 年 300 MW 机组能效对标数据可知亚临界蒸汽轮机发电机组,生产 10 MW·h 电力,消耗 3.3 t 标煤和 17.3 t 水。根据火力发电大气污染物排放系数可知向大气排放 CO₂ 8.25 t, SO₂ 80.3 kg, NO_x 69 kg 和粉尘 33.5 kg^[10]。

1.2.2 钢铁运输过程能耗

考虑在钢铁冶炼过程中矿物消耗和成品钢铁使用公路及铁路运输。其中公路约占 40%,铁路约为 60%,其运输距离约为 200 km。运输过程由铁路及柴油货车完成,其中铁路运输能耗为 7.4 g/(t·km)^[11],其产生污染物量按电力生产过程计算,其余环节忽略其污染物排放。柴油货车能耗为 0.22 kg/(t·km)^[12],每消耗 1 kg 柴油产生 CO₂ 为 3.188 g, NO_x 9.29 g, CO 1.86 g。

钢铁冶炼需要消耗天然矿物质 6 000 t,成品钢铁运送为 2 500 t,总运输货物约为 8 500 t。根据不同货物运输比例,公路运输货运量为 3 400 t,铁路货运量为 5 100 t。柴油货车载重 20 t,则需要运送 170 车次,运输总里程为 34 000 km,耗费柴油 149.6 t。火车载重为 1 300 t,则需要运送 4 车次,运输总里程为 800 km,消耗标煤为 7.55 t。静电除尘器使用寿命为 25 年,将静电除尘器运输过程污染物总排放量及能源消耗总量除以设

备使用寿命,则可以得到年能源消耗量及污染物排放量。

2 烟生命周期影响评价

2.1 环境影响评价方法

2.1.1 环境影响评价的步骤与目的

全生命周期各阶段对环境造成的影响需要通过定量和定性分析,这一过程称为影响评价。根据国际标准化组织的 ISO14040:2006 的框架,其包括:影响分类、特征化和量化评价 3 个步骤。清单分析结果仅表示不同环境影响因子的相对大小,不能根据其数值的大小直接判定其影响的大小。因为各种排放因子对生态系统和环境变化的贡献值不同。因而需要进行生命周期影响评价,将清单分析的结果转化为容易理解,能够反映环境影响潜值的指标。在影响评价阶段,影响类型的选择、模拟,以及评估等都受到主观因素的影响。因此,需要确保能清楚地说明报告中的假设,透明性对影响评价十分关键^[13]。

2.1.2 环境影响潜值分类

全生命周期整个产品系统释放的所有环境影响的总和被称为产品环境影响潜值。其可以用式(1)表示:

$$Q_{EP}(j) = \sum Q_{EP}(j)_i = \sum [E(j)_i \times Q_{EP}(j)_i] \quad (1)$$

式中: $Q_{EP}(j)$ ——全生命周期释放环境影响因子对第 j 种潜在环境影响类型的贡献;

$Q_{EP}(j)_i$ ——第 i 种物质对第 j 种潜在环境影响类型的贡献值;

$E(j)_i$ ——第 i 种物质排放量;

$Q_{EP}(j)_i$ ——第 i 种物质对第 j 种潜在环境影响的当量因子。

通过不同的物质为参考可以得出不同环境影响类型的当量因子,再通过其来计算不同物质的环境影响潜值。通常用 CO₂ 作为全球变暖影响潜值的参考物质,酸化影响潜值采用 SO₂,富营养化影响潜值采用,光化学臭氧合成影响潜值采用 C₂H₄。

应用生命周期评价方法来进行环境质量分析,其难点在于清单分析时对整个产品生命周期的数据搜集和共享。另外一个难点就是影响评价阶段的指标体系的建立。单一类别有能源消

耗、资源消耗、温室效应、臭氧层破坏、酸雨、光化学烟雾、人体毒性、生态毒性^[14](水生以及陆生生态系统)等。在早期,往往偏重于研究某单一类型。随着研究的深入和环境污染的日益严峻,人们开始综合考虑多种类别的环境影响。由于环境影响评价指标具有复杂多变性和全局性,其可操作性与复杂性存在同增减关系,即指标体系越复杂化,评价的准确性和实用性越高。

2.1.3 环境影响标准化

标准化是将所有环境影响具有相同单位,从而使不同环境影响类型具备可比性。本文以全球人均每年造成的环境影响为基准,标准化后的单位为人当量,得到不同环境影响类型由多少数量人造成影响相同^[15]。

2.2 环境影响评价

2.2.1 环境影响的分类

环境影响主要考虑资源消耗及各种污染气体对环境的影响,包括温室气体排放、富营养、酸雨、光化学臭氧合成、人体毒性和烟尘及灰尘 6 个方面,分别使用 Q_{GWP} 、 Q_{NEP} 、 Q_{ACP} 、 Q_{POP} 、 Q_{HTP} 及 Q_{SAP} 等 6 个指数表征^[16]。

2.2.2 环境影响类型的确认

环境影响类型是各种环境干扰因子综合作用的结果。因此,环境影响类型的划分与保护目标有密切关系。从保护目标出发可以分为资源消耗、人体健康以及生态系统健康等,从发生作用的空间尺度看,有全球性影响、区域性影响和局地性影响。

本研究中煤矿资源耗竭与全球变暖产生全球性影响;水资源消耗、酸化和富营养化产生地区性影响;烟尘及灰尘产生局地性影响;光化学臭氧合成产生区域性影响。

2.2.3 资源耗竭系数

资源耗竭系数反映了产品系统资源消耗占整个自然资源的份额,同时也反映了资源的稀缺性^[17]。可以为企业在产业设计、材料替代方面提供简单、统一的标准,也可诱导消费者进行绿色消费,还可为生态标志产品标准的制定提供可行的方案。资源耗竭系数通过一次能源消耗来表征,本文将能源作为资源进行评价。

上述消耗量只表示资源消耗的绝对量,没有反映其相对大小,因此需采用人均资源消耗量进行标准化。数据的标准化在实践上须选择同一时期的数据,本文选用 2010 年作为参考年。

2010 年中国主要资源消耗的基准^[18]为:煤 1 636 kg/(人·年);油 457 kg/(人·年)。本项目服务周期为 30 年,以平均 1 年为计算目标,得出煤、油等资源消耗潜值。单位为人当量,反映了所耗资源占人均资源消耗量的比重。由于柴油与汽油都由原油炼制,故将其与汽油一起计算,原油的成品油率约 60%。

标准化后的资源消耗仅仅反映各种资源消耗的相对大小,并没有反映该资源的稀缺性。因此需要进一步进行加权分析,计算资源耗竭系数。针对资源消耗,采取资源稀缺性作为确定权重的原则。不可更新资源采用各种资源消耗量与其蕴藏量的相对比例关系(资源可供应期)来表述其稀缺性,资源可供应期通常用来表述。对于不可更新资源消耗的加权表述为:

$$Q_{WR}(j) = Q_{WF}(j) \times Q_{NP}(j) \quad (2)$$

式中: $Q_{WR}(j)$ ——加权后的资源消耗,单位是标准人当量;

$Q_{NP}(j)$ ——标准化后的资源消耗;

$Q_{WF}(j)$ —— j 种资源的可供应期的倒数。

通过加权可以累积资源耗竭潜值,得到资源耗竭系数 Q_{RDI} ,其单位为年,如式(3):

$$Q_{RDI} = \sum Q_{NW}(j) \quad (3)$$

2.3 单位质量烟尘脱除耗煤率

将静电除尘器年生命周期耗费电力能源折算成标煤,根据标煤和石油的烟系数计算出烟总量。将总能源消耗烟量除以静电除尘器年脱除烟尘量即可得出脱除单位质量烟尘烟消耗量,标煤烟系数为^[19]1.06,石油烟系数为 1.07,折算出标煤烟为 31 066.48 MJ/t,石油的烟为 456 943.35 MJ/t。

3 案例分析

研究目标为 1 台 600 MW 亚临界燃煤机组,锅炉为北京巴布科克·威尔科克斯有限公司生产的亚临界中间一次再热自然循环汽包锅炉,锅炉型号为 B&WB—2020/17.5-M 型。锅炉为亚临界压力,一次再热,单炉膛平衡通风,自然循环,单锅筒锅炉。机组原设置 2 台双室四电场干式静电除尘器,设计除尘效率 $\geq 99.5\%$ 。在锅炉负荷为 75%时在静电除尘器在进出口外设置测点,同时检测静电除尘器进出口烟尘浓度。其测点分布见图 2。

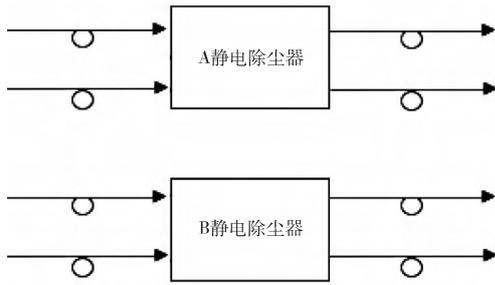


图 2 静电除尘器烟尘监测点示意图

电厂用煤煤质分析见表 2。

表 2 入炉煤质抽样表

项目	数值
$w(S_{i,ar})/\%$	0.39
$w(M_t)/\%$	14.5
$w(M_{ad})$	2.75
$w(A_{ar})/\%$	9.96
$w(V_{ar})/\%$	28.17
$Q_{gr,ar}/(MJ \cdot kg^{-1})$	24.6
$Q_{net,ar}/(MJ \cdot kg^{-1})$	23.51

3.1 电厂运行数据

表 3 锅炉负荷 75% 静电除尘器净出口烟气检测结果

项目	锅炉静电除尘器进出口烟气烟尘浓度检测							
	进口 A1	进口 A2	进口 B1	进口 B2	出口 A1	出口 A2	出口 B1	出口 B2
监测位置								
烟气温度/ $^{\circ}C$	93	93	91	91	92	92	92	92
烟气平均流速/ $(m \cdot s^{-1})$	10.1	10.2	10.1	10.2	8.9	12	11.8	9.7
实测烟气流/ $(m^3 \cdot h^{-1})$	6.12×10^5	6.16×10^5	6.10×10^5	6.15×10^5	5.40×10^5	7.26×10^5	7.12×10^5	5.86×10^5
标态干烟气流/ $(m^3 \cdot h^{-1})$	4.21×10^5	4.23×10^5	4.21×10^5	4.24×10^5	3.66×10^5	4.92×10^5	4.82×10^5	3.98×10^5
实测烟尘浓度/ $(mg \cdot m^{-3})$	6.00×10^3	6.20×10^3	1.31×10^4	7.44×10^3	11.2	5.37	4.96	5.38
烟尘排放速率/ $(kg \cdot h^{-1})$	2.53×10^3	2.62×10^3	5.52×10^3	3.15×10^3	4.10	2.64	2.39	2.14
除尘效率/ $\%$	/	/	/	/	99.87	99.95	99.95	99.95

假设电厂年运行时间为 5 500 h,则可以根据表 3 的静电除尘器进出口烟尘浓度计算出年脱除烟尘质量为 75 948.02 t。在 75% 运行负荷时

静电除尘器的电晕功率为 450 kW/h,静电除尘器全生命周期年资源消耗如表 4 所示。

表 4 静电除尘器年资源消耗

项目	能耗				污染物排放量				
	电耗/ $(MW \cdot h^{-1})$	标煤/t	柴油/t	NO_x/kg	SO_2/kg	烟尘/kg	CO_2/t	废水/t	CO/kg
钢铁生产	0	60.4	0	114	165	98	147	400	0
钢铁运输	0	0.3	5.98	61.82	7.3	3.04	19.8	0	11.13
静电除尘器运行	2 475	0	0	17 077.5	19 874.25	8 291.25	2 041.88	4 281.75	0
合计	2 475	60.7	5.98	17 253.32	20 046.55	8 392.29	2 208.68	4 681.75	11.13

表 5 静电除尘器一次能源消耗

能源	标煤/t	电/ $(MW \cdot h^{-1})$	柴油/t
数量	60.7	2475	5.98
热值/ $(MJ \cdot t^{-1})$	29 308	3 600	42 705
总热值/GJ	1 779	8 910	255.38

表 6 静电除尘器年消耗资源标准化和加权化处理

能源	标准化后的资源消耗/人当量	可供应年限/年 ^[20]	加权后的资源消耗
煤	536.34	170	3.15
石油	21.82	43	0.51
合计	558.16	—	3.66

通过表 4 可以发现静电除尘器年消耗标煤为 877.45 t,原油 9.97 t。根据煤炭和石油可使用年限,对静电除尘器资源消耗进行标准化和加权化处理,其结果如表 6。静电除尘器项目资源消耗为 558.16 人当量,经过加权处理后为煤炭占资源消耗总量的比例由 96.09%降为 86.07%。

3.2 环境影响潜值计算与分析

3.2.1 全球变暖

将各种废气排放转化为全球变暖潜值,得出静电除尘器的全球变暖潜值为 7 728.7 t(见表 7)。

表7 静电除尘器项目全球变暖潜值
(以 CO₂ 为参考)

排放物质	排放量/t	影响当量因子 Q _{EF} ^[20]	环境影响 潜值/t
CO ₂	2 208.68	1	2 208.68
NO _x	17.25	320	5 520
CO	0.01	2	0.02
总计	2 225.94	—	7 728.7

3.2.2 富营养化

富营养化影响潜值计算见表8。静电除尘器项目的富营养化影响潜值为23.29 t(作为参照物),其中全部来源于NO_x。

3.2.3 酸化

酸化影响潜值计算见表9。静电除尘器项目酸化影响潜值为32.13 t,贡献比率为SO₂(62.4%),NO_x(37.6%)。

表8 静电除尘器项目富营养化潜值(以NO₃⁻为参考)

排放物质	排放量/t	影响当量因子 Q _{EF} ^[20]	环境影响 潜值/t
NO _x	17.25	1.35	23.29

表9 静电除尘器项目酸化潜值(以SO₂为参考)

排放物质	排放量/t	影响当量因子 Q _{EF} ^[20]	环境影响 潜值/t
NO _x	17.25	0.7	12.08
SO ₂	0.05	1	20.05
总计	37.3	—	32.13

3.2.4 光化学臭氧合成

静电除尘器项目中CO的排放属于光化学臭氧合成的参与物,其当量因子^[20]为0.03,则11.13 kg CO的环境光化学臭氧合成影响潜值为0.33 kg(以C₂H₄为参照物)。

3.2.5 人体毒性潜值

人体毒性潜值(Q_{HTP})包括人体摄入毒性影响和人体暴露毒性影响。人体摄入毒性影响主要描述人体的直接摄入毒性物质对生理影响。人体暴露毒性影响用于评价通过暴露途径,化合物对人体的毒性影响。人体毒性潜值采用1,4-二氯苯为基准进行计算。与人体毒性作用相关的物质有SO_x、NO_x、CO和烟尘(PM)等。人体毒性潜值计算见表10。静电除尘器项目总人体毒性潜值为80.33 t,其中烟尘的贡献率为71.9%,SO_x和NO_x贡献率分别为2.4%和25.8%,CO的贡献率可以忽略。

表10 静电除尘器项目人体毒性潜值

排放物质	排放量/t	影响当量因子 Q _{EF} ^[16]	环境影响 潜值/t
SO _x	0.05	0.096	1.92
NO _x	17.25	1.2	20.7
CO	0.01	0.012	0
烟尘(PM)	70.38	0.82	57.71
总计	107.69	—	80.33

3.2.6 烟尘及灰尘

由于烟尘及灰尘环境影响潜值当量因子Q_{EF}^[16]为1,可以得出静电除尘器烟尘及灰尘环境影响潜值70.38 t。

3.3 环境影响潜值的标准化

以上计算的环境影响潜值需要经过标准化后,才能进行比较并得出各环境影响潜值的贡献率。各项环境影响潜值标准化结果见表11。由于缺乏人体毒性潜值的标准化基准数据,故不对人体毒性潜值进行标准化处理。

表11 加装静电除尘器影响潜值标准化处理

环境影响 类型	影响潜值 /t	标准化基准 /[kg·(人·a) ⁻¹] ^[16]	标准化后影响 潜值/人当量
Q _{GWP}	7 728.7	8 700	888.36
Q _{NEP}	23.29	61	381.8
Q _{ACP}	32.13	36	892.5
Q _{POP}	0	0.65	0.51
Q _{SAP}	70.38	18	3 910
总计	7 854.5	—	6 073.17

3.4 环境影响潜值对比

根据Q_{GWP}、Q_{NEP}、Q_{ACP}、Q_{POP}和Q_{SAP}的权重因子^[21]分别为0.83、0.73、0.73、0.53、0.61对标准化后数据进行加权处理将加装静电除尘器与烟气直接排入大气所造成的环境影响潜值对比,其对比值见表12。可以发现未加装静电除尘器总环境影响负荷为2 575 894.44人当量,

表12 加装静电除尘器环境影响潜值
与未加装静电除尘器大气环境影响潜值对比

加权化后 影响潜值	静电除尘器 /人当量	直接排入大气 /人当量	减少 /人当量
Q _{GWP}	737.34	0	-737.34
Q _{NEP}	278.71	0	-278.71
Q _{ACP}	651.53	0	-651.53
Q _{POP}	0.27	0	-0.27
Q _{SAP}	2 385.1	2 575 894.44	2 573 509.34
总计	4 052.95	2 575 894.44	2 571 839.49

加装静电除尘器总环境负荷为 4 052.95 人当量, 可以得出加装静电除尘器项目后总环境影响负荷可以减少 2 571 839.48 人当量。

3.5 单位质量烟尘脱除焓耗率

根据静电除尘器年消耗能源焓总量见表 13, 其中静电除尘器使用电能折算成标煤再计算其焓值。静电除尘器年消耗总焓值为 31 815 307.18 MJ, 年脱除烟尘总量为 75 948.02 t, 静电除尘器的焓耗率为 0.42 MJ/kg。

表 13 加装静电除尘器环境影响潜值与未加装静电除尘器大气环境影响潜值对比

项目	质量/t	单位质量焓值/(MJ·t ⁻¹)	总焓值/MJ
煤	877.45	31 066.48	27 259 282.88
石油	9.97	456 943.35	4 556 024.3
总计	887.42	—	31 815 307.18

4 结 语

通过对电厂 600 MW 锅炉 2 台双室四电场静电除尘器进行焓生命周期分析和环境影响潜值计算得出如下结论。

(1) 该静电除尘器年脱除烟尘质量为 75 948.02 t, 消耗能源的总焓值为 31 815 307.18 MJ, 脱除单位质量烟尘的焓耗率为 0.42 MJ/kg。

(2) 通过对静电除尘器全生命周期资源消耗计算, 得出该静电除尘器项目的资源耗竭系数为 558.16 人当量。能源消耗中电力占总热值的 81.41%, 煤炭占 16.25%, 柴油占 2.33%。其中电力消耗集中于静电除尘器运行阶段能耗, 煤炭消耗集中于静电除尘器使用的钢铁冶炼过程, 在原材料运输过程中则消耗了全部的柴油。

(3) 静电除尘器原材料开采及生产及运输阶段对环境排放的污染物较小, 主要由生产静电除尘器运行阶段耗电而产生的污染物, 说明运输和原材料开采及生产过程对环境的影响也不能忽视。

(4) 烟气直接排入大气造成的环境影响潜值 2 575 894.44 人当量, 而加装静电除尘器项目造成的环境影响潜值为 4 052.95 人当量, 即降低了 99.84% 环境影响潜值。因此, 静电除尘器可以显著改善电厂环境影响。

(5) 如何进一步优化静电除尘器结构, 在保证其除尘效率的基础上进一步降低其能耗。降低因静电除尘器运行阶段的污染物排放造成的

环境影响是未来研究的重点之一。

参考文献:

- [1] 谌天兵, 武建军, 韩甲业. 燃煤污染现状及其治理技术综述[J]. 煤, 2006, 15(2): 1-4.
- [2] 陈冬林, 吴康, 曾稀. 燃煤锅炉烟气除尘技术的现状及进展[J]. 环境工程, 2014(9): 70-73.
- [3] 龚立贤, 张哲军. 火电厂采用电除尘器、袋式除尘器的情况及发展趋势[C]. 北京机械工程学会 2012 年优秀论文评选论文集, 2012.
- [4] 郝素华. 电除尘器电源改造技术与效果评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2013.
- [5] 佚名. 新标准下我国燃煤电站烟气除尘技术发展趋势[J]. 中国环保产业, 2012(9): 38-42.
- [6] GB 13223—2011, 火电厂大气污染物排放标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [7] GRANOVSKII M, DINCER I, ROSEN M A. Exergetic life cycle assessment of hydrogen production from renewables[J]. Journal of Power Sources, 2007, 167(2): 461-471.
- [8] OZBILEN A, DINCER I, ROSEN M A. Exergetic life cycle assessment of a hydrogen production process[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2012, 37(7): 5665-5675.
- [9] 中国钢铁工业协会信息统计部. 中国统计学会冶金统计分会. 中国钢铁工业环境保护统计[M]. 北京, 2012.
- [10] 王庆一. 节能手册[M]. 北京: 节能与环保杂志社, 2006.
- [11] 邹治平, 马晓茜, 赵增立, 等. 水力发电工程的生命周期分析[J]. 水力发电, 2004(4).
- [12] 王红. 燃煤电厂烟气脱硫工艺生命周期评估[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [13] 陈亮, 刘玫, 黄进. GB/T 24040—2008 环境管理生命周期评价原则与框架国家标准解读[J]. 标准科学, 2009(2).
- [14] 任丽娟. 生命周期评价方法及典型纸产品生命周期评价研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2011.
- [15] PENNINGTON D W, POTTING J, FINNVEDEN G, et al. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice[J]. Environment International, 2004, 30(5): 721-739.
- [16] 李璟. 能源化工系统的火用分析与生命周期评价[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [17] 王寿兵, 王如松, 吴千红. 生命周期评价中资源耗竭潜力及当量系数的一种算法[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2001, 40(5): 553-557.
- [18] 中国统计年鉴-2011[J]. 中国统计, 2011(11).
- [19] WANG Y, ZHANG J, ZHAO Y, et al. Exergy life cycle assessment model of "CO₂ zero-emission" energy system and application[J]. Science China Technological Sciences, 2011, 54(12): 3296-3303.
- [20] 杨建新, 徐成, 王如松. 产品生命周期评价方法及应用[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [21] 梁增英, 马晓茜. 选择性催化还原烟气脱硝技术的生命周期评价[J]. 中国电机工程学报, 2009(17): 63-69.

(下转第 26 页)

Application of Neural Network Algorithm Skeletonization for Boile Performance Optimization

CUI Yu-kui¹, TAO Li², CHONG Pei-an²

(1. Shenhua Guohua Yongzhou Power Generation Co., Ltd., Yongzhou 425000, China;

2. Shanghai Power Equipment Research Institute, Shanghai 200240, China)

Abstract: In this paper, the improved neural network algorithm Skeletonization has been applied to optimize boiler performance and combustion parameters, to recognize the boiler operation parameters which are required to be optimized. After the study of the neural network, the simulated mapping function between the influencing factors of performance parameters and performance parameters is found, then calculated by the improved Skeletonization algorithm of neural network models to find out which factors have greater impact on performance parameters, providing guidance and direction for quicker, effective and more accurate optimization. This method not only provide theoretical basis for operation optimization, but also has no negative effect on boiler operation, realizing online optimization at the same time. By the accurate recognition of the performance parameters and calculation of the weight values of influence factors. This method is to provide convenient, accurate and comprehensive way for boiler performance optimization.

Key words: supercritical boiler; performance optimization; neural network; Skeletonization

(上接第 16 页)

Environmental Impact Assessment of Power Plant Electrostatic Precipitator Based on Exergy Life Cycle Assessment

PAN Wei-guo^{1,3}, HAN Tao^{1,3}, WANG Wen-huan^{1,3}, DING Cheng-gang², GUO Shi-yi²

(1. Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;

2. Shanghai Electric Power Environmental Protection Engineering Co., Ltd., Shanghai 200090, China;

3. Shanghai Power Environmental Protection Engineering Technology Research Center, Shanghai 200090, China)

Abstract: Electrostatic precipitator is widely used in power plant Particulate emission reduction in our country. Three Processes of Electrostatic precipitator project by exergy life cycle assessment (ELCA) methodology were analyzed, such as the production and transportation of the materials, dust removal, which based on an Electrostatic precipitator engineering project in a 600 MW power plant. The exergy consumption and environmental impact of each process were collected and calculated respectively. The results show that the environment impact load of Electrostatic precipitator project is 4 054.66 human equivalent value during one year, less than environment impact load 2 575 894.44 human equivalent value of flue-gas release directly into the air without precipitator. so the Electrostatic precipitator engineering project can improve the quality of the environment.

Key words: Electro Static Precipitator; exergy life cycle assessment; environment impact