

辐照加速器用大功率脉冲变压器设计分析

Design and analysis on large power pulse transformer for radiation accelerator

邹祖娇，胡俊杰，郭翔，江磊

合肥华耀电子工业有限公司，安徽 合肥 230031

摘要：本文介绍了某辐照加速器用大功率高压脉冲变压器的设计，该脉冲变压器的特点为平均功率大，电压高，作者主要从水冷散热、高压绝缘处理及材料应用、结构调平等难点问题出发，对脉冲变压器设计进行分析，并给出实物图片及实验测试波形。

关键词：辐照，高压变压器，结构调平

中图分类号：TM4

文献标识码：B

文章编号：1606-7517(2013)09-2-109

1 引言

电子束辐照技术已经广泛应用于民用领域，不仅可用于医疗卫生用品的消毒灭菌，食品及农产品的杀虫、灭菌、保鲜，还能用于化工材料的改性，半导体元件的性能改良等。辐照技术的广泛应用推动了电子直线加速器的发展，脉冲变压器作为加速器里的主要设备也在不断发展。本文设计了某辐照加速器用大功率高压脉冲变压器，其平均功率约300kW，输出脉冲电压达到200kV。

2 脉冲变压器参数要求介绍

该脉冲变压器主要线路如图1所示，包含主脉冲变压器、速调管灯丝变压器、偏磁电路（偏磁电感、电容）及电流电压取样等部分。脉冲变压器主要技术指标有：输出

脉冲电压200kV，脉冲宽度30μs，重复频率最大365Hz，次级双绕组供电方式，负载输出为速调管。速调管灯丝加热由外接220V交流电源通过次级双绕组高压端降压灯丝变压器提供。

3 脉冲变压器设计难点分析

从线路上分析，该脉冲变压器并不复杂，主要难点在于其输出功率大，电压高，如何保证变压器长期可靠工作。如按该变压器95%的效率考虑，那么将产生15kW的发热功耗，因此如何控制变压器的温升十分关键。本文主要从变压器冷却设计、高压绝缘处理方式、结构调平等方面进行分析，设计计算过程与相关书籍及论文大同小异，本文就不再赘述。

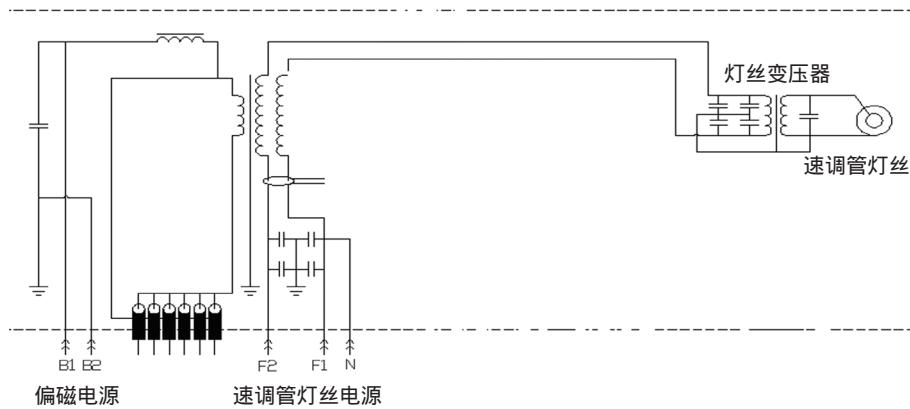


图1 脉冲变压器线路图

3.1 冷却设计

脉冲变压器整体采用方形油箱结构，脉冲变压器主油箱和速调管副油箱各占一半，主副油箱的油不相通，副油箱大小由聚集线圈及速调管尺寸决定。由于损耗大，大于 $60\text{W}/\text{m}^2$ ，变压器采用直接强迫液冷（水冷）方式，在主油箱四周安装了一组水冷钢管，油箱内灌注45号变压器油。二次循环水通过安装在变压器油中的铜管，利用冷凝器冷却的方式将设定出水温度的水冷却成需要的进水温度的水。根据主油箱外围尺寸，我们选用管径 16×1 的钢管折弯成图2所示的形状。设定水管进水温度为35℃，出水温度45℃，根据冷却系统压力的要求，计算所需的水流量为 $0.86\text{m}^3/\text{h}$ （按设备长期200kW运行考虑），则水流速要求1.18m/s。

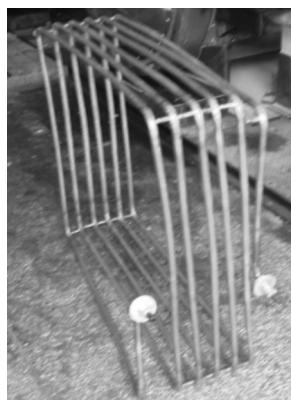


图2 水冷钢管

用ICEPAK电子热分析软件对脉冲变压器结构散热进行了建模仿真，由于该脉冲变压器采用二次液冷（变压器油冷后再水冷）的冷却方式，热分析仿真模型复杂，本文就不论述了。

3.2 高压绝缘处理

由于该脉冲变压器输出电压较高，灯丝变压器和速调管阴极之间的连线要尽量短，脉冲变压器高压引出方式很重要。我们采用的是自制环氧灌注260kV高压绝缘子安装在主副油箱中间，用于连接速调管阴极油箱的灯丝和阴极。

在变压器内部结构安排上，我们遵循就近引出的原则，速调管灯丝变压器安装在次级双绕组高压引出与260kV高压绝缘子中间，为增加爬电距离，灯丝变压器底座使用四个尼龙棒支撑架空安装。

脉冲变压器高压绝缘处理的许多细节方面要注意，主要有：

(1) 变压器绕组匝间电压比较高，骨架均需铣槽定位绕制，保证每匝之间的绝缘距离。随着电压的升高，高电压下电场分布不均匀，次级骨架槽间距采用随电压升高梯度增加的方式。

(2) 脉冲变压器骨架材料一般采用环氧酚醛玻璃布板，其酚醛玻璃布浸环氧树脂层压结构，在超高压下材料易分层，容易引起爬电产生碳黑，所以对于超高压脉冲变压器骨架宜选用一体成型致密性好的其他绝缘材料。

(3) 由于该变压器输出电压高，在超高压作用下，高压连接处的金属螺钉都会成为弱点产生电晕及爬电现象。因此高压连接处应避免采用金属螺钉，如为保证安装强度必须使用金属螺钉的，则应安装防电晕球或留出足够的安全距离。

3.3 结构调平

负载速调管安装波导时要求精度高，需细微调整变压器的位置，由于该脉冲变压器体积大，灌油后重量900kg，靠吊装很难调整到位，因此变压器底部安装了调平装置，能将脉冲变压器从上下、前后、左右6个方向调整，距离最大200mm，以保证波导的精细安装。调平装置的结构如图3所示。

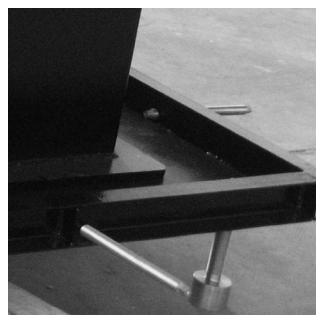


图3 调平装置

4 测试结果

脉冲变压器经过整机联调和负载试验，满功率运行稳定，温升32℃，输出波形符合设计指标要求，图4所示为输出电压136kV脉宽 $29\mu\text{s}$ 时的波形及脉冲变压器实物。

5 结束语

脉冲变压器的温升及耐压绝缘可靠，是脉冲变压器能否长期可靠工作的关键因素。本文从变压器设计结构散热及高压绝缘处理等方面作了浅显的分析，不足之处请同行专家批评指正。

下转113页