

# 中华人民共和国国家标准

GB 2536—2025

代替 GB 2536—2011

## 电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油

Fluids for electrotechnical applications—  
Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear

(IEC 60296:2020, Fluids for electrotechnical applications—  
Mineral insulating oils for electrical equipment, MOD)

2025-06-30 发布

2026-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB 2536—2011《电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油》，与 GB 2536—2011 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下（附录 A 中列出了具体技术指标的变化）：

- a) 更改了范围适用性（见第 1 章，2011 年版的第 1 章）；
- b) 增加了术语和定义“矿物绝缘油”“钝化剂”“循环矿物绝缘油”，更改了“抗氧化添加剂”“不含抗氧化添加剂油”“含微量抗氧化添加剂油”“含抗氧化添加剂油”，删除了术语“带电倾向”（见第 3 章，2011 年版的第 3 章）；
- c) 增加了倾点试验方法 NB/SH/T 0886（见表 1、表 2 和表 3）；
- d) 增加了运动黏度试验方法 NB/SH/T 0870（见表 1、表 2 和表 3）；
- e) 增加了水含量试验方法 NB/T 42140（见表 1、表 2 和表 3）；
- f) 更改了击穿电压项目中经处理油的脚注（见表 1、表 2 和表 3，2011 年版的表 1、表 2 和表 3）；
- g) 增加了“色号”“潜在腐蚀性硫”“二苄基二硫醚（DBDS）含量”“金属钝化剂含量”“其他添加剂含量”技术要求（见表 1、表 2 和表 3）和“产气特性”技术要求（见表 2）；
- h) 更改了变压器油（特殊）的“界面张力”“总硫含量（质量分数）”和微量抗氧化添加剂油的“抗氧化添加剂含量（质量分数）”项目指标（见表 1，2011 年版的表 1）；
- i) “2-糠醛含量”项目更改为“2-糠醛及相关组分含量”，并更改了项目指标和相应脚注（见表 1、表 2 和表 3，2011 年版的表 1、表 2 和表 3）；
- j) 增加了氧化安定性的试验时间的脚注（见表 1、表 2 和表 3）；
- k) 更改了“稠环芳烃（PCA）含量（质量分数）”项目指标（见表 1、表 2 和表 3，2011 年版的表 1、表 2 和表 3）；
- l) 更改了出厂检验要求（见 6.1.1，2011 年版的 6.1.1）；
- m) 增加了规范性附录 E“热应力下产气特性试验方法”（见附录 E）。

本文件修改采用 IEC 60296:2020《电工流体 电气设备用矿物绝缘油》。

本文件与 IEC 60296:2020 相比，在结构上有较多调整。两个文件之间的结构编号变化对照一览表见附录 B。

本文件与 IEC 60296:2020 相比，存在较多技术差异，在所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直单线（|）进行了标示。这些技术差异及其原因一览表见附录 C。

本文件做了下列编辑性改动：

- 标准名称改为《电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油》；
- 用我国标准替换了部分资料性引用的文件；
- 增加了资料性附录 A、附录 B 及附录 C。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国家能源局提出并归口。

本文件于 1990 年首次发布，2011 年第一次修订，本次为第二次修订。

# 电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油

**警示**——如果不遵守适当的防范措施,本文件所属产品在生产、储运和使用等过程中可能存在危险。本文件无意对与本产品有关的所有安全问题提出建议。用户在使用本文件之前,有责任建立适当的安全和健康措施,并确定相关规章限制的适用性。

## 1 范围

本文件界定了以石油馏分为原料,经精制后得到的未使用过的含和不含添加剂的矿物绝缘油术语和定义,规定了分类和标记、要求和试验方法、检验规则及标志、包装、运输和储存。

本文件适用于变压器、开关及需要用油作绝缘和传热介质的类似电气设备所使用的矿物绝缘油。发电机用油参考本文件。

本文件不适用于循环矿物绝缘油。

本文件不适用于在电缆或电容器中作为浸渍剂使用的矿物绝缘油。

**注:**符合本文件要求的、类别相同的和不含任何添加剂(见 3.4)的油被认为是相容的,并且能以任何比例混合。这一点不一定适用于含添加剂的油。当用户希望混合含添加剂的油时,先做检验以确保混合物满足本文件的要求。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 259 石油产品水溶性酸及碱测定法
- GB/T 261 闪点的测定 宾斯基-马丁闭口杯法(GB/T 261—2021,ISO 2719:2016,MOD)
- GB/T 262 石油产品和烃类溶剂苯胺点和混合苯胺点测定法(GB/T 262—2010,ISO 2977—1997,MOD)
- GB/T 265 石油产品运动粘度测定法和动力粘度计算法
- GB/T 507 绝缘油 击穿电压测定法(GB/T 507—2002,eqv IEC 156:1995)
- GB/T 511 石油和石油产品及添加剂机械杂质测定法
- GB/T 1884 原油和液体石油产品密度实验室测定法(密度计法)(GB/T 1884—2000,eqv ISO 3675:1998)
- GB/T 1885 石油计量表(GB/T 1885—1998,eqv ISO 91-2:1991)
- GB/T 3535 石油产品倾点测定法(GB/T 3535—2006,ISO 3016:1994,MOD)
- GB/T 4756 石油液体手工取样法(GB/T 4756—2015,ISO 3170:2004,MOD)
- GB/T 5654 液体绝缘材料 相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量(GB/T 5654—2007,IEC 60247:2004,IDT)
- GB/T 6540 石油产品颜色测定法
- GB/T 6541 石油产品油对水界面张力测定法(圆环法)

- GB/T 7597 电力用油(变压器油、汽轮机油)取样方法
- GB/T 7600 运行中变压器油和汽轮机油水分含量测定法(库仑法)
- GB/T 11140 石油产品硫含量的测定 波长色散 X 射线荧光光谱法
- GB/T 14542 变压器油维护管理导则(GB/T 14542—2017, IEC 60422:2013, NEQ)
- GB/T 15724 实验室玻璃仪器 烧杯(GB/T 15724—2024, ISO 3819:2015, MOD)
- GB/T 17040 石油和石油产品中硫含量的测定 能量色散 X 射线荧光光谱法
- 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 21216 绝缘液体 测量电导和电容确定介质损耗因数的试验方法(GB/T 21216—2007, IEC 61620:1998, IDT)
- GB/T 25961 电气绝缘油中腐蚀性硫的试验法
- GB/T 32508 绝缘油中腐蚀性硫(二苜基二硫醚)定量检测方法(GB/T 32508—2016, IEC 62697-1:2012, MOD)
- DL/T 285 矿物绝缘油腐蚀性硫检测法 裹绝缘纸铜扁线法(DL/T 285—2012, IEC 62535:2008, MOD)
- DL/T 385 变压器油带电倾向性检测方法
- DL/T 419—2015 电力用油名词术语
- DL/T 1459 矿物绝缘油中金属钝化剂含量的测定 高效液相色谱法(DL/T 1459—2015, IEC 60666:2010, NEQ)
- NB/T 42140 绝缘液体 油浸纸和油浸纸板用卡尔费休自动电量滴定法测定水分(NB/T 42140—2017, IEC 60814:1997, MOD)
- NB/SH/T 0164 石油及相关产品包装、储运及交货验收规则
- NB/SH/T 0253 轻质石油产品中总硫含量的测定 电量法
- NB/SH/T 0802 绝缘油中 2,6-二叔丁基对甲酚的测定 红外光谱法(NB/SH/T 0802—2019, IEC 60666:2010, MOD)
- NB/SH/T 0810 绝缘液在电场和电离作用下析气性测定法(NB/SH/T 0810—2010, IEC 60628:1985, MOD)
- NB/SH/T 0811 绝缘油氧化安定性测定法(NB/SH/T 0811—2023, IEC 61125:2018, MOD)
- NB/SH/T 0812 矿物绝缘油中 2-糠醛及相关组分测定法(NB/SH/T 0812—2010, IEC 61198:1993, MOD)
- NB/SH/T 0836 绝缘油酸值的测定 自动电位滴定法(NB/SH/T 0836—2010, IEC 62021-1:2003, MOD)
- NB/SH/T 0837 矿物绝缘油低温运动黏度测定法(NB/SH/T 0837—2010, IEC 61868:1998, MOD)
- NB/SH/T 0838 未使用过的润滑油基础油及无沥青质石油馏分中稠环芳烃(PCA)含量的测定 二甲基亚砷萃取折光指数法
- NB/SH/T 0870 石油产品动力黏度和密度的测定及运动黏度的计算 斯塔宾格黏度计法
- NB/SH/T 0886 石油产品倾点的测定 自动倾斜法
- SH/T 0604 原油和石油产品密度测定法(U形振动管法)(SH/T 0604—2000, eqv ISO 12185:1996)
- SH/T 0689 轻质烃及发动机燃料和其他油品的总硫含量测定法(紫外荧光法)
- SH/T 0792 电器绝缘油中 2,6-二叔丁基对甲酚和 2,6-二叔丁基苯酚含量测定法(红外吸收光谱法)
- SH/T 0803 绝缘油中多氯联苯污染物的测定 毛细管气相色谱法(SH/T 0803—2007, IEC 61619:1997, MOD)

SH/T 0804 电气绝缘油腐蚀性硫试验 银片试验法

ISO 14596 石油产品 硫含量的测定 波长色散 X 射线荧光光谱测定法(Petroleum products—Determination of sulfur content—Wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry)

IEC 60475 绝缘液体取样方法(Method of sampling insulating liquids)

注：GB/T 41146—2021 绝缘液体取样方法(IEC 60475:2011, IDT)

### 3 术语和定义

DL/T 419—2015 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**矿物绝缘油 mineral insulating oil**

从天然石油中提炼精制成的绝缘油。

注：矿物绝缘油包括未使用过的矿物绝缘油(3.10)和循环矿物绝缘油(3.11)。

[来源：DL/T 419—2015, 3.1.9, 有修改]

#### 3.2

**变压器油 transformer oil**

适用于变压器、电抗器、互感器、套管等充油电气设备中，起绝缘和冷却作用的一类绝缘油品。

[来源：DL/T 419—2015, 3.1.11]

#### 3.3

**低温开关油 low temperature switchgear oil**

在户外寒冷气候条件下，用于油浸开关中，起绝缘和灭弧作用的一种绝缘油品。

#### 3.4

**添加剂 additive**

为改善某种性能而加入矿物绝缘油的化学物质。

注：如抗氧化添加剂(见 3.5)和带电倾向抑制剂[如：苯并三氮唑(BTA)]。

#### 3.5

**抗氧化添加剂 antioxidant; oxidation inhibitor**

加入油品中能抑制其氧化的添加剂。

就本文件而言，仅限于 2,6-二叔丁基对甲酚抗氧化添加剂。

#### 3.6

**钝化剂 passivator**

主要用作缓蚀剂，有时用作静电抑制剂的添加剂。

注：钝化剂还能通过降低铜对油氧化的催化作用，提高油的氧化安定性。

#### 3.7

**不含抗氧化添加剂油 uninhibited oil**

不含抗氧化添加剂的矿物绝缘油。

#### 3.8

**含微量抗氧化添加剂油 trace inhibited oil**

抗氧化添加剂总含量(质量分数)在 0.01%~0.08%(不含)的矿物绝缘油。

#### 3.9

**含抗氧化添加剂油 inhibited oil**

抗氧化添加剂总含量(质量分数)在 0.08%~0.40%的矿物绝缘油。

#### 3.10

**未使用过的矿物绝缘油 unused mineral insulating oil**

未使用过的充入设备前的矿物绝缘油。

注：这种油既未被使用过、也未接触过电气设备或生产、储存或运输过程中不必要的其他设备。未使用过的矿物绝缘油的生产商和供应商有必要采取各种预防措施以确保油品不混入使用过的油或循环矿物绝缘油，也不被多氯联苯(PCB)、多氯三联苯(PCT)或其他污染物污染。

### 3.11

#### 循环矿物绝缘油 recycled mineral insulating oil

曾用于电气设备，从电气设备移除后，经过再精炼或再生的矿物绝缘油。

注 1：未使用过的矿物绝缘油包括再生矿物绝缘油和再精炼矿物绝缘油。再生矿物绝缘油指曾用于电气设备，从电气设备移除后，经过物理、化学方法去除可溶和不可溶污染物，能继续用于电气设备的矿物绝缘油。再精炼矿物绝缘油指用于电气设备，从电气设备移除后，经过与由直馏油料生产未使用过的矿物绝缘油类似的过程，去除不良组分，能继续用于电气设备的矿物绝缘油，通常由不同来源的矿物绝缘油的混合物生产，包括蒸馏和加氢等工艺。

注 2：未使用过的矿物绝缘油与循环矿物绝缘油混合均被视为是循环矿物绝缘油。循环矿物绝缘油的特性在很大程度上取决于其来源、最初的精炼技术、使用历史和工艺的类型。

## 4 分类和标记

### 4.1 产品分类

#### 4.1.1 类别

矿物绝缘油分为变压器油和低温开关油两个类别。

变压器油分为变压器油(通用)和变压器油(特殊)两个类型。

变压器油(通用)可为不含抗氧化添加剂油、含微量抗氧化添加剂油或含抗氧化添加剂油，具有良好的抗劣化性能和良好的氧化安定性。

变压器油(特殊)为含抗氧化添加剂油，比变压器油(通用)具有更好的氧化安定性。

#### 4.1.2 品种代号

矿物绝缘油根据抗氧化添加剂含量的不同，分为三个品种：

- 不含抗氧化添加剂油：用 U 表示；
- 含微量抗氧化添加剂油：用 T 表示；
- 含抗氧化添加剂油：用 I 表示。

#### 4.1.3 最低冷态投运温度(LCSET)

矿物绝缘油除标明抗氧化添加剂外，还应标明最低冷态投运温度(LCSET)。

最低冷态投运温度(LCSET)是区分绝缘油类别的重要标志之一。应根据电气设备使用环境温度的不同，选择不同的最低冷态投运温度(LCSET)，以免影响油泵、有载调压开关(如果有)的启动。

如无特别说明，变压器油的最低冷态投运温度(LCSET)为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，比 GB/T 1094.1 中规定的户外式变压器最低使用温度低 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其他最低冷态投运温度(LCSET)可依据每个地区气候条件的不同，由供需双方协商确定。

### 4.2 产品标记

变压器油和低温开关油产品应标记为：

品种代号 最低冷态投运温度 产品名称 标准编号

示例 1:



示例 2:



示例 3:



## 5 要求和试验方法

### 5.1 技术要求和试验方法

变压器油(通用)应符合表 1 中规定的技术要求和试验方法。

变压器油(特殊)应符合表 2 中规定的技术要求和试验方法。

低温开关油应符合表 3 中规定的技术要求和试验方法。

注 1: 某些设备可能对热性能等有特殊要求,见附录 D。如果需要,由供需双方协商确定检测项目和测定限值。

注 2: 潜在腐蚀性硫的信息见附录 F。

### 5.2 油的相容性

同类型、同品种、同最低冷态投运温度(LCSET)的未使用过的矿物绝缘油被认为彼此可互混互溶,其相容性应符合 GB/T 14542 的有关规定。

## 6 检验规则

### 6.1 检验分类与检验项目

#### 6.1.1 出厂检验

变压器油(通用)和低温开关油出厂批次检验项目包括:倾点、运动黏度、水含量、击穿电压、密度、介质损耗因数、色号、外观、酸值、水溶性酸或碱、界面张力、总硫含量、腐蚀性硫、潜在腐蚀性硫、抗氧化添加剂含量、金属钝化剂含量、其他添加剂含量、2-糠醛及相关组分含量、析气性和闪点(闭口)。

变压器油(特殊)的出厂批次检验项目包括:倾点、运动黏度、水含量、击穿电压、密度、苯胺点、介质损耗因数、色号、外观、酸值、水溶性酸或碱、界面张力、总硫含量、腐蚀性硫、潜在腐蚀性硫、抗氧化添加剂含量、金属钝化剂含量、其他添加剂含量、2-糠醛及相关组分含量、产气特性、析气性、带电倾向(ECT)和闪点(闭口)。

在原材料、生产工艺和产品配方没有发生可能影响产品质量的变化时,变压器油(通用)、变压器油(特殊)和低温开关油出厂周期检验项目包括:二苄基二硫醚(DBDS)含量和氧化安定性,每一年至少测定一次。

注:水含量出厂检验结果的有效期为三周。

### 6.1.2 型式检验

型式检验项目为 5.1 技术要求规定的全部项目。

在下列情况下进行型式检验:

- a) 新产品投产或产品定型鉴定时;
- b) 原材料、生产工艺等发生较大变化,可能影响产品质量时;
- c) 原材料、生产工艺等技术内容未知或不明确时;
- d) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时。

### 6.2 组批

在原材料、生产工艺不变的条件下,产品每生产一罐或釜为一批。

### 6.3 取样

出厂检验和型式检验取样按 GB/T 4756 进行,取样量应满足出厂检验或型式检验和留样所需数量。到货验收取样按 GB/T 7597 进行。

### 6.4 判定规则

出厂检验和型式检验结果符合 5.1 技术要求的规定时,则判定该批产品合格。

### 6.5 复验规则

出厂检验和型式检验结果中有不符合 5.1 技术要求的情形时,按 GB/T 4756 的规定自同批产品中重新抽取双倍量样品,对不符合项目进行复验,复验结果如仍不符合 5.1 技术要求的规定时,则判定该批产品为不合格。

## 7 标志、包装、运输和储存

标志、包装、运输和储存及交货验收按 NB/SH/T 0164 进行。运输和储存容器应清洁并适于防止任何污染。

每一批交付的油品应附有一份生产商提供的文件,文件至少包括:生产商名称、油品类别、合格证。如有要求,生产商应说明所添加的任何添加剂的类型和含量。

表1 变压器油(通用)技术要求和试验方法

项目		质量指标					试验方法	
		最低冷态投运温度(LCSET)						
		0℃	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃		
功 能 特 性 <sup>a</sup>	倾点/℃	≤-10	≤-20	≤-30	≤-40	≤-50	GB/T 3535 <sup>b</sup>	
	运 动 黏 度 / (mm <sup>2</sup> /s)	40℃	≤12	≤12	≤12	≤12	≤12	GB/T 265 <sup>c</sup>
		0℃	≤1 800	—	—	—	—	
		-10℃	—	≤1 800	—	—	—	
		-20℃	—	—	≤1 800	—	—	
		-30℃	—	—	—	≤1 800	—	
		-40℃	—	—	—	—	≤2 500 <sup>d</sup>	NB/SH/T 0837
	水含量 <sup>e</sup> /(mg/kg)	≤30/40					NB/T 42140 <sup>f</sup>	
	击穿电压(满足下列之一)/kV						GB/T 507	
	未处理油	≥30						
经处理油 <sup>g</sup>	≥70							
密度(20℃)/(kg/m <sup>3</sup> )	≤895					GB/T 1884 和 GB/T 1885 <sup>h</sup>		
介质损耗因数(90℃)	≤0.005					GB/T 5654 <sup>i</sup>		
精 制 / 稳 定 性 <sup>j</sup>	色号	≤1.5					GB/T 6540	
	外观	清澈透明,无沉淀物和悬浮物					目测 <sup>k</sup>	
	酸值(以 KOH 计)/(mg/g)	≤0.01					NB/SH/T 0836	
	水溶性酸或碱	无					GB/T 259	
	界面张力/(mN/m)	≥40					GB/T 6541	
	总硫含量(质量分数)/(mg/kg)	无通用要求 <sup>l</sup>					SH/T 0689 <sup>m</sup>	
	腐蚀性硫 <sup>n</sup>	无腐蚀性硫					SH/T 0804	
	潜在腐蚀性硫	非腐蚀性					DL/T 285	
	二苄基二硫醚(DBDS)含量/(mg/kg)	未检出 <sup>o</sup>					GB/T 32508	
	抗氧化添加剂含量(质量分数)/%						NB/SH/T 0802 <sup>q</sup>	
	不含抗氧化添加剂油(U)	未检出 <sup>p</sup>						
	含微量抗氧化添加剂油(T)	0.01~0.08(不含)						
	含抗氧化添加剂油(I)	0.08~0.40						
金属钝化剂含量/(mg/kg)	未检出 <sup>r</sup>					DL/T 1459		
其他添加剂含量	报告 <sup>s</sup>							
2-糠醛及相关组分含量/(mg/kg)	每个组分都未检出 <sup>t</sup>					NB/SH/T 0812		

表 1 变压器油(通用)技术要求和试验方法(续)

项目			质量指标					试验方法	
			最低冷态投运温度(LCSET)						
			0℃	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃		
运行特性 <sup>a</sup> (120℃)	氧化安定性	试验时间 <sup>b</sup> : (U)不含抗氧化添加剂油:164 h (T)含微量抗氧化添加剂油:332 h (D)含抗氧化添加剂油:500 h	总酸值(以KOH计)/(mg/g)	≤1.2					NB/SH/T 0811
			油泥(质量分数)/%	≤0.8					
			介质损耗因数 <sup>i</sup> (90℃)	≤0.500					
析气性/(mm <sup>3</sup> /min)			无通用要求 <sup>l</sup>					NB/SH/T 0810	
健康、安全和环保特性 <sup>w</sup> (HSE)	闪点(闭口)/℃		≥135					GB/T 261	
	稠环芳烃(PCA)含量(质量分数)/%		<3					NB/SH/T 0838	
	多氯联苯(PCB)含量/(mg/kg)		未检出 <sup>s</sup>					SH/T 0803	

注：运动黏度质量指标中的“—”指无要求。

- <sup>a</sup> 对绝缘和冷却有影响的性能。
- <sup>b</sup> 也可按 NB/SH/T 0886 测定,结果有争议时,以 GB/T 3535 为仲裁方法。
- <sup>c</sup> 也可按 NB/SH/T 0870 测定,结果有争议时,以 GB/T 265 为仲裁方法。
- <sup>d</sup> 运动黏度(-40℃)以第一个黏度值为测定结果。
- <sup>e</sup> 当环境相对湿度不大于 50%时,水含量不大于 30 mg/kg 适用于散装交货;水含量不大于 40 mg/kg 适用于桶装或复合中型集装箱(IBC)交货。当环境相对湿度大于 50%时,水含量不大于 35 mg/kg 适用于散装交货;水含量不大于 45 mg/kg 适用于桶装或复合中型集装箱(IBC)交货。
- <sup>f</sup> 也可按 GB/T 7600 测定,结果有争议时,以 NB/T 42140 为仲裁方法。
- <sup>g</sup> 经处理油指试验样品在 60℃下通过真空(压力低于 2.5 kPa)过滤流过一个最大孔径为 2.5 μm 的烧结玻璃过滤器的油。
- <sup>h</sup> 也可按 SH/T 0604 测定,结果有争议时,以 GB/T 1884 和 GB/T 1885 为仲裁方法。
- <sup>i</sup> 也可按 GB/T 21216 测定,结果有争议时,以 GB/T 5654 为仲裁方法。
- <sup>j</sup> 受精制深度和类型及添加剂影响的性能。
- <sup>k</sup> 将样品注入 100 mL 量筒中,在 20℃±5℃下目测。结果有争议时,按 GB/T 511 测定机械杂质含量为无。
- <sup>l</sup> 无通用要求指由供需双方协商确定该项目是否检测,且测定限值由供需双方协商确定。
- <sup>m</sup> 也可按 GB/T 11140、GB/T 17040、NB/SH/T 0253 或 ISO 14596 测定。
- <sup>n</sup> SH/T 0804 为必选试验方法。是否还需要按 GB/T 25961 进行检测由供需双方协商确定。
- <sup>o</sup> 未检出指 DBDS 含量小于方法检出限,按 GB/T 32508 测定时应小于 5 mg/kg。
- <sup>p</sup> 未检出指抗氧化添加剂含量小于方法检出限,按 NB/SH/T 0802 测定时应小于 0.01%。
- <sup>q</sup> 也可按 SH/T 0792 测定,结果有争议时,以 NB/SH/T 0802 为仲裁方法。
- <sup>r</sup> 未检出指金属钝化剂含量小于方法检出限,按 DL/T 1459 测定时应小于 5 mg/kg。如不影响应用,可由供需双方协商确定。

表 1 变压器油(通用)技术要求和试验方法(续)

项目	质量指标					试验方法
	最低冷态投运温度(LCSET)					
	0℃	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃	
<p>* 供应商应报告所有添加剂的类型,及抗氧化添加剂、钝化剂的浓度。</p> <p><sup>t</sup> 每个组分都未检出指 2-糠醛、2-糠醇、5-羟甲基-2-糠醛、2-乙基呋喃、5-甲基-2-糠醛每个组分含量都小于方法检出限,按 NB/SH/T 0812 测定时应小于 0.05 mg/kg。如不影响应用,供需双方协商一致时,2-糠醛及相关组分含量可高于指标限值。</p> <p><sup>u</sup> 在使用中和(或)在高电场强度和温度影响下与油品长期运行有关的性能。</p> <p><sup>v</sup> 含钝化剂的油应在钝化剂添加到油中之前进行氧化安定性试验。</p> <p><sup>w</sup> 与安全环保有关的性能。</p> <p><sup>x</sup> 未检出指 PCB 含量小于方法检出限,按 SH/T 0803 测定时应小于 2 mg/kg,且其单峰检出限为 0.1 mg/kg。</p>						

表 2 变压器油(特殊)技术要求和试验方法

项目	质量指标					试验方法		
	最低冷态投运温度(LCSET)							
	0℃	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃			
倾点/℃	≤-10	≤-20	≤-30	≤-40	≤-50	GB/T 3535 <sup>b</sup>		
功 能 特 性 <sup>a</sup>	运 动 黏 度 / (mm <sup>2</sup> /s)	40℃ ≤12	0℃ ≤1 800	-10℃ ≤1 800	-20℃ ≤1 800	-30℃ ≤1 800	GB/T 265 <sup>e</sup>	
		-40℃ ≤2 500 <sup>d</sup>	NB/SH/T 0837					
	水含量 <sup>g</sup> /(mg/kg)	≤30/40						NB/T 42140 <sup>f</sup>
	击穿电压(满足下列之一)/kV							GB/T 507
	未处理油	≥30						
	经处理油 <sup>g</sup>	≥70						
	密度(20℃)/(kg/m <sup>3</sup> )	≤895					GB/T 1884 和 GB/T 1885 <sup>h</sup>	
苯胺点/℃	报告					GB/T 262		
介质损耗因数(90℃)	≤0.005					GB/T 5654 <sup>i</sup>		
精 制 / 稳 定 性 <sup>j</sup>	色号	<0.5					GB/T 6540	
	外观	清澈透明,无沉淀物和悬浮物					目测 <sup>k</sup>	
	酸值(以 KOH 计)/(mg/g)	≤0.01					NB/SH/T 0836	
	水溶性酸或碱	无					GB/T 259	
	界面张力/(mN/m)	≥43					GB/T 6541	
	总硫含量(质量分数)/(mg/kg)	≤500					SH/T 0689 <sup>l</sup>	

表2 变压器油(特殊)技术要求和试验方法(续)

项目		质量指标					试验方法
		最低冷态投运温度(LCSET)					
		0℃	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃	
精制 / 稳定 性 <sup>j</sup>	腐蚀性硫 <sup>m</sup>		无腐蚀性硫			SH/T 0804	
	潜在腐蚀性硫		非腐蚀性			DL/T 285	
	二苄基二硫醚(DBDS)含量/(mg/kg)		未检出 <sup>n</sup>			GB/T 32508	
	抗氧化添加剂含量(质量分数)/% 含抗氧化添加剂油(I)		0.08~0.40			NB/SH/T 0802 <sup>o</sup>	
	金属钝化剂含量/(mg/kg)		未检出 <sup>p</sup>			DL/T 1459	
	其他添加剂含量		报告 <sup>q</sup>				
	2-糠醛及相关组分含量/(mg/kg)		每个组分都未检出 <sup>r</sup>			NB/SH/T 0812	
运行 特 性 <sup>s</sup>	氧化 安 定 性 (120℃)	试验时间 <sup>t</sup> : (I) 含抗氧化添 加剂油;500 h	总酸值(以 KOH计)/ (mg/g)	≤0.3		NB/SH/T 0811	
			油泥(质量分 数)/%	≤0.05			
			介质损耗因数 (90℃)	≤0.050			
	析气性/(mm <sup>3</sup> /min)		报告			NB/SH/T 0810	
带电倾向(ECT)/(μC/m <sup>3</sup> )		报告			DL/T 385		
健康、 安全 和环 保特 性 <sup>u</sup> (HSE)	闪点(闭口)/℃		≥135			GB/T 261	
	稠环芳烃(PCA)含量(质量分数)/%		<3			NB/SH/T 0838	
	多氯联苯(PCB)含量/(mg/kg)		未检出 <sup>v</sup>			SH/T 0803	
注:运动黏度质量指标中的“—”指无要求。							
<sup>a</sup> 对绝缘和冷却有影响的性能。 <sup>b</sup> 也可按 NB/SH/T 0886 测定,结果有争议时,以 GB/T 3535 为仲裁方法。 <sup>c</sup> 也可采用 NB/SH/T 0870 测定,结果有争议时,以 GB/T 265 为仲裁方法。 <sup>d</sup> 运动黏度(-40℃)以第一个黏度值为测定结果。 <sup>e</sup> 当环境相对湿度不大于 50%时,水含量不大于 30 mg/kg 适用于散装交货;水含量不大于 40 mg/kg 适用于桶装或复合中型集装箱(IBC)交货。当环境相对湿度大于 50%时,水含量不大于 35 mg/kg 适用于散装交货;水含量不大于 45 mg/kg 适用于桶装或复合中型集装箱(IBC)交货。 <sup>f</sup> 也可按 GB/T 7600 测定,结果有争议时,以 NB/T 42140 为仲裁方法。							

表2 变压器油(特殊)技术要求和试验方法(续)

项目	质量指标					试验方法
	最低冷态投运温度(LCSET)					
	0℃	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃	
<sup>k</sup> 经处理油指试验样品在 60℃ 下通过真空(压力低于 2.5 kPa)过滤流过一个最大孔径为 2.5 μm 的烧结玻璃过滤器的油。 <sup>h</sup> 也可按 SH/T 0604 测定,结果有争议时,以 GB/T 1884 和 GB/T 1885 为仲裁方法。 <sup>i</sup> 也可按 GB/T 21216 测定,结果有争议时,以 GB/T 5654 为仲裁方法。 <sup>j</sup> 受精制深度和类型及添加剂影响的性能。 <sup>k</sup> 将样品注入 100 mL 量筒中,在 20℃ ± 5℃ 下目测。结果有争议时,按 GB/T 511 测定机械杂质含量为无。 <sup>l</sup> 也可按 GB/T 11140、GB/T 17040、NB/SH/T 0253 或 ISO 14596 测定。 <sup>m</sup> SH/T 0804 为必选试验方法。是否还需要按 GB/T 25961 进行检测由供需双方协商确定。 <sup>n</sup> 未检出指 DBDS 含量小于方法检出限,按 GB/T 32508 测定时应小于 5 mg/kg。 <sup>o</sup> 也可按 SH/T 0792 测定,结果有争议时,以 NB/SH/T 0802 为仲裁方法。 <sup>p</sup> 未检出指金属钝化剂含量小于方法检出限,按 DL/T 1459 测定时应小于 5 mg/kg。如不影响应用,可由供需双方协商确定。 <sup>q</sup> 供应商应报告所有添加剂的类型,及抗氧化添加剂、钝化剂的浓度。 <sup>r</sup> 每个组分都未检出指 2-糠醛、2-糠醇、5-羟甲基-2-糠醛、2-乙基呋喃、5-甲基-2-糠醛每个组分含量都小于方法检出限,按 NB/SH/T 0812 测定时应小于 0.05 mg/kg。 <sup>s</sup> 在使用中和(或)在高电场强度和温度影响下与油品长期运行有关的性能。 <sup>t</sup> 含钝化剂的油应在钝化剂添加到油中之前进行氧化安定性试验。 <sup>u</sup> 与安全环保有关的性能。 <sup>v</sup> 未检出指 PCB 含量小于方法检出限,按 SH/T 0803 测定时应小于 2 mg/kg,且其单峰检出限为 0.1 mg/kg。						

表3 低温开关油技术要求和试验方法



项目	质量指标		试验方法	
	最低冷态投运温度(LCSET)			
	-40℃			
功 能 特 性 <sup>a</sup>	倾点/℃	≤ -60	GB/T 3535 <sup>b</sup>	
	运动黏度/(mm <sup>2</sup> /s)	40℃	≤ 3.5	GB/T 265 <sup>d</sup>
		-40℃	≤ 400 <sup>e</sup>	NB/SH/T 0837
	水含量 <sup>e</sup> /(mg/kg)	≤ 30/40	NB/T 42140 <sup>f</sup>	
	击穿电压(满足下列之一)/kV	未处理油	≥ 30	GB/T 507
		经处理油 <sup>g</sup>	≥ 70	
	密度(20℃)/(kg/m <sup>3</sup> )	≤ 895	GB/T 1884 和 GB/T 1885 <sup>h</sup>	
	介质损耗因数(90℃)	≤ 0.005	GB/T 5654 <sup>i</sup>	

表3 低温开关油技术要求和试验方法(续)

项目		质量指标		试验方法	
		最低冷态投运温度(LCSET)			
		-40℃			
精制 / 稳定性 <sup>1</sup>	色号	≤1.5		GB/T 6540	
	外观	清澈透明,无沉淀物和悬浮物		目测 <sup>k</sup>	
	酸值(以 KOH 计)/(mg/g)	≤0.01		NB/SH/T 0836	
	水溶性酸或碱	无		GB/T 259	
	界面张力/(mN/m)	≥40		GB/T 6541	
	总硫含量(质量分数)/(mg/kg)	无通用要求 <sup>1</sup>		SH/T 0689 <sup>m</sup>	
	腐蚀性硫 <sup>n</sup>	无腐蚀性硫		SH/T 0804	
	潜在腐蚀性硫	非腐蚀性		DL/T 285	
	二苄基二硫醚(DBDS)含量/(mg/kg)	未检出 <sup>o</sup>		GB/T 32508	
	抗氧化添加剂含量(质量分数)/% 含抗氧化添加剂油(D)	0.08~0.40		NB/SH/T 0802 <sup>p</sup>	
	金属钝化剂含量/(mg/kg)	未检出 <sup>q</sup>		DL/T 1459	
	其他添加剂含量	报告 <sup>r</sup>			
2-糠醛及相关组分含量/(mg/kg)	每个组分都未检出 <sup>s</sup>		NB/SH/T 0812		
运行 特性 <sup>1</sup>	氧化 安定 性 (120℃)	试验时间 <sup>u</sup> : (D) 含抗氧化添加 剂油:500 h	总酸值(以 KOH 计)/ (mg/g)	≤1.2	NB/SH/T 0811
			油泥(质量分 数)/%	≤0.8	
			介质损耗因数 <sup>i</sup> (90℃)	≤0.500	
	析气性/(mm <sup>3</sup> /min)	无通用要求 <sup>1</sup>		NB/SH/T 0810	
健康、 安全 和环 保特 性 <sup>v</sup> (HSE)	闪点(闭口)/℃	≥100		GB/T 261	
	稠环芳烃(PCA)含量(质量分数)/%	<3		NB/SH/T 0838	
	多氯联苯(PCB)含量/(mg/kg)	未检出 <sup>w</sup>		SH/T 0803	
<sup>a</sup> 对绝缘和冷却有影响的性能。 <sup>b</sup> 也可按 NB/SH/T 0886 测定,结果有争议时,以 GB/T 3535 为仲裁方法。 <sup>c</sup> 运动黏度(-40℃)以第一个黏度值为测定结果。 <sup>d</sup> 也可按 NB/SH/T 0870 测定,结果有争议时,以 GB/T 265 为仲裁方法。 <sup>e</sup> 当环境相对湿度不大于 50%时,水含量不大于 30 mg/kg 适用于散装交货;水含量不大于 40 mg/kg 适用于桶装或复合中型集装箱(IBC)交货。当环境相对湿度大于 50%时,水含量不大于 35 mg/kg 适用于散装交货;水含量不大于 45 mg/kg 适用于桶装或复合中型集装箱(IBC)交货。 <sup>f</sup> 也可按 GB/T 7600 测定,结果有争议时,以 NB/T 42140 为仲裁方法。					

表 3 低温开关油技术要求和试验方法 (续)

项目	质量指标		试验方法
	最低冷态投运温度(LCSET)		
	-40 ℃		
	<p><sup>a</sup> 经处理油指试验样品在 60 ℃下通过真空(压力低于 2.5 kPa)过滤流过一个最大孔径为 2.5 μm 的烧结玻璃过滤器的油。</p> <p><sup>b</sup> 也可按 SH/T 0604 测定,结果有争议时,以 GB/T 1884 和 GB/T 1885 为仲裁方法。</p> <p><sup>i</sup> 也可按 GB/T 21216 测定,结果有争议时,以 GB/T 5654 为仲裁方法。</p> <p><sup>j</sup> 受精制深度和类型及添加剂影响的性能。</p> <p><sup>k</sup> 将样品注入 100 mL 量筒中,在 20 ℃±5 ℃下目测。结果有争议时,按 GB/T 511 测定机械杂质含量为无。</p> <p><sup>l</sup> 无通用要求指由供需双方协商确定该项目是否检测,且测定限值由供需双方协商确定。</p> <p><sup>m</sup> 也可按 GB/T 11140、GB/T 17040、NB/SH/T 0253 或 ISO 14596 测定。</p> <p><sup>n</sup> SH/T 0804 为必选试验方法。是否还需要按 GB/T 25961 进行检测由供需双方协商确定。</p> <p><sup>o</sup> 未检出指 DBDS 含量小于方法检出限,按 GB/T 32508 测定时应小于 5 mg/kg。</p> <p><sup>p</sup> 也可按 SH/T 0792 测定,结果有争议时,以 NB/SH/T 0802 为仲裁方法。</p> <p><sup>q</sup> 未检出指金属钝化剂含量小于方法检出限,按 DL/T 1459 测定时应小于 5 mg/kg。如不影响应用,可由供需双方协商确定。</p> <p><sup>r</sup> 供应商应报告所有添加剂的类型,及抗氧化添加剂、钝化剂的浓度。</p> <p><sup>s</sup> 每个组分都未检出指 2-糠醛、2-糠醇、5-羟甲基-2-糠醛、2-乙基呋喃、5-甲基-2-糠醛每个组分含量都小于方法检出限,按 NB/SH/T 0812 测定时应小于 0.05 mg/kg。如不影响应用,供需双方协商一致时,2-糠醛及相关组分含量可高于指标限值。</p> <p><sup>t</sup> 在使用中和(或)在高电场强度和温度影响下与油品长期运行有关的性能。</p> <p><sup>u</sup> 含钝化剂的油应在钝化剂添加到油之前进行氧化安定性试验。</p> <p><sup>v</sup> 与安全环保有关的性能。</p> <p><sup>w</sup> 未检出指 PCB 含量小于方法检出限,按 SH/T 0803 测定时应小于 2 mg/kg,且其单峰检出限为 0.1 mg/kg。</p>		

## 附录 A

(资料性)

## 本文件与 GB 2536—2011 相比技术指标的变化

表 A.1 给出了本文件与 GB 2536—2011 相比技术指标的变化。

表 A.1 本文件与 GB 2536—2011 相比技术指标的变化

项目	本文件			GB 2536—2011		
	变压器油		低温开关油	变压器油		低温开关油
	通用	特殊		通用	特殊	
色号	≤1.5	<0.5	≤1.5	—		
界面张力/(mN/m)	≥40	≥43	≥40	≥40	≥40	≥40
总硫含量(质量分数)/(mg/kg)	无通用要求	≤500	无通用要求	无通用要求	≤1 500	无通用要求
潜在腐蚀性硫	非腐蚀性			—		
二苯基二硫醚(DBDS)含量/(mg/kg)	未检出			—		
抗氧化添加剂含量(质量分数)/%						
不含抗氧化添加剂油(U)	未检出	—	—	检测不出	—	—
含微量抗氧化添加剂油(T)	0.01~0.08 (不含)	—	—	不大于 0.08	—	—
含抗氧化添加剂油(I)	0.08~0.40	0.08~0.40	0.08~0.40	0.08~0.40	0.08~0.40	—
金属钝化剂含量/(mg/kg)	未检出或供需双方协商确定			—		
其他添加剂含量	供应商应报告所有添加剂的类型, 及抗氧化添加剂、钝化剂的浓度			—		
2-糠醛及相关组分含量/(mg/kg)	每个组分都未检出			—		
2-糠醛含量/(mg/kg) 不大于	—			0.1	0.05	0.1
产气特性 氢气含量、甲烷含量、乙烷含量/(μL/L)	—	小于 50	—	—		
稠环芳烃(PCA)含量(质量分数)/%	小于 3			不大于 3		
注：质量指标中的“—”指无要求。						

## 附 录 B

(资料性)

## 本文件与 IEC 60296:2020 的结构编号对照

表 B.1 给出了本文件与 IEC 60296:2020 的结构编号对照一览表。

表 B.1 本文件与 IEC 60296:2020 的结构编号对照情况

本文件结构编号	IEC 60296:2020 结构编号
1	1
2	2
3	3
4.1.1~4.1.3	5.1.1~5.1.3
4.2	5.1.4
5.1	4,5.1.3 的表 2、5.2 的表 3 和表 4,6,7.1~7.3
5.2	5.3
6.1~6.2	—
6.3	5.5
6.4~6.5	—
7	5.4
附录 A	—
附录 B	—
附录 C	—
附录 D	7.4~7.8、附录 C
附录 E	附录 A
附录 F	附录 B
参考文献	参考文献
—	7.9、附录 D

## 附录 C

(资料性)

## 本文件与 IEC 60296:2020 的技术差异及其原因

表 C.1 给出了本文件与 IEC 60296:2020 的技术差异及其原因的一览表。

表 C.1 本文件与 IEC 60296:2020 的技术差异及其原因

本文件结构编号	技术差异	原因
1	适用范围中删除了循环矿物绝缘油产品。 增加了发电机用油参考使用	国内并未使用循环矿物绝缘油产品； 针对国外引进的、用油来冷却和绝缘的发电机组提出
3、表 1~表 3、 6.3、6.5、7	用规范性引用的 GB/T 261 等替换了国际原文中的 ISO 2719 等文件； 增加了 GB/T 259、GB/T 511、GB/T 262、GB/T 1884、GB/T 1885、GB/T 4756、NB/SH/T 0164 的规范性引用	适应我国技术条件，满足指标项目测定要求，方便使用
4.2	更改了产品标记方式	按照国内实际情况，便于使用
5.1	表 1、表 2 中变压器油最低冷态投运温度 (LCSET) 增加了 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 一档； 表 1、表 2、表 3 中增加了运动黏度 ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 和水含量脚注，增加了腐蚀性硫测定方法和脚注，更改了倾点等项目试验方法。 表 2 增加了苯胺点项目，更改了析气性、带电倾向要求。 表 3 中低温开关油仅保留一个品种	主要针对国内广泛使用的变压器油而设置。 结合国内该类油品的实际情况。 反映油品大致的结构组分，明确油品的析气性、带电倾向特性。 结合国内该类油品的实际情况
5.2	更改了油的相容性规定	结合国内该类油品的实际情况
6.1、6.2、 6.4、6.5	增加了检验和判定规则	根据我国石油产品编写习惯，便于标准的执行
附录 D、附录 E	7.4~7.8 调整到附录 D，用 GB/T 261 等适用的我国文件代替国际原文中的 ISO 2719 等引用文件	适应我国技术条件

## 附录 D

### (资料性)

#### 附加性质

#### D.1 热性能

某些充油电气设备需要了解油的热性能,如导热系数、比热容、热膨胀系数等。但是,它们不能被视为验收参数,而是作为设计参数。热导率测量液体样品在输入已知能量时的温度变化,参照 ASTM D7896 测定。比热容测量油品吸收热能的能力,参照 NB/SH/T 0632 测定。热膨胀系数参照 DL/T 1204 测定。

#### D.2 与稳定性有关的性质(芳烃含量、多环芳烃组成、折射率)

矿物绝缘油含有不同种类的芳烃物质,包括单环芳烃、双环芳烃、三环芳烃和多环芳烃。芳烃含量(参照 IEC 60590 或 DL/T 929 测定)及其分布(单环芳烃、双环芳烃、三环芳烃和多环芳烃,参照 NB/SH/T 0806 测定)是特定石油产品的特征,可提供有价值的其结构稳定性的信息。折射率也同样,它与油的成分和精制过程有关,参照 SH/T 0724 测定。

#### D.3 润滑性能

某些机械设备,如浸入并运行在绝缘液体中的分接开关,要求液体具有足够良好的润滑性能,参照 NB/SH/T 0189 测定。

#### D.4 颗粒含量

矿物绝缘油中的颗粒可能是由于其制造、储存或处理而产生的,并可能影响其击穿电压。颗粒和水分对击穿强度有协同作用。颗粒含量参照 DL/T 432 测定。

注:石油运输时桶内的颗粒含量由供应商和客户根据交货时的统计来商定。

#### D.5 泡沫特性

硅酮、邻苯二甲酸盐或其他表面活性化学物质或油的污染可能导致不希望有的泡沫。

可能被硅酮、邻苯二甲酸盐或其他表面活性的化学物质或油以外污染的矿物绝缘油不注入变压器,因为这些化合物会在变压器脱气时产生泡沫,从而矿物绝缘油很难或不可能完全脱气。泡沫特性参照 GB/T 12579 测定。

## 附录 E

(规范性)

## 热应力下产气特性试验方法

## E.1 方法概要

按照本试验方法,一种典型的矿物油试样是按照下述流程来进行培养测试的:

- a) 样品的第一部分是空气饱和的(见 E.4),样品的第二部分是氮气饱和的(见 E.5),备用;
- b) 将上述两部分的样品再等分后,在玻璃注射器中于 105℃ 下处理 48 h,其中,第一个玻璃注射器中仅装入样品,另一个玻璃注射器中装入样品和铜箔,油和铜箔互相接触;
- c) 最后,每个处理后的样品都按照 GB/T 17623 进行溶解气体分析(DGA)。

## E.2 设备和材料

E.2.1 鼓风干燥箱,能控温(105±2)℃。

E.2.2 100 mL 注射器,适用于 DGA 试验(符合 IEC 60475 的规定)。要求质量好、气密性好,以防止培养过程及后续操作中发生漏气现象。

E.2.3 三通道金属旋塞(镀铬黄铜、不锈钢或其他等同材质)。

E.2.4 250 mL 烧杯,要求符合 GB/T 15724 的规定。

E.2.5 铜箔,厚度为 0.25 mm,纯度为 99.89% 及以上。

E.2.6 高真空硅脂。

E.2.7 干燥空气,要求不含烃类杂质。

注:纯度大于 99.999% 的合成空气适用于气相色谱。

E.2.8 干燥氮气,要求不含氧气和有机烃。

注:纯度大于 99.999% 的氮气适用于气相色谱。

## E.3 注射器的预处理

在进行预处理操作前,应保证注射器是洁净干燥的。

使用高真空硅脂处理活塞上部(靠近手柄一端),使活塞的整个外圈均匀覆盖一薄层硅脂。

将活塞下部浸入待测液体的子样品中,并避免样品与硅脂接触。由于存在与硅脂接触的可能,待测液体的子样品将不再使用。

## E.4 程序 A:热应力下的产气特性(高氧气含量)

## E.4.1 矿物油预处理

向烧杯中装入适量样品,用空气吹扫以确保样品对空气饱和。上述培养好的样品,应可充满两个 50 mL ~60 mL 容量的注射器,其中一个注射器内部放置有铜箔和样品,另一个内部无铜箔仅有样品。

注:样品在空气吹扫操作前,未经实验室过滤或抽真空处理。

## E.4.2 注射器吸入矿物油的操作

按照 E.3 准备两个注射器。其中一个注射器内部放置两片铜箔,剪切,必要时可折叠以顺利放入而不堵塞样品从尖端吸入(见图 E.1)。铜箔的总表面积应介于 9.6 cm<sup>2</sup> ~10 cm<sup>2</sup>。使用前应按照 NB/SH/T 0811 中测定氧化安定性的部分准备铜箔材料。

两个注射器都吸入 50 mL~60 mL 样品。用三通道金属旋塞把注射器牢牢关闭。

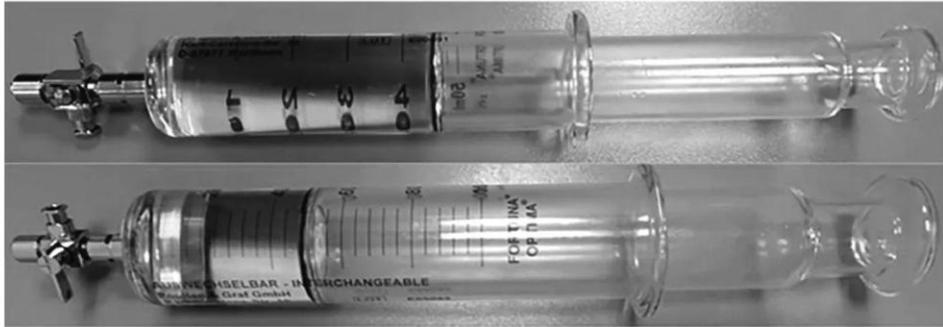


图 E.1 含铜和不含铜的注射器

### E.4.3 培养步骤

将注射器垂直或半垂直地放入鼓风干燥箱中,活塞在上方,金属旋塞在下方。

注:垂直放置能防止从注射器尖端处漏气。

使注射器在 105 °C 下保持(48±0.5)h。

### E.4.4 溶解气体分析

将注射器冷却至室温后,按照 GB/T 17623 对试样进行 DGA。

### E.5 程序 B:惰性条件下的产气性(低氧气含量)

用氮气代替空气吹扫样品后,按照 E.4.1~E.4.4 步骤进行试验。

## E.6 报告

### E.6.1 试验报告

报告培养步骤使用条件下测定的所有气体,按照 GB/T 17623 报告每种气体最接近的体积( $\mu\text{L}/\text{L}$ )。

### E.6.2 油品产气性的评价

对于新型油的通用评价和分类方法,宜进行程序 A(含铜)和程序 B(无铜)两种试验。

而对于检验新批次生产的油,可只进行有铜箔的程序 A 试验。

油品在所有试验条件下培养后,下述气体全部不超过 50  $\mu\text{L}/\text{L}$ :1)氢气、2)甲烷、3)乙烷,评价为“非产气性”。

否则,油品在至少一种试验条件下培养后,下述气体中至少一种气体超过 50  $\mu\text{L}/\text{L}$ :1)氢气、2)甲烷、3)乙烷,评价为“产气性”。

注:尽管 CO 和 CO<sub>2</sub> 也表现出产气性倾向,但更难对它们进行评价,因为在真实设备中这些气体的特定影响是由于固体绝缘引起的。

## E.7 精密度

### E.7.1 重复性

对于氢气、甲烷和乙烷的最终气体浓度超过 25  $\mu\text{L}/\text{L}$  的情况,在有限的试验组数下,同一实验室、同一操作员、同一样品三次重复试验的标准差为 8%(不含)~25%(不含)。

注:该试验方法估计的重复性包括培养步骤完成后 DGA 测试的重复性。DGA 的重复性信息见 GB/T 17623。

### E.7.2 再现性

对于氢气、甲烷和乙烷的最终气体浓度超过 25  $\mu\text{L/L}$  的情况,同一样品在不同实验室(18 个)进行循环测试,其标准偏差在 30%(不含)~80%(不含)。

注:该试验方法估计的再现性包括培养步骤完成后 DGA 测试的再现性。DGA 的再现性信息符合 GB/T 17623 的规定。

对于不同的气体,在不同的培养条件下,尽管单个结果是高度分散的,在判定油品是“产气性”或“非产气性”方面,循环测试的结果如下。

- a) 假阴性现象。实验室将一种油判定为“非产气性”,而大多数结果将其判定为“产气性”:18 个实验室中有 1~2 个实验室符合此种情况。
- b) 假阳性现象。实验室将一种油判定为“产气性”,而大多数结果将其判定为“非产气性”:无此种情况。

### E.8 循环测试的结果

#### E.8.1 概述

循环测试可识别“产气模式”,在此给出测试结果以提供信息。

产气模式如图 E.2~图 E.5 所示,报告了每一种试验条件下氢气、甲烷、乙烷和一氧化碳的形成。

#### E.8.2 产气模式 1

图 E.2 所示为一种不含抗氧化添加剂的未使用过的矿物绝缘油的模式。

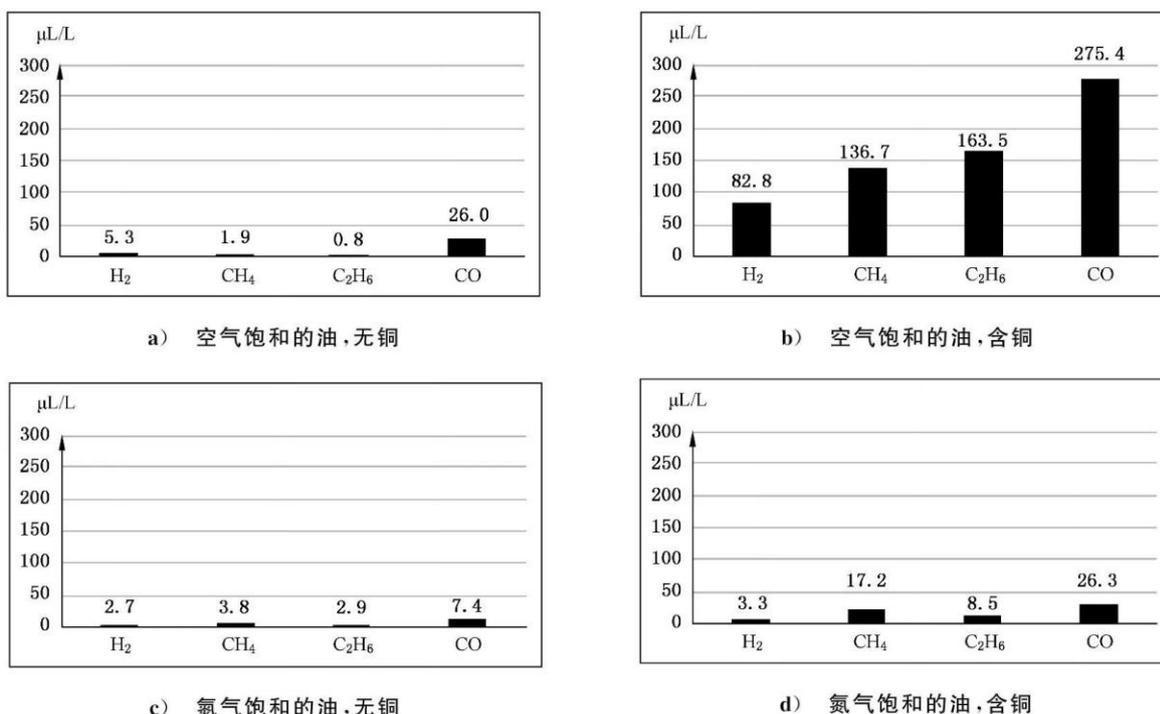
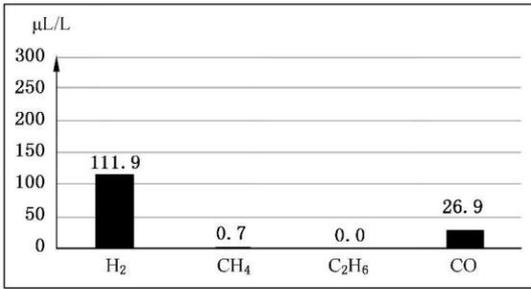


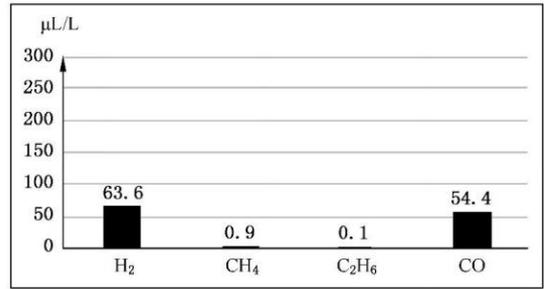
图 E.2 产气模式 1

#### E.8.3 产气模式 2

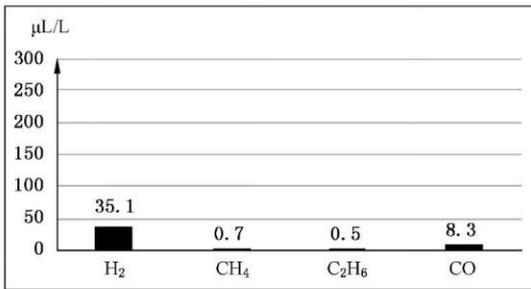
图 E.3 所示为一种含三唑钝化添加剂的、含抗氧化添加剂未使用过的矿物绝缘油的模式。



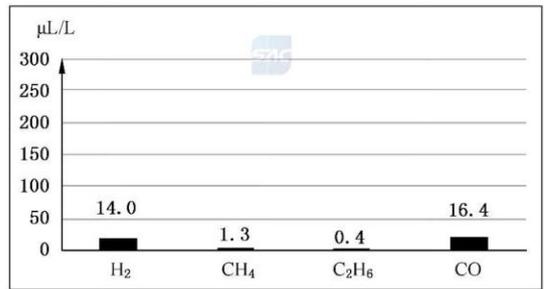
a) 空气饱和的油,无铜



b) 空气饱和的油,含铜



c) 氮气饱和的油,无铜

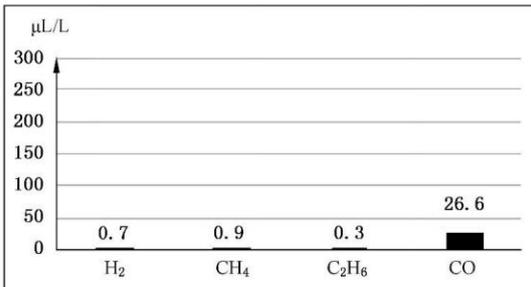


d) 氮气饱和的油,含铜

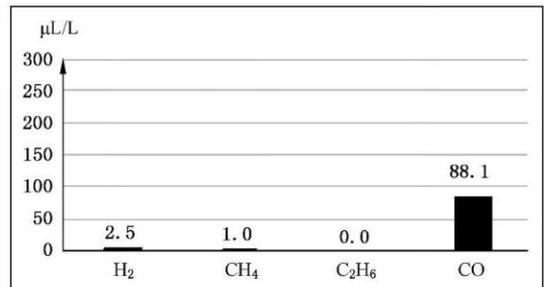
图 E.3 产气模式 2

E.8.4 产气性模式 3

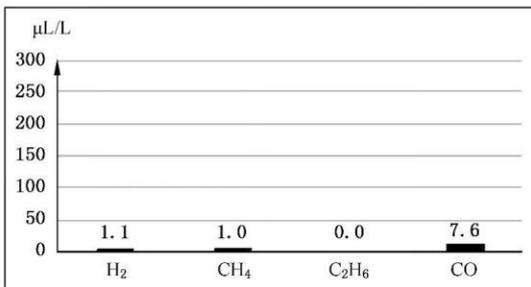
图 E.4 所示为一种含抗氧化添加剂的、未使用过的和循环的矿物绝缘油的模式。图 E.4 中所示为典型值,不同的油样之间偏差非常低。



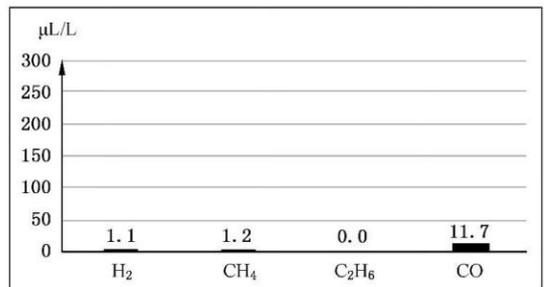
a) 空气饱和的油,无铜



b) 空气饱和的油,含铜



c) 氮气饱和的油,无铜



d) 氮气饱和的油,含铜

图 E.4 产气模式 3

E.8.5 产气性模式 4

图 E.5 所示为一种不含抗氧化添加剂的循环矿物绝缘油的模式。

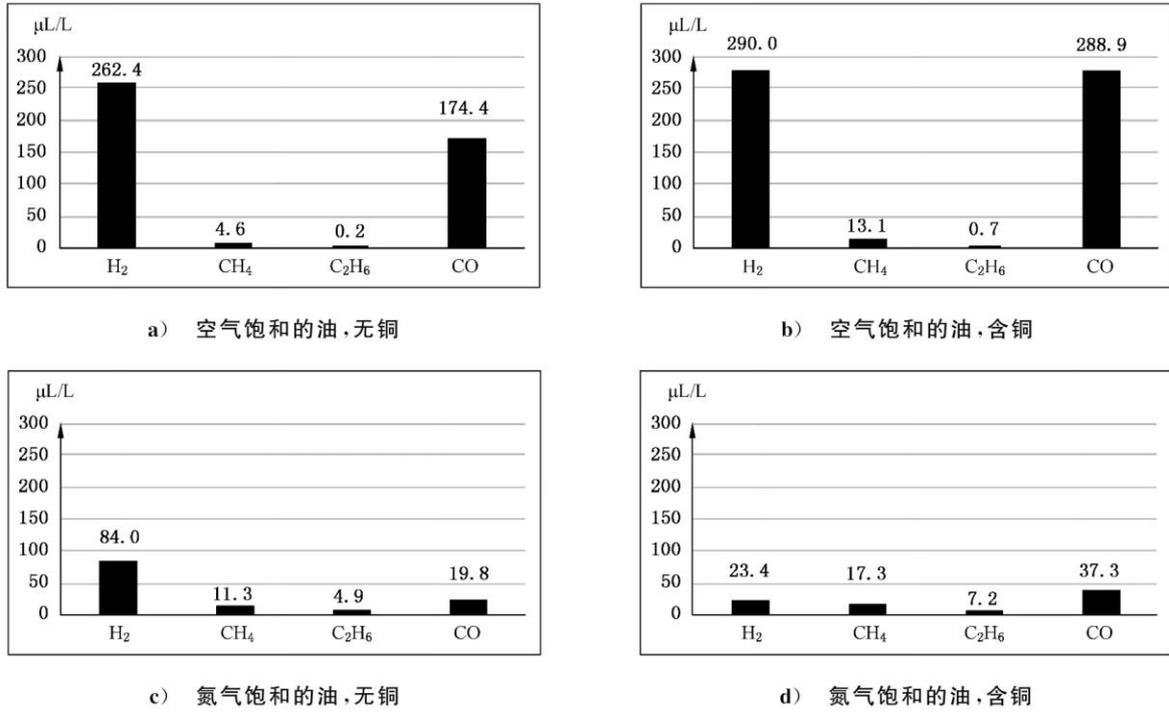


图 E.5 产气模式 4



## 附 录 F (资料性) 潜在腐蚀性硫

### F.1 硫化亚铜的沉积机理

目前硫化亚铜( $\text{Cu}_2\text{S}$ )的沉积机理尚未被完全阐述清楚。

温度和氧气对硫化亚铜沉积过程的强烈影响表明某些氧化态的硫化物可能比油中原有的硫化物更活泼,或者其他氧化产物发挥着非常重要的共配位剂的作用。在设备中的油含有腐蚀性硫化物、使用未刷漆或未保护的铜材质、设备操作温度高、油中氧气含量有限的情况下,更容易发生硫化亚铜沉积现象。对铜传输最有利的氧气含量是相对较低的氧含量,可能在几千微升每升的范围内,但硫化亚铜沉积现象会在很宽的氧含量范围内发生。

### F.2 油中的腐蚀性硫化合物

尽管已知许多硫化物是对铜具有腐蚀性,但是绝缘油组分中识别出的非常少。目前唯一已知的生成硫化亚铜效力强且在矿物绝缘油中具有相当含量的硫化物是二苄基二硫醚(DBDS),它是一种润滑添加剂。大多数被发现正在形成 $\text{Cu}_2\text{S}$ 的油都含有这种物质。采用苛刻的加氢处理的炼油过程可以很容易去除原油中存在的具有潜在腐蚀性的活性硫化合物,如二硫化物、硫醚、各种氧化态硫化合物和单质硫。这些物质可能由于不当处理油而非腐蚀性的油中释放出来或形成(例如不当再生)。镀银的金属表面(例如分接开关接点)极易与单质硫发生反应,形成硫化银层,从而增加接触电阻或剥落并引发闪络。

### F.3 含钝化剂的油中腐蚀性硫化物的检测

#### F.3.1 概述

当变压器中的油含有金属钝化剂时,铜的表面会形成一层薄的钝化剂保护层,防止铜溶解在油中,与油中存在的腐蚀性硫化物发生反应,并以有害的硫化亚铜( $\text{Cu}_2\text{S}$ )的形式沉积在绝缘纸上。

按 DL/T 285 测定含钝化剂的油时也会发生同样的情况。因此,该试验方法不能检测含有钝化剂的油中的腐蚀性硫,并可能给出此类油的“假阴性”结果。未使用过的含钝化剂的油的测定结果为阴性,可能因在变压器使用过程中添加剂消耗后,测试结果为阳性,并开始沉积有害的 $\text{Cu}_2\text{S}$ 。

为了测定含有金属钝化剂(已声明或怀疑)的油中的腐蚀性硫,有必要先将钝化剂从油中去除。以下两个程序可以用于此目的。这两种都仅适用于新的可用类型的油,而不适用于正常交付的油。

#### F.3.2 程序 1

在本程序中,通过对油的选择性吸附去除金属钝化剂:

- a) 如果钝化剂初始浓度为 $>200$  mg/kg,则将 100 mL 含钝化剂油与 500 mg HR-XC 吸附剂(一种用于基本分析物的强、混合模式聚合型阳离子交换剂)搅拌 1 h,然后过滤出吸附剂;
- b) 如果钝化剂的初始浓度 $<200$  mg/kg,可在含有 200 mg 吸附剂的 3 mL 柱上,在轻微的真空中提取 60 mL 的油。

#### F.3.3 程序 2

本程序是基于观察到油中的金属钝化剂被氧化老化而消耗(在实验室加速试验和在使用中的变压

器中):

- a) 在 NB/SH/T 0811 中的试验单元中,在空气流量为 0.15 L/h 的条件下,将含钝化剂的油在 120 °C 下运行 164 h,以确保钝化剂已被氧化消耗;
- b) 按照 DL/T 285 的要求,用新的绝缘纸包裹的导线在试验单元中对老化油进行腐蚀性硫的测试;
- c) 为了避免老化油的假阳性(即油的氧化老化化合物被误认为是  $\text{Cu}_2\text{S}$ ),使用 SEM-EDX 技术或其他技术确认  $\text{Cu}_2\text{S}$  沉积(根据 DL/T 285)。也可根据 DL/T 285 的规定,不使用铜带,只使用绝缘纸,进行第二次试验,并在使用和不使用铜后比较绝缘纸的外观,避免假阳性。

注 1: 在实验室老化试验后,观察到铜表面钝化器的保护层会留在铜上,但在使用中的变压器中,钝化器保护层是否会留在铜上以及能在铜上停留多久,目前尚不清楚。

注 2: 作为 DL/T 285 和程序 1 和 2 的补充,含钝化剂油中腐蚀性硫化化合物的量化 [例如二苄基二硫醚(DBDS)和二硫化物总量]用来确保油中没有这些潜在的有害化合物。



## 参 考 文 献

- [1] GB/T 1094.1 电力变压器 第1部分:总则
  - [2] GB/T 12579 润滑油泡沫特性测定法
  - [3] DL/T 432 电力用油中颗粒度测定方法
  - [4] DL/T 929 矿物绝缘油、润滑油结构族组成的测定 红外光谱法
  - [5] DL/T 1204 矿物绝缘油热膨胀系数测定法
  - [6] NB/SH/T 0189 润滑油抗磨损性能的测定 四球法
  - [7] NB/SH/T 0632 比热容的测定 差示扫描量热法
  - [8] NB/SH/T 0806 中间馏分芳烃含量的测定 示差折光检测器高效液相色谱法
  - [9] SH/T 0724 液体烃的折射率和折射色散测定法
  - [10] IEC 60590 Determination of the aromatic hydrocarbon content of new mineral insulating oils
  - [11] ASTM D7896 Standard test method for thermal conductivity, thermal diffusivity and volumetric heat capacity of engine coolants and related fluids by transient hot wire liquid thermal conductivity method
- 

