

现代模具系列培训教材

现代模具成形设备

主 编 戴亚春

副主编 王广龙



机械工业出版社

前 言

本书是根据普通高等教育应用型本科机械制造及其自动化专业、材料成形及控制工程专业所要求的教学大纲编写的。

本书可作为高等工科院校机械制造及其自动化专业、模具设计专业、材料成形及控制工程专业的“模具成形设备”课程教材，也可作为高职高专相关专业教材，还可供与本专业有关的生产和技术人员参考。

由于全国各院校的专业方向、教学计划和教学重点等不尽相同，对“模具成形设备”课程的内容、重点、学时数等方面的要求也有较大的差别，所以本书编写时只能根据一般的要求，对“模具成形设备”课程的内容作了必要的保证。各兄弟院校在使用过程中完全可以根据本校教学上的要求，在内容上作必要的取舍与补充，讲授顺序也可作适当的调整。鉴于多数院校的学生在学习本课程之前已学习了液压传动课程，故在本书中对液压传动的基本内容不再介绍。

全书共分7章，介绍了曲柄压力机、液压机、压铸设备、粉末冶金成形设备、塑料挤出机、塑料注射机、塑料热成型设备等的工作原理、典型结构、控制系统、性能特点、主要技术参数与使用以及现在的发展方向等。

本书由江苏大学老师戴亚春任主编，江苏科技大学老师王广龙任副主编，江苏大学姜银方教授主审。参与编写的老师还有江苏大学的姜银方、王匀、袁国定、马朝兴等。

本书在编写过程中得到了有关工厂、学校和科研单位的大力协助及有关人员的大力支持，并提出了许多宝贵的意见，在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促，水平有限，对书中存在的错误和欠妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2008. 12. 10

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第 1 章 曲柄压力机	7
-------------------	---

1.1 概述	7
--------------	---

1.1.1 曲柄压力机的工作原理及结构	7
---------------------------	---

1.1.2 曲柄压力机的组成	7
----------------------	---

1.1.3 曲柄压力机的特点	8
----------------------	---

1.2 曲柄压力机的分类及型号	8
-----------------------	---

1.2.1 分类	8
----------------	---

1.2.2 型号	9
----------------	---

1.3 通用曲柄压力机的技术参数	11
------------------------	----

1.4 曲柄滑块机构的运动与受力分析	14
--------------------------	----

1.4.1 曲柄滑块机构的运动规律	14
-------------------------	----

1.4.2 曲柄滑块机构的受力分析	15
-------------------------	----

1.4.3 滑块许用负荷图	17
---------------------	----

1.4.4 结点偏置的曲柄滑块机构	19
-------------------------	----

1.5 通用压力机主要零部件的结构	19
-------------------------	----

1.5.1 曲柄滑块机构的结构	19
-----------------------	----

1.5.2 离合器和制动器	26
---------------------	----

1.5.3 传动系统	30
------------------	----

1.5.4 机身	33
----------------	----

1.5.5 飞轮与曲柄压力机电动机功率的 计算	34
----------------------------------	----

1.5.6 辅助装置	36
------------------	----

1.5.7 辅助系统	39
------------------	----

1.6 曲柄压力机的选择和使用	41
-----------------------	----

1.6.1 曲柄压力机的选择	41
----------------------	----

1.6.2 曲柄压力机的精度及检查	43
-------------------------	----

1.6.3 模具的安装与调整	43
----------------------	----

1.7 其他类型压力机	44
-------------------	----

1.7.1 热模锻压力机	45
--------------------	----

1.7.2 双动拉深压力机	48
---------------------	----

1.7.3 螺旋压力机	52
-------------------	----

1.7.4 剪板机	58
-----------------	----

1.7.5 高速压力机	64
-------------------	----

1.8 冲压机械手	71
-----------------	----

1.8.1 自动送料装置	71
--------------------	----

1.8.2 冲压机械手	75
-------------------	----

1.8.3 开卷校平机设备	77
---------------------	----

1.8.4 冲压生产线	78
-------------------	----

第 2 章 液压机	83
-----------------	----

2.1 液压机的工作原理、特点及分类	83
--------------------------	----

2.1.1 液压机的工作原理	83
----------------------	----

2.1.2 液压机的特点及分类	86
-----------------------	----

2.2 液压机的本体结构	89
--------------------	----

2.2.1 液压机机身	89
-------------------	----

2.2.2 液压机液压缸	99
--------------------	----

2.2.3 附属装置	103
------------------	-----

2.3 液压机的液压系统	106
--------------------	-----

2.3.1 一般通用液压机的液压系统	106
--------------------------	-----

2.3.2 双动拉深液压机的液压系统	109
--------------------------	-----

2.3.3 塑料制品液压机的液压系统	112
--------------------------	-----

2.4 液压机的主要技术参数及其选用	115
--------------------------	-----

2.5 其他类型液压机	120
-------------------	-----

2.5.1 角式液压机	120
-------------------	-----

2.5.2 铸压液压机	121
-------------------	-----

2.5.3 层压机	121
-----------------	-----

第 3 章 压铸设备	123
------------------	-----

3.1 压铸机分类	123
-----------------	-----

3.2 压铸机结构	123
-----------------	-----

3.3 部分压铸设备的主要参数	127
-----------------------	-----

3.3.1 冷室压铸机	127
-------------------	-----

3.3.2 热室压铸机	131
-------------------	-----

3.4 压铸机选择	135
-----------------	-----

3.4.1 锁模力计算	135
-------------------	-----

3.4.2 型腔偏离压铸机锁模力中心时锁 模力计算	137
------------------------------------	-----

3.4.3 核算压室容量	137
--------------------	-----

3.4.4 核算模具厚度	138
--------------------	-----

3.4.5 核算动模座板行程	138
----------------------	-----

第 4 章 粉末冶金成形设备	141
----------------------	-----

4.1 概述	141
--------------	-----

4.2 粉末冶金零件的制造工艺过程	142
-------------------------	-----

4.2.1 金属粉末	142
------------------	-----

4.2.2 传统粉末冶金零件制造工艺	145	5.5.5 挤出机的发展概况	226
4.2.3 金属注射成形 (MIM)	149	第6章 塑料注射机	228
4.2.4 粉末锻造	149	6.1 塑料注射成型过程	228
4.2.5 温压工艺	149	6.1.1 注射机的组成	228
4.2.6 传统粉末冶金工艺、金属注射成形和粉末锻造的比较	150	6.1.2 注射机工作循环过程	228
4.3 粉末成形设备及其模架	151	6.1.3 注射机的分类	230
4.4 粉末成形设备规格及技术参数	154	6.1.4 注射机的型号和规格	231
4.4.1 国内常见粉末成形压机规格及技术参数	154	6.2 常用注射装置及其部件	233
4.4.2 国外常见的粉末成形压机规格及技术参数	163	6.2.1 柱塞式注射装置的组成和工作原理	233
4.5 普通可倾式压力机 (冲床) 自动化改造	167	6.2.2 螺杆预塑式注射装置	234
4.5.1 凸轮机构	167	6.2.3 往复螺杆式注射装置	235
4.5.2 拉杆 (钩) 机构	174	6.2.4 柱塞式注射装置部件	236
4.5.3 送粉机构	176	6.2.5 螺杆式注射装置部件	237
4.6 常见粉末冶金成形模架	179	6.3 常见合模装置	242
4.6.1 粉末成形模架基本类型	180	6.3.1 液压式合模装置	242
4.6.2 普通压机用的成形模架	181	6.3.2 液压-曲肘式合模装置	245
4.6.3 专用粉末成形机用成形模架	183	6.4 调模装置	249
第5章 塑料挤出机	190	6.4.1 液压式合模装置的调模装置	249
5.1 挤出生产原理及挤出机组组成	190	6.4.2 液压-曲肘式合模装置的调模装置	249
5.1.1 挤出生产过程与挤出机组组成	190	6.5 顶出装置	250
5.1.2 挤出机的分类与型号	192	6.5.1 机械顶出	250
5.2 挤出理论简介	192	6.5.2 液压顶出	250
5.2.1 固体输送理论	193	6.5.3 气动顶出	250
5.2.2 熔融理论	195	6.6 注射机的控制系统	251
5.2.3 熔体输送理论	198	6.7 注射机的技术参数	251
5.2.4 挤出机综合工作点	199	6.7.1 注射量	251
5.3 挤出机结构与参数选用	202	6.7.2 注射压力	252
5.3.1 挤压系统	202	6.7.3 注射速度、注射速率与注射时间	252
5.3.2 传动系统	211	6.7.4 塑化能力	253
5.3.3 加热冷却系统	213	6.7.5 锁模力	253
5.4 挤出机辅机	216	6.7.6 合模装置的基本尺寸	254
5.4.1 概述	216	6.7.7 开合模速度	255
5.4.2 挤管辅机	217	6.8 注射机的使用	255
5.4.3 吹塑成型辅机	221	6.8.1 开机前的准备和終了时的结束工作	255
5.5 其他类型挤出机	223	6.8.2 注射机的操作	255
5.5.1 排气式挤出机	223	6.8.3 塑化装置的使用	256
5.5.2 双螺杆挤出机	224	6.8.4 合模装置的使用	256
5.5.3 两级式挤出机	225	6.8.5 注射机液压、电气装置的使用	257
5.5.4 行星齿轮式挤出机	226	6.8.6 注射机的安全措施	257

6.9 注射机的维护	258	7.3 其他热成型	279
6.10 新型专用注射机	258	7.3.1 弯曲成型	279
6.10.1 多模注射成型机	258	7.3.2 卷筒成型	280
6.10.2 多色注射机	258	7.3.3 卷边和翻边成型	280
6.10.3 热固性塑料注射机	260	7.3.4 扩口成型	281
6.10.4 排气式注射机	261	7.3.5 成波成型	282
6.10.5 发泡注射机	261	7.3.6 热收缩管	283
6.10.6 精密塑料注射机	262	7.4 热成型设备	283
第7章 塑料热成型设备	264	7.4.1 基本工序	283
7.1 概述	264	7.4.2 设备的组成及作用	284
7.1.1 热成型的发展	264	7.4.3 热成型机	287
7.1.2 热成型技术	265	7.5 热成型设备的安全操作	296
7.1.3 热成型的特点	265	7.5.1 塑料制品生产中的安全问题	296
7.1.4 热成型制品的用途	265	7.5.2 塑料成型机械的预测维修	298
7.2 热成型的基本方法	266	7.5.3 热成型机的使用与维护	300
7.2.1 模压成型	267	参考文献	303
7.2.2 差压成型	269		

绪 论

1. 成形设备的地位和作用

工业生产中，以模具为基本工具使制件获得所需的尺寸和形状——已成为工业生产的重要基础和关键环节。机械、电子、轻工、国防等工业部门的产品零件已越来越多地转为以模具为基本工具进行成形，这是因为用模具生产的各种制品具有很多特点：塑性成形时，移动材料单位体积的速度比切削加工快，生产效率高；塑性成形不仅能改善材料内部的结构和缺陷，还能充分利用纤维组织的方向性，大大提高零件的力学性能；一般的冲压件、塑料件或压铸件一经成形即为成品，无需再进行切削加工或只需少量的切削加工，材料利用率高；一个设计好的塑料件，往往可以代替数个传统的结构件，并可利用非弹性和韧性设计为卡装结构，使各种紧固件成倍减少，大大降低了金属消耗量和加工、装配工时；成形生产制件精度稳定，特别适合于大批量生产。因此，成形生产在工业生产中占有极其重要的地位，广泛应用于几乎所有的工业部门，如汽车、仪表、电器、计算机、照相机、机床、航空航天、兵器等部门，已成为现代工业必不可少的生产手段之一。成形生产两大主体——模具工业和成形设备工业是装备工业的一个重要组成部分。成形生产技术水平的高低已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志，直接影响着产品生产的质量、效益和新产品的开发能力，在很大程度上决定了一个企业在市场竞争中的反应速度和能力。

所谓成形实际上带有两个含义：一是成形（Forming），即毛坯（一般指固态金属或非金属）在外界压力作用下，借助于模具通过材料的塑性变形来获得具有所需形状和尺寸的产品或制品；二是成型（Molding），它是指液态或半液态的原材料（金属或非金属），在外界压力作用下，通过流动填充模型（或模具）的型腔来获得与型腔形状和尺寸一致的产品或制品。由于二者都需借助于外界压力和模具来进行，故本书在一般性的叙述中对二者未加严格区分，而统一用成形。

由于成形生产所具有的独特优点，使得成形技术在生产中的应用范围在逐步扩大，成形技术的发展也愈来愈引起世界各国的重视。各种新的成形技术（如激光液相烧结技术、激光粉末冶金技术、层压制模技术、熔化沉积制模技术、三维印刷制模技术等，正引起成形技术的一场变革，并正在改变着传统的机械制造业。

2. 成形设备与成形工艺的关系

成形设备是为各类成形工艺服务的，它是借助于模具生产各类成形毛坯或成形制件的设备。随着成形生产及成形技术的发展，各类成形设备也得以取得相应的发展。金属和塑料成形设备是进行各种成形生产的重要组成部分和完成生产的重要手段，更是工业发展所必需的基础之一；成形设备的工作能力，完善程度及其使用潜力的发展对于提高产品质量和劳动生产率、降低产品成本、改善劳动条件、实现新工艺等都具有重要的作用。随着生产的发展，新工艺、新技术层出不穷，这就对成形设备提出了更高的要求，促使成形设备不断发展和完善，各种新型设备也不断出现，以便更好地满足生产和工艺的要求。如在化工、石油、造船、机械等行业中需求量很大的三通、四通管接头，过去一直采用锻后机加工内孔或板材热

成形后焊接等工艺生产,材料利用率低,工时浪费大。自液压胀形工艺开发成功后,很快就出现了专用的液压胀形压力机和胀形自动生产线,不仅使材料利用率和生产效率有了大幅度的提高,也大大降低了劳动强度,改善了工作条件,并且大大提高了零件的质量。另一方面,一种新设备的出现,往往会带来一系列的工艺变更,甚至产生一种全新的工艺——高速成形。由于高速锤的打击速度快(可达 $12 \sim 30\text{m/s}$),金属在模腔中的流动速度快,充填性能好,对形状复杂、壁薄、高肋的零件和许多高熔点、难变形金属都能锻造,且锻件精度高(可达 0.02mm),表面粗糙度低($R_a 12.5\mu\text{m}$ 以下),同时提高了锻件的力学性能和使用性能,这就使得许多过去不能(或难于)进行锻造生产的零件(如涡轮、壳体、叶片等)或材料(如高强度钢、耐热钢、钛合金、高温合金及钼、钨、钽、锆等)均可进行加工,大大促进了生产和技术的发展。因此,成形设备的发展水平、拥有量及构成比例不仅对成形生产起着关键性的作用,在一定程度上还标志着一个国家的工业基础和技术水平。

由于成形生产所涉及的领域很宽。使得成形设备的种类也名目繁多,但归纳起来,不外乎就是金属成形设备和非金属成形设备这两大类。在金属成形设备中主要是锻压设备(共8大类)、轧钢设备和铸造设备(共10大类);非金属成形设备则包括塑料成型设备(共10大类)、橡胶成型设备(共10大类)及其玻璃、陶瓷成型设备等。具体有关标准的规定参见相关的国家标准。

3. 我国成形设备的发展概况与现状

成形设备作为提供成形制件的传统设备,从其问世到现在已经历了一百多年的历程,业已形成类别齐全、完整的技术装备体系;但在我国,成形设备的发展历史却比较短,1949年以前,我国没有自己独立的工业体系,也根本没有成形设备的制造业,只能进行一些进口设备的修配工作,解放时也只有上海、沈阳等地的几家工厂能生产少量的开式压力机和剪板机等小型简易锻压机械产品,其他类型成形设备根本不能生产。

1949年以后,我国迅速建立了较为完整的工业体系,首先从测绘和引进技术入手,仿制了国外20世纪30、40年代的成形设备,如蒸汽-空气自由锻锤和模锻锤、小型摩擦压力机和曲柄压力机、小型四柱式压力机、塑料制品液压机等。到1957~1962年间,我国开始自行设计、自行制造各种成形设备,成形设备产品已逐步由测绘仿制发展到改进设计阶段。产量和品种都有了较大的增长,同时也初步建立了一支从事成形设备设计和制造的技术队伍。20世纪60年代,我国开始对成形设备的一些关键零部件及所用材料进行研究,为20世纪60年代后期成形设备的迅速发展奠定了基础。20世纪60年代末期,我国开始大力发展成形设备的新品种,到20世纪70年代末,我国的成形设备产品在数量、品种、质量和技术水平上都有了较大的发展,这主要表现在以下几个方面:成形设备的拥有量迅速增长,占到全国切削机床总量的20%以上,产量达到1949年的150多倍;我国能自行设计和制造的成形设备品种大幅度增加,其中不少产品填补了我国的空白,有的产品已向国外出口,如60000kN锻造液压机,8000kN闭式双点压力机、数控冲模回转头压力机、塑料挤出成型机等;制订了各类设备的系列参数标准和重要产品的技术条件及精度标准,使成形设备的设计和制造工作走上了规范化、专业化的道路;对有关的基础理论、设计方法开始进行深入、系统的研究,各种新技术开始在生产 and 制造中获得应用,取得了一定的成就。

进入20世纪80年代以后,随着我国改革开放的不断深入,新技术、新成果的不断应用以及广泛引进和吸收国外先进技术,加之市场竞争逐步加剧,使我国成形设备的发展速度大

大加快。

这一阶段的发展主要表现为如下几个方面：

1) 广泛引进消化吸收国内外先进技术, 并将其移植到原有的产品设计和制造中去, 促进了产品的更新换代, 提高了产品的技术水平, 并发展了一批高性能、高水平的产品, 加快了产品结构调整的步伐。如塑料注射成型机, 通过引进国外设计与制造技术、与国外合作生产、委托国外设计油路和控制部分、采用国外部分机电配套件等措施, 使我国的塑料注射成型机产品形成了注射容量从 $15 \sim 8000\text{cm}^3$ 的系列, 有些产品的设计和制造水平已达到国外发达国家 20 世纪 80 年代的技术水平, 典型产品如上海第一塑料厂从意大利的乌齐公司引进的热固性塑料、橡胶注射机设计技术, 除生产了 SZG-500/5000、XZ-500/5000 热固性塑料、橡胶注射机外, 还在消化引进技术的基础上, 发展了注射量为 200g 的热固性塑料橡胶注射机新产品; 广东东莞东华机械公司生产了标称注射量达 74000cm^3 的注射机, 这是目前我国生产的最大型号的注射机, 该厂生产的标称注射量为 19520cm^3 的 TTI-2500 注射机达到了 20 世纪 90 年代国际先进水平。锻压机械方面, 济南第二机床厂引进吸收了美国威尔森公司的机械压力机设计制造技术, 黄石锻压机床厂消化吸收了比利时 LVD 公司的液压剪板机和液压折弯机产品的设计技术等。

2) 广泛开展科研工作并将其成果大量应用于成形设备的技术和制造中, 提高了产品的设计、制造水平, 并取得明显的技术经济效益。如由济南铸造锻压机械研究所承担完成的“压力机 CAD 系统开发应用”课题成果可用于 J21 系列及其派生系列开式压力机设计, 不仅提高了产品设计水平, 还使设计速度提高了 5 倍以上, 大大缩短了产品开发周期, 应用该系统为扬州锻压机床厂生产的压力机进行有限元分析及优选, 在较原结构质量降低 11% ~ 12% 的情况下, 使应力降低 13.5% ~ 23%, 角刚度提高 5.8% ~ 8.6%, 工厂每年可节约资金 30 ~ 40 万元, 有如北京化工学院与湖南华云机械厂研制成功的 SJ35-20D 双螺杆挤出机, 适用于多种热塑性塑料的挤出, 特别适合于热敏性聚氯乙烯粉状物料的直接挤出成型, 主要技术指标达到了国外同类产品 20 世纪 80 年代的水平。

3) 微电子技术、数控和计算机数控技术获得了广泛的应用, 研制、生产出了一批技术水平高、质量好、可满足我国重点行业、重点项目的适用产品。如济南第二机床厂自行研制的机电一体化的 J47-1250/2000 闭式四点双动拉深压力机是我国目前规格最大、技术最密集的轿车工业急需的关键设备, 该机内外滑块采用了多连杆传动系统, 且连杆尺寸是由计算机优化设计所确定, 使四组杆的运行同步性达到最佳状态, 其电气控制采用了自行开发的带远程系统的全功能 PC 控制技术, 具有吨位、轴温、计数、故障诊断以及 CRT 显示功能, 该机的研制成功为冲压生产的计算机联机、联线、联网打下了基础, 标志着我国机械压力机的设计、制造达到了国际 20 世纪 80 年代末同类产品的技术水平, 填补了国内空白, 可替代进口。

4) 为满足各行各业的特殊要求, 研制、生产了近百种专用、专门化成形设备, 专用设备的品种数量大大增加。

总之, 进入 20 世纪 80 年代以后, 我国成形设备的发展较过去有了很大的增长, 成形设备的设计、制造功能和水平有了很大的提高, 可供品种大大增加, 许多产品的技术水平达到或接近同期国际同类产品的水平, 出口创汇能力也有了很大的提高, 到 1990 年底, 成形设备 (此处是指锻压和塑料机械) 年生产能力为近 12 万台, 年总产值达到 26 亿元, 年创汇

能力达到 3500 万美元，成为我国国民经济中一支举足轻重的力量。从技术发展的角度来看，现代化成形设备的主要门类已经不再是制造毛坯的设备，而是成品加工机械；其结构已经不再是笨重粗糙，而是越来越精密轻巧；其操作已经不再依靠繁重的体力劳动，而是大量采用多种自动化装置；其控制已经不再是依靠手工和目测，而是采用各种数字控制和各种检测仪表，使我国与世界先进国家的设计、制造水平的差距大大缩小。

四十多年来，我国的成形设备有了长足的发展；由过去的一无所有逐步发展为今日类别较为齐全、完善的装备体系，并拥有一支较强的从事研究、设计、制造的技术队伍，产品不仅能满足国内各个行业的大部分需求，许多产品还出口到美、英、法、意、俄、日及东南亚和非洲各国，已经形成具有一定规模的科研、生产、销售能力，并逐步走向国际市场的独立、完整的工业体系。尽管如此，从现有的情况来看，我国的成形设备仍然是机械制造业和成形生产中的薄弱环节，与世界上的一些工业先进国家相比，还有一定的差距，不能完全满足国民经济和工业发展的需要，目前，除应当充分发挥现有各种成形设备的生产能力，提高设备利用率，搞好辅助设备的配套工作，加强设备的维护与技术改造外，还应下大力气进行产品的结构调整，上档次、上水平，提高可靠性，提高成套性，广泛采用机电仪一体化技术，同时加强各种专用、专门化设备的研制和生产，逐步形成传统技术，新兴技术、高新技术并存的多层次技术结构和普通型、精密型，高精高效型并存的多档次系列产品结构，逐步建成先进、合理的行业和产业体系，以适应国民经济日益发展的需要。

4. 成形设备的发展趋势

20 世纪 80 年代以来，由于受世界性产业结构、产品结构的调整，材料科学进步和社会消费观念变化诸因素的影响，以及受以微电子技术为中心的检测、控制技术成就的促进，使成形设备的发展步入了一个更高的层次，十多年来，世界各成形设备研究机构和主要制造商相继提出了一系列产品开发的新思想，提出了很多新产品、新装备和新系统，大体有以下几个方向：

(1) 机电一体化 机电一体化 (Mechatronics) 也叫做机电仪一体化，是指由机械技术和电子技术有机结合而成的一种复合技术，其目的在于：在电子装置的配合下，采用简化机械装置实现复杂的、多功能的自动控制，进而向智能化方向发展；采用机电一体化技术，可使成形设备实现复杂的程序控制、自动调节和自动检测。在机电一体化技术的推动下，成形设备的结构和性能发生了巨大的变化：

1) 能快速自动完成极为复杂的程序动作，例如能在几分钟内依次以三四十副模具对大型板材进行冲孔、冲槽或步冲成形。

2) 能以很高的精度和重复精度加工工件。

3) 能在很短的时间内自动更换加工对象并重新调整好各种工艺参数，从而实现各种昼夜无人化运转。

4) 机器结构大为简化，例如自动送料装置以伺服电动机传动来代替来自压力机曲柄的复杂的机械传动。

5) 可以根据“感觉”到的信息作出各种判断，从而始终不停地监控机器的工况并实现故障“自诊”，例如当发生设备超载、送进双料、料位不正等情况时均能自动停车，机器发生故障时能自动指出故障部位，便于排除和维修。

近年来，成形设备机电一体化的步伐越来越快，已遍及成形设备的各个门类，正在向纵

深和普及的方向发展，重要表现在如下几个方面：

1) 迅速采用数控 (NC) 和计算机数控 (CNC) 技术，以实现工艺过程自动化及提高运动部分的控制精度，数控成形设备和计算机数控成形设备的品种、产量及产值逐年增加，并逐步走向普及；目前工业发达国家所生产的许多种成形设备（如冲模回转头压力机、液压折弯机、冲压液压机、多工位压力机、压铸机、注射机等）很多部已实现了 CNC 化。如在 8 轴数控液压折弯机中，可实现 8 轴 CNC 后挡料，具有彩色图形显示段自动机器性能输入，其滑块位置重复精度和后挡料位置精度均已达到了 0.01mm ；又如有些注射机可将机器的各种速度、位移、压力等在计算机上预先设定，并可储存七千多种加工工艺参数，在全自动塑料制品液压机中，可实现自动配料、加热温度自动控制、压制规范预选、设备故障报警及制件重量检测等功能，既方便了生产操作，也提高了产品质量和生产速度。

2) 使用操作机 (manipulator)、机械手 (mechanicalhand) 和工业机器人 (industrialrobot) 代替人工进行各种操作。由于成形生产尤其是锻压生产条件恶劣、笨重、有高温辐射、烟气大、振动强烈，有损于工人健康，而且设备工作速度快，为单调重复劳动，常常会发生人身事故。目前不少工业先进国家已在各种成形设备上配备了机器人（如冲压、锻造、压铸等），并取得了很大的经济效益和技术效益。如日本正英制作所在其冲压自动线上采用机器人后，不仅彻底消灭了人身事故，还可减少 $3/4$ 的操作人员，并使每台压力机的生产率提高一倍，降低了废品率，保证了产品的质量和精度。因此，在成形生产中采用机器人具有广阔的前景。

3) 大力发展柔性制造系统 (FMS)。柔性制造系统是一种微电子工程学和机械工程学相结合的系统，是以多品种、小批量生产为目的，由数控加工机械、机器人、自动更换工具系统及无人送料小车和自动料库组成，并由中央计算机进行集中管理和控制的一种灵活易变的制造系统。这是自动化技术、数控技术和机器人技术等多种技术领域综合发展的成果，也是现在产品向多品种小批量方向发展的必然产物。目前世界各国都十分重视 FMS 技术的研究，并已取得了显著的成果，在板料加工领域，柔性制造系统正日趋完善，已经向着计算机集成制造系统 (CIMS) 或“工厂自动化” (FA) 的方向迈进。

(2) 实现成形设备的高速化和高效化

1) 提高设备的行程次数和工作速度。近年来成形设备向高速比方向发展的速度较快，如小型机械压力机已发展了高速系列，滑块每分钟行程次数已达 1000 次以上，有的已达 2000 次，大中型机械压力机的行程次数也在逐步提高；对液压机，高速化的倾向表现得更为明显，快速液压机的滑块行程次数已达到每分钟 100 次以上，双动或三动拉深液压机的空程、回程及工作速度也均有较大的提高；在压铸机中，压射速度已由过去的 $1 \sim 2\text{m/s}$ 提高到 5m/s ，有的已达到 $8 \sim 9\text{m/s}$ ；在注射机中，模板运行速度已由原来的 $10 \sim 20\text{m/min}$ 提高到 $25 \sim 35\text{m/min}$ ，最高已达 $50 \sim 60\text{m/min}$ ，这些都充分说明了成形设备向高速比方向发展的倾向。

2) 缩短辅助时间，提高设备的开动率。由于能源紧张，用提高功率的方法来提高生产率意义不大，应当着眼于缩短一切辅助时间，一方面通过改进设计，调节设备运动部件的运动曲线，使其循环更为合理，如有些塑料成型液压机中已采用了液压和机械联合传动的驱动方案，并在液压系统中增加了蓄能器增速回路，大大提高了活动横梁空程向下的速度和回程速度；另一方面则是通过增设各种附属装置如移动工作台、模具快速夹紧装置等，以实现快

速更换模具、自动上下料、快速进行设备调整和试车等,使两次工作行程的间隔和变换工件所占用的台时尽可能地缩短,以提高设备的生产率。

(3) 成形设备的大型化 为满足国防、造船、汽车制造等国民经济各部门的需要,成形设备正向着大型化的方向发展。近年来在世界制造业中,特别是小汽车制造业中,正力求使汽车向自重轻、能耗低的方向发展,因此,轻金属及塑料零件的应用比例越来越高,其尺寸和质量在逐步增加,冲压件也越来越整体化,这都使得所用成形设备逐步走向大型化,如压铸机一次浇注量已达 76kg (Al),其压射力达 20000kN;塑料注射机的注射量已达 1.7×10^5 g,合模力为 150MN;对精冲液压机,14000kN 级目前已生产了近 20 台,25000kN 级的世界最大精冲液压机已在美国安装使用;美国航天工业协会正在对 200 万 kN 级锻造液压机进行技术和经济性分析,拟用其来制造大多数飞机的整体零件,一旦该机制成并投入使用,将使世界上现有的数十万 kN 级的液压机相形见绌。

(4) 成形设备精度逐步提高 这点在冲压设备中表现得尤为突出。对冲压加工,长期以来一直普遍认为冲压件精度完全取决于模具精度,压力机只是提供冲压动力,但现代技术的发展表明,压力机本身不但对冲压件的精度有很大的影响,而且对模具的寿命也有巨大的影响。另一方面,近年来冲压件的精度要求正日益提高,从而对设备提出了更高的精度要求,主要表现在:提高下死点的调节精度,并使其保持稳定不变,目前一些精密压力机的下死点调节精度已达 0.01mm。大大提高设备的刚度,以减少工作时机身的弹性变形和设备在卸载时的振动;进一步改进导轨的结构,增强滑块的抗偏载能力,减少滑块的倾斜和偏移,提高导向精度和运动精度;进一步提高设备的动平衡性能,消除或尽量减小设备的热变形,使设备精度保持稳定。

(5) 成形设备的“宜人化” 是指设备安全、无噪声、无污染,使操作者有安全舒适的工作环境。如采用各种安全措施或装置,以提高设备的安全性能,确保生产工人的安全与健康。

5. 学习本课程的目的与要求

本课程是在学完机械原理、机械零件、液压传动等课程的基础上,与冲压工艺学、塑料成型工艺学、铸造工艺学、压铸工艺学等工艺及模具设计课程相互配合、衔接而进行教学的一门专业课,是模具专业的主要必修课之一。

本课程的任务是讲授成形工艺中常用的各种成形设备的工作原理与特点、典型结构、设备性能、主要技术参数及其选用原则。此外对其他一些成形设备也作了某些介绍。通过本课程的学习,要求学生能熟悉常用成形设备的工作原理、设备结构及使用性能,熟练掌握各种设备的适用工艺和范围,并能够根据不同的工艺要求正确选择设备种类及参数,同时对其他一些专用成形设备也能有所了解。

受篇幅所限,本书只对金属和塑料成型设备中常用的一些设备进行了介绍,对其他成形设备有兴趣的读者可参阅有关的著作和文献。

第 1 章 曲柄压力机

1.1 概述

1.1.1 曲柄压力机的工作原理及结构

曲柄压力机是在锻压生产中得到广泛应用的一种锻压设备。它以曲柄滑块机构作为工作机构，依据机械传动将电动机的运动和能量传给工作机构，通过滑块给模具施加压力，从而使毛坯产生塑性变形，可以完成板料冲压、模锻、挤压、精压和粉末冶金等工艺。

图 1-1 所示为 JB23—63 开式曲柄压力机工作原理图。电动机 1 通过 V 带把运动传给大带轮 3，再经过小齿轮 4、大齿轮 5 传给曲柄 7，通过连杆 9 转换为滑块 10 的往复直线运动，若在滑块 10 和工作台 14 上分别安装上、下模，可完成相应的材料成形工艺。

减速一方面可降低滑块的运行频率（滑块行程次数），另一方面亦增加了滑块工作力。离合器 6 可使机器在开动后间歇性工作，制动器 8 可在离合器分开后对从动部分进行制动以及对滑块进行制动；由于材料塑性成形工艺过程的时间很短，工艺力很大，就是说曲柄压力机在一个工作周期中只有在较短的时间内承受高峰负荷，而在较长的时间内是无负荷空转，因此为了使电动机负荷均匀，不使电动机功率过大，使压力机上装有转动惯量很大的飞轮，在压力机空载时，飞轮存储电动机提供的能量，工作时滑块受到变形抗力的作用，使飞轮瞬间速降，产生很大的惯性力矩，将能量释放。通常大带轮即起飞轮作用，故常动部分（主要是大齿轮 5）又起飞轮的作用，以达到有效利用能量的目的。

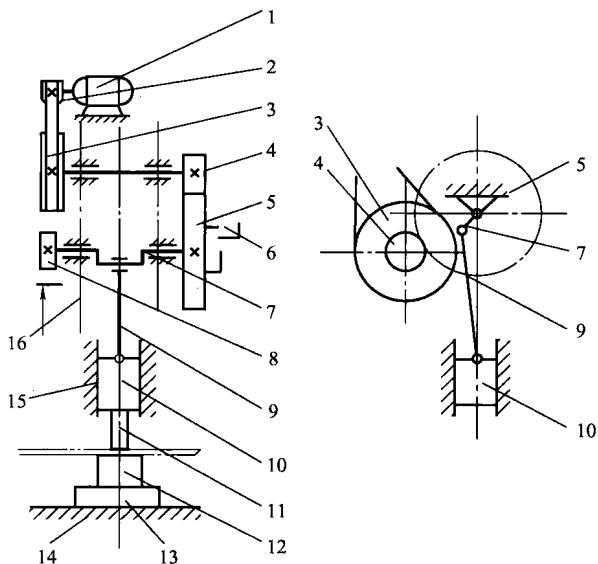


图 1-1 JB23—63 开式曲柄压力机工作原理图

1—电动机 2—小带轮 3—大带轮 4—小齿轮 5—大齿轮
6—离合器 7—曲柄 8—制动器 9—连杆 10—滑块 11—
上模 12—下模 13—垫板 14—工作台 15—导轨 16—机身

1.1.2 曲柄压力机的组成

曲柄压力机由以下几个基本部分组成：

- 1) 工作机构。曲柄压力机的工作执行机构。由曲柄、连杆、滑块等零件组成。
- 2) 传动系统。按一定的要求将电动机的运动和能量传递给工作机构，由带传动和齿轮传动等机构组成。
- 3) 支承部分。如机身等。连接和固定所有零部件，保证他们的相对位置和运动关系。

工作时机身要承受全部的工艺力。

4) 能源系统。包括电动机和飞轮。电动机提供动力源, 飞轮起存储和释放能量的作用。

5) 操纵与控制系统。主要包括离合器、制动器、电子电器检测控制装置等。现代化设备上还装备了工业控制计算机。

6) 辅助系统与附属装置。包括气路系统、润滑系统、保护装置、气垫、快速换模装置等。

1.1.3 曲柄压力机的特点

与其他锻压设备相比, 曲柄压力机具有下列特点:

1) 曲柄滑块机构是刚性联接的, 滑块具有强制运动性质。即曲柄滑块机构的几何尺寸一经确定, 滑块运动的上下极限位置(上下死点)、行程大小、封闭高度则确定。

2) 工作时, 机身组成一个封闭的受力系统, 工艺力不传给地基, 只有少量的惯性冲击振动传给外界, 不会引起基础的强烈振动。

3) 利用飞轮储存空载时电动机的能量, 在压力机短时高峰负荷的瞬间将部分能量释放。电动机的功率按一个工作周期的平均功率选取。

1.2 曲柄压力机的分类及型号

1.2.1 分类

按照工艺用途将曲柄压力机分为以下三种。

(1) 板料冲压压力机

1) 通用压力机。用来进行冲裁、落料、弯曲、成形和浅拉深等工艺。

2) 拉深压力机。用来进行拉深工艺。

3) 板冲高速自动机。用于连续级进送料的自动冲压工艺。

4) 板冲多工位自动机。用于连续传送工件的自动冲压工艺。

(2) 体积模锻压力机

1) 热模锻压力机。用来进行热模锻工艺。

2) 挤压机。用来进行冷挤压工艺。

3) 精压机。用来进行平面精压、体积精压和表面压印等工艺。

4) 平锻机。用来进行平锻工艺。

5) 冷镦自动机。用于制造螺钉螺母等各种标准件。

6) 精锻机。用于精锻各种轴类工件。

(3) 剪切机

1) 板料剪切机。用于裁剪板料。

2) 棒料剪切机。用于剪切棒料。

在 JB/T 9965—1999 标准中, 锻压机械分为八类, 上述各类曲柄压力机分别在第一类、第三类、第五类、第六类和第七类中。曲柄压力机种类较多, 但工作原理和基本结构组成大体相同, 本章内容以介绍通用曲柄压力机为主, 也适当介绍拉深压力机和热模锻压力机。

通用压力机按机身结构形式分为开式压力机和闭式压力机两大类。图 1-2 所示为开式压

力机，图 1-3 所示为闭式压力机，图 1-4 所示为曲柄压力机机身类型。

开式机身三面敞开，操作方便，但机身刚度差，受力后有角变形存在，影响精度，一般适用于 4000kN 以下的小吨位压力机。开式机身又可分为可倾式、固定台式和活动台式三种。可倾式机身的后壁还有一个开口，机身向后倾斜时便于出料，活动台式压力机的工作台高度可以调节，便于调整装模空间的高度。闭式机身用于 1600kN 以上的压力机，最大吨位可达 40000kN。闭式压力机机身左右封闭，刚度好，操作时只能从前后方向接近模具。闭式机身又分为整体式和组合式两种。

通用压力机按连杆数量分为单点压力机、双点压力机和四点压力机。一般工作台相对较小的压力机只有一个连杆，连杆与滑块只有一个连接点，称为单点压力机。大台面的压力机大多设置两个或四个连杆，称为双点或四点压力机。多点压力机抗偏载能力强，可冲制大型冲压件或在工作台上同时安装多套模具。

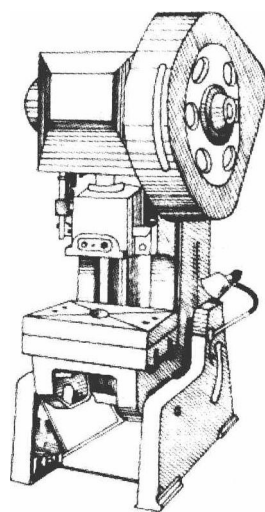


图 1-2 JB23—63 开式曲柄压力机外形图

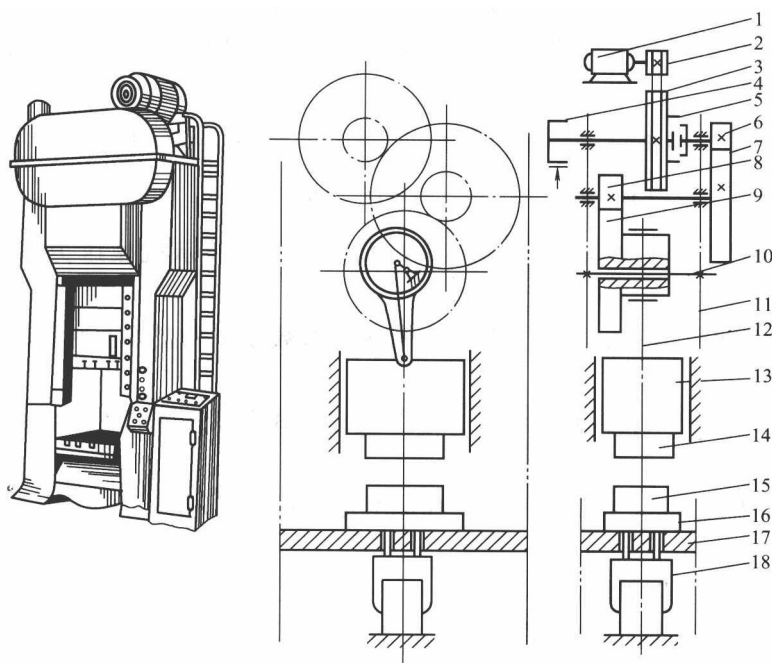


图 1-3 J31—315 闭式压力机外形和工作示意图

- 1—电动机 2—小带轮 3—大带轮 4—制动器 5—离合器 6、8—小齿轮 7—大齿轮
9—偏心齿轮 10—芯轴 11—机身 12—连杆 13—滑块 14—上模 15—下模
16—垫板 17—工作台 18—液压气垫

1.2.2 型号

根据 JB/T9965—1999 的规定，曲柄压力机型号由汉语拼音、英文字母和数字表示，表

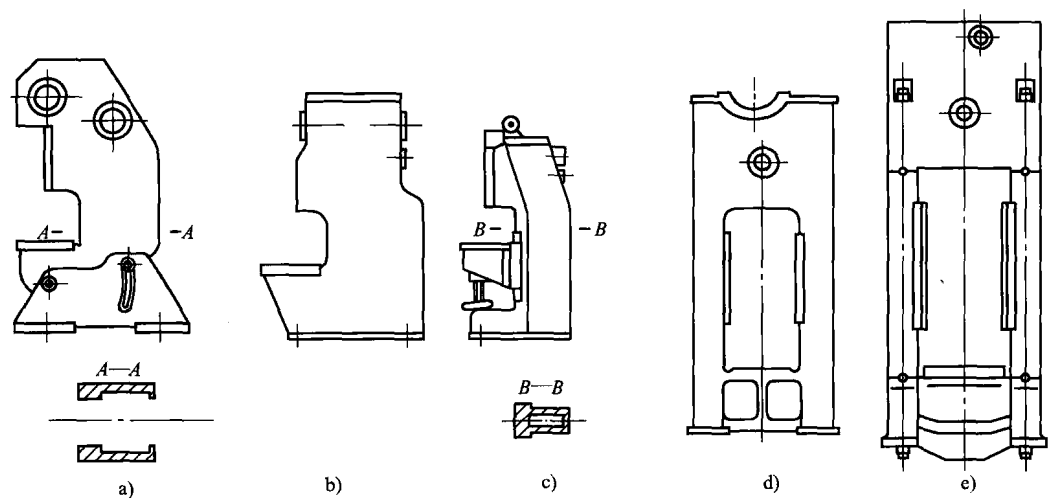


图 1-4 曲柄压力机机身类型

a) 开式可倾式 b) 开式固定式 c) 开式活动台式 d) 闭式整体式 e) 闭式组合式

示方法如下：

J (□) □ □ — □ (□)
(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

- (1) 位为类代号，以汉语拼音首起字母代替，如 J 表示机械压力机、Y 表示液压机。
- (2) 位为变形设计代号，以英文字母表示次要参数在基本型号上所作的改进，依次以 A、B、C 表示。
- (3) 位为压力机组别，以数字表示，如 2 组为开式曲柄压力机，3 组为闭式曲柄压力机。
- (4) 位为压力机型别，以数字表示，如 1 型为固定台式曲柄压力机，2 型为活动台式曲柄压力机。
- (5) 位为分格符，以横线表示。
- (6) 位为设备工作能力，以数字表示，如 160 表示压力机标称压力为 $160 \times 10\text{kN} = 1600\text{kN}$ 。
- (7) 位为改进设计代号，以英文字母表示，对设备的结构和性能所作的改进，依次以 A、B、C 表示。

若是标准型号则 (2)、(7) 位无内容，例如，J31—315 表示闭式单点机械压力机标准型，标称压力 3150kN；JA31—160 B 表示次要参数作了第一次改进的闭式单点压力机，标称压力为 1600kN，结构和性能比原型机作了第二次改进。

部分压力机型谱见表 1-1，其中组别和型别中空出为待开发用。

表 1-1 部分压力机型谱（JB/T 9965—1999）

组	型	名称	组	型	名称	组	型	名称	组	型	名称
单柱压力机	11	单柱固定台压力机	开式压力机	21	开式固定台压力机	闭式压力机	31	闭式单点压力机	拉深压力机	41	闭式单点单动拉深压力机
	12	单柱活动台压力机		22	开式活动台压力机		32	闭式单点切边压力机		42	闭式双点单动拉深压力机
	13	单柱柱形台压力机		23	开式可倾压力机		33	闭式侧滑块压力机		43	开式双动拉深压力机
				25	开式双点压力机					44	底传动双动拉深压力机
										45	闭式单点双动拉深压力机
							36	闭式双点压力机		46	闭式双点双动拉深压力机
							37	闭式双点切边压力机		47	闭式四点双动拉深压力机
										48	闭式三动拉深压力机

1.3 通用曲柄压力机的技术参数

曲柄压力机的技术参数反映了压力机的工艺能力、应用范围、生产率等指标，是正确选用压力机和设计模具的主要依据。

（1）标称压力 F_g 及标称压力行程 s_g 曲柄压力机的标称压力 F_g 是指滑块离下死点前某一特定距离 s_g 时，滑块所容许承受的最大作用力。此特定距离 s_g 称为标称压力行程。例如 JA31-315B 型压力机滑块在距离下死点 13mm 时，允许滑块承受 3150kN 的作用力，即标称压力行程 $s_g = 13\text{mm}$ ，标称压力 $F_g = 3150\text{kN}$ 。在型谱中通用曲柄压力机以标称压力为主参数，其他技术参数称为基本参数。

（2）滑块行程 s 滑块行程 s 是指滑块从上死点到下死点经过的距离。它的大小反映了压力机的工艺用途范围。如生产高度较大的零件时，需要滑块的行程较长。

（3）滑块行程次数 n 滑块行程次数是指滑块每分钟从上死点到下死点，然后再回到上死点所往复的次数。行程次数越高，生产率越高，但次数超过一定数值以后，必需配备机械化自动送料装置，否则不可能实现高生产率。现代的液压机有提高行程次数的趋势，行程次数 500 次/min 左右的高速压力机已获得较广泛的应用。超高速压力机的行程次数已达 2000 次/min。

（4）最大装模高度 H_1 及装模高度调节量 ΔH_1 装模高度是指滑块在下死点时，滑块下表面到达工作台垫板上表面的距离。当装模高度调节装置将滑块调整到最上位置时，装模高度达最大值，称为最大装模高度 H_1 。装模高度调节装置所能调节的距离称为装模高度调节

量 ΔH_1 。有些资料用封闭高度表示压力机安装模具的高度空间，所谓封闭高度是指滑块在下死点时，滑块下表面到工作台上表面的距离。它与装模高度的之差恰是工作台垫板的厚度。在设计模具时，模具的封闭高度不得超过压力机的最大装模高度。

(5) 工作台板及滑块底面工作空间的平面尺寸 它的大小直接影响所能安装模具的平面尺寸以及模具安装固定方法。

(6) 喉深 喉深是指开式压力机滑块中心线至机身的距离。

我国已制定了通用曲柄压力机的技术参数标准，见表 1-2 ~ 表 1-4，设计和使用时可查阅有关手册。

表 1-2 闭式单点曲柄压力机技术参数

名称		符号	技术 参 数											
标称压力		$F_g/10\text{kN}$	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
标称压力行程		s_g/mm	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
滑块行程	I 型	s/mm	250	250	315	400	400	400	500	500	500	500	500	500
	II 型	s/mm	200	200	250	250	315	—	—	—	—	—	—	—
滑块行程次数	I 型	$n/(\text{次}/\text{min})$	20	20	20	16	16	12	12	10	10	8	8	8
	II 型	$n/(\text{次}/\text{min})$	32	32	28	28	25	—	—	—	—	—	—	—
最大装模高度		H_1/mm	450	450	500	500	550	550	700	700	850	850	950	950
装模高度调节量		$\Delta H_1/\text{mm}$	200	200	250	250	250	315	315	315	400	400	400	400
导轨间距离		A/mm	880	980	1080	1200	1330	1480	1580	1680	1680	1880	1880	1880
滑块底面前后尺寸		B_1/mm	700	800	900	1020	1150	1300	1400	1500	1500	1700	1700	1700
工作台板尺寸	左右	L/mm	800	900	1000	1120	1250	1400	1500	1600	1600	1800	1800	1800
	前后	B/mm	800	900	1000	1120	1250	1400	1500	1600	1600	1800	1800	1800

表 1-3 闭式双点曲柄压力机技术参数

名称		符号	技 术 参 数														
标称压力		$F_g/10\text{kN}$	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
标称压力行程		s_g/mm	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
滑块行程		s/mm	250	250	315	400	400	400	500	500	500	500	500	500	500	500	500
滑块行程次数		$n/(\text{次}/\text{min})$	20	20	20	16	16	12	12	10	10	8	8	8	8	8	8
最大装模高度		H_1/mm	450	450	500	500	550	550	700	700	850	850	950	950	950	950	950
装模高度调节量		$\Delta H_1/\text{mm}$	200	200	250	250	250	315	315	315	400	400	400	400	400	400	400
导轨间距离 ^①		A/mm	1980	2430	2430	2880	2880	3230	3230	$\frac{3230}{4080}$	$\frac{3230}{4080}$	$\frac{3230}{4080}$	$\frac{5080}{6080}$	$\frac{5080}{7580}$	7580	$\frac{7580}{10080}$	10080
滑块底面前后尺寸		B_1/mm	1020	1150	1150	1400	1400	1500	1500	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1900	1900
工作台板尺寸	左右 ^①	L/mm	1900	2350	2350	2800	2800	3150	3150	$\frac{3150}{4000}$	$\frac{3150}{4000}$	$\frac{3150}{4000}$	$\frac{5000}{6000}$	$\frac{5000}{6000}$	7500	$\frac{7500}{10000}$	10000
	前后	B/mm	1120	1250	1250	1500	1500	1600	1600	1800	1800	1800	1800	1800	1800	2000	2000

① 分母数为大规格尺寸。