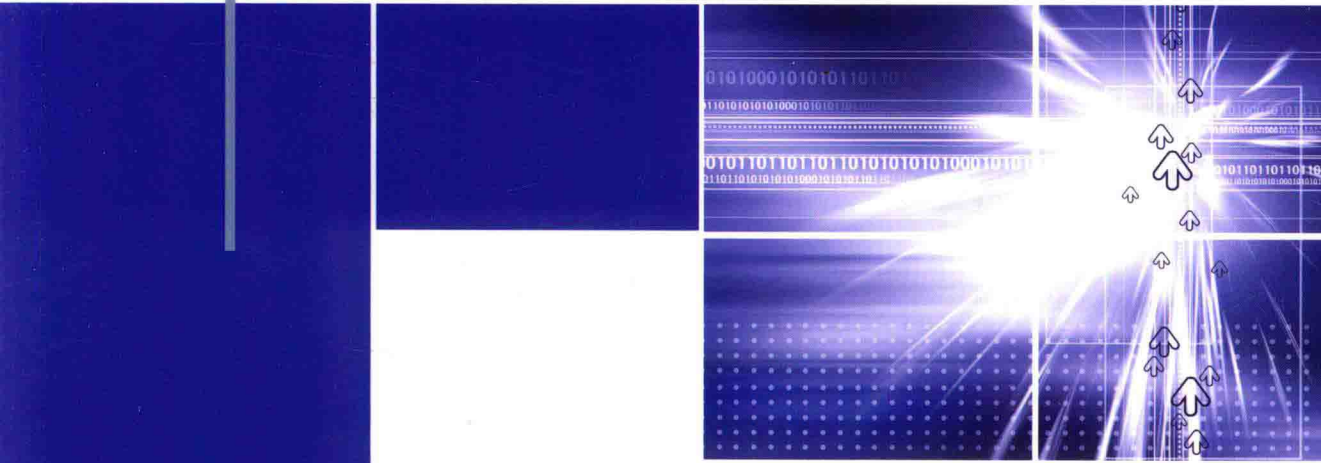


普通高等教育“十三五”规划教材



汽车覆盖件 模具设计

李芳华 李兵 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

汽车覆盖件模具设计

李芳华 李 兵 编



机械工业出版社

本书立足于实用,内容上注重理论与设计经验的有机融合,侧重于企业设计规范的表述。根据汽车覆盖件结构特点,对汽车覆盖件模具进行分类,并阐述每一类汽车覆盖件的成形特点,注重工艺分析,根据设计规范进行模具设计,同时辅以实例介绍。

全书共八章,其内容包括概述、汽车覆盖件冲压成形工艺、拉深件设计、拉深模设计、修边冲孔模设计、翻边整形模设计、斜楔模设计、汽车覆盖件模具的制造与调整。每一部分都有实例介绍,具有实用性。

本书可作为本科生、专科生相关专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车覆盖件模具设计/李芳华,李兵编. —北京:机械工业出版社, 2017. 6

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-56197-2

I. ①汽… II. ①李… ②李… III. ①汽车-车体覆盖件-模具-设计-高等学校-教材 IV. ①U463. 820. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第039222号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:冯春生 责任编辑:冯春生 张丹丹 责任校对:杜雨霏

封面设计:张静 责任印制:李昂

北京中兴印刷有限公司印刷

2017年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·10印张·225千字

标准书号:ISBN 978-7-111-56197-2

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmpl952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前言

随着我国汽车工业的飞速发展,我国的汽车车身技术、汽车覆盖件模具设计与制造技术水平都大有进步和提高,与发达国家的差距正在缩小,正在努力赶超世界先进水平。

汽车车身是汽车的重要组成部分,是决定汽车安全质量和精度的重要因素,也是汽车外形的重要体现。汽车覆盖件则是汽车车身的重要组成部分,汽车覆盖件冲压是汽车制造的四大工艺之一。汽车覆盖件大部分是复杂三维空间型面,冲压质量要求高,特别是外覆盖件冲压质量要求更高,其冲压过程变形复杂。影响冲压成形质量的工艺因素众多,这就决定了汽车覆盖件冲压工艺和模具设计以及模具制造的复杂性。

随着智能技术、数字化设计、数字化制造、高端制造设备与技术、新材料等应用到汽车覆盖件冲压工艺设计、汽车覆盖件模具设计与制造中,使得汽车覆盖件模具技术得到了飞速发展,同时对我国汽车覆盖件模具企业和工程技术人员的要求也越来越高。现代汽车覆盖件模具企业应具备专业化的产品、先进的模具设计及制造数字化技术(模具CAD/CAM/CAE一体化技术)、高精度的模具加工设备、先进的经营管理技术。这些都需要一支专业化、高素质的人才队伍来保证。企业的工程技术人员、科研人员不仅要掌握模具设计、模具制造和工艺装备等技术,还需要掌握管理知识、财务知识等。

汽车覆盖件模具企业对人才的要求越来越高,这样也就对高等院校的人才培养提出了更高的要求。高校的教学、科研队伍的水平是决定人才培养水平的关键,高校的教学、科研人员不仅仅要有扎实的专业理论知识,还需要有丰富的工程实践经验。编者在大型国企从事汽车覆盖件模具技术工作多年,再到高校从事教学、科研工作多年,深感理论知识和工程实践能力并重的重要性。本书是编者根据汽车覆盖件模具设计理论和多年工程实践经验以及企业的设计规范编写而成的,内容深入浅出,结合实例,通俗易懂,适合高等院校的学生、广大工程技术人员,特别是初学者对汽车覆盖件模具技术的学习要求,实用性较强。如果本书能对读者带来一些有用的专业知识,甚至启发,这将是编者最大的欣慰。

本书由湖北汽车工业学院李芳华、李兵编写。在本书的编写过程中,得到了湖北汽车工业学院张春博士、东风汽车公司相关单位、湖北十堰先锋模具股份有限公司等单位 and 个人的诸多支持和热情帮助,在此表示感谢。

由于编者视野较小,能力、水平有限,书中难免有错误和不准确之处,恳请广大读者批评指正,提出宝贵意见,共同探讨技术问题,共同进步。

编者

目 录

前言		第七节 前围板拉深模设计实例	68
第一章 概述	1	第五章 修边冲孔模设计	82
第一节 汽车车身制造过程	2	第一节 修边冲孔工艺	82
第二节 汽车覆盖件在车身上的位置	2	第二节 修边冲孔模的结构设计	87
第三节 汽车覆盖件的分类	3	第三节 冲裁力的计算	90
第四节 汽车覆盖件模具与夹具种类	4	第四节 冲裁间隙的计算	91
第二章 汽车覆盖件冲压成形工艺	7	第五节 废料处理	93
第一节 汽车覆盖件冲压成形特点	7	第六节 修边冲孔模主要工作部件的设计	96
第二节 现代汽车覆盖件冲压工艺及冲模设计程序	11	第七节 前围板修边冲孔模设计实例	100
第三节 汽车前围板冲压工艺分析实例	20	第六章 翻边整形模设计	110
第三章 拉深件设计	31	第一节 翻边整形工艺	110
第一节 汽车覆盖件拉深件的设计原则	31	第二节 翻边整形模工作部件设计	113
第二节 冲压方向	32	第三节 前围板翻边整形模设计实例	118
第三节 翻边展开与修边线设计	35	第七章 斜楔模设计	122
第四节 压料面的确定	35	第一节 斜楔的种类	122
第五节 工艺补充部分的设计	38	第二节 斜楔力与行程的计算	125
第六节 拉深筋	41	第三节 斜楔模压件机构的设计	128
第七节 工艺孔及工艺切口	43	第四节 斜楔机构中的复位机构	130
第八节 拉深件与修边件、翻边件的关系	45	第五节 前围板斜楔模实例	132
第九节 拉深毛坯形状及展开	47	第八章 汽车覆盖件模具的制造与调整	136
第十节 前围板拉深件设计实例	48	第一节 汽车覆盖件冲模的制造特点	136
第四章 拉深模设计	55	第二节 模具制造设备及制造准备	136
第一节 拉深模的概念	55	第三节 汽车覆盖件模具制造流程	139
第二节 拉深模结构设计	57	第四节 汽车覆盖件拉深模制造	140
第三节 主要工作部件设计	59	第五节 汽车覆盖件修边冲孔模制造	143
第四节 拉深模导向设计	63	第六节 汽车覆盖件模具的调整	144
第五节 压边装置设计	65	参考文献	154
第六节 拉深模的通用结构设计	67		

第一章 概 述

随着汽车工业的飞速发展，它已经成为许多国家的支柱产业。我国的汽车工业发展更加迅速，2015 年我国汽车产销量达到 2459 万辆，再次刷新世界纪录。轿车的普及不再是梦想，预计在中国达到中等发达国家水平时即可实现。但我国汽车工业也存在汽车企业技术创新能力提升不快、没有完全掌握核心技术、自主品牌市场竞争力不强等不足，所以还需要艰苦创新，争创世界级汽车品牌企业。

汽车车身是汽车的重要组成部分，其发展经历了以下过程：1916 年美国福特公司制造了厢式车身，随着生活节奏的加快，人们对车速的要求也越来越高。要想使汽车跑得更快，有两条主要途径：一是增大功率，二是减小空气阻力。1934 年美国的克莱斯勒公司生产的气流牌小客车，首先采用了流线型的车身外形。流线型车身的大量生产是从德国的“大众”开始的，波尔舍博士设计了流线型“甲壳虫”汽车。人们开始在设计汽车的过程中考虑更多的因素，以使汽车更能减小空气阻力，坐上去更舒适。1949 年福特公司考虑人体工程学因素设计成船形车身。船形汽车尾部过分向后伸出，形成阶梯状，在高速时会产生较强的空气涡流。1952 年美国通用汽车公司设计了类似鱼脊背的鱼形车身。鱼形车身虽然减小了空气阻力，但鱼形车身后窗玻璃倾斜角度很大，使其强度下降，产生结构上的缺陷。因为鱼形车身的造型在高速时会产生一种升力，使车轮附着力减小，从而抵挡不住横风的吹袭，发生偏离的危险。于是又在车位加上了一个上翘的“鸭尾巴”，形成鱼形鸭尾式车身。1963 年美国司蒂贝克汽车公司设计出了楔形车身，后又发展到子弹头形车身，一直到现代轿车车身。

汽车覆盖件的生产是汽车制造的一个重要生产过程。汽车覆盖件（Automotive Panels，简称覆盖件）是指覆盖发动机、底盘，构成驾驶室和车身的薄钢板异形体的表面零件（Outer Panels，称为外覆盖件）和内部零件（Inner Panels，称为内覆盖件）。轿车的车前板和车身、载货汽车的车前板和驾驶室、厢式货车的车身等都是由覆盖件和一般冲压件构成的。一辆轿车约有 80% 的零部件由模具加工制造。汽车覆盖件所组成的汽车车身不仅要具备设计所规定的使用功能，而且要体现整车的艺术性、创新性，所以在质量要求（如尺寸精度要求、形状精度要求、刚度要求等）、冲压成形工艺、冲模、冲压设备等方面都具有其他一般小型冲压零件不同的特点。因此，在板材冲压成形技术中，以汽车覆盖件为主要代表的大型薄板零件的冲压成形技术已发展成为一个很重要的组成部分。

随着人们生活水平的提高，对汽车的安全性、舒适性、燃料经济性、环保性及操控性



能等都有很高的要求。这些要求促使了汽车行业的发展，使新型冲压材料的开发、新型冲压材料性能参数的测试研究、汽车覆盖件冲压成形理论与成形技术的研究、汽车覆盖件的冷冲压成形与热冲压成形的研究、新型冲压成形设备的开发与冲压过程的计算机监测控制、汽车覆盖件的精密冲裁与级进模技术、汽车覆盖件的 CAD/CAE/CAM/CAPP 技术等方面都已得到了很大的发展，从而使板材冲压成形理论与成形技术得到了进一步的丰富与完善。同时由于人们对汽车性能的要求日益增加，生产中不断出现新的问题，汽车覆盖件的形状复杂，生产过程中许多工艺参数和模具参数还不能进行量化设计，尚有大量的理论与技术问题需要进行更深入细致的研究。

第一节 汽车车身制造过程

车身、底盘、发动机被称为汽车的三大部件，车身的冲压、焊接、涂装和总装是汽车公司四大生产工艺，轿车车身质量占整车的 40%~60%，轿车车身制造成本占整车制造成本的 50%~70%，其重要性日益突出，越来越受到人们的重视。随着人们对汽车的安全性、舒适性、燃油经济性、环保性等性能的要求越来越高，对车身设计、制造技术的要求也越来越高。

汽车车身是一个形状复杂的空间薄壁壳体。其主要零部件均由钢板冲压、焊接组成，然后进行涂装，最后装上各种内饰件，总装成完整的车身。

轿车、微型车、小型客车以及载货汽车的车身都属于无骨架车身。其生产工艺大致流程如图 1-1 所示。

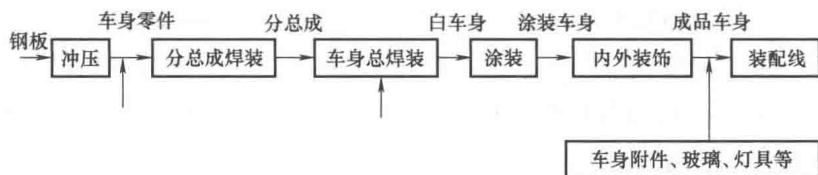


图 1-1 汽车车身生产工艺流程

第二节 汽车覆盖件在车身上的位置

汽车覆盖件既是外观装饰性的零件，又是封闭薄壳状的受力零件。它包括外覆盖件和内覆盖件，外覆盖件指人们能直接看到的汽车车身外部的板，如车门外板、顶盖、前围外盖板、后围外盖板、侧围外板、发动机罩、翼子板等；内覆盖件指车身内部的覆盖件，往往被汽车内饰件盖住，人们直接看不到，和外覆盖件一起起到支撑受力的作用，如车门内板、前围内盖板、后围内盖板、侧围内板、地板、仪表板等。图 1-2 所示为货车驾驶室覆盖件，图 1-3 所示为轿车白车身结构和覆盖件。

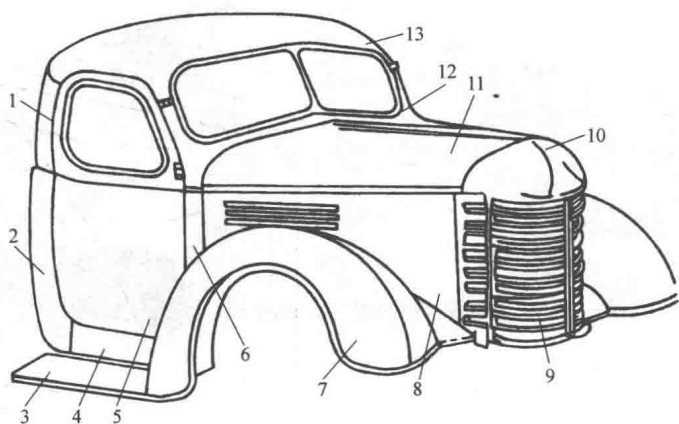


图 1-2 货车驾驶室的覆盖件

1—顶盖下盖板 2—后围下盖板 3—脚踏板 4—门槛 5—车门外板 6—前围下盖板 7—翼子板
8—边板 9—散热器护罩 10—散热器罩顶 11—发动机罩 12—前围外盖板 13—顶盖

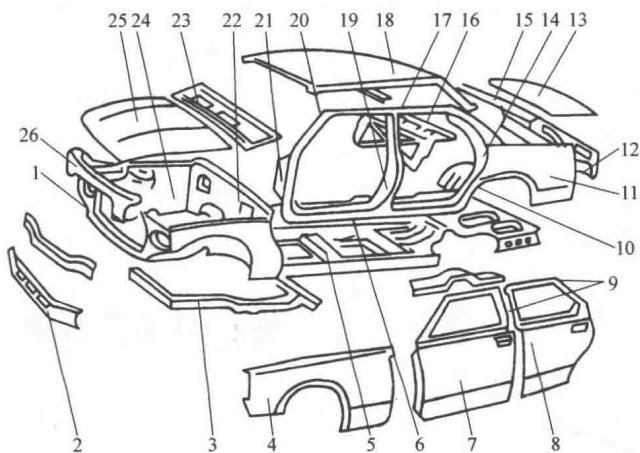


图 1-3 轿车的车身结构和覆盖件

1—固定框架 2—前裙板 3—前框架 4—前翼子板 5—地板总成 6—门槛 7—前门 8—后门
9—门窗框 10—车轮挡泥板 11—后翼子板 12—后围板 13—行李舱盖 14—后立柱 15—后围上盖板
16—后窗台板 17—上边梁 18—顶盖 19—中立柱 20—前立柱 21—前围侧板 22—前围板
23—前围上盖板 24—前挡泥板 25—发动机罩 26—发动机罩前支撑板

第三节 汽车覆盖件的分类

汽车覆盖件按功能和部位分类，可分为外部覆盖件、内部覆盖件和骨架类覆盖件三类。外部覆盖件和骨架类覆盖件的外观质量有特殊要求，内部覆盖件的形状往往更复杂。汽车覆盖件表面质量要求高，有尺寸精度和表面粗糙度要求，还要考虑后续的涂装，要求好用、好看、好修、好造。图 1-4 所示为典型覆盖件的装配简图。

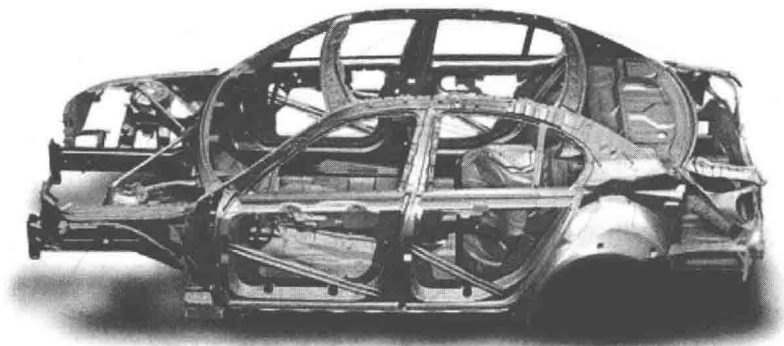


图 1-4 典型覆盖件的装配简图

汽车覆盖件按工艺特征分类如下：

- 1) 对称于一个平面的覆盖件。诸如发动机罩、前围板、后围板和散热器罩等。这类覆盖件又可分为深度浅呈凹形弯曲形状的、深浅均匀形状比较复杂的、深浅相差大形状复杂的和深浅深的几种。
- 2) 不对称的覆盖件。诸如车门的内、外板，翼子板，侧围板等。这类覆盖件又可分为深浅比较平坦的、深浅均匀形状较复杂的和深度深的几种。
- 3) 可以成双冲压的覆盖件。所谓成双冲压，既指左右件组成一个便于成形的封闭件，也指切开后变成两件半封闭型的覆盖件。
- 4) 具有凸缘平面的覆盖件。如车门内板，其凸缘面可直接选作压料面。
- 5) 压弯成形的覆盖件。

第四节 汽车覆盖件模具与夹具种类

汽车覆盖件模具从广义分可以分成覆盖件冲模、覆盖件夹具和模型三大类，本书主要讨论覆盖件冲模部分的内容。

一、覆盖件冲模种类

汽车覆盖件形状复杂，成形难度大，易出现各种缺陷，所以需要做充分的工艺分析，制订详细可靠的冲压工艺方案才能进行模具设计。覆盖件冲压工艺设计工作复杂，工序多，要做出工艺补充，做出各工序的工艺数模等。覆盖件常用的工序有落料、拉深、修边、冲孔、翻边、整形和剖切等，一套模具是多个工序模具的复合。覆盖件工艺设计是对冲压工艺过程中每一工序的工作内容、工作形式等做出详细的设计和规定，并且对模具设计起到指导作用。

1. 拉深模

拉深模是保证制成合格覆盖件最主要的装备。其作用是将平板状毛料经过拉深工序使之成形为立体空间工件。拉深时，拉深毛坯在凸模、凹模、压边圈的共同作用下进入凹模型腔，直到拉深成凸模的形状。拉深模工作部分分为凸模、凹模和压边圈三部分。工作部



分材料为合金铸铁、铸钢或者 Cr12、Cr12MoV。拉深模大多采用单动结构，上、下模具一般用导板导向。

2. 修边模

修边模用于将拉深件的工艺补充部分和压料凸缘的多余料切除，为翻边和整形做准备。修边模往往兼顾用于冲孔。修边模的主要工作部分有修边凸模、修边凹模和废料刀。修边模工作部分常用的材料有 Cr12MoV、7CrSiMnMoV 等。修边模上、下模用导柱导套导向，侧向力大时，还要用导板辅助导向。

3. 翻边模

翻边模是将半成品的一部分材料相对于另一部分材料发生翻转。翻边模往往兼顾用于整形，整形模是用来调整半成品的轮廓尺寸，以提高尺寸精度和产品表面质量的冲模。翻边模的工作部分有翻边凸模、翻边凹模等。翻边模工作部分常用的材料有 Cr12MoV、7CrSiMnMoV 和 MoCr 铸铁等。翻边模的上、下模用导板导向。

二、覆盖件夹具

1. 焊装夹具

焊装夹具是覆盖件总成焊装的重要装备，如图 1-5 所示。

2. 检验夹具

检验夹具是对覆盖件及其总成进行综合性检测的主体量具，其检测内容主要是立体型面、轮廓形状和孔径、孔位尺寸，如图 1-6 所示。

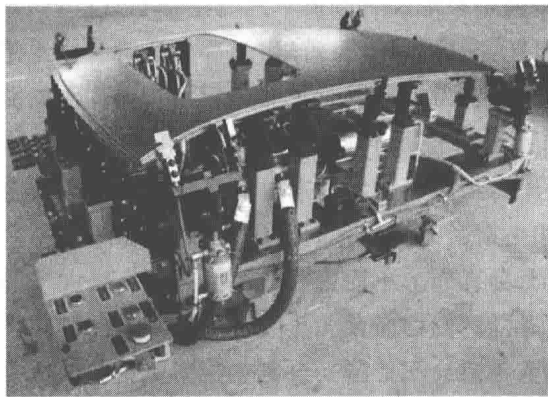


图 1-5 焊装夹具

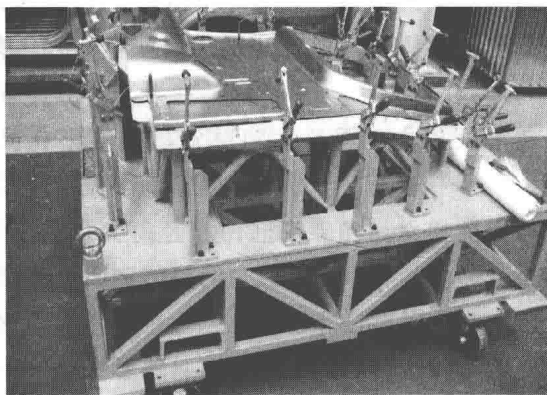


图 1-6 检验夹具

三、模型

1. 实体模型

传统的汽车覆盖件冲模加工方法是采用实体模型作为加工依据，即在车身设计和工艺装备的设计及制造中，首先塑造汽车外形的油泥模型，然后根据油泥模型制造主样板、主图板和主模型，再完成汽车的结构设计。车身工艺装备的设计与制造以主样板、主图板、主模型三者结合作为确定形状和尺寸的依据。由于主样板、主图板、主模型都是实物，制



作成本高、周期长，其形状尺寸在开发过程各环节之间的多次移形传递会造成累积误差，精度无法保证，严重影响车身的开发。

目前，主模型已经被数字模型所取代。图 1-7 所示为汽车车身体模型。

2. 数字模型

应用计算机建立覆盖件的数字模型，为汽车模具的计算机辅助设计与制造创造了条件。从产品设计、工程图样绘制、成形仿真模拟分析，到冲模结构设计、模具型面的数控加工都围绕着数字模型展开。图 1-8 所示为上边梁内板数字模型。



图 1-7 汽车车身体模型

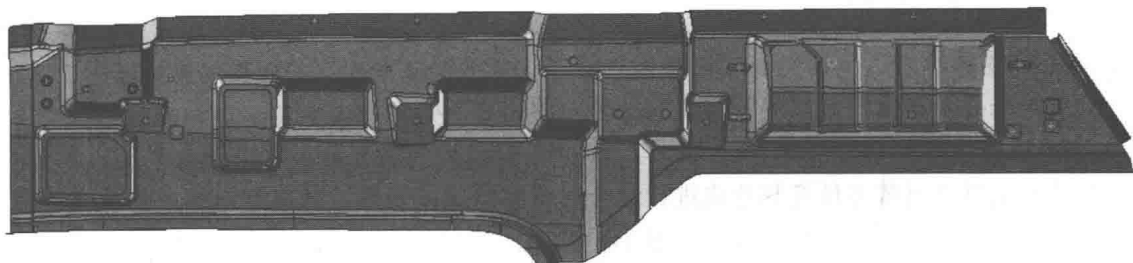


图 1-8 上边梁内板数字模型

第二章 汽车覆盖件冲压成形工艺

冲压工艺设计是汽车覆盖件模具设计制造的基础,极大地影响和制约着相应模具设计制造的效率和质量。由于汽车覆盖件模具特殊的质量要求和结构特点,因此有其独特的成形特点,使得其生产工艺与普通冲压工艺有很大的不同,更加复杂、特殊。用最少的模具成本、最少的设备台时加工出高质量的冲压件,需要编制合理、精益的工艺方案,对工艺人员的要求很高。

第一节 汽车覆盖件冲压成形特点

汽车覆盖件与普通的冲压件相比,具有更高的质量要求和更复杂的结构,因此具有独特的冲压成形特点。

一、汽车覆盖件的质量要求

1) 尺寸精度。汽车覆盖件必须有很高的尺寸精度(包括轮廓尺寸、孔位尺寸、局部形状的各种尺寸等),以保证焊装或组装时的准确性、互换性,便于实现车身焊装的自动化和无人化,也可保证车身外观形状的一致性和美观性。

2) 形状精度。特别是对外覆盖件,要求具有很高的形状精度,必须与主模型相符合,否则将偏离车身总体设计,不能体现车身的造型风格。

3) 表面质量。覆盖件表面上任何微小的缺陷都会在涂装后引起光线的漫反射而损坏外形的美观,因此覆盖件表面不允许有波纹、皱折、凹痕、擦伤、边缘拉痕和其他破坏表面美感的缺陷。覆盖件上的装饰棱线和筋条要求清晰、平滑、左右对称和过渡均匀,覆盖件之间的棱线衔接应吻合流畅,不允许参差不齐。总之覆盖件不仅要满足结构上的功能要求,更要满足表面装饰的美观要求。

4) 刚性。覆盖件在成形过程中,材料应有足够的塑性变形,以保证零件具有足够的刚性,使汽车在行驶中受振动时,不能产生较大的噪声,以减轻驾驶人的疲劳,更不能因振动而产生早期损坏甚至空洞。

5) 工艺性。良好的工艺性是针对产品设计结构而言,即在一定生产规模条件下,能够较容易地安排冲压工艺和冲模设计,能够最经济、最安全、最稳定地获得高质量产品。

二、汽车覆盖件结构特点

1) 总体尺寸大。如驾驶室顶盖的毛坯尺寸可达 2800mm×2500mm。



2) 相对厚度小。板料的厚度一般为 $0.8 \sim 1.2\text{mm}$, 相对厚度 (板厚与毛坯最大长度之比) 最小值可达 0.0003 。

3) 形状复杂。不能用简单的几何方程式来描述其空间曲面。

4) 轮廓内部带有局部形状。而这些内部形状的成形往往对整个冲压件的成形有很大的影响, 甚至是决定性的影响。

三、覆盖件的成形特点

1. 成形工序多, 拉深为关键工序

覆盖件冲压成形一般经过落料、拉深、整形、修边、翻边等工序完成, 其中拉深工序最为关键, 尽管在一定程度上也要受其他工序的制约, 但从根本上决定了整形、修边、翻边和冲孔等工序的内容和顺序。

2. 拉深时多为一次复合成形

简单零件可由拉深系数来确定拉深次数和工序尺寸。但大型覆盖件大多数都由复杂的空间曲面组成, 在拉深时毛坯在模内的变形很复杂, 各处应力很不均匀, 因此, 不能按一般拉深那样用拉深系数来判断和计算它的拉深次数和拉深可能性, 进行多次拉深。无论覆盖件分块有多大形状, 有多复杂, 都应尽可能在一次拉深中成形出全部空间曲面形状, 以及曲面上的棱线筋条和凸台, 否则很难保证覆盖件几何形状的一致性和表面光滑性。因为二次拉深经常会发生拉深不完整的情况, 造成覆盖件表面质量的恶化。

3. 由于拉深时变形不均匀, 需要设置工艺补充、拉深筋

简单零件的形状对称, 深度均匀, 而且通常压边面积比其余部分面积大, 只要压边力调节合适, 便能防止起皱。而大型覆盖件形状复杂, 深度不均, 又不对称, 压边面积比其余部分小, 因而需要采用拉深筋来加大进料阻力; 或是利用拉深筋的合理布排, 改善毛坯在压边圈下的流动条件, 使各区段金属流动趋于均匀, 有效地防止起皱。

4. 由于拉深深度浅, 需设拉深槛

简单零件拉深时, 由于变形区 (凸缘区) 的变形抗力超出传力区 (侧壁与底部过渡区) 危险断面强度而导致破裂是拉深过程的主要问题。但有些覆盖件, 由于拉深深度浅 (如汽车外门板), 拉深时材料得不到充分的拉深变形, 容易起皱, 且刚性不够, 这时需采用加大压边圈下材料的牵引力, 从而增大塑性变形程度, 保证零件在修边后弹性畸变小, 刚性好, 以消除“鼓膜状”的缺陷, 避免零件在汽车运行中发生颤抖和噪声。

5. 由于需要大而稳定的压边力, 因此拉深时常采用双动压力机

在普通带气垫的单动压力机上, 压边力只有公称吨位的 20% 左右, 而且压边力调节的可能性小, 故仅适用于简单零件的拉深。对于大型覆盖件的拉深, 需要的变形力和压边力都较大, 因此, 在大量生产中, 此类零件的拉深均在双动压力机上进行。双动压力机具有拉深 (内滑块) 与压边 (外滑块) 两个滑块, 压边力可达到拉深力的 60% 以上, 且四点连接的外滑块可进行压边力的局部调节, 这可满足覆盖件拉深的特殊要求。

6. 高强度、高质量、耐腐蚀钢板的应用

为保证覆盖件在拉深时能经受最大程度的塑性变形而不至于产生破裂, 对原材料的力



学性能、金相组织、化学成分、表面粗糙度和厚度精度都提出了很高的要求。

7. 以数字模型为依据

覆盖件模具型面数字模型属于工艺模型，它从覆盖件产品模型演变而来，还要向有限元模型、数控加工模型转化。

四、覆盖件成形时常见缺陷及解决措施

汽车覆盖件由许多轮廓尺寸较大的空间曲面焊接而成，尺寸精度和表面质量要求较高，而且还要求具有足够的刚性和尺寸稳定性等。在冲压中常见的缺陷主要有起皱、回弹和开裂等。

1. 起皱

由于板料厚度方向和平面方向上的尺寸相差大，造成厚度方向不稳定，当这种不稳定到达一定程度时，厚度方向失稳，从而产生失稳现象。

起皱主要有失稳起皱和材料堆积起皱两种表现形式。失稳起皱是在冲压时，模具对板料施加外力，使金属产生塑性变形，此时板料内存在着复杂的应力状态。由于厚度方向的尺寸比面内两个方向的尺寸小得多，当板料内压应力达到一定程度，板厚方向的材料将不能维持稳定变形而产生失稳，这种失稳称为压缩失稳。发生起皱时，皱纹的走向与压应力垂直，但不能简单认为所有起皱都是压应力引起的。在冲压成形过程中，板料发生的起皱大致可分为压应力起皱、切应力起皱和不均匀拉应力起皱等。材料堆积起皱是由于进入凹模型腔的材料过多而引起的。

冲压成形中毛坯一旦产生皱纹并残留在制件上，必会降低制件的尺寸精度、表面质量等，同时也会给加工带来许多问题。因此为获得高质量的冲压件，必须尽可能地防止和消除起皱。对此，解决措施如下：

1) 在不损坏产品性能和外观的前提下，通过改变产品形状来达到防止的目的，如减小拉深件的拉深深度，防止拉深件形状急剧变化，减少平坦部位，增设吸收皱纹的形状，台阶部分合理化。

2) 在工序设计和模具设计制造方面，可以采取的措施有：选择最佳毛坯形状和尺寸，合理安排工序，适当增加工序数目，确定合适的压料面形式及拉深方向，有效地利用阶梯拉深；凹模横断面形状、凹模圆角半径 R 、凸模纵断面形状的合理化，设置合适的工艺涂料，对起皱部位进行预压，在行程终点充分加压，减小压边圈与凹模的间隙，合理选取拉深筋位置、形状，提高模具刚度和耐磨性，对毛坯进行预压。

3) 在冲压条件方面可以采取以下措施：提高压边力，均衡压边力，控制润滑，压力机及模具平行度要好，选择合适的冲压速度。

4) 使用屈服强度低、断后伸长率大的材料。

2. 回弹

板料在成形过程中储存了一定的弹性变形能，在成形结束阶段弹性变形能要随着变形力的消失而释放出来，使板料内应力重组，从而造成成形后形状的改变，这种现象就是回弹。影响回弹的因素有很多，如工件材料、各种冲压力、模具形状和模具状态等，主要有



以下原因:

1) 当板料内外缘表面纤维进入塑性状态, 而其中心仍处于弹性状态, 此时如果去除外力, 板料就会产生弹性回弹。

2) 金属塑性变形时总是伴随着弹性变形, 即使板料内外层纤维全都进入塑性状态, 去除外力后, 弹性变形消失, 也会出现弹性回弹。

板料成形中回弹是整个成形历史的积累效应, 不可避免。回弹的存在直接影响了冲压件的成形精度, 增加了试模、修模以及校形的工作量, 所以必须采取措施控制回弹现象的发生。通常采用工艺控制法和几何补偿法来达到此目的。前者是通过改变板料形状、压边力、模具圆角、摩擦状态等成形过程边界条件来减少回弹; 后者是在一定的工艺条件下实测或预测回弹量的大小, 据此修正模具形状, 从而使回弹后的冲压件形状恰好符合设计要求。为达到最佳效果, 一般将这两种方法联合使用。

3. 开裂

开裂主要出现在汽车覆盖件的拉深过程中。影响开裂的因素众多, 开裂机理复杂, 在汽车覆盖件的拉深中, 主要是应变超过材料屈服强度而引起失稳, 具有以下表现形式。

1) 材料本身抗拉强度达不到拉深要求而产生破裂。例如在凸模圆角、凹模圆角处, 工件在拉深时局部受力过大而产生拉裂。

2) 材料变形量不足而引起的破裂。发生在凸模端部的破裂, 常出现在胀形、拉深-胀形复合成形和拉深成形等过程中, 破裂部位一般是双向拉应力状态。

3) 侧壁破裂。侧壁破裂包括壁裂、伸长类翻边的侧壁破裂和双向拉应力下的侧壁破裂。

4) 法兰部分的破裂。法兰部分的破裂包括外缘破裂和内缘破裂, 多发生在伸长类翻边的成形工序以及由拉深筋作用和起皱等原因引起的其他破裂。

5) 时效裂纹。时效裂纹指成形时产生严重的成形硬化部分经过应变时效后脆化, 并且由成形时的残余应力作用引起工件的破裂。

6) 条纹状裂纹。条纹状裂纹是指由于材料成分的不均匀、材料内含有杂质引起的裂纹, 一般平行于板料的轧制方向。

开裂的解决措施: 选择强度指标较高、拉深性能好的材料; 降低成形高度, 增加成形工序; 增加辅助工艺措施(工艺涂料、工艺孔等); 选择合理的毛坯形状和尺寸; 改变压边力; 改变凸凹模圆角; 修整拉深筋的形状、参数和布局; 增大转角等。另外, 拉深温度和润滑条件对板料的成形也有一定的影响。

4. 表面质量

汽车覆盖件表面质量问题主要有冲击线、滑移线、塌陷、暗坑和表面扭曲等, 而对于外汽车覆盖件而言, 这些表面质量问题会直接影响汽车的外观质量, 是不允许存在的。

产生这些表面质量问题的原因复杂, 冲击线和滑移线是由于在冲压过程中, 板料和模具接触后, 产生了应力集中, 在应力集中处产生摩擦, 由摩擦造成汽车覆盖件表面划痕。塌陷、暗坑和表面扭曲主要是由于材料变形不充分, 材料局部应变较小, 在外力释放后出现塌陷、暗坑和表面扭曲等缺陷。



表面质量问题的解决措施如下：

- 1) 通过改变工件的圆角和凹模圆角、增加拉深深度以及更改压料面等方法消除冲击线，避免产生划痕。
- 2) 通过改变产品形状、增大阻力等方法消除滑移线，避免产生划痕。
- 3) 通过有限元分析和实验了解零件在变形区所产生的应力梯度，尽可能保证工件塑性成形的均匀性，同时通过增大阻力、增大局部应变等方法消除塌陷和表面扭曲。

第二节 现代汽车覆盖件冲压工艺及冲模设计程序

一、汽车覆盖件冲压工艺及冲模设计程序简介

通常汽车覆盖件冲模设计程序，由冲压工艺设计和模具结构设计两个阶段构成。随着冲模制造精度的提高和制造周期的缩短，对模具设计也提出了更高的要求。

首先，要求工序模型不仅能够表达工序件的基本形状和尺寸，而且还能够保证冲压后最后一道工序的工序件基本符合覆盖件产品模型。再者，模具的上、下型面是按照工序模型设计的。为了缩短模具调试周期，必须对模具上、下型面进行微观调整，确保最后工序件合格。

鉴于对冲压工艺设计和模具结构设计的新要求，现代汽车覆盖件冲模设计程序如图 2-1 所示。

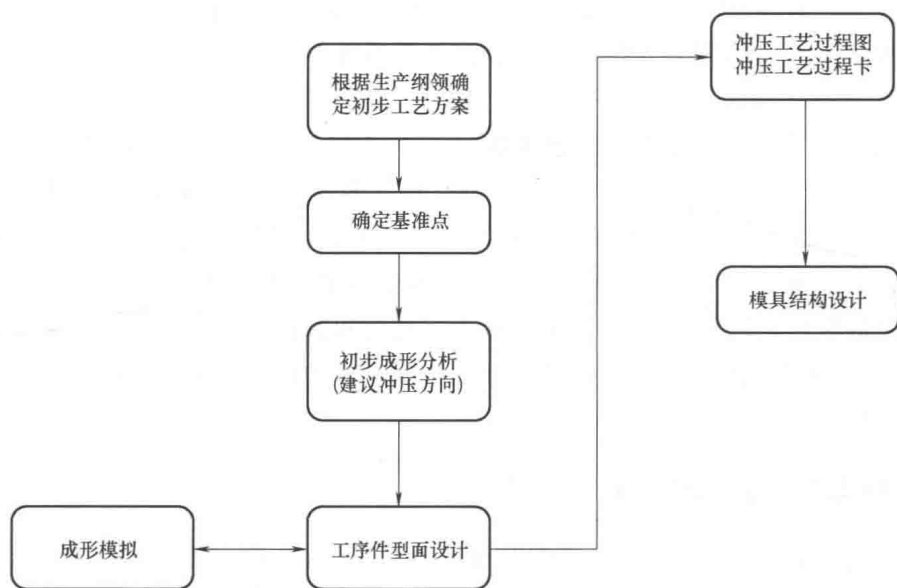


图 2-1 现代汽车覆盖件冲模设计程序

首先，根据生产纲领确定初步的工艺方案。在拿到汽车覆盖件产品图后，首先确定冲压方向，遇到较复杂的制件时，应借助 CAE 软件进行初步确定。

然后，进行工序数模和冲压工艺过程图（DL 图）设计。同时借助于 CAE 软件成形性



和工艺性进行分析,发现不足之处,及时进行反馈,对工序数模以及 DL 图进行必要的修正。例如,冲压工艺顺序是否合理,各道工序内容能否实现,沿冲压方向冲制斜面的孔是否符合冲孔凸模的强度要求等,制订出保证汽车覆盖件合格产品最科学、最合理、最经济的冲压工艺方案,并明确各工序之间的相互关系。同时把各工序模具设计的基本要求和工艺要求在 DL 图上具体化,最终设计出该产品模具的 DL 图。

最后,模具设计人员按照 DL 图的基本要求进行模具结构设计。同时,由于加工用数模有一些特殊的要求,相关人员根据数控加工的特殊要求,对加工用数模进行再设计。

二、现代汽车覆盖件冲压工艺设计

从上述的汽车覆盖件冲模设计的程序中可以看出,现代汽车覆盖件冲模设计的具体内容应主要包括以下几方面:

1. 小批量生产的覆盖件冲压工艺方案

小批量生产是指月产量小于 1000 件,此时的生产稳定性极差,产品形状改变可能性大,模具选择只要求拉深和成形工序使用冲模,模具寿命在 5 万件。其他工序,如落料、修边可在通用设备上剪裁,翻边使用简易胎具,冲孔用通用冲孔模或钻床手工钻孔。如果过多地选用冲模,虽然对保证质量有益,但对提高生产效益并无意义,且会使成本骤增。

2. 中批量生产的覆盖件冲压工艺方案

当月产量大于 1000 件,且小于 10000 件(货车)或 30000 件(轿车)时,被视为是中批量生产。其生产特点是比较稳定地长期生产,生产中产品形状改变时有发生。模具选择除要求拉深模采用冲模外,其他工序如果对质量和劳动量影响比较大,也要相应选用冲模,模具寿命要求在 50000~300000 件。模具选择系统为 1:2.5,即一个覆盖件平均选择 2.5 套冲模。

3. 大批量生产的覆盖件冲压工艺方案

当月产量大于 10000 件(货车)或 30000 件(轿车),且小于 100000 件时,属于大批量生产。生产处于长期稳定状态,形状改变可能性小,工艺难度大,工艺方案要为流水线提供保证,每道工序都要使用冲模,拉深、修边冲孔和翻边模同时安装在一条冲压线上,工序间的流转,20 世纪 50 年代基本是人工送料和取件,工业化国家实现机械化和自动化,20 世纪 60 年代以后开始进入全自动化时期。多工位压力机的出现,更加提高了生产效率和工件质量。

三、成形工艺性初步分析

覆盖件成形的可能性分析是一项艰苦细致的工作。由于覆盖件形状十分复杂,其成形可能性计算没有固定的方法。拉深是汽车车身覆盖件冲压成形中最为关键的工序,因此汽车覆盖件的工艺性分析就主要在于拉深成形性分析。

传统的工艺性分析主要依靠个人的经验,通过粗略分析零件的几何特点、材料特性等,做出定性分析结论。

覆盖件的形状不论多么复杂,都可以将它分割成若干部分,然后将每个部分的成形单