

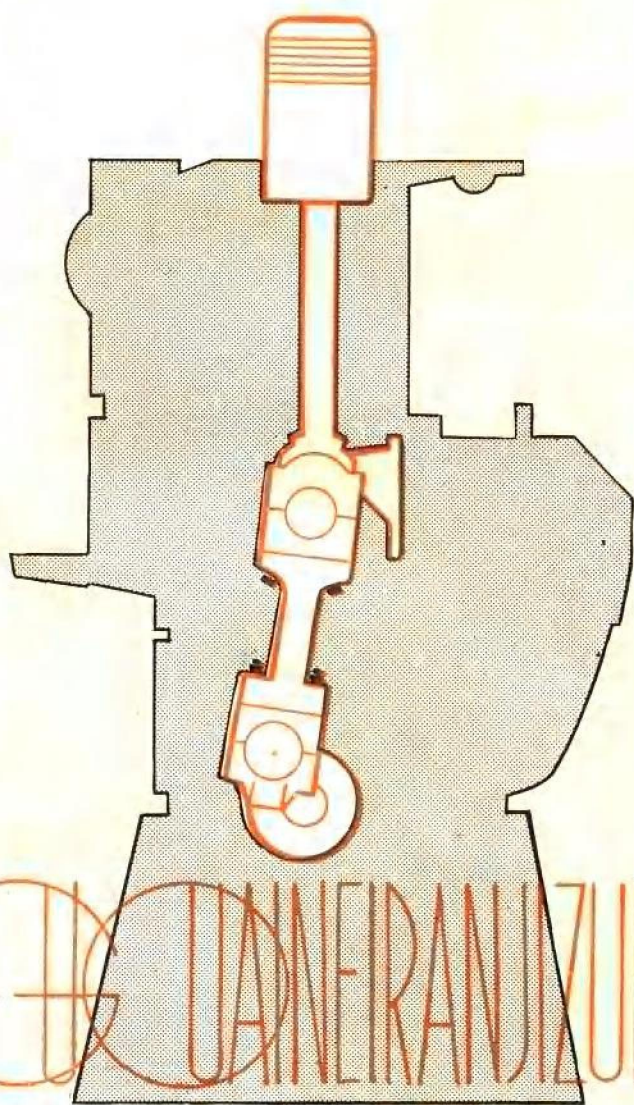
国外

内燃机最新动向

上海内燃机研究所 编

460404

上海科学技术文献出版社



TK4-1/01

460404

HK7/3/

前言

本专辑取材于国外最近在内燃机杂志上发表的最新动向与研制成果。内容介绍了国外农用、车用中小型发动机及船用大中型发动机的现状；在中小型发动机上，为减轻振动噪声及提高可靠性而采用的新技术、新结构；为解决能源及公害问题，对新能源、新燃料及新型发动机进行的研制情况。在零部件方面，详细介绍了内燃机密封件与活塞环、船用柴油机高锡铝基轴承、发动机气门材料的研制动向。内容还有解决活塞顶部裂纹的新方法；柴油机喷油泵的改进技术；煤气机点火系统的若干发展方向；内燃机凸轮与挺柱的磨损问题及最佳材料配对的选择问题。在内燃机燃烧方面，提供了用光谱测量法研究柴油机燃烧的新技术。在机油方面，涉及了内燃机机油的最新动向及最佳合成机油问题。此外，还对高功率柴油机的几种增压方式作了详述。最后，介绍了激光全息摄影用于分析内燃机中零部件振动的情况。

对本专辑各方面的问题，欢迎广大读者提出宝贵意见。



上海内燃机研究所

一九七九年八月



C0188578

国外内燃机最新动态

上海内燃机研究所 编

*

上海科学技术文献出版社出版
(上海高安路六弄一号)

发行所上海发行所发行
上海商务印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 8 字数 203,000

1980年6月第1版 1980年6月第1次印刷

印数: 1—5,000

书号 15192·88 定价: 1.00 元

《科技新书目》161-113

目 录

中小型发动机的现状与未来	1
提高拖拉机及联合收割机用的柴油机的技术水平、质量、可靠性及寿命	20
高功率柴油机——二级涡轮增压，超压比补燃和差动增压复合发动机的评论 性比较	23
内燃机密封件和活塞环的发展现状	36
船用柴油机的现状综述	47
各种用途的柴油机要求	54
船用柴油机轴承的动向——高速铝基轴承的研制	60
发动机气门研制动向	67
卡车用柴油机喷油泵的改进	74
煤气机电点火系统的若干发展方向	81
内燃机润滑油的最近研制动向	84
最佳的发动机合成机油	89
用光谱测量法研究柴油机的燃烧	96
用双脉冲激光全息摄影分析振动	104
内燃机凸轮和挺柱的磨损	109
关于选择内燃机质量指标的问题	117
关于柴油机零件寿命的分类计算	119
一种解决活塞顶部开裂的新方法	121
泼金斯公司首次应用挤流口燃烧室	124

中小型发动机的现状与未来

内 容 提 要

本文根据最近的一些资料,综述中小型发动机的若干现状与未来展望,重点介绍农用及车用中小型发动机的发展动向。农用小型发动机在日本主要使用水冷柴油机及风冷汽油机,而其它国家却采用水冷柴油机、风冷与水冷汽油机。文中介绍了小型农用发动机的现状,叙述了中小型发动机的改善途径,包括新结构与新技术的应用、降低油耗提高经济性的措施、汽油机新型点火方式的采用、减少噪声、振动及提高功率的措施等。另外,还简单介绍了小型农用发动机的环境保护措施。在未来展望中,叙述了新燃料的研究概况,发动机的发展趋势、省资源、省能量问题。最后介绍了九种新发动机的研制情况。

一、各种发动机的现状

1. 风冷汽油机

在日本,农用风冷汽油机的功率范围从0.5到10马力,机型比较多。下面分别叙述其结构特点:

(1) 在构造性能方面,没有什么特别新的东西,只是在二冲程发动机上采用无浮子式化油器。这是因为在农机上装置小型发动机,用浮子时不能满意地工作之故。

(2) 起动以绳索起动为主。为了使绳索自动卷缠,采用反冲式起动器较为方便。目前,在小型拖拉机及耕耘机上,进一步采用手柄牵引(齿轮传动)式起动器,操作者用手就能操作。同时,因为有增速力,所以起动很容易。另外,在习惯上都用减压装置,起动后可自动复位,比较省力。当发动机功率超过10马力时,则必须装起动马达。

(3) 关于活塞、气缸上的冷却片(镶入缸套或整体铸造式)等结构,没有变化。

(4) 曲轴转速还是在3,000~3,500转/分之间,也没有变化。

(5) 在功率超过10马力时,考虑采用平衡装置。在10马力以下,不用特殊的平衡装置。

(6) 关于燃油消耗率,四冲程发动机在标定功率时为300~340克/马力·小时;二冲程发动机为500克/马力·小时以上。与以前的四冲程机之油耗为400克/马力·小时相比,有所改善。但是,风冷汽油机因为功率小,有效油耗率即使很高,但总油耗量(克数)也不多,所以用户还能接受。但单位油耗费用*当然就非常高。

(7) 调速特性并无特殊改进。若用装有推力轴承的调速器,特性可能更好,但成本升高,因此正在进一步研究。

(8) 关于安全性,鉴于这几年发生的事,对于耕作安全的认识有了提高。在发动机的消声器、旋转部分、皮带等上都装了罩盖,以提高安全性。但是在风冷部分加罩壳后,妨碍了气流的顺利流通,有引起机件过热的危险。在这一点上,可以认为它比柴油机的性能差。

(9) 近20年来风冷汽油机一般都是立式结构。也可考虑采用卧式,但用例极少,今后估计也不会普及。风冷汽油机近年来大量地用于联合收割机,从联合收割机的形式来说,也绝对不能用卧式发动机。

(10) 关于扫气,二冲程发动机都用回流

* 根据油耗率算出的每小时·马力的费用

扫气。另外,排量历来是 20~21 毫升。最近也开始,出现了排量为 13.6 毫升的超小型机。

(11) 关于噪声,最近规定在操作者耳边的噪声不超过 90 分贝。在农业机械、特别是联合收割机等上,这一噪声中还包括发动机之外的噪声。不过,主要是发动机的噪声,所以必须采取相应措施。如果将发动机排量增大、转速降低 300~400 转/分,则噪声会减少 2~3 分贝。但这样使发动机的输出功率下降,所以比较难办。另外,除了燃烧噪声中之排气声外,还有进气声、气门机构及冷却系统等也是噪声源,必须分别减少之。

减少燃烧噪声的方法可以改进消声器,在联合收割机上还可以将发动机装在离操作者远的位置上,如把发动机装在机体的最前端等。

(12) 减少振动与噪声方面,最近的显著动向是采用双缸结构(所谓多缸化)。从双缸、排量为 340 毫升的风冷汽油机,到 10 马力的水冷柴油机,多缸化倾向比较显著。以前曾将农用发动机作成 V 型双缸结构,但由于零件数量增加、构造变复杂,所以没有得到发展。但采用双缸后却能减少振动、防止噪声,所以有重新考虑采用的希望。但必须注意气缸的过热问题。

(13) 最近特别引人注目的农用风冷汽油机的型号如下: G200 型(排量 197 毫升、最大功率 6 马力、标定功率 3.8 马力/3600 转/分)、G150 型(排量 144 毫升、最大功率 3.5 马力、标定功率为 2.7 马力/3600 转/分)。据说美国的 B&S 公司每年生产这种发动机 1000 台,性能均提高 5% 左右。在日本也把这种发动机装在农机上。

(14) 如上所述,风冷汽油机具有比较稳定的高性能。但有一些影响其寿命的因素往往容易被忽略,这主要是保养方面的问题。如象插秧机那样一年内搁置不用的话,则发动机化油器的铜制品与锌制品会被氢氧化物

腐蚀。汽油中不加铅(即无铅化)后,这种倾向更大。为了防止量孔通路受到腐蚀,汽油内加防氧化剂,可减少故障,在半年左右内不会发生腐蚀现象。因此,必须在机器使用后,将汽油彻底放干净。

2. 水冷柴油机

水冷柴油机作农用的优点如下:

- (1) 热效率高、油耗低;
- (2) 可用质量差一些的燃油,所以燃料成本可降低;
- (3) 发生火灾的危险性小;
- (4) 低速扭矩大,而且扭矩变化小,装在农用汽车上,可以装载更多的货物;
- (5) 柴油机中由于没有容易出故障的点火系统及汽化装置,所以故障也比较少。

在另一方面,柴油机作为农用动力有如下缺点:

- (1) 气缸内爆发压力高、扭矩大,所以运转时振动严重,在高速时很难平稳地运行;
- (2) 起动没有汽油机那么容易;
- (3) 燃烧压力,与汽油机的约 40 公斤/厘米²相比,高达 1.5 倍以上。因此,必须增加各部分的结构强度,这样就使整机的比重量增大;
- (4) 喷油泵与油嘴的制造比较麻烦。

综上所述,柴油机与汽油机相比,有优点、也有缺点,必须根据具体用途加以选用。

为了减轻水冷柴油机的重量,气缸(体)采用铝合金,同时为了减轻振动噪声,又实行多缸化。总的来看,水冷柴油机的性能仍然停留在 10 年前的水平上,近 10 年内没有多大进展。但值得注意的是将来有可能使用重油,并通过合适的配套方式,可能减轻振动与噪声。下面介绍一下小型农用柴油机的一般特点: (1) 轻量小型(比重量一般为 8 公斤/马力),并且一般都用特种轻合金,增大升功率; (2) 提高起动性(如日本洋马公司采用涡流室式预燃室燃烧室); (3) 提高燃料经济性(实际平均有效压力高的达到 9 公斤/厘米²);

由于采用特种燃烧室,最低油耗能达到 185 克/马力·小时(如日本久保田的 TVCS 等)。柴油机排气中公害成分主要是 NO_x , 可以用废气再循环(EGR)或喷水的方法,抑制 NO_x 的生成;(4)提高冷却性能(普遍采用开放型冷凝器);(5)操纵性好(把起动、检查、调整等装置都装在操纵侧,另外还考虑遥控操纵);(6)降低噪声(从环境保护的角度出发,努力消除刺耳的高频声,约可降低 15%);(7)提高耐久性(在制造阶段进行耐久试验,以提高其可靠性);(8)减小振动(在小于 10 马力的发动机上,采用双轴动力学平衡装置,由此消除了一级不平衡惯性力,同时也降低了作用在作业机械手柄部的振动加速度。但在单缸机的情况下,完全消除不平衡比较困难,所以目前在向双缸的方向发展);(9)关于安全性,日本于 1976 年由农机研究所制订了各种机型的安全性鉴定标准,所以有法可循,比较容易确定相应的措施;(10)关于排气公害,日本是根据美国加利福尼亚州对柴油车的规定标准($\text{NO}_x + \text{HC} = 5$ 克/马力·小时; $\text{CO} = 25$ 克/马力小时),而采取相应措施的。

在柴油机的课题中,最重要的一项就是如何在影响输出功率的情况下降低爆发压力。因为爆发压力下降后,就可以减轻发动机的重量,从而使比重也下降。不仅要降低爆发压力,特别要控制相对于上止点的曲轴转角之压力升高率 $dp/d\theta$, 因为 $dp/d\theta$ 对噪声有很大的影响。所以,要对燃油喷射过程进行研究,使之能达到降低噪声的效果。在农用的情况下及在保证低速时的最大扭矩的条件下,扭矩曲线缓慢上升比较理想。

拖拉机用发动机应具备的条件:(i)操作方便,没有故障;(ii)低速扭矩高;(iii)活塞平均速度比较低,应小于 8 米/秒,这样可以提高耐久性;(iv)燃料消耗率少;(v)适合于连续运行;(vi)中型柴油机的总排量应比车用的大,一般在 1,500 毫升以下;(vii)发动机重量在拖拉机前后轮上的分配比例应为

40:60, 因此在设计柴油机时必须按此比例进行配套设计。

3. 风冷柴油机

在风冷柴油机刚出现时,曾与水冷柴油机进行过竞争。目前,国外小型风冷柴油机的厂多数集中在西欧,在日本已不生产了。所以对日本来说,不存在风冷与水冷的竞争问题。不过在西欧对风冷柴油机的研制工作还很重视,输入日本的发动机也大多是风冷机。

目前小型风冷柴油机的特点如下:

(1) 结构以立式为主;

(2) 燃烧室以直接喷射式的居多。如西德的赫芝(Hatz) L30 (95×100 毫米)系列及意大利隆巴迪尼 520 型($\phi 78 \times 68$ 毫米),都采用直喷式。这样起动方便,油耗低、经济性好。部分厂还采用兰诺瓦(Lanova)型燃烧室(如英国庇特公司 AC2 型)。

(3) 普遍重视降低噪声的工作。风冷柴油机在一些国家(如日本)所以没有得到推广,主要是由于近 10 多年来,它在噪声及振动方面没有得到显著改善。所以,各风冷柴油机制造厂为了保持其市场,都在降低振动与噪声方面作了大量工作。例如,赫茨公司最近研制成功了一种罩壳封闭式低噪声风冷柴油机(Silent pack 系列),罩壳是由 1 毫米厚的钢板制成。其罩壳封闭消声的特点如下:(1)即使省却了完全消声的建筑物,原来的发动机也无需大幅度更动,只需将气缸中心线倾斜 7 度左右,就能使用;(2)采用吸音式冷却风进出口结构及封闭罩壳内通风的结构,对热负荷较大的气缸等零件,进行有效的冷却;(3)把气缸体与油底壳的分开面移到曲轴中心线位置,并采用刚性比较大的铸铁油底壳等等。

(4) 努力降低发动机的重量。如西德法利曼研制成功的 K50 型风冷发动机(68×55 毫米、3.5 马力/3000 转/分),重量只有 33 公斤,是世界上最小的一种机型。意大利隆巴

迪尼公司的 520 型发动机, 在 6 马力 /3600 转/分时只有 37 公斤, 比重量比 K50 型小得多。

(5) 向自动遥控操作发展。R. 切利尼 (Chellini) 把风冷二、四缸、22 马力、3,000 转/分的 21S22 型、71 公斤、864 毫升(84×78 毫米) 的直接喷射式发动机, 作成遥控自动运行式, 提供国际市场。这种发动机的油耗率为 200 克/马力·小时(最低 187 克/马力·小时), 相应的转速范围为 1,500~3,600 转/分, 燃烧情况也良好。特别是由于该机的进排气道、喷油嘴及燃烧室的形状正确, 能形成合适的涡流, 使发动机容积效率增大。

目前在西欧比较大的小型风冷柴油机制造厂有如下五家: 意大利的隆巴迪尼、西德的赫芝、英国的李斯特及庇特以及法国的贝那尔。30 马力以下风冷柴油机的产量, 在 76 年为 38 万台。

4. 其它发动机

NSU 汪克尔转子发动机

自从这种发动机研制成功后, 首先用在摩托艇上, 逐渐用到汽车上。同时, 也进入农用领域。这种发动机由于没有往复运动, 可以作成超小型结构, 能够与要求体积小的动力装置之农机配套。但是, 这种发动机由于存在下述几个问题, 发展受到了挫折:

(1) 油耗高。对汽车来说, 用同样的油, 行驶距离等于缩短一半。虽然作了不少改进, 但结果仍不满意; (2) 零件数量多; (3) 很难找到合适的材料, 以解决其磨损及漏气问题; (4) 经验少; (5) 成本高等等。

不过, 对于操作人员的手直接受到振动的农机, 如收割机、链锯等, 可以考虑采用, 以消除对人体的不良影响。

斯特林发动机(也叫热气机)

这种发动机的问世比内燃机还早, 是 1816 年由英国牧师罗伯特·斯特林发明的。其特点是能采用各种燃料、热效率高、噪声振动小、排放物也少。最近, 世界各国都开始重

新研究斯特林发动机。这种发动机相对于内燃机来说, 实际上是外燃机, 即燃料在气缸外部燃烧的。所以在气缸内要充填导热率高的氢(H_2)或氦(He)气, 工质气体在加热气缸与冷却侧气缸之间往复运动, 不断膨胀、压缩, 使活塞上下运动。

因为这是一种传递热能的发动机, 所以必须要有加热器及冷却器, 以便有效地吸热及放热。同时, 如果没有接近 100% 热量回收的回热器, 就不能得到高效率。因此, 这些换热器必须有大的传热面积, 但内容积不能大。由于内容积实际上是发动机工作空间中的无益容积。所以如果无益容积大, 活塞即使运动, 工质也不能在换热器内充分运动, 性能就下降。另外, 压力损失也是个问题, 压力损失大, 就不能高速运转, 就不能使发动机达到高的比输出功率。气体的分子量愈小, 这一损失也愈小。同时, 斯特林发动机因为采用高压密封气体, 而氢气是很易泄漏的, 所以必须充分作好气体密封。

现在, 在荷兰、美国等地, 正在把斯特林发动机用到轿车上作试验。在日本, 工业技术院、运输省等也在对此进行研究。但是, 必须要解决传热、无益容积、压力损失、耐压、气体密封等问题, 价格也要降低, 才能付诸实用。

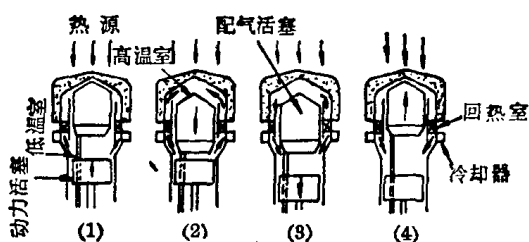


图 1 斯特林发动机工作原理图

图 1 表示斯特林发动机的工作原理。由图可见, 用太阳热量直接加热空气使活塞移动, 空气在低温室被“配气活塞”压缩, 通过回热室向受阳光照射的高温室移动。进入高温室后空气膨胀, 再通过回热室向低温室移动, 推动“动力活塞”(与“配气活塞”相位差 90°) 作功。

液化石油气(LPG)发动机

在日本于1961~1962年,为了节省燃料,将液化石油气用到汽车上,当时采用的是低压汽化器。这种发动机由于充分利用了汽油机的研制成果,所以输出功率性能很好、燃料消耗量也少。但当作车用发动机时,最大功率约降低8%。另外,寒冷时火花塞容易发生缺火,起动性受到影响。燃烧室附件的耐久性也比较低。

但是,由于其经济性好、气缸内燃烧干净及安全性的不断提高,用途正在扩大。在日本,竹内龙山等人研究提出了把液化石油气作农用拖拉机燃料的可能性,所以试制成功了汽化装置,在双缸汽油机上进行性能试验,以降低单位燃料消耗费用。他们试制了液化石油气用的不等径文丘里管,作为提高发动机性能的措施。另外,对从汽油换成液化石油气体的转换时间、功率等也进行了试验,即先将液化石油气换成汽油、再将汽油换成液化石油气。还研究了压缩比变化对液化石油气发动机的性能影响。

燃料电池发动机

这里介绍的是从太阳能直接产生电能而得到电力的方法,其中的热电法就是由热电偶产生电能。在拖拉机上利用燃料电池,就是在其耕作农田时直接利用太阳能。在燃料电池中一般用氢气与氧气,在电池薄膜的相反侧供给煤气,使之产生电能。低温工作的电池效率比较高。同时,没有冷却或排气损失。

美国阿利斯-查默斯(Allis-chalmers)公司,供给电池内的是丙烷与煤气的混合气,由化学反应产生电能。由于燃料电池并不采用蓄电池结构形式,所以始终都可发出电能,可设计出效率高达90%的燃料电池。

用燃料电池的拖拉机噪声非常小,仅听到电机声。在拖拉机底盘上原来装发动机的位置,设置电池框架,装九个电池。在电气上互相联通的内部,有用于向各电池组输送煤

气的管子。在阿利斯-查默斯公司,是用1008个小电池组合起来,得到15千瓦的电能,可以并联或串联地得到60伏电压。当然,由于没有化油器或冷却装置,结构比较简单。在电池的后面,装置功率为20马力的电机。电流通过电线流向电机,并通向开关系统的电流控制装置。这个控制器通过开关改变电池的组配,可以实现电机的变速自由运转。

燃料电池的问题之一,在于要找到一种能提高电池内化学反应效率的催化剂,或者说是如何实现其小型化、高效率化。

二、改善途径——新结构、新方法的应用

1. 降低燃料消耗率的途径

降低发动机燃料消耗率的途径如下:1)改进燃烧方式;2)改进燃烧室及燃料喷射系统;3)采用增压等。而上述这些措施,与废气净化也有密切关系。

(1) 火花点火发动机用稀薄混合气运转的研究

如想用原有的火花点火发动机节省燃料时,首先得想办法提高指示热效率,为此应当考虑采用稀薄混合气运转及降低节流损失。

因此,在改进进气系统及化油器方面,在促进燃料蒸发及混合方面,在改善各缸的空燃比均匀性方面及改进火花塞等方面作了大量研究工作。但是,当混合气稀薄后,火焰速度显著降低,冷却层的厚度增加,缺火倾向也增多,HC的排出量跟着增加。为了克服这些缺点,采取添加氢气的方法。根据大量试验结果表明,在汽油中加入10~15%(按重量比)的氢气,在空燃比为30($\phi=0.5$)时,也能进行稳定的运转。在这种超稀薄混合气下进行稳定运转时,CO、NO_x的浓度显著降低,但HC浓度升高,所以必须要用氧化催化剂。

关于减少节流损失的问题,据说采用可变排量的发动机可以使热效率提高23%,但

是其问题是结构复杂、可靠性差而且价格也很高,这些问题还有待解决。

(2) 分层充气火花点火式发动机

采用分层充气方式,是为了解决稀薄混合气燃烧时点火困难的问题。其基本原理如下:首先设法提高火花塞周围的混合气浓度,使之容易点火。然后依靠火焰的传布,使燃烧室内尚未燃烧的其余部分之稀薄混合气也燃烧。这样,由于实质上也是稀薄混合气燃烧,所以可大大降低燃料消耗率。同时,不管燃料的辛烷值、十六烷值是多少,都可以使用,多种燃料适应性好。另外, NO_x 的排放量少,容易采取废气净化措施。

分层充气发动机主要有两大类:一类是带有副燃烧室的所谓副室式分层充气发动机,其特点是具有一个容积小的点火用的副燃烧室;另一类是没有这种点火副燃烧室的所谓单一燃烧室的分层充气发动机。在农用发动机的场合,考虑到废气净化要求不太高,而且要求结构简单,所以一般都采用单室式分层充气发动机。

日本三菱重工研制成功的 MCP 型发动机,采用汽油喷射与电火花点火的赫塞尔曼(Hesselman)方式,即为单一燃烧室的分层充气发动机。其燃烧方式如图 2 所示:喷油方向顶着螺旋气道所形成的涡流方向,所以油雾一方面蒸发扩散,一方面被涡流带到火花塞处,在火花塞点火后燃烧。活塞顶部的凹坑起稳定燃烧的作用。这种发动机与同类的汽油机相比,在常用功率范围内节省燃料为 1 升/小时。

在美国,比较成功的单一室分层充气发动机有如下两种:一是德士古公司的 TCCS 发动机;另一种是福特公司的 PROCO 发动机。两者都采用 BIP 型燃烧室与汽油喷射火花点火方式。

这种分层充气的发动机,特别是部分负荷时能实现低油耗及低污染。TCCS 发动机的多种燃料适应性特别好,能采用沸点范围

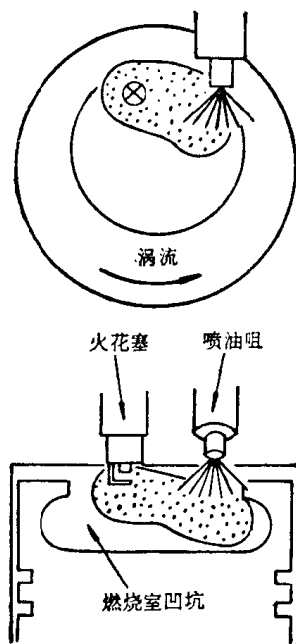


图 2 MCP 的原理

很广的各种燃料。TCCS-L141 型发动机装在汽车上用时的油耗(平地上),比历来的汽油机要节省 1 倍左右。不过这种发动机在节气门全开功率时的混合气形成、废气再循环、催化剂等的耐久性等方面还存在问题。PROCO 发动机的喷油系统还存在一些问题要解决。

(3) 柴油机采用直接喷射燃烧室

直接喷射燃烧室与预燃室、涡流室相比,热效率比较高,燃油消耗率低,一般可降低油耗率 20~30 克/马力·小时。所以在车用柴油机上,直喷化的倾向很显著。过去,直喷式一般用在缸径大于 90 毫米的柴油机上;但最近也在接近 90 毫米或更小缸径的发动机上应用。如最近的轿车用小型柴油机,直喷化倾向显著。西欧轿车柴油机直喷化搞得最积极的似乎是李斯特(AVL)研究所。采用直接喷射燃烧室后,在 NO_x 、烟度相同的条件下,行车油耗能改善 16~18%。为了达到上述优良性能,要在下述几方面作些调整:

(a) 压缩比取 21~23:1;

(b) 综合利用进气道涡流与活塞挤流,而得到适当的气流及紊流;

(c) 喷油位置及方向;

(d) 喷油正时迟后。

西德曼恩公司也研制了直接喷射 M 燃烧方式的四缸柴油机。

但是, 直喷式的缺点是爆发压力与压力升高率大, 噪声比较大。而且起动后蓝白烟、排放物中的 NO_x (最大可达 1.5 克/马力·小时) 较多, 这些问题都有待进一步解决。

(4) 采用预燃室与涡流室复合的燃烧室

分开式燃烧室改进油耗的办法之一, 是采用预燃室与涡流室相复合的燃烧室形式。这样充分利用了两种燃烧室原来的优点。预燃室与涡流室, 与直喷式相比, 燃油消耗率虽然比较高, 但气缸内的爆发压力低, 适用于小型发动机, 排放量中 NO_x 也比较少。另外, 节流损失少的涡流室式燃烧室适用于高速发动机。

最近在日本改进燃烧室的例子有三涡流燃烧室(TVCS)及洋马涡流预燃室(YPC)。前者是立式预燃室, 为了改善起动性, 燃烧室相对气缸中心倾斜几度。为了有利于燃烧室内形成混合气, 将容积比增大 40%, 使油耗率降低。用洋马涡流预燃室时, 最低油耗降到 185 克/马力·小时。

2. 新型点火方式的研究与应用

(1) 无触点点火方式

农用发动机的使用由于季节性很强, 所以当长时间不用时电磁点火系统容易生锈, 另外在水田中使用时泥水等也会使其污损, 因此往往容易引起发动机故障。其改进措施是采用无触点点火方式, 由于其没有机械式触点, 所以就没有磨损、污损及生锈现象, 能得到稳定的火花。目前, 无触点点火方式有如下两种:

一种是图 3 所示的电容放电点火方式(CDI)。其工作原理如下: 用飞轮式磁电机作电源, 对初级电路的电容器进行充电。在

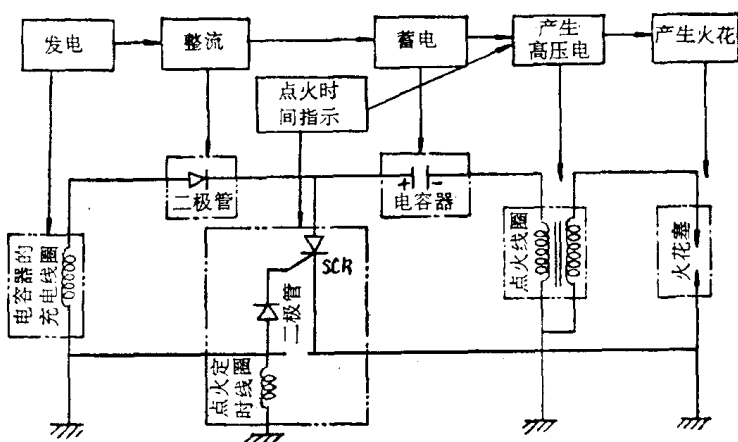


图 3 电容放电点火磁电机原理图(久保田发动机)

达到所定的点火定时时刻时, 一旦脉冲线圈发出信号电压, 可控硅整流器(SCR)从截止状态一下子变为导通状态, 初级电容器内的电流就迅速流入点火线圈的初级侧, 同时在次级线圈内感应产生高压, 使火花塞点火。其特点是: ①充电线圈的输出电流是通过二极管整流后向电容器充电, 在点火位置电气信号的作用下, 点一次火; ②点火定时是根据定时线圈发出信号, 使可控硅整流器导通; ③按电容器→可控硅整流器→点火线圈初级侧→电容器的电路, 电容器上的电荷进行放电的; ④在低速时, 跳出强烈的火花, 起动性非常好, 可以防止火花塞的污损, 大大延长其寿命; ⑤电子元件可以作成完全密闭的装置, 耐热、耐水、防尘及耐久性好; ⑥由于依靠电子信号, 所以点火定时不变化, 总是得到稳定的输出等。

另一种是晶体管断路式无触点点火法(图 4), 其原理为: ①当飞轮旋转时, 点火线圈铁心内的磁通起变化, 主电流在 $T_1 \rightarrow L \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow M$ 中流动; ②在 LM 间通过的微小电流, 使晶体管产生放大作用, 放大的电流在 $C \rightarrow B \rightarrow M \rightarrow T_1$ 电路内流动。与此同时, 在 $L \rightarrow O \rightarrow P \rightarrow M$ 中也有偏流流动, 随着飞轮提前角增大, 基极电流与偏流同时增加; ③在可控硅开关的 GK 间, 在分压电阻 R_1 及 R_2 上的电压中, 当 R_2 上的电压随偏流的增加而达到控制极的电压时, 触发电流(栅流)流动,

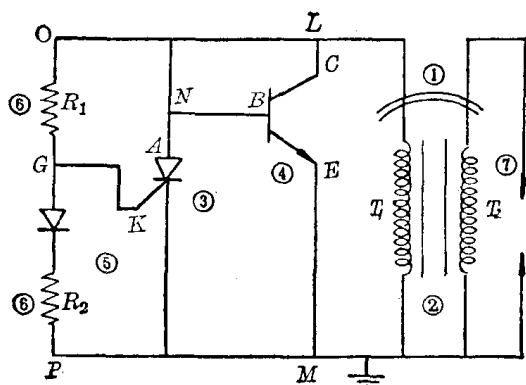


图4 晶体管断路式无触点点火法

- ① 飞轮；② 点火线圈；③ 可控硅开关元件；
④ 晶体管；⑤ 二极管；⑥ 电阻；⑦ 火花塞

可控硅开关的 AK 间导通；④接着，晶体管的基极电流消失，在这个晶体管中 CE 间的主电流截止。这就相当于一般的触点打开瞬间，在 T_2 上感应产生稳定的高电压。

在农用发动机上电容放电点火方式与晶体管断路方式的比较如下：

1) 电容放电点火方式由于次级电压的上升时间短、放电电压高，对煤油机等防污损有利。

2) 晶体管方式，次级电流放电时间长，因此即使用难烧的柴油、煤油等燃料，也可确保燃烧的稳定性。

采用这种无触点点火方式，不仅可以提高可靠性，而且也有利于降低油耗及废气净化，但在次级放电的电压上升时间内，有高频电波的干扰现象，因此必须改进其火花特性。

(2) 高效率点火方式的研究

为了使稀薄混合气与废气再循环(EGR)容易燃烧，国外正在研究新型高效率的点火方式，现分述如下：

图5是等离子点火的原理：在含有惰性气体的小腔内形成强电流电弧，在电磁流体力与热收缩(电弧外侧冷却，导电性下降，气流收缩)作用下，从出口流出的气体被强的电弧电流离子化。由于这种高温、离子化的等离子喷流，比火焰传播初期的速度大，所以比火焰波前先进入未燃混合气中，促进燃烧。

因此可以考虑在点火室内插入长电极的火花塞，用强电流使混合气燃烧，以形成高温离子化的喷流(图6)。福特公司制成了图7所示的带有小腔的等离子火花塞，更加实用，它能在短时间内产生 200~1000 毫焦耳(一般的火花塞约 10 毫焦耳)的高能火花，其喷流由自由电子或离子所组成，达 $10,000 \sim 30,000^{\circ}\text{K}$ 的高温，能使点火极限混合比增加到空燃比 26:1。

其次，美国通用汽车公司研制了一种高能点火系统，其能量比等离子流要低，大约能使电压提高 40%、火花持续时间延长 50%。

另外，美国通用汽车公司的 PHE 点火及福特的 FCDI 系统等，都可用电子线路根据发动机的要求，调节火花电弧的电流强度及电弧的持续时间，具有能提高电弧电流、电压上升率，降低蓄电池平均电流等特点。

随着电子技术与新材料等的发展，在新发动机上可能采用这些高能点火方式。

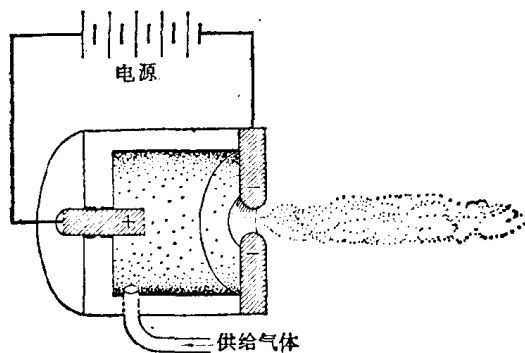


图5 等离子点火原理

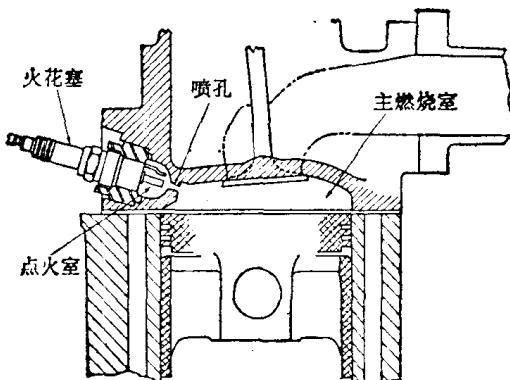


图6 通用汽车公司的等离子点火实验发动机

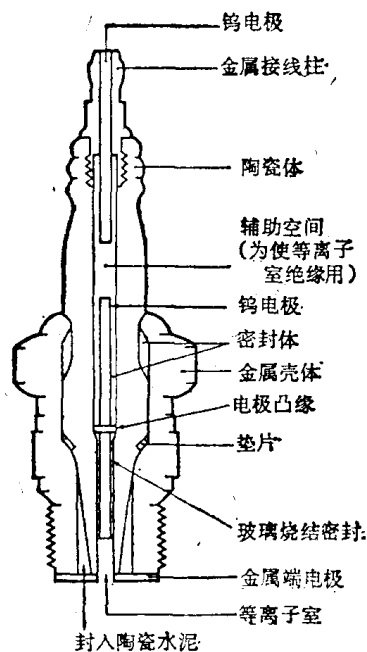


图7 福特的等离子火花塞

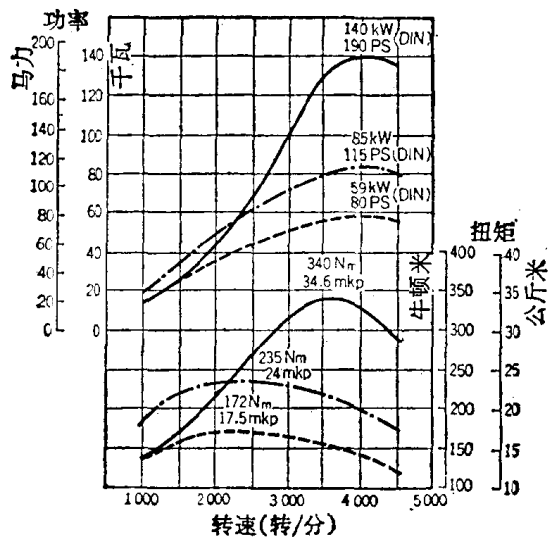
3. 提高功率的措施——增压

增压是提高发动机功率的有效措施，随着增压器制造技术、材料的进步及匹配技术的成熟，增压器用得越来越多了。

根据对美国的几个车用柴油机生产厂：如冠明斯、底特律柴油机、卡特匹勒、马克等的统计，美国总的增压机型从1969年的42%，增加到76年的70%。而根据对欧洲几家公司：如英国的来兰德、泼金斯、罗尔·罗依斯、苯茨、道依茨、伏尔伏及斯堪尼亚等公司的统计，总的增压机型从69年的22%，增加到76年的36%。不过，其中的伏尔伏及斯堪尼亚公司由于增压的历史早，76年的增压机型已分别达到71%及60%。

在目前世界上轿车柴油机用得最多的西德苯茨公司，在排量为3升的五缸预燃室式柴油机OM617型(91×92.4毫米)上，进行了增压试验，最大压比达3.2，利用中冷器将进气从200°C冷却到120°C，如图8所示，最大功率能达到190马力。图9表示增压器的构造。采用涡轮增压后，使活塞、燃烧室四周的热负荷增大，最高爆发压力提高30%以上。所以，这种发动机的活塞采用油冷，冷却

油道开设在活塞顶环内侧，冷却效果最好，油冷后活塞的温度比不冷却时下降100°C左右。活塞冷却的好处是降低了其热负荷，减小了配缸间隙，从而也就减小了活塞敲缸及机油消耗，可以使用低粘度机油、降低油耗等。



——试验发动机 OM617A $\phi 90.91 \times 92.4$ 毫米，排量 $V_s=2999$ 厘米³；——产品发动机 OM617A $\phi 90.9 \times 92.4$ 毫米，排量 $V_s=2998$ 厘米³；---产品发动机 OM617A $\phi 91 \times 92.4$ 毫米，排量 $V_s=3000$ 厘米³

图8 各种增压方式提高性能的比较

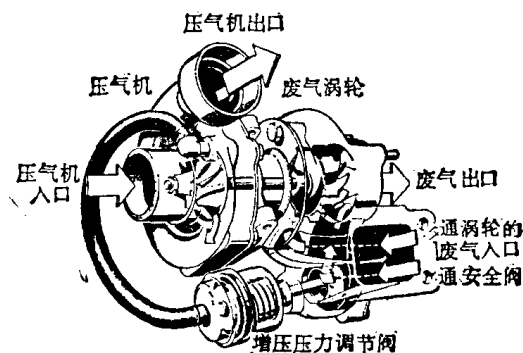


图9 带增压压力调节阀的增压器

汽油机增压是降低油耗、改善排污的一个措施。西德的BMW公司在排量为3升的六缸(ALPINA)发动机上，采用了带调节阀及中冷器的增压方式，增压压力为0.85巴时，最大功率达300马力。发动机压缩比为7.2时，比油耗降到190克/马力·小时以下(图10、11)。

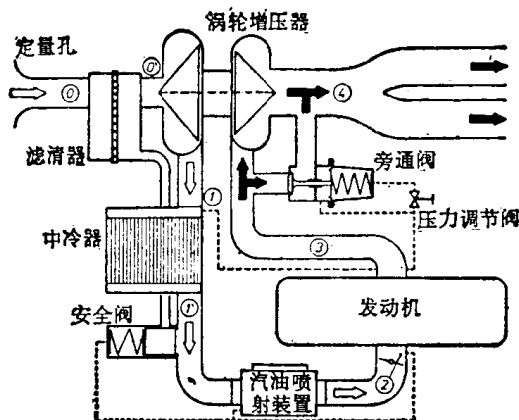


图 10 BMW 公司的汽油机增压系统

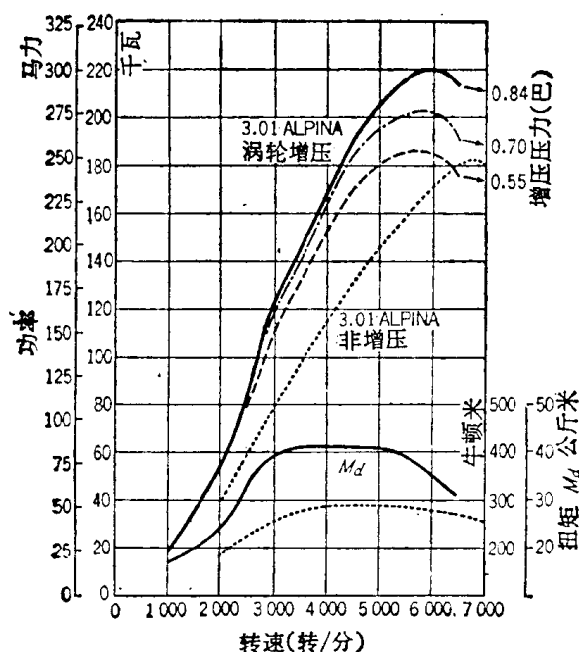


图 11 汽油机增压提高性能的比较

车用柴油机废气涡轮增压的缺点之一是加速（响应性）差，而采用气波增压器可以弥补这一缺点。因此，瑞士的 BBC 公司正在加紧进行研究。据说目前气波增压器的主要问题是：由于必须从曲轴通过皮带带动它，所以噪声比较大。最近，BBC 气波增压器取得了下述进展：

(a) 在小型轿车奥贝尔上装的 2 升排量柴油机之气波增压器转子，外径及长度达到约为 120 毫米；

(b) 转子气道叶片的制造方法及热变形

过去是实用化方面的一个问题，但通过大量生产整体铸造件的研究，问题已得到解决；

(c) 噪声是由于叶片切割气流产生的，其基频等于叶片节距与转速的乘积，所以只要使节距不一致，就相当于普通的涡轮增压器了。最近，如图 12 所示，将气道叶片作成二排，内外两排的叶片相互错开半个节距，使其发生相互干涉，据说就能起到消声效果，解决噪声问题。

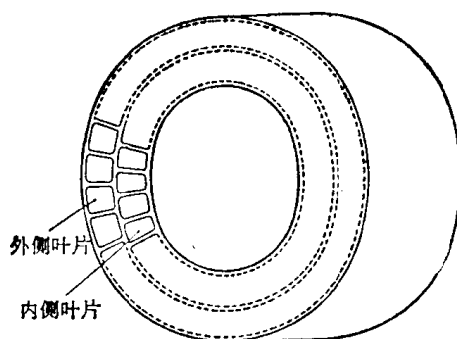


图 12 为减轻噪声而采用的双排气道叶片的转子
(用三箱或陶瓷铸型整体铸造出来)

在奥贝尔车上用气波增压器后，仅在 1,500 转/分前后有冲击噪声感觉。速度再高，噪声消失了，加速性也好。

所以，看来车用柴油机采用气波增压器还是比较有希望的。

4. 小型农用发动机的多缸化

小型农用柴油机的多缸化，在日本尤为突出。过去，日本的 10~20 马力的柴油机几乎都是单缸机，而最近随着配套农机要求重量轻、噪声小，加上单缸机不能满足农机的配套要求，所以促进了双缸机的迅速发展。目前已大量生产这一档双缸机的有洋马、久保田、石川岛芝浦与三菱等公司，它们共生产卧式机型 6 种、立式机型有 50 种之多。

久保田公司生产的小型联合收割机用的双缸高速柴油机(570 毫升、12.5 马力/3,200 转/分、重量 75.1 公斤)，其等效不平衡力矩，比同级的单缸中速(2,400 转/分)发动机少 45% 左右，比重量比单缸机降低 50% 以上。噪声比单缸机的减少 5 分贝以上。

多缸化的主要缺点是成本升高,为了解决这个问题,各制造厂家都采用多元设计法及通用部件的装配线。

三、环境保护措施

1. 减轻振动

耕耘机及小型联合收割机用的单缸卧式水冷柴油机,在马力小的发动机上也采用双轴平衡机构,以消除一级惯性力。另一方面,在历来的单缸农用风冷汽油机上,也有采用单轴平衡的。排量超过 300 毫升的发动机,其趋势是都要作为标准附件装置。

如上所述,减少振动的另一种措施是多缸化。K 公司的 D650、D750 型发动机,从双缸发展成三缸,等效不平衡力矩约减少 60~70%。

在与农机配套时减轻振动的措施有:有效地安装防振橡胶或采用偏角平衡法。所谓偏角平衡法,就是使不平衡力的最大值作用在车轴中心线与所装发动机中心线的相连的方向上,从而形成椭圆形的不平衡图,以此来减少振动。

用改变配套发动机来减少振动,可以举出链锯采用转子发动机的例子。图 13 表示在空载与锯断工作时,用往复式发动机与转子发动机的链锯手柄上的振动加速度比较。无论在空载或锯断工作时,后者的振动加速度最大值都大大地低于标准值 $3g$ (g ——重力加速度)。

2. 降低噪声的措施

目前公害中比较大的问题是噪声。日本从 1978 年起的新产品都采用 ISVR(噪声与振动学会)规定的标准。该标准规定,操作者耳边的噪声应控制在 90 分贝(A)以下,这个要求是比较严格的,因此要采取综合的(包括配套的发动机在内)降低噪声措施。

在柴油机上,通过限制爆发压力与多缸化,可以把噪声降低 5 分贝(A)之多。在风

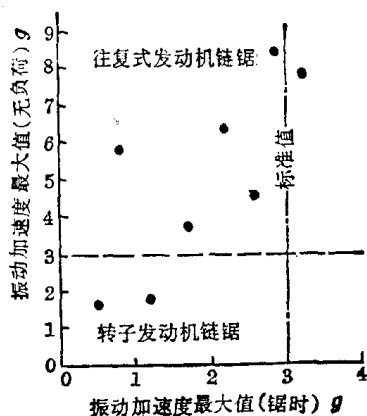


图 13 锯断与空载时链锯手柄上的振动加速度最大值比较

冷发动机上,主要考虑降低排气噪声的问题。有些厂家制造特种规格的消声器,与标准规格相比,只减少 1 分贝(A)左右的低频噪声。

这些消声器的结构多数是将膨胀腔扩大,以便很好地平衡并衰减排气声、气流声及表面辐射声。同时,采用消声型空气滤清器或对凸轮轴齿轮的齿型修正,以减少气门敲击声,可降低噪声 3~4 分贝(A)。

当用隔声材料时,为了防止共振现象,研制复合的防振材料或挠性防振材料等。在拖拉机上,正在用这种材料进行安全驾驶室的试验等。另外,也可采用废气涡轮增压器减少排气噪声或采用电子调速器以减少动态噪声等措施。

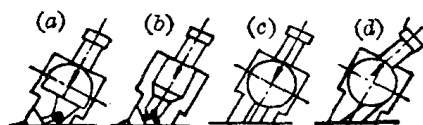
因此,今后不仅要在发动机本身上采取措施,而且要考虑发动机上的附件或装置发动机的整个农机,设法减少噪声。

3. 排气净化措施

日本的农机制造厂是用美国加利福尼亚州关于柴油车制订的 1977 年标准值(按 13 点规范): $\text{NO}_x + \text{HC} = 5$ 克/马力·小时、 $\text{CO} = 25$ 克/马力·小时,作为排气净化的目标值。柴油机排放物中的 NO_x 是主要问题,特别是直喷式与预燃室、涡流室相比, NO_x 的排放量多(直喷式的 $\text{NO}_x + \text{HC} \approx 10$ 克/马力·小时)。但如上所述,在热效率方面,直喷式比其它方式优越。从降低燃油消耗率来看,用直喷式

表1 燃烧室形状与排放物

燃 烧 室 形 式		(a)	(b)	(c)	(d)	备 注
发动机特性						
NO _x	克/马力·小时(ppm)	3.55(460)	3.06(370)	2.37(310)	5.23(660)	在6公斤/厘米 ² 时
NO _x +HC	克/马力·小时	4.24	3.94	3.94	5.82	13点规范
燃烧性能						
实际平均有效压力	公斤/厘米 ²	8.7	7.0	6.3	8.2	在烟度=4时
燃料消耗率	克/马力·小时	204	213	211	201	最小值
烟度	波许	0.9	2.8	3.3	0.8	在6公斤/厘米 ² 时
燃烧室参数						
压缩比	—	18.9	19.0	19.0	19.0	
容积比	%	50.0	31.6	48.9	48.9	
喷孔面积比	%	0.86	0.57	0.96	0.96	



燃烧室形状附图

发动机参数:

单缸 缸径×行程=102×106 毫米

转速: 2,400 转/分

喷油泵: 波许泵

喷油嘴: 轴针式

喷油提前角: 上止点前12°

针阀开启压力: 140 公斤/厘米²

是最好的方法。因此,正在研究如何用直喷式降低油耗,同时要消除排放物中的有害成分。

表1是四种燃烧室间的排放物的比较。(a)是采用洋马公司涡流预燃室(YPC)的发动机,其NO_x+HC满足13点规范标准值,同时燃油消耗率等综合性能也都比较满意。

在柴油机上,除了改进燃烧室及燃烧方式之外,还采用废气再循环(EGR)及喷水的方法,以减少NO_x。另外,由于农用汽油机都普遍使用无铅汽油,所以有可能出现防污染的附件用得少的稀薄燃烧的低公害发动机。

四、未来展望

1. 新燃料的研究工作

(1) 研究过程概况

在农用发动机上,过去也用苯、酒精、煤焦油及鱼油等矿物油与动植物油。气体燃料有天然气、焦炉煤气、城市煤气、发生炉煤气、石油气及甲醇气体等,固体燃料如木炭、劈柴、焦炭及煤粉等,都曾供发动机用过。

发动机采用城市煤气工作的成本比采用石油的高。在1/4负荷(3.5马力)、6,000转/分时,用石油的油耗率为750克/马力·小时,而用城市煤气时燃料消耗率为3.0米³/马力·小时,全负荷时的燃料消耗率分别为350克/马力·小时及1米³/马力·小时。可见,随着负荷的增加,石油的耗量急剧下降,而城市煤气的下降不大。但是,用城市煤气的优点是积炭极少,而且便于冷起动等。

在柴油机上实际使用煤气是在1939年开始的。与化油器式发动机一样,发动机吸入煤气与空气的混合物,高度压缩后,喷射燃

料着火, 压缩比达到 12~15, 效率与柴油机相等, 煤气的成分、分量等都能调节, 也可改换成用柴油工作。在 5 马力的发动机上用富氧运转, 氧气浓度可从正常时的 20% 增加到 45%, 指示功率从 4.3 提高到 6, 制动功率从 2.9 提高到 4.6, 燃料消耗率从 195 增加到 267 克/马力·小时, 没有着火滞后现象, 但产生爆震。

液化石油气 (LPG) 是 1903 年首先由德国人赫尔曼·布劳付诸实用。在 1948 年, 据说美国加利福尼亚州全部拖拉机的 5% 使用液化石油气。在一般负荷情况下, 液化石油气的燃料消耗率比汽油机稍高, 负荷增加时则更加不利。但是由于液化石油气的辛烷值高, 经得起高压压缩, 克服了上述缺点。

根据 L. H. 拉莫利安 (Lamouria) 的实验, 用液化石油气每年比汽油机节约燃料费 25%, 但比柴油机提高 35%。法尔曼勒 (Farmall) 公司在 1950 年制成了液体回收式液化石油气发动机, 用在拖拉机上。梅西·哈里斯 (Massey Harris) 公司在 1950 年制成蒸汽回收式液化石油气发动机, 用在拖拉机上。在日本也曾作过试验, 但经过 30 多年还未实用, 主要原因大概是担心气体瓶倾倒时有爆炸危险。

发动机使用木炭气体, 还是第二次世界大战中的事, 那时一般在发动机上装置木炭煤气发生器。德国的布勒特哥 (Bulldog) 公司, 也把这种发动机用在拖拉机上。用木炭气体时的输出功率能达到汽油时的 60%。如果把汽油的平均成分看成为由正庚烷 (C_7H_{16}) 组成, 则根据木炭煤气中含有的成分, 能预测其燃烧效率。

其次, 发动机也可以用汽油、乙醇及甲醇的混合燃料运转, 但效率多少有些下降。用松根油作代用燃料, 油耗率比柴油的高。当其含量在 50% 以下时, 冷起动性与重油的一样。掺入更多的松根油, 起动就困难。

鱼油中有鲸油、沙丁鱼油, 其粘度特别

高, 喷射的油粒粗, 容易使喷油嘴或油泵堵塞。由于着火延迟, 会连续发生敲缸现象。活塞上积炭严重, 据说工作 50 小时会积炭 1 毫米厚。起动时间比用重油的还要长, 但热效率或功率都较好。另外, 这些鱼油长期搁置就会变成胶质状, 所以不适用于农用发动机。

发动机燃用鲭油时燃料消耗率高, 根据对柴油机轴瓦的腐蚀试验, 一般的动植物油与重油、机油等具有相同的腐蚀性, 对发动机材质的影响与重油一样。但是, 含有大量游离酸的鲑鱼油、沙丁鱼油对轴瓦的腐蚀更严重。这种酸对热效率没有影响, 只要正确选择燃料喷射管的材质、保证其充分燃烧的话, 估计能够得到解决。

关于酒精燃料, 在酒精中掺入乙醚的比较好。用含有 25% 乙醚的酒精作为主燃料, 与汽油可达到同样的性能。在汽油内掺入 10% 的辅助燃料, 可使汽油的油耗率节省两成左右。

如上所述, 过去的代用燃料, 在化油器式发动机上有酒精、液化石油气、木炭煤气; 在柴油机上有豆油、花生油、鱼油等, 一般综合考虑燃料消耗量、单价、对发动机的影响等所有因素, 与各种主燃料相比, 其代用效果勉强与原有燃料相同或在多数情况下比用原有燃料的要差。因此, 非万不得已, 一般情况下不采用这些代用燃料。

(2) 最近的状况

表 2 1985 年后代用燃料价格预测

汽油	3.15(煤) 2.60(页岩)
蒸馏燃料	2.50(煤) 2.00(页岩)
液态氢	4.70(煤) 7.00(原子能)
氨	7.65(原子能·氢)
肼	~20.00
甲醇	3.40(煤)
乙醇	7.80(有机废料)
甲烷(沼气)	3.80
丙烷	3.80(煤液化)
汽油	3.35(1974 年 38 美元/加仑)