

# 机器人滚边工艺的研究与应用

□ 奇瑞汽车股份有限公司 / 王作兵 何卓 邱胜苗 程娟

□ 奇瑞商用车（安徽）有限公司 / 孙艳

本文结合现场生产的经验，阐述了机器人滚边的种类、机器人滚边对工艺技术、产品设计的要求以及机器人滚边常见问题的攻关。

当今汽车制造业间的竞争日益激烈，汽车开发周期不断缩短，新车型不断涌现，柔性化车身生产线技术是针对当今制造业小批量多品种而发展的一种新的生产模式，是缩短汽车开发周期、提高产品竞争力的关键之一。

机器人滚边系统能够针对不同工件通过对工作程序做出相应改变来适应工作的不同特征，其克服了液压机配一套折边模具工艺难以实现柔性化生产、设备维护成本高、作业面积较大的问题；也解决了车门折边机折边力相对较小，工件成形质量不是很好的问题。本文结合现场实际使用情况，对机器人滚边工艺的研究与应用做简单介绍。

## 机器人滚边的种类以及工艺过程

机器人滚边工艺是机器人通过压轮在金属薄板边上以不同的角度

移动而使薄板边发生弯曲，从而达到所期望的包边角度。其主要种类有：扁平包边、突尖包边、凸起包边、环形包边、直接包边和180°包边（见图1）。

滚边的工艺可分为下面几个过程：

包前状态：被包件内板与外板都处于定位夹紧状态，夹角通常为90°。

预包状态：在预包时，水平方

向和垂直方向的分力成反比，水平方向的力大则垂直方向的力就小，反之亦然。因此机器人带动滚轮的进给量和角度必须控制在预压完成状态线与终包状态线30°~45°内，这样预包时得到的水平方向和垂直方向的分力才能使翻边获得较好的状态，否则易出现卷边和鼓边现象。

终包状态：将翻边完全压贴，使被包件的外形面与滚边模具的型

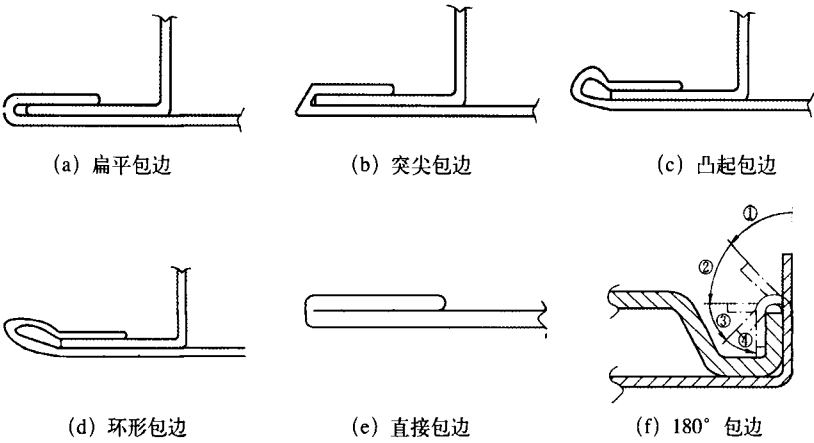


图1 包边种类类型

面压至一致，其主要是通过机器人的轨迹来控制。这个过程机器人的进给压力应尽可能的垂直与被包件表面。

以上三个过程和状态如图2所示。

机器人滚边的原理

机器人滚边系统一般由机器人PLC控制系统、滚轮系统、安全防护系统、滚边工装系统等四大部分组成。

(1) 滚边工装系统。滚边工装系统主要实现包边的外观形状和定位尺寸，也是采用机器人滚边技术进行柔性化生产的中心区域。工装系统有滚边底模及定位夹紧部分组成，来实现内板定位、外板定位、包边成形的功能，底模采用整体铸造数控加工而成，其型面与车门外板的型面相吻合，它的精度直接影响着车门的整体尺寸精度；定位夹紧部分包括车门外板件的定位夹紧及车门内板件的定位夹紧。外板件的定位及夹紧机构跟底模座连接在一起，外板件优先采用孔定位。如果外板件上无定位孔，则选择外形定位。内板件的定位夹紧结构有摆臂式、机器人抓持式等。夹紧单元的夹紧点主要布置在滚边沿线周围，使得内外板件在滚边结合部位都好好地贴合。

(2) 滚轮系统。滚轮系统是

机器人滚边的执行工具，由各种不同形状的滚轮组合而成。由于滚边技术本身的特点，滚边过程一般分为2~4次顺序完成，因此滚轮通常设计有45°轮、90°轮、成形轮、专用特殊轮。

(3) 机器人及其控制系统。机器人及其控制系统是机器人滚边的主体部分，用于控制滚轮的运动轨迹，以及机器人与其他相关系统之间的通信。包边机器人的工作原理：是让位于机械臂终端的滚轮能够沿着被包边工件的轮廓进行运动，通过滚轮所施加的力将工件在冲压过程中预留的翻边，也就是待包边在滚轮的作用下向内侧翻折，从90°到45°最好变成0°，从而将外板的待包边紧紧压紧内板，使外板和内板被融合成一体。

(4) 安全防护系统。安全防护系统用于控制机器人的动作，与滚边夹具、滚轮放置支架、安全光栅、安全门等系统之间进行通信，控制协调整个系统中每个单元之间的动作及顺序，并对整个系统进行故障报警监视。

机器人滚边对产品设计及工艺开发的要求

1. 滚边工艺对产品设计的要 求

(1) 原则上，需要滚边的外

板法兰高度应不超过10mm。水滴型包边除外，法兰高度的定义如图3所示。

(2) 滚边完成后，外板与内板交叠部分宽度应不少于3mm。但是，多于7mm会有波浪形的危险。

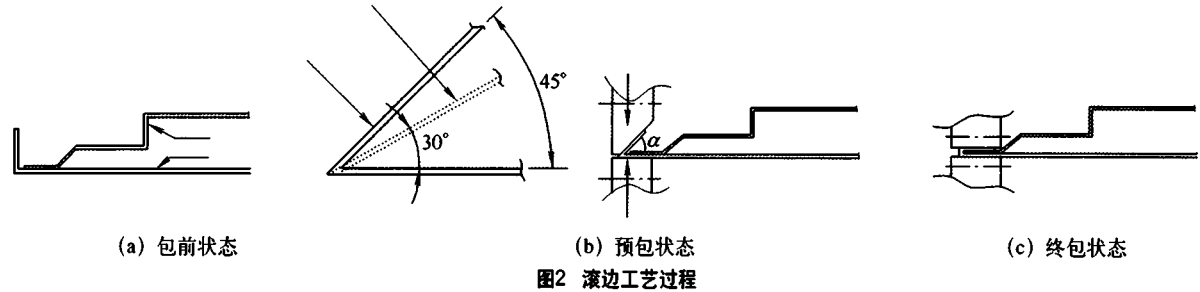
(3) 内板边缘与外板翻折处距离应在1~2mm。边缘间隙要求为 $(1+0.5d)$  mm。由于常见的外板板材均比较薄0.6~0.8mm，为方便放件和取件，故边缘间隙为1.5~2.0mm为宜，如图4所示。

(4) 避免过多的尖角，将过多的增加滚轮的换向及调整时间，造成节拍的延长。

2. 滚边工艺对工艺技术的要 求

目前，设计部门缺少一个明确的包边法兰高度的设计标准，在设计时，只有一个设计参考范围，缺少一定的行业设计标准。包边法兰高度的最终确立，是设计部门根据包边厂家、冲压厂家以及压合设备厂家所能达到的工艺来修正的结果。实践证明，法兰高度并非越大越好，也并非包住内板越多越好，以包住内板且保证不窜动为宜。一般情况下，在包边面交叠部分超过7mm时，包边后将存在外板波浪性变形的风险。

在给定包边法兰高度之前，先确定冲压翻边所能达到的最小高



度。以奇瑞汽车股份有限公司的冲压中心为例，冲压中心对板厚为0.6~0.8mm的板件所能达到的最小的法兰高度为3mm，所以，设计在给定外板翻边时不能低于3mm；低于3mm时将产生翻边形状不稳定，拉痕、毛刺等缺陷。

(1) 金属板厚为0.7mm时相应产品半径下包边可行性。对于产品无法达到的公差，轮廓尺寸需要控制在±0.3mm，长度尺寸控制在±0.3mm。具体见附表。

(2) 金属板厚为0.7mm时相应产品包边法兰高度标准。

长而平滑 ( $R > 50\text{mm}$ ,  $L > 150\text{mm}$ ) 过渡段 (见图5)，法兰高度：9~12mm，长而平滑的过渡段 (不含距离尖角处2~3mm)，

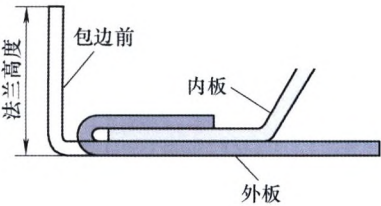


图3 包边法兰定义示意图

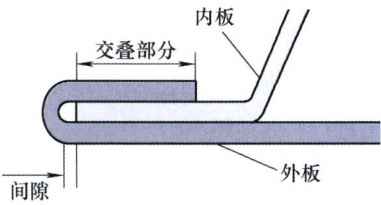


图4 内外板翻边间距示意图

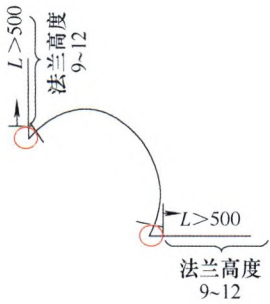


图5 长而圆滑过渡段

法兰高度为9~12mm，但是必须保证包边后交叠部分不能超过7mm，否则将出现局部波浪性变形的现象。

大圆弧 ( $R = (16 \sim 50)\text{mm}$ ,  $L > 150\text{mm}$ ) 过渡段 (见图6)，法兰高度6~9mm，大圆弧过渡段 (不含距离尖角处2~3mm)，法兰高度6~9mm，并在距离尖角处2~3mm左右开始向尖角处的法兰高度标准过渡。

尖角处2~3mm (见图7)，法兰高度3~5mm，尖角处法兰高度经验值为3~5mm，但不能超过5mm。在尖角处，是质量问题多发点，如果法兰高度控制不好，将出现堆料、褶皱、包边不实等现象。尖角处的包边角度一般为不包或者为30°~45°，尖角顶端一

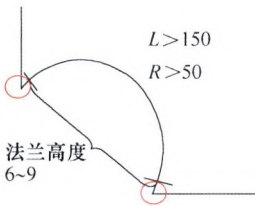


图6 大圆弧过渡段

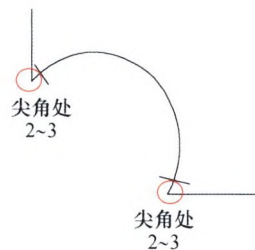


图7 尖角处

般不包，高度为(3~4)d (d=板厚)，即3mm，经过2~3mm过渡至与尖角相连的法兰高度标准 (包边角度由0° 即不包状态过度至30°~45° 的半包状态，再向90° 的全包状态过渡)。

短圆弧过渡段如图8所示，法兰高度5~6mm，圆弧过短时，法兰高度以小为宜，否则容易出现褶皱、堆料等现象。同时，在设计时，避免过多的短圆弧过渡，这样将增加机器人包边滚轮调整方向的工时，造成工时的延长。此处，在远离尖角处的法兰高度为5~6mm。

型面变化急剧及小圆弧段 ( $R < 8 \sim 16\text{mm}$ ) 如图9所示，法兰高度3~4mm，型面变化急剧及小圆弧段，很难实现完整包边，故对变化急剧的R角 ( $R < 4\text{mm}$ )，可以采

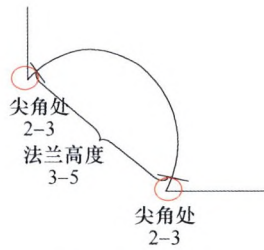


图8 短圆弧过渡段

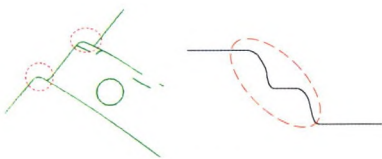


图9 型面变化急剧及小圆弧段

| 半径/mm  | 包边状态    | 法兰高度/mm    |
|--------|---------|------------|
| <4     | 不包      | 3~4        |
| >4~8   | 包边角度45° | 3~4        |
| >8~16  | 包边角度30° | 5~6        |
| >16~50 | 全包      | 6~9        |
| >50    | 全包      | >9 (max12) |

取不包边的形式，此处的法兰高度为 $(3\sim 4)d$ ，即 $2\sim 3\text{mm}$ 。此时，因冲压工艺的原因，法兰高度为 $2\sim 3\text{mm}$ 时，冲压件易出现起皱等现象，可以利用包边工艺加以弥补，增加滚轮对该处法兰型面沿着胎具进行滚压修正，使边缘平顺；对 $R$ 角较小的地方、尖角处和圆弧过渡的地方，一般采用对 $30^\circ\sim 45^\circ$ 包边，此时的法兰高度则需要调整到 $3\sim 4\text{mm}$ 。

## 机器人滚边工艺技术难点及攻关

### 1. 角部成形难点

外板包不住内板。出现这个问题的主要原因是由于外板冲压件的翻边高度与内外板边缘间隙不匹配导致而成。边缘间隙要求为 $(1+0.5d)\text{mm}$ ，由于常见的外板板材均比较薄 $0.6\sim 0.8\text{mm}$ ，为方便放件和取件，故边缘间隙为 $1.5\sim 2.0\text{mm}$ 为宜。此时需要调整尖角处边缘间隙和尖角处法兰高度。

### 2. 堆料起皱

此问题与上一个问题产生的机理有相同之处，主要受外板件的法兰高度及包边角度影响，包边角度过大是导致此问题的最大原因。如尖角处一般不进行包边，如果强行包边将会出现此种堆料起皱现象。解决途径：根据产品半径下包边可行性参数，调整翻边角度及修改滚边程序。

### 3. 出现尖角及尖角处下榻、反弹

尖角主要是由滚边程序造成

的。可通过调整滚边程序，特别是控制 $45^\circ$ 轮滚边轨迹的程序。尖角最容易出现在角度小于 $80^\circ$ 的门角，常见于前门后上角。尖角下榻及尖角处反弹产生的原因也很多，有设计的也有包边机工装夹具及包边程序的自身原因。

设计原因主要为内板尖角处缺少加强或者加强方向和产生变形方向一致而无法起到加强作用；包边机工装夹具及包边程序的自身原因主要体现在工装夹具夹紧点不够，包边过程中板件和胎具脱离。

另外，包边时夹爪打开过多，整个外板件低于75%的边缘受力，滚轮滚边之后，在未受到夹紧力处会产生弹性变形。尖角处反弹较为明显，行成尖角变形、下榻；程序原因还体现在已完成包边的边切换到未包边的边时，已包边的边的夹爪还未夹紧，未包边的边的夹爪却已打开，此时造成整改外板仅有50%的边缘受力，出现整个外板的窜动，此种情况下，可以通过调快已完成包边的边的夹爪夹紧速度，降低未包边的夹爪的打开速度，来保证板件始终在75%边缘夹紧力。

### 4. 直边波浪变形

波浪变形原因有四种。一是设计缺陷，在包边区域附近存在与外板间隙过小的干涉点，滚轮避让时无法到位造成的表面波浪形变形，如车门下方漏液孔设计时与外板间隙过小时，即会出现顶外板造成的波浪变形。

二是法兰高度过高，根据现场调试验证的S16车型，发现车门前侧的法兰高度为 $12\text{mm}$ 时，包边完成后车门外板即出现明显的波浪形

变形，而车门后侧的法兰高度为 $10\text{mm}$ ，均未出现过波浪形变形现象。

三是冲压件自身带来的缺陷，这就需要冲压件来进行保证。

四是在铝板件中，尤其是在较长的直边极易发生，常见于高档轿车的铝制发动机罩两侧。

### 5. 成形后外板表面质量缺陷

这是一个综合性问题。当胎具及定位夹紧机构与外板件产生干涉或者胎具上存在赃物时，容易在外板上产生凹点；当冲压件，尤其是内板件在滚边结合区域存在凹凸不平时，这些缺陷就会印制在外板表面；当成形滚轮的压力设置不合理时，外板上同样会留下凹凸不平缺陷；在滚轮滚压过程中存在间歇性停顿时，会引起外板波浪变形及局部区域存在包边不实或者包边间隙等缺陷。对这些缺陷，需要针对具体问题具体对待，对问题区域的胎具、定位夹紧机构、板件质量及程序合理性分别进行仔细检查，逐一排查，直到找出问题的症结所在，这样就能对症下药，对所出现的缺陷进行有效地解决。

## 结语

机器人滚边是一门新兴的工艺形式，滚边后成形美观，可以给人带来比较饱满的视觉感受。它具有车型柔性生产、成形质量好、设备投资少、作业面积小，有效节约空间等优点。另外，随着工程专业技术人员对滚边工艺研究的不断加深，其将是车身外件包边成形的一个方向和趋势。AUTO1950