

Experimental Research on the Effect of Initial Oil Temperature on Ignition Characteristics of Transformer Oil

Pengyu Guo Mingmin Wang* Qingshan Ma

State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

In order to study the influence of variable initial oil temperature on the ignition characteristics of pressure transformer oil, an ignition characteristic experimental platform was built. Taking 25# transformer oil as the research object and n-heptane as the ignition material, the ignition characteristic experiments with different n-heptane injection under different oil initial temperature conditions were carried out, and the characteristic quantities such as image, temperature and mass loss rate were analyzed. The results show that the dosage of n-heptane is inversely proportional to the initial temperature of the oil. 13mL needs to be injected at the initial temperature of 20 °C and 10mL needs to be injected at the initial temperature of 80 °C ; With the increase of initial oil temperature, the time required for n-heptane to ignite transformer oil becomes shorter. When the initial oil temperature rises to 50°C ~80°C , the change trend of ignition time slows down; Finally, the quantitative heat transfer calculation of transformer oil ignition process is carried out. The research results are of great significance to prevent transformer oil leakage fire and emergency rescue.

Keywords

ignition characteristics; transformer oil; initial temperature, ignition time; flame height

初始油温对变压器油点燃特性的影响实验研究

郭鹏宇 王铭民* 马青山

国网江苏省电力有限公司, 中国·江苏·南京 210000

摘要

为了研究变初始油温对压器油点燃特性的影响, 搭建了点燃特性实验平台, 以25#变压器油为研究对象, 以正庚烷为引火物质, 开展了不同油初温条件下, 不同正庚烷注入量的点燃特性实验, 采集了图像、温度质量损失速率等特征量进行了分析。结果表明: 正庚烷的用量与油初温成反比关系, 初温为20°C时需要注入13mL, 初温为80°C需要10mL; 随着油初温的升高, 正庚烷引燃变压器油所需要的时间变短, 当油初温升至50°C~80°C后, 点燃时间变化趋势减慢; 最后对变压器油点燃过程进行了定量传热计算。研究结果对防止变压器油泄漏火灾和应急救援具有重要意义。

关键词

点燃特性; 变压器油; 初始温度、点燃时间; 火焰高度

1 引言

近年来在化工、石油、电力等行业以及交通运输过程中, 因为燃料泄漏的问题不断发生火灾, 造成了严重的后果。一些大型的油浸式变压器被广泛应用于电厂和变电站中, 作为其核心电力设备。

【基金项目】 国家电网项目: 大型充油设备泡沫细水雾扇扇炮智能灭火技术研究与应用(项目编号: 8000-201918445A-0-0-00)。

【作者简介】 郭鹏宇(1973-), 男, 中国山东莒县人, 本科, 高级工程师, 从事电力设备消防技术管理与研究。

【通讯作者】 王铭民(1974-), 男, 中国江苏姜堰人, 本科, 教授级高级工程师, 从事安全生产管理研究。

早在1968年, Glassman 就开始研究燃料初始温度和火焰蔓延速度之间的关系, 认为当燃料温度小于闪点时, 火焰传播速度普遍小于20cm/s; 当燃料温度高于闪点时, 火焰传播速度较快, 普遍大于1m/s。Burgoyne 等学者对醇类的可燃液体进行了研究, 发现了随着燃料初始温度的上升, 燃料越快进入蔓延阶段。陈国庆等人对航空煤油进行了研究, 发现了火焰蔓延过程中表面流的影响是由于体积膨胀力的驱动产生的^[1]。张博思等人对25#变压器油进行实验, 发现了热油的火灾危险性更大, 初始温度越高的变压器油引燃所需时间越短。另外, 学者们发现了火焰的传播与闪点也有直接的关系。

总结液体燃料燃烧研究现状可知, 学者们的研究重点普遍侧重于火焰的蔓延阶段, 对于燃料的点燃特性关注较少。在变压器油发生泄漏后, 在何种条件下能够被点燃, 对于防止变压器油火灾的形成至关重要。因此, 展开温度对

变压器油点燃特性的影响研究,对于火灾的防范具有重要意义。

2 实验系统及实验工况

2.1 实验系统

为了研究不同初温下变压器油的点燃特性,设计搭建了变压器油的油池火点燃特性探究实验平台。实验系统主要包括实验平台及数据采集系统。实验系统示意图如图1所示。

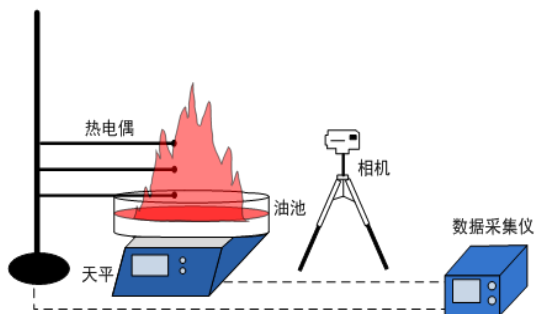


图1 实验系统示意图

2.2 实验工况设计

利用加热装置对变压器油进行加热到所需要的温度值。选取25#变压器油作为实验燃料,油池直径为40cm,深度为10cm,油层厚度设定为5cm^[1]。将变压器油加热至不同初始温度后倒入油池内,添加不同量正庚烷并利用电子打火装置点燃正庚烷,通过正庚烷引燃变压器油,采集变压器油被引燃过程中质量损失速率、火焰温度、油温、火焰图像并进行分析,研究不同油初温下,最少点燃变压器油的临界正庚烷用量,实验工况如表1所示。

表1 实验工况表

工况	油池直径 (cm)	初始温度(°C)	加入正庚烷的量 (mL)
1	40	20	10
2		20	11
3		20	12
4		20	13
5		30	10
6		30	11
7		30	12
8		50	10
9		50	11
10		60	10
11		60	11
12		80	10

3 实验结果及讨论

3.1 初始温度对点燃特性的影响

3.1.1 初始温度对点燃结果的影响

对表1中各个工况进行了重复试验后,所得实验结果

如表2所示。

表2 不同初温下变压器油引燃结果

正庚烷量 初温	10mL	11mL	12mL	13mL
20°C	否	否	否	是
30°C	否	否	是	—
50°C	否	是	—	—
60°C	否	是	—	—
80°C	是	—	—	—

从表2可以看出,在40cm油池中,在初温20°C时,需要添加13mL的正庚烷;初温上升到30°C,需要添加12mL的正庚烷;初始温度上升到50°C,添加10mL的正庚烷就可以引燃;初温为60°C和80°C时,也只需添加11mL和10mL正庚烷。

3.1.2 初始温度对点燃时间的影响

在不同油初温的条件下,使用最少体积的正庚烷引燃变压器油,探究其不同油初温下,引燃变压器油所用时间,将油面处温度达到闪点值作为判断变压器油被引燃的依据。得出了40cm的油池在不同油初温下能引燃变压器油的临界正庚烷量时的引燃时间如图2所示。

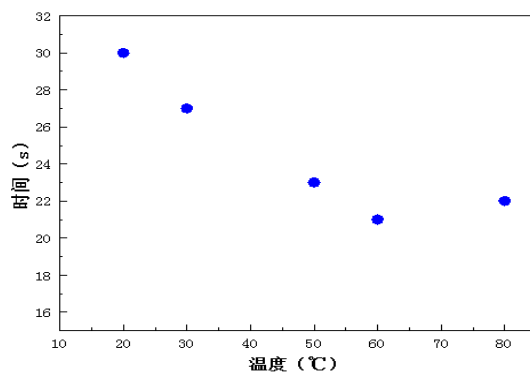


图2 不同初温下变压器油点燃时间

从上图可知,油初温在20°C时,点燃变压器油需要30s;油初温在60°C,点燃变压器油需要21s;油初温在80°C,点燃变压器需要22s。随着初始温度的升高,点燃变压器所需要的时间越来越短。但当油初温为50°C~80°C时,引燃时间大约为20s,变化趋势较小。

3.2 变压器油点燃过程火焰形态差异

图3为油池直径为40cm条件下变压器油初始温度为20°C时点燃过程火焰形态图,(a)和(b)分别为正庚烷用量为10mL和13mL。

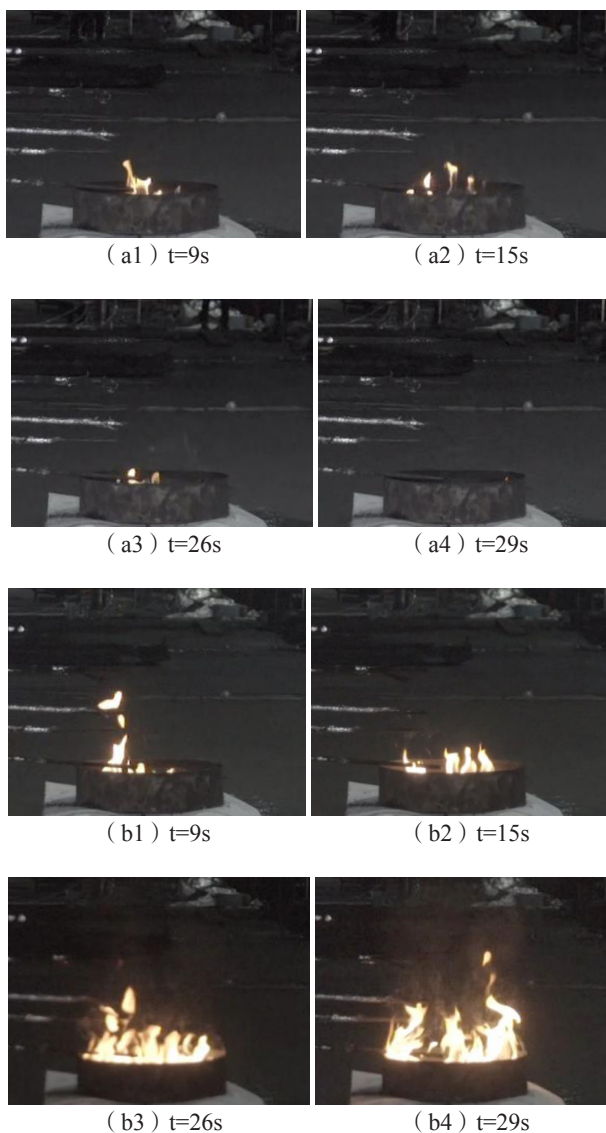


图3 不同正庚烷添加时的燃烧情况

从图3中可以看出，在油池直径和初始温度都相同的情况下。改变加入正庚烷的量会使燃烧发生明显的变化。在加入10mL的正庚烷后，火焰开始燃烧。在燃烧进行9s以前，火焰的高度和燃烧强度都大于加入13mL正庚烷时的情况。可能是由于此时正庚烷油蒸汽与空气的混合比更合适，燃烧更加充分^[3]。而且火焰出现了间断，火焰整体不连续，发生多次的断开。在燃烧进行到9s之后，10mL正庚烷工况下的燃烧，火焰开始变低，宽度也开始变窄。此时正庚烷的浓度降低，火焰燃烧速率减慢，对油面的加热效果也变得较差。产生的热量无法使变压器油产生足够的油蒸汽，并且温度也无法达到其燃点，所以在燃烧进行到29s时，火焰熄灭燃烧停止。

加入13mL正庚烷工况则有很大不同，相应的燃烧情况也有很大的不同。

3.3 质量损失速率

图4为对不同油初温的质量变化曲线求导后，得到的

质量损失速率曲线，可以更加明显地看出燃烧过程中的质量变化过程。

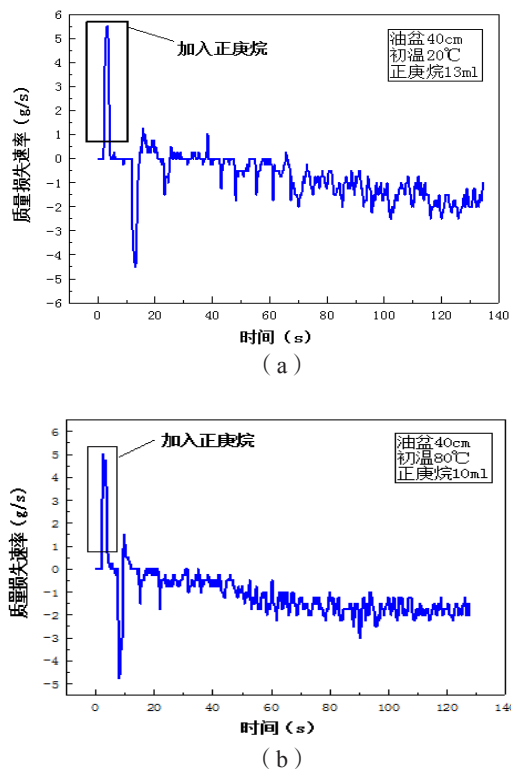


图4 不同油初温下质量损失速率曲线

油初温20℃时，加入13mL的正庚烷后，用点火器点燃正庚烷，在12.8s时，燃烧速率出现一个最大值为-4.5g/s，此时正庚烷被点燃，且此时浓度较大，燃烧速率较快，很快达到其沸点，油滴向上方喷溅后，又重新落入油池中，所以会先出现向下的峰值后紧接着出现向上的峰值。随着燃烧的进行，质量损失速率总体在不断的增大，在105s时，质量损失速率达到-1.75g/s，之后的质量损失速率在这个周围上下浮动，此时火焰应该从初期发展阶段进入到了稳定燃烧阶段。油初温80℃时，加入10mL的正庚烷后，就可以引燃变压器油。在7.2s时，燃烧速率出现最大值为-4.75g/s。同之前工况一样先出现向下的峰值后接着出现向上的峰值。而且随着燃烧的进行，质量损失速率曲线总体在不断下降，在83.4s时，质量损失速率达到-2g/s，之后的燃烧过程质量损失速率在这个周围上下浮动，从这个时间后火焰的发展过程从初期发展阶段进入到了稳定燃烧阶段。

总结上述实验现象，发现在油池直径不变时，随着变压器油初始温度的升高，引燃变压器油所需添加的正庚烷量越来越少，最小为80℃时加入10mL。并且变压器油初始温度最高时，在进入稳定燃烧阶段后，平均的质量损失速率则越大。

3.4 传热定量计算

在油池直径为40cm时，加入少量正庚烷后点燃，此时的平均质量损失速率为0.22g/s，燃烧速率为1.76g/(m²·s)。

已知正庚烷的热值为 44600kJ/kg, 则 $Q=m\Delta H=78.496kW/m^2$ 。Hertzberg 等诸多学者们采用大量的实验, 并通过点源模型得出了大量液体池火的辐射分数, 所以选择变压器油的辐射系数近似为 15%, 通过计算, 变压器油单位时间燃烧产生的辐射能 $Q_r=15.699kW/m^2$, 计算出变压器油液面接收到的辐射热 $Q_{ra}=1.91kW$ 。进而得出油面燃烧时吸收的总热量, 如表 3 所示。

表 3 变压器油不同初温时被点燃所需热量

初温 (°C)	正庚烷量 (mL)	Q_{ra} (kJ)	Q_{cv} (kJ)	Q_{sum} (kJ)
20	13	74.49	18.62	93.11
30	12	68.76	17.19	85.95
60	11	63.03	15.76	78.79
80	10	57.30	14.33	71.63

4 结论

本章主要研究变压器油在不同初始温度下, 对引燃变压器油需要添加的正庚烷最小量进行了探究。研究结果表明:

①油初始温度对于正庚烷能引燃变压器油的最少添加量是有一定影响的, 随着油初温的升高, 引燃变压器油所

需要的正庚烷用量更少。当油池直径为 40cm 时, 从 20°C 时引燃需要添加 13mL 的正庚烷; 温度上升到 80°C 后引燃变压器油只需要添加 10mL 的正庚烷。当油池直径为 50cm 时, 油初温 20°C 时引燃变压器油需要 14mL; 初温上升到 60°C, 添加 11mL 的正庚烷就可以引燃变压器油。

②随着油初温的升高, 正庚烷引燃变压器油所需要的时间将变短。但当油初温升至 50°C ~80°C 后, 引燃时间变化趋势减慢, 大约为 20s。

③从火焰燃烧形态看出, 当注入正庚烷的量不足以引燃变压器油时, 在点火初期阶段, 火焰高度均高于注入正庚烷量能够点燃变压器油的实验组, 约燃烧 9s 后, 正庚烷注入量少的实验组火焰高度开始降低。

参考文献

- [1] R M Glassman, G H J. Influence of laboratory parameters on flame spread across liquid fuels[J]. Combust Sci Tech, 1970(1):293-306.
- [2] Burgoyne J H, F R A, G Q P. The spread of flame across a liquid surface I. The induction period[J]. Proc. R. Soc. Lond. A, 1968,308(1492):39-53.
- [3] 陈国庆.航空煤油火焰蔓延特性研究[D].合肥:中国科学技术大学,2010.