第13卷 第3期
1997年9月

上 海 电 力 学 院 学 报
Journal of Shanghai Institute of Electric Power

Vol.13 No.3
Sep. 1997

便携式智能乙炔测定仪的研制

葛启仁　曹绛敏　蓝之达*　薛五德　刘永昌

（上海电力学院）

*（华东电力试验研究院）

摘　要　本文介绍了一种乙炔测定仪的研制情况．该仪器采用完全脱气法和光电比色法，集脱气、测量于一体，并实现了整个分析过程的自动化．

关键词　电力变压器　气体分析　脱气　监测

中图法分类号　O 6.69

运行中的油浸式变压器，若其内部发生局部过热、放电等故障，会造成绝缘油和其他绝缘材料的分解，产生少量“故障气体”．这些气体的组成和含量与故障的类型及其严重程度有密切关系[1]．其中的乙炔是较为重要的放电性故障的特性气体．经常、及时检测油浸式变压器绝缘油中的乙炔含量，可以预报变压器内部的潜伏性故障及其发展情况，实现早期诊断，以便及时采取措施，防止重大事故的发生．

长期以来，气相色谱法一直是用来检测油浸式变压器内部故障气体的有效手段，至今仍不失为一种很好的分析方法，但该法所需的设备繁多，分析操作及数据处理复杂，整个分析过程费时较长，只有训练有素的技术人员在实验室内方能完成，因此只能用于主要设备的故障诊断，难以缩短设备的检测周期和用于现场快速准确分析．此外，目前采用的脱气方法多为不完全脱气，脱气率受诸多因素的干扰，误差较大，运行维护部门强烈要求改变这种状况．发展和完善绝缘油中溶解气体的检测、诊断技术是近年来国内外学者致力研究的重要课题．1990年文献报道了中国东北电力学院等研制的变压器油中氢气监测装置[2]，1993年的文献报道了日本松下电气公司研制的采用乙炔和氢气传感器的充油电气设备的故障诊断装置[3]．从上述文献看，这些监测或诊断装置的脱气方式仍然停留在不完全脱气，乙炔传感器为红外热源的热电传感器，其检测下限为5～10μL/L，误差为±20%．

本课题组经多年潜心研究，现已研制成功新一代便携式智能乙炔测定仪．该仪器以MCS-51单片机为核心，采用独创的以洗脱与吸收相结合的油中溶解乙炔完全脱气法及比色测定法，能自动完成脱气、测量以及数据处理等一系列操作，其检测下限小于0.5μL/L，误差<±10%，测量速度为20 min/样次，特别适用于现场快速准确地检测绝缘油中溶解乙炔的含量．该项目于1995年通过了电力工业部组织的专家鉴定及上海科技情报所科技成果水平检索，技术上达到国际先进水平，目前已分获电力工业部科技进步三等奖、华东电管局科技进步一等奖、上海电力学院科技成果一等奖．

本文1997-07-02收到

1 研究方向的确定

对判断油浸式变压器故障有价值的气体有 CH_4、C_2H_6，C_2H_4、C_2H_2，H_2，CO，CO_2 及总烃(前 4 种低分子烃含量之和)．其中 H_2 的监测装置已实现商品化生产，通常认为 C_2H_2 是比 H_2 更为关键的放电性故障的特征气体[3]．只要出现乙炔就应该引起重视并立即查找出原因．如某变压器厂在一次 500 kV 变压器出厂试验时，用气相色谱法从绝缘油中仅检测出约 0.5 μL/L 的乙炔，打开设备检查，发现内部有放电性故障的痕迹．因此，研制适用于现场快速分析的便携式智能乙炔测定仪，随时检测变压器内的乙炔含量，以便发现问题及时采取措施，避免重大事故的发生，因而具有较高的实用价值．但由于 C_2H_2 的报警值较低，运行规程规定不大于 3 ～ 5μL/L，要求乙炔测定仪的最小检测浓度小于 1μL/L[1]，故研制工作的难度较大．

2 关键技术的开发

2.1 全脱气技术

目前普遍采用的脱气方法多为不完全脱气，脱气率受油的温度、粘度、脱气装置的类型、操作方法等因素的影响很大，故脱气环节是绝缘油中溶解气体分析结果误差的主要来源[1]．应该指出，欲使气、液两相达到完全平衡，所需的脱气时间较长，且油温不同，其平衡脱气率亦不同．能否开发出一种简便可靠的全脱气方法，消除上述因素的干扰，是提高测量精密度和准确度的关键所在．

2.1.1 全脱气原理

我们首先在广种薄收、反复试验的基础上，筛选出一种对乙炔具有单一选择性、能与之在瞬间发生完全反应并生成有色化合物的吸收发色剂 G．然后根据物理化学原理，创建了油中溶解乙炔的完全脱气法，其原理如图 1 所示：

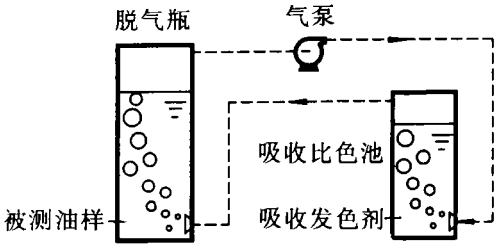

图 1 油中溶解乙炔的完全脱气原理

在循环气泵的作用下，被测油样液面上的微量乙炔被载气送至装有吸收发色剂 G 的吸收比色池，在载气通过的瞬间，G 与载气中的乙炔发生选择性完全反应：

$$G+C_2H_2 \rightarrow M$$

全部转化为有色化合物 M，被脱除了 C_2H_2 后的载气中乙炔的分压为零．由亨利定律：$C_{iaq}=K_i P_{ig}$ 可知，乙炔在油中的溶解度 C 与油、气界面上乙炔的分压 P 成正比．故当此乙炔分压为零的载气通过脱气瓶内的被测油样时，促使溶于油中的乙炔发生解析，而被载气带出再次送往吸收比色池．为使解析过程能较快地进行，在脱气瓶进口处装有喷头，将载气分散成细小的气泡逸出，以缩短乙炔的扩散路程和增大油、气接触界面．

2.1.2 脱气效果试验

图 2 显示了油中溶解乙炔与本仪器的脱气时间之间的关系. 当循环脱气时间大于 4 min 时，油样中的乙炔浓度已趋于零，原先溶解在油样中的乙炔全部被转移至吸收发色剂中，并定量地转化为有色化合物 M，既达到了完全脱气的目的，又为以后的比色分析创造了条件. 试验结果表明，本法的脱气时间短，温度等因素对脱气率无干扰.

2.2 比色测定法

2.2.1 测定原理

本仪器采用成熟的光电检测器，如图 3 所示，它由光源、透镜、滤光片、吸收比色池及光电池等组成. 前述有色化合物 M 的浓度与其颜色的深浅成正比，根据朗伯-比耳定律，当一束与溶液颜色互补的平行单色光通过有色溶液时，有：

$$A=\log(I_0/I)=K\cdot C\cdot L$$

由于溶液的吸光系数 K 和吸收比色池长度 L 为常数，故其吸光度 A 与M 的浓度 C 成正比.

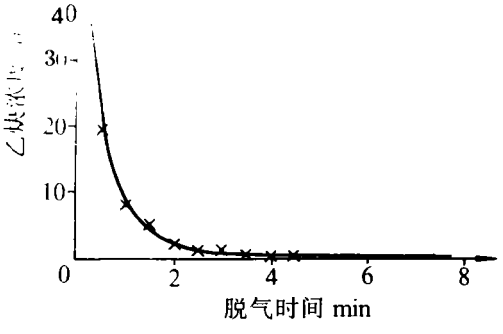

图 2 油中溶解乙炔与脱气时间的关系

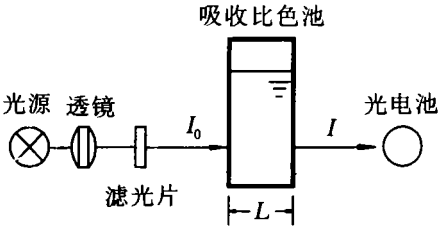

图 3 光电比色分析示意

2.2.2 精密度和线性度试验

表 1 仪器的精密度和线性度试验

乙炔标准气样浓度 (μL/L)	吸光度(A) 试验1	试验2	试验3	平均值 (A)	最大相对误差 (%)
2.0	0.016	0.014	0.015	0.015	6.5
4.0	0.029	0.030	0.030	0.030	3.3
6.0	0.046	0.047	0.048	0.047	2.1
8.0	0.060	0.062	0.059	0.060	3.3
10.0	0.075	0.076	0.074	0.075	1.3
20.0	0.144	0.153	0.147	0.148	3.4
40.0	0.293	0.307	0.308	0.303	3.3
60.0	0.477	0.451	0.448	0.449	0.5
80.0	0.560	0.572	0.566	0.566	1.1
100.0	0.664	0.663	0.658	0.662	0.6

在上述试验浓度范围内，本仪器的最大误差为 6.5%，表列数据间的线性相关系数 S 大于 0.999.

2.2.3 比对试验

本试验委托华东电力试验研究院进行，意在与传统的标准方法作对比. 表中的#5 样品为 GCL－1 型乙炔测定仪工作曲线的标定油样，它采用单点标定法.

表 2 GCL－1 型便携式智能乙炔测定仪与 GC－9A 气相色谱仪的对比试验

试验样品编号	GCL－1 型便携式智能乙炔测定仪				GC－9A 气相色谱仪(带全脱气装置)				对比试验相对误差
	乙炔含量(μL/L)		平均值	相对偏差	乙炔含量(μL/L)		平均值	相对偏差	
	试验1	试验2	(μL/L)	(%)	试验1	试验2	(μL/L)	(%)	(%)
1	0.3		0.3		0.3		0.3		
2	5.09	5.41	5.25	±3.0	5.14	5.19	5.16	±0.9	±1.2
3	19.68	20.63	20.16	±2.6	19.91	20.13	20.02	±0.5	±0.7
4	29.55	29.86	29.71	+0.5	31.50		31.50		±1.2
5					8.30	8.36	8.33	±0.4	

注：上述对比试验由华东电力试验研究院的顾国城、季文琴完成，谨此致谢.

比对结果表明：在试验浓度范围内，本仪器的最小检测浓度小于 0.5μL/L；本仪器平行试验的相对误差小于 ±5%；本仪器与 GC－9A 气相色谱仪测定值的相对误差小于 ±6%.

此外，我们还将 CH_4，C_2H_6，C_2H_4，H_2，CO，CO_2 等气体充入油样中，对本仪器进行了干扰试验，发现上述气体对本法测定乙炔基本上没有影响.

试验数据表明：本比色测定法具有灵敏度高、选择性好、检测下限低、线性范围广的特点，且检测器的结构简单、可靠.

2.3 仪器的智能化

采用气相色谱法进行油中溶解气体分析时，不仅操作步骤多，数据处理也较复杂，引入测量误差的几率较高. 本仪器把单片机与测量装置结合在一起，预先把操作步骤和计算方程编好程序固化在机器的只读存贮器中，使测量装置按单片机的指令自动进行脱气、测量、数据处理，然后显示和打印分析结果.

3 仪器的组成

3.1 硬件组成

本仪器的硬件组成如图4 所示. 它以 MCS－51 系列单片机为核心，在接受操作人员用键盘输入的指令后，控制脱气发色装置完成脱气、发色操作，并采得温度传感器及光电检测器的信号，经 A/D 转换、数据处理后，输出至显示、打印、报警单元. 实践证明，本仪器硬件设计合理、结构严谨、元器件选择可靠，完全满足测

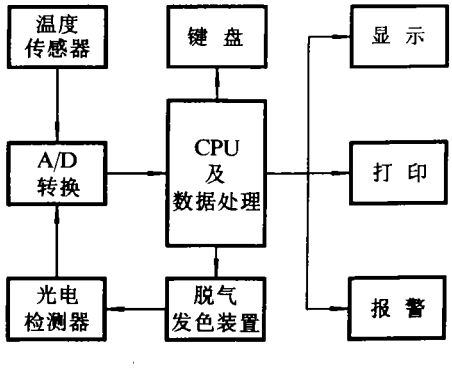

图 4 硬件组成框图

量仪器的要求.

3.2 软件系统

本软件系统充分考虑了 MCS - 51单片机的特点，并结合具体硬件线路，力求设计简单，功能齐全，可靠性高，运行速度快，其总体结构如图 5 所示.

4 结束语

由于本仪器采用了完全脱气法，实现了脱气、测量的一体化及整个分析过程的自动化，消除了诸多干扰因素和人为误差，故显著提高了分析的精密度和准确度，方便了用户，使得不具备分析技术的一般人员也能用它来进行油中溶解乙炔的检测.

我们将在此基础上，继续探索其他几种故障气体的检测装置，最终组成一套完整的便携式油中溶解气体分析系统.

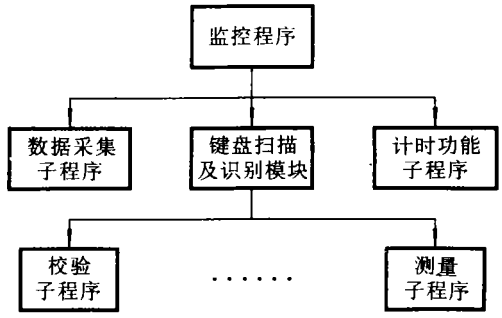

图 5 软件系统框图

参 考 文 献

1 中华人民共和国国家标准. 变压器油中溶解气体分析和判断导则. GB7275 - 87

2 陈化钢等. 电力变压器油中氢气微机在线监测装置的研制. 吉林市高校电工研究会论文，1990

3 Tanaka Y et al. Development of Diagnostic Instrumentby Acetylene and Hydrogen Gas Detector for Oil filled Equipment. 1993 International Workshop on Electrical Insulation, 25th Symposium on Electrical Insulation Materials. Nagoya, Japan, 1993

Development of Portable and Intelligent Acetylene Measuring Meter

Ge Qiren Cao Jangmin Lan Zhida* Xue Wude Liu Yongchang

(*Shanghai Institute of Electric Power*)

* (*East China Electric Power Institute*)

Abstract

This paper presents the development of an acetylene measuring meter. The meter applies the full gas extraction technique and the photoelectric method, combining gas extraction and measuring. Automation of whole analysis process has been realized.

Key words power transformer; gas analysis; gas extraction; monitoring