

《国外机械工业基本情况》参考资料

汽车发动机机械加工技术

第二汽车制造厂 编
机械工业部第九设计研究院

机械工业部科学技术情报研究所

内容简介 本资料为《国外机械工业基本情况》的汽车发动机机械加工技术部分。内容包括国外汽车发动机的生产现状及发动机厂的主要数据和指标，并分别对气缸体、气缸盖、曲轴、凸轮轴、连杆的加工技术作了较为详细的论述。此外还介绍了一些国外典型企业的概况。可供从事本专业的工程技术人员、管理干部和教学工作者参考。

汽车发动机机械加工技术

第二汽车制造厂 编
机械工业部第九设计研究院

(内部资料)

*

机械工业部科学技术情报研究所编辑出版

机械工业出版社印刷厂印刷

北京市中国书店 上海市科技书店 重庆市新华书店

经 售

*

1983年4月北京

代号: 82-1 定价: 1.60 元

出 版 说 明

党中央向全国人民提出了新时期的总任务，全国从上到下一心一意搞四个现代化。机械工业要适应“四化”的要求，必须为国民经济各部门提供现代化的技术装备。为此，需要研究和学习国外机械工业的先进技术和经验。在这种形势下，我们组织有关单位编写一套《国外机械工业基本情况》参考资料。这项工作第一次开始于1973年，1975年基本完成。这次是第二轮，在内容和范围上都比上次有所充实和扩大。

这套参考资料按专业分册出版。本书为《国外汽车制造技术基本情况》的一个分册。主编单位是机械工业部第九设计研究院，参加编写的人员有第二汽车制造厂顾永生，机械工业部第九设计研究院康来明、王春祥、宿亚玲和徐亚魁。全书由周德昭校审并作编辑加工。

机械工业部科学技术情报研究所

目 录

第一章 综 述	1
一、发动机的专业化生产	1
二、发动机的多品种生产	4
三、发动机的高效自动化生产	8
(一) 制造技术的几个发展阶段	8
(二) 切削效率	10
(三) 加工过程的自动化	14
四、发动机厂的主要数据和指标	26
第二章 气缸体的加工	29
一、气缸体的分类及特点	29
二、气缸体的材料及毛坯	30
三、气缸体的加工原则	32
四、气缸体主要部位的机械加工	32
(一) 平面加工	32
(二) 主轴承盖止口及半圆孔的加工	39
(三) 气缸孔的加工	40
(四) 主轴承孔及凸轮轴轴承孔的加工	45
(五) 油道及螺孔等的加工	48
(六) 挺杆孔的加工	48
五、气缸体的清洗与检验	48
(一) 气缸体的清洗	48
(二) 气缸体的气密性检验	49
(三) 生产过程中的检测设备	50
六、气缸体自动线	51
七、气缸体的多品种生产	60
(一) 大量生产	60
(二) 成批生产	61
八、气缸体生产工艺过程举例	62
第三章 气缸盖的加工	72
一、气缸盖的结构特点及技术条件	72
(一) 结构特点	72
(二) 技术条件	72
二、气缸盖材料和毛坯的技术条件	78
(一) 材料	78
(二) 毛坯的技术条件	79

三、气缸盖的加工原则和加工工艺路线	79
(一) 加工原则	79
(二) 加工工艺路线	80
四、气缸盖主要表面的机械加工	82
(一) 平面的加工	82
(二) 气门系统孔的加工	82
(三) 燃烧室的加工	86
五、气缸盖的辅助工序	87
(一) 自动装配	87
(二) 清洗	90
(三) 检验	90
六、气缸盖加工自动线	91
(一) 日本东洋工业气缸盖自动线	91
(二) 日本本田技研工业气缸盖自动线	92
(三) 日本五十铃汽车厂气缸盖自动线	94
(四) 美国万国收割机公司新型300~400系列柴油机气缸盖自动线	95
(五) 美国通用汽车公司底特律发动机厂气缸盖自动线	96
(六) 美国汽车公司气缸盖自动线	97
(七) 西德许勒尔公司制造的气缸盖自动线	98
(八) 英国福特汽车分公司德琴汉姆厂气缸盖自动线	98
(九) 美国泼金斯柴油机气缸盖自动线	99
(十) 苏联莫斯科人-412型小轿车气缸盖综合自动线	99
(十一) 苏联卡马发动机厂气缸盖自动线	103
(十二) 意大利菲亚特气缸盖自动线	103
第四章 曲轴的加工	106
一、曲轴的结构及材料	106
二、曲轴主要表面的加工	106
(一) 主轴颈的粗加工	106
(二) 连杆轴颈的粗加工	108
(三) 轴颈粗加工采用车削和铣削的对比分析	112
(四) 轴颈外铣和内铣的对比分析	115
(五) 主轴颈的磨削	117
(六) 连杆轴颈的磨削	118
(七) 主轴颈和连杆轴颈的磨削次数和磨削顺序	119
(八) 止推面的加工	119
(九) 光整加工	121
(十) 精加工时曲轴的旋转方向	121
三、曲轴加工中的一些重要工序	122
(一) 动平衡	122
(二) 表面强化	123
(三) 油道孔的加工	125
(四) 去毛刺	125

(五) 清洗·····	126
(六) 校直·····	126
(七) 检查·····	128
(八) 各年代加工工艺水平比较·····	129
四、曲轴生产自动化·····	130
(一) 半自动和全自动单机·····	130
(二) 自动线·····	130
(三) 生产自动化·····	133
五、用于曲轴主要加工工序的高效设备及其生产率·····	134
六、主要汽车厂的曲轴加工工艺过程·····	139
第五章 凸轮轴的加工·····	154
一、凸轮轴的结构及材料·····	154
(一) 结构特点·····	154
(二) 材料·····	154
二、凸轮轴主要表面的加工·····	154
(一) 主轴颈的加工·····	154
(二) 凸轮的加工·····	156
(三) 各年代的凸轮轴主要表面机械加工工艺水平比较·····	159
三、凸轮轴的检验·····	160
四、凸轮轴生产自动化·····	160
五、加工凸轮轴的高效设备及其生产率·····	161
六、凸轮轴加工工艺过程·····	165
第六章 连杆的加工·····	169
一、连杆的毛坯及材料·····	169
二、连杆的结构特点·····	169
三、连杆主要表面的加工工艺·····	170
(一) 两端平面的加工·····	170
(二) 体盖分合面及其他平面的加工·····	171
(三) 螺栓孔的加工·····	173
(四) 大小头孔的加工·····	174
(五) 体、盖的装配·····	177
(六) 去毛刺·····	178
(七) 称重和去重·····	179
四、连杆生产自动化·····	180
(一) 连杆加工自动线·····	180
(二) 加工过程中尺寸的自动控制·····	181
(三) 连杆的综合自动检查·····	185
(四) 电子计算机直接控制连杆生产线·····	185
(五) 连杆的自动输送系统·····	186
五、一些厂家的连杆加工工艺过程·····	187
六、各主要工序用的部分设备的生产率·····	192
主要参考文献·····	193

第一章 综 述

发动机是汽车最主要的组成部分之一，它的性能好坏直接决定汽车的行驶性能，故有汽车的心脏之称。发动机零件精度高，结构复杂，但比较典型，制造工艺比较成熟，工艺水平普遍高于其他总成。生产工艺过程和组织形式具有一系列的特点，这表现在生产的专业化、系列化、多品种，生产过程的自动化，包括自动线的广泛采用和加工过程综合自动化的发展等方面。产品的系列化，生产的专业化是提高发动机制造技术水平的前提和条件，而自动化的流水生产又对生产专业化提出了迫切的要求。

一、发动机的专业化生产

专业化生产是发动机制造的显著特点之一，在工业发达的国家，发动机制造已基本上实现了专业化。

生产的专业化发展是同以通用万能设备为主的生产线，到以专用高效设备为主的流水线，再到自动化单机及自动线的发展过程以及制造技术的不断提高，生产规模的日益扩大密切相关的。随着产量的增加，几种零件在一条生产线上成批轮番生产已经不能适应需要，出现了只加工一种零件的单一流水线。产量愈大，单一流水线所占的比重也愈大。这就为专业化提供了最基础的单元。由于制造技术的复杂程度不断提高，生产管理和生产组织日趋复杂，综合性的生产方式势必导致管理机构臃肿，工作效率低，经济效果差。所以制造的专业化是制造技术发展和生产规模扩大的必然产物。而产品的标准化和系列化又是专业化的前提。目前，各国汽车发动机通过变化缸径、冲程、缸数以及柴油机的增压及中冷等方式，形成一定的马力覆盖面的产品系列，在同一系列内大部分零件通用，并尽量做到不通用零件主要加工表面尺寸的统一。这就有可能采用先进工艺，按最经济合理的生产组织形式进行专业化生产。

制造专业化是在获得最佳经济效益的前提下发展起来的。因此，应根据需要与可能来建立各种规模和形式的专业化生产厂，扩大生产规模，降低生产成本，争取最大的经济效益。但各专业厂也不单纯追求过大的生产规模，不恰当的生产规模往往会造成设备能力不能充分发挥，而过大的规模又往往造成管理不便和管理机构及人员的增加。所以专业厂的专业化程度和形式是根据采用的先进工艺所能达到的经济规模和最经济的管理形式确定的。

发动机制造专业化经历了一条漫长的发展道路。在二次世界大战前，各国发动机大都作为整个汽车生产的一部分，在综合性的汽车厂中生产。如美国通用汽车公司的旁蒂克厂，福特汽车公司的罗奇厂，日本丰田汽车公司的举母厂，以及苏联的李哈乔夫汽车厂等等。在这些综合厂中，除发动机生产外，还包括了铸造、锻造、冲焊、底盘加工和总装配等部分。根据生产规模的不同，或在综合厂中设立专业化的加工车间，或与其他总成如变速箱、离合器等组成一个综合性的工厂。但随着机械化流水生产线的出现，专用机床用得愈来愈多，专业化生产得到了发展。首先是一些最基本的单一专业化流水线的建立。企业间的并吞，垄断资本的出现，又促进了专业化的发展。1926年通用汽车公司经过改组整顿，采用了分散经营的

组织体制和专业化、多品种系列化生产形式，从而使产量超过福特厂而跃居世界第一位。

战后，尤其是进入五十年代以后，汽车制造技术迅速发展，由机械化流水生产转向自动化生产，推动和加速了发动机制造由综合厂向专业厂过渡。各大汽车公司相继建立了一批新的发动机专业厂，规模都很大，有的年产量达100万台以上。原有的综合厂也进行了专业化的改组和合并。与之相适应，一批用先进技术武装起来的零部件厂，如活塞、活塞环、气阀、轴瓦、化油器、高压油泵等专业厂也相继建立，从而使发动机制造进入了以自动化的制造技术，专业化的生产体制为主要特点的新发展时期。目前，发动机制造专业化的形式主要有以下几种：

1. 隶属于一个大的综合汽车公司的发动机专业厂 在由综合性生产向专业化生产过渡的过程中，各大汽车公司从五十年代起，陆续建立了一批生产发动机的主机厂和零部件专业厂。如美国三大汽车公司所建立的发动机专业厂，通用有6个，福特有4个，克莱斯勒有2个。这些专业厂的形式和组成，由于产量、工艺水平的不同而又有所区别。欧洲、日本的发动机专业厂大都包含有铸造、锻造等毛坯生产部分，如雷诺集团的克莱翁发动机变速箱专业厂，杜夫林发动机厂，日本丰田的上乡发动机变速箱专业厂等。而美国各大公司所建立的发动机专业厂则仅由总成的加工和装配部分所组成，铸锻毛坯另建专业厂生产。这些发动机专业厂具有以下几个特点：（1）采用先进的制造技术，自动化程度都比较高。如苏联卡马汽车厂的发动机和变速箱分厂，采用了目前最先进的生产技术，主要零部件都采用自动线加工，并在自动线上广泛地采用先进的电子测量和控制技术。（2）规模都比较大，不少厂年产量都在100万台以上。如日本丰田的上乡发动机及变速箱专业厂，1971年发动机的年产量就达148.2万台。（3）这类专业厂不少都是纯粹的生产部门，产品的设计和经销由其所在的分公司或总公司的研究中心和有关的职能部门承担。世界各主要大汽车公司都有这种形式的专业发动机厂，其产品主要供本公司装车用，同时也部分供应市场。如通用公司底特律柴油机厂所生产的71、92系列二冲程柴油机及8.2升中马力柴油机除供本公司装车外，还供军工，船舶及工程机械装用。

这类发动机主机厂一般仅生产种数有限的主要零件，除缸体、缸盖、曲轴、连杆、凸轮轴等五大件外，还生产进排气歧管、飞轮、飞轮壳、正时齿轮室、盖等大杂件及其他少数几种零件。如规模很大的日本丰田上乡厂生产排量分别为2.2升及2升的20R及21R系列汽油发动机，加工的零件只有缸体、曲轴、连杆（仅精加工）、进排气歧管、缸盖、凸轮轴以及分电器传动轴、齿轮及端盖等零件。其他零件都在零部件专业厂加工。为了使产品变型更加灵活，以满足市场的不同需要，目前有把缸套、活塞等零件也放入主机厂生产的趋势。如法国雷诺和别儒两集团合办的杜夫林（Douvrin）发动机厂，雷诺集团所属的克莱翁发动机变速箱专业厂等都自己生产缸套和活塞。

2. 独立的发动机专业厂及公司 它们不附属于各大汽车公司，是独立经营的，为数不多，比较著名的有美国卡明斯（Cummins）发动机公司，英国的泼金斯（Perkins）公司，美国的凯特匹勒（Caterpillar）公司和西德的道也茨（K·H·Deutz）公司。这类公司的产品主要是为一些小汽车公司和大汽车公司批量较小的汽车服务。此外，它们的产品还广为机械系统的其他行业，如船舶、工程机械等所用。因此产品各自成系列，并根据不同的用途，在同一系列内又有若干变型，故产品品种多，通用性好。如美国卡明斯发动机公司生产的小V、903、N、大V、及K系列等七种系列的发动机，功率范围由不到100马力直到1600马力，

用于汽车、工程机械、船舶、机车、发电机组以及其他固定或移动式动力装置。这类公司由于品种多，产量不大，工艺水平参差不齐，对组织多品种生产特别重视。

值得注意的是，随着资本主义国家中垄断、兼并的激化，一些小的汽车公司不断被大垄断公司吞并，使独立的发动机厂失去了主要的主顾，而大垄断公司由于资本雄厚，技术力量强，有足够的人力物力来进行技术改造，不断提高专业厂的产量和质量，降低成本，增强竞争力，占领那些独立发动机公司的传统市场。因此，总的发展趋势是独立的发动机专业公司最终将会被垄断集团所兼并，而成为上述第一类的专业厂。著名的英国泼金斯柴油机公司最近被福克森拖拉机集团吞并就是一例。

3. 由综合厂改组而成的专业厂 各汽车公司在战前所建立的一些综合厂，在战后随产量、品种的增加，自动化程度的提高，生产体制所造成的管理复杂低效，劳动量增加，从而使产品成本增加的缺点已日益暴露。因此各汽车公司都对这些综合性的老厂进行改组，逐步向专业化过渡。其中有的综合厂经改组后基本上成为专业厂。如日本日产汽车公司的横滨厂原是一个包括从毛坯制造到整车装配的综合厂，后将车身、车架、油漆、总装等部分扩散到座间和追滨两厂，本身改组成为一个铸锻毛坯制造以及发动机和车桥总成生产的专业厂，生产的发动机占该公司发动机总产量的60%。改组后，由于生产的专业化，采用了平面拉削、多砂轮磨削、自动装配、自动检测等新技术以及遍布于地上、地下和空中的自动输送装置，使发动机的生产效率大大提高，制造成本显著下降。但综合厂向专业厂过渡，由于种种条件的限制，发展是很不平衡的，目前还有不少厂发动机仍在原综合厂的范围内生产，但在管理体制上却不同于原来的综合厂。此外，在发动机生产车间或分厂内部构成上也进行了专业化，如福特公司的罗奇厂，本来是一个综合厂，现就将原来的生产车间和部门划分为11个专业厂，隶属于总公司。这种形式与附属一个大汽车公司的专业厂没有本质的区别，只是各个专业厂的距离靠得比较近而已。

4. 零部件专业厂及公司 发动机的一些零部件如活塞、活塞环、气阀、缸套、喷射泵、滤清器、泵、化油器等大都在专业化公司及工厂进行生产，如日本的帝国、日本和理研三大活塞环公司，英国的A·E集团，美国的伊顿制造公司，Perfeet Circle公司，西德的波许公司，马莱(Mahle)公司等。这些专业公司规模都比较大，生产工艺水平先进，服务对象广，品种多，尺寸规格齐全，质量也比较好，与用户能有密切的联系，技术上相互配合，共同研究，有的直接承担产品设计。长期的专门化生产，使这些厂家积累了丰富的经验，生产技术精益求精，产品质量不断提高。大批量的专门化生产又为采用高效先进设备创造条件，使工艺水平不断提高。一些大的零部件专业公司还设有庞大的科研和设计中心，为了提高产品性能和质量，从原材料到加工工艺，从结构到使用寿命，都进行专题研究。如世界上公认的规模最大，技术最精的西德马莱活塞专业公司，共有7个分厂，6000名职工，平均年产5000万只活塞，产品品种有7000余种。生产的活塞直径由30mm到700mm，产品供世界上160多家工厂装机。该厂设有自己的研究设计中心。在机械加工方面，直径在160mm以下的活塞都在自动流水线上生产，加工好的零件自动称重、分级，几何尺寸用气动量仪进行测量。

发动机上的一些主要件，如曲轴和凸轮轴等也有专业厂进行生产，如英国G.K.N集团的安布罗斯·沙特洛公司，是一个生产曲轴的专业公司，共有职工2000人，生产100余种长度由0.3米到3.5米的2、4、6、8、12缸发动机的曲轴，年产量为25万件。这类主要件的专业厂相对说来不多。

苏联汽车生产一直采用综合厂的体制,如李哈乔夫汽车厂,高尔基汽车厂都是规模比较大的综合厂,发动机是在一个分厂或车间内生产的。专业化的发动机主机厂比较少。六十年代以来,也用以大型汽车厂为主体,组织汽车生产联合企业的方法对综合厂进行了改造。而七十年代新建的卡马汽车厂,实际上已是各专业厂组成的综合体。但在一些大型汽车厂中,综合厂的痕迹还是很明显的,如在六十年代末新扩建的伏尔加汽车厂,在面积达1058900平方米的主厂房内,布置了车身制造、喷漆、电镀、散热器和发动机零件制造以及总成装配、底盘零件和总成装配、发动机及底盘总成试验、工具机修、车轮、仓库和储运等部门。机械加工生产工段按照所加工材料的种类(铸铁、钢、铝)及零件的工艺性分组加工。象这种大规模的综合性生产形式,在资本主义国家是没有的。

发动机生产,无论采用那一种形式,都有一个共同的特点,就是多品种系列化,只生产单一品种的发动机制造厂已几乎绝迹。

二、发动机的多品种生产

多品种生产是发动机生产的另一特点,随着国民经济的发展,各种用途的汽车的品种愈来愈多,要求生产多种性能和规格的发动机。为此,各大汽车公司及发动机专业厂在发动机的设计和生产上都充分考虑了多品种和系列化。

多品种生产是建立在系列化的基础上的。各个发动机厂都有自己的产品系列,这些系列和汽车系列既相适应但又是彼此独立的。实现发动机系列化的方式有三种:

1. 仅仅通过增加缸数而其它尺寸参数不变形成由不同功率组成的系列产品,如直列四缸、直列六缸、V6、V8、V12、V16缸等。以这种方式形成系列最为简单,通用件多,在同一生产线上生产同一系列的不同品种发动机零件最为方便。如美国通用公司底特律柴油机厂生产的71及92系列二冲程柴油机就是通过变更缸数而得到48~860马力的系列(71系列为48~800马力,92系列为225~860马力)的。又如西德奔驰400系列中的V6、V8、V10、V12四种发动机仅通过缸数的变化得到由192~385马力的不同功率及扭矩。

2. 通过变更发动机的缸径、冲程等参数来形成发动机系列。这种方式用得也不少。在采取一些技术措施和进行简单的调整以后,也可在同一生产线上加工同一系列的不同品种的零件。如美国万国公司300系列柴油机通过冲程的改变形成系列。但这种方法往往由于产品结构的限制,变化幅度是有限的。

3. 采取强化措施,来增加发动机的功率。对汽油机是用改善充气效率的方法,如用多腔化油器代替单腔化油器。而柴油机则采用增压或增压中冷等方式来提高功率。采用高增压、中冷方式,功率可以提高100%,所以增压方式是提高柴油机功率的最好方法。目前不少厂都通过这种方式来形成自己的系列产品。低增压比自然进气可提高柴油发动机功率25~35%,高增压可提高功率50~60%,高增压加中冷则可提高发动机功率80~100%。近年来汽油机也有用增压方式的,可提高功率15~30%。

产品的系列化是实现多品种生产的必要条件,但生产过程的多品种适应性却是实现多品种生产的关键,国外在发展中小批量和大批量多品种生产方面进行了大量的工作。不但发展了各种适合于多品种生产的自动、半自动单机,而且也建立了进行多品种生产的流水线或自动线。

实现多品种生产的形式很多,根据不同的产品,不同的生产性质采用不同的方法,归纳

起来主要有以下几种形式:

1. 在通用机床上, 采用各种快换、易调的工艺装备和机床调整装置来进行多品种生产。这种方法是最普通, 最易实现, 它不仅在中小批量生产中采用, 在大量生产中往往也采用, 如在美国万国300系列及400系列柴油机曲轴生产线中的中心驱动的曲轴多刀车床上, 采用二套快换工艺装备 (包括中间轴颈的夹紧定位装置), 分别供不同冲程的300和400两种系列的曲轴主轴颈加工用, 曲轴油孔加工采用龙门式钻床, 钻床主轴箱可在龙门架上任意平移和迴转, 以适应多品种加工, 见图 1-1。近年来, 为了进一步缩短调整时间, 发展了带有各种工艺装备贮存和自动更换装置的通用机床, 这种机床一般多为数控, 按所编程序自动更换工艺装备。如西德格林伯尔格公司生产的PN型通用车床就是这种机床。

2. 采用具有各种快速调整装置的组合、专用机床, 这种机床适用于多品种大量生产。根据加工的内容机床调整的方式可分为两类, 一类是采用可调中心距的主轴箱, 如在美国万国公司300及400系列的柴油机缸体线上, 采用中央导轨式的三轴组合镗床精镗缸孔, 这两种系列的缸体, 缸心距相差12.7mm, 组合镗床的中间主轴是固定的, 两边的两根主轴则采用偏心机构进行调整, 用改变三根主轴的距离来适应两种缸心距, 见图 1-2。另一类是在组合机的多轴箱上, 预先设置好多品种加工所需要的主轴, 当更换产品时, 只需相应更换主轴上的刀具即可, 调整很方便, 机床结构也不复杂, 但由于孔距的限制, 每一品种的加工孔不能组合得太多, 因此往往用于一次加工孔不多的场合。这种调整方式在六十年代以前用得十分广泛。

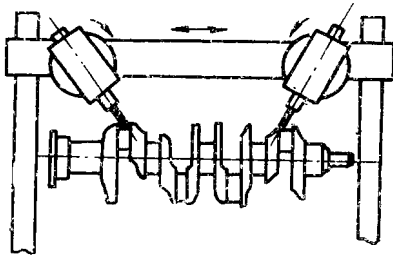


图1-1 龙门式钻床加工多种曲轴油孔示意图

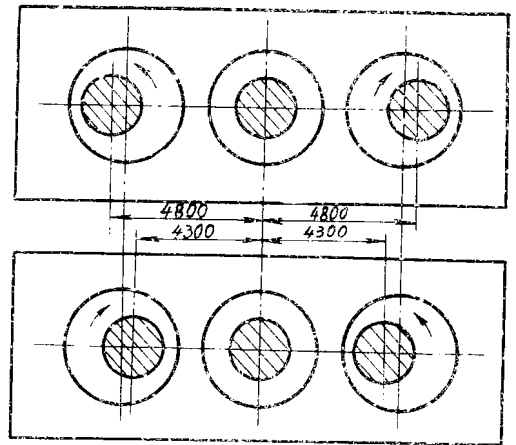


图1-2 多轴镗床采用偏心调整以适应不同缸心距缸孔镗削示意图

3. 采用迴转动力头式及转塔式组合机床。为了使生产灵活高效, 六十年代中期以后, 广泛使用迴转动力头式和转塔式组合机床。迴转动力头组合机床一般由两个相对布置的各自带有一个多轴箱的动力头组成, 可根据加工需要, 通过气力或液力将迴转动力头抬起和迴转180°, 见图 1-3。

美国万国公司在300及400系列缸体及缸盖线上, 大量采用气动提升迴转动力头组合机床。两种系列分别采用各自的动力头加工, 这样, 大大节省了机床调整时间, 该公司在具有54个工位的上述两种系列缸盖加工自动线上, 采用了12台这种组合机床。从加工 300 系列气缸盖

更换为加工400系列气缸盖，全线调整时间只需 6 小时。

转塔式组合机床是在一个动力头上装有可迴转的 4 个或 6 个不同型式主轴箱的机床，见图 1-4。在一台机床上可用一个或二个这种动力头组成单面或双面转塔式组合机床，每一个主轴箱加工一个品种零件。这种机床还可以使工序集中，减少了加工线的工位数。如在一条

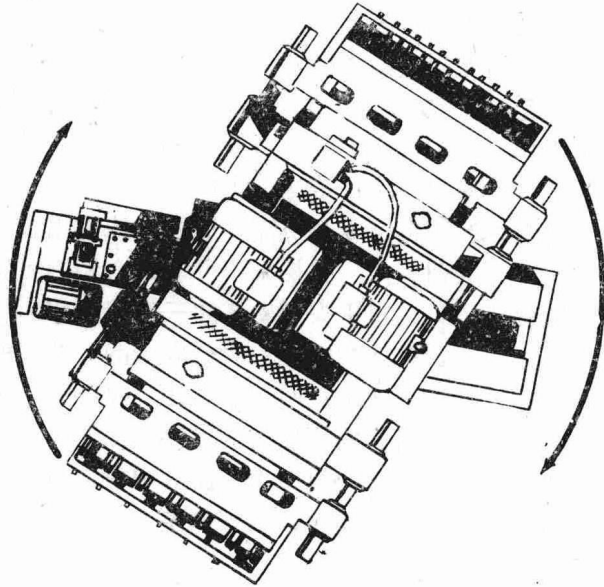


图1-3 美国万国公司在300及400系列缸盖和缸体生产线上所采用的空气提升迴转动力头

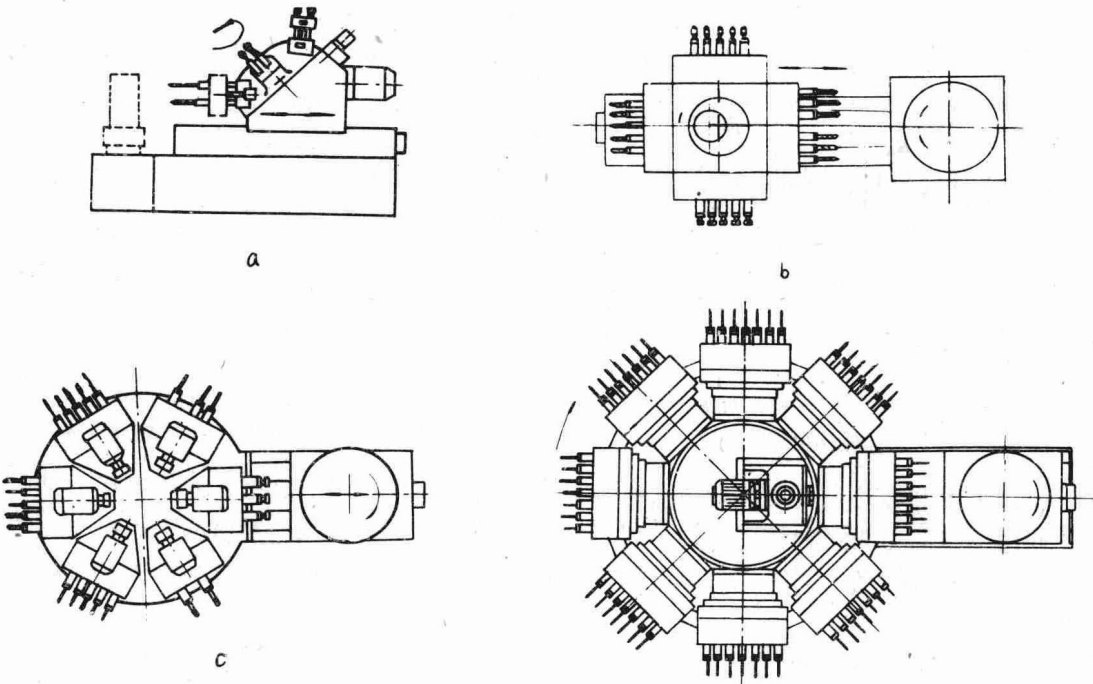


图1-4 转塔式组合机床的几种形式

加工大型气缸体两端面和两侧面所有孔的自动线上,由于采用了四方和六方形转塔式组合机床和迴转夹具,使自动线只有六个加工工位,长度缩短为18米,而生产率仍达到每小时18件。有的转塔式组合机床,转塔上的主轴箱可以快换,因此用调整快换主轴箱的方法和转塔的方法联合,使一台转塔式组合机床可加工更多种类的零件。如法国雷诺汽车公司一台加工四缸发动机气缸盖的转塔式组合机床,装有一个四工位转塔动力头,一个铣头,一个钻削动力头和一个三工位迴转工作台,工件在机床上经过三次装夹,转三圈,共进行九次加工,完成工件上平面和紧固孔的全部加工,机动时间仅2.2分。

4. 采用可更换主轴箱的组合机床,这种机床可根据加工的要求更换不同的主轴箱,更换的方式有手动和自动两种。手动更换主轴箱比较落后,现已很少采用。各种形式的自动更换主轴箱,在七十年代以来蓬勃发展,自动更换主轴箱很迅速,有的只要5~10秒钟。可更换主轴箱的组合机床设有主轴箱存放库,存放换下待用的主轴箱,储存主轴箱的数目可由几个到几十个,这种机床和上述的转塔式组合机床用于生产的零件品种多变的场合,提高了组合机床对中小批量生产的适应性。目前自动更换主轴箱组合机床采用电子计算机控制,配有机械手和主轴箱贮存装置,组成一个综合的自动控制和加工系统,实现整个加工循环自动化,西德奔驰V6、V8、V10和V12缸体在一条自动线上用自动转位和可自动更换多轴箱的机床进行加工。

此外,在中小批生产的发动机厂,为组织多品种生产还采用加工中心,可换主轴箱的多轴加工中心等机床,这些机床对更换产品更加灵活方便,而且自动化程度也高。

下面简要介绍多品种发动机生产线的几个实例。

(1) 建立几条可以相互调整、通用的生产线,平时每条线生产一种零件,必要时这条线可经过调整加工另一品种的零件。如法国雷诺公司杜弗林发动机厂的x系列直列四缸发动机有三种缸径和三种冲程,日产2200台。该厂就建立了可互相调整、通用的几条缸体和曲轴加工自动线,平时不同缸径的缸体和不同冲程的曲轴分别在各自的自动线上加工,但这些自动线在必要时又可以经过调整加工另一种缸体和曲轴。这样生产就很灵活。

(2) 采用由预设主轴组合机床组成的生产线,生产二种以上的缸体。如日本五十铃汽车公司藤泽工厂B系列发动机缸体线,就是采用这种方式加工二种缸径,三种冲程的四缸和六缸缸体共六个品种,每周作一次四、六缸之间的生产转换大调整,缸径和冲程则随生产计划随时调整。

(3) 采用由可调多轴镗床和迴转动力头组合机床组成的两种不同系列的缸体自动线,美国万国公司在生产300及400两种不同缸心距及缸径的缸体自动线上,采用偏心调节轴距的三轴镗床进行两种缸心距的缸体的缸孔粗镗,采用180°气压提升分度动力头组合机床及梭型动力头组合机进行两种缸体次要孔的加工。但对四种缸体的缸孔半精及精镗工序则仍采用两台不可调的三轴镗床,分别进行加工,以保证其精度。该生产线共有三条自动线,由81个工位组成,总长为353呎,全部采用步进式输送机构连接。

(4) 采用包含有可调通用机床和工艺装备的流水线加工V型和直列两种缸体。法国贝利埃公司V8和L6柴油机缸体采用由美国英格索尔公司制造的一条组合机床流水线加工,日产150件,在生产线上,采用龙门式双轴铣床(铣头可沿圆弧形导轨移动)铣削V型和直列两种缸体顶平面,而在加工两种缸体顶平面上的孔时,采用可转角度的夹具,在加工V型缸体时,夹具带着工件迴转,使顶平面始终垂直于机床多轴箱的主轴。

(5) 英国泼金新柴油机公司采用 Archdale 工厂制造的由自动转塔式组合机组成的七工位自动线, 生产结构相似的一组缸体。采用可根据缸体型式进行调整的特殊结构的输送带。该自动线的生产节拍为3.25分。

三、发动机的高效自动化生产

(一) 制造技术的几个发展阶段

自从1886年世界上第一辆汽车诞生以来, 发动机作为汽车上最主要的组成部分, 和汽车一样, 在制造技术上经历了五个发展阶段。

第一阶段从1886年至1908年, 是以一些小作坊为主, 产量都比较小。这个阶段的特点是以万能普通机床和手工制作为主, 按机群组织生产。一个作坊往往不仅生产汽车和发动机, 还同时生产其他产品, 劳动生产率和产品质量都很低。

随着市场对汽车需要量的增加和制造技术的发展, 到了本世纪初, 小作坊的生产方式, 已经不能满足需要, 而各种新的制造工艺和新式高效机床的出现, 使汽车和发动机制造技术出现了飞跃。

从福特汽车公司在1908年建立第一条流水线生产单一品种的廉价A型车开始, 汽车和发动机生产进入了第二个发展阶段。这时主要采用各种高效专用及组合机床组织机械化流水生产。并出现了两种不同的生产组织形式: 一是以福特公司为代表, 建立大型综合厂, 另一种是以通用公司为代表, 采用高效专用机床组织多品种专业化生产。在这个阶段, 制造技术发展迅速, 各种先进的工艺和高效生产机床如多轴立车、曲轴多刀车床, 加工缸体和缸盖等壳体零件的多轴钻、镗、攻丝组合机床等相继在生产中采用。发动机产量急剧增加, 生产效率迅速提高, 现代大量生产的雏形已初步形成。由于多品种专业化生产具有生产管理灵活, 更换品种容易, 能及时提供市场所需的产品等优点, 使得通用公司超过福特公司而成为世界上最大的汽车公司。

由于第二次世界大战, 汽车和发动机制造业受到严重破坏, 制造技术也陷于停顿状态。

1945年至1950年是制造技术的第三个阶段, 即战后恢复阶段, 这时以恢复生产为主, 在制造技术上虽然有小的发展, 如缸体平面拉床的出现等, 但总的说来, 工艺水平与第二阶段末期相似, 没有出现什么大的突破与飞跃。

自进入五十年代后, 又开始了新的飞跃, 自动化生产技术的发展与应用, 使制造技术进入了以自动化生产为特点的第四阶段。自动化生产在30年代末已有萌芽, 但当时由于产量和技术水平的限制, 发展不快。到了五十年代, 市场对汽车需要量剧增, 自动化技术也得到蓬勃的发展。美国的汽车和发动机工业从五十年代初就开始了由机械化生产向自动化生产的过渡, 1955~1957年达到高潮, 1952年福特公司建成世界上第一个自动化发动机厂——克利夫兰发动机厂。随后通用公司的雪佛兰和别克厂, 克莱斯勒公司的“顺风”自动化发动机厂也相继建成和投产, 到了五十年代末六十年代初, 基本完成了这个过渡。西欧和日本要晚一些, 从五十年代末六十年代初才开始这种过渡, 到六十年代中期也基本完成了这一过渡。在此期间, 各种自动线相继大量出现, 用先进技术武装起来的专业厂或综合厂相继建立。在大量生产中, 主要零件已由机械化流水生产转为自动化流水生产, 各种自动化的检查和装配装置也相继出现, 并日益广泛地用于生产。随着自动化技术的发展, 自动线的生产效率不断提高,

自动线生产节奏不断缩短，出现了一批每辆份节奏在 1 分钟以下的发动机主要零件生产自动线，自动线的规模也不断扩大，纳入自动线的工序范围也愈来愈广，开始建立了一些大型综合自动线，自动化的单机更是普遍地采用。一些先进的制造工艺和工艺装备的采用，使制造水平大大提高。年产数十万台以至上百万台发动机的大型企业也相继出现。这个阶段虽在大量生产中实现了自动化生产，但中小批量的生产基本上还是处于机械化的水平，还没有实现向自动化的过渡。

从六十年代末到现在，由于电子技术的广泛应用，制造技术又跃入了一个新的阶段，即第五发展阶段。这时在大量生产的领域中自动化继续向高效、综合、可调等方向发展，但总的说来，大体和上阶段末差不多，没有什么突出的变化。这个阶段的特点是由于电子技术的应用，中小批量生产实现了由机械化向自动化的过渡，朝着采用大量生产所使用的设备 and 生产方式的方向发展。由数字程序控制的各种数控机床、加工中心、可换主轴箱组合机床、自动转塔式组合机床以及可自动更换主轴箱的多轴加工中心代替了传统的加工机床，实现了中小批量的自动化生产，并为多品种生产的发展开辟了广阔的道路。

为了获得最佳的经济效果，除了组织以多品种系列化为基础的专业化生产，采用各种严格的、科学的管理措施外，还要缩短加工过程的机动和辅助时间，寻求各种降低材料消耗的措施。目前制造技术的发展特点为：

- 1. 采用各种高速、强力、大进给以及组合、多刀、多面加工工艺，提高切削效率，缩短加工过程的机动时间。
- 2. 实现制造过程的自动化，以减轻劳动强度，缩短辅助时间。同时，自动化的发展也提高了工艺的稳定性 and 产品质量。
- 3. 发展各种少无切削工艺，减少材料消耗，提高零件的机械性能，大大提高生产效率。
- 4. 提高生产过程多品种的适应性，发展和建立能够适应多品种生产的流水线和自动线。
- 5. 广泛应用数字控制和电子计算机技术来管理生产，使规模愈来愈大，内容愈来愈复杂，组织愈来愈严密的生产过程更有机地协调起来，从而得到很好的经济效果。

表 1-1 列出了日本部分公司的制造工艺水平。

表1 1 日本部分公司的制造工艺水平

汽车公司名称	项 目 名 称	水 平
三菱	枪钻钻深孔	切削速度达90米/分，走刀量达到0.015毫米/转，中间不用退刀
三菱	车、镗、铣缸体、凸轮轴、缸套和连杆	几乎全部采用机夹刀具
三菱	缸体清洗	根据不同切屑情况，采用不同的高效专用清洗机，特别是采用高压（100公斤/厘米 ² ）水冲洗，可完全洗净，并用称量杂屑的重量来鉴定清洁度
三菱	缸体试漏	用测气压变动法快速检测
日产柴油机、丰田	切削加工	采用金刚石刀具，立方氮化硼砂轮，大幅度提高切削和磨削用量
五十铃	曲轴轴颈圆角加工	圆角处不淬硬，采用滚压强化，以提高疲劳寿命
五十铃、日野等	螺栓、螺帽紧固	用转角法、以螺栓塑性变形应力来保证紧固力，紧固可靠

（二）切削效率

提高切削效率，缩短机动时间是提高生产效率的主要途径之一。近年来由于不断改进刀具材料和提高切削性能，对刀具结构不断创新，制造出各种适合于高速强力切削的刚性强，动力性好的机床，大大提高了切削效率。目前采用的切削用量水平如下：

仿形及单刀车削	切削速度	150~200米/分
多刀车削	切削速度	30~35米/分
铸铁零件的平面铣削	走刀量	1000~1500毫米/分
	最高达	2500毫米/分以上
	切削速度	100~150米/分
铸铝零件的平面铣削	走刀量	4000~4500毫米/分
	切削速度	600~800米/分
	拉削速度	35~50米/分
大平面拉削	拉削速度	35~50米/分
用枪钻钻削	切削速度	70~80米/分
	走刀量	130~200毫米/分
	磨削速度	45~60米/秒
外圆磨削	磨削速度	45~60米/秒
镗削	镗削速度	80~120米/分
铸铝件的镗削	镗削速度	400~600米/分

由于高速强力切削在生产线上广泛应用，主要零件的生产节奏已经降低到1分钟以下。

1. 采用先进刀具材料，提高切削效率

国外十分重视研究和各种新型刀具材料。硬质合金不仅用于车、镗、铣等刀具上，而且钻、扩、铰、拉和一些成形刀具的材料也由高速钢改为硬质合金。硬质合金刀具已占全部刀具的40%以上。用硬质合金代替高速钢，切削效率得以提高，如美国辛辛那提机床公司生产的双行程拉床，拉削缸体底面、缸盖结合面、主轴承半圆面及主轴承盖的结合面等主要平面，采用高速钢拉刀，拉削速度仅为11米/分，生产率为55件/小时，每刃磨一次刀具寿命为4000件。而采用硬质合金拉刀，拉削速度可达50~60米/分，生产率为150件/小时，每刃磨一次刀具可拉削25000件，刀具总寿命可达200000件。在曲轴主轴颈的多刀车削中，采用硬质合金刀具，切削速度可达32米/分，而采用高速钢车刀，切削速度不到20米/分。西德奥贝尔（Opel）公司的Bochum厂采用硬质合金镗头精镗凸轮轴孔，切削速度为145米/分。别克汽车厂用硬质合金端铣刀铣削铝质缸体，铣削速度达450~600米/分。除了扩大硬质合金使用范围外，还发展了硬质合金镀覆刀片，即在硬质合金基体碳化钨上镀一层5微米左右的硬度碳化钛或氮化钛，这种刀具韧性和耐磨性都较好，可用更高的速度进行切削，或延长使用寿命。使用证明，在刀具寿命相同的条件下，其切削速度可提高25~50%，在相同的切削速度下，刀具寿命可提高2~4倍。据称，意大利菲亚特汽车厂在一条新生产线上使用这种刀片，使机床减少三分之一。辛辛那提铣床公司生产的九工位专用自动铣床采用碳化硼刀具铣削铸铁缸体顶面和端面，每分钟进刀量可达2790毫米。

高速钢在韧性和强度方面比硬质合金好，至今仍占有重要地位。目前为适应高效切削的需要，高速钢也在不断更新和改进。一方面不断改善和提高其组成成分和性能，用各种超硬、高性能新型高速钢，如钼系、钼钴系及高碳高钒高速钢、粉末冶金高速钢等来代替陈旧落后的高速钢，使刀具韧性、强度和硬度都得到提高。如缸体和缸盖钻孔攻丝所用的钻头丝锥，现

已多用钼系M₇高速钢制造,而拉刀则多用M₂高速钢制造。另一方面高速钢刀具也向镀覆方向发展,高速钢镀覆刀片寿命可提高3~6倍,切削效率可提高50~100%。日本三菱公司在威克斯车床上,用机械夹固镀覆高速钢刀具车削曲轴连杆轴颈部分,产量从每班53根提高到68根(两台机床产量),切削速度为24~7.4米/分,每刃磨一次刀具寿命可达30~60件,而吕产公司柴油机曲轴曲柄用普通高速钢刀具车削,切削速度只有14.5~4.1米/分,每刃磨一次刀具寿命为20~40件,镀覆刀具比普通高速钢刀具切削效率提高40~50%,寿命提高50%。

陶瓷刀片是五十年代以来所采用的一种新刀具,其主要成分是三氧化二铝,这种刀具材料高温硬度高,在1400℃的高温下,仍能保持硬度不降低,并具有很好的耐磨性,在用比硬质合金更高的切削速度切削,能长期保持加工尺寸的稳定性,在铸铁件如缸体和缸盖等壳体件的半精车、精车、半精镗、精镗工序中采用这种刀片,切削速度可达200~600米/分,加工的精度及光洁度都有较大提高。早在五十年代,在象缸体的缸孔这种尺寸精度要求很高的主要孔的精镗,曲轴和凸轮轴等轴类零件的精车等工序中就有不少采用了陶瓷刀片。如在美国通用汽车公司奥兹摩比尔厂凸轮轴车削自动线上,采用三角形不重磨陶瓷刀片,精车HB241-277高合金铸铁凸轮轴轴颈,切削速度达113~150米/分,每刃磨一次刀具平均寿命为加工9000个轴颈。克莱斯勒汽车公司在V8铸铁缸体自动线上,用陶瓷刀片精镗缸孔,切削速度达311米/分,每分钟走刀量为457mm。在日本,缸孔加工不但精加工而且粗加工也采用陶瓷刀具,其切削深度可达6mm,切削速度达160米/分,每转进给量为0.45mm。据统计,西德汽车行业中,陶瓷刀片占整个刀具材料的8%。

此外,其他一些新型的刀具材料,如金属陶瓷、聚晶金刚石和立方氮化硼等,也逐渐用于发动机零件的加工,并收到了很好的效果。如三菱汽车公司采用立方氮化硼刀片加工硬度达Rc54,硬质合金刀片难以加工的零件如柴油机缸盖上的排气阀座(材料为镍基合金),切削速度为52.3米/分,进刀量为0.059毫米/转,每刃磨一次刀具寿命为60~90件,该公司还用此刀片加工淬硬的齿轮端面。

聚晶金刚石是在硬质合金上烧结一层厚的0.5毫米的金刚石粉末,可达很高的硬度,比硬质合金高3倍,耐磨性、耐冲击性也比普通硬质合金好,使用寿命为硬质合金刀片的4~35倍。以铝合金活塞加工为例,硬质合金刀片每次刃磨可加工500~1000件,而用这种刀片可加工13000~23000件。日本三菱汽车公司采用这种刀片精镗连杆小头衬套孔,精镗缸体凸轮轴衬套孔和精镗飞轮外壳内孔及精车其端面,铣削曲轴箱安装面,都收到了很好的效果。

金属陶瓷是以碳化钛为基体,以镍为粘结剂的刀具材料,其强度较陶瓷刀具为高,同时耐磨性亦好,是介于陶瓷和硬质合金之间的刀具材料,适合在250~600米/分的切削速度下工作。美国福特汽车公司采用的硬质合金刀具中,10%为金属陶瓷刀具。这种刀具在钢质零件的半精及精加工工序中采用。当精镗连杆大头孔时,刀具寿命比普通高速钢刀具高3~4倍。

上述这些新型刀具材料的使用,不但提高了切削效率,而且由于大大提高了刀具寿命,减少了换刀和刃磨的次数,辅助时间也缩短了。如丰田汽车公司汽缸体气阀挺杆孔上窝座的复合镗削,原来用硬质合金镗刀,每次刃磨刀具寿命为3000~4000件,平均刃磨5~6次,每一轴的刀具更换时间为8.9分,调刀时间为2分,后改用金刚石镗刀并采用线外调刀装置,每次刃磨刀具寿命为30000~50000件,与硬质合金刀具比较提高9~12倍,尺寸调整次数由