

# Q/GDW

## 国家电网有限公司企业标准

Q/GDW 11304.41—2021

代替 Q/GDW 11304.41—2015

---

### 电力设备带电检测仪器技术规范 第 4-1 部分：油中溶解气体分析仪 (气相色谱法)

Technical specification for energized device of electrical equipment

Part 4-1: Analyzer of gases dissolved in oil

(Gas chromatography method)

2021 - 12 - 06 发布

2021 - 12 - 06 实施

---

国家电网有限公司 发布



# 目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 检测原理.....	2
5 技术要求.....	3
6 试验项目及要求.....	6
7 检验规则.....	10
8 标志、包装、运输、贮存.....	12
附录 A（资料性附录） 常见检测仪的结构组成.....	14
附录 B（资料性附录） 检测仪常用的气路流程.....	17
附录 C（资料性附录） 变压器油中溶解气体组分含量分析用工作标准油的配制.....	20
编制说明.....	22

## 前 言

为规范气相色谱法油中溶解气体分析仪的设计、生产、采购和检验，促进电力设备带电检测技术的应用，提高电网的运行可靠性，制定本部分。

《电力设备带电检测仪器技术规范》标准分为 21 个部分：

- 第 1 部分：通用；
- 第 2 部分：红外热像仪；
- 第 3 部分：紫外成像仪；
- 第 4-1 部分：油中溶解气体分析仪(气相色谱法)；
- 第 4-2 部分：油中溶解气体分析仪(光声光谱法)；
- 第 5 部分：高频局部放电检测仪；
- 第 6 部分：接地电流检测仪；
- 第 7 部分：电容型设备绝缘检测仪；
- 第 8 部分：特高频局部放电检测仪；
- 第 9 部分：超声波局部放电检测仪；
- 第 10 部分：支柱瓷绝缘子探伤仪；
- 第 11 部分：SF<sub>6</sub>气体湿度检测仪；
- 第 12 部分：SF<sub>6</sub>气体纯度检测仪；
- 第 13 部分：SF<sub>6</sub>气体分解产物检测仪；
- 第 14 部分：GIS 局部放电多功能检测仪；
- 第 15 部分：SF<sub>6</sub>气体泄漏红外成像检测仪；
- 第 16 部分：暂态地电压局部放电检测仪；
- 第 17 部分：高压开关机械特性检测仪；
- 第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流检测仪；
- 第 19 部分：变压器有载分接开关振动检测仪；
- 第 20 部分：变压器（电抗器）振动检测仪；
- 第 21 部分：X 射线成像检测仪。

本部分为《电力设备带电检测仪器技术规范》标准的第 4—1 部分。

本部分代替 Q/GDW 11304.41-2015《电力设备带电检测仪器技术规范 第 4-1 部分：油中溶解气体分析带电检测仪器技术规范（气相色谱法）》，与 Q/GDW 11304.41-2015 相比，主要技术变化如下：

- 增加了产品分类和不同类别产品的结构设计要求（见 5.3）；
- 增加了最小检测浓度的性能技术指标和试验方法（见 5.6.1 和 6.4.1）；
- 增加了定性重复性的性能技术指标和试验方法（见 5.6.3 和 6.4.3）；
- 增加了启动时间和试验方法（见 5.6.9 和 6.4.9）；
- 增加了常见检测仪的结构组成（见附录 A）；
- 修改了规范性引用文件（见第 2 章）；
- 修改了正常工作环境条件（见第 5.1.1）；
- 修改了气源的技术要求（见 5.3.4）；
- 修改了专项功能要求（见 5.5.2）；

- 修改了测量范围与测量误差的技术要求,并增加了测量范围与测量误差试验的工作标准油样浓度范围(见 5.6.1 和 6.4.1);
- 修改了定量重复性的考核气体组分(见 6.4.4);
- 修改了分离度的性能指标要求和试验方法,(见 5.6.5 和 6.4.5);
- 修改了分析时间的试验方法(见 6.4.6);
- 修改了基线噪声和基线漂移的试验方法(见 6.4.7 和 6.4.8);
- 修改了检测仪常用的气路流程(见附录 B);
- 删除了柱箱温度稳定性、载气流速稳定性、灵敏度和检测限的性能指标要求和试验方法。

本部分由国家电网有限公司设备管理部提出并解释。

本部分由国家电网有限公司科技部归口。

本部分起草单位:国网福建省电力有限公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、国网重庆市电力公司电力科学研究院、国网天津市电力公司电力科学研究院、国网湖北省电力有限公司黄石供电公司、国网山西省电力公司电力科学研究院、国网四川省电力公司电力科学研究院、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、全球能源互联网研究院有限公司、河南中分仪器股份有限公司、上海华爱色谱分析技术有限公司、朗析仪器(上海)有限公司、深圳市资通科技有限公司、厦门加华电力科技有限公司。

本部分主要起草人:连鸿松、郑东升、刘旭、张兴辉、袁帅、明菊兰、祁炯、朱洪斌、于乃海、姚强、王广真、卢立秋、赖永华、刘慧鑫、余璐静、付德慧、齐国栋、刘子恩、李得时、杨圆、杜茗茗、邱云昊、郝文魁、张强、王晨、郭志斌、吴奇宝、余海泳、苗玉龙、邱妮、张晓琴、王杰、苏展、俞华、刘睿、张洪波、方华、李建浩、李镓、林芬。

本部分2016年11月首次发布,2020年11月第一次修订。

本部分在执行过程中的意见或建议反馈至国家电网有限公司科技部。



# 电力设备带电检测仪器技术规范

## 第4-1部分：油中溶解气体分析仪

### （气相色谱法）

#### 1 范围

本部分规定了气相色谱法原理的油中溶解气体分析带电检测仪器（简称检测仪）的检测原理、技术要求、试验项目及要求、检验规则、标志、包装、运输、贮存的要求。

本部分适用于气相色谱法原理的便携式油中溶解气体分析带电检测仪器的设计、生产、采购和检验。

#### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 13966—2013 分析仪器术语

GB/T 17623 绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法

GB/T 30431 实验室气相色谱仪

DL/T 722 变压器油中溶解气体分析和判断导则

DL/T 1463 变压器油中溶解气体组分含量分析用工作标准油的配制

Q/GDW 11304.1 电力设备带电检测仪器技术规范 第1部分：带电检测仪器通用技术规范

#### 3 术语和定义

GB/T 13966-2013界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1

**油中溶解气体分析仪（气相色谱法）** analyzer of gases dissolved in oil (gas chromatography method)

采用气相色谱法原理对充油电气设备油中溶解气体组分含量进行现场短时间检测的便携式仪器。

##### 3.2

**定性重复性** qualitative repeatability

仪器在正常测试过程中，连续7次目标组分保留时间的相对标准偏差。

##### 3.3

**定量重复性** quantitative repeatability

仪器在正常测试过程中，连续7次目标组分测定值的相对标准偏差。

### 3.4

**热导检测器 thermal conductivity detector (TCD)**

又称热导池。气相色谱仪的通用检测器。当载气和色谱柱流出物通过热敏元件时，由于两者的热导系数不同，使阻值发生差异而产生电信号。

[来源：GB/T 13966-2013, 8.61]

### 3.5

**氢火焰离子化检测器 flame ionization detector (FID)**

有机物在氢火焰中燃烧时生成的离子，在电场作用下产生电信号的检测器。

[来源：GB/T 13966-2013, 8.62]

### 3.6

**分离度 resolution**

两个相邻色谱峰的分离程度。常用符号R表示。

[来源：GB/T 13966-2013, 8.164]

### 3.7

**峰宽 peak width**

在峰两侧拐点处所作切线与峰底相交两点间的距离。常用符号W表示。

[来源：GB/T 13966-2013, 8.190]

### 3.8

**基线噪声 baseline noise**

由于各种因素所引起的基线波动。常用符号N表示。

[来源：GB/T 13966-2013, 8.176]

### 3.9

**基线漂移 baseline drift**

在规定工作条件下，规定时间内，仪器的响应信号随时间定向的缓慢变化。

[来源：GB/T 13966-2013, 2.68]

### 3.10

**启动时间 start-up time**

仪器从启动到进入正常工作状态所经过的时间。

[来源：GB/T 13966-2013, 2.80]

## 4 检测原理

一定体积的试油经脱气系统得到油中溶解气体的气样，由载气把气体试样带入色谱柱中，利用各气体组分在色谱柱中的气相和固定相间的不同分配及吸附系数进行分离，然后通过检测器进行各气体

组分检测，并根据各组分的保留时间和响应值进行定性和定量分析，计算获得油中各溶解气体组分浓度。常见检测仪的结构组成见附录 A。

## 5 技术要求

### 5.1 工作条件

#### 5.1.1 正常工作环境条件

检测仪的正常工作环境条件要求如下：

- a) 环境温度： $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 环境相对湿度：5%~90%；
- c) 大气压力： $80\text{kPa}\sim 110\text{kPa}$ 。

#### 5.1.2 工作电源

检测仪的工作电源要求如下：

- a) 交流电源： $220\times(1\pm 10\%)$  V，频率  $50\times(1\pm 5\%)$  Hz；
- b) 直流电源： $5\text{V}\sim 36\text{V}$  电池，可采用外接方式，单次现场可持续工作时间不应少于 4h。

### 5.2 检测气体组分

检测气体组分应包括氢气 ( $\text{H}_2$ )、甲烷 ( $\text{CH}_4$ )、乙烷 ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )、乙烯 ( $\text{C}_2\text{H}_4$ )、乙炔 ( $\text{C}_2\text{H}_2$ )、一氧化碳 ( $\text{CO}$ )、二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 在内的 7 种特征气体。氧气 ( $\text{O}_2$ ) 和氮气 ( $\text{N}_2$ ) 为可选组分。常用的检测仪气路流程见附录 B。

### 5.3 进样方式和结构要求

5.3.1 检测仪按进样方式分为自动进样和手动进样两类。

5.3.2 自动进样型检测仪的结构要求如下：

- a) 检测仪的进样系统、脱气系统、分析系统应一体化设计；
- b) 气源（空气和氢气）应采用内置的自动发生装置，载气和标准混合气体瓶可采用外接方式或内置在检测仪的箱体内部；
- c) 试油的进样、脱气和分析应为全自动操作；
- d) 检测仪的脱气系统应能检测试油体积、脱气体积和脱气压力/真空度等参数，自动识别脱气系统的漏气、堵塞、控制部件失灵等异常状态，并能适应不同含气量试油的油中溶解气体组分含量检测；
- e) 整机（不含载气瓶和标准混合气体瓶）重量不应大于 50kg。

5.3.3 手动进样型检测仪的结构要求如下：

- a) 检测仪的脱气系统、气源系统和分析系统可分体设计和组合使用；
- b) 气源（载气、空气和氢气）和标准混合气体瓶可采用外接方式，氢气气源宜采用化学储氢装置或氢气发生器；
- c) 试油脱气后采用人工进样方式进行分析。
- d) 整机（包含脱气系统和气源系统，不含载气瓶和标准混合气体瓶），总重量不应大于 60kg。

5.3.4 气源的要求如下：

- a) 载气（氮气或氩气）气源可采用小型高压气瓶，载气纯度不应低于 99.99%，现场可持续工作时间不应少于 30h。
- b) 氢气纯度不应低于 99.99%。采用氢气发生器，发生器应有防漏液设计，防止检测仪在震荡和倒置等情况下储液箱发生漏液。氢气气源还应设计排空三通阀，检测仪关机后可排空氢气。
- c) 空气发生器应采用无油的微型空气泵，并配置气体净化装置。
- d) 标准混合气体：采用国家二级标准物质，具有组分浓度含量、检验合格证及有效使用期。常用浓度以接近变压器故障判断注意值换算成气相中组分的浓度。
- e) 外接气源与主机的连接应采用快插接头，并应保证气密性。

#### 5.4 通用技术要求

通用技术要求按照Q/GDW 11304.1中的规定执行。

#### 5.5 功能要求

##### 5.5.1 基本功能

检测仪的基本功能应符合Q/GDW 11304.1中的规定。

##### 5.5.2 专项功能

检测仪的专项功能应符合下列要求：

- a) 故障报警功能：具有仪器自检和仪器功能异常报警等；
- b) 自动保护功能：载气断气或漏气时，仪器应能自动断开 TCD 桥电流；
- c) 自动点火功能：达到设定温度后应能自动对 FID 进行点火；
- d) 数字化显示功能：仪器的温度、压力、流量信息应数字化显示；
- e) 谱图处理功能：能设置峰积分参数，并具有峰谷和峰垂直切割方式，可进行自动或手动谱峰处理；
- f) 标定功能：具备外标法定量计算和校正因子偏差值计算功能，历次校正因子应能列表展示，并可选择校正因子进行结果重算；
- g) 诊断功能：工作站的诊断系统应内置符合 DL/T 722 中的故障诊断方法，如三比值法、平衡判据法、立体图示法、大卫三角形法等，对分析数据可自动进行诊断；
- h) 数据对比分析功能：具有历史数据存储功能，并可提供历史数据的趋势图和产气速率数据；
- i) 数据查询、输出和打印功能。

#### 5.6 性能要求

##### 5.6.1 测量范围与测量误差

检测仪的油中溶解气体组分的测量范围和测量误差应符合表1的规定。

表1 检测仪的油中溶解气体组分的测量范围和测量误差要求

气体组分	测量范围 μL/L	测量误差限值
H <sub>2</sub>	2~10	±2 μL/L 或 ±30% <sup>a</sup>
	10~2000	±3.0 μL/L 或 ±15% <sup>a</sup>
CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.1~10	±0.2 μL/L 或 ±30% <sup>a</sup>
	10~1000	±3.0 μL/L 或 ±15% <sup>a</sup>
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.2~10	±0.4 μL/L 或 ±30% <sup>a</sup>
	10~1000	±3.0 μL/L 或 ±15% <sup>a</sup>
CO	5~100	±10 μL/L 或 ±30% <sup>a</sup>
	100~5000	±30 μL/L 或 ±15% <sup>a</sup>
CO <sub>2</sub>	10~1000	±20 μL/L 或 ±30% <sup>a</sup>
	1000~15000	±300 μL/L 或 ±15% <sup>a</sup>
O <sub>2</sub>	50~1000	±100 μL/L 或 ±30% <sup>a</sup>
	1000~20000	±300 μL/L 或 ±15% <sup>a</sup>
N <sub>2</sub>	50~2000	±100 μL/L 或 ±30% <sup>a</sup>
	2000~30000	±300 μL/L 或 ±15% <sup>a</sup>
总烃	0.4~10	±0.8 μL/L 或 ±30% <sup>a</sup>
	10~4000	±3.0 μL/L 或 ±15% <sup>a</sup>
<sup>a</sup> 测量误差限值取两者较大值。		

### 5.6.2 最小检测浓度

检测仪的油中溶解气体组分最小检测浓度应符合表2的规定。

表2 检测仪的油中溶解气体组分最小检测浓度要求

气体组分	最小检测浓度 μL/L
H <sub>2</sub>	2
CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.1
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.2
CO	5
CO <sub>2</sub>	10
O <sub>2</sub>	50
N <sub>2</sub>	50

### 5.6.3 定性重复性

自动进样型检测仪的油中溶解气体组分定性重复性不应大于1%。

#### 5.6.4 定量重复性

检测仪的油中溶解气体组分定量重复性不应大于5%。

#### 5.6.5 分离度

烃类气体组分之间的分离度不应小于1.5，其它气体组分之间的分离度不应小于1.0。

#### 5.6.6 分析时间

单次试油的分析时间不应大于40min。

#### 5.6.7 基线噪声

FID、TCD的基线噪声不应大于0.05mV。

#### 5.6.8 基线漂移

FID、TCD的基线漂移30min内不应大于0.2mV。

#### 5.6.9 启动时间

启动时间不应大于2h。

### 6 试验项目及要求

#### 6.1 试验环境

除环境影响试验之外，其它试验项目应在如下试验环境中进行：

- a) 环境温度： $+15^{\circ}\text{C}\sim+35^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：25%~75%；
- c) 大气压力：80kPa~110kPa。

#### 6.2 通用技术条件试验

通用技术条件试验项目包括：基本功能检验、安全性、环境适应性、包装运输、电磁兼容性、外壳防护性试验，这些项目的试验方法、试验后检测仪需满足的性能要求按照Q/GDW 11304.1中的规定执行。

#### 6.3 功能检验

按照5.5对检测仪功能进行逐项检查，所有功能应能满足要求。

#### 6.4 性能试验

##### 6.4.1 测量范围与测量误差试验

6.4.1.1 参考油样制备：向油样制备装置中注入新变压器油，对装置中变压器油进行真空脱气或者高纯氮气洗脱，制备空白油，然后通入一定量的配油样用气体并与空白油充分混合，配制一定浓度的参考油样，制备的参考油样中各气体成分浓度由实验室气相色谱仪按照GB/T 17623进行定值，也可按照DL/T 1463或附录C进行分析用参考油样的配制。参考油样所含气体组分含量宜满足表3要求。

表3 参考油样浓度范围

单位：μL/L

气体组分	参考油样1 (低浓度)	参考油样2 (中低浓度)	参考油样3 (中浓度)	参考油样4 (高浓度)
H <sub>2</sub>	2~10	50~100	100~200	500~2000
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.1~0.5	1~5	5~20	50~1000
ΣC <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	0.4~10	50~100	100~200	500~4000
CO	5~100	300~600	600~1200	1500~5000
CO <sub>2</sub>	10~1000	1000~3000	3000~6000	10000~15000

6.4.1.2 测量误差试验时，检测仪和参考油样定值用实验室气相色谱仪宜采用同一瓶标准混合气体进行标定。

6.4.1.3 将配制的参考油样用检测仪进行分析测试，取两次平行试验结果的算术平均值，按式(1)和式(2)计算测量误差，检测仪的测量范围与测量误差试验结果应符合5.6.1要求。

$$\Delta C = \overline{C}_i - C_s \quad (1)$$

$$C_x = \frac{\overline{C}_i - C_s}{C_s} \times 100\% \quad (2)$$

式(1)~(2)中：

$\Delta C$ ——绝对测量误差，μL/L；

$\overline{C}_i$ ——检测仪两次平行试验结果的算术平均值，μL/L；

$C_s$ ——实验室气相色谱仪的测量数据，μL/L；

$C_x$ ——相对测量误差，%。

#### 6.4.2 最小检测浓度试验

结合参考油样1的测量误差试验，检测仪对表3中的参考油样1（低浓度）的气体组分应有响应，并从谱图中获取各组分的峰高信号 $h_i$ 和噪声信号 $N_i$ ，按照公式(3)计算气体组分的油中最小检测浓度，计算结果不应大于5.6.2的要求值。

$$C_{i\min} = \frac{3 \times N_i}{\overline{h}_i} \times C_{is} \quad (3)$$

式中：

$C_{i\min}$ ——组分的最小检测浓度，μL/L；

$N_i$ ——噪声（mV）；

$C_{is}$ ——参考油样组分的浓度，μL/L。

$\overline{h}_i$ ——参考油样组分的平均峰高，mV；

### 6.4.3 定性重复性试验

结合参考油样 2 或参考油样 3 的测量误差试验，对同一参考油样连续进样 7 次。检测仪的定性重复性以各气体组分保留时间的相对标准偏差 RSD 表示，相对标准偏差 RSD 按式（4）计算，检测仪的定性重复性应符合 5.6.3 要求。

$$RSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{(n-1)}} \times \frac{1}{\bar{T}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

RSD ——相对标准偏差；

$T_i$  ——气体组分第  $i$  次测量的保留时间；

$\bar{T}$  ——气体组分  $n$  次保留时间的算术平均值；

$n$  ——测量次数；

$i$  ——测量序号。

注：手动进样型检测仪可不做定性重复性。

### 6.4.4 定量重复性试验

结合参考油样 2 或参考油样 3 的测量误差试验，对同一参考油样连续进样 7 次。定量重复性以各气体组分测量结果的相对标准偏差 RSD 表示，相对标准偏差 RSD 按式（5）计算，检测仪的定量重复性应符合 5.6.4 要求。

$$RSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \times \frac{1}{\bar{X}} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

RSD ——相对标准偏差；

$X_i$  ——气体组分第  $i$  次测量结果；

$\bar{X}$  ——气体组分  $n$  次测量结果的算术平均值；

$n$  ——测量次数；

$i$  ——测量序号。

### 6.4.5 分离度

结合参考油样 3 的测量误差试验，分别取烃类气体之间以及其它气体之间分离效果最差的相邻两种组分，按式（6）计算分离度，检测仪的分离度应符合 5.6.5 要求。

$$R = \frac{2(t_{R2} - t_{R1})}{W_{b1} + W_{b2}} \quad (6)$$

式中：

$R$  ——分离度；

$t_{R2}$ 、 $t_{R1}$  ——分别为两峰保留时间，min；

$W_{b1}$ 、 $W_{b2}$  ——分别为两峰的峰宽，min。

注1：保留时间是指从进样起到某组分峰顶的时间。

注2：峰宽是指峰两侧拐点处所作切线与峰底相交两点间的距离，详见图1。

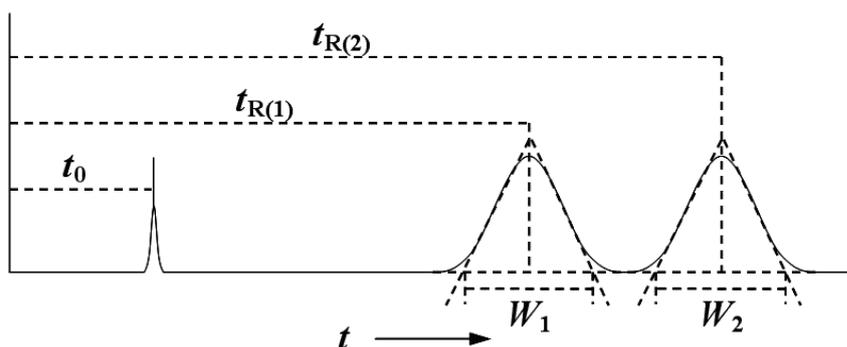


图1 分离度测量示例

#### 6.4.6 分析时间

手动进样型检测仪记录单个试油从脱气开始到完成分析所需要的时间，自动进样型检测仪记录接上试油开始到完成分析所需要的时间，检测仪的分析时间应符合 5.6.6 要求。

#### 6.4.7 基线噪声

将检测仪的衰减调整到最高灵敏档，待检测仪稳定后，调节色谱数据工作站至适当的量程，记录基线 30min。选取 30min 基线中噪声最大峰-峰高对应的信号值（以 1min 为界面平行包络线，测量两条平行线间垂直于时间轴的距离，见图 2 中  $y_2$ ）为检测仪的基线噪声，检测仪的基线噪声应符合 5.6.7 要求。

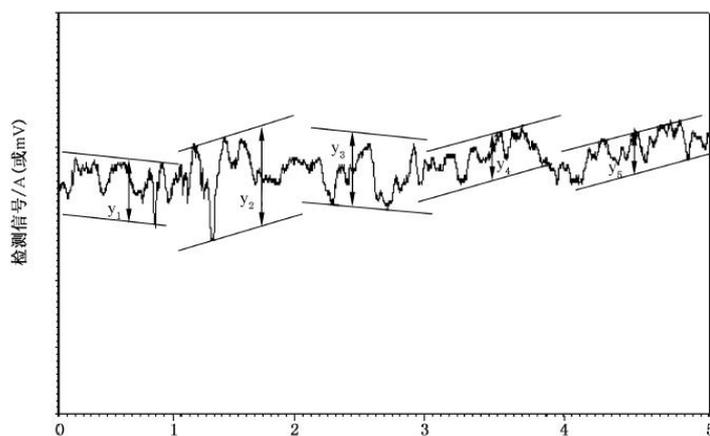


图2 基线噪声测量示例

#### 6.4.8 基线漂移

待检测仪稳定后，选取 30min 基线偏离起始点最大的响应信号值为检测仪的基线漂移（见图 3），检测仪的基线漂移应符合 5.6.8 要求。

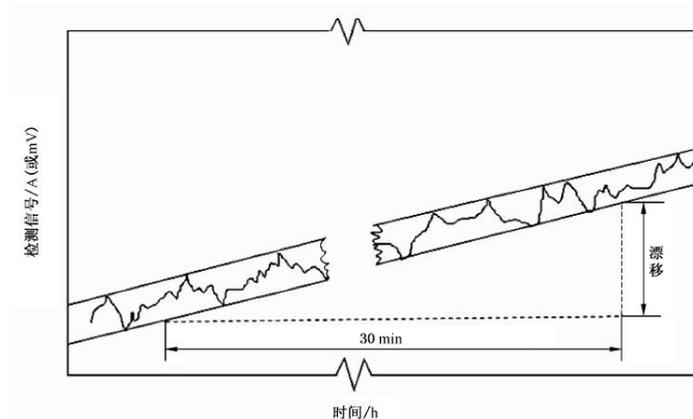


图3 基线漂移测量示例

#### 6.4.9 启动时间试验

检测仪在灵敏度和检测限合格条件下关机4h以上,重新启动,记录检测仪从开机升温开始,基线噪声和基线漂移不超过5.6.7和5.6.8规定值所需要的最短时间,检测仪的启动时间应符合5.6.9要求。

注:检测仪TCD灵敏度和FID检测限的技术要求及试验方法见GB/T 30431。

### 7 检验规则

#### 7.1 检验分类

检测仪的检验分为型式试验、出厂试验、入网检测试验、到货抽检和定期试验五类。检验项目应符合表4的规定。

表4 检测仪检验项目

序号	检验项目		技术要求	试验方法	型式试验	出厂试验	入网检测试验	到货抽检	定期试验
1	结构和外观检查		Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	●	●	●	●
2	功能 检验	基本功能	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	●	●	●	○
3		专项功能	5.5.2	6.3	●	●	●	●	○
4	性能特 性测试	测量范围与测量误差	5.6.1	6.4.1	●	●	●	●	*
5		最小检测浓度	5.6.2	6.4.2	●	●	●	●	●
6		定性重复性	5.6.3	6.4.3	●	●	●	●	*
7		定量重复性	5.6.4	6.4.4	●	●	●	●	*
8		分离度	5.6.5	6.4.5	●	●	●	●	●
9		分析时间	5.6.6	6.4.6	●	●	●	●	○
10		基线噪声	5.6.7	6.4.7	●	●	●	●	●
11		基线漂移	5.6.8	6.4.8	●	●	●	●	●
12	启动时间	5.6.9	6.4.9	●	●	●	●	○	
13	安全 试验	接触电流	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	●	●	○	○
14		介电强度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	●	●	○	○

表4 (续)

序号	检验项目	技术要求	试验方法	型式试验	出厂试验	入网检测试验	到货抽检	定期试验
15	环境适应性试验	温度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
16		湿度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
17		振动试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
18		冲击试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
19	包装运输试验	振动试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	○	○
20		自由跌落试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	○	○
21		翻滚试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	○	○
22	电磁兼容性试验	静电放电抗扰度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
23		射频电磁场辐射抗扰度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
24		电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
25		浪涌(冲击)抗扰度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
26		射频场感应的传导骚扰抗扰度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
27		工频磁场抗扰度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
28		电压暂降、短时中断抗扰度试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
29	外壳防护性试验	防尘试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○
30		防水试验	Q/GDW 11304.1	Q/GDW 11304.1	●	○	●	○

注：●表示规定必须做的项目；○表示规定可不做的项目；\*表示可选做的项目。

## 7.2 型式试验

型式试验是制造厂家将检测仪送交具有资质的检测单位，由检测单位依据试验条目完成检验，检验项目见表4，全部检验合格后，出具型式检验报告。有以下情况之一时，应进行型式试验：

- a) 新产品定型，投入生产前；
- b) 连续批量生产的仪器每四年一次；
- c) 正式投产后，如设计、工艺材料、元器件有较大改变，可能影响产品性能时；
- d) 产品停产一年以上又重新恢复生产时；
- e) 出厂试验结果与型式试验有较大差异时；
- f) 国家技术监督机构或受其委托的技术检验部门提出型式试验要求时；
- g) 合同规定进行型式试验时。

## 7.3 出厂试验

每台检测仪出厂前，应由制造厂的检验部门进行出厂检验，检验项目应按表4中规定的检验项目逐个进行，全部检验合格后，附有合格证，方可允许出厂。

#### 7.4 入网检测试验

入网检测是对新产品、改型产品或初次进入电网应用的检测仪进行的检测试验，检验项目见表4，试验合格后，方可入网运行。

#### 7.5 到货抽检试验

到货抽检是待验收使用的带电检测仪进行的抽样检测，应按照每个供应商、每种型号不少于10%的比例（不少于1台）抽检，若抽检发现任意一台不合格，该供货商同型号产品需全部接受检测，检测项目应按表4中规定执行，检测仪检测合格后，方可正式使用。另外，应对到货检测仪按型式试验标准开展不定期抽检。

#### 7.6 定期试验

使用中的检测仪应每年检验一次，检验项目见表4，以保证测量仪器的准确可靠。

### 8 标志、包装、运输、贮存

#### 8.1 标志

8.1.1 每台检测仪应有明晰的铭牌，内容如下：

- a) 检测仪名称的全称及型号；
- b) 制造厂名全称及注册商标；
- c) 出厂日期及产品编号；
- d) 按钮、开关等应有功能标志。

8.1.2 在包装箱的适当位置，应标有显著、牢固的包装标志，内容包括：

- a) 发货厂名、产品名称、型号；
- b) 包装箱外形及毛重；
- c) 包装箱外面书写“防潮”、“小心轻放”、“不可倒置”等字样；
- d) 包装箱的标志应符合 GB/T 191 的要求。

#### 8.2 包装

8.2.1 产品包装前，应检查下列内容：

- a) 产品的合格证书、产品说明书、出厂检测报告、装箱清单、附件、备品备件齐全；
- b) 产品外观无损伤；
- c) 产品表面无灰尘。

8.2.2 包装的一般要求

产品应有内包装和外包装，包装应有防尘、防雨、防水、防潮、防震等措施。

#### 8.3 运输

产品应适用于陆运、空运、水（海）运，运输装卸包装箱上的标准进行操作。

#### 8.4 贮存

包装好的装置应存贮在环境温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 、湿度不大于85%的库房中，室内无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体，不受灰尘雨雪的侵蚀。长期贮存，每隔1~2个月应开机检查。

附录 A  
(资料性附录)  
常见检测仪的结构组成

### A.1 自动进样型检测仪

#### A.1.1 结构组成

自动进样型检测仪主要由气源系统、脱气系统、气路系统、进样系统、色谱柱箱、检测器、数据记录与处理系统等构成，参见图A.1。

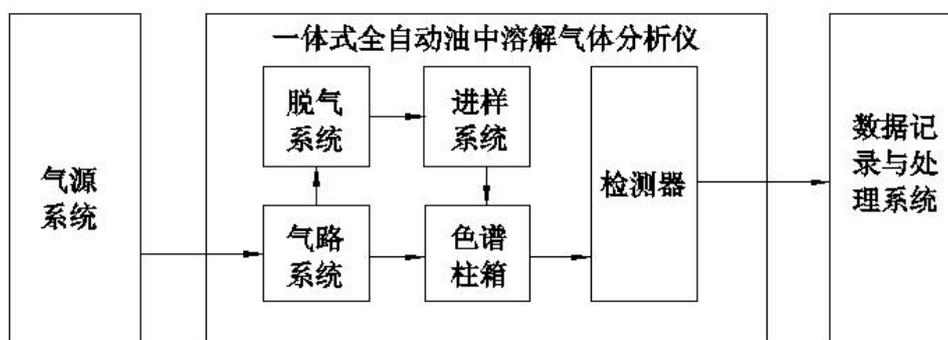


图 A.1 自动进样型检测仪的结构示意图

#### A.1.2 脱气系统

完成试油的自动抽取和定量，以及试油中溶解气体与变压器油的分离。试油的自动抽取方式有泵吸和气缸活塞抽取等，脱气的方式主要有真空脱气法和自动顶空脱气法等。

#### A.1.3 气源系统

为检测仪的正常工作提供稳定的载气和有关辅助气体等，包括标气、载气和检测器有关辅助气体。常用的载气有： $N_2$ 、He和Ar等；常用的辅助气体有Air和 $H_2$ 等。气源（空气和氢气）通常采用内置的自动发生装置，载气和标准混合气体瓶通常也内置在检测仪的箱体内部，便于搬运，也有的检测仪的载气和标准混合气体采用外接方式。

#### A.1.4 气路系统

气路系统包括气体管路和气体流量/压力控制部件等，气路控制部件主要有减压阀、稳压阀、针形阀、压力传感器、流量传感器等。

#### A.1.5 进样系统

系统通过多通切换阀、定量管和进样器自动将气体样品快速并定量地从脱气系统注入到色谱柱。

#### A.1.6 色谱柱和柱箱

色谱柱实现油气分离后的气体样品中各气体组分的分离，主要有填充柱和毛细柱两大类。柱箱是安装和容纳各种色谱柱，并且可以精密控温的炉箱，对柱箱的控温有恒温型和可程序升温型。

### A. 1.7 检测器和检测电路

检测器的功能就是将随载气流出色谱柱各种组分的浓度变化转换为易于测量的电信号。检测仪可以配置一个检测器，也可以根据需要配置多种检测器。常用的检测器有氢焰离子化检测器（FID）、热导检测器（TCD）等。

每一种检测器都必需对应配套连接一个检测器电路，例如最常用的氢焰离子化检测器，就必需配置一个微电流放大器，热导检测器就必需配置一个使热导池测量电桥工作所需的恒流源。

### A. 1.8 数据记录与处理系统

对检测器的输出信号进行记录 and 数据处理。此系统可对色谱信号进行收集、转换、数字运算、存储、传输以及显示、绘图、直接给出被分析物质成份的含量并打印出最后结果；工作站专家诊断系统还可以通过数据的分析对设备故障进行初步诊断。

## A. 2 手动进样型检测仪

### A. 2.1 结构组成

手动进样型检测仪主要由脱气系统、气源系统、气路系统、进样系统、色谱柱箱、检测器、数据记录与处理系统等构成，参见图A. 2。

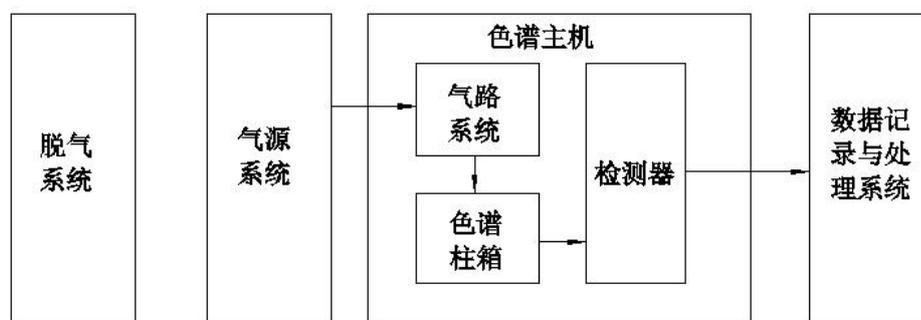


图 A. 2 手动进样型检测仪的结构示意图

### A. 2.2 脱气系统

完成油中溶解气体与变压器油的分离，一般采用独立的机械振荡脱气装置进行脱气。

### A. 2.3 气源系统

为检测仪的正常工作提供稳定的载气和有关辅助气体等，包括标气、载气和检测器有关辅助气体。常用的载气有： $N_2$ 、He和Ar等；常用的辅助气体有Air和 $H_2$ 等。气源（载气、空气和氢气）一般集中布置在一个独立气源箱内，并通过气体管路与色谱分析主机相连。

### A. 2.4 气路系统

气路系统包括气体管路和气体流量/压力控制部件等，气路控制部件主要有减压阀、稳压阀、针形阀、压力传感器、流量传感器等。

#### A. 2.5 进样系统

机械振荡脱气装置脱出来的气体样品，人工转移到5mL玻璃注射器中，用1mL玻璃注射器抽取一定量的气体样品人工注入色谱仪的进样器内。

#### A. 2.6 色谱柱和柱箱

色谱柱实现油气分离后的气体样品中各气体组分的分离，一般采用填充柱。柱箱就是安装和容纳各种色谱柱带精密控温的炉箱，对柱箱的控温有恒温型和可程序升温型。

#### A. 2.7 检测器和检测电路

检测器的功能就是将随载气流出色谱柱各种组分的浓度变化转换为易于测量的电信号。检测仪可以配置一个检测器，也可以根据需要配置多种检测器，选用检测仪配置何种检测器，是根据使用要求来确定的。常用的检测器有氢焰离子化检测器（FID）、热导检测器（TCD）等。

每一种检测器都必需对应配套连接一个检测器电路，例如最常用的氢焰离子化检测器，就必需配置一个微电流放大器，热导检测器就必需配置一个使热导池测量电桥工作所需的恒流源。

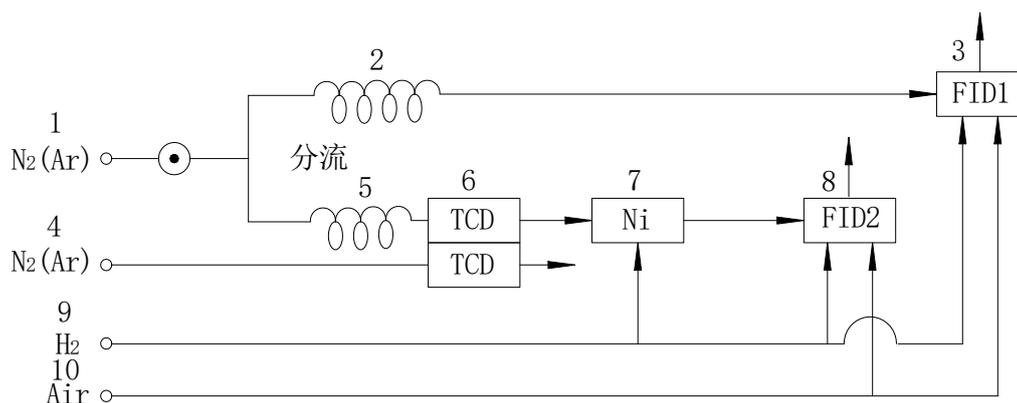
#### A. 2.8 数据记录与处理系统

对检测器的输出信号进行记录和数据处理。此系统可对色谱信号进行收集、转换、数字运算、存储、传输以及显示、绘图、直接给出被分析物质成份的含量并打印出最后结果；工作站专家诊断系统还可以通过数据的分析对设备故障进行初步诊断。

附录 B  
(资料性附录)  
检测仪常用的气路流程

### B.1 一次进样、双柱分离和三检测器的气路流程

一次进样、双柱分离和三检测器的气路流程参见图B.1。



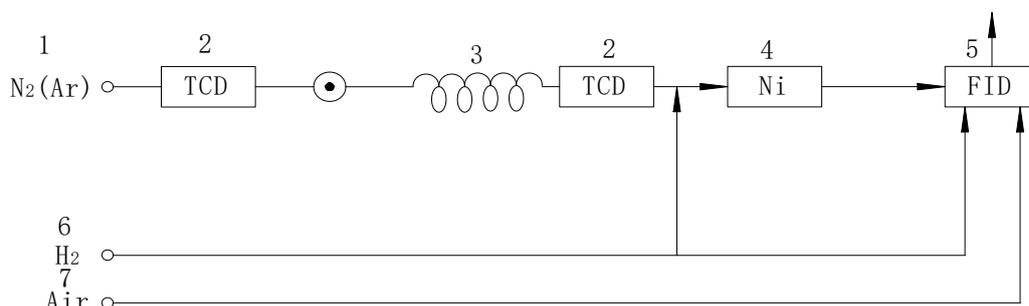
说明:

- 1 ——氮气或氩气
- 2 ——色谱柱 I，完成  $C_1 \sim C_2$  气体组分的分离
- 3 ——氢火焰离子检测器 1，测  $C_1 \sim C_2$
- 4 ——氮气或氩气
- 5 ——色谱柱 II，完成  $H_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$  气体组分的分离
- 6 ——热导检测器，测  $H_2$ 、 $O_2$
- 7 ——镍触媒转化器
- 8 ——氢火焰离子检测器 2，测  $CO$ 、 $CO_2$
- 9 ——氢气
- 10 ——空气

图 B.1 一次进样、双柱分离和三检测器的气路流程

### B.2 一次进样、单柱分离和双检测器的气路流程

一次进样、单柱分离和双检测器的气路流程参见图B.2。



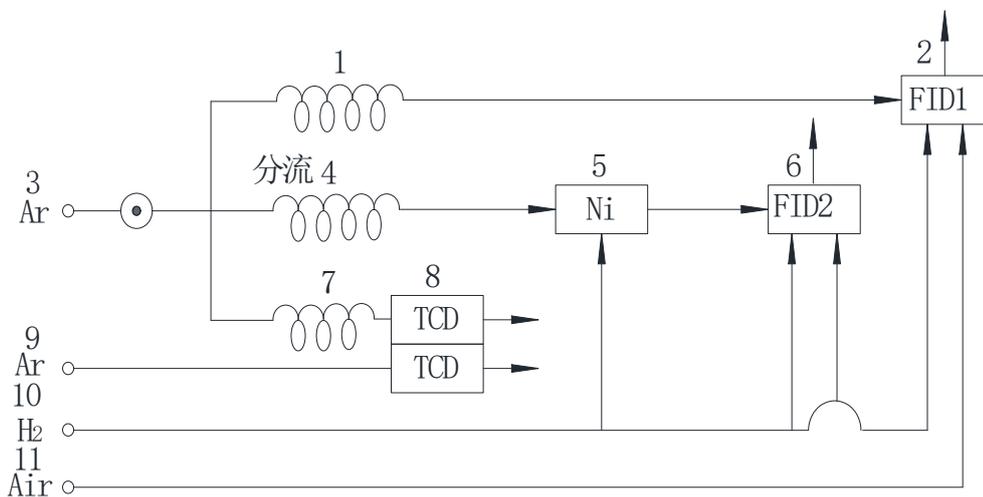
说明:

- 1——氮气或氩气
- 2——热导检测器, 测 H<sub>2</sub>
- 3——复合色谱柱, 可完成 H<sub>2</sub>、C<sub>1</sub>~C<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub> 气体组分的分离
- 4——镍触媒转化器
- 5——氢火焰离子检测器, 测 C<sub>1</sub>~C<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>
- 6——氢气
- 7——空气

图 B.2 一次进样、单柱分离和双检测器的气路流程

B.3 一次进样、三柱分离和三检测器的含气量分析气路流程

一次进样、三柱分离和三检测器的含气量分析气路流程参见图B.3。



说明:

- 1 ——色谱柱 I, 完成 C<sub>1</sub>~C<sub>2</sub> 气体组分的分离
- 2 ——氢火焰离子检测器 1, 测 C<sub>1</sub>~C<sub>2</sub>
- 3 ——氩气
- 4 ——色谱柱 II, 完成 H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub> 气体组分的分离
- 5 ——镍触媒转化器
- 6 ——氢火焰离子检测器 2, 测 CO、CO<sub>2</sub>

- 7 ——色谱柱III, 完成  $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$  气体组分的分离
- 8 ——热导检测器, 测  $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$
- 9 ——氩气
- 10 ——氢气
- 11 ——空气

图 B.3 一次进样、三柱分离和三检测器的含气量分析气路流程

## 附录 C (资料性附录)

### 变压器油中溶解气体组分含量分析用工作标准油的配制

#### C.1 原理

基于顶空色谱原理(分配定律)方法,在密闭空间内,以确定体积的空白油,加入一定体积的标准混合气体,经振荡使得气体组分在气、液两相达到动态平衡后,准确测量平衡气体的体积和浓度,可得到溶解于空白油中的气体体积,获得一定浓度的标准油。

#### C.2 仪器材料和试剂

- C.2.1 恒温振荡器: 往复振荡频率275次/min±5次/min, 振幅35mm±3mm, 恒温50℃;
- C.2.2 标准混合气体: 国家二级标准物质, 至少含有H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>, 以氮气或氩气为底气;
- C.2.3 注射器: 100mL、10mL、5mL医用玻璃注射器, 气密性良好, 芯塞灵活无卡涩;
- C.2.4 不锈钢注射针头: 5号金属医用注射针头;
- C.2.5 注射器用橡胶封帽: 弹性好, 不透气;
- C.2.6 常温常压气体饱和器: 符合GB/T 17623要求;
- C.2.7 氮气、氩气: 纯度≥99.99%;
- C.2.8 广口瓶: 1000mL, 气密性良好;
- C.2.9 盒式气压计;
- C.2.10 双头针头。

#### C.3 空白油制备

- C.3.1 取适量未使用过的新变压器油, 放入常温常压气体饱和器, 通入氮气(或氩气)2—4小时进行饱和;
- C.3.2 饱和后的变压器油按照GB/T 17623 方法检测油中溶解气体, 按表C.1检验空白油, 如未达到要求重复上述操作。

表 C.1 空白油中溶解气体含量

单位: μL/L

组份	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> (Ar)	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
含量	<0.1	余	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<10	<50

- C.3.3 准备完成的空白油在广口瓶中充氮(氩)保存, 备用。

#### C.4 配制过程

- C.4.1 用100mL注射器A缓慢抽取50.0mL空白油, 用注射器用橡胶封帽密封注射器。
- C.4.2 用10mL注射器C准确抽取V<sub>g</sub>标准混合气(根据所需标准油浓度, 抽取4.0mL-10.0mL标准混合气), 按照GB/T 17623 方法中的加气操作, 加入100mL注射器A中。

C.4.3 将100mL注射器A放入振荡器中，室温下振荡20min，静置10min。

C.4.4 从振荡器取出100mL注射器A，并立即将其中的平衡气体通过双头针头转移到10mL注射器D内。室温下放置2min，准确读其体积 $V_{g_2}$ ，检测平衡气体中气体浓度 $C_{ix}$ 。

### C.5 标准油定值

按式（C.1）计算标准油中溶解气体各组分的浓度：

$$X_i = \frac{P}{101.3} \times \frac{293}{273+t} \times \frac{V_{g_1} C_{is} - V_{g_2} C_{ix}}{V_L \{1 + 0.0008(20-t)\}} \quad (\text{C.1})$$

式中：

$X_i$  ——20℃，101.3kPa 下的标准油样油中溶解气体*i*组分浓度， $\mu\text{L/L}$ ；

$P$  ——配制时大气压力，kPa；

$V_{g_1}$  ——配制时实际加入的标准混合气体体积，mL；

$C_{is}$  ——标准混合气中*i*组分浓度， $\mu\text{L/L}$ ；

$V_{g_2}$  ——配制时平衡气体室温下的气体体积，mL；

$C_{ix}$  ——配制时平衡气体中*i*组分的检测浓度， $\mu\text{L/L}$ ；

$t$  ——配制时的室内环境温度，℃；

$V_L$  ——配制时空白油室温下的体积。

电力设备带电检测仪器技术规范  
第 4-1 部分：油中溶解气体分析仪（气相色谱法）

编 制 说 明

## 目 次

1 编制背景.....	24
2 编制主要原则.....	24
3 与其他标准文件的关系.....	24
4 主要工作过程.....	24
5 标准结构和内容.....	25
6 条文说明.....	27

## 1 编制背景

本部分依据《国家电网有限公司关于下达 2020 年第一批技术标准制修订计划的通知》（国家电网科〔2020〕21 号）的要求进行修订。

本部分修订的背景是为更好适应油浸电气设备带电检测需求，结合技术发展动态和现行标准局限性，对 Q/GDW 11304.41-2015 相关内容进行修订。绝缘油中溶解气体分析带电检测对及早检测出变压器、电抗器、互感器等充油电气设备内部的潜伏性故障十分灵敏有效，是充油电气设备状态检测和评价非常重要的项目。目前市面上便携式油中溶解气体分析带电检测仪器制造厂家众多，检测原理有气相色谱法、光声光谱法、激光拉曼光谱法、光梳光谱法等，脱气方式也有振荡脱气、自动顶空、真空脱气等多种，不同检测原理的结构组成和检测精度差异较大，不同制造厂的产品检测精度和质量水平也参差不齐，因此，有必要按检测原理进行分类，对不同检测原理的绝缘油中溶解气体分析带电检测仪器的安全性、可靠性、稳定性、检测精度以及测量结果的准确性等进行规范，保证检测数据的一致性和带电检测工作质量。本部分针对气相色谱法原理的仪器制定了相关技术规范。

本部分编制主要目的是为了规范气相色谱法原理的现场便携式油中溶解气体分析带电检测仪器的设计、生产、采购和检验，促进电力设备带电检测技术的应用，提高电网的运行可靠性。

## 2 编制主要原则

本部分根据以下原则编制：

- a) 根据国家电网有限公司的要求，广泛调研和认真总结目前“绝缘油中溶解气体分析带电检测”工作的开展情况，结合目前国内带电检测仪器使用、管理状况，编制了本标准。
- b) 对涉及计量检定的部分性能指标，与国家的相关计量标准保持一致或不低于计量标准，并结合行业仪器的特性进一步规范了仪器试验项目和校验方法，保证仪器的测量准确性和可靠性。

## 3 与其他标准文件的关系

本部分与相关技术领域的国家现行法律、法规和政策保持一致。

本部分在检测仪的 TCD 的基线噪声和基线漂移、TCD 灵敏度和 FID 检测限的性能指标要求方面与 GB/T 30431《实验室气相色谱仪》一致，在试验方法方面结合带电检测仪器实际情况进行了细化。本文件在检测仪 FID 的基线噪声、基线漂移的性能指标要求方面参照了 JJG 124-1993《分析变压器油中气体专用色谱仪》，在试验方法方面结合带电检测仪器实际情况进行了细化。

本标准不涉及专利、软件著作权等知识产权问题。

## 4 主要工作过程

2020 年 3 月，按照公司制修订计划，成立了标准修订工作组，确定编写工作总体目标和参编人员，开展前期准备工作。

2020 年 4 月，召开了编写启动会，针对近年来相关仪器性能的发展和技术应用中出现的问题进行了收集和调研工作，研究确定了标准编制原则、编写大纲、工作分工、编写计划等。

2020 年 5 月，在广泛调研收资和技术交流的基础上，完成标准初稿的编制。

2020 年 6 月 5 日，利用腾讯视频会议，召开初稿讨论会，国网福建电科院、中国电科院、国网山东电科院、国网安徽电科院、国网江苏电科院、国网重庆电科院、国网浙江电科院、国网天津电科院、国网

四川电科院、国网山西电科院、南瑞集团有限公司、河南中分仪器股份有限公司、深圳市资通科技有限公司、上海华爱色谱分析技术有限公司、朗析仪器（上海）有限公司、深圳市林科电气发展有限公司、厦门加华电力科技有限公司共 17 家单位 20 名代表，以及全国电气化学标委会原秘书长孟玉婵参加了会议，对标准初稿的内容进一步修改和补充。

2020 年 7 月，在福州进行了国内主流仪器的协同试验，参加本次协同试验验证，有国网福建电科院、河南中分仪器股份有限公司、上海华爱色谱分析技术有限公司、深圳市资通科技有限公司、朗析仪器（上海）有限公司共 5 家单位 6 台不同型号仪器，中国电科院、国网山东电科院、国网安徽电科院、国网江苏电科院、国网浙江电科院、南瑞集团有限公司共 6 家单位现场见证了协同试验，对仪器的功能和性能指标进行验证和统计分析，对标准初稿的技术内容进行进一步完善。

2020 年 8 月，国家电网设备管理技术标准专业工作组（TC04）组织召开初稿审查会，对标准初稿的内容进一步分析讨论和审查。

2020 年 8 月，编写组吸取了标准初稿审查会专家的意见，修改形成了标准的征求意见稿。

2020 年 9 月，公司设备部采用发函的形式，在系统范围内征求意见。

2020 年 10 月，收集、整理回函意见，提出征求意见汇总处理表，根据反馈意见完成标准修改，形成标准送审稿。

2020 年 11 月，由国家电网公司设备管理技术标准专业工作组（TC04）在北京召开了标准送审稿审查会。会议审查了标准送审稿及征求意见处理情况，并对用词规范性、技术要求和试验方法等内容提出了建议。审查结论为：经专家组审查协商一致，同意修改后以技术标准形式报批。

2020 年 11 月，修改形成了标准报批稿。

## 5 标准结构和内容

《电力设备带电检测仪器技术规范》标准分为 21 个部分：

- 第 1 部分：通用；
- 第 2 部分：红外热像仪；
- 第 3 部分：紫外成像仪；
- 第 4-1 部分：油中溶解气体分析仪（气相色谱法）；
- 第 4-2 部分：油中溶解气体分析仪（光声光谱法）；
- 第 5 部分：高频局部放电检测仪；
- 第 6 部分：接地电流检测仪；
- 第 7 部分：电容型设备绝缘检测仪；
- 第 8 部分：特高频局部放电检测仪；
- 第 9 部分：超声波局部放电检测仪；
- 第 10 部分：支柱瓷绝缘子探伤仪；
- 第 11 部分：SF<sub>6</sub>气体湿度检测仪；
- 第 12 部分：SF<sub>6</sub>气体纯度检测仪；
- 第 13 部分：SF<sub>6</sub>气体分解产物检测仪；
- 第 14 部分：GIS 局部放电多功能检测仪；
- 第 15 部分：SF<sub>6</sub>气体泄漏红外成像检测仪；
- 第 16 部分：暂态地电压局部放电检测仪；
- 第 17 部分：高压开关机械特性检测仪；

- 第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流检测仪；
- 第 19 部分：变压器有载分接开关振动检测仪；
- 第 20 部分：变压器（电抗器）振动检测仪；
- 第 21 部分：X 射线成像检测仪。

《电力设备带电检测仪器技术规范》第 1 部分规定了电力设备带电检测仪器的通用技术要求、试验方法和检验规则；其余部分规定了各专项带电检测仪器的技术要求、试验方法和检验规则。

本部分为《电力设备带电检测仪器技术规范》标准的第 4-1 部分。

本部分代替 Q/GDW 11304.41-2015《电力设备带电检测仪器技术规范 第 4-1 部分：油中溶解气体分析带电检测仪器技术规范（气相色谱法）》，与 Q/GDW 11304.41-2015 相比，主要技术变化如下：

- 增加了产品分类和不同类别产品的结构设计要求（见 5.3）；
- 增加了最小检测浓度的性能技术指标和试验方法（见 5.6.1 和 6.4.1）；
- 增加了定性重复性的性能技术指标和试验方法（见 5.6.3 和 6.4.3）；
- 增加了启动时间和试验方法（见 5.6.9 和 6.4.9）；
- 增加了常见检测仪的结构组成（见附录 A）；
- 修改了规范性引用文件（见第 2 章）；
- 修改了正常工作环境条件（见第 5.1.1）；
- 修改了气源的技术要求（见 5.3.4）；
- 修改了专项功能要求（见 5.5.2）；
- 修改了测量范围与测量误差的技术要求，并增加了测量范围与测量误差试验的工作标准油样浓度范围（见 5.6.1 和 6.4.1）；
- 修改了定量重复性的考核气体组分（见 6.4.4）；
- 修改了分离度的性能指标要求和试验方法，（见 5.6.5 和 6.4.5）；
- 修改了分析时间的试验方法（见 6.4.6）；
- 修改了基线噪声和基线漂移的试验方法（见 6.4.7 和 6.4.8）；
- 修改了检测仪常用的气路流程（见附录 B）；
- 删除了柱箱温度稳定性、载气流速稳定性、灵敏度和检测限的性能指标要求和试验方法。

本部分原起草单位包括国网福建省电力有限公司、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、国网安徽省电力公司、国网河南省电力公司、国网江苏省电力公司、国网安徽省电力公司电力科学研究院、国网河南省电力公司电力科学研究院、国网江苏省电力公司电力科学研究院、河南中分仪器股份有限公司、宁波理工监测科技股份有限公司、深圳市林科电气发展有限公司。本文件原主要起草人包括：梁宏池、连鸿松、雷龙武、郑东升、刘旭、祁炯、陆云才、李德志、陈栋新、杨小平、田宇、余翔、郭志斌、吴奇宝、余海泳、林坦、郭元娟、陈艳晴、张洪波、谢裕焕、祁军。

本部分按照《国家电网公司技术标准管理办法》（国家电网企管〔2018〕222 号文）的要求编写。

本部分的主要结构和内容如下：

本部分主题章分为 5 章，由检测原理、技术要求、试验项目及要求、检验规则、标志、包装、运输、贮存组成。章划分与电力设备带电检测仪器系列技术标准保持一致，包含了油中溶解气体分析带电检测仪器设计、生产、采购和检验各环节的内容。其中第 4 章“检测原理”，介绍了气相色谱法油中溶解气体分析带电检测仪器的检测原理；第 5 章“技术要求”，提出了油中溶解气体分析带电检测仪器的一般要求、通用技术要求、功能要求、性能要求；第 6 章“试验项目及要求”，主要提出了油中溶解气体分析带电检测仪器的试验项目及要求；第 7 章“检验规则”，提出了油中溶解气体分析带电检测仪器的相关检验规则；第 8 章“标志、包装、运输、贮存”，提出了油中溶解气体分析带电检测仪器在标志、包装、运输、贮存方面的相关要求。

## 6 条文说明

本部分第2章中，删除了JJG 700《气相色谱仪》，增加了DL/T 1463《变压器油中溶解气体组分含量分析用工作标准油的配制》和GB/T 30431《实验室气相色谱仪》；

本部分第5章中，增加了产品分类，检测仪按进样方式分为自动进样和手动进样两类，并对具体结构设计提出要求；同时将原文件第5章中的“结构组成”的内容，作为附录A《常见油中溶解气体分析带电检测仪器的结构组成》，并根据不同类别产品的结构特点进行修改和补充。

本部分第5.3条中，根据不同类别产品的结构特点，增加了结构设计要求，如各子系统的集成情况、仪器操作方式、部件的布置和连接方式、重量要求等。

本部分的第5.3.4条中，将原文件中6.1.4气源、6.1.5标准混合气体和6.1.6气路的技术要求统一整合到本条目下。气源设计要求方面，增加了氢气发生器，并对其结构设计提出具体要求。

本部分第5.5.2条中，专项功能要求增加了TCD的自动保护功能和FID自动点火功能等。

本部分第5.6.1条中，各气体组分的测量误差要求按GB/T 17623-2017《绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法》中的再现性R以及不低于2倍最小检测浓度进行考核。经协同试验验证（见表1）绝大多数的检测仪可满足要求，只有个别仪器个别组分的数据出现超差。

本部分第5.6.2条中，按照GB/T 17623-2017《绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法》技术要求，增加了检测仪的油中最小检测浓度的性能技术指标。经协同试验验证（见表1），所有检测仪对测量下限（参考油样1）的气体组分均有响应，按3倍信噪比方法计算油中最小检测浓度，除H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>组分外，其它组分的最小检测浓度均可满足GB/T 17623《绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法》，由于C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>组分的溶解系数是7种组分中最大的，且出峰顺序通常靠后，因此，大部分检测仪的油中C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>组分的最小检测浓度不能达标或勉强达标，因此，本文件中，对C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>组分的最小检测浓度在不影响仪器使用效果的情况下，由0.1 μL/L适当放松至0.2 μL/L，H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>仅有部分产品因检测仪的自身噪声较大导致最小检测浓度不能达标，经产品性能改进可以解决，因此，标准对H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>的油中最小检测浓度不做调整。

本部分第5.6.3条中，经协同试验验证（见表1），手工进样的检测仪因人工操作的误差以及熟练度原因，容易导致组分的定性重复性超标，因此，对于手工进样的检测仪其定性重复性可不作要求，定性重复性主要针对全自动进样型仪器进行考核。

本部分第5.6.4条中，定量重复性试验覆盖全部组分，避免单一组分考核的局限性，经试验验证（见表1）所有检测仪的定量重复性均满足文件要求。

本部分第5.6.5条中，分离度R越大，表明相邻两组分离越好，R=1.0时，分离度可达98%，当R=1.5时，分离度可达99.7%，通常用R=1.5作为相邻两组分已完全分离的标志。从验证情况看（见表1），所有检测仪的烃类气体（故障分析诊断的主要成分）之间的分离度R均可以达到1.5以上，但CO/CH<sub>4</sub>、O<sub>2</sub>/CO、H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>之间的分离度大部分达不到1.5，因此，其他组分之间的分离度要求不低于1.0（色谱分析定性的基本要求）。

本部分第5.6.6和5.6.7条中，规定了检测仪的基线噪声和基线漂移要求。由于现有检测仪工作站的FID峰强度大都以mV显示，因此，采用《分析变压器油中气体专用色谱仪》（JJG 124-1993），给出了以mV为单位的技术要求值，实际应用中无需另查检测仪检测器内阻数据进行电压和电流之间的换算，经试验验证所有检测仪均能满足要求（见表1）。

本部分第5.6.9条中，启动时间参考了GB/T 30431-2020《实验室气相色谱仪》的指标要求，经协同试验验证（见表1）所有检测仪的启动时间均满足标准要求，但不同产品的检测器的启动时间（也俗称稳定时间）差异较大。

本部分第6.4.1条中，增加了测量范围与测量误差试验的参考油样浓度范围，方便各单位具体检验时标准油样的配置。

本部分第6.4.2条中，考虑到检测器响应的线性度，最小检测浓度的计算是在直观法响应的基础上，再利用常用的信噪比法进行定量计算。

本部分第6.4.6条中，对不同类别的检测仪，由于操作方式不一样，给出了具体的分析时间计算方法。

本部分第6.4.7条和6.4.8条中，基线噪声和基线漂移的试验方法综合JJG 700-2016《气相色谱仪》和GB/T 30431《实验室气相色谱仪》进行更新修改。

本部分第6.4.9条中，参照GB/T 30431《实验室气相色谱仪》给出了启动时间的具体试验方法。

本部分的资料性附录A，按照不同检测仪类别给出了常见的油中溶解气体分析带电检测检测仪的结构组成。

本部分资料性附录B中，对原标准中不常用的气路流程进行了删除，并给出了气相色谱法油中溶解气体分析带电检测仪器常用的气路流程。

本部分资料性附录C中，提供了变压器油中溶解气体组分含量分析用工作标准油的配制方法，适用于少油量、非经常性检验、以及尚未购置专用的标准油配置装置情况下标准油的配置，配置方法基于顶空色谱原理（分配定律）方法，在密闭空间内，以确定体积的空白油，加入一定体积的标准混合气体，经振荡使得气体组分在气、液两相达到动态平衡后，准确测量平衡气体的体积和浓度，可得到溶解于空白油中的气体体积，获得一定浓度的标准油。

表1 检测仪的性能技术指标协同试验验证结果

仪器检测原理：气相色谱法					
序号	项目名称		试验结果的分布范围	试验结果平均值	标准修订版技术要求
1	仪器重量, kg	自动进样型	43~46.2	45	≤50
		人工进样型	33.5~60.2	46	≤60
2	载气流量稳定性, %		0.14~0.37	0.23	/
3	温度稳定性, %		0.17~0.33	0.27	/
4	气源可持续工作时间, h	自动进样型（内置气源）	35~84	60	≥30
		人工进样型	56~312	165	/
5	基线噪声	FID1	0.006~0.02	0.011	≤0.05
		FID2	0.005~0.02	0.012	≤0.05
		TCD	0.007~0.016	0.011	≤0.05
6	基线漂移	FID1	0.041~0.18	0.077	≤0.2
		FID2	0.009~0.20	0.095	≤0.2
		TCD	0.068~0.19	0.12	≤0.2
7	FID检测限, 10 <sup>-11</sup> g/s		0.44~2.86	1.27	≤5
8	TCD灵敏度, mv. mL/mg		3857~12020	6269	≥2000
9	分离度	烃类气体之间	1.63~1.98	1.81	≥1.5
		其它气体组分之间	0.7~1.8	1.19	≥1.0

表1 (续)

仪器检测原理：气相色谱法					
序号	项目名称		试验结果的分布范围	试验结果平均值	标准修订版技术要求
10	油中溶解气体最小检测浓度, $\mu\text{L/L}$	$\text{H}_2$	0.46~3.06	1.19	$\leq 2$
		$\text{O}_2$	4.93	4.93	$\leq 50$
		$\text{N}_2$	5.44	5.44	$\leq 50$
		CO	0.07~0.51	0.28	$\leq 5$
		$\text{CO}_2$	1.45~7.54	3.85	$\leq 10$
		$\text{CH}_4$	0.02~0.06	0.03	$\leq 0.1$
		$\text{C}_2\text{H}_6$	0.08~0.25	0.13	$\leq 0.2$
		$\text{C}_2\text{H}_4$	0.05~0.14	0.08	$\leq 0.1$
		$\text{C}_2\text{H}_2$	0.019~0.098	0.05	$\leq 0.1$
11	测量误差, % (低浓度)	$\text{H}_2$	0.8 $\mu\text{L/L}$ ~2.8 $\mu\text{L/L}$ -16.4~105.0	1.0 $\mu\text{L/L}$ 21.0	$\pm 2 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 30\%$
		CO	-23.9~35.9	8.7	$\pm 10 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 30\%$
		$\text{CO}_2$	-14.4~12.6	6.7	$\pm 20 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 30\%$
		$\text{CH}_4$	-12.0~13.2	5.7	$\pm 0.2 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 30\%$
		$\text{C}_2\text{H}_4$	-15.3~10.0	7.0	$\pm 0.2 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 30\%$
		$\text{C}_2\text{H}_6$	-21.4~5.3	8.3	$\pm 0.4 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 30\%$
		$\text{C}_2\text{H}_2$	-0.11 $\mu\text{L/L}$ ~0.14 $\mu\text{L/L}$ -22.0~140.0	0.087 $\mu\text{L/L}$ 17	$\pm 0.2 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 30\%$
		总烃	-15.4~5.9	6.1	$\pm 0.8 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 30\%$
	测量误差, % (中浓度及以上)	$\text{H}_2$	-25.0~7.5	6.8	$\pm 3.0 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 15\%$
		$\text{O}_2$	3.0~11.2	6.7	$\pm 300 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 15\%$
		$\text{N}_2$	5.7~12.3	9.2	
		CO	-15.2~10.8	5.7	$\pm 30 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 15\%$
		$\text{CO}_2$	-18.2~9.6	4.6	$\pm 300 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 15\%$
		$\text{CH}_4$	-9.3~10.3	5.8	$\pm 3.0 \mu\text{L/L}$ 或 $\pm 15\%$
		$\text{C}_2\text{H}_4$	-14.8~7.6	5.0	
		$\text{C}_2\text{H}_6$	-17.4~9.5	6.5	
$\text{C}_2\text{H}_2$	-12.7~7.5	4.9			
总烃	-12.3~5.9	4.6			

表 1 (续)

仪器检测原理：气相色谱法					
序号	项目名称		试验结果的分布范围	试验结果平均值	标准修订版技术要求
12	定性重复性, %	H <sub>2</sub>	0.089~1.42	0.79	≤1
		O <sub>2</sub>	0.13	0.13	
		N <sub>2</sub>	0.19	0.19	
		CO	0.18~1.006	0.55	
		CO <sub>2</sub>	0.15~0.88	0.37	
		CH <sub>4</sub>	0~1.1	0.56	
		C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0~0.54	0.29	
		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.14~0.84	0.32	
		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.07~0.88	0.34	
13	定量重复性, %	H <sub>2</sub>	0.68~3.75	1.48	≤5
		O <sub>2</sub>	1.77	1.77	
		N <sub>2</sub>	1.65	1.65	
		CO	0.44~2.11	1.32	
		CO <sub>2</sub>	0.81~2.42	1.56	
		CH <sub>4</sub>	0.09~1.54	0.86	
		C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.79~2.32	1.32	
		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.94~2.65	1.35	
		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.26~1.97	1.19	
14	分析时间, min		22~38	30.50	≤40
15	启动时间, min	FID	45~74	54	≤120
		TCD	60~104	74	