

边耀璋 主编



汽车节能 基础理论及其应用

人民交通出版社

Qiche Jieneng Jichu Lilun Jiqi Yingyong

汽车节能基础理论及其应用

边耀璋 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书介绍与汽车节能有关的基础理论知识和有实用价值的节能知识。本书主要内容包括：与汽车节能有关的基本概念和主要指标；汽车运行中的能量守恒与传递；汽油发动机和柴油发动机的燃烧过程及其改善；与汽车节能有关的汽车和发动机特性；车用柴油机的发展动向和主要节能措施；典型汽车节能措施（装置）的试验要点和评价方法；主要汽车节油技术措施评述以及汽车燃料消耗标准和汽车运输企业油耗定额的制定方法等。

本书可供从事汽车节能工作的技术人员使用，可作为汽车节能培训班的教材，大专院校汽车运用工程和汽车工程专业的教学参考书，亦可供大专院校有关专业的教师和研究生参考。

汽车节能基础理论及其应用

边耀璋 主编

责任编辑：梁恩忠

人民交通出版社出版发行

（北京安定门外和平里东街10号）

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：12.75 字数：315千

1990年1月 第1版

1990年1月 第1版 第1次印刷

印数：0001—11,420册 定价：4.65元

前 言

近10年来,我国的汽车节能工作取得了较大的成绩,汽车的 $100\text{t}\cdot\text{km}$ 油耗平均每年大约减少 0.1L 。70年代末,80年代初,我国汽车运输行业节能工作的主要特征是,在全国范围内开展对解放牌CA10B型汽车的节油技术改造。80年代中期至今,我国汽车运输行业的汽车节能工作有两大特征,一是吸取解放牌CA10B型汽车四大件改造技术的经验教训,对旧型东风牌EQ140型汽车、旧型跃进牌NJ130型汽车、旧型北京牌BJ130型汽车、旧型北京牌BJ212型越野汽车等四种型号的汽车和与这四种型号汽车配套使用的6100Q、NJ70、492Q等三种型号的发动机,开展节油技术改造工作;二是对各种节油装置的(独立的和匹配后的)性能进行深入研究,对行之有效的节油装置实行重点培植和推广。

在我国汽车节能工作取得较大成绩的同时,有一个问题始终困扰着人们,这就是许多从事汽车运输技术工作的同志对各种汽车节能装置的性能不甚了解,不会正确使用,致使汽车节能装置的节油潜力得不到正常的发挥,收不到预期的节油效果。根据这样的实际情况和教学工作的需要,3年前,我们曾撰写了《汽车节能原理和措施》一书,这本书得到了汽车运输行业从事汽车节能工作的广大技术人员的关心和支持。3年多来,我国的汽车节能工作有了新的进展,但也出现了一些新的问题:一些汽车运输行业的负责人对节能工作没有给予应有的重视;汽车节能装置的信誉不高;柴油车的应用迅速增加,而许多从事汽车节能工作的技术人员对柴油车比较生疏,等等。这些问题都有待尽快解决。此外,许多读者希望对《汽车节能原理和措施》一书所涉及到的理论问题从基础上加以阐述。这些因素促成了我们编写《汽车节能基础理论及其应用》一书的写作动机。

本书主要内容包括:与汽车节能有关的基本概念和主要指标,汽车运行中的能量守恒和传递,汽油机的燃烧过程及其改善,柴油机的燃烧过程及其改善,与汽车节能有关的汽车和发动机特性,车用柴油机的发展动向和主要节能措施,典型汽车节能措施(装置)的试验要点和评价方法,主要汽车节油技术措施评述,我国现有的汽车燃料消耗标准及汽车运输企业油耗定额的制定方法等。本书的编写意图是既介绍与汽车节能有关的基础理论知识,又介绍汽车节能技术人员感兴趣的有实用价值的节能知识。

本书由西安公路学院汽车系边耀璋主编,参加编写的有刘生全、曹建明、魏建勤等。其中绪论、第一章、第六章、第七章和第八章由边耀璋编写,第二章、第五章的§5-1~§5-4、§5-6由刘生全编写,第三章、第四章由曹建明编写,第九章、第五章的§5-5由魏建勤编写。

本书可供从事汽车节能工作的技术人员使用,可作为汽车节能培训班的教材,大专院校汽车运用工程和汽车工程专业的教学参考书,亦可供大专院校有关专业的教师 and 研究生参考。

由于编者水平有限,加之汽车节能领域的一些问题尚处于探索阶段,书中错误和疏漏之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正。

编 者

目 录

绪 论	3
第一章 与汽车节能有关的基本概念和主要指标	4
§1-1 与汽车节能有关的基本概念	4
§1-2 发动机的性能指标	6
§1-3 汽车的动力性指标和经济性指标	12
第二章 汽车运行过程中的能量转换与传递	15
§2-1 汽车运行过程中的能量平衡	15
§2-2 内燃机的实际工作过程	19
§2-3 循环与示功图	23
§2-4 内燃机的理想循环	25
第三章 柴油机的燃烧过程及其改善	35
§3-1 正常燃烧过程	35
§3-2 燃烧噪声及其控制	37
§3-3 排烟及其控制	41
§3-4 放热规律	44
§3-5 燃油喷射与雾化	45
§3-6 混合气形成方式	46
§3-7 柴油机燃烧室	49
第四章 汽油机的燃烧过程及其改善	53
§4-1 正常燃烧过程	53
§4-2 爆震燃烧及其抑制	54
§4-3 表面点火及其抑制和续走	60
§4-4 排气污染及其控制	63
第五章 与汽车节能有关的发动机特性和汽车特性	69
§5-1 发动机的工作区域及工况	69
§5-2 发动机的负荷特性	70
§5-3 发动机的速度特性	73
§5-4 发动机的万有特性	77
§5-5 汽车的动力性	78
§5-6 汽车燃料经济性的计算	83
第六章 车用柴油机的发展动向和主要节能措施	87
§6-1 柴油机发展概述	87
§6-2 柴油机结构与汽车的配套现状和在汽车上的应用趋势	88
§6-3 柴油机结构型式对使用条件的适应性	95

§6-4	增压技术的应用	97
§6-5	柴油机燃烧系统的改进	106
§6-6	改进喷射系统	109
§6-7	改善柴油机的冷起动性能	110
第七章	典型汽车节能措施(装置)的试验要点和评定方法	114
第八章	主要汽车节油技术措施评述	119
§8-1	采用经济混合气	119
§8-2	改善混合气形成质量	130
§8-3	采用电子点火系	136
§8-4	提高压缩比、改进燃烧室	138
§8-5	适当提高负荷率	140
§8-6	强制怠速节油器	141
§8-7	风扇离合器	142
§8-8	改善润滑	143
§8-9	减小行驶阻力	143
第九章	汽车燃料消耗标准及汽车运输企业油耗定额的制定方法	145
§9-1	我国现有的汽车油耗标准	145
§9-2	汽车运输企业油耗定额的制订	147
§9-3	油耗定额的检验与分析	160
附录 I	汽车燃料消耗标准	165
§附I-1	载货汽车燃料消耗量试验方法 (JB 3352—83)	165
§附I-2	客车燃料消耗量试验方法 (JB 3972—85)	170
§附I-3	重型载货汽车燃料消耗量试验方法 (JB 3805—84)	176
§附I-4	载货汽车燃料消耗量限值 (JB 3809—84)	181
§附I-5	重型载货汽车燃料消耗量限值 (JB 3806—84)	184
§附I-6	载货汽车运行燃料消耗量 (GB 4352—84)	186
§附I-7	载客汽车运行燃料消耗量 (GB 4353—84)	190
附录 II	标准正态分布表	195
参考文献		197

绪 论

1973年中东战争触发的能源危机,使能源问题成为世界各国必须认真对待的一个大问题。凡是有远见的国家都把节约能源做为自己的一项重要国策,从政策和技术两个方面来抓节能工作。在各行各业的节能工作中,尤以汽车节能更受到人们的关注。

在我国,多年来所开展的有组织的和自发的汽车节能工作,培养和锻炼了一批从事汽车节能工作的技术骨干,出现了许多行之有效的节能措施。目前,汽车节能工作从主流上来看,已基本上克服了盲目性,正在向纵深发展,向更切实有效的方向发展。总之,国内汽车节能工作的理论水平和实际水平正在迅速提高。

但是,在汽车节能工作中还存在一些问题,有思想认识上的,组织管理上的,也有技术上的。这些问题如不解决,就会影响汽车节能工作的进一步开展,使得一些效果显著的节能措施得不到及时推广,一些没有实际效果的装置在市场上鱼龙混杂,一些本来可以节油的措施由于技术上的问题而没有节油,现在,有必要对这些问题进行认真地剖析了。

1. 认识上的问题

(1) 节能与经济效益的关系

有些汽车用户虽然一般地承认节油的重要性,但对节油的紧迫性认识不足。其根源是不看长远,只重近利。虽然汽车油耗占汽车运输成本的20~30%,直接影响着“近利”,但是在当前运输市场竞争激烈,货源不足的情况下,在能否取得运输效益这个决定企业生存的杠杆上,货源的多少比油耗的多少要重要得多。也就是说,虽然多消耗一些燃油以及多用一些议价油,会增加运输成本,降低经济效益,但一般只会造成企业经济效益在数量上的变化。但是,如果组织不到货源,就会对运输企业构成致命的威胁。这个现实问题,使一些汽车用户只把精力用在组织货源上。在市场开放的情况下,在许多场合,运输价格实际上不受任何约束,因而油耗问题就更容易被忽视。

有必要指出两点:一是任何一位企业家如果不注意调动各方面的潜力,不设法提高各个环节的人力和物力的利用效率,要想使企业兴旺发达是不可能的;二是尽管在现实情况下从企业经济效益角度来看,货源比油耗更重要一些,但是如果不注意节约用油,随着油耗在运输成本中所占比例的增大,油耗也可以从量变到质变而成为制约企业运输效益的最主要因素。按照正常管理的情况(运价规范化),实载率达50~60%以上才可盈利,在临界区域,油耗的增加,很容易成为决定企业是否盈利的关键因素。另外,如果不注意降低油耗,在汽车保有量迅速增长的情况下,供求之间矛盾会进一步加大,必然迫使停驶的车辆增加,企业也无“近利”可言。大家都只看重“近利”的结果,必然是“近利”、“远利”全落空。

(2) 对前些年汽车节能工作的估价

有这样一种说法:“在我国,汽车节能工作搞了这么多年,燃油供应反而比过去还紧张,说明我国的汽车节能工作是没有什么成效的”。这种说法是由于对一些情况不了解所造成的。实际情况是:我国载货汽车的油耗水平曾经长期保持在每100t·km约9L的水平上,由于70年代后期全国自上而下狠抓了节能工作,因而80年代初我国载货汽车的平均油耗就降

到了每100t·km8.5L,以后每年每100t·km油耗基本上都有所下降,这说明我国的汽车节能工作是有成效的。造成我国燃油供应紧张的原因主要是由于燃料用油的增产速度远远跟不上汽车保有量和运量增长的速度。例如“六五”期间,我国汽车保有量的增长率达10.7%,而油料供应的增长速度仅为2%,如果没有国内汽车节能工作的实际成果在起着调节作用,燃油供需矛盾将会更加尖锐。

2.管理上的问题

管理方面的问题有很多,在以上所说的问题中就有体现,比较突出的有以下几点:

(1)奖惩制度不合理。节、超1L油,许多企业只奖罚几分钱。实践证明,不实行重奖重罚是起不到奖罚的应有作用的;

(2)对待节油措施采取一刀切的作法。任何一项节油措施都不是通用的,它们都有自己的适用范围。例如,在青藏高原,解放牌汽车和东风牌汽车的压缩比可以提高到7.5~8,但在平原地区上采用这样高的压缩比,则会发生爆震。又如,前些年对解放牌CA10B型汽车实施节油技术改造时,有些单位对所有的车辆全部将“四大件”换新,但实际的节油效果并不好。

汽车节油工作是一项很细致的工作,节油先进单位在推行某项节油措施时,总是要由技术人员亲自随车试验,而且做到因车制宜。

(3)对节油产品缺乏统一的管理。有些节油效果不佳的产品或者制作粗糙的产品,从这样或那样的渠道,通过行政干预而在某个地区或某个单位得到了应用;节能产品的宣传广告缺少把关的环节,造成市场上产品好坏不分等等,这些情况严重地损坏着节能产品的声誉。

3.节油产品本身的质量问题

(1)节油产品的性能

有些节油产品从理论上讲不可能有较大的节油效果,因而在实用时自然是令人失望的。

(2)节油产品的制作质量

这是产品本身的质量问题。许多节油产品从理论上讲是可以节油的,而且有的节油效果还相当显著,但是在实际使用中并非如此,或者在使用中性能迅速恶化。我们在实验中不止一次碰到这样的问题。例如汽油标号提高以后相应地提高压缩比本来是应当节油的,但是装用按同一改进型气缸盖图纸生产的不同厂家的气缸盖产品,性能却相差很多,有的改进后性能并未提高。原因是燃烧室形状上的差异,会影响结构辛烷值或者发动机的抗爆性;燃烧室容积的差异,会影响发动机的实际压缩比。又如改进排气管应该能增加进气量,减少残余废气量,使发动机性能因此得以提高,但是装用按同一改进型进排气管图纸生产的,不同厂家的进排气管产品,有的能使性能提高,有的反而使性能下降,其原因是实际产品的进排气管的断面积和形状,由于铸造质量不同而有较大差异。又如改进凸轮轴本来是可以提高发动机的扭矩,改善发动机的扭矩特性的,但是装用按同一改进型凸轮轴图纸生产的不同厂家的凸轮轴产品,有的却达不到预期效果。其原因是由于制造上的偏差,使实际的时间断面、配气相位等基本参数偏离设计值较多。又如空气节油器本来是可以使原来偏浓的混合气适当稀化而达到节油目的的,但实际产品由于作用的范围、时刻、程度等偏离设计值,而效果各异。

有的节油产品在使用初期效果较好,但是越用效果越差,甚至严重恶化。这说明该产品的机械加工质量尚可,但材质不佳或热处理工艺等不过关。例如有的凸轮轴使用2000km后性能即迅速恶化,这往往是由于凸轮外形早期磨损所致。这些问题,一般可通过改进热处理

工艺等得到解决。

产品本身的制作质量不佳会严重地损害节能产品的声誉，我们切不可轻视这个问题。

4. 采用节油措施或装置后的新问题

有些节油措施采用后使一些部件的工作环境发生了较大的变化，如果无视这些变化，就会由此而派生出新的问题，影响实际效果。例如，采用提高了压缩比的改进型气缸盖后，由于燃气压力和温度较原来的高，漏气和冲缸垫的故障率会提高，这不但影响节油效果，而且会影响发动机工作的可靠性和寿命，使维修成本增加。为此，应当严格保证气缸盖和气缸体结合面的平面度和表面质量。缸盖螺栓最好在冷、热状态下各拧紧一次，力矩应偏上限。如果采用减薄气缸盖的方法来提高压缩比，减薄量一般应不大于2 mm。为了保证气缸盖与气缸体的密合，必要时应增加缸盖螺栓垫片。

有些修理厂的修理作业相当粗糙，它们不是以提高修理本身的质量来赢得用户，而是靠换装具有强化功能的某些改型配件（如提高压缩比的气缸盖等）来取得汽车出厂时短暂的良好性能，其结果如同病弱之体吃错了补药一样，汽车的经济性和动力性会迅速下降，其可靠性和使用寿命也均会下降。

5. 因地制宜的问题

要使节油产品发挥其应有的作用，必须重视因地制宜，这就要求我们对节油装置的机理、适用范围等问题有深入的了解。因为不注意因地制宜而造成节油装置不节油的实例是相当多的。例如，前几年在全国范围对解放牌CA10B型汽车实施了节油技术改造，按说这项工作应当根据汽车的不同用途实施不同的改造方案，但是许多单位却误以为换件愈多效果愈好，结果是花钱不少，效果不大，甚至花钱愈多，效果反而愈差。实践表明，在多数情况下，采用提高了压缩比的改型气缸盖与经济化油器所谓的两大件比四大件（除此两件外，还有改型凸轮轴和改型进排气管）的效果要好。一般说来，只有当汽车载质量增加以及采用拖挂运输时，才有必要增加改造的件数。

又如，空气节油器用在一般的化油器上节油效果是肯定的，而且节油幅度有时还相当大，但如若用在已经过稀化调整的化油器上，情况就不尽然，有时甚至会费油，等等。

多年来汽车节能工作的实际情况，使人们深深感到汽车节能工作能否开展，取决于各有关部门的负责人是否重视；汽车节能工作开展的优劣，则取决于从事汽车技术工作尤其是汽车节能技术工作的技术人员的素质。

对于我们这样大的国家，要使汽车节能工作有更大起色，需要数以万计的同志热心和重视汽车节能工作，并且比较深入地了解主要节能措施的机理。现在看来这仍然是一项相当艰巨的任务。

第一章 与汽车节能有关的 基本概念和主要指标

§1-1 与汽车节能有关的基本概念

一、能量和能源

能量（简称能）是度量物质运动的一种物理量，一般解释为物质做功的能力。

能量的基本类型有：位能、动能、热能、磁能、光能、化学能、原子能等。

能源是指包含可资利用的能量的物质资源或表达为能够提供某种形式能量的物质。

能源有多种多样，其中有许多是在自然界现成存在的或者可以从自然界直接取得的（称为一次能源），如石油、煤炭、水能、风能、海洋能、太阳能、地热能等等；有许多是把一次能源经过加工转换而得到的（称为二次能源），如汽油、柴油、焦炭、电能等等。

二、节能、狭义节能和广义节能

节能是指在保证能够生产出相同数量和质量的产品，或者获得相同经济效益，或者满足相同需要，达到相同目的前提下，使能源的消耗量下降。

按照研究节能问题时考核范围的不同，节能有狭义节能和广义节能之分。

狭义节能是指直接看得见的节能，或者说是有形的节能，如一个企业或单位，或整个地区或者国家节约多少度电，电厂节约了多少吨煤，汽车运输企业节约了多少吨汽油或柴油，等等，都是指有形的节能，属于狭义节能的范畴。当然这里的“有形”或者“直接看得见”的含义是可以直接用能源消耗量（如多少吨煤或油）或能量消耗量（如多少度电）来统计或计量。

广义节能有两种含义，一是指一切领域和一切方面的节能，既包括工业生产的节能，交通运输的节能，农业生产的节能，也包括商业服务的节能和市政生活等各行各业的节能，显然这是整个国家或地区应当关心和研究的节能；第二种含义是指完全的节能，它既包括直接的看得见的节能，又包括间接的看不见的节能。对于从事具体行业工作的人来说，主要关心的是这种完全的节能。这里“看不见”或“无形”是指有许多能源消耗，很难简单地用能源消耗量或能量消耗量来统计或计量。如某汽车运输公司在公司所属汽车上采用了某项节油技术改造措施，假定节约了8%的燃油，或者节约了若干吨燃油，这个数字是狭义节能的数字，与此同时，采用的节油技术改造措施本身（如加装某种节油器），是在开采、冶炼、加工和运输等一系列环节中消耗一定的能量而获得的，它应当与某个数量的能源等价，但又很难用能源或能量来表述，通常只能以它的价格来表示。此外，在采用某项节油技术改造措施时所付出的劳务，也只能以劳务费来体现，但是工作人员得到的劳务费系用于衣、食、住、行，进而与能源消耗间接挂钩，等等。显然，只考虑狭义节能是不全面的。

鉴于在完全的节能（即第二种广义节能）中，除所包含的狭义节能部分外，其它成分很

难用能源或能量的单位来统计，而能源量与货币又存在当量关系，我们可以用经济效益来作为衡量完全节能的间接指标。当采用某项节油装置时，除了应当考核直接的看得见的节能即狭义节能之外，还应当考核其它由于采用此措施而引起的成本变化，二者的代数和，即经济效益决定了最终是否采用这项措施。

三、节能的实质

从节能的定义可知，节能是有前提的下降能耗，如果没有完成一定工作这个前提，节能就无从谈起。若以 W 代表一定工作所相当的功或能，以 Q_1 代表完成一定工作所投入的能量，则节能就意味着下降 Q/W 或者增加 W/Q_1 。 W/Q_1 就是能源利用率或能源效率的通式，即

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

可见节能的实质就是提高能源的利用效率。如果从 Q_1/W 考查， Q_1/W 下降，意味着完成一定工作， Q_1 下降，节省了能源，这部分节省的能源可以用来完成新的工作。这实际上就相当于增加了新的能源，或者说与增加新能源是等效的。因此，有些国家把节约能源列为几大能源之一。

综上所述，可以消除以下几种对节能的误解：

1. 以为以减少工作为代价来压缩耗能是节能。

2. 以为采用代用能源或者新能源就是节能。例如在供暖系统上开发应用了太阳能，汽车上采用了掺烧甲醇或乙醇的措施，等等。这些措施的实质是用一种能源去替代另一种能源，属于能源替代的范畴或者属于开源的范畴。当然采用替代能源或者新能源的结果，也可能节能，但也可能费能，这取决于新能源的品质和技术措施是否有利于新能源潜力的发挥等因素。

由于汽车常规能源——汽油和柴油的储量有限而且供应短缺，人们对汽油和柴油的消耗十分关心，掺烧甲醇、乙醇等代用燃料可以缓解汽、柴油短缺的矛盾。故许多场合把采用替代燃料划在节能措施中一并研究，在这种情况下，应当明确它的含义仅仅是节省了汽油和柴油，并不一定是节约能源。当然为了应急，即使采用替代能源时能源利用率略有下降，也还是可以考虑采用的。

3. 以为节油就是节能。

节油是节能的主要内容，但并不等于节能。节油属于狭义节能，我们研究节能，应当从整个系统来考虑，亦即研究完全的节能即广义节能。以节油为唯一目的，有时可能会造成能源的总体浪费。举个极端的例子，如果采用某个价值上万元的节油装置，汽车只获得1%的节油效果，大概不会有哪个汽车所有者采用它，因为微小的节油效果弥补不了原始成本所包含的能源支出，从总体上必然费能，具体体现为成本不能回收，经济效益下降。

四、汽车节能

汽车节能是指在完成一定周转量前提下，使能源消耗量下降。

为了确实达到节油的目的，汽车节能研究的内容仍然应当是完全的节能，即广义节能。但广义节能涉及的对象非常之多，其中有些对象给予准确的数量概念也比较困难。因此，为研究方便，我们主要研究看得见的能源消耗（汽车油耗），这虽然属于狭义节能的范畴，但

我们加上一定的限制条件之后，就与广义节能完全一致起来了。这些限制条件是：采用某项节油装置后，汽车的可靠性、耐久性基本不变，也不增加驾驶员的负担，不增加噪声和污染等等。这样一来，除了节油装置的成本因素需要考虑之外，只要节油也就节能。

汽车节油的指标有绝对和相对两种。绝对量是指实际节油的量，以 kg 或 t 为单位。相对量是指节油量与原车耗油量的比值，因作为对比基础的原车耗油量有四种，故相对量（节油率）也就有四种：

$$1. \beta_0 = 1 - \frac{G_1}{G_0}$$

式中： G_1 ——采用节油措施以后的100km 实际耗油量；

G_0 ——原车在相同使用条件下的100km 实际耗油量。

$$2. \beta_1 = 1 - \frac{G_1}{G'_0}$$

式中： G'_0 ——原车出厂规定的100km 耗油量。

$$3. \beta_2 = 1 - \frac{G_1}{G''_0}$$

式中： G''_0 ——本部门所规定的100km耗油量。

$$4. \beta_3 = 1 - \frac{G_1}{G'''_0}$$

式中： G'''_0 ——按国家或有关部委制定的油耗标准计算而得的100km 耗油量。

显然， β_0 可以直接而又真实地反映节油的效果。但原车水平可能较高，也可能较低，在做横向比较时，没有相同的基准。如果原车水平较差，即使节油率较高，也不一定能反映节油改造的水平； β_1 和 β_3 可以反映节油改造的水平，便于跨部门、跨地区进行横向比较，但不能反映实际的节油率； β_2 适于在本单位或本地区使用。由于地区或单位油耗标准一般比国标或行业标准严格， β_2 的数值一般比 β_3 小，因此采用 β_2 应当说是可以反映改造的水平，但由于各地没有统一的标准，也就不便于进行比较， β_2 也不能反映实际的节油率。

一般采用 β_0 与 β_1 或 β_3 两个指标，综合考核节油改造的水平。更多采用的是 β_0 与 β_1 相结合，既看实际节油率，又看与原车出厂指标相比较的节油率。

§1-2 发动机的性能指标

发动机的工作性能，大体上可分为以下五个方面：动力性、经济性、可靠性、耐久性和净化性。动力性表示一定尺寸和质量的发动机在单位时间内作功的能力。经济性表示作一定机械功所消耗燃料的多少。可靠性表示发动机无故障工作的能力。耐久性表示发动机长期工作的能力。净化性表示发动机排污的多少。动力性、经济性和净化性主要与发动机工作循环的品质有关。可靠性和耐久性主要决定于发动机零部件的结构、材料和制造工艺等因素。

在研究和实施节能措施时，一般以原机的可靠性、耐久性和净化性不恶化为前提，因此在对上述性能给予必要关心的同时，重点研究的对象是动力性和经济性。

发动机的动力性和经济性指标有两种：一种是以工质在气缸内对活塞做功为基础的指标，即根据示功图求得的指标，称为指示指标，用来评定发动机工作循环品质的优劣；另一种是以发动机曲轴输出功率为基础的指标，称为有效指标，用来评定整个发动机性能的好坏。

一、指示指标

指示指标有指示功、平均指示压力、指示功率、指示燃料消耗率和指示效率等五种，分别反映气缸内工质的作功能力和热量转变为功的效率。前三种是动力性指标，后两种是经济性指标。

(一)指示功

指示功是指在气缸内完成一个循环工质对活塞所做的有用功，用 W_i 表示。其数值可由 $p-V$ 示功图的压力闭合曲线包围的面积来确定。

图 1-1 所示发动机示功图上的封闭曲线所围面积的含意是： F_1 表示压缩、燃烧和膨胀过程所得到的有用功面积； F_2 表示进气、排气行程所消耗功的面积。根据指示功的定义，其面积应等于 F_1 和 F_2 的代数和，但根据第二章所述原因，指示功用面积 F_1 来衡量，即 $F_i = F_1$ 。

在有示功图的情况下， F_i 不难用求积仪或算法求得，指示功 W_i 则可利用下式计算：

$$W_i = F_i ab, \quad \text{kJ} \quad (1-1)$$

式中： F_i ——示功图面积， cm^2 ；

a ——示功图纵坐标比例尺， MPa/cm ；

b ——示功图横坐标比例尺， L/cm 。

作为动力性指标的一种，指示功只适用于对具有相同气缸工作容积的场合进行比较。

(二)平均指示压力

平均指示压力是指发动机单位气缸工作容积所做的指示功，用 p_i 表示。

$$p_i = \frac{W_i}{V_h}, \quad \text{MPa} \quad (1-2)$$

式中： W_i ——指示功， kJ ；

V_h ——气缸工作容积， L 。

我们将式(1-2)做如下变换：

$$W_i = p_i V_h = p_i A s = K_i s$$

式中： A ——活塞面积；

s ——活塞行程；

K_i ——工质作用在活塞上的推力， $K_i = p_i A$ 。

由此可以认为：每循环的指示功，等于一个假想的，大小不变的 压力 p_i 作用在活塞上，使活塞移动一个行程所做的功。平均指示压力的命名就是由此而来。

根据平均指示压力的定义可知， p_i 值愈高，同样大小的气缸容积发出的指示功愈大，气缸工作容积的利用程度愈佳。有了这个指标，动力性的比较便扩大到了不同气缸工作容积的场合。 p_i 也就成为衡量发动机实际循环动力性能的一个重要指标。

发动机标定工况 p_i 值的一般范围如下：

汽油机	0.8~1.2MPa
柴油机	0.7~1.0MPa

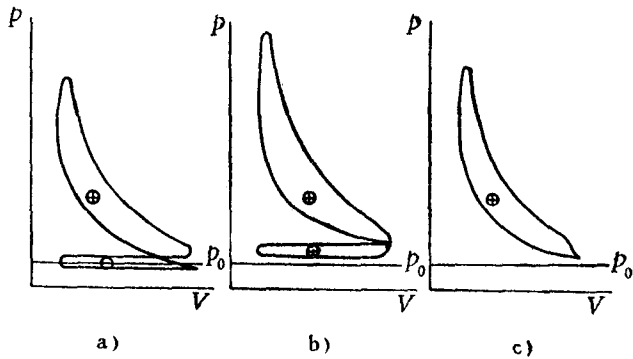


图1-1 发动机示功图

a) 四行程非增压发动机；b) 四行程增压发动机；c) 二行程发动机

(三)指示功率

发动机单位时间所做的指示功,称为指示功率,用 N_i 表示。

设一台发动机的平均指示压力为 p_i (MPa),每缸工作容积为 V_h (L),转速为 n (r/min),气缸数为 i 。根据 p_i 的定义,每缸每循环工质所做的指示功为:

$$\begin{aligned} W_i &= p_i V_h (\text{MPa})(\text{L}) = p_i V_h (10^6 \text{N/m}^2)(10^{-3} \cdot \text{m}^3) \\ &= p_i V_h (10^3 \text{N} \cdot \text{m}) = p_i V_h (\text{kJ}) \end{aligned}$$

转速为 n (r/min),则对于四行程发动机,每分钟的工作循环数为 $n/2$ 。

一个缸每分钟完成的指示功为: $W_i n/2$ (kJ/min)。

一个缸一秒钟完成的指示功,即一个缸的指示功率为: $W_i n/(2 \times 60)$ (kJ/s)。

i 个缸一秒钟完成的指示功,即发动机的指示功率为: $i W_i n/120$ (kJ/s)。

于是得四行程发动机的指示功率

$$N_i = \frac{p_i i V_h n}{120}, \text{ kW} \quad (1-3)$$

二行程发动机的工作循环数与转速相等,故其指示功率公式为

$$N_i = \frac{p_i i V_h n}{60}, \text{ kW} \quad (1-4)$$

以 τ 表示每循环的行程数,四行程发动机 $\tau = 4$,二行程发动机 $\tau = 2$,则发动机指示功率的通式为:

$$N_i = \frac{p_i i V_h n}{30 \tau}, \text{ kW} \quad (1-5)$$

注意应用上式求 N_i 时, p_i 的单位是MPa, V_h 的单位是L, n 的单位是r/min。若采用其它单位,公式的常数项应做相应变化。例如,若 p_i 的单位用kPa,其他单位同上,则公式为

$$N_i = \frac{p_i i V_h n}{30 \tau} \times 10^{-3}, \text{ kW} \quad (1-6)$$

如采用工程单位制, p_i 的单位是kgf/cm²,其它单位同上,则

$$N_i = \frac{p_i i V_h n}{225 \tau}, \text{ 马力} \quad (1-7)$$

指示功率是工质单位时间对活塞所做的功,亦即工质在气缸中发生的功率,并不是从发动机曲轴输出的可以实际利用的功率。

(四)指示耗油率

指示耗油率又称指示燃料消耗率、指示比油耗,是单位指示功的耗油量,通常以指示kW·h的耗油量表示。

$$g_i = \frac{G_T}{N_i} \times 1000, \text{ g/(kW} \cdot \text{h)} \quad (1-8)$$

式中: N_i ——指示功率, kW;

G_T ——每小时耗油量, kg/h。

(五)指示热效率

指示热效率是实际循环指示功与所消耗的燃料热量的比值, 即

$$\eta_i = \frac{W_i}{Q_i} \quad (1-9)$$

式中: Q_i ——为得到指示功 W_i 所消耗的热量, kJ;

W_i ——指示功, kJ。

指示效率和指示耗油率都是评价循环经济性的重要指标, 后者表示发动机做一定量指示功时的实际耗油量, 前者表示所消耗的这些燃料的热能利用程度, 二者的关系可用以下方法建立:

$$\text{若 } \eta_i = \frac{W_i}{Q_i} \text{ 中的 } W_i \text{ 是 } 1 \text{ kW} \cdot \text{h} \text{ 的指示功, 即 } W_i = 1 [\text{kW} \cdot \text{h}] = 1000 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{s}$$

$$= 1000 \text{J} \times 3600 = 3.6 \times 10^6 \text{kJ}$$

1 kW·h 指示功耗油 g_i (g), 燃料的低热值为 H_u (kJ/kg), 则为完成 1 kW·h 的功所消耗的热量

$$\begin{aligned} Q_i &= g_i H_u \quad (\text{g})(\text{kJ/kg}) \\ &= g_i H_u \quad (10^{-3} \text{kJ}) \end{aligned}$$

$$\text{所以} \quad \eta_i = \frac{W_i}{Q_i} = \frac{3.6 \times 10^6}{g_i H_u \times 10^{-3}} = \frac{3.6}{g_i H_u} \times 10^6 \quad (1-10)$$

一般汽车发动机 η_i 和 g_i 的统计范围如下:

	η_i	$g_i, \text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ [或 $\text{g}/(\text{马力} \cdot \text{h})$]
柴油机	0.43 ~ 0.50	160 ~ 200 (118 ~ 147)
汽油机	0.25 ~ 0.35	245 ~ 340 (180 ~ 250)

二、有效指标

循环指示功在向输出轴端传递的过程中, 存在以下损耗: 发动机内部运动件的摩擦损失, 驱动附属设备的消耗、泵气损失等。因此, 从发动机曲轴上得到的功只能是指示功的一部分, 所得到的功率也只能是指示功率的一部分。上述损失的总和称作机械损失。根据具体研究的内容, 或者是功, 称为机械损失功或摩擦功 W_m ; 或者是功率, 称为机械损失功率或摩擦功率 N_m ; 或与平均指示压力相对应, 以平均摩擦压力 p_m 表示。

$$p_m = \frac{W_m}{V_h}, \quad \text{MPa} \quad (1-11)$$

式中: W_m ——摩擦功, kJ;

V_h ——气缸工作容积, L。

p_m 和 N_m 之间的关系与 p_i 和 N_i 之间的关系相同。

$$N_m = \frac{p_m i V_h n}{30 \tau}, \quad \text{kW} \quad (1-12)$$

指示指标扣除机械损失后, 就得到有效指标。

(一) 平均有效压力

平均有效压力 p_e 是发动机单位气缸工作容积所发出的有效功。它是衡量发动机动力性的一个很重要的指标。

$$p_e = p_i - p_m, \quad \text{MPa} \quad (1-13)$$

平均有效压力的一般范围如下:

柴油机	0.6 ~ 0.9 MPa
汽油机	0.6 ~ 1.0 MPa

(二)有效功率

有效功率 N_e 是曲轴上能够对外输出的净功率。

$$N_e = N_i - N_m, \quad \text{kW} \quad (1-14)$$

与指示功率的公式相同。

$$N_e = \frac{p_e i V_h n}{30 \tau}, \quad \text{kW} \quad (1-15)$$

式中: p_e ——平均有效压力, MPa;

V_h ——气缸工作容积, L;

i ——气缸数;

n ——转数, r/min;

τ ——循环行程数, 四行程 $\tau = 4$, 二行程 $\tau = 2$ 。

(三)有效扭矩

发动机工作时, 由曲轴输出的扭矩称为有效扭矩, 以 M_e 表示。

根据物理学中的有关公式, 可以建立 M_e 与 N_e 的关系。

$$N_e = M_e \omega \quad (\text{N} \cdot \text{m})(\text{rad/s})$$

式中: M_e ——有效扭矩, N·m;

ω ——曲轴转动角速度, rad/s。

进一步变换得

$$\begin{aligned} N_e &= M_e \frac{2\pi n}{60} \quad (\text{N} \cdot \text{m})(\text{s}^{-1}) \\ &= \frac{2\pi n M_e}{60} \quad (\text{W}) \\ &= \frac{2\pi n M_e}{60 \times 10^3} \quad (\text{kW}) \\ &= \frac{M_e n}{9550} \quad (\text{kW}) \\ &= 0.1047 M_e n \times 10^{-3} \quad (\text{kW}) \end{aligned} \quad (1-16)$$

式中: n ——转速, r/min;

因为

$$N_e = \frac{p_e i V_h n}{30 \tau}, \quad \text{kW}$$

则

$$\frac{M_e n}{9550} = \frac{p_e i V_h n}{30 \tau}$$

可得

$$M_e = \frac{318.3 i V_h}{\tau} p_e, \quad \text{N} \cdot \text{m} \quad (1-17)$$

式中: V_h ——气缸工作容积, L;

p_e ——平均有效压力, MPa。

可见, 对于一定工作容积的发动机而言, 其平均有效压力值反映了发动机输出扭矩的大小, 即

$$M_e \propto p_e$$

(四) 升功率

升功率是单位气缸工作容积所发出的有效功率。

$$N_L = \frac{N_e}{i V_h}, \quad \text{kW/L} \quad (1-18)$$

式中: N_e ——发动机的标定功率, kW;

i ——气缸数;

V_h ——气缸工作容积, L。

因为

$$N_e = \frac{p_e i V_h n}{30 \tau}, \quad \text{kW}$$

故又有

$$N_L = \frac{p_e n}{30 \tau}, \quad \text{kW} \quad (1-19)$$

式中: p_e ——平均有效压力, MPa;

n ——转速, r/min;

τ ——循环行程数。

升功率 N_L 是衡量发动机强化程度的重要指标。

升功率的一般范围如下:

柴油机	11~26 kW/L
汽油机	22~55 kW/L

(五) 有效耗油率

有效耗油率 g_e (简称耗油率) 又称有效燃料消耗率或有效比油耗, 是指单位有效功的耗油量, 其关系式为

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} \times 1000, \quad \text{g/(kW} \cdot \text{h)} \quad (1-20)$$

式中: G_T ——每小时耗油量, kg/h;

N_e ——有效功率, kW。

g_e 直接说明了发动机燃料消耗的情况, 是一个极重要的经济性指标。

(六) 有效热效率

有效热效率是发动机有效功与所消耗的燃料热量的比值。

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_1} \quad (1-21)$$

与前述 η_i 的推导方法相同,

$$\eta_e = \frac{3.6}{g_e H_u} \times 10^6 \quad (1-22)$$

式中: g_e ——有效耗油率, g/(kW·h);

H_u ——燃料的低热值, kJ/kg。

η_e 和 g_e 一样, 都是标志整个发动机经济性能的指标。