

文章编号: 1001-4888(2023)06-0762-09

变压器油爆炸作用下的消防设备抗爆实验研究^{*}

刘志宇¹, 王昌建^{2,3}, 汪泉^{1,4}, 马鸿盛^{2,3}, 张佳庆^{5,6}, 黄玉彪^{5,7}

(1. 安徽理工大学 化学工程学院, 安徽淮南 232001; 2. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽合肥 230009; 3. 安徽省氢安全国际联合研究中心, 安徽合肥 230009; 4. 安徽省爆破器材与技术工程实验室, 安徽淮南 232001; 5. 国网安徽省电力有限公司 电力科学研究院, 安徽合肥 230601; 6. 国家电网公司 输变电设施火灾防护实验室, 安徽合肥 230601; 7. 电力火灾与安全防护安徽省重点实验室, 安徽合肥 230601)

摘要: 为了研究变压器油爆燃特性和消防设备抗爆性能, 开展了不同起爆药量和不同变压器油量下的消防设备抗爆实验, 实验采用高速相机拍摄爆炸火球演变图像, 利用 3 只压力传感器测量爆炸超压。实验结果表明, 变压器油的爆炸超压时程曲线上可明显观察到 4 个超压峰值, 分别为药包爆炸超压峰值、起爆药包爆炸后气体和油雾过膨胀诱导的负压峰值、反射波经过油雾衰减后的超压峰值及油雾爆炸超压峰值。随着变压器油量增加, 变压器油雾爆炸火球的最大扩展半径增加, 爆炸火球扩展速率则快速减小, 消防水炮、消防水管和 CAFS 喷淋管位置的冲击波超压明显减小。由于起爆药量和变压器油量的限制, 最大爆炸超压仅约 30kPa, 未导致消防设备明显损伤。

关键词: 变压器油; 油雾抛洒; 爆炸火球; 爆炸超压

中图分类号: X932

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-22-275

0 引言

变压器作为电网的枢纽设备, 具有电压等级高、运行温度高、储油量多、结构复杂等特点^[1], 其内部存在大量变压器油, 变压器油本身具有易燃易爆的特性, 在发生电力故障时, 易形成喷射火、流淌火、油池火等多种形式的火灾事故^[2-5]。值得注意的是, 换流变压器运行能量高, 一旦出现异常, 火灾发生初期一般伴随爆炸现象。除对变压器本体造成破坏外, 爆炸冲击对于周边设施也影响极大, 甚至可能会直接导致消防系统和阀厅封堵失效, 因此研究网侧套管中变压器油爆炸对消防设备的毁伤具有重要意义。

目前对于变压器油燃爆特性的研究, 大多数学者主要关注变压器油燃烧过程中关键参数的变化, 并使用数值模拟来研究和分析爆炸事故的原因。郭正位等^[6]运用 TNO 模型研究了变压器油在电弧作用下分解产生的气体体积、气团大小、封闭强度随爆炸压力的变化关系。赵欣宇等^[7]对变压器油闪蒸后发生的爆炸和泄爆进行数值模拟, 发现随着爆炸当量增加, 爆炸产生的冲击波能量会相应地增强, 从而导致更强的冲击效应。Brady 等^[8]基于数值模拟开展了变压器几何特征及内部设备位置布局的优化设计。Martin 等^[9]通过对变压器爆炸事故的数据分析发现, 套管失效是引发变压器爆炸事故的主要原因。此外, 一些常见燃料的燃爆和抛洒特性参数及火球预测模型也成为了大量学者研究的对象。尤祖明等^[10]针对 JP-10 燃料的燃爆特性进行了实验, 发现燃料高热值特性有助于提高云爆武器的热毁伤效果。吴德义^[11]利用高速摄影技术揭示了冲击波作用下液体抛洒不同阶段的运动规律。史远通等^[12]基

* 收稿日期: 2022-11-06; 修回日期: 2022-12-08

基金项目: 安徽省自然科学基金能源互联网联合基金项目(2008085UD13)

通信作者: 王昌建(1975-), 男, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向为新能源安全与高效利用。Email: chjwang@hfut.edu.cn

于数值模拟对燃料空气炸药的燃料抛洒非对称特性进行了研究,得出中心装药的偏移对燃料抛洒有同向抑制作用的结论。郭学永等^[13]开展了燃料爆炸实验,将燃料爆炸抛洒分为喷出、过渡和膨胀3个阶段,并发现各阶段结束时刻和最终云雾直径与装填燃料体积量的立方根成正比。Roberts^[14]研究了高压液化天然气可燃云的质量对火球直径、火球持续时间的影响。Dorofeev等^[15]开展了柴油、汽油等燃料爆炸火球的热辐射研究。Makhviladze等^[16]通过建立液态燃料与液化气体混合物瞬态流动的计算模型,揭示了燃料云着火时火球发展的演化机理。Wang等^[17]开展了全尺寸的液化天然气蒸汽云爆炸实验,并建立了考虑爆炸产物吸收率的火球理论模型。

综上所述,现有文献中关于火球预测模型和爆炸特性参数的研究多数基于常见燃料开展。对于变压器油的燃爆方面,主要集中于数值模拟和爆炸事故的原因分析,而对变压器油爆炸火球和超压分析较少。鉴于此,本文开展了不同体积的变压器油爆炸对消防设备损伤的实验研究,研究结果可为变压器油损伤鉴定和燃爆防控提供参考。

1 实验装置与实验系统

1.1 实验装置

本文主要研究变压器油在起爆药包作用下的爆炸对消防装置的影响。变压器油与消防装置布置如图1所示。变压器油装于直径为286mm的塑料袋,起爆药包位于变压器油柱的中心。起爆药采用不同比例的黑索金与铝粉进行混合装药。变压器油柱通过挂钩悬挂于铝合金支架中心,其中心距离地面1.5m。实验测试的消防装置包括不锈钢水喷雾管道、压缩空气泡沫系统(CAFS)喷淋管和消防水炮,三者分别位于以变压器油柱为中心、半径1.5m的圆周上。2根CAFES喷淋管呈空间对称设置,消防水炮与不锈钢水喷雾管也呈空间对称设置,两相邻消防装置的圆心角为90°。

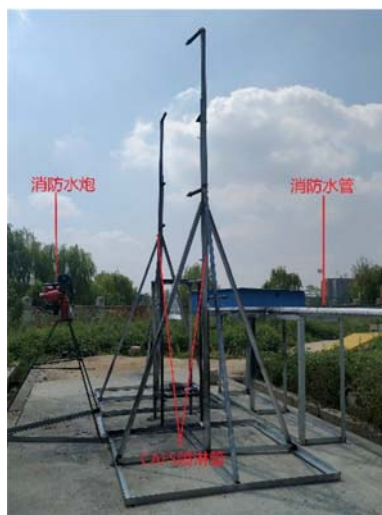


图1 实验装置现场图

Fig. 1 Experimental set-up

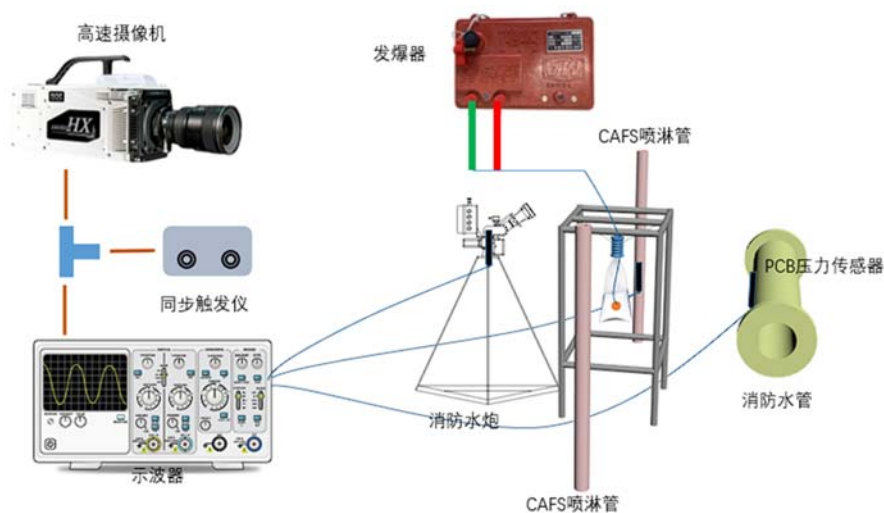


图2 测试系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the test system

1.2 测试系统

测试系统由摄像系统、压力测试系统和点火系统组成,如图2所示。摄像系统主要包括HX-3E型高速摄影机、计算机及HXlink处理软件。压力测试系统包括3只102B16系列PCB传感器、恒流源以及LeCory HDO 4034型示波器。3只PCB压力传感器分别放置在消防水炮、不锈钢水喷雾管道和

CAFS 喷淋管朝向爆炸中心的表面。感应面与冲击波波阵面垂直,并使用防火绝缘胶带进行固定。压力传感器与爆炸中心保持水平并离地面 1.5m。点火系统为便携式发爆器。采用 NAC 公司 HX-3E 高速摄影机进行图像拍摄,拍摄速率每秒 2000 帧,曝光时间为 4s。

2 实验研究与分析

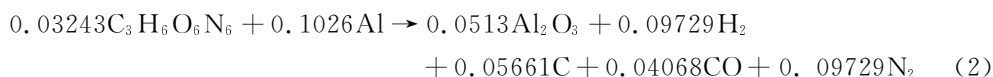
2.1 不同起爆能量下变压器油的爆炸特性分析

为获得变压器油起爆着火的最小能量,共设计了 5 组不同比例黑索金和铝粉混合的起爆药包(共 12g),黑索金与铝粉的质量比分别为 9:1、8:2、7:3、6:4、5:5。含铝起爆药包的爆炸过程可以分为 2 个阶段,其中第一阶段为炸药爆轰阶段,第二阶段则是二次反应阶段。在这 2 个阶段中,铝粉只参与了二次反应阶段。为了更好地描述和研究这个过程,引入反应度 λ 与铝氧比 χ ^[18]。通过引入这 2 个参数,能够更准确地描述和量化铝粉在二次反应中的作用,以及铝氧比对反应度的影响。

$$\lambda = -\frac{0.07303}{\chi} + 1.2226 - 0.8172\chi + 0.217273\chi^2 \quad (1)$$

以黑索金与铝粉按照质量比 6:4 混合的起爆药包为例,根据式(1)计算得到 χ 值为 0.9146, λ 值为 0.5771。通过将物质的质量除以其摩尔质量的方式计算出黑索金和铝粉的摩尔数,即 $n_{\text{RDX}}=0.03243$ mol, $n_{\text{Al}}=0.1778$ mol,则参与反应的铝粉的摩尔数为 0.1026mol。

混合炸药的化学反应方程式为



由于炸药的爆炸过程非常迅速,因此可以近似看作是定容过程。为了更准确地描述炸药的爆炸热效应,我们采用定容爆热 Q_V 来表示。通过应用盖斯定律,可以计算出炸药的定压爆热 Q_P 为 7.647 MJ/kg。已知定容爆热 Q_V 与定压爆热 Q_P 之间存在如下关系:

$$Q_V = Q_P + P\Delta V \quad (3)$$

式中: P 为平衡态时的压强,Pa; ΔV 为反应前后气体体积之差, m^3 。

假设产物与反应物的性质满足理想气体状态方程,即

$$P\Delta V = \Delta nRT \quad (4)$$

式中: T 为温度,K; R 为气体摩尔常数,8.314J/(mol·K); Δn 为生成物与反应物的气态摩尔数之差。

当 $T=298\text{K}$ 时, $R=8.314\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$,有

$$Q_V = Q_P + 2.478 \times \Delta n = Q_P + 2.478 \times (n_2 - n_1) \quad (5)$$

式中: Q_P 为产物的生成热之和减去反应物的生成热,MJ/kg; n_1 、 n_2 分别为反应物与产物的气态摩尔数,mol。综上所述,当 $T=298\text{K}$ 时起爆药包定容爆热为 7647.583kJ/kg。

表 1 给出了不同质量比的起爆药包点火能,表中 m 表示铝粉与 RDX 质量。图 3 给出了不同比例混合药包引爆 1L 变压器油时的爆炸瞬态图像。从图 3 中的不同起爆能量瞬态图可知,采用黑索金和铝粉 6:4 比例装药的起爆药包可以点燃变压器油,并产生爆炸火球。

表 1 不同配比点火能

Tab. 1 Ignition energy of different proportions

炸药配比	$m(\text{RDX}) :$ $m(\text{Al})=9 : 1$	$m(\text{RDX}) :$ $m(\text{Al})=8 : 2$	$m(\text{RDX}) :$ $m(\text{Al})=7 : 3$	$m(\text{RDX}) :$ $m(\text{Al})=6 : 4$	$m(\text{RDX}) :$ $m(\text{Al})=5 : 5$
点火能/kJ	73.726	80.340	89.194	91.766	86.188

2.2 不同体积变压器油爆炸火球的特性分析

图 4 给出了变压器油爆炸火球典型演化过程,该过程可分为 2 个阶段:第一阶段,炸药起爆后,变压器油在爆炸冲击作用下破碎成为小液滴^[19],油滴与气体之间存在速度滑移,在液滴表面形成逆气流方向的剪切力,油滴进一步破碎形成更小的油滴^[20]。第二阶段,起爆药包中铝粉燃烧产生大量热量,使油



图 3 不同起爆能量的爆炸瞬态图

Fig. 3 Comparative transient plot of explosions with different initiation energies

雾发生汽化、燃烧,进而形成爆燃火球^[21]。随着时间的推移,爆炸火焰的直径不断增大。由于油柱非球形,导致油雾非球形,爆炸火焰也非球形。

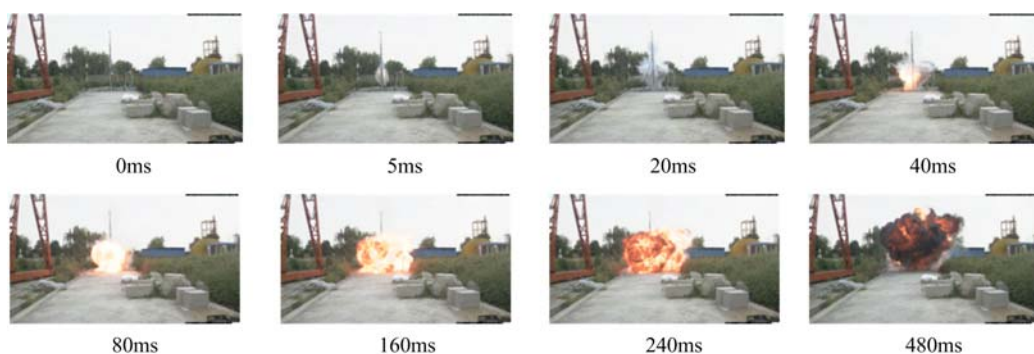


图 4 变压器油在起爆药包作用下的爆燃过程(油量:3L;起爆能量:91.766kJ)

Fig. 4 The combustion process of transformer oil under the action of explosive charge (oil volume: 3L; detonation energy: 91.766kJ)

借助图像处理软件将高速摄影所拍摄的火球锋面进行定位,可以得到火球扩展锋面的坐标值,进而获得爆炸火球的扩展半径和速率。图 5 和图 6 给出了不同体积变压器油爆炸火球扩展半径和速率的变化曲线。当起爆药包爆炸作用于变压器油时,最初的 10ms 内,变压器油在起爆药包爆炸作用下抛洒形成油雾,铝粉燃烧点燃变压器油雾,诱导油雾-空气两相爆炸,火球半径快速增大,最大扩散速率可达 170m/s~180m/s。需要说明的是,图 5 给出的半径为各方向的最大扩散半径,非当量半径。当药包爆

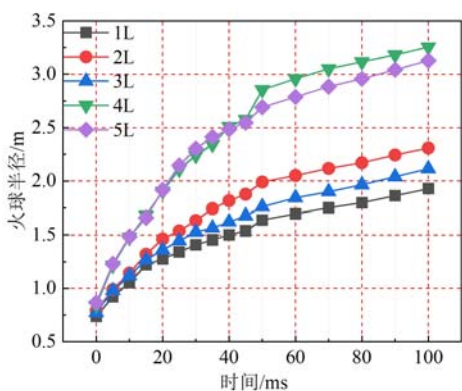


图 5 不同体积变压器油爆炸火球半径随时间变化曲线(起爆能量:91.766kJ)

Fig. 5 Fireball radius of transformer oil with different volumes vs. time (initiation energy: 91.766kJ)

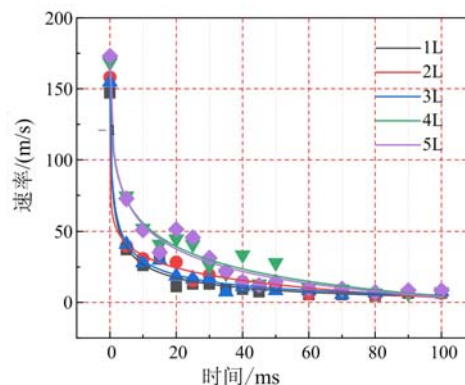


图 6 不同体积变压器油爆炸火球扩展速率随时间变化曲线(起爆能量:91.766kJ)

Fig. 6 Explosion fireball extending rate of transformer oil with different volumes vs. time (initiation energy: 91.766kJ)

炸冲击波作用不断削弱,油雾抛洒速率减小,导致火球扩散速率随着时间快速衰减^[22]。起爆能量相同的情况下,不同体积的变压器油会形成不同密度和雾滴直径的油雾,因此,油雾-空气两相爆炸速度随变压器油体积的增加而增大。随着火球扩散半径增大,炸药爆炸作用不断衰减,不同体积变压器油的火球扩展速率趋于相等。图 7 给出了不同变压器油量的爆炸火球最大扩展半径,需要说明的是,变压器油爆

炸的起爆能量均为 91.766kJ。图 7 表明:当油袋直径和起爆药包能量相同时,随着油量由 1L 增至 5L,爆炸火球的最大扩展半径由 3.22m 增至 7.34m,即爆炸火球的最大扩展半径随着油量的增加而增加。

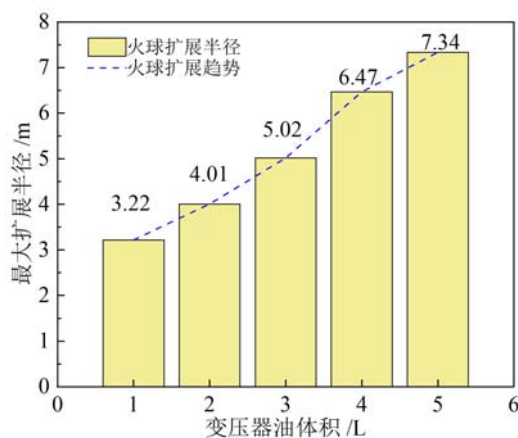


图 7 不同体积变压器油量的火球最大扩展半径(起爆能量:91.766kJ)

Fig. 7 Maximum radius of transformer oil fireball with different volumes (initiation energy: 91.766kJ)

膨胀诱导的负压峰值,P3 为反射波经过油雾衰减后的超压峰值,P4 为油雾爆炸超压峰值。

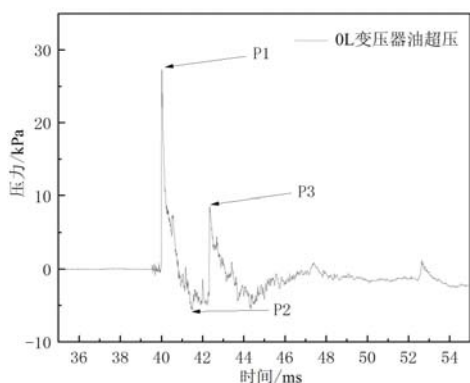


图 8 无变压器油爆炸超压曲线(起爆能量:91.766kJ)

Fig. 8 Explosion overpressure profile without transformer oil (initiation energy: 91.766kJ)

2.3 不同体积下变压器油爆炸的超压分析

为对比分析变压器油爆炸超压的变化规律和峰值特征,首先开展了无变压器油、相同药量、爆心距为 1.5m 的起爆药包爆炸实验,典型结果如图 8 所示,需要说明的是,该实验无消防装置,仅用于对比确定峰值特征。P1 为药包爆炸超压峰值,P2 为起爆药包爆炸后气体过膨胀诱导的负压峰值,P3 为爆炸波在地面或其他边界反射形成的超压峰值。

图 9 给出了 2L 变压器油的爆炸超压时程曲线图,由图可明显观察到有 4 个超压峰值。对比相同起爆能量作用下无变压器油的爆炸超压曲线与 2L 变压器油的爆炸超压曲线,峰值超压 P1、P2 和 P3 的出现时间以及峰值大小接近。P1 为变压器油内药包爆炸超压峰值,P2 为起爆药包爆炸后气体和油雾过

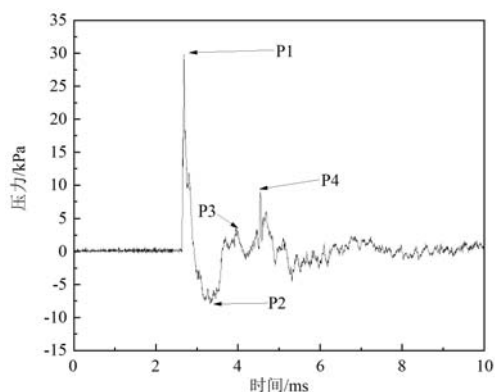


图 9 2L 变压器油爆炸超压曲线

Fig. 9 Explosion overpressure profile of 2L transformer oil

图 10 给出了不同体积变压器油的爆炸超压时程曲线图。由图 10 可以看出,不同体积变压器油的爆炸时程曲线与 2L 变压器油的爆炸超压时程曲线变化规律基本一致。图 11 给出了在不同消防设备位置处所测的峰值超压 P1、P2、P3 和 P4 的结果。当油量增多时,药包爆炸产生的冲击波用于抛洒、破碎变压器油的能量逐渐增加,这会导致在消防水炮、消防水管和 CAFS 喷淋管位置的冲击波超压减小。在消防水炮位置,超压从 33.05kPa 降到 9.06kPa;在消防水管,超压从 24.32kPa 降到 8.93kPa;在 CAFS 喷淋管位置,超压从 28.80kPa 降到 8.75kPa。由于油柱和药包的非球形,导致在消防水炮、消防水管、CAFS 喷淋管位置的峰值超压略有不同。尽管油量增加,峰值超压 P2 和 P3 的变化幅度较小,而峰值超压 P4 则略有下降或变化幅度不大。主要原因在于,起爆药包爆炸可以抛洒和破碎变压器油,而产生的油雾半径均大于测点半径 1.5m。起爆药包中的铝粉燃烧点燃油雾,油雾-空气诱导两相爆燃,由于测点距中心距离相同,因此油雾爆燃超压基本一致。但相同起爆药包爆炸作用下,由于变压器油量的不同,油雾雾滴直径和空间分布会不同,对爆燃超压略有影响。

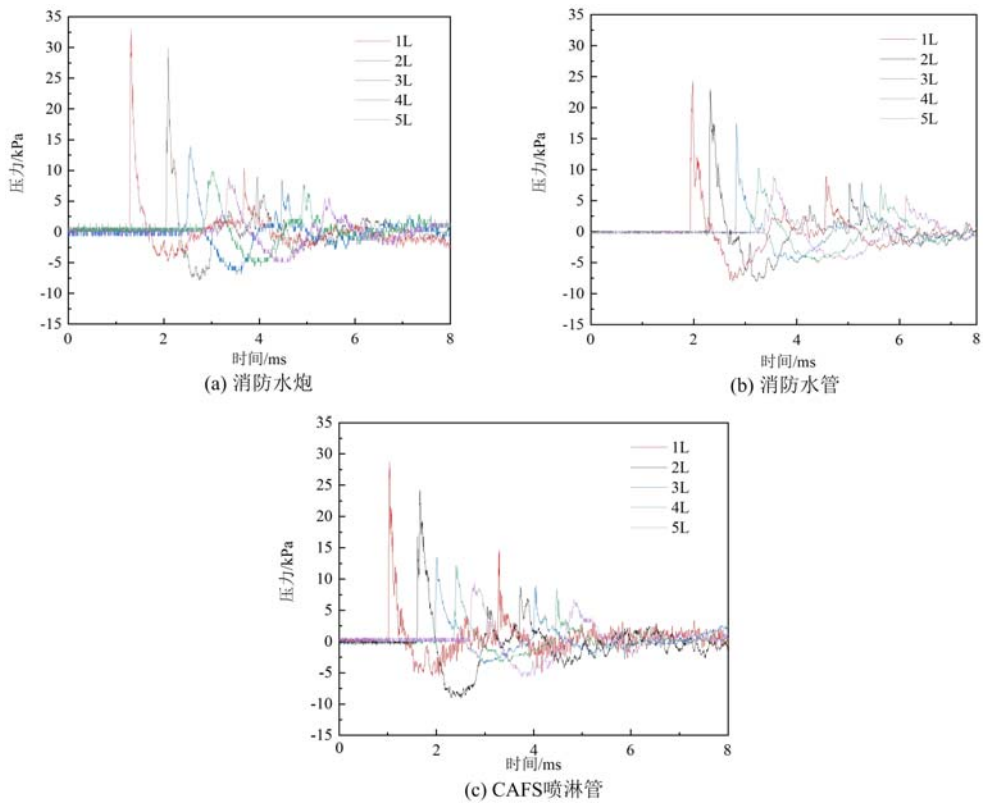


图 10 不同消防设备位置变压器油爆炸超压时程曲线

Fig. 10 Explosion overpressure profiles of transformer oil at different fire-fighting equipment locations

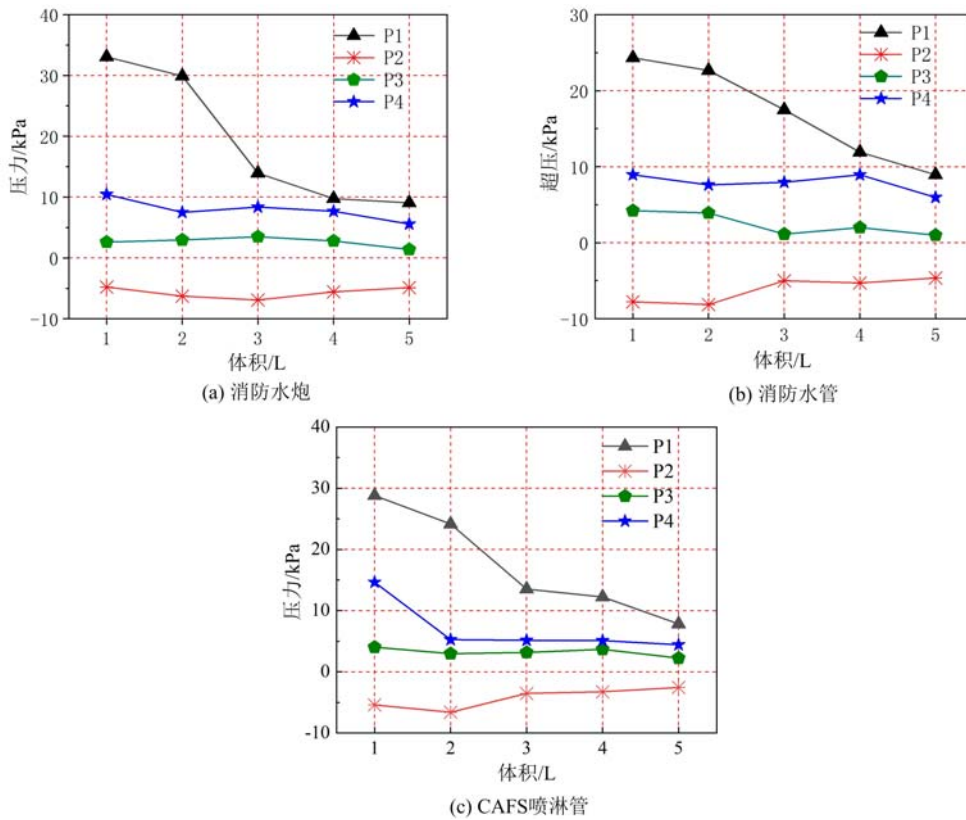


图 11 不同消防设备位置的峰值超压

Fig. 11 Peak overpressures at different fire-fighting equipment locations

3 结论

通过开展不同体积变压器油爆炸下的消防设备抗爆实验,探讨了起爆药包组成和变压器油量的影响机制,得出主要结论如下:

(1) 使用不同比例的黑索金和铝粉混合药包引爆变压器油,当起爆药包总质量为 12g,黑索金和铝粉的比例为 9:1、8:2、7:3 时,只能使变压器油抛洒成雾状,无法引燃。而当黑索金和铝粉的比例为 6:4 时,起爆药包可以引燃变压器油雾。

(2) 在变压器油的爆炸超压时程曲线上可明显观察到 4 个超压峰值,分别为药包爆炸超压峰值、起爆药包爆炸后气体和油雾过膨胀诱导的负压峰值、反射波经过油雾衰减后的超压峰值及油雾爆炸超压峰值。

(3) 针对给定的起爆药包能量,随着变压器油量的增加,爆炸火球的最大扩展半径增大,其扩散速率也增加。随着火球的扩展半径增大,不同油量的变压器油爆炸火球扩展速率趋于相等。

(4) 随着变压器油量的增加,起爆药包爆炸所产生的冲击波能量中用于变压器油破碎和抛洒的能量增加,导致在消防水炮、消防水管和 CAFS 喷淋管位置的冲击波超压减小。受起爆药量和变压器油量的限制,最大爆炸超压约为 30kPa。虽然爆炸超压对消防设备产生了一定效应,但并未造成明显的损伤。

参考文献:

- [1] 陈涛, 赵力增, 傅学成, 等. 大型换流变压器火灾事故特点与灭火方案[J]. 消防科学与技术, 2020, 39(8):1138-1141 (CHEN Tao, ZHAO Lizeng, FU Xuecheng, et al. Fire accident characteristics and firefighting solutions of large converter transformer [J]. Fire Science and Technology, 2020, 39(8):1138-1141 (in Chinese))
- [2] 赵志刚, 徐征宇, 王健一, 等. 大型电力变压器火灾安全研究[J]. 高电压技术, 2015, 41(10):3378-3384 (ZHAO Zhigang, XU Zhengyu, WANG Jianyi, et al. Research on the fire safety of large power transformer [J]. High Voltage Technology, 2015, 41(10):3378-3384 (in Chinese))
- [3] 汪亚龙, 黎昌海, 张佳庆, 等. 油浸式变压器火灾事故的特点与灭火对策研究[J]. 安全与环境工程, 2019, 26(6):166-171 (WANG Yalong, LI Changhai, ZHANG Jiaqing, et al. Fire accidents characteristics and fire extinguishing countermeasures of oil-immersed transformer [J]. Safety and Environmental Engineering, 2019, 26(6):166-171 (in Chinese))
- [4] 陈庆, 魏旭, 陈光, 等. 受限空间射流火形成和发展影响因素研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(7):35-40 (CHEN Qing, WEI Xu, CHEN Guang, et al. Study on influence factors of formation and development of jet fire in confined space [J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(7):35-40 (in Chinese))
- [5] 汪亚龙, 黎昌海, 张佳庆, 等. KI50X 特高压变压器油火灾特性参数分析[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(4):1361-1369 (WANG Yalong, LI Changhai, ZHANG Jiaqing, et al. On the oil fire feature parameter analysis of the fire disaster initiated by the UHV KI50X typical UHV transformer [J]. Journal of Safety and Environment, 2020, 20(4):1361-1369 (in Chinese))
- [6] 郭正位, 郭新菊, 刘湘莅, 等. 变电站绝缘油分解气体爆炸研究[J]. 消防科学与技术, 2018, 37(6):828-830 (GUO Zhengwei, GUO Xinju, LIU Xiangli, et al. Study on explosion of decomposition gas of insulating oil in whole indoor substation [J]. Fire Science and Technology, 2018, 37(6):828-830 (in Chinese))
- [7] 赵欣宇, 杨黎波, 董一夫, 等. 变压器油蒸气爆炸与泄爆过程数值模拟[J]. 工业安全与环保, 2021, 47(8):31-35 (ZHAO Xinyu, YANG Libo, DONG Yifu, et al. Numerical simulation of transformer oil vapor explosion and venting process [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2021, 47(8):31-35 (in Chinese))
- [8] Brady R, Perigaud G, Muller S, et al. Application of a 3D computer simulation tool as a decision making tool for optimizing transformer protection[C]. IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2009.
- [9] Martin D, Beckett C, Brown J, et al. Analysis and mitigation of Australian and New Zealand power transformer failures resulting in fires and explosions[J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2019, 35(6):7-14.
- [10] 尤祖明, 王永旭, 张莹, 等. JP-10 燃料燃爆特性及无约束爆炸状态场参数试验研究[J]. 爆破器材, 2020, 49

- (3): 49 – 52 (YOU Zuming, WANG Yongxu, ZHANG Ying, et al. Experimental study on explosion characteristics and unconfined blast parameters of JP-10 fuel [J]. Explosive Materials, 2020, 49(3): 49–52 (in Chinese))
- [11] 吴德义. 爆炸冲击波作用下液体抛撒不同阶段运动规律分析[J]. 爆破器材, 2005(2):4–7 (WU Deyi. Study on specialty of liquid dispersal with blast[J]. Explosive Materials, 2005(2):4–7 (in Chinese))
- [12] 史远通, 张奇. 爆炸驱动燃料抛撒的非理想化特征[J]. 含能材料, 2015, 23(4):330–335 (SHI Yuantong, ZHANG Qi. Non-ideal characteristics of fuel dispersal driven by explosive[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2015, 23(4):330–335 (in Chinese))
- [13] 郭学永, 惠君明, 解立峰. 燃料爆炸抛撒过程的实验研究[J]. 高压物理学报, 2005(2):120–126 (GUO Xueyong, HUI Junming, XIE Lifeng. Experimental study on the process of fuel explosive dispersion [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2005(2):120–126 (in Chinese))
- [14] Roberts A F. Thermal radiation hazards from releases of LPG from pressurised storage[J]. Fire Safety Journal, 1982, 4(3):197–212.
- [15] Dorofeev S B, Kochurko A S, Efimenko A A, et al. Evaluation of the hydrogen explosion hazard[J]. Nuclear Engineering and Design, 1994, 148(2-3):305–316.
- [16] Makhviladze G M, Roberts J P, Yakush S E. Combustion of two-phase hydrocarbon fuel clouds released into the atmosphere[J]. Combustion and Flame, 1999, 118(4):583–605.
- [17] Wang K, He Y, Liu Z, et al. Experimental study on optimization models for evaluation of fireball characteristics and thermal hazards induced by LNG vapor cloud explosions based on colorimetric thermometry[J]. Journal of Hazardous Materials, 2019, 366:282–292.
- [18] 韩早. 温压炸药能量参数计算与释能规律研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2015 (HAN Zao. The calculation of thermal parameters and the characterization of energy release in the mobaric explosive[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2015 (in Chinese))
- [19] 吴德义, 杨基明. 强冲击波作用下液体抛撒的实验研究[J]. 爆炸与冲击, 2003(1):91–95 (WU Deyi, YANG Jiming. Experimental investigation on liquid dispersal induced by explosions [J]. Explosion and Shock Waves, 2003(1):91–95 (in Chinese))
- [20] 汪泉, 李成孝, 李志敏, 等. 干粉灭火剂和水爆炸驱动下运动特性及灭火效果对比分析[J]. 实验力学, 2018, 33(2):281–289 (WANG Quan, LI Chengxiao, LI Zhimin, et al. Comparative analysis of kinematic characteristics and fire extinguishing effect between dry powder extinguishing agent and explosion driven water mist[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2018, 33(2):281–289 (in Chinese))
- [21] 黄勇, 解立峰, 张红伟, 等. 新型微乳化柴油抛撒和云雾爆炸实验及其抑爆性能评估[J]. 爆炸与冲击, 2019, 39(3):152–161 (HUANG Yong, XIE Lifeng, ZHANG Hongwei, et al. Experimental study of dispersal and cloud explosion of a new micro-emulsified diesel fuel and its explosion suppression performance assessment [J]. Explosion and Shock Waves, 2019, 39(3):152–161 (in Chinese))
- [22] 黄勇, 鲁长波, 安高军, 等. 柴油爆炸性能外场实验研究[J]. 爆炸与冲击, 2015, 35(4):482–488 (HUANG Yong, LU Changbo, AN Gaojun, et al. Experimental research on explosion performance of diesel fuel in the external field [J]. Explosion and Shock Waves, 2015, 35(4):482–488 (in Chinese))

Experimental study on anti-explosion of fire-fighting equipment under the action of transformer oil explosion

LIU Zhiyu¹, WANG Changjian^{2,3}, WANG Quan^{1,4},
MA Hongsheng^{2,3}, ZHANG Jiaqing^{5,6}, HUANG yubiao^{5,7}

(1. School of Chemical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, Anhui, China; 2. School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China; 3. Anhui International Joint Research Center on Hydrogen Safety, Hefei 230009, Anhui, China; 4. Anhui Engineering Laboratory of Explosive Materials and Technology, Huainan 230001, Anhui, China; 5. State Grid Anhui Electric Power Research Institute, Hefei 230601, Anhui, China; 6. State Grid Laboratory of Fire Protection for Transmission and Distribution Facilities, Hefei 230601, Anhui, China; 7. Anhui Province Key Laboratory for Electric Fire and Safety Protection, Hefei 230601, Anhui, China)

Abstract: In order to study the deflagration characteristics of the transformer oil and the anti-explosion performance of the fire-fighting equipment, the anti-explosion experiments of the fire-fighting equipment were carried out with various initiating explosive masses and transformer oil volumes. A high-speed camera was employed to record the evolutions of fireballs, and three pressure sensors were used to measure explosion overpressures. The experimental results show that four overpressure peaks can be clearly observed on the explosion overpressure curves of transformer oil, which are the explosion overpressure peak of the explosive charge, the negative pressure peak induced by the overexpansion of gas and oil mist after the explosion of the charge, the overpressure peak of reflected wave attenuated by oil mist, and the overpressure peak induced by oil mist explosion. With the increase of oil volume, the maximum expansion radius of the explosion fireball increases, but the expansion rate of the explosion fireball decreases rapidly. A significant reduction of the overpressures of the shock wave at the fire monitor, fire hose, and CAFS spray pipe is found. Due to the limitation of initiating explosive mass and transformer oil volume, the maximum explosion overpressure was only about 30kPa, which does not cause obvious damage to the fire-fighting equipment.

Keywords: transformer oil; explosion dispersion; fireball; explosion overpressure