

供电企业岗位技能培训教材

G O N G D I A N Q I Y E

GANGWEI JINENG
PEIXUNJIAOCAI

油务化验

山西省电力公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



供电企业岗位技能培训教材

油 务 化 验

山西省电力公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内容提要

《供电企业岗位技能培训教材》丛书由山西省电力公司组织编写，该套教材的编撰贯彻了“以现场需求为导向，以提高技能为核心”的指导思想，立足现场、力求实用，旨在提高职工解决实际问题的能力。丛书第一批 11 个分册，包括变电运行、线路运行与维护、电网自动化、电网调度、继电保护、变电检修、用电检查、业扩报装、电能计量、抄表核算收费和 95598 客户服务；第二批 8 个分册，包括配电线路运行与维护、电力电缆、输配电线路带电作业、电力通信、农网营销、农网配电、电气试验和油务化验。

本书为《油务化验》分册，根据油务化验岗位相关知识与技能要求进行编写。全书共分四章，主要内容包括概述、变压器油的质量控制与维护、变压器油中溶解气体分析及故障诊断、SF₆ 气体在电气设备中的应用。每章后均附有复习思考题。

本书可作为供电企业油务化验专业技术人员的培训教材，也可供相关专业技术与管理参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

油务化验/山西省电力公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 3

供电企业岗位技能培训教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2820 - 4

I. ①油… II. ①山… III. ①油质化验—技术培训—教材
IV. ①TE622

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 047669 号

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)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 298 千字

印数 0001—3000 册 定价 40.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《供电企业岗位技能培训教材》

编 委 会

主 任 王抒祥

副主任 曹福成 胡庆辉 王礼田 (常务)

委 员 张兴国 史更林 康成平 张 强 魏 琦
陈佩琳 左德锦 张薛鸿 霍建业 张雅明
楼鸿平 褚艳芳 王康宁 张文芳 崔作让
卢保喜 燕争上 丁少军 张学荣 韩海安
张占彪 赵文元 史小报 杨宇松 刘随胜
王文贤 王爱寿

主 编 丁少军

副主编 张冠昌 牛泓生 郭林虎

编 委 杨 澜 韩亚娟 齐 玮

《油务化验》编写组

组 长 张永斌
副 组 长 都金旺
成 员 李华文 陈山中 康 健 弓红斌
郭政斌 吴怀玉
主 编 李华文
副 主 编 陈山中 郭政斌 吴怀玉
顾 问 郭林虎
主 审 毛晋生
参编人员 韩 洁 吴洁珊 陈昱同 范 亮
梁 伟 王庆明 郭建宏

电力工业是关系国计民生的基础能源产业，电网的稳定运行直接关系到国民经济的发展。2008年年初的南方冰雪灾害更让人们深刻体会到电网的安全运行对人民群众日常生活的重要性。当前，电力工业已进入大机组、高参数、高电压、高自动化的发展时期，新技术、新设备、新工艺不断涌现，现代电力企业对职工的专业技能水平提出了更高的要求。要实现国家电网公司“一强三优”的企业目标，广大的电力工作者就必须不断地学习新技术、新知识、新技能，全面提高自身的综合素质。

山西省电力公司一直高度重视职工的教育培训工作，把该项工作重点纳入企业的发展规划当中，不断加大培训的投入力度，努力创建学习型企业。为适应新形势下员工培训的需求，使员工培训做到有章可循、有据可依，山西省电力公司组织编写了《供电企业岗位技能培训教材》，内容涵盖了变电运行、线路运行与维护、变电检修、继电保护、电网调度、电网自动化、电力营销等专业领域。本套教材的编撰贯彻了“以现场需求为导向，以提高技能为核心”的指导思想，力求从实用角度出发，提高职工解决实际问题的能力，更适合一线职工学习和提高技能的需要。同以往的培训教材相比，本套教材具有以下特点：

(1) 在整套教材的编写中突出了对实际操作技能的要求，不再人为地划分初、中、高技术等级，不同技术等级的培训可以根据实际情况，从教材中选取相关内容。在每一章结束时，均附有复习思考题，对本章的重点和难点内容进行温故，便于读者自学参考。

(2) 教材的编写体现了为企业服务的原则，面向生产、面向实际，以提高岗位技能为导向，强调“缺什么补什么、干什么学什么”的原则。

(3) 教材力求更多地反映当前的新技术、新设备、新工艺以及有关生产管理、质量监督和专业技术发展动态的内容。

《供电企业岗位技能培训教材》的编写人员主要由山西省电力公司的技术专家、多年从事教学工作的高级讲师组成，在编写前期经过了充分地论证，编写过程中经过了数次审定、多次修改，历时数月，终于告罄。在此，谨希望本套教材的出版，对广大电力职工技能水平的提高起到一定的指导作用，为建设“一强三优”的现代企业作出更大的贡献！

王抒洋

2008年8月

随着电力工业的迅速发展和技术装备水平的提高，大容量、高电压发供电设备逐渐增多，电力用油（气）技术监督已经成为供电部门的一项重要技术监督工作，对保障电力生产安全经济运行起着重要的作用，这就对油务化验工作的质量以及从事油化验工作人员的理论知识和实际操作技能提出了更高的要求。为此，编者从理论知识与实际操作有机融合出发，紧贴电力企业生产实际，以具体操作为主线，编写了《油务化验》一书。本书将重点解决油务化验人员关于“干什么，怎么干”的问题，力求使油务化验人员通过学习本书能够切实解决工作中遇到的实际问题，从而提高技能水平。

《油务化验》共分四章，第一章为概述，主要介绍变压器油和分析化学的基础知识；第二章为变压器油的质量控制与维护，详细介绍变压器油的检测周期与检测项目、质量监督、维护措施和净化处理；第三章为变压器油中溶解气体分析及故障诊断，主要介绍油中溶解气体色谱分析法、故障诊断和油中溶解气体在线监测技术；第四章讲述 SF₆ 气体在电气设备中的应用，主要介绍 SF₆ 气体的质量检验和 SF₆ 气体的管理。附录 A 和附录 B 分别给出了油品化验室和缺陷诊断的相关知识。附录 C 为变压器油相关标准目录。本书中提到的标准仅给出标准号，具体名称可查阅附录 C。

本书在编写过程中，得到了山西省电力公司的大力支持，在此由衷地表示感谢。

由于编者时间仓促、经验不足，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2011 年 12 月

序

前言

第一章 概述	1
第一节 电力系统的油务监督	1
第二节 变压器油基础知识	3
第三节 分析化学基础	7
复习思考题	17
第二章 变压器油的质量控制与维护	18
第一节 变压器油的检测周期与检测项目	18
第二节 变压器油的质量监督	64
第三节 变压器油的维护措施	71
第四节 变压器油的净化处理	75
复习思考题	88
第三章 变压器油中溶解气体分析及故障诊断	90
第一节 气相色谱分析基础知识	90
第二节 油中溶解气体色谱分析法	105
第三节 故障诊断	120
第四节 油中溶解气体在线监测技术	137
复习思考题	139
第四章 SF₆ 气体在电气设备中的应用	140
第一节 SF ₆ 气体的质量检验	140
第二节 SF ₆ 气体的管理	167
复习思考题	175
附录 A 油品化验室相关知识	177
A.1 化验室环境要求	177
A.2 化验室安全守则	177
附录 B 缺陷诊断	187
B.1 各类故障的相关状态量（见表 B-1）	187
B.2 故障原因分析判断	188
附录 C 变压器油相关标准目录	190
参考文献	192

概 述

电力用油（气）是指电力行业使用的几种主要油品，即变压器绝缘油（包括矿物和合成油品）和 SF₆（六氟化硫）气体绝缘介质；汽轮机（含水轮机）用润滑油和磷酸酯抗燃油（液）两大类。电力用油（气）是充油（气）电气设备中的“血液”，运行中油、气品质的变化在一定程度上可以反映出电力设备的安全状况，因此，对电力用油（气）的质量进行监督是非常重要的和必要的。本书将着重针对变压器绝缘油（除电缆油和电容器油之外）和 SF₆ 气体绝缘介质展开详细介绍。

本章主要介绍油务监督的工作内容和 workflows，以及油务化验过程中所涉及的基础知识：①变压器油基础知识，包括变压器油的化学组成、用途、分类及特性要求；②分析化学基础知识，包括溶液的配制与标定、酸碱滴定法、萃取、天平与玻璃量器的使用方法以及误差的来源及性质等。

第一节 电力系统的油务监督

目前电力系统中使用的绝缘油绝大多数是矿物油。运行中的油品由于受到运行条件的影响，会不断老化形成老化产物，如果不按照相关标准要求进行油质检验和维护管理工作，油的老化产物就可能对设备造成损害，进而威胁电网的安全运行，甚至造成事故。因此油务监督工作的好坏、油质的合格与否，直接影响到电力系统充油设备的使用寿命和电力生产的安全经济运行。

一、工作内容

电力系统的油务监督是化学监督的一个重要内容，其工作内容是：坚持“预防为主”的方针，认真贯彻国家和电力行业有关规程，广泛加强油质监督，开展气相色谱检测以排除充油电气设备的潜伏性故障，防止油质劣化，并围绕电力油品，对试验方法、新材料、新技术进行研究开发，制订和采取油质维护有效措施等。具体工作包括以下六项：

(1) 变压器油的质量监督。对油品进行采样、试验及分析，根据试验结果分析油质存在的问题，提出处理意见，并与有关部门协作，避免因油质问题造成电气设备故障。

1) 新油的验收及保管。新油采样、混合样品及试验的全过程应严格按照有关规程和方法的要求进行，并留存油品的初始试验数据。

2) 运行油的监督维护（设备和系统检修时的监督检查和验收），应按照 GB/T 7595 和 GB/T 14542 执行。

(2) 变压器油的维护。通过采取防劣措施、净化处理、更换等手段，认真做好变压器油的维护工作，以延长变压器油的寿命，确保充油设备的安全运行。

(3) 变压器油中溶解气体分析与故障诊断。主要是通过对变压器油中溶解气体进行色谱

分析判断充油设备有无异常，若存在故障，进一步判断故障类型、故障部位。

(4) SF₆ 绝缘气体的验收、监督与维护。

(5) 建立油务监督及运行维护的记录、台账，掌握油质运行工况，积累运行数据，总结油质运行规律。

(6) 针对提高油质检测技术、防止油质劣化、延长油品寿命等问题，开展试验研究工作。

二、工作流程

油务化验的工作流程如下：

(1) 工区生产技术股绝缘专责根据检修计划并结合油样试验周期下达油务化验任务。

(2) 油务化验班班长接到任务后，指定工作负责人并确定工作人员（包括取样人员及试验人员）。油务化验人员进行试验操作时，试验人数不得少于两人。

(3) 取样人员在工作负责人的监护下，核对设备基本信息（名称、编号等）后，按照相关规程要求取油（气）样。

(4) 试验负责人在明确试验性质、确定试验项目后，对试验人员进行分工，做试验前准备工作，对试验仪器进行调试和性能审核，使仪器进入最佳试验状态。

(5) 油样送达试验室后，试验负责人对油样标签进行核对并登入《来样登记表》。

(6) 试验负责人检查试验仪器状态良好，开始试验，同时记录试验数据。

(7) 试验完毕后，试验负责人结合历史数据对本次试验数据进行分析。若本次设备试验数据与历史数据差异较大或存在问题，需重新取样进行复测。

(8) 复测数据若仍存在问题，需及时上报工区生产技术股，由绝缘专责结合电气试验、

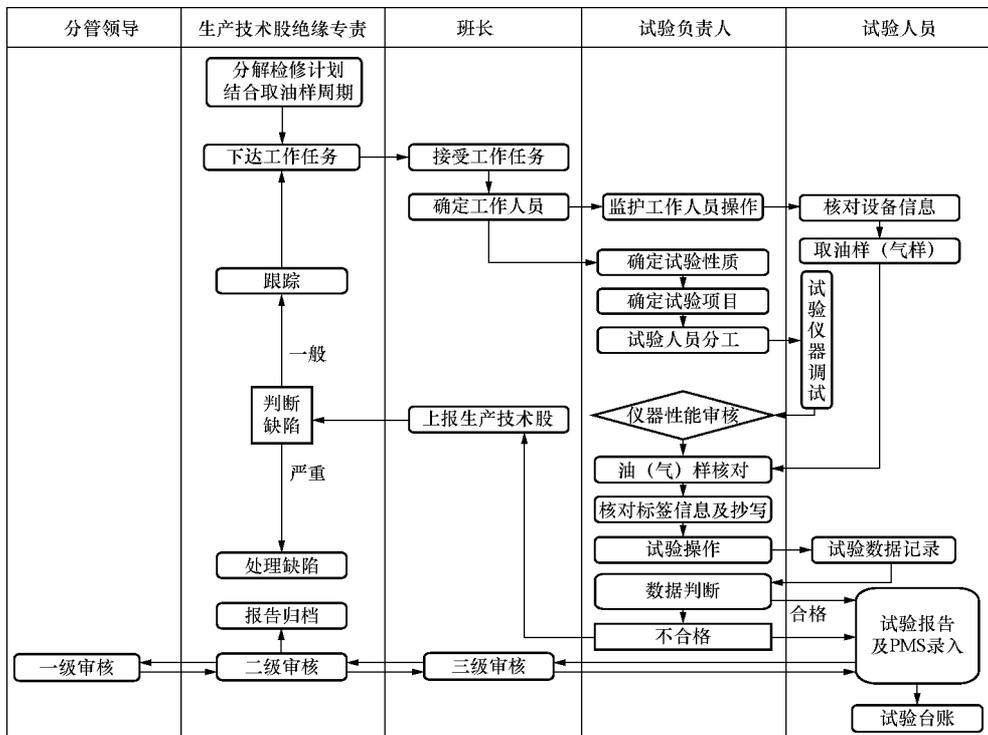


图 1-1 油务化验工作流程图

设备运行工况等进行缺陷的综合判断，根据缺陷情况，立刻组织相关人员进行相应处理。

(9) 试验负责人组织试验人员打印试验报告，试验报告经班长、生产技术股绝缘专责、分管领导进行逐级审核，并将反馈意见统一录入生产管理系统（PMS）及试验台账。同时生产技术股对报告进行归档。

进行以上各项工作时，油务化验人员须依据 GB 50150—2006、DL/T 393—2010、GB/T 7252—2001 等相关标准规范进行。

油务化验工作流程如图 1-1 所示。

第二节 变压器油基础知识

所谓变压器油，是指适用于变压器、电抗器、互感器、套管、油开关等充油电气设备中，起绝缘、散热冷却、熄灭电弧和保护绝缘材料作用的一类绝缘油品。由于历史沿袭，本书中仍沿用“变压器油”这一名称，代替国际上常用的术语“矿物绝缘油”或“变压器绝缘油”。

一、变压器油的化学组成

由于变压器油是由石油精炼而成的一种精加工产品，因此有必要简要了解一下石油的化学组成。

石油又称原油，是一种有气味的黏稠状可燃性液体矿物，通常比水轻，密度为 $0.75\sim 1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。石油多为暗黑色、褐色或暗绿色，可发出绿色或蓝色荧光。石油所含胶质、沥青质的含量越高，颜色越深。一般而言，石油的颜色越浅，油质越好。

(一) 石油的元素组成

石油是由多种元素组成的，其中最主要的是碳（C）和氢（H）。通常碳含量为 $84\%\sim 85\%$ ，氢含量为 $12\%\sim 14\%$ ，还有少量的硫（S）、氧（O）、氮（N）约占 1% 。此外，在石油中还发现有微量的铁、铝、钙、钾、镁、镍、锰、铜、钒等金属元素以及砷、碘、磷、氯等非金属元素，这些元素均以化合物形式存在。

国内外几种石油的主要元素组成见表 1-1。

表 1-1 国内外几种石油的主要元素组成（重量%）

石油产地 \ 主要元素	C	H	S	N	O
克拉玛依	86.13	13.30	0.04	0.25	0.28
大港	85.67	12.90	0.12	0.23	—
大庆	85.47	12.21	0.11	0.27	0.24
胜利	85.31	12.36	0.90	0.24	1.26
印度	86.50	12.40	0.35	0.13	0.68
宾夕法尼亚州（美）	85.80	14.00	0.10	0.10	—
墨西哥	84.20	11.40	3.60	—	0.80
伊朗	85.40	12.80	1.06	0.74	—
杜依玛兹（苏联）	85.33	12.73	1.47	0.14	0.33

注 表中数据并非恒定值，仅为某一时期的实测值。

(二) 石油的烃类组成

石油中基本的有机化合物是烃类（只含碳和氢两种元素），主要有烷烃、环烷烃和芳香烃。除个别种类的原油外，一般的原油中不存在不饱和烃，裂化及高温热解后会有一定量不饱和烃产生。不饱和烃安定性差，是油中的有害成分，应完全从油中去除。

不同的烃类对石油产品性质的影响各不相同。根据石油中所含烃类成分的不同，可分为石蜡基石油、环烷基石油和中间基石油三类。石蜡基石油含烷烃较多；环烷基石油含环烷烃、芳香烃较多；中间基石油介于两者之间。我国的原油以石蜡基居多，如大庆、南阳、中原原油；克拉玛依原油多为环烷基石油；胜利、江汉原油属中间基石油。

1. 烷烃

烷烃即饱和烃，又称石蜡，是指分子中碳原子之间是以单键相连，碳原子的其他价键都与氢原子相结合形成的化合物。其分子通式是 C_nH_{2n+2} 。通常（常温、常压下）分子中碳原子含量为 1~4 个的烷烃是气体，5~15 个的烷烃为液体，16 个以上的是固体，称为蜡，悬浮在石油中。烷烃拥有化学性质稳定、闪点高等优越性质，且凝固点较高。石油的烷烃含量在 25%~30% 以上为烷基石油。

2. 环烷烃

环烷烃又称为环状烷烃，分子通式为 C_nH_{2n} ($n \geq 3$)、 C_nH_{2n-2} 、 C_nH_{2n-4} 等，是石油的重要成分。因环烷烃凝固点低、抗爆性较高以及润滑性好等特点，制得的油品具有良好的热安定性和化学安定性，故成为电力用油的主要成分之一。石油的环烷烃含量在 75%~83% 以上为环烷基石油，是炼制变压器油最好的原油。

3. 芳香烃

芳香烃主要特征是分子中至少有一个苯环 (C_6H_6 )，化学通式为 C_nH_{2n-6} ($n \geq 6$)、 C_nH_{2n-12} 等。其化学性质较以上两种烃类活泼，最简单的芳香烃是苯 (C_6H_6)。芳香烃适量存在于润滑油中能起到天然抗氧化剂的作用，变压器油的析气性也能得到改善，若其含量过多，会严重影响油品的氧化安定性。石油中芳香烃的含量在 14%~30% 范围内变化。

石油中除含有大量烃类化合物外，还有少量非烃化合物，如含硫化合物、含氧化合物、含氮化合物及胶质、沥青等。它们的存在，可腐蚀设备或降低油品化学稳定性。

(三) 变压器油的化学组成及影响

石油经过多步炼制，即分馏、裂化、重整、精制后，除去了其中的非烃类化合物和易凝固、易氧化以及黏温性能差的烃类成分，剩下性能较好的烃类化合物，就得到了变压器油。因而，可以认为变压器油是由各种理想的烃类组成的，它的组成与其性质和作用密切相关。

对于变压器油而言，由于它多用在户外设备上，所以必须能经受各种气候条件的考验，特别是对低温环境的适应（如 -40°C ），而环烷基石油则具备低凝点条件。

变压器油对芳香烃成分也有一定控制，这是因为：虽然某些芳香烃具有天然抗氧化剂的功能，但含量太高不但会降低其绝缘受冲击强度，而且会增大对浸于油中固体绝缘材料的溶解能力。

1. 烃类、非烃类对油品特性的影响

变压器油中的烃类与非烃类对油品性质有不同的影响，具体见表 1-2。

表 1-2 变压器油中烃类与非烃类对油品性质的影响

烃类组成	对油品性质的影响	非烃类组成	对油品性质的影响
烷烃	密度	含氧化合物	抗氧化剂感受性
环烷烃	黏度指数	含硫化合物	溶解能力
芳香烃	倾点	含氮化合物	抗磨性
环烷烃—芳香烃	氧化稳定性和抗氧化感受性	有机金属化合物	极压性
	溶解能力, 尤其对黏度指数改进剂		泡沫
	黏度指数改进剂的感受性		
	硫酸灰分、挥发分		
	苯胺点		锈蚀

2. 极性组分、非极性组分的特性

油品中的极性组分是指芳香烃和极性化合物如沥青、胶质等, 非极性成分系指饱和烃, 如链烷烃和环烷烃。它们对变压器油性质的影响存在很大的差别, 具体见表 1-3。

表 1-3 油品中极性组分与非极性组分对变压器油性质的影响

变压器油性质	极性成分	非极性成分	变压器油性质	极性成分	非极性成分
倾点	低	高	溶解性	好	差
抗氧化性	好	差	承载负荷能力	好	差
添加剂感受性	差	好	黏度指数	低	高

二、变压器油的用途

概括来讲, 变压器油(绝缘油)在充油设备中的主要作用是: 在变压器、电抗器、互感器中主要起绝缘、散热冷却、灭弧作用; 在充油套管中主要起绝缘作用; 在断路器中主要起灭弧、绝缘作用。

1. 绝缘作用

变压器油(介电强度为 2.25)具有良好的绝缘性能, 其绝缘强度比空气(介电强度为 1.0)大得多。电气设备内部空间充满变压器油, 可将不同电位的带电部分隔离开, 增加了介电强度, 提高了设备的安全系数, 使高压电气设备具有可靠的绝缘性能。

2. 散热冷却作用

变压器类设备运行过程中, 电流通过绕组, 其铁损和铜损均转化为热量, 使绕组、铁芯的温度不断升高。如果不将热量散发出来, 当温度升高到一定数值时, 绝缘材料就会脆化甚至被击穿, 使绕组烧毁, 造成设备损坏。变压器油在设备内部可将绕组和铁芯内部的热量吸收到油中, 然后通过油的循环使热量散发出来, 从而保证设备的安全运行。

变压器的冷却方式有自然风冷、自然循环冷却、强油循环风冷和强油循环水冷等。一般大容量变压器均采用强油循环的冷却方式。

3. 灭弧作用

在油断路器类设备中, 变压器油主要起灭弧作用。当油浸断路器在最初开断而受到电弧作用时, 变压器油由于高温会发生剧烈的热分解, 产生大量氢气。由于氢气的导热系数(为

41) 较大, 此时氢气就可以吸收大量的热, 并传导至油中, 直接将触头冷却, 从而达到消弧的目的。

4. 保护绝缘材料

由于变压器油的流动性好, 易于填充到绝缘材料的空隙之中, 因此它不但能够起到保护铁芯和绕组组件的作用, 还能使易于氧化的纤维素和其他材料所吸收的氧含量减少到最低限度。也就是说, 变压器油首先会和混入设备中的氧进行氧化作用, 从而延缓氧对绝缘材料的侵蚀。

三、变压器油的分类及特性要求

(一) 分类

绝缘油(广义的变压器油)按照其用途可分为变压器油(本节中特指变压器类设备使用的变压器油)、电容器油、断路器油等, 其分类及牌号见表 1-4。

表 1-4 变压器油的分类及牌号

类别	组别	牌 号
绝缘油 (广义变压器油)	普通变压器油	10、25、45 号三个牌号
	超高压变压器油	按 SH 0040—1991 分为 25、45 号两个牌号
	电容器油	按用途分为 1、2 两个牌号
	断路器油	按 SH 0351—1992 规定只有一个牌号
	高压充油电缆油	只有企业标准一种牌号

注 本书研究的主要对象为除电缆油和电容器油之外的绝缘油, 故之后所列各项质量标准主要适用于除了电缆油、电容器油之外的绝缘油品。

我国目前生产的变压器油按其使用的电压等级分为普通变压器油和超高压变压器油。超高压变压器油与普通变压器油相比, 提高了抗析气性能和电气性能。由于提高抗析气性能需要在油中增加芳香烃的含量, 故超高压变压器油的氧化安定性指标有所降低。

普通变压器油按其低温流动性(凝固点和倾点)可分为 10 号(凝固点 -10°C , 倾点 $\leq -7^{\circ}\text{C}$)、25 号(凝固点 -25°C , 倾点 $\leq -22^{\circ}\text{C}$)和 45 号(凝固点 $\leq -45^{\circ}\text{C}$)三个牌号。

选用普通变压器油时, 应选择极低气温不低于牌号的凝点且最靠近牌号的油品。牌号为 10 号, 适用于极低气温不低于 -10°C 的地区; 25 号适用于极低气温低于 -10°C , 不低于 -20°C 的地区; 45 号适用于极低气温低于 -20°C 的地区。

(二) 特性要求

电力系统所采用的变压器油是供电设备的重要绝缘介质, 其质量的好坏直接影响供电设备的安全、经济运行, 所以电力系统对变压器油的质量有严格的规定和要求。

1. 良好的抗氧化性

油品投入运行后, 由于受到运行温度、电场、电晕以及空气和金属的影响, 会不断老化。因此要求油品要有良好的抗氧化安定性, 一般要求变压器油的寿命为 10~20 年。

2. 良好的电气性能

评定变压器油电气性能的重要指标有绝缘强度(即击穿电压)、介质损耗因数、析气性、体积电阻率和相对介电常数等。为保证充油电气设备的安全运行, 电气性能不达标的变压器油, 绝对不允许采用。

3. 低温流动性

低温流动性是指油品的黏度随温度的降低而增大，流动性逐渐减小的特性。低温流动性差的油品不能在低温下使用。低温流动性越好的油品，生产成本越高，故在气温较高的地区不必使用低温流动性好的油品。

4. 高温安全性

油品的高温安全性通常以闪点表示。闪点越低，油品挥发性越大，则安全性越低。

第三节 分析化学基础

一、分析化学基础知识

在油务化验工作中所使用到的分析化学基础知识主要包括溶液的配制与标定、酸碱指示剂的使用和萃取等，其要点和应用见表 1-5。

表 1-5 分析化学基础知识要点及应用

分析化学基础知识	要 点	应 用
溶液的配制与标定	基准物质的选取（纯度在 99.9% 以上、组成与化学式相符、性质稳定）	配制 0.05mol/L 氢氧化钾乙醇标准溶液（绝缘油酸值的测定）
酸碱滴定	常用的酸碱指示剂及其变色范围，确定反应的理论终点	绝缘油简化试验中常用的几种指示剂，如酚酞、溴甲酚绿、碱蓝 6B、溴百里香草酚蓝（BTB）等
萃取	利用物质在两种互不相溶（或微溶）溶剂中的溶解差异，达到分离或纯化的目的	水溶性酸或碱的测定：振荡、放置分层后，将酸性物质从油中萃取出来，再用比色法或酸度计进行测定

（一）溶液的配制与标定

溶液是指溶质以分子或离子的状态均匀地分布在溶剂中得到的稳定分散体系。溶液中量少的物质称为溶质，量多的物质称为溶剂。溶液的浓度是指一定量溶液或溶剂中所含溶质的量。

1. 标准溶液的配制

标准溶液是已知准确浓度的溶液，在容量分析中广泛应用，主要是根据所加入的已知浓度和体积的标准溶液求出被测物质的含量。

标准溶液的配制方法一般有直接和间接两种。

（1）直接配制法：准确称取一定量的基准物质（用来直接配制标准溶液或标定未知溶液浓度的物质），加溶剂溶解后移入容量瓶，以溶剂稀释至刻度。根据物质的质量和溶液的体积计算出标准溶液的准确浓度。例如：配置 0.2mol/L 邻苯二甲酸氢钾（分子量 204.22）基准试剂，称取 40.846g 邻苯二甲酸氢钾基准试剂，溶于适量除盐水中，移入 1000mL 容量瓶，再用除盐水稀释至刻度即可。

基准物质需满足以下条件：

- 1) 具有足够的纯度，一般要求纯度在 99.99% 以上。
- 2) 组成与化学式相符，若含结晶水，则其含量也须与化学式相符。

3) 性质稳定, 如储存时应不起变化, 在空气中不吸收水分和二氧化碳、不被氧化, 烘干时不分解等。

(2) 间接配制法: 粗略称取一定量物质或量取一定量体积浓溶液, 配制成接近所需浓度的溶液, 然后测定其准确浓度。

2. 标准溶液的标定

在滴定分析中, 可以利用“等物质的量规则”作为其计算依据。

等物质的量规则定义为: 在化学反应中, 消耗的各反应物以及生成的各产物的物质的量相等。即

$$n_{B1} = n_{B2} \quad (1-1)$$

$$C_{B1}V_{B1} = C_{B2}V_{B2} \quad (1-2)$$

式中 n_{B1} 、 n_{B2} ——物质 B1、B2 的物质的量, mol;

C_{B1} 、 C_{B2} ——物质 B1、B2 的浓度, mol/L;

V_{B1} 、 V_{B2} ——物质 B1、B2 溶液的体积, L (mL)。

标定方法: 将准确称取的基准物质溶解后, 用待标定的溶液进行滴定至终点, 然后根据基准物质的质量与所消耗的待标定溶液的体积, 根据等物质的量规则, 便能准确算出该溶液的浓度。

例如: 要配制摩尔浓度为 0.05mol/L 氢氧化钾 (KOH) 乙醇标准溶液, 先称取适量 KOH 溶于无水乙醇中, 配制成浓度大约为 0.05mol/L 的 KOH 乙醇溶液, 然后取 20mL (V_{B1}) 0.05mol/L (C_{B1}) 的邻苯二甲酸氢钾溶液 (基准物质) 进行标定, 根据滴定终点时消耗的 KOH 乙醇溶液的毫升数 (V_{B2}), 可求出 KOH 乙醇溶液的准确浓度 (C_{B2}) 为

$$C_{B2} = \frac{C_{B1}V_{B1}}{V_{B2}} = \frac{20\text{mL} \times 0.05\text{mol/L}}{V_{B2}(\text{mL})} \quad (1-3)$$

(二) 酸碱滴定

酸碱滴定法是以酸碱反应为基础的滴定分析方法。在酸碱滴定中, 滴定剂一般是强酸或强碱, 如 HCl、 H_2SO_4 、NaOH 和 KOH 等; 被滴定的是各种具有碱性或酸性的物质, 如 NaOH、 NH_3 、 Na_2CO_3 、 H_3PO_4 和吡啶盐等。

1. 酸碱指示剂

酸碱滴定法的关键是确定反应的理论终点。因为酸碱滴定反应达到理论终点时, 一般不会发生外观变化, 这就需要加入在理论终点附近能发生颜色变化的物质——酸碱指示剂。常用的酸碱指示剂一般是弱的有机酸或有机碱, 它的颜色随 pH 值的变化而改变, 形成一个变色范围。指示剂变色范围的幅度一般不大于 2 个 pH 单位, 且不小于 1 个 pH 单位。由于指示剂只有在理论终点附近具有较大的 pH 值改变时, 才能从一种颜色变为另一种颜色, 故在酸碱滴定中必须选用合适的指示剂。

2. 影响指示剂变色范围的因素

(1) 温度。指示剂电离常数会随温度变化而变化, 因此变色范围也会发生变化。

(2) 溶剂。由于指示剂在不同溶剂中的电离常数不相同, 因此变色范围也不尽相同。

(3) 指示剂用量。指示剂本身就是弱酸或弱碱, 多加会改变溶液的酸碱度, 从而引起误差, 一般指示剂适当少用些, 变色会明显些。

(4) 滴定顺序。滴定顺序不同, 选择的指示剂也不相同。

3. 常用指示剂

在电力用油分析过程中，常用的指示剂有酚酞、溴甲酚绿、溴百里香草酚蓝（BTB）、碱蓝 6B 等，其变色范围及配制方法具体见表 1-6。

表 1-6 常用酸碱指示剂的变色范围及配制方法

指示剂名称	变色范围 pH 值	颜 色		配 制 方 法
		酸性	碱性	
酚酞	8.0~10.0	无色	红色	称取 1g 酚酞，加入 100mL 95% 的乙醇溶液，再用 0.05mol/L 的 NaOH 中和至稳定的微红色
溴甲酚绿	3.8~5.4	黄色	蓝色	将 0.1g 溴甲酚绿与 7.5mL 0.02mol/L NaOH 一起研匀，用除盐水稀释至 250mL，再调整 pH 值为 4.5~5.4
溴百里香草酚蓝 (BTB)	8.6~9.6	黄色	蓝色	取 0.5g 溴百里香草酚蓝（称准至 0.01g）放入烧杯内，加入 100mL 无水乙醇，然后用 0.1mol/L KOH 溶液中和至 pH 值为 5.0
碱蓝 6B	9.4~14	紫色	粉红色	将 1g 碱蓝 6B（称准至 0.01g）溶于 50mL 乙醇，在水浴上回流 1h，冷却后过滤。煮沸滤液，加入 1~2 滴 0.05mol/L 的 HCl 溶液，趁热用 0.05mol/L 的 KOH 乙醇溶液中和，直到指示剂从蓝色变成浅红色，在冷却后又能恢复到蓝色为止。若碱蓝 6B 不易溶解，可先将其干磨后，再加入适量水溶解

(三) 萃取

萃取是利用物质在两种互不相溶（或微溶）溶剂中的溶解差异，达到分离或纯化的目的，是分离和纯化有机化合物的常用方法。

在油质分析中，水溶性酸或碱的测定就是利用萃取分离法进行的。它是在一定温度下用与油不互溶的水作溶剂，利用新油中残存的可溶于水的矿物酸碱和运行油产生的低分子有机酸在水、油两相中溶解度的差异，通过振荡、放置分层后，将酸性物质从油中萃取出来，再用比色法或酸度计进行测定。

二、分析化学基本操作

在油务化验工作中所使用到的分析化学基本操作主要包括天平和玻璃量器的操作，其操作要点及应用见表 1-7。

表 1-7 分析化学基本操作要点及应用

分析化学基本操作	要 点	应 用
天平	称重方法（直接、递减和固定重量法），使用注意事项，常见故障排除	准确称量被测定物质、基准物质
玻璃量器	分类：量入式和量出式。 (1) 容量计算的误差来源。 (2) 玻璃量器的校准。 (3) 玻璃量器的使用方法	(1) 滴定管：用于酸碱滴定。 (2) 分度吸管（移液管）：用于准确吸取一定体积的液体并移入其他容器中的量器。 (3) 单刻度容量瓶：常用的有 25、50、100mL，用于 pH 缓冲溶液、KOH 乙醇溶液以及标准化色溶液等的配置