

# 基于故障树分析的自动化产线停机原因诊断方法研究

吴应豪

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

**【摘要】**：自动化产线的停机问题直接影响生产效率和企业经济效益。故障树分析（FTA）作为一种系统化的故障诊断方法，能够有效识别停机原因。本研究基于故障树分析方法，探讨了如何通过构建和优化故障树模型，精确诊断自动化产线停机的根本原因。通过对设备、控制系统及工艺流程的调研，收集相关数据，构建故障树模型，并结合历史数据和专家经验进行优化。结合实时数据分析与人工智能技术，故障树分析可进一步提升停机原因诊断的精度和实时性，为生产线的稳定运行提供有效支持，推动自动化产线的持续改进与优化。

**【关键词】**：自动化产线，故障树分析，停机原因，诊断方法，生产效率

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.089

## 引言

自动化产线在现代制造业中得到了广泛应用，其高效性和精准性在提升生产力方面起到了重要作用。自动化产线的停机问题仍然是影响生产效率和企业效益的主要瓶颈。停机原因通常复杂多样，涉及设备故障、操作失误及系统性问题等多个方面，传统的停机原因分析方法往往难以全面、精准地识别根本原因。故障树分析（FTA）作为一种系统化的故障诊断方法，通过层次化分解事件、定量评估故障概率，能够有效识别停机原因并提供优化建议。结合现代大数据与人工智能技术，故障树分析在自动化产线中的应用逐渐成为解决停机问题的重要手段，具有广泛的应用前景。

## 1 自动化产线停机原因分析的现状与挑战

### 1.1 自动化产线常见故障类型

自动化产线通常由多个复杂的设备和系统组成，涉及机械、电子、软件等多个领域，因此故障类型也相当多样。常见的设备故障包括传感器失效、电动机故障、液压系统漏油等，通常是由于设备长期运行导致的磨损、部件老化或操作不当引起的。除了设备故障，操作故障也是影响自动化产线效率的关键因素。操作人员的失误，如参数设定错误、调试不当等，会导致系统运行不稳定或设备无法正常启动。系统性故障则表现为自动化控制系统出现异常，如程序错误、数据传输中断、硬件故障等，往往涉及多个环节，可能对产线整体运行产生严重影响。有效识别这些故障类型，是确保自动化产线顺利运行的基础。

### 1.2 当前停机原因分析的不足与局限

目前，自动化产线停机原因分析普遍依赖经验判断和传统的故障排查方法，面临一些明显的不足与局限。停机原因分析缺乏系统性，通常只关注单一设备或单一故障点，忽视了多种因素的相互作用。设备故障与操作失误可能共同导致停机，但现有分析方法难以全面考虑这些复合因素。许多停机分析方法较为依赖人工干预，导致分析结果可能受到人为误差的影响。

现有的停机原因分析多数基于历史数据，缺乏实时性，无法快速响应生产过程中突发的故障或异常。现有的分析方法无法满足自动化产线对高效、精准停机诊断的需求。

### 1.3 故障树分析在诊断中的应用现状

故障树分析（FTA）作为一种系统化的故障诊断工具，已在部分自动化产线中得到应用。通过构建故障树模型，FTA能够层层分解故障事件，帮助定位导致停机的根本原因，尤其在复杂的机械设备和电气系统中具有重要作用。然而，故障树分析在自动化产线中的应用仍面临挑战。自动化产线涉及多个环节与系统，如何全面涵盖所有可能的故障源，构建一个高效的故障树模型是一个难点。传统的FTA方法相对静态，难以应对生产过程中实时变化的故障事件。为了解决这些问题，当前的研究逐渐倾向于将故障树分析与实时数据监控、人工智能技术相结合，旨在提高诊断的精度与实时性，从而更好地应对现代自动化产线的复杂性与动态变化。

## 2 故障树分析方法概述及其适用性

### 2.1 故障树分析的基本概念与构建流程

故障树分析（FTA）是一种系统化的故障诊断方法，广泛用于识别复杂系统中的潜在故障和风险源。其基本原理是通过构建故障树模型，将系统的故障事件逐层分解，最终找出导致整体故障的根本原因。首先，需要明确系统的顶事件，即导致停机或失败的主要故障，并将其分解为多个子事件。根据事件之间的关系，选择合适的逻辑门（如与门、或门等）连接各子事件。每个子事件的发生可能受多种因素共同作用，定量分析各事件的发生概率，有助于评估系统故障的整体风险。这一过程结合专家知识、历史数据及生产线实际情况，考虑设备、人员及环境等因素，从系统性角度全面分析故障原因，并有效识别潜在风险，为故障预防与维护提供科学依据。

### 2.2 故障树分析的关键技术与方法

故障树分析的核心技术包括故障树构建、逻辑门设计、概率评估和优化分析。故障树的构建需要深入理解系统各部分及

其相互关系，通过层层分析识别故障因素。逻辑门设计时，合理选择与门、或门等，确保准确反映故障事件的关系。概率评估是关键步骤，依赖历史故障数据与可靠性数据来计算各事件发生的概率，这要求数据具有高度准确性与代表性。最后，优化分析通过识别故障树中的薄弱环节，提出有效的优化措施以提升系统稳定性与可靠性。现代故障树分析方法已广泛结合计算机辅助工具，提高分析效率。随着大数据和人工智能的进步，基于数据挖掘的故障树分析方法正逐步发展，通过分析大量历史数据，进一步提升故障树模型的精度与应用性。

### 2.3 故障树分析在制造业中的应用实例

故障树分析（FTA）已被广泛应用于制造业中的故障诊断与风险评估，特别是在自动化产线中。在某些汽车生产线中，FTA 被用来分析生产过程中出现的设备故障问题。通过建立生产线的故障树模型，成功识别出影响生产效率的主要因素，并提出了针对性的维修和改进措施。在某些电子产品制造企业，FTA 被用来对自动化组装设备的停机原因进行诊断。通过对设备故障和操作问题进行系统分析，能够精确定位故障源，为维修团队提供明确的修复方向，显著缩短了停机时间。通过 FTA 的应用，许多制造企业能够更高效地发现潜在的故障风险，并在故障发生之前采取预防措施，从而减少了生产过程中的不必要停机，提升了整体生产线的可靠性和稳定性。

## 3 基于故障树分析的自动化产线停机诊断模型设计

### 3.1 故障树模型的构建与优化

在自动化产线停机原因分析中，构建高效合理的故障树模型是诊断的基础。需要全面调研产线中的设备、控制系统和工艺流程，收集故障数据和历史事件记录，通过专家经验识别可能导致停机的关键因素。然后，采用层次化设计，将这些因素分解为子事件，并通过合适的逻辑门进行连接，形成完整的故障树模型。随着生产过程的复杂化，模型需不断优化更新。当新设备或工艺被引入时，故障树模型应及时调整，以覆盖新的故障模式。随着生产数据的积累，可以通过数据驱动的方法持续优化模型，提高诊断的精度与实时性。模型优化不仅仅是理论操作，更需要结合实际生产过程，不断调整参数，确保模型能准确反映实际运作中的变化。

### 3.2 停机事件的定量分析与概率评估

在构建故障树模型的基础上，定量分析和概率评估是故障树分析的核心环节。每个子事件的发生概率通常由历史数据、设备可靠性分析或专家评估来确定。通过对这些概率的计算，可以估算出整个系统发生故障的概率，从而识别出最可能导致产线停机的关键因素。定量分析有助于深入了解不同故障事件之间的关联关系，尤其是在复杂的自动化产线中，设备故障和系统性故障往往存在交互作用，这使得单一故障事件的概率不能完全反映整个系统的故障风险。针对这些相互影响的因素，

需要采用更为复杂的概率模型，如贝叶斯网络等，以提高分析的准确性。停机事件的概率评估还需要结合生产环境的实际情况，如温度、湿度等外部因素的影响，从而实现更为精准的故障诊断。

### 3.3 诊断模型的验证与案例分析

诊断模型的有效性需要通过实际案例进行验证。在自动化产线的停机原因诊断中，可以通过选取某些典型的停机案例，使用构建的故障树模型进行分析，比较分析结果与实际停机原因的吻合度。验证过程中，重要的是收集和整理相关的数据，确保模型输入的准确性。在模型验证后，针对分析中发现的问题，进行相应的调整和优化，以提高模型的可靠性。案例分析不仅有助于验证诊断模型的实际应用效果，还能够帮助生产管理人员更好地理解模型的应用流程和实际操作方法。某电子产品生产线在进行故障树分析时，通过对停机原因的细致分析，发现了一个长期被忽视的系统性问题，从而为后续改进提供了重要依据。

## 4 自动化产线停机原因的诊断与解决方案

### 4.1 故障诊断过程中的数据收集与分析

在进行停机原因诊断时，数据收集和分析是最基础且至关重要的一步。通过传感器、监控系统等设备实时收集产线的运行数据，包括设备状态、温度、压力、速度等参数，可以为停机原因的诊断提供第一手资料。尤其是在现代自动化产线中，数据的准确性和完整性直接影响到诊断结果的精度。在数据收集时，不仅要确保数据的全面性，还需要对数据进行适当的预处理和筛选，以去除噪声和异常值。通过对收集到的数据进行深度分析，可以发现潜在的故障趋势和模式，例如设备的频繁波动、系统的响应延迟等。这些信息有助于提前预测停机事件的发生，进而为后续的诊断和处理提供有力支持。

### 4.2 停机原因的分类与优先级排序

停机原因分析的一个重要环节是对各种可能的原因进行分类和优先级排序。在分析过程中，首先需要将停机原因按照故障类型进行分类，如设备故障、操作失误、控制系统问题等。然后，基于各个故障事件的发生概率和影响范围，对其进行优先级排序。对于高频次、高风险的故障事件，应优先进行处理，采取相应的预防和优化措施。这一过程可以通过故障树分析模型中的定量评估结果来支持，确保处理过程更加科学合理。对于那些影响较小且发生概率较低的故障，可以根据实际情况制定适当的维修计划，避免不必要的资源浪费。

### 4.3 基于诊断结果的优化与预防措施

在停机原因诊断过程中，通过故障树分析方法可以揭示出系统中存在的薄弱环节。根据诊断结果，可以制定相应的优化与预防措施，以提高产线的可靠性和稳定性。针对某些设备频繁发生故障的原因，可以通过加强设备的日常维护、更新部件

或调整工艺流程来降低故障发生的概率。对于控制系统中的潜在问题，可以通过优化软件算法、增加冗余设计等手段来提高系统的容错能力。停机原因的诊断还可以推动生产线的智能化改造，结合物联网技术，实时监控设备运行状态，进行远程故障诊断与维修，从而提前发现问题并采取相应措施，减少停机时间。见表1：

表1 2023年中国部分工业设备平均故障停机时间及维修响应时间统计表

设备类型	平均故障停机时间 (小时/次)	平均维修响应时间 (分钟)	数据来源
数控机床 (CNC)	2.5	35	《2024年中国智能制造发展报告》(中国电子信息产业发展研究院)
工业机器人	1.8	28	《2023年工业机器人应用白皮书》(中国机械工程学会)
注塑机	3.2	42	《2023年塑料加工业运行分析报告》(中国塑料加工工业协会)
空压机	1.5	50	《2023年通用机械行业统计年报》(中国通用机械工业协会)
包装自动化线	2.0	30	《2023年食品包装设备运行调研》(中国包装联合会)

## 5 自动化产线停机原因诊断方法的未来发展方向

### 5.1 智能化与自动化的融合发展趋势

人工智能与大数据技术的发展使得自动化产线的智能化水平不断提升，这一趋势正在深刻影响故障诊断的方式。传统的故障树分析依赖人工输入与经验判断，诊断过程较为缓慢且易受人为因素干扰。然而，借助机器学习、深度学习等智能化技术，自动化产线能够自主识别异常模式并进行故障预测。机器学习可以在不断运行中积累经验，通过对大量历史数据的学习，自动优化诊断模型，显著提高诊断的精度和实时性。深度学习算法可通过多层次的神经网络结构，更深入地挖掘潜在的故障模式。这些智能化工具的结合将推动自动化产线实现更高效的自我诊断与维护，从而有效减少人工干预，提高生产线的

### 参考文献：

- [1] 张凯,王强.基于故障树分析的自动化产线停机原因诊断方法研究[J].现代制造工程,2023,42(6):112-118.
- [2] 刘涛,高峰.故障树分析方法在生产线停机原因诊断中的应用[J].工业工程,2022,39(4):56-62.
- [3] 徐明,张瑶.自动化生产线故障诊断技术综述[J].计算机与自动化,2021,43(5):78-84.
- [4] 王勇,赵璐.基于故障树分析的设备故障诊断与预防研究[J].机械工程学报,2022,58(8):132-139.
- [5] 朱磊,刘芳.智能化故障诊断在自动化生产线中的应用探讨[J].机械设计与研究,2023,29(3):90-95.

稳定性与自动化程度。

### 5.2 基于大数据与人工智能的故障诊断技术

大数据技术的普及使得自动化产线能够实时采集海量的生产数据，这些数据蕴含着系统运行的关键特征。利用大数据分析，系统能够精准识别设备和流程中的潜在故障模式。通过将大数据与人工智能算法结合，生产线能够实现智能化的故障诊断。人工神经网络、支持向量机等先进的机器学习算法，能够有效分析和处理这些复杂的数据，识别出潜在的故障源并提供解决方案。神经网络可以从大量的数据中学习设备运行中的微小变化，从而提前预测故障的发生。这些先进技术的应用，使得故障诊断不再依赖传统的静态分析，而是转向动态预测，从而实现了更加精确和及时的停机原因诊断。

### 5.3 多层次诊断模型的创新与应用探索

未来的故障诊断将朝着多层次、多维度的方向发展。传统的故障诊断方法往往聚焦于单一的故障类型，无法全面考虑各个层次的复杂交互关系。而多层次诊断模型能够结合设备、控制系统、操作流程等多个因素进行综合分析，以提供更为准确和系统的故障诊断结果。通过物联网技术的应用，生产线的各个环节都能实时传输数据，系统可以对设备运行状态进行全面监控，并将监控结果与历史数据进行对比分析。边缘计算技术的结合，使得诊断能够在现场实时处理数据，快速响应各种突发情况，极大地提高了生产线对复杂故障环境的适应能力。多层次诊断模型的应用，不仅提高了诊断的准确性，还能有效减少停机时间，提升生产线的整体效益。

## 6 结语

本文研究了基于故障树分析的自动化产线停机原因诊断方法。通过深入探讨故障树模型的构建、优化以及应用过程，展示了其在分析自动化产线停机原因中的重要作用。随着自动化产线复杂性的增加，传统的停机分析方法已逐渐无法满足高效准确的需求，而故障树分析方法凭借其系统化的结构和定量化的分析手段，提供了有效的解决方案。未来，结合智能化技术和大数据分析，故障树分析将在生产管理中发挥更大的作用，推动自动化产线的持续优化与改进。