

# 化工装置试车阶段仪表联锁系统调试的可靠性与故障排查策略分析

彭 丽

浙江吉泰新材料股份有限公司 浙江 杭州 312369

**【摘要】**：化工装置试车阶段的仪表联锁系统调试直接关系到装置的安全性和稳定性。通过对系统可靠性的分析，识别潜在的故障风险并制定有效的故障排查策略，有助于减少试车过程中可能出现的故障，确保系统稳定运行。采用先进的诊断技术和优化的故障排查方法，结合系统冗余设计和精确的调试策略，能够提高系统的响应速度和抗干扰能力。完善的系统测试和验证方法能够确保系统在不同工况下的可靠性，提升装置投产后的安全保障。

**【关键词】**：化工装置；仪表联锁；调试；可靠性；故障排查

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.072

## 引言

化工装置在投入生产之前，试车阶段至关重要。在这一阶段，仪表联锁系统作为确保装置安全、稳定运行的关键环节，承担着监测、控制与保护的重要职责。试车过程中联锁系统的调试常常伴随着各种故障和不稳定因素，这些问题如果不及时处理，可能会影响装置的投产进程甚至带来安全隐患。为此，优化联锁系统的调试过程，提高系统可靠性，以及有效的故障排查策略显得尤为重要。通过采用现代化的检测手段与策略，不仅可以加快调试过程，还能降低试车阶段的故障率，确保化工装置的顺利投产。针对这一问题，本文将从可靠性分析和故障排查两大角度进行深入探讨，提出切实可行的改进措施和策略。

## 1 仪表联锁系统的基本构成与调试原则

### 1.1 仪表联锁系统概述

仪表联锁系统是化工装置中确保安全运行的重要部分，它通过监测、控制与保护多个设备和操作参数，实现各系统间的协调与同步。这一系统通常由传感器、执行器、控制单元、报警装置等基本组件构成。传感器负责检测各类过程参数如压力、温度、流量等，执行器则根据控制信号执行动作，控制单元负责接收传感器信号并发出相应的指令，确保各操作环节的可靠性与安全性。联锁系统的设计需根据具体工艺要求，设置合理的操作限值，并配备合适的冗余措施，以避免系统出现单点故障。系统的可靠性与灵敏度直接关系到装置的安全运行，确保系统在紧急情况下能够自动执行安全保护措施。

### 1.2 系统调试的关键原则

调试过程是确保仪表联锁系统正常工作的关键环节，其核心在于对系统性能的全面检查与优化。调试前，必须对各个传感器、执行器及控制设备进行详细的检验，确保其安装位置和功能正确。调试过程中，注重系统的响应时间、稳定性和控制精度等指标，必须严格按照设计规范进行操作，避免随意修改

参数。要对系统进行逐项测试，从输入信号的采集到执行器的响应，确保每个环节能够准确无误地执行预定操作<sup>[1]</sup>。调试工作还应包括联锁逻辑的确认，验证联锁关系的正确性，避免因错误的联锁设置导致设备误操作或安全事故。通过对系统的多轮测试，确保系统在各种复杂工况下都能保持高效运行。

### 1.3 调试阶段的常见问题与解决办法

在调试过程中，常见的问题主要集中在设备响应不及时、信号传输不稳定、联锁逻辑错误等方面。信号不稳定常由接线不良、接地问题或干扰引起，解决此类问题需确保电气连接的可靠性，使用适当的屏蔽和接地技术。执行器动作迟缓或不响应，可能是由于其性能衰退或调节参数设置不当。此时，需要对执行器进行重新校准或更换。联锁逻辑错误通常由设计疏漏或调试人员操作不当导致，排查时应逐步检查每个联锁条件，确保其符合工艺要求。在调试过程中还可能遇到传感器的精度偏差问题，应通过标准设备进行比对，必要时进行现场调整或更换。遇到这些问题时，调试人员需要迅速定位原因并采取有效解决措施，确保系统最终能够顺利投入运行。

## 2 试车阶段联锁系统可靠性分析方法

### 2.1 系统可靠性评估指标

在试车阶段，评估仪表联锁系统的可靠性是确保装置安全运行的核心。常见的可靠性评估指标包括系统可用性、故障率、平均无故障时间（MTBF）及维修性。系统可用性衡量系统在规定时间内能够正常运行的概率，这直接影响装置的生产效率。故障率则是单位时间内发生故障的频率，影响系统的稳定性与安全性。MTBF 则用于描述系统在发生故障之前的平均运行时间，它能帮助识别系统潜在的薄弱环节。维修性评估指标则考量系统在发生故障后恢复到正常工作状态的速度和效率。通过这些指标的综合分析，能够明确联锁系统在试车阶段的性能瓶颈，并采取有效措施进行优化。

## 2.2 可靠性分析模型应用

为确保仪表联锁系统的可靠性，可靠性分析模型被广泛应用于试车阶段的系统评估。常用的模型包括故障树分析（FTA）和可靠性块图（RBD）。故障树分析通过构建事件树，分析系统中各个组件的失效模式及其对整体系统的影响，从而找出潜在的系统风险点，并进行有针对性的改进<sup>[2]</sup>。可靠性块图则通过模块化建模，分析不同组件和系统之间的相互关系，以评估整体系统的可靠性。在试车阶段，通过这些分析模型，可以精准识别出系统中的薄弱环节，对可能引发故障的因素进行有效预警，并采取措施提升系统的运行安全性。基于历史数据的统计分析也能够为系统的可靠性评估提供实际依据，支持决策制定。

## 2.3 实际案例分析

在实际应用中，试车阶段的联锁系统可靠性分析已在多个化工装置中得到了广泛实施。在某化工装置的试车过程中，通过故障树分析发现，某一关键传感器在高温环境下的故障率较高，进而影响了整个系统的联锁功能。经过对该传感器的性能测试与改进，及时调整了联锁逻辑，增强了系统的稳定性。可靠性块图分析表明，某些设备的冗余设计未达到预期效果，导致在设备故障时系统无法迅速切换到备用设备。针对这一问题，通过增加冗余系统和优化设备配置，显著提高了系统的可用性。通过这些案例的分析，能够为其他化工装置提供可靠性分析的经验教训，并指导类似装置在试车阶段的优化措施。

# 3 故障排查策略的核心内容

## 3.1 故障诊断技术与方法

故障诊断技术是确保仪表联锁系统稳定运行的关键。常用的诊断技术包括基于数据驱动的分析方法、模型推理方法以及专家系统技术。数据驱动方法通过实时监测系统运行参数，结合历史数据进行模式识别和异常检测，一旦系统出现偏离正常运行的迹象，便可自动报警并进行初步诊断。模型推理方法则依据设备和系统的理论模型，结合实际运行数据，通过对比分析找出系统异常的根本原因。专家系统通过人工智能技术模仿专家的决策过程，结合设备的故障经验库，进行故障分析与诊断。这些技术的应用能够快速锁定问题所在，为故障排查提供科学依据，提升整体系统的稳定性与可靠性。

## 3.2 故障定位与修复策略

故障定位是保障仪表联锁系统正常运行的关键步骤。通过对诊断结果的分析，故障定位方法能够精确识别故障部件和失效模式。常用的定位方法有分层故障诊断法、逻辑分析法以及信号追踪法。分层故障诊断法通过将复杂系统分解为多个子系统，逐一排查，缩小故障范围。逻辑分析法则结合联锁逻辑关系，通过分析各个组件之间的互动关系，识别出导致系统失效的具体环节<sup>[3]</sup>。信号追踪法则通过追踪传感器和执行器的信号

变化，逐步回溯，准确找出故障源。在故障定位明确后，修复策略需根据故障类型选择合适的措施。若为硬件故障，需进行设备的更换或修理；若为软件故障，则需调整系统参数或更新程序代码。系统性故障的修复还需要对系统架构进行优化，提升系统的冗余性和容错能力，从而减少类似问题的再次发生。

## 3.3 故障排查的工作流程

故障排查的工作流程通常包括诊断准备、故障分析、定位验证、修复执行及复测验证五个主要环节。诊断准备阶段，操作人员需确保系统监控设备的正常运行，收集并分析历史运行数据，为后续故障排查提供基础信息。进入故障分析阶段后，根据故障报警及异常数据，运用故障诊断技术进行初步分析，找出可能的故障范围。随后的定位验证阶段，通过深入检查和逐步测试，确认故障的具体部位和原因。在修复执行阶段，根据定位结果，采取相应的维修措施，进行设备更换或系统调整。复测验证环节，需对修复后的系统进行全方位的功能测试，确保修复工作已彻底解决故障问题，并验证系统的正常运行。在整个过程中，应根据实际情况及时调整策略，确保排查工作高效、有序地进行，避免因疏漏导致新的故障隐患。

# 4 提升联锁系统可靠性的措施

## 4.1 技术改进与优化措施

为了提高联锁系统的可靠性，技术改进和优化是至关重要的一环。通过引入更为先进的传感器和执行器技术，可以显著提高系统的响应速度和精度，减少因硬件故障引起的系统不稳定问题。冗余设计的采用也是提升可靠性的重要手段，通过在关键环节设置备用系统，可以有效避免单点故障的发生，确保在主系统出现问题时，备用系统能够及时接管。另一项技术改进是联锁逻辑的优化，通过对现有联锁策略进行深入分析，减少不必要的复杂性，使得系统更加简洁高效。基于人工智能和机器学习的故障预测技术，能够提前预警潜在故障，并及时进行预防性维护，大大降低故障发生的频率。对于软件方面，及时更新控制程序，修正已知的漏洞和缺陷，也能有效提升联锁系统的稳定性。

## 4.2 系统测试与验证方法

为了确保联锁系统在实际运行中能够稳定可靠地工作，系统测试和验证必须涵盖全面且深入的各个环节。在设计阶段完成后，首先要进行基本功能测试，验证各个组件及模块是否按照设计要求正常工作<sup>[4]</sup>。在试车阶段，通过模拟各种可能的工况，进行压力测试、负荷测试和故障恢复测试，验证系统在极端情况下的应急响应能力。特别需要对系统的冗余功能进行验证，确保当主要设备出现故障时，备用系统能迅速接管，保证系统的连续性和稳定性。为进一步提升系统可靠性，长期运行测试也非常关键，通过监控系统在长时间运行中的性能，分析可能的故障隐患并进行针对性修复。定期的验收测试和第三方

评估,有助于发现潜在的设计或执行问题,并及时改进和优化。

#### 4.3 实施有效的维护与管理

连锁系统的维护和管理是确保其长期可靠运行的关键。定期的预防性维护是避免系统故障的有效措施。通过定期检查设备的性能、清洁和校准传感器、检查接线和电气元件,可以确保系统始终保持在最佳状态。除此之外,记录和跟踪每次维修的详细信息,对于后续故障诊断和维护决策具有重要参考价值。对系统的运行状态进行实时监控也是管理中不可忽视的一部分,通过设置智能化监控平台,可以及时发现异常情况并进行预警。在故障发生后,快速响应和高效的修复策略至关重要,确保系统能够尽快恢复运行,减少停机时间和生产损失。对于连锁系统的管理,建立健全的技术文档和操作规程,同样是保障系统可靠性的重要措施。

### 5 试车阶段系统稳定性保障的关键因素

#### 5.1 关键环节的监控与反馈

在试车阶段,确保连锁系统稳定性的首要因素是对关键环节的实时监控和反馈。这些关键环节包括传感器的准确性、执行器的响应速度以及系统中各个控制模块的协调性。通过高精度的传感器和监测设备,可以实时获取关键参数的变化,提前发现潜在的异常。反馈机制的完善也至关重要,系统应能够快速识别异常信号并作出响应。通过集中式监控平台,操作人员能够实时查看系统运行状态,对任何异常情况进行快速处理。实时数据的传输和处理能力决定了系统的响应速度,延迟或信息丢失可能导致处理不及时,影响整体稳定性。

#### 5.2 动态调节与优化

系统的动态调节和优化对于保障其稳定性至关重要。在试

车阶段,外部环境和系统负载可能会发生变化,导致设备性能波动。通过动态调节,系统能够自动调整各项操作参数,以适应这些变化。控制算法的优化能够根据实时反馈对系统进行调整,确保各组件在最佳工况下运行<sup>[5]</sup>。结合模型预测控制(MPC)和自适应控制策略,系统能够在不同工况下自动调整控制策略,优化能源消耗和操作效率。优化过程中应确保调节过程的平滑性,避免因过度调整导致不稳定现象,从而保证系统在试车阶段的平稳过渡。

#### 5.3 系统稳定性的提升策略

提升系统稳定性的策略不仅仅局限于硬件的冗余设计,更多地涉及到软件优化与控制策略的调整。对于关键设备,采用冗余备份设计可确保在故障发生时,备用系统能够迅速接管,避免系统停机。软件控制系统的稳定性同样至关重要,需通过不断优化控制算法,减少系统过度反应或不必要的波动。系统应具备自诊断能力,在出现异常时能够自动识别并采取应急措施。进一步提升稳定性的另一项措施是加强系统的抗干扰能力,采用先进的信号处理技术,确保系统在电磁干扰等环境因素下仍能稳定运行。通过多方面的优化措施,确保系统在试车阶段表现出高可靠性和高稳定性。

### 6 结语

试车阶段的仪表连锁系统调试对于化工装置的稳定性至关重要。提升系统可靠性,优化调试过程中的故障排查策略,不仅能提高装置的安全性,还能有效减少停机时间。可靠性评估和故障排查策略的不断完善,有助于增强系统的应急响应能力。通过持续的技术优化与精确的管理措施,连锁系统能够实现高效、稳定的运行,确保装置顺利投产。

#### 参考文献:

- [1] 张子进.石油化工装置自动化仪表的精准安装与稳定调试策略研究[J].移动信息,2025,47(12):456-458.
- [2] 宋一歌.化工装置仪表与控制系统失效的原因与改进措施[J].中国仪器仪表,2025(2):74-77.
- [3] 胡晓鹏.浅析 SIS 与 DCS 集成的化工装置安全控制系统应用[J].中国科技期刊数据库工业 A,2025(4):103-106.
- [4] 周越.电磁阀在石油化工装置安全连锁保护过程中的设计与应用[J].中国科技期刊数据库工业 A,2024(6):0071-0074.
- [5] 李思炜.化工装置连锁逻辑设计探讨[J].广东化工,2022,49(19):211-215.