

教育部—西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

冲压工艺 和级进模设计

李晓达 窦沙沙 倪骁骅◎主编

西门子工业软件（上海）有限公司 监制

提供课件等配套资源（www.hxedu.com.cn）



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

教育部-西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

冲压工艺和级进模设计

李晓达 窦沙沙 倪骁骅 主 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书是教育部“西门子 2013 年产学合作专业综合改革项目”系列教材之一（教高司函〔2013〕101 号）。本书的编写是在传统的冲压工艺和级进模设计理论的基础上，融入信息化软件，即冲压模具三维设计工具——Siemens NX PDW（Progressive Die Wizard）模块，实现了基础理论和先进设计工具的结合。教材使用者通过学习和实践，既可以掌握冲压工艺和级进模设计的基础理论知识，又可以利用 NX PDW 模块实现级进模的工艺设计、结构设计等。

本书可作为高等院校机械类专业的冲压工艺和模具设计课程教材，也可供相关工程技术人员学习。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

冲压工艺和级进模设计/李晓达，窦沙沙，倪骁骅主编. —北京：电子工业出版社，2015.8

教育部-西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

ISBN 978-7-121-26577-8

I. ①冲… II. ①李… ②窦… ③倪… III. ①冲压—生产工艺—高等学校—教材②连续模—设计—高等学校—教材 IV. ①TG38②TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 154559 号

策划编辑：许存权

责任编辑：许存权 特约编辑：李 姣

印 刷：北京季峰印刷有限公司

装 订：北京季峰印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：17.5 字数：440 千字

版 次：2015 年 8 月第 1 版

印 次：2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价：39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

Preface

Siemens PLM Software has partnered with the Education Management Information Center of the People's Republic of China Ministry of Education (MOE) to support education in engineering technology and help provide the global manufacturing industry with a highly trained and heavily recruited workforce.

This textbook cultivates innovative engineering technology talent and enhances career competitive advantages for china's university students. It supports the use of leading edge technology to give students a solid platform to become the excellent engineer in the 21st century, and the pioneer the development of digital and intelligent manufacturing throughout the country.

This book combines theory and practice through explanation and examples to enhance the reader's basic knowledge and skills product lifecycle management (PLM).

The curriculum integrates attributes and processes from Siemens PLM software, which is used by leading manufacturing companies around the globe to develop some of the world's most sophisticated products. This includes NX™ software for integrated computer-aided design, manufacturing and engineering simulation (CAD/CAM/CAE), Teamcenter® software for digital lifecycle management software and Tecnomatix® software for digital manufacturing.

Strong instruction by top Chinese universities accelerates the development of certified industrial IT talent and boosts the application of computer-aided and digital technologies in the field of engineering.

We are impressed with the innovative engineering design projects developed by students leveraging this textbook with top notch classroom instruction.

Leo Liang
CEO and Managing Director
Greater China
Siemens PLM Software

Dora Smith
Global Director
Academic Partner Program
Siemens PLM Software

序 言

Siemens PLM Software 与教育部高等教育司合作，支持工科类教育事业，为全球制造业培养和提供大量训练有素的人才。

本系列教材适用于创新型工程技术人才的培养，有助于提高大学生的职业竞争力，为学生成为21世纪优秀工程师、全国的数字化和智能制造业发展先驱提供了一个领先的技术平台。

本系列教材理论和实践相结合，通过详细的解析及案例分析，增强了读者掌握产品全生命周期（PLM）的基本知识和技能。

本系列教材集成了Siemens PLM Software的操作及属性，该软件被全球制造业公司用于开发最复杂的产品，软件包括NX™集成计算机辅助设计、制造和工程仿真（CAD/CAM/CAE）软件、Teamcenter®产品全生命周期管理软件、Tecnomatix®数字化制造软件。

在其强有力的引导下，中国顶尖大学加速了工业认证IT人才的发展，提高了计算机辅助技术和数字化技术在工程领域的应用水平。

我们深信，读者在本系列教材及顶级课堂教学的指引下，便能掌握创新性工程设计项目的开发。

梁乃明

首席执行官兼董事总经理

大中华区

Siemens PLM Software

Dora Smith

全球总监

教育合作发展部

Siemens PLM Software

前 言

本书是教育部“西门子 2013 年产学合作专业综合改革项目”系列教材之一（教高司函[2013] 101 号）。本书的编写面向冲压模具设计与制造学科的建设与发展，考查了应用型学生的实际情况，以学生就业所需的专业知识及运用先进软件工具为着眼点，力求提高学生的实际运用能力，以期达到学以致用目的，使学生更好地适应社会的需求。

板料冲压在机械、汽车、电子、航空、轻工业等各种领域都有广泛的应用。由于采用冲压模具进行冲压加工，生产效率高、精度高、生产成本低、操作简单，很适合大批量生产，所以模具工业在制造业中的地位越来越重要。多工位级进模是冲压模具的一种，是在单工序冲压模具的基础上发展起来的多工序集成模具，在一副模具中可以完成冲裁、弯曲、拉深、成形等多种冲压工序，是当代先进模具的代表。但多工位级进模的结构比较复杂，模具的设计、制造难度和精度要求高，周期长，在进行模具设计时要考虑的内容比较多，因此对模具设计人员的业务水平要求也更高。

在本书编写时，改进了传统的课程体系，在冲压基础理论知识中融入冲压模具三维设计软件工具——Siemens PLM Software 的核心产品之一 NX 中的 PDW(Progressive Die Wizard) 模块，实现理论知识和设计工具相结合。NX PDW 模块是基于 NX 开发，并针对级进模开发设计的专业模块，它内嵌了大量的模具知识和模具行业的设计经验，提供了全流程的设计解决方案，它会一步步引导用户完成级进模设计的过程，极大地缩短了设计所需的时间，提高了效率。本书的使用者通过学习和实践既可以掌握冲压和级进模的基础理论知识，又可以利用 PDW 模块实现级进模的工艺设计、结构设计等。

本书共分为 8 章，作者分工如下：第 1 章由吉林大学珠海学院的李晓达、占向辉，以及黑龙江八一农垦大学工程学院的代洪庆编写；第 2 章的理论部分由厦门大学嘉庚学院的曾斌编写，软件部分由李晓达、占向辉编写；第 3 章由李晓达、曾斌编写；第 4 章的理论部分由曾斌编写，软件部分由盐城工学院的窦沙沙编写；第 5、7、8 章及第 6 章的软件部分由窦沙沙编写，第 6 章的理论部分由倪骁骅编写；吉林大学珠海学院机械与汽车工程系的 2011 级学生曾宪潮同学也在本书编写过程中做了大量工作。

在本书的编写过程中，得到了西门子工业软件（上海）有限公司的技术支持和指导，西门子工业软件（上海）有限公司的技术专家刘升明、肖金财、方正老师对本书的编写进行了审校，在此由衷地表示感谢。

Jim Rusk
产品工程软件高级副总裁
Siemens PLM Software

目

录

第 1 章 多工位级进模设计基础	1
1.1 理论知识	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 冲裁工艺设计基础	2
1.1.3 弯曲工艺设计基础	10
1.1.4 拉深工艺设计基础	18
1.1.5 其他成形工艺设计基础	22
1.2 NX PDW 基础和零件预处理及中间工步建立	27
1.2.1 NX PDW 概述	27
1.2.2 零件预处理及中间工步建立	28
1.3 案例分析	33
1.3.1 案例 1-1: 中间工步的建立	33
1.3.2 案例 1-2: 中间工步的建立	38
本章习题	65
第 2 章 多工位级进模条料的排样	66
2.1 理论知识	66
2.1.1 排样的作用与重要性	66
2.1.2 多工位级进模排样设计原则	66
2.1.3 载体的分类与特点	70
2.1.4 步距与定距定位方式	73
2.1.5 排样图的画法与表示	80
2.1.6 多工位级进模排样实例	82
2.2 NX PDW 条料排样	87
2.2.1 初始化项目	87
2.2.2 毛坯的导入和布局	90
2.2.3 废料设计	92
2.2.4 条料排样	95
2.3 案例分析	99
2.3.1 案例 2-1: 条料排样	99
2.3.2 案例 2-2: 条料排样	104

本章习题	114
第 3 章 多工位级进模冲压力与压力中心计算	116
3.1 理论知识	116
3.1.1 冲压力计算	116
3.1.2 冲模压力中心计算	121
3.2 NX PDW 冲压力计算	123
3.2.1 功能概述	123
3.2.2 使用方法	123
3.3 案例分析	124
3.3.1 案例 3-1: 计算冲压力	124
3.3.2 案例 3-2: 计算冲压力	128
本章习题	131
第 4 章 多工位级进模的模架及其导向装置	132
4.1 理论知识	132
4.1.1 模架	132
4.1.2 模架的导向装置	133
4.2 NX PDW 模架设计与管理	143
4.2.1 模架设计	143
4.2.2 工装设计	144
4.2.3 冲模设计设置	146
4.3 案例分析	147
4.3.1 案例 4-1: 模架设计	147
4.3.2 案例 4-2: 模架设计	150
本章习题	153
第 5 章 多工位级进模的凸、凹模结构设计	154
5.1 理论知识	154
5.1.1 凸、凹模的功能和设计原则	154
5.1.2 凸模设计	155
5.1.3 凹模设计	163
5.2 NX PDW 凸、凹模设计	167
5.2.1 冲裁镶块设计	167

5.2.2 折弯镶块设计	171	7.1.2 使用方法	241
5.2.3 成形镶块设计	174	7.2 腔体设计	243
5.2.4 翻扎镶块设计	175	7.2.1 功能概述	243
5.2.5 镶块辅助设计	177	7.2.2 使用方法	244
5.3 案例分析	179	7.3 案例分析	245
5.3.1 案例 5-1: 凸、凹模 设计	179	7.3.1 案例 7-1: 创建让位槽 实体与腔体设计	245
5.3.2 案例 5-2: 凸、凹模 设计	194	7.3.2 案例 7-2: 创建让位槽 实体与腔体设计	247
本章习题	212	第 8 章 NX PDW 其他处理	251
第 6 章 多工位级进模的其他结构件 设计	213	8.1 模具验证	251
6.1 理论知识	213	8.1.1 静态干涉检查	251
6.1.1 卸料装置	213	8.1.2 模具运动仿真	253
6.1.2 弹性元件简介	215	8.1.3 设计更改检查	256
6.1.3 导料、托料装置	217	8.2 文档设计	256
6.1.4 顶出装置	218	8.2.1 物料清单	256
6.1.5 限位装置	219	8.2.2 工程图纸	258
6.1.6 固定板、垫板、螺钉、 销钉	220	8.2.3 孔表	260
6.2 NX PDW 的标准件设计	221	8.3 流程管理	262
6.2.1 标准件概述	222	8.3.1 转换管理	262
6.2.2 标准件调用	222	8.3.2 并行设计管理	262
6.3 案例分析	225	8.4 快速报价	263
6.3.1 案例 6-1: 标准件调用	225	8.5 案例分析	263
6.3.2 案例 6-2: 标准件调用	233	8.5.1 静态下检查干涉	263
本章习题	240	8.5.2 运动中检查干涉	264
第 7 章 NX PDW 让位槽与腔体设计	241	8.5.3 建立物料清单	267
7.1 让位槽设计	241	8.5.4 为组件创建工程图	268
7.1.1 功能概述	241	8.5.5 创建孔表	270
		参考文献	272

第1章 多工位级进模设计基础

1.1 理论知识

1.1.1 概述

级进模是指在一次冲压过程中，在多个工位同时完成多道工序的冲压模具，又称为连续模、跳步模。级进模是在单工序模具基础上发展起来的多工序集成模具，这种模具在一副模具中可以完成冲裁、弯曲、拉深、局部成形等多种冲压工序，其工序集成度之高、功能之广是其他模具无法与之相比的。级进模采用自动化送料，并设有安全监测保护装置，可实现高速无人冲压生产。模具的工作零件常采用高强度的高合金工具钢、高速钢或硬质合金等材料来制造。加工方法常采用先进的 CNC 加工、慢走丝线电极电加工和成削磨削等。这样，级进模有效地提高了生产效率，又能满足高精密、长寿命的产品需要。所以，多工位级进模已成为实现大生产、高效率、低成本的最佳选择，被称为现代高精密、高效率、长寿命的“三高”模具。

与其他冲压模具相比，级进模主要有以下几个特点。

1. 生产率高

级进模是在一次冲压过程中完成冲裁、翻边、弯曲、拉深等多道工序，并且排样采用多排，一次冲压可以出多件，所以显著提高了生产效率。级进模的设备采用高速冲压（通常为 800~1200 次/min），比普通冲压高出 10 倍以上，生产率很高。

2. 自动化程度高

多工位级进模采用自动送料装置才能实现自动冲压，一般要求送料精度高，送料进距易于调整。生产中常采用的送料装置有钩式送料装置、夹持式送料装置和辊式送料装置。对于一般的卷带料，还要有相应的开卷机、校平机。

3. 冲裁件尺寸精度高

多工位级进模适合大批量生产。冲裁件冲压精度高，可达 IT10 级。冲裁件尺寸一致性好，具有很好的互换性。

4. 模具寿命长

级进模可以把冲裁件的复杂内形或外形分解为简单的凸模和凹模外形，工序也可以分散在多个工位上，在工序集中的区域还可以设置空工位，这样就避免了凸、凹模壁厚过小的问

题,提高了模具的强度,延长了模具寿命。

5. 模具制造成本高

多工位级进模随着工位数的增加,相应要加工的模具零件数也增多,模具零件除了采用常规机械加工方法外,还采用电火花、线切割等特种加工方法。一些重要的工作零件,对尺寸精度要求高,一般采用高精度的精密设备(例如,坐标磨床、光学曲线磨床、慢走丝切割机床等),不仅加工周期长,而且工时费比普通加工高许多,所以成本比普通冲模高。

6. 模具维护困难

多工位级进模结构复杂,镶块较多,模具制造精度要求很高,这给模具的制造、调试及维修带来一定的难度。例如,在刃磨冲裁部分的凸、凹模刃口时,其高度要满足其他工位(如弯曲、拉深等)的凸、凹模高度。同时要求模具零件具有互换性,在模具零件磨损或损坏后,要求更换迅速、方便、可靠。

1.1.2 冲裁工艺设计基础

1.1.2.1 冲裁件的精度、表面粗糙度和毛刺

1. 冲裁件的精度

冲裁件即制件,它的精度与许多因素有关,最直接的是与模具制造精度有关,它们之间的关系见表 1-1。在设计冲裁件时,尽可能保证制件的精度在合理范围内。

表 1-1 冲裁件精度与模具制造精度之间的关系

冲模制造精度	板料厚度 t/mm									
	0.5	0.8	1.0	1.5	2	3	4	5	6	8
IT6~IT7	IT8	IT8	IT9	IT10	IT10	—	—	—	—	—
IT7~IT8	—	IT9	IT10	IT10	IT12	IT12	IT12	—	—	—
IT9	—	—	—	IT12	IT12	IT12	IT12	IT12	IT14	IT14

冲裁件的精度一般可分为经济级和精密级两类。经济级即普通冲裁精度,模具工作部分制造精度为 IT8 级。精密级即高级精度,模具工作部分制造精度为 IT7 级以上。金属普通冲裁内、外形所能达到的经济精度一般均不高于 IT10 级,在选取冲裁件的精度时,一般要求落料件精度最好低于 IT10 级,冲孔件最好低于 IT9 级。

2. 冲裁件的切断面表面粗糙度

冲裁件剪切断面的粗糙度一般为 $R_a > 12.5\mu\text{m}$,具体数值可参考表 1-2。若冲裁件设计要求超过此表要求,则普通冲裁是难以满足的,这就要通过整修工艺或精冲工艺来满足。

表 1-2 一般冲裁件剪切断面的近似表面粗糙度

板料厚度 t/mm	≤ 1	$>1\sim 2$	$>2\sim 3$	$>3\sim 4$	$>4\sim 5$
表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	3.2	6.3	12.5	25	50

3. 金属冲裁件允许的毛刺高度

毛刺精度等级分为三级:A 为精密级,适用于要求较高的冲裁件;B 为中等级,适用于中等要求的冲裁件;C 为粗糙级,适用于一般要求的冲裁件,毛刺高度要求见表 1-3。

表 1-3 冲压件毛刺高度的极限值 单位: mm

材料抗拉 强度 MPa	加工 精度 级别	冲压件的材料厚度										
		≤0.1	>0.1 ~0.2	>0.2 ~0.3	>0.3 ~0.4	>0.4 ~0.7	>0.7 ~1.0	>1.0 ~1.6	>1.6 ~2.5	>2.5 ~4.0	>4.0 ~6.5	>6.5 ~10.0
>100 ~250	A	0.02	0.02	0.03	0.05	0.09	0.12	0.17	0.25	0.36	0.60	0.95
	B	0.03	0.03	0.05	0.07	0.12	0.17	0.25	0.37	0.54	0.90	1.42
	C	0.04	0.05	0.07	0.10	0.17	0.23	0.34	0.50	0.72	1.20	1.90
>250 ~400	A	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.12	0.18	0.25	0.36	0.50
	B	0.02	0.02	0.04	0.05	0.08	0.13	0.18	0.26	0.37	0.54	0.75
	C	0.03	0.03	0.05	0.07	0.11	0.17	0.24	0.35	0.50	0.73	1.00
>400 ~630	A	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.11	0.20	0.22	0.32
	B	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.11	0.16	0.30	0.33	0.48
	C	0.02	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.15	0.22	0.40	0.45	0.65
>630	A	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.13	0.17
	B	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.13	0.19	0.26
	C	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.08	0.12	0.18	0.26	0.35

1.1.2.2 冲裁件的工艺性

冲裁的工艺性是指冲裁件对冲压工艺的适应能力，即冲裁的难易程度。良好的冲裁工艺性是指用普通的冲裁方法，在模具寿命和生产率较高、成本较低条件下得到质量较好的冲裁件。

1. 对冲裁件的形状要求

- (1) 制件的料厚不能太厚。用于级进冲裁的料厚应小于 5mm，实际应用时小于 3mm，多数为 2mm 以下最常用。
- (2) 制件的外形不能太大。级进冲裁的外形尺寸一般在 300mm 以下，太大了模具外形尺寸大，没有太大的压力机可以安装使用。
- (3) 冲裁件的形状应尽可能设计成对称、简单和便于实现无废料及少废料的排样，如设计成图 1-1 (a) 所示结构，采用有废料搭边的排样。如果工件只是要求三个装配用的孔有精确的位置，而外形是无关紧要的，则改成图 1-1 (b) 所示的结构，便能采用无废料搭边的排样，使材料利用率提高 40%，并且一次能冲出两个制件，生产率提高 1 倍，成本也降低了。因此，改进后的制件的工艺性比原制件的工艺性好。
- (4) 冲裁件的外形，除在少、无废料排样或采用镶拼模结构时，允许工件有尖锐的清角外，冲裁件的外形或内孔的交角处，应避免尖锐的清角，其交角处用适宜的圆角相连，如图 1-2 所示。

冲裁凹模拐角处以圆弧过渡，便于模具加工，减少热处理或冲压时在尖角处的开裂，同时可以防止尖角部位的刃口磨损过快而导致模具寿命降低。其圆角半径 R 的最小值，参照表 1-4 选取。

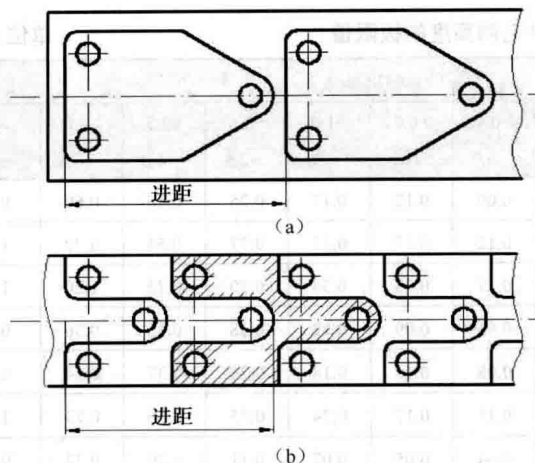


图 1-1 无废料冲裁件的制件形状

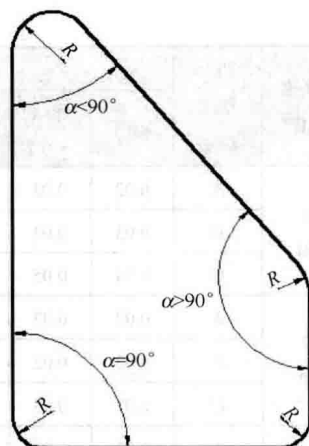


图 1-2 冲裁件的交角与圆角

表 1-4 冲裁件的最小圆角半径

工 序	角 度	最小圆角半径 $R_{\min}$		
		黄铜、纯铜、铝	低碳钢	高碳钢
落料	$\alpha \geq 90^\circ$	$0.18t$	$0.25t$	$0.35t$
	$\alpha < 90^\circ$	$0.35t$	$0.50t$	$0.70t$
冲孔	$\alpha \geq 90^\circ$	$0.20t$	$0.30t$	$0.45t$
	$\alpha < 90^\circ$	$0.40t$	$0.60t$	$0.90t$

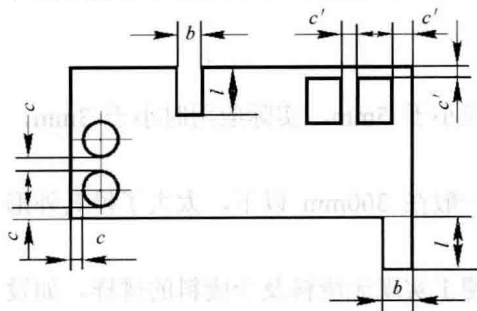


图 1-3 冲裁件的悬臂和窄槽

(5) 冲裁件应避免有过长的悬臂和窄槽，如图 1-3 所示。这样的设计能有利凸、凹模的加工，提高凸、凹模的强度，防止崩刃。一般材料取 $b \geq 1.5t$ ；高碳钢应同时满足 $b \geq 2t$ ， $l \leq 5b$ ；但 $b \leq 0.25\text{mm}$ 时模具制造难度已相当大，所以 $t \leq 0.5\text{mm}$ 时，前述要求按 $t=0.5\text{mm}$ 判断。

2. 对冲孔件尺寸要求

(1) 因受凸模刚度的限制，冲裁件的孔径不宜太小。冲孔最小尺寸取决于冲压材料的力学性能与凸模强度和模具结构。各种形状孔的最小尺寸的确定可参考表 1-5。

表 1-5 无导向凸模冲孔的最小尺寸

材 料	示意图及尺寸要求			
硬钢	$d \geq 1.3t$	$b \geq 1.2t$	$b \geq 0.9t$	$b \geq 1.0t$
软钢、黄铜	$d \geq 1.0t$	$b \geq 0.9t$	$b \geq 0.7t$	$b \geq 0.8t$
铝、锌	$d \geq 0.8t$	$b \geq 0.7t$	$b \geq 0.5t$	$b \geq 0.6t$

(2) 制件的冲孔边缘离外形轮廓线的最小距离随制件与孔的形状不同而有一定的限制, 如图 1-4 所示。

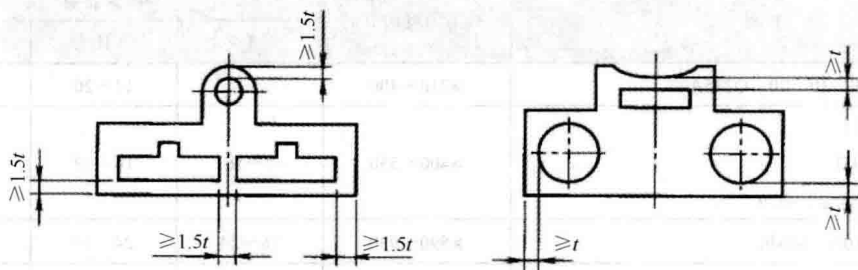


图 1-4 孔边距离最小数值

当冲孔边缘与制件外形轮廓边缘不平行时, 最小距离应不小于 t ; 平行时则应不小于 $1.5t$, t 为冲裁件料厚, $t < 1\text{mm}$ 时, 按 $t = 1\text{mm}$ 计算。

(3) 在弯曲或拉深件上冲孔时, 孔的尺寸除应符合上述原则外, 其孔壁与制件直壁之间应保持一定的距离 (见图 1-5)。如果距离太小时, 则在冲孔时会使凸模因受水平侧向推力的作用而被折断。

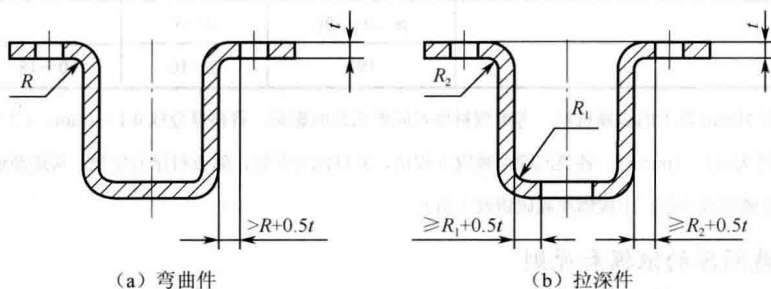


图 1-5 弯曲或拉深件上冲孔的合适位置

拉深件底部的孔可在拉深过程结束时冲出, 也可用单独的工序冲出。但凸缘上的孔只能在拉深后利用单独工序冲出。

1.1.2.3 合理选用冲裁间隙

1. 常用冲裁间隙值

合理冲裁间隙主要与被冲裁的材料厚度、材料的力学性能不同有关。目前可供应用的参考资料不少, 但都是经验值, 其值用被冲材料的厚度乘以系数表示, 即

$$Z = mt \quad (1-1)$$

式中: Z ——合理冲裁间隙, mm ;

m ——系数, 与材料性质、厚度有关, 见表 1-6, 表中数值为百分数;

t ——材料厚度, mm 。

经验确定间隙法比较简单, 常为模具设计者所采用。不同行业、不同产品、不同要求, 在具体确定间隙大小时, 有些变化。

表 1-6 冲裁间隙（双面）系数

材料	抗剪强度 τ /MPa	间隙类别		
		I	II	III
低碳钢 08F、10F、10、20、Q235A	$\geq 210 \sim 400$	6~14	14~20	20~25
中碳钢 45、4Cr13 不锈钢 1Cr18Ni9Ti 膨胀合金（可伐合金）4J29	$\geq 400 \sim 550$	7~16	16~22	22~30
高碳钢 T8A、T10A、65Mn	$\geq 590 \sim 930$	16~24	24~30	30~36
纯铝 1060（L2）、1050A（L3）、 1035（L4）、1200（L5） 铝锰合金（软态）3A21（LF21） 黄铜（软态）H62 纯铜（软态）T1、T2、T3	$\geq 65 \sim 255$	4~8	9~12	13~18
黄铜（硬态）、纯铜（硬态）、铅黄铜	$\geq 290 \sim 420$	6~10	11~16	17~22
铝合金（硬铝、杜拉铝）2A12（LY12） 锡磷青铜、铝青铜、铍青铜	$\geq 125 \sim 550$	7~12	14~20	22~26
镁合金	$\geq 120 \sim 180$	3~5		
硅钢	190	5~10	10~18	

注：表中适用厚度 10mm 以下的金属材料，考虑到料厚对间隙系数的影响，将料厚分成 0.1~1mm、1.2~3mm、3.5~6mm、7~10mm 四档，当料厚为 0.1~1mm 时，各类间隙系数取下限值，并以此为基数，随着料厚的增加，再逐渐递增（1%~2%） t （ t 为料厚，有色金属和低碳钢取小值，中碳钢和高碳钢取大值）。

2. 选用冲裁间隙的依据和原则

（1）选用的间隙应使制件尺寸精度符合要求，边缘毛刺最小，冲模寿命最高。

（2）冲裁料厚 $t < 0.5\text{mm}$ 的一般制件，常采用最小间隙； $t > 0.5\text{mm}$ 的一般制件，在满足冲裁质量的前提下，为提高模具寿命，一般采用大的间隙；对制件有特殊要求时，可采用小间隙。

（3）遇有下列情况应加大间隙。

- ① 厚料冲小孔，即冲孔直径小于料厚（ $d < t$ ）；
- ② 同样条件下，冲孔间隙比落料可大些；
- ③ 硬质合金冲模需加大 30% 的冲裁间隙；
- ④ 凹模壁或复合模的凸、凹模壁较薄时；
- ⑤ 硅钢片料中含硅量大；
- ⑥ 高速冲压时，如冲程次数超过 200 次/min 时，模具易发热，需增大 10% 左右。

（4）遇有下列情况应减小间隙值。

- ① 凹模为斜刃口；
- ② 采用电火花穿孔加工凹模型孔的，间隙值应比磨削加工取小（0.2%~2%） t ；
- ③ 加热冲裁；
- ④ 冲孔后需攻螺纹的制件。

3. 间隙方向的确定原则

冲裁时，由于凸、凹模间存在间隙，使落下的件或冲出的孔的断面均带有锥度。测量发

现, 落料件尺寸基本上等于凹模尺寸; 冲孔的尺寸基本上等于凸模尺寸。所以间隙的选取原则应根据落料和冲孔的不同情况而区别对待。

(1) 落料时, 因制件尺寸随凹模尺寸而定, 故间隙应在减小凸模尺寸方向取得。

(2) 冲孔时, 因孔尺寸随凸模尺寸而定, 故间隙应在增大凹模尺寸方向取得。

考虑到凸、凹模的磨损, 尺寸将有变化, 在制造新模具时, 应采用最小合理间隙。

1.1.2.4 冲裁模凸模、凹模刃口尺寸及制造公差

凸模和凹模的刃口尺寸和公差, 直接影响冲裁件的尺寸精度。模具的合理间隙值也由凸、凹模刃口尺寸及其公差来保证。因此, 正确确定凸、凹模刃口尺寸和公差, 是冲裁模设计中的一项重要工作。

1. 凸凹模刃口尺寸计算的原则

由上节间隙方向的确定原则可知如下情况。

(1) 落料时, 制件尺寸与凹模尺寸相当, 所以在设计落料模时, 先确定凹模刃口尺寸。又因为落料件尺寸会随凹模刃口的磨损而增大, 为保证凹模磨损到一定程度仍可以冲裁出合格零件, 所以凹模的基本尺寸应取落料件尺寸公差范围内较小尺寸。而落料凸模的基本尺寸等于凹模的基本尺寸减去最小合理间隙。

(2) 冲孔时, 制件孔的尺寸与凸模尺寸相当, 所以在设计冲孔模时, 先确定凸模刃口尺寸。又因为冲孔的尺寸会随凸模刃口的磨损而减小, 所以凸模基本尺寸应取制件孔的尺寸公差范围内的较大尺寸。冲孔凹模的基本尺寸则是在凸模基本尺寸上加上最小合理间隙。

(3) 凸、凹模刃口部分尺寸的制造公差要根据冲裁件的尺寸公差和模具的加工方法来确定, 一般冲裁模具的制造精度比制件的精度高 2~4 级。对于形状简单的圆形、方形刃口, 其制造偏差值可按 IT6~IT7 级来选取; 对于形状复杂的刃口制造偏差可按工件相应部位公差值的 1/4 来选取; 对于刃口尺寸磨损后无变化的制造偏差值可取工件相应部位公差值的 1/8 并冠以 ($\pm$)。

(4) 凸、凹模刃口尺寸的制造偏差在标注时一般都应按“入体”原则标注为单向公差, 即标注制件尺寸公差时应向材料实体方向单向标注。但对于磨损后无变化的尺寸, 一般标注双向偏差。

2. 按凸模与凹模图样分别加工法

这种方法主要适用于圆形或简单规则形状的工件, 因冲裁此类工件的凸、凹模制造相对简单, 精度容易保证, 所以可分别加工。设计时, 需在图纸上分别标注凸模和凹模刃口尺寸及制造公差。由于凸、凹模是分别按照其刃口尺寸和公差加工的, 所以凸、凹模具有互换性。级进模常用这种计算方法。

设落料件外形尺寸为 D_{Δ}^0 , 冲孔件孔的尺寸为 $d_0^{+\Delta}$, 根据上述刃口尺寸计算原则,

(1) 落料时

$$D_d = (D_{\max} - x\Delta)_0^{+\delta_d} \quad (1-2)$$

$$d_p = (D_d - Z_{\min})_{-\delta_p}^0 \quad (1-3)$$

(2) 冲孔时

$$d_p = (d_{\min} + x\Delta)_{-\delta_p}^0 \quad (1-4)$$

$$D_d = (d_p + Z_{\min})_0^{+\delta_d} \quad (1-5)$$

(3) 孔心距

$$L_d = L \pm \frac{1}{8} \Delta \quad (1-6)$$

式中: D_d , d_p ——分别为凹模和凸模的基本尺寸;

$D_{\max}$ ——落料件最大极限尺寸;

$d_{\min}$ ——冲孔件最小极限尺寸;

L , L_d ——工件孔心距和凹模孔心距的基本尺寸;

Δ ——冲裁件的公差;

x ——磨损系数, 查表 1-7 或直接按 1 选取;

δ_d , δ_p ——分别为凹模和凸模的制造公差, 可按 IT6~IT7 级取, 也可查表 1-8;

表 1-7 磨损系数 x

板料厚度 t/mm	制件公差 Δ/mm				
<1	≤ 0.16	0.17~0.35	≥ 0.36	<0.16	≥ 0.16
1~2	≤ 0.20	0.21~0.41	≥ 0.42	<0.20	≥ 0.20
2~4	≤ 0.24	0.25~0.49	≥ 0.50	<0.24	≥ 0.24
>4	≤ 0.30	0.31~0.59	≥ 0.60	<0.30	≥ 0.30
磨损系数	非圆形 x 值			圆形 x 值	
	1.0	0.75	0.5	0.75	0.5

表 1-8 规则形状冲裁模凸、凹模制造公差

单位: mm

基本尺寸	δ_p	δ_d	基本尺寸	δ_p	δ_d
≤ 18	-0.020	+0.020	>180~260	-0.030	+0.045
>18~30	-0.020	+0.025	>260~360	-0.035	+0.050
>30~80	-0.020	+0.030	>360~500	-0.040	+0.060
>80~120	-0.025	+0.035	>500	-0.050	+0.070
>120~180	-0.030	+0.040			

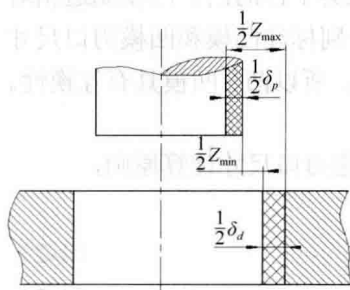


图 1-6 凸、凹模的制造公差与间隙之间的关系

用分别加工法计算刃口尺寸时, 如图 1-6 所示, 为了保证冲裁间隙, 凸、凹模的制造公差必须满足下列条件, 即

$$|\delta_p| + |\delta_d| + Z_{\min} \leq Z_{\max} \quad (1-7)$$

$$|\delta_p| + |\delta_d| \leq Z_{\max} - Z_{\min}$$

式中: $Z_{\max}$ ——最大合理间隙;

$Z_{\min}$ ——最小合理间隙。

否则模具的制造公差超过了允许的变动范围 $Z_{\min} \sim Z_{\max}$, 则会影响模具的使用寿命。

3. 凸模与凹模配作法

对于冲裁形状复杂或由薄板制件的模具, 若采用分别加工法计算凸、凹模刃口尺寸, 其凸、凹模制造公差往往较小, 这给模具的加工带来较大难度。

因此,这类模具通常采用凸、凹模配作法计算其刃口尺寸。

所谓的配作法就是先按计算原则制出一个基准件(凸模或凹模),然后根据基准件的实际尺寸,配作另一个件(凹模或凸模),使它们之间保留一个最小的合理间隙。这种加工方法的特点是模具的制造公差受间隙的影响,一般可取制件公差的1/4。

由于制件的各部分尺寸性质不同,凸模和凹模磨损后,尺寸变化趋势也不同,所以基准件的刃口尺寸计算的方法也不同。

(1) 落料

图1-7(a)是一个落料件,计算时应以凹模为基准件,凹模磨损以后尺寸有三种变化,第一种是磨损以后增大的尺寸(如图1-7(b)所示的A类尺寸);第二种是磨损以后减小的尺寸(如图1-7(b)所示的B类尺寸);第三种是磨损以后不变的尺寸(如图1-7(b)所示的C类尺寸)。

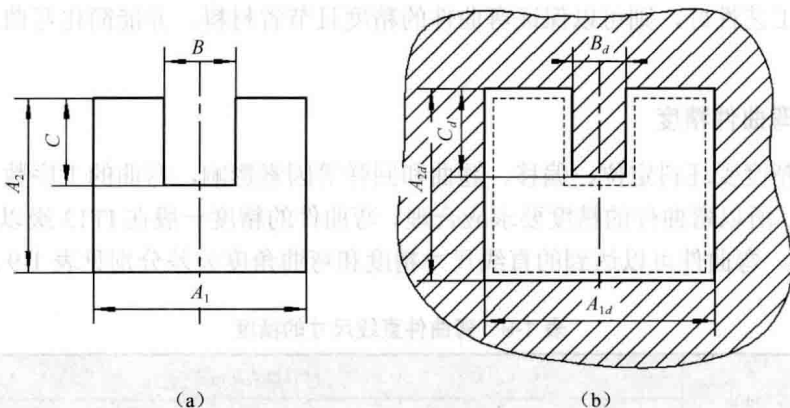


图1-7 复杂冲裁件和凹模刃口

其基准件凹模的刃口尺寸如下。

第一类尺寸(磨损后会增大的尺寸):

磨损以后会增大的尺寸计算刃口尺寸时,相当于简单形状的落料凹模尺寸,所以它的基本尺寸及制造公差与公式相似,即

$$A_d = (A_{\max} - x\Delta)_0^{+\frac{\Delta}{4}} \quad (1-8)$$

第二类尺寸(磨损后会减小的尺寸):

磨损以后会减小的尺寸计算刃口尺寸时,相当于简单形状的冲孔凸模尺寸,所以它的基本尺寸及制造公差与公式相似,即

$$B_d = (B_{\min} + x\Delta)_0^{-\frac{\Delta}{4}} \quad (1-9)$$

第三类尺寸(磨损后会基本不变的尺寸):

磨损以后基本不变的尺寸计算刃口尺寸时,相当于简单形状的孔心距尺寸,所以它的基本尺寸及制造公差与公式相似,即

$$C_d = \left(C_{\min} + \frac{1}{2}\Delta \right) \pm \frac{\Delta}{8} \quad (1-10)$$

以上是落料件凹模的刃口尺寸的计算方法,凸模的刃口尺寸只是按照凹模的实际尺寸配