

用资源的观点评价能源利用项目

叶寒栋, 李宇红, 叶大均

(清华大学 热能工程系, 北京 100084)

摘 要:在评价能源动力工程项目时应该采用综合的评价方法,考虑技术、经济和环境等因素。叙述了一种基于总资源系统的综合评价方法,将生产中消耗的(包括污染掉的)空气、水和燃料等都折算成资源,并从社会平均边际削减成本的角度计算了利用资源对社会造成的外部成本。指出,计算资源的价值时必须包括其外部成本,并计入最终的总成本。文中还陈述了综合评价方法的原理,并以某燃天然气的燃气轮机联合循环热电联产系统为例子,与燃煤热电联产系统进行了比较。

关 键 词:总资源; 综合评价; 能源; 动力工程; 环境

中图分类号: TK01 文献标识码: A

1 前 言

在环境保护日益严峻的今天,对于环境影响很大的能源工程,迫切需要进行全面的评价,而不仅仅是从能量或经济效益的角度去衡量。目前的评价方法基本上仅仅考虑排污达标,环境资源的价值并没有得到体现,也因此导致了对环境的极大破坏。在此陈述了一种基于总资源系统的综合评价方法,其主要思想是将生产过程中所消耗的(包括排出废物污染掉的)空气、水和燃料都看成资源,用供应的能量和消耗资源总价值的比值作为该项目的效率(资源效率),以考核项目的优劣。采用了社会平均边际削减成本的方法计算资源利用过程中的外部成本,在计算过程中综合考虑能源、环境和经济等多个因素。

2 计算方法

资源效率是由所有有益的输出除以所有消耗的资源价值,其计算方法为:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{\sum_{j=1}^m s_j v_j} \quad (1)$$

式中: σ 表示资源效率; s 为输入的资源量,在能源动力工程中包括燃料、空气和水等; p 为输出量,包括电和热,采用能量单位; v 代表资源的价值,如果采用经济核算主法则为货币单位; n 和 m 分别代表几种输出和输入。需要说明的是,上式中对于所消耗的资源量,一方面包括生产中所必需利用的资源,另一方面包括由于排污,导致外界资源价值的降低,也应该折算为消耗的资源,比如被污染掉的水资源和空气资源。

输出能量的计算已经非常成熟,下面主要分析输入资源量及其价值的计算方法。

2.1 资源量计算

2.1.1 资源包括两部分,一是生产中必需的资源,再是排污所污染掉的部分,其计算方法如下:

$$s_a = s_{a,u} + s_{a,p} \quad (2)$$

$$s_w = s_{w,u} + s_{w,p} \quad (3)$$

$$s_f = s_{f,u} \quad (4)$$

式中:下标 a, w, f 代表空气、水和燃料。 u 和 p 分别代表是生产中产生的而且还是被污染掉的物质。

2.1.2 工程排污所污染掉的资源计算方法是,将工程的排污量和国家(或当地)的资源(主要是空气、水)质量标准和临界负荷作比较,以确定排污所消耗的能源。具体如下^[1]:

$$s_{a,p} = (p_{a,k} / S_{a,k})_{\max} \quad (5)$$

$$s_{w,p} = (p_{w,k} / S_{w,k})_{\max} \quad (6)$$

式中:下标 k 为第 k 种污染成分,如空气中的 SO_x 、 NO_x 、TSP 等; P 为产生的污染物数量, kg ; S 为空气或水的质量标准 (mg/m^3 或 kg/m^3) 或临界负荷。

2.2 资源价值

自然资源的价值包括两个方面,一方面是目前已经在市场中体现出来的正效用价值 (P),包括资源自身的使用价值 (P_1) 和劳动投入的价值 (P_2); 另

一方面,还应该包括资源利用过程中造成的外部成本或外部效益(MEC)。对于环境资源来说,外部成本可以理解为由于资源利用而使环境资源质量的下降,对整个生态环境造成的负效用价值^[4]。

资源的价值计算如下:

$$v = P_1 + P_2 + MEC = P + MEC \quad (7)$$

在实际的资源价值计算过程中,考虑到目前某些资源的市场价格已经比较完善,同时,采用现有的市场价格更具有实用性,我们可以假设资源的正效用价值可以等同于其市场价格,而只关注于外部成本的计算。

外部成本的评估方法有很多种,比如市场价值法或生产率法、人力资本法或收入损失法、防护费用法、恢复费用法或重置成本法以及影子项目法,还有意愿调查评估法等^[3]。

通过上述多种方法可信度的比较,以及数据来源的可靠性,采用计算社会平均边际削减成本的方法。

$$MEC = \sum_i (Q_i \cdot MEC_i) \quad (8)$$

其中: Q 为资源中污染物浓度,下标 i 表示资源中的第 i 种污染成分。剩下的最主要问题是,如何确定各种污染物的社会平均边际削减成本。

在生产实践中,对于污染物的处理是要么是在生产环节中安装减污设备,要么是将废物直接送往集中处理工厂,而这两种不同的处理方式也导致了不同的成本计算方法,各自的典型代表就是水和废气。

2.2.1 污水的社会平均边际削减成本

目前,污水处理多数采用集中处理的方式,可以采用污水处理厂的数据,计算边际削减成本。由于边际削减成本是污水削减总量的函数,且有多种函数关系,所以采用线性函数关系,有:

$$MEC_i = a + bS_i \quad (9)$$

根据边际削减成本的定义,即:

$MEC = dC/dS$;其中 C 表示污染物削减量为 S 时总的削减成本,则:

$dC = MEC \times dS$,积分可得:

$$C = \int_0^C dC = \int_0^S (a + bS) dS = aS + \frac{1}{2}bS^2 \quad (10)$$

MEC_i 表示第 i 种污染物通过集中处理达到环境标准的边际费用; a 、 b 是边际费用函数参数。 a 可以理解为环保部门或集中处理工厂的日常工作和管理

费用和减排量的比例系数。 b 是边际平均削减费用函数的斜率,它表示在某个时期内,污染物排放量每增加一个单位,社会平均边际处理费用的改变量。 S_i 表示在给定的环境质量条件下,第 i 污染物的总削减量。

通常情况下, C 通过统计总的成本是可得的, a 通过统计日常管理等基本费用也是可得的,在此基础上,可以得出 b ,具体算法比较复杂,此处不在赘述,详见文献[4]。对于我国目前的污水现状,可以将COD作为主要的消除对象,而且,同时也能去除其它的污染物,所以只需计算COD的数据即可。根据相关资料^[5~7],计算出我国目前COD平均边际削减成本为4.33元/kg。

2.2.2 废气的社会平均边际削减成本

对于废气的处理不可能建立集中处理工厂,要求各个工厂自行处理自己的废气。那么,计算社会平均削减成本时就不能采用集中处理的办法计算,可采用直接法计算社会平均边际削减成本。和水污染物的是,对于不同空气污染物成分,通常都有专门的减排设备,比如脱硫设备、除尘器和脱硝设备。所以,废气污染物的削减必须首先考虑各种不同的成分,然后求出综合成本。

第一步:计算各个单独设备的削减成本。

每个设备每年削减总费用可以如下计算:

$$C = C_t + C_m \quad (11)$$

其中: C_t 、 C_m 分别是年均化投资和年运营管理费用。

第二步:根据边际削减成本的定义,对于第 j 种污染物的同一种削减技术 i ,它的边际削减成本可以通过不同规模的企业之间的数据通过统计得出,即可以采用所有厂家之间的年削减总费用之差和年削减量之差的比值的总平均。计算方法如下:

$$MEC_{j,i} = \left(\frac{dC}{dS}\right)_{j,i} \cong \left(\frac{\Delta C}{\Delta S}\right)_{j,i} \quad (12)$$

假设有 n 个不同的企业采用技术 i 来削减污染物 j ,则式(12)可以进一步表达为:

$$MEC_{j,i} = \left[\frac{\sum_{l=1}^{n-1} \sum_{m=l+1}^n \frac{C_{j,i,l} - C_{j,i,m}}{S_{j,i,l} - S_{j,i,m}} \right] / [n(n-1)/2] \quad (1 \leq l, m \leq n, l \neq m) \quad (13)$$

第三步:加权计算社会平均边际削减成本。通过每种技术的应用程度可以进行加权计算:

$$MEC_j = \left[\sum_i MEC_{j,i} \times S_{j,i} \right] / \sum_i S_{j,i} \quad (14)$$

上式中得到的就是空气中某一种污染物的削减成本。

值得注意的是,使用直接算法最好是拥有大

量的样本点资料, 且应该具有一定的代表性。但是即使资料不是很充分, 相对而言, 还是采用直接计算削减成本的方法更具有说服力和可信度。

由于目前国内基本上只有脱硫数据, 所以作者单独计算了脱硫数据, 并根据国内外的许多相关资料^[8-11], 推算出各种污染物的社会平均边际削减成本分别为 1.4 元/kg(SO_x)、1.92 元/kg(NO_x)、1.04 元/kg(TSP)。

3 算 例

以北京市为例, 根据空气、水资源质量现状和环境保护目标^[12-13], 可以计算得到各种资源的价值(本文的计算中暂时不考虑水资源的外部成本), 如表 1 所示。

表 1 北京市各种资源价值

资源	天然气 /元·m ⁻³	煤 /元·t ⁻¹	水 /元·m ⁻³	空气 /元·m ⁻³
价值	1.7	250	2.0	5.9×10 ⁻⁷

以某小区燃气轮机联合循环热电联产为例, 与燃煤热电联产在供同样的热和电的情况下, 进行比较测算。该小区的总供热面积为 2.4×10⁶ m², 供热负荷为 188 kJ/(m²·h), 供热时间为 150 天左右, 每年总用电量为 1.2×10⁹ kWh 左右。

燃煤热电联产系统——采用汽轮机配备辅助锅炉的系统, 最终热电站的总热效率为 81.14%, 而净发电效率由于抽汽降低至 15% 左右。燃煤电站的燃料是神阜的低硫煤, 煤的低位发热值为 22.4 MJ/kg, 且含硫量按 0.5%, 灰尘 10%, 除尘效率 97% 计算, 没有脱硫设备。1 kg 煤的污染物如表 2 所示。

表 2 燃烧 1kg 煤的污染物

污染物	CO ₂	SO ₂	DUST	NO _x
质量/g	2100	10	3	3.09

燃气热电联产系统——如果采用 H-25 燃机

的燃气—蒸汽联合循环系统, 余热锅炉不带补燃, 燃机安装有低氮燃烧器, 则系统的发电效率可达 38.36%, 总热效率达 79.49%。燃气轮机的燃料为陕西、甘肃和宁夏的天然气, 陕甘宁天然气低位发热值为 2.908 7MJ/m³。1 m³ 天然气产生的污染物如表 3 所示。

表 3 燃烧 1 m³ 的天然气的污染物

污染物	CO ₂	SO ₂	DUST	NO _x
质量/g	1064	0.857	—	1.8

假如当地的环境保护目标按照国家一级标准来计算, 则表 4 列出两种供能方式各自消耗资源量及价值。

图 1 和图 2 显示了在两种联产项目中, 由于污染消耗的空气资源价值占整个运行过程所消耗总资源价值的百分比。分别选取国家环保标准的一级标准的一半、一级标准、一二级标准的平均值、二级标准、二三级标准的平均值以及三级标准作为环保目标。

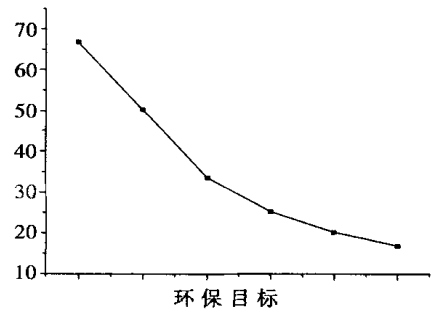


图 1 燃煤项目空气资源价值所占比例

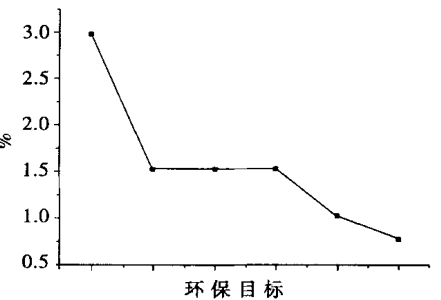


图 2 燃气项目空气资源价值所占比例

表 4 每年消耗各项资源量及价值

方案	耗气量及价值		煤耗及价值		空气量及价值		耗水量及价值		总成本/万元
	万 m ³	万元	万 t	万元	10 ³ m ³	万元	万 t	万元	
燃气	8897	15 125	—	—	4.004	235.8	82.2	164.4	15 525.1
燃煤	—	—	11.32	2 830	566.000	3 332.8	240	480	6 642.8

从上述两图可以看出,天然气作为清洁能源所具有的环保优势。另外,需要说明的是,图 2 中的二级标准到三级标准之间的水平直线是因为我国二级标准和一级标准在 NO_2 上是一样,这样根据本文的算法,恰好 NO_2 是最主要的污染物,所以,体现出来的空气资源消耗上也是相同的。

4 结 论

(1) 燃气联产方案在环境资源方面的优势是很明显的,采用天然气作为燃料其每年消耗环境资源的经济价值约占总消耗资源价值的 0.5%~3%,而使用煤作为燃料这个数字则 16.5%~60%。

(2) 从工程实践来看,燃煤电厂如果要加装脱硫设备,其成本基本上是总成本的百分之二十几或三十几,再加上脱硝设备,其成本将高达百分之五十七,这个数据同所计算环境资源价值基本吻合,从一个侧面也说明燃天然气的清洁,而燃煤项目存在很严重的环境资源消耗。

(3) 由于燃气联产采用的是昂贵的天然气(此处按照 $1.7 \text{元}/\text{m}^3$),其总成本则高出燃煤联产很多。这说明了推广清洁能源要遇到市场障碍,也说明在使用类似的清洁能源时必须慎重选择合适的用户,并不是任何城市都可以用的。

另外,从总资源的角度出发评估动力工程项目能够将环境、经济和社会效益很好的综合起来,将来更合理的方法应该采用生命周期评价方法,综合考察从项目的最初设备制造到最终的项目结束或某个特定的时期内总体的资源利用效率。

在计算资源的价值时,特别是对于环境资源,由于其特性以及人们观点的不同,存在很多的计算方法,也就存在一定的差异。随着我国自然资源研究理论的完善,将会有更加合理、科学的资源评价方法,采用资源利用的观点评价动力工程项目将具有更大的说服力。

参考文献:

- [1] 李 军,陈 庄.产品生命周期评价体系探讨[J].重庆环境科学,1999,21(6):10-12.
- [2] 李金昌.资源经济新论[M],重庆:重庆大学出版社,1995.
- [3] 中国环境与发展国际合作委员会.中国自然资源定价研究[M].北京:中国环境科学出版社,1997.
- [4] 王宇航.水污染物排污收费标准制定理论及技术方法研究[D].北京:清华大学,1995.
- [5] 傅国伟.淮河流域水污染控制规划预可行性报告[R].北京:世行项目,1995.
- [6] 过孝民.公元 2000 年中国环境预测与对策研究[M].北京:清华大学出版社,1990.
- [7] 国家建设部.淮河流域水污染防治规划[R].北京:1995.
- [8] 毛健雄,毛健全,赵树民.煤的清洁燃烧[M].北京:科学出版社,1998.
- [9] 郝吉明,王书肖,陆永琪.燃煤二氧化硫污染控制技术手册[M].北京:化学工业出版社,2001.
- [10] 武汉钢铁公司.工业污染防治及其技术经济分析[M].北京:冶金工业出版社,1991.
- [11] 王金南.环境经济学—理论、方法、政策[M].北京:清华大学出版社,1994.
- [12] 北京环境污染防止目标和对策(1998~2002)[Z].
- [13] 北京市人民政府关于发布第六阶段控制大气污染措施的通告[Z].

(辉 编辑)

燃气轮机的新型高温隔热系统

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2002 年 3 月号报道,德国 G+H Isolute 公司开发出新型的高温隔热系统。它基本上是钢衬里系统,并且根据燃气轮机运行图谱和用户的选择配备有 $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 高温陶瓷纤维、生物可溶解纤维或微多孔 SiO_2 纤维的隔热骨架。以这种方式制造纤维隔热骨架,使运行时机械负荷、振动和变形不会削弱其功能。

金属壳的壁厚和材料按照承受的负荷来选择。金属衬里内的通气孔使它能够预测负荷改变时所要求的空气交换。这一点在经历循环过程的压气机、燃烧室、涡轮机低压缸和排气机匣内部隔热和密封系统中是特别重要的。

提供的隔热系统均已申请专利保护并设计成用于 $400 \text{ }^\circ\text{C} \sim 1400 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围的过程温度。Isolute-Blanket 用于燃气轮机的内部隔热和外部隔热。它由耐高温陶瓷纤维和 G+H 公司的“Minileit”材料组成。“Minileit”材料的主要组成物是微多孔二氧化硅、陶瓷填充物和不透明剂。钢衬里由耐热镍铬钢薄片制成。

(吉桂明 供稿)

process a local thermodynamic-balance fluid model was employed with SIMPLEX algorithm being used for a numerical scheme. A curvilinear coordinate system was put into use for a mesh model. A distribution diagram showing the variation of temperature and speed field and constituent elements was provided by the calculation results. **Key words:** plasma, numerical simulation, chemical reaction, local thermodynamics equilibrium

用资源的观点评价能源利用项目 = **Evaluation of Energy Resource Utilization Projects from the Viewpoint of Resources** [刊, 汉] / YE Han-dong, LI Yu-hong, YE Da-jun (Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 407 ~ 410

During the evaluation of energy resource utilization projects a comprehensive evaluation method should be used with technical, economic, environmental and other related factors being taken into account. The authors have described a comprehensive evaluation method based on a total resource system. Under this method air, water and fuel, etc consumed (including those expended by pollution) in production are converted into material resources. Moreover, from the viewpoint of social-average marginal cost-cut calculated is the external cost to the society due to the utilization of resources. It is noted that during the calculation of resource values the external cost must be included and be listed into the final total cost. Furthermore, the principles of this comprehensive evaluation method are also expounded. A combined cycle cogeneration power plant involving a natural gas-fired gas turbine is compared with a coal-fired cogeneration power plant system. The results of this comparison demonstrate that the evaluation of power projects from the viewpoint of resource utilization is fully justified. **Key words:** total resources, comprehensive evaluation, energy-based power project, environment

火炬气在燃煤锅炉上的回收利用研究 = **An Investigation on the Recycling of Flare Gas for Use in a Coal-fired Boiler** [刊, 汉] / CHAI Qin-hu, DING Yan-jun (Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084), ZHANG De-hua, ZHANG Wen-wu (Thermal Power Plant of Yangtze Petrochemical Co. Ltd., Nanjing, China, Post Code: 210048) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 411 ~ 414

Through a specific retrofit example the problem of flare gas recycling for use in a coal-fired boiler is analyzed with the impact of mixed burning of coal and flare gas on the boiler operating characteristics being tested and probed. It is noted that, depending on the volume flow of flare gas and its specific properties, one must adjust accordingly the air distribution mode and optimum excess air factor, etc with a view to achieving satisfactory results in this recycling effort. **Key words:** coal-fired boiler, flare gas, recycling unit

等离子点火系统在燃气轮机上的应用 = **The Use of Plasma Ignition Systems in Gas Turbines** [刊, 汉] / HAN Li-zhong, CHEN Hong-fa, CHEN Yan-fen (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), ZENG Xi (Chinese Navy Military Representative Office at No. 436 Factory) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 415 ~ 416

The composition, working principles and usage effectiveness of a plasma ignition system are described. As compared with other electric-spark ignition units, the plasma ignition system features high electric-discharge energy, dirt resistance, and particularly a combustion intensification function during ignition. Some requirements regarding the system configuration for different engine units are analyzed, and several issues meriting close attention during operation also presented. **Key words:** gas turbine, combustor, plasma

HS-A 柴油机燃料油技术研究 = **Technical Study of HS-A Diesel Engine Fuel Oil** [刊, 汉] / WANG Zhi-cheng, CAO Zhi-de, ZHANG Hong-qi (Heilongjiang Provincial Energy Source Environment Research Academy, Harbin, China, Post Code: 150090) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 417 ~ 420