

电力化学试验技能 培训教程

DIANLI HUAXUE SHIYAN JINENG PEIXUN JIAOCHENG

- 主 编 陆国俊 王 勇 黄青丹
- 副主编 罗健斌



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

电力化学试验技能 培训教程

主 编 陆国俊 王 勇 黄青丹

副主编 罗健斌



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

电力化学试验技能培训教程/陆国俊,王勇,黄青丹主编. —广州:华南理工大学出版社, 2014. 12

ISBN 978 - 7 - 5623 - 4200 - 7

I. ①电… II. ①陆… ②王… ③黄… III. ①高压设备 - 高压化学 - 化学实验 - 技术培训 - 教材 IV. ①0643.4 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 187454 号

电力化学试验技能培训教程

陆国俊 王勇 黄青丹 主编

出 版 人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 赖淑华

责任编辑: 方 琅 骆 婷

印 刷 者: 广州市怡升印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 24.25 字数: 621 千

版 次: 2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 3 000 册

定 价: 65.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

《电力化学试验技能培训教程》编辑委员会

主 编：陆国俊 王 勇 黄青丹

副主编：罗健斌

参 编：谭春林 李 刚 王 劲 于文静 刘 静
宋浩永 张德智 吴培伟 李 聃 陈于晴
何彬彬 赵崇智 李柳云 林志勇 徐诗颖
黄慧红 熊 俊 黄炎光 叶建斌 王志军
张亚茹 李 聪 徐 策 陈 博 杜增榕
练穆森 卢 青 陈 俊 栾 乐 易满成
商国东 刘广辉 潘慧文 饶 锐 顾 乐
覃 煜 许 中 陈 雁 张显聪 杨 柳
曹浩恩 夏永强 邓剑平 邓杞绍 黄展帮
郑服利 吕慧媛 裴利强 许诗琪 李助亚
沈伟民 罗道芳 孟祥强 庞 彪

前 言

化学试验是电力企业试验专业的重要组成部分，在电网设备技术监督中发挥了重要作用。如，根据广州电网 2001—2010 年预防性试验发现缺陷的数据统计，变压器缺陷的约 45%，油纸绝缘互感器缺陷的约 72% 是通过化学试验发现的；又如，对于 SF₆ 气体绝缘设备而言，多数缺陷都可以直接或间接地通过化学试验予以发现。随着电力系统的快速发展，化学检测技术将扮演着越来越重要的角色。

过去几年，配合创建国际先进企业工作的开展，广州供电局系统引进了大量先进的检测技术和仪器，进行了大量新技术的应用研究与实践，由于这些测试仪器比较昂贵，对测试人员的技术水平要求也较高，而国内关于这方面的培训教材又相对滞后，因此加快开发满足现场工作需要、符合现代培训发展趋势的技能培训教材就显得极为必要，它既是电网企业全面推进状态检测体系建设的需要，又是实现一体化、大培训建设的需要。为此，广州供电局有限公司电力试验研究院精心组织编写了本套培训教材，以期同电网企业同仁共勉，开展这方面的经验交流。

本培训教材是广州供电局有限公司试验研究院承编的系列试验专业培训教材的第二本。本教材具有以下特点：一是内容完整，是一本体系化的培训教材，从绝缘油及 SF₆ 气体理论知识、常见试验方法、测试仪器、现场设备故障诊断方法及典型案例分析到实验室安全管理、考评试题等都进行了介绍；二是现场应用价值大，对电力系统、大用户变电站及设备制造企业，以及高校从事化学试验的技术、技能人员都有参考价值；三是同类型的培训教材少，现场案例介绍多。

本教材由广州供电局有限公司电力试验研究院组织相关技术人员编写而成。在编写过程中，华南师范大学谭春林老师协助对 1~2 篇相关内容进行了编写，广东电网公司生产设备管理部、广东电网公司电力科学研究院及广东电网下属的东莞、佛山、肇庆、惠州、湛江、揭阳、潮州、清远、茂名、阳江等多家供电局，以及深圳供电局有限公司、广州供电局有限公司相关部门、单位给予了大力支持并提供了部分素材。编写时还引用了相关书籍中的内容，参考了有关专著、文献、标准、规程等。在此，对相关单位、作者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 1 月 12 日

目 录

第一篇 电力用油化学基础知识及试验方法

第一章 电力用油概论	3
第一节 石油及其产品	3
第二节 电力用油	5
第三节 电力用油添加剂	7
第二章 绝缘油的理化性质	10
第一节 外观色泽	10
第二节 密度和相对密度	10
第三节 黏度及黏温特性	12
第四节 凝点、倾点和低温流动性	13
第五节 闪点、燃点、自燃点	14
第六节 机械杂质（颗粒度）	15
第七节 界面张力	15
第八节 苯胺点	17
第九节 油中溶解气体	17
第十节 水溶性酸	19
第十一节 酸值	20
第十二节 水分	21
第十三节 油泥	24
第十四节 活性硫（腐蚀性硫）	24
第十五节 氧化安定性	25
第三章 绝缘油的电气性质	28
第一节 绝缘油的相对介电常数（系数）	28
第二节 击穿电压（绝缘强度）	31
第三节 介质损耗因数	33
第四节 绝缘油的体积电阻率	37
第五节 析气性质	41
第六节 油流带电倾向性	43
第七节 变压器油纸绝缘性能	45

第四章 绝缘油试验方法	51
第一节 油中溶解气体组分和含量的测定	51
第二节 油的密度测定	63
第三节 黏度的测定	65
第四节 闪点的测定	68
第五节 酸值的测定	71
第六节 水溶性酸的测定	76
第七节 抗氧化安定性	81
第八节 T501 抗氧化剂的测定	85
第九节 界面张力的测定	89
第十节 水分测试	91
第十一节 油中含气量测定	95
第十二节 油中糠醛含量的测定	100
第十三节 油中腐蚀性硫的测定	104
第十四节 油泥及沉淀物测定	109
第十五节 油中金属含量测定	109
第十六节 凝点与倾点的测定	112
第十七节 油的机械杂质（颗粒度）测定	114
第十八节 油的击穿电压测定	115
第十九节 油的介质损耗因数测定	119
第二十节 油的体积电阻率测定	121
第二十一节 油的析气性测定	123
第二十二节 油流带电倾向性的测定	125
第二十三节 油纸绝缘性能的测定	127
第二十四节 油的其他测定	129

第二篇 六氟化硫化学基础知识及试验方法

第一章 六氟化硫绝缘气体	133
第一节 六氟化硫气体的理化性质	134
第二节 六氟化硫气体的电气性质	138
第二章 六氟化硫气体试验方法	141
第一节 六氟化硫气体微量水分测定	141
第二节 六氟化硫气体分解物测试	147
第三节 六氟化硫气体密封性能测试	152
第四节 六氟化硫气体的纯度分析	156
第五节 六氟化硫气体密度测定法	160
第六节 六氟化硫气体中酸度测定	163
第七节 六氟化硫气体中可水解氟化物含量测定	168

第八节 六氟化硫气体中矿物油含量红外分析法	174
第九节 六氟化硫气体毒性测试法	178

第三篇 高压设备化学试验综合判断方法及典型案例解析

第一章 油纸绝缘设备综合判断方法及典型案例解析	183
第一节 油纸绝缘设备常见缺陷类型及溶解气体特征	183
第二节 油纸绝缘设备常见故障类型判断方法	186
第三节 油纸绝缘设备典型案例解析	204
第二章 六氟化硫充气设备综合判断方法及典型案例解析	221
第一节 六氟化硫绝缘设备常见缺陷类型及分解物特征	221
第二节 六氟化硫绝缘设备典型案例解析	230

第四篇 化学试验安全管理

第一章 六氟化硫气体及毒性	255
第一节 六氟化硫气体与温室效应	255
第二节 六氟化硫气体及分解物的毒性问题	256
第二章 变压器油的化学危害	260

第五篇 化学试验考评试题

第一章 化学基础水平测试	263
第二章 电力化学试验技能测试	273
第一节 油务员初级工题库	273
第二节 油务员中级工题库	287
第三节 油务员高级工题库	304
第四节 化验员技师题库	323
第三章 化学试验安全知识测试	341
附录 危险化学品安全管理规范	345
附一 危险化学品储存及仓库建设安全规范	345
附二 化学品安全说明书 (MSDS)	350
参考文献	376

第一篇 电力用油化学基础知识 及试验方法

第一章 电力用油概论

第一节 石油及其产品

一、石油

石油是一种液态的，以烃类化合物为主要成分的矿产品。原油是天然石油，而人造石油是从煤或油页岩中提炼出的液态烃类化合物。组成原油的主要元素是碳(83%~87%)、氢(11%~14%)，此外还有硫(0.06%~0.8%)、氮(0.02%~1.7%)、氧(0.08%~1.82%)及微量金属元素。其中，主要元素C、H共占96%~99%，次要元素O、N、S合计小于1%，非金属元素包括Cl、S、I、P等，微量金属元素包括Fe、Cu、Zn、Ca、Mg、K等。

二、石油中的烃类化合物

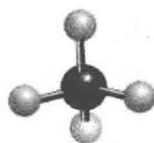
石油及其成品油主要是链烷烃(饱和烃，通式为 C_nH_{2n+2})、环烷烃(饱和烃，通式为 $C_nH_{2n}(n \geq 3)$)、烯烃(不饱和烃，通式为 $C_nH_{2n}(n \geq 2)$)、炔烃(不饱和烃，通式为 $C_nH_{2n-2}(n \geq 2)$)、芳香烃(通式为 $C_nH_{2n-6}(n \geq 6)$)，如苯 C_6H_6 、甲苯 $C_6H_5CH_3$)等，这些烃类的组成和含量在不同石油及其馏分中各不相同。

1. 链烷烃

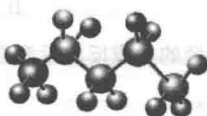
链烷烃为饱和烃(saturated group)，是只有碳碳单键和碳氢键两种键的烃，除烃分子里的碳原子之间以单键结合成链状(直链或含支链)外，其余化合价全部为氢原子所饱和。烷烃是最简单的一类有机化合物(图1-1-1为甲烷的结构)，链烷烃分子中，氢原子的数目达到最大值，链烷烃的通式为 C_nH_{2n+2} ，见图1-1-2。



I 比例模型



II 球棍模型



$CH_3-(CH_2)_3-CH_3$

I 正戊烷



$CH_3-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$

II 异戊烷



$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3-C-CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}$

III 新戊烷

图1-1-1 甲烷的结构

图1-1-2 戊烷的同分异构体

常温下, $C_1 \sim C_4$ 的烷烃是气体, $C_5 \sim C_{17}$ 的烷烃是液体, C_{18} 以上的烷烃为固体。固体烷烃通常称为石蜡。在绝缘油的烃类中, 烷烃的热稳定性是最差的, 链烷烃的抗氧化安定性比环烷烃差, 但对抗氧化剂的感受性较好, 它仍是作为绝缘油的良好成分。

2. 环烷烃

环烷烃的通式为 C_nH_{2n} ($n \geq 3$), 碳原子之间以单键结合并首尾相连成环状, 其余化合价全部为氢原子所饱和。环烷烃的稳定性与其环的几何形状和角张力有关。因此, 三元和四元环的环烷烃化学性质比较活泼, 五元以上的环烷烃的性质与链烷烃相似, 比较稳定。图 1-1-3 和图 1-1-4 分别为环丙烷和环戊烷的结构图。

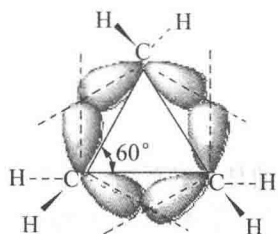


图 1-1-3 环丙烷中的“弯曲键”

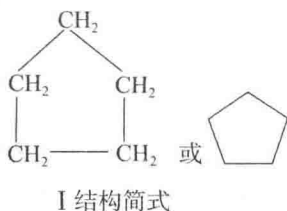


图 1-1-4 环戊烷的结构

绝缘油中环烷烃的存在使油具有良好的介电性能及抗氧化安定性, 同时, 它对抗氧化剂也有良好的感受性。

3. 烯烃

石油原油中几乎不含烯烃, 但它在石油高温裂解过程中会大量产生。烯烃的结构特征是分子中含有碳碳双键 ($C=C$), 是一种不饱和烃, 其化学通式为 C_nH_{2n} ($n \geq 2$), 最简单的烯烃是乙烯 ($H_2C=CH_2$)。

烯烃的化学性质活泼, 易燃, 可以发生多种反应。双键基团是烯烃分子中的官能团, 双键中有一根易断, 所以会发生加成反应 (图 1-1-5)。例如, 可发生氢化、卤化、水合、卤氢化、次卤酸化、硫酸酯化、环氧化、聚合等加成反应; 还可氧化发生双键的断裂, 生成醛、羧酸等。

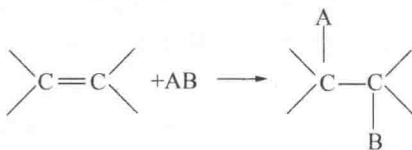


图 1-1-5 烯烃的加成反应示意图

4. 炔烃

炔烃是一类不饱和烃, 其官能团为碳碳三键 ($C \equiv C$), 通式为 C_nH_{2n-2} ($n \geq 2$)。简单的炔烃化合物有乙炔 (C_2H_2 , $HC \equiv CH$)、丙炔 (C_3H_4 , $CH_3-C \equiv CH$) 等。炔烃原来也被叫作电石气, 电石气通常也被用来特指炔烃中最简单的乙炔。

在绝缘油中一般不含炔烃, 但在电弧作用下, 油的分解产物中往往会有小分子炔烃, 如乙炔。如果绝缘油中存在烯烃和炔烃, 将大大降低其抗氧化能力。

5. 芳香烃

芳香烃简称芳烃(aromatic hydrocarbons),为苯及其衍生物的总称,是指分子结构中含有一个或者多个苯环的烃类化合物。苯(图 1-1-6)是最简单的一种芳香烃,芳香族化合物皆由其衍生而成。

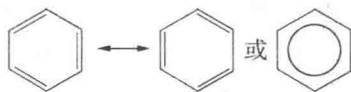


图 1-1-6 苯的共振结构

芳香烃的苯环在 1000℃ 以上才开始发生开环分解反应,其热稳定性较好。它在绝缘油中起到天然抗氧化剂的作用,有利于改善油的抗氧化安定性与介电稳定性,并具有析气性能,对改善绝缘油的析气性有重要的作用。但是,油中芳香烃成分过多时,将使油的安定性变差。因此,使绝缘油氧化最少且无析气性的芳香烃含量为最佳含量。

第二节 电力用油

一、电力用油的分类标准

石油及其产品的种类繁多,这里仅介绍电力用油部分。按烃类组成的含量多少,可将石油产品分为石蜡基油(烷烃含量超过 50%)、环烷基油(环烷烃含量超过 50%)、混合基油(含链烷烃、环烷烃和芳香烃)。我国国标 GB/T 498—2014 中参照国际标准 ISO 8681—1986 关于石油产品和润滑剂分类方法(表 1-1-1)中的分法,将电力用油归为“润滑剂、工业润滑油和有关产品”(Lubricants industrial oils and related products)的 L 类。

表 1-1-1 ISO 8681—1986《石油产品和润滑剂的分类方法和类别的确定》

类别	相应含义
F	燃料(Fuels)
S	溶剂和化工原料(Solvents and raw materials for the chemical industry)
L	润滑剂、工业润滑油和有关产品(Lubricants industrial oils and related products)
W	蜡(Waxes)
B	沥青(Bitumen)

电力用油按用途又可划分为:绝缘油、汽轮机油、抗燃油。其中,汽轮机油可归为润滑油,抗燃油可归为液压油。本书介绍的电力用油主要为电气设备的绝缘油。

关于绝缘油的分类,国际电工委员会(IEC)制定了绝缘油的一般分类标准(IEC 1039—1990),按照燃点和热值划分了绝缘油的分类标准,我国等效采用 IEC 1039—1990,制定了绝缘液体分类标准 GB/T 7631.15—1998(表 1-1-2)。每个品种由两个字母和数字组成的代号表示。第 1 个字母 N 表示该油品所属组别,即绝缘液体;第 2 个字母表示该产品的主要应用范围,其中 C 表示用于电容器, T 表示用于变压器和开关, Y 表示用于电缆。

表 1-1-2 电气绝缘油分类标准(GB/T 7631.15—1998)

类别	组别	IEC 号	IEC 出版物小分类	参考资料
L	NT	296	I, II, III	IEC296, 矿物油
	NT	296	IA, IIA, IIIA	IEC296, 加抑制剂矿物油
	NY	465	I, II, III	IEC465, 电缆油
	NC	588	C-1, C-2	IEC588, 电容器用氯化联苯
	NT	588	T-1, T-2, T-3, T-4	IEC588, 变压器用氯化联苯
	NY	867	11	IEC867, 第 1 部分, 烷基苯
	NC	867	2	IEC867, 第 2 部分, 烷基二苯基乙烷
	NC	867	3	IEC867, 第 3 部分, 烷基萘
	NT	836	1	IEC836, 硅液体
	NY	963	1	IEC963, 聚丁烯

二、电力用油的作用及名称

在充油电气设备中，绝缘油主要具有绝缘、散热和灭弧的作用。

1. 绝缘作用

绝缘油的介电常数为 2.25，而空气的介电常数为 1.0，同样情况下，油的绝缘强度远大于空气。因此，在相同的电场强度下，油绝缘变压器的体积远远小于空气绝缘变压器。充油电气设备采用油作为绝缘的重要原因是其介电性能高，随着油品质量的提高，设备的安全系数就越大。

2. 散热作用

电气设备在带电运行过程中，由于有电流通过，必然因各种损耗产生发热，如果热量蓄积导致电气设备内部温度上升过高，会损坏电气设备。对于变压器更是如此，温度过高会损坏变压器绕组的固体绝缘，导致绕组烧毁。同时，变压器绝缘纸在 90℃ 左右就会加速劣化。油的循环可以使热量散发出来，起到冷却的作用，保证设备各个部分的温度在允许值以下。目前，变压器的冷却方式有自然循环冷却、自然风冷、强油循环风冷和强油循环水冷等多种方式。

3. 灭弧作用

在开关设备中，绝缘还可起到灭弧的作用。当油浸开关切断或者切换电力负荷时，触头间会产生电弧。由于电弧温度很高，很容易将设备烧毁。绝缘油通过自身气化和剧烈的热分解，吸收大量热量；同时，绝缘油分解产生的气体中，氢气含量约为 70%，氢气的导热系数较大，可以吸收大量热量，冷却开关触头，达到消弧、灭弧的目的。

由于充电电气设备对绝缘油的性能特点要求不同，绝缘油又可分为：变压器油、超高压变压器油、电容器油、断路器油、高压充油电缆油。我国目前生产的变压器油按其低温流动性(凝固点和倾点)分为 10 号、25 号、45 号 3 个牌号。10 号和 25 号变压器油的凝固

点不低于-45℃。我国按照变压器的规格又将其分为超高压变压器油(500kV)、普通变压器油(330kV及以下)。选用变压器油的依据是以极低气温不低于且靠近牌号的凝固点的油品为标准。如牌号为25号,适用于极低气温低于-10℃且不低于-25℃的地区;45号适用于极低气温低于-25℃的地区。

汽轮机油在设备中主要起润滑、冷却散热、调速和密封作用,按其40℃时的运动黏度将汽轮机油分为32号、46号、68号、100号4个牌号。

电力系统中使用的抗燃油为合成磷酸脂,具有难燃性和抗压性,其某些特性与绝缘油和汽轮机油不同,本书不再介绍。

电力用油的分类及名称见表1-1-3。

表 1-1-3 电力用油的分类及名称

类别	组别	名称
绝缘油	变压器油	10号、25号、45号3个牌号变压器油
	超高压变压器油	按SH 0040—1991《超高压变压器油》标准分为25号、45号2个牌号
	电容器油	按GB 4624—1988《电容器油》依据用途分为1号和2号2个牌号
	断路器油	按SH 0351—1992《断路器油》标准只有一个牌号
	高压充油电缆油	只有企业标准一种牌号
润滑油	汽轮机油	32号、46号、68号和100号4个牌号汽轮机油
抗燃油	重油	60号、100号和200号3个牌号重油
	渣油	渣油

第三节 电力用油添加剂

我国石油化工行业标准SH/T 0389—1992《石油添加剂的分类》中按应用场合的不同,将石油添加剂分为润滑剂添加剂、燃油添加剂、复合添加剂和其他添加剂4种,类编名称用汉语拼音字母“T”表示,石油添加剂的种类及分组情况见表1-1-4。电力用油中添加剂大部分都属于润滑剂添加剂,其名称用代号表示,名称第一个(或前两个)数字表示该品种所属组别。例如常用的T501抗氧化剂,其中“T”表示类别,即石油添加剂类,“501”表示品种,即抗氧化剂和金属减活剂中的2,6-二叔丁基对甲酚,而“5”表示润滑剂添加剂部分中抗氧化剂和金属减活剂的组别号。再如,常见的汽轮机防锈剂,十二烷基丁二酸代号为T746,抗泡沫剂甲基硅油的代号为T901。

而在电力用油的制备和处理过程中,为了改善某一项指标特性,满足电力用油的性能需要,也需要添加适量的添加剂。电力用油的常用添加剂包括抗氧化剂、抑制剂、改性剂、破乳化剂、防锈剂,等等。但是在绝缘油中,这些添加剂可能会影响其电气性能,已有标准规定,除抗氧化剂外,变压器油中不得加任何添加剂。

表 1-1-4 石油添加剂的种类及分组情况

组别		组号	组别		组号
润滑剂添加剂	清洁剂、分散剂	1	燃料添加剂	消烟剂	20
	抗氧防腐剂	2		助燃剂	21
	极压抗磨剂	3		十六烷值改进剂	22
	油性剂、摩擦改进剂	4		清洁分散剂	23
	抗氧化剂、金属减活剂	5		热安定剂	24
	黏度指数改进剂	6		染色剂	25
	防锈剂	7		汽油机油复合剂	30
	降凝剂	8		柴油机油复合剂	31
	抗泡沫剂	9		通用汽车发动机油复合剂	32
	其他润滑剂添加剂	10		二冲程汽油机油复合剂	33
燃料添加剂	抗爆剂	11	复合添加剂	铁路机车油复合剂	34
	金属钝化剂	12		船用发动机油复合剂	35
	防冰剂	13		工业齿轮油复合剂	40
	抗氧防胶剂	14		车辆齿轮油复合剂	41
	抗静电剂	15		通用齿轮油复合剂	42
	抗磨剂	16		液压油复合剂	50
	抗烧蚀剂	17		工业润滑油复合剂	60
	流动改进剂	18		防锈油复合剂	70
	防腐蚀剂	19			

1. T501 抗氧化的作用机理

目前电力系统防止油质劣化措施之一，是采用油中添加抗氧化剂的方法，其目的是减缓油品老化速度，使油在设备中长期稳定运行。

抗氧化剂的种类很多，目前电力系统广为采用的抗氧化剂是 2，6-二叔丁基对甲酚，亦称烷基酚。石油部统一代号为 T501，一般新油在出厂时皆添加，一般添加量为 0.3%。

T501 抗氧化剂之所以能延缓油的氧化，主要是它能与油中在自动氧化过程中生成的活性自由基($R\cdot$)和过氧化物($ROO\cdot$)发生反应，形成稳定的化合物，从而消耗了油中生成的自由基，阻止了油分子自身的氧化进程。具体反应式见图 1-1-7、图 1-1-8。

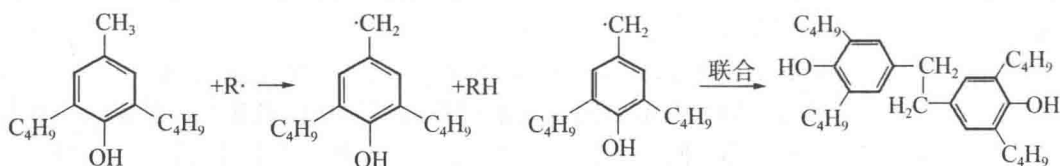


图 1-1-7

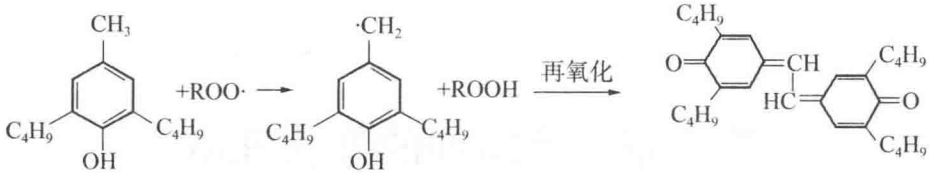


图 1-1-8

而抗氧化剂自身的过氧化物，又可以进一步相互联合和再氧化，最终形成稳定的化学产物。

2. T501 含量分析

油中添加抗氧化剂，主要是为延长油的诱导期；在油氧化的自催化阶段加入氧化剂，主要是为中断其链式反应，抑制油的继续氧化。因此，抗氧化剂本身是不断消耗的。

运行中采用添加 T501 抗氧化剂作为防劣措施时，由于抗氧化剂在运行中逐渐消耗，因此要定期测定油中 T501 的含量。实践证明，要保持运行中油质良好，即使油的氧化速度缓慢，则 T501 在油中的余量不能低于 0.15%（质量分数），也就是说，油中 T501 含量下降到接近 0.15% 时，就要及时补加，一般补加到油中 T501 的含量为 0.3%。

T501 含量检测方法主要为：

(1) 分光光度法 (GB 7602、3—2008)。此方法是以石油醚、乙醇作溶剂，磷钼酸作显色剂，基于 T501 在碱性溶液中生成钼蓝络合物，利用其溶于水的性质，根据钼蓝水溶液的颜色深浅，用分光光度计进行比色测定其含量。

(2) 薄层层析法。该法是依据层析原理，用硅胶层析板将试油中被测组分与其他组分分离后，以磷钼酸显色，按被测组分斑点颜色深浅及大小，与标准油样斑点比较来确定其含量。该法为半定量，能粗略测出油中 T501 含量，常被现场采用。

(3) 红外光谱法。变压器油、汽轮机油中 T501 抗氧化剂含量测定法 (红外光谱法) 系等效采用 ASTM D 2668—67 (77: 82) 方法。该法是利用变压器油和汽轮机油中添加的 T501 抗氧化剂后，在 3650cm^{-1} ($2.74\mu\text{m}$) 处出现酚羟基伸缩振动吸收峰，该吸收峰的吸光度与其浓度成正比关系，通过绘制标准曲线，从而求出其质量分数。该法准确度高，但仪器较昂贵，目前只被科研部门采用。

检测方法的具体流程将在本篇第四章第八节详细介绍。