

定容法六氟化硫气体精密计量中的 电动针阀自动化解决方案

Automatic Solution of Electric Needle Valve In Precise Measurement of Sulfur Hexafluoride(SF6) Gas by Constant Volume Method

摘要：在目前的六氟化硫气体精密计量中普遍采用重量法和定容法两种技术，本文分析了重量法中存在的问题以及定容法的优势，同时也指出定容法在实际应用中还存在自动化水平较低的问题。为了提高定容法精密计量过程中的自动化水平，本文提出了增加电控针阀和可编程压力控制器的解决方案，由步进电机驱动的电控针阀来精密调节气体压力，不同压力值的控制过程则由可编程压力控制器来进行控制操作，从而实现了定容法的自动化精密计量。

1. 问题的提出

六氟化硫气体（SF6）是一种优异的绝缘介质，广泛应用于电力行业，同时六氟化硫气体也是六种严禁排放的温室气体之一，世界各国明令禁止六氟化硫气体排放，特别是各级电网公司为了减少六氟化硫气体的排放量，会对运行中的六氟化硫电气设备进行六氟化硫气体重量统计，严格控制使用量和泄漏量。为了普查变电站六氟化硫气体使用量，需要一种检测变电站中六氟化硫用气量的方法。目前六氟化硫用气量有两种检测方法，一是重量法，二是定容法。

有关重量法，在广东电网有限责任公司实用新型专利“CN208953045U：一种SF6气体计量装置”以及河南省日立信股份有限公司发明专利“CN112611439B：一种测量六氟化硫气体重量的装置及方法”中给出了典型的描述，其测试过程和装置如图1所示。

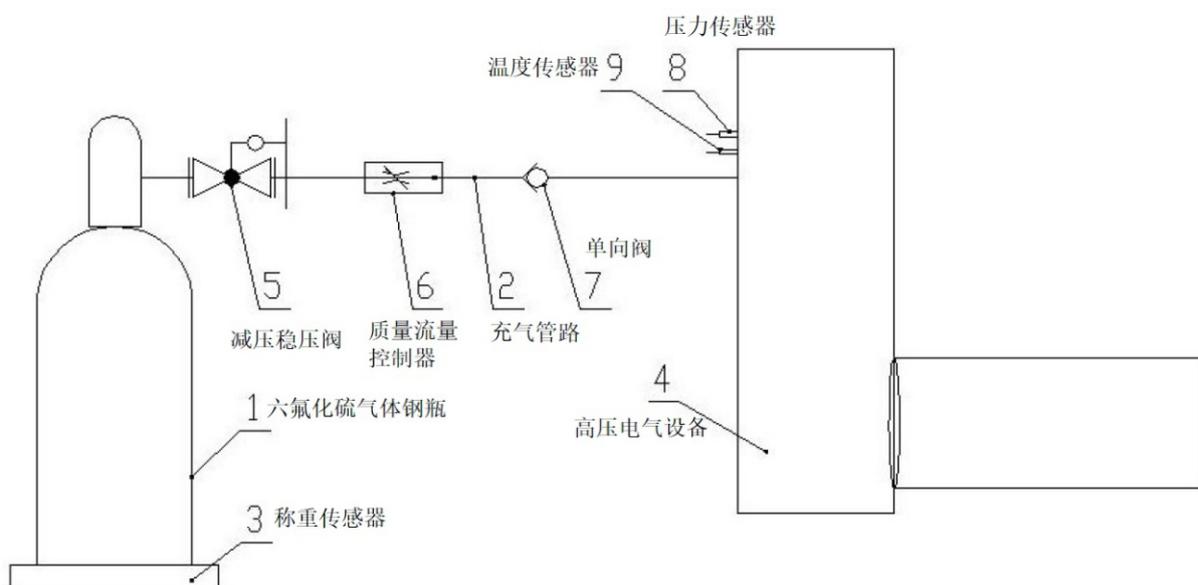


图1 六氟化硫气体重量法充气计量装置结构示意图

重量法的基本原理是通过天平或承重仪器检测向高压电气设备中充入的六氟化硫气体重量，并同时观察安装到高压电气设备上的压力传感器升高的压力值。在已知温度下六氟化硫气体密度后，由重量计算出补气的六氟化硫气体体积，结合压力传感器计算出的压力变化，可以推算出高压电气设备内部的有效容积。但在实际应用中，这种重量法存在以下明显的缺点：

(1) 在重量称量中，一般是承重六氟化硫气体钢瓶的重量变化，而实际消耗的六氟化硫气体静重量要比钢瓶皮重小很多，这种“大质量小称量”方法对所消耗的气体重量测量精度极为不利，测量误差很大。

(2) 当气室原有一部分气体时，此时该装置进行充补一部分气体入气室中提高气室内气体压力，却无法有效得知气室中原有的SF6气体量，无法对气室内部体积进行精确测算。另外重量法携带称重装置至现场给气体钢瓶进行称重，不方便搬运，且各地的地理位置不同，因海拔等不同导致重力系数不同，使得通过检测重力得出的质量有所偏差。

(3) 对于部分体积较小的六氟化硫电气设备，采用气体钢瓶直接对其进行充气，由于气体钢瓶的压力较大，对于体积较小的六氟化硫电气设备来说很容易发生充气过压，引起过压危险。

为了解决上述重量法中存在的不足，国内外新开发了一种定容积法，在国家电网有限公司的发明专利“CN112556777B：基于定容法的梯度充气式SF6气室容积测定方法”中对这种方法进行了介绍，其测量装置的结构如图2所示。

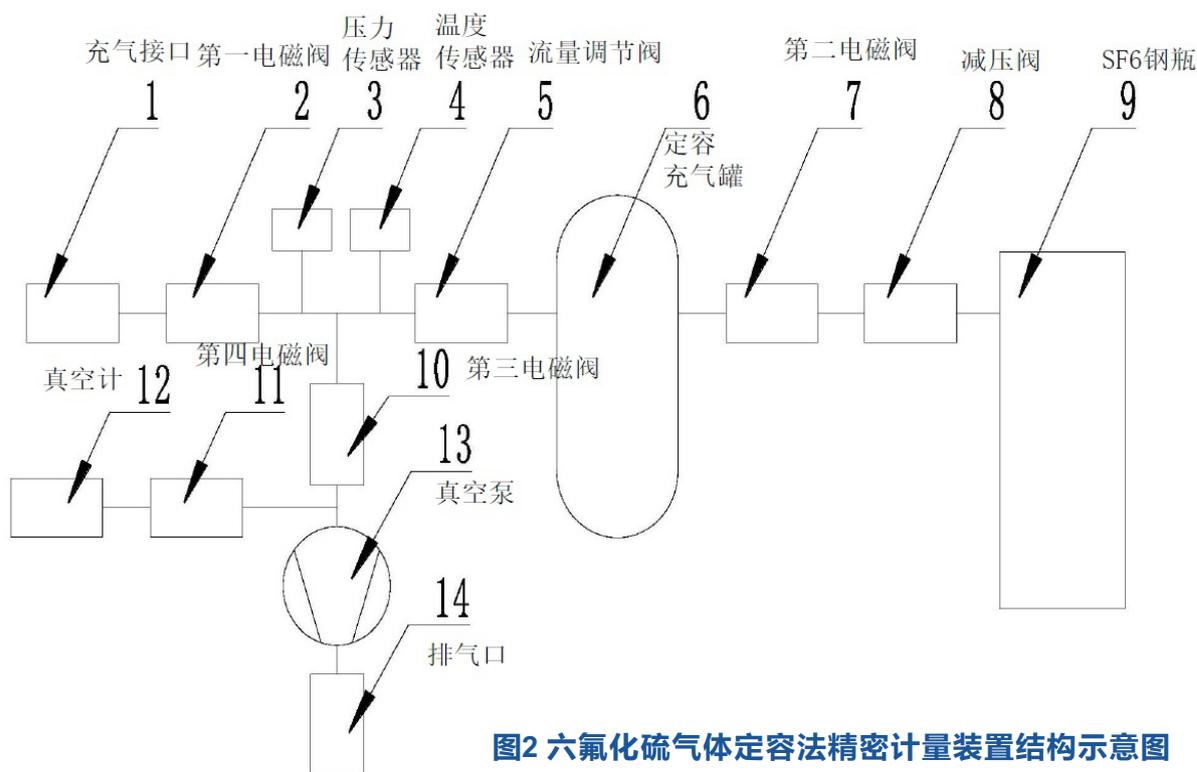


图2 六氟化硫气体定容法精密计量装置结构示意图

定容法是流量测量中的一种经典测试方法，在对六氟化硫充气量计量测试中，有以下优点：

(1) 这里的定容法是根据气室压力设定值分配多个阶段充气阈值，分阶段对气室进行充气并测量数据，各个阶段分别计算气室的体积与内部原有的气体质量，再区各个阶段测得的数据的平均值，可消除由于压力传感器的测量精度限制，对气室进行充气时，一次性从初始值充到设定值进行一次测量存在的较大偶然误差问题，可提高计算结果的精确度。

(2) 能够精确测量气体的实时压力，在接近设定压力数值时能控制充气流量，使得压力传感器能在气体稳定时进行检测，检测数据更加精确，且不会使气室充入气体过多导致气体压力过高造成安全隐患。

(3) 采用定容积的充气罐替代称重装置，通过温度、压力传感器和控制阀组，实现不同条件下的温度、压力测量，使得测算得出的气室体积和气体量结果更加精确。

尽管定容法具有上述明显优点，但定容法要进行多个不同压力的充气过程和测量，即需进行多次标定试验，这就要求整个标定过程自动化程度很高，如果采用人工调节费事费力且精度无法保证。而在自动化测控方面，国家电网有限公司的发明专利“CN112556777B：基于定容法的梯度充气式SF6气室容积测定方法”并未给出详细描述。

为了解决六氟化硫定容法精密计量中的自动化测控问题，本文提出了采用电控针阀的解决方案，即采用NCNV系列高速低漏率电动针阀来作为图2所示定容法装置中的调节阀门，并结合可编程序控制器，从而实现定容法中多个不同压力下的充气过程中的全自动标定。

2. 解决方案

定容法可编程压力自动控制的结构如图3所示，即将图2的流量调节阀更换为NCNV电控针阀，并增加一个VPC2021可编程压力控制器。压力控制器采集压力传感器信号，并根据设定好的不同压力设定值对电控针阀进行控制，从而在不同压力下实现准确恒定。压力控制器与计算机连接，通过控制器软件进行操作。



图3 电控针阀可编程压力自动控制结构示意图

解决方案中所采用的NCNV系列电控针阀具有一系列不同的孔径，范围从0.9mm~4.1mm，可满足不同容积的充气需要。另外，电控针阀具有小于 $5 \times 10^{-9} \text{Pam}^3/\text{s}$ 的极低漏率，基本消除了六氟化硫的泄漏现象。而且电控针阀具有很高的线性度和重复精度，可保证压力控制和重复性测量的精度。

解决方案中所采用的VPC2021系列可编程压力控制器，具有24位AD、16位DA和0.01%最小功率输出百分比的高性能指标，并具有多段折线程序设定功能，通过手动或软件界面操作进行控制程序设置，软件可驱动压力控制器的运行并记录过程参数和曲线变化，避免了再编写控制程序的繁琐。

3. 总结

通过本解决方案中增加的电控针阀和可编程压力控制器，可有效提高六氟化硫气体定容法计量的自动化水平，并保证计量精度，使得定容法在六氟化硫充气过程的准确计量技术中能得到真正的推广应用。