

泵站主变压器运行效率分析*

魏恩甲¹, 何文学², 李茶青², 何自立¹

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100; 2 浙江水利水电专科学校, 浙江 杭州 310016)

[摘 要] 以提高泵站变压器的运行效率, 降低泵站抽水能耗为目的, 结合南上座泵站工程实例, 对泵站变压器的运行工况从损耗与负载率、效率与负载率及效率与功率因数之间的关系进行了全面分析。结果表明, 在泵站主变压器容量和机组功率一定的情况下, 提高泵站的功率因数可以降低变压器的负载率, 提高变压器的运行效率。

[关键词] 泵站; 变压器; 运行效率; 负载率; 节能

[中图分类号] TM 312; TM 341

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2002)03-0127-03

对抽水泵站来说, 提高变压器运行效率是降低能耗、减少泵站抽水成本的有效措施。但变压器的运行效率与其结构型式、使用材料、负载容量的大小以及功率因数等因素有关。本研究以宝鸡峡南上座泵站的实际资料为依据, 对该站变压器的不同运行工况进行计算, 以期为主变压器的高效运行提供

参考。

1 泵站基本情况

宝鸡峡南上座泵站位于乾县大王镇上座村, 设计流量 $4\ 74\text{ m}^3/\text{s}$, 灌溉面积 $6\ 553\ 3\text{ hm}^2$, 泵站主变压器及机组基本参数见表1, 表2^[1]。

表1 南上座泵站主变压器参数

Table 1 Parameters of main transformer about Nanshangzuo pump station

型号 Model	容量/ (kV · A) Capacity	原边电压/kV First voltage	副边电压/kV Secondary voltage	接线方式 Junction mode	空载损耗/kW No load loss	短路损耗/kW Short circuit loss	阻抗压降/% Impedance voltage
SL 7	2 000	35	6 3	Y/Δ-11	3 4	19 8	6 5

表2 南上座泵站机组参数

Table 2 Parameters of the units about Nanshangzuo pump station

电动机 型号 Motor model	台数 Quantity	功率/kW Power	转速/ (r · min ⁻¹) Rotation rate	效率/% Efficiency	定子 电流/A Stator current	电压/kV Voltage	功率因数 Power factor
Y/400-6	2	355	987	94 75	35 5	6	0 849
Y/355-6	4	220	988	94 18	27 8	6	0 829

2 分析计算

2 1 变压器损耗与负载率之间的关系

变压器的损耗主要由两部分组成, 一是空载损耗 P_0 (kW); 二是短路损耗 P_K (kW)。由于变压器空载时原绕组电流很小, 副绕组电流为零, 电流在绕组中引起的损耗可以忽略不计。因此, 空载损耗可以近似的认为是不变损耗^[2]; 而当变压器带有负载时, 在其原、副绕组中有电流通过, 电流在原、副绕组中产生焦耳损耗, 即产生铜损 P_d (kW)。当变压器带额定

负载运行时, 铜损近似的等于额定电流时的短路损耗, 即 $P_d \approx P_K$ 。变压器的铜损与负载率的平方成正比, 用(1)式计算^[3],

$$P_d = \beta^2 P_K = \left(\frac{S}{S_e}\right)^2 \cdot P_K \quad (1)$$

变压器在不同负载下的有功损耗 P (kW) 用(2)式计算^[3],

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

式中, S_e 为泵站主变压器的额定容量 (kV · A); S 为变压器所带负载的实际容量 (kV · A); β 为变压

* [收稿日期] 2001-07-04

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (49871040)

[作者简介] 魏恩甲(1953-), 男, 陕西扶风人, 副教授, 主要从事热能与动力工程研究。

器的负载率。

计算数值列于表 3。从表 3 可以看出, 变压器的有功损耗随着负载率的增大呈抛物线关系上升, 当

负载率大于 1 时, 损耗显著增大, 即变压器运行温度将大于其额定温度。因此, 为了保证变压器安全可靠运行, 变压器的负载率在正常情况下应小于 1。

表 3 负载率 β 与变压器有功损耗 P 及效率 η 之间的关系

Table 3 Relation between load rate β and transformer's active power loss P as well as efficiency η

β	P/kW	$\eta/\%$	β	P/kW	$\eta/\%$	β	P/kW	$\eta/\%$
0.0	3.40	0.00	0.4	6.57	99.13	0.8	16.07	98.94
0.1	3.60	98.12	0.5	8.38	99.12	0.9	19.44	98.86
0.2	4.19	98.90	0.6	10.53	99.08	1.0	23.20	98.78
0.3	5.18	99.09	0.7	13.10	99.01			

2.2 变压器效率与负载率之间的关系

变压器的效率用下式计算^[4]。

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%, \quad (3)$$

$$P_2 = S_e \beta \cos \varphi, \quad (4)$$

$$P_1 = P_2 + P_0 + \beta^2 P_K, \quad (5)$$

式中, P_2 为变压器的输出功率 (kW); P_1 为变压器的输入功率 (kW); $\cos \varphi$ 为负载的功率因数。

将 (4)、(5) 式代入 (3) 式可得:

$$\eta = \frac{S_e \beta \cos \varphi}{S_e \beta \cos \varphi + P_0 + \beta^2 P_K} \quad (6)$$

由 (6) 式可知, 当 $\cos \varphi$ 为定值时, 效率 η 为负载率 β 的函数。考虑到电业部门对泵站按实际功率因数调整电费和节能的要求^[5], 泵站运行时机组功率因数按补偿到 0.94^[6] 设计, 计算数值列于表 3。由表 3 中变压器效率与负载率之间的关系可看出, 变压器的最高效率点并不是在满负荷时出现。对于本站变压器 (SL 7-2000kVA/35kV), 当 $\cos \varphi = 0.94$ 时的最高效率点出现在负载率 β 等于 0.4。此时, 变压器的最高效率值也可对式 (6) 求导得出, 即令 $\frac{d\eta}{d\beta} = 0$, 则有

$$P_0 = \beta^2 P_K = P_{d0} \quad (7)$$

可见, 当变压器负载的铜损等于铁损时, 变压器

的效率最高, 这时的负载率为

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}} \quad (8)$$

将 (8) 式代入 (6) 式, 可以求出变压器的最高效率表达式为

$$\eta_{\max} = \frac{S_e \cos \varphi \sqrt{\frac{P_0}{P_K}}}{2P_0 + S_e \cos \varphi \sqrt{\frac{P_0}{P_K}}} \quad (9)$$

代入具体数值, 可求出该泵站当 $\cos \varphi = 0.94$ 时的最高效率百分值为 99.13。

此外, 从表 3 可知, 在选变压器时, 为了使所选变压器投资合理且运行在高效区, 负载率的取值应在 0.4~0.85, 这时变压器的效率都在 98.90% 以上。

2.3 变压器效率与功率因数之间的关系

从 (6) 式可以看出, 当变压器的负载一定时, 变压器的效率为功率因数的函数 (南上座泵站功率因数补偿到 0.94, 机组全部运行时 $\beta = 0.845$), 其计算数值列于表 4。由表 4 可知, 变压器的效率随着负载功率因数的增大而上升。由此可见, 无论变压器的负载率如何变化, 提高负载的功率因数都能达到提高变压器运行效率的目的。

表 4 变压器效率与功率因数之间的关系

Table 4 Relation between the efficiency of transformer and power factor

$\cos \varphi$	$\eta/\%$	$\cos \varphi$	$\eta/\%$	$\cos \varphi$	$\eta/\%$
0.1	90.59	0.5	97.97	0.9	98.86
0.2	95.07	0.6	98.03	0.8	98.72
0.3	96.66	0.7	98.54	1.0	98.97
0.4	97.47				

3 结束语

通过以上几个方面的分析计算可知, 泵站为达到节能目的, 就必须正确选择变压器, 提高变压器的

运行效率。而变压器的运行效率又与负载率、功率因数和本身损耗有关, 在泵站机组功率和变压器容量一定的情况下, 要提高泵站变压器的运行效率, 还应提高机组的功率因数。因为提高机组的功率因数可

以降低变压器的负载率,从而使变压器的铜损降低。由南上座泵站分析结果可以看出,当机组不进行补偿(机组的平均功率因数为0.838)全部运行时,变压器的负载率和效率分别为0.987和98.68%;而功率因数补偿到0.94,机组全部运行时,变压器的

负载率和效率分别为0.845和98.91%(当部分机组不运行时效率更高)。可见该泵站变压器是工作在高效率区的,这说明其变压器容量的选择合适。由此可见,合理选择泵站变压器能提高泵站综合效益。

[参考文献]

- [1] 魏恩甲,何文学,张宁. 泵站机组功率因数提高方法探讨[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(3): 117- 119
- [2] 吴大榕. 电机学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1979
- [3] 刘宗富. 电机学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1982
- [4] 王庆玺,魏恩甲,李新. 泵站主变压器容量选择方法探讨[J]. 西北农业大学学报, 1995, 23(3): 187- 190
- [5] 张勳成,陈前明,万继武. 给排水手册(第8册)[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1986
- [6] 魏恩甲,何文学,张宁. 北昌泵站无功补偿容量分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(5): 141- 143

Analysis of operation efficiency of main transformer in pump stations

WEI En-jia¹, HE Wen-xue², LI Cha-qing², HE Zi-li¹

(1 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College, Hangzhou, Zhejiang 310016, China)

Abstract: With the purpose to increase the operational efficiency of the main transformer and decrease the pumping energy loss in pump stations, combined with the engineering example of the Nanshangzo pump station, the operational conditions of the main transformer in pump stations are thoroughly analysed in terms of the relation between the loss and load rate, efficiency and load rate as well as efficiency and power factor. The results indicate that when the capacity of the main transformer of pump station and the power of the units are certain, increasing power factor of pump station will decrease the load rate of the main transformer and the operational efficiency of the transformer will be increased.

Key words: pump station; transformer; operational efficiency; load rate; energy conservation