

# 包边技术概述及机器人滚边技术探讨

李红华，孙忠涛，孙保根，王楠，李斌，张旭光

一汽解放青岛汽车有限公司 山东青岛 266217

**摘要：**对汽车行业常见的几种包边技术进行概括性对比分析，介绍手工包边、压机模具包边、专机包边及机器人滚边等不同包边技术的优缺点。对机器人滚边形式进行归纳分类，从机器人滚轮系统、滚边胎模夹具系统及控制系统3个方面探讨机器人滚边系统的构成，并对机器人滚边流程、滚边压力、滚边速度及车型切换机构等进行研究，表明机器人滚边技术具备高柔性、低成本和高质量的特点。

**关键词：**汽车；车身；包边；滚边；机器人



焊装工艺设计师 李红华

## 1 序言

随着汽车行业竞争的加剧，汽车的外观造型越来越受到重视。门盖及翼子板等覆盖件作为汽车车身的主要外观件，其外观质量的重要性不言而喻。包边工艺因其特有的成形美观性，通常取代点焊等工艺作为车身外观覆盖件的最后一道工序。

为适应汽车柔性化、智能化和节约化生产的要求，机器人滚边技术已经逐步替代压机包边、专机包边等工艺，成为车身门盖及翼子板成形技术的发展方向。下面结合对不同包边工艺的原理介绍和某车型车门机器人滚边的实际应用，对机器人滚边技术进行分析与研究。

## 2 包边的定义

包边（见图1）工艺是指通过适当的压力将一个钣金件（通常为外板）的翻边翻折压平后，包裹住

另一个钣金件（通常为内板），使两个钣金件压合成为一体的一种连接方式。

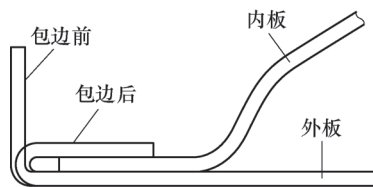


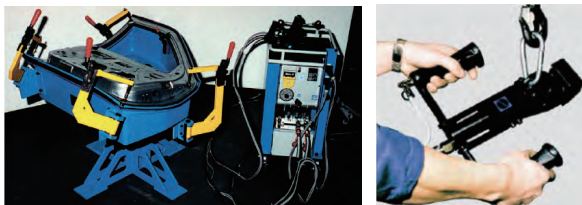
图1 包边示意

## 3 包边的分类

汽车行业常用的包边工艺按其用途不同，主要分为手工包边、压力机模具包边、专机包边及机器人滚边等<sup>[1]</sup>。

### 3.1 手工包边

手工包边（见图2）是通过一个简易的胎具支撑待包边件，操作人员使用木榔头等工具逐点、逐段敲砸成形，或使用液压、风动折边工具逐段压合而成，完成门盖等产品的包边工作。



a) 手工包边台

b) 手持包边头

图2 手工包边

该方法设备简单，投入低，占地面积小。但是存在操作人员劳动强度大、包边质量一致性差、工

作效率低及车间噪声大等缺点，只适用于试制或小批量生产。

### 3.2 压力机模具包边

压力机模具包边（见图3）是在大型的压力机上装载包边模具，将工件的内、外板总成分别放入包边模具内，通过上下模具的压合实现钣金件的包边连接。目前多采用复合包边模具，即仅需一次压合即可实现预包边（45°包边）和终包边（90°包边）两道包边工序。通过换模机构更换不同的包边模具，实现不同产品的切换。

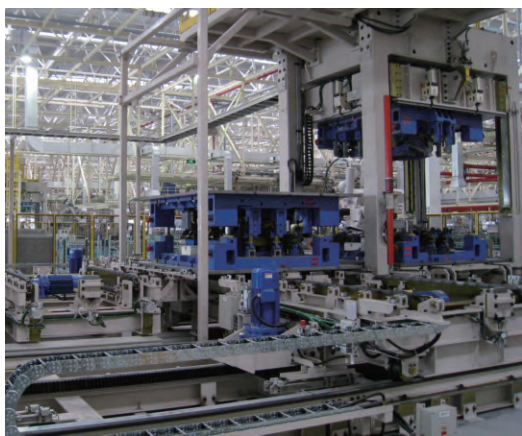


图3 压力机模具包边

该方法包边质量最可靠，包边成形效果较好，效率高，但是存在一次投资成本大、柔性较差及占用场地面积大等缺点，不适用于小批量多品种生产。

### 3.3 专机包边

专机包边（见图4）是把包边设备和模具设计为

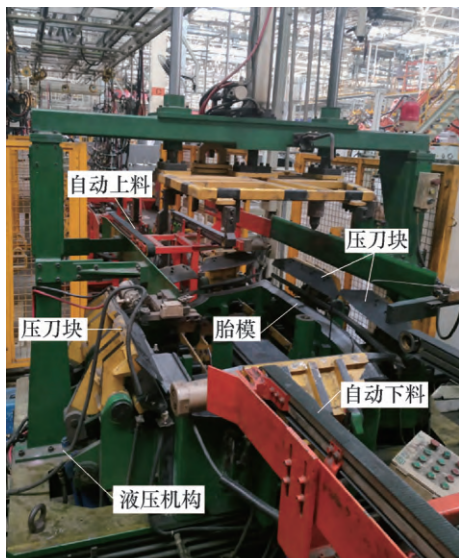


图4 专机包边

一体，专用于一种产品的包边技术。根据驱动源的不同，分为液压式和伺服式两种，分别利用液压系统和伺服电动机产生动力，带动压刀块推挤外板翻边弯折到位，实现包边。主要由主机、包边模具、液压站（或伺服电动机）以及电控系统等组成。根据需要可设置自动上料、出料传送机构。

该工艺成本较低，生产效率高，空间需求小，布置方式灵活。但是一套包边专机只能实现一种产品的包边，产品变更时，必须将整个包边机全部更换，柔性能力差，适用于单一品种大批量生产。

### 3.4 机器人滚边

机器人滚边（见图5）工艺是指通过控制安装在机器人上的滚边工具（滚轮系统），在固定的滚边胎模夹具上，按预定的程序和轨迹，沿着已翻边的外板的边缘对外板进行多次反复滚压，从而使外板包裹住内板，完成折边压合的一种连接技术。

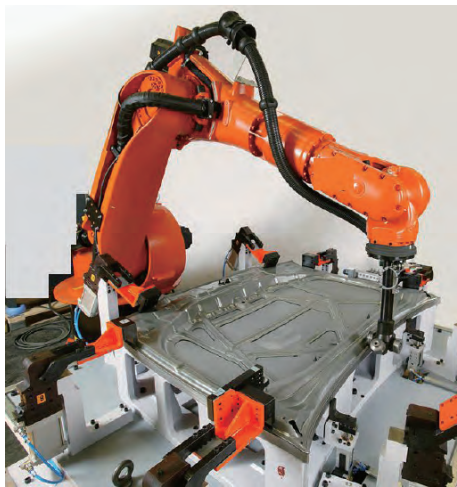


图5 机器人滚边

机器人滚边技术通过设置滚边胎模夹具的自动切换装置，即可实现多种车型的共线生产，具有柔性高、自动化程度高、噪声小以及可实现铝合金板件的包边等优点。当产品更新换代时，只需要更换胎模夹具、修改滚轮及更新控制程序即可，不仅降低了生产成本，而且缩短了项目准备周期。其缺点是生产效率比专机包边和压机模具包边低。

20世纪90年代，奥迪公司在研发铝合金车身时发现，传统的包边工艺应用于铝合金材质的门盖总成时易出现裂纹等诸多问题，为此，奥迪公司联合EDAG公司开发了一套适用于铝合金材料的包边技术，即机器人滚边技术。

## 4 机器人滚边类型

机器人滚边适用于多种形式的包边。根据包边轮廓断面的不同，分为普通包边、楔形包边、水滴包边、半包边及车顶天窗包边等。

### 4.1 普通包边

普通包边是实际应用中最常见的一种包边类型，其工艺相对简单，广泛应用于门盖、翼子板等区域。普通包边如图6所示。

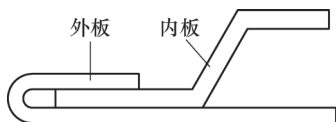


图6 普通包边

### 4.2 楔形包边

楔形包边（见图7）是普通包边的一种改良，通过将翻边位置滚压成楔形来实现。该种包边结构具有从不同视角观看时面差和角度相似的特点，主要应用于外观要求较高的部位。

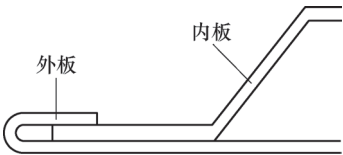


图7 楔形包边

### 4.3 水滴包边

水滴包边是指在折弯区存在很大的圆弧，类似于水滴状的一种包边形式，水滴包边如图8所示。该种包边不仅是为了外观美观，更重要的是考虑安全因素，通常应用于引擎盖，以降低发生碰撞时对行人或乘客的伤害程度；或者是应用于延展性能较差的材料包边，避免出现包边裂纹。

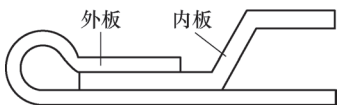


图8 水滴包边

### 4.4 半包边

半包边是指外板部分折弯，外板与内板不贴合的一种包边，半包边如图9所示。该种包边主要应用于车门拐角处无法进行正常滚边的情况。

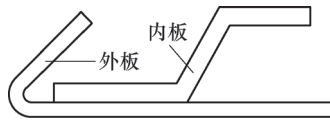


图9 半包边

### 4.5 车顶天窗包边

车顶天窗包边指的是在包边过程中，通过4~6道滚压工序，将外板最终翻折变形180°的一种包边，车顶天窗包边如图10所示。该种包边主要应用于顶盖天窗等特定场合。

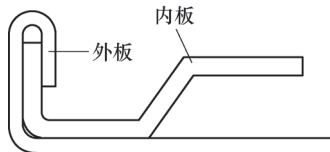


图10 车顶天窗包边

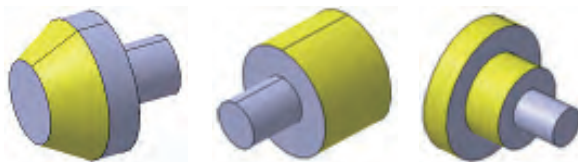
## 5 机器人滚边系统构成

机器人滚边系统主要包括3大部分：滚轮系统、滚边胎模夹具系统、机器人及其控制系统。

### 5.1 滚轮系统

滚轮系统是直接执行滚压工件的系统，主要由滚轮组件和连接组件两部分构成。

（1）滚轮组件 滚边过程中，由于滚轮与板件直接接触，对板件进行滚压，因此需要对其表面进行硬化处理，使其表面硬度达到55HRC以上。根据滚边工艺的不同，通常一套滚轮系统上会安装多个不同形状的滚轮，如锥形滚轮（一般作为预包边轮）、圆柱滚轮（一般作为终包边轮）以及水滴包边轮等。滚轮种类如图11所示。



a) 锥形滚轮 b) 圆柱滚轮 c) 水滴包边轮

图11 滚轮种类

（2）连接组件 有刚性连接和弹性连接两种。刚性连接滚轮系统无缓冲，机器人通过位移变化控制滚轮压力，刚性滚轮系统结构如图12所示。其特点是结构简单、成本低，但是在滚边过程中容易产生刚性冲击，滚边质量难以得到保证。





图12 刚性滚轮系统结构

弹性滚轮系统设置有弹簧、气囊或气缸等压力调节缓冲装置，滚边时可通过弹簧、气囊的压缩量变化或气缸的伸缩调节滚边压力。该种结构能避免滚轮与板件和胎模之间的刚性冲击，不仅提高了滚边质量，而且能对滚边系统起到很好的保护作用。弹性滚轮系统结构如图13所示。

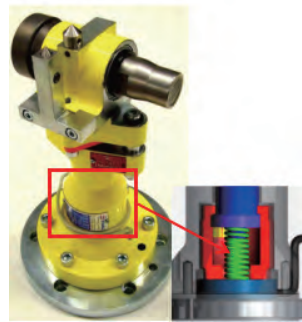
## 5.2 滚边胎模夹具系统

滚边胎模夹具系统主要由滚边胎模和定位夹紧机构两部分组成。

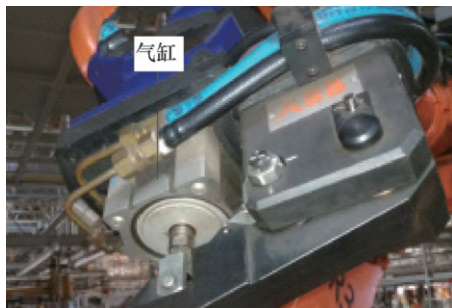
(1) 滚边胎模 滚边胎模（见图14）作为板件的支撑面，由于在滚边过程中需要承受很大的滚边压力，所以要求其必须具备足够的强度、刚度和耐磨性，通常要求其表面硬度 $\geq 50\text{HRC}$ 。滚边时，胎模与待滚边件直接接触，其表面质量直接影响滚边后板件的最终成形质量。

(2) 定位夹紧机构 在滚边过程中，必须使用定位夹紧机构对内、外板进行夹紧和精定位，以保证外板外观面与胎模面紧密接触，以及内、外板之间的位置精度匹配，同时可以使滚边过程中板件不会因受力而发生窜动。

外板定位方式如图15所示。对于外板的定位，要优选专用定位孔方式。当外板没有定位孔时，可采用可伸缩的挡块（定位块）对外板轮廓进行定位。此时定位块的位置和数量要布置得合理、充分，以保证滚边过程中当部分定位块打开时（避让滚轮），外板不会产生移动。另外，通常还会设置多个吸盘对外板进行辅助定位，以保证外板与胎模贴合良好<sup>[2]</sup>。



a) 弹簧缓冲



b) 气缸缓冲



c) 气囊缓冲

图13 弹性滚轮系统结构

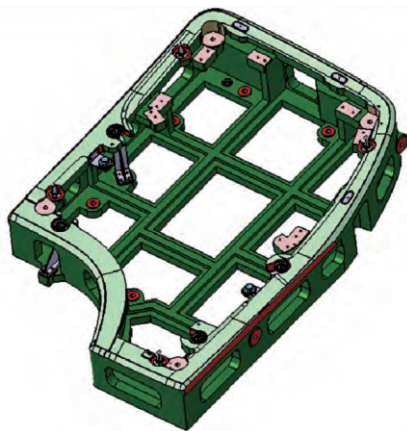


图14 滚边胎模

内板的定位方式（见图16）根据结构形式的不同，分为胎模夹具式定位、外部气缸压合式定位、摆臂式夹具定位和抓具式定位等。不同项目可根据

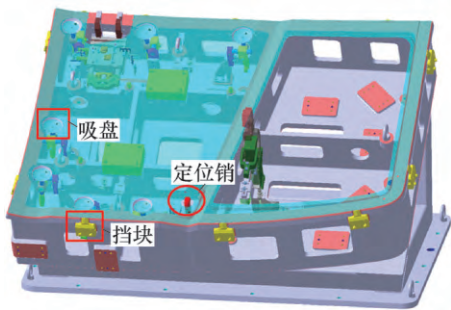


图15 外板定位方式



图16 内板的定位方式

实际需求选择最合适的方式实现对内板的定位<sup>[3]</sup>。

### 5.3 机器人及其控制系统

机器人主要用于控制滚轮的运动轨迹，常用的滚压机器人品牌有ABB、KUKA和FANUC等，不同品牌间的差别不大，实际应用时，根据具体工艺需求（如滚压力、滚边速度和滚边范围等）选择合适的型号即可。

控制系统主要用于控制机器人的动作，以及与涂胶系统、胎模夹具系统、切换单元、安全防护装置和信号检测等系统之间的通信，控制协调整个滚边系统中各个单元之间的动作及顺序，并对整个系统进行故障检测和报警监视。

## 6 机器人滚边工艺

### 6.1 滚边流程

不同的滚边种类，其滚边过程也不相同，整体

来讲，机器人滚边过程（见图17）通常分为以下3步。

（1）定位夹紧 将焊接完的内板总成放入已涂好折边胶的外板总成中，通过夹具或抓具对内外板进行定位夹紧。

（2）预滚边 根据板件翻边开角大小、翻边高度、板件内外部几何结构的复杂程度和材料特性等方面的差异，预滚边又可通过一次或多次实现，根据实际经验，一次预滚边（如将外板翻边由90°内折成45°包住内板）和两次预滚边（如每次翻折30°，将外板翻边由90°内折成30°包住内板）应用最为广泛。

（3）终滚边 将预滚边后剩余的45°或30°翻边继续翻折至0°，使内外板压紧贴合，实现内外板装配。

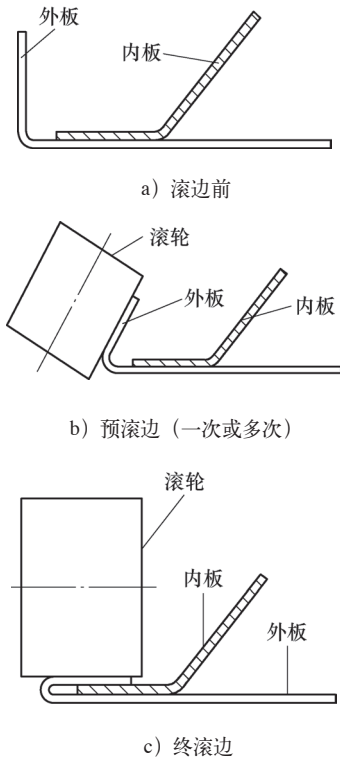


图17 机器人滚边过程

另外，机器人滚边的路径设置采用的是正反向交叉式，即上一次滚边的终点，将作为下一次滚边的起点，机器人滚边路径顺序如图18所示。以此

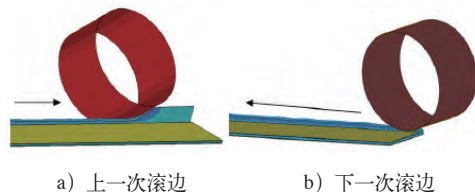


图18 机器人滚边路径顺序



来防止堆料缺陷的产生和避免尺寸误差的累积。

## 6.2 滚边压力

机器人滚边过程中选择合适的滚边压力尤其重要，若滚边压力过小，则会导致外板不能紧固地包裹住内板；若滚边压力过大，则会导致终滚边后外板表面出现压痕等缺陷。

机器人滚边的压力根据工件材质、工件几何结构及滚边类型等具体情况而定。另外，对相同部位，预包边和终包边的滚边压力不同，在不同部位的滚边压力也不相同。滚边压力的大小是根据实际经验和滚边设备生产厂家的试验结果所得。一般来讲，钢件的滚边压力大于铝合金件，而同一材料的终滚边压力大于预滚边压力。比如，钢件的预滚边压力大约为500~900N，终滚边压力大约为1000~1800N；铝合金件的预滚边压力大约为300~600N，终滚边压力大约为700~1400N。

## 6.3 滚边速度

作为滚边过程中的一项关键工艺参数，滚边速度指的是滚轮沿着胎模边缘行进的速度，它不仅关系着滚边的生产节拍，更关系着板件滚边成形后的质量。

机器人滚边速度最高可达400mm/s以上，滚边时需要根据实际包边轮廓进行适当调整。一般在平滑区，由于形状简单、曲率变化较小，板件在滚边过程中的应力容易得到释放，不易产生质量缺陷，因此一般将速度设置为200~300mm/s；在曲率变化较大的区域，滚边速度要慢一些，通常在80~200mm/s；在拐角等轮廓突变区，滚边速度则要更慢一些，约为30~80mm/s。

## 6.4 车型切换

由于不同车型的滚边轨迹可以通过编辑机器人和电气的程序轻易实现，所以机器人滚边工艺中，车型的切换主要受制于不同车型滚边胎模的切换。目前最常用的两种胎模柔性切换工艺是转台式胎模切换和导轨式胎模切换<sup>[4]</sup>。

转台式胎模切换（见图19）指的是将2种或4种车型的胎模放置在两面体转台或四面体转台上，通过电动机驱动转台旋转，将要生产车型的胎模切换至滚边工作位置，实现不同车型的柔性自动切换。

导轨式胎模切换（见图20）指的是将不同车型的胎模放置在一字型或十字形导轨滑台上，通过电

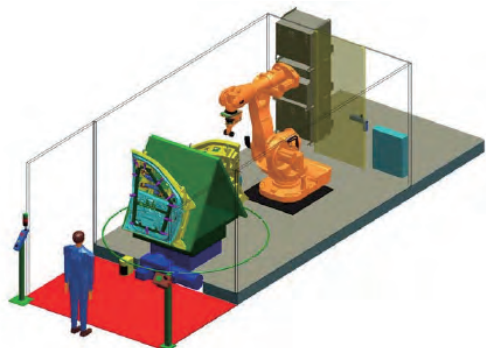


图19 转台式胎模切换

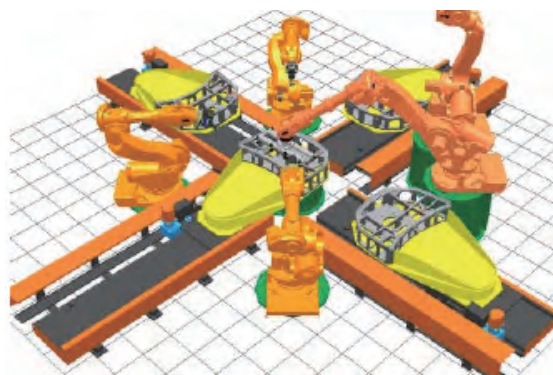


图20 导轨式胎模切换

气程序控制电动机驱动胎模在导轨滑台上滑移至滚边位置，实现不同车型的柔性自动切换。

## 7 结束语

本文对传统的手工包边、压机模具包边和专机包边进行了介绍，并对其优缺点和应用场合进行了对比说明；探讨机器人滚边的类型、滚边系统以及滚边工艺等，印证了机器人滚边技术具备高柔性、低成本和高质量的特点，代表着白车身四门两盖、翼子板及天窗等部位成形连接技术的发展方向。

### 参考文献：

- [1] 王丽娟. 滚压包边成形缺陷的研究[J]. 现代制造技术与装备, 2016 (7) : 17-18.
- [2] 韩金娥. 汽车铝合金前盖滚边工艺仿真研究及实验验证[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [3] 王健强, 张婧慧. 机器人滚边技术及应用研究[J]. 现代制造技术与装备, 2010 (3) : 3-5.
- [4] 杨竹君. 机器人滚边工艺及系统研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.

MW 20220621