

野外火烧试验自适应加油控制技术研究

张毅, 宁菲, 陈颖, 甘小伶, 牛宝良, 陈均

(中国工程物理研究院总体工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 针对野外火烧试验对燃烧时间精确控制的需求, 设计了自适应加油控制系统。提出了加油及点火方案及系统构建方案, 采用实时计算燃烧速率、分阶段微调节控制等方法实现了自适应补油控制, 解决了气候、风速、温度等环境因素影响及信号远距离传输噪声等问题。增强了故障处理功能, 提高了系统应急响应能力。通过现场验证试验, 可以证明系统对燃烧时间的控制精度在 ± 1 min, 系统设计满足试验要求。

关键词: 野外火烧试验; 自适应控制; 油位控制; 燃烧时间; 故障处理

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.05.028

中图分类号: TP29; V416.5 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)05-0126-04

Self-adaptive Refueling Control Technology of Field Fire Test

ZHANG Yi, NING Fei, CHEN Yin, GAN Xiao-ling, NIU Bao-liang, CHEN Jun

(Systems Engineering Institute of CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: In order to meet the demand for accurate burning time control in field fire test, a self-adaptive refueling control system was designed. The project of refueling, ignition, and system construction was put forward. Self-adaptive refueling control was realized by using real-time burning rate calculation and stage fine turning control, which minimized the interferences of climate, wind speed, and temperature, and solved the signal noise problem of long distance signal transmission. The breakdown treatment function was enhanced and the emergency response capability was improved. Validation test result showed that the accuracy of burning time control is ± 1 min. The system design meets the requirement of field fire test.

Key words: field fire environment test; self-adaptive control; kerosene-level control; burning time; breakdown treatment

产品在运输或贮存过程中可能会遇到火灾等意外事故, 故有必要进行野外火烧试验来考核其贮运的安全特性^[1]。野外火烧试验的目标是: 点火后能精确控制试验场中大火的燃烧时间在 ± 2 min内。为达此目标, 必须精确控制油池中煤油数量, 使其在试

验结束时刚好燃烧完毕, 且需要防止出现煤油量不够导致试验间断的情况。再者由于野外试验条件恶劣, 气候风速等环境因素会对煤油燃烧效率产生一定的影响, 故自适应加油控制技术是火烧试验的关键技术^[2-3]。

收稿日期: 2013-01-23

作者简介: 张毅(1974—), 女, 北京人, 工学硕士, 高级工程师, 主要研究方向为环境试验动态测试技术。

1 系统设计

1.1 加油及点火方案

野外火烧试验场整体布局如图1所示,主要分为油池、油库、控制间、监控等4部分。油池直径分为3,6,9 m,池深分为300,450,600 mm,内设进水阀门及给油管。油库由油罐、增压泵、防爆电磁阀组成;控制间是整个火烧试验场的核心部位,主要由控制柜、工控机、自动点火加油控制软件组成;火烧试验场外围安装有监控系统,以实时监测火烧试验状态以及试件状态。

加油方案:对于体积较小的试验件可选择3 m

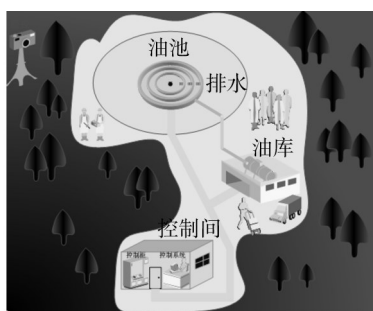


图1 野外火烧试验场布局

Fig. 1 Layout of field fire test

油池,这时需要的油量较小,只需控制防爆电磁阀来加油;当试验件体积较大需用6 m或9 m油池时,要依序开启防爆电磁阀和增压泵,加大灌入油池的油量,使其不会因油量补给低于燃烧速度,导致试验持续时间缩短。

点火方案:目前常用的点火方式是在煤油表面增加几毫米厚的汽油,采用人工点火的方式。当遇有毒有害品时会释放大量有毒气体,或火工品等危险品时必须采用远程点火。为此设计了一路继电器用来控制远端油池内的点火器开启,提高试验抗大风、暴雨等极端天气的能力,未来还可以利用它做触发信号采用激光点火等方式实现点火器重复使用以降低试验成本。

1.2 系统构建

控制系统组成如图2所示,输入信号是压力传感器检测数据,输出信号控制3个继电器,继电器1控制增压泵、继电器2控制防爆电磁阀、继电器3控制点火开关^[4]。

主要控制思路:油池中心的高精度压力传感器将远端油池中的油位信息送回近端的数据采集系统,通过控制系统实时计算补油量,当油量不足时依序开启防爆电磁阀和增压泵,以确保油池中所剩油量刚好在预定试验时间内燃烧完毕,从而完成火烧试验的自动控制过程^[5]。

该系统的核心是自适应加油控制算法和控制方法,用来判断是否需要加油并精确计算补油数量,并针对火烧试验对可靠性及安全性要求高的特点,加强了系统故障处理及应急功能。

2 控制方法

2.1 自适应加油控制算法

野外火烧试验条件艰苦,存在电气噪声、外界环

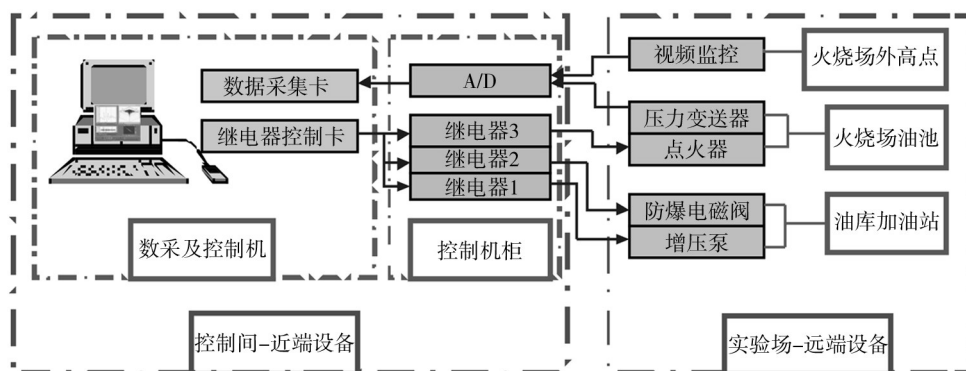


图2 加油控制系统组成

Fig. 2 Composition of refueling control system

境干扰等问题。由于油位信息是由压力传感器远距离输出后经过A/D转换而来,信号噪声、电源瞬时波动和数据采集的模数变换会产生一定的测量误差,故采用电流传输以提高信噪比,以及用格拉布斯准则判断奇异点并剔除异常数据。

由于煤油燃烧效率受油品、风速、气候、环境温度等因素的影响,使其燃烧速度在试验过程中存在非线性和波动性,所以系统若要精确控制燃烧时间,在每次开启增压泵或防爆电磁阀门加油时,需实时计算燃烧速度 $v(t)$,从而更加精确地调节每次的补油数量^[6-7]。

初始燃烧速度 v_0 为:

$$v_0 = \frac{\sum_{t=0}^2 h(t) - \sum_{t=0}^4 h(t)}{4 - 2} \quad (1)$$

实时燃烧速度 $v(t)$ 为:

$$v(t) = \frac{H_0 + \sum_{t=0}^i h_{\text{add}}(t) - h(t)}{\Delta t} \quad (2)$$

式中: T 为试验时间,min; $h(t)$ 为当前时刻煤油量,mm; i 为每次开启电磁阀或增压泵的时刻,min; H_0 为油池中初始油位,mm; $h_{\text{add}}(t)$ 为已加油量,mm。

2.2 自适应加油控制方法

在预定时间内将油池中煤油燃烧至耗尽且燃烧不间断是火烧试验的控制目标,为避免一次加油过多或者油量不足,采用试验分阶段微调节的控制方法,可以更加精确地控制补油量,并结合实时燃烧速度的计算,以消除油品、风速、气候、环境温度等方面的干扰,达到自适应控制的目的,并增强系统抗风险能力。

第1阶段为试验计时开始至试验结束前5 min:在此阶段,以火烧持续至 $(T-5)$ min为目标。即每当系统监测到煤油量不足以持续到试验结束前5 min,便根据当前燃烧速率计算需要补充的煤油量并开始补油。此时实时计算煤油需求量 $h_{\text{need}}(t)=v(t) \times (T-t-5)$,若 $h_{\text{need}}(t)>0$,由于油池高度限制了加油量,需要加逻辑判断,若 $H-H_{\text{water}}-h(t)>0$,则令 $h_{\text{need}}(t)=H-H_{\text{water}}-h(t)$,并打开防爆电磁阀、增压泵进行加油。循环进行该过程,直至试验结束前5 min。

最后一阶段为试验结束前5 min至燃烧结束。

与前一阶段不同的是,实时计算煤油需求量为 $h_{\text{need}}(t)=v(t) \times (T-t)$,若 $h_{\text{need}}(t)>h(t)$,则打开防爆电磁阀、增压泵进行加油。

依据野外火烧试验步骤,并结合自适应控制方法设计了时序控制流程,如图3所示。

其中: T 为预定的火烧试验时间,min; H 为油池外围高度,mm; h_{water} 为初始加水量,mm; $h_{\text{need}}(t)$ 为煤油需求量,mm; $v(t)$ 为实时火烧速度,mm/min。

2.3 故障处理及应急

为处理试验突发状况,全面考虑了试验中可能出现的故障原因,并设计了相应的应急方法。

1) 点火中止:当按下点火按钮后,若在10 s倒计时间内,出现需要暂停试验的特殊情况,可中止点火。

2) 控制故障:试验过程中若控制出现异常,控制软件可随时由自动控制模式切换到手动控制模式,确保试验继续实施。当异常情况排除后,又可转换回自动控制模式。

3) 系统故障:当出现断电或计算机系统死机等异常情况时,可通过控制柜上的开关按键人工控制加油过程,为试验提供双重保险。

4) 人为因素干扰:可根据实际试验过程中由于人为干预或其他因素导致的试验中断情况灵活操作及控制,确保火烧试验的顺利完成。

3 试验验证

软件仿真模拟通过后,分别进行了0.5,1,2 h的火烧试验现场验证试验,结果表明自适应加油控制系统能很好地控制火烧试验时间,控制结果其与试验规定时间之间的误差不超过 ± 1 min,优于火烧试验 ± 2 min的要求。

4 结论

针对野外火烧试验需求,采用实时计算燃烧速率、分阶段微调节控制等方法实现了自适应补油控制,解决了气候、风速、温度等环境因素影响及信号远距离传输噪声的问题,确保了火烧试验不间断且持续时间在试验允许误差范围内,增强了系统抗干扰能力,提高了燃烧时间的控制精度。同时增强了

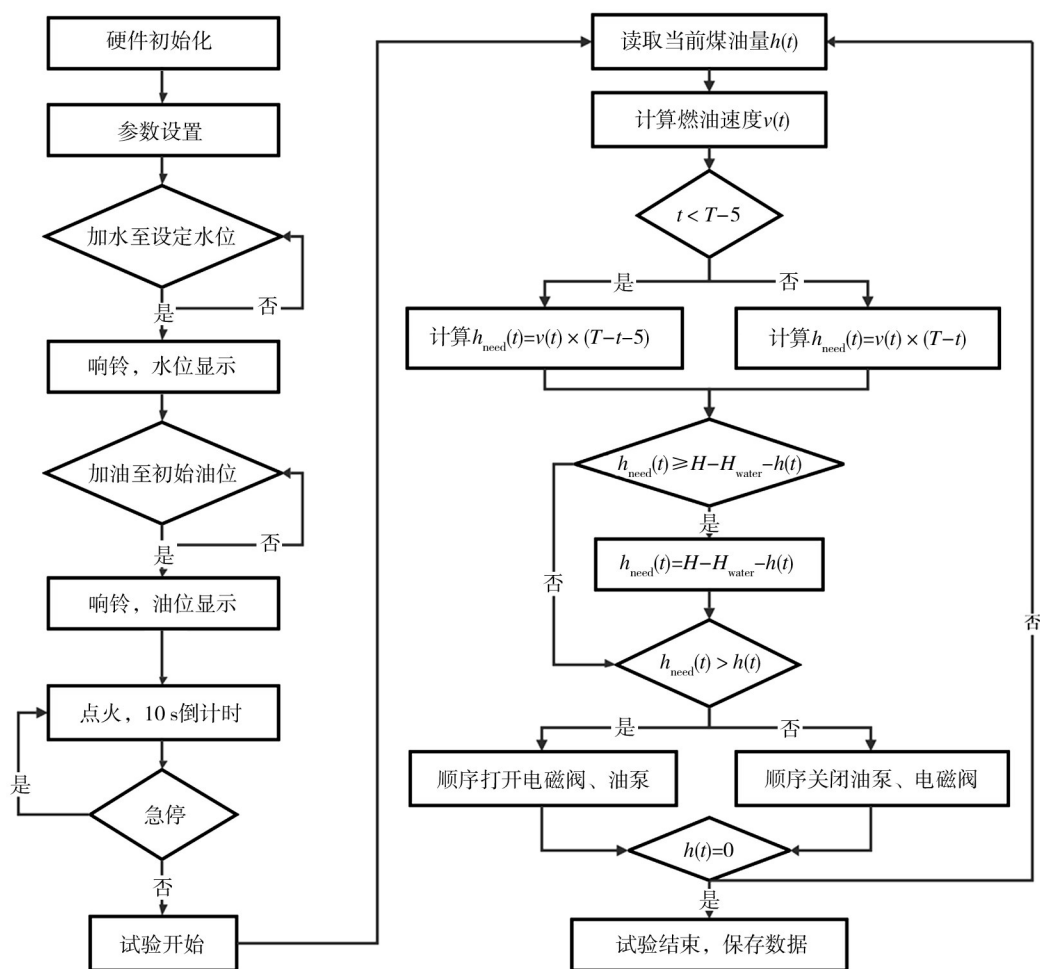


图3 时序控制流程

Fig. 3 Time series control flow

试验故障应急及处理功能,进一步提高了控制安全性。系统建成后已完成多个型号试验任务,可为火工品、易燃液体、有毒有害品等异常环境火烧试验服务,具有较高的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 李明海,任建勋,罗群生,等. 钢-木组合结构在火灾中的热响应数值模拟[J]. 清华大学学报,2001,41(2):68—71.
- [2] 史光梅,李明海,胡绍全,等. 横向风对油池火烧试验的影响[J]. 装备环境工程,2010,7(6):86—90.
- [3] 宇德明,冯长根,曾庆轩. 开放空气环境中的池火灾及其危险性分析[J]. 燃烧科学与技术,1996,2(2):95—103.
- [4] 张毅,宁菲,甘小伶. 火烧试验自动控制系统设计[J]. 自动化技术与应用,2010,29(11):4—7.
- [5] 袁丽英,牟晓光. 自适应液位模糊控制系统设计[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2005,21(3):302—307.
- [6] SENG T L, KHALID M. Tuning of a Neuro-fuzzy Controller by Genetic Algorithms with an Application to a Coupled-tank Liquid-level Control System[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 1998(11):517—529.
- [7] HAIZHOU P, HONG W. Experimental Validation of a Nonlinear Backstepping Liquid Level Controller for a State Coupled Two Tank System[J]. Control Engineering Practice, 2005(13):27—40.