

文章编号:1000-582X(2008)03-0247-04

基于焓参数的环境影响评价

戴恩贤,张新铭

(重庆大学 动力工程学院,重庆 400030)

摘要:基于焓概念讨论了焓和环境影响之间的内在联系,阐明了焓参数可用于度量排放物对环境影响的程度,介绍了系统排放的废弃物和废热焓计算模型,提出通过修正参考环境基准值来调整污染物焓值以反映污染物对环境的影响程度的方法。将这种方法应用于排污计量及排污收费,经实例分析是可行的。

关键词:焓;环境影响;排污收费

中图分类号:X51

文献标志码:A

Environmental Impact Assessment Based on Exergy Concept

DAI En-xian, ZHANG Xin-ming

(College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: The inherent relationship between exergy and environmental impact is analyzed based on the concept of exergy. The influence of pollutants on environment can be assessed with exergy parameter. The calculation models of thermal and chemical exergy were described. We propose a method to assess the influence on the environment. This method is based on the tuning of the exergy parameter with the correction of reference number of the environment. Some examples have confirmed that this approach can be employed in pollution computation.

Key words: exergy; environmental influence; pollution charge

由于地球人口的激增、自然资源的过度开发以及低效率高污染的工业生产,致使环境污染问题日益严重。因大量污染物排入环境,特别是燃煤发电机组废气及废热的排放,引起了环境的退化,从而影响到经济和社会的可持续发展。人们对环境问题日益关注,提出了多种环境影响评价的方法。

近些年来一些学者提出用热力学第二定律,尤其是热力学参数焓来研究排放物对环境的影响,并取得了一些成果^[1-3]。某种物质之所以具有焓是因为它与环境状态相比,具有不平衡势差,当该物质直接排放到环境中时,会与环境发生作用,并对环境产生影响。用焓的概念来评估生产系统对环境的影响没有涉及到货币,因此可以得出更为客观真实的评价。

笔者从焓的概念出发,阐述了焓与环境之间的内在联系和参考环境基准值的定义,提出通过修正

参考环境中各种物质的基准值,使污染物的焓值能反映其对环境影响的程度。针对现有排污收费标准存在的不足,提出了以排放物焓值为计量单位的排污收费方法。

1 焓与环境污染

1.1 基于焓概念的环境污染定义

焓是以环境状态为基准的相对量,系统的焓值不仅与本身的状态有关,还与标准参考环境状态有关,因此焓实际上表示的是系统或物质偏离环境状态的程度。

虽然焓参数本质上并不能表达物质的毒性、温室效应、光化学效应等,但是通过适当定义标准参考环境,可以用焓值的量来反映物质对环境的污染程度。

标准参考环境(简称环境)定义为:环境中所含

收稿日期:2007-10-29

作者简介:戴恩贤(1982-),男,重庆大学硕士研究生,主要从事火电厂节能和环境污染控制研究。张新铭(联系人),男,重庆大学教授,(E-mail)xmzhang@cqu.edu.cn。

各种物质的量及热力学参数都是相对合理的,即对人体和动植物是无危害的。在此定义下,当某种偏离环境参数(即具有热力学势)的物质进入环境时,其与环境间的不平衡势差导致与环境发生作用,对人体和动植物造成危害。若用焓参数来表示这种不平衡势,则就工业排放而言,可认为正是由于工业系统的排放物与环境之间存在着焓差,排放物的焓损失于环境(耗散为“焓”),从而产生了对环境的污染。如果排放物的状态与环境是平衡的,则不会对环境发生作用,也就没有危害产生。系统焓与环境的关系如图 1 所示。

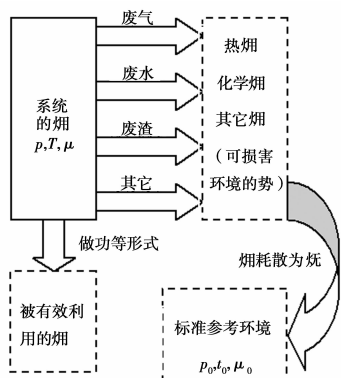


图 1 系统焓与环境的关系

例如,污染物排放大户火电厂将燃料的一部分焓最终转换为电能,其余的焓随着排放物(烟气、灰渣、循环水等)排放到环境中。由于排放物与环境之间存在不平衡势差(压差、温差、浓度差、化学势差等),必然与环境发生作用,而对环境造成影响。火电厂排入环境的污染物和废热伴随着焓损失,因此可以用焓的损失来衡量污染物对环境的影响。一些企业排放的固体废弃物中所含的重金属对环境的影响很大,也可以看作是由某种势差造成的。

1.2 焓的计算

1.2.1 燃料焓

火电厂的燃料煤是一种组分非常复杂的物质,它的焓包括化学焓 $E_{x,c}$ 和物理焓 $E_{x,p}$ 。在一般情况下, $E_{x,c} \gg E_{x,p}$, 因此通常所说的燃料焓指的就是化学焓。

由于煤的组分非常复杂,所以不是按照一般的化合物化学焓的计算式,而是依据煤的元素分析和低位发热量等,采用经验公式来计算,如^[7]:

$$e_{x,f} = \left[1.0064 + 0.1519 \frac{H}{C} + 0.0616 \frac{O}{C} + 0.0429 \frac{N}{C} \right] Q_{ar,net}, \quad (1)$$

式(1)中规定化学标准状态与环境状态是一致的, $p_0 = 101.325 \text{ kPa}$, $T_0 = 298.15 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.2.2 排放烟气焓

排放的烟气焓包含物理焓(热焓)和化学焓两部分:

1) 排放烟气的热焓

设在定压条件下锅炉排放烟气的平均温度为 T , 则排放烟气所含热焓值为

$$e_{x,p} = c_p(T - T_0) - c_p T_0 \ln(T/T_0), \quad (2)$$

式中: T_0 为标准参考环境的温度, 取 $T_0 = 298.15 \text{ K}$; c_p 为烟气的定压比热容。

2) 排放烟气中污染物的化学焓

为简化计算,将排放烟气视为理想气体,则烟气中污染物的化学焓为

$$e_{x,c} = RT_0 \ln(y_i/y_0), \quad (3)$$

式中: R 为气体常数; y_i 和 y_0 分别为烟气的摩尔分数和在标准参考环境状态下的摩尔分数。

烟气总的焓可表示为

$$e_{x,g} = e_{x,p} + e_{x,c} = c_p(T - T_0) - c_p T_0 \ln(T/T_0) + \sum RT_0 y_i \ln(y_i/y_0) \quad (4)$$

1.2.3 循环水焓

在火电厂环境污染治理中,烟气的除尘、脱硫、脱硝以及燃煤的洁净处理已经引起了重视,制定了各种污染物的排污标准。但是不能忽视的是被循环水带走的巨大热量,火电厂的燃料的总发热量中只有 40% 左右转化为电能,而 60% 左右的热能主要通过锅炉烟囱、汽轮机凝汽器的循环冷却水以及通过锅炉壁面和管道失散到环境中,而循环冷却水带走的废热量又占其中的绝大部分,单位质量循环水的焓可能不是很大,但是由于量很大,也会对环境造成影响。

单位排放物的热量焓为

$$e_q = q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) = (h - h_0) \left(1 - \frac{T_0}{T} \right), \quad (5)$$

式中: q 为排放到环境中的热量; T_0 为大气温度; T 为排放物的平均温度; h 为排放物在温度 T 下的焓; h_0 为排放物在温度 T_0 下的焓。

1.3 污染物总焓的计算

用污染物的总焓量来评价环境污染程度时,涉及到的一个问题是不同种污染物的焓能否相加,其实质是具有相同焓值的不同种物质对环境的危害程度是否相同。例如对于具有 1 kJ 焓值的 CO_2 和 SO_2 , 一般认为 SO_2 对环境的危害要比 CO_2 大得多,这是因为 SO_2 本身是有毒有害的物质,且是酸雨的主要根源, NO_x 对环境的影响甚至比 SO_2 还要严重。

1.3.1 不同污染物污染程度

在衡量不同种污染物的污染程度时,通常的做法是规定某一种物质的危害程度为基准,其他种物质则根据某种原则与其进行比较分析,确定污染系数,再将所得的值相加。例如 Mircea 等以 CO_2 为基准,比较人在 NO_x 、 SO_2 以及 CO_2 环境中能够忍受的浓度和时间,利用“等价 CO_2 排放量”的概念来确定污染程度的倍数关系,其表达式为^[4]

$$(\text{CO}_2)_e = \text{CO}_2 + 700 \text{SO}_2 + 1000 \text{NO}_x + \sum K_i M_i \quad (6)$$

式中: 700 为 SO_2 的等价系数; 1000 为 NO_x 的等价系数; K_i 为其它污染物的等价系数; M_i 为单位质量

物质燃烧所产生的其它污染物质。

王彦峰、冯霄从烟分析的角度提出了“环境负效应”和“系统负效应”的概念^[5]。

$$ENE = \sum B_i E_{x,i}, \quad (7)$$

$$SNE = C_1 E_{x1,tot} + C_2 ENE, \quad (8)$$

式中:ENE 为系统的环境负效应; $E_{x,i}$ 为系统排放物中第 i 种成分的物理烟和化学烟; B_i 为系统排放物中第 i 种成分对环境的危害系数;SNE 为系统负效应; $E_{x1,tot}$ 是系统的总烟损失; C_1 表示系统总烟损失对资源的浪费的资源效应系数; C_2 表示系统对环境的污染的环境效应系数。

陈清林等认为污染物环境影响程度不仅取决于其烟值,而且取决于强度特性,因此引入“环境损害函数”来描述废物烟对环境的损害程度,其定义为^[6]

$$\phi_i = \phi_i(\alpha_i, \beta_i), \quad (9)$$

式中:环境损害因子 α_i 表示排放物强度特性的差异对环境的损害程度;环境污染率 β_i 从排放物的烟值差异描述对环境的损害程度。但由于没有实验数据,未给出环境损害函数的具体形式。

以上几种方法在评价环境影响时,都以不同形式采用了对系统参数进行修正的方法,这些方法在具体实现上有一定的困难,需要大量的观察数据才能获得准确的结果。

笔者认为,由于烟是相对量,因此可根据人体和动植物对污染物的“忍受”程度,定义(修正)标准参考环境的参数,来调整排放物的烟值,从而可用烟值来反映其污染特性。

1.3.2 标准参考环境的修正

通常的标准参考环境是与自然环境接近的,例如常取环境参数为 25 °C、101.325 kPa。

笔者提出:可用修正环境参数的方法来体现不同污染物的污染程度。例如,可设环境参数为 25 °C 和 101.325 kPa,CO₂、SO₂ 以及 NO₂ 的浓度设为适合人群居住的浓度,即在修正参考环境中,有毒物质的含量要比无毒或者微毒物质的低。这样排放物中有毒物质单位质量的烟值在相同浓度下要比无毒物质高,体现了对环境的污染程度。修正参考环境中的物质含量是根据人和动植物安全要求来确定的。

《全球环境展望年鉴 2006》中给出的世界卫生组织(WHO)年均指导标准为: NO_x 的浓度为 40 μg/m³,SO₂ 的浓度为 50 μg/m³。由于 CO₂ 本身没有毒性,所以在修正参考环境中的浓度值可以取大一点,如果取 CO₂ 的体积浓度为 0.1%,则单位质量化学烟与体积浓度的关系如图 2、3。

从图 2 和图 3 可以看出,NO_x、SO₂ 和 CO₂ 的化学烟是随着排放的体积浓度增加而增加的,这与实际的情况是相符合的,浓度高的污染物对环境的影响比浓度低的大。

1.3.3 总烟的计算

几种具体物质的烟已经在 1.2 中得到了计算,

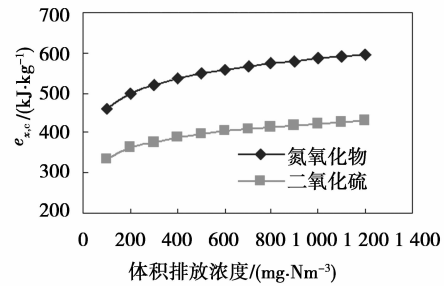


图 2 二氧化硫和氮氧化物化学烟与体积浓度的关系

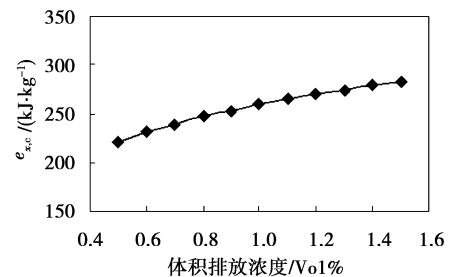


图 3 二氧化碳化学烟与体积浓度的关系

总烟不但包括废气、废水,还包括了固体废弃物,经过对参考环境的修正得出的烟可以直接相加,表达式如下:

$$e_{x,tot} = \sum e_{x,i}, \quad (10)$$

式中 $e_{x,tot}$ 为单位质量物质的总烟, $e_{x,i}$ 为表示单位质量(固体、气体、液体)的物理烟和化学烟。

2 烟与排污收费

2.1 用烟值来计算排污收费的可行性

目前的排污收费是按排放物的当量来计算的,在限制排放浓度内,污染物浓度对环境的影响程度没有在收费中体现出来。而在实际中,排放浓度高的污染物对环境造成的影响显然要严重一些,由于考虑了浓度的影响,因此更为合理。

2.2 单位烟的价值

以烟为计量单位来计算排污收费,需要确定单位烟值的价格。可以参考现在的排污收费标准和允许的排放浓度而求出此时的烟价。单位烟的价值可以表示为

$$p_e = \frac{p_0}{e_{x,tot}}, \quad (11)$$

式中: p_e 为单位污染物烟的价值; p_0 为单位质量污染物的价值。

2.3 排污收费模型

以烟为计量单位的排污收费的计算式可表示为

$$P = p_e e_{x,tot}, \quad (12)$$

式中 P 为单位质量污染物的排污收费。

3 实例分析

利用以烟为计量单位的排污收费模型,对某电

厂一台 600 MW 机组的排污收费进行核算,并和现有排污收费标准下算出的费用作对比分析。 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 的排放浓度以及烟气流量如表 1 所示。计算排污收费时只计算 SO_2 、 NO_x 的排污收费。

表 1 某 600 M 机组的烟气成分

序号	项目	单位	数据
1	FGD 入口烟气流(标态,干基,6%含氧量)	Nm^3/h	201.48×10^4
2	FGD 入口 SO_2 浓度(标态,干基,6%含氧量)	mg/Nm^3	9 030
3	FGD 出口 SO_2 浓度(标态,干基,6%含氧量)	mg/Nm^3	452
4	NO_x 排放浓度(标态,干基,6%含氧量)	mg/Nm^3	1 100
5	CO_2 成分(标态,干基,实际 O_2)	Vol%	12.512

现有的废气排污收费标准是 0.6 元/当量,对于 SO_2 和 NO_x 即 0.63 元/kg,假定 SO_2 的排污收费是对应于 $400 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 排放浓度的,标准参考环境以世界卫生组织(WHO)年均指导标准为基准,则可得出 SO_2 的单位烟价为 1.543×10^{-3} 元/kJ。现有的排污收费和以烟为计量单位的排污收费见表 2。

表 2 两种不同方式的排污收费 元/h

排污收费	SO_2	脱硫前 NO_x	总计	SO_2	脱硫后 NO_x	总计
现有标准	11 461.996	1 396.256	12 858.252	573.735	1 396.256	1 969.991
以烟计算	13 160.760	1 822.840	14 983.600	495.783	1 822.840	2 318.623

从表 2 可以看出,在脱硫前以烟为计量单位的排污收费要比以现有标准计算得出的排污收费高 14.82%,在脱硫后,以烟为计量单位的排污收费要比以现有标准计算的排污收费要低 13.59%,这是因为脱硫前的 SO_2 排放浓度要比规定的排放浓度高很多,在计算烟值的时候就已经考虑了浓度的影响。而机组没有脱硝装置,排放到大气中的浓度也比较高。因此,以烟为计量单位的排污收费要比以现有标准计算得出的 NO_x 排污收费高 17.7%。

如果提高标准参考环境的要求, NO_x 的浓度变为 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SO_2 的浓度变为 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$,烟的单价仍取 1.543×10^{-3} 元/kJ,则计算的结果见表 3。

表 3 不同环境基准值的 SO_2 排污收费

项目	单位质量烟 $/(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	单位 烟差值	SO_2 排污收费 $/(\text{元} \cdot \text{h}^{-1})$	排污收 费差值
基准一 脱硫前	468.808		13 160.755	
脱硫后	352.821	115.986	495.782	12 664.972
基准二 脱硫前	495.654		13 914.42	
脱硫后	379.668	115.986	533.507	13 380.910

从表 3 可知,参考环境的基准改变,但是脱硫前后的单位质量烟的差值是不变的。而排污收费的经济效益却改变了,当环境基准值降低后,脱除同样的 SO_2 ,以烟为计量单位的排污收费体现出来的经济效

益较好。即环境质量要求越高,则烟价就越高。

以烟为计量单位的排污收费能很好地反映出不同排放浓度下的排污收费是不同的。在同样的排放量下,污染物的排放浓度高时要缴纳的排污收费也高,这样可以鼓励企业追求低浓度排放以减少排污费用。因此,以烟为计量单位的排污收费是合理可行的。

4 结 论

将烟的概念与环境保护联系在一起,用烟参数阐述了环境污染的定义。为使烟值能反映污染物对环境的影响程度,提出了修正标准参考环境参数的方法,这种方法不需要对不同种类的污染物制定污染系数,而可以将不同种污染物的烟直接相加。所计算得出的烟损,从能量利用角度来看,是物质或系统的作功能力的损失,从环境角度来看,这些烟所具有的势差是环境损害的度量。以排污收费为例进行的计算分析表明,用这种方法计算污染物排污收费可在一定程度上反映污染物对环境影响程度的趋势和大小,避免了现有排污收费标准不能体现排放浓度影响的不足之处。

使用这种方法需要解决的问题是标准参考环境的确定,这有待进一步的研究,每个国家或地区对环境的要求不同,可以制定与生活 and 生产水平相适应的基准,或者通过权威机构统一规定。此外,烟价可以根据当地的经济水平来制定。

参考文献:

- [1] MARC A, ROSEN, IBRAHIM D. Exergy analysis of waste emissions [J]. International Journal Energy Research, 1999, 23:1153-1163.
- [2] MARC A ROSEN, IBRAHIM D. Exergy as the confluence of energy, environment and sustainable development [J]. Exergy: an International Journal, 2001,1(1):3-13.
- [3] MAKARYTCHEV S V. Environmental impact analysis of ACFB-based gas and power cogeneration [J]. Energy, 1998, 23(9):711-717.
- [4] MIRCEA C, MALVINA B. Regarding a global methodology to estimate the energy ecologic efficiency of thermopower plants [J]. Energy Conversion & Management,1999,40:71-87.
- [5] 王彦峰,冯霄. 综合考虑资源利用与环境影响的烟分析法应用[J]. 中国科学:B 辑,2001,31(1):89-96.
WANG Y F, FENG X. Exergy analysis involving resource utilization and environmental influence[J]. Science in China:Series B, 2001,31(1):89-96.
- [6] 陈清林,王松平. 基于烟概念的能量系统环境效应评价和建模[J]. 工程热物理学报,2003,24(6):932-934.
CHEN Q L, WANG S P. Environmental impact assessment and modeling for energy systems based on exergy concept [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2003,24(6):932-934.
- [7] 信泽寅男. 能源工程中烟的浅释[M]. 北京:化学工业出版社,1987.
- [8] 朱明善. 能量的烟分析[M]. 北京:清华大学出版社,1988.

(编辑 吕建斌)