**电 子 科 技 大 学**

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

**工业控制网络报告1**



**论文题目 人工智能技术在机械设计制造中的应用——   
 机器学习在机械设计制造中的应用**

**学 院 机械与电气工程学院**

**专 业 机器人工程**

**学 号 2021040902007**

**作者姓名 经彭宇**

**指导教师 袁太文**

摘要

随着我国综合实力的不断进步，传统的人工设计制造模式已难以满足当前行业的发展需求，人工智能中的机器学习技术以创新的模式，优化设计制造过程，提高产品质量和性能，以解放受限于传统机械设计制造的生产力。文章聚焦于机械设计制造领域，着重介绍机器学习对机械设计与机械制造的价值及其带来的新的挑战。通过查阅中外文献，分别详细讨论了其在设计、制造的具体应用，并对机器学习应用于机械设计制作的后续发展和挑战提出了总结与展望。

**关键词**：机器学习，机械设计，机械制造

ABSTRACT

With the continuous progresses of China's comprehensive strength, the traditional artificial design and manufacturing mode has been difficult to meet the needs of the current industries. The machine learning technology in artificial intelligence optimizes the design and manufacturing processes in an innovative mode improving product qualities and performances. Thus it can liberate the productivities limited by traditional mechanical design and manufacturing. The article focuses on the field of mechanical design and manufacturing and emphasizes the value of machine learning to mechanical design and manufacturing and the new challenges it brings. By consulting Chinese and foreign literatures, the specific application of machine learning in design and manufacturing is discussed in detail. The production development and challenges of machine learning applied to mechanical design and manufacturing are summarized and prospected.

**Keywords**: Machine learning, Mechanical design, Mechanical manufacturing

目 录

[第一章 引言 1](#_Toc153828493)

[第二章 机器学习在机械设计中的应用 3](#_Toc153828494)

[2.1机器学习在机械产品方案设计中的应用 3](#_Toc153828495)

[2.2机器学习在零部件的详细设计中的应用 4](#_Toc153828496)

[2.3本章小结 6](#_Toc153828497)

[第三章 机器学习在机械制造中的应用 7](#_Toc153828498)

[3.1机器学习在增材制造中的应用 7](#_Toc153828499)

[3.2机器学习在材料设计中的应用 8](#_Toc153828500)

[3.3机器学习数据生成策略在机械制造中的应用 8](#_Toc153828501)

[3.4智能制造中应用机器学习的优点 9](#_Toc153828502)

[3.5挑战与前景 9](#_Toc153828503)

[3.6本章小结 10](#_Toc153828504)

[总结与展望 11](#_Toc153828505)

[参考文献 12](#_Toc153828506)

第一章 引言

人工智能(Artificial Intelligence,AI)是计算机学科的一个分支，被认为是21世纪三大尖端技术之一。从20世纪中期人工智能思想诞生起，迄今为止，人工智能无论在理论还是实践上都已成为一个完整的系统，并在诸多领域中取得了广泛的应用。

天津大学崔雍浩，商聪等[1]提出了人工智能技术核心主要有以下四种：(a).计算机视觉，包括图像分类、目标跟踪、语义分割等；(b).机器学习，包括监督学习、无监督学习、半监督学习、强化学习；(c).自然语言处理，指计算机具有识别理解人类文本语言的能力；(d).语音识别。

近年来，伴随着人工智能技术的飞速发展，机器学习作为人工智能的核心技术受到了研究者们广泛关注，同时机器学习也是本文的主要研究对象。“机器学习”(Machine Learning,ML)这一名词首先由阿瑟·萨缪尔（Arthur Samuel)在1952年提出，他将机器学习定义为能让计算机不依赖确定的编码指令来自主的学习工作的方法，阿瑟·萨缪尔不仅给机器学习下了定义，还开发了一个能够跟人类下棋并在过程中不断学习的系统；1998年，Tom Mitchel为了更好地定义机器学习引入了三个概念：经验Experience(E)、任务Task(T)、任务完成效果的衡量指标Performance measure(P)，在这三个概念的帮助下，机器学习被更严谨地定义为：在经验E的帮助下，机器能够以更好的衡量指标P完成任务T[2]。

随着我国综合实力的不断进步，传统的机械设计制造行业的规模在不断的扩大，传统的人工设计制造模式已难以满足当前行业的发展需求，亟需一种新的模式来解放生产力。在此背景下，机器学习被引入到了机械设计制造行业中。

相比于传统方法，机器学习通过对大量数据进行分析和学习，让机器在没有被编程的情况下进行自主决策，具有如下优势：(a).可以自动化处理大量数据；(b).能够实现精准的预测和分类；(c).能够减少工作量，提高工作效率。也正因为机器学习诸多优点，越来越多的行业开始将机器学习引入其中，以便得到更好的发展。例如，在机械设计制造行业中，通过引入机器学习的方法，能够显著提高产品质量和性能，优化设计过程，实现智能化制造和装配等。

与已有关于机器学习的综述性文章的区别在于，本文聚焦于机械设计制造领域，着重介绍机器学习对机械设计与机械制造的价值及其带来的新的挑战。与本文关系密切的综述性文章包括苏金龙、陈乐群等（2022）关于机器学习与增材制造及新材料研发的综述性文章。不过该文章主要是对增材制造中应用的机器学习进行简述，介绍了机器学习在基于增材制造研发新型合金材料的研究与应用现状。相比之下，在制造方面，本文还聚焦于数据生成策略和智能制造等，本文同时也关注了机器学习在机械设计过程中的应用，对机器学习在机械设计制造中的应用有着比较全面深入的梳理。

本文余下部分安排如下：第二部分详细讨论了机器学习在机械设计领域里的应用；第三部分则是详细讨论了机器学习在机械制造领域里的应用；最后一部分则是全文的总结与展望。

第二章 机器学习在机械设计中的应用

随着人工智能技术的不断发展，它在机械设计领域的应用也变得越来越普遍。它的强大能力使其成为改进机械设计过程、优化性能和加速创新的理想工具。其中最突出的应用之一是机器学习技术，这种方法利用模型来分析大量设计和性能数据，并据此生成最佳设计方案。这一方法为机械设计师提供了全新的工具和资源，有助于加快设计过程、改善设计质量，并为未来的创新带来更多可能性。在本章中，将探讨机器学习在机械产品设计和零部件的详细设计中的应用，并详细阐述其对于设计过程和性能提升的重要意义。

2.1机器学习在机械产品方案设计中的应用

机器学习在机械产品性能预测中的应用可以帮助工程师和设计师更好地理解机械零件的性能特征和变化趋势，从而实现更加精准和高效的机械产品设计和优化。机器学习在机械产品方案设计中的应用主要包括遗传算法设计、数据处理和特征提取、模型构建和训练、性能预测和分析、故障诊断和预警等[3]。本节重点介绍基于遗传算法的产品设计。

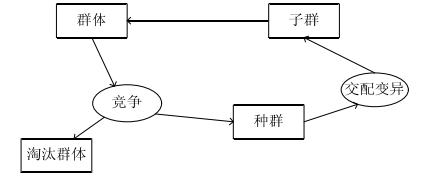
遗传算法是一种基于达尔文的自然选择理论的人工智能算法，通过模拟生物进化原则中的“适者生存”和“优胜劣汰”来解决极值问题。生物在自然界中的生存过程包括生长、繁殖、遗传和变异，而那些能够最适应环境的群体通常会产生更多的后代，而不适应环境的个体则会被淘汰。生物进化的基本过程如图2-1所示[4]：

图2-1 生物进化循环图[4]

生物进化循环从初始种群开始，通过生存竞争，不适应环境的群体被淘汰，留下适应环境的个体。在这个过程中，竞争主要发生在种群与环境、种群与天敌以及个体与个体之间，竞争的结果往往是优胜劣汰。在生存竞争后，种群通过交配产生后代，交配过程中的变异会产生新的个体，新的一代逐渐取代旧的种群，进入下一轮生物进化循环。遗传算法借鉴了生物进化的思想，将优化问题的解的搜索空间映射为遗传空间，对解进行编码形成染色体，而编码的元素被称为基因。遗传算法通过随机产生初始种群，并根据适应度函数来选择和淘汰染色体。生存下来的染色体组成新的种群，经过交叉和变异产生新的一代，逐步优化求解问题，得到最优解。遗传算法具有自组织、自适应、自学习和不受搜索空间限制的特点，使其在机械工程中具有更高效、更简单和更易于操作的优势[5]。

遗传算法求得最优解的优势可以应用到机械产品设计中。机械产品通常由多个零部件组合而成，并具有层次结构，每个层次上通常包含多个可选的零部件。遗传算法能合理地表示多层次机械产品的结构特征，对多层次机械产品进行基因编码并描述，最终实现机械产品的方案设计。

在机械设计中，材料的性能直接影响最终产品的质量、耐用性和安全性。选择合适的材料是机械设计过程的关键步骤，而遗传算法可以帮助工程师处理大量的信息，并从中找出最合适的材料。例如，可以使用遗传算法对材料数据库进行挖掘，并根据给定的设计要求自动选择最佳材料。这种方法不仅可以节省工程师的时间，还能避免人为的偏见和错误。

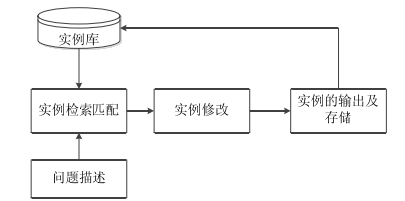
2.2机器学习在零部件的详细设计中的应用

机器学习在零部件的详细设计中有广泛的应用，可以帮助企业实现零件的自动分类和识别，提高工作效率和准确性。机器学习在零部件的详细设计中的应用主要包括实例推理、图像识别、特征提取、数据清洗和预处理、增量学习等[6]。本节重点介绍基于实例推理在零部件的详细设计中的应用。

基于实例推理是近年来广泛使用的一种推理算法，已成为人工智能领域的重要组成部分。基于实例推理的核心思想来自人类解决问题的经验，人们经常使用以往解决问题的经验来分析和解决新问题，基于实例推理就是这种思想的体现[7]。它是一种建立在成功实例基础上的类比推理方法。

基于实例推理首先需要在实例库中存储大量成功的实例，当新问题产生时，根据新问题的特征进行描述和表示。通过匹配算法检索数据库，建立新问题与实例库中实例之间的联系，计算新问题与实例之间的相似度。根据相似度选择与问题描述最相似的实例，并进行必要的修改，从而生成有效的解决方案。对于有效的解决方案，可以存入数据库中丰富实例，为更多问题的解决提供数据支持。

基于实例推理系统主要由实例库、实例表示、实例检索匹配、实例修改和实例输出保存等部分组成，根据设计的需求，也可以选择其中的部分过程建立基于实例推理的系统。基于实例推理的流程如图2-2所示[8]：

图2-2 实例推理流程图[8]

与传统的基于规则和基于模型的推理方法相比，基于实例推理规避了获取规则或模型的瓶颈，无需将复杂的知识和经验转化为规则，只需收集过去的实例，即可建立基于实例推理的系统[9]。工程师基于实例推理建立在丰富的实例基础之上，并使用先进的数据库技术，可以方便地进行实例的搜索和管理，并对系统进行维护。基于实例推理还具有较强的自学习能力，对于新出现的成功实例，基于实例推理可以将其存入实例库中，不断积累实例，提高问题解决能力。

工程师要基于实例推理进行设计，需要对应的系统。周继鹏以转塔刀架为例，设计了基于实例推理的转塔刀架设计系统[10]。首先对转塔刀架进行功能属性和结构属性的划分，分别建立功能属性实例库和结构属性实例库。根据待解决问题的设计要求，使用灰色关联算法进行实例库的搜索匹配，并根据相似度高低在控制界面上显示。对于结构参数的修改，一方面可以直接根据搜索到的实例进行修改，另一方面也可以根据相关领域知识、专家意见、实践经验和实际需求进行修改。

除了结构参数的选择，工程师在设计时还需要考虑设计参数。而通常，设计参数的选择需要依赖设计者的经验和直觉，这个过程可能耗时且受到设计者主观因素的影响。而实例推理的应用可以实现这个过程的自动化，提高优化效率[11]。例如，实例推理可以通过学习历史设计数据来发现设计参数与设计性能之间的关系，然后自动选择最优的设计参数。在实际设计过程中，设计者通常需要考虑多个设计目标，如性能、成本和耐用性等。这些目标往往相互冲突，设计者需要在目标之间找到平衡。机器学习的实例推理技术在这方面提供帮助，可以自动找到在满足所有设计目标前提下的最优设计。

2.3本章小结

机器学习在机械设计中的应用非常广泛。传统的机械设计方法通常涉及大量的试错和迭代过程，而机器学习可以通过遗传算法和实例推理来理解设计的性能和约束，并以此为基础进行自动设计优化。机器学习模型可以通过学习大量已知的设计和性能数据来生成新的设计候选方案，并在设计空间中搜索最佳解决方案。这种方法可以使机械设计的过程更加高效、精确，并且可以提高设计的性能。

第三章 机器学习在机械制造中的应用

随着机器学习（Machine learning, ML）技术在各行业的广泛应用，其在机械制造领域的潜力也日益凸显。本文基于四篇文献[2,3,6,11]，综述了机器学习在机械制造，特别是增材制造、材料设计、数据生成策略和智能制造等方面的应用。通过分析和讨论这些领域内的具体案例和研究成果，旨在提供对机器学习如何改进和革新传统机械制造流程的全面理解。

机械制造业，作为全球经济的关键部分，始终致力于通过技术创新来提高其生产效率和产品质量。在这个追求高效率和高精度的时代，数字化和智能化技术的融入为这一行业带来了前所未有的变革。特别是，随着大数据和先进计算能力的发展，机器学习（ML）作为人工智能（Artificial Intelligence, AI）的一个重要分支，正在逐渐成为机械制造领域的核心驱动力。机器学习的核心优势在于其能够从复杂的数据中学习，并自动优化决策过程。这不仅使机器学习成为提高生产效率的强大工具，而且在降低成本和推动技术创新方面也显示出巨大潜力[2]。

机器学习在机械制造中的应用覆盖了从设计、制造到产品测试的整个流程。例如，在增材制造（Additive Manufacturing, AM）领域，机器学习被用于优化打印过程，提高制品的精确度和质量。在材料科学领域，它被用于分析和预测合金的性能，加速新材料的开发。此外，随着智能制造概念的兴起，机器学习也在生产线的自动化控制、质量监测和供应链管理等方面发挥着重要作用。然而，机器学习在实际应用中也面临数据质量、模型准确性和可解释性等挑战。

3.1机器学习在增材制造中的应用

增材制造技术，通常称为3D打印，是一种革命性的制造方法，允许通过逐层材料添加来构建复杂的几何形状。然而，这种技术的精度和可靠性受到制造过程中各种参数的影响，如温度控制、材料流动和层间粘合。在这种背景下，机器学习应用于增材制造，以提高生产的可靠性和效率，这一点在研究中得到了体现。机器学习算法能够分析实时收集的过程数据，如熔池温度、层形成质量和速度，从而实时调整打印参数以优化产品质量[3]。

此外，机器学习也被用于预测增材制造过程中可能出现的问题，如变形和裂纹。通过使用先进的数据分析技术，如深度学习和神经网络，可以对大量历史数据进行分析，从而预测并防止这些问题的发生。例如，可以通过分析之前打印失败的案例来训练模型，以便在未来的打印过程中实时识别和纠正类似的问题。

机器学习还在材料研发方面发挥着重要作用，尤其是在开发用于增材制造的新型合金和复合材料方面。通过分析不同材料组合的性能数据，机器学习模型可以帮助研究人员快速识别出具有所需物理和化学性质的新材料。这不仅加快了材料的研发过程，而且还能显著降低成本。

3.2机器学习在材料设计中的应用

材料设计是机械制造的核心环节，尤其是在高性能合金和先进复合材料的开发中。机器学习在这一领域的应用正变得越来越普遍，特别是在设计具有特定物理、化学和机械性能的新材料方面。机器学习技术，如人工神经网络（Artificial Neural Network, ANN）和支持向量机（Support Vector Machine，SVM），被广泛用于分析材料的性质，预测其性能，并帮助优化合金的成分。

一个关键应用是高熵合金（High Entropy Alloys，HEAs）的开发。这类合金因其优异的机械性能和耐腐蚀性而备受关注。然而，由于其组成复杂，传统的基于试验的方法在发现和优化新合金方面既耗时又成本高。机器学习方法可以通过分析现有合金的大量数据来加速这一过程，从而快速识别出具有期望性能的合金组合[6]。例如，可以使用机器学习模型来预测不同成分和加工条件下合金的强度、韧性和耐热性等性能。机器学习还被用于发展具有特定应用特性的复合材料。通过分析不同材料组合及其加工条件的数据，机器学习可以帮助识别出最佳的材料配方和加工方法。这一过程不仅提高了新材料开发的效率，而且还有助于减少材料测试过程中的浪费。

3.3机器学习数据生成策略在机械制造中的应用

机器学习模型的有效性在很大程度上依赖于训练数据的质量和数量。在机械制造领域，获取大量高质量的数据常常是一个挑战。设计实验（Design of Experiments, DOE）和主动学习（Active Learning, AL）是两种在机器学习中用于生成和优化训练数据的关键策略。DOE是一种传统的数据生成方法，通过系统地安排实验条件和参数来收集数据。它的优势在于能够高效地探索参数空间，并产生具有代表性的数据集。然而，DOE方法在大型或复杂系统中可能变得不切实际，因为所需实验数量可能过多，从而导致成本和时间上的不可行性。

相比之下，主动学习方法更为动态和灵活。主动学习算法能够识别出对模型训练最有价值的数据点，并主动请求这些数据的标注[11]。这种方法特别适用于数据标注成本高昂或数据难以获取的情况。通过智能地选择需要学习的数据，主动学习能够在较少的数据点上实现更快的学习进度和更高的模型性能。

在实际应用中，这些数据生成策略可以显著提高机器学习模型在制造过程中的准确性和效率。例如，在加工过程优化中，通过DOE生成的数据可以用于训练模型，以识别最佳的加工参数。同时，主动学习可以在生产过程中实时调整，以应对新的制造挑战或变化的操作条件。

3.4智能制造中应用机器学习的优点

智能制造是制造业数字化转型的重要组成部分，它利用先进的信息技术和机器学习算法来优化生产流程、提高效率和产品质量。在这个过程中，机器学习的应用变得尤为关键，它通过自动化和智能化的方法，改善了传统制造业的多个方面。一个主要的应用领域是生产线的自动化控制。机器学习模型可以实时分析生产数据，预测设备故障，优化生产效率，并实时调整生产参数以应对不同的生产需求。例如，在汽车制造中，机器学习被用来优化装配线的速度和精度，从而减少错误和提高整体的生产效率。

质量控制是另一个重要的应用领域。通过应用机器视觉和学习算法，智能制造系统能够自动检测产品缺陷，确保产品质量。机器学习模型能够从历史数据中学习，识别出可能导致缺陷的模式，从而预测并防止未来的生产问题。此外，智能制造中的机器学习还广泛应用于供应链管理和物流优化。机器学习算法可以分析市场需求、原材料供应和物流网络，优化库存水平和运输安排，从而降低成本并提高响应速度。

然而，智能制造系统的实施并非没有挑战。数据的质量、模型的准确性和系统的集成是成功实施智能制造的关键因素。此外，对于操作员来说，适应新的智能制造环境也是一个重要的考虑因素。

3.5挑战与前景

尽管机器学习技术在机械制造领域展现出巨大潜力，其实际应用过程仍面临着一系列挑战。首先，数据的质量和完整性是一个重要问题。机器学习模型的性能在很大程度上取决于训练数据的质量。在制造领域，获取大量、高质量、标注准确的数据往往具有挑战性。此外，由于生产环境的复杂性，从现场收集的数据可能包含噪声或不一致性，这些因素都可能影响模型的准确性和可靠性。其次，模型的准确性和可解释性是另一个关键挑战。虽然机器学习模型特别是深度学习模型在数据分析方面表现出色，但它们的“黑箱”特性使得模型决策过程的解释变得困难。在制造领域，这种不透明性可能不利于技术的接受和信任，特别是在涉及关键安全和质量控制的应用场景。再者，算法的普适性和可适应性也是机器学习在制造领域面临的挑战。不同的制造环境和任务可能需要不同的机器学习策略和参数调整。因此，开发出能够适应多种场景并且易于调整的机器学习解决方案是推动这一技术广泛应用的关键。

尽管存在这些挑战，机器学习技术在机械制造领域的前景仍然光明。随着技术的进步，如更先进的数据处理方法、改进的学习算法和更强大的计算能力，预计这些挑战将逐渐被克服。此外，随着人们对这些技术的理解加深，以及行业标准和最佳实践的建立，机器学习将在提高生产效率、降低成本、提高产品质量和推动创新方面发挥越来越重要的作用。

3.6本章小结

本章综述了机器学习在机械制造领域的多方面应用，包括在增材制造、材料设计、数据生成策略和智能制造等方面的重要贡献。机器学习技术通过其高级数据处理和分析能力，在改进制造流程、提高产品质量、降低成本以及促进技术创新方面展现出巨大的潜力。特别是在增材制造和材料设计领域，机器学习不仅优化了生产过程，还加速了新材料的开发和应用。

然而，机器学习在机械制造中的应用并非没有挑战。数据质量和完整性、模型的准确性和可解释性、以及算法的普适性和可适应性是当前实际应用中的主要障碍。未来的研究需要集中于解决这些问题，以便更好地利用机器学习在制造领域的潜力。此外，随着人工智能技术的不断发展，期望看到更多创新的机器学习方法被开发出来，以应对更为复杂和多变的制造需求。

综上所述，机器学习在机械制造领域的应用前景广阔。随着相关技术的不断发展和成熟，以及行业对这些新技术理解的深入，可以预见机器学习将在未来的制造业中扮演越来越重要的角色，不仅在提高生产效率和产品质量方面，而且在推动整个行业向更高水平的自动化和智能化发展方面。

总结与展望

近年来，随着人工智能和计算机科学技术的发展，机器学习技术在机械设计制造领域取得了广泛的应用。

在机械设计领域，机器学习可应用于机械产品方案设计，机器零部件的详细设计。机器学习与机械产品方案设计相结合，可帮助设计师更好地理解机械零件的性能特征和变化趋势，从而实现更加精准，高效的机械产品设计和优化。机器学习与机器零部件设计相结合，可以帮助企业实现零部件的自动分类和识别，提高工作效率和准确性。

在机械制造领域，机器学习可应用于增材制造、材料设计、数据生成策略和智能制造集成等方面，机器学习与增材制造相结合，避免了大量的试错成本，显著提高了增材制造的成形质量和效率。机器学习与材料设计相结合，可以有效避免传统试错法带来的高额成本。

经研究，机器学习在机械制造领域同时也存在着挑战，如数据质量和完整性、模型的准确性和可解释性、以及算法的普适性和可适应性。这些都是机器学习在机械制造领域得到进一步发展的阻碍，也是技术人员在制造领域应用机器学习时应该关注的问题。可以预见的是，随着人类技术的不断进步，这些挑战也将迎刃而解，机器学习也将在机械设计制造领域得到更为广泛地应用，推动着机械设计制造不断地更迭。

参考文献

[1] 崔雍浩，商聪，陈锶奇，郝建业.人工智能综述：AI的发展[J].无线电通信技术,2019, 45 (3): 225-231

[2] 李胜.机器学习应用研究[M].武汉：武汉大学出版社,2023

[3] 邹相宝. 人工智能在机械设计制造及其自动化中的应用[J]. 集成电路应用, 2021, 38(9): 144-145.

[4] 邢文训. 现代优化计算方法[M]. 南京: 南京理工大学印, 2005: 113-120.

[5] 黄洪钟, 赵正佳, 姚新胜, 冯春. 遗传算法原理、实现及其在机械工程中的应用研究与展望[J].机械设计, 2000, 3: 1-5.

[6] 单祖辉. 人工智能在机械设计制造行业的应用[J]. 内燃机工程, 2022, 43(4): 110-111.

[7] 王新宇, 陈治亚, 雷定猷, 王刚. 阔大货物装载加固决策推理方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(1): 237-241.

[8] 苏唤唤. 基于TRIZ发明原理的领域问题求解方法研究[D]. 济南: 济南大学, 2013.

[9] Chiu c. A case-based customer classification approach for direct marketing[J]. Expert Systems with Applications, 2002, 22(2): 163-168.

[10] 周继鹏. 机械产品智能设计与建模[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2017.

[11] 窦小刚. 人工智能技术在机械设计制造中的应用[J]. 公关世界, 2022(12): 57-58.