

电子科技大学

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

案例分析报告

Experimental Report



报告题目 机器人滚边技术分析

专 业 机器人工程

姓名: 经彭宇 学号 2021040902007 分工 资料查询+写报告

姓名: 江德杰 学号 2022040903010 分工 PPT 制作

姓名: 吕嘉睿 学号 2022040903003 分工 PPT 制作

姓名: 李涛 学号 2022040903016 分工 PPT 制作

姓名: 土多曲旦 学号 2022040903005 分工 PPT 汇报

摘 要

滚边是汽车外覆盖零件常见结构，广泛存在于车门、发动机盖、行李箱盖总成。随着技术发展，机器人滚边技术因其系统柔性程度高、成本低等特点，应用规模逐渐扩大。文章详细探讨了机器人滚边技术在制造中的原理、结构和应用，并深入分析了其在环保、高效、成本节约和生产效率等方面的体现和评价。着重介绍机器人滚边技术对于制造的价值及其带来的新的挑战。通过查阅中外文献，对机器人滚边技术的后续发展和挑战提出了总结与展望。

关键词：滚边技术、机器人、汽车

ABSTRACT

Rolling edge is a common structure of automotive exterior covering components, widely found in door panels, engine hoods, and trunk lids. With the development of technology, the application scope of robot rolling edge technology is gradually expanding due to its high system flexibility and low cost. The article elaborates on the principles, structures, and applications of robot rolling edge technology in manufacturing, and deeply analyzes its manifestations and evaluations in aspects such as environmental protection, efficiency, cost savings, and production efficiency. It emphasizes the value of robot rolling edge technology for manufacturing and the new challenges it brings. By reviewing domestic and foreign literature, a summary and outlook are provided for the subsequent development and challenges of robot rolling edge technology.

Keywords: Rolling edge technology, robot, automotive

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	II
目 录	III
第一章 引言	1
1.1 选题背景与意义	1
1.2 国内外发展	1
1.3 课题研究的主要内容	2
第二章 机器人滚边技术介绍与原理	3
2.1 机器人滚边技术介绍	3
2.2 机器人滚边技术原理	4
2.3 本章总结	6
第三章 机器人滚边技术在‘绿快省效’方面体现及评价	7
3.1 在‘绿快省效’方面体现	7
3.2 在‘绿快省效’方面评价	8
3.3 本章总结	10
第四章 总结与展望	11
参考文献	12

第一章 引言

1.1 选题背景与意义

随着汽车市场竞争的日益激烈，包边技术在汽车制造中的地位和作用愈发凸显，汽车制造商越来越关注汽车的可靠性和可用性。因此，汽车制造商开始采用柔性化的生产方式，以便在同一条生产线上同时生产不同的汽车。例如，五门一盖的包边工艺通常使用液压机来完成，但这种方式会占用较大的空间，并且在多个汽车型号混合生产时，很难满足汽车型号的切换需求^[1]。

此外，消费者对汽车外观的要求也越来越高。汽车的外观造型是顾客选择汽车的一个重要因素，而作为汽车外观件的四门两盖的外观质量非常重要。因为四门两盖的内外板连接技术应用好坏在很大程度上决定了四门两盖等汽车外表件的质量^[2]，尤其是对于汽车主要外表件如门盖和翼子板的精美程度其外观质量的影响不言而喻。包边技术因其独特的成形美观性，常常代替点焊等工艺技术成为汽车外表包覆件的最后一个环节。这使得包边工艺成为汽车制造中一项不可或缺的关键工艺。

包边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^[3]，包边技术包括手工包边，压力模具包边，专机包边和机器人滚边。其中机器人滚边技术在这四类中尤其突出。

机器人滚边技术具备高柔性、低成本和高质量的特点，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^[4]。

机器人滚边技术的出现，为提高生产效率、减少材料浪费、提升产品质量提供了新的解决方案。因此，深入研究机器人滚边技术的原理、应用和发展趋势具有重要意义。

1.2 国内外发展

在全球范围内，机器人滚边技术的研究和应用取得了显著的进展。在中国，随着制造业的快速发展和智能制造的推进，机器人滚边技术得到了广泛应用和发展。随着技术的不断发展，许多制造商正在使用先进的机械手段，如轮子滚筒，取代了原有的手动操纵，大大提升了生产的效率，减少了成本，同时也确保了产品的精准度与可靠性。机器人滚边技术在发达国家相当成熟，始于二十世纪初（杨竹军，

2012) [5]。虽然这项技术在近十年来发展迅速，并应用于中国汽车工业，一些国内企业如沈阳机床、广州数控等在机器人滚边技术领域进行了大量的研发工作，并取得了一些重要的成果。例如，他们开发了一系列高性能的机器人滚边设备，能够适用于不同材料和复杂形状的边缘加工需求[6]。但它需要我们积极学习并不断创新自己的产品，这样才能提高中国机器人滚边技术的地位。在国外，特别是在发达国家，机器人滚边技术也得到了广泛的应用和发展。欧美等地的制造企业积极采用先进的机器人技术来进行边缘滚制，以提高生产效率和产品质量。一些国外公司如 ABB、KUKA、FANUC 等在机器人技术领域拥有先进的研发实力，他们不断推出新型的机器人滚边系统，具有更高的精度、更快的速度和更广泛的适用性，满足了不同行业的边缘加工需求[7]。

国外汽车制造企业在引进机器人滚边技术方面处于领先地位，不仅提高了生产效率，还大幅提升了产品质量和外观美感。国内汽车制造业也在积极探索机器人滚边技术的应用，但整体仍处于起步阶段，需要进一步加大技术研发力度，提升自主创新能力。

1.3 课题研究的主要内容

本报告在第二章将探讨机器人滚边技术的原理、组成结构、实际应用。第三章将讨论其在“绿快省效”方面的体现和评价，并说明 4 个方面是否有相互冲突和如果冲突其解决的方法。第四章将对本文进行总结，通过对机器人滚边技术进行深入分析，为汽车制造企业提供参考，推动我国汽车制造业向高端、智能化方向迈进。

第二章 机器人滚边技术介绍与原理

机器人滚边技术作为汽车制造领域的重要工艺，在提高生产效率和产品质量方面发挥着重要作用。通过精确控制滚边工具的运动轨迹和力度，机器人滚边技术能够实现复杂的板件连接，在现代制造业中扮演着重要的角色。

本章将介绍机器人滚边技术的原理、应用以及不同类型，以及机器人滚边系统的组成和工作过程。

2.1 机器人滚边技术介绍

机器人滚边技术是一种先进的汽车制造工艺，它利用机器人装置和滚边工具，通过精确的控制和运动轨迹，在固定的滚边胎模夹具上对外板进行多次滚压，使其包裹住内板，从而实现两者之间的连接，如图 2-1 所示。相比传统的包边工艺，机器人滚边技术具有更高的自动化程度、生产效率和产品质量。奥迪公司曾联合 EDAG 公司开发了一套适用于铝合金材料的包边技术，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^[8]。此外机器人滚边有许多不同的类型。



图 2-1 机器人滚边技术^[9]

机器人滚边类型有五种，如图 2-2 所示，从左到右依次是普通包边、楔形包边、水滴包边、半包边和车顶天窗包边。

普通包边技术在实际应用中十分普遍，它的制作过程简单易行，可以被广泛地用于门盖、翼子板等部件的加固和装饰。

楔形包边是一种改进的包边技术，它通过在翻边处使材料滚压成楔形来提升其强度和耐久性。这种结构能够满足外观要求较高的场合，并且在视觉上更加美观。

水滴包边具有明显的曲线优势，其特点是具有极强的抗拉强度和抗压强度，可有效地减少车辆受到冲击的可能性。它的使用可以满足汽车制造商的高标准，比如汽车的内饰、车身的装饰、车轮的固定等，从而提高汽车的整体使用寿命和可靠性。

而半包边是内板不贴合的一种包边该种包边主要应用于车门拐角处等无法进行正常滚边的情况。

车顶天窗包边是在在包边过程中，通过 4~6 道滚压工序，将外板最终翻折变形 180° 的一种包边。

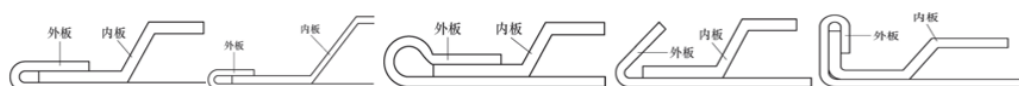


图 2-2 机器人滚边类型^[10]

2.2 机器人滚边技术原理

机器人滚边系统主要由滚轮系统、滚边胎模夹具系统和机器人及其控制系统组成。

滚轮系统是机器人滚边技术的核心部件，其主要由滚轮组件和连接组件构成。滚轮组件负责直接对外板进行滚压，在滚边过程中，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^[10]。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（一般作为终包轮）以及水滴包边轮等。滚轮种类如图 2-3 所示。

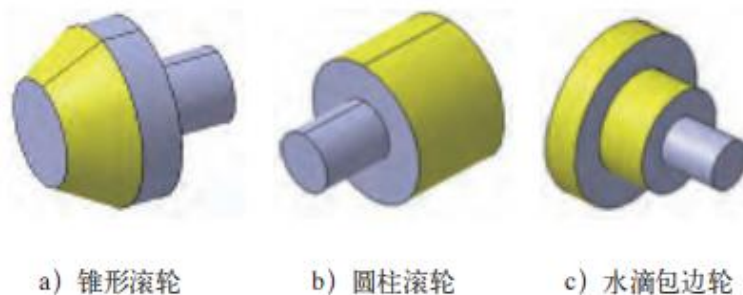


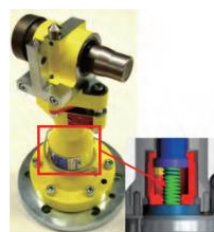
图 2-3 滚轮种类^[11]

而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 2-4 所示。其特点是结构简单、成本低，但由于需要承受较大的外部摩擦，因此很难确保工作的质量。弹性连接系统设置有弹簧、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。它们的压缩量及伸展程度都会随着机械零部件的运动而发生改变，从而达到良好的防滑效果。此外，这种技术还具备减少机械

零部件与机壳的碰撞，从而大大改善机械零部件的使用寿命。弹性滚轮系统结构如图 2-5 所示。



图 2-4 刚性滚轮系统结构^[12]



a) 弹簧缓冲



b) 气缸缓冲



c) 气囊缓冲

图 2-5 弹性滚轮系统结构^[13]

滚边胎模夹具系统由滚边胎模和定位夹紧机构组成。滚边胎模, 如图 2-6 所示。由于滚边胎模的重要性, 它们的夹具系统必须满足一定的要求, 包括强度和刚度。为了能够承受滚压过程中的压力, 滚边胎模必须具有足够的表面硬度, 一般要求其表面硬度 $\geq 50\text{HRC}$ ^[14]。



图 2-6 滚边胎膜^[15]

定位夹紧机构用于确保外板和内板的精确定位和夹紧, 以保证滚边过程的准确性和稳定性。为了确保外板的准确定位, 应该选择专用的定位孔。如果外板没有定位孔, 可以使用可调节的挡块来精确定位。在安装时, 应该考虑到挡块的位置和数量, 这样才能确保在滚边过程中, 即使部分挡块被打开, 也不会导致外板的移动。

除了采用多个吸盘来辅助外板定位，以确保其与胎模之间的紧密贴合^[16]。内板的定位方式,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。不同项目可根据实际需求选择最合适的方式实现对内板的定位^[17]。

机器人控制系统能够准确地操纵滚轮的运动轨迹和力度。目前，市场上常见的机器人品牌有 ABB、KUKA 和 FANUC。控制系统负责协调这些设备的工作，使它们能够在滚边过程中保持高效率。它还能够与涂胶系统、胎模夹具系统、切换单元、安全防护装置和信号检测系统进行通信，从而控制整个滚边系统的各个部分的工作顺序。此外，它还能够对整个系统进行故障检测和报警监视。

机器人滚边技术的实现通常依次是定位夹紧，预滚边，终滚边。滚边过程如图 2-7 所示。

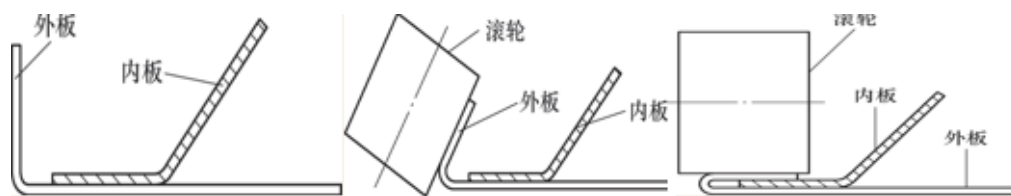


图 2-7 滚边过程^[18]

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。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。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^[19]。

2.3 本章总结

本章详细介绍了机器人滚边技术的原理、组成结构和实现步骤，以及机器人滚边的不同类型，包括普通包边、楔形包边、水滴包边、半包边和车顶天窗包边。每种类型都有其特定的应用场景和工艺要求。此外介绍了机器人滚边系统的组成，包括滚轮系统、滚边胎模夹具系统、机器人及其控制系统。强调了其在汽车制造中的重要性和应用前景。下一章将着重探讨机器人滚边技术在“绿快省效”方面的体现和评价。

第三章 机器人滚边技术在‘绿快省效’方面体现及评价

机器人滚边技术作为一种先进的汽车制造工艺，在提高生产效率、降低成本、保障产品质量等方面具有显著优势。与传统机械压合技术相比，机器人滚边技术在多个方面均表现出明显的优势，尤其在绿色生产、快速生产、省效和高效方面表现突出。本章将对机器人滚边技术进行探讨其在绿色、快速、省效、高效等方面的体现。

3.1 在‘绿快省效’方面体现

与传统机械压合相比，机器人滚边压合在成本、设备构造、压合零件变形、维修调试、维护费用、对外板开口角度要求、预压和角度等方面具有明显优势，但在生产节拍、工作频率及这边次数方面机械压合具有优势。机器人滚边压合及传统机械压合优劣势对比见表 3-1。

表 3-1 机器人滚边压合和机械压合对比^[20]

序号	功能结构	机器人滚边压合	传统机械压合
1	成本	低	中
2	设备构造	简单、灵活性高	复杂、灵活性低
3	节拍	慢	较慢
4	对零件的变形	小	较大
5	维修调试	优化质量容易	优化质量较复杂
6	维护费用	少	多
7	外板开口角度	外板开角至 180°	外板开角至 110°
8	预压合角度	每次折边角基本上不允许大于 35°	翻边角度为开口角度的 1/2
9	工作频率	机器人的运动速度 100mm/s	目前节拍 40~50s
10	折边次数	外板开角至 120°，4 次折边外板开角至 180°，6 次折边	仅需两次折边

此外机器人滚边技术在“绿快省效”四个方面也各有所体现。
对于机器人滚边技术在绿色体现，机器人滚边技术在实现绿色生产方面发挥

着重要作用。首先，它能够减少能源消耗和材料浪费。由于机器人滚边技术具有高度自动化和精确控制的特点，可以减少人为操作误差，降低能源和材料的浪费。其次，机器人滚边技术可以降低废品率，提高产品质量和生产效率，从而减少不合格产品对环境的污染。另外，机器人滚边技术还能够降低工人的劳动强度和健康风险，保障员工的身体健康和安全。

机器人滚边技术具有快速高效的特点，适应了汽车制造行业对产品迭代速度的要求。由于机器人滚边技术的高度自动化和精确控制，可以实现高速、连续、稳定的生产过程。相比传统的包边工艺，机器人滚边技术的调试周期较短，可快速适应新车型开发的时间紧、任务重的需求。因此，机器人滚边技术能够有效缩短产品开发周期，提高企业的市场竞争力。

对于机器人滚边技术在省效方面的体现，机器人滚边技术在节约成本和提高生产效率方面具有明显优势。首先，由于机器人滚边技术具有高度自动化和精确控制的特点，可以减少人力成本和生产过程中的人为误差，降低生产成本。其次，机器人滚边技术的结构简单、操作方便，占地面积小，能够有效降低生产空间的占用率，节约生产资源。另外，机器人滚边技术还能够提高产品的质量稳定性和一致性，减少废品率，进一步降低生产成本。

对于机器人滚边技术在高效方面的体现，机器人滚边技术的高效性体现在多个方面。首先，由于其自动化程度高，可以实现连续、稳定的生产过程，大大提高了生产效率。相比传统的包边工艺，机器人滚边技术能够以更快的速度完成相同的工作量，从而缩短了生产周期，提高了产能利用率。其次，机器人滚边技术具有高度精确的控制能力，能够保证产品的加工精度和一致性。通过精准的运动控制和参数调节，可以确保每个产品都具有相同的包边质量，降低了产品的不合格率，提高了产品的一致性和稳定性。此外，机器人滚边技术还具有良好的适应性和灵活性。可以根据不同的产品要求和生产场景，灵活调整机器人的工作模式和参数设置，满足不同产品的加工需求。

3.2 在‘绿快省效’方面评价

机器人滚边技术在‘绿快省效’方面的评价是积极的。其高效的生产能力、精准的加工质量以及灵活的生产适应性，使得企业能够在保证产品质量的同时提高生产效率，降低生产成本，实现资源的有效利用和生产过程的优化。然而，机器人滚边技术也面临着一些挑战，如机器人滚边工艺的生产效率，以及冲压件对包边质量的影响。

冲压件对包边质量的影响是指机器人滚边成形技术容易出现的问题，主要是

尖角上翘以及波浪起皱。

尖角上翘是指两侧尖角处滚边完成后,出现尖角上翘的情况,尖角上翘面差不符合零部件设计要求,检具检测无法通过。此缺陷产生原因主要有三点。一是内外板板件结构设计不合理。从板件结构上来说,内板板件尖角处的强度较小,滚边过程中容易出现应力集中现象。解决的方法是尽可能增大内板板件强度,可以在尖角处的内板上设置一些加强筋,同时减小终包边应力。二是内外版板件尺寸精度差。解决的方法是要对外板尖角进行控制,外板单件翻边长度应均匀过渡。最后是滚边夹具定位不精准。滚边过程中固定夹紧装置对尖角区域内外板的无法有效作用,出现应力集中现象,从而导致垂直方向变形,引起尖角上翘。解决的方法是加强对尖角区域的内外板设置固定夹紧装置^[21]。

波浪起皱是一种常见的缺陷,它可能会出现在曲面曲边的部位,比如车门的包边、机舱盖的后部等^[22]。这种缺陷的形成可能与外板件的翻边长度设定不当有关,一般来说,普通的包边长度应该在 10mm 以内,而水滴包边的翻边长度则应该在 13mm~16mm 之间。超过该翻边长度,包边过程中板件发生弯曲变形产生的应力无法释放,从而引起板件波浪起皱。解决的方法是按照既有经验设定翻边长度。另一个便是滚边压力过大。在使用机器人进行滚边时,正确的压力是非常关键的。如果压力太低,将无法将内部元素牢牢地覆盖在外部;如果压力太高,将可能在最终完成的滚边处理时产生凹凸不平的缺口。因此,需要综合考虑工件的特性、形状和类别,以确保最佳的效果。针对特定的零件,其最佳的滚边压力应当由制造商提供的测量数值及其他技术参数决定。通常情况下,钢制零件的最佳滚边压力应该高于铝制零件,并且应当优先考虑使用同类型的零件。例如,对于钢制零部件,其预处理压力在 500~900N 之间,而最后处理压力则在 1000~1800N 之间;对于铝制零部件,其预处理压力在 300~600N 之间,最后处理压力在 700~1400N^[23]。例如在车门包边的过程中,滚边压力设置过大,而车门板件材料刚性较差,受力程度较弱,导致车门板件在包边过程中受力不均匀,从而引起板件波浪起皱。解决的方法是合理设置滚边压力,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^[24]。

除了上面提到的问题,滚边速度与车型切换对机器人滚边技术来说也是关键的因素。滚边的效率对于制造出优秀的零部件至关重要,因此控制好滚轮的运动速率对于保证制造的顺利完成至关重要。机械手能够提供超快的运动速度,使得制造出的零部品能够在规定的条件下保持良好的性能。当处理平坦的表面时,由于其形状相对简单且表面的弯曲变化很少,所以板材的滚压能够轻松地释放出来,避免了出现质量问题。因此,通常把辊子的转速调节至 200~300mm/s。然而,当表面弯

曲变化比较明显的地方，辊子的转速会降低至 80~200mm/s；而对于弯道和其他表面凹凸不均的地方，辊子的转速会进一步降低，达到 30~80mm/s^[25]。而对于车型切换，由于不同车型的滚边轨迹可以通过编辑机器人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，两种较为普遍的轮廓调整方法分别为：转台式轮廓调整与导轨式轮廓调整。图 3-1 所示的转台式胎模切换技术，可以让 2 种或 4 种车辆的轮毂轮廓被精确地定向，并且可以利用电动机的力量，使轮毂轮廓的轮廓可以轻松地调整到最佳的滚边状态，从而达到更好的质量控制。图 3-2 所示的导轨式胎模切换技术，可以让用户根据需要，使用电子设备来调节各种汽车轮毂的大小和方向，从而使轮毂可以轻松地从原有的位置转变到新的轮毂，从而满足用户的需求。

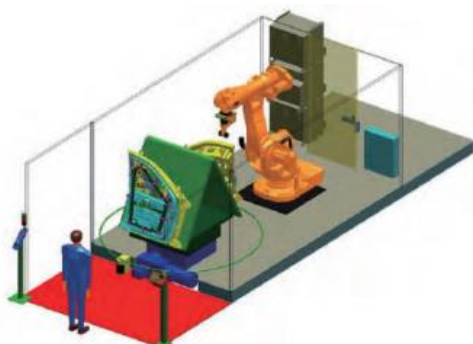


图 3-1 转台式胎模切换^[26]



图 3-2 导轨式胎模切换^[27]

在未来的发展过程中，汽车行业技术人员要致力于不断地提高机器人滚边工艺的生产效率，降低冲压件对包边质量的影响，改善机器人滚边成形技术出现的问题，不断优化机器人滚边技术，让这项技术能够更好发挥作用，提升汽车外观件质量。在推广和应用机器人滚边技术时，需要综合考虑各方面因素，确保其企业生产中的有效运用。

3.3 本章总结

本章详细对比了机器人滚边压合与传统机械压合在成本、设备构造、生产节拍、压合零件变形等方面的差异，探讨了机器人滚边技术在绿色、快速、省效、高效等方面的体现。然而，机器人滚边技术也面临着一些挑战，如冲压件对包边质量的影响、滚边速度与车型切换等问题。针对这些挑战，需要不断优化机器人滚边技术，提高生产效率，降低产品缺陷率，确保技术的有效运用和推广。

第四章 总结与展望

本报告系统地介绍了机器人滚边技术在汽车制造领域的应用和发展。首先对包边技术的定义、发展背景和意义进行了阐述，重点介绍了随着汽车行业竞争加剧，机器人滚边技术作为一种先进的包边工艺逐渐取代传统工艺的情况。其次深入探讨了机器人滚边技术的基本原理、结构组成及实施过程，包括滚轮、滚边胎模夹具以及机器人控制系统等多个方面的内容。然后从绿色、快速、节省成本和高效四个方面对机器人滚边技术进行了评价，指出了其在汽车制造中的重要作用和优势。最后对机器人滚边技术的应用前景和发展趋势进行了展望，强调了技术创新、流程优化和人才培养等方面的重要性。

随着汽车行业的快速发展和智能制造的深入推进，机器人滚边技术将继续发挥重要作用。可以从以下几个方面对机器人滚边技术进行进一步的研究和应用：技术创新，加强对机器人滚边技术的研发和创新，提高其精度、速度和适应性，以满足不断变化的生产需求；流程优化，进一步优化机器人滚边技术的生产流程和工艺参数，提高生产效率和产品质量，降低生产成本。通过强化人才培养，引进优秀的机器人滚边技术人才，不断提升他们的专业素质和创新精神，以确保技术的可持续发展。产业协同，加强汽车制造产业链的协同合作，推动机器人滚边技术在整个产业链的应用和普及，促进产业的共同发展和繁荣。

通过以上措施的实施，相信机器人滚边技术将在未来取得更大的发展和应用，为汽车制造业的转型升级和可持续发展贡献更多力量。

参考文献

- [1] 周天剑, 刘敦敦, 逯志浩, 等. 高柔性滚边岛的规划布局设计 [J]. 制造业自动化, 2017, 39(1): 104—111. ZHOU T J, LIU D D, LU Z H, et al. Layout design of highly flexible hemming island [J]. Manufacturing Automation, 2017, 39(1): 104—111.
- [2] 张云, 农明满, 雷志华. 机器人滚边技术浅析[J]. 汽车工艺与材料, 2016(1): 1—5, 10.
- [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.
- [5] Zhang, X., & Ni, J. (2018). Edge rolling process of thin-walled parts with complex structure using a six-axis industrial robot. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94(9-12), 4129-4141.
- [6] Palpacuer, F., & Ray, P. (2019). Optimal Trajectory Planning for Edge Rolling Operation Using Industrial Robot. In Advances in Mechanism and Machine Science (pp. 354-362). Springer, Cham.
- [7] 李红华, 孙忠涛, 孙保根, 等. 包边技术概述及机器人滚边技术探讨 [J]. 金属加工 (冷加工), 2022 (08): 5-10.
- [8] 朱路生. 汽车天窗包边机构及工艺研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学机械电子工程, 2014.
- [9] 王作兵, 何卓, 邱胜苗, 等. 机器人滚边工艺的研究与应用 [J]. 汽车工艺师, 2018 (11): 35-38.
- [10] 李彦贺, 李金山, 罗光盛. 汽车后背门机器人滚边工艺优缺点 [J]. 汽车工艺师, 2020(09): 24-26.
- [11] 钟丽慧, 辛玉林, 郝海鹏, 等. 车身后盖压合结构及质量影响[C]. 2016 中国汽车工程学会年会论文集, 2016.
- [12] 项义恩. 机器人滚边压合工艺[J]. 现代零部件, 2013 (8): 86- 87.
- [13] 张述元. 浅谈车门包边工艺[J]. 企业技术开发 (下半月), 2016, 35 (12): 16-17.
- [14] 孟繁秋. 基于工业机器人控制的滚边压合技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- [15] 谢栩聪. 机器人滚边技术在车身制造中的应用 [J]. 江苏科技信息, 2012 (5): 27-29.
- [16] 郝俊伟, 谢跃文, 王苹苹, 等. 机器人滚边压合工艺及常见缺陷处理方法[J]. 锻造与冲压, 2021 (4): 51-54.
- [17] 王洪杰, 贾艳辉. 滚边关键工艺参数有限元模拟分析[J]. 金属加工: 热加工, 2016 (23): 3.
- [18] 潘远安, 张洋, 李昕. 汽车行业机器人滚边压合系统组成及应用[J]. 金属加工 (热加工),

- 2014 (19): 66-68.
- [19] 林忠钦, 陈关龙, 王皓, 等. 具有回转工作台的并联式机器人包边系统: CN20051002479[P].2005-09-21.
- [20] 朱西产, 王洪杰. 机器人滚边压合工作岛的应用[J]. 世界制造技术与装备市场, 2016 (3): 4.
- [21] 刘殿福, 陈朝明. 车身关键部件制造的柔性化技术—机器人滚边技术[J]. 汽车工艺与材料, 2010 (7): 9-12.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 乔福龙, 张云. 机器人滚边质量问题分析及解决措施[J]. 汽车工艺与材料, 2017(02):1927
- [25] 石雄, 范懿, 黄祥, 元涵. 机器人滚边质量缺陷及改善方法[J]. 汽车工艺与材料, 2018(03):4042.
- [26] 卢妍, 张宁红, 陈中春等. 汽车开启件滚边工艺缺陷控制方法研究[J]. 模具技术, 2015(04):14.
- [27] 胡智勇. 机器人滚边工艺优化[J]. 金属加工, 2012(15):7273.