

涡轮增压器

无锡动力机厂编

机械工业出版社

涡轮增压器

无锡动力机厂编

机械工业出版社

本书对柴油机增压的概念，涡轮增压器的基本原理、性能、结构、试验以及和柴油机配套试验等方面作了较为通俗的叙述；对涡轮增压器的使用保养，常见故障排除和易损零件制造的基本知识作了详尽的介绍。

这是一本技术普及读物，可供增压柴油机使用工人、涡轮增压器修理工人学习之用。也可供有关的技术人员、管理干部参考。

涡轮增压器

无锡动力机厂编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 $1/32$ · 印张 $4^{14}/_{16}$ · 字数 104 千字

1974年11月北京第一版·1974年11月北京第一次印刷

印数00,001—21,000 · 定价0.35元

*

统一书号：15033·4251

毛 主 席 语 录

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

柴油机利用涡轮增压器进行增压，是提高功率、改善经济性、降低单位马力重量和节约原材料的最有效的技术措施之一。是柴油机发展的大势所趋。

在伟大领袖毛主席亲自制定的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线的光辉指引下，从1958年以来，我国有关工厂、学校、科研单位进行了涡轮增压器的生产和试验研究工作，取得了很大的成绩，从而促进了增压柴油机的发展。

我厂自1953年开始，在广大工人群众的积极努力和兄弟单位的支持下，先后试制和生产了九种型号的涡轮增压器及若干变型产品，和十几种柴油机机型进行了配套，使柴油机的功率提高了30~100%，甚至更多，柴油机的单位马力重量、体积和燃油消耗率都有显著减少，而柴油机的工作可靠性、使用寿命并不降低。效果是很显著的。

为了大力普及和推广涡轮增压技术，很需要一本通俗的读物。尽管我们这方面的知识肤浅，经验不多，但为了普及和推广这一技术，我们组织了工人、技术人员、领导干部三结合的编写小组编写了《涡轮增压器》这本书。

西安交通大学内燃机教研室对本书进行了详细的审阅，在此谨表感谢。

由于我们的水平有限，错误和不妥之处一定不少，殷切地希望读者提出宝贵意见。

目 录

第一章 柴油机增压概论	1
第一节 柴油机增压是提高功率及经济性的有效措施	1
第二节 柴油机增压系统的分类	5
第三节 涡轮增压器的结构与原理简介	10
第四节 两种基本的涡轮增压系统	14
第五节 涡轮增压器在柴油机上的布置	18
第六节 涡轮增压器型号编制规则及系列化概念	20
第二章 离心式压气机	23
第一节 离心式压气机的工作原理	24
第二节 压气机性能	27
第三节 离心式压气机的结构	32
第三章 燃气涡轮	44
第一节 燃气涡轮的分类	45
第二节 燃气涡轮的基本组成部分及工作原理	47
第三节 燃气涡轮的特性	50
第四节 燃气涡轮的结构	51
第四章 涡轮增压器的轴承、供油装置及密封装置	62
第一节 涡轮增压器所用的轴承	62
第二节 轴承的结构	63
第三节 轴承的冷却和润滑	69
第四节 涡轮增压器的密封装置	70
第五章 涡轮增压器的平台试验	76
第一节 压气机性能试验的装置	76
第二节 试验用仪器和仪表	79
第三节 试验时的调整	85

第四节	试验数据的整理	89
第六章	涡轮增压器与柴油机的配合特性及其调整	93
第一节	涡轮增压器与柴油机配合的一般要求	93
第二节	涡轮增压器与柴油机的配合特性	94
第三节	涡轮增压器与柴油机配合特性的调整	96
第四节	柴油机增压后参数的调整	100
第五节	涡轮增压器与柴油机配合举例	103
第七章	涡轮增压器的拆装、使用和保养	110
第一节	拆装	110
第二节	使用和保养	117
第八章	常见故障及其排除方法	124
第一节	增压压力下降	124
第二节	增压压力上升	129
第三节	涡轮进口温度过高	130
第四节	涡轮增压器转速降低	130
第五节	涡轮增压器压气机部分发生喘振	131
第六节	涡轮增压器强烈振动	132
第七节	涡轮增压器润滑油回油温度过高	132
第八节	涡轮增压器冷却水温度过高	132
第九节	压气机壳、涡轮壳气窗向外喷油	133
第十节	涡轮增压器产生不正常噪音	133
第九章	涡轮增压器易损零件的制造	134
第一节	密封垫片	134
第二节	锁紧垫片	135
第三节	油封环	137
第四节	滑动轴承	142

第一章 柴油机增压概论

近百年来内燃机的迅速发展结束了十九世纪以前的“蒸汽机时代”，把动力机械推进到一个新的阶段。现在内燃机已广泛应用于国民经济各部门，成为工业、农业、交通运输业等部门重要的动力机械。

“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。”国民经济的飞速发展促使内燃机要不断革新。如何提高性能，强化内燃机呢？这一直是人们精心研究的课题。一九二六年内燃机脉冲增压试验第一次获得了成功，这为提高内燃机性能闯出了新路。此后，增压技术突飞猛进，特别是近二、三十年，涡轮增压在提高柴油机性能方面取得了极为显著的成效，越来越多的柴油机装置了涡轮增压器。因此，从提高柴油机性能的观点来看，采用涡轮增压器已是当前柴油机发展的大势所趋。

本章对柴油机增压作概念性的介绍，以使读者对柴油机增压有一般性的了解。

第一节 柴油机增压是提高功率及经济性的有效措施

一、什么叫柴油机增压

大家知道，柴油机输出的机械功是由柴油在气缸内燃烧

产生的热能转化而来的。输出功的大小取决于进入气缸的燃油和空气的数量以及热能的有效利用程度。

因此，要提高柴油机的功率，就必须向气缸内喷入更多的柴油，并使它充分燃烧。要增加气缸内的柴油并不难，只要加大燃油泵的供油量就可以了。但要使柴油充分燃烧，则必须同时增加进入气缸的空气量，也就是“充量”。在柴油机进气管直接与大气相通的条件下，只有加大气缸容积，才能增加进气量。在气缸容积保持不变的条件下，要增加充量，就必须增加进气的密度。进气的密度与进气压力和温度有关。当压力升高时，气体分子间的距离缩小，密度增加。当温度降低时，气体收缩，气体分子间距离减小，也使密度增加。由此可知，增加压力和降低温度都能达到增加进气密度的效果。但在柴油机增压中，目前主要是采用增加压力的方法，只有在高压增压时，才把降低进气温度作为辅助手段，即所谓的中间冷却。因此，我们把提高进气压力增加充量的方法称为柴油机增压。

一般的四冲程柴油机进气压力约为 $0.8 \sim 0.95$ 大气压，增压后进气压力将超过 1 大气压，甚至高达 3 大气压。这就大大的增加了充量，并深刻地改变了柴油机的工作过程和性能指标。

二、柴油机增压提高了升功率和经济性

1. 柴油机采用涡轮增压后升功率大大提高 柴油机装上涡轮增压器后，一般可使功率增加 $30 \sim 100\%$ ，甚至更多。实验证明：只要将不增压柴油机的进、排气管改变一下，使它适合于涡轮增压器的安装要求，其它零件不必作任何改变，就可加大供油量，使柴油机的功率增加 $20 \sim 30\%$ 。例如黄河牌汽车上的 6135 柴油机原来不增压时输出功率为 160 马力，

装上涡轮增压器后，加大了供油量，就使输出功率增加到208马力，功率增加30%。我们在其它机型上也做过同样的试验，柴油机的功率都获得了提高。如果对要增压的柴油机做更完善的改进，例如，增加运动件的刚度和强度，改变配气机构及配气相位，调整燃油供给系统等，则柴油机的功率可增加100%以上。

由于柴油机采用涡轮增压并不增大缸径和冲程，气缸容积与增压前是一样的，这就使单位气缸容积发出的功率，即升功率得到大幅度的增加。

由此可见，柴油机采用涡轮增压后，可以在整机体积变化不大的情况下，发出原柴油机的1.5倍、2倍、甚至2倍以上的功率，这就使同一型号的柴油机，因采用不同的增压程度，获得几种功率指标，从而进一步扩大了柴油机的产品系列。

2. 柴油机采用涡轮增压后，燃油消耗率可以降低，经济性得到提高。柴油机采用涡轮增压后，一般能使燃油消耗率降低3~10%。如前所述的6135柴油机原燃油消耗率为175克/马力小时，增压后燃油消耗率为165克/马力小时。然而，为什么采用涡轮增压会使燃油消耗率下降呢？

这里主要从两方面说明：其一，增压柴油机的供油系统和燃烧过程如果组织得好，可使热效率提高；其二，涡轮增压器不消耗有效功，机械效率在适度增压时亦有所提高。

燃烧过程进行得如何，对经济性影响很大，为了便于说明问题，在此引入过量空气系数 α 的概念：

$$\text{过量空气系数 } \alpha = \frac{1 \text{ 公斤燃料燃烧的实际消耗空气量 } l}{1 \text{ 公斤燃料完全燃烧的理论空气量 } l_0}$$

α 大说明可燃混合气浓度小， α 小说明可燃混合气浓度大。

要使燃料完全燃烧，从理论上讲， α 等于或大于 1 都可以，实际上，柴油机中燃料要完全燃烧， α 必须大于 1，同时燃料与空气混合要均匀。柴油机增压后由于充量增加，能够满足这两个条件。低速和中速增压柴油机通常 $\alpha = 1.8 \sim 2.2$ ，高速增压柴油机通常 $\alpha = 1.6 \sim 2.0$ ，比不增压时增大 10%~30%。增压后由于气缸中空气密度增加，对燃料和空气的混合总的说来有好的影响。此外，增压后使柴油机的着火落后时期（从燃料喷入气缸到开始着火燃烧这段时间）缩短，从而使燃烧过程变得“柔和”。

由此可知，增压使燃烧过程变得完善、“柔和”，燃料所含能量的利用率提高了，也即提高了柴油机的热效率。

当然，如果供油规律配合得不好，尽管燃烧完全，但后燃现象会变得严重，传给冷却介质的热量会增多，也会导致热效率有所降低。但这种情况是可以避免的。

同时，由于涡轮增压器与柴油机不发生机械联系，所以不消耗有效功。在适度增压的情况下，尽管增压后作用在运动件上的压力增加会引起机械损失的增加，但这与有效功率的增加相比不占主导地位，因此，增压柴油机的机械效率还是有所提高。例如，四冲程非增压柴油机机械效率 $\eta_m = 0.70 \sim 0.85$ ，四冲程涡轮增压柴油机机械效率 $\eta_m = 0.8 \sim 0.9$ 。

可见，涡轮增压柴油机燃油消耗率下降主要是热效率和机械效率提高所致。

通过以上对于原理的叙述，我们还可以得到解决柴油机排气冒烟的有效方法。

我们经常看到汽车、拖拉机和内燃机车在重载、上坡和加速时，排气管“扑扑”地冒黑烟，这是因为超载和突然加速时，要维持柴油机继续运转就必须向气缸里多喷油（如果

不多喷油，突然加大载荷会将车闷死），但这时进入气缸里的空气量并没有变，过量空气系数 α 小了，空气不足，燃烧不完全，燃料中不能完全燃烧的碳便形成很多微小的碳粒夹杂在废气中，使得排气管冒黑烟。

柴油机在长期的冒黑烟状态下工作是不允许的。黑烟不但使积炭现象加剧，对喷油器、活塞、活塞环、气门、气缸盖等零件的工作不利，而且浪费了燃料，加剧了环境污染。

增压可以加大过量空气系数 α ，使燃烧完全，功率提高，这正好解决了排气冒烟的要害，所以采用增压的柴油机，即使是上坡和重载也不再会冒黑烟。

此外，柴油机采用增压后，其重量增加比其功率增加小得多，从而降低了柴油机单位马力的重量，减少了原材料的消耗。这也是增压柴油机的优点之一。

第二节 柴油机增压系统的分类

一、常见的增压系统的分类

实现柴油机增压的所有附件的组合通常称为柴油机增压系统，增压器是其中最主要附件。常见的增压系统一般是根据驱动增压器的能量来源分为如下三种：

1. 涡轮增压系统 在该系统中，涡轮增压器的涡轮端的涡轮进气壳（燃气进口）与柴油机的排气管路相接，压气机端的集气器（压缩空气出口）与柴油机的进气管路相接（图1-1）。柴油机排出的燃气（一般称为废气）驱动涡轮增压器的涡轮旋转，涡轮与压气机同轴连接，压气机便被涡轮带动旋转。压气机旋转作功，将外界空气进行压缩并沿进气管道输送到柴油机气缸。在涡轮增压系统中，涡轮增压器与柴油机无任何机械联系，驱动涡轮增压器的能量来源于柴油机排

出的燃气，这样涡轮增压器便利用了柴油机排出燃气的部分能量，因此比较优越。

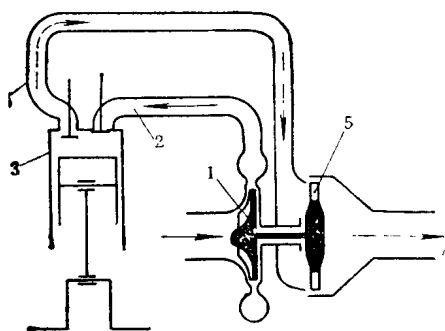


图1-1 涡轮增压系统示意图

1—压气机；2—进气管；3—柴油机气缸；4—排气管；5—涡轮

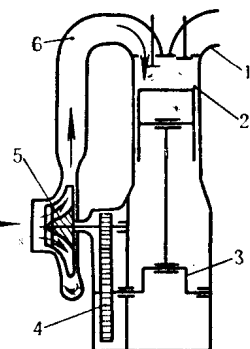


图1-2 机械驱动式增压系统示意图

1—排气管；2—柴油机气缸；3—曲轴；4—齿轮；5—压气机；6—进气管

2. 机械驱动式增压系统 该系统中增压器的转子（即压缩和输送空气的压气机），由发动机的曲轴通过齿轮、皮带、链条等传动装置带动旋转，从而将空气压缩并输送给气缸（图1-2）。这种系统中采用的增压器的主要型式有：转子-叶瓣式（又称罗茨式）（图1-3）；转子-滑片式（图1-4）；还有离心式和轴流式压气机。

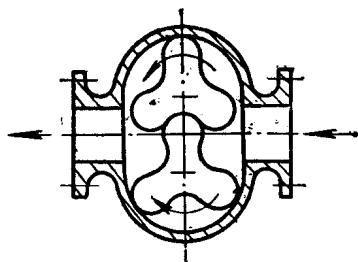


图1-3 罗茨式压气机示意图

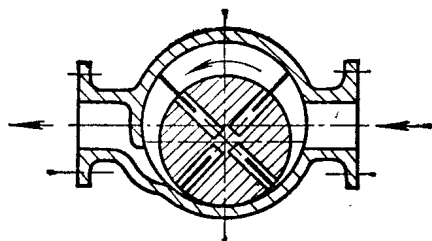


图1-4 转子-滑片式压机示意图

采用机械驱动增压系统由于要在发动机上装一套传动机构，因此使发动机结构复杂、体积增加；又要消耗一部分有效功率，使得发动机经济性降低。当增压压力提高时，消耗于驱动增压器的功率迅速增加，达到一定的增压压力时（罗茨式为 1.6 公斤/厘米^2 ，离心式为 2.8 公斤/厘米^2 左右），消耗于驱动增压器的功率大于发动机由于增压所提高的功率，发动机的输出功率便开始下降，失去了增压的意义。转子-滑片式增压器主要在功率不大（300马力以下）的发动机中作扫气泵和增压用，由于滑片容易磨损和咬死，所以应用不广。罗茨式增压器结构简单，工作可靠，寿命较长，运转范围较大，在增压压力不超过 1.35 公斤/厘米^2 的情况下，较广泛地用于柴油机扫气和低增压。

3. 复合式增压系统 在这种系统中既采用涡轮增压器又采用机械驱动增压器，故称为复合式增压系统。

某些大型二冲程柴油机常用复合式增压系统。该系统中的机械驱动增压器用于协助涡轮增压器工作，以便在低负荷、低转速时获得较高的进气压力，从而保证二冲程柴油机在起动、低速和低负荷时所必须的扫气压力。有时，对排气背压较高的柴油机，如水下运行的柴油机，要得到较高的增

压压力也常采用这种系统。

复合式增压系统有两种基本型式，即串联增压系统和并联增压系统。

在串联增压系统中（图1-5 a），空气先经过涡轮增压器的压气机，然后再送入机械驱动的压气机作第二次压缩，最后再送入气缸。由于空气经过二次压缩，所以增压压力较高。但是由于空气“串联”通过两个增压器，两种压气机均需按全负荷时的空气流量设计，因此，这种系统的体积较庞大。

在并联增压系统中（图1-5 b），空气并列经过涡轮增压

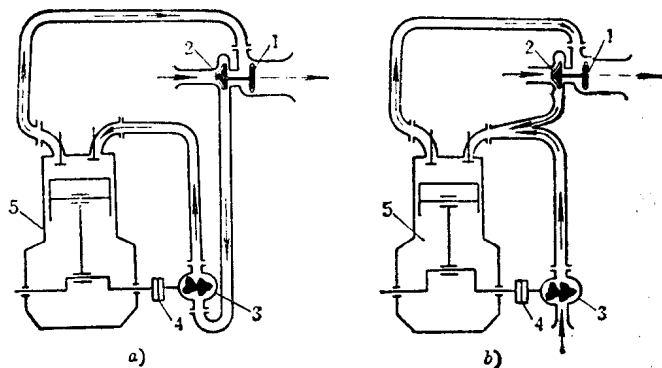


图1-5 复合式增压系统的两种基本型式

a) 串联增压系统； b) 并联增压系统

1—涡轮增压器涡轮；2—涡轮增压器压气机；3—机械驱动增压器压气机；4—传动机构；5—柴油机

器和机械驱动增压器，同时送入气缸，每个增压器仅通过一部分空气，增压器尺寸可以小一些，因此这种系统的体积较小。

目前有些二冲程柴油机已成功地用涡轮增压系统来代替

复合式增压系统，简化了增压柴油机的结构，这是一个令人注目的动态。

二、涡轮增压系统与机械驱动增压系统的比较

(1) 涡轮增压系统有较高的有效效率。即当两种增压方式的指示功率（气缸内发出的功率）相同时，涡轮增压系统的有效功率（曲轴输出的功率）较高。

(2) 涡轮增压系统的结构紧凑，体积较小。

(3) 涡轮增压柴油机的特性较好。从图(1-6)柴油机的外特性可知，涡轮增压柴油机在低速时的增压压力 P_t 总是

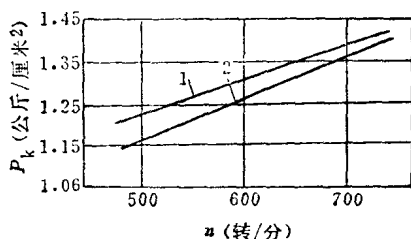


图1-6 增压压力沿柴油机外特性的变化

1—涡轮增压；2—机械驱动增压

高于机械驱动式的。从图(1-7)柴油机的负荷特性可知，在部分负荷时，涡轮增压柴油机的燃油消耗率总是低于机械驱动式的，而且负荷越小，两者的差值越大。这是因为在低负荷时，机械驱动式增压器所消耗功率虽大致不变，但所消耗的功率与有效功率之比的百分率却增加了。因而燃油消耗率随着增加了。

(4) 涡轮增压器若采用小惯量的转子，其工况适应性

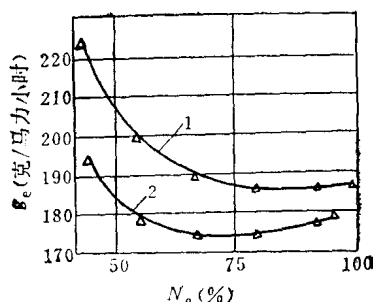


图1-7 燃油消耗率沿负荷特性的变化

1—机械驱动增压(离心式压气机); 2—涡轮增压

可以与机械驱动式增压器相媲美。在负荷突然加大时, 也能很快适应, 不致冒烟。

(5) 机械驱动增压器的成本较低。

通过比较, 可见涡轮增压系统优点多于机械驱动增压系统, 这正是我们推荐优先应用涡轮增压器的原因。

第三节 涡轮增压器的结构与原理简介

一、涡轮增压器的结构

涡轮增压器通常由涡轮和压气机两个主要部分以及支承装置、密封装置、冷却系统、润滑系统所组成。

根据涡轮增压器所采用的涡轮型式不同, 通常把涡轮增压器分为三种: 燃气沿涡轮径向流动的称为径流式; 燃气沿涡轮轴向流动的称为轴流式; 燃气既不沿径向也不沿轴向而是介于这两者之间的斜向流动的称为混流式, 这种型式的涡轮增压器目前应用得不广泛。本节仅以10ZJ径流式涡轮增压器和40GP轴流式涡轮增压器为例, 说明涡轮增压器各组成部分。