

内燃机制造技术

农业机械部第三设计研究院 编

下 册

第一机械工业部科学技术情报研究所

一九八一年

目 录

第六章 机械加工技术	(1)
一、缸体和缸盖的机械加工	(1)
(一) 概述	(1)
1. 不同品种和批量的生产方式	(1)
1) 单件和小批量的生产方式	(2)
2) 中批量的生产方式	(5)
3) 大批大量的生产方式	(9)
2. 工序特点和工艺可能性	(10)
1) 工序特点	(10)
2) 工艺可能性	(11)
3. 主要工序的加工技术	(15)
1) 平面加工技术	(15)
2) 孔加工技术	(28)
4. 提高加工系统生产效率的途径	(48)
5. 新技术在加工系统中的应用	(52)
1) 机床新技术的应用	(52)
2) 电子计算机技术的应用	(53)
(二) 国外气缸体典型加工系统介绍	(62)
1. 美国克罗斯公司几种类型的气缸体加工线	(62)
1) 直列式六缸气缸体综合加工自动线	(62)
2) 直列式四缸气缸体大批大量生产综合加工自动线	(67)
3) 加工三种不同功率的四缸和六缸气缸体的综合加工自动线	(68)
4) 小批生产用的气缸体加工自动线	(69)
5) 四缸气缸体的中批生产流水线	(71)
6) 克罗斯公司气缸体加工系统的技术特点	(72)
2. 美国英格索尔铣床公司的气缸体加工系统	(75)
1) V-8气缸体加工自动线	(75)
2) 直列四缸汽油机缸体加工自动线	(78)
3. 美国凯斯公司和万国收割机公司的多品种气缸体加工线	(80)
1) 美国凯斯公司的多品种气缸体加工线	(80)
2) 万国收割机公司的300—400系列柴油机气缸体加工线	(82)
4. 苏联哈尔科夫发动机厂的CMД型柴油机气缸体加工系统	(84)
5. 苏联明斯克发动机厂的气缸体加工系统	(91)
6. 苏联李哈乔夫汽车厂的V-8气缸体加工自动线	(94)

7. 英国泼金斯公司气缸体加工系统	(100)
1) 4.236型柴油机气缸体加工线	(100)
2) V8.510型柴油机气缸体加工工艺流程	(101)
8. 日本东洋工业的气缸体加工自动线	(103)
9. 日本本田技研的气缸体加工线	(107)
10. 西德B+W公司的加工五缸和六缸气缸体自动线	(112)
11. 法国雷诺公司的由特种组合机床组成的气缸体小批量生产流水线	(116)
(三) 内燃机气缸盖的典型加工系统	(120)
1. 美国万国收割机公司的加工两种系列气缸盖的可调自动线	(120)
2. 苏联明斯克发动机厂的气缸盖加工系统	(124)
3. 法国雷诺公司为苏联卡马厂提供的柴油机气缸盖加工自动线	(127)
4. 苏联乌菲姆斯发动机厂的气缸盖加工系统	(129)
5. 日本东洋工业的气缸盖加工系统	(134)
6. 日本本田技研的气缸盖加工自动线	(136)
7. 日本新泻铁工的气缸盖加工自动线	(140)
8. 西德B+W公司的气缸盖综合加工系统	(142)
9. 西德许勒公司的气缸盖综合加工系统	(147)
参考资料	(157)
二、曲轴和凸轮轴的机械加工	(158)
(一) 概述	(158)
(二) 曲轴的机械加工	(160)
1. 曲轴的毛坯	(161)
2. 曲轴端面 and 中心孔的加工	(161)
3. 曲轴轴颈的车削和铣削	(161)
1) 车削和铣削的比较	(161)
2) 轴颈车削加工设备	(162)
4. 曲轴轴颈的外铣和内铣	(164)
1) 外铣和内铣的比较	(164)
2) 轴颈的其它铣削方法	(167)
3) 旋风铣床简介	(168)
5. 轴端孔和轴颈油孔的加工	(170)
6. 曲轴的校直	(172)
7. 曲轴轴颈的磨削	(172)
1) 曲轴磨床的类型	(176)
2) 提高磨削生产效率	(177)
3) 提高自动化水平	(179)
8. 曲轴圆角滚压强化	(183)
1) 滚压优点及方法	(183)
2) 圆角滚压	(184)

9. 曲轴的抛光	(185)
10. 曲轴的检验	(186)
11. 曲轴的平衡自动化	(187)
1) 简述	(187)
2) 曲轴自动平衡线简介	(189)
3) 激光自动平衡机	(197)
4) 发动机整机平衡	(197)
12. 国外曲轴生产线简介	(197)
1) 美国万国收割机公司曲轴生产线	(197)
2) 美国福特汽车公司曲轴生产线	(199)
3) 英国泼金斯公司曲轴生产线	(202)
4) 英国克莱斯勒公司曲轴生产线	(203)
5) 日本五十铃公司曲轴生产线	(204)
6) 日本本田技研工业公司曲轴生产线	(205)
7) 苏联卡马厂曲轴生产线	(208)
8) 西德道依茨公司曲轴生产线	(209)
9) 南斯拉夫5.21厂曲轴生产线	(209)
10) 日本日平产业曲轴磨削自动线	(211)
(三) 凸轮轴机械加工	(212)
1. 概述	(212)
2. 凸轮轴的检验	(215)
3. 典型设备简介	(216)
1) 日本丰田公司GCN15~100型数控凸轮磨床	(216)
2) 日本日平产业公司制造的CMGNC40/75型数控磨床	(216)
3) 日本日平产业公司的R型凸轮轴磨床	(217)
4) 西德绍特公司凸轮轴磨床	(218)
5) 英国纽瓦尔公司72年在奥林匹亚机床展览会上展出的WA型高速凸轮主轴颈磨床	(219)
6) 英国纽瓦尔公司新近设计的ZA型高速凸轮轴磨床	(219)
7) 日本丰田公司研制一种使用CBN砂轮的凸轮轴磨床	(220)
8) 日本丰田工机GCB 7-63型CBN砂轮凸轮轴磨床	(220)
4. 国外主要厂家凸轮轴生产线简介	(221)
1) 美国史奈德公司凸轮轴生产线	(221)
2) 美国万国收割机公司凸轮轴生产线	(222)
3) 英国韦伯恩工程公司凸轮轴生产线	(222)
4) 西德希勒—亨舍尔公司凸轮轴自动线	(223)
5) 日本五十铃公司凸轮轴生产线	(223)
6) 日本新泻铁工所凸轮轴生产线	(224)
参考资料	(225)

三. 连杆加工技术	(226)
(一) 概况	(226)
(二) 连杆加工的工序安排	(227)
(三) 主要工序内容分析	(228)
1. 对锻件毛坯的要求及其检查和处理方法	(228)
2. 粗精磨连杆的两端面	(229)
3. 拉削锻件小头的两侧定位面及校重凸台的三个侧面	(230)
4. 钻、铰连杆小头并对小头孔两边倒角	(230)
5. 连杆的拉削加工	(230)
6. 连杆体和盖上结合齿形的加工	(234)
7. 钻大头连杆体上的油孔并铣小头油槽凹口	(234)
8. 连杆体和盖上螺栓孔及轴瓦定位槽的加工	(235)
9. 装配连杆体和盖	(245)
10. 半精镗大头孔及倒角	(247)
11. 称重和平衡去重	(248)
12. 精镗连杆大小头孔并倒角	(249)
13. 小头孔压入铜套、铣油槽和孔内去毛刺	(254)
14. 精镗连杆小头铜套孔	(254)
15. 珩磨大头孔	(254)
16. 最终检验	(254)
(四) 其他工序内容	(257)
(五) 连杆加工工艺的合理安排、应用实例及其提高生产率的方法	(258)
1. 合理安排工艺内容	(258)
2. 连杆生产的应用实例	(258)
3. 提高生产率的方法	(259)
(六) 典型设备和典型结构介绍	(262)
1. 连杆镗—磨机床	(262)
2. 连杆体和盖在螺柱孔加工自动线中的输送装置	(262)
3. 精镗连杆时采用的带工具自动补偿的镗削装置	(263)
4. 冷却、润滑与排屑	(264)
参考资料	(268)
四、切削刀具的应用与发展	(270)
(一) 概述	(270)
(二) 目前切削刀具常用材料	(272)
(三) 切削刀具材料应用情况	(273)
(四) 切削刀具结构应用近况	(275)
1. 车削刀具结构	(275)
2. 铣削刀具结构	(278)
3. 孔加工刀具和内螺纹刀具结构	(280)

4. 齿轮刀具结构	(282)
5. 拉削刀具结构	(283)
6. 自动线刀具结构	(283)
(五) 各种切削刀具切削情况	(283)
1. 车削方面	(284)
2. 铣削方面	(285)
3. 钻铰加工方面	(285)
4. 攻丝方面	(288)
5. 拉削方面	(288)
6. 切齿方面	(288)
7. 磨削方面	(289)
(六) 自动线的刀具使用情况	(289)
1. 车削方面	(299)
2. 铣削方面	(291)
3. 钻孔和攻丝方面	(291)
4. 拉削方面	(291)
5. 镗削方面	(291)
(七) 组合机床和自动线的刀具管理	(294)
(八) 主要发展趋向	(295)
1. 刀具材料	(295)
2. 刀具结构	(295)
参考资料	(295)
五、检测技术的应用与发展	(296)
(一) 主要量仪及其他装置的使用情况	(296)
1. 气动量仪	(296)
2. 电动量仪	(297)
3. 气—电配磨量仪	(298)
4. 自动检验分选机	(298)
5. 数字式量仪	(299)
6. 三坐标测量机	(299)
7. 齿轮检验量仪	(300)
8. 激光技术、传感器的应用	(302)
9. 计算机技术在量仪上的应用	(303)
(二) 自动测量技术应用情况	(304)
1. 工件的定位精确性检查	(304)
2. 刀具折断检查装置	(305)
3. 刀具磨损自动补偿	(307)
4. 工件加工质量检验	(311)
(三) 主要发展趋势	(314)

参考资料	(315)
第七章 油漆技术	(316)
一、概述	(316)
二、涂漆前的表面处理	(316)
(一) 铸锻件的漆前表面清理	(316)
(二) 钢板覆盖件的漆前表面处理	(317)
(三) 漆前表面处理的发展动向	(317)
1. 去油	(317)
2. 磷化	(317)
3. 设备	(318)
4. 对表面处理用水的要求	(319)
三、涂漆方法	(319)
(一) 发动机的涂漆工艺	(319)
(二) 涂漆方法	(320)
1. 电泳涂漆	(320)
2. 静电粉末喷涂	(322)
3. 静电喷漆	(325)
4. 手工压缩空气喷涂	(328)
5. 无空气喷涂	(328)
6. 其他涂漆法	(328)
(三) 各种涂漆法的发展趋向	(329)
四、涂料	(329)
(一) 水基漆	(329)
(二) 溶剂漆	(330)
(三) 粉末涂料	(330)
(四) 各种固化型涂料	(330)
(五) 各种涂料的发展状况及趋向	(331)
五、烘干及运输	(332)
(一) 涂漆的干燥设备	(332)
(二) 运输	(332)
六、公害处理	(333)
参考资料	(334)
第八章 电镀技术	(335)
一、概述	(335)
二、典型电镀工艺	(336)
(一) 镀锌	(336)
(二) 镀铜	(342)
(三) 镀铬	(344)
(四) 镀镍磷合金	(346)

(五) 镀铜锡合金	(347)
三、电镀设备	(347)
(一) 三价铬镀铬的设备	(347)
(二) 无氰自动镀锌线	(348)
(三) 瑞士电镀自动线	(349)
(四) 美国凯特匹勒公司的自动电镀系统	(351)
(五) 日本大成建设公司的无人操作活塞环镀硬铬自动线	(352)
四、电镀生产的质量控制	(354)
(一) 温度的控制	(354)
(二) 电流密度和电流量的控制	(355)
(三) pH 值的自动控制	(355)
(四) 洗涤水纯度的控制	(355)
(五) 镀液剂量自动补给系统	(355)
(六) 槽液成份的分析	(356)
(七) 电镀液中杂质的滤除	(356)
(八) 电镀层厚度的测定	(356)
五、电镀废水处理	(357)
(一) 电镀废水处理技术	(357)
(二) 电镀废液的回收再利用技术	(358)
六、典型电镀工厂介绍	(359)
(一) 美国苏必利尔电镀公司	(359)
(二) 高度机械化和自动化的电镀车间	(360)
参考资料	(362)
第九章 装配技术	(363)
一、概述	(363)
(一) 装配工艺的概况	(363)
(二) 自动装配的发展过程	(363)
(三) 自动装配发展的特点	(365)
(四) 自动装配的发展趋势	(368)
二、装配工艺过程及几个重要环节	(371)
(一) 严格控制进入装配工位的零部件质量	(371)
(二) 精度高的配合部位采用分组合合法	(373)
(三) 过盈配合连接件的热装法和深冷工艺	(376)
(四) 螺纹连接的自动拧紧机	(378)
(五) 装配线上增设许多检测工位	(382)
三、发动机装配线和零件输送机构	(385)
(一) 推杆式悬链装配线	(385)
(二) 地面装配线	(387)
(三) 生产批量与生产节拍	(392)

(四) 发动机自动装配用的送料系统	(393)
四、几个发动机厂装配情况及装配线介绍	(398)
(一) 美国万国收割机公司300及400系列柴油机装配	(398)
(二) 美国福特汽车公司克利夫兰发动机装配	(399)
(三) 西德福特公司科隆厂发动机装配	(400)
(四) 欧洲联合企业SOFIM的柴油机装配系统	(403)
(五) 英国伏克斯豪尔公司的缸盖装配自动线	(404)
(六) 苏联卡马河汽车厂发动机装配	(406)
(七) 苏联哈尔科夫“镰刀与锤子”厂柴油机装配车间	(407)
(八) 国外部分发动机厂装配线概况	(415)
参考资料	(422)
第十章 出厂试验	(422)
一、出厂试验规范	(423)
二、试验台型式	(424)
三、测试设备和仪器	(426)
(一) 扭矩的测定	(426)
(二) 转速的测定	(433)
(三) 燃油消耗量的测定	(433)
(四) 烟度测定	(434)
四、出厂试验向自动化方向发展	(437)
五、试验台快速装拆和自动装拆	(440)
六、噪音防护	(442)
七、试验站的辅助设施	(442)
八、试验站的运输	(443)
九、典型试验站介绍——英国莱兰特公司发动机试验中心	(444)
十、国内外内燃机出厂试验有关情况汇总参考资料	(448)
第十一章 生产综合自动化	(453)
一、自动化发展概况	(453)
二、数控技术的发展及其应用	(455)
(一) 数控概况	(455)
(二) 数控系统	(458)
1. 普通数控装置	(458)
1) 普通数控装置的基本原理及其分类	(458)
2) 数控机床在内燃机制造业中的应用	(458)
2. 电子计算机数控 (CNC) 装置	(460)
1) 电子计算机数控概述	(460)
2) CNC系统的生产应用	(461)
3) CNC系统的诊断系统	(468)
3. 电子计算机直接控制 (DNC) 装置	(471)

1)概述	(471)
2)DNC系统的生产应用	(475)
三、自动化、“无人化”车间、工厂	(477)
(一)概述	(477)
(二)自动化、“无人化”工厂的发展	(480)
1. 综合自动化生产系统	(480)
2. 综合自动化生产系统的组成	(482)
3. 综合自动化生产系统应用	(486)
4. 从综合自动化系统到“无人化”工厂	(487)
参考资料	(493)

第四部分 公用设施

第一章 总图运输	(494)
一、总平面布置及规划	(494)
(一)厂区规划与社会协作关系	(494)
(二)厂房布置的几种趋势	(494)
二、物料搬运	(495)
(一)概述	(495)
(二)几种搬运工具、方法及发展趋势	(496)
三、仓库	(499)
(一)仓库功能的变化	(499)
(二)仓库发展的趋势	(499)
(三)介绍两座储存柴油机的仓库	(501)
(四)自动叉车	(502)
参考资料	(503)
第二章 动力供应	(504)
一、蒸汽热力	(504)
二、压缩空气	(505)
三、其它气体(氧、氮等)供应	(508)
四、关于老厂动力系统的改造	(510)
参考资料	(511)
第三章 暖通空调	(512)
一、概述	(512)
二、国外发展动向	(512)
(一)为减少污染改进生产工艺	(512)
(二)改进室内气流组织,合理采用和布置暖通空调设备及系统	(513)
(三)不断改进除尘设备	(513)
(四)节能和开发新能源	(515)
(五)新设备、新材料、新技术	(516)

(六) 产品定型化, 制造工厂化, 施工机械化	(517)
(七) 电子计算机的应用	(518)
参考资料	(518)
第四章 环境保护	(519)
一、法律上加以规定	(519)
二、经济上予以保证	(520)
三、管理上加强措施	(520)
四、工艺上加以改进	(521)
五、规划上综合考虑	(523)
六、污染防治技术发展动向	(523)
参考资料	(528)

第六章 机械加工技术

一、缸体和缸盖的机械加工

(一) 概述

气缸体和气缸盖是内燃机零件中结构最复杂的大型箱体零件。由于内燃机的燃烧介质不同（汽油和柴油），缸数和气缸配置不同（如直4、V-8等），气阀机构不同（上置气门——OHV和顶置凸轮轴——OHC）以及零件本身的材料不同（铸铁、铝合金），使得气缸体和气缸盖具有多种多样的形状和品种。同时，要求这类箱体零件的平面及孔系具有较高的尺寸精度和位置精度，以确保内燃机整机的较高技术参数。鉴于上述这些特点，内燃机气缸体和气缸盖的机械加工，其所占的工序之多和所涉及的加工技术范围之广，在整个内燃机制造中居于主要的地位。

自1934年美国格林里（Greenle）公司创制了世界上第一条加工气缸体的组合机床自动线以来，随着机床技术、刀具技术和检测技术的迅速发展，特别是电子技术的应用范围的扩大，使国外内燃机箱体零件的生产在质和量两方面均取得迅速发展。目前，国外内燃机制造厂家不仅能够获得各类可靠性高的设备来实现气缸体和气缸盖的高精度（如一级精度孔）的加工，并且可以根据产品的不同批量和品种来组织各类较为经济合理的生产系统。

毫无疑问，在内燃机的各类零件的加工技术中，气缸体和气缸盖的加工技术是一个处于领先地位的较为成熟的领域。特别在大批大量生产方面，由于采用了具有高度自动化的高效率综合加工系统，已能使内燃机箱体零件在单条自动线上达到年产80万件的高生产率。所以，以大批大量生产为特征的汽车制造厂家，采用大量的高效综合自动线便能够组织年产纲领达200万台以上的内燃机生产系统，如日本丰田汽车公司目前的生产能力达到年产270万台便是一个例证。但是，目前国外在组织内燃机箱体零件的多品种中批生产方面，仍有很多问题（诸如如何确定最佳生产方案等）有待解决。可以说，内燃机箱体零件的多品种中批生产是一个方兴未艾的领域。

1. 不同品种和批量的生产方式

众所周知，国外内燃机制造厂家在其商业性生产中，总是力图以严格的经济原则，根据其品种的多寡（单一品种还是多品种）、生产批量的大小（小批、中批或大批大量）以及加工精度的高低等因素，来选用尽可能经济合理的最佳生产方式。特别对于气缸体和气缸盖这类复杂的大型箱体零件的生产，如何以严谨的经济合理性来处理其品种、批量与生产方式的关系，就显得更为重要。但是，这种关系在目前仍是一个无法得出确切答案的复杂问题。只能说：这种关系目前只有定性的概念，而尚难得到统一的定量的结论。

这种品种、批量与生产方式的定性关系，已作为一种基本概念被人们所普遍接受。譬如，国外在内燃机气缸体和气缸盖的单件、小批生产中，优先选用以加工中心为代表的数控机床来组织生产，其经济合理性现已无可争议了。同样，在单一品种及少品种的大批大量生产中，采用人工上料的组合机床流水线或半自动线，或者根据要求的生产率采用全自动生产线，

也早就明确无疑的。而介于小批生产和大批大量生产之间的中批生产领域内，则根据其批量是靠近大量生产或是小批生产，应用这种或那种混合形式，但问题十分复杂。尽管七十年代以来，美国、法国、日本和西德等一些国家发展了由一般组合机床、特种组合机床或加工中心组成的“可调性加工系统”，初步解决了气缸体和气缸盖的多品种中批生产的问题。但在实际应用中的经济合理性，尚无准确的结论。图3-6-1所示为在不同生产批量的情况下，所采用的由不同类型机床组成相应生产系统的这种定性关系。

但是，要以明确的数量范围来划分各种批量的合理界限，则目前国外尚无公认的统一标准。一般来说，各国仅根据各自的具体情况粗略地划分各种批量范围而已。以内燃机箱体零件的中批生产为例，英、美、日、德等国便有各自的“中批量”之数量范围：

英国——泼金斯 (Perkins) 集团的生产董事罗莱德·伯拖多宣称：“柴油机的年产量在 6 ~ 7 万台以上才能称为大量生产”〔1〕。根据这种说法，中批生产的批量上限应接近于 6 万台。

美国——把生产率在每小时 5 ~ 75 件范围内的定为中批量生产。如拉姆 (Lamb) 公司把一条生产率为每小时 60 件的加工两种柴油机气缸盖的可调自动线，称之为“中批生产用的可调自动线”。按这样的生产率推算，该加工线的年产量在 12 万件左右，若两种型号的气缸盖之年产量各占一半的话，一种气缸盖的中批生产之批量值也在年产 6 万件左右。〔2〕

西德——奔驰公司中批生产几种内燃机，“根据西德的情况，这个（中批）批量通常为年产 500 ~ 1000 件”〔3〕；另外，根据西德刊物，在论述气缸体中批生产经济加工范围中，图3-6-3中示出的所谓“综合区域”（也就是中批生产范围）的年产量也基本在 500 ~ 1000 件的范围内。〔4〕

日本——根据日野公司在按产量对柴油机零件的多品种加工系统进行分类时，把中批生产的月产量定为 200 ~ 1500 台的范围。按此推算，其中批生产的年产量应在 2400 ~ 17000 台之范围。〔5〕

从上述各例足见各国对“批量”的定量概念是各循其规的。在这种批量界限不划一的这况下，要对各种批量的不同生产方式的经济合理性作出全面和准确的评价是比较困难的，这正是国外正在大力研究和急待解决的重要课题之一。

下面仅就国外常见的不同批量的不同生产方式作粗略的介绍：

1) 单件和小批量的生产方式

中小马力内燃机的所谓单件生产，一般是指年产量在 1 ~ 5 台范围内的原型产品的试制；而小批量生产则居多属于商业性生产，其年产量大体在 5 ~ 100 台的范围内，并且小批生产通常是带有重复性的。

根据国外的统计表明：柴油机的小批生产在各种批量生产中所占的比重较大，故国外有“传统的柴油机制造方法一直是小批量的”之说〔1〕。例如，日本的日野公司所生产的 250 ~ 350 马力柴油机便有 240 余种，从图3-6-2中可以看出，它们的生产批量都不大，而居多属于小批量生产〔5〕。

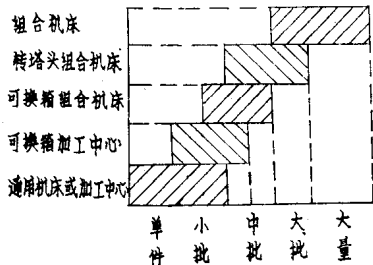


图3-6-1 不同生产批量所采用的不同类型机床

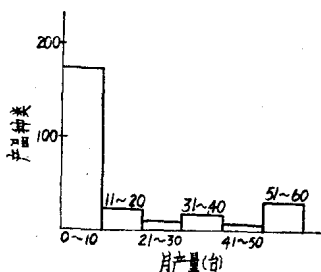


图3-6-2 日野公司的柴油机的品种与批量

气缸体和气缸盖的单件和小批产生的早期生产方式是采用通用机床进行加工。这是一种生产效率低、加工质量不够稳定的生产方式。因为采用通用机床来加工气缸体和气缸盖这类工艺范围广、工序多的复杂零件，势必投入相当数量的通用机床进行分散的加工，并且工件的加工精度在很大程度上取决于机床操作者的技术熟练程度。因此，这种采用通用机床的小批、单件生产方式存在着生产周期长、效率

低、劳动强度大、加工质量不稳定以及产品成本高等缺点。

为了解决这些问题，在程控和数控技术发展的基础上，国外研制出一些适用于内燃机箱体零件的单件小批生产的多工序数控机床，其中以所谓“机械加工中心”（我国正式称为自动换刀数控机床）为典型代表。

气缸体和气缸盖的单件小批量生产，采用多工序数控机床进行加工是比较理想的。例如：气缸体的六个大平面上总共约有300多个加工处，其中有80%的工作量可用多工序数控机床进行加工。这样的工作量若用只有两个工位的数控机床加工，约7个小时即可完成；而采用通用机床的原始生产方式，则同样的工作量却约需25个小时才能完成。故这种采用数控机床的生产方式能够比采用通用机床的生产方式降低72%的工时。

当所加工的箱体零件的制造技术条件需要采用夹具或高精度机床时采用加工中心进行加工是经济有效的。如日本使用两台加工中心机床加工箱体零件的经济效果如下：〔6〕

- 机床占地面积减少50%；
- 搬运管理费用节省40%；
- 工具费用节约80%；
- 加工技术熟练程度比原先可降低50%；
- 工程管理的负荷减轻30%。

与采用通用机床相比，采用数控机床的生产方式有如下优点：

①在一台数控机床上可以实现多面、多工序加工，代替了多台通用机床（一台加工中心一般相当于五台通用机床）的工作。这样，不仅可以省去机床间工件的来回搬运、反复装卸、工序间互相等待以及其他许多辅助时间，减少工件和工具的贮存量，同时也减少了操作人员 and 节省占地面积；

②数控机床的利用率高。由于实现刀具预调、工件预装以及节省了其他辅助时间，使数控机床的非切削时间所占的比例大为降低。一般通用机床的净切削时间只占机床开动时间的15~20%，而加工中心则可高达75~85%；

③加工质量稳定。由于数控机床按预定的程序和切削用量自动进行加工，减少了人为的差错，工件精度也容易调整。而不象通用机床那样需要依靠工人的熟练技术来保证工件的加工精度；

④数控机床便于多种零件的交替生产，变换工件时，只需更换控制带和简单的工夹具即可；

⑤数控机床可以大量使用标准刀具，因而工具的制造量比通用机床可减少75%；

⑥数控机床可以迅速适应加工和设计上的改变。

国外内燃机制造厂家的实践证明：采用数控机床来组织内燃机箱体零件的生产可以取得良好的经济效益。如日野公司在柴油机的多品种小批生产中，以数控机床和通用机床加工同一零件作比较，其经济效益如表3-6-1所列。

表3-6-1 数控机床与通用机床的效果〔5〕

比 较 项 目		(A) 数 控 机 床	(B) 通 用 机 床	A - B 差
机 床	台 数	13	20	- 7
	投 资	194	145	+ 49
夹 具	点 数	28	44	- 16
	投 资	5	30	- 25
投 资 合 计		199	175	+ 24
人 员		4	27	- 23
一 年 费 用	机 床 折 旧	39	29	+ 10
	夹 具 折 旧	2	12	- 10
	人 件 费	10	67	- 57
	合 计	51	108	- 57

注：投资额已系数化

由表列实例可见，虽然与数控机床本身投资有关的指标较高，但其综合经济效益仍优于采用通用机床的生产方式。

国外作过一些分析比较，认为批量在 5~100 件的范围内，以加工中心进行这种小批量生产为宜。有些分析认为，在批量少于15时，采用单机形式的数控机床可提高生产率1.5~2倍；而批量在15件以上的小批生产则以采用数控线为宜，这是一种与批量偏小的中批生产的交叉生产方式〔7〕。

采用加工中心等数控机床进行气缸体和气缸盖的单件、小批生产是目前国外公认的有效生产方式。但是，采用数控机床仍存在着一些缺点，主要有以下几方面：

①由于数控机床及其电气控制系统比较复杂，因此机床的购置费较高；

②需要有程序和打纸带等专业技术人员以及一套有关的辅助设备。刀具需要有机外对刀装置来进行精确预调；

③在使用范围上，通用的单轴数控机床受到一些限制，如不适于深孔加工、多刀镗同心孔和盲孔等加工工序。而这些限制性工序只能用专用的数控机床加以解决。

七十年代以来，国外在采用数控机床组织内燃机箱体零件的小批量生产方面，已发展到较高的技术水平，出现了用加工中心组成用电子计算机直接控制的自动线。如美国 Pontiac 汽车分公司便采用电子计算机集中控制技术，装备了 Sundstrand Omnicontrol 系统，集中控制四台加工中心，用于加工几种不同类型的气缸盖。另外，日本的丰田汽车公司和洋马柴油机公司均装备有由几台加工中心组成的用计算机直接控制的所谓 DNC 系统，用于内燃机气缸盖等箱体零件的多品种、中小批生产。其中丰田的 DNC 系统由两台加工中心组成，现可同

时加工四种气缸盖, 据称当随行夹具配齐后可同时加工20种不同型号的气缸盖〔8〕。

这种加工中心组成的自动线, 其加工工序、加工方法、加工所用的刀具以及切削用量等都由电子计算机自动选定, 这种自动线虽然有很高的多品种加工适应性, 可是生产率不高, 看来只能适用于小批生产, 而且价格昂贵, 尚未获得普遍推广使用。

目前, 各先进国家对发展加工中心等数控机床技术十分重视, 这将对内燃机箱体零件的多品种小批生产发挥越来越重要的作用。甚至有些国家认为, 数控机床和群控机床强加给操作人员的工作是单调而刻板的, 为解决此问题, 提出了在多品种小批量生产中实现所谓“无人化”的方案设想, 并对此进行一些具体的技术细节的研究工作〔9〕。

2) 中批量的生产方式

如前所述, 介于小批生产和大批大量生产之间的中批量生产, 是一个十分复杂的生产领域。特别对多品种、中批生产来说, 尤其如此。目前, 国外大力发展各种类型的适于多品种中批生产的机床, 并用各类机床组织形式多样的中批生产的加工系统。但究竟哪种方案属最佳方案, 则要视工件批量之大小 (即接近小批还是接近大批), 轮番情况, 多品种成组加工的可能性和可调性以及工件的尺寸大小, 精度要求等等具体因素, 经过鉴别和比较之后才能评定。

在组织内燃机箱体零件的中批生产中, 显然存在着这样的矛盾: “若以数控机床加工的话, 批量嫌太大; 而若以组合机床流水线生产的话, 则批量嫌太少。这正是个空挡范围”〔1〕。图3-6-3所示为西德根据气缸体的产量和多品种可调性而划分的加工方式。〔4〕图中的“综合区域”也就是上述的所谓“空挡范围”。由图中可以看出, 在中批生产的领域内, 主要根据其产量是接近小批生产还是接近大批生产来大体确定应该采用哪一种生产方案。如批量偏小的中批生产, 以采用多轴加工中心为主体的生产系统; 而在批量偏大的中批生产中, 则以采用由各类组合机床组成的生产线为宜。这种状况可以用美国英格索尔制造咨询公司董事庇脱·戴泼赛先生的下述说法加以概括: “你可以根据每年的生产量选取某种数控机床设备, 当你并没有拥有熟练的劳动力来操作这些设备时, 你也就只好作罢, 使用简单的流水线”〔1〕。

众所周知, 一般的组合机床是以特定零件和特定工序为对象的专用机床, 其特点是专用性强和生产效率高, 仅适于大批大量生产; 而通用机床和加工中心则通用性高, 生产周期过长, 主要用于单件和小批生产。因此, 发展适合中批生产的机床就成为解决中批生产的最关键一环。综观六十年代以来国外机床产品的发展趋势, 可以看出: 在发展通用机床和专用机床的同时, 出现了通用机床专用化和专用机床通用化的发展趋势。这种发展趋势正是发展中批生产用机床的一个显著特点。例如: 在通用单轴数控机床的基础上发展了专用多轴数控机床; 在专用机床的基础上发展了转塔主轴箱式、可调主轴箱式、自动更换主轴箱式以及自动换刀自动更换主轴箱复合式等型式的特种组合机床。上述这些类型的机床既具有工序集中的特点, 又具有一定的通用性和多品种适应性, 是比较理想的中批生产特别是多品种中批生产

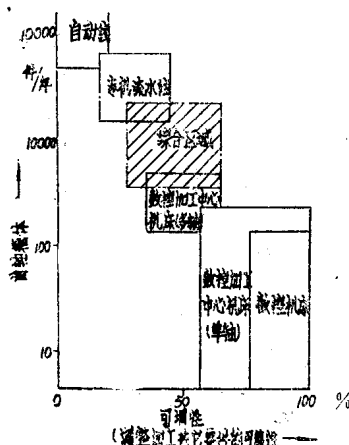


图3-6-3 根据批量和可调性而定的加工方式

用的机床。由这些机床为主体组成的加工系统在国外内燃机气缸体和气缸盖的多品种中批生产中发挥着重大作用。

目前，国外在组织气缸体和气缸盖的中批生产中，以上述各种机床为主体的主要生产方式有下列几种类型：

①机群式的中批生产方式——这种生产方式一般只适合于批量偏小的中批生产。其居多以多轴加工中心为主体，并配备一定数量的通用机床或专用机床。即采用加工中心来完成气缸体或气缸盖的大部分加工工序，而把其余的加工工序安排在通用机床或专用机床上进行。如奥地利一厂家为组织年产量为600件的V-4型柴油机气缸体（包括上体、下体和整体）的中批生产，在对各种可能方案进行慎重比较和分析之后，确定了以一台TC22加工中心为主体、配合少量通用机床混合组成的机群式生产方案为最佳方案。在这个方案中，除气缸体的

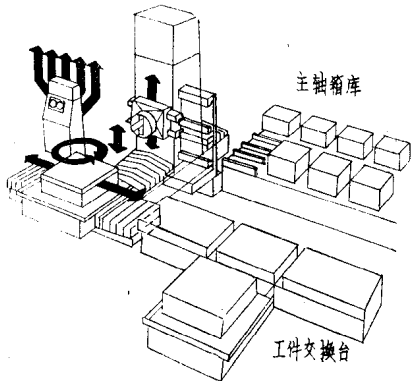


图3-6-4 TC22加工中心示意图

的主轴承孔和凸轮轴孔的精镗和主轴承孔及气缸孔的珩磨等工序安排在通用机床上加工外，其余的加工工序全部由TC22加工中心来完成。这台由西德布尔（Burr）公司生产的TC22加工中心是四座标数控机床，它不仅能在10秒钟内自动更换800×800的多轴箱（装有40或59根主轴），并且在链式刀库内储存的51把刀具也是自动更换的；另外还设有工件库，可自动更换气缸体（如图3-6-4所示）。在同样加工量的情况下，这个采用TC22与通用机床的混合方式比全部采用通用机床的生产方式，具有较

好的经济效果。其经济指标比较如表3-6-2所列。

表3-6-2 两种不同生产方式的比较

项 目	TC22 通用机床 混 合 方 式	通 用 机 床 方 式
机床投资额（%）	220	100
夹具和专用刀具（%）	22	100
占 地 面 积（米 ² ）	220	300
加 工 工 时（小时）	9.3	25.0
单 件 成 本（%）	91	100
投资回收期（年）	6.1	—

该厂还进行将气缸体产量从每年600件提高到1000件的试验，结果证明：提高这样的产量可以通过尽可能将加工中心所承担的单轴工序转移到通用机床上，使加工中心达到所要求的年产量1000件的目的。这些单轴工序主要是铣削工序以及单轴钻、扩、铰和攻丝工序，这些工序仅安排在一台大型龙门铣和一台带有回转夹具的大型摇臂钻上即可完成。〔4〕

又如西德莱茨公司的曼海姆发动机厂也采用以TC-2-80型加工中心（TC22型的变型）为主体的机群生产方式，中批生产最大规格为300×800×800的直列式和V型6~16缸的柴油机气缸体。能加工三种不同类型的3000种零件。在批量为200件的情况下，使用这种机床与通用机床比较，其劳动量能降低35%。〔10〕