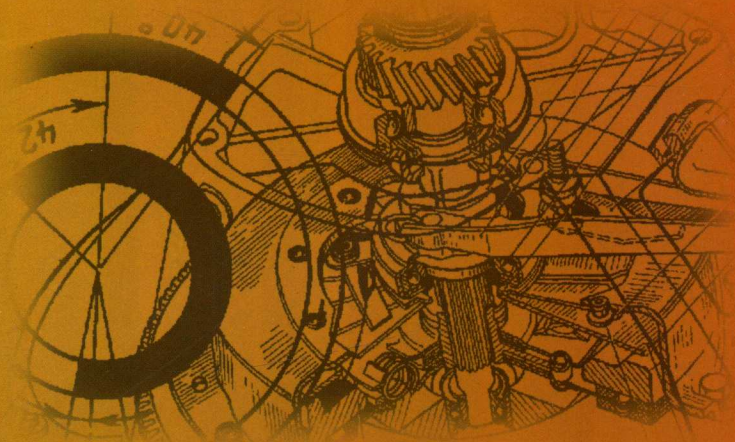




普通高等教育“十二五”规划教材

模具设计与制造

主 编 陈 宏
副主编 陈永楠



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

模具设计与制造

主 编 陈 宏

副主编 陈永楠

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了模具设计与制造的有关理论与方法,第1~7章重点介绍了冲压工艺基础、冲裁工艺与冲裁模、弯曲工艺与弯曲模、拉深工艺与拉深模、其他冲压成形工艺与模具设计、冲压工艺规程的编制、塑料模具;第8章主要介绍模具加工方法类型、制造特点、技术要求及制造工艺过程;第9~12章主要介绍模具成形的表面加工及模具装配调试的有关知识,还简要介绍模具 CAD/CAM 的相关内容。为了方便读者掌握书中的方法,本书各章给出一定量的复习思考题。

本书可满足高等院校工科类各专业相关课程的教学需要,也可作为有关专业的教学参考书,同时对从事模具设计、制造和使用的工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

模具设计与制造/陈宏主编.—北京:科学出版社,2015.6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-044806-4

I. ①模… II. ①陈… III. ①模具-设计 ②模具-制造 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 124391 号

责任编辑:宋无汗 杨向萍 王晓丽/责任校对:朱光兰

责任印制:赵 博/封面设计:红叶图文

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015年6月第一次印刷 印张:16 3/4

字数:335 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是“面向 21 世纪应用型人才”培养的规划教材，主要用于非模具专业的学生。近年来，模具工业得到了飞速的发展，与模具工业的发展速度相适应，对模具技术人才的要求及其培养速度也在大幅度提高，各级各类学校、专业培训机构都在进行模具人才的教育和培训，特别是有越来越多的具有一定机械基础的人员正在或将要从事模具的工作，需要模具的专业知识。

本书以冲压模具和塑料模具设计与制造为主要内容，以突出工艺分析、典型模具结构设计、典型模具零件制造、典型模具装配与调试为重点，系统讲述有关模具设计和制造方面的知识。本书所举的模具实例结构系统新颖，所讲述的技术内容全面，书中配有丰富的数据和图表，实用性强，能开拓思路，概念清晰易懂，便于自学。为了力求知识结构完整统一，又增加了一些模具设计之外所必需的有关知识，如成形设备、材料等，以便学生掌握完整的模具知识，同时结合近年来模具技术的发展，注重反映国内外的先进技术，增加了一些新的实用技术。在内容的选择上，本书偏重于实际应用，在每一章节后面还增加了复习思考题，以方便学生复习本章节的知识内容，并且检测掌握知识的程度。通过本书的学习，学生可以了解不同模具的成形特点、工作条件，掌握各种模具的设计要点，弄清制造工艺历程和检验内容，知道模具设计及模具制造的发展动向，为从事冲压模和注塑模的设计、制造奠定良好的基础。

本书共 12 章，由长安大学陈宏和陈永楠编写。陈宏担任主编并负责全书的统稿，陈永楠担任副主编并负责全书的修改。在编写本书过程中，得到了有关单位尤其是长安大学姜超平、徐义库、邢亚哲、张勇、郝建民等教师的大力支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及普通高校本科塑料模具设计与制造课程的教材，亦可供从事模具设计、制造的工程技术人员使用。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请使用本书的教师和广大读者批评指正。

4.1 拉深基本原理	82
4.2 圆筒形零件拉深的工艺计算	83
4.3 拉深模工作部分设计	95
4.4 拉深件的直壁、破裂及防止措施	102
4.5 压边力与拉深力的计算	104
4.6 拉深模典型结构	106

目 录

前言	1
第 1 章 冲压工艺基础	1
1.1 冲压成形的特点及分类	1
1.2 板料塑性变形及基本规律	3
1.3 冲压常用材料	6
1.4 冲压常用设备	7
复习思考题	11
第 2 章 冲裁工艺与冲裁模	12
2.1 冲裁工艺设计基础	12
2.2 冲裁模分类和典型结构	15
2.3 排样与搭边	21
2.4 冲裁工艺计算	24
2.5 冲裁模零部件结构设计	36
复习思考题	57
第 3 章 弯曲工艺与弯曲模	58
3.1 弯曲工艺及弯曲件工艺性	58
3.2 最小弯曲半径	62
3.3 弯曲件的回弹	64
3.4 弯曲工艺计算	68
3.5 弯曲模具设计	71
3.6 弯曲模典型结构	76
复习思考题	80
第 4 章 拉深工艺与拉深模	82
4.1 拉深基本原理	82
4.2 圆筒形零件拉深的工艺计算	88
4.3 拉深模工作部分设计	95
4.4 拉深件的起皱、破裂及防止措施	101
4.5 压边力与拉深力的计算	102
4.6 拉深模典型结构	105

4.7 带凸缘圆筒形件的拉深	107
4.8 盒形件的拉深	112
4.9 软模成形	114
复习思考题	116
第5章 其他冲压成形工艺与模具设计	117
5.1 胀形与翻边	117
5.2 缩口与局部成形	125
5.3 校平与整形	130
5.4 旋压与强力旋压	132
5.5 冷挤压	135
5.6 温热挤压	139
5.7 硬质合金冲模	142
5.8 多工位级进模	144
5.9 多工位级进模的设计实例	147
5.10 特种冲压模具简介	152
复习思考题	156
第6章 冲压工艺规程的编制	157
6.1 编制冲压工艺规程的内容和步骤	157
6.2 制订冲压工艺方案实例	160
复习思考题	164
第7章 塑料模具	165
7.1 塑料概述	165
7.2 塑料成形的工艺性能	169
7.3 塑件设计	175
7.4 塑料成形方法及塑料模的种类	188
复习思考题	189
第8章 模具制造概述	190
8.1 模具技术的现状与发展方向	190
8.2 模具工业的重要性	193
8.3 模具加工方法类型	193
8.4 模具制造特点及技术要求	194
8.5 模具的制造工艺过程	200
8.6 模具零件毛坯的种类、特点及选择原则	203

8.7 模具零件图的工艺分析	208
8.8 模具现代化生产方式与合理化生产	210
复习思考题	212
第 9 章 模具成形的表面加工	213
9.1 电火花加工	213
9.2 电火花线切割加工	217
9.3 模具的高速切削加工	218
9.4 现代模具制造工作零件的加工	221
9.5 模具成形表面的机械加工	225
复习思考题	227
第 10 章 模具主要零件的加工工艺过程	228
10.1 冲裁模凸模、凹模的加工	228
10.2 模架的加工	233
10.3 塑料模工作零件的加工	234
10.4 注射模成形零件的加工	235
复习思考题	236
第 11 章 模具的装配与调试	237
11.1 模具装配	237
11.2 冷冲模的装配与调试	244
11.3 塑料模的装配与调试	246
复习思考题	247
第 12 章 模具 CAD/CAM 介绍	248
12.1 CAD/CAM 概述	248
12.2 CAD/CAM 系统的功能和作业过程	249
12.3 CAD/CAM 系统的硬件和软件	250
12.4 CAD/CAM 技术的发展和应 用	251
复习思考题	252
参考文献	253
附录 模具常用材料及热处理要求	254

第 1 章 冲压工艺基础

1.1 冲压成形的特点及分类

1.1.1 冲压成形

冲压成形是指在压力机上通过模具对板料（金属或非金属）加压，使其产生分离或发生塑性变形，从而得到一定形状、尺寸和性能要求的零件的加工方法。它属于塑性加工方法之一，这种方法又称冷冲压或板料冲压。冲压模具设计是实现冷冲压工艺的核心。

1.1.2 冲压成形的特点

冲压与其他加工方法相比，无论在技术方面还是经济方面，都有很多独特的优点。

- （1）可以获得其他加工方法不能加工或难以加工的形状复杂的零件，如汽车覆盖件等；
- （2）所加工的零件精确度较高、尺寸稳定，具有良好的互换性；
- （3）冲压加工是无屑加工，材料利用率高；
- （4）生产率高，生产过程容易实现机械化、自动化；
- （5）操作简单，便于组织生产。

冲压加工的主要缺点是模具的设计制造周期长，费用高，因此只适用于大批量生产，在小批量生产中受到一定的限制。

1.1.3 冲压工序分类

按照变形性质，冲压工序可分为两大类，即分离工序和成形工序，见表 1-1。

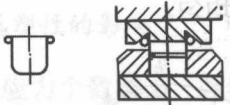
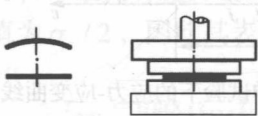
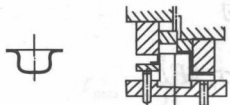
分离工序：板料在压力作用下，其压力超过材料的抗剪强度而沿一定轮廓线断裂成制件的工序。通常分离工序又称冲裁。

成形工序：板在压力作用下，其应力超过屈服强度（未达到抗剪强度）而产生塑性变形，从而获得一定形状和尺寸的制件的工序。

表 1-1 冲压基本工序

类别	工序		图例	工序性质
分离工序	冲裁	落料		用模具沿封闭线冲切板料, 冲下的部分为工件, 其余部分为废料
		冲孔		用模具沿封闭线冲切板料, 冲下的部分是废料
	剪切			用剪刀或模具切断板料, 切断线不封闭
	切口			在毛料上将板材部分切开, 切口部分发生弯曲
	切边			将拉深或成形后的半成品边缘部分的多余材料切掉
	剖切			将半成品切开来成两个或几个工件, 常用于成对冲压
	弯曲			用模具使材料弯曲成一定形状
	卷曲			将板料端部卷圆
成形工序	拉深			将板料压制空心工件, 壁厚基本不变
	翻边	内孔翻边		将板料或工件上有孔的边缘翻成竖立边缘
		外缘翻边		将工件外缘翻起呈圆弧或曲线状的竖立边缘

续表

类别	工序	图例	工序性质
成形工序	缩口		将空心件的口部缩小
	扩口		将空心件或管子的口部扩大
	起伏		在板料或工件上压出筋条、花纹或文字,起伏处的整个厚度上都将变薄
	卷边		将空心件的边缘卷成一定的形状
	胀形		使空心件或管料的一部分沿径向扩张呈凸肚形
	校平		将毛料或工件不平的地方予以压平
	整形		把形状不太准确的工件校正成形

1.2 板料塑性变形及基本规律

冲压件的成形过程,实质上是板料的塑性变形过程。关于塑性变形的基本理论,在有关塑性加工的著作中已有详尽、系统的论述,这里只对有关理论做简单描述,而不再做细致的讨论。

1. 应力-应变曲线

图 1-1 是低碳钢拉伸试验下的应力-应变曲线。从图中看出,材料在应力达到初始屈服极限 σ_0 时开始塑性变形,此时,应力增加不大的情况下能产生较大的变形,图上出现一个平台,这一现象称为屈服。经过一段屈服平台后,应力就开始随着应变的增大而上升(图中 cGb 曲线)。如果在变形途中(图中 G 处)卸载,应力应变将沿 GH 直线返回,使弹性变形(HJ)恢复而保留其塑性变形(OH)。若对试件重新加载,这时曲线就由 H 出发,则沿 HG 直线回升进行弹性变形,直到 G 点才开始屈服,以后的应力应变就仍按 GbK 曲线变化。可见 G 点处应力是试样重新加载时的屈服应力。如果重复上述卸载、加载过程,就会发现,重新加载时的屈服应力由于变形的逐次增大而不断地沿 Gb 曲线提高,这表明材料在逐渐硬化。材料的加工硬化对板料的影响很大,不仅使变形力增大,而且限制毛坯的进一步变形。例如,拉伸件进行多次拉伸时,在后次拉伸之前一般进行退火处理,以消除前次产生的拉伸硬化。但硬化有时也是有利的,如在伸长类成形工艺中能减少过大的局部变形,使变形趋向均匀。

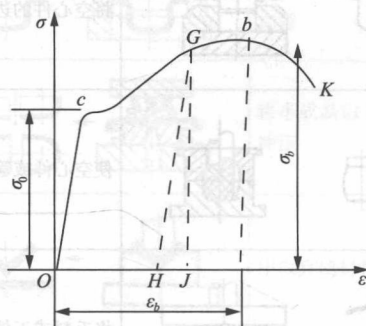


图 1-1 低碳钢拉伸试验下的应力-应变曲线

(1) 应力-应变曲线的线性表达式为

$$\sigma = \sigma_0 + F\varepsilon \quad (1-1)$$

式中, σ_0 ——近似的屈服极限,也是硬化直线在纵坐标轴上的截距;

F ——硬化直线的斜率,称为硬化模数,表示材料硬化强度的大小。

(2) 应力-应变曲线的幂函数表达式为

$$\sigma = C\varepsilon^n \quad (1-2)$$

式中, C ——系数,其值取决于材料的种类和性能;

n ——硬化指数,其值取决于材料的种类和性能。

2. 塑性变形体积不变规律

实践证明：金属塑性变形时，发生形状的变化，而体积变化可以忽略不计，即认为

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0 \quad (1-3)$$

这是塑性变形体积不变规律。据此可知，塑性变形时只可能存在三向和平面应变状态，而不存在单向应变状态，在平面应变状态下，不为零的两个主应变大小相等方向相反。

3. 塑性变形最小阻力定律

金属在外力作用下，内部各质点产生了位移，通常称为金属的流动。金属的流动和变形是互为因果的，也可以说金属变形时内部质点的流动是由于金属塑性变形引起的。最小阻力定律认为：如果变形物体内部各质点有向各个方向流动的可能，则变形物体内部每个质点将沿阻力最小的方向流动。

4. 应力状态对金属塑性的影响

在应力状态下，压应力个数越多，数值越大（即静水压力 $\sigma_m = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ 越大），则金属的塑性越高；反之，拉应力个数越多，数值越大，则金属的塑性越低。

5. 屈服条件

1) 特雷斯卡 (Tresca) 屈服条件

这一准则指出，材料中最大剪应力达到某一定值时，就开始屈服。这一定值与应力状态无关，其值为 $\sigma_s/2$ ，因此其表达式为

$$\tau_{\max} = \max\{\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{31}\} = \frac{1}{2}\sigma_s \quad (1-4)$$

设 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ，则

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}|\sigma_1 - \sigma_3| = \frac{1}{2}\sigma_s$$

即

$$|\sigma_1 - \sigma_3| = \sigma_s \quad (1-5)$$

2) 米泽斯 (Mises) 屈服条件

这一准则指出，当某点的等效应力达到某一定值时，材料就开始屈服。这一定值为材料的屈服极限 σ_s ，因此这一屈服条件表示为

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2 \quad (1-6)$$

1.3 冲压常用材料

1.3.1 冲压材料的基本要求

冲压所用的材料,不仅要满足工件的技术要求,同时也必须满足冲压工艺要求。冲压工艺要求为以下几个方面。

(1) 应具有良好的塑性。在成形工序中,塑性好的材料,其允许的变形程度大,例如,弯曲工件可获得较小的弯曲半径,拉伸件可获得较小的拉伸系数,由此可以减少工件成形所需的工序数以及中间退火的次数,甚至可以不要中间退火。在分离工序中,良好的塑性才能获得理想的断面质量。

(2) 应具有光洁平整且无缺陷损伤的表面状态。表面状态好的材料,加工时不易破裂,也不容易擦伤模具,制成的零件也具有良好的表面状态。

(3) 材料的厚度公差应符合国家标准。因为一定的模具间隙,适用于一定厚度的材料。材料厚度的公差太大,不仅会影响工件的质量,还可能导致产生废品和损坏模具。

1.3.2 材料的种类和规格

冲压生产中常用的材料是金属板料,有时也用非金属板料。金属板料分为黑色金属和有色金属两种。

1. 黑色金属板料

1) 碳素钢板

这类钢板有 Q195、Q215A、Q215B、Q235A 等牌号。

2) 优质碳素结构钢板

这类钢板主要用于复杂变形的弯曲件和拉深件,有 08、10、15、20、35、45、50 及 15Mn、20Mn、25Mn、…、45Mn 等牌号。作为深拉深用冷轧薄钢板,主要有 08F、08、10、15、20 等,按其表面质量分为三组: I 组——高质量表面; II 组——较高质量表面; III 组——一般质量表面。对其他深拉深薄钢板,按冲压性能分为三个级别: Z——最深拉深; S——深拉深; P——普通拉深。

2. 有色金属板料

1) 黄铜板(带)

黄铜板(带)的特点就是有很好的塑性和较高的强度及抗腐蚀性,焊接性能优良。常用的有 H68、H62,前者用于深拉深,后者用于冲裁、弯曲和浅拉深。

2) 铝板(带)

铝板(带)的特点是塑性很好,密度小,导电、导热性良好。主要用于制造仪表的各种罩壳、支架等零件。常用的有 1016、1050A、1200 等。

非金属板料有纸板、胶木板、橡胶、塑料板和纤维板等。

冲压用的大部分材料是各种规格的板料、带料、条料和块料。板料的尺寸较大,用于大型零件的冲压,也可通过剪裁制成条料,其规格可查国家标准。

条料是根据冲压件的需要,由板料剪裁而成的,用于中小零件的冲压。带料又称卷料,有各种不同的宽度和长度,宽度在 300mm 以下,长度可达几十米,适用于大批量生产的自动送料。

块料适用于小批量生产和价值昂贵的有色金属的冲压。

1.4 冲压常用设备

冲压工作是在冲压设备上进行的,目前应用较多的有曲柄压力机、摩擦压力机和液压机。曲柄压力机可用于各类冲模,其中偏心机床尤其适用于要求导柱、导套不脱开的模具(如导板模),摩擦压力机和液压机用于校正模、压印模等,同时也适用于挤压模。这里简单介绍一下生产中普遍使用的曲柄压力机。

曲柄压力机包括各种结构的偏心冲床和曲轴冲床,其基本工作结构都是曲柄连杆机构。

1.4.1 偏心冲床

偏心冲床也称开式曲柄压力机,图 1-2 所示为其工作简图。启动后,电动机 12 通过小齿轮 11 和大齿轮 10 (兼做飞轮) 及离合器 9 将动力传给偏心轴 7,使偏心轴 7 在轴承中作回转运动。连杆 6 把偏心轴 7 的回转运动转变为滑块 5 的直线运动,滑块 5 在床身的导轨中作上下往复运动模具的上模固定于滑块上,模具的下模固定在工作台上。

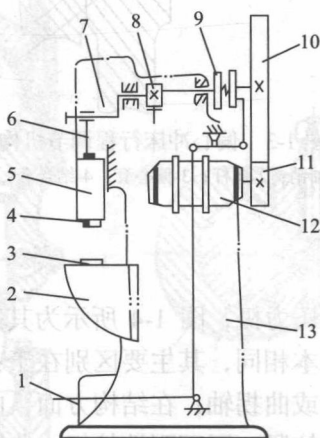


图 1-2 偏心冲床简图

- 1-脚踏开关; 2-工作台; 3-下模; 4-上模; 5-滑块; 6-连杆; 7-偏心轴;
8-制动器; 9-离合器; 10-大齿轮; 11-小齿轮; 12-电动机; 13-床身

为了控制滑块的运动和位置,设有离合器9和制动器8。

离合器的作用是:在电动机与飞轮不停地运转的情况下,使曲柄连杆机构开动或停止。工作时,只要踩下脚踏开关1,离合器啮合,偏心轴转动,即可带动滑块作上下往复运动,进行冲压。

制动器的动作与离合器的动作密切配合,在离合器脱开后,制动器同时将曲柄连杆机构停止在一定的位置上。

床身13是所有运动部分的支承体,并将压力机的全部机构连接成一个整体。

为了适应不同模具的高度及对冲压行程的要求,偏心冲床的行程可在一定范围内调整,其调整机构如图1-3所示。在偏心轴销1上有一个偏心套3,偏心套上的嵌牙与固定在轴端的结合套4上的嵌牙相结合,连杆2自由地套在偏心套上。这样,轴销的圆周运动便通过偏心套而变成连杆的上下运动。其运动距离(即行程)是偏心套中心与主轴中心之间间距的两倍。当松开螺母5,使结合套的嵌牙与偏心套嵌牙脱开时,转动偏心套便可改变偏心套中心与主轴中心的距离,因而可使滑块行程在一定范围内进行调整。

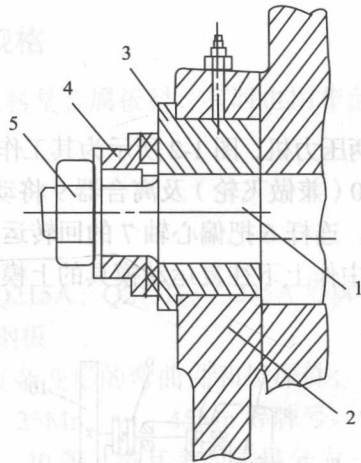


图 1-3 偏心冲床行程调节机构

1-偏心轴销; 2-连杆; 3-偏心套; 4-结合套; 5-螺母

1.4.2 曲轴冲床

曲轴冲床也称闭式曲柄压力机,图1-4所示为其工作简图。曲轴冲床的机构和工作原理与偏心冲床的基本相同,其主要区别在于:曲轴冲床的主轴为曲轴,而偏心冲床的主轴为偏心轴或曲拐轴;在结构方面,曲轴冲床由横梁、左、右立柱和底座构成床身,用螺栓拉紧,因而刚性较好。曲轴在床身上由多个对称轴承支承,冲床所受负荷较均匀,故能承受大吨位的冲压工作。

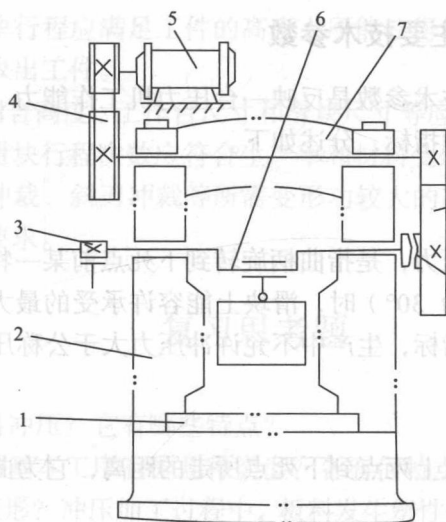


图 1-4 曲轴冲床简图

1-工作台；2-立柱；3-制动器；4-皮带轮；5-电动机；6-曲轴；
7-横梁；8-齿轮；9-离合器

曲轴冲床行程较大，等于曲轴偏心距的两倍，不能调整。

为适应安装不同比和高度的模具，一般用途的曲柄压力机上连杆长度是可以调节的。其调节方法是：对 200t 以下小型压力机，在调节螺杆上有一段六方部分，当松开紧固套后，可直接用扳手旋转调节螺杆进行调节（图 1-5）；对中型或重型压力机，则由一个单独的电机，通过齿轮或涡轮机构来旋转调节螺杆。此外，有些冲床的工作台是可以升降的，通过升降工作台也可以调节闭合高度。

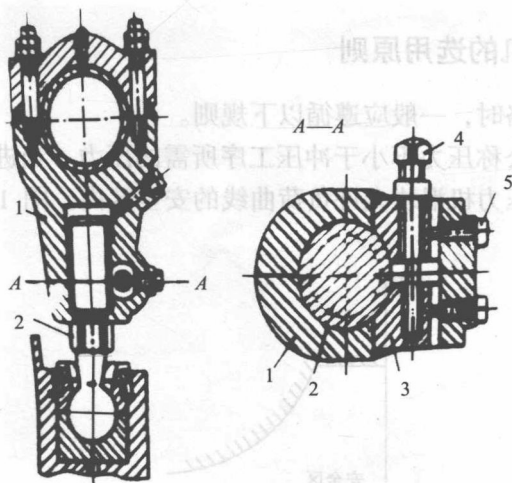


图 1-5 可调节长度的连杆

1-连杆套；2-调节螺杆；3-紧固套；4-紧固螺钉；5-顶丝

1.4.3 曲柄压力机的主要技术参数

曲柄压力机的主要技术参数是反映一台压力机工作能力、所能加工零件的尺寸范围以及有关生产率指标,分述如下。

1. 公称压力

曲柄压力机的公称压力,是指曲柄旋转到下死点前某一特定角度(此特定角度称为公称压力角,约为 30°)时,滑块上能容许承受的最大作用力。它是反映压力机工作能力的重要指标,生产中不允许冲压力大于公称压力。

2. 滑块行程

滑块行程是指滑块从上死点到下死点所走的距离,它为曲柄半径的两倍。

3. 闭合高度

闭合高度又称装模高度,是指滑块在下死点位置时,滑块下表面到工作台垫板上表面的距离。当闭合高度调节装置将滑块调整到最上位置时,闭合高度达到最大值,称为最大闭合高度;当闭合高度调节装置将滑块调整到最下位置时,闭合高度达到最小值,称为最小闭合高度。

4. 滑块行程次数

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。

除了上述主要参数,还有工作台尺寸、滑块底面尺寸等,这里不再一一详述。

1.4.4 曲柄压力机的选用原则

确定压力机规格时,一般应遵循以下规则。

(1) 压力机的公称压力不小于冲压工序所需的压力。当进行弯曲或拉深时,其压力曲线应位于压力机滑块允许负荷曲线的安全区内。图 1-6 为压力机滑块允许负荷曲线。

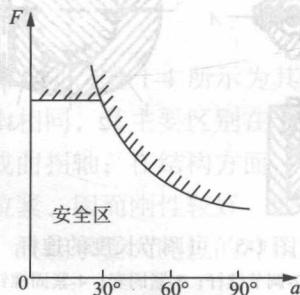


图 1-6 压力机滑块允许负荷曲线