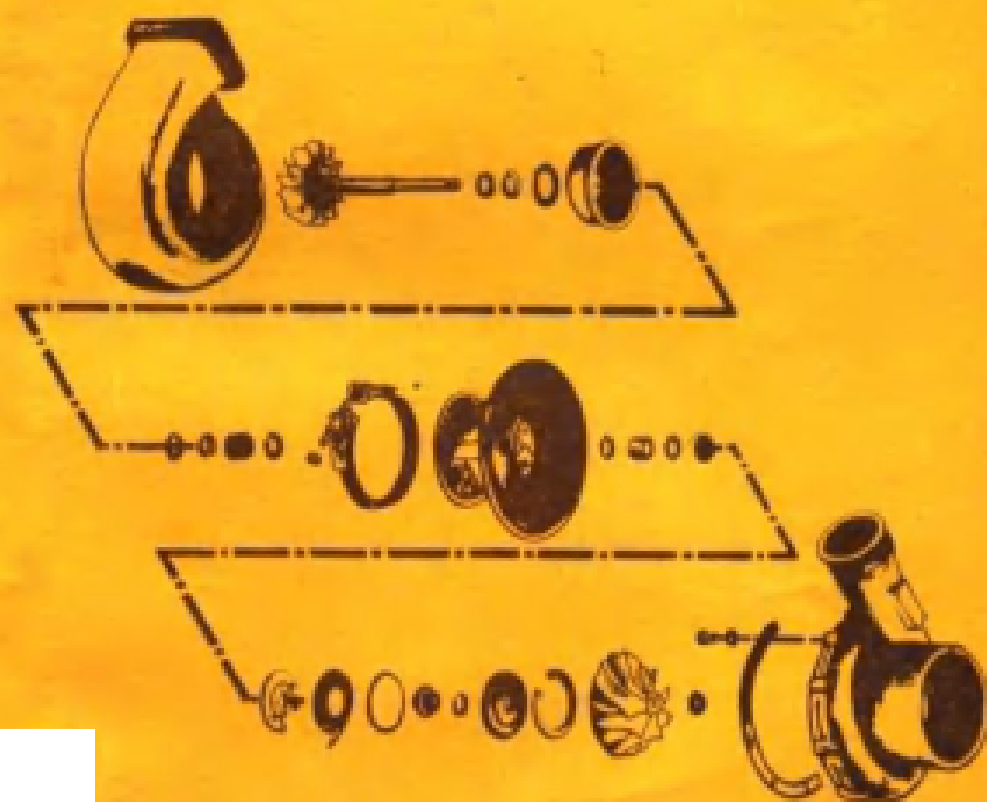


车辆用涡轮增压器

——构造、原理、使用与维修——

袁玉和 夏有禹 高广有 编著



国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了车辆用涡轮增压器的构造、原理及使用维修方面的基本知识。对涡轮增压器与发动机的匹配工作，使用中的常见故障及排除方法，易损零件的加工及装配，涡轮增压器的性能试验等，都作了较为详细的介绍。注重实际，便于应用。

本书可供具有中等以上文化程度的车用涡轮增压发动机生产、使用与维修人员使用，也可供有关科技人员和大专院校学生参考。

车辆用涡轮增压器

—构造、原理、使用与维修—

袁玉和 夏有禹 高广有 编著

*

国防工业出版社出版、发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张7⁵/₈ 插页2 200千字

1990年8月第一版 1990年8月第一次印刷 印数：0,001—2,500册

ISBN 7-118-00521-5/TK·4 定价：5.50 元

前 言

涡轮增压技术是提高车辆用内燃机性能指标的有效方法，国外已得到较为广泛地使用。近年来，我国的运输车辆及工程机械车辆采用涡轮增压发动机的也日益增多。国内主要从事车辆用涡轮增压器生产的辽宁省凤城汽车增压器厂，十多年来，在为增压发动机作故障诊断和涡轮增压器修理时发现，其故障和损坏的原因，除小部分是本身的质量外，绝大多数是由于对涡轮增压器的基本构造、原理和使用知识了解不够或安装不当造成的。因而，与此有关的基本知识和有关的技术，已成为使用部门非常关心的问题。但目前国内尚未有这类图书出版。我们为满足广大读者需要，特写此书，以飨读者。

本书第一、三章由重庆重型汽车研究所夏有禹编写；第二章，第四、五章和附录分别由辽宁省凤城汽车增压器厂高广有，袁玉和编写；全书由北京理工大学（原北京工业学院）王延生教授审核。在本书编写过程中，不少同志提出了许多宝贵意见，而且有许多兄弟单位提供了宝贵资料。在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中一定有不少缺点和不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

作 者

1988年

目 录

主要符号意义和单位	1
第一章 绪论	4
第一节 车用发动机增压技术的发展概况	4
第二节 车用发动机增压的基本概念	9
第三节 涡轮增压的基本型式	21
第四节 车用涡轮增压器的特点和国内外发展概况	26
第二章 车用涡轮增压器的构造	34
第一节 车用涡轮增压器的总体结构	34
第二节 离心式压气机结构	45
第三节 径流式涡轮的结构	53
第四节 涡轮增压器的转子部件	69
第五节 中间壳结构	71
第六节 轴承结构	72
第七节 涡轮增压器的密封结构	84
第三章 涡轮增压器的工作原理和匹配	87
第一节 离心式压气机的工作原理和性能曲线	87
第二节 径流式涡轮工作原理和性能曲线	97
第三节 涡轮增压器与发动机的匹配	103
第四节 涡轮增压器与发动机的匹配试验与调整	109
第五节 车用涡轮增压发动机的工作特点	114
第六节 车用涡轮增压发动机高原工作的特点	120
第七节 汽油机的涡轮增压	124
第四章 涡轮增压器的拆卸、检测、装配与试验	131
第一节 涡轮增压器拆卸前的清洗与检查	131
第二节 涡轮增压器的拆卸	133
第三节 涡轮增压器零件的清洗、检查及其损坏情况的分析	142
第四节 涡轮增压器易损件的制造	151

第五节	涡轮增压器转子动平衡精度的确定及其平衡方法	160
第六节	涡轮增压器的装配	171
第七节	涡轮增压器的性能试验	186
第五章	车用涡轮增压器使用、保养和常见故障的分 析与排除	199
第一节	涡轮增压器在发动机上的布置与安装	199
第二节	涡轮增压器的正确使用原则	204
第三节	涡轮增压器的维护保养	205
第四节	涡轮增压器常见故障的分析和排除方法	210
附录		226
一、	国外涡轮增压器型号表示方法	226
二、	国内外车用涡轮增压器主要技术参数	233
(一)	国内车用涡轮增压器主要技术参数	233
(二)	国外主要厂家生产的典型车辆用小型涡轮 增压器技术数据	234
参考文献		238

主要符号意义和单位

符号	名称	单位
A	面积	米 ² , m ²
a	音速	米/秒, m/s
B	叶轮子午面流道 轴向宽度	毫米, mm
b	宽度, 厚度	毫米, mm
c	速度, 气流绝对 速度	米/秒, m/s
C_m	活塞平均速度	米/秒, m/s
C_p	定压比热	焦耳/千克·K, J/kg·K 千焦耳/千克·K, kJ/kg·K
D	直径	毫米, mm
d	内径	毫米, mm
E	能量	焦耳, 千焦耳, J, kJ
	重径积	克·厘米, g·cm
e	偏心距	毫米, 微米, mm, μm
g	重力加速度	米/秒 ² , m/s ²
	比燃油消耗量	克/千瓦·小时, g/kW·h
G	燃油消耗量	千克/小时, kg/h
H_u	燃料低热值	千焦耳/千克, kJ/kg
H	焓降, 比焓	焦耳/千克, J/kg
h	焓降, 比焓	焦耳/千克, J/kg
	高度	毫米, mm
i	冲角	度
	气缸数	

K	常数	
K_E	脉冲能量利用系数	
k	绝热指数, 比热比	
L	长度	毫米, mm
M	力矩, 扭矩	牛顿·米, N·m
m	质量流量	千克/秒, kg/s
n	转速	转/分, r/min
p	气体压力	帕, Pa,
Q	热量	焦耳, 千焦耳, J, kJ
R	气体常数	焦耳/千克·K, J/kg·K
r	半径, 中心距	毫米, 厘米, mm, cm
S	增压度	
s	熵	
T	绝对温度	K
t	温度, 时间	°C, 秒, s
u_u	圆周速度	米/秒, m/s
V	容积	立方米, 升, m ³ , l
	容积流量	米 ³ /秒, m ³ /s
W	功	焦耳, 千焦耳, J, kJ
w	相对速度	米/秒, m/s
Z	叶片数	
	希腊字母	
α	绝对速度气流角, 过量空气系数, 轮盘摩擦系数	度
β	相对速度气流角	度
η	效率	
ω	角速度	1/秒 rad/s
ρ	密度, 反力度	千克/米 ³ , kg/m ³
π	增压比, 膨胀比	

τ	冲程数
	上角标
*	滞止参数
	下角标
a	轴向
r	径向
u	切向
C	压气机
T	涡轮
O	大气状态
i	指示值
s	等熵
ad	绝热
C_{nf}	折合参数
C_r	临界状态
1	进口状态
2	出口状态

第一章 绪 论

第一节 车用发动机增压技术的发展概况

自1886年奥托（Otto）发明活塞式四冲程内燃机以来，至今已有百年历史了。然而提高动力性和改善燃油经济性却一直是内燃机发展史上的中心任务。

内燃机发出的功率是由燃料在气缸中燃烧后产生的热能转化而来，输出功率的大小取决于单位时间内气缸中燃烧的燃料量和热功转化效率。向气缸中送入适量的空气是燃料充分燃烧的必要条件。因此在内燃机问世不久，特别是鲁道夫·耿塞尔（Rudolf Diesel）发明了柴油机之后，人们已开始认识到要想增加内燃机的功率，必须首先增加进入气缸的空气量，以便燃烧更多的燃料。但如果只靠内燃机自然吸气，则吸入的空气量因受气缸工作容积、进气阻力和大气条件等的限制而无法大幅度地提高。若能把进气预先压缩、提高密度后再送入气缸，则在一定的气缸容积下能进入更多的空气，便可燃烧更多的燃料，从而达到提高功率的目的。

按照提高进气密度增加功率的设想，早在1905年，瑞士的艾尔弗雷德·布希（Alfred Büchi）就提出了废气涡轮增压方案。他把柴油机的排气引入一台轴流式燃气涡轮中，使涡轮旋转，并带动一台同轴上的压气机工作，将空气压缩后送入气缸，这就是最早出现的定压增压方式。在此基础上，又进行了脉冲增压系统的试验，于是他把接向燃气涡轮的排气管，按发动机的发火顺序进行了分支，以避免各气缸排气压力波的相互干扰，同时也有利于扫气，这便是最早出现的脉冲增压方式，如图1-1所示。其试验于1925年获得了成功，并获得了德国568855号专利。布希的增压方式为现代增压技术的发展奠定了基础，对内燃机工业的发展

具有深远的影响。此后 瑞士的 勃郎·保弗利公司（Brown Boveri）利用布希提出的原理首先在船用发动机上进行了增压，继之航空活塞式发动机也采用了增压技术。但由于当时涡轮增压器的技术水平不高，造价也昂贵，故只限于一些特殊场合的应用。直到第二次世界大战以后，航空燃气涡轮机的设计与制造技术被应用到了涡轮增压器上，才使涡轮增压器的技术水平有了提高，并得到迅速发展，应用领域也开始扩大。

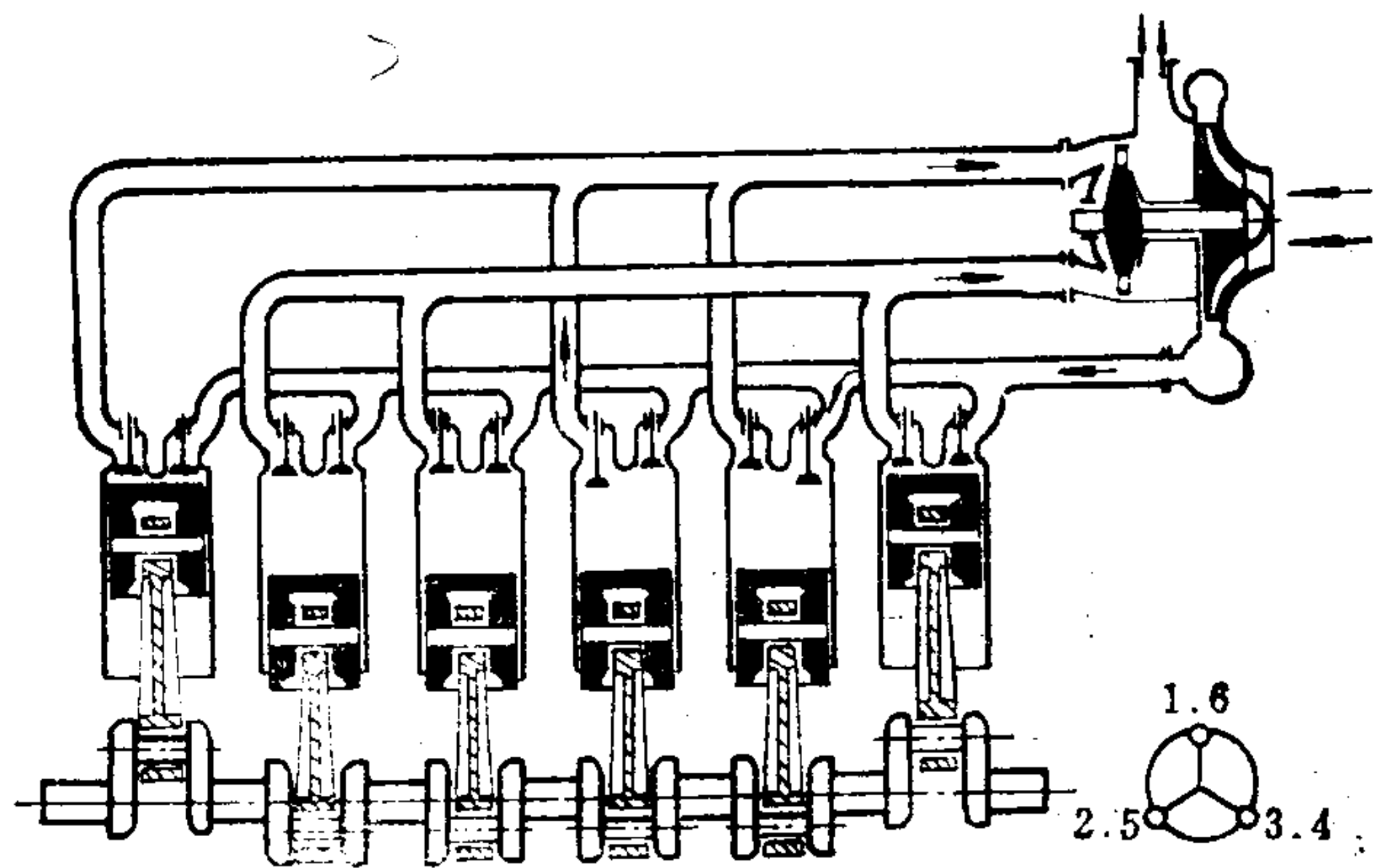


图1-1 四冲程六缸柴油机脉冲轴流涡轮增压示意图

车用发动机采用涡轮增压技术较迟。其主要原因是由于车用发动机对涡轮增压器的要求较高，不仅要求效率高，流量范围宽，能满足车辆发动机变工况的需要，而且，还应结构简单，体积小重量轻，造价低廉。美国曾对车用柴油发动机的涡轮增压进行了大量的试验研究，因为那时美国的汽车主要以汽油发动机为主，如果柴油发动机要想与之竞争，必须采用先进技术，提高功率，改善性能。然而，当时就是由于车用小型涡轮增压器尚处于研究和提高阶段，使用中曾出现过一些问题，影响了车用发动机增压技术的推广应用。直到 50年代后期，小型涡轮增压器的设计和制造水平有了较大的提高，才为车用发动机进行涡轮增压提供了条件。如采用高温合金精密铸造技术，成功地解决了涡轮叶轮的廉价生产问题。浮动轴承的出现使涡轮增压器的转速可以成倍提

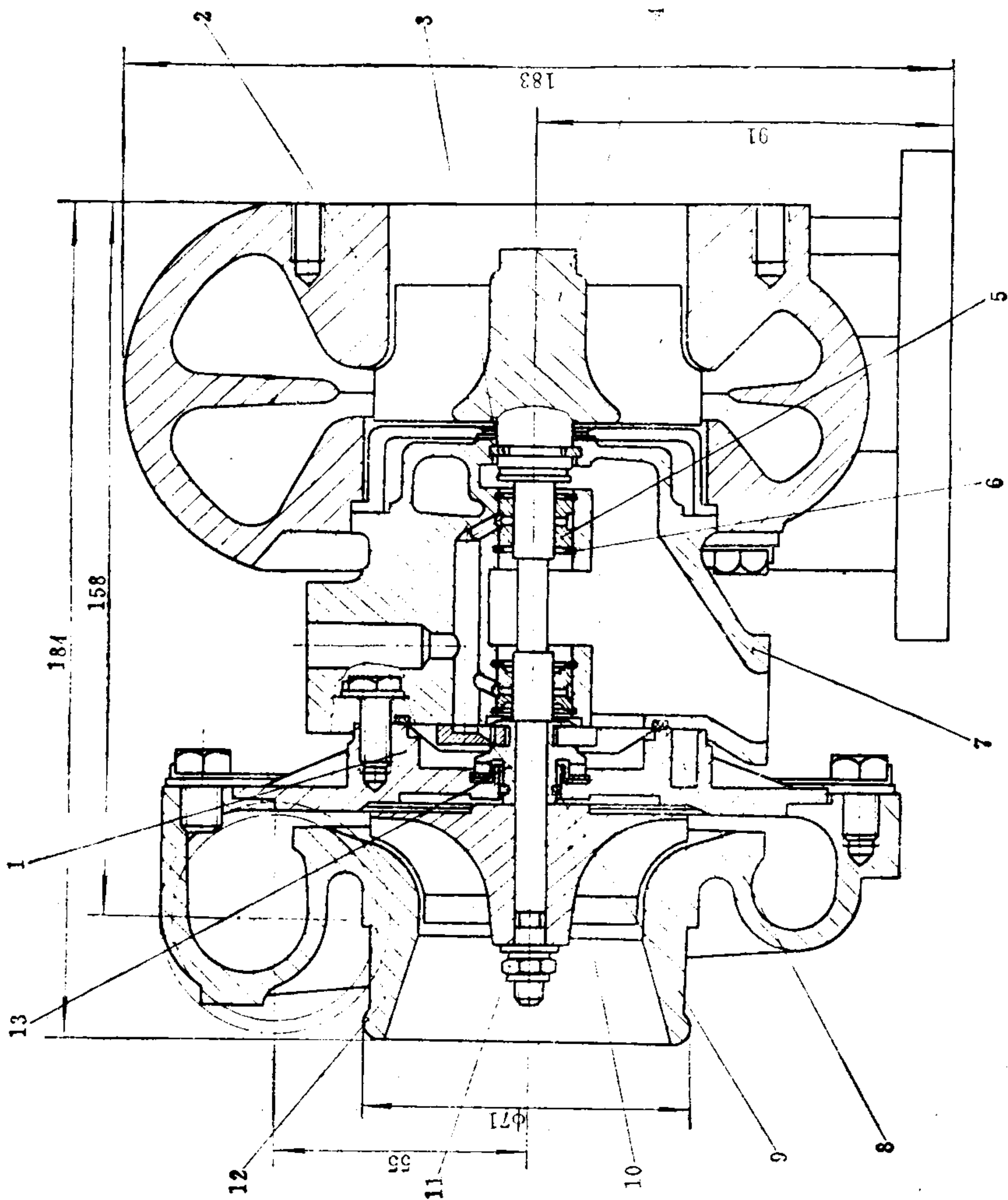


图1-2 TO4B型

涡轮增压器

- 1—压气机后体；2—涡轮蜗壳；3—涡轮端密封环；4—涡轮；5—浮动轴承；6—卡环；7—中间壳体；8—油封橡胶圈；9—密封环；10—压气机叶轮；11—压气机锁紧螺母；12—压气机蜗壳；13—带回油孔的止推套。

高，外形尺寸缩小，重量减轻。空气动力学方面的成果又使得压气机和涡轮的性能得到了提高。这些，都是车用小型涡轮增压器发展的重要标志。

60年代初期已相继形成了一些生产规模较大，技术水平较高的涡轮增压器生产厂家，如美国的 Garrett 公司和 Schwitzer 公司等。各公司逐步形成了自己完整的系列产品，型号繁多，规格齐全，满足了车用发动机增压的需要。图1-2所示为 Garrett 公司生产的 TO4B型涡轮增压器结构简图，这是一种典型的车用小型涡轮增压器。

随着车辆动力性能的提高，特别是高速重载车辆的发展，要求发动机不断提高功率，向高增压方向发展，这时，改善增压发动机扭矩特性已成为十分重要的问题，甚至使增压发动机在某些场合的应用中出现了困难，为此，又先后出现了一些新的增压系统。

如，两级涡轮增压系统，在这种增压系统中，将两只涡轮增压器串联起来，使增压压力成倍提高，从而可大幅度地提高发动机的功率。

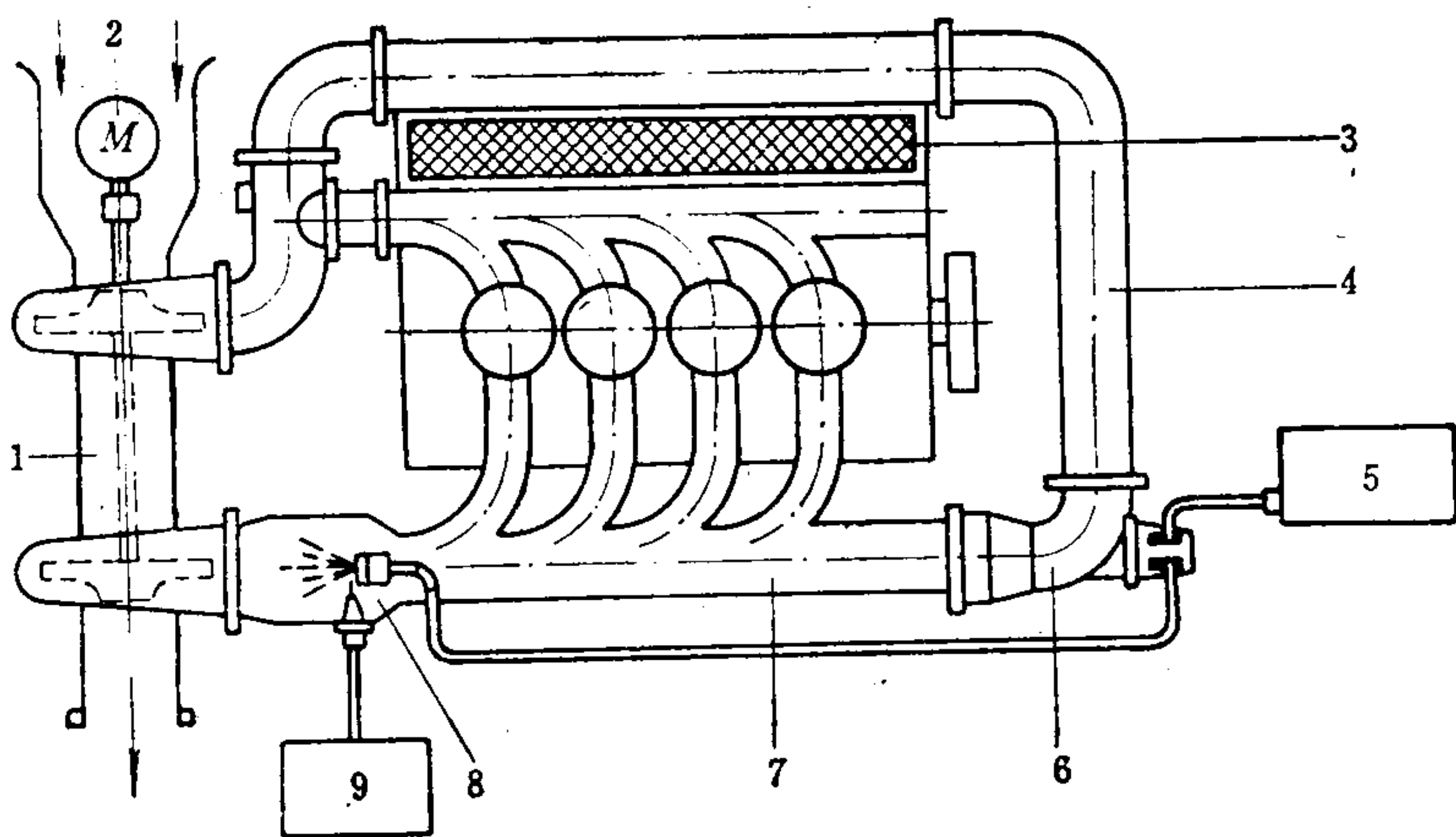


图1-3 柴油机补燃超高增压系统原理图

1—涡轮增压器；2—起动马达；3—中冷器；4—旁通管；5—燃料泵；6—控制阀；7—混合管；8—补燃室；9—点火装置。

又如，补燃超高增压，也是一种新型的提高增压度的办法，如图1-3所示。它是在排气管中设置了补燃系统，压气机供给的空气并不全部进入发动机，而是有一部分经旁通管和补燃系统后进入涡轮。旁通管和补燃系统与发动机是并联的，因此发动机工况变化时，对压气机工作的影响较小，使压气机能始终保持在高效率区工作。补燃超高增压由于采用低压缩比，能够在几乎不增加发动机机械负荷和热负荷的情况下，使发动机的功率提高2~5倍。但这种增压系统在部分负荷下燃油消耗率较高，结构也较复杂，故其应用场合受到一定的限制。

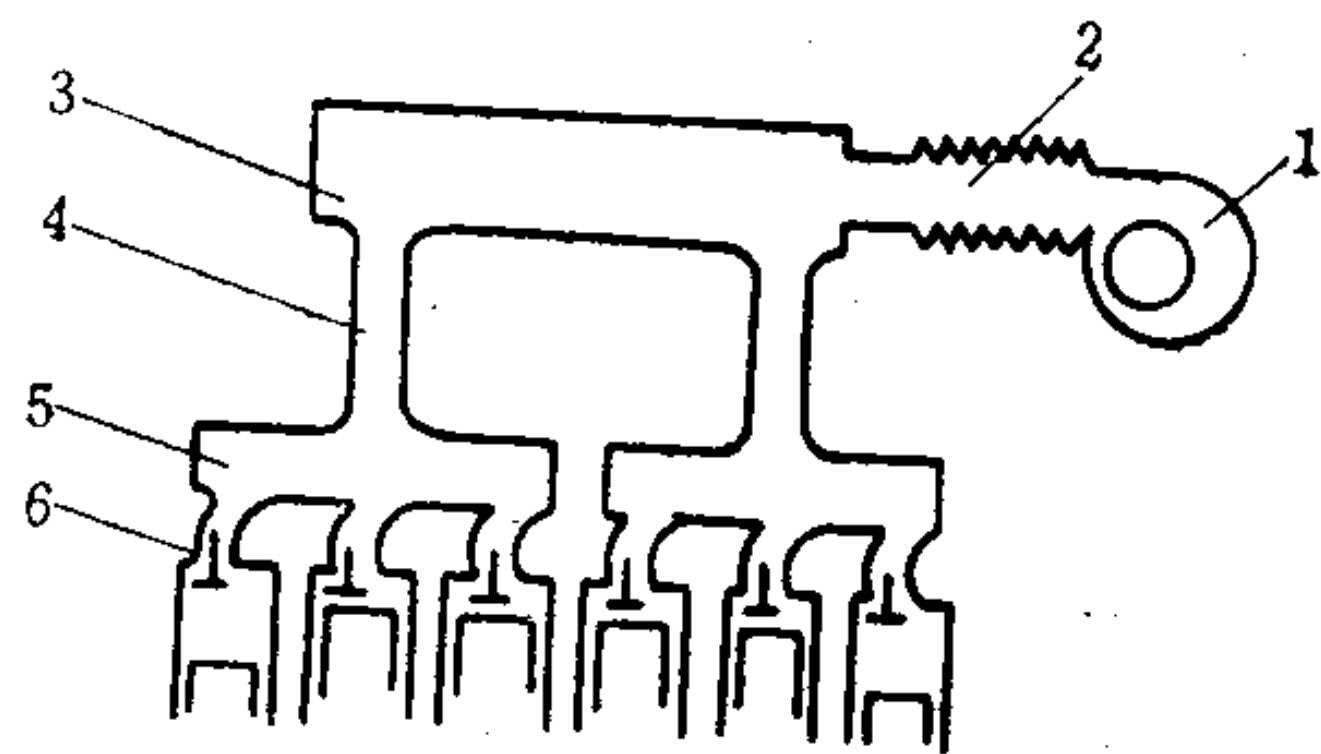


图1-4 复合增压系统示意图

1—涡轮增压器，2—联接管，3—稳压箱，
4—谐振管，5—谐振箱，6—进气管。

涡轮增压与谐振增压串联起来，组成的所谓复合增压系统，可改善发动机的低速性能，如图1-4所示。稳压箱3的作用是使谐振系统中的压力波不致影响压气机的工作。为了有效地利用不定常流动，将进气相位互不重叠的1、2、3气缸和4、5、6气缸分别联成两个谐振系统。谐振系统主要由谐振管4和谐振箱5组成。气缸的周期性吸气对进气产生激振，当激振的某一谐波与谐振系统的固有频率相一致时，便产生共振。这时谐振管中气流的动能会使相应气缸的进气压力增加。在谐振转速下，气流的振动最强。因而增加气缸充量的效果也最明显。如将谐振转速选定在最大扭矩工况，则可改善最大扭矩工况的进气条件，使发动机的低速性能得到改善。

采用可变几何参数的涡轮增压器，可使发动机在保证良好的高速性能的情况下，又具有理想的低速扭矩特性。通过对涡轮通流截面的控制，提高发动机低速时的排气能量的利用率，而在发动机高速时，由于涡轮通流截面的变大，避免了增压器的超速和增压压力过高。对于负荷和转速变化范围较大的车用发动机，可变几何参数的涡轮增压器的性能是很理想的。因此多年来一直在

探索如何克服可变几何参数涡轮增压器结构复杂和调整不便的缺点。

如今，涡轮增压技术正向小型柴油机领域发展，这主要是由于高性能的小型涡轮增压器已达到相当完善的技术水平。40kW左右的小型柴油机进行涡轮增压已成为现实。

汽油机涡轮增压也具有广阔的发展前景，尽管它比柴油机涡轮增压要困难。汽油机采用汽油直接喷射后进行涡轮增压已日趋增多。如美国通用汽车公司生产的 Buick V-6 型涡轮增压汽油机，采用了电子点火控制装置，功率由增压前的 77kW 提高到了 110kW。我国对解放牌汽车 CA-10 汽油发动机的涡轮增压也曾进行了较长时间的试验研究，增压后功率可达到 88kW，对于作为高原恢复功率有其明显的效果。

第二节 车用发动机增压的基本概念

一、发动机增压与功率的提高

发动机在标定工况下的单位气缸工作容积所发出的有效功率称为升功率。显然升功率越大，发动机输出的有效功率也越大，因此常采用升功率这一指标来评价发动机的动力性能和强化程度。

升功率可用下式表示

$$N_L = \frac{P_e n}{300 \tau} \text{ kW/L} \quad (1-1)$$

式中 P_e ——平均有效压力， 10^5 Pa ；

n ——发动机转速， r/min ；

τ ——冲程数，四冲程发动机 $\tau = 4$ ，二冲程发动机 $\tau = 2$ 。

由此可见提高发动机转速是提高升功率的途径之一。所以现代发动机的转速比过去已有明显的提高。目前车用柴油机的活塞平均速度已达 $10 \sim 12 \text{ m/s}$ 。但随着发动机转速的提高，往复运动零件的惯性力增大，机械磨损增加，寿命缩短；同时，还使发动机的充气系数下降，燃烧不良。因此目前重型汽车用柴油机的转

速有下降的趋势，以求获得高扭矩和长寿命。

提高升功率的另一个办法是提高平均有效压力 p_e 。由发动机原理可知，平均有效压力可表示为

$$P_e = 3.845 \frac{\eta_e \eta_v H_u}{\alpha l_0} \cdot \frac{P_1}{T_1}, 10^5 \text{Pa} \quad (1-2)$$

式中 H_u ——燃料低热值，kJ/kg；

α ——过量空气系数；

l_0 ——理论上燃烧1kg燃料所需的空气量，kg/kg；

η_e ——发动机有效热效率；

η_v ——发动机充气系数；

P_1 ——进气压力， 10^5Pa ；

T_1 ——进气温度，K。

式中 l_0 和 H_u 是定值， η_e 和 η_v 的提高是有限的。减小 α 也有一定的限制，因为 α 过小会导致燃烧恶化，冒烟，因此柴油机的最小 α 值在1.2~1.5之间。要想大幅度地提高 P_e 值，只能靠提高进气压力和降低进气温度，也就是采用增压和中冷技术。一般非增压柴油机的 P_e 值在6~9之间，增压后可达到10~13，而高增压柴油机的 P_e 值可达到20以上，可见采用增压技术是提高发动机功率的有效措施。

增压后发动机功率的增长程度常以增压度 S 来表示、即增压后发动机有效功率的增加值与不增压时的有效功率 N_e 之比，若以 N_{eT} 表示增压后的有效功率，则：

$$S = \frac{N_{eT} - N_e}{N_e} \times 100\% \quad (1-3)$$

二、车用发动机增压的主要类型

发动机增压是指通过增压系统来提高进入气缸的充量压力。根据充量压力提高时能量的传递和转换方式，发动机的增压主要分为：机械增压、动力增压，废气涡轮增压和气波增压。

1. 机械增压

在机械增压系统中，压气机是由发动机的曲轴通过增速机构来驱动的。压气机一般采用离心式，罗茨式或螺杆泵式的，如图1-5所示。压气机工作时要消耗发动机的一部分功率，若以 N_c 表示压气机所消耗的功，则

$$N_c = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{RT_1}{\eta_c} \cdot \left(\pi_c^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \cdot m_c \tag{1-4}$$

式中 π_c ——增压比；
 R ——空气气体常数；
 k ——空气绝热指数；
 η_c ——压气机效率；
 T_1 ——压气机进口温度；
 m_c ——压气机空气流量。

由(1-4)式可看出，增压比越高消耗发动机的功率越多。因此机械增压的增压比 π_c 不能太高，增压压力一般不超过 $1.6 \sim 1.7 \cdot 10^5 \text{Pa}$ 。增压压力过高会使发动机的经济性严重恶化。试验结果表明，当增压压力超过 $2.8 \cdot 10^5 \text{Pa}$ 时，由于压气机耗功的剧增、使发动机的有效功率不仅不会增加，反而要下降。因此机械增压主要是用于低增压及二冲程发动机的扫气。

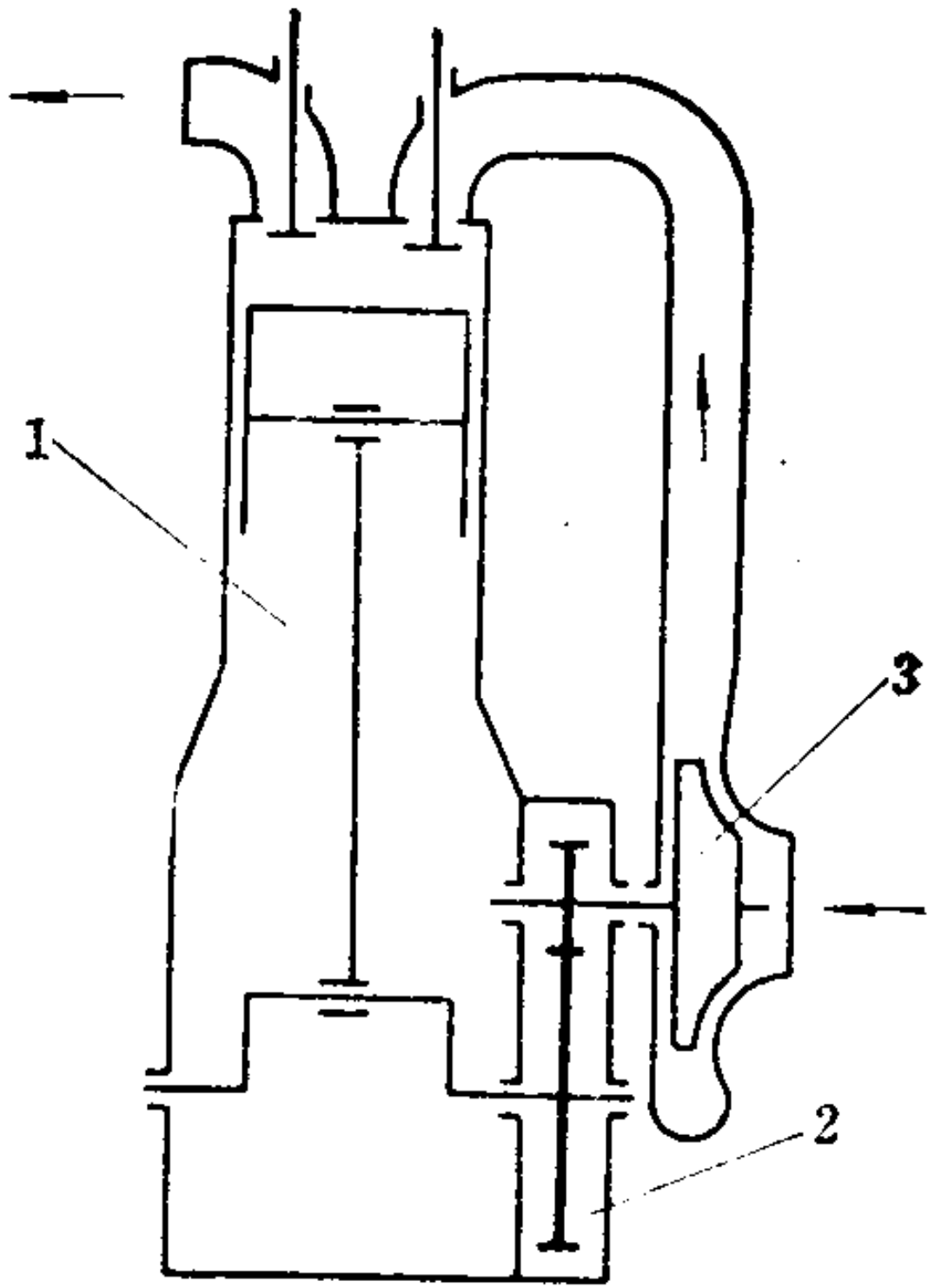


图1-5 机械增压工作原理图
1—发动机；2—齿轮增速机构；3—离心式压气机。

2. 动力增压

发动机的动力增压主要是利用空气在进气管中流动时的波动效应和惯性效应来提高充气系数、增加气缸的充量，以达到提高功率的目的。

(1) 波动效应 由于发动机的进气是间歇而又周期性地 进行，在进气管中会引起一定的速度波和压力波。如果我们把进气