

[电抗器]

500 kV超大容量叠装电抗器产品汇流方式研究

文/北京电力设备总厂有限公司 张德金 赵 杨 张月华 蒋观平 王国金

500 kV超大容量电抗器在叠装串联运行时，产品周边产生强漏磁场。强磁场环境引起了产品各金属辅件的发热问题。运用仿真软件对叠装产品的磁场分布特性进行仿真计算，重点讨论了大容量叠装产品辅件过热的原因，分析了传统线圈汇流方式的不足之处，提出了新型的汇流方式，并通过一系列试验验证汇流效果。

在国内市场，500 kV超大容量电抗器产品的叠装具有很高的设计生产门槛，而在叠装项目中电抗器辅件发热问题是最主要的设计难点之一，能否成功地解决电抗器辅件发热的问题决定了整个项目的成败。目前，国际上现有的电抗器厂家中仅有Trench公司具有叠装大容量电抗器的运行业绩。因此研发叠装超大容量限流电抗器产品，获取叠装大容量产品试验数据，对于提高国内大容量电抗器产品的研发能力，提高该类产品竞争力具有重要意义。

本文从叠装产品的磁场分布特点入手，仔细分析了叠装电抗器辅件发热的原理，讨论了传统汇流方式以及汇流结构的不足之处，通过对小型叠装电抗器产品的汇流试验，提出了新型电抗器产品的汇流方式。

磁场分布特点

超大容量叠装电抗器的主要参数：电抗值 $14\ \Omega$ ，电流值 $4\ 000\ \text{A}$ ，叠装之后的容量 $224\ \text{Mvar}$ ，电压等级 $500\ \text{kV}$ 。运用Ansoft软件对叠装大容量电抗器产品周边磁场分布情况进行分析，发现产品内径以内的磁场强度远大于线圈外部的磁场强度，且线圈中间处的磁场强度最强，如图1所示。电抗器产品中金属器件的发热情况与

其所处磁场环境的强弱直接相关，位于电抗器产品中间的汇流排以及轮毂是整个两叠产品发热最严重的部位，成为超大容量限流电抗器产品研制的关键所在。

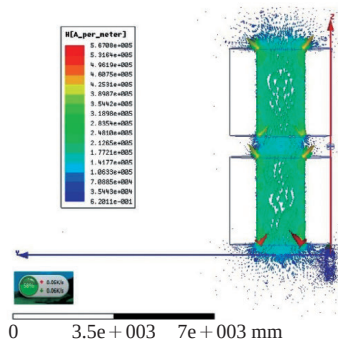


图1 叠装电抗器磁场分布

新型汇流结构的研究

1. 传统汇流结构分析

若采用传统汇流方式，大容量叠装电抗器产品会出现金属辅件过热现象。传统汇流方式主要为内汇流方式，具体结构如图2所示。线圈中各封装的电流在中间轮毂处汇集，当电抗器产品额定电流条件下产生较大的磁场时，其轮毂以及周边吊臂上会存在很大的涡流损耗，从而导致局部严重过热问题。

通过有限元分析计算发现，由于超大容量叠

装电抗器产品的额定电流非常大（为4 000 A），电抗器产生的磁场很强，单凭改变结构件厚度或构件结构等方法不能有效避免辅件的过热问题。改变构件厚度以实现降低涡流损耗的方法往往会引起传导性损耗值的增大，因此必须寻找新的汇流方法才能妥善解决此问题。

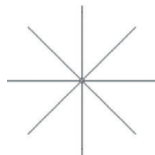


图2 传统汇流方式

2. 新型汇流结构

为妥善解决叠装超大容量限流电抗器中心部位的辅件问题，本文提出了新型的电抗器汇流方式。此种结构以另辟蹊径的方式妥善解决了上述部件处存在的过热问题，区别于以往传统的汇流形式通过两线圈间外部拉筋式结构进行汇流，巧妙避开了强磁场区域，达到了良好的设计目的。

具体新型汇流的结构如图3所示。首先将电抗器产品的上线圈下吊架和下线圈的上吊架中间轮毂以及部分吊臂全部锯掉，用无磁钢和3240环氧板组合的方式替代原有轮毂结构。保证电抗器的受力稳定性的同时，又避免了此处的辅件过热问题。

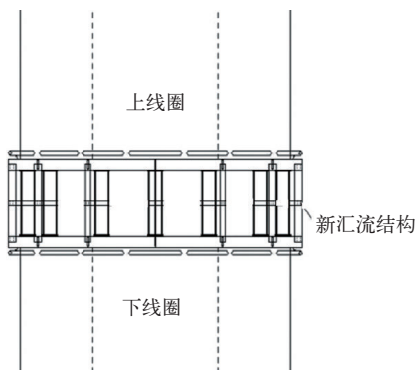


图3 新型汇流结构

新汇流结构汇流效果验证

为了验证新型汇流方式能够起到与传统汇流结构相对效果，进行了多次的验证性试验，图4所示为试验中的电抗器产品。其中左图为锯掉传统汇流结构后的电抗器线圈，右图为增加新型汇流方式后的两叠装电抗器产品。



图4 新汇流方式验证试验

对试验用电抗器线圈进行小电流试验，具体试验结果见表1。通过对比分析发现，两叠放电抗器传统汇流方式（轮毂汇流结构）与轮毂锯掉之后（施加新型汇流的方式）测量得出的电抗器各个包封层的小电流分布结果基本一致。可以得出序号，此新型汇流措施能够起到与轮毂（即内汇流方式）相同的汇流作用。

表1 新型汇流效果验证

	单台小电流 (%)	叠装传统汇流结构 (%)	双叠锯新型汇流结构 (%)
1	25.3	26.6	27.6
2	10.7	11.1	10.4
3	-2.9	-3.4	-2.5
4	-4.0	-5.0	-6.1
5	-20.0	-20.0	-20.0

汇流方式温升试验

500 kV超大容量叠装产品采用新型的汇流结构，为验证汇流结构的试验效果，还对该产品进行了温升试验。

具体试验结果见表2，滤波可调线圈正常状态温升（传统汇流结构）和新型汇流状态温升的整体情况，通过对比分析发现，两种状态的滤波可调线圈的整体温升情况基本相同。

新型汇流结构产品内径以内部分的金属辅件温升情况明显低于传统结构，起到了降低辅件温度约30 K的效果。

表2 新型汇流结构温升试验数据

滤波可调电抗器温升情况	传统结构温升情况/K	新型汇流结构温升情况/K
绕组热点温升	66.9	64.7
绕组平均温升	35.6	35.3
金属辅件热点温升	118	87

结束语

本文讨论的叠装超大容量限流电抗器产品内径以内金属辅件的过热问题，提出新型的新型汇流结构。在叠装超大容量电抗器产品中，新型汇流结构与内汇流结构不同，其处于磁场较弱的区域，能够有效避免过热问题，解决叠装大容量电抗器在磁场叠加区域的辅件发热问题。对新型结构进行温升试验。试验结果表明，该结构能够起到降低产品内径以内金属辅件温度约30 K的效果。该新型汇流结构不仅适用于叠装的电抗器产品，对于其他超大容量电抗器产品也有借鉴意义。EA

（收稿日期：2018.07.11）

（编辑：朱金凤）