

# 基于 CAE 技术的汽车覆盖件冲压工艺分析

李月莹

北京汽车集团越野车有限公司, 北京 101300

**摘要：** 本文先概述了计算机辅助工程（CAE）技术的定义、在汽车行业中的应用及其发展趋势。随后，介绍了汽车覆盖件冲压工艺的基本概念、原理和流程。在此基础上，深入分析了基于 CAE 技术的汽车覆盖件冲压工艺，包括 CAE 技术在冲压工艺中的应用、工艺参数优化、成形性能分析以及模具结构设计优化。通过具体案例分析，展示了 CAE 技术在冲压工艺中的实际应用效果。在文章结尾处探讨了 CAE 技术在汽车覆盖件冲压工艺中的未来发展趋势，包括人工智能的融合、云计算的应用和大数据在工艺分析中的作用。

**关键词：** CAE 技术；汽车覆盖件；冲压工艺；参数优化；成形性能

## Analysis Of Stamping Process For Automotive Panels Based On CAE Technology

Li Yueying

Beijing Automotive Group Off road Vehicle Co., Ltd., Beijing 101300

**Abstract：** This article first outlines the definition, application, and development trends of computer-aided engineering (CAE) technology in the automotive industry. Subsequently, the basic concepts, principles, and processes of stamping technology for automotive panels were introduced. On this basis, an in-depth analysis was conducted on the stamping process of automotive panels based on CAE technology, including the application of CAE technology in stamping process, process parameter optimization, forming performance analysis, and mold structure design optimization. Through specific case analysis, the practical application effect of CAE technology in stamping process was demonstrated. At the end of the article, the future development trends of CAE technology in automotive panel stamping processes were discussed, including the integration of artificial intelligence, the application of cloud computing, and the role of big data in process analysis.

**Keywords：** CAE technology; automotive coverings; stamping process; parameter optimization; forming performance

## 引言

随着汽车工业的快速发展，汽车覆盖件作为汽车的重要组成部分，其质量直接影响到汽车的外观、安全性能和使用寿命。汽车覆盖件的生产主要采用冲压工艺，该工艺具有高效、批量生产的特点，但同时也存在着工艺复杂、质量控制难度大等问题。为了提高冲压工艺的精度和效率，减少生产过程中的废品率，计算机辅助工程（CAE）技术在汽车覆盖件冲压工艺中的应用变得越来越广泛。

CAE 技术是一种利用计算机模拟和分析产品设计和生产过程的方法，它可以在产品实际制造之前预测其性能，从而指导设计和工艺优化。本文旨在探讨 CAE 技术在汽车覆盖件冲压工艺中的应用，分析其在工艺参数优化、成形性能分析以及模具结构设计优化等方面的作用，并通过案例分析来验证 CAE 技术的实用性和有效性。

## 一、CAE 技术概述

计算机辅助工程（CAE）技术，作为现代工程设计的重要工具，已经深刻地改变了产品开发的过程。在本章中，我们将深入探讨 CAE 技术的定义，其在汽车行业中的应用现状，以及未来发展的趋势，以期为广大工程技术人员提供一个全面而深入的

理解。

### （一）CAE 技术定义

CAE 技术，即计算机辅助工程（Computer-Aided Engineering），是一种融合了计算机科学、数学、力学、材料科学等多个学科领域的综合技术体系<sup>[1]</sup>。该技术通过建立精确的数学模型，并借助计算机进行高效的数值分析和仿真模拟，实现对工程产品

性能的预测与评估。CAE 技术的精髓在于其能力模拟现实世界中的各种物理现象，包括但不限于结构力学、热力学、流体动力学等，为工程师提供了一种无需依赖物理原型即可进行设计评估和优化的先进工具。

### （二）CAE 技术在汽车行业中的应用

在汽车工业中，计算机辅助工程（CAE）技术已成为设计和开发流程的核心。它广泛应用于结构分析与优化、碰撞安全模拟、NVH（噪声、振动和粗糙度）分析以及热管理分析等领域。工程师通过 CAE 技术对汽车零部件的结构强度、刚度和疲劳寿命进行精确仿真分析，确保设计满足性能标准并优化材料使用，实现成本效益的最大化。在碰撞安全领域，CAE 技术模拟车辆在多种碰撞情景下的响应，帮助设计更安全的汽车结构<sup>[9]</sup>。NVH 分析预测和评估车辆运行过程中的噪声、振动和粗糙度水平，提升乘坐舒适性。热管理分析优化散热系统设计，确保车辆性能的稳定性和可靠性。CAE 技术的应用不仅展现了其科学性和专业性，而且显著提高了产品开发的效率和质量，推动了汽车工程领域的创新和进步。

### （三）CAE 技术发展趋势

随着技术的发展，计算机辅助工程（CAE）技术正迎来重大变革。计算能力的提升使其能够处理更复杂、更大规模的仿真挑战，为工程师提供更精确的仿真数据。CAE 技术正朝着多物理场耦合分析的方向发展，以提高对现实世界中多种物理场相互作用的高仿真度。人工智能与机器学习的整合为 CAE 分析带来了智能化，实现了设计参数的自动优化，显著提高了分析效率。云计算技术的应用为 CAE 技术提供了弹性和强大的计算资源，使得仿真分析更加灵活和便捷，推动了仿真服务化的趋势，为工程领域的研发和创新带来了巨大的便利和效率提升。

## 二、汽车覆盖件冲压工艺简介

随着汽车工业的发展，汽车覆盖件的冲压成形技术也迎来了快速的发展，我国汽车覆盖件的制造水平也越来越高，有许多先进的技术应用到了汽车覆盖件的冲压成形设计开发中。一辆好的汽车开始于高质量的覆盖件冲压制造，覆盖件造型美观，制造质量好，直接影响消费者是否选择此辆车<sup>[3]</sup>。

### （一）汽车覆盖件概述

汽车覆盖件，包括车门、引擎盖、行李箱盖、翼子板等，构成了汽车的外表皮，它们不仅负责美化汽车的外观，还承担着保护内部结构和提升空气动力学性能的重要功能。这些覆盖件大多采用金属材料制造，其特点表现为对高外观质量的要求，即表面需具备良好的平整度和光洁度，以满足消费者的审美标准；同时，对尺寸精度的严格要求，确保覆盖件之间的配合间隙精确，以保障装配质量和外观的一致性；此外，由于覆盖件通常具有复杂的曲面形状，因此对材料的成形性能也提出了较高的要求。

### （二）冲压工艺原理

冲压工艺，作为一种金属加工技术，涉及利用压力机和专用模具对板材、条材、管材及型材等材料进行压力处理，以实现材

料的塑性变形或分离。该工艺的核心在于通过模具的精确形状，对材料施加局部或整体的压力，引导材料按照模具的轮廓发生预定变形，进而形成所需的工件。冲压工艺的成功与否，模具设计与材料选择扮演着决定性角色。模具的精度不仅直接关系到最终产品的质量，同时也影响着生产流程的效率<sup>[4]</sup>。与此同时，材料的选择对于确保产品的成形性和最终性能表现至关重要，它决定了产品能否满足设计和功能上的严格要求。

### （三）冲压工艺流程

在汽车制造业中，汽车覆盖件的冲压工艺流程是一项精密而有序的操作，涉及以下关键步骤：

在汽车制造领域，汽车覆盖件的冲压工艺流程是一项精确且条理分明的技术操作，包含以下几个关键环节：

1. 拉伸（Drawing）：在该阶段，利用拉伸模具的强大作用，将平整的金属板材塑造成基础的三维结构，为后续加工工序奠定稳固的基础。

2. 修边（Trimming）：紧随其后，对拉伸过程中形成的多余材料进行精确裁剪，保障工件边缘的整齐与统一，提升产品的整体美观性。

3. 冲孔（Piercing）：在此步骤，运用冲孔工艺，精确地在工件上制造出所需的孔洞，例如螺栓孔、通风孔等，以适应特定的功能性要求。

4. 成形（Forming）：借助成形模具对工件进行精细的形状加工，确保覆盖件完美呈现出设计所规定的复杂曲面结构。

5. 翻边（Flanging）：在工件边缘执行翻边工序，这一步骤对于确保覆盖件的连接牢固性和密封效果至关重要。

6. 校正（Correcting）：对已经成形的工件进行精确的尺寸和形状调整，以保证最终产品的尺寸精度和形状完全符合严格的质量规范<sup>[5]</sup>。

这一系列工艺步骤的精确执行，不仅保证了汽车覆盖件的外观和功能性，也体现了现代汽车制造工艺的高标准和先进性。

## 三、基于 CAE 技术的汽车覆盖件冲压工艺分析

在汽车覆盖件冲压工艺中，CAE 技术的应用已经成为提升设计质量、优化生产过程的关键工具。

### （一）CAE 技术在冲压工艺中的应用

CAE 技术在冲压工艺中的应用举足轻重，其核心价值主要体现在设计验证、故障预测和过程模拟这三个关键环节。在模具制造阶段之前，CAE 软件已对汽车覆盖件的设计进行了深入仿真分析，这不仅验证了设计的合理性与可行性，更确保了设计方案与生产标准的完美契合。紧接着，CAE 技术针对冲压过程中可能出现的缺陷，如破裂、起皱和回弹等，进行了精细的模拟分析，从而提前预见潜在问题，并制定出相应的预防措施，大大降低了生产过程中的风险系数。最终，通过对整个冲压过程的仿真模拟，包括材料流动行为、应力与应变分布等重要参数的精确捕捉，CAE 技术为实际生产提供了强有力的数据支持和专业指导，助力优化生产流程，显著提升产品质量与生产效率<sup>[6]</sup>。

## （二）冲压工艺参数优化

CAE 技术的应用为工程师提供了在实际物理试验前精确优化冲压工艺参数的强大能力。通过高级仿真分析，工程师能够深入剖析并精细调整冲压过程中的关键参数，如模具间隙、冲压速度和材料特性，以保障零件成型质量。特别是在外板件 A 面区域，严格的工艺参数控制是满足行业标准和降低面品缺陷风险的关键。优化策略涉及提高最小减薄率至  $\geq 3\%$ ，确保主应变  $\geq 0.03$ ，次应变  $\geq 0$ ，次应力达到  $\geq 1.1$  倍材料屈服强度。通过综合模具型面加工、工艺参数调整、材料流动路径和润滑条件的优化，以及对产品结构与工艺补充型面的细致调整，我们大幅提升了零件成型的一致性和生产稳定性，确保了零件的外观与功能性达到高标准。

## （三）冲压成形性能分析

汽车覆盖件的成型分析在 AUTOFORM 软件中得以实现，涵盖了成型极限分析、零件的减薄、起皱和回弹等多个方面。成型极限分析 (FLD) 用于评估材料在冲压过程中的应力极限，直观地展示了零件成型力和压边力的分布情况。而起皱和减薄分析则分别揭示了板料在成型过程中堆积和过度变薄的具体位置，从而为优化工艺参数提供了科学依据。

回弹分析预测成形后零件的回弹量，为模具设计提供精确的补偿数据，确保零件达到预定的尺寸和形状<sup>[7]</sup>。精度分析通过仿真分析评估冲压件的尺寸精度，确保产品符合设计规范，从而保证产品质量。这三个方面的综合分析为工程师提供了全面的冲压成形性能评估，有助于优化设计方案，提升生产效率和产品质量。

## （四）模具结构设计及优化

CAE 技术在模具结构设计与优化过程中的应用，显著提高了模具设计的效率和可靠性。这一技术通过仿真分析，对模具在冲压过程中的受力状况进行评估，确保模具在生产过程中能够承受预期的载荷，从而减少模具因损坏而导致的生产中断。此外，模具动态分析模拟模具的闭合、打开等动作，优化模具的运动轨迹和平衡性，提升模具操作的稳定性和安全性。此外，通过模拟分析热成型模具的冷却系统，能够评估冷却系统的布局及其冷却效能，确保模具在热成型过程中的温度控制达到最优状态，以提高生产效率和产品质量，确保模具在高温环境下能够保持良好的工作状态，延长模具的使用寿命<sup>[8]</sup>。CAE 技术的应用为模具设计提供了强大的技术支持，使得模具设计更加高效、可靠，为汽车制造业的发展提供了有力的技术保障。

## 四、基于 CAE 技术的汽车覆盖件冲压工艺发展趋势

随着技术的不断演进，CAE 技术在汽车覆盖件冲压工艺中的应用也在迎来新的变革。本章将展望未来，探讨人工智能、云计算和大数据如何与 CAE 技术相结合，共同推动汽车覆盖件冲压工艺的发展，为读者揭示这一领域的前沿趋势。

### （一）人工智能与 CAE 技术的融合

人工智能 (AI) 技术的飞速发展正在深刻影响计算机辅助工程 (CAE) 领域，预示着 AI 与 CAE 技术的深度融合将带来革命

性的变革。AI 算法的自动调整和优化能力，能够快速确定最佳设计方案，大幅减少人工干预的需求。通过机器学习技术，AI 能够预测并解决冲压过程中的缺陷，降低生产风险。此外，AI 系统通过学习大量仿真数据，不断提升预测和分析的准确性，进一步强化了 CAE 技术在工程设计中的应用。这些趋势预示着 AI 技术将为 CAE 技术的发展注入新活力，推动汽车覆盖件冲压工艺向更智能、更高效的方向发展<sup>[9]</sup>。

### （二）云计算在 CAE 技术中的应用

云计算的普及正在重塑计算机辅助工程 (CAE) 技术的应用范式，其核心趋势主要聚焦于三个方面：云计算通过按需分配的弹性计算资源扩展，使得大规模、复杂的 CAE 仿真分析成为可能，从而推动了工程设计的创新边界。云平台实现了设计数据和仿真结果的安全共享，加强了跨地域团队之间的协作，加速了知识的传播和决策的制定。云计算技术实现了 CAE 作为一种服务 (CAEaaS) 的模式，用户无需投资昂贵的软件和硬件，即可轻松获取 CAE 分析能力，降低了技术应用的门槛，提高了整个行业的效率和灵活性<sup>[10]</sup>。

## 结束语

本文深入探讨了 CAE 技术在汽车覆盖件冲压工艺中的应用及其发展趋势。从 CAE 技术的定义到应用，再到冲压工艺的原理和流程，每一步都凸显了其在现代汽车制造中的重要性。案例分析进一步展示了 CAE 技术在实际生产中的价值。展望未来，人工智能、云计算和大数据的融合将进一步拓宽 CAE 技术的应用范围，推动冲压工艺向更高效、智能的方向发展。

## 参考文献

- [1] 罗维, 贾志欣, 李继强, 等. 汽车车灯支架压铸工艺 CAE 分析及模具设计 [J]. 铸造, 2024, 73(02):202-207.
- [2] 王新华. 汽车覆盖件冲压成形毛坯快速排样系统研究与开发 [D]. 华中科技大学, 2022.DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2022.004216.
- [3] 黄凤辉. 汽车覆盖件冲压成形新技术分析 [J]. 中国机械, 2023, (20):46-50.
- [4] 黎子豪. 汽车覆盖件拉伸模具精确型面构建及加工方法研究 [D]. 湖南大学, 2022. DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2022.003008.
- [5] 王振. 汽车覆盖件模面智能化设计方法研究与应用 [D]. 华中科技大学, 2021. DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2021.006572.
- [6] 杨玉贵, 丁哲, 胡建全. 汽车覆盖件顶盖冲压工艺方案标准化研究 [J]. 模具制造, 2021, 21(07):8-12.
- [7] 王朴, 杨梅, 王浩, 等. 基于 CAE 汽车覆盖件拉伸成形工艺优化与模具设计 [J]. 模具制造, 2020, 20(10):33-37.
- [8] 黄智达. CAE 技术在汽车设计中的应用探析 [J]. 数字通信世界, 2023, (09):129-131.
- [9] 李富强, 王芳, 张文静. 基于 CAE 技术的汽车零部件轻量化设计 [J]. 专用汽车, 2023, (06):70-73.DOI:10.19999/j.cnki.1004-0226.2023.06.020.
- [10] 曾孟军, 敖克勇. 基于 CAE 技术的汽车零部件轻量化设计 [J]. 内燃机与配件, 2022, (01):16-18.DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2022.01.006.