

540

TG385.243
L34

高等职业教育机电类系列教材

冷 冲 模 具 设 计

李双义 主编

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是根据 2000 年“全国高职、高专机电类专业教学改革与教材建设研讨会”的精神,为满足高等职业教育的需要而编写的。全书共分 10 章:绪论、冲压变形基础、冲裁、弯曲、拉深、成形、冲压模具、冲模零件设计、汽车覆盖件成形及模具、冲模 CAD 简介等。书中列举了大量实例,并附有习题。

本书除可作为高职、高专“模具设计与制造”专业的教材之外,也可作为普通高等学校“材料成型及控制工程”专业的教材,并可作为该行业工程技术人员自学的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

冷冲模具设计/李双义主编;焦小明等编. —北京:清华大学出版社,2002

高等职业教育机电类系列教材

ISBN 7-302-05060-0

I. 冷... II. ①李... ②焦... III. 冲模-设计-高等学校:技术学校-教材
IV. TG385.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 088690 号

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 北京通州区大中印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 **印张:** 17.25 **字数:** 393 千字

版 次: 2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05060-0/TG·7

印 数: 0001~5000

定 价: 21.00 元

前 言

冷冲压在机械制造、电子电器及日常生活中占有十分重要的地位,为了获得良好的冲压制品,必须考察工件的工艺性,进行工艺计算及制订工艺路线,最后设计出合理的模具。

本书是根据 2000 年“全国高职、高专机电类专业教学改革与教材建设研讨会”的精神,为满足高等职业教育的需要而编写的,它是高职、高专“模具设计与制造”专业教学的基本内容。

该教材以社会需求为目标,以技术应用为主线。基础部分以应用为目的,以够用为度;工艺部分尽可能简明扼要,加强模具设计的内容。内容力求具有针对性、应用性;叙述方法上力求通俗易懂,深入浅出,增加图示和典型实例的比重;部分章后附有思考题和习题。

本书主要介绍各种冲压工艺的工艺性、工艺计算、工艺制订,各类模具的结构及其特点以及各种冲模零件的设计要点。

该书与《冲压工艺学》的不同点是,除了介绍几大冲压工艺的工艺性和工艺计算方法外,按照模具的类型,以大量的实例和插图介绍了模具的结构及特点;按照模具零件的功能类型,介绍了冲模零件的形式及设计要点;对汽车覆盖件成形的工艺特点、模具结构及设计,做了单独介绍,并对冲模 CAD 做了概述;书后附录中列出了常用压力机的规格和冲压件及模具的常用材料。

该书由天津大学李双义教授主编。参加本书编写的有:李双义教授(第 1 章、第 2 章和附录),陕西工业职业技术学院焦小明老师(第 3 章、第 4 章),天津大学张连洪教授(第 5 章),天津理工学院毕大森副教授(第 6 章、第 8 章),天津理工学院崔宏祥副教授(第 7 章),浙江工贸职业技术学院丁素珍副教授和蒋庆富高级工程师(教授级)(第 9 章、第 10 章)。

由于编者水平所限,本书不足之处在所难免,敬请读者不吝指正。

编 者
2001 年 6 月

第 1 章 绪 论

模具是机械、汽车、电子、通讯、家电等工业产品的基础工艺装备,属于高新技术产品。作为基础工业,模具的质量、精度、寿命对其他工业的发展起着十分重要的作用,在国际上称为“工业之母”。近十年来,随着国民经济的快速发展,作为工业品基础的模具工业,也得到了蓬勃发展,已成为国民经济建设中的重要产业。据统计,我国(未包括台湾、香港、澳门)现有模具生产厂点已超过 1700 家,从业人员达 60 多万人。

模具分为冷冲压模具、热锻模具、塑料模具、铸造模具、橡胶模具和玻璃模具等。其中,冷冲压模具历史悠久、用途广、技术成熟,在各种模具中所占比重最多。汽车、摩托车、家电行业是模具最大的市场,占整个模具市场的 60% 以上。例如,一种车型的轿车共需模具约 4000 套,价值达 2 亿元~3 亿元;单台电冰箱需要模具生产的零件约 150 个,共需模具约 350 套,价值约 400 万元;单台彩电大约有 150 个零件需用模具生产,共需模具约 140 套,价值达 700 万元。其中所用模具大部分为冷冲压模具。

冷冲压是先进的金属加工方法之一,它主要加工板料,故又称为板料冲压。冷冲压是在室温下,借助于设备提供的压力,利用模具,使板料金属发生塑性变形,因此,它也是金属塑性加工(压力加工)的一种方法。有些非金属材料,也可以采用某些冲压工艺制造零件。

与切削加工相比,冷冲压靠模具和设备完成加工过程,所以具有生产率高、加工成本低、材料利用率高、产品一致性好、操作简单、便于实现机械化与自动化等一系列优点。一台普通冲压设备每分钟可生产零件几十件,而高速冲床的生产率可达每分钟数百件甚至上千件。因此,大批量生产的机械、电子、轻工等产品,都大量使用冷冲压零件。在国防方面,飞机、导弹、各种枪支与炮弹等产品中,冷冲压加工的零件比例也是相当大的。随着汽车和家用电器等行业的飞速发展,在工业发达的国家,对发展冷冲压生产给予了高度重视。据近年来的统计,美、日等国的模具工业年产值已经超过机床工业年产值的 6%~12%。

由于冷冲压不需要加热,也不像切削加工那样,将大量金属切成碎屑而消耗大量能量,所以它是一种节能的加工方法;冲压制品所用的原材料是冶金厂大量生产的廉价的钢板和钢带,在冲压加工中材料表面质量不受破坏,故冲压件的表面质量好,这是任何其他加工方法所不能竞争的。

冲压模具作为制造产品(或半成品)的一种工具,其作用是完成某种工艺。模具设计必须满足工艺要求,最终满足产品的形状、尺寸和精度的要求。因此,冲压模具的设计师必须掌握冲压工艺,包括冲压工艺的分类、各种工艺计算、工艺制订等基本知识,而后才可以选择模具的类型,进行模具设计,使模具的类型、结构及尺寸等满足工艺及产品的要求。

冷冲压工艺大致分为两大类:分离工序和成形工序。分离工序的目的是在冲压过程中将冲压件与板料按一定的轮廓线进行分离;分离工序又可分为落料、冲孔和剪切等,如

表 1-1 所示。成形工序的目的是使冲压毛坯在不破坏其完整性的条件下产生塑性变形,并转化成产品所要求的形状;成形工序又可分为弯曲、拉深、翻边、翻孔、胀形、扩孔、缩孔和旋压等,如表 1-2 所示。

冷冲压模具是冲压生产的主要工艺装备。冲压件的表面质量、尺寸精度、生产率以及经济效益等,与模具结构及设计是否合理关系极大。因此,了解模具结构,研究提高模具的各项技术指标,对于模具设计和冲压技术的发展是十分必要的。

冲模的结构形式很多,可以根据以下特征进行分类:

(1) 按冲模的工序性质,分为落料模、冲孔模、切边模、弯曲模、拉深模、成形模和翻边模等。

(2) 按冲模工序的组合方式,分为单工序模、复合模和连续模等。

(3) 根据模具的结构形式,按上、下模的导向方式,分为无导向模和导柱模、导板模等;按卸料装置,分为带固定卸料板冲模和弹性卸料板冲模;按挡料形式,分为固定挡料钉冲模、活动挡料销冲模、导正销冲模和侧刃定距冲模等。

(4) 按采用凸、凹模的材料,分为硬质合金模、钢质硬质合金模、钢皮冲模、橡皮冲模和聚氨酯冲模等。

此外,还可按模具轮廓尺寸的大小,分为大型冲模和中小型冲模;按行业特点,分为普通冲模和汽车、拖拉机覆盖件冲模等。

表 1-1 分离工序

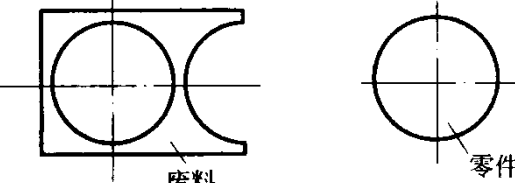
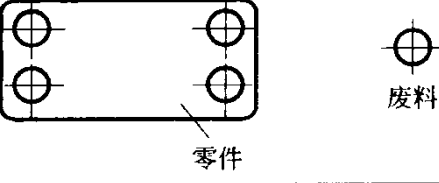
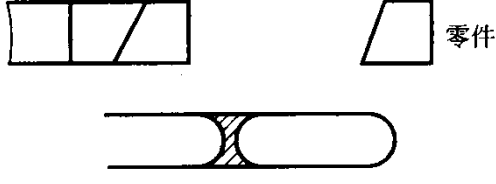
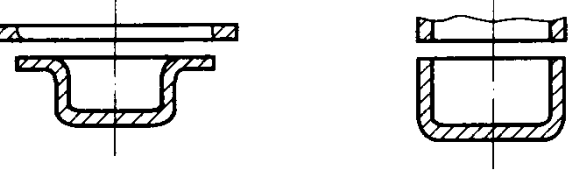
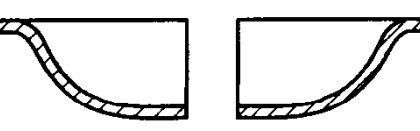
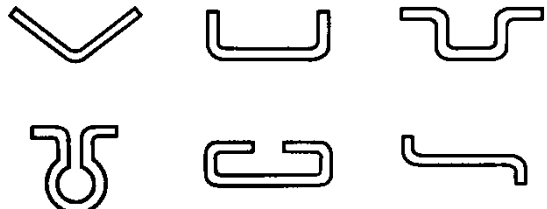
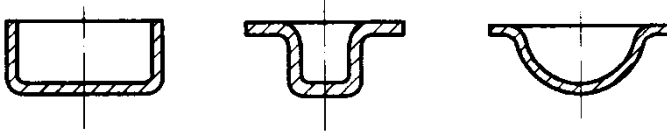
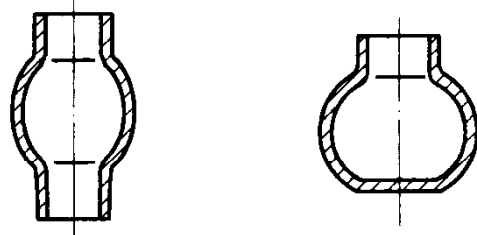
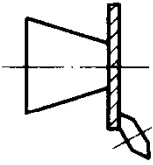
工序名称	简 图	特点及应用范围
落 料		用冲模沿封闭轮廓曲线冲切,冲下部分是零件,用于制造各种形状的平板零件
冲 孔		用冲模按封闭轮廓曲线冲切,冲下部分是废料
切 断		用剪刀或冲模沿不封闭曲线切断,多用于加工形状简单的平板零件
切 边		将成形零件的边缘修切整齐或切成一定形状
剖 切		把冲压加工成的半成品切开成为两个或数个零件,多用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后

表 1-2 成形工序

工序名称	简 图	特点及应用范围
弯 曲		把板料沿直线弯成各种形状,可以加工形状极为复杂的零件
卷 圆		把板料端部卷成接近封闭的圆头,用以加工类似铰链的零件
扭 曲		把冲裁后的半成品扭转成一定角度
拉 深		把板料毛坯成形为各种空心的零件
变薄拉深		把拉深加工后的空心半成品进一步加工成为底部厚度大于侧壁厚度的零件
翻 孔		将预先冲孔的板料半成品或未经冲孔的板料冲制成竖立的边缘
翻 边		把板料半成品的边缘按曲线或圆弧成形为竖立的边缘
拉 弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形,可得精度较好的零件
胀 形		在双向拉应力作用下实现变形,成形各种空间曲面形状的零件
起 伏		在板料毛坯或零件的表面上用局部成形的方法制成各种形状的突起与凹陷
扩 口		在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸扩大
缩 口		在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸减小

续表

工序名称	简 图	特 点 及 应 用 范 围
旋 压		在旋转状态下用辊轮使毛坯逐步成形
校 形		校正零件形状,以提高已成形零件的尺寸精度或获得小的圆角半径

随着科学技术的不断进步和工业生产的迅猛发展,冷冲压技术及模具不断革新和发展,主要反映在以下几个方面:

1. 模具的计算机辅助设计和辅助制造技术(模具 CAD/CAM)

为了加快产品的更新换代,必须缩短工装的设计和制造周期,从而开展了模具的计算机辅助设计和辅助制造的研究。采用该技术,模具设计和制造效率一般可提高 2~3 倍,模具生产周期可缩短 $1/2 \sim 2/3$ 。目前,已达到 CAD/CAM 一体化,模具图纸只是作为检验模具之用。

2. 工艺分析中的虚拟成形技术(冲压 CAE)

对普通冲压工艺的制订,可根据有关资料进行工艺计算;而对于复杂的曲面成形,例如汽车覆盖件的成形,传统方法是凭设计者的经验,进行对比分析,初步确定工艺方案和有关参数,然后设计试验模具并进行试冲,经反复试验和修改,才能转入正式投产,因此,周期长,投资大,风险大。近几年来,国内外已采用弹塑性、刚塑性有限元法,开发出覆盖件成形过程的模拟软件,以预测某一工艺方案对零件成形的可行性和可能发生的问题,供设计人员进行修改和选择。这不仅可以节省昂贵的模具试验费用,也可以大大缩短试制周期。

3. 快速模具制造技术的发展

将快速成形技术与各种常规的铸造、粉末烧结工艺相结合而发展起来的快速模具制造技术,其模具的制造周期仅为常规模具切削制造的 $1/5 \sim 1/3$,而成本仅为后者的 $1/4 \sim 1/2$,快速成形技术对模具制造的潜在影响是巨大的。快速经济制造技术具有制造周期短、成本低等优点,在精度和寿命方面又能满足生产上的使用要求,非常适合于新产品的开发、样品试制、工艺验证或中、小批量生产的需要。

4. 其他成型制模方法

除了钢制模之外,低熔点合金模具、中熔点合金模具以及树脂模具都可用于冷冲压成形。低熔点合金的熔点一般只有 $70^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$,熔化后流动性好,冷凝时体积膨胀。具有制造周期短、成本低、制造工艺简单、模具材料可反复使用、便于存放等优点。中熔点合金主要指锌基合金,其熔点一般在 380°C 左右。它除了具备低熔点合金模具的优点之外,硬度比低熔点合金模具高,寿命和成本都优于低熔点合金模。树脂模具主要用于制造汽车大型内外覆盖件的拉延模具,其特点是模具型面以 CAD/CAM 加工的主模型为基准,采用高强度树脂浇注而成,凸凹模间隙采用专用蜡片准确控制,模具尺寸精度高,制造周期

可缩短 $1/2 \sim 2/3$ 。

5. 冷冲压生产的机械化和自动化

为了满足大批量生产的需要,冲压设备已由单工位的低速压力机发展到多工位的高速压力机;在高速压力机上采用多工位的级进模进行冲压加工,使冷冲压生产达到高度自动化;汽车覆盖件可采用自动送料、自动取件、自动传送的流水线生产。

冷冲压模具设计是一门实用性很强的课程。对初学者来说,在学习这门课之前,应对冲压生产实践有所了解,具有初步的感性知识,这样才能在学习中联系实际,对完成冲压工艺的工装部分——模具产生兴趣,进而了解模具的类型、结构,掌握模具的设计要点和设计方法。在从事工艺制订和模具设计时,仅依靠一两本教材提供的资料是不够的,还要参考有关的手册、图册及标准等。

第 2 章 冲压变形基础

2.1 冲压应力应变状态

2.1.1 应力状态

冲压变形是由冲压设备提供变形载荷,然后通过模具对毛坯施加外力,进而转化为毛坯的内力,使之产生塑性变形。因此,研究和分析金属的塑性变形过程,应首先了解毛坯内力作用和塑性变形之间的关系。

在一般情况下,变形毛坯内各质点的变形和受力状态是不相同的。通常将质点的受力状态称为点的应力状态。一点的应力状态可用一个平行六面体(单元体)来表示,见图 2-1(a),将各应力分量均表示在前 3 个可视面(即 x 面、 y 面、 z 面)上,而后 3 个不可视面(即 $-x$ 面、 $-y$ 面、 $-z$ 面)上的应力分量应与前 3 个面上对应的应力分量大小相等、方向相反,一般不予表示。每个面上有一个正应力、两个剪应力,共 9 个应力分量,再考虑剪应力的互等性($\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, $\tau_{zx} = \tau_{xz}$),则仅有 6 个独立的应力分量;正应力分量方向的含义是,箭头指向平行六面体之外,符号为正,为拉应力;反之,符号为负,为压应力。对同一点应力状态,6 个应力分量的大小与所选坐标有关,不同坐标系所表现的 6 个应力分量的数值是不同的。存在这样一个(仅有一个)坐标系,按该坐标系做平行六面体,则应力分量只有 3 个正应力分量,而无剪应力分量,那么称这 3 个正应力为主应力,称该坐标系为主坐标系,3 个坐标轴为主应力轴,见图 2-1(b)。

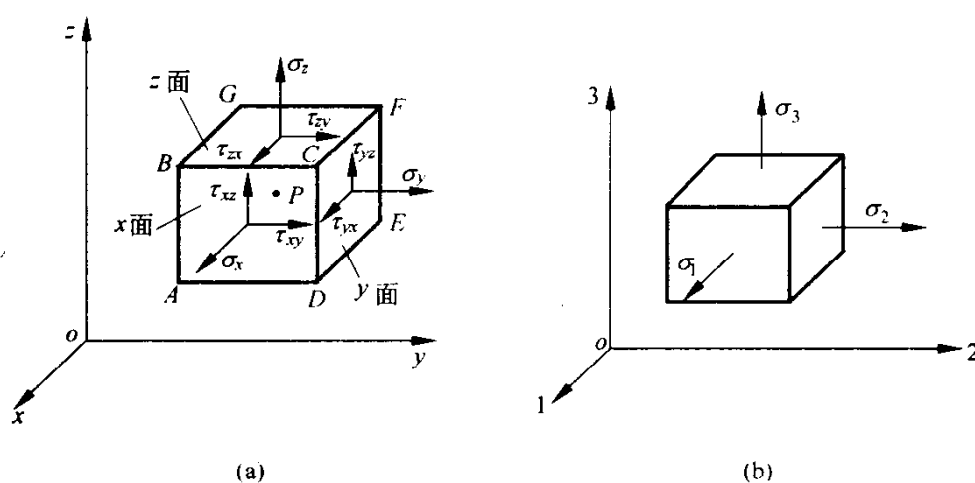


图 2-1 质点的应力状态

(a) 任意坐标系; (b) 主坐标系

如果用主坐标系表示质点的应力状态,即单元体上仅有正应力,而无剪应力;换言之,仅承受拉应力或压应力,则可将主应力状态分为如图 2-2 所示的 9 种类型。图中,第一行为单向应力状态:单向拉和单向压;第二行为两向应力状态,或称作平面应力状态:两向

拉、两向压或一拉一压；第三行为三向应力状态，或称作复杂应力状态：三向拉、三向压、一压两拉或一拉两压。对于板料冲压工艺，第二行应力状态居多。

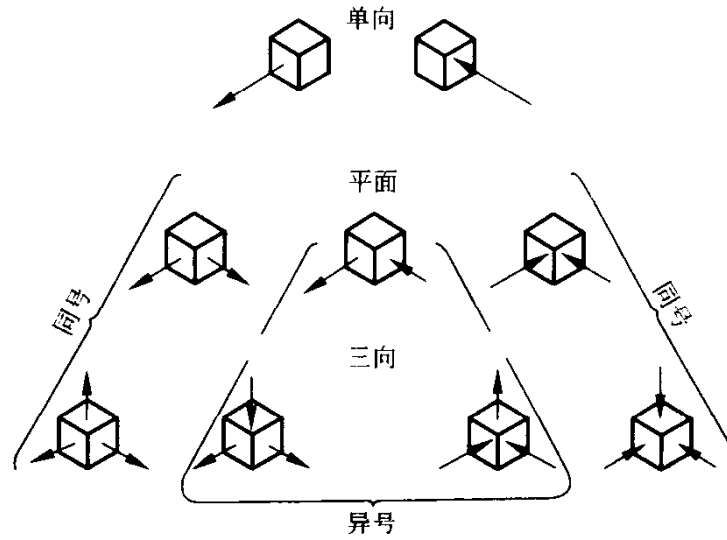


图 2-2 主应力状态图

2.1.2 应变状态

在一般情况下，变形毛坯内各质点的变形状态是不相同的。通常将质点的变形状态称为点的应变状态。一点的应变状态可用一个平行六面体来表示，每个面上有一个正应变、两个剪应变，共 9 个应变分量，经迭加刚性转动可使剪应变互等 ($\gamma_{xy} = \gamma_{yx}$, $\gamma_{yz} = \gamma_{zy}$, $\gamma_{zx} = \gamma_{xz}$)，则仅有 6 个独立的应变分量。正应变分量方向的含义是，箭头指向平行六面体之外，符号为正，则表示伸长，反之，符号为负，则为压缩（收缩）；而剪应变分量的作用是使平行六面体产生角变形。对同一点的应变状态，6 个应变分量的大小与所选坐标有关，不同的坐标系所表现的 6 个应变分量数值不同。存在这样一个（仅有一个）坐标系，按该坐标系做平行六面体，则应变分量只有 3 个正应变分量，而无剪应变分量，那么称这 3 个正应变为主应变，称该坐标系为主坐标系，3 个坐标轴为主应变轴。

如果我们用主坐标系表示质点的应变状态，即单元体上仅有正应变，而无剪应变；换言之，仅承受拉伸或压缩，而无角变形。由于塑性变形中要满足体积不变条件，即 3 个正应变（当然，主应变也是正应变）之和为零，因此，绝对值最大的主应变值应等于另两个主应变绝对值之和，但符号相反；也就是说，绝对值最大的主应变，永远与另外两个主应变符号相反。故可将应变状态大致分为三类：一向伸长一向收缩、一向伸长两向收缩、一向收缩两向伸长，如图 2-3 所示。图中，最上面的应变状态是：一个主应变为零，另两个绝对值相等，符号相反，称为平面应变状态；第

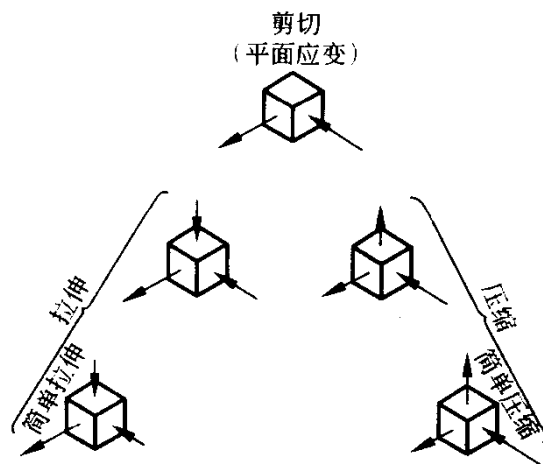


图 2-3 主应变状态图

二行左边的应变状态是一向伸长两向收缩,即拉伸类;第二行右边的应变状态是一向收缩两向伸长,即收缩类。第三行仅为第二行的特例,左边的应变状态是一向伸长和两向相等的收缩,称之为简单拉伸;右边的应变状态是一向收缩和两向相等的伸长,称之为简单压缩。

2.1.3 应力与应变关系

由上述的叙述可知,应力状态与应变状态具有相似性。对于小变形而言(不超过 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 数量级),两者的主坐标系是一致的。

对于应力与应变关系,我们不妨从方向和大小两方面进行叙述。首先讨论应力方向与应变方向之间的关系。

对剪应力和剪应变,可用图 2-4 来表示。图(a)的剪应力方向对应于图(b)的剪应变方向,这很容易理解。而对于正应力和正应变的方向,就不是这样简单了。正应力为正值(受拉)时,正应变未必是正值(未必伸长);正应力为负值(受压)时,正应变未必是负值(未必收缩);正应力为零时,正应变未必为零(可能有伸长或收缩)。

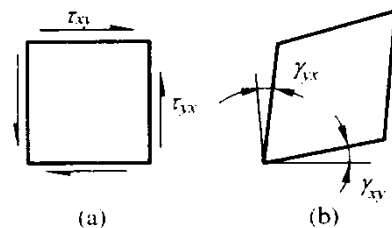


图 2-4 剪应力和剪应变的方向
(a) 剪应力方向; (b) 剪应变方向

为说明正应力和正应变方向的对应关系,也为说明应力分量与应变分量数值大小之间的关系,需要了解小变形时的应力应变关系,它可叙述为:小变形时的应变分量正比于应力偏量。即

$$\frac{\epsilon_1}{\sigma_1'} = \frac{\epsilon_2}{\sigma_2'} = \frac{\epsilon_3}{\sigma_3'} = \lambda \quad (2-1)$$

式中, λ 为常数; $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ 为 3 个主应变值; $\sigma_1', \sigma_2', \sigma_3'$ 为 3 个主应力偏量值。

主应力偏量定义为:

设 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 为 3 个主应力值,则平均应力 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$,那么,3 个主应力偏量分别为 $\sigma_1' = \sigma_1 - \sigma_m, \sigma_2' = \sigma_2 - \sigma_m, \sigma_3' = \sigma_3 - \sigma_m$ 。

由式(2-1),依照比例定律,又可导出以下公式:

$$\epsilon_1 : \epsilon_2 : \epsilon_3 = \sigma_1' : \sigma_2' : \sigma_3' \quad (2-1a)$$

$$\frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{\epsilon_3 - \epsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \lambda \quad (2-1b)$$

式(2-1), (2-1a), (2-1b)也适用于全量应变理论的应力应变关系。

2.1.4 引例

利用上述应力应变关系,可以很方便地研究冲压过程中毛坯内应力的作用特点及分布规律。

在筒形件拉深过程中,压料板对凸缘部位的毛坯有摩擦力,但与内应力相比,可略去不计,其应力状态如图 2-5 所示。图中的平行六面体采用圆柱坐标 (r, θ, z) 截取,属于一拉一压的应力状态(平面应力状态)。若 $\sigma_1 = \sigma_r = 80\text{MPa}, \sigma_3 = \sigma_\theta = -140\text{MPa}$,而 $\sigma_2 = \sigma_z =$

0, 依照上式, $\sigma_m = \frac{80+0-140}{3} = -20\text{MPa}$, 则 $\sigma'_1 = 80 - (-20) = 100\text{MPa}$, $\sigma'_2 = 0 - (-20) = 20\text{MPa}$, $\sigma'_3 = -140 - (-20) = -120\text{MPa}$, 依照 (2-1a) 式, $\epsilon_1 : \epsilon_2 : \epsilon_3 = \sigma'_1 : \sigma'_2 : \sigma'_3 = 100 : 20 : (-120) = 10 : 2 : (-12) = 5 : 1 : (-6)$ 。这里, 虽然没有求出 3 个主应变值, 但揭示了 3 个主应变值之间的比例关系及变形状态。该点的应变属于两向伸长, 一向收缩, 即径向和厚度方向出现伸长变形, 而切向出现收缩。将应变状态表示在图 2-5 的左上角, 可以看出, 厚度方向虽然无应力作用, 但有伸长变形, 即厚度增加了。由拉深凸缘部位的应力应变状态可以发现, 绝对值最大的主应力如果是负值(压应力), 则该方向的应变一定是负值(收缩变形), 称之为压缩类变形; 同理, 绝对值最大的主应力如果是正值(拉应力), 则该方向的应变一定是正值(伸长变形), 称之为伸长类变形。因此, 可由绝对值最大的主应力符号来判断其变形的类型, 故拉深凸缘部位属于压缩类变形。

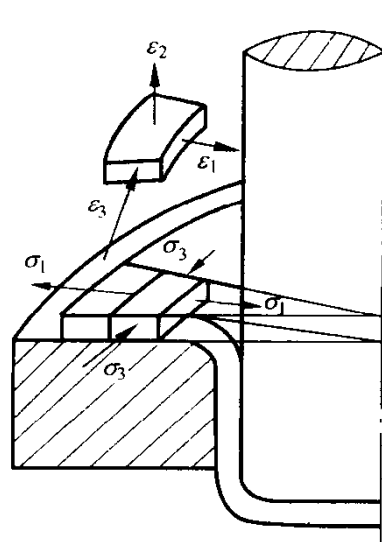


图 2-5 拉深凸缘部位的应力应变状态

2.2 板料机械性能指标及其对冲压性能的影响

2.2.1 板料机械性能指标

对板料进行拉伸试验是测试板材机械性能的最常用、最简单的方法。由机械性能的指标值可间接地反映材质的冲压性能。

板料的拉伸试验可在冲压板材上制取如图 2-6 所示的试样, 在万能材料试验机上进行。在试样上装卡两个引伸仪, 长度和宽度方向各一个。根据试验结果或自动记录装置, 可以得到图 2-7(a) 所示的条件应力与延伸率之间的关系。经过对试验数据的处理可将其转变为真实应力应变曲线, 如图 2-7(b) 所示。现在介绍板料机械性能的几个指标。

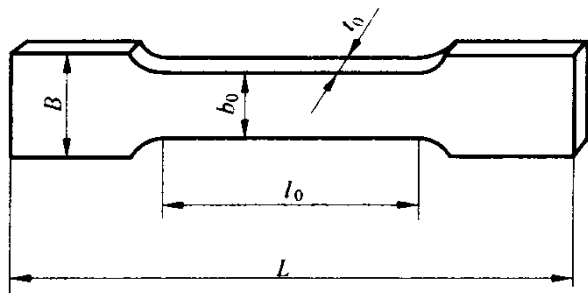


图 2-6 板料拉伸试验的试样

1. 屈服极限 σ_s ($\sigma_{0.2}$)

通常将屈服极限 σ_s 定义为“屈服平台”最低点处所对应的条件应力。但对于有些材料没有明显的屈服点, 如退火铝合金、优质冷轧钢板等, 其典型应力应变曲线如图 2-8 所

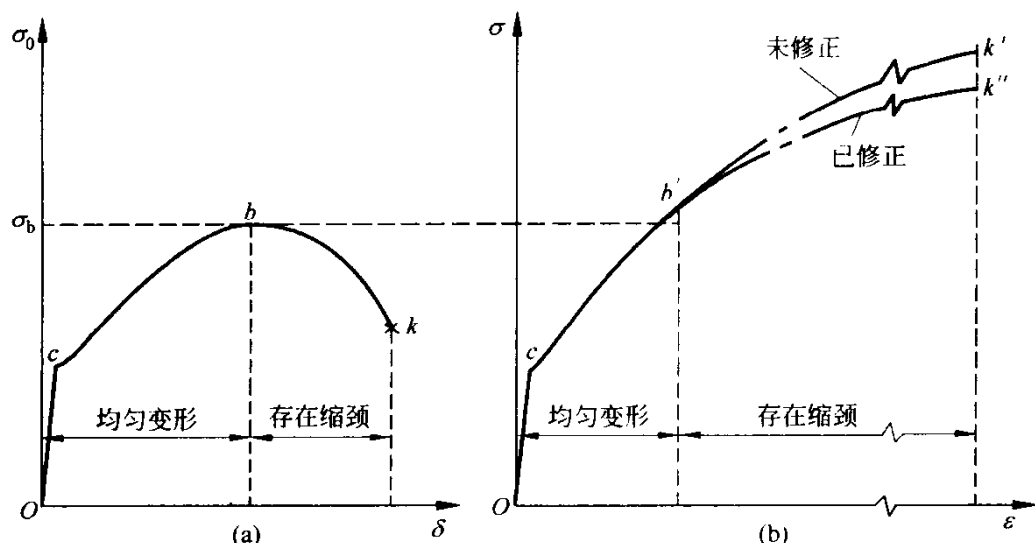


图 2-7 条件应力应变曲线与真实应力应变曲线

示,这时的屈服极限规定用残留延伸率 $\delta=0.2\%$ 时的条件应力来表示,记为 $\sigma_{0.2}$ 。

2. 强度极限 σ_b

强度极限 σ_b 是拉伸过程中条件应力应变曲线最高点的条件应力。但要注意,它不是拉伸过程中作用于实际截面的最大应力,即不是真实应力应变曲线最高点的应力。

3. 硬化指数 n

由真实应力应变曲线可以看出,该曲线可近似用如下公式表示(不考虑弹性变形部分):

$$\sigma = B\epsilon^n \quad (2-2)$$

式中, B 为与材料有关的常数; n 即定义为硬化指数。

4. 塑性应变比 r

塑性应变比也称为“板厚方向性系数”,它是板料试样在拉伸过程中(在最大载荷 $P_{\max}$ 之前,通常延伸率 $\delta=15\%\sim 20\%$) 宽度真实应变 ϵ_b 与厚度真实应变 ϵ_t 之比,即

$$r = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_t} = \frac{\ln \frac{b}{b_0}}{\ln \frac{t}{t_0}} \quad (2-3)$$

式中, b_0, b 分别为试样的初始宽度和瞬时宽度; t_0, t 分别为试样的初始厚度和瞬时厚度。

由上式可知,要想求得 r 值,需测量出变形过程中试样的瞬时宽度和瞬时厚度。对变形过程的瞬时宽度,由宽度引伸仪可准确记录出来;对厚度的测量,就不易准确测出来。而厚度测量的微小误差都会对 r 的计算结果带来显著的影响,因此,将式(2-3)推演为

$$r = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_t} = \frac{\epsilon_b}{-(\epsilon_t + \epsilon_b)} = \frac{\ln \frac{b}{b_0}}{\ln \frac{l}{l_0} + \ln \frac{b}{b_0}} = \frac{\ln \frac{b}{b_0}}{\ln \frac{l_0 b_0}{lb}} \quad (2-4)$$

式中, l_0, l 分别为试样的初始标距和瞬时标距。

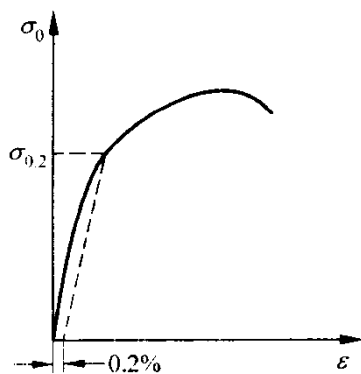


图 2-8 无明显屈服点的条件应力应变曲线

由于瞬时标距和瞬时宽度很容易由长度和宽度引伸仪测出来,故采用式(2-4)比直接采用式(2-3)会更准确、更精确地计算出 r 值。

冲压生产所用的板材都是经过轧制的,其纵向(即轧制纤维方向)、横向及其他方向的性能不同,在不同方向上的 r 值也不一样,这种现象称为平面方向上的“各向异性”,见图 2-9。

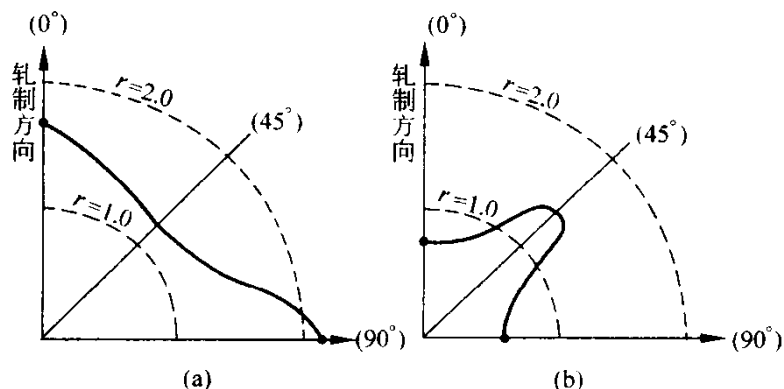


图 2-9 不同方向上的塑性应变比

(a) 体心立方晶格金属; (b) 面心立方晶格金属

为了统一试验方法,常用下式计算塑性应变比的平均值:

$$\bar{r} = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4} \quad (2-5)$$

式中, r_0 , r_{45} , r_{90} 分别是板材纵向、横向和 45° 方向上的塑性应变比。

5. 凸耳系数 Δr

凸耳系数 Δr 也叫“板平面方向性”。为了表示板材纵向、横向及其他方向上的性能差异,描述板平面上的方向性,特提出凸耳系数的概念,它定义为

$$\Delta r = \frac{r_0 - 2r_{45} + r_{90}}{2} \quad (2-6)$$

除了以上机械性能指标外,还有总延伸率 δ 和均匀变形的延伸率 δ_u 。

2.2.2 机械性能指标对板料的影响

拉伸试验所得到的机械性能指标值与冲压性能有密切的关系,现将重要的几项简述如下。

1. 延伸率

延伸率又分为总延伸率 δ 和均匀变形的延伸率 δ_u 。总延伸率 δ 与试样的初始标距相关,如果对于各种板材均采用相同形状和尺寸的试样,也可以用总延伸率 δ 来评价其冲压性能。但是,在一般情况下,冲压变形是板材在均匀变形范围内进行的,所以均匀变形的延伸率 δ_u 对冲压性能有较为直接的影响。 δ_u 表示板材产生均匀的或称稳定的塑性变形的能力,它直接决定板材在伸长类变形中的冲压性能, δ_u 值愈大,则翻边、扩孔、弯曲、胀形等极限变形程度愈大。

2. 屈强比 σ_s/σ_b ($\sigma_{0.2}/\sigma_b$)

屈强比是材料屈服极限与强度极限之比。较小的屈强比几乎对所有的冲压成形都是

有利的。

拉深凸缘部位属于压缩类成形。小的屈强比意味着屈服极限 σ_s 低,则变形所需要的切向压应力较小,材料起皱的趋势小,所以防止起皱所必需的压边力和摩擦损失都要相应降低,其结果会提高拉深的极限变形程度。

对于伸长类成形,如胀形及汽车覆盖件拉延等,小的屈强比意味着成形所必需的拉力与破坏时的拉断力之差较大,塑性变形容许的阶段长,必然会导致极限变形程度的增大。

弯曲变形时,屈服极限愈小,卸载后的回弹愈小,有利于提高弯曲件的尺寸精度。

当材料的种类相同,而且延伸率相近时,较小的屈强比表明硬化指数 n 大,所以有时可简单地用 σ_s/σ_b 代替 n 值。

3. 硬化指数 n

硬化指数 n 表示材料塑性变形中的硬化强度,它与冲压成形性能的关系最为密切。通常认为, n 值愈大,抗破裂能力愈强,对胀形性能尤其有利。这表明 n 值与爱利克辛试验值(见 2.3)有正比例关系。

n 值大,不仅会提高板料的局部应变能力,而且能使应变分布均匀化,提高板料成形时的总体成形极限。当然,硬化指数 n 大必然伴随着所需要的变形力加大。

4. 塑性应变比 r

r 值与 n 值一样,与板料成形性能十分密切,它们常被视为两个特定的成形性能指标。 r 值作为宽度真实应变 ϵ_b 与厚度真实应变 ϵ_t 之比,当 $r > 1$ 时,意味着厚度方向上的变形较宽度方向上的变形更困难。所以 r 值大的材料,在复杂形状的曲面零件拉深成形时,毛坯的中间部分在拉应力作用下,厚度方向变形困难,即变薄量小,而在板料平面内与拉应力相垂直的方向上的收缩变形比较容易,结果变薄和裂纹的趋势性降低,有利于冲压成形和产品质量的提高。

5. 凸耳系数 Δr

板料平面方向上出现各向异性,会使拉深件口部边缘出现凸耳, Δr 值越大,凸耳越大。它将影响零件的形状和尺寸精度,必要时需增加修边工序。

2.3 冲压成形性能的试验方法及指标

机械性能指标能够在相当大的程度上反映板料的冲压性能,但终归是间接试验方法,因为它在应力状态上与真实冲压成形存在着较大差异,当然也就不可能很确切地反映每种冲压成形方式下板料的冲压性能。于是,在生产中也广泛采用直接试验方法,即模拟试验方法。所谓模拟试验,是指模拟某一类实际成形方式来成形小尺寸试样的板料冲压试验。在一定的模拟试验中,可以将试样变形到这类成形方式允许的某种极限变形程度,将此极限变形程度作为这类成形方式对应的冲压成形性能指标。现介绍常用的模拟试验方法。

2.3.1 胀形性能试验

胀形性能试验也叫杯突试验,即爱利克辛(Erichsen)试验。图 2-10 是 GB4156—84

“金属杯突试验方法”的示意图。试验时,试样放在凹模与压边圈之间压死(压边力取10kN),凸模向上运动,试样在凹模内胀成鼓包,至鼓包刚刚破裂便停止试验,并将鼓包的高度作为杯突试验值— IE 值,此即为胀形成形性能指标。 IE 值越大,胀形成形性能越好。

显然,板料的中间部分受两向拉应力作用,其应力应变特点与局部胀形相同,故反映胀形类成形性能;在复杂的曲面零件拉深时,毛坯中间部分的应力应变状态也属于这种情况;但 IE 值不能反映筒形件拉深工艺的成形性能。

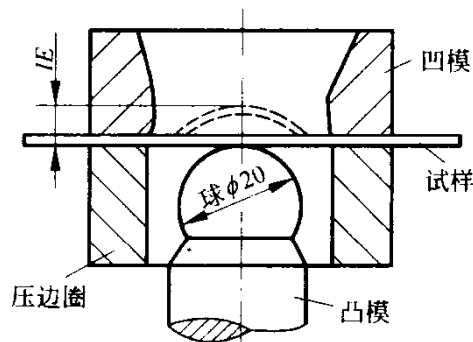


图 2-10 胀形试验(杯突试验)

2.3.2 拉深成形性能试验

确定拉深成形性能常采用以下两种方法。

1. 冲杯试验——确定最大拉深程度法

图 2-11 是 JB4409.3—88“薄钢板冲杯和冲杯载荷试验方法”的示意图。将试样放在

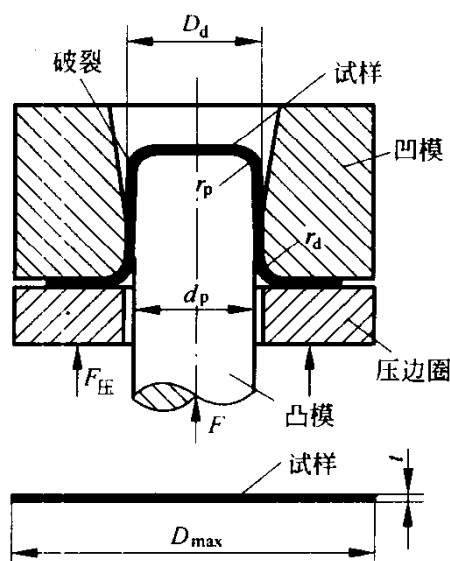


图 2-11 冲杯试验

凹模和压边圈之间压紧,凸模运动进行拉深成形。试验过程中,压边力的大小应能防止试样起皱,同时还允许试样材料向凹模内流动;采用逐级增大试样直径 D 的方法(增量为1.25mm),测定杯体底部圆角附近不被拉破时的最大试样直径 $D_{\max}$,并用下式计算极限拉深比 LDR 作为拉深成形性能指标。 LDR 值越大,拉深成形性能越好。

$$LDR = \frac{D_{\max}}{d_p} \quad (2-7)$$

式中, d_p 为凸模直径(常采用50mm)。

由于这种试验方法的原理和拉深时的变形条件完全相同,故所得到的结果可以综合反映出拉深变形区和传力区不同受力条件下板料的冲压性能。

2. TZP 试验——拉深力对比试验法

图 2-12 是 JB 4409.2—88“薄钢板 TZP 试验方法”的示意图。其原理是用一次拉深成功的变形程度(通常毛坯直径 D_0 与凸模直径 d_p 之比 $\frac{D_0}{d_p} = \frac{52\text{mm}}{30\text{mm}}$)下的最大拉深力与在试验中已经成形的试样侧壁的拉断力之间的关系作为判断拉深潜力的依据。试验原理是,当拉力达到最大值 $F_{\max}$ 以后,随即加大压边力使试样的外法兰边固定,消除其以后继续变形被拉入凹模的可能。然后再增加凸模力直至试样侧壁部位被拉断,并测出拉断力 F_t 值。试验过程中的拉深力的变化如图 1-13 所示。用下式计算拉深潜力 T ,并作为拉深成形性能指标。 T 值愈大,拉深成形性能愈好。

$$T = \frac{F_t - F_{\max}}{F_t} \times 100\% \quad (2-8)$$

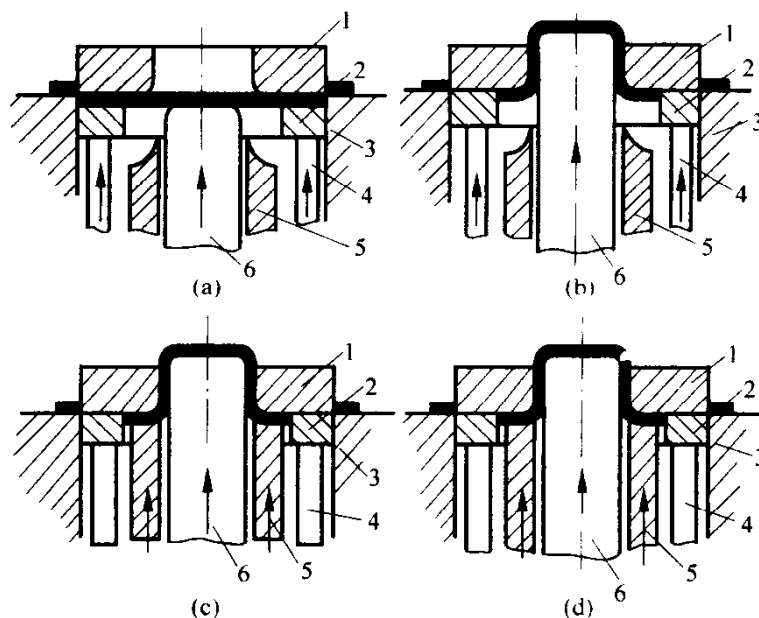
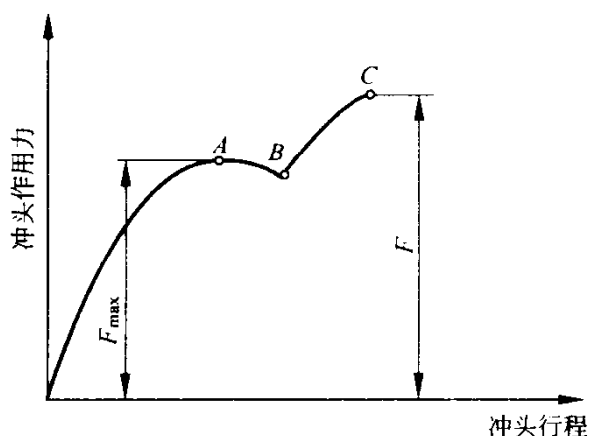


图 2-12 TYP 试验

1—凹模；2—压边圈；3—落料凹模；4—压料杆；5—压紧圈；6—凸模

图 2-13 拉深性能 T 值的确定过程

A—最大拉深力；B—外边缘固定；C—拉断

2.3.3 弯曲成形试验

图 2-14 是 JB 4409.5—88“薄板弯曲试验方法”示意图。弯曲试验采用压弯法或折叠弯曲法，在逐渐减少凸模直径(凸模弧面半径 r_p)规格的条件下，测出试样外层材料不产生裂纹时的最小弯曲半径 $r_{\min}$ ，并用最小相对弯曲半径 $r_{\min}/t_0$ (t_0 ——试样基本厚度)作为弯曲成形性能指标。最小相对弯曲半径 $r_{\min}/t_0$ 愈小，弯曲成形性能愈好。

用压弯法试验时，最小弯曲半径

$$r_{\min} = r_{pf} + \Delta r_p \quad (2-9)$$

式中： r_{pf} ——外层材料出现肉眼可见裂纹时的凸模弧面半径；

Δr_p ——凸模弧面半径的公差，可取 1mm。

试验时如果最小规格的凸模弧面半径不能使外层材料产生肉眼可见的裂纹，则先用压弯法将试样弯曲到 170° 左右(图 2-14(a) 中的 $\alpha = 170^\circ$)，再对试样进行折叠弯曲(如图 2-14(b) 所示)，并按下述原则确定最小弯曲半径 $r_{\min}$ ：