

# The Study of Economic Capacity of Furnace Transformers and Basic Tariff Charge

Luliang Zhang, Tao Yu

College of Electric Power, South China of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, China

Email: zll5337@126.com

**Abstract:** Measurements lasting for 24hours for several furnace transformers of a large steel-smelting enterprise in Guiyang city were conducted, while power quality analyzer FLUKE435 as the measurement tool. The economic capacity is studied based on the measured data. The results show that the current two-part tariff for large industrial users is the key reason for the steel-smelting enterprises to use over-capacity furnace transformers. The reform of basic tariff charged is proposed, which would benefit both the power supply departments and users.

**Keywords:** furnace transformer; economic capacity; basic tariff; energy-saving; steel-smelting

## 电炉变经济容量的选择和对基本电费收取的探讨

张禄亮, 余 涛

华南理工大学电力学院, 广州, 中国, 510640

Email: zll5337@126.com

**摘 要:** 本文采用 FLUKE435 对贵阳某大型钢铁冶炼企业的多台电炉专用变压器运行状况进行了 24h 的长时间连续测量, 在实测数据的基础上, 对电炉变的经济容量选择进行了探讨。认为当前对大工业用户实行的两部制电价是致使冶炼企业电炉变超容量运行的根本原因, 提出了对基本电费收取的改革建议, 供电部门和用户双方均将从中受益。

**关键词:** 电炉变压器; 经济容量; 基本电费; 节能; 钢铁冶炼

### 1 引言

铁合金电炉的生产过程中, 电能的消耗在产品中占很大比重, 电费占产品成本的 57%~60%。因此除了在工艺上、原料上考虑降低产品的电能消耗外, 对电炉的导电设备应充分注意降低各部分的电能损失。曾测定过一台 12.5MVA 电炉, 其变压器的功率损耗占总的功率损耗的 8%~9.5%, 因此, 提高电炉专用变压器运行效率, 对于电气节能具有极为重大的意义<sup>[1]</sup>。

炉用变压器超容量运行是一个普遍存在的问题, 其功率损耗十分巨大。关于电炉变压器的经济容量选择, 国内外学者做了大量的研究工作。文[2]指出了铁合金电炉变压器在运行中存在超容量运行的问题, 认

为铁合金电炉变压器应该增加超负荷容量。文[3]认为变压器的容量选择应充分咨询当地供电基础条件, 考虑变压器设备参数、节能、综合经济运行费用等因素。然而这两篇文章都未指出现行基本电价制度是电炉变压器普遍超载的根本原因。文[4-5]指出了两部制电价的弊端, 分析了它对变压器经济运行的影响, 然而并未提出任何具体的改革建议。

本文对贵州省某大型钢铁冶炼企业的数台电炉变压器运行状况进行了 24h 长时间连续测量, 在基于实测数据进行精确计算的基础上, 分析了各种因素对变压器经济容量选择的影响, 并提出了对现行基本电价的具体改革建议。

### 2 变压器损耗与计算

变压器运行中的功率损耗可分为两部分, 即空载

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目 (50807016) 与广东省自然科学基金项目 (9151064101000049)

损耗与负载损耗。空载损耗是固定损耗，它只与变压器的容量以及电压的高低有关，而与负载的大小无关；负载损耗是可变的，它的大小取决于变压器负载的大小和功率因数的高低。

$$\Delta P = \Delta P_0 + \beta^2 \Delta P_K \quad (1)$$

$\Delta P_0$ —变压器额定运行的空载损耗

$\Delta P_K$ —变压器额定运行的负载损耗

$\beta$ —变压器负载率

在变压器负载损耗计算工作中， $\beta$  往往采用的都是平均负荷率，这种评价方法在负荷波动较小的时候简单可行，然而对于负荷波动较大的情况，计算结果与实际值存在着很大的偏差。理论上，采用方均根负载计算方法才是最严谨的，其计算精度非常高。在时间 T 内，变压器负载电能损耗的计算式如下<sup>[6]</sup>：

$$\Delta A_j = \Delta P_k \int_0^T \beta^2 dt = T \bar{\beta}^2 \Delta P_k \quad (2)$$

其中

$$\bar{\beta} = \sqrt{\frac{1}{TS^2} \int_0^T S^2 dt} \quad (3)$$

$\bar{\beta}$ —负载率方均根值。

为了满足方均根负载计算法的要求，选择了美国福禄克公司生产的满足 A 类精度的电能质量分析仪——FLUKE435 作为检测仪器<sup>[7]</sup>。在三个检测点都进行了连续 24 小时的长时间测量，每 30s 记录一次数据，故可依据式 (4) 计算出的方均根负载率。采样间隔很短，因此基于得到的实测数据的计算结果是足够精确的。

$$\bar{\beta} = \sqrt{\frac{1}{TS_N^2} \int_0^T \left( \frac{P}{\cos\varphi} \right)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{TS_N^2} \sum_{i=1}^{2880} \frac{P_i^2}{\cos^2\varphi_i} \cdot \Delta T} \quad (4)$$

$P_i$ —第 i 个采样点的有功功率值

$\cos\varphi_i$ —第 i 个采样点的功率因数数值

企业用电全部来自社会电网，其主要用电设备为大容量的交流电弧炉，年耗电量超过 2 亿 kWh。选择了三台 35kV 电炉变作为测量点，其电气接线如图 1 所示（未测量的设备在图中省略）。

图 2、图 3 分别为 102#、103#炉的视在功率 24h 时间演化图，其专用变压器型号均为 HTSSPZ-12500/35。由式 (4) 计算得到两台电炉变的方均根负载率  $\bar{\beta}$  分别为 138.32% 和 152.33%，变压器的年运行总损耗分别达到 262.114 万 kWh 和 313.366 万 kWh。

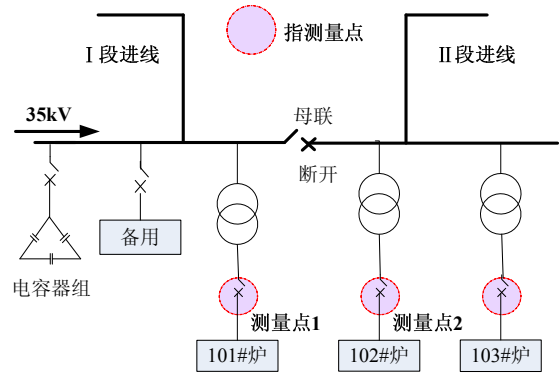


Figure 1. Electric diagram of measuring points

图 1 测量点电气接线图

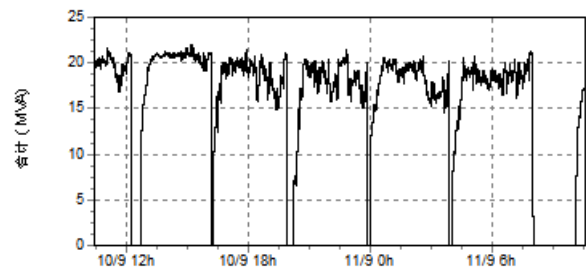


Figure 2. Curve: Apparent power of 102 furnace transformer

图 2 102#炉变视在功率 24h 时间演化图

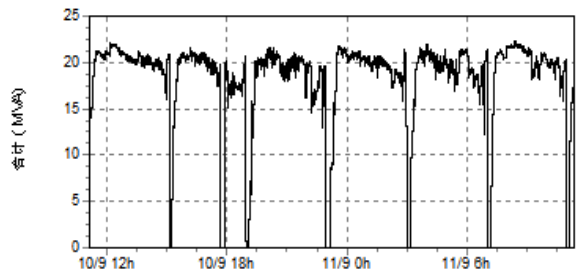


Figure 3. Curve: Apparent power of 103 furnace transformer

图 3 103#炉变视在功率 24h 时间演化图

这两台铁合金电炉变的方均根负载率均超过额定容量，甚至高达 152%，使得铜耗大大超过了铁损，变压器运行点远远偏离经济负载率，需要增大变压器的容量，以降低变压器的铜耗。

### 3 经济容量的确定

#### 3.1 自然损耗最低的经济容量选择

空载损耗等于负载损耗时，变压器的运行效率最

高。传统观念认为，变压器的负载率在 75%~85%之间时最为经济。然而，随着变压器制造工艺的不断提高以及新材料的不断涌现及应用，特别是非晶合金材料的应用，使得变压器空载损耗的下降幅度远远大于负载损耗，由式 (5~7) 可计算得新型节能变压器的经济运行负荷率为 20~30%。

$$\eta = \frac{\beta S_N \cos \varphi}{\beta S_N \cos \varphi + \Delta P_0 + \beta^2 \Delta P_K} \quad (5)$$

$$\eta_{\max} = \frac{S_N \cos \varphi}{S_N \cos \varphi + 2\sqrt{\Delta P_0 \Delta P_K}} \quad (6)$$

$$\beta_m = \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\Delta P_K}} \quad (7)$$

图 4 是不同容量下，103#电炉变的空载损耗、负载损耗以及总损耗变化曲线图。随着容量的增大，变压器的空载损耗逐渐增加，但负载损耗明显下降，使得电炉变的总损耗显著下降。当容量扩大到 80000kVA，负载率为 23.5%时，变压器的总损耗达到最低值。

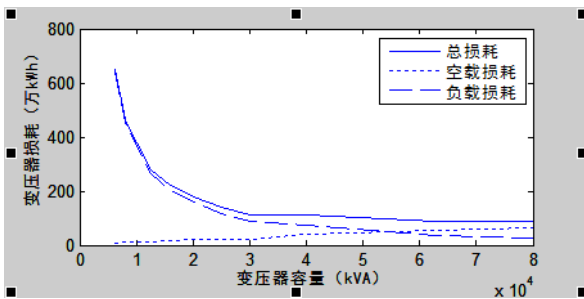


Figure 4. Relation between loss and capacity of transformer  
图 4 变压器总损耗与容量的关系曲线

### 3.2 综合运行成本最低的经济容量选择

单纯地从变压器自身的经济运行角度出发，来选择容量是不够的，变压器的自然损耗最低，并不意味着企业变压器运行的整体效益最佳。我国对大工业企业实行两部制电价制度。它由电度电价和基本电价两部分构成：电度电价是指按用户用电度数计算的电价；基本电价是指按用户用电容量计算的电价，基本电价可按变压器容量或按最大需量计费。此外，计入供电贴费、折现率、不计及通货膨胀率，变压器目前折现值经济指标计算如下<sup>[8]</sup>：

$$P_w = B_1 + B_2 S_N + (\Delta P C_1 + 12 C_2 S_1) (P/A, i, n) \quad (8)$$

$B_1$ —变压器初始投资，万元

$B_2$ —供电贴费，元/kVA

$C_1$ —电度电价，元/kWh

$C_2$ —变压器基本电价，元/(kVA·月)

$S_1$ —基本电费计算容量，kVA

$(P/A, i, n)$ —年值现值系数

#### 3.2.1 按变压器容量收取基本电费

结合企业所在地的实际情况，变压器供电贴费取 110 元/kVA，电度电价按 0.46 元/kWh，基本电费按 18 元/(kVA·月)，全年投入电网运行时间 8700h，折现率 6%，使用寿命为 10 年计算，得出 103#电炉变总电费与变压器容量的关系曲线如图 5 所示。

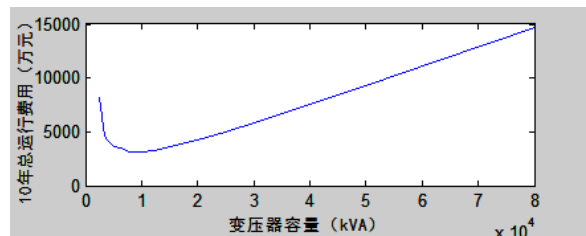


Figure 5. Relation between operation cost and capacity when basic tariff charge by capacity for 10 years  
图 5 变压器的 10 年总运行成本与容量的关系曲线 (基本电费按变压器容量计算)

由图 5 可见，按变压器容量收取基本电费时，变压器的最经济容量为 10000kVA，比企业目前在用变压器的容量还要小，这正说明了用电企业是为了少交基本电费，从而争先恐后地让变压器超容量运行。若按变压器自然损耗最低选择变压器容量（扩容到 80000kVA），企业每年应缴纳的基本电费将增加 1458 万元，是扩容所节省的电度电费的几十倍，这对企业来讲将是得不偿失的举措。

#### 3.2.2 按最大需量收取基本电费

建议按最大需量收取基本电费，企业就不会为了减少基本电费而尽量压缩变压器容量，而是采用更实际的经济容量<sup>[9]</sup>，从而大大降低变压器的损耗。

按最大需量收取基本电费时，单位基本电价为 27 元/(kVA·月)，最大需量取 103#炉的最大视在功率 21000 kVA，变压器总电费与变压器容量的关系曲线如图 6 所示。

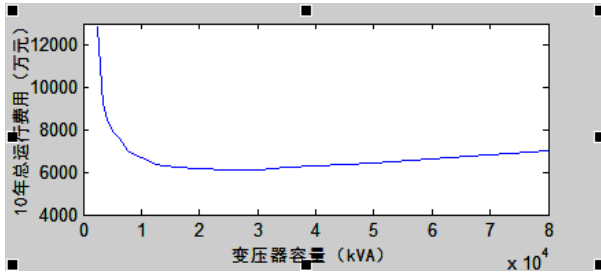


Figure 6. Relation between operation cost and capacity when basic tariff charge by maximum need for 10 years  
图6 变压器10年总运行成本与容量的关系曲线 (基本电费按最大需量计算)

从图中可看出,当容量在25000kVA时,变压器综合运行费用最低。此时,变压器年均运行费用为540.9万元,而103#电炉变目前的年均运行成本仅为327万元。可见,在现行电价下,即便按最大需量收取基本电费,企业按照最经济容量进行改造,运行成本却还是增大了。这是因为单位基本电价偏高的缘故,建议供电部门对基本电价进行改革。

### 3.3 基本电费改革建议

注意到,若按最大需量收取基本电费,进行节能改造后,无论基本电价多少,供电部门和企业的获得的直接经济效益总和是固定不变的,如图7中的实线所示。基本电价的不同,只是影响到经济利益在两个部分之间的分配。当基本电价为13.2元/(kVA·月)时,直接经济利益在两部门间平均分配,如虚线与点划线的交点所示。

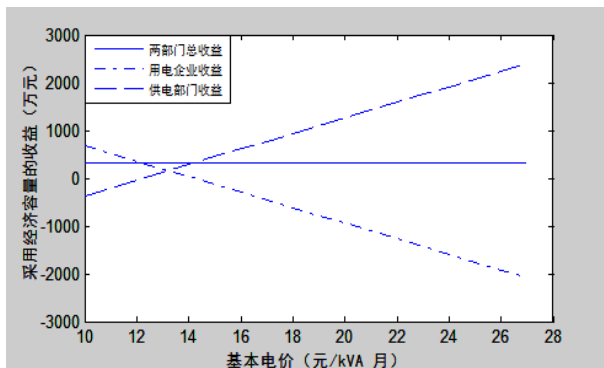


Figure 7. Benefit distribution under different basic tariffs  
图7 直接经济利益分配与基本电价的关系曲线

供电部门虽是将基本电价调低,但按最大需量收取基本电费后,其基本电费收入实际上是增加了的,而且有利于电力系统安全供电、促进电网经济运行。

对企业而言,选择更大容量的变压器,功率损耗降低与变压器寿命延长的同时,电弧炉电极的工作也更加稳定,也利于未来进行扩大生产。

建议供电部门按最大需量收取基本电费,并适当调整单位基本电价,鼓励用电企业合理选用较大容量新型节能的变压器。按照综合费用最低来选择经济容量,每年可为社会节约电能139kWh,折合标煤500.6吨,可减少CO<sub>2</sub>排放量1311.5吨。而在其造价升高背后包含的资源和能源消耗,按2009年贵州省的单位GDP能耗为2.875吨标准煤/万元推算,生产一台25000kVA变压器比生产12500kVA变压器要多消耗323.4吨标煤,多排放847.4吨CO<sub>2</sub>,尚不足年节能减排量的60%,可见扩容的节能效益和社会效益是十分巨大的,而且将贯穿变压器的整个寿命期间。

## 4 结论

交流电弧炉的专用变压器经常在超容量状态下运行,其电气损耗是非常巨大的。两部制电价制度已影响到企业开展变压器经济运行的积极性,不符合国家关于推动全社会开展节能降耗和资源综合利用,促进经济增长方式转变和可持续发展的要求。

建议供电部门按最大需量收取基本电费,并适当调整单位基本电价,鼓励用电企业合理选用较大容量新型节能的变压器,真正实现变压器的节能运行,这对供用电双方乃至整个社会都是有益的。

## References (参考文献)

- [1] LUAN Xinhang. Energy-saving and refining technology of ferroalloy [M]. Xi'an: Northwest industrial university press, 2006. 梁心汉等. 铁合金生产节能及精炼技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.
- [2] KONG Xian-ting. Approach to selection of rational electric furnace transformer capacity[J]. Ferro-Alloys, 1990, 3(4): P11-12. 孔宪庭. 合理选择铁合金电炉变压器容量的探讨[J]. 铁合金, 1990, 03(4): P11-12.
- [3] ZHANG Li. Discuss on capacity optimization and energy-saving of distribution transformer[J]. Building Electricity, 2010, (1): P39-41. 张笠. 再谈配电变压器节能和容量优化. 建筑电气, 2010, (1): P39-41.
- [4] DONG Jianhua. Analysis between Existing Electricity Pricing and Economical Operation of Transformers. Journal of Northeast Dianli University(Natural Science Edition) [J], 2008, 28(2): P60-64. 董建华等. 现行电价与变压器经济运行分析. 东北电力大学学报. 2008, 28(2): P60-64.
- [5] TANG Xuezhi. Nowadays The Basic Electricity Billing Problems[J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2009(4): P23-25. 唐学智. 目前基本电价计费存在的问题. 四川有色金属, 2009(4): P23-25.
- [6] HU Jingsheng. Transformer energy efficiency and energy-saving technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2007. 胡景生. 变压器能效与节电技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

- [7] Handheld Three-Phase Power Quality Analyzer By Fluke[J]. Instrumentation Technology[J], 2005, (03): 86.  
福禄克手持式三相电能质量分析仪[J]. 仪表技术, 2005, (03): 86.
- [8] LIN Shuyan. Energy-saving Calculation of Distribution Transformers[J]. Building Electricity, 2009, (09): P21-29.  
林树棧. 配电变压器的节能测算[J]. 建筑电气, 2009, (09): P21-29
- [9] ZHOU Guo-an. Basic tariff charge by maximum is benefit to economic operation of transformer [J]. Electric Engineering, 2001, (1): P43-44.  
周国安. 按最大需量计算基本电费有利于推广变压器的经济运行[J]. 电工技术, 2001, (1): P43-44.