



# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1811 — 2018

---

## 电力变压器用天然酯绝缘油选用导则

Guide for selection of the natural esters insulating oil  
for power transformers

2018-04-03发布

2018-07-01实施

---

国家能源局 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 ..... 2

4 未使用过的天然酯绝缘油选用要求 ..... 2

5 天然酯绝缘油的现场验收和处理 ..... 3

6 天然酯绝缘油注油后的要求 ..... 4

7 天然酯绝缘油的维护处理 ..... 5

8 安全 and 环境要求 ..... 6

附录 A（资料性附录） 天然酯绝缘油特性参数的含义 ..... 7

附录 B（规范性附录） 天然酯绝缘油氧化安定性试验 ..... 10

附录 C（资料性附录） 天然酯绝缘油附加技术信息 ..... 11

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电力变压器标准化技术委员会（DL/TC 02）归口。

本标准主要起草单位：中国电力科学研究院、国网河南省电力公司电力科学研究院、广州供电局有限公司电力试验研究院、中国大唐集团科学技术研究院有限公司华中分公司、重庆大学、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、国网吉林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、国网湖北省电力公司电力科学研究院、大唐淮南洛河发电厂、特变电工股份有限公司新疆变压器厂、特变电工衡阳变压器有限公司、大同 ABB 牵引变压器有限公司、合肥 ABB 变压器有限公司。

本标准主要起草人：蔡胜伟、杨涛、黄青丹、韩金华、李剑、张淑珍、周竹君、张春丰、朱孟兆、何清、邹德利、徐寨新、向涛、郑万长、蒋舒伟、陈程。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 电力变压器用天然酯绝缘油选用导则

## 1 范围

本标准规定了电力变压器用未使用过的天然酯绝缘油的选用要求、现场验收和处理、注入变压器后的性能要求、维护处理、安全和环境要求等。

本标准适用于 220kV 及以下电压等级电力变压器（电抗器）用天然酯绝缘油的选择、验收和维护。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本标准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标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 261 闪点的测定 宾斯基-马丁闭口杯法

GB/T 264 石油产品酸值测定法

GB/T 265 石油产品运动黏度测定法和动力黏度计算法

GB/T 507 绝缘油 击穿电压测定法

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 2900.5 电工术语 绝缘固体、液体和气体

GB/T 2900.95 电工术语 变压器、调压器和电抗器

GB/T 3535 石油产品倾点测定法

GB/T 3536 石油产品闪点和燃点的测定 克利夫兰开口杯法

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 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（库伦法）

GB/T 21801 化学品 快速生物降解性 呼吸计量法试验

GB/T 21802 化学品 快速生物降解性 改进的 MITI 试验（I）

GB/T 21856 化学品 快速生物降解性 二氧化碳产生试验

GB/T 25961 电气绝缘油中腐蚀性硫的试验法

DL/T 419 电力用油名词术语

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/SH/T 0811 未使用过的烃类绝缘油氧化安定性测定法

NB/SH/T 0812 矿物绝缘油中 2-糠醛及相关组分测定法

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 0804 电气绝缘油腐蚀性硫试验 银片试验法

IEC 60666 矿物绝缘油中规定的添加剂的检验和测定（Detection and determination of specified additives in mineral insulating oils）

IEC 62021-3 绝缘液体 酸值的测定 第 3 部分：非矿物绝缘油试验方法（Insulating liquids-Determination of acidity-part 3: Test methods for non-mineral insulating oils）

IEC 62770 电工用液体 变压器和类似电气设备用未使用过的天然酯（Fluids for electro technical applications-Unused natural esters for transformers and similar electrical equipment）



IEEE Std C57.147 变压器用天然酯绝缘液验收和维护导则 (Guide for acceptance and maintenance of natural ester fluids Insulating Liquid in transformers)

OECD 201-203 生态毒性试验导则 (Test guidelines for ecotoxicity)

EPA 600/4.82.068 沙门氏菌/微粒体的诱变化验 (埃姆斯试验) 暂行办法 [Interim procedure for conducting the salmonella/microsomal mutagenicity assay (Ames Test)]

### 3 术语和定义

GB/T 2900.5、GB/T 2900.95 和 DL/T 419 界定的术语及下列术语和定义适用于本标准。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 2900.95 中的某些术语和定义。

#### 3.1

**天然酯绝缘油 natural ester insulating oil**

从种子或其他生物材料中提取、用于变压器或类似电气设备的绝缘液体，其主要成分是甘油三酯，具有良好的生物降解性和环境相容性。

#### 3.2

**未使用过的天然酯绝缘油 unused natural ester insulating oil**

没有使用过，也没有与其他电气设备或生产、贮存、运输过程中不需要的设备接触过的新油。

注：对于未使用过的天然酯绝缘油，制造商和供应商应采取一切合理预防措施，确保天然酯绝缘油中不含多氯联苯、多氯三联苯 (PCB、PCT) 或腐蚀性硫化物，且不被使用过的油、再生油或其他污染物污染。

#### 3.3

**添加剂 additives**

向绝缘油中添加的化学物质，起到赋予油品某种特殊性能或加强其本来具有的某种性能的作用。

注：例如，抗氧化剂、倾点抑制剂、油流带电抑制剂 (苯并三唑类 BTA)、金属钝化剂或减活化剂、消沫剂、精炼过程改进剂等。

#### 3.4

**腐蚀性硫 corrosive sulfur**

游离硫和腐蚀性硫化物，通常用铜或其他金属与绝缘油接触来检测。

#### 3.5

**密封变压器 sealed transformers**

一种能避免变压器内部物质和外部大气之间相互交换的非呼吸式变压器。

[GB/T 2900.95—2015，定义 3.1.11]

### 4 未使用过的天然酯绝缘油选用要求

4.1 天然酯绝缘油制造商应提供符合标准规定的有效检测报告，同时说明所加添加剂的种类和含量，天然酯绝缘油特性参数的含义参见附录 A。

4.2 未使用过的天然酯绝缘油除满足 IEC 62770 要求外，主要特性应满足表 1 要求。

表 1 未使用过的天然酯绝缘油质量要求和试验方法

项 目		质量要求	试验方法
1. 物理特性			
外观		清澈透明、无沉淀物和悬浮物	目测
运动黏度 <sup>a</sup> mm <sup>2</sup> /s	100℃	≤15	GB/T 265
	40℃	≤50	

表 1（续）

项 目		质量要求	试验方法
运动黏度 <sup>a</sup> mm <sup>2</sup> /s	0℃	≤500	GB/T 265
倾点 ℃		≤-10	GB/T 3535
水分 mg/kg		≤200	GB/T 7600 或 NB/T 42140
密度（20℃） kg/m <sup>3</sup>		≤1000	GB/T 1884
2. 电气特性			
击穿电压 <sup>b</sup> （2.5mm） kV		≥40	GB/T 507
介质损耗因数（tanδ）（90℃）		≤0.04	GB/T 5654
3. 化学特性			
酸值（以 KOH 计） mg/g		≤0.06	IEC 62021-3 或 GB/T 264
腐蚀性硫		非腐蚀性	GB/T 25961 或 SH/T 0804
总添加剂（质量分数）		≤5%	IEC 60666 或其他方法
氧化安定性 （见附录 B）	总酸值（以 KOH 计） mg/g	0.6	NB/SH/T 0811
	运动黏度（40℃）比初始值增加量	≤30%	GB/T 265
	介质损耗因数（tanδ）（90℃）	≤0.5	GB/T 5654
4. 健康、安全与环境（HSE）			
燃点 ℃		≥300	GB/T 3536
闪点 ℃		≥250	GB/T 261
生物降解性		易生物降解	GB/T 21801、GB/T 21802 或 GB/T 21856
<sup>a</sup> 当所提供的天然酯绝缘油倾点低于-20℃时，宜提供最低冷态投运温度对应的运动黏度值。			
<sup>b</sup> 未使用过的天然酯绝缘油交付时的击穿电压测试值。			

- 4.3 天然酯绝缘油与变压器结构材料的相容性应满足 IEEE Std C57.147 的相关规定。
- 4.4 未使用过的天然酯绝缘油应不含多氯联苯（PCB）。未使用过的天然酯绝缘油中 PCB 的浓度按照 SH/T 0803 进行检测。
- 注：未使用过的天然酯绝缘油中出现 PCB 或相关化合物只可能是交叉污染引起的。
- 4.5 未使用过的天然酯绝缘油应无毒，供应商应提供产品无毒试验证明。
- 注：天然酯绝缘油的毒性测试可采用修改后的埃姆斯试验法或其他国际公认的试验方法，例如 OECD 201-203、EPA 600/4.82.068。

5 天然酯绝缘油的现场验收和处理

5.1 一般要求

由于各制造商的设计、工艺可能存在差异，天然酯绝缘油变压器的现场准备、注油、投运等指导

说明宜由用户和制造商协商确定。所有油处理设备（如软管、管道、油罐、滤油设备等）应当保持清洁，应为天然酯绝缘油专用。有残余天然酯绝缘油的设备应密封，与空气和污染物隔绝。油桶、油罐、储油罐等容器储存天然酯绝缘油时，油面宜采用干燥氮气或干燥惰性气体进行密封覆盖。

## 5.2 运输容器

天然酯绝缘油通常采用油桶、油罐等容器储运，所有容器应清洁、干燥、密封。

## 5.3 验收检测

未使用过的天然酯绝缘油运至现场后应按照标准 GB/T 7597 规定的程序进行取样，对油样的外观、运动黏度、水含量、酸值、击穿电压、介质损耗因数及闪点等性能按照表 1 规定的试验方法进行检测，检测结果满足表 1 要求方可接收。

注：检验值是基于对天然酯绝缘油注入变压器之前进行微粒过滤、脱气和除水处理后测得的结果。

## 5.4 用户对天然酯绝缘油的处理和储存

5.4.1 受条件限制不能直接把运输油罐中的油直接注入变压器时，可把天然酯绝缘油注入储油罐中。天然酯绝缘油宜优先采用桶装方式储运。

5.4.2 宜采用户内型储油罐存储天然酯绝缘油，如果存放在室外，应避免阳光直射。天然酯绝缘油不宜储存在环境温度高或湿度大的地方（除非有干燥剂维护），储存环境温度宜在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内。

5.4.3 通常，天然酯绝缘油可从储油罐中直接泵出。当气温接近绝缘油倾点时，需要对绝缘油进行加热处理，再从储油罐中泵出。

5.4.4 储油罐应配有法兰接口，罐内涂层应与天然酯绝缘油相容；不应采用带呼吸器的储油罐。

5.4.5 现有变压器油储油罐用于存储天然酯绝缘油应满足以下条件：

- 传输泵和管线能够输送黏度更大的天然酯绝缘油。在寒冷的环境中输送天然酯绝缘油时，需采取如下措施：输油管线采取电或蒸汽跟踪加热措施，储油罐采用加热装置。
- 储油罐应彻底清洁并对生锈、泄漏情况进行检查处理。
- 储油罐中的变压器油应彻底排净并用 $60^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的天然酯绝缘油冲洗后才能灌注天然酯绝缘油，以免造成污染。

5.4.6 油泵。由于天然酯绝缘油的黏度一般高于普通矿物绝缘油，在选择油泵时应考虑天然酯绝缘油黏度影响。

## 5.5 天然酯绝缘油的灌装

5.5.1 天然酯绝缘油变压器宜选用真空注油工艺，如果注油后有过多的气泡产生时，应对天然酯绝缘油进行真空处理以充分脱气。

5.5.2 可用脱水和脱气设备对天然酯绝缘油进行处理。天然酯绝缘油的脱气应在 $60^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 、真空度低于 220Pa 条件下进行处理，确保彻底脱去之前引入的气体 and 水分。

5.5.3 经过真空脱气和过滤处理后的天然酯绝缘油应直接真空注入变压器中。

## 6 天然酯绝缘油注油后的要求

6.1 已经注入变压器中的天然酯绝缘油取样方法按照 GB/T 7597 中规定的程序执行。

6.2 天然酯绝缘油灌注完成、静置时间满足要求后，对变压器中的天然酯绝缘油进行取样测试，天然酯绝缘油性能满足表 2 的要求后方可通电。

表 2 变压器注油后对天然酯绝缘油质量要求和试验方法

项 目	电压等级分类 kV			试验方法
	≤35	110（66）	220	
外观	清澈透明、无沉淀物和悬浮物			目测
击穿电压（2.5mm） kV	≥40	≥45	≥50	GB/T 507
介质损耗因数（tanδ）（90℃）	≤0.07	≤0.05	≤0.04	GB/T 5654
酸值（以 KOH 计） mg/g	≤0.06	≤0.06	≤0.06	IEC 62021-3 或 GB/T 264
水分 mg/kg	≤300	≤150	≤100	GB/T 7600 或 NB/T 42140
运动黏度（40℃） mm <sup>2</sup> /s	≤50	≤50	≤50	GB/T 265
闪点 ℃	≥250	≥250	≥250	GB/T 261

6.3 注满天然酯绝缘油的变压器应在静置足够时间后方可进行高压试验。在同等条件下，天然酯绝缘油一般比矿物绝缘油需要更长的时间浸渍绝缘纸（纸板）；采用厚绝缘纸板的变压器需要更长的时间来充分浸渍天然酯绝缘油。天然酯绝缘油的浸渍速率与油温和绝缘纸（纸板）厚度成函数关系，浸渍速率应由变压器和绝缘纸（纸板）制造商以及天然酯绝缘油制造商提供，浸渍时间取决于绝缘纸（纸板）类型、厚度、绝缘油的初始温度、环境温度、电压等级等。

6.4 如无规定时，35kV 及以下变压器静置时间应不少于 24h，其他电压等级由变压器制造商确定。

7 天然酯绝缘油的维护处理

7.1 取样检验

- 7.1.1 天然酯绝缘油现场取样按照 GB/T 7597 规定程序进行。
- 7.1.2 应对油样的外观、水含量、击穿电压、介质损耗因数等进行检测，以判断天然酯绝缘油的状态。
- 7.1.3 为了更全面表征天然酯绝缘油的状态，还可进行运动黏度、酸值、密度、倾点、糠醛等测试。
- 7.1.4 运行中天然酯绝缘油的老化退役性能参数可参见附录 C。

7.2 净化处理

- 7.2.1 本标准中的净化处理指采用机械设备（如真空滤油机等）除去油中水分和固体颗粒。
- 7.2.2 如果在运输和储存绝缘油过程中进入水分超过限值则不能直接注入变压器，需进行额外的除水处理。
- 7.2.3 可采用过滤纸滤芯除去油中游离水，也可采用吸附型过滤器除水。
- 7.2.4 可采用高真空脱水系统降低油中溶解水含量。除脱水外，真空脱水系统还可以除去绝缘油中的气体和挥发性酸。但在高真空条件下，有些降凝剂和抗氧化添加剂可能也被过滤掉，应与绝缘油制造商进行确认。
- 7.2.5 经过净化处理后的天然酯绝缘油性能应满足表 1 要求。

7.3 再生处理

再生处理前应对绝缘油做净化处理，特别是含有较多水分和颗粒杂质的天然酯绝缘油，应先对绝

缘油除水、除杂质后再进行再生处理。再生后的绝缘油也应经过精密过滤净化后才能使用，以防吸附剂等残留物带入运行设备中。再生处理过程中可能除去油中的添加剂，应根据实测值决定是否补加。

#### 7.4 混油和补油

7.4.1 天然酯绝缘油不宜与矿物绝缘油混用，如需将天然酯绝缘油和矿物绝缘油混合使用，应按混合后的绝缘油实测性能确定其适用范围。

7.4.2 不同原料来源的天然酯绝缘油不宜混合使用。如需将不同类型天然酯绝缘油的新油或已使用过的天然酯绝缘油混合使用，应按混合后的绝缘油实测性能确定其适用范围。

7.4.3 变压器需补油时，应优先选用与变压器内相同的同一基础油、同一添加剂类型的油品。补加油品的性能应不低于设备内的原油。

### 8 安全和环境要求

#### 8.1 一般要求

满足本标准的天然酯绝缘油应无毒且生物降解性好，对健康和环境应无危害。

#### 8.2 泄漏

在设备维护中应对泄漏情况做例行检查。当天然酯绝缘油发生轻微泄漏时，可用吸油布、清洁剂清理。当天然酯绝缘油泄漏到水中时，可采用洗涤剂除去水中的天然酯绝缘油。

## 附录 A

(资料性附录)

## 天然酯绝缘油特性参数的含义

## A.1 物理性能

## A.1.1 外观

通过肉眼检查未使用过的天然酯绝缘油应透明, 无可见污染物、游离水和悬浮物。

## A.1.2 运动黏度

运动黏度指液体流动时内摩擦力的量度。运动黏度随温度的升高而降低。本标准规定在指定温度下用运动黏度来评价绝缘油的流动性能, 单位为  $\text{mm}^2/\text{s}$ , 用运动黏度的上限值作为对冷却效果的保证。随着温度升高, 绝缘油运动黏度下降, 下降速率取决于绝缘油的化学组分。

## A.1.3 倾点和凝点

倾点: 在规定条件下, 被冷却的试样能流动的最低温度, 单位为  $^{\circ}\text{C}$ 。

凝点: 试样在规定条件下冷却至停止流动的最高温度, 单位为  $^{\circ}\text{C}$ 。

由于测定方法和条件不同以及油品的组分和性能不同, 两者有一定的差别。

## A.1.4 水分

水分指存在于油品中的水分含量。油中水分主要以三种形态存在: 溶解水、乳化水和游离水。溶解水是呈分子状态的水, 借分子间存在的诱导力与分散力溶解于油中; 乳化水指呈微球的乳浊水滴, 他们高度分散在油中而不易分离; 游离水是与油有明显分界面, 大都受重力作用沉积在容器的底部或者附着在器壁上。水在油中的溶解度随温度的升高而增大。油中游离水的存在或在有溶解水的同时遇到纤维杂质时, 将会降低油的电气强度。将油中水含量控制在较低值, 一方面是防止温度降低时油中游离水的形成, 另一方面也有利于控制纤维绝缘中的含水量, 还可以降低油纸绝缘的老化速率。

## A.1.5 密度

在规定温度下, 单位体积内所含物质的质量数, 以  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{g}/\text{mL}$  表示。由于油的密度受温度影响较大, 标准规定的密度是指  $20^{\circ}\text{C}$  时的值。油品的密度与其化学组分有关, 为了使油中水分和生成的沉淀物尽快下沉到油箱底部, 要求绝缘油的密度尽量小。

## A.1.6 界面张力

绝缘油和纯水之间的界面分子力的作用, 表现为反抗其本身的表面积增大的力。用来表征绝缘油中含有极性组分的量, 单位为  $\text{mN}/\text{m}$ 。

由于天然酯绝缘油和矿物绝缘油固有化学性能不同, 天然酯绝缘油的界面张力比矿物绝缘油低, 天然酯绝缘油的界面张力典型值在  $25\text{mN}/\text{m} \sim 30\text{mN}/\text{m}$  之间。本标准没有给出天然酯绝缘油界面张力限值, 但是当运行中的天然酯绝缘油界面张力比初始值降低 40% 以上时应应对绝缘油做进一步的检查。

## A.2 电气性能

### A.2.1 击穿电压

在规定的试验条件下，试样发生击穿时的电压。通常标准规定的均指绝缘油在工频电压作用下的击穿电压值，它表征绝缘油耐受电应力的能力，该值与绝缘油的组成和精制程度等绝缘油本质因素无关，主要受绝缘油中杂质和温度的影响。影响最大的杂质是水分和纤维，特别是两者同时存在时。绝缘油经净化处理后，不同绝缘油的击穿电压值都可得到很大提高。因此，从某种意义上说，击穿电压值不是油品本身的电气特性，而是对绝缘油物理状态的评定。

### A.2.2 介质损耗因数

它是由于介质电导和介质极化的滞后效应，在其内部引起的能量损耗，取决于油中可电离的成分和极性分子的数量，同时还受到绝缘油精制程度的影响。介质损耗因数增大，表明绝缘油受到水分、带电颗粒或可溶性极性物质的污染。它对油处理过程中的污染非常敏感，对变压器而言，内部的清洁度是至关重要的。

### A.2.3 相对介电常数

相对介电常数是在一个电容器两电极之间和周围全部由被试绝缘材料充满时的电容量与同样电极板间为真空时的电容量之比。液体绝缘材料的相对介电常数很大程度上取决于试验条件，特别是温度和施压电压的频率。相对介电常数是介质极化和材料电导的度量。

## A.3 化学性能

### A.3.1 酸值

在规定条件下，中和 1g 油品中的酸性组分所消耗的氢氧化钾毫克数。除非受到污染，新油的酸值可以达到非常低的水平。绝缘油经过氧化试验后，酸值是作为评定该油氧化安定性的重要指标之一，它既是反映绝缘油早期劣化阶段的主要指标，也是运行性能指标。

### A.3.2 腐蚀性硫

指存在于油品中的腐蚀性硫化物（含游离硫）。某些活性硫化物对铜、银等金属表面有很强的腐蚀性，特别是在温度作用下，能与铜导体化合形成硫化铜浸蚀绝缘纸，从而降低绝缘强度。因此，绝缘油中不允许存在腐蚀性硫。

### A.3.3 添加剂

添加剂可包含抗氧化剂、金属钝化剂、降凝剂等。抗氧化剂可以延缓天然酯绝缘油的氧化，避免凝胶和酸性物质的形成，例如 2, 6-二叔丁基对甲酚（DBPC），即 BHT。添加剂的检测方法参照 IEC 60666 或其他合适方法。所有添加剂的质量分数应低于 5%。天然酯绝缘油供应商应告知用户所有添加剂的类型及抗氧化剂和钝化剂的浓度。最初的添加剂类型和浓度对于天然酯绝缘油变压器的运行和维护指导非常有用。

### A.3.4 2-糠醛

用目前测试方法测到的呋喃化合物中的主要成分，通常称为 2-糠醛。在新油中表征某些绝缘油在炼制过程中经糠醛精制后的残留量，与绝缘油的性能无关。运行中的绝缘油，则可由 2-糠醛含量

了解变压器中纤维绝缘的老化程度。限制新油中的含量是为了尽量避免对运行中绝缘老化程度判断的干扰。

未使用过的天然酯绝缘油中应不含 2-糠醛。绝缘油中 2-糠醛及相关化合物应按 NB/SH/T 0812 进行检测，未使用的天然酯绝缘油中也可能存在痕量的某些呋喃化合物。

### A.3.5 氧化安定性

它表征绝缘油抵抗氧气、温度等作用而保持其性能不发生永久变化的能力，是绝缘油的一项重要性能指标。

## A.4 健康、安全和环境（HSE）要求

### A.4.1 燃点和闪点

闪点：在规定试验条件下，试验火焰引起试样蒸汽着火，并使火焰蔓延至液体表面的最低温度，修正到 101.3kPa 大气压下。闭口闪点是用规定的闭口杯闪点测定仪器所测得的闪点，单位为℃。

燃点：在规定试验条件下，试验火焰引起试样蒸汽着火且至少持续燃烧 5s 的最低温度，修正到 101.3kPa 大气压下。

### A.4.2 多氯联苯（PCB）

在联苯分子中两个或两个以上的氢原子被氯原子取代后，得到的一些同分异构体和同系物混合而成的绝缘液体。PCB 是一种有毒化合物，会对肝脏、神经和内分泌系统等造成损伤，也是致癌物质，因而被严格控制。但是，由于其电气性能良好、燃点高，过去曾被一些国家作为绝缘介质使用，在我国曾有少量电容器使用过。未使用过的天然酯绝缘油应不含任何多氯联苯，为防止天然酯绝缘油受到污染应控制 PCB 的引入。

### A.4.3 生物降解

生物降解一般指微生物的分解作用，有可能是微生物的有氧呼吸，也可能是微生物的无氧呼吸。自然界存在的微生物分解物质对环境不会造成负面影响。天然酯绝缘油比矿物绝缘油环境相容性更好，需采取生物降解性试验来验证绝缘油的生物降解性。有机污染物根据其生物降解性分为：

- a) 可生物降解物质，如单糖、淀粉、蛋白质等；
- b) 难生物降解物质，如纤维素、农药、烃类等；
- c) 不可生物降解物质，如塑料、尼龙等。

天然酯绝缘油属于可生物降解物质。

### A.4.4 毒性

又称生物有害性，一般是指外源化学物质与生命机体接触或进入生物活体体内后，能引起直接或间接损害作用的相对能力，或简称为损伤生物体的能力。天然酯绝缘油的毒性测试可以采用修改后的埃姆斯试验法或其他国际公认的试验方法，无污染的天然酯绝缘油应为无毒。



## 附 录 B (规范性附录)

### 天然酯绝缘油氧化安定性试验

#### B.1 概述

天然酯绝缘油采用 NB/SH/T 0811 相似的加速老化试验方法进行氧化安定性评价。在待测天然酯绝缘油样品中放入固体铜催化剂，向油中通入恒定体积的空气，在 120℃ 温度下保持 48h，通过测定氧化后油品的挥发性酸值、油溶性酸值、沉淀物含量、黏度和介质损耗因数来评价抗氧化能力。

#### B.2 试验条件

加速老化时间设定为 48h，其他试验条件，例如天然酯绝缘油的数量、铜丝催化剂的长度和直径、氧化温度和氧化剂（空气）流量等，应与 NB/SH/T 0811 试验方法完全相同。

#### B.3 精度

通过对商用天然酯绝缘油进行 48h 对比试验后得到的精度值见表 B.1。每个参数的相对再现性是基于从 11 个参与实验室获得的结果。表 B.1 中报告的值与 NB/SH/T 0811 中矿物绝缘油报告的值基本一致。

表 B.1 各性能的重复性和再现性

性 能	重复性 ( <i>r</i> ) %	再现性 ( <i>R</i> ) %
运动黏度 (40℃)	5	7.5
总酸值	13	38
油泥	22	57
介质损耗因数 ( $\tan\delta$ ) (90℃)	—	47

#### B.4 重复性 (*r*)

同一个实验室在 95% 的置信水平下给出的重复值。

#### B.5 再现性 (*R*)

不同的实验室在 95% 的置信水平下给出的重复值。

附录 C  
(资料性附录)  
天然酯绝缘油附加技术信息

C.1 天然酯绝缘油相对含水饱和度

天然酯绝缘油与矿物绝缘油的相对含水饱和度计算值见表 C.1。

表 C.1 天然酯绝缘油与矿物绝缘油的相对含水饱和度计算值

温度 ℃	典型矿物绝缘油 mg/kg	天然酯绝缘油（三种油的平均值） mg/kg
0	22	658
10	36	814
20	55	994
30	83	1198
40	121	1427
50	173	1681
60	242	1962
70	332	2269
80	447	2604
90	593	2965
100	773	3354

C.2 水分含量对天然酯绝缘油工频击穿电压的影响

水分含量对天然酯绝缘油工频击穿电压的影响如图 C.1 所示。

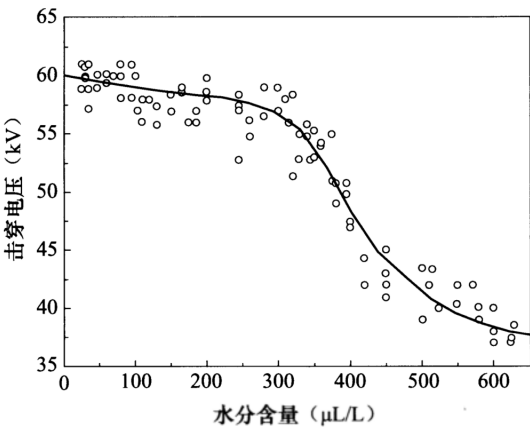


图 C.1 水分含量对天然酯绝缘油工频击穿电压的影响

C.3 运行老化天然酯绝缘油参数表

运行老化天然酯绝缘油关键参数注意值见表 C.2。

表 C.2 运行老化天然酯绝缘油关键参数注意值

项 目	电压等级分类 kV			试验方法
	≤35	110 (66)	220	
介质损耗因数 (25℃) %	≥3	≥3	≥3	GB/T 5654
运动黏度增加率 (40℃) %	≥10	≥10	≥10	GB/T 265
酸值 (以 KOH 计) mg/g	≥0.5	≥0.3	≥0.3	IEC 62021-3
闪点 ℃	≤250	≤250	≤250	GB/T 261
界面张力 mN/m	≤10	≤12	≤14	GB/T 6541
添加剂含量	(见注 2)	(见注 2)	(见注 2)	IEC 60666
注 1: 本表数据仅限于一直使用天然酯绝缘油的变压器, 这些数据是基于非常有限的加速老化和现场运行超过二十年变压器采集的样本。				
注 2: 与制造商联系具体的天然酯绝缘油推荐的添加剂限值。				

C.4 天然酯绝缘油浸绝缘纸聚合度随老化时间变化情况

大豆、茶籽类天然酯绝缘油和矿物绝缘油浸渍绝缘纸的聚合度随老化时间变化情况如图 C.2 和图 C.3 所示。

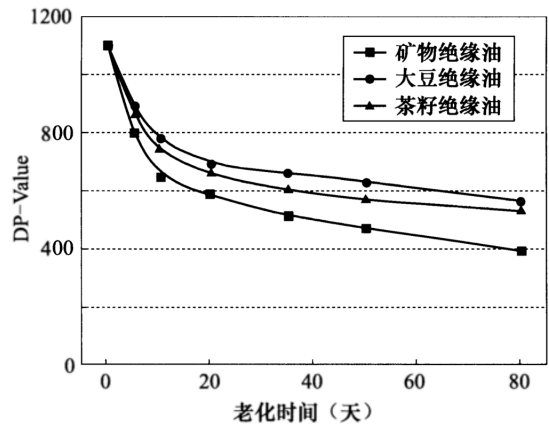


图 C.2 初始水分含量 0%的油浸绝缘纸聚合度变化情况 (130℃加速热老化)

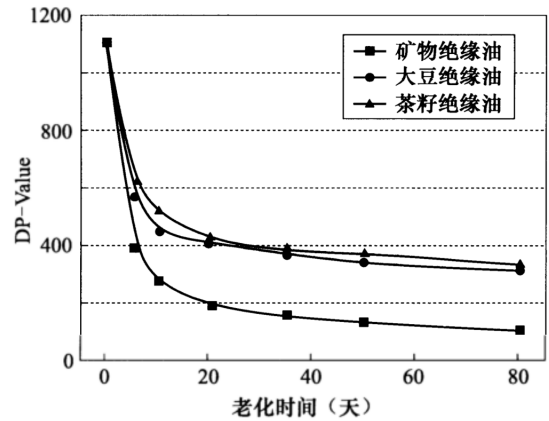


图 C.3 初始水分含量 4%的油浸绝缘纸聚合度变化情况 (130℃加速热老化)

### C.5 相对冷却性能

变压器设计时用到绝缘油的四种冷却性能为：运动黏度、膨胀系数、热导率、热容。其中，运动黏度是最重要的性能，本标准已对其作出明确要求。然而，为了散热设计最优化，需要用到其他三种性能。因此，天然酯绝缘油制造商应告知各自品牌产品的热性能。

---

中 华 人 民 共 和 国  
电 力 行 业 标 准  
电力变压器用天然酯绝缘油选用导则  
DL/T 1811—2018

\*

中国电力出版社出版、发行  
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)  
北京传奇佳彩印刷有限公司印刷

\*

2019年12月第一版 2019年12月北京第一次印刷  
880毫米×1230毫米 16开本 1印张 33千字  
印数 001—300册

\*

统一书号 155198·1501 定价 15.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究  
本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

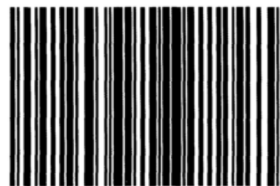


中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供 **最及时、最准确、最权威** 的电力标准信息



155198.1501