

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.02.10

# 交流标准电阻器技术浅析

王震<sup>1</sup>, 方学锋<sup>1</sup>, 覃爱民<sup>1</sup>, 郑捷<sup>1</sup>, 滕华强<sup>2</sup>, 蔡晋辉<sup>3</sup>

(1. 杭州大华仪器制造有限公司, 浙江 杭州 311401; 2. 上海仪器仪表研究所, 上海 200082; 3. 中国计量大学, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 交流标准电阻器的设计原理、制造技术, 包括测试技术、测试方法越来越受到各行各业的关注。传统的直流电阻器功能及测试技术已不能替代交流电阻器功能和测试方法, 也就是不再适用对交流电阻值的评估。技术发展涉及到对交流电阻值的正确性、可靠性评估, 直接关系到对产品质量的评价和使用的有效性。本文围绕影响交流标准电阻器品质的若干影响要素作一些初步剖析。

**关键词:** 交流标准电阻; 频率; 功率

**中图分类号:** TB97

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2017)02-0040-03

## Technique Analysis on AC Standard Resistors

WANG Zhen<sup>1</sup>, FANG Xuefeng<sup>1</sup>, TAN Aimin<sup>1</sup>, ZHENG Jie<sup>1</sup>, TENG Huaqiang<sup>2</sup>, CAI Jinhui<sup>3</sup>

(1. Hangzhou Dahua Apparatus Manufacture Co., Ltd, Hangzhou 311401, China; 2. ShangHai Instrument Research Institute, Shanghai 200082, China; 3. China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** The design principles and manufacturing technology of AC standard resistors, including measuring technique and testing methods, have attracted more and more attention from all walks of life. The function and testing technology of traditional DC resistors cannot take the place of the function and measuring method of AC resistors, and are not suitable for the assessment of the resistance of AC resistors. With the development of the science and technology, all domains involve the correctness and reliability of AC resistance values, which have direct bearing on the assessment of product quality and valid use. This paper focuses on the impact of several factors affecting the quality of AC standard resistors to make some preliminary analysis.

**Key words:** AC standard resistor; power; frequency

## 0 引言

交流电阻的测试由测试设备和交流电阻标准器配合完成。测试设备应确保在不同的频率、功率前提下, 提供不同等级的相关电参量; 交流电阻标准器由 $10^{-4}\Omega$ 到 $10^6\Omega$ 交流标准电阻、十进制交流电阻箱、交流分流器等组成。不同型号的交流电阻器围绕频率、功率二变量, 使交直流电阻转换、品质因素、角差、时间常数都要在规定的等级标准所规范的技术标准内, 必须在结构上充分考虑, 消除分布电容、残余电感、趋肤效应、邻近效应等对交流电阻器技术参数的影响量。

## 1 交流标准电阻器

电阻器在频率的影响下, 在电阻器两端由于工作

电流、工作电压而产生电场、磁场。交变的电场会在电阻器两极间分去一部分电流, 交变的磁场在电阻器的环境回路中产生压降, 也就是电场影响是在电阻器两端并联一个电容, 而磁场影响是电阻器上串联一个电感, 也就是在电阻器上产生一个分布电容和一个残余电感。如图 1 所示。

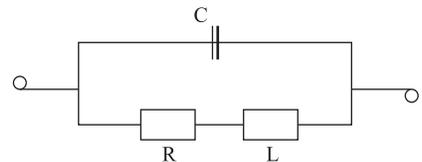


图 1

图 1 中, C 为电容; R 为电阻; L 为电感。由于电场和磁场的存在, 电阻不再是纯电阻, 而是出现电抗分量, 造成谐振现象。电磁场损耗引起交流下的有效电阻值不同于直流电阻值, 此等效电阻值与频率有关。

围绕交流标准电阻器在元件及结构上有分布电容

收稿日期: 2016-11-16

作者简介: 王震(1983-), 男, 工程师, 从事电测仪表方面研究工作。

和残余电感的存在引起在不同频率、不同功率时出现趋肤效应、邻近效应、涡流增加电抗分量的不确定值是交流标准电阻器在设计时应考虑的问题。

## 2 交流标准电阻的主要功能

交流标准电阻的功能应围绕频率、功率这两个主要元素而定，二者直接关系到交流标准电阻的品质评价。根据不同频率、功率提出了不同用途、等级的交流标准电阻，此中有小功率的用于计量和校正的交流标准电阻以及测量用的大功率交流标准电阻。交流标准电阻使用频率应从频率为零起步，根据应用领域不同，频率范围的上限也有所不同，包括交流标准电阻值范围，定值的功率和环保条件。

### 2.1 交直流电阻转换误差

交流标准电阻交直流电阻转换误差是交流标准电阻的关键指标。交直流电阻转换误差有两层概念：一是在频率范围内，转换误差小；二是各变化量呈线性。转换误差不超过交流标准电阻的某等级所规定的技术指标，同时变化量在同一方向变(切勿双向变化)，且变化值呈线性。

交直流电阻转换误差的值由趋肤效应、分布电容(也可称寄生电容)、残余电感引起，此影响量由频率和功率起主要作用。

### 2.2 功率引起的变量

交流标准电阻应用范围广，按不同的要求提出不同的使用功率，在同一功率时，不同的阻值实际使用电流也不同。

交流标准电阻在使用时，功率引起的变量应不超过规定的技术规范要求，此要求应包含两方面：首先交流标准电阻在使用时引起的变量为热稳定性变量；其次交流标准电阻在规定使用功率下使用，其年稳定性不应超过规定的技术规范要求，即年稳定性要求。

交流标准电阻功率引起变量值的大小，主要取决于电阻材料的电流密度。电流密度越大，引起的变量越大，主要在频率影响下，出现趋肤效应，使直流状态测试值和交流状态下测试值不能处于同一值，即出现变量。因此，交流标准电阻选择材料的电流密度必须考虑在直流状态和交流状态之间值接近，不同频率下的交流值处于线性变化且变化值要小。

### 2.3 温度系数

交流标准电阻器在使用过程中出现变量的主要因素是温升引起，此温升是由交流标准电阻器自身的温升和环境温度变化而引起。

交流标准电阻器在使用过程中的自身发热可通过电流流过电阻导体的电流密度处理，同时在电阻的结构上考虑散热条件，而电阻值的温度系数则是核心要点。

交流标准电阻器的阻值随温度按线性变化是理想状态，因此电阻值的温度系数能够在规定的使用环境下，包括电阻值自身发热所引起变化，为线性变化。在此状态下要求一次温度系数要小，二次温度系数也要小，确保在规定的温度区域，使电阻值按线性变化，而不是抛物线变化，且一次温度系数为正值。

### 2.4 频率引起的影响量

直流电流通过电阻在两端产生端电压，显示直流电阻，由于电阻材料和电阻引出导线是由二种不同金属组成，在此产生热电势，此热电势给电压回路增加一附加直流电压，增加附加直流电阻，由此精密测量时，必须变换电阻器两极进行测量，取二者的平均值，为直流电阻值。

直流电阻上通正弦波电流，使之在直流电阻的端点再引入附加电压，此端电压变化由频率引起。

不同的频率通过直流电阻，由频率引起的误差是不同的，不同结构电阻器引起的频率也是不同的，不同阻值的电阻器引起的频率误差也是不同的。

## 3 影响交流标准电阻品质的主要要素

### 3.1 分布电容

交流标准电阻的电压回路存在电场，此电场将产生容性泄露，容性电流和压降引起并联的容性导纳，出现并联效应，使阻值增大，分布电容数大小，直接反映电场影响大小。

### 3.2 残余电感

交流标准电阻，电流回路耦合磁场，磁场和电压回路产生感应电势感抗，称残余电感，串联在电流回路中，此残余电感越大，其阻抗也越大。残余电感的大小，直接反映磁场影响大小。

### 3.3 趋肤效应

交流标准电阻由于电涡流效应，电流密度衰减引起阻值增大，随着效应变化，电流密度相应变化，其电阻值也变，使交流标准电阻阻值，在不同频率时，出现不同阻值，频率越高，阻值越大，出现交流标准电阻器的交直流转换误差变大，同时在使用频率范围内，电阻值出现非线性变化。因此在技术上需解决趋肤效应影响量，减少电流集中于导线的表面流向是关键。

### 3.4 功率引起的损耗

分析电容在电场中引起串联损耗电阻，残余电感在

磁场中引起串联损耗电阻。损耗电阻会引起附加误差。

### 3.5 交流标准电阻器在设计中应考核的若干关键技术

#### 3.5.1 交流标准电阻器四端钮引出型式

交流标准电阻上流经的交流电流回路和标准电阻两端产生下降的电压回路必须分开引出，即引出端为四端钮按键座。采用具有等电位屏蔽的接线座。

回路的引线要采用等电位屏蔽，消除分布电容和残余电感的影响。

#### 3.5.2 交流标准电阻器电阻结构材料

交流标准电阻器的结构材料应采用具有无极性的工程塑料，降低因材料介质损耗而带来的附加影响；连接导线应优先采用多股屏蔽铜芯线；外壳可采用黄铜材质的材料，包括面板。

## 4 电阻元件的选配

### 4.1 所用材料

电阻元件选用的精密型电阻合金必须满足电阻率高的基本要数，一般选用精密型镍基合金电阻材料。此材料的基本特点是电阻率高，抗氧化性好，耐磨性强，但焊接性差，延伸率小。

交流标准电阻，阻值在大于 1 Ω 时，可用此材料；小于 1 Ω 时，用精密型锰基电阻合金，该材料的电阻率小，但焊接性好，延伸率大，电阻元件制造难度小。

### 4.2 结构型式

#### 4.2.1 电阻元件采用穿心工艺制法

电阻骨架采用高频瓷材质的空心圆柱体，电阻线环绕骨架孔心进行穿心绕制。

采用双线并绕的主要特征是电阻元件承受的功率大，年稳定性好，交流特性好。

#### 4.2.2 瓷板结构电阻元件

瓷板经过特殊工艺处理后，绕上电阻材料后进行工艺处理，制成全密封性电阻元件，此结构的电阻元

件，年稳定性好，交流特性好。

### 4.2.3 精密型箔电阻

精密型箔电阻是主要的交流电阻元件，温度系数小，交流特性好，适用于功率不大的交流标准电阻器。

## 5 交流功率电阻器结构型式

交流功率电阻器由  $N$  个具有交流特性的电阻元件组成。其年稳定性高，电阻值的变化值由几个交流电阻元件变化量的平均值决定。交流功率电阻器承受功率大，分配在几个交流电阻元件上。交流功率电阻器的交流特性高。

交流功率电阻器采用几个交流电阻元件合成，形式可根据电阻器的名义值选用：串联组合、并联组合、混合组合减小分布电容和残余电感量，从而提高交流特性。

## 6 结束语

交流电阻量值的校正和量传是计量技术中不可缺少的组成单元，建立准确、可靠的校正系统必须有理论和实验来支撑。交流校正电阻器和校正交流标准电阻器设备是物质基础，科学的交流电阻测试方法和对产品的品质评估手段是先决条件。

许多相关单位对此新的领域进行了有效研究，相继开发了不少原创科技项目，DHSR 型系列交流标准电阻是其中之一，基本性能符合 IEC60477-2 实验室交流电阻技术要求，不久将形成精密型电阻合金材料、交流标准电阻器以及鉴定设备为主的产业链。

### 参 考 文 献

- [1] 张瑞明, 吴飞良. 交流直流电阻器若干问题浅谈[J]. 电测与仪表, 1992, 29(1): 42-43.
- [2] 曲正伟, 赵伟, 李正坤. 交流电流比较仪在四端钮阻抗测量中的应用[J]. 电测与仪表, 2009, 46(12): 1-5.

## 《宇航计测技术》2017 年第 2 期

高光谱红外成像系统的乒乓缓存设计  
 空间光纤传感测量技术应用研究  
 一种基于面源黑体的某型红外动态模拟靶标研制  
 基于 LabVIEW 的陀螺平台测试系统设计与实现  
 平衡功能测试与评估系统数据预处理方法研究  
 发动机气瓶热防护产品绝热性能评定研究  
 基于 ARVM 模型的液体火箭发动机试验台故障预测方法  
 基于 Labview 的振动冲击测量系统设计  
 转轴扭转变形动态测量噪声消除方法研究  
 JJG 860-2015《压力传感器(静态)检定规程》浅析

空间碎片材料检测技术研究  
 某飞行器铁路运输环境测试系统研究  
 深空遥操作大回路延时研究  
 利用静电双探针对辉光放电等离子体诊断分析  
 指标测试在导航雷达检修维护中的应用  
 一种交直流差可计算电阻的设计  
 北斗 D2 导航电文解析和完好性能分析  
 浅析仪器仪表机箱三防设计技术  
 一种手持式校准控制器设计与实现  
 基于感应传感的位置增量编码器设计