

21

世纪高职高专应用型特色规划教材

冲压技术

CHONGYA JISHU

罗大金 王德俊 杨晓红 主编



化学工业出版社

21 世纪高职高专应用型特色规划教材

冲 压 技 术

罗大金 王德俊 杨晓红 主编

程贵生 张建中 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是针对高职高专教材应进行大力改革的要求而编写的,全书共分7章。前4章介绍了冲压技术中的冲裁、弯曲、拉延、成形四种主要工艺的基本理论及其模具。第5章收集了当前生产中典型冲压件的工艺与模具。第6章介绍了冲模装配,第7章给出了冲模设计常用的标准。

本书吸取了建国以来近五十年我国冲压技术在使用中的经验和教训,收录了我国第一代冲压课程教学工作者的资料和意见。理论内容与具体范例紧密结合,通过实例来分析解决内容的难点。

本书是供高职高专模具及相关专业人员使用,也可供本科和从事本技术的人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

冲压技术/罗大金,王德俊,杨晓红主编. —北京:化学工业出版社,2009.1

21世纪高职高专应用型特色规划教材

ISBN 978-7-122-03979-8

I. 冲… II. ①罗…②王…③杨… III. 冲压-工艺-高等学校:技术学校-教材 IV. TG38

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第166431号

责任编辑:高钰

文字编辑:余纪军

责任校对:陈静

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张15½ 字数389千字 2009年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00元

版权所有 违者必究

前 言

根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神和中央有关部门的指示,职业技术学校要培养的是生产、建设、管理、服务第一线所需要的技能人才,尤其是高职院校要培养的是应用型复合型的高技能人才,高职教育应是独具特色的高等教育,在专业设置、课程开发等方面应有自己的独特之处。在当前高职院校的教材建设中,尤应把理论教学三段制中的专业基础课和专业课融合起来编写教材。本着这一精神,我们对高职教育的模具设计与制造专业的教材进行了整合,把原来的 20 多门课程合并成 6 门。

(1) 模具和机械制图。包含了机械制图、公差技术测量、计算机画图等课程。

(2) 材料工程基础。包含了工程材料及热处理、金属热加工、机械与模具寿命及失效等课程。

(3) 机械与工装设计。包含了工程力学、机械设计、机械成型压机、冲塑挤铸模具机构等课程。

(4) 模具液电系统设计。包含了普通电工学、液气压传动、成型设备液电系统等课程。

(5) 模具与机械制造技术。包含了金属工艺学冷加工、模具制造技术、数控加工等课程。

(6) 材料成型工艺与模具设计。包含了冲压、挤压、塑料、压铸、模锻工艺及成型零部件设计等。

整合后的课程,更加贴近专业实际,突出了生产建设岗位的需要,符合培养生产一线应用型人才的要求。

这本《冲压技术》教程就是为适应这种课程改革的需要而编写的。它针对目前冲压技术发展的现状,汲取了我国 20 世纪 50~90 年代老一辈长期从事冲压技术教学的同志的经验,并参考了“一花多放”阶段冲压工艺与模具设计的若干教材的长处,进行了内容的创新。本教材具有下面几方面的特点。

一是符合国家对高职院校教材编写的导向,是改革教材范例之一。

二是对我国长期从事冲压技术教学工作的老前辈的有益经验进行总结传承。

三是贴近我国当前冲压技术发展的现状和培养这类高技能人才的需要。

四是突出了模具设计的最新技术资料,利用本教材可解决实际工艺分析和模具设计的有关问题。

五是它包含有关理论内容和实际生产的相结合的范例,能有效地解决学生在学习过程中的重点和难点。

本书由罗大金、王德俊、杨晓红主编,由程贵生、张建中副主编,黄利文主审,其中:杨晓红,编写 1.1~1.5 节;王德俊,编写 3.3 节和 5.2 节;程贵生,编写 2.1~2.5 节和 3.5 节;张建中,编写 7.1 节;赵世功,编写 1.6 节、2.6~2.7 节和 4.4 节、5.7 节;张辉,编写 1.7 节,4.1 节,4.2 节;胡道春,编写 4.3 节;李小城,编写 1.8 节、5.9 节,6.8 节;朱正光,编写 3.1 节、5.1 节、5.3 节、7.2 节和 5.4 节;王蕾,编写 3.2 节和 7.3 节、7.4 节;姚志英,编写 3.4 节和 5.8 节;孟亚峰,编写 3.6~3.9 节;陈艳艳,编写 6.1~6.7 节和 5.5 节;于红星,编写 5.6 节和 5.10~5.12 节。罗大金提供了本教材的编写

大纲和相关资料并负责统稿。

从新中国建立到 20 世纪末,我国的冲压技术得到了相当大的发展,在这一阶段有一批长期从事冲压技术教学的老前辈,如清华大学的郑可煌教授、华中科技大学的肖景容教授、哈尔滨工业大学的李硕本教授、武汉理工大学的姜奎华教授、西北工大的吴诗惇、西安交大的储家佑教授、重庆大学的王孝陪教授、河南科技大学的高济教授等。他们虽已退休,但他们为我国的冲压技术的发展和教学工作所做出的重大的贡献是有目共睹的。本书的部分内容参考了他们的有关著作和资料,编写中也听取了他们的意见。现借出版之机,谨向他们表示衷心的感谢和崇高的敬意。

本书适合高职院校“模具设计与制造”专业和“材料成型及控制工程”专业及本科“材料成型及控制”专业使用,也可以作为其他专业的教师和工程技术人员参考。

本书在结构体系和内容上有别于其他同类教材,是教材改革的一个尝试,由于编者水平有限,对书中的疏漏和不足之处,请广大同行和使用者提出宝贵意见。

编者

2008 年 10 月

目 录

第 1 章 冲裁工艺与冲模设计	1	2.1 弯曲变形过程分析	64
1.1 冲裁变形过程分析	1	2.1.1 弯曲变形过程	64
1.1.1 冲裁变形过程	1	2.1.2 弯曲的应力应变	65
1.1.2 冲裁变形力曲线	2	2.2 弯曲件的回弹及减少回弹的方法	66
1.1.3 冲裁零件断面形状	2	2.2.1 影响回弹的因素	67
1.2 冲裁件质量分析	2	2.2.2 回弹值的确定	68
1.2.1 间隙对切断面质量的影响	3	2.2.3 减少回弹的措施	69
1.2.2 间隙对尺寸精度的影响	3	2.3 最小弯曲半径	71
1.2.3 刃口状态对断面质量的影响	5	2.3.1 含义和作用	71
1.3 凸、凹模间隙值的确定	6	2.3.2 最小弯曲半径的确定	71
1.3.1 间隙对冲裁过程的影响	6	2.3.3 影响最小弯曲半径的因素	71
1.3.2 间隙值的确定	6	2.4 弯曲件毛坯尺寸计算	73
1.4 凸、凹模刃口尺寸计算	10	2.4.1 变形中性层位置的确定	73
1.4.1 尺寸计算原则	10	2.4.2 弯曲件毛坯尺寸的计算	73
1.4.2 尺寸计算方法	11	2.5 弯曲力的计算	75
1.5 冲裁力的计算	16	2.6 弯曲件的工序安排及模具设计	76
1.5.1 冲裁变形力	16	2.6.1 常见弯曲件的工序安排	76
1.5.2 卸料力及推件力	18	2.6.2 V 形件的弯曲	77
1.5.3 冲裁时的总压力	19	2.6.3 U 形件的弯曲	78
1.6 冲裁件的排样	20	2.6.4 帽罩形件的弯曲	79
1.6.1 排样目的	20	2.6.5 Z 形件的弯曲	80
1.6.2 排样方法	20	2.6.6 圆筒形件的弯曲	81
1.6.3 排样工艺参数	22	2.6.7 其他形状的弯曲件	82
1.6.4 条料宽度的计算	22	2.7 弯曲模工作部分尺寸设计	82
1.6.5 条料在板料上的排样	25	2.7.1 凸、凹模的圆角半径及弯曲凹模	
1.6.6 材料的利用率	25	的深度	83
1.7 冲裁模分类及结构分析	25	2.7.2 凸、凹模间隙	84
1.7.1 冲裁模的分类	25	2.7.3 凸、凹模工作部分的尺寸与公差	84
1.7.2 冲裁模的结构分析	26	习题	85
1.7.3 冲裁模设计的一般程序	33	第 3 章 拉延工艺及模具设计	86
1.7.4 冲裁模的总体设计	39	3.1 拉延变形过程分析	86
1.8 冲裁模主要零部件设计	42	3.1.1 拉延变形过程	86
1.8.1 工作部分零件设计	42	3.1.2 拉延过程中毛坯的应力	
1.8.2 定位零件设计	50	与应变状态	88
1.8.3 卸料与推件零件设计	55	3.1.3 拉延过程中的起皱	89
1.8.4 导向零件设计	59	3.1.4 拉延过程中的拉破	90
1.8.5 连接零件设计	61	3.2 圆筒形件的拉延	91
习题	63	3.2.1 毛坯尺寸的计算	91
第 2 章 弯曲工艺与弯曲模具设计	64	3.2.2 拉延系数和拉延次数	92

3.2.3	以后各次拉延的特点	98
3.2.4	以后各次拉延方法	98
3.2.5	压边力、拉延力和拉延功的计算	99
3.2.6	凸、凹模工作部分设计	104
3.3	其他形状筒形零件的拉延	109
3.3.1	带凸缘筒形件的拉延	109
3.3.2	阶梯形件的拉延	112
3.3.3	半球形件的拉延	114
3.3.4	抛物线形零件的拉延	114
3.3.5	锥形件的拉延	115
3.4	矩形件的拉延	117
3.4.1	矩形件的拉延特点	117
3.4.2	毛坯计算方法	119
3.4.3	高矩形件拉延工艺过程	122
3.4.4	模具间隙、圆角半径的确定	124
3.5	带料连续拉延	125
3.5.1	概述	125
3.5.2	连续拉延的工艺计算	126
3.6	大型覆盖零件的拉延	130
3.7	拉延工作中的润滑、退火与酸洗	131
3.7.1	润滑	131
3.7.2	退火	131
3.7.3	中间退火	132
3.7.4	酸洗	134
3.8	拉深模具的分类及典型结构	134
3.8.1	首次拉深模	135
3.8.2	后续各工序拉深模	135
3.9	拉延件的废品种类、产生原因及 预防方法	136
	习题	137
第4章	其他成形方法及模具	139
4.1	局部成形和翻边	139
4.1.1	局部成形	140
4.1.2	翻边	141
4.2	缩口和胀形	147
4.2.1	缩口	148
4.2.2	胀形	150
4.3	校平和整形	152
4.3.1	校平	152
4.3.2	整形	153
4.4	旋压和强力旋压	153
4.4.1	旋压	153
4.4.2	强力旋压(亦称旋薄)	155
	习题	158

第5章 典型冲压件工艺参数和工艺过程

实例	159
5.1 垫圈冲裁模凸凹模工作尺寸确定	159
5.2 变压器硅钢片冲裁模凸凹模工作 尺寸确定	159
5.3 钟夹板冲裁模卸料弹簧设计	160
5.4 钢板弹簧吊耳弯曲工艺和模具设计	161
5.5 圆筒件拉延次数和程序确定	162
5.6 窄凸缘拉延次数和程序确定	163
5.7 宽凸缘拉延次数和程序的确定	165
5.8 矩形件拉延次数和程序确定	168
5.9 带料连续拉延工艺计算	171
5.10 特殊件拉延工序安排实例	174
5.11 大型覆盖件成形模设计	178
5.11.1 拉深模的典型结构	178
5.11.2 拉深模主要零件的设计	179
5.12 汽车托架的工艺分析及模具设计	181
5.12.1 零件的工艺分析	181
5.12.2 工艺方案的选择分析	182
5.12.3 工艺方案确定	183
5.12.4 工艺计算	183
5.12.5 排样与材料利用率	184
5.12.6 压力计算与初选压床	184
第6章 冲压模具的装配	187
6.1 冷冲模装配的技术要求	187
6.1.1 模具外观和安装尺寸	187
6.1.2 模具的装配精度	187
6.2 模架的装配	188
6.2.1 模架的作用与结构	188
6.2.2 模架的装配	188
6.3 凸、凹模装配	190
6.3.1 压入固定法	190
6.3.2 紧固件固定法	191
6.3.3 黏结剂固定法	191
6.3.4 凸、凹模间隙的调整	191
6.4 冲模装配的顺序	192
6.5 冲裁模装配实例	193
6.5.1 装配前的准备	193
6.5.2 组件装配	193
6.5.3 总装	194
6.5.4 试模调整	194
6.6 级进模装配实例	194
6.6.1 装配凸、凹模	195
6.6.2 装下模	195
6.6.3 装上模	196
6.6.4 试模调整	196

6.7 复合模装配实例	196	7.1.3 中间导柱方形模架	212
6.7.1 组件装配	196	7.1.4 中间导柱圆形模架	218
6.7.2 总装配	196	7.2 导柱、导套	222
6.7.3 试模调整	198	7.2.1 A型导套	222
6.8 环氧树脂等粘接技术在模具装配中的 应用	198	7.2.2 B型导柱	224
6.8.1 环氧树脂在模具装配中的应用	198	7.2.3 A型导柱	227
6.8.2 无机黏结剂在模具装配中的 应用	199	7.2.4 B型导套	228
6.8.3 低熔点合金在模具装配中的 应用	199	7.3 模柄	230
第7章 冲压模具设计常用标准	201	7.3.1 凸模模柄形式及尺寸	230
7.1 常用模架	201	7.3.2 压入式模柄	231
7.1.1 常用滑动对角导柱模架	201	7.4 圆柱螺旋压缩弹簧和橡胶	232
7.1.2 常用滑动后侧导柱模架	206	7.4.1 压缩弹簧表	232
		7.4.2 橡胶选用与计算	235
		参考文献	237

第 1 章 冲裁工艺与冲模设计

冲裁是利用模具使板料产生分离的冲压工序，包括落料与冲孔。它可以制成零件，或为弯曲、拉延、成形等工序准备毛坯。从板料上冲下所需形状的零件（或毛坯）叫落料。在工件上冲出所需形状的孔（冲去的为废料）叫冲孔。如图 1-1 所示的垫圈，即由落料与冲孔两道工序完成。

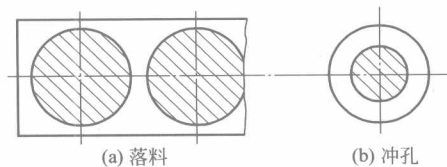


图 1-1 垫圈的冲裁

1.1 冲裁变形过程分析

由图 1-2 所示的冲裁变形过程可以看出，凸模与凹模组成上下刃口，材料放在凹模上，凸模逐步下降使材料产生变形，直至全部分离完成冲裁。随着凸模作用在材料上的外力在数量上的变化，材料内部的变形不断发展。

1.1.1 冲裁变形过程

整个冲裁过程的变形分为三个阶段（图 1-2）。

（1）弹性变形阶段 凸模接触材料，由于凸模加压，材料发生弹性压缩与弯曲，并略有挤入凹模洞口。这时材料内应力没有超过屈服极限，若凸模卸压，材料即恢复原状，故称弹性变形阶段。

（2）塑性变形阶段 凸模继续加压，材料内应力达到屈服极限，部分金属被挤入凹模洞口，产生塑剪变形，得到光亮的剪切断面。因凸、凹模间存在间隙，故在塑剪变形的同时还伴有材料的弯曲与拉伸。外力继续增加，材料内应力不断增大，在凸、凹模刃口处由于应力集中，内应力首先超过抗剪强度，出现微裂。

（3）断裂阶段 凸模继续下压，凸、凹模刃口处的微裂不断向材料内部扩展，材料随即被拉断分离。若凸、凹模间隙合理时，上下裂纹互相重合。

进一步分析冲裁时变形区的应力应变状态，有助于对冲裁变形过程的了解。在凸模和凹模刃口的连线上取一单元体 a ，其应力应变图如图 1-3 所示。从图中可看出和金属断裂线 AB （即刃口连线）成 45° 的主轴方向 1 是拉应力与拉伸变形，拉应力使金属纤维伸长；与其垂直的主轴方向 2 是压应力与压缩变形，使纤维受压挤；在切线方向的应力与应变很小，可略去不计；与主应力方向成 45° 的 AB 线方向为最大剪应变方向。因凸、凹模之间存在间隙使拉应力 σ_1 较大而拉应力的存在使金属纤维伸长并拉断，导致冲裁断面粗糙，甚至有毛刺。

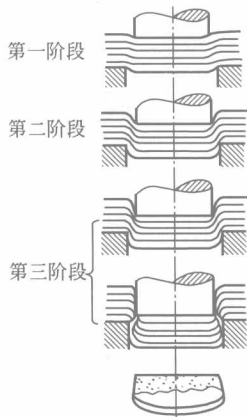


图 1-2 冲裁
变形过程

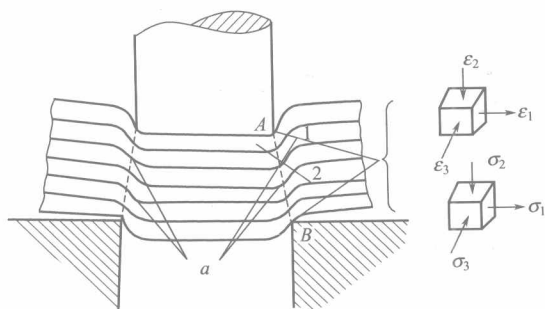


图 1-3 冲裁应力应变图

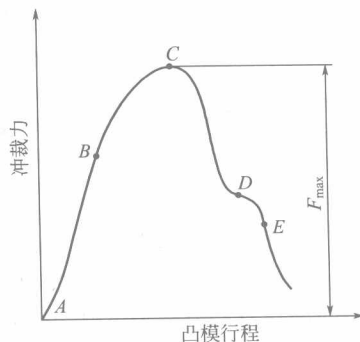


图 1-4 冲裁力-凸模行程曲线

1.1.2 冲裁变形力曲线

冲裁变形过程的三个阶段，还可在冲裁力的变形曲线图中得到验证。如图 1-4 所示，是冲裁厚度为 3mm 的 Q235 材料时冲裁力与凸模行程的关系曲线。从图中可看出，在冲裁过程中冲裁力的大小是不断变化的。图中 AB 段相当于冲裁的弹性变形阶段，BC 段为塑性变形阶段。当材料内应力达到抗剪强度时材料开始产生裂纹。CD 段为裂纹扩展直至材料分离的断裂阶段。DE 段表示凸模将冲裁件推出凹模口。

1.1.3 冲裁零件断面形状

上述冲裁变形过程得到的冲裁件断面并不是光滑垂直的，断面质量存在三个区域，即圆角带、光亮带与断裂带（图 1-5）。圆角带是在冲裁过程中塑形

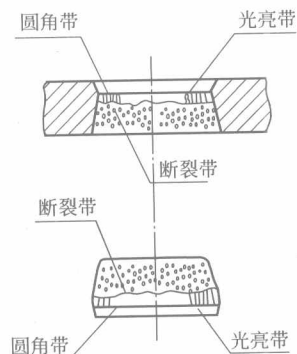


图 1-5 冲裁零件的断面

变形开始时，由于金属纤维的弯曲与拉伸而形成的，软料比硬料的圆角大。光亮带是在变形过程的第二阶段金属产生塑剪变形时形成的，有光滑垂直的表面，光亮带占全断面厚度的 $1/2 \sim 1/3$ ，软材料的光亮带宽，硬材料的光亮带窄。

断裂带相当于冲裁过程的第三阶段，主要是由于拉应力的作用，裂纹不断扩展，金属纤维拉断，故表面粗糙不光滑，且有斜度。在冲出孔的断面上同样具有上述特征，只是三个区域的分布位置与落料相反。

冲裁件除断面粗糙有锥度外，还有点穹弯、不平直，端面有毛刺，所以普通冲裁只适用于一般要求的冲裁件。如何提高冲裁件质量，这是冲压生产的主要问题。

1.2 冲裁件质量分析

冲裁时不仅要求冲出符合图纸形状的零件，还应有一定的质量要求。冲裁件的质量是指切断面质量、尺寸精度及形状误差。切断面应平直、光洁，即无裂纹、撕裂、夹层、毛刺等缺陷。零件表面应尽可能平坦，即穹弯小，尺寸精度应保证不超出图纸规定的公差范围。

影响冲裁件质量的因素很多，从生产实际中知道，凸、凹模间隙大小的均匀性、模具刃口状态、模具结构与制造精度、材料性质等，对冲裁件质量都有影响。但我们必须从其中找出对冲裁质量起着决定性作用的因素。

1.2.1 间隙对切断面质量的影响

从冲裁变形过程分析中知道,凸、凹模刃口处的裂纹是否重合与间隙大小有关。若间隙合理,材料分离时,在凸、凹模刃口处的两组剪裂纹重合[图1-6(b)],因而冲出的零件断面虽具有三个特征区(图1-5),但是比较平直、光洁,且无毛刺。在这种情况下零件断面质量认为是良好的。

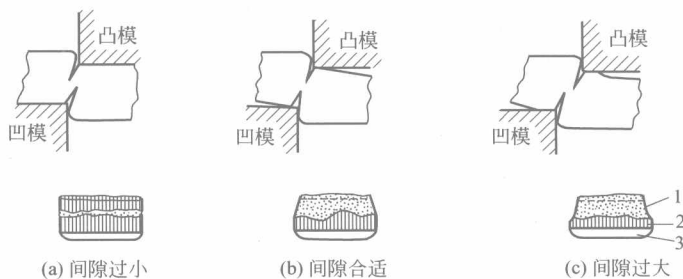


图 1-6 间隙大小对制件断面质量的影响

1—断裂带; 2—光亮带; 3—圆角带

当间隙过小时则上下裂纹互不重合,相隔一定距离[图1-6(a)],材料最后分离时,断裂层出现毛刺与夹层,由于凹模刃口的挤压作用,零件断面又出现第二光亮带,其上部出现毛刺或锯齿状边缘,并呈倒锥形。

间隙过大时裂纹也不重合[图1-6(c)],零件切断面斜度增大,对于厚料则圆角带处圆角增大,对于薄料则易使材料拉入间隙中,形成拉长的毛刺。所以间隙过小与过大冲出的零件断面质量都是不好的。

间隙分布的均匀性对冲裁件断面质量同样有很大的影响。若间隙分布不均,将使零件产生局部毛刺,在间隙大的一边产生拉长毛刺,而在间隙小的一边产生挤毛,并加快刃口磨损变钝。所以间隙不仅要选用合理,而且在制造、调整冲模时应保证间隙均匀。

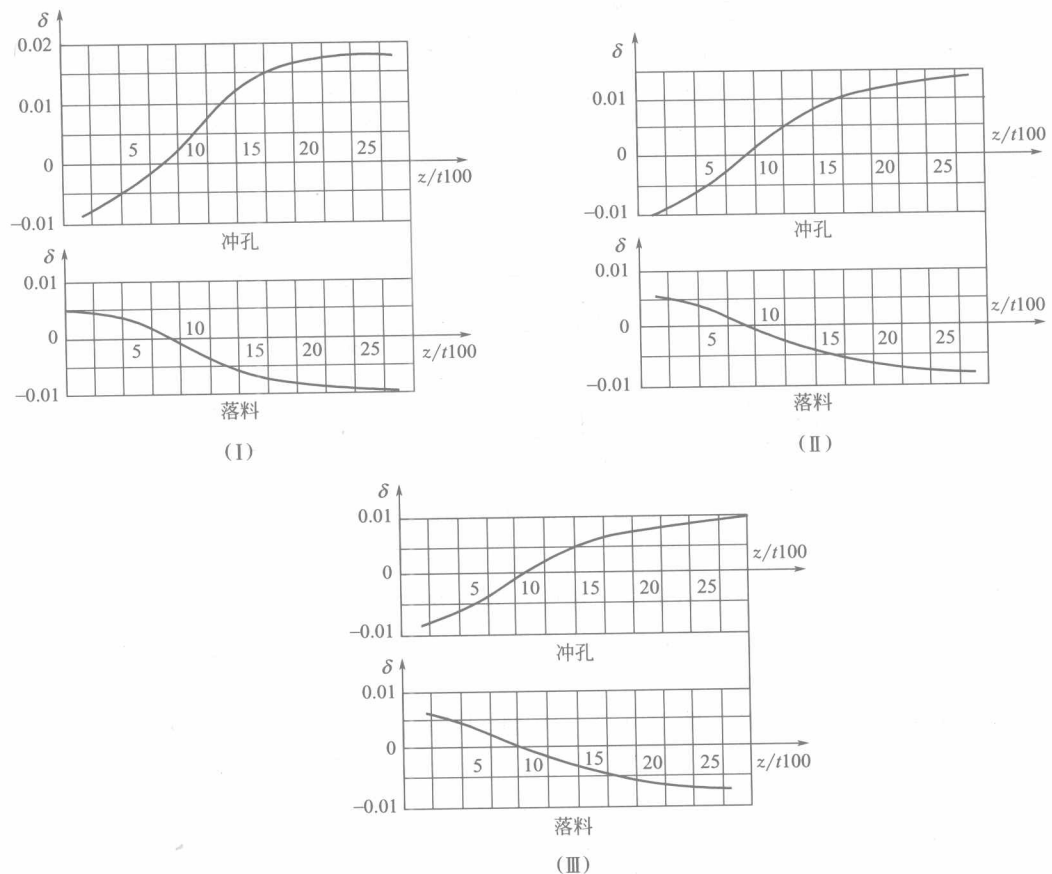
1.2.2 间隙对尺寸精度的影响

冲裁件的尺寸精度是指冲裁件的实际尺寸与公称尺寸的差值,差值越小则精度越高。这个差值包括两方面的偏差,一是冲裁件与凸模或凹模尺寸的偏差,另一是模具本身的制造偏差。

冲裁件与凸、凹模尺寸的偏差主要是工件从凹模孔内推出(落料)或从凸模上卸下(冲孔)时,由于材料的弹性恢复造成的。偏差值可能是正的,也可能是负的。影响这个偏差值的因素有:

- ① 凸、凹模间隙;
- ② 材料性质;
- ③ 工件形状与尺寸。

其中主要是凸、凹模间隙,若间隙过大,冲裁时材料的拉伸变形大,故冲裁后的弹性恢复使落料件尺寸缩小,而使孔的尺寸增大(见图1-7),因此降低了冲裁件的尺寸精度。当间隙过小时,材料受压缩变形,冲裁后的弹性恢复使孔径缩小,而使制件尺寸增大(见图1-7)。同时一般冲裁件不平坦,有穹弯(见图1-8)。间隙越大,这种穹弯也越大,即图1-8中的弯曲深度 H 越大,而穹弯大,使制件的弹性恢复也增大,所以间隙过大或过小都能使冲裁件有较大的偏差,使尺寸精度降低。只有在合理间隙值时,才使工



(I) 材料: 黄铜 料厚: 4mm
(II) 材料: 15钢 料厚: 3.5mm
(III) 材料: 45钢 料厚: 2mm

图 1-7 间隙对冲裁精度的影响

件尺寸最接近凹模（或凸模）的尺寸。

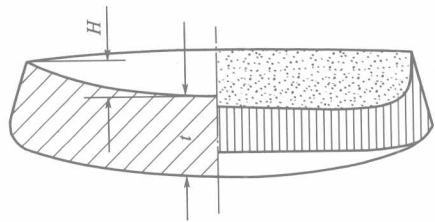


图 1-8 冲裁件下平面的弯曲

材料性质对尺寸精度也有影响，因为材料性质直接决定了材料在冲裁过程中的弹性变形量。软钢的弹性变形量较小，冲裁后的弹性恢复也就小，故工件精度较高。硬钢弹性恢复较大，工件精度就较低。

此外，材料厚度与工件形状对尺寸精度也有影响，薄材料冲裁时弹性穹弯大，故冲裁后的弹性恢复大，工件精度低。工件形状越复杂，模具制造及

调整时就越难保证间隙均匀，故尺寸偏差也越大。

上述因素的影响是在一定的模具制造精度这个前提下讨论的。若模具刃口制造精度低，则冲裁出的工件精度也就无法保证。所以凸、凹模刃口的制造公差一定要按工件的尺寸要求来决定。此外，模具的结构型式及定位方式对孔的定位尺寸精度也有较大的影响，这将在模具结构一节中阐述。冲模制造精度与冲裁件精度之间的关系见表 1-1。

表 1-1 冲模制造精度与冲裁件精度之间的关系

冲模制造精度	材料厚度 t/mm								
	0.5	0.8	1.0	1.5	2	3	4	5	6~12
IT6~IT7	IT8	IT8	IT9	IT10	IT10	IT10	IT12	IT12	IT14
IT7~IT8		IT9	IT10	IT10	IT12	IT12	IT12	IT12	
IT9				IT12	IT12	IT12	IT12	IT12	

1.2.3 刃口状态对断面质量的影响

图 1-9 为凸模和凹模刃口变钝时的情况。当模具刃口磨钝或有裂口时，在冲裁件的边缘会产生很大的毛刺。凸模刃口磨钝时，毛刺是在落料制件上；而凹模刃口磨钝时，是在冲孔孔边产生毛刺。若凸、凹模都磨钝，则制件与孔边均出现毛刺。当模具刃口锋利时，虽然间隙较大，仍可得到毛刺较小的制件。但若刃口变钝，尽管间隙值是合理的，也避免不了要产生毛刺。这时，刃口锋利程度就上升为冲裁时的主要矛盾。

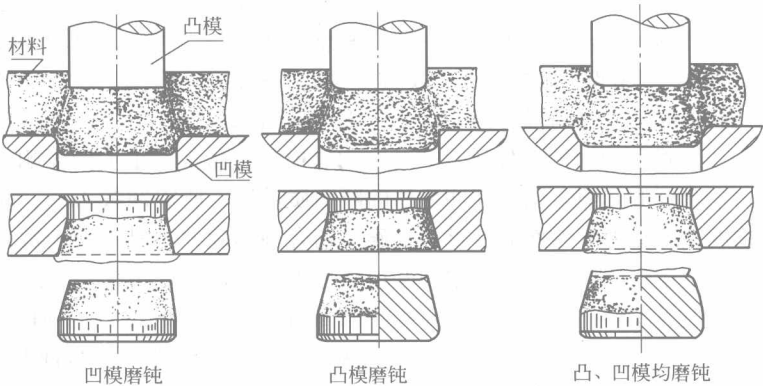


图 1-9 凸、凹模磨钝的情况

毛刺是冲裁件的常见疵病。一般生产中允许的毛刺高度见表 1-2。

表 1-2 一般冲裁金属零件允许的毛刺高度 mm

材料厚度	~0.3	>0.3~0.5	>0.5~1.0	>1.0~1.5	>1.5~2.0
生产时允许毛刺高度	≤0.05	≤0.08	≤0.10	≤0.13	≤0.15
试模时允许新模毛刺高度	≤0.015	≤0.02	≤0.03	≤0.04	≤0.05

若零件的技术条件不允许毛刺存在，则在冲裁后要设法清除。清除毛刺的方法很多，对于较厚的中小零件可用滚筒滚光或振动去毛刺，对于较薄或较大的零件可用双轴轧辊碾平，也可用砂带磨床（图 1-10）磨去毛刺。

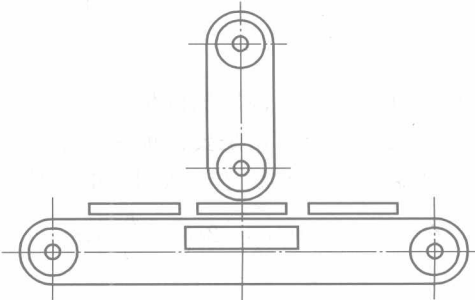


图 1-10 砂带磨床

1.3 凸、凹模间隙值的确定

1.3.1 间隙对冲裁过程的影响

凸、凹模间隙的大小不仅是影响冲裁件质量的主要因素，而且还对冲裁力、推件力、卸料力以及模具寿命都有影响。

间隙合理时，冲裁变形过程近于纯剪切，所需冲裁力最小。若间隙过小，则由于挤压力增加，使冲裁力增大；同时由于制件的弹性恢复增大，使卸料力与推件力也增大。若间隙增大则可降低冲裁力。

此外，在冲裁过程中，凸模与凹模端部及侧边都承受着材料的反作用力（正压力 P_1 、 P_2 与侧压力 F_1 、 F_2 ），如图 1-11 所示。当间隙愈小时，由侧压力所引起的材料与凸模侧壁及凹模洞壁间的摩擦力（ μF_1 与 μF_2 ）也愈大，同时从凹模内推件及从凸模上卸料的摩擦力也愈大，所以使凸、凹模刃口侧壁的磨损增快，甚至因为凸、凹模侧壁摩擦发热严重，使材料粘接在上面，这反过来更促使摩擦力增加，以至刃口很快磨损，模具寿命大大降低。当间隙过大时，因材料的弯曲拉伸增大，使凸、凹模端部刃口处的正压力增大，凸、凹模端部刃口磨损增快，降低了模具寿命。

由此可见，凸、凹模间隙对冲裁件质量、冲裁力、模具寿命都有很大的影响，因此，设计模具时一定要选择一个合理的间隙，以保证冲裁件的断面质量好、所需冲裁力小、模具寿命高。但是分别从质量、精度、冲裁力等方面的要求各自确定的合理间隙并不是同一个数值，只是彼此接近，同时考虑到模具制造中的偏差及使用中的磨损，故生产中通常是选择一个适当的范围作为合理间隙，只要间隙在这个范围内就可以冲出良好的零件。这个范围的最小值称最小合理间隙 $Z_{\min}$ ，最大值称最大合理间隙 $Z_{\max}$ 。在最小合理间隙 $Z_{\min}$ 时，可以得到与板面几乎垂直的断面，而不产生显著的毛刺。在最大合理间隙 $Z_{\max}$ 时，仍能得到满意的断面质量，只是不与板面垂直。考虑到模具在使用过程中的磨损使间隙增大，故设计与制造新模具时要采用最小合理间隙值 $Z_{\min}$ 。

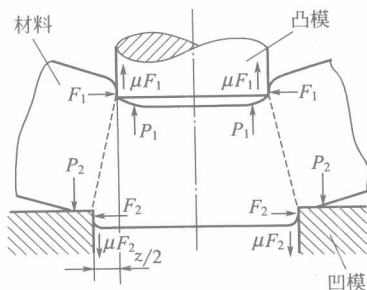


图 1-11 冲裁对材料的力

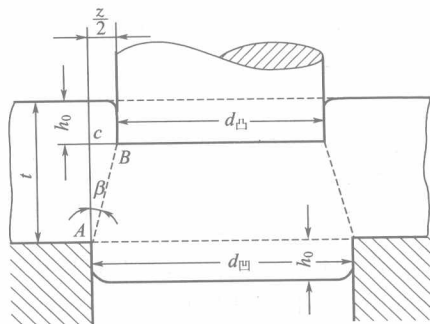


图 1-12 间隙理论确定法

1.3.2 间隙值的确定

确定合理间隙的方法有理论计算与经验确定法两种。

(1) 理论确定法 理论确定法的主要依据是要保证裂纹重合，以便获得良好的断面。图 1-12 所示为冲裁过程中开始产生裂纹的瞬时状态。从图中的三角形 ABC 可求得间隙 Z 。

$$Z = 2(t - h_0) \tan \beta = 2t \left(1 - \frac{h_0}{t}\right) \tan \beta$$

式中 h_0 ——凸模压入深度；

β ——最大剪应力方向与垂线间夹角。

从上式可看出, 间隙 Z 与材料厚度 t 、相对切入深度 h_0/t 以及裂纹方向 β 有关, 而 h_0 与 β 又与材料性质有关, 材料愈硬, h_0/t 愈小。因此从上式可看出, 影响间隙值的主要因素是材料性质和厚度。材料愈硬愈厚, 所需合理间隙值愈大。表 1-3 为常用冲压材料的 h_0/t 与 β 的近似值。

表 1-3 h_0/t 与 β 值

材 料	h_0/t	$\beta/(^\circ)$	说 明
软铜 软黄铜	0.50~0.35	6~5	退火状态取大值 硬化状态取小值
中硬钢 硬黄铜	0.30~0.20	5~4	
硬钢 软青铜	0.20~0.10	4~3.5	

由于各种材料的 h_0 与 β 值目前还没有准确的测定数值, 而且生产中使用这种算法也不方便, 故目前广泛采用经验公式与图表法。

(2) 经验确定法

1) 按厚度确定的间隙值 经验确定法也是根据材料的性质与厚度, 按下式确定凸、凹模的最小(双向)间隙值

$$Z_{\min}=Kt$$

式中 K ——材料性质有关的系数;

t ——材料厚度。

软材料: 如 08, 10, 黄铜, 紫铜等, $Z=(0.08\sim0.1)t$

中硬材料: 如 Q235, Q255, 20, 25 等, $Z=(0.1\sim0.12)t$

硬材料: 如 Q295, 50 等, $Z=(0.12\sim0.14)t$

其中薄料取下限。

过去我国一般采用的间隙值, 从使用的经验来看, 其间隙值一般偏小。原因之一是这种间隙没有根据生产特点分类选用, 其二是只以冲裁件精度作为主要依据, 而没有考虑断面质量及模具寿命等其他重要因素, 所以在生产中存在不少问题。例如某厂过去按这种间隙值制造模具, 经常得不到理想的零件断面质量, 在试冲调整模具时都要修磨间隙。另外, 工厂按这种间隙制造模具, 冲出的制件断面质量也达不到验收标准(标准要求制件毛刺小, 断面均匀, 无夹层及双光亮带), 制件断面出现双光亮带, 由于刃口挤压使工件边缘出现严重毛刺。同时在凸模与凹模侧壁产生材料的黏结, 增大了模具刃口的摩擦, 使模具发热严重, 不但增大了冲裁力与卸件力, 且加快了刃口的磨钝, 使修磨次数增加, 降低了模具寿命。

我国总结了生产实践中的经验, 经过科学试验, 制订了适合我国具体生产实际的间隙值。按这些间隙值加工出的模具基本上不要经过修磨就可以冲出合格产品, 保证了制件断面质量, 提高了模具寿命。从目前国内情况来看有两种类型的间隙值: 第一种是对于切断面质量要求较高, 而对冲裁件精度要求一般, 且允许侧面有较大锥度, 因此在确定合理间隙值时把较好的冲裁件断面质量作为主要依据, 而采用大间隙; 第二种是对冲裁件精度要求较高, 材料较薄, 切断面要求垂直, 因此在确定合理间隙时, 把较高的冲裁件尺寸精度和垂直的切断面作为主要依据, 而采用较小间隙值。

2) 直接查表确定间隙值

① 常用材料间隙值

- a. 汽车拖拉机行业见表 1-4。
- b. 电器仪表行业见表 1-5。
- c. 机电行业见表 1-6。

表 1-4 汽车拖拉机行业的间隙值 mm

材料厚度/mm	08、10、35、 09Mn、A3、B3		16Mn		40、50		65Mn	
	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}
<0.5	无 间 隙							
0.5	0.040	0.060	0.040	0.060	0.040	0.060	0.040	0.060
0.6	0.048	0.072	0.048	0.072	0.048	0.072	0.048	0.072
0.7	0.064	0.092	0.064	0.092	0.064	0.092	0.064	0.092
0.8	0.072	0.104	0.072	0.104	0.072	0.104	0.064	0.092
0.9	0.090	0.126	0.090	0.126	0.090	0.126	0.090	0.126
1.0	0.100	0.140	0.100	0.140	0.100	0.140	0.090	0.126
1.2	0.126	0.180	0.132	0.180	0.132	0.180		
1.5	0.132	0.240	0.170	0.240	0.170	0.230		
1.75	0.220	0.320	0.220	0.320	0.220	0.320		
2.0	0.246	0.360	0.260	0.380	0.260	0.380		
2.1	0.260	0.380	0.280	0.400	0.280	0.400		
2.5	0.360	0.500	0.380	0.540	0.380	0.540		
2.75	0.400	0.560	0.420	0.600	0.420	0.600		
3.0	0.460	0.640	0.480	0.660	0.480	0.660		
3.5	0.540	0.740	0.580	0.780	0.580	0.780		
4.0	0.640	0.880	0.680	0.920	0.680	0.920		
4.5	0.720	1.000	0.680	0.960	0.780	1.040		
5.5	0.940	1.280	0.780	1.100	0.980	1.320		
6.0	1.080	1.440	0.840	1.200	1.140	1.500		
6.5			0.940	1.300				
8.0			1.200	1.680				

表 1-5 电器仪表行业的间隙值 mm

材料厚度/mm	软 铝		紫铜、黄铜、软钢 (0.08~0.2)%C		杜拉铝、中等硬钢 (0.3~0.4)%C		硬 钢 (0.5~0.6)%C	
	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}
0.2	0.008	0.012	0.010	0.014	0.012	0.016	0.014	0.018
0.3	0.012	0.018	0.015	0.021	0.018	0.024	0.021	0.027
0.4	0.016	0.024	0.020	0.028	0.024	0.032	0.028	0.036
0.5	0.020	0.030	0.025	0.035	0.030	0.040	0.035	0.045
0.6	0.024	0.036	0.030	0.042	0.036	0.048	0.042	0.054
0.7	0.028	0.042	0.035	0.049	0.042	0.056	0.049	0.063
0.8	0.032	0.048	0.040	0.056	0.048	0.064	0.056	0.072
0.9	0.036	0.054	0.045	0.063	0.054	0.072	0.063	0.081
1.0	0.040	0.060	0.050	0.070	0.060	0.080	0.070	0.090
1.2	0.050	0.084	0.072	0.096	0.084	0.108	0.096	0.120
1.5	0.075	0.105	0.090	0.120	0.105	0.135	0.120	0.150
1.8	0.090	0.126	0.108	0.144	0.126	0.162	0.144	0.180
2.0	0.100	0.140	0.120	0.160	0.140	0.180	0.160	0.200

续表

材料厚度/mm	软 铝		紫铜、黄铜、软钢 (0.08~0.2)%C		杜拉铝、中等硬钢 (0.3~0.4)%C		硬 钢 (0.5~0.6)%C	
	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$
2.2	0.132	0.176	0.154	0.198	0.176	0.220	0.198	0.242
2.5	0.150	0.200	0.175	0.225	0.200	0.250	0.225	0.275
2.8	0.168	0.224	0.196	0.252	0.224	0.280	0.252	0.308
3.0	0.180	0.240	0.210	0.270	0.240	0.300	0.270	0.330
3.5	0.245	0.315	0.280	0.350	0.315	0.385	0.350	0.420
4.0	0.280	0.360	0.320	0.400	0.360	0.440	0.400	0.480
4.5	[0.315	0.405	0.360	0.450	0.405	0.490	0.450	0.540]
5.0	0.350	0.450	0.400	0.500	0.450	0.550	0.500	0.600
6.0	0.480	0.600	0.540	0.660	0.600	0.720	0.660	0.780
7.0	0.560	0.700	0.630	0.770	0.700	0.840	0.770	0.910
8.0	0.720	0.880	0.800	0.960	0.880	1.040	0.960	1.120
9.0	0.810	0.990	0.900	1.080	0.990	1.170	1.080	1.260
10.0	0.900	1.100	1.000	1.200	1.100	1.300	1.200	1.400

- 注：1. 初始间隙的最小值相当于间隙的公称数值；
2. 初始间隙的最大值是考虑到凸模和凹模的制造公差所增加的数值；
3. 在使用过程中，由于模具工作部分的磨损，间隙将有所增加，因而间隙的使用最大数值要超过表列数值；
4. 对硅钢片（电工薄钢板）间隙按软钢计算。

表 1-6 冲裁模刃口间隙（双面）mm

材料厚度 t /mm	T8、45 1Cr18Ni9		A2、A3 35CrMn QSnP10-1、D41		08F、10、15 H62、T1、T2、T3		L2、L3、L4、L5		红纸板 胶纸板 胶木板		纸 皮革 云母纸	
	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$
0.35	0.03	0.05	0.02	0.05	0.01	0.03	—	—	—	—	—	—
0.5	0.04	0.08	0.03	0.07	0.02	0.04	0.02	0.03	0.01	0.02	0.005	0.015
0.8	0.09	0.12	0.06	0.10	0.04	0.07	0.025	0.045	0.015	0.035	0.005	0.015
1.0	0.11	0.15	0.08	0.12	0.05	0.08	0.04	0.06	0.02	0.04	0.01	0.02
1.2	0.14	0.18	0.10	0.14	0.07	0.10	0.05	0.07	0.03	0.06	0.015	0.03
1.5	0.19	0.23	0.13	0.17	0.08	0.12	0.06	0.10	0.04	0.07	0.015	0.035
1.8	0.23	0.27	0.17	0.22	0.12	0.16	0.07	0.11	0.05	0.09	0.02	0.04
2.0	0.28	0.32	0.20	0.24	0.13	0.18	0.08	0.12	0.06	0.10	0.025	0.045
2.5	0.37	0.43	0.25	0.31	0.16	0.22	0.11	0.17	0.08	0.12	0.03	0.05
3.0	0.48	0.54	0.33	0.39	0.21	0.27	0.14	0.20	0.10	0.14	0.04	0.06
3.5	0.58	0.65	0.42	0.49	0.25	0.33	0.18	0.26	0.13	0.19	—	—
4.0	0.68	0.76	0.52	0.60	0.32	0.40	0.21	0.29	0.16	0.22	—	—
4.5	0.79	0.88	0.64	0.72	0.38	0.46	0.26	0.34	0.18	0.24	—	—
5.0	0.90	1.0	0.75	0.85	0.45	0.55	0.30	0.40	0.20	0.26	—	—
6.0	1.16	1.26	0.97	1.07	0.60	0.70	0.40	0.50	—	—	—	—
8.0	1.75	1.87	1.46	1.58	0.85	0.97	0.60	0.72	—	—	—	—
10	2.44	2.56	2.04	2.16	1.14	1.26	0.80	0.92	—	—	—	—
0.35~3	$Z_{\text{平均}} \approx 14.5\%t$ $Z=(12\sim17)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 11\%t$ $Z=(10\sim12)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 7\%t$ $Z=(6\sim8)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 5.3\%t$ $Z=(5\sim5.5)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 3.5\%t$ $Z=(3\sim4)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 1\%t$ $Z=(0.2\sim1.7)\%t$	
3~5	$Z_{\text{平均}} \approx 18\%t$ $Z=(17\sim19)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 14\%t$ $Z=(12\sim16)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 8.5\%t$ $Z=(7\sim10)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 6\%t$ $Z=(5.5\sim7)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 4.2\%t$ $Z=(4\sim4.5)\%t$		—	
5~10	$Z_{\text{平均}} \approx 22\%t$ $Z=(19\sim25)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 18\%t$ $Z=(16\sim21)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 11\%t$ $Z=(10\sim12)\%t$		$Z_{\text{平均}} \approx 7.7\%t$ $Z=(7\sim8.5)\%t$		—		—	

注：A₂、A₃ 相当于 Q215、Q235。