第5h卷 第3期　　实 验 室 研 究 与 探 索　　&℃15h Z℃3
5808年3月　　PmBml Pep l Zt mb *D–Pl F/–Z /Z Dl . –Pl F–PR　　l ±_1 5808

旋流式气液同轴喷嘴常压燃烧温度场实验

岳春国[0]， 杨姝君[5]， 张世英[0]， 张　炜[0]

(01第二炮兵工程学院, 陕西 西安 @0885s; 51中国兵器工业集团587研究所, 陕西 西安 @088@5)

摘　要: 结合国内液氧6煤油发动机的研究, 针对5种外环管切向进液流 内管进气流的同轴旋流式喷嘴, 以酒精和压缩空气为工质, 进行了喷雾流常压燃烧实验研究【使用红外热像仪测量了常压条件下喷雾流燃烧的温度分布, 分析了火焰结构, 定性研究了喷嘴形式和工况对燃烧性能的影响【

关键词: 同轴喷嘴; 燃烧; 温度分布; 红外热像仪

中图分类号: & 373　　文献标识码: l　　文章编号: 088y 4 @0y@(5808) 83 4 8877 4 85

V & K F IH y U Q w U W B y

P+j d g[0], Ps wf . g[5], Vms wf . g[0], Vms wf –[0]

(01F#Q BQk℃>K l _ö′′Q_ m>=:>QQ_:>= e℃′=Q b:—V> @0885s, e#:>V;
51587 />×öı öQ℃%e #:>V Z ℃_ö# />Kı ×ö_:Q× g _℃± e ℃_±℃_Vö℃>, b:—V> @088ys, e#:>V)

X : l ö ±_Q×Q>ö, ö#Q _Q×QV_k#Q× ℃> k℃V :V′ >℃ ′Q V_Q V° ℃×ö KQ′Q℃±QK ×ı __℃ı >K:>= # K_℃=Q> 6℃ =Q> Q>=:>Q1 F#Q _Q×QV_k#Q× ℃> ′:<ı :K ℃ =Q> 6+Q_℃×Q>Q ı ×:>= +Q_℃×Q>Q6_:k#4℃ =Q> =V× >℃ ′Q V_Q ′Q×× _Q±℃_öQK1 d ℃_ö ℃+:>K× ℃%=V×6′:<4 ı :K k℃V :V′ × :_′:>= >℃ ′Q, ı ×:>= V′k℃#℃ V>K k℃ ±_Q××QK V:_ V× ℃_+:>= ×ı G×öV>kQ, ö#Q öQ° ±Q_Vöı _Q K:×ö_:Gı ö℃>× ℃% Gı _>:>= ×±_V %℃ ı >KQ_ >℃_° V′ ±_Q××ı _Q Q_Q _Q×QV_k#QK V>K ö#Q :>%ı Q>kQ ℃%>℃ ′Q ö ±Q V>K ℃_+:>= k℃>K:ö:℃> ℃> ö#Q k℃ Gı ×ö:℃> ±Q_%℃_° V>kQ V× <ı V′:öVö:"Q V>V′ QK1

r : k℃V :V′ >℃ ′Q; k℃ Gı ×ö:℃>; öQ° ±Q_Vöı _Q K:×ö_:Gı ö:℃>×; :>%_V_QK ö#Q_° V′ :° V=Q_

M 引　言

喷嘴是液体火箭发动机燃烧室的关键部件之一, 其功能在于将燃料和氧化剂雾化混合, 以进行高效 稳定的燃烧[0]【液体燃料和氧化剂经喷嘴注入燃烧室后进行的雾化 蒸发 混合和燃烧等一系列过程直接影响发动机的工作效率和稳定性【譬如, 在美国航天飞机主发动机(BBE m)中, 仅推进剂的不完全蒸发即达 s A, 导致有效载荷降低57A【

目前, 国内外对喷嘴工作过程的研究以冷流模拟最为深入, 对同轴喷嘴, 绝大部分工作都是围绕氢6氧发动机展开的, 对液氧6煤油发动机所使用的煤油6富氧燃气喷嘴, 前苏联进行了大量的研究, 但详细研究资料鲜见报道【对于燃烧条件下的喷嘴雾化 火焰结构, 以及喷雾流燃烧机理的研究还进行得很不充分[5]【对气6液同轴式喷嘴的研究大多采用内管进液流(切向流或直流) 外环管进气流的形式【俄罗斯曾对外环管切向进液流 内管进气流的同轴旋流式喷嘴进行了大量的实验研究, 并得到了很好的应用【

本文结合国内液氧6煤油发动机的研究, 针对5种外环管切向进液流 内管进气流的同轴旋流式喷嘴, 进行了喷雾流常压燃烧实验研究【研究的5种喷嘴分别为内外双旋式喷嘴和内直外旋式喷嘴, 前者中心通道和同轴环形通道均采用旋流式; 后者中心通道采用直流式, 同轴环形通道采用旋流式【采用酒精和压缩空气为工质, 在常压开放环境下, 利用红外热像仪分别测量了不同工作状态下同轴喷嘴燃烧喷雾流的温度场分布, 分析了喷雾流的火焰结构, 定性研究了喷嘴形式和工况对喷雾流燃烧性能的影响【

收稿日期: 588h 48s 45@

作者简介: 岳春国(0hc0 4), 男, 山东利津县人, 讲师, 现主要从事流场分析研究【FQ′1: 07y8h5805y@; m4° V:′: ×=V>=:c0c@ <<1k℃

U　模型喷嘴 实验装置与实验设计

设计的 5 种同轴模型喷嘴结构形式为:　内外双旋式喷嘴 Z5(见图 0) 【中心通道有收口, 切向进气; 内喷嘴嵌入外喷嘴, 有缩进; 外喷嘴内腔与内喷嘴形成环形通道, 有收口, 切向进液【　内直外旋式喷嘴 Z7 (见图 5) 【中心通道有收口, 直流进气; 内喷嘴嵌入外喷嘴, 有缩进; 外喷嘴内腔与内喷嘴形成环形通道, 有收口, 切向进液【

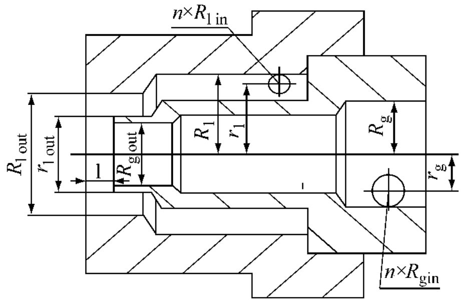

图 0　内外双旋式模型喷嘴 Z5

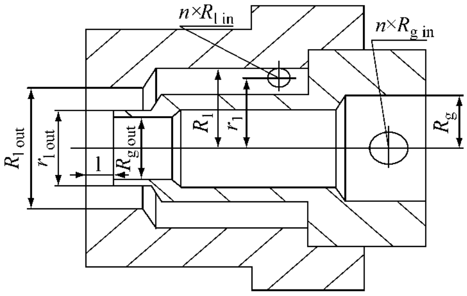

图 5　内直外旋式模型喷嘴 Z7

采用红外热像仪测量常压条件下燃烧喷雾流的温度分布[7 8], 实验装置及系统布置如图 7 所示(图中略去了酒精和压缩空气的供应与控制部分) , 图中热电偶测量系统用于红外热像仪的标定【

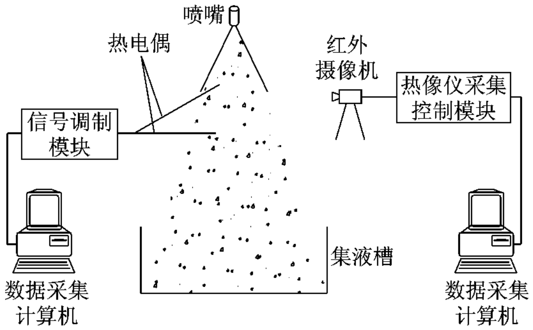

图 7　喷雾燃烧实验测量系统示意图

通过反复调节气 液喷嘴喷前压强, 检验喷雾流的可燃性和安全性, 观察火焰的变化情况, 确定喷雾流稳定燃烧的工况参数范围【针对每一种确定的工况, 由小到大调节酒精和压缩空气的流量, 使系统进入预定工作状态, 形成稳定燃烧火焰【待热电偶达到平衡后, 启动红外热像仪对燃烧喷雾流进行拍照测量【经过专门的图像处理后, 即可获得火焰温度分布以及指定点的温度值[s 4c]【

P　实验结果及分析

本文对 Z5 和 Z7 5 种气 6液同轴喷嘴燃烧喷雾流火焰温度分布进行了 c 次实验测量, 实验工况见表 0, 典型的温度场分布及特征点的温度值见图 3 ‰, 图中划有 @88　和 0 888　5 条等温线, @88　以上认为是燃烧区, 0 888　上认为是高温区【

表 M　燃烧喷雾流温度场实验工况

实验编号	Z5 g 5D 8s	Z5 g5 D 08	Z5g 7D 8s	Z5g 7D 08	Z7g 0(0) D83	Z7 g0 (5) D83	Z7g 0 (7) D83	Z7 g0 D8c
气压降 6E * V	815	8 15	817	817	8 18s	818s	818@	8 18s
液压降 6E * V	81s	0 18	81s	018	8 138	8138	8138	8 1c 8

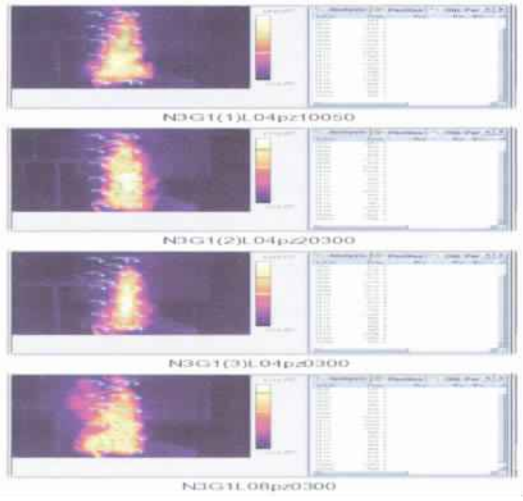

图 3　Z5 喷嘴燃烧喷雾流温度分布图

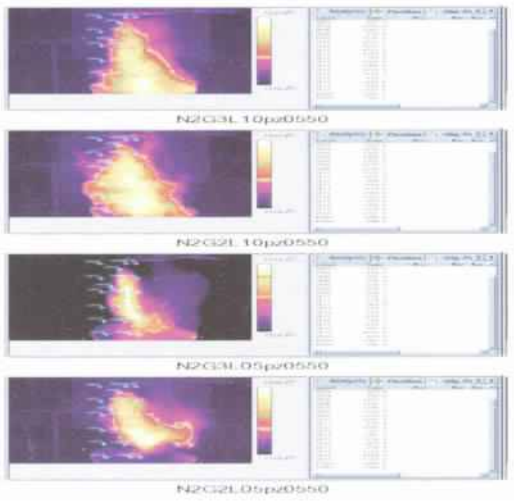

图 s　Z7 喷嘴燃烧喷雾流温度分布图

(下转第 **82** 页)

证书考试(如: Bı > 公司 –V'V 认证考试,美国 l K℃Q (l ℃ıı KQ×+ 认证考试, e ℃ ±F/l l 2 认证考试,微软认证 E e Bm (E e Bt 考试, e /Be – 的 e e Z l (e e Z * 认证考试等等)【学校还应主动与政府有关部门联系,争取获得政府有关职业技能鉴定部门的委托或授权,设立国家级(省部级(地市级三级计算机类职业技能培训点和职业技能鉴定站【要求大学生在毕业前,积极参加政府有关部门的职业技能鉴定考试,获得相应的计算机职业资格证书,在此基础上,鼓励学生争取获取高一级职业资格证书或多种职业资格证书,使学生真正成为具有 高等学历证书 职业资格证书 的 双证型 高级人才【

参考文献(w):

[0] 常春耘,陆 南1 实验教学存在的问题及改革措施 [–] 1 实验室研究与探索, 588y, 5s(5):57s45 7@1

[5] 吴 平,王莲芝1 计算机专业实践教学体系初探 [–] 1 中国大学教学, 588@(c):3y43@1

[7] 周雪梅,李 军1 计算机专业应用型人才实践动手能力培养的研究和改革 [–] 1 江西科技师范学院学报, 588h(0):05y405c1

[3] 陈语林,童 键1 改革实验教学方法 培养学生创新能力 [–] 1 实验室研究与探索, 5887, 55(3):78470 1

[s] 王 苹1 提高我国高校实践教学质量的思考 [–] 1 中国成人教育, 588c(55):053405s 1

[y] 张小林,周美华1 综合性(设计性实验教学改革探索与实践 [–] 1 实验技术与管理, 588@, 53(@):h34hy 1

[@] 孙小权,邹丽英1 实验室开放的探索与实践 [–] 1 实验室研究与探索, 588s, 53(3):08@408h 1

[c] 马晓鹏,冯增才1 计算机专业开放式实践教学体系研究 [–] 1 实验室科学, 588c(s):704771

[h] 王中琪,张清东1 高校实践教学基地建设探讨 [–] 1 西南科技大学学报(哲学社会科学版),5883, 50(3):sy4sc1

[08] 朱天云1 校内外实习基地建设的研究与实践 [–] 1 实验室研究与探索, 588y, 5s(@):cs74css 1

(上接第 **P1** 页)

图 3 ś 中 5 条基本对称的等温线表明,5 种气 6液同轴喷嘴喷雾燃烧火焰宏观上围绕喷雾中心呈现一定的对称性【

Z5 的燃烧火焰强烈地受气(液压降变化影响,喷雾流燃烧区和高温区边界不断跳动,并有偏离喷嘴轴线的迹象,这种不稳定性和偏离轴线的现象随气(液压降的增加有所减小【从温度场分布来看,液压降增大,燃烧区向外扩张;气压降增大,燃烧区向内收缩,区内温度分布趋于一致,液压降较小时,气压降的这种影响更为明显【从特征点温度值来看,液压降增大时,最高温度和平均温度都有所提高;气压降增大时高温区在燃烧区内所占范围扩大,同时最高温度区域远离喷嘴出口【

Z7 的燃烧火焰形状近似于锥形,燃烧区随液压降的增加向外扩张,而随气压降的增加向内收缩,火焰结构趋于稳定【气压降一定,液压降减小会使燃烧区和高温区的边界更为规则,同时温度分布更为均匀【从特征点温度值来看,气压降增大,最高温度有所提高,高温区在燃烧区内所占范围扩大,温度分布更为均匀[h]【

本文实验中,Z5 喷嘴常压燃烧喷雾流最高温度达 0 @@8 ,Z7 喷嘴最高温度达 0 y7c 【比较分析温度场测量结果知,液流量一定,提高气流量,5 种喷嘴喷雾流燃烧的最高温度均有较大幅度提高,说明提高气液比有利于燃烧效率的提高【

Z7 的燃烧区域和高温区域离开喷嘴出口的距离较 Z5 要大,而且该距离随气压降的增加而增大,这有利于发动机中喷嘴的热防护【而内外双旋式有利于气液两相的掺混,液相的雾化(蒸发和燃烧【

1 结 论

(0) 旋流式气 6液同轴喷嘴常压燃烧火焰结构具有一定的对称性,燃烧区域随液压降增加向外扩张,随气压降增加向内收缩;气压降增大或液压降减小时,燃烧区内温度分布趋于均匀【

(5) 喷雾流燃烧效率随气液比的增加而提高【本文实验条件下,内外双旋式喷嘴最高燃烧温度达 0 @@8 ,内直外旋式喷嘴最高燃烧温度达 0 y 7c 【

(7) 内直外旋式有利于喷嘴的热防护,而内外双旋式有利于气液两相的掺混燃烧【

参考文献(w):

[0] 庄逢辰1 液体火箭发动机喷雾燃烧的理论(模型及应用 [E] 1长沙:国防科技大学出版社,0hhs 1

[5] eV_℃Q t Q ŏQ, E V_+ d d:×#Q_1液体火箭发动机燃烧装置试验缩比技术 [e] 第二届国际推进会议论文集1巴黎: [×1>],0hhy: 5sy 4 5sh1

[7] 黄素逸1 动力工程现代测试技术 [E] 1 武汉:华中科技大学出版社,58801

[3] 蔡 毅,汤锦亚1 对红外热成像技术发展的几点看法 [–] 1 红外技术,5888,55(5):54y 1

[s] 寇 蔚,杨 立1 热测量中误差的影响因素分析 [–] 1 红外技术,5880,57(7): 754731

[y] 邓建平,王国林,黄沛然1 用于高温测量的红外热成像技术 [–] 1 流体力学实验与测量,5880,0s(0):37 43@1

[@] 郑兆平,曾汉生1 红外热成像测温技术及其应用 [–] 1 红外技术,5887,5s(0): 004051

[c] 张 明,曾令可1 火焰温度场的红外热成像动态测试 [–] 1 激光与红外,0hh@,5@(s):5cc 45h51

[h] 李云红,孙晓刚,廉继红1 红外热像测温技术及其应用研究 [–] 1 现代电子技术, 588h,75(0):005400s 1