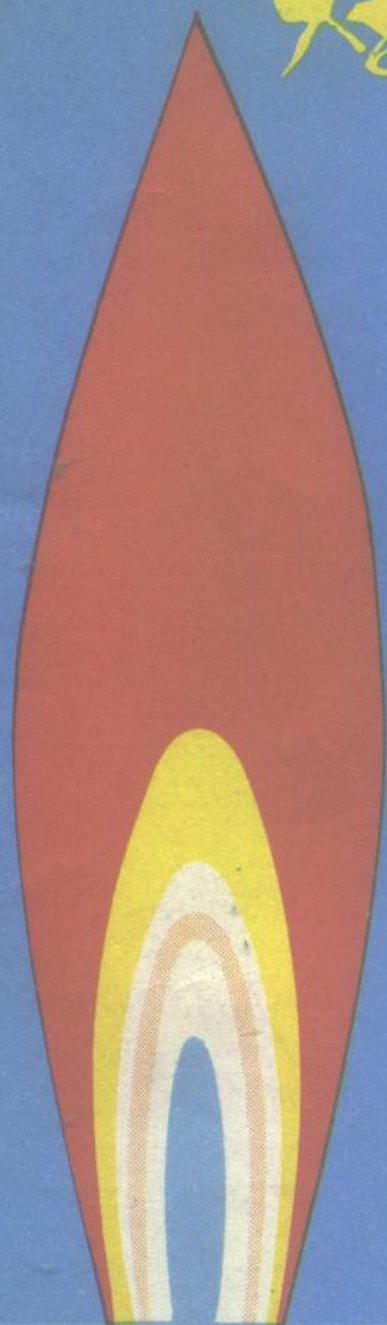


燃烧科学与技术



1982

1

COMBUSTION
SCIENCE AND TECHNOLOGY

12.15.15
787
-1

燃 烧 科 学 与 技 术

第 一 辑

《燃烧科学与技术》编辑部编

4-1/2
清 华 大 学 出 版 社

发 刊 词

近三十年来，一方面由于空气喷气发动机和火箭技术的迅速发展，另一方面由于能源危机和大气污染问题的日益严重，燃烧理论和燃烧技术的研究工作获得了蓬勃的开展，取得了很大的进展。目前，国际上燃烧学的主要研究方向，已逐步由过去一个时期的航空和宇航燃烧问题，转向民用工业燃烧设备和燃烧发动机的节约用能和降低污染的研究。

近年来，我国在燃烧学的各个方面也进行了大量研究工作，作出了不少成绩。许多从事燃烧工作的同志迫切希望能出版一种适合于我国国情的、刊登学术论文、翻译文献、专题讲座和动态报导等多样化内容的燃烧杂志，以便更广泛地交流经验，更好地共同提高，以促进我国燃烧科学技术的发展，为加速我国的现代化建设作出贡献。为此，我们创办了《燃烧科学与技术》这一刊物，重点刊登：以节约能源和降低排气污染为目的的燃烧研究，以及爆震爆炸，火灾防治，着火、灭火，火焰传播与稳定，冒烟机理，振荡燃烧，反应流体力学，燃烧反应动力学，燃烧过程数学模拟，热化学及热力学，热分解，燃烧实验技术等方面的研究论文。也登载有关燃烧科学评论性的文章。希望从事燃烧工作的同志踊跃投稿，大力支持，共同办好这一刊物。

史绍熙

1982年3月

目 录

发刊词.....	史绍熙
柴油机燃用甲醇-柴油混合燃料的研究	
.....	史绍熙 赵奎翰 傅茂林 王树奎 孙志远 (1)
喷射式平焰烧嘴气动特性研究	
.....	吴学曾等 (14)
高能电弧直接点燃煤粉的试验研究	
.....	陈以理 许德与 李建国 (27)
用全息干涉度量术测流体三维温度场	
.....	汪 铸 爻伟群 魏福清 (41)
油煤混合燃料特性的理论与实验研究	
.....	岑可法 曹欣玉 袁镇福 陆重庆 洪积瑜 倪明江 陈运铤 (48)
油水乳状液自由单滴的燃烧实验研究	
.....	李天祥 程之生 张寒虹 (61)
劣质煤钝体稳燃器的热态试验研究	
.....	陈迪训 韩才元 郑楚光 刘凯云 (67)
一种预燃式火焰稳定器的气流结构、回流量、回流区长度的实验研究	
.....	王家骅 彭清猛 寥前进等 (74)
常温下直流式喷咀下游燃油浓度分布的经验计算方法	
.....	杨永昌 夏允庆 (84)
管内均匀混气紊流扩张火焰的计算	
.....	赵坚行 曾求凡 (98)
湍流燃烧的模型方法	
.....	陈义良 洪茂玲 (106)
电容式 COM 浓度仪监测工业管道的试验研究	
.....	韩光明 毛劲升 韩绍荣 (113)
P-6 发动机加力燃烧室不稳定燃烧试验分析 (之二)	
.....	赵光武 (121)
燃气分析测燃烧效率	
.....	王华芳 曹明骅 (126)

译 文

激光应用于燃烧测量	
.....	(Lederman) (王仕康译) (131)

专题讲座

粉煤的热解及其挥发份的燃烧

.....傅维标 卫景彬 (136)

消息与动态

国外燃烧科学与技术发展的动向

.....史绍熙 徐旭常 (145)

用液化石油气点燃烟煤的燃烧器试验成功(傅维标 卫景彬); 放宽馏份喷
气燃油的燃烧技术研究(吴寿生); 航空喷气发动机燃烧室污染物的化学动力
学研究(吴寿生); 燃气轮机燃烧研究的展望(金如山)。学术会议。新书介绍:
《燃烧物理学基础》。鉴定会。

《燃烧科学与技术》写稿要求..... (155)

征文启事..... (156)

柴油机燃用甲醇-柴油混合燃料的研究

史绍熙 赵奎翰 傅茂林 王树奎 孙志远

(天津大学)

摘 要

本文介绍了采用复合式燃烧系统的 X2105 型柴油机燃用甲醇——柴油混合燃料的研究结果. 试验结果表明, 柴油机燃用这种混合燃料是可行的. 当混合燃料中甲醇含量不超过 30% 时, 发动机性能良好, 无异常现象, 而且发动机的热效率还有所提高. 当甲醇含量为 12% 时, 发动机热效率达最高值, 排放物指标也符合一机部和冶金部所颁布的坑道用柴油机的排放标准.

此项研究作为柴油机燃用非石油制品燃料、节约石油资源提供了一个新的途径.

AN INVESTIGATION ON USING MIXTURE OF DIESEL OIL AND METHANOL AS AN ALTERNATIVE FUEL FOR DIESEL ENGINES

Shi Shao-Xi Zhao Kui-Han Fu Mao-Lin Wang Shu-Kui Sun Zhi-Yuan

(Tianjin University)

Abstract

This paper describes an experimental investigation on using mixture of diesel oil and methanol as an alternative fuel for diesel engines. The experiments were conducted on a high speed diesel engine, X2105, with a "Compound" combustion system. The experimental results show that when methanol in the mixed-fuel does not exceed 30%, the engine gives good performance without abnormal behavior and its brake thermal efficiency based on the lower heating value of the fuel is even slightly higher than when pure diesel oil is used. When the content of methanol is 12%, the brake thermal efficiency of the engine reaches its maximum value and the CO, HC and NO_x exhaust emission are below the limiting values given by The First Ministry of Mechanical Industries and The Ministry of Metallurgical Industries for underground working engines.

参加本试验研究工作的还有王文、商庆臣、黄叶舟、周歧和、吴林等同志。

一、前 言

近几年来, 由于世界性的石油资源短缺, 迫使人们不得不研究寻求适用于内燃机的各种非石油制品燃料来替代石油燃料, 以满足内燃机日益增长的需要。

目前, 醇类代用燃料已引起国内外内燃机工作者的普遍重视。世界各国都根据自己的国情制定了相应的规划。例如, 美国使用以玉米等谷物为原料生产的乙醇, 而巴西则使用以甘蔗或木薯为原料的乙醇; 在煤炭、天然气资源丰富的国家则实施利用甲醇的规划^[1]。西德、美国、瑞典等国正在开展用甲醇代替汽油作汽车发动机燃料的研究。

我们认为甲醇将是内燃机的一种很有实际意义的代用燃料。甲醇不仅可以用天然气、石油或煤制取, 而且也可以用城市、农村的废料制取, 其有广阔的来源。甲醇不仅可以作为汽油机的燃料, 而且也可以与柴油混合作为柴油机的燃料, 这样可以代替大量的石油, 大幅度地节省石油的消耗。使用这种代用燃料, 对发动机及其供油系统也不需作大的更改。我国煤的蕴藏量较大; 以煤制取甲醇, 可为解决我国石油短缺问题开辟新的途径。

我国甲醇的定价不合理, 目前价格还较高, 但如果合理定价、改进工艺、进行大量生产, 价格是可以大幅度降低的。据资料报导, 到 1985 年甲醇的价格有可能比汽油低一半^[2]。

由于甲醇是一种极易挥发、辛烷值极高 (达 110) 的一种抗爆性强的燃料, 在国外, 甲醇与汽油混合用于汽油机已进行了卓有成效的研究工作。而甲醇与柴油混合的燃料用于柴油机的研究工作则进行的还很少, 这是由于在甲醇与柴油的混合技术、混合燃料的稳定性及着火性等方面都存在着较大的困难, 因此, 迄今尚未见到成熟的结果, 而在我国还未进行过此项研究工作。

为此, 我们在采用复合或燃烧系统的 X2105 型柴油机上进行了燃用甲醇——柴油混合燃料的研究工作, 取得了良好的效果。

二、试 验 装 置

本试验研究用的主要试验设备 (图 1.1) 有:

1. X2105 型柴油机, 系衡阳探矿机械厂成批生产的产品。试验时未对发动机作任何更改;
2. 东德 VEM100—3000 型电力测功器;
3. 燃料消耗率测定装置: 柴油采用重量法; 甲醇——柴油混合燃料采用容积法;
4. 示功仪由 SBS—2 型双线四踪示波器及 FDH—2 型电荷放大器等组成;
5. 废气分析仪器为日本 HORIBA PIR—2000 型红外线 CO 分析仪、PIR—2000 红外线 NO 分析仪和 MOD—370 型总碳氢监测仪。

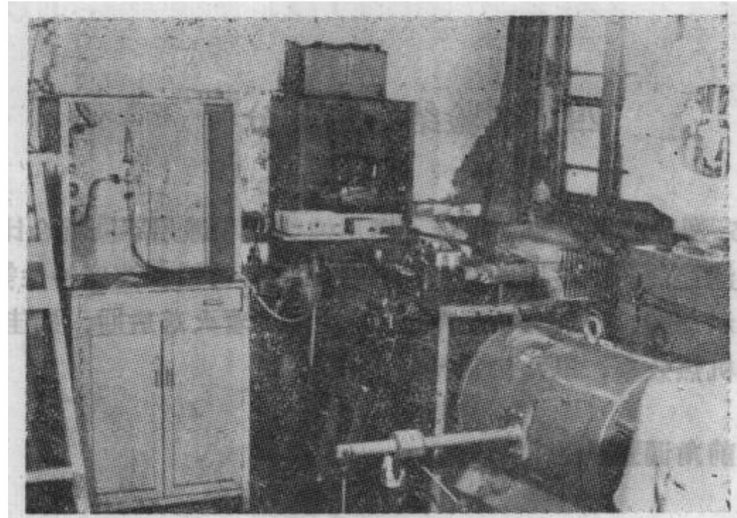


图 1.1 试验装置

三、混合燃料的制取及其性质

甲醇——柴油混合燃料是用机械搅拌法制取的。乳化设备为用一台单相串激电动机带动的叶片搅拌器（图 1.2）。

乳化剂选用斯盘（Span）80 和吐温（Tween）80。甲醇与柴油经乳化后，形成“油色醇”型乳状物^{[3][4]}，即外部为柴油，内部为甲醇。

柴油、甲醇及不同甲醇含量的混合燃料的性质如表 1.1 所列（表列数据系试验实测值）。



图 1.2 乳化设备

表 1.1

试验用燃料	性质	粘度 E	比 重	颜 色	低 热 值 (千卡/公斤)
0 号柴油		1.335	0.860		10775.90
甲 醇		0.912	0.796	无色透明液体	4951.16
10% 甲醇的混合燃料		1.38	0.845	浅桔黄色	9667.42
12% 甲醇的混合燃料		1.42	0.845	浅桔黄色	9520.00
15% 甲醇的混合燃料		1.45	0.840	浅桔黄色	9334.69
20% 甲醇的混合燃料		1.50	0.840	奶黄色	9108.75
30% 甲醇的混合燃料		1.24	0.835	奶黄色	8780.80

四、试验结果及其分析

我们在 X2105 型柴油机上分别进行了燃用纯柴油和燃用不同混合比的甲醇——柴油混合燃料时的供油提前角调整试验和负荷特性、万有特性、速度特性等试验，并测定了排放物和发动机示动图，研究分析了甲醇/柴油比对着火落后期、最佳供油提前角、燃料消耗率、发动机热效率，以及排放特性的影响。

（一）供油提前角调整试验

在柴油机分别燃用纯柴油、含 20% 和 30% 甲醇的混合燃料时，进行了供油提前角调整试验。从试验结果（图 1.3）可以看出，当发动机转速 n 为 1500 转/分、功率 N_e 为 24 马力时，燃用柴油时的最佳供油提前角为 23° ；燃用含 20% 甲醇混合燃料的最佳供油提前角为 24.5° ；燃用含 30% 甲醇混合燃料的最佳供油提前角为 27° 。由此可见，随着混合燃料中甲醇含量的增加，发动机的最佳供油提前角也随之增大。

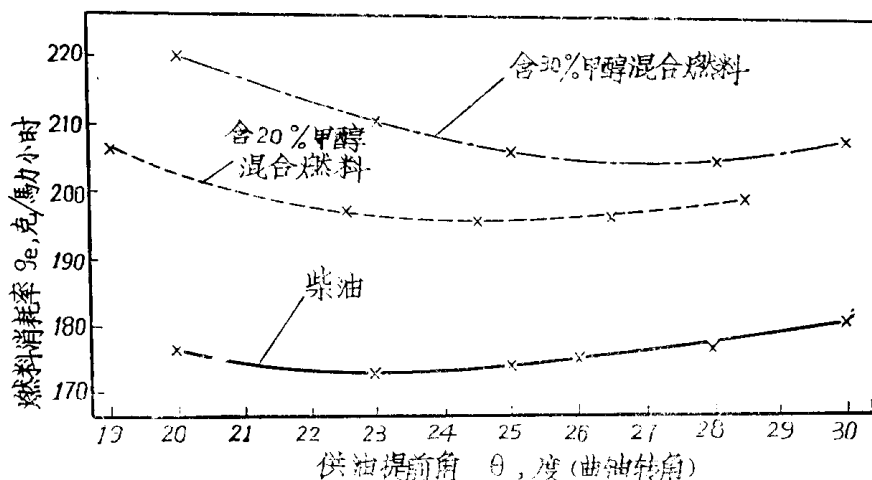


图 1.3 供油提前角的调整试验

图 1.4 至图 1.9 为在两种不同工况下燃用不同燃料的发动机示功图，从这些示功图可以测得在不同情况下的着火落后期 φ_i ，从而获得着火落后期 φ_i 与甲醇含量 α 的变化关系（图 1.10），这也就是使最佳供油提前角发生相应变化的主要原因。

众所周知，甲醇是一种挥发性很强（沸点约为 64.5°C ）、汽化潜热很大（约为 263.4 千卡/公斤）、辛烷值很高（达 110）和十六烷值很低（仅为 3）的燃料。当混合燃料喷入燃烧室后发生汽化时，不仅会使缸内温度与压力下降，而且所形成的可燃混合气的十六烷值比用纯柴油时低。这些因素导致了着火落后期的增长。因此，在燃用不同含量甲醇的混合燃料时，为使发动机具有良好的性能，必须正确调整供油提前角。

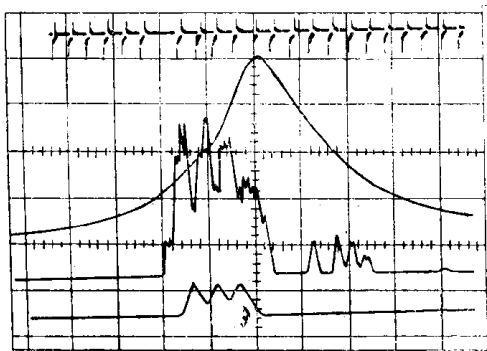


图 1.4 燃用柴油时的示功图

$n=1500$ 转/分, $N_e=24$ 马力

(图中由上往下分别为曲轴转角标记、气缸压力图、高压油管压波形线和针阀升程线以下各图同上)

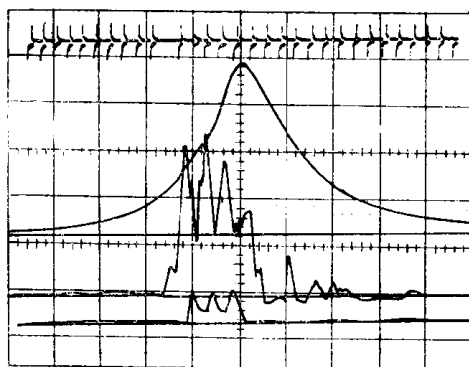


图 1.5 燃用含 12% 甲醇混合燃料时的示功图

$n=1500$ 转/分, $N_e=24$ 马力

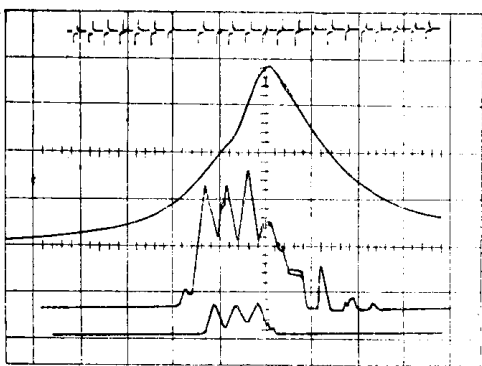


图 1.6 燃用含 20% 甲醇混合燃料时的示功图

$n=1500$ 转/分, $N_e=24$ 马力

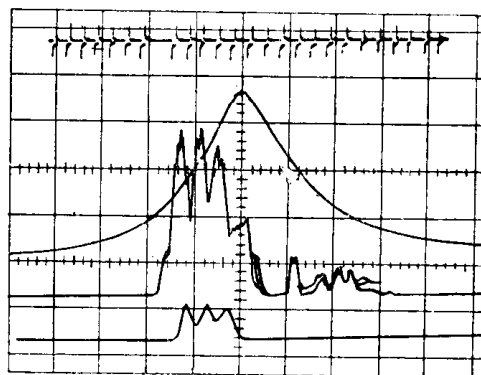


图 1.7 燃用柴油时的示功图

$n=1800$ 转/分, $N_e=28.8$ 马力

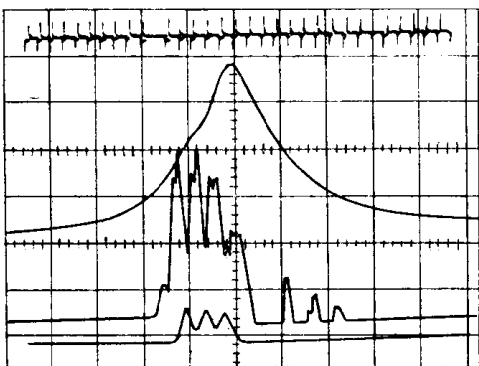


图 1.8 燃用含 12% 甲醇混合燃料时的示功图

$n=1800$ 转/分, $N_e=28.8$ 马力

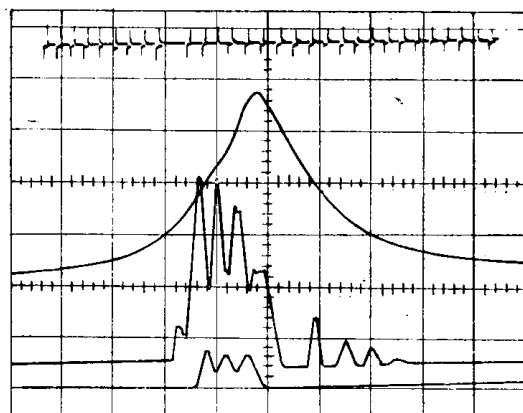


图 1.9 燃用含 20% 甲醇混合燃料时的示功图

$n=1800$ 转/分, $N_e=28.8$ 马力

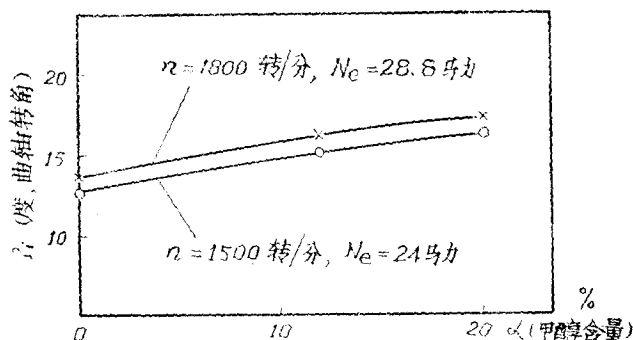


图 1.10 着火落后期随甲醇含量而变化的关系

(二) 负荷特性与万有特性

图 1.11 为柴油机燃用纯柴油和燃用含 12%、20% 甲醇混合燃料的负荷特性。由图可见，燃用甲醇——柴油混合燃料时的燃料消耗率 g_e 要比燃用纯柴油为高，而且随着甲醇含量的增多而增高，这是由于甲醇的低热值还不到柴油的一半。

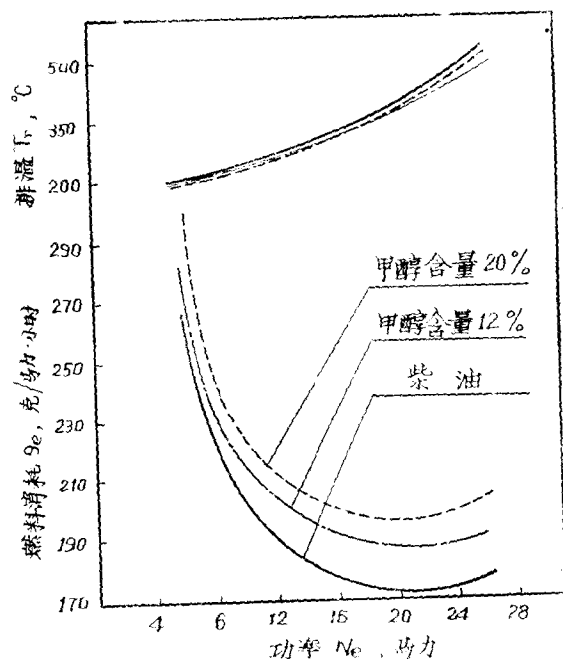


图 1.11 燃用不同燃料时的负荷特性
发动机转速 $n=1500$ 转/分

图 1.12 和图 1.13 分别为燃用纯柴油和燃用含 20% 甲醇混合燃料的万有特性。从特性曲线可以看出，无论是燃用柴油还是燃用混合燃料，柴油机的最佳经济区都比较宽广，从而表明复合或燃烧系统对燃用不同燃料具有良好的适应性。

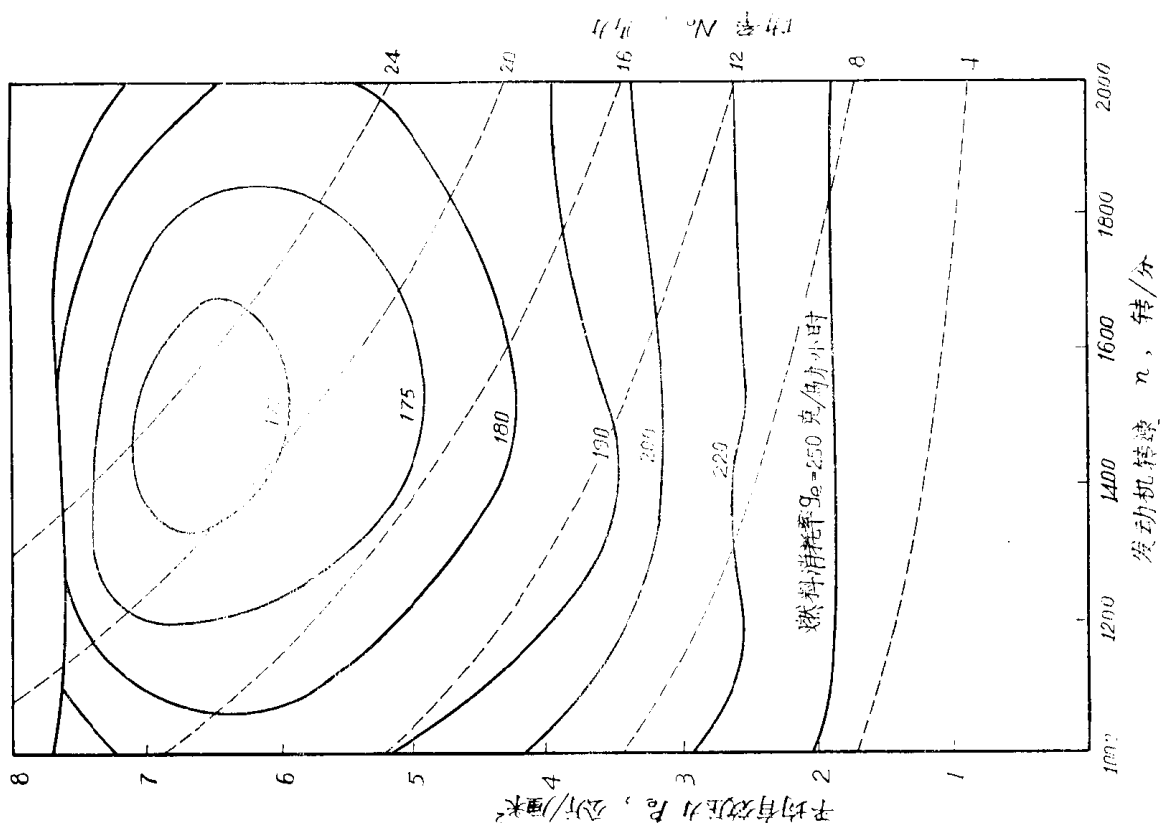


图 1.12 燃用柴油时的万有特性

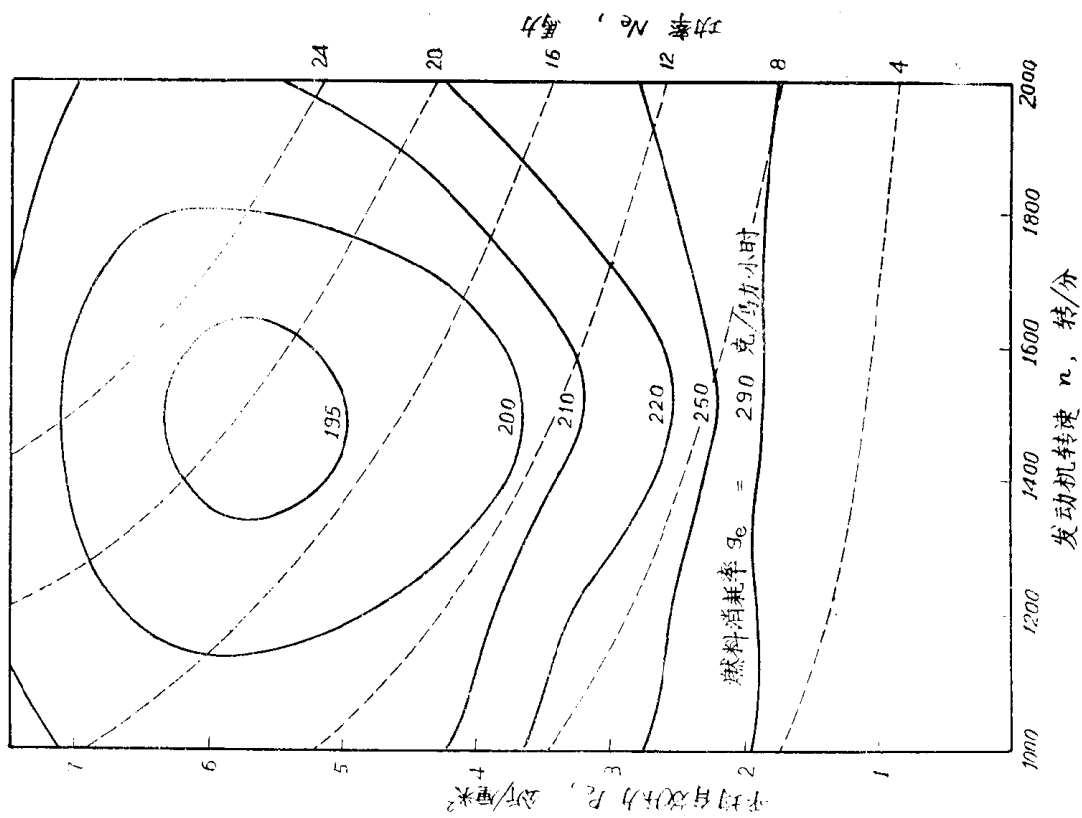


图 1.13 燃用含 20% 甲醇混合燃料时的万有特性

(三) 速度特性

燃用柴油与燃用含有 12%、20% 甲醇混合燃料的全负荷速度特性曲线如图 1.14 至图 1.16 所示。从特性曲线可以看出，在喷油泵未加扭矩校正的情况下，三条特性曲线的形状基本相同。这表明复合或燃烧系统对燃用不同成分的混合燃料具有良好的性能。

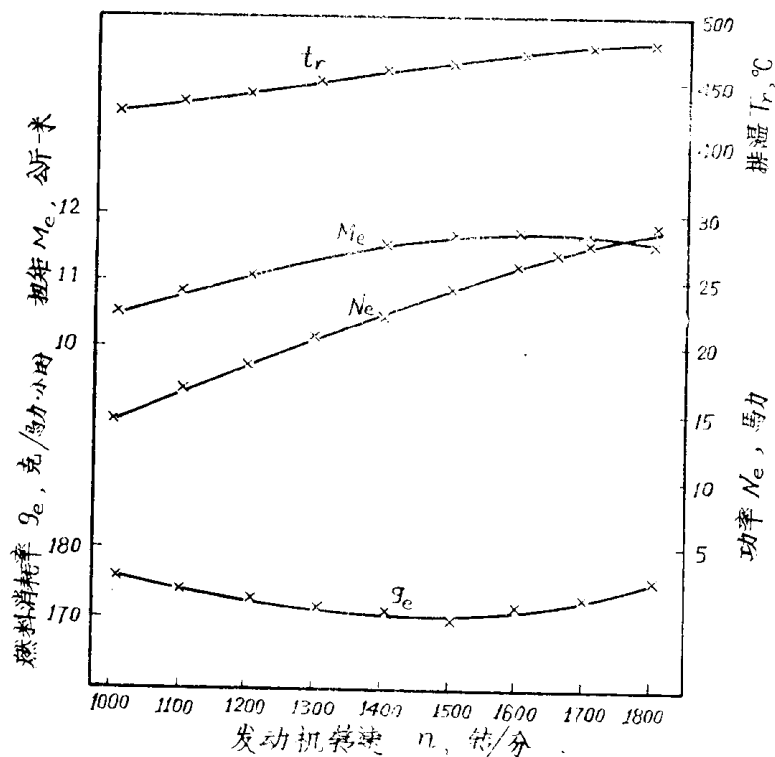


图 1.14 柴油机燃用柴油时的速度特性

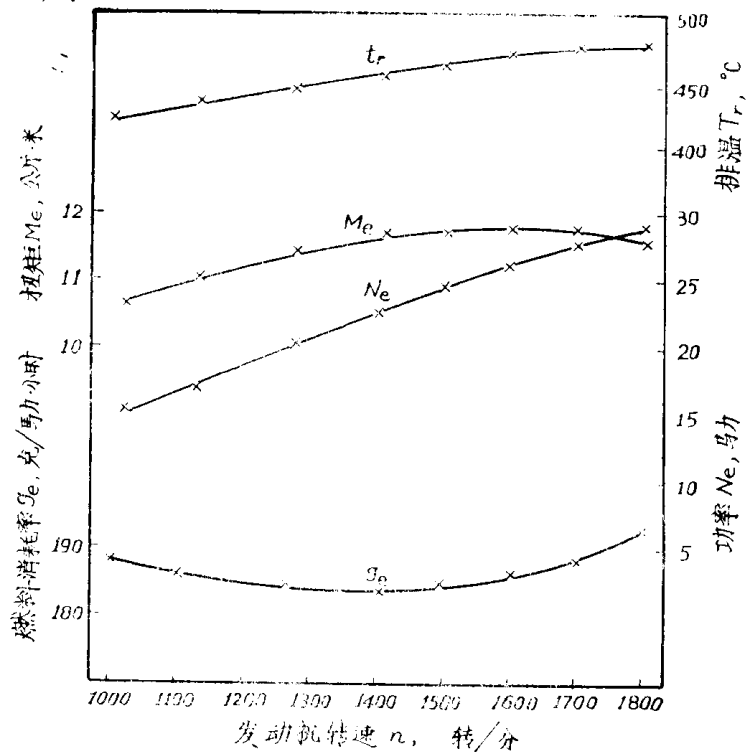


图 1.15 柴油机燃用含 12% 甲醇混合燃料时的速度特性

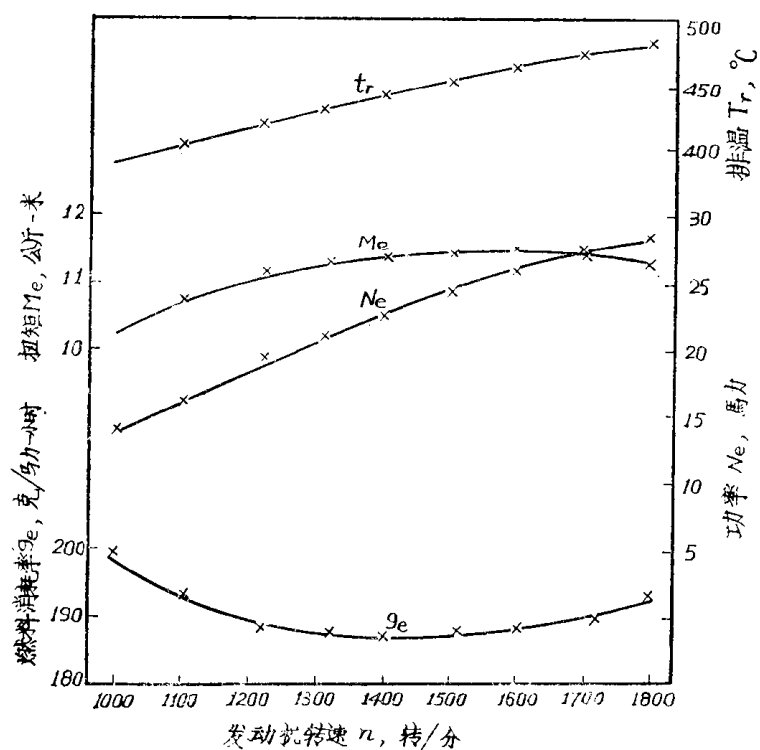


图 1.16 柴油机燃用含 20% 甲醇混合燃料时的速度特性

(四) 发动机排放物的测定与分析

按照 13 工况循环法 (发动机工况范围: 转速 $n = 600 \sim 1500$ 转/分, 平均有效压力 $p_e = 0.28 \sim 7.05$ 公斤/厘米²), 分别对发动机燃用纯柴油、12% 和 20% 甲醇混合燃料进行了排放量的测定, 如表 1.2 所列。

表 1.2

排放物成分	试验用燃料	柴 油	含 12% 甲 醇 的 混合燃料	含 20% 甲 醇 的 混合燃料	部分排放 标准 (适于 坑道用 柴油机)
	排放量 克/马力·小时				
CO		6.99	7.46	7.92	7.5
NO _x		6.29	5.55	5.51	6.0
HC		0.49	0.76	0.73	1.0

从表 1.2 可以看出, 随着燃料中甲醇含量的加大, NO_x 排放量逐渐下降, 而 CO 和 HC 的排放量却增大了。当甲醇的含量为 12% 时, 发动机排气中 CO、NO_x 和 HC 的排放量均达到了一机部和冶金部颁布的关于坑道用柴油机的排放标准。

X2105 型柴油机燃用甲醇——柴油混合燃料使排气中 NO_x 的排放量降低, 而 CO 和 HC 的排放量增加, 其原因分析如下:

1. 如前所述, 由于甲醇是一种挥发性好、汽化潜热大的燃料, 当混合燃料喷入燃烧室后在汽化过程中就会比纯柴油吸收更多的热量, 从而降低了缸内燃烧温度, 使 NO_x 的形成量减少, 但与此同时又有可能使 HC 和 CO 排放量增加。

2. 为了制取均匀而稳定的乳化燃料, 我们添加了 4~5% 的乳化剂。由于乳化剂是属于大分子量的物质, 例如斯盘 80 的分子式是 $\text{C}_{24}\text{H}_{44}\text{O}_6$, 分子量高达 428, 这类物质的燃烧速度很低, 在短暂的燃烧过程中, 有可能来不及完全燃烧, 从而造成排气中 CO 和 HC 排放量的增加。

(五) 发动机示功图的分析

由图 1.4 至图 1.6 的示功图可以测得, 在发动机转速 $n=1500$ 转/分, 功率 $Ne=24$ 马力时, 燃用柴油时的最大爆发压力 $p_z=78$ 公斤/厘米², 最大压力上升率 $(dp/d\varphi)_{\max}=2.58$ 公斤/厘米²·度; 燃用含有 12% 甲醇的混合燃料时的 $p_z=73$ 公斤/厘米², $(dp/d\varphi)_{\max}=2.8$ 公斤/厘米²·度; 燃用含 20% 甲醇的混合燃料时的 $p_z=72$ 公斤/厘米², $(dp/d\varphi)_{\max}=2.9$ 公斤/厘米²·度。因此, 随着甲醇含量的增加, p_z 随之下降, 而 $(dp/d\varphi)_{\max}$ 却随之上升 (图 1.17)。出现这种变化关系, 主要是由于

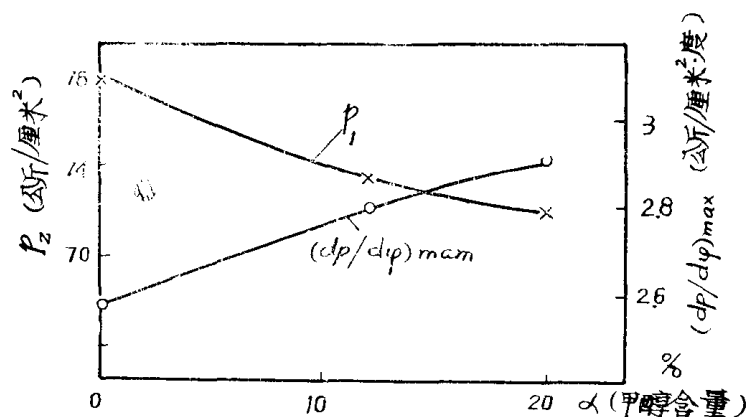


图 1.17 p_z , $(dp/d\varphi)_{\max}$ 与甲醇含量的关系
 $n=1500$ 转/分, $Ne=24$ 马力

如前所述着火落后期随着燃料中甲醇含量的增加而增长, 使此期间内燃烧室内积聚的自燃料量增多, 从而导致 $(dp/d\varphi)_{\max}$ 的上升。引起 $(dp/d\varphi)_{\max}$ 上升的另一原因可能是乳化燃料在燃烧室中的“微爆”作用。喷入燃烧室的混合燃料为“油包醇”型的乳状物, 即燃料颗粒的外层为柴油, 内部为甲醇, 此时缸内压缩温度达 600°C 左右, 油滴在高温空气中加热, 包在其中的甲醇颗粒就会很快达到沸点 (64.5°C)。虽然外层的柴油也同时吸热汽化, 但柴油的沸点 (为 $250\sim 360^\circ\text{C}$) 远高于甲醇, 因此柴油的蒸发速度相对甲醇要缓慢得多。当甲醇蒸汽压达到某数值时, 就会冲破外层柴油而发生所谓的“微爆”现象。这种微爆作用可以使得燃烧室内油滴的细度大为提高, 使燃料与空气得到更充分接触, 从而有助于可燃混合气的形成^[6]。在复合式燃烧系统中, 燃料通过单孔轴针式喷嘴几乎与涡流方向垂直地喷入燃烧室^[6], 由于这种“微爆”现象的存在, 会使

空间雾化燃烧的燃料量增多，从而也使 $(dp/d\varphi)_{\max}$ 上升。虽然 $(dp/d\varphi)_{\max}$ 比燃用纯柴油时有所增高，但由于复合式燃烧系统的特点，压力上升率仍比一般直接喷射式柴油机低得多。

至于最高爆发压力 P_2 随燃料中甲醇含量的增加而有所降低的原因，一方面是由于混合燃料中甲醇汽化吸热而使缸内温度、压力有所下降；另一方面是由于着火落后期随着甲醇含量的增加而增长（图 1.10），使着火始点随之后移（从图 1.4 至图 1.9 的示功图中测得），从而在上死点前所燃烧的燃料量或者所释放的燃烧热量随之减少，而上死点后燃烧的燃料量就相应增多。同时，因为上死点后活塞下移，缸内容积增大，使缸内压力增长量减少，从而使最高爆发压力 p_z 有所降低。

（六）发动机热效率的分析

根据发动机有效热效率 η_e 的公式

$$\eta_e = \frac{632000}{ge Hu}$$

式中 ge ——燃料消耗率，克/马力—小时；

Hu ——燃料低热值，千卡/公斤，

以及发动机负荷特性试验的结果，燃用甲醇—柴油混合燃料时，有效热效率 η_e 随甲醇含量的增加而提高，当甲醇含量超过一定数值后， η_e 又随甲醇含量的增加而下降，如表 1.3 和图 1.18 所示。

表 1.3

试验用燃料		柴油	含 10% 甲醇的混 合燃料	含 12% 甲醇的混 合燃料	含 15% 甲醇的混 合燃料	含 20% 甲醇的混 合燃料	含 30% 甲醇的混 合燃料
η_e	当 $n = 1500$ 转/分， $Ne = 21.6$ 马力时	0.3424	0.3565	0.3567	0.3556	0.3538	0.3523
	当 $n = 1500$ 转/分， $Ne = 24$ 马力时	0.3419	0.3525	0.3537	0.3515	0.3490	0.3450

当甲醇含量为 12% 时，有效热效率最高，在全负荷下比燃用纯柴油时提高 3.46%。当甲醇含量达 30% 时，有效热效率仍较燃用纯柴油时稍有提高。当甲醇含量超过 30% 时，由于乳化稳定性变差和混合燃料的粘度下降等问题，试验未能进一步进行。

发动机燃用甲醇—柴油混合燃料后使有效热效率提高，我们认为主要是由于甲醇的燃烧速度较高，以及乳化燃料的微爆作用，而提高了空气利用率的缘故。

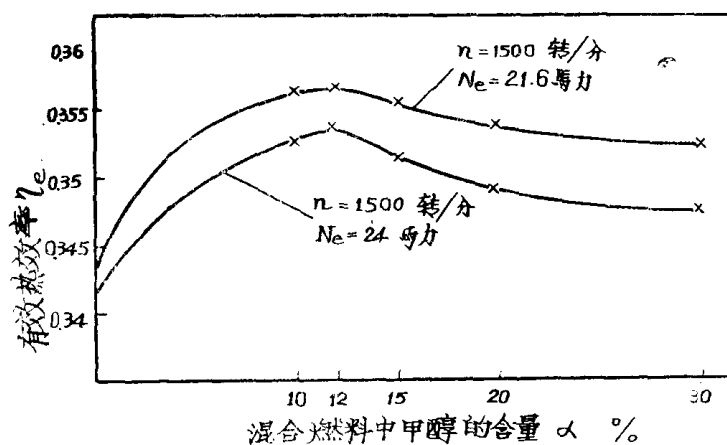


图 1.18 发动机燃用不同配比甲醇混合燃料时的有效热效率

(七) 存在问题

虽然 X2105 型柴油机燃用甲醇——柴油混合燃料的试验是成功的,但由于我们目前采用的乳化技术还是比较简单的机械搅拌的方法,因此乳化剂用量比较大,达 4~5%。同时由于乳化稳定性和粘度下降的原因,试验中甲醇含量还不能超过 30%。为了进一步进行这项研究工作,我们认为下述两方面的工作有待继续进行:

1. 改进乳化技术,采用超声乳化和胶体磨等,使乳化剂用量减少,并进一步提高乳化稳定性。
2. 适当提高柴油机的压缩比,改善缸内混合气形成和燃烧过程,进一步提高发动机燃用这种混合燃料时的热效率。

五、结 论

1. 试验结果表明,采用“复合式”燃料系统的 X2105 型柴油机燃用甲醇——柴油混合燃料是可行的,发动机工作平稳、性能良好,并无异常现象。
2. 当混合燃料中的甲醇含量不超过 30% 时,发动机的热效率稍高于燃用纯柴油时的热效率。
3. 当甲醇含量为 12% 时,发动机的热效率最高,而且排放指标也符合一机部和冶金部所颁布的坑道用柴油机的排放标准。

感 谢

本文作者对天津大学化工系胡金生、顾汉卿同志和天津内燃机研究所排放研究组在乳化技术和废气排放测定方面给予的协助表示感谢。