

发动机节能译文集

《机械设计》 编辑部
《小型内燃机》

天津市一机局科技情报研究所

前 言

能源问题，是一个世界性的问题。为了解决这个问题，科技工作者进行了大量的研究和开发工作。目前我国正值“四化”建设时期，能源问题是我国必须解决的一个重大问题。

内燃机是提供动力的主要设备，在国民经济各个部门中被广泛采用，每年的能源消耗量是相当可观的。因此，如何降低内燃机的能源消耗，是广大科技工作者面临的艰巨任务，也是党中央、国务院对我们提出的要求。降低内燃机的能源消耗，国内外目前主要从以下几个方面进行研究：

- 1.改善燃烧过程，提高热效率；
- 2.采用增压措施；
- 3.汽油机采用汽油直接喷射供油系统；
- 4.汽油机采用分层充气；
- 5.可变气缸容积；
- 6.采用代用燃料；
- 7.绝热式燃烧过程的陶瓷发动机；
- 8.采用电算机控制供油系统；
- 9.降低摩擦损失；
- 10.其它。

我们翻译出版的这本译文集及今后即将出版的第二集，拟对上述问题进行介绍，供我国内燃机工作者参考。

本译文集是在天津市第一机械工业局科技情报研究所高级工程师胡同勋主持下，由该所三室翻译，天津内燃机研究所部分同志参加校对。由于翻译及编辑水平有限，错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

1984.6

目 录

内燃机的节能现状和未来的内燃机.....	吉田毅 (1)
中速重油机和煤气机的发展趋势.....	G. Athenstaedt (10)
小型内燃机用涡轮增压器.....	Zloch Moliveira (29)
汽油机采用涡轮增压是改善轿车燃油经济性的一种方法.....	K. A. Морозов (43)
降低汽油机油耗与稳定性、振动和噪声的关系.....	中西清等 (48)
降低车用柴油机的油耗措施.....	及川洋等 (62)
提高中速柴油机的热效率.....	濑角宪一 (81)
增压的燃料经济性.....	J. Buike等 (95)
减摩——节油的另一种途径.....	T. J. Kovach等 (110)
单缸发动机轴向层状充气的研究.....	Ather A. Quader (111)
用等离子喷射点火来扩大混合气的稀着火极限.....	C. F. Edwards (118)
发动机与变速器匹配提高了经济性.....	(121)

内燃机的节能现状和未来的内燃机

〔日〕 吉田毅

1. 前言

今天, 内燃机的用途非常广泛, 在使用上基本没有什么问题。但是发动机本身的重要性——动力性和防止公害性, 问题却不少。在经济方面, 主要是降低燃油消耗率, 但也要降低机油消耗率、发动机的保养费、更换配件的费用以及提高发动机的工作效率等。另外, 在防止公害方面, 对每年急速增加的汽车排放的有害气体、黑烟、臭味及噪声等, 虽然采取了各种措施, 但效果并不显著。日本和其他国家不同, 国土狭窄, 所以问题更加严重。

目前, 最大的课题是降低燃油消耗率, 下面就以它为中心谈谈有发展前途的内燃机。

2. 降低燃油消耗率的措施

2.1 低速内燃机 (船用柴油机)

1) 采用长行程和低转速

1978年以来, 苏尔寿、B&W、三菱重工等船用内燃机制造厂相继采用改善燃烧的方法来降低燃油消耗率, 开始研制长行程低速内燃机。行程一长, 由于受活塞速度的限制, 内燃机的转速就要下降, 因而, 燃烧室内燃烧速度就要减慢, 结果, 得以实现完全燃烧, 燃油消耗率也就降低了。此外, 还可以使用象船用锅炉燃料油一类的燃烧速度缓慢的劣质油。

一般来说, 行程的大致标准用它与缸径之比来表示 ($\lambda = S/D$)。高速内燃机的 λ 为0.8~1.2, 而长行程内燃机的 λ 为1.7~2.5。设转速为 n (r/min), 活塞平均速度为 U_m (m/s), 其值则为:

$$n = 95 \sim 130 \text{ r/min} \quad U_m = 6 \sim 7 \text{ m/s}$$

表1 是具有代表性的低油耗内燃机的参数表。

表1 具有代表性的低油耗船用内燃机参数

厂家和机型	D (mm)	S (mm)	S/D	n (r/min)	U _m (m/s)
三菱UEC60/150	600	1500	2.5	128	6.4
三菱RLB76	760	1600	2.1	120	7.0
三井L80GBE	800	1950	2.4	100	6.9
苏尔寿RLA90	900	1900	2.1	95	6.0
B&WL90GBE	900	2180	2.4	97	7.0
石川岛RND105	1050	1800	1.7	108	6.5

2) 改变增压方式

以前,船用内燃机全部采用脉冲增压方式,但自1978年下半年以来,全世界的船用内燃机制造厂几乎都改用小型高速柴油机采用的定压增压方式。前者是将发动机的排气动能直接用在涡轮上,而后者是将排气送到一个共用的稳压箱,使其达到大致一定的压力后,再将定压排气能量供给涡轮。所以前者的排气压力和温度的波动大,而后的压力和温度是一定的,排气能量的回收率比较高,另外,排气行程的泵吸损失也少。

3) 改进喷油系统

1979年MAN公司研究成功一种用微型机控制喷油的方式(EFIS),次年在实际中得到应用。这种方式可以根据内燃机的负荷和转速的变化自动调整进入气缸的供油量。

另外,还可以使喷油泵的凸轮在燃烧时随着燃烧室容积的变化起供给最佳喷油量的作用。此时凸轮型线用有限元法确定,用耐磨性高的材料,采取精密加工工艺制造。这是一种控制多余喷油量降低油耗的方法。

喷油提前角自动调整机构随着发动机转速和负荷的变化可自动控制喷油提前角,采用这种机构也可以降低燃油消耗量。

4) 改进推进装置

提高推进效率的措施有:①采用高扭转角螺旋桨;②使用有导流器的螺旋桨;③使用有反作用力叶片的螺旋桨;④利用辅助风力。

第一种措施的螺旋桨叶片的弯度大,可以抑制船的振动,减少叶片的穴蚀。第二种是日本三井造船公司研制的。我们知道,船尾产生的紊流和涡流有碍船舶的推进,为了防止其产生,可在螺旋桨的外周装一个圆形导流器,使水流均匀,以提高推进效率。第三种是日本三菱重工研制的。它是在螺旋桨的前方装一个导流叶片,使水在流入螺旋桨之前先做反向回转。第四种是日本钢管公司研制的。它是在船的前部和中部各装一个帆,用微型机根据风向和风速计算所需功率,用液压系统调整帆的升降和方向。这是一种在柴油机上利用辅助手段节油的措施。

利用上述改进推进装置的措施可以降低油耗10~15%。日本钢管公司在船上除了采用第四种措施安装船帆外,再加上采用节能船形、大型变距螺旋桨、低油耗的主机、排气节能器等,总计可节能50%。

5) 改装主机

1979年中期,“改装主机”即将涡轮机改为柴油机,已成为船用发动机节约燃料的重要话题。这主要是对油耗量大的远洋大型油轮和集装箱船提出的。这种改装是否可行,关键在于未来船用发动机所用燃料的优劣。假如燃料质量很差,还是使用即使烧劣质油也不会发生故障的蒸汽涡轮有利。

改装主机的工程费约为20亿日元,工期约为90天,再加上停航期间的损失以及比涡轮机较高的维修费和利息,估计可达36~40亿日元。在大型油轮的情况下,假定主机改装后每年每条船节省的燃料金额为4~5亿日元,那么偿还改装费用约需7~8年的时间。

6) 船用内燃机降低油耗的情况

苏尔寿公司在降低油耗方面做了许多工作,图1是该公司的RLA90型内燃机降低油耗的进展情况。一般来说,由于对运转条件和所用燃油性质了解得不够清楚,所发表的燃油消耗

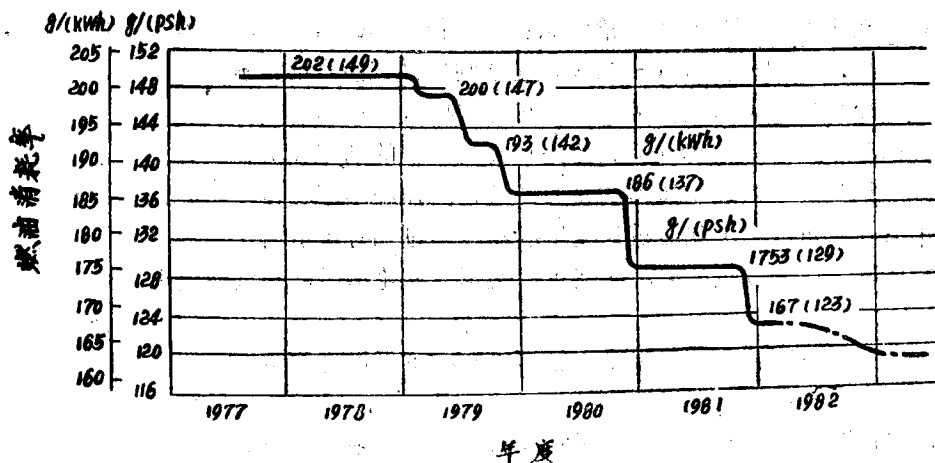


图1 苏尔寿R L A (B) 90型内燃机降低油耗的进展情况
(根据苏尔寿、三菱重工、住友重机、石川岛播磨的报告)

率大都不准确。图中最低燃油消耗率为 167g/kW ($123\text{g/PS}\cdot\text{h}$)，是1981年的数据。这是苏尔寿RLA90型内燃机在100%负荷下试验的结果。是目前世界上船用内燃机最低的燃油消耗率。据说该发动机的热效率达50%以上。反算燃油热值，则为 43MJ/kg (10286kcal/kg)，可以推测出使用的是C级重油。据说该发动机在几年内要把燃油消耗率降到 163g/kW ($120\text{g/PS}\cdot\text{h}$) 以下。

2.2 高速内燃机

1) 汽油机

目前汽油机降低油耗的措施如下。

由于目前所用的汽化器不能随发动机负荷和转速等运转条件的变化供给恰当混合比的混合气，已研究出一种用电子控制的反馈式汽化器。汽化器的最大缺点是不能向各个气缸均匀分配恰当的燃油，因而研制出一种用电子控制喷油泵的汽油喷射方式。这样一来，不仅可以防止燃油的浪费，而且还可以提高功率，因此降低了油耗。

2) 改进燃烧

改进燃烧是降低油耗最有效的方法。若使用稀混合气 (空燃比 $R = 17 \sim 20$)，不仅可以降低油耗，而且还可以减少HC和 NO_x 等有害成分的排放量。但是在发动机起动时，须要供给浓混合气 ($R = 15$)。1968年Witzky研究出层状充气方式。以后相继研究出福特燃烧方式 (FCD) 和德士古燃烧方式 (TCP)、除主燃烧室外还有副燃烧室的本田复合涡流控制燃烧方式 (CVCC)、伏科斯瓦根的层状充气方式，这些方式现已达到实用程度。

1981年日本Yamaha公司又研究出一种新的燃烧方式，这种方式在气缸盖上设有主副两个进气道。中小负荷运转时，主进气道的节气门关闭，因副进气道吸入气缸内的混合气流速加快，同时产生涡流，因而燃烧效率得以提高。采用这种方式可以降低油耗10%。

3) 利用排气能量提高功率

内燃机的热平衡计算通常以供给的燃料热量作为100%，其中有效功占26~33%，排气损失占32~38%，冷却损失占30~38%。现在利用排气能量的措施是将放到大气中的排气能量供给废气涡轮增压器的涡轮，驱动与它相连的压气机以增加吸入的空气量。随着空气量增加的多少，额外供给适量的燃油，以此来提高内燃机的功率和降低油耗。

在轿车上最早装上涡轮增压器的是日产公司，1979年底经市内行驶已获得好评。其实，早在数十年前在载重汽车上就装过涡轮增压器，不过当时由于增压器本身存在的问题以及和发动机匹配不当，连续发生故障，未能推广使用。涡轮增压器在汽油机上的真正应用是近几年的事情。

最近，已在双轮摩托车上采用了涡轮增压器，更不用说载重汽车和大轿车了。这种措施有利于降低燃油消耗率。

汽油机的可燃混合比的范围窄，因此采用增压时必须同时调节空气流量和供油量。另外，增压后进气压力升高，因而发动机的压缩比也升高，这样就有可能发生不正常燃烧。所以必须调节增压器的增压比(π)或者内燃机的压缩比(ϵ)。

4) 采用代用燃料

为了节约石油燃料，已研究出各种各样的代用燃料。目前最引人注目的是由生物资源制得的乙醇(酒精)，以及由煤炭和天然气制得的甲醇(木精)。表2是这两种醇和汽油的性质，

表2 甲醇、乙醇和汽油的性质

项 目		比重15℃ 760mm Hg (g/cm ³)	最大实际 压缩比	理 论 混合比 (kg/kg)	低热值 (MJ/kg)	辛烷值	十六烷值	自然温度 (空气中) (℃)
乙 醇	98% (重量)	0.798	7.5	8.95	26.8	92	8	518
	95% (体积)	0.816		8.4	25.1			
甲 醇		0.83	5.2	6.5	22.4	—	3	—
汽 油		0.72	5.2	15	44.0	>79	—	375

乙醇是利用太阳能由水和二氧化碳等无机物合成的有机物，即由植物的纤维素经发酵而制得的碳氢化合物。而甲醇是用溶剂溶解煤炭，然后在高温高压下加氢制得的碳氢化合物。现在美国已将含有10%乙醇的混合汽油(gasohol)，巴西已将含有20%乙醇的混合汽油，西德则将含有15%甲醇的混合汽油(M15)作为燃料而使用。美国使用该种燃料可多行驶10%的距离。据说在盛产乙醇的巴西，将内燃机进行简单改造后就可以完全使用乙醇作燃料，但因受乙醇产量的限制，现在只在出租汽车上使用乙醇发动机。

不过使用这种混合汽油时，容易发生相分离，腐蚀内燃机零件并使其溶胀。其对策是对前者加入少量的高级醇，而对后者则改换材质，这样即可防止上述问题发生。

除了上述代用燃料外，还研究以氢气作燃料的内燃机，不过这种内燃机距实用尚远。

5) 自动改变工作气缸数目

从1976年开始，通用汽车公司就着手研究在多缸机上根据需要用自动调节工作气缸数的

方法降低油耗。这种方法根据汽车行驶工况的不同,可通过电子控制系统由八缸工作转换为六缸工作,进而再转换为四缸工作。采用这样方法可降低油耗20%左右。

6) 用柴油机代替汽油机

从1930年起本茨公司就开始在轿车上使用柴油机。当时不存在降低油耗的问题,只不过是为了满足用户的需求。1965年上半年日本五十铃公司在贝雷耳和贝雷特两种轿车上开始装柴油机。但是由于没能圆满解决发动机的噪声、振动和排烟等问题,终于停止了这项工作。另外,日产公司虽然也研究过轿车用柴油机,但进展并不顺利。

但是,自1973年石油危机以来,降低油耗的要求日益强烈,以柴油机代替汽油机的工作也加紧起来,到1974年这项工作进一步取得了进展。根据日产公司的试验,在以时速60 km行驶时,汽油车的油耗为15.5 km/L,而柴油车的油耗为21 km/L,而且汽油的价格每升为100日元,而轻柴油的价格每升为65日元(1979年)。因此,每升燃油,柴油车的行驶距离是汽油车的1.35倍,油价便宜35%。所以,对用户来说,柴油车是很吸引人的。目前各制造厂都竞相研制高性能低油耗的柴油车。

7) 革新车身结构和减轻重量

为了降低内燃机的燃油消耗率,据说改进车身是最简便的措施。即采用小型车身来减小空气阻力,将高强度钢板和金属零件改为铝制件和塑料件以减轻车重。另外,改变发动机的安装位置,将后轮驱动改为前轮驱动也是降低油耗的有效措施。这种方式是将发动机横装在汽车前方直接驱动前轮,这样就可以省掉传动轴及其附属零件。由于车重减轻,油耗明显下降。因可以说,采用前轮驱动的方式是节能的一种手段。

8) 利用电能作汽车动力

这里所说的已不是内燃机,而是不用石油燃料,以蓄电池作电动机电源的电动车。电动车早在1873年就在英国制造出来。以后,由于市场上汽油增多,才见不到这种车了。但是,由于燃料的原因,从节能和降低公害观点来看,电能作为理想的动力源又再次用在车上了。但是,目前还没有研制出重量轻、效率高、耐久的蓄电池,而且每充电一次,行驶的距离也短,成本也比较高,这都是目前急待解决的问题。

9) 轿车的油耗效率现状

美国于1975年制定了节能法,规定到1985年油耗效率要达到27.5英里/加仑(11.7 km/L),因此出现了大型车小型化的趋势。但是由于燃料日益短缺,1980年美国国会又提出了到1995年油耗达到40英里/加仑(17 km/L)的新油耗法案(不知是否通过)。图2是1980年日本运输省按排量对其国产轿车10点工况油耗效率的审查值。

2.3 柴油机

柴油机降低油耗的措施如下。

1) 改进燃烧方式

涡流室和预燃室等分开式燃烧室虽然噪声低,排气中有害成分少,但燃油消耗率较高。所以,最近大都转向直接喷射式。直接喷射式与汽油机的混合气形成方式不同,柴油喷到燃烧室后到压燃着火燃烧的时间很短,仅0.8~1.0 ms。在如此暂短的时间内柴油喷雾难以和空气混合良好,形成在物理性能和化学成分方面适于着火的混合气。因此,直接喷射式除了向

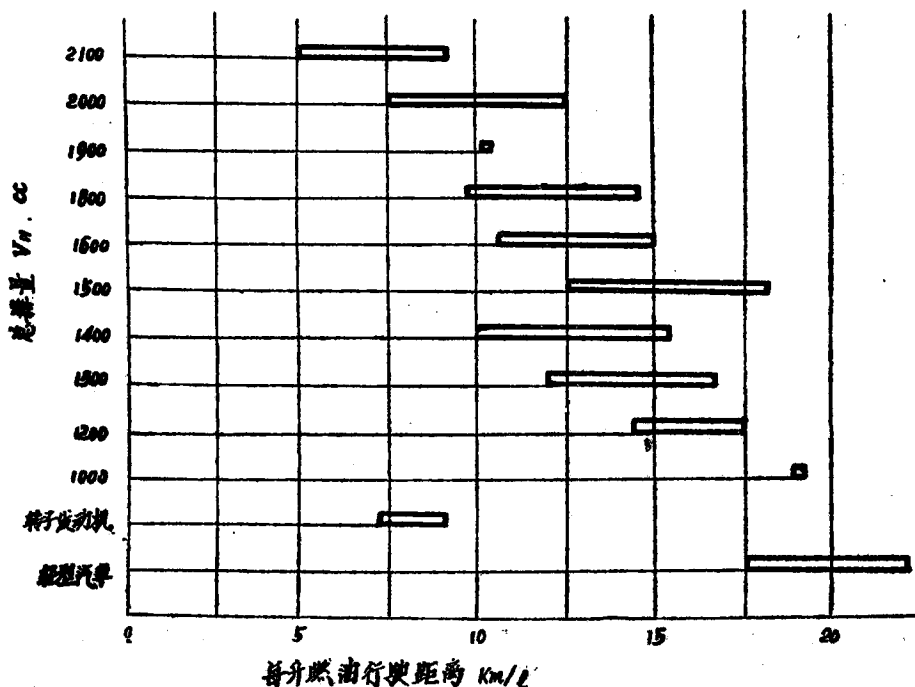


图 2 汽车的油耗效率 (1980年日本运输省10点工况审查值)

最佳形状的燃烧室喷油外,还必须采取某种形成进气涡流的方式。

最近,小松公司发展了一种称为微紊流式燃烧室 (Micro-Turbulence Combustion Chamber, 缩写为MTCC) 的燃烧方式。与同排量级的预燃室式柴油机相比,其油耗效率可提高15~20%。这种方式在活塞顶上设有一个四角型燃烧室,它使空气和燃油产生紊流进行混合燃烧。这种燃烧方式的噪声也低,与同排量级发动机相比,约低3~4 dB。

2) 利用排气能量提高功率

与上述汽油机一样,也试图在大轿车和载重汽车用柴油机上安装涡流增压器,以提高功率,降低油耗。柴油机和汽油机不同,其可燃混合比的范围比较宽,因而只调节供油量即可提高性能。一般说来,增压发动机扭矩的增加比非增压发动机差。其原因是受涡轮和压气机转子的惯性力矩的影响,加速时转速上升比较慢。为了解决这个问题,可以采用不影响耐久性的轻型转子。以一定速度运转的发动机不必担心这种问题发生,采用上述方式可以增加功率,对降低油耗也是有效的。

3) 采用代用燃料

和汽油机一样,为了节油柴油机也采用醇类代用燃料。柴油机使用醇类的方法有两种:一种是使用轻柴油和甲醇或乙醇的混合燃料;另一种是轻柴油和醇类分别采用各自的喷射系统。使用混合燃料时,也和汽油机一样,出现相分离。解决方法是加入少量(4~5%)的高级醇(癸醇和辛醇)。使用这种燃料的缺点是功率下降,因而油耗增加。

如表2所示,柴油机使用乙醇和甲醇时,因其十六烷值低,起动困难。表3是轻柴油和乙醇的混合燃料的低热值。

表3 轻柴油和乙醇混和燃料的低热值
(根据Strait, Baedicker, Johanson的数据, SAE790958)

燃 料		低热值 (MJ/L)	混合燃料能量/柴油能量	
			体积基准	重量基准
柴 油		35.7	1.00	1.00
乙醇 (体积%)	10	34.3	0.96	0.97
	20	32.8	0.92	0.93
	30	31.4	0.88	0.89
	40	29.9	0.84	0.86
甲 醇		21.2	0.59	0.63

4) 采用复合方式

这是以柴油机和电动机作为动力源的发动机, 是1980年英国最先发展的方式, 情况不详。据说噪声低、爬坡能力也不亚于其他车辆, 用轻柴油 3 L 可行驶 100 km, 即油耗为 33 km/L。

3. 未来的内燃机

内燃机至今已有110多年的历史, 通过对它不断的研究已有不少改进, 最近技术的显著进步和发展可能使内燃机有更大的飞跃。可能会出现燃烧效率很高的内燃机, 即出现混燃式内燃机、连续燃烧发动机和绝热涡轮复合发动机。

3.1 混燃式内燃机

兼有汽油机和柴油机各自基本特点 (见表 4) 的内燃机称为混燃式内燃机。目前正在研制将这两种内燃机的特点结合起来的内燃机。例如将表 4 中 A、2、3、4 组合起来的不用汽化器的喷射式内燃机、将表 4 中 A、B、3、D 组合起来的赫塞曼内燃机、Witzky 的层状充气内燃机, 另外还有 MAN 公司的 FM 燃烧方式。今后可能会出现燃烧效率很高的更新的混燃式内燃机。

表 4 汽 油 机 和 柴 油 机 的 特 点

	汽 油 机	柴 油 机
外 部 特 点	汽 化 器 火 花 塞 有 节 气 门	喷 油 装 置 高 压 缩 比 无 节 气 门
机能上的特点	1.外 部 混 合 2.均 匀 混 合 3.定 时 点 火 4.控制混合气 (有混合气节气门)	A.内 部 混 合 B.不 均 匀 混 合 C.压 燃 D.控 制 燃 油 (无节气门)

根据P·H·Schweitzer (1963) 的资料。

3.2连续燃烧发动机

这类发动机是内燃流动型式(速度型)的发动机,燃气轮机是这种发动机的代表,目前对其研究非常盛行。但是可与内燃机相比的高燃烧效率的燃气轮机尚未出现。问题在于:为了达到内燃机油耗水平,流入涡轮的燃气温度必须达到 $1300\sim 1500^{\circ}\text{C}$,因此当务之急是寻找耐热材料。目前,由于陶瓷的惊人发展,提高热效率在几年内是可能的。但是在生产可能性和可靠性方面还没有把握,而且价格也比较贵。

其次还有斯特林发动机,其主要问题是结构复杂、转速低、重量大,在防止气缸内的高压工作流体外漏方面尚有困难。另外,活塞滑动面的润滑,困难也不少,耐久性也有问题,因此难以判断其未来的发展前景。基于以上原因,曾在世界各国竞相开始的斯林特发动机的研究热,现在又冷下来了。

3.3绝热涡轮复合发动机

降低油耗和提高燃烧效率的最后一种方法是开发无需冷却装置的无冷却绝热发动机。这种发动机可将冷却损失的热能转换为有效功。

最近,由于陶瓷的迅速发展,作为耐热材料它又重新受到了重视。发动机活塞、气缸盖、气缸、涡流室、预燃室等受热零件已能用陶瓷制造。据报导,日本已用陶瓷制成了小型汽油机的全部受热零部件,即制成了绝热发动机。寇明斯公司正在大力实现高速柴油机的陶瓷化,据说,2~3年后即可达到实用的程度。

该公司还受美国陆军的委托,制成了AA750新型绝热发动机,功率为 560kW (750HP)。据试验结果,燃油消耗率为 $172.6\text{g/kW}\cdot\text{h}$ ($127\text{g/HP}\cdot\text{h}$),而高速柴油机的燃油消耗率通常为 $217\sim 230\text{g/kW}\cdot\text{h}$ ($160\sim 170\text{g/HP}\cdot\text{h}$),因而节油20~25%。

日本京都陶瓷公司用陶瓷试制了汽车用三缸柴油机,据说燃油消耗率可降低30%。另外,小松公司制成了绝热涡轮复合发动机,即将SA 6 D105型四冲程增压柴油机($6-\phi 105$

×125, 119kW/2500r/min, 162PS/2500r/min) 改制成绝热发动机的同时, 还在涡轮增压器的排气口装有回收排气热的涡轮将其功率传给发动机的功率输出轴。形成了绝热涡轮复合发动机。图3是其示意图。这种发动机的总绝热度可控制在60%。绝热度可用下式表示:

$$\text{绝热度} = \frac{\text{绝热前的散热量} - \text{绝热后的散热量}}{\text{绝热前的散热量}} \%$$

热机受热零件使用的陶瓷有两种: 一种是非氧化物系的氮化硅陶瓷和碳化硅陶瓷; 另一种是氧化物系的三氧化二铝陶瓷。前种陶瓷的耐高温性好, 适用于活塞和气缸、副燃烧室等, 后种陶瓷适用于排气管、曲轴箱等。陶瓷的缺点是材料强度的波动范围大, 金属为10%, 而陶瓷为30~50%, 陶瓷不能象金属那样发生塑性变形, 容易破碎。

破碎原因是材料内部有裂纹, 必须将这种裂纹控制在 10μ 以下。但是目前用非破坏检查的方法很难发现复杂形状材料中 30μ 以下的裂纹, 何况必须将其控制在 10μ 以下。

从前的陶瓷硬度高, 耐热性好, 但急剧加热和急剧冷却时热冲击能力弱, 容易裂碎。目前, 已研制出除了刚性、耐热性外, 热传导性好, 在高温高负荷条件下疲劳特性优良的陶瓷, 因而在热机中采用陶瓷的趋势日益明显。这种材料可在节能方面起重大作用。

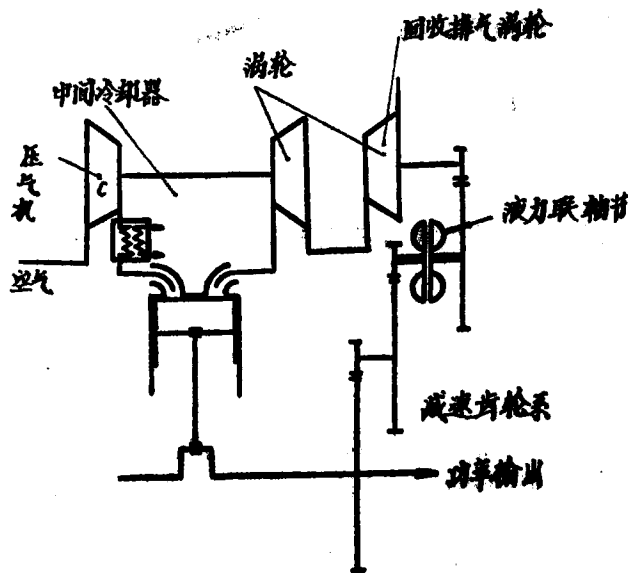


图3 绝热涡轮复合发动机 (小松SA 6 D105)

使用代用燃料时, 由于它的十六烷值低 (参看表2), 起动困难, 而绝热发动机由于燃烧室的温度高从而弥补了这一缺点, 不但有利于节能, 而且由于燃烧良好, 排气中有害成分少, 排出的黑烟也少。目前, 陶瓷的成本虽然高, 可是通过增加产量和改进生产技术以减少次品, 可把成本降下来。(附注: 关于高温润滑技术也必须予以考虑)。

徐荣达译自《内燃机关》1982.11

胡同勋校

中速重油机和煤气机的发展趋势

〔奥地利〕 G·Athenstaedt

一、中速重油机的发展趋势

随着工业化、交通运输量的增加和生活水平的提高，能源消耗量也不断增加。按目前预测，再过几十年地球上的化石能源（煤、石油、天然气）将全部耗尽。新矿床的发现和最近原油价格下降使人们时而忘记这一事实。因此，当务之急是如何节约这些储量有限的化石能源。正因如此，发动机制造厂作出很大努力，使发动机能够燃用那些在石油蒸馏过程中剩下的大量渣油，这些渣油直到50年代还只能用作锅炉燃料。在深入讨论发动机燃用重油所出现的困难之前，先谈一谈关于重油的问题。

石油在大气压力下经分馏得到以下产物：

轻汽油，

汽油，

轻柴油，

中柴油。

由分馏剩下的渣油再经真空蒸馏得到下列产品：

重柴油，

锭子油，

轻机油，

重机油。

真空蒸馏后的渣油约占投入蒸馏石油的40%，其价格目前约占馏出燃料的40%。这种渣油可与少量的粗柴油混合成为所需粘度的重油，用于中型或大型发动机以及锅炉中。

图1表明，在蒸馏后的渣油中加入少量馏出油，重油粘度便发生很大的变化。

真空蒸馏的渣油经裂化可形成流质成分，不过裂化后的渣油中杂质增加。这种裂化渣油在国际市场上不断增加。和分馏渣油一样，裂化渣油也能与粗柴油混合成为重油。不过这种重油中的硫、灰分、沥青和焦化残渣含量较高，十六烷值较低，比重在1左右。

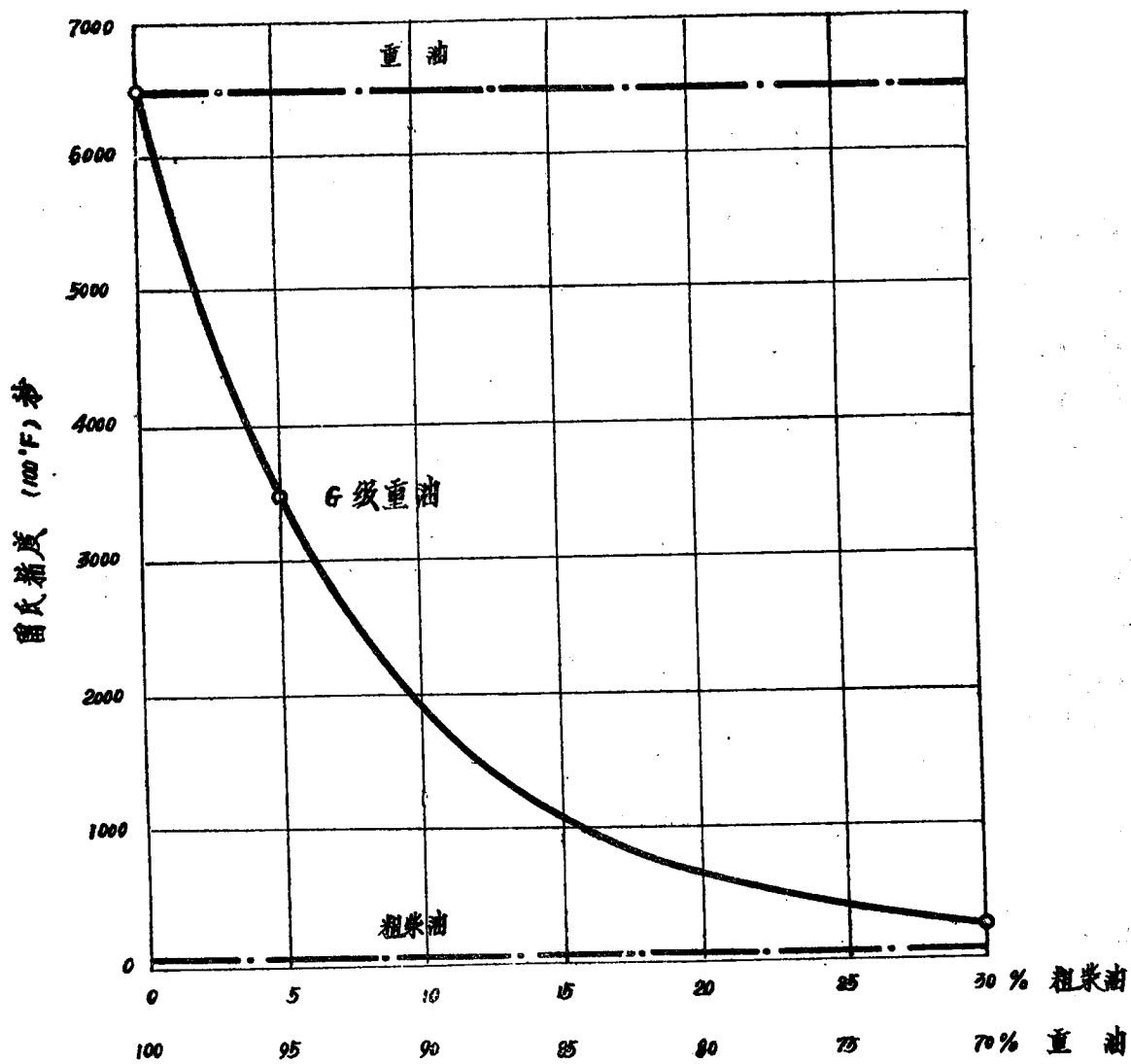


图 1 混合燃料的基本构成

表 1 示出了按英国标准BS2869/70的燃料极限规格。

表 1 燃 料 的 详 细 规 格

		馏 出 燃 料				混 合 燃 料		
按 英 国 标 准 B S 2869/70分类		粗 柴 油		船用柴油		重 油		
		A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	E	F	G
最高雷氏粘度, 秒 (100° F)		41	41	65	65	260	1000	3500
比 重 g/cm ³		0.84~0.88	0.84~0.88	~0.92	~0.92	~0.94	~0.96	0.98~1.03
最 高 含 硫 量%		0.5	1.0	1.5	1.8	3.5	4.0	4.5
最高含钠量, ppm		痕量	痕量	痕量	痕量	20	60	120
最 高 灰 分%		0.01	0.01	0.01	0.02	0.1	0.15	0.2
最 高 水 分%		0.05	0.05	0.10*	0.25	0.5	0.75	1.0
最 高 沉 积 物%		0.01	0.01	0.02	0.05	0.15	0.25	0.25
最高兰氏残炭%				0.25	1.5	4.7	7.5	13.4
最 高 沥 青 量%		痕量	痕量	痕量	痕量	1.0	6.0	12.0
最高钒量	大多数产地	痕量	痕量	痕量	痕量	20	40	100
ppm	委 内 瑞 拉	痕量	痕量	痕量	150	200	250	400

• 译注: 表中原为0.01, 似应为0.10。

表 2 是未来重油的预计规格。

表 2 未 来 重 油 构 成

粘 度	60~700 mm ² /s , 50℃
比 重	0.990g/cm ³ , 15℃
康 拉 逊 残 炭	18~22%
沥 青	15%
硫	5~5.5%
灰 分	0.2%
钒	550~600ppm
钠	150ppm
水 分	1%
闪 点	60℃
凝 固 点	40℃

在发动机中使用重油存在两个主要问题:

- a) 混合气的形成与燃烧。
- b) 由于含有害成分增加发动机的磨损。

1. 混合气的形成与燃烧

重油的突出的性质是粘度高。图2表明温度对重油粘度的影响。使用重油必须加热，并使其在喷射系统内的压力相当于燃用柴油时的压力。在这种情况下，重油粘度在 $10 \sim 13 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之间。图3给出常用粘度单位厘沲 (mm^2/s) (50°C) 和雷氏粘度单位秒 (100°C) 之间关系。

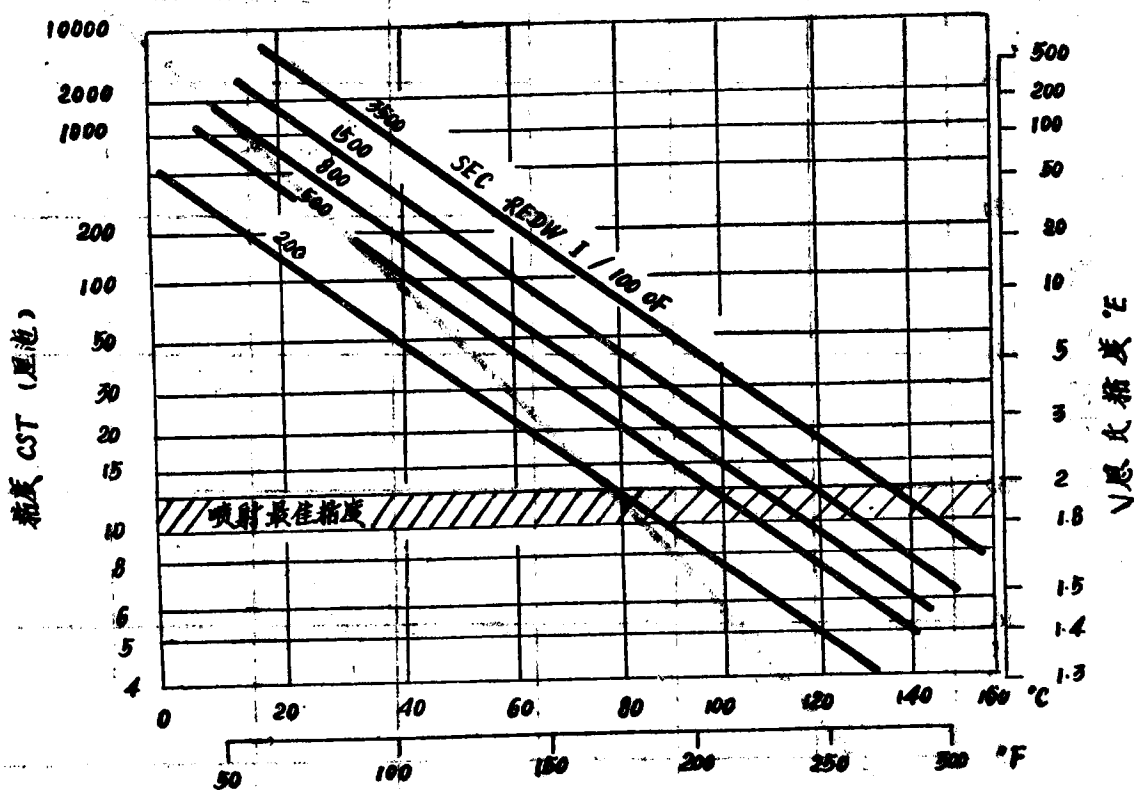


图2 重油粘度与温度关系

cST $\triangleq$ mm²/sec AT 50°C

37.8°C 的雷氏粘度

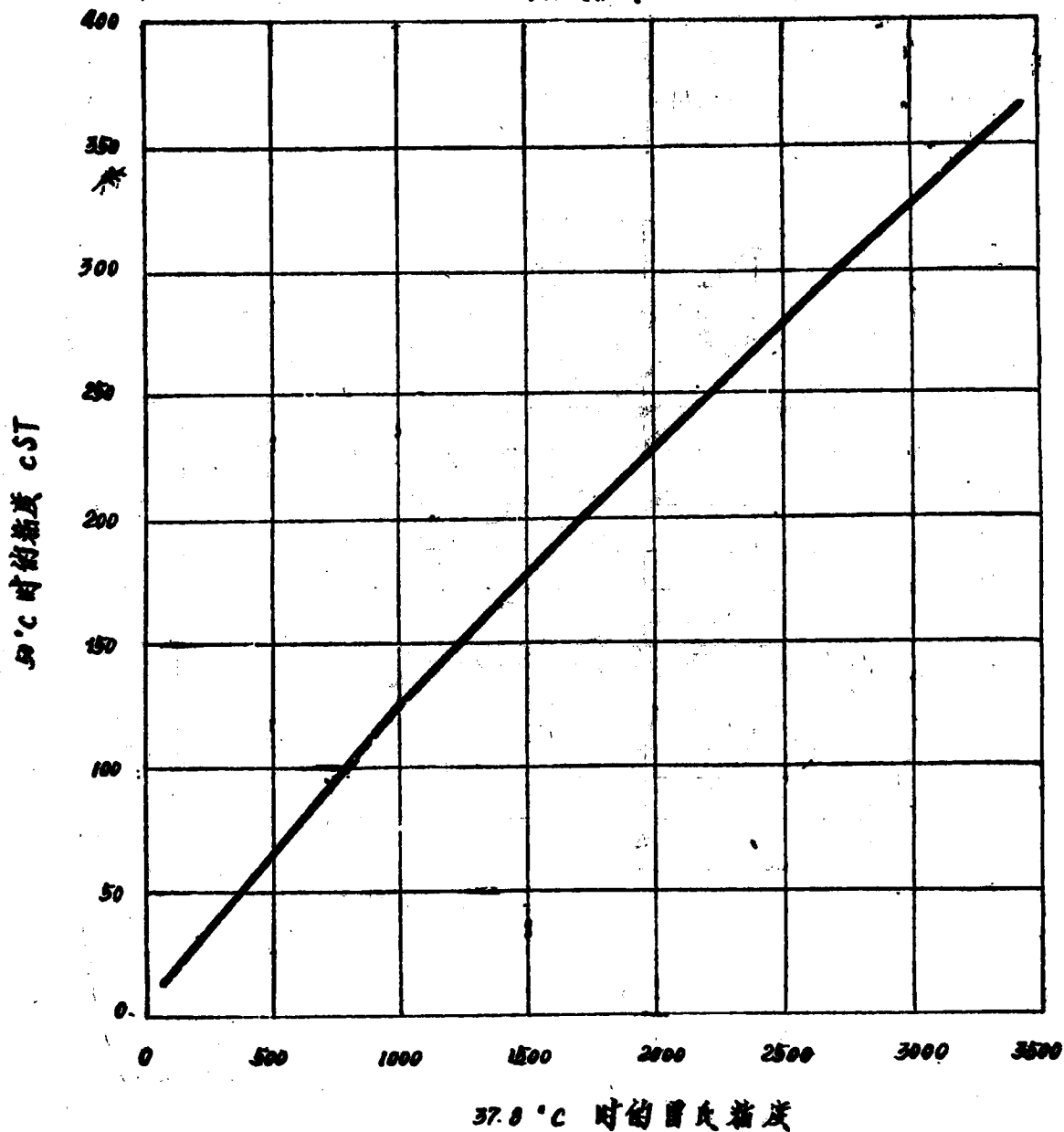


图3 厘沲与雷氏粘度秒的关系