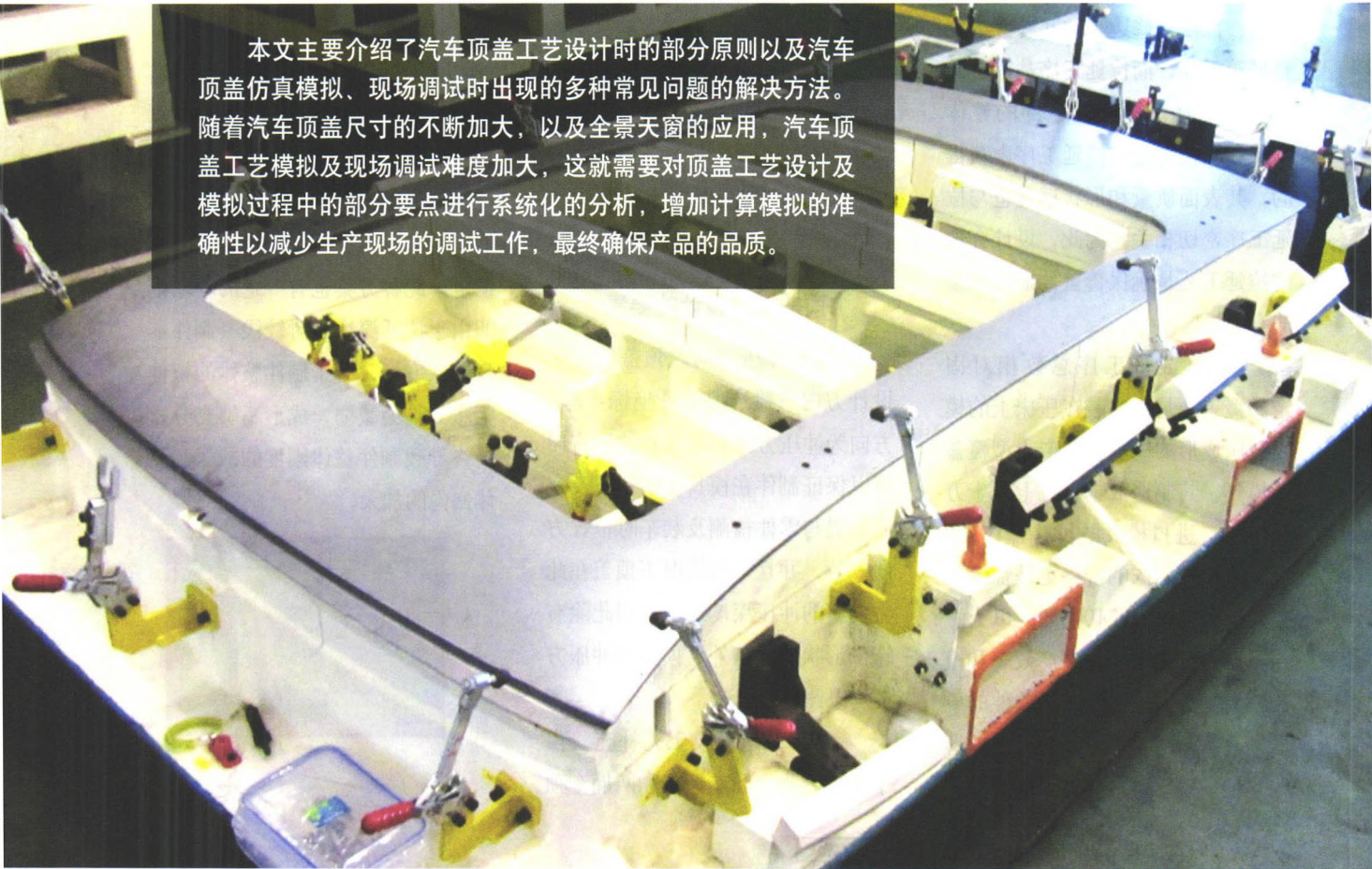


汽车顶盖成形工艺设计分析

□ 福特汽车（南京）工程与技术有限公司/王耿

本文主要介绍了汽车顶盖工艺设计时的部分原则以及汽车顶盖仿真模拟、现场调试时出现的多种常见问题的解决方法。随着汽车顶盖尺寸的不断加大，以及全景天窗的应用，汽车顶盖工艺模拟及现场调试难度加大，这就需要对顶盖工艺设计及模拟过程中的部分要点进行系统化的分析，增加计算模拟的准确性以减少生产现场的调试工作，最终确保产品的品质。



构成汽车车身的零件分为三类，即内覆盖件、外覆盖件和骨架件，前两者统称为覆盖件。所谓覆盖件，是指覆盖汽车底盘和发动机，构成驾驶室、车身内外形状复杂的薄板零件。与一般的冲压件相比，覆盖件具有材料薄、形状复杂（多为立体曲面）、结构尺寸大，表面质量高等特点。其中以外覆盖

件的要求最为严格，例如机盖外板、侧围外板、左右翼子板、门外板、背门外板及顶盖。此类外覆盖件产品形面在车身形面等级划分中，均被划分为A级面。这些车身外露件是消费人群直接接触到的零件，并且此类零件普遍为光顺曲面，没有复杂的特征形状，因此品质要求最为苛刻，成形难度最大，

对于回弹控制也最为困难。

工艺设计的内容和特点

覆盖件工艺设计由两部分内容构成（见图1）：一部分是服务于模具设计的工艺设计，主要是根据覆盖件的形状特点和质量要求，完成拉延模型面的工艺设计（后继工序模具的工作型面与拉延模基本

相同），确定成形工序数以及各工序的成形内容。另一部分则是针对冲压生产的工艺设计，包括压床选择、毛料规格、检验内容等。

覆盖件工艺设计的特点主要表现为针对模具工艺设计的特点，具体如下：

（1）拉伸件的设计是关键。一般说来，覆盖件的成形需要经过落料、拉伸、修边、冲孔、翻边及整形等工序，而拉伸工序是最重要的工序。因为覆盖件的整体形状和刚性都是在拉伸工序中获得的，其表面质量和形状精度也与拉伸工序密切相关。因此，设计合理的拉伸工艺是确保覆盖件成形质量的有力措施。

（2）成形工序总数相对固定。覆盖件是由安装在压床上的模具冲压成形的。一套国产大型覆盖件模具，其制造成本都在七八十万元以上，进口模具的价格都在100万元以上；压床的价格更是惊人，每台售价一般都在1000万元以上。为了兼顾制造成本、生产效率和模具结构复杂程度，一个覆盖件的成形模具一般不超过6套（不包括落料模），对于自动生产线、工序数

（模具套数）应等于该生产线上的压床数目，否则难以充分发挥自动生产线的优势。

（3）覆盖件的工序排序比较简单。由于覆盖件的成形模具总数相对固定，而每个覆盖件基本上都需依次经过拉伸、修边、冲孔、翻边、整形等成形工序冲制成形。因此，覆盖件成形工序名称的排序是相当容易的。工序排序的基本原则就是在后继工序不影响已成形部分的形状和精度的基础上，力求工艺合理，简便易行。

工艺设计技术

1.顶盖工艺设计的要素

（1）冲压方向。顶盖的冲压设计方向一般选取车身坐标系Z轴方向为冲压方向，选用此冲压方向可以保证制件在模具上的状态及空间位置与零件检测及装车时位置方向一致，并且一般情况下顶盖在此方向下的冲压深度最小，因此除有特殊形状的顶盖外，顶盖的冲压方向均以此原则选取。

（2）拉伸面及工艺补充。由于顶盖分为三厢车顶盖和两厢车顶

盖，两种顶盖在尾部的形状差异较大，且两厢车顶盖尾部一般在后序成形，因而此处仅以三厢车顶盖为代表，说明顶盖工艺中拉伸面以及补充的设计要点及优缺点。

1) 顶盖法兰边做拉伸面。此种方法即为以顶盖自身法兰面所在平面做为拉伸时的拉伸面，拉伸分模线为顶盖法兰边的内边界（见图2）。以此方法制作拉伸面可以有效提高材料利用率，降低单件产品的生产成本，并且缩小拉伸序的模具尺寸。另外，以此方案进行模拟分析及现场调试时，顶盖四个角部的上翘回弹情况会有明显的好转。但是，此种方案也有一定的弊端，即由于拉伸深度相对较浅（制件本身的深度），对于制件整体的拉伸膨胀效果会减弱，成形不够充分，最终导致制件整体刚度的减弱及整体回弹的加大。

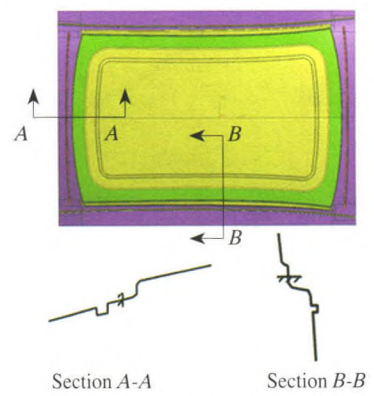


图2 顶盖法兰面做拉伸面

因此，在使用此种方法进行顶盖拉伸面的设计及拉伸补充的构建时，应注意以下两点：一是拉伸时必须使用锁死筋，既尽量控制并减少材料的流入，使拉伸成形时所需要的材料通过材料自身的膨胀变形获得，以便增加零件整体的塑性变形量以提高制件的硬度及刚度；二是个别顶盖当前后侧或左右侧的法

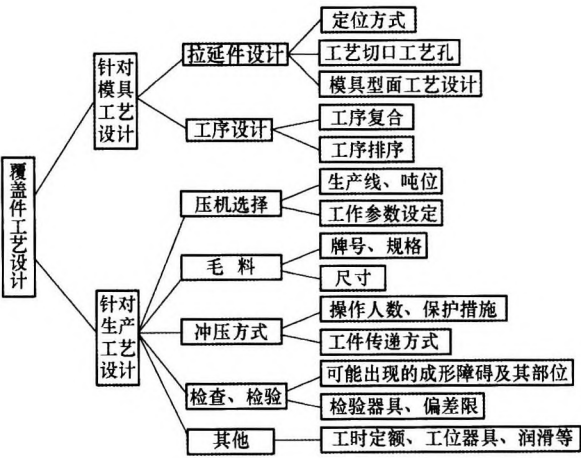


图1 覆盖件工艺设计的内容

兰高度不一致时，用最深法兰面做拉延面，其他较浅法兰面可以在凸模上。这种做法的优点在于，可以提高材料利用率，并且能够保证增加一定的拉延深度，使得板料在拉延成形时能够更充分的变形，得到更高硬度及刚度的零件。

2) 不使用顶盖法兰边做拉延面。不使用顶盖自身法兰面所在平面作为拉延时的拉延面，拉延分模线为拉延补充的凸模边界（见图3）。以此方法制作拉延面可以有效地增加拉延深度，提升零件的整体刚度。但是此种方法相对于使用法兰面做拉延面的工艺而言，材料利用率有所降低，并且最终产品四角位置的回弹量会变大，但是零件整体回弹情况会有好转。此种方案，由于拉延补充全部为工艺设计人员完成，因此对于补充的各个圆

角尺寸及立壁角度等数值可以根据以下提供的数值进行设计。

以上数值是通过总结大量顶盖工艺经验得出的数值，适用于绝大多数三厢顶盖。但是由于不同车型的顶盖尺寸及形状各不相同，如普通轿车顶盖尺寸较小，SUV及MPV的顶盖尺寸相对较大，因此设计理念不太相同，需要在工艺设计时进行细微调整，最终都要保证能够得到不皱不裂，满足各方面要求的拉延制件。

2.顶盖回弹处理的要点

金属在塑性变形过程中的卸载回弹量等于加载时同一载荷所产生的弹性变形，所以塑性弯曲的回弹量即为加载弯矩所产生的弹性曲率的变化。文献资料介绍了一些回弹计算公式，但由于所用力学模型过于粗糙，按这些公式计算所得出的

回弹量与实验数据差别较大，故常用于对复杂成形回弹问题作定性判断。

回弹公式的理论推导此处省略，只针对顶盖探讨一下在实际生产中普遍存在的一些回弹问题以及一些基本的处理方案。由于顶盖本身形状简单，没有足够的形状以及零件尺寸较大，并且顶盖属于A级型面，制件的品质要求非常高，加上顶盖的特殊位置（四周均有搭接件），导致了顶盖的回弹处理成为顶盖工艺设计中较为困难的一部分。因此，前期模拟过程中做好回弹补偿及回弹验证，对于减少现场调试工作量及得到高品质的产品有着至关重要的作用。下面就分别以顶盖整体A面回弹及法兰边的回弹进行分析说明。

(1) 制件A面的回弹处理。对于顶盖外露面的回弹处理方法一般为做整体隆起。具体实施时应注意以下几个要点：

第一，隆起量的设定。根据零件材质、形状以及拉延变形程度选取隆起量，一般选择隆起量为1~3mm。在制件做隆起时一定是整个型面隆起，以保证隆起从最大值位置到0值位置的均匀过度，保证A面的品质要求。

第二，隆起点的选择。无天窗顶盖的隆起点（最大数值点）一般取车身坐标系下制件的最高点，有天窗的顶盖（有天窗顶盖与无天窗顶盖在同一模具切换生产）共模时则推荐隆起点如图4所示UP点（天窗边界处的最高点）；隆起点的选择对顶盖整体型面的光顺度及回弹起着至关重要的作用，因此确定好此点的位置是保证整个回弹补

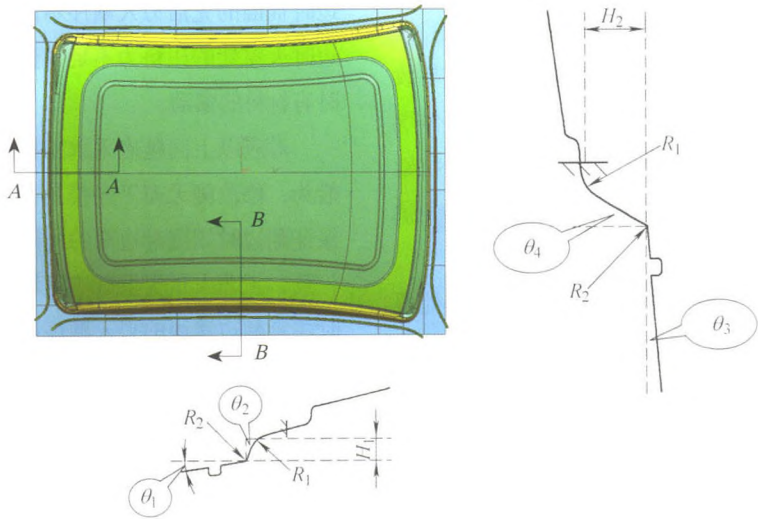


图3 不使用顶盖法兰边做拉延面及特征尺寸要求

R_1 : 凸模圆角。（尽量取大，一般R20左右）

R_2 : 凹模圆角。（R8）

θ_1 : 前后侧（车身位置）拉延面与水平方向夹角。（一般 $100^{\circ} \sim 150^{\circ}$ ）

θ_2 : 前后侧（车身位置）补充立壁与水平方向夹角。（ 20° 左右）

θ_3 : 左右侧（车身位置）拉延面与水平方向夹角。（一般 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ）

θ_4 : 左右侧（车身位置）补充立壁与水平方向夹角。（ 30° 左右）

H_1 : 前后侧（车身位置）补充立壁高度。（一般5~10mm）

H_2 : 左右侧（车身位置）补充立壁高度。（一般最深40mm左右）

偿起到作用的关键。

第三，拉延与修边工序都应使用隆起后型面，而且隆起数值相同。

第四，翻天窗工序也应适当隆起，隆起量1~1.5mm。

第五，各序隆起数值最大相差不超过0.5mm。保证前后序的形状误差，减少合模时制件的变形。将前后序尺寸控制好可以有效地减少车间的研合时间，最终提升模具生产的稳定性。

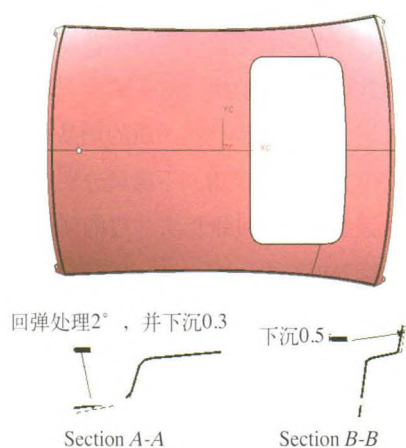


图4 回弹处理

(2) 法兰边的回弹处理。顶盖法兰边的回弹处理相对A面的处理简单的多，由于法兰边一般与其他零件搭接不属于外露面，并且一般模具在整形工序都要对法兰面进行墩死整形处理，因此法兰边在做回弹时只要根据具体回弹数值进行补偿即可。即使在拉延序所做回弹补偿没有使最终制件的法兰合格，后期制件品质提升阶段也可以使用后序的整形工艺对法兰边进行调整，能快速解决法兰边的回弹问题。因此，在处理法兰边的回弹时要注意的是法兰边回弹处理要在拉延序做出，整形的型面要与拉延型面相同（指首次加工时的法兰

面），整形序只需要对法兰边型面整形，圆角及立壁处要做0.2~0.5mm的让空处理以保证整形的稳定性，即在整形法兰边时不影响到整个A面的回弹。

3.顶盖的典型缺陷及对策

顶盖相对于其他覆盖件形状较为固定，因此个别缺陷具有通性，可以很方便地进行经验总结及问题分析。由于无天窗顶盖的整体性能要比有天窗顶盖的整体性能好，因此有天窗顶盖的缺陷问题要比无天窗顶盖的缺陷要多，并且缺陷一般会集中在天窗附近。下面针对顶盖的几种典型缺陷及处理措施进行分析。

(1) 拉延后四角凹陷（见图5）。顶盖拉延件四角处的凹陷是顶盖拉延中最为常见的一种缺陷，具体表现为凸模成形区域四角型面较周围圆角及型面有明显的凹陷。造成此缺陷的原因主要有两点：拉延凸模淬火后圆角处有隆起，导致拉延时制件圆角比型面高出，体现在制件上就为角部型面凹陷；拉延成形后期四角处多料，制件圆角拱起。

针对淬火后凸模圆角隆起处理方法一般为控制淬火工艺，保证整个凸模的淬火均匀性，淬火后进行研合保证凸模的光顺。而对于多料问题，工艺设计人员通常会通过增

加压边力，调整拉延筋，控制材料的流入速度，在保证成形性的前提下尽量减少材料的流入。

(2) 天窗处翻边立面超差。由于顶盖天窗处一般为周围翻边且翻边深度较大，此处的应力集中比较严重，因而在有天窗顶盖的许多缺陷都集中于此，天窗处合格率的提升占到了顶盖调试的大部分工作内容。

针对翻边立面超差一般表现为翻边后的立面与产品标准公差出现波浪性的超差，包括立面的型面及立面的边界（指翻边后的修边边界）都不同程度的存在超差现象，并且立面型面的超差会造成整车装配时窗口与天窗其他零件间隙不均匀的现象。

造成此缺陷的原因主要有：翻边序的翻边间隙不准确或不均匀，导致翻边之后的应力分布不均；翻边时周围的先后刃入顺序不同；翻边时天窗处的压料力不足导致翻边时有材料的窜动。

对应以上问题应采取的措施一般为：修改翻天窗工序模具型面，保证翻边时周围翻边面的间隙均匀一致；工艺人员提供翻边镶块型面时注意翻边镶块的刃入顺序或者采用下托芯结构进行模拟计算，保证翻边时翻边面的平整性；检查模具天窗处压料力是否足够，天窗周

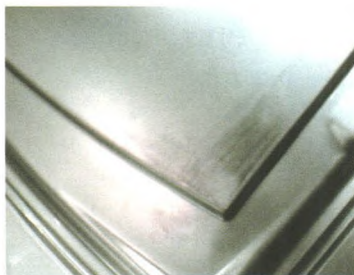
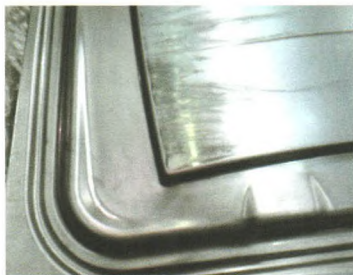


图5 四角凹陷

围的压力源应提供20T左右的压料力，因此工艺设计人员需要提供此位置的压料力，确保结构设计人员按照此力进行结构设计，保证此处的弹性元件能够提供足够的压料力。

(3) 天窗四角塌陷。天窗四角塌陷具体表现的形式为用油石打磨天窗四个角部平面发现有明显的凹陷，此问题肉眼难以发现，一般会通过油石打磨或者用手去摸的方式确定是否存在此种缺陷。此缺陷一般是由于四角处为伸长翻边，翻边圆角处有向上拱起的趋势，如果此处压料力不足或压料芯研合不到位极易出现此类缺陷。而对于此种缺陷的处理方法一般为：检查天窗四角处压料芯研合是否到位，着色是否均匀；保证天窗四角处必须有氮气缸，且每个氮气缸所能提供的压力至少为2.4T。

(4) 其他缺陷。在制件调试过程中有些缺陷可能不是由于工艺设计导致，比如出气孔过少导致拉延时整个制件的扭曲变形，现场流量与仿真模拟不一致导致的拉延制件四角破裂，天窗翻边后与凸模抱死等等，这些问题在前期工艺设计及模拟计算时是无法显露出来的，因此这些缺陷就需要结构设计人员和现场调试人员进行相应的更改，保证模具最终能够生产出合格的零件。

结语

本文重点介绍了汽车外覆盖件中的顶盖，针对顶盖工艺设计中的一些原则及个别问题进行了简单的阐述。随着国内汽车工业的不断发展，相信会有尺寸更大、材质更轻、成形更加困难的零件出现，我们需要不断的改进我们的工艺设计

思路及方法以适应并解决不断出现的问题，以便能够制造出更高品质的模具，更品质的汽车零件，更品质的现代化汽车。 **AUTO1950**



王耿

2010年毕业于哈尔滨工程大学，毕业后就职于天津汽车模具股份有限公司从事模具结构设计、工艺设计以及现场技术支持工作。2015年加入福特汽车工程研究院（REC），继续从事模具相关工作。对顶盖发动机盖以及地板类零件的成形工艺有着丰富的设计以及现场经验。

“铸”力共赢
KUKA机器人与奥普瑞思联合举办2016奥普瑞思工厂开放日暨智能制造交流峰会

2016年9月2日，全球领先的工业机器人制造商KUKA机器人（上海）有限公司联合奥普瑞思联合举办的2016奥普瑞思工厂开放日暨智能制造交流峰会在山东济南成功举行。开放日当天的展示活动中，KUKA专家向到场来宾系统地介绍了KUKA机器人的优秀品质及其在铸造行业和机床行业市场细分中的具体应用。基于其高度自动化的工艺流程和创新的机器人技术，KUKA始终致力于为全球范围内的客户提供最高效率的自动化解决方案。

KUKA铸造机器人具备耐高温、耐潮湿、耐粉尘的特点，完美适应铸造行业的环境需求。KUKA机器人可满足铸造行业的诸多应用，包括压铸取件喷雾、装配检测、锻造取件、机械加工、高压清洗、精密铸造、去毛刺、重力铸造、搬运及组装等。在压铸、锻造、去毛刺等机器人应用的重点领域中，KUKA提供的自动化技术发挥着重要作用。它能够规范产品偏差范围，大幅提升产品品质，经济型机器人单元的选择也相对降低了

自动化应用的成本。

重视合作、倡导共赢是KUKA公司所崇尚的经营理念，因此KUKA在各个行业与卓越的行业专家合作，为客户提供最理想的解决方案。KUKA借本次技术交流峰会的机会，与诸多行业嘉宾、学者及其他智能制造解决方案提供商共同探讨中国工业自动化、智能制造的发展趋势。凭借不断创新的全球顶级自动化解决方案，KUKA帮助铸造行业的客户实现自动化转型，登上智能制造的高峰。