

# 糠醛浓度判断变压器绝缘纸寿命的现场测量

Study on the Paper Ageing in Transformer Oil Using Furfural Concentration as Indication

J. M. K. Mac Alpine 张潮海  
(香港理工大学电机系 九龙, 香港)

**摘要** 详细分析了 310 台线路变压器的油样。结果表明: 尽管运行时间较长的变压器糠醛浓度较高, 但随运行时间而加大的趋势不明显。糠醛浓度发生偶然性和阶跃性增加的原因一般为变压器内部故障引起的局部过热或变压器过负荷引起的整体过热。计算机仿真结果和实测的糠醛浓度与运行时间的关系曲线相当吻合。

**Abstract** This paper reports on the analysis of data on the concentration of furfural in oil samples from 310 transmission transformers. The data showed that while high furfural concentrations (FC s) tended to occur in older transformers, there was no distinct trend. This together with the lack of an upward tendency for the FC in cases where two readings were taken several months apart, indicated that the deterioration in paper strength and the associated increase in FC, occur in occasional and discrete steps. These step-changes are presumed to be due either to internal faults causing extreme local overheating, or to overloading of the transformer causing general overheating. A simulation based on the these criteria gave a similar pattern of FC versus service age.

**关键词** 糠醛浓度 变压器 老化 绝缘纸

**Key words** furfural concentration transformer deterioration insulation paper

中图分类号 TM411.2 文献标识码 A

## 0 引言

迄今很少有文献涉及到利用糠醛质量浓度来判断变压器绝缘纸老化程度的现场测量经验<sup>[1]</sup>。本文多次重复测试并分析了某电力局 310 台变压器中抽取的 361 个油样。310 台变压器中~ 60% (190 台) 由同一厂家制造, 故测试结果之间可比性好。对这 190 台变压器, 初步分析和研究了它们的老化率和变压器使用领域 (工业和其它领域) 之间的关系。

## 1 总的测试结果

从图 1 为 8 个厂家的 361 个油样中糠醛质量浓度  $h(C_5H_4O_2)$  与运行时间  $t$  之间的关系中可见, 大多数变压器即使运行了 20 a 以后其老化程度也很小 ( $h(C_5H_4O_2) < 1 \text{ mg/L}$ ), 仅~ 10% 的油样有较高的  $h(C_5H_4O_2) (> 2 \text{ mg/L})$ 。

图 2 为变压器  $h(C_5H_4O_2)$  的对数值与  $t$  的关系。从图中看出,  $h(C_5H_4O_2)$  的对数值存在随变压器  $t$  的增加而增大的趋势, 同一厂家生产的变压器, 其

$h(C_5H_4O_2)$  与  $t$  之间的关系比较接近。

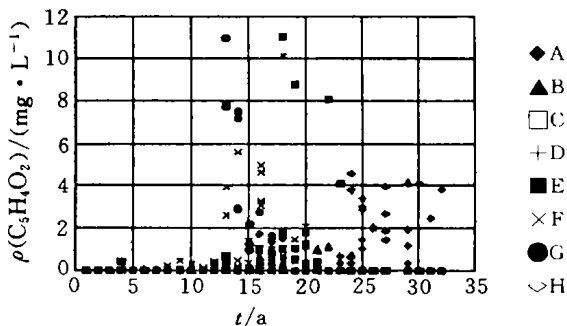


图 1 361 个变压器油样中  $h(C_5H_4O_2)$  与  $t$  之间的关系

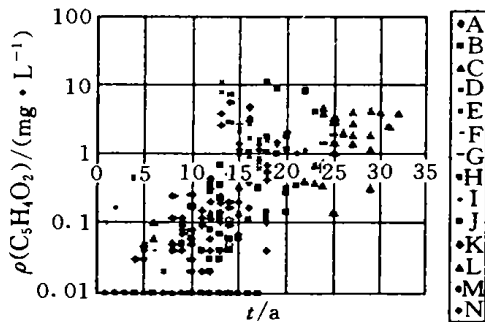


图 2 变压器油中的  $h(C_5H_4O_2)$  与  $t$  的关系

需要强调的是, 所有测量结果都是某一特定变压器在其运行期间的瞬态值。因为变压器在运行期间的负载、所处环境等因素各不相同, 它们的老化程度和趋势也不尽相同。

A 厂生产的 190 台变压器油样中  $h(C_5H_4O_2)$  见图 3, 从中发现有 10 台变压器的值  $\geq 2 \text{ mg/L}$  (另有 4 台约  $1 \sim 2 \text{ mg/L}$ ), 但大多数 (39 台中的 25 台) 运行时间已超过 12 a 的变压器仍有良好的绝缘性能, 即  $h(C_5H_4O_2) < 1 \text{ mg/L}$ 。因此, 相对性能较差的 10 台变压器可能是长时间在高负荷情况下运行。

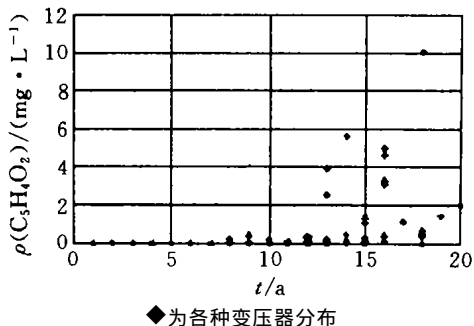


图 3 A 厂生产的 190 台变压器油样中的  $h(C_5H_4O_2)$

图 4表明  $h(C_5H_4O_2)$  的大小与变压器的容量之间无明确对应关系,即变压器容量的大小与绝缘纸的老化速率或老化趋势无确定的关系。

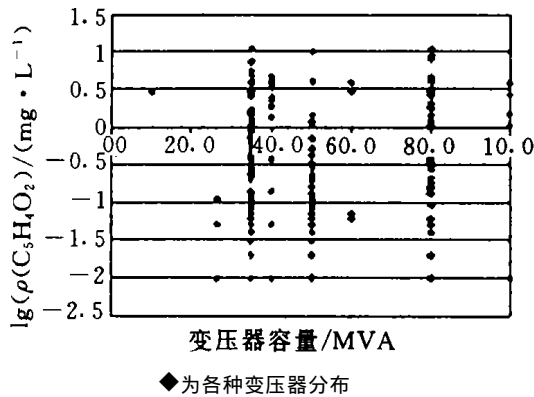


图 4 变压器容量和  $h(C_5H_4O_2)$  的关系

## 2 仿真

根据模型仿真的结果,与 A 厂的 190 台变压器的老化分布模型仿真结果相同。仿真模型是建立在经验基础上的旧值随机更新。设  $h(C_5H_4O_2)$  每年有 50% 概率显著增加,且增加的数值与当前值成正比(由于水的自催化作用),其比例系数受一个取值范围为 0.5~1.0 的随机参数  $R_a$  的控制。即:

$$N_{FC} = P_{FC} + aP_{FC}R_a$$

式中,  $N_{FC}$  为新  $h(C_5H_4O_2)$  值;  $P_{FC}$  为现在  $h(C_5H_4O_2)$  值;  $a$  为一小数,确定其具体值的原则是使由上式得到的  $h(C_5H_4O_2)$  平均值与图 3 中的值相同。

图 5 6 仿真出的变压器  $h(C_5H_4O_2)$  与  $t$  之间的关系与图 3 的实测结果吻合。图 5 显示 16~20 a 间的大部分变压器的  $h(C_5H_4O_2) < 1 \text{ mg/L}$ , 仅只 3 台变压器  $> 4 \text{ mg/L}$ 。相反,图 6 中运行相同时间后的大部分变压器的  $h(C_5H_4O_2) > 1 \text{ mg/L}$ , 并有 8 台变压器  $> 4 \text{ mg/L}$ 。说明图 5 的假设比图 6 更接近实际。

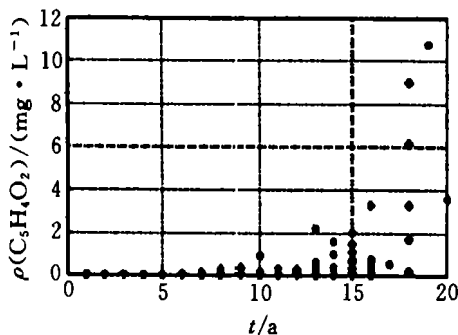


图 5  $h(C_5H_4O_2)$  年突变概率 50% 的仿真结果

可见仿真结果证明了变压器老化是因为偶然的显著增加,而不是缓慢、渐变的积累。

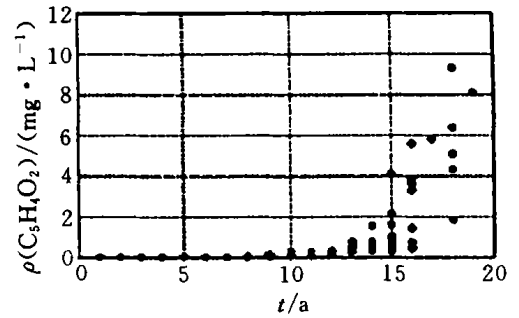


图 6  $h(C_5H_4O_2)$  月突变概率 50% 的仿真结果

## 3 讨论

我们曾对 40 台变压器进行多次测试,其中有 38 台不存在渐进和稳定的老化过程。另两台变压器  $h(C_5H_4O_2)$  在 21 个月发生了很大变化,分别从 0.37 mg/L 上升到 3.42 mg/L 和从 0.16 mg/L 上升到 1.16 mg/L,随后一直被严格监测。

上述事实说明,正常运行的变压器基本上不发生老化或老化过程太小,以致可以忽略。但  $h(C_5H_4O_2)$  会突然发生阶跃性增加的情况。

为考察水分对绝缘纸老化过程的自催化作用,假设  $h(C_5H_4O_2)$  增值正比于当前值,即若将较高  $h(C_5H_4O_2)$  值的旧变压器油换成水分和  $h(C_5H_4O_2)$  都较低的新油,变压器在高温下运行时的老化进程将变缓。设 4 mg/L 为警戒值,当油样中  $h(C_5H_4O_2)$  达到该值时,将变压器中的旧油全部换成新油,并加强监测。结果显示,近 400 台变压器每年只需检修 1~2 台就可以确保全部变压器维持正常运行。

变压器换油后几个月内新油中的  $h(C_5H_4O_2)$  逐渐上升到某一数值,而上升的快慢和最后达到的值基本上由油和纸的比例决定。换油后,纸中的糠醛会逐渐向油中扩散,直到油和纸中的  $h(C_5H_4O_2)$  完全相等(约为换油前的 5%)为止。这可以削弱变压器在高温下产生的老化,理想状况下可使变压器的老化率降到仅为换油前的 1/20。

然而,纸的拉伸强度不会随油的更换而增大,而是继续维持换油前的状态。这就需要保管好变压器的各次测量结果及换油记录,以利于进行比较和综合分析来判断变压器的实际老化情况和绝缘状态。

## 4 结论

a. 正常运行时至少在一周内可忽略绝缘纸的老化进程。

b. 事故状态下,绝缘纸的老化速度出现阶跃性增加的原因是:变压器过负荷引起的整体过热,或是变压器内部故障产生的局部过热,加剧了故障附近绝缘纸的老化。

(下转第 50 页)

权限 整个系统拥有统一的安全控制机制。

#### 4.2 数据完整性

由图 1可见,系统的处理是采用分级的树状结构,与电力行业的行政结构一致。利用 SQL server 7.0内置的订阅与发布来完成数据的传输与更新。当一个地区的系统数据发生变化,该地区的数据库服务器自动将变化的数据发布给上级服务器和本单位的其它应用系统,而上级服务器则将这些变化发布给其它订阅了该地区数据的服务器(通常为其它相邻地区),从而保证整个信息系统数据的一致。雷电信息的骤忙与骤闲容易产生数据丢失或数据处理不及时,导致系统负载不均衡。采用 COM+ 组件通过 Windows 2000系统设置即可解决负载均衡与事件完整的问题,保证系统快速与完整地处理数据。

数据的安全性能则由安全控制组件进行保证,各应用子模块中插入安全控制组件,实现对数据的访问进行权限认证。

#### 4.3 Web服务器软件设计

Web服务器采用 Windows 2000的 IIS,服务器用 ASP脚本语言开发并在 ASP中嵌套 COM+ 的应用组件,构成一个多层结构的软件系统(如图 1)。

当浏览器向 Web服务器发出请求时,Web服务器调用内嵌的组件(调用方法如同 ASP的内置组件)查询数据库的数据,对数据做相应的处理后将处理结果发回给 ASP,ASP将结果转换成 HTNL格式

(上接第 45页)

### 3 结束语

a. 我国的输电线路总体运行水平在世界上较为先进,线路综合跳闸率的平均值相对较低,仅个别地区线路跳闸率较高。

b. 雷害是危及输电线路尤其是超高压输电线路安全运行的首要原因。

### 参 考 文 献

1 国家电力公司发输电运营部. 送电专业统计年报(1996年度). 北京: 国家电力公司, 1996

(上接第 47页)

c. 更换变压器油可降低变压器的老化率,应综合分析换油前后的  $h(C_5H_4O_2)$ 值,以期得到绝缘纸的实际老化程度

### 参 考 文 献

1 Hill D J T, Le T T, Darveniza M et al. A study of the

式发送到用户的浏览器上。

系统运行时由 IIS担负页面的服务和管理工作,COM+ 则负责页面中嵌入组件的服务和管理工作,两者结合在一起组成中间层的应用服务器,构成实用的多层体系的、高性能的、可测的和可靠的局域网—英特网的应用系统。因这些组件在服务器的后台运行,保证了系统数据的安全性。

### 5 结 论

a. 基于 COM+ 的雷电信息系统可实现实时动态雷电信息的统计与分析,满足电力系统对雷电信息的要求。同时具有很强的可扩展性和可维护性。

b. 这种分布式软件系统与 Windows操作系统的紧密联系保证了软件系统的稳定性

c. 采用这种软件模型,可以充分发挥团队的开发效率

### 参 考 文 献

1 潘爱民. 深入理解 COM+ . 北京: 清华大学出版社, 2000  
 2 邵维忠,杨芙清. 面向对象的系统分析. 北京: 清华大学出版社, 1998  
 3 周之英. 现代软件工程(下). 北京: 科学出版社, 2000  
 (收稿日期 2001-09-30)

陈家宏 1960年生,教授级高工,从事雷电监测信息应用研究

2 国家电力公司发输电运营部. 送电专业统计年报(1997年度). 北京: 国家电力公司, 1997  
 3 王晓瑜. 雷电屏蔽性能的模拟试验和分析模型研究. 高电压技术, 1994, 20(2): 48  
 4 钱冠军等. 输电线路绕击分散性的试验研究. 高电压技术, 1998, 24(3): 17  
 5 DL/T620-1997交流电气装置的过电压保护及绝缘配合  
 (收稿日期 2001-07-24)

易 辉 1950年生,工学硕士,高级工程师,从事输电线路研究,电话: (027)87445895

崔江流 1941年生,教授级高级工程师,从事输电线路运行管理

degradation of cellulosic insulation materials in a power transformer. Part III: Degradation products of cellulose insulation paper, Polymer Degradation and Stability, 1996, (51): 211

(收稿日期 2001-05-20)

张潮海 博士,主要从事局部放电及绝缘在线监测的研究