

[变电站]

基于提高设备利用率的变压器选型研究

文/国网浙江省电力有限公司宁波供电公司 查伟强 方建迪 余彪
浙江优能电力设计有限公司 张兴 杜士平

综合考虑初始投资费用、运行维护费用、增容扩建费用和设备处置费用，建立了变电站全寿命周期模型，基于该模型，提出了兼顾设备利用率及经济性的110 kV主变压器选型策略，结合具体算例对某新建变电站所需变压器进行了优化选型，可指导变电站规划和改造中主变压器的选型。

随着输配电改革的深入推进和配售电业务的逐渐放开，市场化的竞争环境对电网投资效率提出了更高的要求。如何充分利用设备容量，减少投资需求，提高经营效益，是电网企业越来越亟需解决的问题。

统计数据显示，美国电网的设备平均负载率不足55%，我国更是不足35%。在最大负荷时刻，即便是北京、上海等我国一线城市，中压馈线的平均负载率低于50%，东京的中压馈线负载率高达85%，在此形势下，即便考虑我国现阶段负荷发展较快等因素，我国配电系统的设备裕度仍旧过大。

当前，新建110 kV变电站基本以采用50 MV·A为主，由于地区发展的不平衡，统一选用50 MV·A主变压器，可能存在容量偏大、利用率较低的情况。对规划容量偏大的主变压器容量进行优化，可节省投资，使得容载比处在合理范围内。

本文基于变电站全寿命周期模型，提出了兼顾设备利用率及经济性的110 kV主变压器选型策略，并通过实际算例进行了验证。

主变压器选型策略

在保证供电可靠性要求下，以全寿命周期成

本最小来选择规划区内变电站的主变压器容量及台数。

具体策略为：①基于负荷现状和远景饱和年负荷预测结果，结合容载比要求，计算需新增的规划变电站容量；②确定适合本地区的变电站容量序列，单个110 kV变电站最终规模一般按2~4台考虑，则可列出所有主变压器容量及数量配置方案；③以负载率为约束条件，计算各配置方案的变电站全寿命周期成本费用现值；④再考虑现实的诸多限制因素（如变电站站址的地理环境、变电站与供电负荷的距离和变电站的最大供电半径制约等），得到最优配置方案。

针对变电站规划总容量偏小的情况，建议选用大容量变压器；针对变电站规划总容量偏大的情况，选用31.5 MV·A或40 MV·A，以提高设备利用率。

变电站全寿命周期成本模型

变电站全寿命周期成本包括：初始投资费用、运行维护费用、增容扩建费用和设备处置费用等。

1. 初始投资费用

新建一个变电站的初始投资成本为

基金项目：国网浙江省电力有限公司宁波供电公司项目（SGZJNBXS FZJS1800360）

$$I_0 = (a_0 + b_0 S_0) n_0 \quad (1)$$

式中, a_0 是主变压器的投资中与变电站容量无关部分的系数, 单位为万元; b_0 是主变压器的投资中与变电站容量有关部分的系数, 单位为万元/MV·A; S_0 是单台主变压器容量, 单位为MV·A; n_0 是变电站初期投入的主变压器台数。

根据当前宁波变电站工程造价, 对于110/10 kV新建主变压器, $a_0 = 2\,700$ 万元, $b_0 = 18$ 万元/MV·A, 以新建2×50 MV·A的全户内GIS变电站为例, 初始投资约为4 500万元。

2. 年运行维护费用

年运行维护费用包括运行费用和维护费用两部分。运行费用一般为变电站损耗费用, 维护费用一般取初始投资成本的某一比例, 表示为

$$F = F_0 + r_0 I_0 \quad (2)$$

式中, F 是年运行维护总费用, 单位为万元; F_0 是变电站年运行费用, 单位为万元/年; r_0 是变电站维护率; I_0 是变电站初始投资成本, 单位为万元。

(1) 变电站年运行费用

假定参与计算的变压器无功补偿合格, 变压器损耗中无功损耗不计入计算中, 变电站年运行费用主要考虑变压器的有功损耗, 即空载损耗和负载损耗。均方根电流系数算法计算变电站的年电能损失费为

$$F_0 = (P_0 \times T + P_k \times T \times K^2 \times \lambda^2) \times n_0 \times C_0 \quad (3)$$

式中, P_0 是变压器空载功率损耗, 单位为kW; P_k 是变压器额定负载功率损耗, 单位为kW; T 是年运行时间, 取8 760 h; K 是均方根电流系数; λ 是负载率; n_0 是主变压器台数; C_0 是每千瓦时电成本费用, 取0.612 4元/kW·h。

参考相关文献, λ 取0.1、0.3、0.5、0.7、1.0时, K 取2.06、1.50、1.20、1.07、1.00。通过拟合, K 与 λ 成幂指数关系, 表达式如下: $K = 0.978 4\lambda - 0.326$, λ 在[0, 1]之间。 P_0 、 P_k 参见GB/T 6451—2015《油浸式电力变压器技术参数和要求》, 常见容量变压器参数如表1所示。

(2) 变电站年维护费用

变电站年维护费用取变电站初始投资成本(I_0)的1%。单台主变压器不同负载率下年运行费用如图1所示。

表1 110 kV三相双绕组电力变压器空载及负载损耗

额定容量/kV·A	空载损耗/kW	负载损耗/kW
31 500	27.0	123
40 000	32.3	156
50 000	38.2	194
63 000	45.4	232

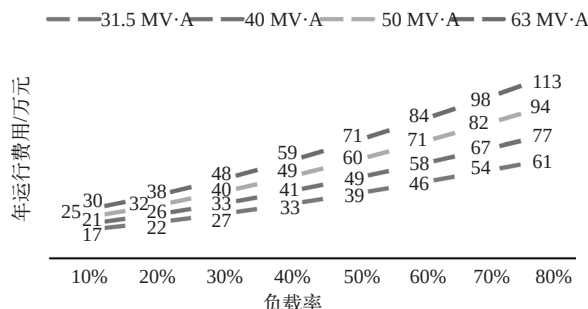


图1 单台主变压器不同负载率下年运行费用

3. 增容扩建费用

通常新建一个变电站所支付的成本大约是对一个变电站进行扩容升级成本的2.3~3.5倍。因此, 在变电容量跟不上负荷增长时, 优先考虑对原有的变电站进行扩建, 增加主变压器台数, 以满足负荷需求, 但终期主变压器台数不超过4台。其中, 扩建年份的计算公式为

$$k = \log_{(1+r)} \left[(\beta_{\max} \times S_0 \times n_0 \times \cos \theta) / P_0 \right] \quad (4)$$

式中, k 是扩建年份; r 是变电站所在区域的平均负荷增长率; $\beta_{\max}$ 是该变电站负载率的上限值; S_0 是单台主变压器容量, 单位为MV·A; n_0 是变电站初期投入的主变压器台数; P_0 是变电站初期投入时负荷值。

相对于日常的运行维护费用而言, 变电站的升级改造需要一笔较大的投资, 所以在估算一个变电站的全寿命周期费用时, 应该对扩容升级费用给以考虑。

$$E = \omega(I_0 / n_0) \quad (5)$$

式中, E 是增容扩建费用, 单位为万元; ω 是扩容时增加1台主变压器的费用与初期投资1台主变压器的费用比值; I_0 是变电站主体的初始投资成本, 单位为万元; n_0 是变电站初期投入的主变压器台数。

4. 处置费用

处理成本是指变电站寿命周期(30年)结束后, 可回收设备的回收收入和其他设备报废、现场清理所消耗费用之财务计算值。因变压器本体及内部多为金属材料构成, 特别是绕组为铜材料, 残值很高, 因此变压器的处理成本为负数。在实际工作中, 往往按照运行的年限不同, 经协商, 设备厂家将按不同的残值回收率将设备回收。

$$C = S - D \quad (6)$$

式中, C 是处置费用, 单位为万元; D 是拆除费用, 单位为万元; S 是设备残值, 单位为万元。

在实际计算中, 假定110 kV变电站拆除费用相同, 只考虑设备残值。

算例分析

1. 相关参数

某开发区分为3个网格，分别为榭西网格、榭北网格与榭南网格。其中榭南网格主供电源为35 kV长墩变电所与110 kV大树变电所，现状总负荷为10.6 MW。据预测，2025年区域负荷为30.12 MW，远景负荷为45.2 MW。根据负荷预测结果，计划于2025年新建110 kV榭东变电所，35 kV长墩变电所退出运行，如图2所示。

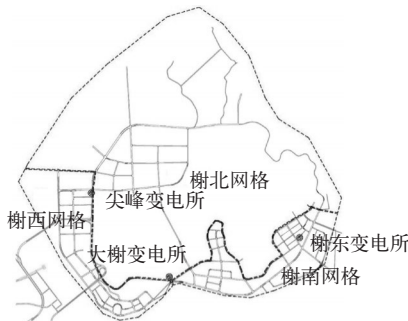


图2 规划电源布点

2. 主变压器选型

榭东变电所可选31.5 MW、40 MW和50 MW几种主变压器类型，不同方案负载率对比如表2所示。

表2 各方案负载率对比

方案名称	远景 饱和负荷 /MW	新建 变电站时 负载率(%)	饱和 负载率 (%)	容载比
方案1	22.6	25.16	37.76	2.79
方案2	22.6	19.82	29.74	3.54
方案3	22.6	15.85	23.79	4.42

再进行经济性比较，投资估算如表3所示。

表3 到远景年投资费用对比

(单位：万元)

对比项	方案1	方案2	方案3
初始投资费用	4 132	4 333	4 570
扩建费用	—	—	—
年运行费用	31	33	35
年维护费用	41	43	46
设备残值	331	347	366
总费用	5 601	5 886	6 229

由以上分析可知，方案1（2×31.5 MV·A）设备利用率更高且更具经济性，为推荐方案。

结束语

提出了基于变压器全寿命周期成本的主变压器选型策略，给出了不同负载率、不同容量主变压器的年运行费用计算方法，结合具体算例对某新建变电站所需变压器进行了优化选型，选型结果综合考虑了经济、设备利用率因素。

在远景饱和负荷小的新城区，或由于分布式光伏接入导致的负荷小的老城区，变电站改造时，可适当减小变电站主变压器容量，提高设备利用率，降低建设投资。EA

(收稿日期：2020.03.05)

(编辑：朱金凤)

(上接第55页)

在线监测领域，搭建了典型的声发射信号试验平台，并利用FFT方法对所测得的声发射信号进行分析，可以得到以下结论：

1) 通过试验平台定性的试验，可以发现绝缘子污闪的声发射信号主要分为三个阶段：电晕放电、局部放电和弧光放电。

2) 通过FFT方法对绝缘子污闪不同阶段的声发射信号进行分析，可以提取出具有代表性的绝缘子污闪的声发射特征值：幅值、能量及频率。

3) 通过对幅值、能量及频率的定性分析发现绝缘子污闪的不同阶段，特征值具有特定的变化规律：绝缘子污秽放电声发射的能量随着污秽放电能量增加而增大；污秽放电声发射信号主频率与绝缘子污秽放电能量之间存在相关性；在相同的环境、湿度等试验条件下，污秽度轻的绝缘子整个放电发展的各阶段，其放电能量均低于污秽度重的绝缘子放电能量。EA

(收稿日期：2020.03.15)

(编辑：朱金凤)