

[变压器]

提升220 kV变电站主变压器 低压直配能力探讨

文/李福权¹ 陆广² 陈卫东³ 游旺¹ 遇游² 刘力强²

1. 深圳供电局有限公司; 2. 保定天威保变电气股份有限公司; 3. 深圳供电规划设计院有限公司

阐述了提升220 kV变电站主变压器低压侧直配能力的意义, 探讨了在不提高10 kV开关柜电流限值的前提下, 采用低压双支路出线主变压器提升低压侧供电能力。提出了低压双分支和低压双分裂两种低压双支路出线主变压器结构型式。低压双分裂结构可以很好地解决单支路短时非故障支路瞬间跌落电压的问题, 保证用电设备安全。

深圳地区经济发展迅速, 电力需求日益增长, 但是土地资源稀缺, 变电站选址困难, 严重制约配电网的发展建设。同时, 深圳地区220 kV配电网功能定位逐步发生变化, 正在由输电向配电转化。为破解深圳地区变电站大量布点与土地资源稀缺之间的矛盾, 探讨在不扩大现有220 kV变电站主变压器规模情况下, 增加主变压器低压侧容量及出线回路, 提升低压侧直配能力具有重要意义。

深圳电网变电站现状

目前, 深圳电网220 kV变电站采用南方电网公司标准设计方案, 终期4台240 MV·A主变压器, 主变压器采用三相三绕组有载调压高阻抗变压器, 电压比为220 kV/115 kV/10.5 kV, 容量比为240 MV·A: 240 MV·A: 80 MV·A, 低压侧单支路出线, 低压侧电气接线如图1所示。低压侧10 kV开关柜最大工作电流4 000 A。

主变压器低压侧最大实际输出容量为 $\sqrt{3} \times 10.5 \times 4 = 72.7$ MV·A, 根据深圳电网的负荷情况, 希望将低压侧输出容量提升至120 MV·A, 此时变压器低压侧额定电流 $120\,000 / (10.5 \times \sqrt{3}) = 6\,598$ A, 超出10 kV开关柜4 000 A的限值。10 kV/4 000 A开关柜严重限制了低压侧电能的输出。

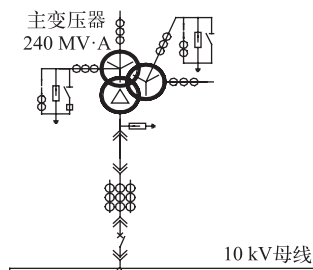


图1 低压侧单支路出线电气接线图

提升低压直配能力的思路

探讨研究了一种新型变压器, 在不提高开关柜电流限值前提下, 提升主变压器低压侧供电能力。主变压器低压绕组额定容量提升至120 MV·A是容易实现的, 只需要增加变压器低压绕组导线截面积, 提高其载流能力, 满足温升要求即可。重点需要解决10 kV/4 000 A开关柜电流限值问题, 常规主变压器低压侧单支路出线是导致开关柜电流超限的主要原因。若打破常规, 将低压侧单支路出线改为双支路出线, 低压侧电气接线如图2所示, 每支路额定容量60 MV·A, 每支路配置一台10 kV/4 000 A开关柜。每支路额定电流 $60\,000 / (10.5 \times \sqrt{3}) = 3\,299$ A, 满足高压开关柜4 000 A电流的限值。这样, 主变压器低压侧输出容量由原来72.7 MV·A增

加至120 MV·A，在同等规模变电站的情况下，主变压器低压直配能力提高65%。

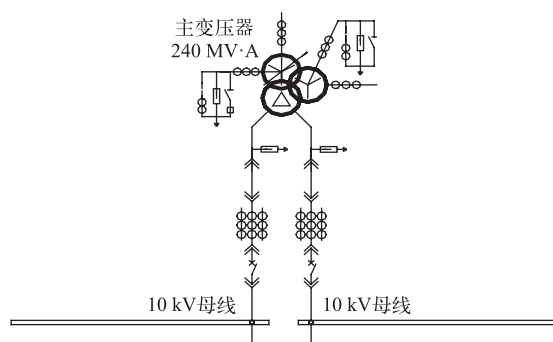


图2 低压侧双支路出线电气接线图

新型变压器技术参数

额定容量：240/240/60-60 MV·A

额定电压：220 ± 8 × 1.5% / 115 / 10.5-10.5 kV

额定频率：50 Hz

联结组标号：YN yn0 d11-d11

短路阻抗：高-中：14%

高-低1：35%，高-低2：35%

中-低1：21%，中-低2：21%

绝缘水平：Um252 SI750 LI950 LIC1050
AC395-Um126 LI400 AC200/U126 LI480 LIC530
AC200-Um72.5 LI325 AC140/U12 LI75 LIC85
AC35。

冷却方式：ONAF

温升限值：绕组平均：65 K，顶层油：55 K

新型变压器结构型式

新型变压器是高阻抗变压器采用低压绕组串联空心电抗器的方式实现高阻抗。变压器低压侧双支路出线一种方法是从出线结构入手，采用低压双分支结构；另一种方法是从绕组结构入手，采用低压双分裂结构。二者区别在于双分支结构两个支路共用低压绕组，双分裂结构两个支路低压绕组彼此独立。

1. 低压双分支结构

低压双分支结构的绕组结构与常规变压器相同，在油箱内部低压绕组出头处或油箱外部低压套管接线端子上分两个支路引出，每支路额定容量60 MV·A，接线原理如图3所示。

低压线圈接线原理图

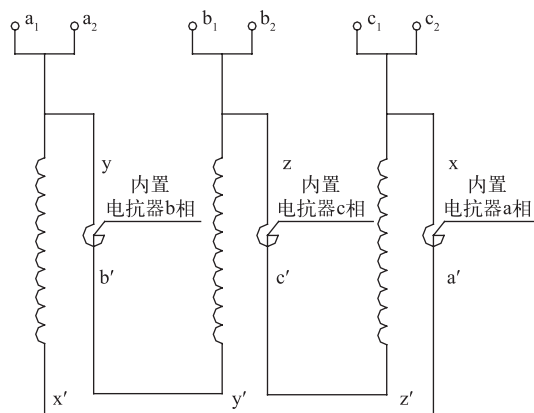


图3 低压双分支接线原理图

在油箱内部分路时采用6支套管出线，低压绕组三相三角形连接，通过低压引线在油箱内部将每相低压绕组分为载流能力均等的两个支路，每个支路接一支套管，如图4所示。两个支路三相共配置6支套管。

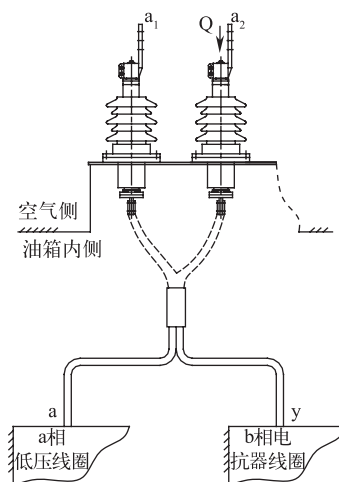


图4 低压引出线结构（a相）

低压引出线在油箱内部将每相低压绕组与一支套管连接，三相共3支套管。低压内部引出线结构与常规变压器完全一致，在油箱外部利用一种类似羊角形状的接线端子将每相低压套管分成两个支路，如图5所示。普通套管的外部接线端子仅能与一路铜排母线相连接。设计一种羊角形端子，使其可与两路铜排母线同时连接，羊角形接线端子结构如图6所示。只需将低压套管外部的普通接线端子更换成为羊角形接线端子，就可以在普通套管的基础上实现低压双支路出线。

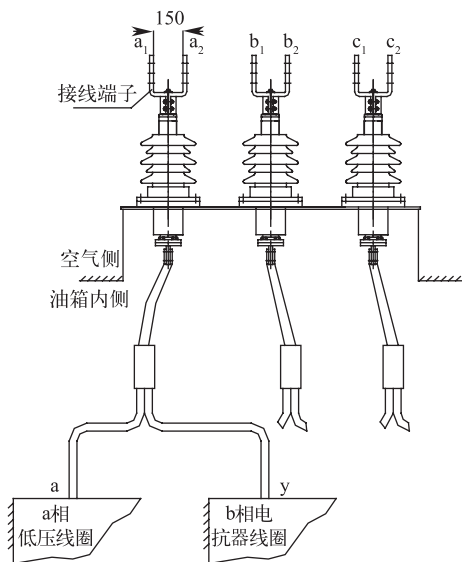


图5 羊角型套管低压引出线结构

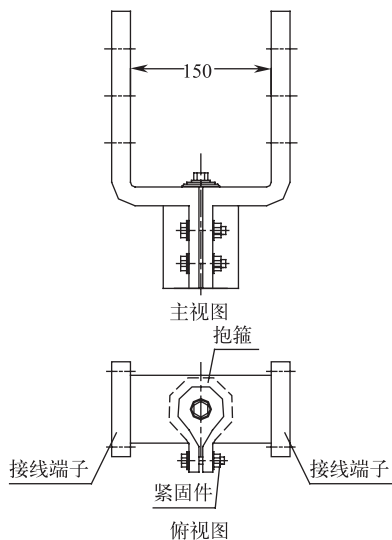


图6 羊角型套管接线端子结构

低压双分支结构是在常规变压器绕组结构基础上，通过改进低压出线方式实现低压双支路线。与常规变压器相比，结构变动较小，技术性能相同，而且方法简单，操作方便，成本增加很少。但是同时也存在一定的弊端，当低压侧单支路发生短路故障时，非故障支路电压也将瞬间大幅跌落，可能会对非故障支路用电设备造成损伤，故障支路退出运行后方可恢复正常供电。

2. 低压双分裂结构

除了双分支结构，还可以采用双分裂结构实现低压侧双支路线。双分裂结构是将低压绕组及其串联的空心电抗器分为额定容量和额定电压相同的

两个独立低压绕组LV1和LV2，LV1和LV2额定容量60 MV·A，两个低压绕组通过磁路耦合，不存在电路连接，相互独立。接线原理如图7所示。两个分裂绕组可以独立运行且相互备用。一般有低压轴向分裂和低压幅向分裂两种结构型式。

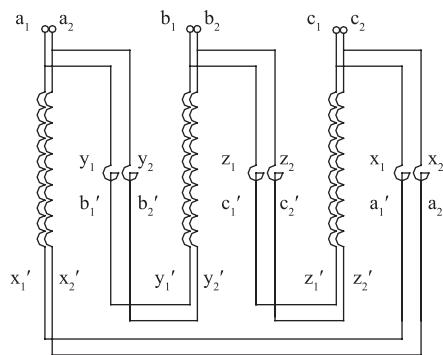


图7 低压双分裂接线原理图

(1) 低压轴向分裂结构

轴向分裂结构一般在轴向上分成额定容量和额定电压相等的两个绕组，两个绕组幅向相同，轴向上下排列。

两个绕组之间相互独立，绕组间没有电路连接。这种结构广泛用于发电厂双绕组的备用变压器。但使用在三绕组的220 kV主变压器上存在很大的弊端，由于中压绕组处在高压绕组内侧，难以实现轴向上下并联结构。当M-L运行，低压侧单支路短路时，上半部的低压绕组LV1与下半部的低压绕组LV2流过的电流相差巨大。而中压绕组上半部和下半部电流相同，导致中压绕组和低压绕组轴向上安匝严重不平衡，产生较大的横向漏磁通，进而产生巨大轴向短路力，因此不宜选择这种结构。

(2) 低压幅向分裂结构

幅向分裂结构将低压绕组在幅向上分成两路，从铁心向外依次排布两个低压绕组，两个绕组间采用纸筒和撑条分隔，两个绕组之间相互独立，绕组间没有电路连接。

当M-L运行，低压侧单支路短路时，任何一个低压绕组与中压绕组都是在等高的轴向上均匀分布的，中压绕组和低压绕组轴向上安匝基本平衡，不会产生较大轴向短路力。但是低压幅向分裂结构存在的问题是阻抗偏差较大，阻抗计算值见表1，由表1可以看出M-L1和M-L2（H-L1和H-L2）阻抗值相差较大，不符合南网标准要求。阻抗不一致导致

两个支路的负载电压、短路电流也不一致，给继电保护带来困扰，因此这种结构也不宜采用。

表1 阻抗计算值

运行工况	阻抗要求值 (%)	阻抗计算值 (%)
M-L1	21 ± 5	23.57
M-L2	21 ± 5	20.36
H-L1	35 ± 7.5	39.28
H-L2	35 ± 7.5	36.89

(3) 低压4螺旋轴向分裂结构

由于上述两种常规结构都不宜采用，因此设计了一种新的低压分裂绕组结构，仍然是一种轴向分裂结构，但又区别于常规轴向分裂结构。该结构低压绕组设计为4螺旋结构，4根自粘换位铜导线在轴向上并列绕制，1、2螺旋组成绕组LV1、LV3，4螺旋组成绕组LV2，LV1和LV2在轴向方向交错绕制成，LV1和LV2的匝数、幅向尺寸、内外半径、电抗高度及导线线规均相同，绕组排列如图8所示。当M-L运行，低压侧单支路短路时，由于低压绕组和中压绕组在等高的轴向上均匀分布，中压绕组和低压绕组在轴向上安匝基本平衡，不会产生较大轴向短路力，由于两个分裂的低压绕组结构和尺寸几乎相同，M-L1和M-L2（或H-L1和H-L2）阻抗也可以保持一致。低压绕组4螺旋轴向分裂结构，解决了上述两种常规分裂结构的弊端，而且该方案结构简单，节约材料成本，安全性高。

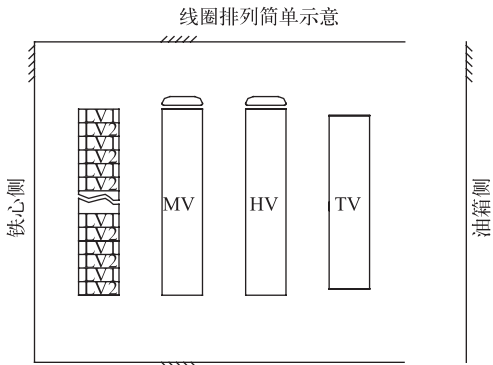


图8 低压4螺旋轴向分裂绕组排列

低压4螺旋轴向分裂结构在低压绕组端部分成两个支路引出，形成电路上独立的两个绕组，在油箱内部分别进行三相三角形连接，通过低压引出线将每相低压绕组与一支套管连接，每个三角形连接3支低压套管，共接6支低压套管，内部引出线结构

如图9所示。

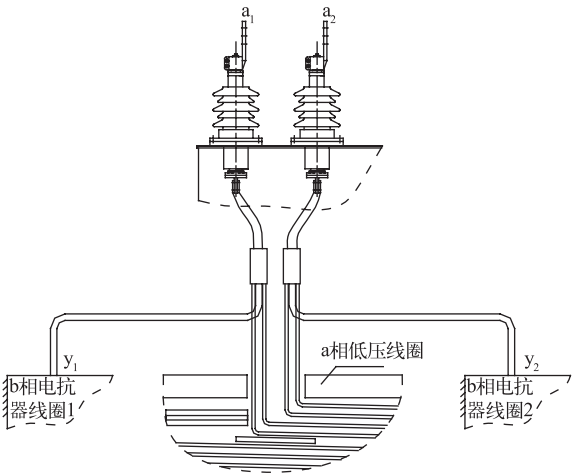


图9 双分裂式低压引出线连接图（a相）

双分裂结构相比于双分支结构复杂，制造成本略高，绕组结构与常规变压器存在较大差异，但其安全可靠性和更高。当单支路发生短路故障时，非故障支路仍可维持约90%的电压；可以解决双分支结构低压单支路短时非故障支路将瞬间跌落电压的问题，保证用电设备安全。

结束语

- 1) 主变压器低压侧采用双支路线，在同等规模变电站的情况下，低压直配能力可以提高65%。
- 2) 低压双分支结构和低压双分裂结构均能实现低压侧双支路线，在不提高10 kV开关柜电流限值的前提下，提升主变压器低压侧供电能力。
- 3) 低压双分裂结构可以解决双分支结构低压单支路短时非故障支路将瞬间电压跌落的问题，安全可靠性和更高。从电力安全角度出发，推荐低压双分裂结构。EA

(收稿日期：2022-06-01)

参考文献

[1] 尹克宁. 变压器设计原理[M]. 1版. 北京: 中国电力出版社, 2003.

[2] 刘东升. 高阻抗变压器的结构与应用[J]. 变压器, 2006(10): 9-11.

[2] 张翰林, 李伟春, 陈应龙, 等. 大型变压器绝缘件监造典型案例[J]. 电气应用, 2021, 40(10): 66-69.