

大功率风电机组供电变压器寿命损失分析

肖金红, 童剑雄, 廖高煜, 李华飞

(哈电风能有限公司, 湖南 湘潭 411100)

摘要: 基于 GB/T 1094.12—2013《干式电力变压器负载导则》, 针对风电场运行环境恶劣及运行工况的复杂性, 对比南北风场环境温度、机组耗电功率, 通过风电场大功率风电机组实际运行数据对机组供电变压器的寿命损失进行分析, 从而为风电供电变压器过载能力及温升核算等提供设计依据。

关键词: 供电变压器; 寿命损失; 过载能力; 温升核算

Analysis of lifetime loss of power supply transformers for high power wind turbine generator system

XIAO Jinhong, TONG Jianxiong, LIAO Gaoyu, LI Huafei

(Harbin Electric Corporation Wind Power Co., Ltd., Xiangtan 411100, China)

Abstract: Based on GB/T 1094.12—2013 *loading guide for dry-type power transformers*, according to harsh operating environment and the operating conditions' complexity of Wind Power Farm, compared with the ambient environment temperature and power loading consumption of the wind power transformer, the lifetime loss of the wind turbine power supply transformer is analyzed through the actual operation data of the wind turbine generator system to provide the design basis for supply transformer overload capacity and temperature rise accounting.

Key words: supply transformer; lifetime loss; overload capacity; temperature rise accounting

0 引言

随着“碳达峰”“碳中和”目标的提出, 绿色可再生能源的关注度再次高涨, 随之而来的风力发电在可再生能源中的占比持续增加。在风力发电过程中, 供电变压器需要将风电机组出口侧690 V的电能转换为400 V的电能, 为风力机组电控系统提供配电^[1]。新能源场址较为偏僻, 自然环境恶劣, 机组部件故障率高, 会产生高的运维费用^[2], 因此, 要求风机部件的可靠性高, 故障率低, 使用长寿命设计。供电变压器的安全可靠及长寿命的设计, 可以满足风电场高温、高湿和盐雾等恶劣环境的运行要求。

本文基于GB/T 1094.12—2013国标规定^[3], 根据我国南北不同风电场实际运行数据, 分析风

场环境温度、机组耗电功率大小和风向变化对供电变压器寿命损失速度的影响, 从而为风电供电变压器过载能力及温升核算等提供设计依据, 提高风电供电变压器的可靠性, 优化变压器容量, 降低成本, 提升经济效益^[3]。

1 GB/T 1094.12—2013中变压器寿命损失计算方法

1.1 寿命损失

供电变压器选取干式变压器, 寿命损失的计算依据为负载导则, 通过计算变压器负载周期过程中的相对热老化率, 来折算正常寿命损失的关系^[4]。变压器的寿命不低于20年, 一般以180 000 h (20.5年) 为保守值, 寿命损失 L_L 表达式为

$$L_c = t \times 180\,000 \times a^{-1} \times \exp\left(\frac{-b}{T}\right) \quad (1)$$

式中, t 为供电变压器使用时间, h; L_c 为时间 t 内供电变压器的寿命损失, h; T 为供电变压器绕组中最热点 (热点) 的稳态热力学温度, K; a 、 b 为常数, 按 180 000 h 的寿命和每 6 K 老化率加倍的条件计算。

1.2 热点温度 T 的计算

热点温度 T 的计算方法如下

$$T = 273 + \theta_a + \Delta\theta_{Hsn} \quad (2)$$

$$\Delta\theta_{Hsn} = 1.25 \times \Delta\theta_{Wr} \times I_n^q \quad (3)$$

式中, θ_a 为环境温度, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta\theta_{Hsn}$ 为给定负载条件下绕组热点对环境的温升, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta\theta_{Wr}$ 为额定负载下的绕组平均温升, $^{\circ}\text{C}$; I_n 为给定负载率, 是实际电流与额定电流之比; q 自然冷却取 1.6, 强迫风冷取 2。

当负载发生变化时, 变压器的绕组温升是渐变的, 因此变压器寿命损耗也是渐变的^[5], 可以根据式 (4) 和式 (5) 计算得到变压器热点温升与时间的关系为

$$\Delta\theta_t = (\Delta\theta_U - \Delta\theta_i) \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right] + \Delta\theta_i \quad (4)$$

$$\tau = \tau_R \frac{\left(\frac{\Delta\theta_U}{\Delta\theta_{Hsr}} \right) - \left(\frac{\Delta\theta_i}{\Delta\theta_{Hsr}} \right)}{\left(\frac{\Delta\theta_U}{\Delta\theta_{Hsr}} \right)^{\frac{1}{m}} - \left(\frac{\Delta\theta_i}{\Delta\theta_{Hsr}} \right)^{\frac{1}{m}}} \quad (5)$$

式中, $\Delta\theta_t$ 为 t 时刻的绕组热点温升, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta\theta_U$ 为负载变化后负载率对应的热点温升, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta\theta_i$ 为初始负载率对应的热点温升, $^{\circ}\text{C}$; τ 为给定负载下绕组的时间常数; τ_R 为额定负载下绕组的时间常数; $\Delta\theta_{Hsr}$ 为额定负载下的热点温升, $^{\circ}\text{C}$ 。

2 风场实测运行数据分析

本节通过北方和南方两个风电场的实际运行数据, 对比分析风场运行环境温度、供电变压器的实际负载 (机组用电功率) 对供电变压器寿命损失的影响。

2.1 北方某风场数据分析

以北方某风电场 1 月和 7 月各 10 天的实测数据作为分析依据, 机组供电变压器容量为 80 kV·A, 采样时间为 10 min, 寿命损失及总寿命损失如图 1 ~ 图 4 所示。

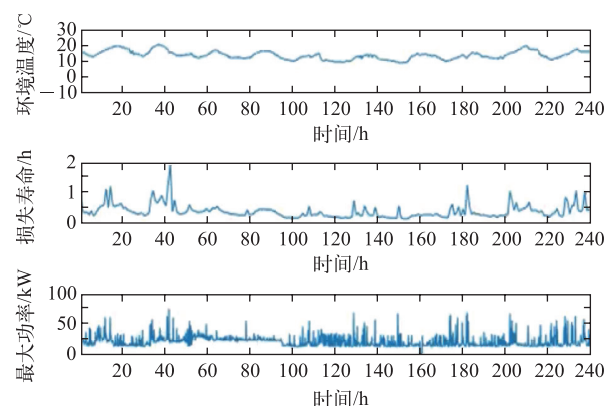


图 1 北方风电场夏季 7 月份运行工况和寿命损失

Fig. 1 Operation conditions and lifetime loss of northern wind farm in July

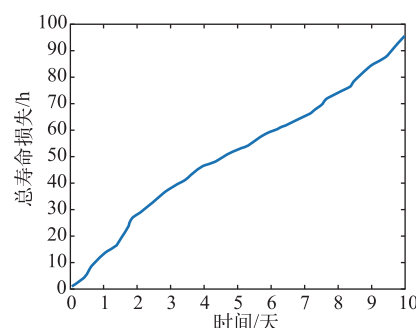


图 2 北方风电场夏季 7 月份总寿命损失

Fig. 2 Total lifetime loss of northern wind farm in July

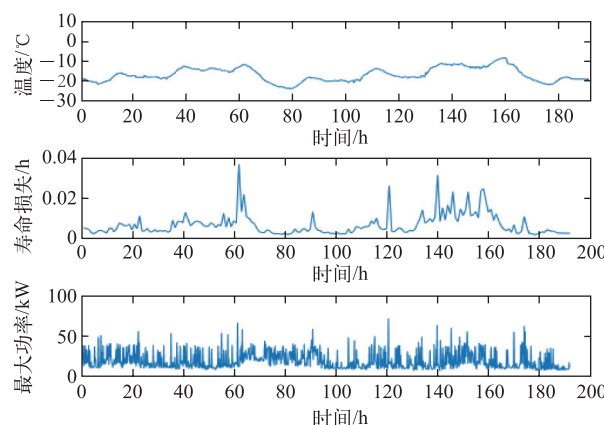


图 3 北方风电场冬季 1 月份运行工况和寿命损失

Fig. 3 Operation conditions and lifetime loss of northern wind farm in January

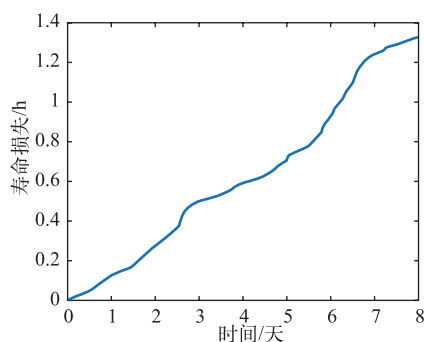


图4 北方风电场冬季1月份总寿命损失

Fig. 4 Total lifetime loss of northern wind farm in January

从图1~图4中可以看出, 变压器寿命损失随着环境温度波动而发生的波动趋势基本相同, 夏季温度高, 寿命损失相对冬季大很多; 供电变压器寿命损失的峰值多在机组耗电功率最大的时刻。夏季10天内, 总寿命损失达到了94.8 h, 而冬季8天时间内, 总寿命损失只有1.3 h, 冬季寿命损耗远低于夏季寿命损失。由此可见运行环境温度低, 供电变压器热点温度低, 从而供电变压器的寿命损失小。

图5为北方风电场冬季某日24 h内最大寿命损失。图5中, 寿命损耗按10 min内功率最大值和温度计算。从图5中可以看出, 温度变化不大时, 当供电变压器实际负载功率超过额定功率后, 寿命损失会突增; 当负载功率过载恢复后, 供电变压器寿命损失趋于稳定。由此可见, 风电机组供电变压器是否过载, 对供电变压器的寿命损失影响较大。

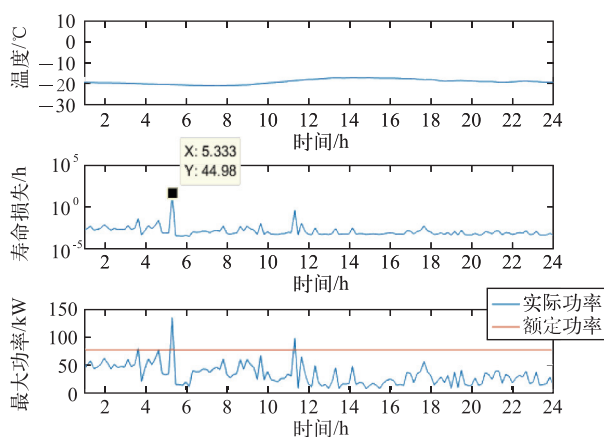


图5 冬季某日寿命损失

Fig. 5 Lifetime loss on a certain day in winter

2.2 南方某风电场数据分析

以南方某风电场夏季7月6~15日共10天现场运行测试数据作为分析依据, 机组供电变压器容量为80 kV·A, 采样时间为10 min, 寿命损失及总寿命损失如图6、图7所示。

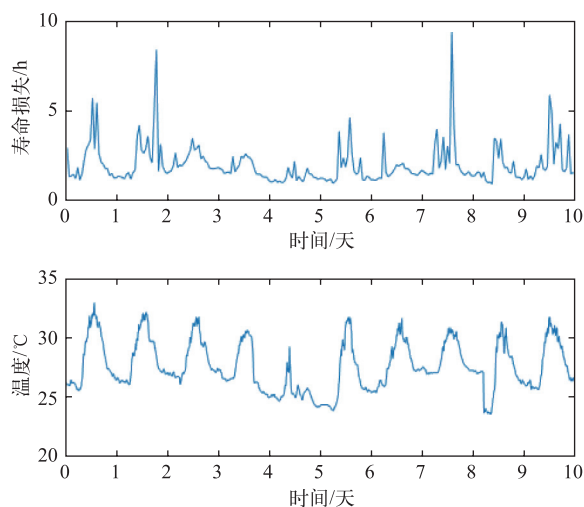


图6 南方风电场温度和寿命损失关系

Fig. 6 Relationship between temperature and lifetime loss of the southern wind farm

从图7中可以看出, 在环境温度改变的条件下, 夏季10天内, 南方风场(高温)机组供电变压器的寿命损失累计约470 h, 远高于北方风电场夏季同时期供电变压器94.8 h的寿命损失。

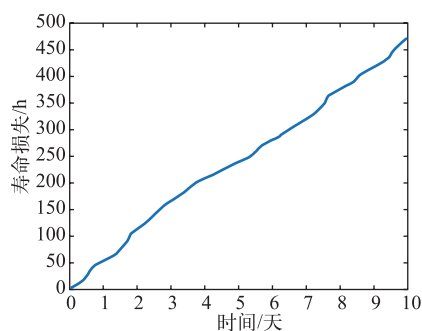


图7 南方风电场夏季总寿命损失

Fig. 7 Total lifetime loss of the southern wind farm

对于风电机组供电变压器, 通过北方风电场和南方风电场的风电机组实际运行数据对比分析可知:

1) 高温环境和严重过载会使供电变压器的寿命损失急剧加快, 常规工况变压器寿命损失

较小。

2) 在我国南方区域的风电机组, 供电变压器的寿命损失速度较快, 北方区域风场风电机组供电变压器的寿命损失速度相对缓慢。

3 考虑实际运行工况供电变压器寿命损失

将风电场风机实际运行工况分为: 大风工况-变桨和偏航需要长期动作; 小风工况-变桨和偏航不需要动作; 低温工况-散热系统关闭, 加热系统开启; 高温工况-加热系统关闭, 散热系统开启; 最恶劣工况-机组环境温度高, 风速大且风向变化快, 变桨、偏航和散热均起动。机组供电变压器容量暂定 $200 \text{ kV}\cdot\text{A}$, 通过统计机组在各种工况下的自耗电需求, 取额定时间常数为 0.5 h , 设每种变化的供电变压器初始负载率都为额定负载率, 对过载工况进行过程计算, 轻载工况时认为寿命损失是瞬变的。变压器设计为F级绝缘, 考虑 5°C 的裕度, 热点温度极限为 175°C (448 K), 受限于采样频率, 认为若设备达到了极限温升, 则温升不再变化, 直到下一个工作状态, 分别计算出在六种工况下的寿命损耗, 各工况寿命损耗占全年总损耗的百分比如图8所示。

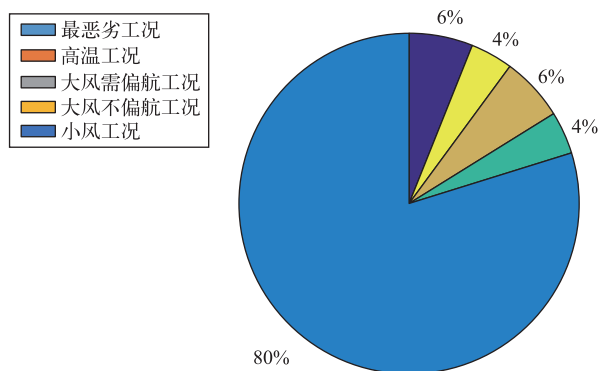


图8 各工况寿命损失百分比

Fig. 8 The proportion of working condition lifetime loss

由图8可以看出, 高温工况占全年寿命损失百分比最大, 而低温工况寿命损失基本可以忽略。可见绕组的热点温度随环境温度的升高而升高, 因此环境温度对变压器设计选型有决定性的作用。

4 结束语

供电变压器寿命损失的快慢取决于运行温度、供电变压器实际负载等条件, 特别是运行环境温度, 对变压器设计技术要求具有决定性的作用, 变压器寿命损失可以作为变压器过载能力及温升核算的设计依据。

因此, 在提出风电机组供电变压器设计要求时, 可以结合风电场实际运行的温度环境及机组实际运行工况的分布情况, 考虑机组供电变压器实际运行的过载工况, 作为温升核算、过载能力的设计依据。在满足设计可靠性及过载能力和温升考核指标要求的前提下, 设计出性价比高并满足使用需求的风电机组供电变压器, 根据风场项目按需设计, 使经济效益最大化。EA

参考文献

- [1] 顾伟峰. 提高风力发电机组电控系统电能质量的配电设计方案[J]. 技术与应用, 2015, 11(73): 73-76.
- [2] 李典阳, 张育杰, 王善渊, 等. 基于多预测模型融合的电力变压器安全预判[J]. 中国电力, 2020, 53(1): 72-80.
- [3] 电力变压器 第12部分 干式变压器负载导则: GB/T 1094.12—2013 [S].
- [4] 黎剑锋, 蔡定国, 唐金权, 等. 基于GB/T 1094.12—2013的干式牵引整流变压器寿命损失计算[J]. 变压器, 2016, 53(8): 12-15.
- [5] 盛望群. 基于典型负荷曲线和寿命损失计算的牵引变压器容量优化[J]. 河南科技, 2012, 5(10): 82-83.

作者简介



肖金红

肖金红 (1980—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为电力电技术、风力发电并网技术。

(收稿日期: 2021-06-29)