

[变压器]

35 kV高压外延三角形移相整流变压器设计

文/保定天威集团特变电气有限公司 庞建丽

提出了35 kV高压外延三角形移相整流变压器的两种线圈排布方案，通过波过程计算的结果对比，选择了高压基本线圈与高压移相线圈轴向排列的方案，有效改善了高压线圈的整体电容分布，降低了高压基本线圈与高压移相线圈首尾段的冲击电压梯度，提高了变压器绝缘性能。

随着整流装置的功率及容量不断提升，高压电动机及变频整流装置迅速发展，变频调速技术因其节能、安全和易控，已成为电力拖动的主轴设备。高电压、多脉波的高压外延三角形移相整流变压器作为变频调速系统的主要部件，其安全性能对系统的影响至关重要。

目前国内外市场上的35 kV高压外延三角形移相整流变压器，高压基本线圈与高压移相线圈都采用辐向排列方式，在雷电冲击电压下，这样排布的高压移相线圈尾端与高压基本线圈首端连接处冲击电位振荡很大，存在较大的安全隐患。

本文介绍的35 kV高压外延三角形移相整流变压器用于西藏驱龙矿业4 600 m海拔的地方，要求运行绝对安全、可靠，对变压器各项性能都提出了极高的要求。

35 kV高压外延三角形移相变压器中线圈排列的两种不同方案

本文介绍的变压器为组合使用，联接组别为 $D(+7.5^\circ)d0y11$ 和 $D(-7.5^\circ)d0y11$ ，一台变压器高压侧移相 $+7.5^\circ$ ，另一台变压器高压侧移相 -7.5° ，低压线圈轴向双分裂布置，上部线圈d接，下部线圈y接，单台变压器12脉波，两台变压器组成24脉波。

以往产品移相线圈电压等级大多为10 kV，本项目为高压侧35 kV移相，电压等级较高。因存在移相线圈，绝缘结构和引线接线复杂，重点和难点在于考虑变压器高压35 kV侧移相。高压基本线圈与高压移相线圈的线圈排列方式决定了高压线圈的整体电容分布，需特殊考虑。

1. 高压基本线圈与高压移相线圈辐向排列

此方案为传统结构，两个低压线圈采用轴向分裂结构，高压基本线圈与高压移相线圈辐向排列，由铁心侧到油箱侧依次为：低压线圈—高压移相线圈—高压基本线圈，如图1所示。

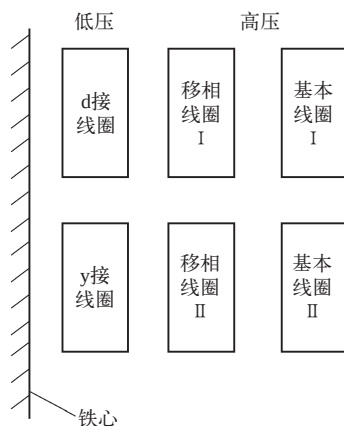


图1 高压基本线圈与移相线圈辐向排列

此方案中，经过波过程详细计算，高压移相线圈尾端与高压基本线圈首端连接处冲击电位振荡明显，绝缘存在一定隐患。

2. 高压基本线圈与高压移相线圈轴向排列

此方案为两个低压线圈采用轴向分裂结构，高压基本线圈与高压移相线圈轴向排列，由铁心侧到油箱侧依次为：低压线圈—高压线圈（高压基本线圈和高压移相线圈的组合线圈），如图2所示。

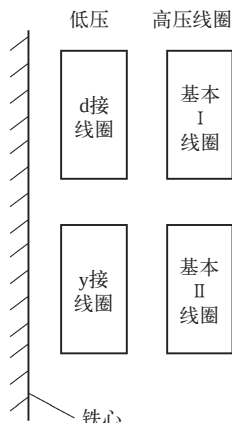


图2 高压基本线圈与移相线圈轴向排列

本方案高压基本线圈与高压移相线圈轴向排列，经过波过程详细计算，高压移相线圈尾端与高压基本线圈首端连接处冲击电位振荡不明显，数值合理，绝缘可靠。

3. 两种方案分析对比

结合所接项目数据，具体做两种方案的波过程计算。采用方案一时，高压基本线圈与移相线圈连接处的冲击电位发生振荡数值约163%左右；采用第二种方案时，其连接位置冲击电位振荡数值下降到114%左右，改善冲击分布效果明显。对比结果如图3所示。

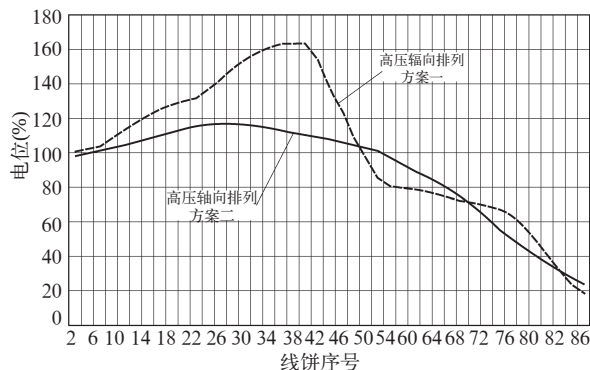


图3 高压线圈冲击电位分布图（以A相为例）

通过分析比较，该项目选择第二种方案：高压基本线圈与高压移相线圈轴向排列。

项目样机技术方案

1. 项目主要研究的内容

- 1) 对35 kV级高压外延三角形移相技术的研究。
- 2) 对线圈排布，紧凑型器身结构的研究。

2. 样机基本信息

产品型号：ZSSS-10500/35

电压比： $35 \pm 2 \times 2.5\% / 2 \times 1.28$

联结组标号： $D(+7.5^\circ) d0y11$ & $D(-7.5^\circ)$

$d0y11$

额定频率：50 Hz

绝缘水平：LI170 AC70/ LI40 AC10-LI40 AC10

短路阻抗：7%~9%(半容量半穿越)

铁心损耗：10 kW + 15%

负载损耗：77 kW + 15%

线圈平均温升限值：65 K

顶层油温升限值：60 K

冷却方式：ONAN

海拔：4 600 m

3. 具体设计方案及实施注意事项

(1) 线圈结构

高压线圈为基本线圈和移相线圈组合的轴向分裂结构，采用共柱式（以下简称该线圈为组合线圈），端部辐向出线；低压线圈为双螺旋式，端部轴向出线。

由于高压线圈为组合式，使用多种线规绕制同一线圈，所以在绕制过程中需加强对电磁线的自检，避免线规使用错误。线圈出头排列方式及出线位置不同，掰弯时要对电磁线进行调平，防止股间短路。

(2) 铁心结构

铁心为三相三柱式，叠片采用不断軛三接缝结构，铁心夹件绝缘采用防軛铁穿片措施，夹件采用平板式，上、下腹板通过拉板与心柱连成整体，保证铁心整体的机械强度。铁心通过两侧支架与箱盖连接，既起到器身限位作用，也方便器身起吊。

(3) 器身绝缘结构

器身为轴向分裂结构，注意器身绝缘有序套装。套装时，首先套器身下部，套装次序为：y接低压线圈、下部高低压线圈之间的屏蔽层、高压线圈II；之后套器身上部，依次为：d接低压线圈，上部高低压线圈之间的屏蔽层，并在此时将上、下部屏蔽层留出接头压接好，再套高压线圈I。

（下转第82页）

应参数包括：摄像机图像分辨率：1280×720；图像压缩格式：H.264；球机预置位数量：250个；摄像头监测范围：水平角度为0°~360°，垂直角度为-90°~+90°；正常时工作功耗<10 W；设备待机时功耗<0.2 W。

5. 红外摄像仪设计

输电线路的电力设备及电力电缆的绝大部分故障，如过载、压接点接触不良、短路及绝缘老化等，都会以热量的形式表现出来。为了提高供电的可靠性，需要有效地监测和预测故障的发生，因此需对输电线路环境进行红外温度检测。由于线路设备及电缆不能使用接触式测温工具，故选择使用红外线非接触测温工具。红外线测温模块选择Melexis MLX90640 32×24模块，该模块是一种32像素×24像素红外阵列。模块选用STM32作为主控MCU，传感器使用MLX90640ESF-BAB，相应参数包括：分辨率为32×24；刷新率为4 Hz；波

特率为11 5200；工作温度为-40~85℃；测量温度为-40~300℃；测量准确度为±2℃；视场角为55°×35°。红外摄像仪的工作流程如图5所示。

结束语

基于巡线机器人的输电线路巡检装置是伴随人工智能及电网发展的关键技术，对保证电力系统的安全、稳定和可靠性有着重大意义。为提高输电线路的智能化水平，保障电力公司巡线工作的高效性和可靠性，本文提出了以灵活的机械结构为基础，搭载可见光摄像机、红外摄像仪和激光雷达系统的智能巡线机器人，能够实现对高压输电线路的巡视与监测，发现线路锈蚀、磨损和断股等缺陷，提醒工作人员及时采取应对措施，从而维护电网健康、持续和稳定的运行。EA

(收稿日期：2019.11.07)

(编辑：朱金凤)

(上接第79页)

所有绝缘件均应粘牢，不得有裂缝和起层现象；铁轭绝缘、端圈上垫块均匀分布，位置偏差控制在工艺守则规定的范围内。套装中重点保证上段与下段器身间绝缘件的垂直度。

(4) 引线结构

样机联接组别为D(±7.5°)d0y11，高压引线所有的出头连接均在器身外部，简化操作，避免隐蔽节点，方便工序检查。高压基本线圈与移相线圈引线均为同一相的相邻线圈首末出头连接，避免了因异相线圈引线连接的电位差导致的线圈纵绝缘隐患，减少引线交叉。

4. 相关试验及实施效果

(1) 外施耐压试验

外施耐压试验数据及结论如下表所示。

表1 外施耐压试验数据及结论

加压部位	电压/kV	频率/Hz	持续时间/s	结论
高压线端	70	50	60	合格
低压线端	10	50	60	合格
低压组间	10	50	60	合格

(2) 雷电冲击试验

高压线端：全波170 kV合格；

低压线端：全波40 kV合格。

该项目突破的关键技术及创新点

1) 采用组合式双分裂线圈结构，高压四个线

圈轴向排列，简化了器身与引线结构，器身紧凑简洁。

2) 高压移相线圈与基本线圈沿轴向排列，与辐向排列相比，降低了冲击电压下线圈端部电位幅值，避免了冲击振荡，提高了绝缘裕度。

结束语

该项目研究成果已在西藏ABB驱龙矿业项目的ZSSS-10500/35移相整流变压器上进行了实施应用，产品一次性通过了全部试验，各项技术指标达到或者优于技术协议和相关标准要求。产品最大的优点在于通过结构的改进，提高了变压器器身内部绝缘裕度，具有器身结构紧凑、接线简单、绝缘性能优越及运行可靠等优点。

该项目已经于2019年12月通过了河北省科学技术成果鉴定，所涉关键技术填补了国内空白，对35 kV高压外延三角形移相的技术推进具有重要意义。这一研究成果的实施，使得这一系列移相整流变压器产品的应用技术变得更加成熟，定会在各个工业领域创造出更多更大的经济效益和社会效益。EA

(收稿日期：2020.01.08)

(编辑：朱金凤)