

汽車柴油機增压器

西安內燃機情報資料編寫組

• 1977 •

前 言



汽车柴油机增压器主要是介绍汽车上各种形式的增压器，特别着重在交通运输方面的应用。目前增压技术不断发展，使发动机的功率有显著的提高，已经成为国内外十分重视的一项新技术。在交通运输方面，为了适应我国国民经济发展的需要，目前需要解决大吨位的载重车辆，它就必须解决大马力的发动机。而大马力的发动机，以发展柴油机比较理想，因柴油机比汽油机有许多优点，主要它节省交通运输的成本。而我国的农业地区广阔，采用小柴油机为动力，因此它的面大量广，是我国实现农业机械化方面的基础。尤其我国西北和西南属高山地区，因为空气稀薄，而马力损失很大，为了使发动机恢复原来的马力，则对我国的国民经济建设有很大的促进作用。

增压技术：主要是提高发动机的功率指标，据我们了解目前有三种增压技术：一是机械增压技术；二是废气涡轮增压；三是气波增压。其中废气涡轮增压器已在国内柴油机生产中普遍采用，并配套成龙。由于废气涡轮增压器效率很高，目前增压的功率可达到50%以上。对于大功率的发动机来说，其效果就很明显。但其缺点是成本高，需要耐热合金材料，由于它依赖发动机排出的废气进行工作，其效率也是根据排气量的多少决定。而交通运输的车辆由于它的载荷行驶和道路的情况要解决一系列的技术问题。本文提供了国外一些运输车辆使用涡轮增压器的一些情况，我国一些地区已有不少单位在运输车辆的发动机上进行增压的研究和试验，我们西安地区也正在进行

这项工作，西安交通大学内燃机教研室和陕西省农机研究所已经开始在4105柴油机上作废气涡轮增压试验，也有些单位在汽油发动机上进行增压的研究和试验。增压技术在我国各地不断地获得进展，预计不久的将来一定会得到可喜的成果，关于机械增压器，我们原来打算解决城市革新柴油车的动力问题。从目前看来，这种革新柴油车由于马力小已经不能适应当前西安地区短途运输生产的发展需要，因此很多单位都准备向大马力的柴油机方面过渡，但小马力柴油机目前是我省主要生产的支农产品，195柴油机现在还使用于手扶拖拉机，工程翻斗车、小四轮拖拉机和小型带拖拉机上，故机械增压器仍然不失去它们的推广价值。

关于气波增压器目前我们知道的情况很少，根据获得的资料这种增压器由于它没有喘振极限，能在小功率的发动机上适应多变载荷，1974年北京力学研究所曾经自行设计了一台样机，该所负责同志表示欢迎使用单位共同研究把试验搞好。

我们西安地区关于增压技术的试验和推广，还正在开始，我们编写本书的目的，主要是供给正在从事增压技术工作的同志的参考，并共同讨论和研究，使增压技术更好地为生产服务。

目 录

第一章 汽车柴油机的工作原理	1
第一节 柴油发动机简介	1
第二节 四行程与二行程发动机	2
第三节 发动机的功率是怎样确定的	6
第四节 关于发动机之增压	12
第二章 机械增压器	18
第一节 旋盖刮片式机械增压器	18
第二节 机械增压器之增压比	21
第三节 气体压缩功率和机械增压器的压缩功率	23
第四节 影响机械增压效果的因素	25
第五节 在革新柴油车上采用机械增压器的初步体会和经验	27
第六节 国外关于机械增压器的使用概况	30
第七节 旋叶容积式双转子机械增压器	31
第八节 离心式机械增压器	33
第九节 我们对推广机械增压器的一些见解	42
第三章 废气涡轮增压器	44

第一节	国产废气涡轮增压器	44
第二节	涡轮增压器的各种形式	46
第三节	涡轮增压器的传动方法	49
第四节	涡轮增压器的压缩机部分	54
第五节	我国推广废气涡轮增压器目前的情况 和存在的问题	60
第六节	国外关于涡轮增压器发展概况	61
第七节	国外汽车运输使用的涡轮增压器	63
第八节	国外涡轮增压器的设计和使用情况	65
第九节	关于二冲程发动机的增压问题	74
第十节	国外一些涡轮增压的应用实例	78
第四章	气波增压器	82
第一节	试验用CB-100型气波增压器的构造	83
第二节	气波增压器运转中的几个特殊问题	85
第三节	气波增压器性能的初步试验	88
第五章	对我国柴油机和增压器之展望	89
第六章	关于汽车柴油机排气控制标准与增压器 的消除黑烟问题	93
结束语		96

第一章 汽車柴油機的工作原理

第一節 柴油發動機簡介

柴油發動機又叫做笛塞爾發動機。它是由一個德國人名叫魯道夫·笛塞爾首先創造出來的。柴油發動機和汽油發動機都是屬於內燃機範疇。由於柴油發動機可以使用劣質燃料，它的經濟性較高，因此它的使用範圍也比較廣泛。它不但是城市的發電廠和工廠的動力來源，也可用於長途運輸的機車拖拉機和公共汽車的動力。所有這些都依靠這種發動機，按其需要的結構來設計。這種發動機除用於工業生產外，還可用於森林開伐、礦山、石油和農業方面。

早在1794年以前，就有人企圖把燃料放在汽缸內，經過壓縮爆炸，而產生工作動力。一直到1867年，有個叫奧圖的，才把這個理想加以系統化來實現，這就是吸氣、壓縮、膨脹、排氣。四個反復的循環過程，也就成為現代汽油發動機的理论基礎即所謂“奧圖”循環，現在工廠里工人把它叫做（進、壓、爆、排）。

汽油發動機所採用之循環幾乎全部為奧圖循環。

柴油發動機也具有以上四個反復的循環過程，但是這兩種發動機的不同之處，在於汽油發動機吸氣時吸入的是汽油和空氣在汽化器內汽化形成一定混合比的混合汽體，它從進氣管通過進氣閥而進入汽缸內，被壓縮在燃燒室小空間的混合氣體，經過火花塞點火，爆炸燃燒，由於氣體膨脹的結果，迫使汽缸內活塞下行，經過連杆帶動曲軸旋轉因而產生了動力。而柴油

机从开始吸入和被压缩的全都是纯净的空气，被压缩在燃烧室小空间的纯净空气，产生了一定的压力和温度，借助于汽缸外部预先安置好的柴油泵通过喷油咀向汽缸内注射柴油，并使其与被压缩在燃烧室内的空气雾化、燃烧。而产生了工作动力。柴油发动机的循环被称为萨巴太循环。这两种发动机虽然形式上稍有区别。但都是把燃料的化学能转变为机械能，这就是内燃机的动力来源。

第二节 四衝程与二衝程发动机

柴油发动机有四衝程的，也有二衝程的。四衝程发动机的工作原理：

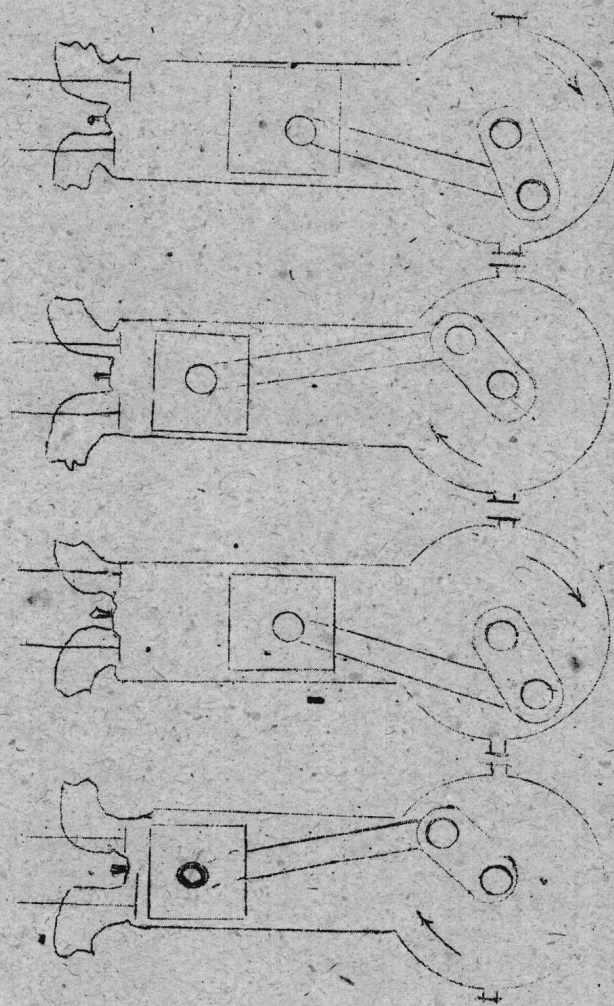
(一) 吸气衝程：活塞从上死点移向下死点，由分气机构的凸轮，将进气门打开，空气由进气管进入汽缸内，这时进气门即行关闭。

(二) 压缩衝程：活塞重复向上移动，进气门和排气门同时关闭，当接近压缩终点时，由外部的柴油泵通过喷油咀，向汽缸内注入燃料。

(三) 动力衝程：也叫爆发冲程，被压缩在小空间的空气接近高压高温。当注入的燃料被雾化而燃烧，其结果，由于气体的膨胀，迫使活塞下行而产生动力。

(四) 排气衝程：活塞又复由下死点向上死点移动。在下死点，由分气机构的凸轮将排气门打开燃烧完了的废气，即由排气门排出。经排气管、消声器流向大气，这就是说曲轴转两圈 720° ，完成四个衝程的全部工作（进、压、爆、排）配气部分的凸轮轴转一圈 360° 。进排气门各打开一次。

图一 四行程发动机工作原理



吸气行程 压缩行程 爆发行程 排气行程

四冲程发动机每只气缸曲轴转二转（即720度）完成一个循环。其中只有一个动力冲程。四缸发动机曲轴每需转 $720/4 = 180$ 度（即曲轴的 $1/2$ 转），就有一个动力冲程。如果发动机为8缸的。那么曲轴 $720/8 = 90$ 度（即曲轴的 $1/4$ 转）就有一个动力冲程，因此单缸发动机的动力极不平稳。而气缸数越多，曲轴发出的动力则愈加均匀。

二冲程发动机的工作原理：当活塞在两冲程中完成一个工作循环的发动机称为二冲程发动机。

活塞位于二冲程发动机的气缸中，借助连杆与曲轴相连接，发动机的气缸为气缸头所封盖，气缸盖头上装有火花塞或燃料喷射器，气缸下部备有扫气孔和排气孔，它们的开放与关闭，靠活塞在气缸中的运动来操纵。

假定新鲜混合剂在气缸中的燃烧刚进行完了，刚开始气体的膨胀过程——即实现动力冲程。

当接近下死点时，活塞打开了向着排气管的排气孔，有套筒与排气管相连，燃烧完了的产物，遂开始从气缸排入到排气管和外界大气中去。由于气体的排出，气缸中的压力因而降低，这时扫气孔打开新鲜的扫气空气遂流入气缸，该空气的压力（ $1.2 \sim 1.35$ 绝对大气压）这时空气迫使燃烧产物，经排气孔从气缸中排出，并充满气缸的工作容积，完成所谓气缸的扫气。

因此，第一冲程中，气缸内发生燃料的燃烧和热量的释放，以及气体的膨胀，这冲程就是废气的排出和扫除过程。

第二冲程相当于活塞从下死点向上死点移动。在这冲程的初期中，继续进行着扫气过程。同时继续把新鲜空气或新鲜混

合剂充入气缸中，当活塞关闭了扫气孔时，扫气和新鲜混合剂充满气缸的过程也告终结。从排气孔关闭时起，气缸中遂开始了新鲜空气或新鲜混合剂的压缩过程；这过程在上死点结束后，即行开始燃烧。活塞在气体压力作用下，开始向相反方向运动——重新开始膨胀，而循环则重复进行。

因此第二行程内，在活塞移动的初期，则为压缩过程。

根据上述可知，二行程发动机的工作过程。在曲轴的一转内完成。它和四行程发动机不同，在二行程没有独立的吸气及排气行程（这两行程需要曲轴的一整转）在二行程发动机中这两行程是在主要行程——膨胀与压缩中的一小部分时间内完成的。

按二行程循环运行的发动机，可以显著地增加功率计及工作循环数的增加时，可以想到功率刚好增加到原功率的两倍，实际上互相比对的发动机，在气缸数和曲轴转数相同的情况下，由于排气和扫气阶段中之无数行程的出现，所以二行程发动机的功率，只能比四行程发动机的功率大60~70%，此外扫气系对功率的减低也有一些影响。

鉴于分配在清除气缸中的燃烧产物，和用新鲜混合剂充满气缸的过程时间，二行程发动机较之四行程发动机所需要的少得多。因此为气缸扫气用的空气，必须用压力供给，为此可用特种扫气泵，该泵由柴油机轴带动，并将扫气空气压至扫气压力——一般为1.2~1.35绝对大气压。

在研究二行程发动机时，可以看出这种发动机具有各种不同的扫气形式。

第三节 发动机的功率是怎样确定的

一、发动机的有效功率可按下式来确定：

$$N_e = \frac{P_i \cdot \eta_m \cdot V_h \cdot n \cdot i}{450 \cdot \tau} \quad \text{单位马力}$$

式中： P_i —— 平均指示压力（单位公斤/平方公分）

η_m —— 机械效率

V_h —— 发动机的气缸容积（单位立升）

n —— 曲轴每分钟的转数

i —— 发动机的气缸数

τ —— 发动机的行程系数四行程

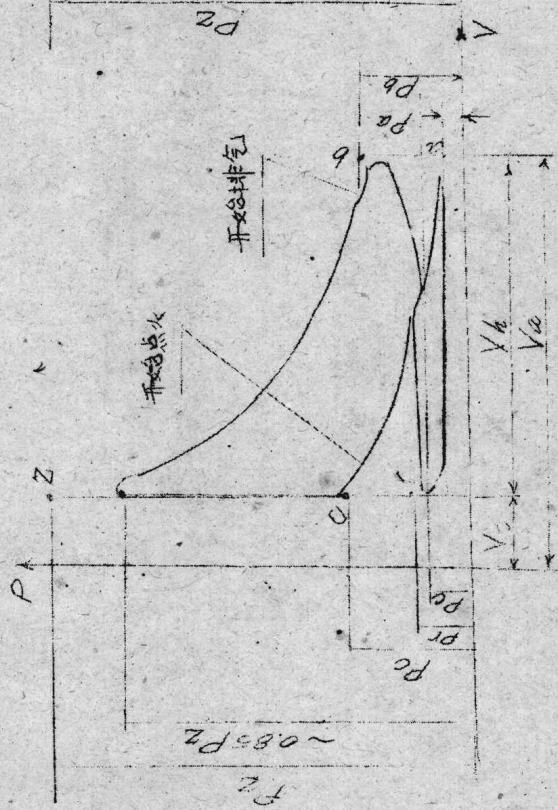
发动机 = 2 = 行程 = 1

二、研究四行程和二行程发动机的循环就可以绘出发动机的示功图，有了示功图就可以用它来作为确定发动机功率的基本依据。

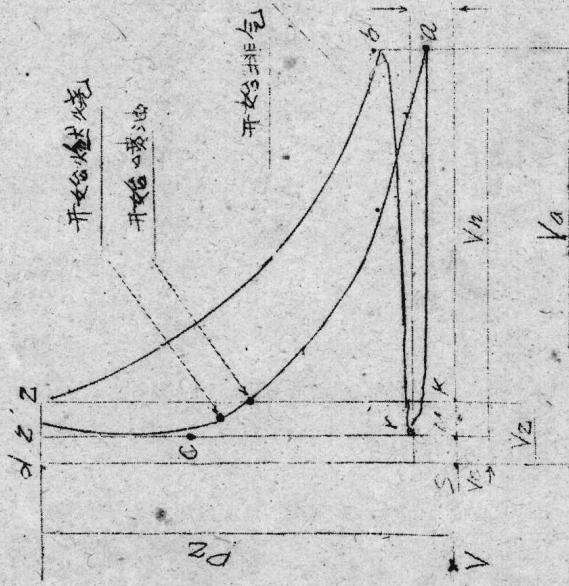
图二为四行程发动机的示功图，左边是“奥图”循环，右边则是“摩巴杰”循环，由示功图可以看到吸气冲程由r点开始，至a点吸气压力 P_a 它接近或低于大气压，压缩行程由a点开始至c点，发动机在c点提前点火由于气体的燃烧，压力上升至 P_c 由于气体的膨胀迫使活塞向下至b点而压力亦随着下降至 P_b 即为膨胀冲程的终点。为了使新鲜混合气充分占据气缸容积在b点前开始排气至r点为排气行程終了。由此使循环反复进行。

示功图的竖线是表示发动机的压力（P）变化，横线表示发动机容积（V）的变化，因此示功图又叫PV图，图中 V_c 表示燃烧室之容积， V_h 为活塞由上死点至下死点全部行程S之容

奥图循环



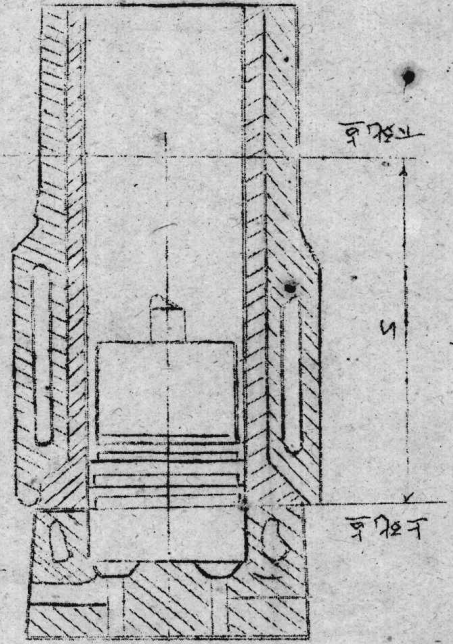
狄式大循环



图二 四冲程发动机奥图循环

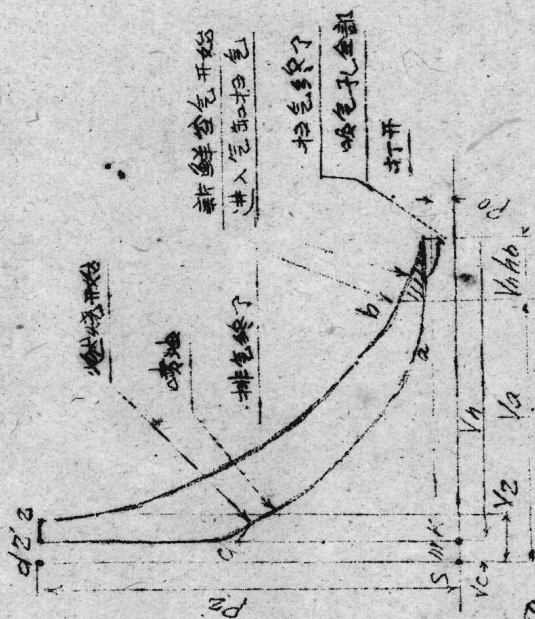
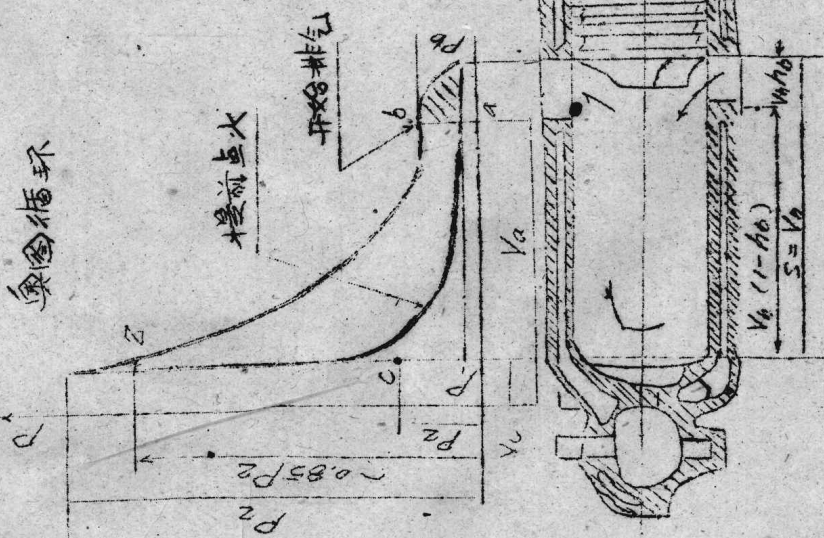
(汽油机)与狄式大循环 (柴油机)

示功图 (即 PV 图)



沙巴太循环

奥图循环



图三 二冲程发动机奥图循环

(汽油机)与萨巴太循环(柴油机)

示功图 (即 PV 图)

积，因此全部吸气容积 $V_a = V_c + V_h$ 。

图三是二冲程发动机的示功图。当气体由刚打开的扫气机构进入气缸中，此时气体的压力 P 。相当于 $1.25 \sim 1.35$ 绝对大气压，在活塞上行时活塞的头部关闭扫气孔和排气孔。即至 C 点向上，气体即被压缩，压力由 P_c 上升至 P_z 。这时活塞行程占据全部的气缸容积 V_h ，气体被压缩在气缸前端 V_c 的小容积内。由于气体的压力继续升高温度也随之上升。活塞在 C 点前提早点火或喷油，而使气体在燃烧室内燃烧压力上升至 P_z 并释放热量，使气体膨胀，将活塞推向下行，气缸内压力急剧下降，至 E 点时，也就是活塞的头部刚好至排气孔的边缘，即开始向外排气，同时活塞头部刚离开扫气孔新鲜空气开始进入气缸，并进行扫气工作。这就又开始了新的循环，活塞只须往复两个冲程。

由图三的二冲程发动机的示功图看到活塞头的构造与四冲程发动机的头部有所不同。是由于扫气和排气的要求而设计的。因此活塞冲程的全部容积 V_h 应考虑活塞头的高度 h_b 在内，故发动机气缸的实际容积为 $V_h(1 - h_b)$ 而排气孔的容积为 $V_h h_b$ ，因此二冲程发动机，气体最高压力 P_z 要比四冲程发动机大得多。

我们从图二和图三的不同循环“奥图”循环和“萨巴太”循环亦即汽油机和柴油机两种循环比较来看。汽油机的最高压力实际只有 $0.85 P_z$ 这是因为汽油机所用的燃料“汽油”它们由于压缩比的限制，压力过高则容易引起“爆燃”。而柴油机的压缩比较高，且无“爆燃”发生，最高压力 P_z 在气缸内保持平稳，因此柴油发动机，是现代发动机中效能较高的发动机。

从上面确定发动机的有效功率的公式可知：增加发动机的气缸容积 V_h 是增加发动机功率的主要指标。由一般计容积的公式可知：

$$V_h = A \times S = \text{活塞面积} \times \text{行程} \\ = \frac{\pi D^2 S}{4}$$

式中：D—活塞直径（单位毫米） S—活塞行程（毫米）

增大活塞直径也就增加气缸的直径，相对的增大了气缸的容积和相应加大了每循环中活塞的吸气量。但气缸直径之增大，因受发动机外形尺寸之限制，同时对发动机之转速、及平均有效压力，有一定的影响，也会使发动机的重量和马力比增大，并涉及燃料等问题。

压缩比与平均有效压力：发动机的压缩比决定于发动机全部吸气容积 V_a 与燃烧室容积 V_c 之比，而发动机之全部吸气容积 $V_a = V_h + V_c$ ，而 V_h 即前面所述的活塞行程的容积，故二行程发动机

$$\text{压缩比 } \varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c}$$

故已知发动机的压缩比亦可求得发动机之全部吸气容积

$$V_a = \varepsilon \cdot V_c$$

二行程发动机

$$\text{压缩比 } \varepsilon = \frac{V_c + V_h(1 - h_b)}{V_c}$$

式中： h_b —为二行程发动机活塞头的高度

一 发动机的压缩比决定于发动机的燃料。汽油发动机由于容易发生“爆燃”一般在 6~7.5 左右，最近由于炼油技术的不

提高并加入抗爆剂，压缩比可达8~9而柴油发动机压缩比可达13~20而高效率的汽车柴油机则可达22~27左右。

由于压缩比的提高，平均有效压力亦行增高，我们从上面的示功图可以看出发动机的压力是在工作过程中不断变化的。因此必须找出一个平均有效压力 P_e ，作为理论计标的数值，但这样还不够，确定发动机的功率，必须在实际中用压力表从气缸中测出的压力叫指示平均有效压力（单位以公斤/平方公分表示）在确定平均有效压力 P_e 和指示平均有效压力 P_i 的关系前，还必须引进一个摩擦压力 P_f ，这个值与压缩比及转速有关，当

压缩比 $\varepsilon = 6.7$ 转速 $n = 1200$ 转/分 $P_f = 1.3$ 公斤/公分²

而转速 $n = 2000$ 转/分 $P_f = 1.85$ 公斤/公分²

压缩比 $\varepsilon = 7.85$ 转速 $n = 1200$ 转/分 $P_f = 1.25$ 公斤/公分²

而转速 $n = 2000$ 转/分 $P_f = 2.12$ 公斤/公分²

一般理论上采用的 P_f 值

$$P_f = 0.4 + 0.0013 n \text{ 公斤/平方公分。}$$

因此可求得平均有效压力 P_e 与指示平均有效压力 P_i 的关系如下：

$$P_e = P_i - P_f$$

现代发动机平均指示有效压力 P_i 汽油发动机一般在7~10公斤/平方公分，柴油机四行程与二行程增压在6.5~10公斤/平方公分。

理论上求得的平均有效压力 P_e 和用压力表测得的指示平均有效压力 P_i 所求得的功率与实际功率还有很大的差距。一般用制动马力来表示比较更接近实际。因此在这里又必须引进

一个制动平均有效压力就汽车发动机而论经验上之值为：

$$\text{制动平均有效压力} = 3 \times \text{压缩比} \varepsilon - 1.5 \text{ (公斤/平方公分)}$$

第四节 关于发动机之增压

多年来，柴油机设计人员的目标是增加其输出功率，影响发动机输出功率的因素很多，主要依赖于燃料燃烧所释放的能量。也就是说依赖于燃料燃烧的速度，它又将受到燃烧空气数量的限制。发动机单位时间内吸入的空气数量与每个气缸的活塞排量，气缸数量和相对速度的乘积有关。另外，每单位时间所吸入的空气重量将取决于容积效率和空气密度，最后所释放的能量，就是吸入空气的重量也就是燃料空气比，和完全燃烧的乘积。由燃料燃烧所释放的能量，究竟有多少转变为机械功，将取决于发动机的某些因素。例如压缩比，阀门定时，燃烧速度，传热引起的损失；漏气和摩擦等。

利用压缩比以增加发动机之功率，祇能使马力增加 15%，但由于进气温度之降低，其功率祇能增加 7% 马力。以此增大发动机之马力，虽然对发动机冷却与热效率固为有益，但增加马力的效果较差。为了获得发动机更大之马力。增加进气压力，其效果较为显著，当进气压力增高，则平均有效压力，气缸中之最大压力及由排气管排出之总热量均增加甚多，更由于平均温度之升高，摩擦损失减少，故制动平均有效压力指示平均有效压力增加很快。

我们也可以从示功图看出发动机的自然吸气的压力 P_a 与气缸容积、曲轴转速、进气门的道路面积等因素有关。因此进气压力 P_a 一般低于外界的绝对大气压 $P_0 = 1.033 \text{ 公斤/平方公分}$ 在一般情况下：