

基于能量价值分析的给水泵驱动方式的技术经济论证

陈国年

(江苏省电力公司 生产运营部, 江苏 南京 210024)

摘要:通过对发电厂各种能量的价值分析,提出了“能量价值分析”原理,按此原理推导出了“综合成本煤耗率”的计算公式,此方法克服了传统热力学分析方法的局限性,把热力学和经济学有机地结合在一起,成为在市场经济条件下发电厂技术经济分析的科学方法,找到了市场经济条件下发电厂降低成本的有效途径和节能分析准则,并成功地应用于给水泵驱动方式的技术经济论证。

关键词:发电厂; 能量价值; 综合成本煤耗率; 泵; 论证

中图分类号: F407.2 文献标识码: B

1 前言

在市场经济条件下各发电厂为了提高企业的经济效益,将积极参与发电市场竞争,竞争的实质是企业的综合发电成本,综合发电成本是企业的竞争能力的主要指标。为此,发电厂节能工作必须更新观念,采用新的节能分析方法,适应市场经济的需要,降低企业的综合发电成本,为企业赢得最大利润,给水泵驱动方式的技术经济论证是发电厂能量价值分析理论典型的应用实例。

2 “能量价值分析”基本原理

2.1 传统节能分析与“能量价值分析”的比较

能量经常用数量来度量,如 100 kJ 的热能,50 kWh 的电能等等,同时还可用价值来表示,如 0.3 元/kWh 的电能,300 元/t 的标煤等等。在热力学分析中各种能量只用数量表示,得出的结果只是热力学范畴的纯技术指标。不同能量的价值度量单位虽然各不相同,但含义都是一样的,即为单位能量的价值。为了便于分析和计算,把能价的单位统一为元每兆焦(或元每千瓦时)。“能量价值分析”方法在热

力学分析的基础上,按能量的价值进行分析,得出的结果才是真正意义上的技术经济指标。

传统的节能分析以热力学第一定律为基础,分析的基准是能量转换过程中能量平衡,追求热效率最大化;而在市场经济条件下节能分析要以“能量价值分析”为基础,分析的基准是发电厂在能量转换过程中实现能价增值,追求利润最大化,这是与传统节能分析最根本的区别。

发电厂是能量转换工厂,从热力学分析看,经过锅炉、汽轮机和发电机把燃料的化学能依次转变为热能、机械能和电能,能量在转换过程中不可避免地存在各种损失,可用能逐步降低,因此发电厂热效率一般较低。从“能量价值分析”看,能量在转换过程中虽然可用能逐步降低,但能量的价值却逐步增加,热能的能价大于煤的能价,而电能的能价大于热能能价。如发热量为 20 MJ/kg 的原煤价格为 260 元/t,其能价为 0.013 元/MJ (0.047 元/kWh),而价格为 0.33 元/kWh 的电能其能价为 0.0917 元/MJ,两者能价相差达 7 倍。也就是说节约 1 MJ 的电能给企业带来的效益相当于节约 7 MJ 煤的能量,反之节约 1 MJ 煤的能量其效益只相当于节约 1/7 MJ 的电能。虽然同样节约 1 MJ 的能量但节能效果截然不同,这就是“能量价值分析”的本质所在。因此发电厂节能工作就要抓住“同能不同价”这个特点,用“能量价值分析”法对节能项目进行科学论证,优先开发实施节能效果好的节能项目,为企业创造尽可能多的经济效益。

2.2 发电厂利润方程式

在市场经济条件下,发电厂作为一个企业,必然要以经济效益为中心,设法降低成本,提高企业赢利能力。下面从能量的价值来分析发电厂的利润:

发电厂利润 = 售电收入 - 发电燃料成本 - 各项

固定成本—各项税金

售电收入=上网电量×上网电价=(发电量—厂用电量—主变损耗)×上网电价=(发电量—综合厂用电量)×上网电价=发电量×(1—综合厂用电率)×上网电价

$$= E \times (1 - \eta_c / 100) \times R_d \quad (\text{元})$$

发电燃料成本 = 发电标煤耗量 × 标煤单价 = 发电量 × 发电煤耗率 × 标煤单价

$$= E \times b_1 \times R_m \times 10^{-6} \quad (\text{元})$$

各项固定成本和税金一般按规定选取,和发电量有关,在本文中按下式计算:

$$\text{各项固定成本和税金} = E \times R_g \quad (\text{元})$$

所以,发电厂利润 $F = \text{发电量} \times [(1 - \text{综合厂用电率}) \times \text{上网电价} - \text{发电煤耗率} \times \text{标煤单价}] - \text{各项固定成本} - \text{各项税金}$

$$F = E \times [(1 - \eta_c / 100) \times R_d - b_1 \times R_m \times 10^{-6} - R_g]$$

$$= E \times (R_d - \eta_c \times R_d / 100 - b_1 \times R_m \times 10^{-6} - R_g)$$

$$= E \times (R_d - R_{zy} - R_{fd} - R_g)$$

$$= E \times (R_d - R_{zh} - R_g) = E \times (R_{zz} - R_g)$$

$$= f(E, \eta_c, R_d, b_1, R_m, R_g)$$

式中: F 为发电厂利润,元;

E 为发电量,kWh;

η_c 为厂用电率,%;

R_d 为上网电价,元/(kWh);

b_1 为发电煤耗率,g/(kWh);

R_m 为标煤单价,元/t;

R_g 为单位固定费用,元/(kWh);

R_{fd} 为发电能价,元/(kWh);

R_{zy} 为自用能价,元/(kWh);

$R_{zh} = R_{fd} + R_{zy}$ 为综合发电成本能价;

$R_{zz} = R_d - R_{zh}$ 为增值能价。

从发电厂利润方程可以看出,利润 F 与发电量 E 和上网电价 R_d 成正比,与综合厂用电率 η_c ,发电煤耗率 b_1 和标煤单价 R_m 成反比。一般来说,发电量和上网电价由政府有关部门确定,所以要提高发电厂经济效益必须降低综合厂用电率、发电煤耗率和标煤单价。从利润方程式还可以看出,综合厂用电率对利润的影响系数为上网电价 R_d ,而发电煤耗率对利润的影响系数为标煤单价 $R_m \times 10^{-6}$,由于电的能价比煤的能价高得多,所以降低厂用电率给发电厂能带来更大的经济效益,要优先开发降低厂用电率

的节能项目。

发电厂最终产品——电能的能价有三部分构成:一是发电成本能价 R_{fd} ,它是由发电效率决定的;二是自用能价 R_{zy} ,它是由厂用电率决定的;三是发电增值能价 R_{zz} ,它才是发电厂真正得到的能价增值(即发电厂毛收入),用于企业还本付息、职工收入福利、上缴税金和企业利润等。因此,增加发电厂利润就要降低综合发电成本能价 R_{zh} ,也即降低发电成本能价 R_{fd} 和自用能价 R_{zy} 。综合发电成本能价考虑了发电煤耗率、厂用电率、电价和标煤单价四个指标,是一个真正意义上的技术经济综合指标,可用来评价机组技术经济水平高低。

2.3 重新理解供电煤耗率的含义

长期以来人们习惯于以能量的数量多少来度量能量的价值,这种观念无视能量的不同价值,常常会导致似是而非的误解。供电煤耗率的概念是我国建国后从前苏联引进的,计算公式为:

$$b_2 = b_1 / (1 - \eta_c / 100) \quad (\text{g}/(\text{kWh}))$$

其物理意义看上去似乎很明确,即为发电厂每供 1 kWh 的电能需要消耗的标煤量。目前我国电力行业作为主要技术经济指标广泛使用。但供电煤耗率计算中没有考虑到电能和燃料能量的能量价值不同,因此,在市场经济条件下是不完善的,实际上电的能价比燃料能价高得多,节电比节煤效益更好,供电煤耗率并非越低越好。根据发电厂利润方程,把综合发电成本能价代替供电煤耗率作为发电厂节能分析的指标是科学的,对发电企业来说综合发电成本能价越低越好。

2.4 综合成本煤耗率的提出与含义

由于供电煤耗率的概念在我国发电行业沿用已久,考虑到人们的习惯,再把综合发电成本能价换算为综合成本煤耗率,这样用综合成本煤耗率代替常规供电煤耗率进行节能分析计算,这种换算容易被大家接受。

综合成本煤耗率 $b_{zh} = \text{综合发电成本能价} / \text{标煤单价}$

$$b_{zh} = R_{zh} / (R_m \times 10^{-6}) = (b_1 \times R_m \times 10^{-6} + \eta_c \times R_d / 100) / (R_m \times 10^{-6}) = b_1 + \eta_c \times R_d / R_m \times 10^4 = b_1 + \eta_c \times K_{dm} \quad (\text{g}/\text{kWh})$$

式中: $K_{dm} = R_d / R_m \times 10^4$ 为电煤比价系数

综合成本煤耗率 b_{zh} 的物理意义是发出 1 kWh 的电能按综合发电成本折算过来的标煤消耗量。综合成本煤耗率是考虑了能量价值后的供电煤耗率,

虽然用煤耗表示,其实质是发电的综合能价。

从综合成本煤耗率公式中可以看出综合成本煤耗率由两部分组成,一是发电煤耗率(也就是发电成本能价),二是折算到标煤能价的厂用电能价(自用能价),计算公式简单和物理意义清楚。

综合成本煤耗率把发电煤耗率、厂用电率、电价和标煤单价四个指标按照各自的能价有机地联系在一起,真正成为发电厂节能分析的主要技术经济指标。

3 机组给水泵驱动方式技术经济论证

3.1 传统给水泵驱动方式论证

如何选择机组给水泵驱动方式,按常规热力学方法判断不管采用电动泵或汽动泵驱动方式,机组效率高应为优选方案,由于小汽轮机的内效率一般为 80% 左右,比大机低 10%,用传统方法计算 300 MW 及以上的机组给水泵宜采用小汽轮机驱动,300 MW 以下的机组宜采用电动给水泵。在文献[1]中,甚至推论出 300 MW 机组采用电动给水泵比汽动给水泵经济性好、优越性明显的结论,现作简单剖析。

文献[1]作者认为:电动方式虽然能量转换的环节多,厂用电率高,汽动方式表面上看可增加供电量,但实际上由于小汽轮机内效率比主机低得多,导致汽动方式消耗的能量比电动方式更多,汽动方式厂用电率低、经济性好是虚假的,具体推导过程如下:

在主机的主蒸汽、再热蒸汽及各级回热抽汽的流量、参数相同的前提下,用于驱动小汽轮机的抽汽的相对效率与相同抽汽量情况下,电动方式的能量转换的相对效率进行比较,看哪种驱动方式的相对效率高。以上海引进型 300 MW 机组为例,主机额定负荷时,中低压缸内效率为 90.59%,而小汽轮机内效率为 81.87%,由于小汽轮机排汽压力比主机高,造成相同蒸汽做功仅为主机的 88.1%;另外由于抽汽管道压降,使小汽轮机的实际焓降为理想焓降的 98.2%,设机械效率为 98%,则可计算出抽汽的相对效率为 $81.87\% \times 88.1\% \times 98.2\% \times 98\% = 69.4\%$ 。

如采用电动方式,相同抽汽量的能量转换相对效率为:中低压缸内效率乘发电机效率乘机械效率乘变压器及输电效率乘电动机效率乘升速齿轮效率乘液力耦合器效率乘机械效率,即 $90.59\% \times 98\%$

$7\% \times 98\% \times 97\% \times 95\% \times 96\% \times 95\% \times 98\% = 72.2\%$,因此,采用电动方式比汽动方式效率高,在锅炉蒸发量相同的条件下,扣除给水泵消耗的厂用电量,可比汽动方式发出更多的电能。按额定工况抽汽量 30.7 t/h 计算,电动方式多发电 228.6 kW。此外,还可节省小汽轮机油泵及油烟风机的电耗 92.2 kW,按年利用 6 500 h,多发电 208.52 万 kWh,按 0.35 元/kWh 计算,可得效益 72.98 万元。

以上计算与分析所得出的结论是错误的,因为以上分析的前提条件是机组出力没有受到限制,一直在满负荷运行,而实际上机组出力不可能一直在满负荷运行,随着用电负荷变化而变化,始终受到电力调度中心的控制。另外以上分析是从纯热力学观点出发,以效率高低作为比较基准,把电(产品)和煤(原料)的能量价值等同化,这是计划经济时代的典型分析方法,由此得出的结论肯定不符合市场经济规律。电是发电厂的最终产品,降低厂用电就可以增加上网电量,增加企业收入;采用电动方式增加了厂用电,直接减少了企业收入;采用汽动方式虽然增加了锅炉燃料量,增加了燃料成本,但是却大大降低了厂用电,增加上网电量,增加企业收入。由于电煤比价相差较大,实际上厂用电降低给企业增加的收入远大于燃料成本的增加。一般来说,从效益角度分析采用汽动方式更加合理。

3.2 “能量价值分析”给水泵驱动方式判断

用“能量价值分析”进行分析,判断采用那种驱动方式经济合理,应该用机组综合成本煤耗率作为判据,如采用汽动给水泵其综合成本煤耗率较低,则采用汽动给水泵;反之,采用电动给水泵。对于老机组由电泵改为汽泵,也可用综合成本煤耗率作为判断的依据,但要计算投资回收期是否合理。

4 200 MW 机组电动给水泵改为汽动给水泵分析

目前国内 200 MW 机组都采用电动给水泵,机组厂用电率一般在 7% ~ 8%,发电煤耗在 345 g/kWh 左右,汽轮机通流部分改造后发电煤耗可达 325 g/kWh 左右。以某发电厂改造后汽轮机组为例,设年发电量为 11 亿 kWh,改为汽动给水泵后,则每年可为企业创造 466.9 万元经济效益,2 年左右就可收回投资,经济效益十分显著,如表 1 所示。

表1 200 MW 机组汽泵改造前后技术经济指标比较

给水泵驱动方式	电动(改造前)	汽动(改造后)
电价/元·(kWh) ⁻¹	0.23	0.23
标煤单价/元·t ⁻¹	300	300
电煤比价系数	7.66	7.66
发电煤耗率/g·kWh ⁻¹	325	330
发电煤耗率差值/g·kWh ⁻¹		5
厂用电率/%	7.5	5.0
厂用电率差值/%		-2.5
供电煤耗率/g·kWh ⁻¹	351.4	347.4
供电煤耗率差值/g·kWh ⁻¹		-4
综合成本煤耗率/g·kWh ⁻¹	382.48	368.3
综合成本煤耗率差值/g·kWh ⁻¹		-14.15
改造收益/万元		466.9
改造投资/万元		900
回收年限/年		1.93

从表1中可以看出,200 MW 机组改为汽轮机驱动后,可降低厂用电率约2.5%,虽然发电煤耗升高5 g/kWh,供电煤耗降低4 g/kWh,按传统节能分析方法计算年节约标煤约4 180 t,按标煤单价300元/t计算,年效益为125.4万元,7年多才能回收投资。而用能量价值分析计算,改造后综合成本煤耗率降低14.15 g/kWh,年效益达466.9万元,2年左右就能回收投资。由此可见,用能量价值分析计算更切合实际情况。

5 300 ~ 350 MW 机组电动给水泵和汽动给水泵技术经济比较分析

表2 部分300~360 MW 机组技术经济指标比较

机组名称	珞璜1	元宝山1	江油1	宝钢2	利港1	大连1	福州1
给水泵驱动方式	电泵	电泵	电泵	汽泵	汽泵	汽泵	汽泵
发电煤耗率/g·kWh ⁻¹	302	325	305	306	309	310	306
厂用电率/%	11.2	9.24	10.2	4.03	4.3	3.86	3.88
供电煤耗率/g·kWh ⁻¹	340.1	358.1	339.6	318.8	322.9	322.4	318.4
综合成本煤耗率/g·kWh ⁻¹	395.3	402.0	390.0	339.6	344.8	342.2	338.3
年毛效益/万元	23 652	23 292	23 940	26 663	26 379	26 523	26 730
	平均23 628			平均26 574			

6 结束语

文中提出了发电厂“能量价值分析”方法,对发电厂利润进行了详细分析,导出了发电厂利润方程式,尤其是引入了综合成本煤耗率概念,并推导出综合成本煤耗率计算公式,为发电厂开展节能工作提供了全新的分析方法。“能量价值分析”方法克服了

300 MW 及以上机组都应采用汽动给水泵,但由于历史原因我国还有部分机组采用了电泵驱动,虽然发电煤耗率较低,但厂用电率高达10%,比采用汽动给水泵高出近6%,使供电煤耗率高约20 g/kWh,综合成本煤耗率高约50~60 g/kWh。如机组年发电量为18亿 kWh,电价为0.25元/kWh,标煤单价300元/t,电煤比价系数为8.33,虽然发电煤耗率相差不大(也即燃料成本),但平均年效益相差高达2 946万元,这主要是采用汽泵后大大降低了厂用电率,使机组的上网电量增加。国内部分300~360 MW 机组技术经济指标比较见表2。

300 MW 及以上大容量机组如采用电动给水泵驱动,不但经济性降低,而且机组单位千瓦造价也增加。如华能珞璜电厂机组额定功率为362 MW,扣除厂用电后净出力321 MW;华能福州电厂机组额定功率为350 MW,扣除厂用电后净出力336 MW,机组净出力比珞璜电厂还大15 MW,按年利用5 000 h计算,上网电量还多7 500万 kWh,又可增效1 875万元计算。按机组净出力计算的单位千瓦造价珞璜比福州肯定要高,所以300 MW 及以上大容量机组必须采用汽动给水泵驱动。

传统热力学分析方法的局限,把热力学和经济学有机地结合在一起,真正成为在市场经济下发电厂技术经济分析的科学方法,并成功地应用于机组给水泵驱动方式的技术经济论证。

参考文献:

[1] 黎维华. 300 MW 机组给水泵驱动方式经济性分析[J]. 电力建设, 1995(10): 28.

(辉 编辑)

Under this method the copper tube end and tube sheet are coated with XZ-A toughness-enhancement and corrosion-prevention glue along with the introduction of cathode protection. Other parts of the copper tube are plated with a FeSO_4 film (including the film replenishment conducted periodically) combined with the use of sponge-ball cleaning. Practice has shown that this type of combined protection is highly effective in preventing condenser copper tube corrosion. **Key words:** condenser copper tube, corrosion, combined protection

湿法烟气脱硫系统对发电机组运行的影响研究= Research on the Influence of Wet-process Flue Gas Desulfurization (FGD) System on the Operation of a Power Plant [刊, 汉] / ZENG Ting-hua, MA Bin, LIAO Yong-jin, et al (Guangdong Provincial Electric Power Test and Research Institute, Guangzhou, China, Post Code: 510600) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 93 ~ 96

The influence of a flue gas desulfurization system on the operation of a power plant was investigated on a limestone/gypsum wet-process flue gas desulfurization (FGD) system installed at Lianzhou Power Plant in Guangdong Province. Mainly analyzed is the influence of the FGD system on the following items: boiler furnace negative pressure, corrosion of flue-pass at the boiler tail section, industrial water system, steam turbine operation. The impact of mixed drainage of desulfurization gypsum and plant ash-slag water on the existing drainage system has also been investigated. The results of the investigation may serve as reference data for the design and operation of the wet-process FGD system. **Key words:** wet-process flue gas desulfurization, power plant, influence

基于能量价值分析的给水泵驱动方式的技术经济论证= Technico-economic Argumentation of a Feedwater Pump Drive-mode Based on an Energy Value Analysis [刊, 汉] / CHEN Guo-nian (Jiangsu Provincial Electric Power Co., Nanjing, China, Post Code: 210024) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 97 ~ 100

Through the value analysis of various forms of energy produced by a power plant the authors have put forward a principle of "energy value analysis". On the basis of this theory deduced is a calculation formula for "comprehensive cost-based coal consumption rate". Under this approach it is possible to overcome the limitation of a traditional thermodynamics-based analytical method. By way of organically integrating the theory of thermodynamics with economics a scientific method is found for the technico-economic analysis of power plants under market-economy conditions. Moreover, an effective approach for cost reduction at power plants under market-economy conditions and the criteria for analyzing energy savings have also been identified. All the above has been successfully applied in the technico-economic argumentation concerning the drive mode for a feedwater pump. **Key words:** electric power plant, energy value, comprehensive cost-based coal consumption rate, electric-drive pump, steam-drive pump, argumentation

超临界机组汽水系统蒸汽加氧吹扫钝化工艺应用= The Application of Steam-plus-oxygen Purging and Passivation Technology for the Steam-water system of a Supercritical Boiler Unit [刊, 汉] / GUO Jiang-bin (Heilongjiang No.3 Thermal Power Plant Construction Co., Harbin, China, Post Code: 150016), ZHANG Yong, WANG Ying (Harbin No.703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 101 ~ 103

In accordance with the layout features of a boiler unit at Lazidan Power Plant in Armenia, boiler steam-plus-oxygen technology instead of the traditional chemical washing plus ignition purging technique was introduced for the purging and passivation of the steam-water system of the boiler unit. Good results have been achieved in the practical use of the above-mentioned technology with energy loss being reduced and pollution of environment by chemicals avoided. Through a comparison of the technology under discussion with traditional ones the authors describe the theoretical basis of the recommended washing and passivation techniques. The latter are worthy of a wider popularization and can serve as additional reference data and information for analogous domestic techniques. **Key words:** supercritical parameter, steam, purging, passivation