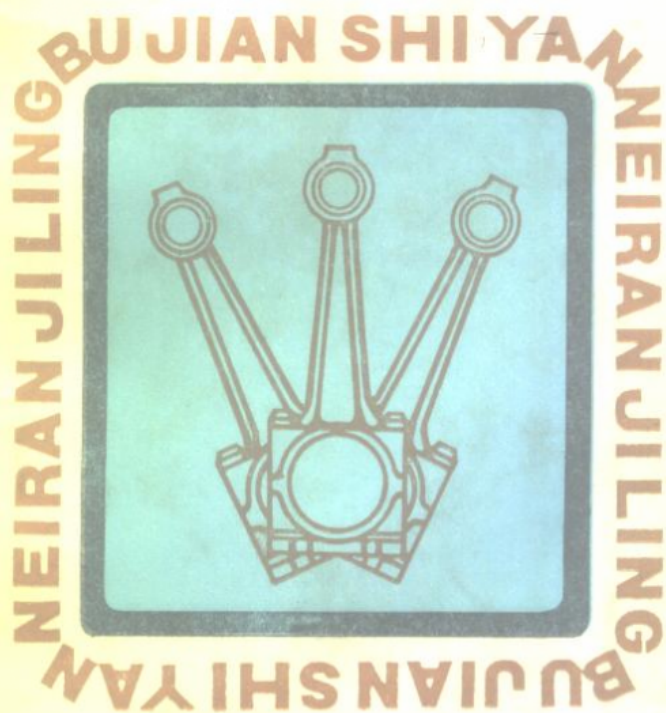


内燃机零部件 试验

王福民 编著



048562

内燃机零部件试验

王福民 编著

天津科学技术出版社

348562

内
燃
机

责任编辑：刘万年

内燃机零部件试验

王福民 编著

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津新华印刷三厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/32 印张8.75 字数185 000

1991年1月第1版

1991年1月第1次印刷

印数：1—1 430

ISBN 7-5308-0861-3/U·11 定价：5.15元

前 言

随着社会主义现代化建设的发展，内燃机在国民经济中使用范围日益广泛。上至天上飞机。下至地面车辆和固定式动力装置（汽车、拖拉机、工程机械、摩托车、军用车辆、发电设备、农用排灌、矿山机械、油田森林开采和移动设备等），还有船舶、舰艇的主机和副机，都广泛采用内燃机为动力。国外发达国家内燃机消耗的石油占原油总产量的70%~80%，国内约占40%，还在高速度增长，可见内燃机在动力中所占地位十分重要。

解放以来，党和政府十分重视内燃机制造业的发展，从50年代仿造国外样机入手，逐步走向自行设计的道路，发展速度较快。以柴油机为例，1950年全国产量不足1万马力，到1987年，全国柴油机行业生产能力达4400万马力。而汽油机方面，1949年只有几万台，1987年生产能力已超过44万台（指汽车用汽油机）。但由于长期以来缺乏统一的规划指导，又由于十年动乱的干扰，造成机型杂乱、品种不全、质量低、成本高的状况。党的十一届三中全会以来，国家对内燃机行业加强了统一规划与领导：制订了系列型谱；对关键性的系列，在自行研制的同时，从国外引进几个先进机型；对原有机型，有的限期改造，部分落后机型勒令停产淘汰，逐步以新机型代替；内燃机行业正在走向健康发展的道路。

目前内燃机老产品面临更新换代的新阶段，从国外引进

的产品面临零部件国产化的过程（引进产品大多从散件组装入手，逐步提高自制零件比例，然后过渡到全部自己制造）。要达到高水平、高质量的目标，零部件研究和测试是一个十分重要的环节，是更新产品的基础。由于相当长时期内，国内内燃机行业发展过程中片面强调速度，忽视质量，强调整机研制，忽视零部件研究测试这个基础环节，因此，零部件研究测试成了突出的薄弱环节。在这种历史条件下，重点讨论一下“内燃机零部件研究与测试”，无疑对提高内燃机产品技术和制造水平，加速内燃机行业的发展是十分有益的。

作者在一个研究测试条件较好的内燃机研究中心（山西车用发动机研究所）从事研究开发工作26年，积累了一些内燃机零部件研究测试资料，为纪念该中心成立30周年，整理成《内燃机零部件试验》这本小册子供国内同行参考，因时间匆促，难免有不足之处，欢迎批评指正。

在本书编写过程中，内燃机测试工程师禹桂芳提供了大量测试资料并参加了许多具体工作，特此说明。

王福民

1988年7月

第一章 概论	(1)
§ 1 内燃机零部件研究与测试的必要性	(1)
§ 2 内燃机零部件设计原则和研制程序	(5)
§ 3 内燃机零部件研究与测试的方法与种类 概述	(10)
第二章 内燃机性能的部件预研与测试	(20)
§ 1 单缸试验机	(20)
§ 2 单缸试验台及其设备	(30)
§ 3 单缸燃烧系统研究试验	(41)
§ 4 进排气系统模拟试验装置及测试方法	(75)
§ 5 研究混合与燃烧的模拟装置及测试方法	(79)
§ 6 有关性能的几项测试技术	(84)
第三章 内燃机固定件的研究与测试	(95)
§ 1 曲轴箱	(95)
§ 2 气缸盖	(110)
§ 3 气缸套	(125)
§ 4 气缸盖衬垫	(135)

§ 5	强力双头螺柱.....	(141)
§ 6	轴瓦.....	(147)

第四章 内燃机运动件和配气机构的研究与测试..... (154)

§ 1	曲轴.....	(154)
§ 2	连杆.....	(176)
§ 3	活塞.....	(196)
§ 4	配气机构.....	(218)

第五章 内燃机附件的研究与测试..... (233)

§ 1	燃油供给系统附件.....	(233)
§ 2	润滑系统附件.....	(252)
§ 3	冷却系统附件.....	(259)
§ 4	增压器.....	(266)

第一章 概 论

§ 1 内燃机零部件研究与 测试的必要性

1. 零部件研究与测试工作薄弱已成为内燃机产品发展的严重障碍

现生产的内燃机大都是20世纪50、60年代的产品，性能落后、质量差、寿命短、配套性差。

(1) 经济性差 国产汽车汽油机最低耗油率为 $299\sim 333\text{ g/kW}\cdot\text{h}$ ($220\sim 245\text{ g/ps}\cdot\text{h}$)，柴油机为 $238\sim 265\text{ g/kW}\cdot\text{h}$ ($175\sim 195\text{ g/ps}\cdot\text{h}$)；国外汽油机最低耗油率为 $272\sim 286\text{ g/kW}\cdot\text{h}$ ($200\sim 210\text{ g/ps}\cdot\text{h}$)，柴油机为 $210\sim 224\text{ g/kW}\cdot\text{h}$ ($155\sim 165\text{ g/ps}\cdot\text{h}$)；同类内燃机，国内与国外相比，平均高 $10\sim 20\%$ 。

(2) 质量差、寿命短 国产柴油机第一次大修期一般为 3000 h ，国外为 $5000\sim 8000\text{ h}$ ；国产汽油车大修里程长期停留在 10万 km 左右，而国外汽油车达 $30\sim 50\text{万 km}$ 。

(3) 配套适应性差 国产内燃机在结构设计上常常只考虑专机专用，而国外则注重一机多用。

(4) 产品成本高，劳动生产率低 同一机型在不同工厂生产，成本相差有达3倍以上的，另外劳动生产率也有相差一倍以上的。

(5)产品系列型号杂乱,“三化”程度低 以柴油机为例,生产、研制、引进的中小功率柴油机有67个系列之多(实际需要20个系列就够用了),这对于组织专业化生产、配件供应和使用维修十分不利。

因此,要解决以上问题,除了统一规划、加强领导、制订系列、更新产品、严格工艺、提高质量外,加强零部件研究和测试,也是必不可少的措施,它是一项最重要的基础工作。

解放以来,在内燃机行业科研与生产实践中出现过很多发人深省的事件(由于忽视零部件试验研究而造成事故),下面举几个例子:

(1)20世纪50年代我国自行研制的一种高速柴油机由于缺乏充分的单缸部件试验,仓促投产,后因燃烧系统造得不好,性能低劣,出厂产品大批退回,被迫停产重选另一种燃烧系统,造成经济上和时间上严重损失。另一种军用内燃机出现活塞顶连续掉顶故障,被迫下马。

(2)20世纪60年代,我国自行研制的一种高速柴油机因缺乏必要的零部件研究,连杆螺钉断裂,引起数台柴油机严重损坏(大件开裂,无法修复)。

(3)20世纪70年代我国从苏联引进的一种拖拉机柴油机,采用国产材料后未经严格试验即进行大批量生产,出现连续性曲轴断裂故障。另一种军用柴油机用国产材料(质量不稳定)因缺乏严格部件试验,也发生同类曲轴断裂故障。

(4)20世纪80年代我国参照几种国外样机自行研制的一种高速柴油机投入大批生产后发生连续性飞轮爆裂事故,严重影响生产。另一种柴油机装在军用车辆上接受外国国防部

官员视察时发生拉缸故障。

以上例子只是大量问题中的几个，可以看出：缺乏零部件研究试验基础，仓促上马，在使用中将出现严重后果，这样不仅使国家财产受到严重损失，而且使用者生命得不到保障。此外，出口产品出现事故也严重损伤我国在国外信誉。欲速则不达，造成损失，回过头来再补课，这是历史的教训！

2. 零部件研究与测试是内燃机产品开发必不可少的程序

(1) 零部件预先研究是内燃机产品开发的根本。研制新产品和改进老产品的目的是为了得到更先进的内燃机：既要有先进的性能指标，又要在保证可靠性的前提下有轻巧的结构。预先进行零部件研究与测试才能保证有足够的技术储备（零部件成果），以便在新产品上采用新技术。此外，事先进行技术攻关，各个击破，避免把所有难题都留到整机试验中解决，可以加快研制周期。如果一味模仿国外样机，不进行改进，在市场竞争中也难免要被淘汰。有时，某种弹性零件（如二冲程内燃机的扫气泵传动轴、风冷内燃机的气缸体长螺栓）设计尺寸太粗，不但浪费材料、增加重量，而且结构反而不可靠，使用中容易折断。内燃机的进气道截面积也不是越大越好，实践表明：大于某种限度后，因断面变化规律不合理，充气系数反而下降。可见零部件研究对内燃机产品开发来说，是必不可少的环节。

(2) 国外内燃机著名公司把零部件研究列为产品开发的必经程序，例如，联邦德国道依茨（Deutz）公司的研究发展中心明确规定：内燃机关键零部件未经零部件研究与测试、

不准上整机。新开发的FL413系列风冷柴油机先进行2年多的内燃机机体部件研究与测试；曲轴、连杆、缸盖、活塞，气缸体等主要件都经过严格的零部件研究与测试，然后开展整机设计研究。在该系列研制的6年中，零部件占三分之一时间。其它如英国的里卡多(Ricardo)公司，联邦德国的MTU公司，也是按照这样原则开展工作的。这些著名公司都拥有完善的零部件试验室和测试设备仪器，以保证他们所开发的内燃机产品性能不断进步，长期处于领先地位。

3. 内燃机零部件研究与测试对于组织专业化协作生产是必不可少的条件

中档功率和小功率内燃机，由于产量较大，往往组织几十个工厂进行广泛的专业化流水生产。在开展零部件协作生产时，检测数据曲线、验收技术条件及必要的检测手段是主机厂与零部件厂验收零部件的依据。据国外一家内燃机公司介绍，他们在组织生产时，每台内燃机都有3000多个记录数据存档备查，才能保证产品优质高产，富有竞争力。否则，零部件质量就无法保证。为了保证主机厂出厂内燃机达到预期要求，必须有一套严格零部件验收条件（含试验规范）和方法，并为此而建立相应的零部件检测试验手段。

4. 内燃机零部件结构研究是当前国内本行业的薄弱环节

内燃机产品的开发包含着性能与结构两个方面，先进的性能必须要有可靠的结构来保证，否则，先进的性能无从实现。当然，就结构而言，在保证实现性能有足够可靠性条件下还要求尽量轻巧，避免机器费工费料，以降低成本。国内在开展性能预研，围绕性能开展零部件和单缸机试验方面逐

步受到人们的重视，然而在零部件结构强度研究方面，长期以来未得到足够的重视。大多数工厂和研究所缺乏必要研究测试手段（研究所条件稍好些，但仍然远远不能满足要求）。据介绍，国外一些著名的研究机构的经验表明：一台内燃机新产品的诞生，性能研究只占整个研制周期的 $1/4 \sim 1/3$ ，而结构研究则往往花去更多的人力和物力。国内军用车辆柴油机研制的实践表明：一台柴油机的性能研究一般只有2年（指整机），而结构研究少则4~6年，多则8年以上，大量工作是解决结构可靠性问题。

因此，当前除了继续加强围绕性能开展零部件研究与测试外，应集中主要精力，重点抓好围绕结构强度开展零部件研究与测试工作，建立完整的试验室和必要的研究测试手段，把此项工作积极抓上去。

§2 内燃机零部件设计原则和研制程序

内燃机零部件设计师的基本任务是研究零部件的工作条件、构造，并决定其结构和主要尺寸、材料、公差、技术条件，使按图纸制造出来的零部件在内燃机整机工作中达到预期的性能和可靠性。

1. 内燃机零部件设计原则

（1）在达到预期的性能指标前提下，满足足够的强度要求而其重量又要求最轻 为了达到足够的强度，要弄清零部件所承载荷的大小和性质，要选用那些可以用以计算，同时又接近符合零部件实际工况的简单公式，还要决定可能发生的最不利的外力组合，并以此作为计算的依据。轻巧的结构

可以降低内燃机比重量指标，减少材料消耗，并降低制造成本。

(2) 具有必要的刚度 单有足够的强度还不能保证可靠地工作，必须同时考虑到变形不超过允许范围、保证零部件有足够的刚度，忽视刚度的设计往往导致结构损坏。

(3) 具有足够的耐磨性 对于相对运动的零件，要合理地选择材料（如活塞、活塞环、气缸套），使之互相匹配，不合理的材料匹配往往导致急速磨损，耐久性不佳。因此，必须认真考虑材料的现代化处理方法，以挑选一种最适宜的材料，这也是影响耐磨性的重要因素。

(4) 结构简单，有良好的工艺性，制造费用低廉 在不损害其安全性，并保证技术上有合理的形状的条件下尽可能简化构造；所设计的零件有利于采用普通工艺，制造简单，耗费工时低以降低成本。只有在特殊情况下为满足高水平的性能要求，才采用较特殊的结构和工艺。近代内燃机的发展，新的结构工艺层出不穷，如活塞首环环槽镶奥氏体铸铁环、可熔盐芯铸铝活塞（低膨胀硅铝合金）、梯形桶面环、充钠排气门、排气门头和杆的摩擦焊接等。

(5) 材料立足国内 自行设计产品要选用国产材料，这在一般内燃机是能做到的。对于引进国外专利的产品，有一个材料代用问题，要经严格的试验，逐个地国产化。

(6) 符合国家标准，争取达到国际标准 目前为使产品能打入国际市场，还要求达到国际标准。对于从美英引进的产品，在国产化的过程中还要把英制转化成公制。

(7) 符合“三化”（标准化、系列化、通用化）要求 标准化的零件便于更换，便于解决配件问题，便于安装和拆

卸，有利于降低成本。内燃机可以变更气缸数来满足不同功率的使用要求，合理的“三化”设计，可以使通用件达到80%以上，这对于零部件管理、储存、运输、维修等方面都是十分有利的。

2. 内燃机零部件设计研制的基本程序

(1) 零部件初步设计（设计出用于计算、实验用的零部件草图） 零部件初步设计是在内燃机总图设计确定结构尺寸的前提下进行的。零部件设计师在保证零部件可靠工作的基础上尽可能最大限度地满足总体要求。如果在零部件设计中发现总体要求难以完全满足，也可以适当修正，在落实零部件的基础上修正总图尺寸和结构，使草总图变为正式总图。内燃机零部件设计中广泛采用经验设计，即参考同类型成熟样机，大体按比例选择尺寸（根据需要作局部修改）。

(2) 进行计算和实验，核实尺寸后应进行正式设计 计算的内容主要是强度、磨损、变形等；计算特点之一是带有校验性质，特点之二是带有假定性，所取工况往往是额定功率点和最大扭矩点（后者对于车用内燃机较适用）。大多数零部件受力以缸内最大爆发压力作为计算的依据，此值按计算或实测的爆发压力乘以一个系数（120%~125%），以考虑实际运转中由于变化燃料或零件制造偏差等各种因数所引起的波动。对于以惯性力为主的零部件，如配气机构，在计算中将转速乘以125%，以考虑意外的超速工况。对于关键零部件进行必要的性能预研或实验应力分析（光弹、电测、脆漆等）求出应力或应力分布场，按受力情况修正图形，然后进行正式设计，画出正规图纸。

(3) 进行实物疲劳试验（单缸机、部件试验台或专用疲

劳试验装置) 根据零部件图纸试制出样品, 在疲劳试验机上进行实物疲劳试验考核其结构是否可靠; 有的零部件(如活塞组、连杆组、喷油嘴、每缸的配气机构零件等)可在单缸试验机上进行实际考核; 有的独立部件(附件)可在部件试验台上考核(如喷油泵、机油泵等)。结构考核试验中暴露出薄弱环节后, 加以修改, 加强, 再次考核, 务求顺利通过为止。

(4)多缸机台架结构考核或车辆道路试验考核 通过内燃机整机台架耐久性试验, 或车辆道路试验, 发现问题及时修改图纸, 达到设计定型要求。

3. 内燃机零部件鉴定方法

(1)提出改进零部件鉴定申请报告 提出报告应符合以下条件:

1)有完整的新型零部件(或更改后的零部件)图纸和技术条件。

2)有符合图纸和技术条件要求的若干个新型零部件试制件, 一般是3套, 还要有详细的测量记录表记录有关数据。

3)有完整的计算书和零部件试验报告等资料(含实验应力分析报告)。

(2)组织零部件结构考核试验 鉴定委员会审查申请报告认为基本符合要求就着手组织鉴定试验。对于独立部件(附件), 如喷油泵, 化油器(也称汽化器)、机油泵、水泵等, 先在专用部件试验台上测定有关性能, 然后进行耐久性考核试验。通过规定的运转时数后再一次测定性能, 然后分解测量, 如果性能稳定, 结构可靠, 便算通过。对于一些主要零部件(曲轴、连杆等)则在实物疲劳试验装置上进行

考核。无论是独立部件还是主要零部件，一般要求有 2 ~ 3 个通过结构考核才算符合要求；反之，3 个零部件有 2 个没有通过考核，则试验失败，待改进后重新申请组织考核试验。

(3) 在内燃机多缸机上进行零部件耐久性考核试验或装车道路试验 此时也要求有 2 ~ 3 台装有改进零部件的新型内燃机，至少有 2 台内燃机顺利通过结构考核，便算通过；反之 2 台失败则试验作废。

(4) 召开鉴定会议，通过鉴定文件 一般认为召开鉴定会议应具备以下条件：

1) 有完整的技术文件资料——全套新型零部件图纸和技术条件，设计计算书，部件试验报告，整机台架或装车试验报告，以及申请鉴定报告和其他必要的说明资料。

2) 有零部件试制样品若干个，并有安装新型零部件的内燃机，随时提供抽查、复试。

3) 取得主管领导机关和生产使用部门的支持，应事先征求他们意见，取得统一认识，避免在会上无休止地争论。

具备上述条件后邀请主管领导机关派人主持会议，邀请生产、使用、科研等单位的有关本专业专家参加，举行鉴定会议。会上，申请单位应向代表们认真地介绍研制的目标、过程、达到的技术水平，改进前后经济效益对比，投产的前景等。经过代表们认真地审查讨论后，决定是否通过鉴定结论及文件。

改进零部件通过鉴定后便成了一项技术改进成果，因此，在鉴定书上应说明改进的要求、内容、方案，成果的先进性（是国际水平、国内水平、省市水平）、优缺点评价，

存在问题等。零部件鉴定书最后应附有鉴定委员会成员亲笔签名（国内不少单位请到会专家签名）。有些改进零部件若是独创性设计，其性能或耐久性远高于同类零部件，还可以申请专利，其程序按专利法规定进行。

上面所讲的是对关键零部件而言，对于一般零部件或简单零部件，其鉴定方法及步骤还可以适当简化。上述这种鉴定属于设计定型的范围，要进行大批生产还有不少工作要做。首先是小批试制，通过试制，把图纸上不符合生产工艺要求的尺寸、公差、技术条件加以修改，在不影响实现设计要求的前提下使之适应批量生产的工艺要求。再将安装新型零部件的内燃机进行台架考核或发送用户试用（及时记录出现问题反馈回来）听取意见进一步修改，并逐步扩大生产数量。经过一定阶段生产、试用考核、新型零部件完全成熟，达到生产定型要求，才能办理生产定型手续。

由上面介绍的情况可知，不可忽视更改一个零部件的影响。“牵一发而动全局”，此话一点不假！成熟的设计既是一项工程成果，又是一件艺术珍品，改动主要零部件必须持慎重态度。另一方面，再好的设计也有考虑不周之外，技术是不断发展的，不断更改是不可避免的环节，但要按科研程序办事，方可把事情办好。

§ 3 内燃机零部件研究与测试的

方法与种类概述

内燃机零部件研究与测试的内容包括性能与结构两个方面，现分别加以说明。