

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.03.001

## 废弃液体推进剂通用销毁处理设备

张福光<sup>1</sup>, 周红梅<sup>2</sup>, 齐强<sup>2</sup>, 赵汝岩<sup>2</sup>

(1. 海军航空工程学院 科研部, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院 7系, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 针对液体推进剂的着火、爆炸、有毒和强腐蚀等危险性特征, 利用液体火箭发动机燃烧技术, 采用以焚烧炉为主体的总体设计方案, 构建废弃液体推进剂通用销毁处理设备的硬件和软件平台。实践证明, 该设备能够保证废旧液体推进剂的高效、环保和安全处理, 已取得了良好的军事和经济效益。

**关键词:** 液体推进剂; 销毁; 设备

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A

## General Destruction Equipment of Discardable Liquid Propellant

Zhang Fuguang<sup>1</sup>, Zhou Hongmei<sup>2</sup>, Qi Qiang<sup>2</sup>, Zhao Ruyan<sup>2</sup>

(1. Dept. of Scientific & Research, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. No. 7 Department, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** Aiming at the dangerous features of firing, explosion, poison and strong causticity of liquid propellant. Adopt burning technology of liquid missile engine and use main design scheme based on incinerator. Construct the hardware and software platform of discardable liquid propellant destruction equipment. The application shows that the equipment could ensure high efficient, no environmental contamination and safe disposing course of discardable liquid propellant, and it has got good military and economical efficiency.

**Keywords:** liquid propellant; destruction; equipment

### 0 引言

液体推进剂是火箭及导弹发动机的重要能源<sup>[1]</sup>, 随着以液体推进剂为主要能源的旧型号武器装备的退役, 如何高效、环保、安全地处理这些废弃液体推进剂成为亟待解决的难题。

对于废旧液体推进剂的销毁处理, 世界各军事大国早在 20 世纪 50 年代初就开始了多方面的探索研究, 并取得了一些研究成果。常用的处理方法通常有化学处理法、物理处理法、联合处理法和焚烧法等处理方法<sup>[1-2]</sup>。其中, 化学处理法一般适应在实验室处理少量废旧液体推进剂。物理处理法成本高、效率低, 一般适用少量液体燃料的处理。联合处理法成本很高, 不适合处理大批量的废旧液体推进剂。而焚烧炉处理技术是在焚烧炉的燃烧室内, 通过可控的高温化学反应过程, 破坏各种有害物质的分子结构, 把废液通过燃烧变成 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 等无害物质, 可以大大减少废旧液体推进剂的体积和质量, 处理效率能够达到 99% 以上, 而且具有占地少、处理速度快、污染物破除彻底、回收的废热还可加以综合利用等优点<sup>[3-4]</sup>。然而, 由于焚烧炉处理技术的初期投资大、控制复杂、操作水平和维修水平要求高, 防止燃爆工艺控制难, 而且仍然存在一定的危险性, 目前只有少数发达国家采用, 在国内的推广也比较

缓慢。基于处理大批量废弃液体推进剂的目的, 笔者设计一种通用销毁处理设备, 利用焚烧法实现废液的无害化可控处理。

### 1 总体设计与功能实现

根据液体火箭发动机燃烧技术, 依据国家危险废物销毁处理技术规范和相关标准, 基于不同类型废液成份和物化性质, 完成废弃液体推进剂通用销毁处理设备的总体设计。

#### 1.1 工艺原理设计

废液燃烧处理的工艺原理见图 1。按照工艺原理框图和工艺路线, 可以将废液的处理过程归纳为: 用柴油先将炉膛温度升高到目标值之后, 喷入经过雾化的待处理废液, 自动或手动调节废液助燃风、二次风的流量和柴油的流量, 在线检测尾气直至尾气达标排放。

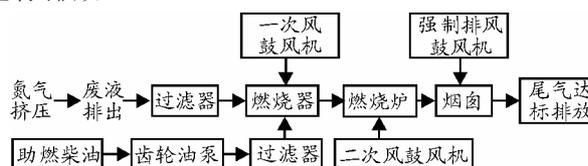


图 1 废液处理工艺原理图

#### 1.2 系统组成

废弃液体推进剂通用销毁处理设备的系统组成

收稿日期: 2010-10-18; 修回日期: 2010-12-24

作者简介: 张福光 (1965—), 男, 山东人, 博士研究生, 副教授, 从事装备综合保障理论研究。

主要根据工艺原理和工艺过程来设计，由以下 9 个系统组成：控制系统、燃烧炉主体、废液供给系统、供风系统、点火及燃烧系统、尾气排放系统、尾气检测系统、氮气系统和工艺平台及方舱。其中，燃烧炉主体形式为卧式，固定于方舱内的工艺平台上；为便于整套设施野外使用、运输、异地组装及维修，整个系统采用模块化设计；而且处理废液过程可以实现自动/手动控制；同时，为了确保安全，系统设置有安全连锁和报警系统。各系统组成示意图见图 2。

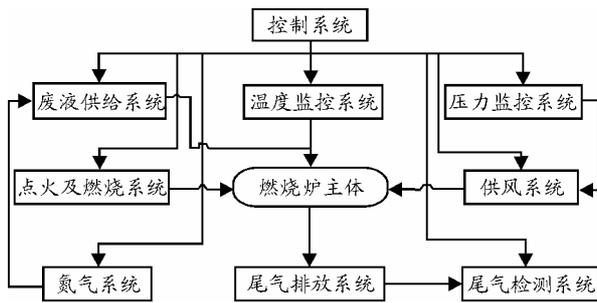


图 2 各系统组成示意图

### 1.3 分系统功能设计与实现

按照废弃液体推进剂通用销毁处理设备的主要用途和系统组成，设计各分系统的主要功能包括：

#### 1) 控制系统（含温度、压力监控系统）

基于参考文献[5-7]中相关理论和方法设计控制系统的硬件部分，实现对整个工作过程的控制和调节。系统主要包括 PLC 控制器、触摸屏、温度传感器、压力传感器等。其功能是控制废弃液体推进剂与柴油按照预设的工艺条件组织燃烧，并实时检测各控制工艺参数，提供非正常状态下的连锁保护。

#### 2) 燃烧炉主体

针对强氧化剂的物性特点，炉膛内耐火材料选用耐强酸等强腐蚀性液体的材料。炉体采用双层圆筒形结构。为了保证炉壳具有足够的强度，炉壳采用耐热钢板制造。内筒为衬有耐火材料的燃烧室，炉膛整体设计要保证在有限的空间内实现大的容积热强度，并保证全部燃料能够完全燃烧达到设计温度、在设计停留时间内滞留、燃烧最终达标排放。

#### 3) 废液供给系统

废液从设备的进口管路进入，在阀门控制下由燃烧炉的燃烧器中心管道进入炉膛，燃烧头分为内外多个同心圆，内部同心圆设有管道分别进入废液和助燃柴油，外部同心圆进入助燃风。

#### 4) 供风系统

供风系统分为 3 个组成部分：一次风（助燃风）、二次风和强制排风系统，分别由 3 台风机完成。一次风由燃烧炉头部通过燃烧器进入炉膛，主要作用是助燃，为废液处理过程提供空气。二次风由燃烧炉主体的夹层进入，夹层内沿炉体长度方向不同位置设置了多个进风孔，其主要作用是降低炉体表面温度，可保证炉体外壁温度不高于 80℃。同时，在炉体的不同位置进入新鲜空气，还可以在炉膛内形成多级燃烧模式，保证燃烧彻底。

#### 5) 点火及燃烧系统

点火系统采用进口燃烧器组件设计，配备有火焰检测装置，具有熄火保护功能。

燃烧系统采用柴油助燃，助燃油通过油泵由燃烧炉的头部进入炉膛。

#### 6) 尾气排放系统

强制排风设置于炉体尾部，主要起引风作用，保证排风顺畅，使炉膛内形成微负压，保证燃烧稳定。

考虑到运输需要，烟囱设计为 2 部分：固定部分内置隔热材料，与炉体部分连接；活动部分平常处于平放状态。在有任务需要处理废液时，将活动部分与其余固定部分衔接，工作时，将燃烧废气高空排放。

#### 7) 尾气检测系统

通过在线仪器检测系统处理是否达标，在线仪器从烟囱中部引出的管道取样，传感器将尾气中的二氧化氮浓度转化为相应的电信号引入设置在控制室的在线仪器内，可即时显示尾气中二氧化氮浓度。

#### 8) 氮气系统

氮气由地面氮气供给系统提供，主要供给废液管道，当系统处理完毕后，还可进行管道和炉膛吹扫用。

#### 9) 工艺平台及方舱

设备整体为方舱形式，满足机动化需求，炉体、泵、风机及各种管件、接口等均固定于方舱底部的工艺平台上。

### 1.4 硬件平台

焚烧炉主体硬件主要组成如图 3。

### 1.5 软件设计

为保证处理设备的通用性和整个处理过程的在线控制，采用 STEP 7-Micor/MIN32 V3.2 编程软件进行编程。

（下转第 10 页）

复合制导舰炮制导炮弹，复合模式采用带复合场镜后馈式共口径方案。在共口径复合方案中，被动红外采用多元长波红外玫瑰扫描亚成像方案，主动毫米波采用圆锥扫描条件下的高距离分辨步进加脉冲多普勒体制。

#### 4 结束语

舰炮制导炮弹的关键技术研究能为有效开展舰炮制导炮弹研制工作提供一定的参考。

\*\*\*\*\*

(上接第 2 页)

系统主要实现手动/自动操作，显示温度曲线、流量曲线、浓度曲线、报警等参数信息及进行风量调节参数的设置等功能。设计完成的系统主界面如图 4。

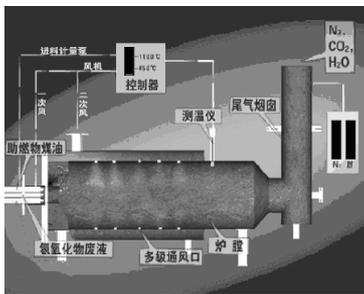


图 3 焚烧炉主体主要组成图

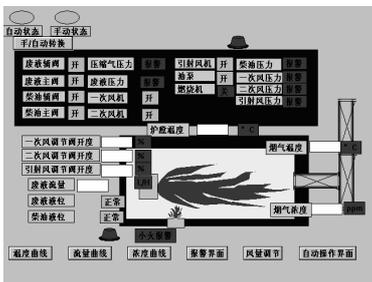


图 4 系统主界面

#### 2 安全与可靠性研究

为确保设备的安全可靠运行，主要采取以下安全设计：

1) 控制系统严格按照操作规范互锁焚烧炉上的所有机电设备的启、停操作。

2) 燃烧炉烧嘴侧设置火焰监测器进行火焰检测，焚烧炉燃烧器设有安全保护装置，一旦发生熄火或点火失败，安全保护装置自动切断燃料和废液供应。

3) 系统的压力设置超限报警：燃烧喷嘴前的油气管道、鼓风管路等处设置压力表进行压力检测，一旦压力超过设定限值，立即停止废液和燃料供给。

4) 系统的温度设置超限报警：炉体内和烟囱内设置热电偶进行温度检测，并通过与二次风管路上的电动阀连动实现温度调节；雾化加压系统与温度

#### 参考文献：

[1] 曲国文, 吴杰, 吴福初. 舰炮制导炮弹军事需求分析[J]. 兵工自动化, 2009(12): 7-8.  
 [2] 钱立志. 信息化炮弹技术[M]. 北京: 解放军出版社, 2006.  
 [3] 祁载康. 制导弹药技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.  
 [4] 陈祥国. 我国舰炮制导炮弹的发展思路及关键技术分析[J]. 国防技术基础, 2005(3): 16-18.

控制连锁，一旦发生炉温超过设定的温度上、下限，立即停止废液和燃料供给。

5) 设置停炉和开炉安全自动连锁程序，采用 PLC 自动控制；设有启动前不排掉易爆气体就不能点火的锁定功能，以防发生气爆事故；设计有残烧定时装置，以确保炉内无残存的易爆气体；焚烧炉停止运转前（包括正常停炉和故障停炉），设有燃烧室冷却和吹扫程序，温度下降到预设温度值时，冷却程序结束，焚烧炉停止工作。

6) 设备设置漏电保护装置，在温度为 40℃，相对湿度为 85%时，电器回路绝缘电阻大于 2 MΩ，并能承受 1 500 V 的实验电压。

#### 3 结论

该处理设备不仅克服了常规焚烧炉的一些弊端，而且提高了焚烧炉销毁处理大量废弃液体推进剂的可控性、安全性、可靠性和高效性，同时满足能够处理不同浓度、热值、粘度、废液成份和有机物含量的高危废液的通用性要求，并成功应用于保障部队，担负大批量销毁处理废弃液体推进剂的任务，已经取得良好的军事和经济效益。

#### 参考文献：

[1] 国防科工委后勤部. 火箭推进剂监测防护与污染治理[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993.  
 [2] 王菊香, 等. 液体推进剂[M]. 烟台: 海军航空工程学院, 2006.  
 [3] La Fauci, Joseph. PLC or DCS: selection and trends[J]. ISA Transactions Volume:36, Issue:1, 1997: 21-28.  
 [4] Garrett Jr, M. Truett. Instrumentation, control and automation progress in the United States in the last 24 years[J]. Water Science and Technology Volume: 37, Issue:12, 1998: 21-25.  
 [5] 郭崇仁. 可编程控制器应用系统设计及通信网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.  
 [6] 张建民, 等. 智能控制原理及应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.  
 [7] 傅氧正. 以 PLC 和触摸屏构成的变风量控制系统[J]. 自控与检测, 1999(6).