

浅谈地区电网主变并列运行的效率和安全

印吉景，张宇蓉

（泰州供电公司，江苏 泰州 225300）

摘 要：本文依据当前地区电网主变在实现经济运行过程中，并列运行遇到的效率和安全等实际问题，进行了详细的分析。针对并列运行的效率得出了并列损耗计算公式和最佳效率下的并列边界条件，同时提出了并列带来的安全问题和解决的对策。通过制定合理的效率与安全兼顾的主变并列解决方案，从而满足节能减排对电网经济运行的迫切需求。

关键词：主变；并列运行；效率；安全

0 引言

主变并列运行方式是一种常见的降低变压器负载损耗、提高设备利用率和供电可靠率的有效运行方式，但是相对于主变分列运行来说，多台主变并列运行也给运行本身的安全性带来一定的问题。对于地区电网来说，随着负荷的迅速增长，深挖电网经济运行的潜力，积极提高当前设备的利用率充分发挥主变容量，实现电网经济运行的要求越来越迫切。因此，分析制定安全合理的主变并列运行规范能一定程度上降低负载损耗和解决容量利用的问题，但必须注意运行方式改变后，保护配置的合理性和可靠性。本文通过分析主变并列 N-1 条件下负载容量的计算和推导双绕组及三绕组变压器分并列的负载损耗差计算公式，得出效率最佳并列边界条件；以 220kV 顾庄变主变并列为例，对保护配置情况进行了详细的分析。通过详细的计算得出各种并列方式下相关保护的配合情况，并分析不足之处，提出了保护配置应对方案。

1 主变并列运行的效率

1.1 主变并列运行后的负载能力分析

对于并列运行后的 n 台变压器，实际负载能力并不等于 n 台变压器额定容量的简单叠加。一般情况下，n 台变压器实际负载将根据各自变压器的额定容量和短路阻抗进行对总负荷进行分配。其次分配比例和总量还受到额定电压和（N-1）条件下稳定性要求等影响。当前地区电网骨干供电网络中 220kV 和 110kV 变电站内一般配置 2~3 台同参数的主变，而中低压侧母线一般为双母带母联或单母分段配置。因此当前主要存在两台变压器中压侧或低

压侧并列运行的情况。下面将对两台同容量同阻抗参数的主变并列运行后实际负载能力和负载损耗进行重点分析。

1.2 双绕组变压器并列运行（N-1）条件下容量计算

对于双绕组变压器，当一台主变跳闸后，其所带负荷会自动转移到另外一台主变，因此主变并列后的负载能力按照两台主变运行不过载的约束条件，主变 N-1 任何一台不超过 1.3*SN 的约束条件计算，假定两台主变容量和短路阻抗相同，可得如表 1 所示。

表 1 主变 N-1 任何一台不超过 1.3*SN 的约束条件

条件	含义
$H1 < S_n$	1#主变不过载
$H2 < S_n$	2#主变不过载
$H1 + H2 < 1.3S_n$	一台主变跳闸，另一台主变不过载 （1）
$H1 = H2$	并列后 1#、2#主变负荷均衡

根据表1可计算出1#、2#主变在（N-1）条件下的带负载能力，两台主变最大带负载能力为1.3倍的额定容量。

1.3 三绕组变压器并列运行（N-1）条件下容量计算

对于三绕组变压器，因为一台主变跳闸后，其所带低压绕组的负载就自然切除，不会转移到另外一台主变，只有中压侧的负荷会自动转移到另外一台主变，因此主变并列后的负载能力需要综合考虑低压绕组的负载特性。

考虑到主变在考虑两台主变运行不过载的约束条件，主变 N-1 任何一台不超过 1.3*SN 的约束条件下，假定高中低压侧容量比为 1:1: 0.5 可得到表 2。

表2 主变 N-1 任何一台不超过 1.3*SN 的约束条件

条件	含义
$M1+L1 < S_N$	1#主变不过载
$M2+L2 < S_N$	2#主变不过载
$M1+M2+L1 < 1.3S_N$	2#主变跳闸, 1#主变不过载
$M1+M2+L2 < 1.3S_N$	1#主变跳闸, 2#主变不过载
$M1=M2$	并列后 1#、2#主变中压侧负荷均衡

根据表(2)可计算出 1#、2#主变在(N-1)条件下的带负载能力, 两台主变高压侧最大带负载能力为 $1.8S_N$ (低压绕组各 $0.5S_N$, 中压绕组各 $0.4S_N$); 110kV 侧最大带负载能力为 $1.3S_N$ (低压绕组为 0); 如图 1 所示, (N-1) 条件下, 并列后 110kV 侧的带负载能力取决于 35kV 侧负载, 当 110kV 侧负荷在 $[0-0.8S_N]$ 区间时, 35kV 侧负载可任意, 也就是说只要 110kV 总负载在 $0.8S_N$ 以下, 变压器并列完全满足 (N-1); 若 110kV 侧负荷在 $[0.8-1.3S_N]$ 区间时, 必须要相应限制 35kV 侧的负载; 当 35kV 侧无负载时, 110kV 侧可带满到最大 $1.3S_N$ 。

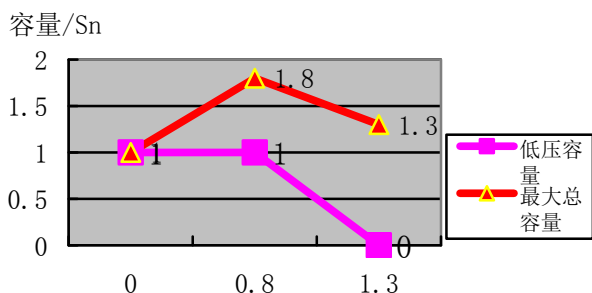


图1 中低压侧容量关系图

1.4 三绕组变压器并列运行(N-1)条件下容量计算

假定 1#、2#为完全相同的两绕组变压器, 所带负荷分别为 S_1 和 S_2 。

单独运行时其损耗为:

$$\Delta P_1 = P_0 + \left(\frac{S_1}{S_N}\right)^2 * P_k; \quad \Delta P_2 = P_0 + \left(\frac{S_2}{S_N}\right)^2 * P_k$$

其中: ΔP 为综合损耗; P_0 为空载损耗; P_k 为额定负载损耗。后两者为变压器出厂试验结果, 已知。

而两台变压器并列运行时的综合损耗为:

$$\Delta P_{12} = 2 * P_0 + 2 * \left(\frac{S_1 + S_2}{2 * S_N}\right)^2 * P_k$$

分列运行的损耗差值为:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left[\left(\frac{S_1}{S_N}\right)^2 + \left(\frac{S_2}{S_N}\right)^2 - 2 * \left(\frac{S_1 + S_2}{2 * S_N}\right)^2 \right] * P_k \\ &= 0.5 * (S_1 - S_2)^2 * \frac{P_k}{S_N^2} \\ &\geq 0 \end{aligned}$$

从上式可以看出, 两台两绕组主变分列运行的损耗要大于并列运行的损耗, 分列运行的负载差越大, 损耗越大。

三绕组变压器负载损耗的计算方法如下式:

$$\Delta P = P_0 + \left(\frac{S_H}{S_N}\right)^2 * P_H + \left(\frac{S_M}{S_N}\right)^2 * P_M + \left(\frac{S_L}{S_N}\right)^2 * P_L$$

其中 P_H 、 P_M 、 P_L 分别为折算到额定容量的主变三侧负载损耗。因此可以通过上式来计算比较分列、并列时的损耗大小。

分列运行时:

$$\Delta P_1 = P_0 + \left(\frac{S_{M1} + S_{L1}}{S_N}\right)^2 * P_H + \left(\frac{S_{M1}}{S_N}\right)^2 * P_M + \left(\frac{S_{L1}}{S_N}\right)^2 * P_L$$

$$\Delta P_2 = P_0 + \left(\frac{S_{M2} + S_{L2}}{S_N}\right)^2 * P_H + \left(\frac{S_{M2}}{S_N}\right)^2 * P_M + \left(\frac{S_{L2}}{S_N}\right)^2 * P_L$$

并列运行后:

$$\Delta P_1 = P_0 + \left(\frac{S_M + S_{L1}}{S_N}\right)^2 * P_H + \left(\frac{S_M}{S_N}\right)^2 * P_M + \left(\frac{S_{L1}}{S_N}\right)^2 * P_L$$

$$\Delta P_2 = P_0 + \left(\frac{S_M + S_{L2}}{S_N}\right)^2 * P_H + \left(\frac{S_M}{S_N}\right)^2 * P_M + \left(\frac{S_{L2}}{S_N}\right)^2 * P_L$$

其中 $S_M = \left(\frac{S_{M1} + S_{M2}}{2}\right)$, 经计算得到并列运行的

总损耗降低为:

$$\Delta P = \frac{(S_{L1} - S_{L2})(S_{M1} - S_{M2})}{S_N^2} * P_H + \frac{0.5(S_{M1} - S_{M2})^2}{S_N^2} * P_{HM}$$

可见并列运行的经济性, 与 35kV 的负载有关, 需要单独计算。

1.5 主变效率最佳并列边界条件

对于双绕组变压器来说, 并列边界条件如下:

a) 当总负荷较小时, 会出现单台运行的损耗小于两台并列运行损耗, $\Delta P_1 \leq \Delta P$, 即总负荷 S_1 满足

$P_0 > 0.5 \left(\frac{S_1}{S_N}\right)^2 * P_k$ 时, 单台主变运行负载损耗最小;

b) 当总负荷 S_1 满足 $P_0 < 0.5 \left(\frac{S_1}{S_N}\right)^2 * P_k$, 同时

$S_1 \leq 1.3S_N$ 时, 两台主变并列运行负载损耗最小,

且满足 N-1 条件下的安全稳定要求;

c) 当总负荷 $1.3S_N \leq S_1 \leq 2S_N$ 时, 并列运行负载损耗最小, 但不满足 N-1 条件下的安全稳定运行。

对于三绕组变压器来说, 并列边界条件还受到低压侧绕组容量和负载的影响, 情况比较复杂, 但是也存在类似于双绕组变压器的情况, 在此不再一一列出。

2 主变并列运行的安全

2.1 主变并列 N-1 条件下的稳定要求

多台主变并列后, 其中一台主变因故障跳闸退出运行, 其负荷将均分到其他主变中, 如果负荷过大将出现其他主变过负荷甚至严重过载的情况。根据表 1 (某厂生产的 220kV 变压器允许短时间过载能力, 过载前已带满负荷、环境温度 40℃), 结合继电保护整定规程的要求, 单台主变的过载不应超过 1.3 倍 S_N 。因此主变并列应当考虑 N-1 条件下的稳

定性要求, 一般按照单台主变不超过 1.3 倍 S_N 过载能力核定并列前总负载。

2.2 并列后开关遮断容量与短路容量的匹配问题

主变并列后母线短路容量会明显增大, 对主变各侧开关遮断能力需要重新校验, 防止超出开关的遮断能力, 引起开关动作拉弧重燃的事故。

2.3 并列后继电保护配合的安全问题

主变并列后主要带来安全问题还是的继电保护配合方面的。由于并列后相邻主变对故障电流再进行分流 (图 2), 母线故障时, 主变 220kV 侧感受到的故障电流将更小, 规程要求 220kV 侧复合电压闭锁过流应对变压器 35kV 侧母线故障有灵敏度(1.2)将难以实现。同时对 110kV 侧线路保护的后备能力也将大大缩短。35kV 母线侧死区 (开关与 TA 之间) 故障, 即使 35kV 侧跳开后, 故障仍未切除, 若 220kV 侧复压过流灵敏度不满足要求, 可能会引起故障长时间不能切除, 损坏主变。主变并列后系统的等值正序、零序 (自藕变) 阻抗将发生变化, 相应的 220kV 系统后备保护、主变后备保护、110kV 和 35kV 线路保护的定值需由运行部门重新调整。

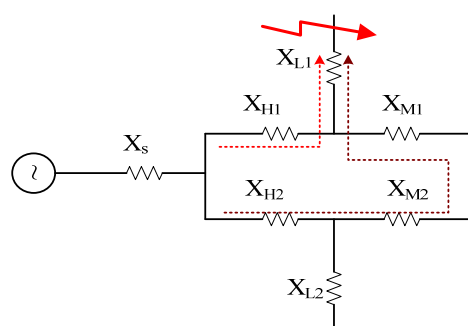


图 2 相邻主变对故障电流进行分流图

针对上述存在的问题, 主变保护需进行如下配置和考虑。

a) 110kV 并列的母线必须设立解列点, 即母联开关, 否则只要这段母线故障, 母差保护回同时切除 1#、2#主变。

b) 35kV 母线故障, 220kV 侧保护可能无后备灵敏度, 可采取主变 35kV 后备保护联跳主变三侧的办法解决, 设置两个动作时限, 第一时限跳本侧, 第二时限跳主变三侧。

c) 一台主变跳开, 会引起另一台主变过负荷, 而根据规程规定, 超载 1.4 倍额定容量不能运行超过 30 min, 长时间运行会导致主变烧毁, 需要保护增加过负荷联切 110kV 负荷的功能。

d) 由于并列运行与同一条 110kV 母线, 两台主变的中后备保护同时作为 110kV 出线的远后备, 一旦 110kV 出线拒动, 两台主变的中后备保护作为远后备保护会同时动作跳开主变三侧开关, 导致两台主变全部失电。需要考虑启用 110kV 母差保护中断路器失灵保护。

e) 主变 110kV 后备保护与 110kV 出线保护, 可能不好配合, 对 110kV 长线路可能无后备灵敏度。

3 结论

根据上述分析和计算, 地区主变并列运行能够有效降低负载损耗, 提高运行效率, 但是必须根据当地情况, 核定实际负载能力, 按照一定的边界条件, 灵活配置主变各侧容量, 实现效率最大化, 同时必须通过合理调整保护配置并加强对设备的巡视, 保障主变并列运行后保护对主变及其相关一次设备的可靠性和安全性, 从而同时满足节能减排、提高主变容量利用率和提高供电可靠性等系列要求, 实现主变并列运行的效率和安全性最大结合。

参考文献:

- [1] DL/T 584-2007, 3kV~110kV 电网继电保护装置运行整定规程[S].
- [2] 崔家佩,孟庆炎,陈永芳,等.电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M].北京:中国电力出版社,2000.
- [3] 王丹民.变压器经济运行分析[J].沈阳工业大学学报,1999(21):38-40.

印吉景(1981—),男,江苏泰兴人,工程师,从事继电保护定值整定计算工作, E-mail : 15161006989@139.com;

张宇蓉(1980—),女,江苏泰州人,工程师,从事电力系统及其自动化工作。

作者简介: