

# 有色金属加工企业变压器节能的研究分析

李颖旭 王 斐

(中色科技股份有限公司苏州分公司, 江苏 苏州 215026)

**[摘要]** 变压器节能是电气节能中的一个重要分支。本文结合有色金属加工行业的特点,介绍变压器产生的损耗及计算方法,计算 SCB11、SCB12、SCB13 变压器的有功功率损耗、无功功率损耗和有功电能损耗,并以 SCB11 为基准,计算选择 SCB12、SCB13 变压器多付出的投资的资金回收周期,以及以 SCB9 为例,计算将高能耗变压器置换为 SCB11、SCB12、SCB13 所节省的电能。计算结果表明,在高电价区域,新建工程项目应当选择最新型的节能变压器;在低电价区域,有条件的情况下尽可能选择最新型的节能变压器;高能耗变压器置换可以节约大量电能,且变压器容量越大,节省的电量就越多。建议企业结合发展规划,借助技术改造升级或厂址搬迁的机会将高能耗变压器更换为最新型的节能变压器。

**[关键词]** 有色金属加工; 节能; 变压器; 有功功率损耗; 无功功率损耗; 有功电能损耗

**[中图分类号]** TF08; TM421

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 1008-5122(2021)04-0037-04

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.04.009

## Research and Analysis of Transformer Energy-saving in Non-ferrous Metal Processing Enterprises

LI Ying-xu, WANG Fei

**Abstract:** Combining with the features of non-ferrous metal processing industry, this paper discussed the transformer loss and its calculation method. The total active power loss, reactive power loss and active energy loss of SCB11, SCB12 and SCB13 transformers were calculated. Taking SCB11 as baseline, this paper also calculated the payback period of the excess cost of selecting SCB12 and SCB13 transformers. Taking SCB9 as an example, the power saved through replacing high energy consumption transformer to SCB11, SCB12 and SCB13 were also calculated. The calculation results showed that the latest energy-saving transformer should be selected for new construction projects in high electricity price areas; in low electricity price areas, the latest energy-saving transformers should be selected as much as possible if available. Replacing high energy consumption transformer can save a lot of electric energy every year, and the larger the transformer capacity, the more electric energy can be saved. It was suggested that enterprises should replace the high energy consumption transformer with the latest energy-saving transformer with the opportunity of technical transformation and upgrading or site relocation in combination with enterprise development planning.

**Key words:** nonferrous metal processing industry; energy conservation; transformer; active power loss; reactive power loss; active energy less

**[收稿日期]** 2021-01-11

**[作者简介]** 李颖旭(1990—),男,河南南阳人,本科,注册电气工程师(供配电),主要从事有色金属加工项目电气设计工作。

**[引用格式]** 李颖旭,王斐.有色金属加工企业变压器节能的研究分析[J].有色冶金节能,2021,37(4):37-40.

## 0 前言

近年来,国家对于节能的要求越来越高,工信部相继发布高能耗设备的淘汰目录,从国家层面上鼓励淘汰高能耗产品,推行绿色发展的理念。有色金属加工行业作为国家重工业的一部分,其电力系统

的容量以及电能消耗量经常为所在地区内各电能消耗企业前列。

在企业正常运行的过程中,除去正常生产、生活的电能消耗,大量的电能消耗在电力系统中,这部分电能并不能产生任何产出,称为损耗。在电力系统的损耗中,变压器的损耗占了很大的比重。变压器作为一种电压转换的电气设备,在终端企业电力系统中大量存在,例如在一些大型的有色金属加工企业,变压器的数量甚至达到百台以上。因此,为了响应国家号召,也是从企业本身的利益出发,合理选择配电变压器就显得尤为重要。

## 1 有色金属加工企业变压器应用现状

常用的电力变压器分为干式变压器和油浸变压器<sup>[1]</sup>。近年来,干式变压器由于具有低损耗、免维护等一系列的优点得到大范围应用。现市面上常见的干式变压器有 SCB11、SCB12 和 SCB13。型号中的数字代表变压器的性能水平,数字越大,则变压器损耗越低,价格也越贵。

有色金属加工行业作为我国传统行业的一员,其发展可追溯至建国以前。在建国之初,我国有色金属加工行业的发展极为落后,故国家对此也十分重视,推行各种政策,以鼓励发展有色金属加工行业的发展。在此期间,各类国有、民办有色金属加工企业如雨后春笋般遍布中国各地。现如今,我国已是有色金属大国,产量及质量均处于国际领先水平。

在这种行业背景下,国内大部分有色金属加工企业已生产发展数十年,许多企业甚至自建国之初就一直存在。在这几十年的发展过程中,许多企业对内部的电力系统进行了升级改造,但仍有不少的企业为节省技改投资,还在使用高损耗的电力变压器,甚至是国家责令淘汰的设备。另外,由于建设单位希望节省一次投资,加上部分设计单位能力不足,未进行节能评价和计算,高损耗的变压器仍频繁出现在一些新建项目中。

## 2 变压器的节能计算

### 2.1 变压器损耗

#### 2.1.1 变压器的有功功率损耗

变压器的有功功率损耗主要包括:1)空载损耗,即铁损;2)负载损耗,铜损;3)其他损耗,一般忽略不计<sup>[1]</sup>。变压器的有功功率损耗计算公式

为<sup>[1]</sup>:

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

式中: $\Delta P$ ——有功功率损耗,W;

$P_0$ ——空载损耗,W;

$\beta$ ——变压器的负荷率;

$P_k$ ——变压器满载时的负载损耗,W。

空载损耗仅与变压器自身结构性质有关,为固定值,不随变压器负载变化而变化; $\beta^2 P_k$ 为负载损耗,一般来说,负载损耗占变压器有功功率损耗的70%以上,与变压器结构和负载均有关,且变压器负荷率越高,其负载损耗也越高。

$P_0$ 和 $P_k$ 的值自变压器制造出厂就已确定下来,为变压器的固有参数,均可从变压器厂家处获取。

#### 2.1.2 变压器的无功功率损耗

变压器无功功率损耗的计算公式<sup>[1]</sup>为:

$$\Delta Q = Q_0 + \beta^2 Q_k \quad (2)$$

其中,

$$Q_0 = I_0 \% \times S_N \times 100 \% \quad (3)$$

$$Q_k = u_k \% \times S_N \times 100 \% \quad (4)$$

式中: $\Delta Q$ ——无功功率损耗,var;

$Q_0$ ——变压器空载时的无功功率损耗,var;

$Q_k$ ——变压器满载时的无功功率损耗,var。

$S_N$ ——变压器容量,VA;

$I_0$ ——变压器空载电流百分比,%;

$u_k$ ——短路电压百分比,%,可从变压器厂家处获取。

#### 2.1.3 变压器的有功电能损耗

随着变压器的运行,变压器自身的有功功率损耗会产生有功电能损耗。这部分电能损耗会产生电费,计入企业运行的成本之中。变压器年有功电能损耗的计算公式为<sup>[1]</sup>:

$$\Delta W = P_0 t + \beta^2 P_k \tau \quad (5)$$

式中: $\Delta W$ ——年有功电能损耗,kW·h;

$t$ ——年工作小时,h,取 $365 \times 24 = 8\ 760$ h;

$\tau$ ——年最大有功负荷利用小时数,h。一般来说,有色金属加工行业 $\tau$ 值为3 000~4 000 h,具体根据有色金属加工企业加工工艺流程和产品产能的不同而有所区别,此处计算取平均值3 500 h;

$\beta$ ——变压器负荷率。通过调研多家有色金属加工企业,大部分企业内变压器实际运行负荷率为70%~90%,计算取 $\beta = 0.8$ 。

## 2.2 SCB11、SCB12、SCB13 干式变压器节能计算

根据公式(1)~(5)计算 SCB11、SCB12、SCB13 干式变压器的各种损耗,结果见表1~表3。其中  $P_0$ 、 $P_k$ 、 $I_0$ 、 $u_k$  为原始参数,  $Q_0$ 、 $Q_k$ 、 $\Delta P$ 、 $\Delta Q$ 、 $\Delta W$  为计算参数。需要注意的是,由于有色

金属加工设备普遍装机容量较大且布置相对集中,出于经济性考虑,电力变压器数量不宜过多,变压器的容量一般不会小于 1 000 kVA,故表 1~3 中仅列出了 1 000~2 500 kVA 变压器的节能计算结果。

表 1 SCB11 干式变压器节能计算

| $S_N/\text{kVA}$ | $u_k/\%$ | $I_0/\%$ | $P_0/\text{W}$ | $P_k/\text{W}$ | $Q_0/\text{var}$ | $Q_k/\text{var}$ | $\Delta P/\text{W}$ | $\Delta Q/\text{var}$ | $\Delta W/\text{kW}\cdot\text{h}$ |
|------------------|----------|----------|----------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 000            | 6        | 0.6      | 1 590          | 8 130          | 6 000            | 60 000           | 6 793.2             | 44 400                | 32 139.6                          |
| 1 250            | 6        | 0.6      | 1 880          | 9 690          | 7 500            | 75 000           | 8 081.6             | 55 500                | 38 174.4                          |
| 1 600            | 6        | 0.5      | 2 200          | 11 700         | 8 000            | 96 000           | 9 688.0             | 69 440                | 45 480.0                          |
| 2 000            | 6        | 0.5      | 2 745          | 14 400         | 10 000           | 120 000          | 11 961.0            | 86 800                | 56 302.2                          |
| 2 500            | 6        | 0.5      | 3 240          | 17 100         | 12 500           | 150 000          | 14 184.0            | 108 500               | 66 686.4                          |

表 2 SCB12 干式变压器节能计算

| $S_N/\text{kVA}$ | $u_k/\%$ | $I_0/\%$ | $P_0/\text{W}$ | $P_k/\text{W}$ | $Q_0/\text{var}$ | $Q_k/\text{var}$ | $\Delta P/\text{W}$ | $\Delta Q/\text{var}$ | $\Delta W/\text{kW}\cdot\text{h}$ |
|------------------|----------|----------|----------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 000            | 6        | 0.5      | 1 415          | 8 130          | 5 000            | 60 000           | 6 618.2             | 43 400                | 30 606.6                          |
| 1 250            | 6        | 0.5      | 1 670          | 9 690          | 6 250            | 75 000           | 7 871.6             | 54 250                | 36 334.8                          |
| 1 600            | 6        | 0.4      | 1 960          | 11 730         | 6 400            | 96 000           | 9 467.2             | 67 840                | 43 444.8                          |
| 2 000            | 6        | 0.4      | 2 440          | 14 450         | 8 000            | 120 000          | 11 688.0            | 84 800                | 53 742.4                          |
| 2 500            | 6        | 0.3      | 2 880          | 17 170         | 7 500            | 150 000          | 13 868.8            | 103 500               | 63 689.6                          |

表 3 SCB13 干式变压器节能计算

| $S_N/\text{kVA}$ | $u_k/\%$ | $I_0/\%$ | $P_0/\text{W}$ | $P_k/\text{W}$ | $Q_0/\text{var}$ | $Q_k/\text{var}$ | $\Delta P/\text{W}$ | $\Delta Q/\text{var}$ | $\Delta W/\text{kW}\cdot\text{h}$ |
|------------------|----------|----------|----------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 000            | 6        | 0.4      | 1 275          | 7 315          | 4 000            | 60 000           | 5 956.6             | 42 400                | 27 554.6                          |
| 1 250            | 6        | 0.4      | 1 505          | 8 720          | 5 000            | 75 000           | 7 085.8             | 53 000                | 32 716.6                          |
| 1 600            | 6        | 0.4      | 1 765          | 10 555         | 6 400            | 96 000           | 8 520.2             | 67 840                | 39 104.6                          |
| 2 000            | 6        | 0.4      | 2 195          | 13 005         | 8 000            | 120 000          | 10 518.2            | 84 800                | 48 359.4                          |
| 2 500            | 6        | 0.3      | 2 590          | 15 455         | 7 500            | 150 000          | 12 481.2            | 103 500               | 57 307.6                          |

## 3 变压器选型的经济计算

本文的变压器选型经济计算分为两部分:第一部分为新建项目中,变压器选择 SCB12 或 SCB13 干式变压器相较于选择 SCB11 干式变压器的经济分析;第二部分为将高损耗变压器(以 SCB9 干式变压器为例)置换为 SCB11~13 干式变压器的经济分析。

### 3.1 新建项目变压器选择的经济计算

选择节能效果更好的变压器有两个好处:1)节省消耗在变压器上的电费;2)无功功率损耗更低,可以减少电容补偿的投资<sup>[2-3]</sup>。

因此,若某一新建项目选择节能效果更好的变压器 A 比选择节能效果稍差的变压器 B 多花费了

$G$  元,则这部分资金的回收期  $T^{[1]}$  应为:

$$T = \frac{G - Z_C(\Delta Q_B - \Delta Q_A)}{J_d(\Delta W_B - \Delta W_A)} \quad (6)$$

式中: $Z_C$ ——单位容量电容器的投资,根据电容器品牌及质量,投资浮动为 30~120 元/kvar,计算取  $Z_C = 70/1\,000 = 0.07$ ;  
 $J_d$ ——地区电价,元/kW·h;一般来说,电价随所在区域及地方性政策不同有所变化。2019 年全国各地工业用电的平均电价为 0.45~0.75 元/kW·h。

某著名合资品牌干式变压器报价见表 4。

以 SCB11 干式变压器为基准,采购不同型号变压器多花费的资金回收期见表 5。

有色金属加工行业技术经济计算的投资回报周

表4 干式变压器价格 万元

| 型号    | $S_N/\text{kVA}$ |       |       |       |       |
|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|
|       | 1 000            | 1 250 | 1 600 | 2 000 | 2 500 |
| SCB11 | 20.5             | 23.0  | 27.0  | 31.0  | 35.0  |
| SCB12 | 21.8             | 24.5  | 28.5  | 32.6  | 37.3  |
| SCB13 | 23.6             | 26.8  | 31.0  | 35.0  | 40.0  |

表5 资金回收期计算表

| 型号    | $S_N/\text{kVA}$ |             |            |            |             | 年 |
|-------|------------------|-------------|------------|------------|-------------|---|
|       | 1 000            | 1 250       | 1 600      | 2 000      | 2 500       |   |
| SCB11 | 0                | 0           | 0          | 0          | 0           |   |
| SCB12 | 11.2 ~ 18.7      | 10.8 ~ 18.0 | 9.7 ~ 16.2 | 8.2 ~ 13.7 | 10.0 ~ 16.8 |   |
| SCB13 | 9.0 ~ 14.9       | 9.2 ~ 15.4  | 8.3 ~ 13.9 | 6.7 ~ 11.1 | 7.0 ~ 11.7  |   |

节能政策;在低电价区域,购置高节能效果的变压器多支付的资金回收期和行业投资回报周期相当。但从另一方面而言,变压器生产厂家不断地在进行技术创新和技术进步,不断制造出更为节能的变压器,且未来国家可能会出台更为优厚的节能奖励政策以及更为严厉的高损耗处罚条例和强制淘汰办法。企业出于节省一次投资的考虑,采购处于国家要求临界点的节能变压器,或许暂时并不会有问题,但是却存在运行不久就会被淘汰的风险。因此,建设单位可以根据企业规划酌情考虑变压器的选择。

### 3.2 变压器替换的经济计算

对于正在运行的淘汰型号变压器应按照国家政策要求进行替换。以 SCB9 干式变压器为例,计算将高能耗变压器替换为节能效果更好的变压器的节能数据,结果见表6~表7。

表6 SCB9 干式变压器节能计算

| 参数                                | $S_N/\text{kVA}$ |          |          |          |          |
|-----------------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|
|                                   | 1 000            | 1 250    | 1 600    | 2 000    | 2 500    |
| $P_0/\text{W}$                    | 1 990.0          | 2 350.0  | 2 750.0  | 3 735.0  | 4 500.0  |
| $P_k/\text{W}$                    | 8 600.0          | 10 260.0 | 12 420.0 | 15 300.0 | 18 180.0 |
| $\Delta P/\text{W}$               | 7 494.0          | 8 916.4  | 10 698.8 | 13 527.0 | 16 135.2 |
| $\Delta W/\text{kW}\cdot\text{h}$ | 36 696.4         | 43 568.4 | 51 910.8 | 66 990.6 | 80 143.2 |

表7 变压器替换每年节电量  $\text{kW}\cdot\text{h}$ 

| 型号    | $S_N/\text{kVA}$ |          |          |          |          |
|-------|------------------|----------|----------|----------|----------|
|       | 1 000            | 1 250    | 1 600    | 2 000    | 2 500    |
| SCB11 | 4 556.8          | 5 394.0  | 6 430.8  | 10 688.4 | 13 456.8 |
| SCB12 | 6 089.8          | 7 233.6  | 8 466.0  | 13 248.2 | 16 453.6 |
| SCB13 | 9 141.8          | 10 851.8 | 12 806.2 | 18 631.2 | 22 835.6 |

从表7可知,高能耗变压器替换每年每台可以节约大量电能,且变压器容量越大,替换变压器节省

期一般为15年及以上,很多已建工程项目也已正常运行20~30年。从表5中的数据可得知,在高电价区域,采购高节能效果的变压器多支出的资金成本可以通过电费节约很快回收,并在资金回收期后仍能每年为企业持续地节约运行电费,因此选择节能效果最好的变压器最为合理,也更为符合国家

的电量就越多。

在考虑了旧变压器残余价值的情况下,新购置一台变压器的一次投资也是一笔不小的费用,其资金回收期较长。但是当企业在遇到变压器故障需要修理或场址搬迁等情况,面对变压器的维修费用、运输费用时,可综合考虑进行经济比较,直接置换变压器也不失为一种更优的选择。

## 4 结论

变压器节能具有重要的意义,工程建设单位和设计单位都应当加强节能意识,提高对节能的重视。根据前文的论述,得出以下结论:

1) 在高电价区域,新建工程项目应当选择最新型的节能变压器。

2) 在低电价区域,有条件的情况下尽可能选择最新型的节能变压器。

3) 正常生产的企业中,对于S10、SCB10系列及之前系列的变压器、运行年份超15年的变压器,建议结合企业发展规划,借助企业技术改造升级或厂址搬迁的机会更换为最新型的节能变压器。

4) 因故障损坏的变压器,应进行经济计算,再决定修理或置换为最新型的节能变压器。

### [参考文献]

- [1] 《钢铁企业电力设计手册》编委会. 钢铁企业电力设计手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2007.
- [2] 国家能源局. 配电变压器能效技术经济评价导则:DL/T 985—2012[S]. 北京:中国电力出版社,2012.
- [3] 杨继宏,施垦. 厂用变压器节能改造与经济运行分析[J]. 宁波节能,2020(3):44-46.