

ICS 29.180

K 41

备案号: 63058-2018

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1094 — 2018

代替 DL/T 1094 — 2008

电力变压器用绝缘油选用导则

Guide to the choice of power transformer insulating oil

杭州高电

专业高试铸典范

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 | 电力试验工程服务

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	1
4 变压器油选用原则	2
4.1 通用原则	2
4.2 油基选用原则	2
4.3 油中添加剂选用原则	2
5 变压器油性能要求	2
5.1 220kV 及以下变压器用油	2
5.2 500kV (330kV) 和 750kV 交流变压器用油	2
5.3 换流变压器和特高压交流变压器用油	2
6 包装、运输和贮存	2
6.1 容器	2
6.2 运输和贮存	3
6.3 包装容器标识	3
6.4 供货文件	3
附录 A (规范性附录) 变压器用未使用矿物绝缘油技术要求	4
附录 B (资料性附录) 变压器油的性能指标分类及意义	7

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》的规则编写。

本标准代替 DL/T 1094—2008《电力变压器用绝缘油选用指南》。本标准与 DL/T 1094—2008 相比，除编辑性修改外，主要技术内容变化如下：

- 修改了标准名称；
- 修改了范围（见第1章）；
- 增加了定义“环烷基绝缘油”和“非环烷基绝缘油”（见3.3和3.4）；
- 删除了“3.2.1 链烷烃原子百分组成 $%C_P$ 、3.2.2 环烷烃原子百分组成 $%C_N$ 、3.2.3 芳香碳原子百分组成 $%C_A$ ”和“3.3 环烷基和石蜡基和中间基油”（见2008版3.2.1、3.2.2、3.2.3和3.3）；
- 修改了“4 变压器用油选用原则和技术指标”，拆分为“4 变压器用油选用原则”和“5 变压器用油性能要求”（见第4、5章和2008版4）；
- 修改了“4 变压器用油选用原则”的结构，采用“4.1 通用原则”“4.2 油基选用原则”和“4.3 油中添加剂选用原则”的结构并对内容进行相应修改（见4.1、4.2、4.3）；
- 增加了“4.2 油基选用原则”（见4.2）；
- 删除了验收合格的新油经脱气和过滤净化处理后还应满足的指标要求（见2008版4.3.3）；
- 删除了“5.1 一般要求”（见2008版5.1）；
- 修改了“5 变压器用油技术指标要求”的结构，采用“5.1 220kV及以下变压器用油”“5.2 500kV（330kV）和750kV交流变压器用油”和“5.3 换流变压器和特高压交流变压器用油”的结构，并对内容进行相应修改（见5.1、5.2、5.3）；
- 增加了“6.4 供货文件”中e)条款（见6.4和2008版5.5）；
- 修改了规范性附录B作为附录A，更新至最新版（见附录A和2008版附录B）；
- 修改了资料性附录A作为附录B（见附录B和2008版附录A）；
- 删除了“3.4 最低冷态投运温度”在正文中的内容，放到附录B中（见B.2.1）；
- 删除了附录C，将C.2更新后作为A.3（见附录A.3和2008版附录C）。

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。

本标准起草单位：中国电力科学研究院有限公司、国网辽宁省电力有限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、南方电网科学研究院有限责任公司、国网河南省电力公司电力科学研究院、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网上海市电力公司电力科学研究院、国网吉林省电力有限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、大唐太原第二热电厂、保定天威保变电气股份有限公司、吴江市变压器厂有限公司、开德贸易（上海）有限公司、特变电工衡阳变压器有限公司、上海置信电气股份有限公司、江苏华鹏变压器有限公司、通用电气电网技术中心有限公司、中国石油天然气股份有限公司润滑油分公司、尼纳斯石油（上海）有限公司、壳牌（中国）有限公司。

本标准主要起草人：王健一、李金忠、刘雪丽、张曦、朱华、单玉涛、张淑珍、周志强、王瑞珍、彭伟、林海丹、胡仕红、李云龙、林灿华、胡文斌、贾雪梅、谢文英、于春雷、涂杰、李慧杰、马书杰、李永春、周思源。

本标准代替了 DL/T 1094—2008。

本次修订为第一次修订。

本标准历次发布情况为：

——DL/T 1094—2008。

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矿物绝缘油（以下简称“变压器油”）的选用原则。本标准适用于油浸式电力变压器（电抗器）类电气设备。

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 2536—2011 电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油
 GB/T 2900.5—2013 电工术语 绝缘固体、液体和气体
 GB/T 21222 绝缘液体 雷电冲击击穿电压测定方法
 GB/T 25961 电气绝缘油中腐蚀性硫的试验法
 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 419 电力用油名词术语
 DL/T 929 矿物绝缘油、润滑油结构族组成的测定 红外光谱法
 NB/SH/T 0810 绝缘液在电场和电离作用下析气性测定法
 IEC 60296: 2012 电工用液体——变压器和开关用未使用过的矿物绝缘油 (Fluids for electrotechnical applications — Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear)
 IEC 61125: 1992 未使用过的烃类绝缘油氧化安定性测定法 (Unused hydrocarbon-based insulating liquids - Test methods for evaluating the oxidation stability)

3 术语和定义

DL/T 419 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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

由原油经过分馏和精制而成，油供应商通过标准规定的贮存和运输方式送到交货地点，既未接触过电气设备也未与贮存和运输无关的容器接触过的油品。

3.2

结构族组成 **structure group composition**

分别用 C_A 、 C_N 、 C_P 表示的三种碳原子分布的百分数，将组成复杂的基础油简单看成是由芳香环、环烷环和烷基侧链三种结构组成的单一分子， C_A 、 C_N 、 C_P 分别是芳香环上的碳原子、环烷环上的碳原子和烷基侧链上的碳原子占整个分子总碳数的百分数。

3.3

环烷基绝缘油 **naphthenic insulating oil**

结构族组成中 $C_P < 50\%$ 的矿物绝缘油。

注：改写 GB/T 2900.5—2013，定义 212-17-03。

3.4

非环烷基绝缘油 **non-naphthenic insulating oil**

结构族组成中 $C_P \geq 50\%$ 的矿物绝缘油。

4 变压器油选用原则

4.1 通用原则

4.1.1 变压器油生产商所供油品应经过运行验证，第三方证明具有良好的电气性能、氧化安定性和质量稳定性等。

4.1.2 供油方应提供符合各项指标要求的检测报告，同时说明所加添加剂的种类和含量。

4.1.3 选择变压器油最低冷态投运温度（LCSET）应低于最低月环境平均温度。

4.1.4 当变压器油的油源、生产工艺和添加剂配方改变时，变压器油生产商应及时通知变压器油使用方。

4.2 油基选用原则

4.2.1 220kV 及以下变压器油应采用符合 GB 2536—2011 要求的变压器油。

4.2.2 500kV（330kV）、750kV 交流变压器应优先采用环烷基绝缘油。也可采用经检测、运行证明性能优良的非环烷基绝缘油。

4.2.3 特高压交流变压器和换流变压器应采用环烷基绝缘油。

4.3 油中添加剂选用原则

4.3.1 抗氧化剂可选用 2,6-二叔丁基对甲酚（T501），含量应为 0.2%~0.4%。

4.3.2 油中除抗氧化剂外，不推荐添加其他任何添加剂，除非有公认的并经过大量试验和运行验证的添加剂。

5 变压器油性能要求

5.1 220kV 及以下变压器用油

220kV 及以下变压器用油应符合 GB 2536—2011 中变压器油（通用）技术要求，见附录 A 中表 A.1。变压油的性能指标分类参见附表 B。

5.2 500kV（330kV）和 750kV 交流变压器用油

500kV（330kV）和 750kV 交流变压器用油应符合 GB 2536—2011 中变压器油（特殊）技术要求，见附录 A 中表 A.2。

5.3 换流变压器和特高压交流变压器用油

换流变压器和特高压交流变压器用油应符合 GB 2536—2011 中变压器油（特殊）技术要求，见附录 A 中表 A.2。同时应满足 IEC 60296：2012 中高氧化安定性和低硫含量的要求，见附录 A 中表 A.3。

注：升压变压器、并联和平波电抗器及运行温度较高的变压器用油按照 5.3 条款要求执行。

6 包装、运输和贮存

6.1 容器

6.1.1 变压器油贮存和运输的容器（储罐、汽车罐车、铁路罐车、集装罐、液袋等）包括管线所使用的材质应保证其与变压器油的兼容性。

6.1.2 变压器油所用容器包括管线应和其他油的容器严格分开，防止混油。装变压器油的油罐应有防

潮措施或密闭以避免接触潮湿空气。

6.2 运输和贮存

6.2.1 变压器油在运输和贮存过程中，应防止水和颗粒杂质的混入。

6.2.2 桶装变压器油不应与润滑油或其他油的油桶混放。

6.3 包装容器标识

包装容器上至少应有以下标识：

- 供货方名称；
- 油品名称（包括商品名称、执行标准、最低冷态投运温度、生产批号和产地）；
- 油重。

6.4 供货文件

供货时至少应提供以下文件：

- a) 供货方名称；
- b) 油品名称；
- c) 出厂检验证书及相应的试验报告；
- d) 添加剂的种类和含量；
- e) 对换流变压器、750kV 和特高压交流变压器，除 c) 项提供的试验报告外，油品供应单位还应提供以下测试项目的试验报告：
 - 1) 用 GB/T 21222 方法测试的脉冲击穿电压；
 - 2) 用 DL/T 929 方法测试的结构族组成测定结果；
 - 3) 用 DL/T 285 和 GB/T 25961 方法测试的腐蚀性硫。

附 录 A
(规范性附录)

变压器用未使用矿物绝缘油技术要求

A.1 变压器用未使用矿物绝缘油通用技术要求

GB 2536—2011 规定了变压器用未使用矿物绝缘油通用技术要求，如表 A.1 所示。

表 A.1 变压器用未使用矿物绝缘油通用技术要求

项 目		质 量 指 标				
最低冷态投运温度 (LCSET) ℃		0	-10	-20	-30	-40
倾点 ℃		≤-10	≤-20	≤-30	≤-40	≤-50
功能特性	运动黏度 mm ² /s	40℃	≤12	≤12	≤12	≤12
		0℃	≤1800	—	—	—
		-10℃	—	≤1800	—	—
		-20℃	—	—	≤1800	—
		-30℃	—	—	—	≤1800
		-40℃	—	—	—	≤2500
水含量 mg/kg		≤30/40				
击穿电压 kV	未处理油	≥30				
	经处理油	≥70				
密度 (20℃) kg/m ³		≤895				
介质损耗因数 (90℃)		≤0.005				
外观		清澈透明、无沉淀物和悬浮物				
酸值 (以 KOH 计) mg/g		≤0.01				
水溶性酸或碱		无				
界面张力 mN/m		≥40				
总硫含量 (质量分数) %		无通用要求				
腐蚀性硫		非腐蚀性				
精制/稳定性	抗氧化添加剂含量 (质量分数) %	不含抗氧化添加剂 (U)	检测不出			
		含微抗氧化添加剂 (T)	≤0.08			
		含抗氧化添加剂 (I)	0.08~0.40			
2-糠醛含量 mg/g		≤0.1				

表 A.1 (续)

项 目		质 量 指 标				
最低冷态投运温度 (LCSET) ℃		0	-10	-20	-30	-40
运行特性	氧化安定性 (120℃)					
	试验时间: (U) 不含抗氧化添加剂 油: 164h (T) 含微抗氧化添加剂 油: 332h (I) 含抗氧化添加剂油: 500h	总酸值 (以 KOH 计) mg/g	≤1.2			
		油泥 (质量分数) %	≤0.8			
		介质损耗因数 (90℃)	≤0.500			
健康、 安全和 环保特性 (HSE)	闪点 (闭口) ℃		≥135			
	稠环芳烃 (PCA) 含量 (质量分数) %		≤3			
	多氯联苯 (PCB) 含量 (质量分数) mg/kg		检测不出			

A.2 变压器用未使用矿物绝缘油特殊技术要求

GB 2536—2011 规定了变压器用未使用矿物绝缘油特殊技术要求, 如表 A.2 所示。

表 A.2 变压器用未使用矿物绝缘油特殊技术要求

项 目		质 量 指 标					
最低冷态投运温度 (LCSET) ℃		0	-10	-20	-30	-40	
功能特性	倾点 ℃	≤-10	≤-20	≤-30	≤-40	≤-50	
	运动黏度 mm ² /s	40℃	≤12	≤12	≤12	≤12	≤12
		0℃	≤1800	—	—	—	—
		-10℃	—	≤1800	—	—	—
		-20℃	—	—	≤1800	—	—
		-30℃	—	—	—	≤1800	—
	-40℃	—	—	—	—	≤2500	
	水含量 mg/kg		≤30/40				
	击穿电压 kV	未处理油	≥30				
		经处理油	≥70				
密度 (20℃) kg/m ³		≤895					
苯胺点 ℃		报告					
介质损耗因数 (90℃)		≤0.005					
精制/ 稳定 特性	外观		清澈透明、无沉淀物和悬浮物				
	酸值 (以 KOH 计) mg/g		≤0.01				
	水溶性酸或碱		无				

表 A.2 (续)

项 目		质 量 指 标				
最低冷态投运温度 (LCSET) ℃		0	-10	-20	-30	-40
精制/ 稳定 特性	界面张力 mN/m	≥40				
	总硫含量 (质量分数) %	≤0.15				
	腐蚀性硫	非腐蚀性				
	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				
	2-糠醛含量 mg/g	≤0.05				
运行特性	氧化安定性 (120℃)		≤0.3			
	试验时间: (U) 不含抗氧化添加剂 油: 164h (T) 含微抗氧化添加剂 油: 332h (I) 含抗氧化添加剂油: 500h	总酸值 (以 KOH 计) mg/g	≤0.3			
		油泥 (质量分数) %	≤0.05			
		介质损耗因数 (90℃)	≤0.050			
	析气性 mm ³ /min		报告			
	带电倾向 (ECT) μC/m ³		报告			
健康、 安全和 环保特性 (HSE)	闪点 (闭口) ℃		≥135			
	稠环芳烃 (PCA) 含量 (质量分数) %		≤3			
	多氯联苯 (PCB) 含量 (质量分数) mg/kg		检测不出			

A.3 IEC 60296: 2012 对高温下运行的变压器油经氧化试验后的指标要求

对于在高温下运行的变压器或为延长使用寿命而设计的变压器, 对变压器油经氧化试验后 (按 IEC 61125: 1992 方法 C) 有严格的指标要求, 如表 A.3 所示。

表 A.3 变压器油经氧化试验后的指标要求

总酸值 (以 KOH 计) mg/g	≤0.3
沉淀 %	≤0.05
DDF (90℃)	≤0.050
总硫含量 (氧化试验前) %	≤0.05

附录 B (资料性附录)

变压器油的性能指标分类及意义

B.1 变压器油的性能分类

B.1.1 通常（按检测方法）分类

通常分类分为以下 3 类：

- a) 物理性能：如外观、密度、黏度、闪点、倾点、界面张力等；
- b) 化学性能：如氧化安定性、酸值、硫含量、水含量等；
- c) 电气性能：如击穿电压、介质损耗因数、体积电阻率等。

B.1.2 IEC 60296：2012 分类方法

IEC 60296：2012 分为以下 4 类：

- a) 功能特性：与绝缘和冷却功能相关的性质。包括最低冷态投运温度、黏度、密度、倾点、水含量、击穿电压和介质损耗因数。
- b) 精制与稳定性：受原油的类型、精制的质量及添加剂影响的性质。包括外观、界面张力、硫含量、酸值、腐蚀性硫、抗氧化剂、2-糠醛含量。
- c) 运行性能：油的长期运行条件和（或）对高电场应力和温度的反应相关的性能。包括氧化安定性、析气性和带电倾向性等。
- d) 健康、安全和环境因素：与人体健康、安全运行和环境保护相关的性质。包括闪点、密度、稠环芳烃（PCA）含量和多氯联苯（PCB）含量。

B.2 变压器油性能指标的意义

B.2.1 最低冷态投运温度（LCSET）

变压器油的黏度不大于 $1800\text{mm}^2/\text{s}$ （对应 -40°C 时，黏度应不大于 $2500\text{mm}^2/\text{s}$ ）所对应的温度。最低冷态投运温度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，以免影响油泵、有载分接开关（如果有）的启动。

变压器油的标准最低冷态投运温度为 -30°C ，其他最低冷态投运温度可依据每个地区气候条件的不同，由供需双方协商确定。

B.2.2 功能特性

各功能特性指标的意义如下：

- a) 黏度。黏度是液体流动时内摩擦力的量度，随温度的升高而降低。GB 2536—2011 规定在指定温度下用运动黏度评价变压器油，单位是 mm^2/s 。用黏度的上限值作为对冷却效果的保证。随着温度升高油黏度下降，下降的速率取决于油的化学组分。通常用黏度指数来表示油品黏度随温度变化的特性，黏度指数高表明油品的黏度随温度变化较小。在变压器正常的工作温度下，环烷基绝缘油的黏度指数（viscosity index, VI）低于石蜡基绝缘油。
- b) 倾点。倾点指在规定条件下，被冷却的试样能流动的最低温度，单位为 $^\circ\text{C}$ 。
- c) 水含量。水含量是存在于油品中的水分含量。水在油中的溶解度随温度的升高而增大（采用真

空热油循环干燥变压器的原理), 油中溶解水的能力还随芳香烃含量的增加而增加, 这也是芳香烃含量过高的油的水分含量很难被处理到规定值的原因。油中游离水的存在或在有溶解水的同时遇到有纤维杂质时, 将会降低油的电气强度。把油中含水量控制在较低值, 一方面是防止温度降低时油中游离水的形成, 另外也有利于控制纤维绝缘中的含水量, 还可降低油纸绝缘的劣化速率。

- d) 击穿电压。击穿电压是在规定的试验条件下绝缘体或试样发生击穿时的电压。通常标准规定的均指油在工频电压作用下的击穿电压。它表征油耐受电应力的能力, 该值与油的组成和精制程度等油本质因素无关, 受油中杂质的影响, 影响最大的杂质是水分和纤维, 特别是两者同时存在时。温度对该值也有影响。油品经净化处理后, 不同油的击穿电压都可得到很大提高。因此, 从某种意义上说, 击穿电压不是油品本身的电气特性, 而是对油物理状态的评定。
- e) 密度。密度是指在规定温度下, 单位体积内所含物质的质量, 以 g/cm^3 或 kg/m^3 表示。由于油的密度受温度影响较大, GB 2536—2011 规定的密度是指 20°C 时的值。油品的密度与炼制中切割馏分的温度及其化学组分有关。要求油的密度尽量小一些, 是使油中水分和生成的沉淀物能尽快下沉到油箱的底部。GB 2536—2011 规定油的密度不大于 $0.895\text{g}/\text{cm}^3$, 是为了即使在极低温下因游离水凝结成冰也不致漂浮在油层表面而影响绝缘。油密度发生变化, 可能是轻馏分的蒸发或受到重质油的污染使密度增大, 或混入了轻质油使密度降低, 在油的处理过程中需要注意。
- f) 介质损耗因数 (DDF)。介质损耗因数是在工频电压作用下, 利用电桥测量标准试油杯中流过油的有功电流与无功电流的无量纲的比值, 是检验油的电气性能的方法之一。介质损耗因数是由于介质电导和介质极化的滞后效应, 在油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, 同时还受到油精制程度的影响。介质损耗因数增大, 表明油受到水分、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。

B.2.3 精制与稳定性

各精制与稳定性指标的意义如下:

- a) 酸值。酸值是在规定条件下中和 1g 油中的酸性组分所消耗的 KOH 毫克数。新油的酸值可以达到十分低的程度, 除非受到污染。油经氧化试验后的酸值是评定该油氧化安定性的重要指标之一。它是反映油早期劣化阶段的主要指标, 因此也是运行性能指标。
- b) 界面张力。界面张力指油与纯水 (不相容且极性很强) 之间的界面分子力的作用, 表现为反抗油本身的表面积增大的力。界面张力用来表征油中含有极性组分的量, 单位为 N/cm 或 mN/m 。该指标对油的运行性能没有影响, 但可用于判断油处理过程中是否受到污染和油经运行一段时间后的老化程度。
- c) 总硫含量。油中存在多种有机硫化物, 它与原油的产地及油的原精制工艺质量有关。油在精制 (脱硫) 过程中大量硫化物已被清除, 但仍会有极少量的硫化物存在。因此对总硫含量的测量也是对油的精制工艺和质量的检验。特别应对产自高硫含量原油的制品提出相应指标要求。
- d) 腐蚀性硫。腐蚀性硫指存在于油品中的腐蚀性硫化物 (包括游离硫)。某些活性硫化物对铜、银 (开关触头) 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侵蚀绝缘纸, 从而降低绝缘强度。因此, 变压器油中不允许存在腐蚀性硫。
- e) 抗氧化剂。抗氧化剂是指加入油品中可以抑制其氧化的添加剂。如 2,6-二叔丁基对甲酚 (代号: T501) 抗氧化添加剂, 我国自 20 世纪 60 年代开始在变压器油中加入, 已积累大量运行经验。
- f) 2-糠醛。它是用目前测试方法测到的呋喃化合物中的主要成分 (国内通常称糠醛)。在新油中

2-糠醛表征某些油在炼制过程中经糠醛精制后的残留量，与油性能无关。运行中的油则可由糠醛含量了解变压器中纤维绝缘的老化程度。限制新油中 2-糠醛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。

B.2.4 运行性能

各运行性能指标及其意义如下：

- a) 氧化安定性。它表征油抵抗大气（或氧气）的作用而保持其性质不发生永久变化的能力，是变压器油的一项重要性能指标。变压器油的氧化安定性与其精制程度及组分有关。原超高压油为提高析气性能，在油中添加浓缩芳香烃，结果使油的氧化安定性变差，从油的长期运行稳定性出发是不可取的。GB 2536—2011 规定变压器油的氧化安定性，是由变压器油经过规定条件下的氧化试验后油中的总酸值、沉淀物和介质损耗因数等指标来确定的。IEC 60296: 2012 根据油中是否添加抗氧化剂和添加量的不同，规定了不同的氧化试验时间。对于经常处于高温下运行的变压器中的油，经氧化安定性试验后，其控制指标的要求比一般变压器油均有很大提高（见附录 A.1、A.2 和 A.3）。
- b) 析气性。析气性指绝缘油在电应力作用下烃分子被电离的情况下吸收或释放气体的特性。在 NB/SH/T 0810 规定的试验条件下，当吸收气体量大于释放气体量时，析气速率（ $\mu\text{L}/\text{min}$ ）为负，反之为正。析气速率小的油析气性能相对较好。油在电场作用下吸收气体的实质是：电场的作用使油含有芳香烃中芳环被电离后打开双键，并与游离的氢离子多次结合，最终形成稳定的新环烷烃。析气性所体现的是油的吸氢（吸收氢离子）能力和油被裂解形成的烃类气体（部分溶在油中）在油面反映出的压力变化的综合效应：吸氢使油面压力降低、裂解出的气体使油面压力升高，其结果是油中芳香烃含量逐渐减少，环烷烃含量增加，部分饱和烃被裂解。显然，芳香烃含量越多，可被打开的苯环双键就多，吸气效果越好。如果设备内部存在极低能量的局部放电（以裂解出氢离子为主要特征），油中芳香烃多时，也许会对放电起到抑制作用。但对于变压器，由大量的油中气体分析数据可知，内部有放电故障时除产生有氢外，还有烃类气体和一氧化碳等，只靠芳香烃吸氢是无法抑制放电的，还有可能使潜伏的放电性故障延时发现。更何况人为添加更多芳香烃会带来氧化安定性和绝缘相关的性能变差的问题。因此认为选用变压器油时，不应片面追求高的析气性指标。

B.2.5 健康、安全和环境

各健康、安全和环境指标的意义如下：

- a) 闪点（闭口）。它指在规定的条件下，加热油品所逸出的蒸汽和空气组成的混合物与火焰接触发生瞬间闪火时的最低温度。闭口闪点是用规定的闭口杯闪点测定器所测得的闪点，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。要求变压器油闪点不能过低起初是为了防止变压器油在正常呼吸过程中，因蒸发使油过分耗散，导致油量快速减少使油位过低，降低油的对流循环冷却作用，甚至使铁芯和线圈露出油面，影响安全运行。这种情况基本上只适用于不带储油柜的配电变压器，对一般变压器这种情况已不存在。目前主要是从防火的角度考虑，不希望闪点过低。闪点的降低主要受轻组分变压器油的污染或变压器油中溶解有可燃气体。过去曾用闪点的降低判断变压器内部存在故障，现早已用变压器油中气体分析替代了这一功能，运行中变压器油可不测闪点。
- b) 稠环芳烃（PCA）含量。通常将二环及以上的芳香烃称为多环芳香烃或稠环芳香烃。某些稠环芳烃被认为有致癌作用，因此作为控制指标。从绝缘性能看，稠环芳烃对变压器油的冲击击穿电压有降低作用、对抗氧化性能不利，且具有易吸潮、易产生油流静电等缺点。国外一般采用 IP346 方法测定变压器油中的多环芳香烃。
- c) 多氯联苯（PCB）含量。PCB 指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

到的一些同分异构物 and 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，因此被严格控制。但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。由原油精制而成的变压器油不含任何 PCB，为防止变压器油受到污染 PCB 含量被列入控制指标。