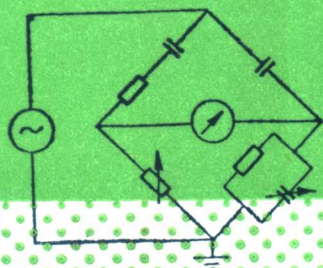


计量检定参考丛书

高压电容电桥的 使用与检定

王乐仁 编著



中国计量出版社

计量检定参考丛书

高压电容电桥的使用与检定

王乐仁 编著

中国计量出版社

(京)新登字 024 号

图书在版编目(CIP)数据

高压电容电桥的使用与检定/王乐仁编. —北京:中国计量出版社,1995

(计量检定参考丛书)

ISBN 7-5026-0730-7

I. 高… II. 王… III. ①电容电桥-高压-使用 ②电容电桥-高压-检定 IV. TM938.44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 12939 号

高压电容电桥的使用与检定

王乐仁 编著

责任编辑 田建华

*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

永清县第一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

开本 787×1092/32 印张 6.875 字数 151 千字

1995 年 4 月第 1 版 1995 年 4 月第 1 次印刷

*

印数 1-4000 定价:9.00 元

绪 言

20 世纪初,随着交流输变电技术的应用,电力工业进入迅速发展的时期。一个重要的标志是电网的电压等级每过十年提高一个档次,到了 50 年代,500kV 的输变电路已投入运行。与此同时,发电机的单台功率容量也不断加大,出口电压也逐步提高,目前 300MW 的发电机使用已很普遍,出口电压可达 20kV。在上述情况下,只要有一条高压输变电路或者有一台发电机故障停运,都要甩掉大量负荷,造成可观的经济损失。社会对电能的依赖越深,人们对电力生产的可靠性要求也就越高,促进人们把电力设备的绝缘性能作为重要的研究课题。自 20 年代开始一直到今天,西林电桥就一直是电力绝缘监测的重要工具。经过多年的生产实践,人们总结了各种电力设备的介质损耗因数与它们的绝缘状况之间的关系,并把这些经验编进了电气设备预防性试验规程,成为指导电力生产安全的法规。在电力设备的制造部门,也必须对设备使用的绝缘材料进行绝缘性能试验。这时西林电桥也是不可缺少的测量工具。

西林电桥涉及交流阻抗器、转换开关、检流计、等电位屏蔽、高压标准电容器等五方面的技术。其中交流电阻器和电容器的技术相对来说比较容易满足。制造 0.1% 或 0.05% 准确度的电阻器,1% 或 0.5% 准确度的电容器目前已不算困难。但制造高可靠性的转换开关就不那么简单了。我国早期生产的 QS1 和 QS3 电桥,开关为黄铜-磷铜片接触副,容易锈蚀,开关的定位机构也不灵活。80 年代研制的新一代开关改用银铜复合触头材料,表面进行特殊的硬化处理,使接触电压显著下降,接触电阻变差大大减小。开关的定位机构也经过重新设

计,选用的材料及加工精度比较考究。目前 QS30、QS37、QS39 电桥使用的 ZH4 型轻压力开关, QS36 电桥使用的 DKT 20-60 型中压力开关,性能已接近国外同类开关水平。DKT 20 开关的零电阻只有 $0.3\text{m}\Omega$, 零电阻变差只有 $0.03\text{m}\Omega$ 。两种开关都能经受 25 万次以上全行程切换。

西林电桥的检流计也经历了由动镜式、电子管放大式、晶体管放大式、集成电路放大式的发展过程。各阶段的代表有大家熟悉的 QS1 电桥的 AB1a, 2801 电桥的 5511, P5026 电桥的 HH1, QS37 电桥的 AZ21b 等。电子管放大式的优点是动态范围宽,配合无源 LC 带通滤波器,即使输入过载也不会发生信号堵塞现象。晶体管放大式可以使用 3V 到 6V 的电池供电,集成电路放大式容易设计理想的选频特性。半导体器件的动态范围一般较小,为了避免发生信号堵塞,必须在电路中设置多个限幅支路。评价指零仪的质量应考核它的信号灵敏度、输入阻抗、选频特性、交叉调制系数、共模抑制能力、阻尼时间、偏转特性、衰减器特性、抗电磁干扰能力、电源供给方式等。选用何种指零仪应根据所配用电桥的技术指标考虑。与国外指零仪相比,国产指零仪在主要指标上已达到同等水平,可以满足国产电桥的需要。

等电位屏蔽技术经历了由手动调节到电子放大式电位跟踪仪的发展过程。现代的西林电桥都装备了能提供自动电位屏蔽的仪器,不再需要反复对辅桥进行平衡调节。跟踪仪实际上是一台电压反馈系数等于 1 的电子放大器,放大器开环增益高,容易发生自激。实际使用的跟踪仪允许有比较大的跟踪误差,例如 0.1% 甚至 1%。我国生产的跟踪仪大都采用瑞士 2911 型线路,性能指标已能满足使用要求。

高压标准电容器作为零值损耗标准,要求有足够小的损耗因数,它的损耗因数限值与配用的电桥有关。例如与 QS1

配用允许 0.1%, 与 QS3 配用允许 0.005%, 与 2801 配用允许 0.002%。我国生产的 BR16 高压电容器, 损耗因数限值为 0.1%, BR26 为 0.005%。瑞士生产的 3370 系列压缩气体电容器, 损耗因数限值为 0.001%。我国生产的同类电容器, 损耗因数还比较大, 一般在 0.002% 到 0.005% 之间, 与世界先进水平仍有较大差距。

电流比较仪电桥是六十年代发展起来的变压器比例臂电桥, 电容比率测量准确度可达到 1×10^{-6} 。它涉及电流比较仪、转换开关、检流计、三次电流回路、高压标准电容器等五方面的技术。我国已具备制造比率准确度为 1×10^{-6} 的比较仪技术。实际生产的电流比较仪, 准确度只要求 1×10^{-3} 到 5×10^{-5} 。其中的有源型电流比较仪, 它们的三次电流需要用电子反馈放大器从参考电流回路取出, 作为正交磁势和分数匝信号源。由于放大器的输出通过比较仪线圈反馈到输入端, 因此对放大器的频率特性要求比较高。另外比较仪线圈的磁屏蔽也有很高要求。除了外场干扰之外, 仪器内部的交流电源本身, 特别是电源变压器也是不可忽略的干扰源。良好的磁屏蔽加上线圈的无定向绕法, 才能保证电桥测量误差满足要求。在大干扰场合, 还是使用西林型电桥较好。

近年来电流比较仪电桥的智能化有一些发展, 例如日本生产的 DAC-ASC 电容分选电桥可用于电容器生产线上的检测, 具有误差限设置和超限报声的功能。瑞士生产的 2876 电桥, 采用模拟开关实行平衡调节, 由计算机控制测量过程。屏幕上随时显示试验电压、比率量程选择、试品电容量与介质损耗因数等信息。模拟开关接触电阻的大小对电桥性能有很大影响, 是模拟开关自平衡电桥的技术关键。

世界各国在评定高压电容电桥的准确度方面有不同的看法, 西欧和前苏联对电桥误差限值就有两种不同表达方式。早

年的国产电桥是仿苏型号,所以 QS1 和 QS3 的误差表达式都相当繁琐。两种表达方式的区别在于对高压电容器的误差、电桥的频率附加误差以及电桥灵敏度的附加误差是单独处理还是另行处理。JJG 563—88 采用了西欧的方式,电桥误差只表示电桥测量工频电流比率的误差。标准电容器的误差、频率附加误差另外计算。试验电压降低后引起电桥灵敏度下降,产生的附加误差可根据电桥测量时实际达到的分辨率估算,不再另行规定。国外在出厂检定时对基本量程不作逐盘检定,只是使用三到四台标准电容器控检几个点,这种方法会使检定合格出厂的电桥仍然有示值颠倒的情况。我国的检定规程明确要求对基本量程逐盘逐点检定。比国外要求更严格。JJG 563—88 还规定了西林型电桥电容测量盘误差与测量置数的关系。国外的西林电桥没有这个规定,在评定电桥准确度等级时,只依据指定的几个检定点的测量结果。实际上有很大的随意性。不利于操作人员正确发挥电桥的实际潜力。

我国拥有 10 万名以上的高压电容电桥使用与生产人员,对他们来说,了解高压电容电桥的构造与使用的知识是十分必要的。除此之外,懂得如何确定所使用设备的准确度,将有助于提高工作的水平与质量。特别在出现异常数据时,可以通过确认电桥的准确度状态判断测量结果的可靠性。对于专业检定人员来说,高压电容电桥的检定技术是他们岗位考核的重要内容,应当熟练掌握。本书主要是为这两类读者而写,如果能对他们的工作有所帮助,就达到了作者的希望。

本书在写作过程中,得到西安高压电器研究所、上海电动工具研究所、上海沪光仪器厂、上海电表厂有关人员的支持,陈瑞玉、郑恺审阅了部分章节,在此一并表示感谢。

目 录

第一章 QS1 电桥的结构与工作原理	(1)
第一节 QS1 电桥的用途	(1)
第二节 QS1 电桥的结构	(2)
第三节 QS1 电桥的工作原理	(9)
第四节 QS1 电桥的实用测量线路	(17)
第五节 QS1 电桥的技术改造	(24)
习题一	
第二章 QS3 电桥的结构与工作原理	(32)
第一节 QS3 电桥的技术性能与结构	(32)
第二节 QS3 电桥内附辅助电桥的工作原理	(39)
第三节 QS3 电桥的测量操作	(42)
第四节 QS3 电桥指零仪的技术改造	(44)
习题二	
第三章 2801 电桥的结构与工作原理	(49)
第一节 2801 电桥的电路结构特点	(49)
第二节 2801 电桥量程扩展线路原理	(52)
第三节 2801 电桥的技术参数	(56)
第四节 2801 电桥的使用	(58)
第五节 与 2801 电桥结构类似的电桥	(62)
习题三	
第四章 QS19 电桥的结构与工作原理	(68)
第一节 QS19 电桥的结构	(68)

第二节	QS19 电桥的工作原理	(70)
第三节	QS19 电桥的技术参数	(75)
第四节	QS19 电桥的使用	(76)
第五节	与 QS19 结构类似的电桥	(79)

习题四

第五章	QS30 电桥的结构与工作原理	(81)
第一节	QS30 电桥的结构	(81)
第二节	QS30 电桥的工作原理	(84)
第三节	QS30 电桥的技术指标	(88)
第四节	QS30 电桥的使用	(88)
第五节	与 QS30 结构类似的电桥	(90)

习题五

第六章	高压电容电桥的检定技术	(92)
第一节	概述	(92)
第二节	R_3 和 R_4 桥臂的检定	(98)
第三节	C_4 桥臂的检定	(101)
第四节	用阻抗标准器测量电容比率误差	(103)
第五节	用等功率电桥法检定高压电桥电 容比率误差	(108)
第六节	用倍率校准法检定电容比率非基 本量程	(111)
第七节	用低压导纳法检定高压电桥损耗 因数测量准确度	(112)

习题六

第七章	按元件检定高压西林电桥	(115)
第一节	按元件检定 QS1 电桥	(115)
第二节	按元件检定 QS3 电桥	(119)
第三节	按元件检定 2801 电桥	(121)

习题七

第八章 高压电容电桥整体检定装置.....	(125)
第一节 QS1 电桥检定装置	(125)
第二节 QJS3 型整体检定装置	(132)

习题八

第九章 用 QJS1 校验仪整体检定 QS1 电桥	(139)
第一节 检定条件.....	(139)
第二节 检定项目和检定方法.....	(140)
第三节 检定结果的处理.....	(142)

习题九

第十章 用 QJS3 整体检定装置检定 QS3 电桥	(150)
第一节 检定条件.....	(150)
第二节 检定项目和检定方法.....	(151)
第三节 检定结果的处理.....	(154)

习题十

第十一章 用 QJS3 整体检定装置检定 2801 电 桥.....	(162)
第一节 检定条件.....	(162)
第二节 检定项目和检定方法.....	(163)
第三节 检定结果的处理.....	(168)

习题十一

第十二章 用 QJS3 整体检定装置检定 QS19 高 压电容电桥.....	(177)
第一节 检定条件.....	(177)
第二节 检定项目和检定方法.....	(177)
第三节 检定结果的处理.....	(181)

习题十二

第十三章 用 QJS3 整体检定装置检定 QS30 电	
-----------------------------	--

桥.....	(188)
第一节 检定条件.....	(188)
第二节 检定项目和检定方法.....	(188)
第三节 检定结果的处理.....	(194)
习题十三	
第十四章 检定中常见的异常现象与处理.....	(201)
第一节 指零仪无指示.....	(201)
第二节 电桥灵敏度不足.....	(202)
第三节 电桥不能平衡.....	(203)
第四节 指零仪指示不稳定.....	(204)
第五节 电桥误差异常.....	(205)
参考文献.....	(207)

第一章 QS1 电桥的结构与工作原理

第一节 QS1 电桥的用途

在电力系统的发电、输变电与配电过程中,大量使用发电机、变压器、高压开关、互感器、高压电缆、高压套管、绝缘子等电力设备。这些设备在运行中长期承受着高电压的作用,它们绝缘状态的好坏,直接影响电力系统的安全运行。特别是发电机、变压器等大型设备,造价十分昂贵,一旦损坏,除了造成大面积停电外,还会造成巨大的直接经济损失。为了监测电力设备的绝缘状况,电力部门制订了一系列的试验规程(例如设备交接和预防性试验规程),尽一切可能把事故消灭在萌芽状态之中。在这些试验中,很重要而且很有效的一个手段就是电气绝缘的介质损耗因数测量。

我国生产的高压电力变压器、电力电容器、高压套管等类产品,大量采用油纸绝缘和电容型绝缘。这类绝缘结构具有经济实用的优点。但是当绝缘中的纸纤维吸收水份以后,纤维中的 β 氢氧根之间相互作用力变弱,材料导电性能增加,机械性能变坏,是造成绝缘逐渐破坏的重要原因。受潮的纸纤维中的水份,可能来自绝缘油,也可能来自绝缘中原先存在的局部受潮部分。这类设备受潮以后,介质损耗因数会有明显的增加。

固体绝缘材料如电瓷、胶木、树脂等,当表面或内部出现微小裂缝,或者材质不纯,表面污染等,它们的介质损耗因数也会增大。例如电压互感器的绝缘支架在开裂后,损耗因数可

以从 2% 上升到 5%。环氧树脂浇注的干式变压器和互感器,当树脂固化不完全时,容易发生开裂。这时测得的损耗因数明显偏大。

液体绝缘材料如变压器油,在受到污染或劣化后,极性物质增加,介质损耗因数也会从清洁状态下的 0.05% 以下上升到 0.5% 以上。

除了用损耗因数的大小及变化趋势判断设备的绝缘状况外,电容量的变化也可以有效地发现电容型绝缘的损坏。如果多个电容屏中的一个或几个发生击穿短路,电容量就有明显的增加。

与其它高压电容电桥相比,QS1 电桥的测量准确度并不高,但是它的使用量却是最大的。这是因为现场测量对准确度没有太高的要求,但一定要数据可靠,设备经久耐用。另外一个重要原因是现场电力设备很多是固定接地的,需要用反接线方式测量,而实验室用的高压电桥没有这个功能,虽然可以用侧接线方法测量一端固定接地的试品,但使用条件有许多限制,无法取代 QS1 电桥。目前我国约有一万多台 QS1 电桥在电力行业服役,在电气设备交接试验和预防性试验中,测量介质损耗因数和电容量。它们担负的任务是十分重要的。

第二节 QS1 电桥的结构

QS1 电桥的前身是原苏联 MИ16 西林电桥。五十年代后期上海电表厂在消化吸收它的设计原理的基础上进行了仿制,在电气性能和机械结构各项技术指标上完全达到原 MИ16 的水平。即使用今天的眼光来看,QS1 电桥的工艺设计仍是相当严谨的。在进行结构分析时,可以根据 QS1 电桥的各项电气功能把电桥分为起绝缘作用的机箱部分、起电流比率测量作用的电阻箱与电容箱部分、起指示平衡作用的检流

计部分和起交流阻抗标准器作用的高压标准电容器等四大部分。

一、机 箱 部 分

QS1 电桥的机箱部分包括金属外壳、面板、高压绝缘插座、电源变压器、内电屏等。

仪器的铁质外壳具有良好的密封性，铝质面板所有开孔都有密封设计，具有良好的防尘和防潮能力。

高压插座安装在仪器机箱背后的一块有机玻璃材料制成的圆板中央，固定插座用的螺丝也用导电片与电桥 E 点相连，不会由于金属导体电位悬浮而发生局部放电。高压插座是高压电源进入电桥桥体的通道，为了防止高压试品在测量过程中由于绝缘击穿产生的冲击电流和高电压进入测量桥臂，在高压插座后面安装有气体放电管。放电管的两个电极之间充有稀薄的惰性气体，起始放电电压与气体分子间的平均距离以及该种气体的电离能有关。QS1 电桥使用的气体放电管，一般在 350V 就开始放电，放电电流的峰值可达数安培，足够使高压电源的继电保护装置动作。这种放电管的管帽与玻璃管芯之间采用粘结工艺，容易脱落。目前已有陶瓷外壳的气体放电管生产，具有体积小，效率高，机械性能好的优点，可以代换使用。

电源变压器安装在面板背面，输出电压为 6V 的一组线圈给检流计照明灯泡供电，输出电压为 150V 的另一组线圈通过一只 2 μ F 的油浸纸介电容器给低压测量线路供电。变压器的额定输出容量为 20VA。

内电屏安装在绝缘支架上，里面是桥体测量部分，内电屏必须与金属机壳绝缘。因为在反接线状态下，桥体测量部分对地的电位可达 10kV。绝缘要求高是 QS1 电桥的一个重要特

点,为了保持绝缘良好,QS1 电桥的密封设计十分严谨。同时在使用中还要注意保持绝缘支柱表面的清洁,要求定期擦洗。QS1 电桥内的电源变压器,有时会对内电屏的金属底板放电,发生这种情况时,可把电源变压器从面板拆下,锉短垫柱,锉低面板一侧的线圈架,这样可使变压器与金属底板的距离增加 3~5mm,放电故障一般可以消除。

二、电 阻 箱 部 分

QS1 电桥的 R_3 桥臂由一只滑线电阻和四盘十进电阻串联组成。在每个十进位开关圆柱形的胶木支座上开有十个线槽,用单丝漆包锰铜线以对折式无感绕法在线槽里绕制十只电阻,它们的引出线都按顺序焊接到十进开关相应的触头上:电阻丝的线规为 1Ω 盘 $\phi 0.5\text{mm}$, 10Ω 盘 $\phi 0.25\text{mm}$, 100Ω 盘 $\phi 0.12\text{mm}$, 1000Ω 盘 $\phi 0.08\text{mm}$ 。桥臂电阻 R_4 的绕制方法与 R_3 相似,只是线径为 $\phi 0.1\text{mm}$ 。滑线电阻 S 是一段长约 25cm 的镍铬丝,线径 $\phi 0.6\text{mm}$,绷紧在盘式胶木座的圆周上,片状磷铜触头在镍铬丝上滑动,作为分压抽头。滑线电阻的最大阻值为 1.2Ω ,安装在内电屏底板下方,外面用盘形金属罩屏蔽。容易算出, R_3 的最大值是 11111.2Ω 。

电阻箱十进开关的接触副是黄铜触头-磷铜触片,价格便宜,但也容易磨损。因此电桥在使用一段时间之后,就需要清洗触点,重新涂上一薄层开关用的润滑脂。开关的限止位置挡片安装在旋纽内,需要调整时可卸下固定旋纽的两只螺钉,取下旋纽进行调整。

滑线电阻的常见故障是接触不良,维修时需要把整个内电屏从绝缘支柱上拆下,取下滑线电阻的屏蔽罩,拆下滑动臂,清洗电阻后重新调整滑动触片的接触点与压力,并涂上一薄层开关润滑脂。

电阻箱的 1000Ω , 100Ω , 10Ω 盘电阻, 以及 R_4 的 3183Ω 电阻, 准确度都是 0.5% , 1Ω 盘的准确度为 2% , 滑线盘准确度为 5% 。

三、电 容 箱 部 分

QS1 电桥的电容箱分为三盘, 第一盘步进值 $0.1\mu\text{F}$, 满量程 $0.5\mu\text{F}$; 盘二盘步进值 $0.01\mu\text{F}$, 满量程 $0.1\mu\text{F}$; 第三盘步进值 $0.001\mu\text{F}$, 满量程 $0.01\mu\text{F}$ 。电容箱的总电容为 $0.61\mu\text{F}$, 除 $0.1\mu\text{F}$ 盘是油浸纸介电容器外, 其它电容器均为云母介质, 准确度 5% 。

四、检 流 计 部 分

QS1 电桥使用的检流计是振动式光点检流计, 属于电磁系指示仪表。检流计的振子结构如图 1-1 所示。振动部分是一块长方体磁钢, 它粘贴在一条极薄的铜片上。铜片上粘有一个很薄的反射镜面以及一条很薄的铍青铜张丝, 张丝以 5g 左右的张力拉紧, 张丝的两端用焊锡固定在具有相同的热膨胀系数的铜合金棒状支座上, 它们合起来称为振子。振子是振动式检流计最容易损坏的部分。

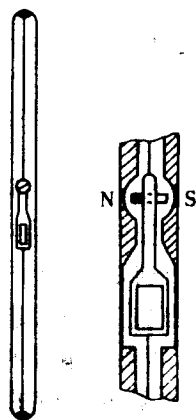


图 1-1 振动式检流计的振子结构

振子的固有振动频率与镜片的质
量以及张丝的拉力有关。为了准确地把振子的固有谐振频率调到 50Hz , 需要有微调机构。微调机构是一对软铁极靴, 极靴受一块永久磁铁磁化, 当振子插入时, 振子磁铁正好在极靴中心, 当转动频率微调旋钮时, 齿轮传动机构使永久磁铁与极靴

铁板的距离改变, 铁板中的磁感强度也随着变化, 从而改变了极靴间的永久磁场强度。振子磁铁受到一个横向的磁场力作用后, 会把张丝拉得紧一些, 使振子的固有频率提高。按照设计要求, 振子的频率调节范围是 $\pm 5\text{Hz}$ 。

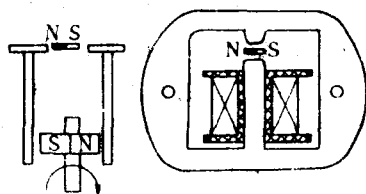


图 1-2 振动式检流计原理结构

指示电桥平衡状态的电压信号输入到励磁铁芯的电流线圈上, 励磁铁芯也构成一对极靴。线圈通入工频电流后, 铁芯被周期地磁化, 极靴间出现交变磁场。振子磁铁在这种交变磁场中, 两个磁极交替地受到磁吸力和磁斥力

作用, 产生周期性的转动力矩, 从而发生受迫振动。随着镜片的振动, 镜面把通过光栅入射的平行光线反射到安装在标尺下方的平面镜上, 再投影到标尺上, 结果把镜片的振幅大小映射成光带的宽度大小。于是我们可根据光带的宽度判断电桥的平衡程度。振子磁铁在振动时, 在铜合金支座上感应出涡流, 涡流的磁场产生阻尼

力矩, 使振幅不会无限增大。振动式检流计的原理结构可参见图 1-2。为了提高检流计的灵敏度, 减小环境电磁场对检流

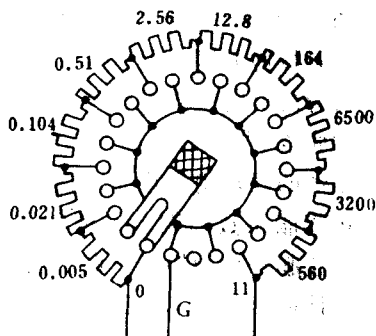


图 1-3 QS1 检流计衰减器电路