



中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z 32508.2—2026

绝缘液体中腐蚀性硫化物的定量检测方法 第2部分：总腐蚀性硫(TCS)

Test method for quantitative determination of corrosive sulfur compounds in
insulating liquids—Part 2: Total corrosive sulfur (TCS)

[IEC TR 62697-2:2018, Test methods for quantitative determination of
corrosive sulfur compounds in unused and used insulating liquids—
Part 2: Test method for quantitative determination of total corrosive sulfur
(TCS), MOD]

2026-09-24 发布

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 取样 2

5 方法原理 2

6 意义和用法 2

7 干扰因素 2

 7.1 概述 2

 7.2 浊度检测中的干扰 2

 7.3 离子色谱法中的干扰 3

8 试验 3

 8.1 仪器 3

 8.2 试剂和材料 4

 8.3 标准物 4

 8.4 标准溶液 5

 8.5 试验步骤 5

9 校准 6

 9.1 通则 6

 9.2 校准步骤 6

 9.3 总腐蚀硫(TCS)定量 7

 9.4 总腐蚀性硫和等价二苄基二硫醚(DBDS)浓度的定量分析(DBDS_{eq}) 7

 9.5 结果 7

10 精密度..... 7

 10.1 检出限 7

 10.2 重复性 7

 10.3 再现性 8

11 报告..... 8

附录 A (资料性) 典型图表 9

附录 B (资料性) 腐蚀性硫定量检测的报告结果 10

前 言

本文件为报告类指导性技术文件。

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。

本文件是 GB/T(Z)32508 的第2部分。GB/T(Z)32508 已经发布了以下部分：

- 绝缘油中腐蚀性硫(二苄基二硫醚)定量检测方法(GB/T 32508—2016)；
- 第2部分：总腐蚀性硫(TCS)。

本文件修改采用 IEC TR 62697-2:2018《未使用和使用过绝缘液体中腐蚀性硫化化合物的定量测定试验方法 第2部分：总腐蚀性硫(TCS)的定量测定试验方法》，文件类型由 IEC 的技术报告调整为我国的国家标准化指导性技术文件。

本文件与 IEC TR 62697-2:2018 相比做了下述结构调整：

- 第5章、第6章和第7章分别对应 IEC TR 62697-2:2018 的 5.1、5.2 和 5.3；
- 8.1、8.2、8.3 和 8.4 分别对应 IEC TR 62697-2:2018 的 5.4、5.5、5.6 和 5.7；
- 删除了 IEC TR 62697-2:2018 的 5.6.1，增加了 8.3.6；
- 删除了 IEC TR 62697-2:2018 的 6.1 和 6.2；
- 8.5 对应 IEC TR 62697-2:2018 的 6.3；
- 第9章对应 IEC TR 62697-2:2018 的 6.4；
- 第10章对应 IEC TR 62697-2:2018 的第7章。

本文件与 IEC TR 62697-2:2018 的技术差异及其原因如下：

- 对“范围”的内容进行了重新编制，用规范性引用的 DL/T 285—2012 替换了 IEC 62535:2008（见第1章），以满足技术内容的需要；
- 用规范性引用的 GB/T 32508—2016 替换了 IEC 62697-1（见第3章），以适应我国技术条件，增加可操作性；
- 增加了“二苄基二硫醚”的术语及其定义（见 3.3），以满足技术内容的需要；
- 用规范性引用的 GB/T 41146 替换了 IEC 60475（见第4章），以适应我国技术条件，增加可操作性；
- 对“方法原理”的内容进行了重新编制（见第5章），以满足技术内容的需要；
- 更改了“离子色谱仪”的内容（见 8.1.5），以适应我国技术条件，增加可操作性；
- 增加了“去离子水”溶剂[见 8.2.3d)]，以适应我国技术条件，增加可操作性；
- 删除了 IEC TR 62697-2:2018 的 5.6.1 “二苄基二硫醚(DBDS)”，以适应我国技术条件，增加可操作性；
- 增加了“氨水”标准物（见 8.3.6），以适应我国技术条件，增加可操作性；
- 删除了 IEC TR 62697-2:2018 的 6.1“浊度计”，将该部分内容重新编制纳入 8.1.4 中，以适应我国技术条件，增加可操作性；
- 删除了 IEC TR 62697-2:2018 的 6.2“离子色谱仪”，将该部分内容重新编制纳入 8.1.5 中，以适应我国技术条件，增加可操作性。

本文件做了下列编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称改为《绝缘液体中腐蚀性硫化物的定量检测方法 第2部分：总腐蚀性硫(TCS)》；

——将第 5 章标题改为“方法原理”；

——将 8.5 条标题改为“试验步骤”。

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。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国绝缘材料标准化技术委员会(SAC/TC 51)归口。

本文件起草单位：国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、西安电子科技大学、河北工业大学、广东电网有限责任公司电力科学研究院、桂林赛盟检测技术有限公司、武汉泽电新材料有限公司、和骋新材料科技(上海)有限公司、国网安徽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、云南电力试验研究院(集团)有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司南宁局、世通计量检测集团有限公司、桂林电器科学研究院有限公司。

本文件主要起草人：邵先军、余创、付强、金凌峰、冯梦佳、李松江、郭绍旭、陈孝信、彭磊、刘伟、韦晨、曹元、韦明邑、张磊、冯社雄、王先锋、罗惠。

引 言

绝缘液体中腐蚀性硫化合物定量测定的试验方法拟分为三个部分。

——第1部分：二苳基二硫醚。目的在于确定绝缘液体中二苳基二硫醚含量的定量测定。

——第2部分：总腐蚀性硫(TCS)。目的在于确定绝缘液体中总腐蚀性硫(TCS)含量的定量测定。

——第3部分：单质硫。目的在于确定绝缘液体中单质硫含量的定量测定。

硫在绝缘液体中可以多种形式存在,包括元素硫、无机硫化合物和有机硫化合物。由不同异构体和同系物组成的硫种类可达数百种。绝缘液体中的总硫(TS)浓度取决于液体的来源、精炼工艺、精炼程度以及配方(包括基础油中添加剂的添加情况)。基础油包括矿物基石蜡油和环烷油、通过气液转化工艺(GTL-费托合成)获得的合成异链烷烃、酯类、聚 α -烯烃、聚亚烷基二醇等。添加剂可包括静电放电抑制剂、金属减活剂、金属钝化剂、酚类及含硫抗氧化剂(如多硫化物、二硫化物、二苳基二硫醚)。

绝缘液体中存在的某些硫化合物具有抗氧化和金属减活性能,且无腐蚀性,而其他一些硫化合物则已知会与金属表面发生反应。具体而言,硫醇等硫化合物对电气设备的金属部件具有很强的腐蚀性。几十年来,这些腐蚀性硫物质的存在已被证实与用于电能产生、传输和分配的电气设备故障相关。因此,IEC 60296 规定,未使用和已使用的绝缘液体中不应存在腐蚀性硫化合物。

腐蚀性硫的严重不利影响还与一种特定的高腐蚀性硫化合物——二苳基二硫醚(DBDS)的存在有关。在某些矿物绝缘液体中已发现该化合物。研究表明,在变压器正常运行条件下,该化合物会导致铜导体表面形成硫化铜。有报道称,在使用经燃烧过程再生的吸附剂对矿物油进行再生处理时,可能会引入元素硫和硫醇等其他腐蚀性硫化合物。已有多种用于石油产品及其他基质中元素硫定量测定的方法被报道,但这些方法并未直接涉及绝缘液体中元素硫的定量测定。

然而,目前用于检测未使用和已使用绝缘液体中腐蚀性硫及潜在腐蚀性硫的标准试验方法均为经验性和定性方法。这些方法依赖于对颜色变化的视觉观察和主观判断。

对填充有绝缘液体的变压器及其他电气设备的多项现场检查表明,硫化铜的形成与腐蚀性硫化合物相关。研究人员已对绝缘液体中可能存在的各类硫物质(元素硫、脂肪族和芳香族硫醇、硫化物、二硫化物、噻吩)的稳定性和反应活性进行了检测。在九种含硫有机化合物(包括十二硫醇、十六硫醇、苳硫醇、丁基二硫化物、二苳基硫化物、苯基乙烯基硫、苯基二硫化物、二苳基二硫化物和二苯并噻吩)中,通过将硫化铜转化为硫酸铜并进行浊度测量,对其腐蚀性进行了定量评估。根据所得数据,对这些化合物对铜的腐蚀性进行了排序。结果发现,腐蚀性随温度变化而不同,例如在 80 °C ~ 120 °C 之间,硫醇是腐蚀性最强的化合物;而在 150 °C ~ 180 °C 之间,二硫化物的腐蚀性最强。

此外,绝缘液体中腐蚀性硫和潜在腐蚀性硫的测定方法仅适用于不含金属钝化剂添加剂的矿物绝缘液体,因为在含有金属钝化剂的情况下,即使绝缘液体中存在腐蚀性硫化合物,这些方法可能没有检出腐蚀性硫化合物,从而产生假阴性试验结果。当这些试验方法用于老化绝缘液体(例如酸值相对较高的绝缘液体)时,可能会检出金属(铜片或银片)腐蚀变色现象,进而导致假阳性试验结果。相关标准规定应对绝缘液体进行进一步分析,例如,若对绝缘纸检测结果的解读存在任何疑问,应采用其他方法(如扫描电子显微镜-能量色散 X 射线光谱法,SEM-EDX)对沉淀物的成分进行分析。

本文件旨在制定用于明确定量测定未使用和已使用绝缘液体中腐蚀性硫化合物的试验方法。

绝缘液体中腐蚀性硫化物的定量检测方法

第2部分：总腐蚀性硫(TCS)

一般警告,健康与安全:本文件不要求解决所有相关的安全问题。保证健康是本文件使用者的责任,在使用前应确定监管限制的适用性。应做好对本文件涉及的绝缘液体的个人防护。直接接触眼睛可能会产生刺激作用。当与眼睛有接触时,可用大量清洁的自来水冲洗并寻求医疗帮助。本文件中的试验涉及可能导致危险情况的出现。相关操作请参照相应标准的安全指南。

环境:本文件适用于矿物油和非矿物油、化学品和使用的样品容器。应对这些油严格按照当地的规定进行去污染处理。应采取一切防范措施来防止绝缘液体污染环境。

1 范围

本文件描述了一种通过将腐蚀性硫转化为金属(铜、银等)硫化物来定量测定绝缘液体中总腐蚀性硫(Total Corrosive Sulfur, TCS)的测定方法。形成的硫化物被定量转化为硫酸盐,并通过浊度测量或离子色谱法测定硫酸盐含量。

本方法适用于以下基质。

- 未使用和使用过的绝缘液体,如矿物绝缘液和天然酯,允许测定的总腐蚀性硫(TCS)浓度范围为 2.5 mg/kg~80 mg/kg。
- 与绝缘液体接触的固体介质,例如电气设备中的绝缘纸。对介质的检测下限取决于测定过程中使用的介质数量。本文件中的方法能用于在 DL/T 285—2012 试验后,对绝缘纸上的硫化铜进行定量或半定量的测定。
- 从故障变压器、电抗器和其他电气设备中获取的用于故障诊断的绝缘纸和其他固体绝缘材料。
- 绝缘液体中的金属钝化剂或钝化剂添加剂(定性评估)。

注:本方法不适用于评估不形成硫化物的腐蚀现象,如铜溶解在绝缘液体中或沉积在固体基质上。

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 32508—2016 绝缘油中腐蚀性硫(二苄基二硫醚)定量检测方法(IEC 62697-1:2012, MOD)

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

DL/T 285—2012 矿物绝缘油腐蚀性硫检测法 裹绝缘纸铜扁线法

3 术语和定义

GB/T 32508—2016 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。