

汽车专业维修培训丛书

理论与实践相结合，实用性强

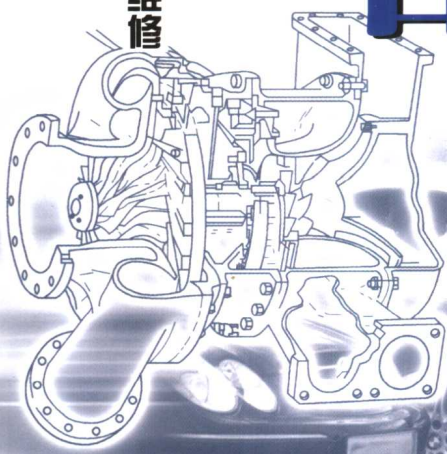
实例丰富，代表性强

根据读者群体组织资料，针对性强

立足结构，突出实践技能培养，重在检测维修

增压器

赵雨旻 主编 王东胜 副主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

汽车专业维修培训丛书

增 压 器

赵雨旻 主 编

王东胜 副主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

增压器/赵雨肠主编. —北京: 化学工业出版社,
2005. 5

(汽车专业维修培训丛书)

ISBN 7-5025-6996-0

I. 增… II. 赵… III. 汽车-发动机-增压器-车辆
修理 IV. U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 038336 号

汽车专业维修培训丛书

增 压 器

赵雨肠 主 编

王东胜 副主编

责任编辑: 周国庆 周 红

文字编辑: 余德华

责任校对: 凌亚男

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 10 字数 175 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6996-0

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《汽车专业维修培训丛书》编写委员会

主 任 齐晓杰

副主任 张金柱

委 员 (按姓氏笔画排序)

刁国强	于春鹏	王悦新	石美玉
齐晓杰	纪峻岭	苏清源	李 伟
李涵武	张 毅	张金柱	岳邦贤
赵雨旸	洪慕绥	鲍 宇	

前 言

当今时代,科学技术的迅猛发展,极大地促进了汽车技术和汽车工业的高速发展,汽车正日益广泛地深入到社会和人们日常生活的各个方面,这使得汽车修理成为引人注目、迅猛发展的行业。

由于现代汽车技术大量地融进了电子技术、计算机技术、现代通讯与控制技术等,使得汽车的维修理念、维修内容、维修方法,都发生了根本性的变化,汽车维修越来越具有一定的难度。因此,汽车修理市场对汽车维修人员的技能及素质要求越来越高,汽车维修业的从业人员需在相对短的时间内掌握关于新车型的维修技术和方法。从汽车技术发展和汽车维修人员掌握技术能力和培养素质的角度出发,本编委会组织有关专家编写了这套《汽车专业维修培训丛书》,包括:《充电系统》、《转向系统》、《汽油发动机》、《制动系统》、《传动轴、差速器、驱动桥及车桥》、《悬架系统》、《电子燃油喷射系统》、《自动变速器》、《空调系统》、《点火系统》、《启动系统》、《车轮定位及轮胎》、《柴油发动机》、《防抱死制动和牵引力控制系统》、《增压器》、《排放控制系统》、《离合器及机械变速器》、《车身电气》等共计 18 种。

针对汽车维修人员的实际需要,本丛书在编写上力求做到以下几点。

1. 依据《国家职业标准·汽车维修工》中有关中级和高级的内容进行编写。
2. 基本知识、原理、结构简单介绍,以够用为原则。
3. 突出基本技能,主要介绍维修部分的内容,以及故障的诊断、排除方法和技巧,并列举实例,注重实用性、针对性和可操作性。同时介绍材料、零部件识别的有关知识。
4. 语言简洁,深入浅出,通俗易懂,做到图文并茂。

本书是《增压器》,是《汽车专业维修培训丛书》之一。

目前汽油机已普遍采用电子控制系统,在电子控制技术及新材料的配合下,增压器在汽油机上的应用也日益普遍。有人认为:在电子控制汽油喷射、电子控制点火的发动机上进行增压将是一次内燃机的技术革命,在燃料经济性方面可以与柴油机媲美。增压器在汽车上的应用越来越广泛,主要是因为发动机进气增压技术具有许多优点:能够提高发动机升功率、降低发动机比油耗和

比重量、减轻发动机排气污染、扩大发动机变型系列等。也就是说采用增压器能够提高发动机的动力性、经济性和排放性。在当今琳琅满目的汽车书籍中,有关增压器的书籍,尤其是关于增压器维修的内容不多,增压器及其增压系统往往都作为某些汽车书籍中的一小部分,且内容多是传统载重汽车上装用的增压器。本书正是为了使本专业师生和专业技术人员能够系统地掌握发动机增压技术而编写的。

本书主要讲述增压器及其增压系统的结构、工作原理、维修及诊断方法。为加强实用性,对保有量较大的丰田发动机增压器、大众宝来汽油发动机增压器、依维柯S系列柴油发动机增压器和玉柴柴油发动机增压器的结构与维修进行了介绍。在书写上力求通俗易懂、图文并茂、深入浅出,适用于广大汽车维修人员阅读,也可供大学和职业技术学院汽车专业师生参考。

本书由黑龙江工程学院赵雨旸任主编,王东胜任副主编。第1章由赵雨旸、邢韬、公建立编写;第2章由王东胜编写;第3章由王东胜、李涵武、薛大维、闫雪梅编写。

在本书的编写过程中,参考了有关文献资料,谨向这些作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有不足之处,敬请读者指正。

编 者

2005年1月

内 容 提 要

本书是《汽车专业维修培训丛书》之一，主要介绍了增压器及其增压系统的结构、类型、工作原理、维修与诊断方法。为加强实用性，对保有量较大的丰田发动机增压器、大众宝来汽油发动机增压器、依维柯 S 系列柴油发动机增压器和玉柴柴油发动机增压器的结构与维修进行了介绍。

本书通俗易懂、图文并茂、深入浅出，立足于结构，重点在维修检测，突出实践技能。

本书可作为汽车维修工的培训教材，适用于汽车运用工程技术人员和汽车驾驶员阅读，也可供大学和职业技术学院汽车专业师生参考。

目 录

第 1 章 增压器及其进气增压系统的结构和原理	1
1.1 概述	1
1.1.1 发动机进气增压技术简介	1
1.1.2 发动机进气增压的基本原理	7
1.1.3 增压发动机的特点	10
1.1.4 进气增压系统的分类	11
1.2 机械式增压器及其增压系统	11
1.2.1 概述	11
1.2.2 机械式增压器及其增压系统的结构与原理	12
1.3 废气涡轮增压器及其增压系统	14
1.3.1 废气涡轮增压器的工作原理和总体结构	14
1.3.2 离心式压气机	18
1.3.3 废气涡轮机	22
1.3.4 废气涡轮增压的方式与要求	27
1.3.5 废气涡轮增压系统的其他装置	30
1.3.6 柴油机废气涡轮增压技术	36
1.3.7 汽油机废气涡轮增压技术	45
1.4 复合式增压系统	54
1.4.1 复合式机械增压系统	54
1.4.2 复合式惯性增压系统	57
1.5 进气谐波增压系统	57
1.5.1 概述	57
1.5.2 进气谐波增压的基本原理	58
1.6 气波增压器及其增压系统	62
1.6.1 概述	62
1.6.2 气波增压器及其增压系统的结构与工作原理	63
第 2 章 增压器及其增压系统故障诊断与排除分析	66
2.1 概述	66

2.2 增压发动机常见故障症状诊断分析	67
2.2.1 涡轮增压器压气机的喘振	67
2.2.2 增压压力下降	68
2.2.3 增压压力上升	70
2.2.4 转子的异常振动	70
2.2.5 异响	70
2.2.6 泄漏	71
2.2.7 超温	71
2.3 涡轮增压器的故障诊断及使用	72
第3章 典型增压器及其增压系统维修实例	76
3.1 日本丰田车系增压器及其增压系统的结构与维修	76
3.1.1 涡轮增压器的结构与维修	76
3.1.2 超级增压器的结构与检修	97
3.1.3 进气谐波增压系统结构与检修	112
3.2 大众宝来轿车废气涡轮增压器及其增压系统检修	116
3.2.1 拆装带附件的涡轮增压器	116
3.2.2 拆装增压空气冷却系统部件	117
3.2.3 废气涡轮增压系统示意图	118
3.2.4 检查增压系统	119
3.3 南京依维柯废气涡轮增压器的结构与维修	125
3.3.1 废气涡轮增压器的结构原理	125
3.3.2 涡轮增压器的使用与检修	126
3.4 广西玉柴6112系列柴油发动机涡轮增压器的结构与检修	128
3.4.1 涡轮增压器的结构	128
3.4.2 涡轮增压器在柴油机上的拆装	133
3.4.3 涡轮增压器的拆卸与装配	136
3.4.4 使用增压(中冷)柴油机注意事项	137
3.4.5 中冷器结构与检修	137
3.5 康明斯柴油机涡轮增压器的结构与检修	144
3.5.1 废气涡轮增压器的结构	144
3.5.2 废气涡轮增压器的使用和检修	146
参考文献	151

第1章 增压器及其进气增压系统的结构和原理

1.1 概 述

1.1.1 发动机进气增压技术简介

近年来,发动机进气增压技术已经成为国内外内燃机发展的重要方向之一,过去增压技术主要应用于柴油机上,现在汽油机上也开始大量采用增压技术。这是因为发动机进气增压技术具有许多优点:

- ① 能够提高发动机升功率——提高了发动机的动力性;
- ② 能够降低发动机比油耗和比质量——提高了发动机的经济性;
- ③ 能够减轻发动机排气污染——提高了发动机的排放性;
- ④ 能够扩大发动机变型系列等。

几十年来,世界各国一直十分重视对发动机增压技术的研究,这使增压技术得到迅速发展。随着增压器设计和工艺水平的提高,高温耐热材料的解决,增压器的性能和使用寿命大为提高,体积和质量显著减少,从而使汽车发动机增压技术获得迅速发展。在国内,近年来对汽车发动机增压也同样做了大量的研究工作,并取得了显著成效。

(1) 国外发动机进气增压技术的发展 采用发动机进气增压技术来提高发动机的升功率,提高发动机的动力性,很久以前就为人们所使用。早在1880年德国人就着手研究了增压技术,并将研究成果——机械式增压器装置应用于第一次世界大战期间的飞机上。1885年,德国人戴姆勒(G. Daimler)曾提出汽车采用增压发动机的设想。1907年美国人治特魏契(Chadwich)制成了增压发动机。1909年布希公司提出使用废气涡轮增压技术,到1917年涡轮增压器已获使用。第二次世界大战中,美国人已将这种涡轮增压发动机用于飞机上。轿车用增压汽油机由于第一次世界大战时在飞机上的实用而风靡一时,但因未能发挥其优点而迅速衰落。

1905年,比齐(Alfred J. BÜchi, 瑞士)获得涡轮增压的专利;1917年,法国的拉图(Auguste Rateau)完成了这个设想;1937年出现装有机驱动罗

茨式增压器的柴油机 (Cummins); 1938 年, 赛瑞尔公司初次试制了汽车用增压柴油机。日本在战后 1953 年, 曾在市场上出售同样的机械驱动式增压柴油机。虽然增压柴油机能增加功率, 但由于增压器需要驱动力使燃油消耗增加, 未能占有市场, 而由废气涡轮增压器所代替。日本在 1967 年以后, 生产了实用的涡轮增压发动机。在美国, 由于允许汽车以一定高速度行驶的地区日益增多, 进入 20 世纪 70 年代后, 就迅速普及了增压发动机。

第二次世界大战结束之前增压发动机在汽车上的应用仅局限于赛车上。当时, 增压技术未能在汽车发动机上获得广泛应用, 其原因主要是由于增压器外形尺寸大, 结构复杂, 工艺性差, 增压器的性能满足不了车用发动机的要求。直到战后, 迟迟未能实用的最大原因是装有增压器的发动机存在耐久性, 可靠性问题。迄今为止, 和非增压发动机相比, 机械负荷及热负荷的影响仍是增压发动机最主要的问题。本来, 利用排气能量提高效率的增压发动机, 却迟迟未能普及的另一个原因是在频繁加减速及经常使用部分负荷的工况下, 难以发挥降低燃油消耗的功效。此外, 还有加速响应慢、转动机件和容积形机件的配合等基本问题没有解决。影响汽车发动机增压技术发展的具体原因如下:

① 当时采用的增压器主要是单级轴流式, 其小型化受到很大限制, 因为轴流式增压器的效率, 随着结构尺寸的缩小而迅速下降;

② 若要提高压气机的压比, 必须提高涡轮增压器的转速, 而当时增压器所用的滚珠轴承很难适应高速运转的要求;

③ 车用发动机经常处于较小的空气过量系数下工作, 排气温度高, 涡轮材料的高温性能亦成问题;

④ 增压器转子的转动惯性大, 加速性能差;

⑤ 增压发动机的低速扭矩特性差等。

由于上述原因, 影响了汽车发动机增压技术的发展。直到 20 世纪 50 年代后期, 随着增压器工艺水平不断提高和增压器性能不断完善, 废气涡轮增压技术在汽车发动机上的应用才开始兴旺起来。特别是径流式涡轮增压器的采用, 实现了增压器结构的小型化。通过采用耐热高强合金, 解决了涡轮耐高温 (650℃ 以上) 的性能; 应用全浮式滑动轴承, 解决了增压器转子高速运转的问题, 其转速可达 150000r/min, 甚至更高, 从而使涡轮增压器的结构尺寸进一步缩小; 通过对叶轮内部流动的研究, 使小流量的离心式压气机和径流涡轮的效率不断提高, 流量范围越来越宽广。这样, 使增压发动机获得令人满意的性能。

当前, 由于汽车一方面在向高速、重载方向发展, 对发动机的动力性和燃料经济性提出更高的要求; 另一方面发动机尾气的排放污染, 各国排放法规的

日益苛刻，使人们极力寻求减小大气污染的措施。这种种方面的原因，使汽车发动机进气增压技术获得迅速发展，其中以美国、英国、德国、瑞典等国家发展较快。在美国，10L以上排量的柴油机几乎全部采用增压技术，小排量柴油机和汽油机采用增压技术也占相当大的比重。欧洲次之，日本发展较晚，20世纪70年代后才批量生产，现增压发动机正处于大力发展之中。

发动机增压方法很多，其中涡轮增压器在技术上最为成熟，并具有很多突出的优点，因此涡轮增压成为汽车发动机增压的主要类型而获得广泛应用。此外，在研究和发发展废气涡轮增压系统的同时，其他增压系统也相继有所发展，例如气波增压系统。早在1913年就有人提出利用气波来传递能量的设想，1941年~1943年瑞士BBC公司研制了一台气波增压器，最大压比为3左右，全机效率69%。但在以后的数年中，其试验研究都不十分理想，直到20世纪50年代才基本上解决了其中的技术问题，较为成功地应用于汽车上。如美国一家公司在1959年于柴油机上装配了一台气波增压器，功率为180马力，比油耗175克/马力小时，压比为2.3，行驶3万公里，情况正常，性能良好。瑞士BBC公司对这种气波增压器进行了深入研究，将这种增压器装置应用于汽车上，其性能已达到甚至于超过了废气涡轮增压器。气波增压具有许多独特的优点，如性能好、效率高达85%以上、对材料要求低、结构简单等。

(2) 国内发动机进气增压技术的发展 我国汽车工业起步较晚，对增压技术的研究更晚。但随着我国汽车工业的不断发展，技术水平的不断提高，对发动机增压也进行了大量的试验研究。1954年，针对西藏高原行车特点，我国有关部门对机械式增压进行了实地试验研究。1958年后，又对废气涡轮增压进行了试验研究。并先后在6350G、4135G、6135G、12V135G、6146G等原有柴油机型上进行了废气涡轮增压的匹配试验研究，取得了可喜成果，并将它们列为产品。这些机型增压后，一般都可提高功率30%~50%，已实际装车使用。

国内在小型柴油机上实施“惯性增压”也有重大突破，惯性增压尽管提高动力有限，但结构相当简单，成本低廉，改装容易，效果可观，很有推广价值。有关部门先后在195、290、490等小型柴油机上匹配惯性增压系统，成功地把发动机的功率提高20%~25%，为充分发挥我国小型柴油机动力装置的性能开辟了新的途径。

我国是具有高原、平原、丘陵等综合地形的国家。汽车在高原行驶，其动力性能降低很多。试验证明，当海拔每升高1000m，发动机的功率将下降8%~12%（柴油机偏低值，汽油机偏高值）。若在青藏高原上对发动机进行涡轮增压，即可将其功率恢复到平原地区的水准。因此对高原使用的发动机进行

增压，具有重要的国防意义和经济价值。此外，在海拔低的平原丘陵地区对发动机增压，可改善发动机的性能，对大力发展拖挂运输，提高生产率，节约燃油，仍具有相当重大的现实意义。

总之，发动机进气增压技术是提高发动机升功率、改善其经济性的重要途径，是内燃机重要发展趋势之一。

(3) 汽油机进气增压技术的发展 汽油机进气增压技术差不多已有半个世纪的发展历史。虽然它经历了一条漫长的坎坷不平的发展道路，但终于进入技术上的成熟期。由于汽油机和柴油机各自的工作特点存在很大差别，特别是在混合气的形成和燃烧方式上对增压性能有着极大的影响，使汽油机进气增压在技术上确实要比柴油机增压难得多。在国外，早年也只着重于发展柴油机增压技术，而在汽油机增压方面的研究不多。汽油机进气增压首先在赛车上崭露头角，因为它能充分满足赛车对发动机高性能的要求。除赛车（高度强化发动机）和特殊情况（作为恢复高原车辆动力的手段）应用外，其他如载重汽车汽油发动机增压就很少应用。但是近年来，由于城市污染和噪声公害越来越严重，各国法规控制越来越严格，这就促进了小客车汽油发动机涡轮增压技术的发展。20世纪70年代后，它被作为一种改善汽车燃料经济性以及减少排气污染的手段而得到迅速发展。同时汽油机进气增压技术作为高海拔地区功率恢复的一种措施而显示了它独特的优越性。因此越来越引起人们的重视。国外不少厂家于20世纪70年代后期相继批量生产增压汽油发动机并投入市场，例如德国Porsche公司、BMW公司，瑞典SAAB公司以及曼雪特等公司。美国通用汽车公司在1978年生产了50000辆装有涡轮增压V6发动机的小客车供市场销售，并推出了1979型样车。福特公司也在1979年后将四缸增压发动机小客车大批投入市场，与其他公司生产的大功率小客车相竞争。

汽油发动机与柴油发动机在工作原理上存在着一些差异，主要是汽油机进入汽缸的不是纯空气，而是汽油与空气的混合气，压力过大，容易爆燃。一台发动机装上涡轮增压器后，其输出的最大功率与未装增压器的相比，可增加大约40%，甚至更多，而且还能提高燃油经济性和降低尾气排放；但对于汽油机来说，增压后提高了缸内混合气压缩和燃烧气体的温度和压力，增加了燃烧室受热零件的热负荷，很容易产生爆震，从而使发动机的机械性能、润滑性能受到影响。这就是至今为止增压技术在汽油机上应用存在的主要问题。因此，安装涡轮增压器必须要避免爆燃，这里涉及两个相关问题，一个是高温控制，另一个是点火时间控制。汽油机排气温度比柴油机高，而且不宜采用增大气门重叠角（进、气排门同时开启的时间）方式来加强排气降温，降低压缩比又会造成燃烧不充分。还有，汽油机的转速比柴油机高，空气流量变化大，很容易

造成涡轮增压器反应滞后。针对汽油机使用涡轮增压器出现的一系列问题，研究人员有针对性地做了改进，终于使汽油机也能应用废气涡轮增压器。

汽油机增压的发展史也是小型高性能增压器的发展历史。随着增压器性能指标的逐步提高，生产成本的降低，可靠性的提高以及越来越小型化、通用化，汽油机增压技术也得到发展。现在越来越多的汽油发动机也采用了涡轮增压器，但显然不如在柴油机上用得普遍。因为汽油和柴油的燃烧方式不一样，因此发动机采用涡轮增压器的形式也有所区别。

涡轮增压器吸进的空气经压缩，温度提高了，在流动时与进气管壁摩擦还会进一步增高，这样不仅影响充气效率，还容易产生爆燃。因此要装置降低进气温度的设备，这就是中冷器。它安装在涡轮增压器出口与进气管之间，对进入汽缸的空气进行冷却。中间冷却器就是一个空气散热器，用风冷却或者水冷却，空气的热量通过冷却而逸散到大气中去。据测试，性能良好的中间冷却器不但可以使发动机压缩比能保持一定值而不会产生爆燃，同时降低温度也可提高进气压力，进一步提高发动机的有效功率。

除了通过降低温度来减少爆燃的可能外，还要采用爆燃传感器来监测增压后的状态。它的作用就是在产生爆燃之时，传感器感到不正常的振动会立即将信息反馈至发动机 ECU（电子控制单元）控制系统，适时调整点火正时。

由于轿车汽油机的转速比柴油机高，空气流速快而且变化范围大，因此它对涡轮增压器有更高的要求。涡轮增压器的压缩叶轮外形是复杂的三元曲面超薄壁叶轮片，一般有 12~30 个叶片，呈放射线状曲线排列，叶片厚度在 0.5mm 以下，用铝材经特殊铸造法制作。叶片形状的优劣直接影响到涡轮增压发动机的性能。叶轮形状角度越合理，质量越轻，叶轮的启动就越灵敏，涡轮增压器的天生缺陷“反应滞后”也就越小。

现代轿车发动机已普遍采用电子喷射系统，在电子控制技术及新材料的配合下，涡轮增压器在汽油机上的应用也日益普遍。有人认为：在电子控制汽油喷射、电子控制点火的发动机上进行涡轮增压将是一次内燃机的技术革命，在燃料经济性方面可以与柴油机媲美。

目前汽油机增压的发展倾向主要表现在以下几个方面。

① 废气涡轮增压与电子控制燃油直接喷射相结合，使发动机的动力性能和燃油经济性能提高到一个新水平。这种倾向在西欧表现更为突出，如德国的 BMW、Porsche 924，瑞典的 SAAB 汽车等。前苏联在吉尔 130 汽车上也曾采用过类似的系统，并在高加索山区做过试验。

② 发展流量范围宽，效率高的进气增压系统。车用汽油发动机的速度范围比较宽，因此发动机进气质量流量的范围也较宽，这就要求增压器具有宽广

的流量范围，以适应汽油机的要求。同时要求低转速和高转速均有高的效率，一方面提高增压器低转速的效率，可以使低转速时也具有较高的增压压力，使发动机低速扭矩特性得到改善，从而使汽车获得良好的加速性；另一方面在高转速下有较高的效率，可以使发动机在相同增压比情况下，具有较低的进气温度，从而降低发动机的热负荷，并使排气温度降低，可以改善涡轮的工作条件，提高增压器的可靠性。目前要保证高、低流量范围都具有高效率的增压器还没有，因此一般还要辅之以其他方法来实现良好的匹配。其方法如下。

a. 采用后弯叶片的压气机叶轮。后弯叶片的压气机流量范围比较宽广，流量范围随着后弯角的增大而增大，且后弯叶片压气机的效率高。但是，由于后弯角的增大，使压气机叶片强度下降，压气机的压头系数也降低。这样，在保持同样压比的情况下，需要增大压气机叶轮直径或在同样叶轮直径的情况下需要提高增压器转速。这就相应的提高了对强度的要求，同时使叶轮转动惯量增大，影响增压器的反应时间。采用增压器与发动机在中速范围内达到最佳匹配的方法，使低速时也具有一定的增压比，以改善中低速时的扭矩特性，在高速时用排气放气阀旁通一部分燃气来控制增压压力，这是目前常用的方法。

b. 采用可调式进气口或可变截面喷嘴的涡轮，它用调整涡轮前的进气压力来控制涡轮功率，比排气放气阀调节方法更为有效。可变截面喷嘴的涡轮，在发动机低速时，自动关小喷嘴截面，使增压器具有较高的转速和较高的压比。在发动机高速时，喷嘴截面增大，以降低压比和增压器转速。这无论对发动机性能、防止爆震、降低发动机的机械负荷和热负荷还是提高增压系统的可靠性都是有利的。这种可变截面喷嘴的涡轮，对应用于高原功率恢复的增压系统特别有利。改变喷嘴截面积用膜盒来控制，可使发动机在一定海拔高度（临界高度）下，均能保持平原地区的功率。前苏联曾在吉尔 130 汽车增压发动机上采用过这种装置。印度普娜军备工业学院也曾试验过类似装置。这种装置的缺点是结构复杂，操纵系统可靠性差。

③ 增压汽油机采用电子点火自动控制装置。采用电子点火控制装置能保证增压发动机在任何工况下，都处于最佳点火提前角值，这无疑对提高发动机性能有很大益处。美国通用汽车公司生产的 Buick V6 汽油机就是采用这种装置。

④ 降低增压器成本，提高可靠性。这是增压技术能否在普通载客汽车和载货汽车上应用推广的关键问题。采用先进的工艺技术，减少零件数量，尽量采用通用性结构，增大生产批量等，生产成本将会降低。提高可靠性，可以从增压器本身的设计、制造和材料上想办法。例如采用高耐热合金的涡轮和涡轮壳。此外提高制造精度和动平衡精度也是提高可靠性的重要方法。在使用上保

证增压器的使用要求，如保证轴承的润滑和冷却，防止增压器超速和喘振等也是极为重要的。因此，提高增压器可靠性以满足汽油机增压性能的要求是制造和使用部门共同关心的问题。

⑤ 采用增压加中冷的增压系统。汽油机增压存在的主要问题仍然是爆震和热负荷问题。采用中间冷却装置是提高功率，防止爆震，降低热负荷的有效措施之一。

⑥ 改善增压器的“反应滞后”现象。在车用变工况使用场合，增压器反应时间问题尤其突出。从使用角度看，反应时间愈短愈好。变截面涡轮增压器的反应时间最短。反应时间短有利于增压器的加速，因此它影响着汽车的加速性能。

1.1.2 发动机进气增压的基本原理

(1) 发动机进气增压的基本理论 进气增压是提高发动机升功率的有效方法之一。所谓增压，就是利用专门的装置（增压器）将空气或者可燃混合气预先进行压缩，再送入发动机汽缸的过程。虽然汽缸的工作容积不变，但因增压后，每个循环进入汽缸的新气密度增大，使实际充气量增加，这样可以向缸内喷入更多的燃料而获得充分燃烧，因此提高了发动机的升功率和总输出功率。一般来讲，增压压力愈高，充入汽缸的新气密度就愈大，发出的功率也就愈高。

发动机的有效功率为

$$P_e = \frac{i p_{me} V_s n}{30 \tau} \quad (1-1)$$

$$V_s = \frac{\pi D^2}{4} S$$

$$C_m = \frac{S n}{30}$$

式中 i ——缸数；

p_{me} ——平均有效压力，kPa；

V_s ——工作容积， m^3 ；

n ——发动机的转速，r/min；

τ ——冲程数；

D ——活塞直径；

S ——活塞行程；

C_m ——活塞的平均速度。

由式 (1-1) 可知，发动机的有效功率 P_e 与其结构参数 D 、 S 、 i 、 τ 和活

塞的平均速度 C_m 及发动机的平均有效压力 p_{me} 有关。也就是说, 要提高发动机的功率, 可通过改变发动机的结构参数 (i 、 D 、 S 、 τ)、提高发动机转速 n 和活塞平均速度 C_m 、提高发动机的平均有效压力 p_{me} 来实现。然而, 上述因素中, 有的互相促进, 有的受到制约。例如, 增加汽缸数 i 在使总功率增加的同时, 必然使结构复杂化; 过多地扩大缸径 D 、增加行程 S , 会导致机器笨重, 给加工、安装、维修带来困难等。

提高发动机的有效升功率主要有两个途径: 一是提高发动机的转速, 向高速发动机发展; 另一是提高进气压力和降低进气温度, 即增压和中冷。提高发动机转速将受到活塞平均速度的限制, 目前车用柴油机活塞平均速度已高达 $11\sim 12\text{m/s}$, 继续提高活塞平均速度的潜力已很小, 这是因为充气效率和机械效率将随活塞平均速度的提高而显著下降。此外诸如噪声、燃烧系统、经济性、机械惯性力、可靠性以及机件寿命等因素也限制着活塞平均速度的提高。对汽油机而言, 随着转速的提高, 进气速度增加, 进气压力减小, 余气压力增加, 因而充气效率减小, 这是限制高速发动机最大功率的主要因素。因此, 提高发动机的功率最好是采用提高平均有效压力 p_{me} 的方法, 而提高平均有效压力的主要方法是通过控制过量空气系数、提高充气效率和增加进入汽缸的充气量密度 ρ_0 来实现。改善换气质量、提高热效率、对提高发动机功率均有明显效果, 但潜力不是很大。然而, 通过增压来提高充气量密度, 不仅可以提高功率几成, 甚至几倍, 同时可以改善燃烧过程, 提高经济性, 减少废气中的 HC、CO 及碳粒, 降低噪声。因而, 增压是内燃机发展的重要方向。有不少工业化先进的国家已将增压机作为内燃机的基本机型。也因此我们说: 所谓增压, 就是设法提高进入汽缸的充量密度, 使进入发动机的新气量增加, 这就可以燃烧更多的燃料, 使平均有效压力提高, 从而提高功率。

增压可以提高发动机的功率, 但增压器本身所消耗的功率和增压器效率直接影响着发动机的有效功率和燃料经济性。机械式增压器要消耗一部分曲轴功, 因此其燃料消耗一般都高于非增压的发动机。发动机在膨胀过程终了时, 排出的废气能量占有相当大的比重, 有效利用的热量仅占 $20\%\sim 40\%$ 。如能利用涡轮使高温废气再次膨胀而加以利用, 就可使增压器所需的功率由涡轮提供, 无需消耗曲轴上的有效功率, 这样可提高增压发动机的有效效率, 改善其经济性。废气涡轮增压器和气波增压器等即是实现这种废气能量回收的装置。安装这种装置大约可回收总燃料热量的 $5\%\sim 10\%$ 。废气涡轮增压发动机与机械式增压器不同之点在于排气过程与涡轮相连, 排气能量获得利用, 进气压力也高。增压后, 由于进气压力提高, 致使进入汽缸的新气比重得到提高, 充气量增加, 能量转换增加, 因此功率得以提高。此外, 增压发动机的机械损失功