

Combustion of Fuel with Water Content

含水燃料的燃烧

傅维镛 龚景松 侯凌云 著

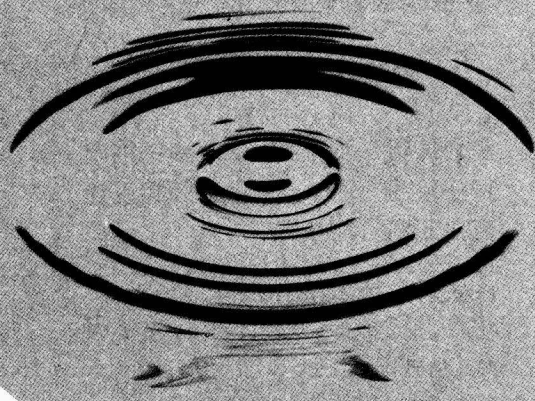


高等教育出版社

Combustion of Fuel with Water Content

含水燃料的燃烧

傅维镛 龚景松 侯凌云 著



高等教育出版社

内容简介

本书系统地介绍了作者在含水燃料燃烧规律研究中取得的重要研究成果。这些研究工作包括乳化燃料的微爆原理、多组分蒸发理论、催化重整对燃烧特性的影响规律;同时,也包括含水燃料对柴油机节油和降低污染的实验研究,以及重质含水燃料的燃烧与污染排放特性;重点揭示了在内燃机中不存在微爆,用水比油蒸发快的原理解释了柴油机中含水燃料能够节油的原因,同时给出采用含氧燃料热分解技术与含水燃料相结合的方法可大幅度提高柴油机节油率的技术途径。相关研究成果已经在国内外公开刊物上发表。然而,由于油燃烧现象的复杂性,尚有一些重要问题有待进一步研究。

本书可供广大从事油燃烧专业的研究人员及工程技术人员参考,也可供相关专业的本科生和研究生使用。

图书在版编目(CIP)数据

含水燃料的燃烧/傅维镛,龚景松,侯凌云著. —北京:高等教育出版社,2009.9
ISBN 978-7-04-027651-0

I. 含… II. ①傅…②龚…③侯… III. 含水性-液体燃料-燃烧 IV. TQ517.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第130729号

策划编辑	刘剑波	责任编辑	张海雁	封面设计	张楠
责任绘图	尹莉	版式设计	王莹	责任校对	俞声佳
责任印制	陈伟光				

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 涿州市星河印刷有限公司

开本 787×1092 1/16
印张 19.25
字数 330 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2009年9月第1版
印次 2009年9月第1次印刷
定价 36.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 27651-00

前 言

含水燃料包括含水酒精、乳化油、水煤浆及含水碳氢化合物等,但本书着重研究的是乳化油。由于对乳化油研究的某些成果也适用于含水酒精、水煤浆等含水燃料,因此本书定名为《含水燃料的燃烧》。

对含水燃料即乳化燃料的研究和使用在我国已有较长的历史,特别是近年来由于油价不断上升,人们更想利用乳化油,以得到廉价的燃料,但又有许多问题未弄清楚,影响了乳化油研究和使用的进一步发展。特别要提到的是 20 世纪 90 年代中期,我国曾出了一个“水变油”的闹剧,许多人上了当。为什么会有那么多人上当受骗呢?这是一个值得深思的问题。一方面说明大家对节油有很大兴趣;另一方面说明不少人对乳化油的燃烧规律尚不清楚,有人以为加多少水就会节多少油。理论工作者应当回答这些问题。在我国,乃至国际上,很少有人进行这方面的研究。一般都集中于乳化油的微爆研究,而且都进行 $d_0 \geq 200 \mu\text{m}$ 油滴的微爆研究。在这些研究中,都观察到了微爆现象,从而千篇一律地用微爆现象来解释乳化油节油的原因。然而,大家知道,一般工业炉中应用的油滴直径都在 $d_0 < 100 \mu\text{m}$ 的范围, $d_0 \geq 200 \mu\text{m}$ 的喷油嘴肯定是不容许应用的。在 $d_0 < 100 \mu\text{m}$ 的条件下,至今没有人发现有任何微爆现象,至少水包油型乳化油是如此。因此,在乳化油的燃烧现象中尚有许多理论问题需要我们去回答。例如:在工业炉和柴油机中究竟有没有微爆存在?若没有微爆发生,那么掺水燃烧节油的原因是什么?掺水量多一点好还是少一点好?压力高一点好还是低一点好?乳化油中的水珠大一点好还是细一点好?水包油乳化油究竟会不会微爆?重质油用水包油好还是用油包水好?若用水包油型乳化油在燃烧上会带来什么问题,如何解决?对于轻油来说如何能制备出能满足柴油机要求的乳化油?油掺水燃烧时,其节油量是否有限制?特别是在理论上如何回答清楚?如何能进一步较大幅度地提高乳化燃料的节油率?乳化燃料与环保的关系如何?究竟掺多少水,才能使烟度和 NO_x 都有较大幅度下降?这些问题若能回答好,将为我国的节油及环保工作带来巨大的效益。本书将从理论和实验两个方面定量地回答上述这些问题。在回答这些问题时,本书提出了一系列的创新思想,例如:

(1) 若有微爆,则定量地回答了微爆发生的条件及微爆与相关因素的定量关系,并给出了在给定的滴径下判别微爆是否能发生的公式。在本书中首次提

出了在柴油机条件下(d_0 为 $20 \sim 30 \mu\text{m}$)不可能存在微爆的观点,这是一个极具挑战性的问题。那么,没有微爆,用什么机理来解释油掺水的节油原因呢?我们用多组分燃料的蒸发理论来代替微爆原理,即由于水的蒸发速率要比纯柴油快得多,因此只要有水存在,则大颗粒油也能变为小颗粒油(其效果与微爆相似),从而使燃烧强化。我们认为这才是油掺水强化燃烧的真正原因。因此,用微爆原理来解释油掺水强化燃烧的原因是不正确的。

(2) 本书首次从理论上算得了节油率的极限值。即当水全部蒸发完时,可以获得一节油的极限值(约4%),该值与国内外的实验值及我们的实验值符合得相当好。我们首次算得的这一极限值说明了用多组分燃料的蒸发理论来代替微爆原理的合理性。前人的研究大多集中在实验或污染的模拟上,很少放在有关油耗的理论研究工作上。这可能是因为油滴微爆后,其滴径究竟如何变化,至今无人研究。因此一般认为,不可能在理论上获得其定量值,只能定性地进行用微爆现象来解释实验结果,我们认为这是错误的。

(3) 在本书中,对乳化油燃烧如何突破4%的极限值的问题,提出了一种新的方法,即用排气加热的方法使燃料分解为 H_2 和少量的 CO 或 CH_4 。通过大量的理论工作,我们发现其中的 H_2 是关键。因为 H_2 的反应速率大,质量热值大,扩散系数比一般气体大 $5 \sim 7$ 倍。因此,混合空气中的 H_2 极易扩散至空间中,由于空间的温度较高(最高温度在中心处),因此 H_2 能快速将空间的高温能量输运到油滴表面,使油滴表面的水以更快速度蒸发。此时柴油的蒸发速度也比无 H_2 气时的要大,因为滴径变小了,因此燃烧将大大强化,从而大大提高了节油率。

根据对氢气的上述认识,我们可得到许多产氢气的燃料,例如甲醇、乙醇、二甲醚等含氧燃料,这些燃料蒸气在加热时都会热解而释放出 H_2 ,这些释放的 H_2 能加速乳化油中水和油的蒸发,因此也就强化了燃烧,提高了节油率,方法简便、可靠。例如我们已用乙醇加热分解产生的 H_2 ,可提高柴油机的节油率 $10\% \sim 12\%$,这是节油率的一个突破。

(4) 对于重质含水燃料油,我们在书中提出了用水包油型乳化油来代替油包水型乳化油。这时黏度较低,许多重油可直接燃烧,在炉前无须加热到 120°C 左右,只要从油库保温来的油温(约 $50 \sim 70^\circ\text{C}$)就可直接进炉膛燃烧。在工业上都用油包水型乳化油,只有本书在重质油中在国内首次应用了水包油型乳化油。但由于这时水在油的外面,因此必须将水快速蒸发掉,油才能暴露在空气中燃烧。我们在书中专门介绍了一种烧水包油型乳化油的喷油嘴和调风器,使用十分有效。经有关院士及专家们的评论,认为实验室已过关,可以进行工业性试验或推广,现正在推广、试验中。这样,在某些情况下,可以用含水

重质油代替柴油,其经济效益巨大。

(5) 本书对轻油和重质油的乳化分别提出了不同方法。对轻油来说,由于它与水混合困难,因此建议用“在线乳化方法”,即随用随制备。我们认为这一方法基本上已成熟,可以大量推广,大约掺水量为 20% ~ 30%,其运行是不会发生任何问题的。我们建议,可以在柴油机发电机组、船或火车柴油机上首先推广、应用,因为这些柴油机的空间较大,有存放乳化器、油箱等有关设备的空间。对于重质油来说,由于它们与水混合较容易,因此建议用预制备方法进行,但建议制成水包油型乳化油,其喷嘴与调风器必须进行专门的设计。

本书的出版,必然使其中的许多方法找到实际的用户,也使读者看后可以接受许多有益的知识或重新考虑过去的认识。这些都将对我国的节油工作起到推动作用,同时也将对环保工作起到进一步的推动作用。

本书中所涉及的研究工作得到了科技部和国家自然科学基金委员会的资助,在此深表感谢。

本书可供从事油掺水燃烧的科技工作者参考。也可供有关研究生参考、选用。

本书是由我们的博士生,如葛阳、覃川、王利坡、张波和硕士生李长乐、王超和刘闯等同学一起参与完成的,并发挥了很大的作用。在此,对他们的辛勤而具有创造性的劳动深表感谢。

本书在出版过程中得到了中国科技大学程久生教授和清华大学航天航空学院工程热物理研究所张健教授和钟北京教授的支持,在此一并表示感谢。

主要符号表

ALR	喷嘴的气液质量比
b	柴油机的油耗
C	摩尔浓度
C_g	气体的流量系数
C_l	液体的流量系数
c_p	比定压热容
d	液滴的直径
D	扩散系数
E	活化能
G	流量
H	燃料的热值
HLB	亲水亲油平衡值
k	频率因子
L	蒸发潜热
m	质量
M	分子量
p	压力
P	柴油机的功率
q	单位面积的传热量
Q	燃料的反应热(热值)
r	半径
rpm	转/分(转速的单位)
R	普适气体常数
Rb	烟度单位
S	面积
S_L	火焰传播速度
t	时间
T	温度
u, v	速度

V	体积
w, W	化学反应速率
X	摩尔百分浓度
y	摩尔相对浓度
Y	气体的质量分数
ε_w	乳化油的含水率
ρ	密度
φ	柴油机的曲轴转角
μ	动力黏性系数
ν	运动黏性系数
η	柴油机的节油率
α	喷嘴的雾化角
γ	绝热指数
Φ, ϕ	当量比

下标

b	液体的沸点
F	燃料组分
f	火焰面
g	气相
i	第 i 种组分燃料
l	液相
m	甲醇
O	氧气组分
p	表示油滴
S	表面参数
W	水组分
∞	环境状态
0	初始参数

II 主要符号表

准则数

Le 路易斯数

Sh_p 多组分的 Sherwood 数

Re 油滴的雷诺数

Sc_d 混合气的施密特数

D_t 当地 Damkohler 数

Pr 普朗特数

目 录

第一章 含水燃料的物理、化学特性	1
1.1 概述	1
1.2 含水燃料的稳定性	2
1.3 含水燃料的制备	4
1.3.1 前言	4
1.3.2 在线乳化方式	4
1.4 在线乳化方式在实际中的应用	6
1.4.1 实验装置	7
1.4.2 实验用油	8
1.4.3 实验结果	8
1.4.4 结果分析	11
1.5 预制备乳化油方式	14
1.6 乳化油与生物柴油混烧能同时降低碳烟及 NO_x 的排放	16
1.7 含水燃料燃烧技术在柴油机中的应用状况	19
第二章 含水燃料燃烧的节能、降污机理	20
2.1 概述	20
2.2 物理作用	20
2.2.1 微爆作用	20
2.2.2 水比油易蒸发的作用	21
2.2.3 水分子的热辐射作用	22
2.2.4 水的蒸发降温作用	22
2.2.5 提高能量可用度的作用	22
2.3 化学作用	22
2.3.1 $\text{H}_2\text{O}+\text{C}$ 的化学反应作用	22
2.3.2 H_2O 与 H 的化学反应作用	24
2.3.3 H_2O 与 O 的化学反应作用	24
2.3.4 水蒸气的催化反应作用	24
2.3.5 冲淡氧浓度的作用	24
第三章 含水燃料燃烧的微爆原理	26
3.1 概述	26

3.2	微爆思想的提出	26
3.3	对微爆的不同观点	27
3.4	微爆机理研究中存在的问题	30
3.4.1	在内燃机的工况下,喷雾以后的乳化油滴是否存在微爆	30
3.4.2	微爆的强弱与各个因素之间的关系	30
3.5	乳化油滴的微爆实验	31
3.5.1	挂滴实验方法与结果	31
3.5.2	飞滴实验方法与结果	34
3.6	乳化油滴的微爆理论	35
3.6.1	前人关于单滴乳化燃料的微爆理论	36
3.6.2	液相输运机理分析	38
3.6.3	乳化油滴微爆的新物理模型——局部混合的分阶段蒸发、 微爆模型	41
3.6.4	关于微爆强度的定量描述	42
3.6.5	数学模型	43
3.7	结果与讨论	53
3.7.1	e 值的确定	54
3.7.2	微爆的预报	58
3.7.3	影响微爆的因素分析	60
3.7.4	对柴油机内微爆发生可能性分析	68
3.8	对微爆现象的几点总结	71
3.9	燃用乳化油的柴油机中是否存在微爆	72
3.10	W/O 和 O/W 型乳化燃料微爆的统一模型	72
3.10.1	实验观察	72
3.10.2	两种不同类型乳化油微爆的统一模型	75
3.11	奥里油单滴燃烧、微爆特性	77
3.11.1	实验系统与原理	78
3.11.2	实验结果与分析	79
3.11.3	改良型奥里油的实验结果	82
3.11.4	海洋乳化油的实验结果与分析	84
第四章	多组分混合燃料滴的蒸发与着火规律	86
4.1	概述	86
4.2	多组分混合燃料滴的蒸发、着火问题的研究	86
4.3	多组分燃料滴蒸发的理论模型	88
4.3.1	多组分燃料滴蒸发的基本假设	89

4.3.2	多组分燃料滴蒸发的气相过程	89
4.4	多组分燃料滴的气相着火	91
4.4.1	多组分燃料滴气相着火过程的基本方程	91
4.4.2	气相化学反应率	92
4.4.3	多组分油滴着火的气相过程	93
4.4.4	多组分油滴着火的液相过程	93
4.4.5	临界着火条件	94
4.4.6	结果与讨论	95
第五章	柴油机燃用含水燃料的节油及其排放机理的定量分析	101
5.1	概述	101
5.2	计算方法	102
5.3	计算模型与选用参数	104
5.4	计算结果与讨论	105
5.4.1	放热曲线的计算结果与讨论	106
5.4.2	燃烧室内压力的计算结果与讨论	109
5.4.3	气缸内温度变化的计算结果与讨论	109
5.5	柴油机燃用乳化燃料同时降低 NO_x 与碳烟的定量分析	113
5.5.1	计算方法研究	114
5.5.2	计算参数与化学动力学参数	114
5.5.3	计算结果与讨论	119
5.5.4	水分以水蒸气形式进入气缸时的污染生成计算结果	122
5.5.5	NO_x 与碳烟生成过程特点及分析	123
5.6	水蒸气对液体燃料高温分解形成碳烟的影响	125
5.6.1	实验研究	126
5.6.2	实验结果与分析	127
5.6.3	数值计算	129
第六章	催化重整反应	132
6.1	催化重整反应及其实验验证	132
6.1.1	催化重整反应	132
6.1.2	两种催化方式	132
6.1.3	甲烷-水蒸气的催化重整反应	133
6.1.4	表面催化反应动力学	139
6.1.5	轻油组分-水蒸气的催化重整反应	142
6.2	催化重整反应对烃类燃料着火的影响	143
6.2.1	引言	143

6.2.2	催化重整着火过程的物理过程	144
6.2.3	烃类燃料着火的实验研究	145
6.3	少量 H_2 对预混气着火影响的理论分析	151
6.3.1	单一组分(CH_4 或 H_2)在前驻点着火的理论分析	152
6.3.2	CH_4 和 H_2 的混合燃料气在前驻点处着火的理论分析	156
6.3.3	考虑气体扩散性的等效总体反应率	157
6.3.4	表面催化重整反应对热球点燃静止预混气的着火分析	160
6.4	表面催化重整反应对热板上乳化油滴着火的分析	164
6.4.1	乳化燃料及油滴贴壁燃烧的重要性	164
6.4.2	实验装置和方法	165
6.4.3	理论分析	166
6.4.4	表面催化重整反应机理	170
6.4.5	计算方法和框图	171
6.4.6	计算结果与实验比较	174
6.5	催化重整反应对火焰传播速度的影响	177
6.5.1	加氢对火焰传播速度的影响	177
6.5.2	实验方法和结果	178
6.6	催化重整反应对预混气火焰稳定性的影响	182
6.6.1	火焰稳定的条件及钝体稳定火焰	182
6.6.2	实验方法和结果	184
6.6.3	理论分析和计算	188
第七章	柴油机中的燃烧新方法	192
7.1	用催化重整反应改善乳化油的着火过程	192
7.1.1	催化重整反应在定容球弹中的实验	192
7.1.2	柴油机气缸中有、无催化剂条件下的着火过程计算比较	194
7.2	催化重整反应对柴油机节油率影响的机理	195
7.2.1	催化重整反应在燃烧技术中的重要作用	196
7.2.2	用水蒸气催化重整反应产生氢、加氢的技术	196
7.2.3	KIVA-3 计算模型的改进	197
7.2.4	催化重整反应模型	197
7.2.5	燃料蒸发模型的改进	198
7.2.6	催化重整反应能大幅度提高柴油机的节油率	201
7.3	用排气加热、分解产 H_2 的方法	202
7.3.1	乙醇在排气管中的加热、分解产氢的方法	202
7.3.2	柴油机的实验结果及分析	204

7.3.3 进气道喷甲醇蒸气的节油实验	208
7.4 H_2 与乳化油的联合使用可以突破4%左右的极限节油率	214
第八章 含水重质燃料油(包括渣油)的燃烧	215
8.1 重质燃料油(包括渣油)的特点	215
8.2 重质油的黏度	225
8.3 奥里油及其水包油型乳化油的特点	228
8.3.1 奥里油的燃烧特性	228
8.3.2 奥里油在使用过程中存在的主要问题	229
8.4 重质油的雾化	232
8.4.1 外混式气动雾化喷嘴	232
8.4.2 内混式气动雾化喷嘴	233
8.4.3 Y型气动雾化喷嘴	233
8.4.4 重质燃料油的旋转式气-液雾化喷嘴	236
8.4.5 旋转型气-液雾化喷嘴的雾化角	246
8.4.6 旋转型气-液雾化喷嘴的流量分布特性	247
8.5 沥青燃料油的燃烧	249
8.5.1 沥青燃料滴的热解规律	250
8.5.2 沥青热解后残炭的燃烧特性	254
8.5.3 单滴沥青的燃烧特性	259
8.6 含水重质燃料油燃烧技术在重油中的应用状况	264
8.6.1 群众对油掺水燃烧技术能节油的机理认识不足	266
8.6.2 乳化剂太贵,造成节油不节钱的状况	268
8.7 改变进气流量实现回流区位置的可调性	269
8.8 含水重质燃料油的燃烧与排放特性试验	272
8.9 应用前景	274
8.10 含水重质乳化油在柴油机中的应用	275
8.10.1 柴油机正常工作对燃油的要求	275
8.10.2 实验设备介绍	277
8.10.3 实验步骤及注意事项	278
8.10.4 实验结果及分析	279
8.10.5 经济性分析	285
参考文献	286

第一章 含水燃料的物理、化学特性

1.1 概述

含水燃料主要包括含水酒精、乳化油及水煤浆等,但这里主要是指乳化油。酒精和水是相溶的,但油与水是不相溶的。只有将油制成乳化油,油与水才能均匀地混合。由于油与水珠的均匀混合,影响了光的散射,因此混合物呈乳白色,称其为乳化油。

早在 1913 年,英国剑桥大学 Hopkinson 就提出了在发动机中掺水燃烧的思想。1927 年英国首次用超声波方法制取了乳化油。1928 年苏联格利格兰首先实现了在锅炉燃料油中掺 20% 水的燃烧。至 30 年代,炉用乳化油燃烧技术已获得了一定的发展。第二次世界大战期间,德国曾做过乳化燃料在内燃机中燃烧的试验。1965 年,苏联依凡诺夫首次发现乳化油的微爆现象,这为乳化油燃烧的节能理论提供了一个依据。国内外许多科技人员都用此解释油掺水的节油原因,但这是不确切的(请见后文)。

各种工业炉和内燃机用的乳化燃料的试验结果表明,乳化油燃烧具有节能与降污的双重作用。所以,从 20 世纪 70 年代中期起,由于对节能和降污的重视,推动了对乳化燃料燃烧技术的研究。

20 世纪 80 年代,许多学者对乳化油燃烧的机理作了大量的研究,例如美国西北大学的 C. K. Law 教授对乳化柴油的燃烧与微爆规律作了较系统的研究。与此同时,美国西南研究所也对乳化柴油的燃烧技术进行了深入研究。

20 世纪 80 年代,我国政府也曾号召各有关部门进行乳化燃料在柴油机、汽油机和工业炉上的应用研究,并取得了可喜成果。在工业炉的应用中是成功的,有着明显的节能及降污效果。但总的说来,这项利国利民的技术没有变成一项实用技术在全国的有关部门推广、应用,尤其在内燃机中。80 年代后,许多研究者否定了这项技术。追其原因,大约有以下方面:

① 乳化油在内燃机中的燃烧有一定的节油效果,但对其燃烧机理尚缺乏统一的认识。有人说在内燃机中有微爆,因此能强化燃烧;有人则说根本没有微爆现象,那么强化燃烧是由什么引起的呢?无统一认识。

② 油、水乳化燃料无法长期均匀稳定地保存,特别是对柴油、汽油,因此它

在内燃机的工业应用中无实用价值。这是该技术在柴油机中无法广泛应用的直接原因。

③ 影响乳化油燃烧的因素很多。例如掺水量多了,对降污有好处,但对经济及动力特性及运行的稳定性不利;掺水量少了,作用又不大,究竟掺水多少合适?油掺水燃烧究竟能否节油?能节多少油?也无统一标准。

④ 内燃机多数为运输用发动机,其重量及空间均受限,若要加装乳化器、加水等装置及相应的调节机构,比较麻烦,且其可靠性有待进一步考验。许多人还担心会发生诸如锈蚀、磨损、冷启动、怠速运行等。

⑤ 由于乳化剂太贵,因此造成节油不节钱的情况,这使许多用户对它没有兴趣。

在我国,20世纪90年代还出了一个“水变油”的闹剧。为此,作者在1995年的《中国科学报》上发表了一篇题为《是水变油,还是油、水混合》的文章,其副题为“兼谈对乳化油燃烧的进一步研究”。这一副题当时就是为了保护对乳化油的进一步研究。因为乳化油是一项许多科学家研究过的科学技术,并不是王洪成发明的,因此不要因为批判王洪成,而将这项技术也否定了。当时作者在这篇文章中就谈到,对在内燃机中燃烧乳化油主要应解决两个问题:一是理论问题没有深入研究,许多问题尚待解决;二是实用化问题没有解决。自从1995年起,我们就开始了对乳化油燃烧的研究。尽管那时对乳化油燃烧的研究处于低潮,但我们认为这是一项利国利民的科研项目,应当逆潮流前进。功夫不负有心人,10年后的今天,在乳化油燃烧方面取得了重大进展。但不可否认的是,“水变油”闹剧在社会上的影响至今尚未消除。

值得提出的是,今天人们对环境的要求越来越高,环保意识越来越强,正如我们在《中国科学报》上发表的一篇文章中所提到的那样,即使是节油不节钱,但若能降低污染,保护环境,那也值得研究。我们的实验和理论分析结果表明,水不仅有节油效果,还能同时降低 NO_x 与碳烟。在目前的科学技术条件下,要找到三者同时下降的物质,除水以外,也许还找不到其他物质,而且水不会对环境造成污染,且易得。因此我们有理由对乳化油的燃烧进行进一步的研究,争取将这一利国利民的燃烧技术推广到我国的各有关领域,发挥其节能、降污的作用。

1.2 含水燃料的稳定性

水与油是不相溶的,但是通过一定的手段,可以将两者均匀地混合在一起,制成所谓的乳化油。

乳化油分为油包水型(以 W/O 表示)和水包油型(O/W)两种。在油包水型乳化油中,水珠是分散相,它均匀地分散在油中,也称其为内相。油则包在所有水珠的外层,称其为连续相或外相。水包油型乳化油则正好相反,水是连续相,而油是分散相。前者的黏度随油的黏度而变;后者的黏度则随水与油的混合比例而变。显然,对于较黏的油,若能制成水包油型乳化油,则其黏度可大幅度下降,但在其燃烧方面却带来了许多不利因素。关于这一问题,在本书中将有专门的讨论,它也是本书中的一个创新点。乳化油这种体系是不稳定的。由于水的密度比油的大,加上水有凝聚作用,因此在重力场和凝聚的双重作用下,水在油内自动下沉、凝聚、分层,直至最后破乳而使油、水分离。这种分离作用从乳化液一制成就已开始。如何使其分离的时间长一些,或如何使其在较长时间维持乳化状态,这就是乳化燃料的稳定性问题。例如:

- ① 油品性质和化学组分对乳化油稳定性的影响;
- ② 水质和含水率对乳化油稳定性的影响;
- ③ 乳化剂的性质对乳化油稳定性的影响;
- ④ 存放时间对乳化油稳定性的影响;
- ⑤ 乳化剂量对乳化油稳定性的影响;
- ⑥ 温度对乳化油稳定性的影响;
- ⑦ 乳化方式和乳化时间对乳化油稳定性的影响;
- ⑧ 乳化油性质的检验;

等等。这些内容在何学良等人(1999)的《内燃机燃料》一书中均有详细介绍,如读者需要了解这些内容,请参阅该书,这里不再重复。

这里,对今后常用的几个定义作一些介绍。

- ① 含水率 ε_w :

$$\varepsilon_w = \frac{\text{水}}{\text{油} + \text{水} + \text{乳化剂}} \times 100\% \approx \frac{\text{水}}{\text{油} + \text{水}}$$

- ② 乳化油的加剂率:

$$\varepsilon_{em} = \frac{\text{乳化剂}}{\text{油} + \text{水} + \text{乳化剂}} \approx \frac{\text{乳化剂}}{\text{油} + \text{水}}$$

- ③ 亲水亲油平衡值 HLB(hydrophile lipophile balanre):

它在相当程度上表征着该乳化剂的性能。HLB 值大,则表示亲水性强;HLB 值小,则表示亲油性强。一般亲油性乳化剂的 HLB 值为 3~6,亲水性乳化剂的 HLB 值为 8~18。当两种不同的乳化剂相混合时,其 HLB 值有加和性。复合乳化剂的 HLB 值一般为 8~12。HLB 在 12 以上时,表明该复合乳化剂的亲水性过强;当它小于 8 时,表明它的亲油性过强。复合型乳化剂比单一的乳化剂好得多。表 1.1 给出了几种乳化剂及其 HLB 值的配比。

表 1.1 几种乳化剂及 HLB 值的配比

亲油性乳化剂 (A)	亲水性乳化剂 (B)	两种 HLB 值的配比
司盘 80 型	AN 型	6 : 1
司盘 80 型	OP 型	10 : 1
司盘 80 型	6501 型	11 : 1
司盘 80 型	吐温 80 型	15 : 1
司盘 80 型	TX-10 型	17 : 1
司盘 80 型	OP 型+吐温 80 型	30 : 1+1
司盘 80 型+司盘 60 型	OP 型+AN 型	13+2 : 0.5+1

1.3 含水燃料的制备

1.3.1 前言

含水燃料的制备,即乳化油的制备十分重要。前面我们曾经谈到,柴油或汽油(统称轻质油)乳化油为什么不能推广,其原因就是至今为止,制备不出能稳定存放的乳化油来。随着密度的减小,其稳定性下降。这样轻质油乳化油比重质油乳化油难以稳定。随其密度的不同,乳化方式可分为:一是在线乳化方式;二是预制备乳化方式。前者一般用于轻质油的乳化,后者一般用于重质油的乳化。两种乳化方式都可以制成油包水或水包油型乳化油,在油被喷嘴正常雾化的条件下,两种类型的乳化油的燃烧是一样的。因为它的节油机理不是靠微爆,而是靠水的快速蒸发,这样用两种类型的乳化油,其节油率是相同的(在其他条件相同的条件下)。

1.3.2 在线乳化方式

这多半用于轻油系统。由于是轻油,如柴油、汽油等难以与水长期、稳定地混合,因此只能随用随制备。由于从乳化器到燃烧器入口,油在管路中的流动时间不长,这样制得的乳化油就可保持均匀混合,油、水不分离。其供给系统一般也可分两种,一是如图 1.1(a)所示,这种供给方式的特点是油、水按需要的比例混合,例如油:水=80:20。其中,要注意的问题是,在油箱中必须设一搅拌器,使油、水大体混合,否则油、水在油箱中就已分层,下面是水,上面是油。如发生这种情况,则油泵从油箱中抽出的是水,而不是油、水混合物。因此在油箱中必须设一搅拌器,使油、水初步混合,则通过静态乳化器后,就能获得质量