

精细化工装置仪表设计与数据处理优化

Instrument Design and Data Processing Optimization for Fine Chemical Plants

陈连和

Lianhe Chen

湖北省武汉工程大学研究设计院 中国·湖北 武汉 430074

Research and Design Institute of Wuhan University of Engineering, Wuhan, Hubei, 430074, China

摘要: 论文旨在深入探讨精细化工装置仪表的设计与优化策略。探讨了控制策略的选择,如PID控制和模糊控制,以及执行器和仪表的选用原则。此外,论文还关注了数据采集与处理系统的设计,介绍了数据采集系统架构、数据传输与存储方案,以及数据处理与分析方法。通过详细的论述,为工程师们提供了指导和启发,以实现精细化工装置的高效、稳定和优质运行。

Abstract: This paper aims to deeply explore the design and optimization strategies of fine chemical equipment instruments. Explored the selection of control strategies, such as PID control and fuzzy control, as well as the selection principles of actuators and instruments. In addition, this article also focuses on the design of a data acquisition and processing system, introducing the architecture of the data acquisition system, data transmission and storage solutions, as well as data processing and analysis methods. Through detailed discussions, guidance and inspiration were provided for engineers to achieve efficient, stable, and high-quality operation of fine chemical plants.

关键词: 精细化工装置; 仪表设计; 控制策略; 数据采集与处理; 传感器选择

Keywords: fine chemical equipment; instrument design; control strategy; data collection and processing; sensor selection

DOI: 10.12346/etr.v5i8.8464

1 引言

精细化工作为现代工业领域的重要组成部分,旨在通过精确的控制和监测,实现高效、稳定和优质的生产过程。在精细化工装置中,仪表设计是确保生产过程稳定性和产品质量的关键因素之一。仪表在生产过程中扮演着监测、控制和调节的重要角色,其性能和选择对于生产效率和产品质量具有直接影响。

2 设计目标和要求

在精细化工装置仪表的设计中,确立明确的设计目标和要求是确保装置顺利运行和优化生产过程的关键步骤。这一阶段的任务是全面考虑装置的性能、操作需求以及生产目标,为后续的仪表选择、系统设计和控制策略制定提供指导。

2.1 性能指标和操作要求分析

性能指标和操作要求的分析旨在深入了解精细化工装置

在生产中的工作环境和功能需求。首先,需要明确装置的生产产量目标,包括预期的产品产量、质量标准以及生产周期。其次,操作要求的分析涵盖了操作人员与装置的互动,这可能包括人机界面的设计、报警系统的设置以及远程监控等。此外,还需要考虑装置在不同操作模式下的切换以及应对紧急情况的应急措施。

综合性能指标和操作要求,可以制定出具体的技术要求,例如:

①实时监测和控制生产过程,以保持稳定的温度、压力和流量等参数。

②精确控制反应速率,以满足产品质量标准。

③提供直观的操作界面,减少操作人员的操作难度。

④实现故障自诊断功能,及时报警并记录故障信息。

2.2 测量参数和控制参数明确

在设计中,需要明确需要测量和控制的参数,这些参数

将直接影响装置的操作和性能。例如，对于一个化学反应装置，可能需要测量和控制的参数包括温度、压力、pH值、浓度等。这需要考虑参数的测量范围、测量精度和采样频率。同时，还需要明确哪些参数将作为控制输入，以及控制的目标值和允许范围。

例如，在温度控制方面，明确的测量参数和控制参数可以是：

- ①测量参数：反应器内部温度。
- ②控制参数：反应器内部温度控制在指定范围内，以确保反应过程稳定。

这样的明确性可以指导后续的传感器选择、仪表布局以及控制算法的设计，从而确保装置能够精确测量和控制关键参数，达到预期的生产效果。

通过仔细分析性能指标、操作要求以及明确测量与控制参数，设计团队可以为精细化工装置仪表的后续工作提供清晰的指导，确保装置能够在高效、稳定和安全的状态下运行，达到预期的生产目标^[1]。

3 测量技术与传感器选择

3.1 压力测量技术与传感器选择

压力是许多工业过程中的重要参数之一，对于精细化工装置而言尤为关键。在选择压力测量技术和传感器时，需要考虑装置的工作范围、精度要求、响应时间和耐受性。

一种常见的压力测量技术是压阻式传感器，它基于电阻值随压力变化而变化的原理。另一种选择是压电式传感器，它利用压电效应将压力转换为电荷或电压信号。对于高精度和快速响应的要求，可以考虑使用石英压力传感器。

在选择传感器时，需要考虑参数范围是否覆盖装置工作压力，以及传感器的精度和可靠性。此外，还需要考虑传感器与装置的适配性、安装方式和防护等级，以确保传感器能够在实际工作环境中稳定可靠的工作^[2]。

压力测量传感器的输出电压与压力之间的关系（压阻式传感器）：

$$V=V_0+S \cdot P$$

式中， V ——传感器的输出电压；

V_0 ——零压力时的输出电压；

S ——灵敏度（电压/单位压力变化）；

P ——测量的压力。

3.2 温度测量技术与传感器选择

温度是精细化工装置中另一个重要的测量参数，对于控制反应过程和维持产品质量至关重要。在选择温度测量技术和传感器时，需要考虑装置的工作温度范围、测量精度、响应时间和耐受性。

热电偶是一种常用的温度测量技术，它基于不同金属在温度变化下产生的电动势。另一种选择是电阻温度计，如铂电阻温度计（PT100），它的电阻值随温度变化而变化。红

外测温技术可以用于非接触式温度测量，适用于高温或难以接触的情况。

温度测量电阻温度计的电阻与温度之间的关系（PT100）：

$$R=R_0 \cdot (1+\alpha \cdot T)$$

式中， R ——电阻温度计的电阻值；

R_0 ——电阻温度计在参考温度下的电阻值；

α ——电阻温度系数；

T ——温度。

3.3 流量测量技术与传感器选择

流量是精细化工装置中衡量物质传输的重要参数，需要准确测量以确保生产过程的稳定性和产品质量。在选择流量测量技术和传感器时，需要考虑装置的流量范围、测量精度、压力损失以及适用流体类型。

一种常见的流量测量技术是质量流量测量，它通过测量物质的质量来确定流量。另一种选择是体积流量测量，常见的方法包括涡轮流量计、电磁流量计和超声波流量计。选择适当的流量传感器还需要考虑流体的物性和流动特性。

在选择传感器时，需要确保传感器的测量范围覆盖装置的流量需求，同时考虑传感器的精度、稳定性和抗干扰能力。还需要考虑传感器的安装方式、维护要求以及与仪表系统的接口^[3]。

4 执行器与仪表选择

4.1 控制策略选择（PID、模糊控制等）

对于需要精确温度控制的反应过程，可以考虑使用PID控制策略。PID控制可以根据当前误差、误差累积和误差变化率来调整执行器的输出，以使系统稳定地接近设定值。对于复杂的非线性系统，模糊控制可能更合适，因为它能够处理模糊的输入和输出，适应不确定性和变化。

控制器输出值计算（PID控制器）：

$$Output=K_p \cdot e+K_i \cdot \int e dt+K_d \cdot \frac{de}{dt}$$

式中， $Output$ ——控制器的输出值；

K_p ——比例增益；

K_i ——积分增益；

K_d ——微分增益；

e ——误差（设定值与实际值之差）；

t ——时间。

4.2 执行器选择与特性分析

执行器的选择涉及到将控制信号转换为实际操作，例如调节阀门、启停泵等。在选择执行器时，需要考虑装置的工作范围、响应速度、精度要求以及对环境变化的适应能力。

例如，对于流量控制，可以选择比例阀门作为执行器。比例阀门可以根据控制信号来调整流体的流量，实现精确的流量控制。对于需要快速响应的控制，可以考虑使用快速响应的电动执行器。

4.3 仪表布局方案设计

仪表布局方案设计在精细化工装置中起着至关重要的作用，它涉及到如何合理安排和布置各种仪表设备，以便操作人员能够方便地监测、控制和调整装置的参数。一个优秀的仪表布局方案不仅能提高操作效率，还能减少操作错误，从而保障生产过程的稳定性和产品质量的一致性。

举一个化学反应装置的例子，仪表布局方案的设计需要综合考虑以下因素：

①可读性与易用性：关键参数的仪表应该布置在操作人员易于观察和接近的位置，以便操作人员能够迅速获取关键信息。例如，反应温度、压力和流量等重要参数的仪表可以集中放置在控制室的控制面板上，以便操作人员一目了然地监测和调整。

②标识与分类：使用明确的标识和颜色来区分不同类型的仪表设备，有助于操作人员快速识别。例如，可以使用不同的颜色表示温度、压力和流量等不同类型的参数，使操作人员在观察时能够迅速区分。

③紧凑布局与关联性：将相关的仪表设备放在一起，可以帮助操作人员更好地理解装置的状态。例如，将涉及同一化学反应过程的温度、压力和流量仪表设备布置在相邻位置，使操作人员可以更方便地进行综合判断和调整。

④安全性与可靠性：确保仪表设备的布局不会影响装置的安全性和可靠性。例如，在易燃易爆的环境中，需要将电气仪表设备与传感器设备合理隔离，以防止可能的危险。

⑤可维护性：布局方案应该考虑到仪表设备的维护和更换。将易损件和需要定期维护的仪表设备布置在易于访问的位置，以便操作人员可以轻松地进行维护工作。

在实际设计中，根据不同的装置类型和操作需求，仪表布局方案可以因地制宜地进行调整和优化。通过合理的仪表布局方案设计，操作人员可以更有效的监测和控制装置的参数，从而实现装置的高效运行和优质生产。

精细化工装置仪表设计数据见表 1。

5 数据采集与处理系统

在精细化工装置仪表的设计中，数据采集和处理系统扮演着关键的角色，它能够帮助监测生产过程，收集关键数据，并进行分析，从而实现实时控制和优化生产效率。

5.1 数据采集系统架构设计

数据采集系统的架构设计需要考虑如何有效地获取装置中各个仪表设备的数据，并将这些数据传输到中央控制系统进行处理。一个典型的数据采集系统可以分为以下组件：

①传感器接口：将不同传感器的输出信号接入系统，可能需要进行信号放大、滤波等处理。

②数据采集单元：负责实时采集传感器的数据，可以使用模数转换器（ADC）等技术将模拟信号转换为数字信号。

③通信模块：将采集到的数据传输到中央控制系统，可以采用有线或无线通信方式，如以太网、Modbus、Profibus 等。

④中央控制系统：负责接收、存储和处理传感器数据，实现实时监测和控制。

例如，考虑一个化学反应装置，数据采集系统可以实时监测反应温度、压力和流量等参数，将这些数据传输到中央控制系统进行实时分析和控制。

5.2 数据传输与存储方案

数据传输与存储方案的设计涉及到如何将采集到的数据传输到中央控制系统，并如何有效地存储这些数据以备后续分析。这需要考虑数据传输的速度、稳定性，以及数据存储的容量和可靠性。

对于数据传输，可以选择合适的通信协议和网络结构，确保数据能够准确、及时地传输到中央控制系统。数据存储可以使用数据库系统或云存储，以便快速存取和查询历史数据。

对于一个水处理装置，可以使用无线传感器将水质参数数据传输到中央控制系统，同时将数据存储在云端数据库中，以便后续分析水质变化趋势。

表 1 精细化工装置仪表设计数据

阶段	内容	举例或细节
设计目标与要求分析	预期生产产量、质量标准、操作要求等	产量目标：每小时 1000L，质量标准：95% 纯度，操作要求：易于操作的人机界面
测量技术与传感器选择	压力传感器、温度传感器、流量传感器等	压力传感器：压阻式，范围 0~10bar，温度传感器：热电偶，范围 0°C ~400°C
执行器与仪表选择	控制阀、电动执行器、显示屏、报警器等	控制阀：电动执行器，快速响应，显示屏：液晶显示，报警器：声光报警
数据采集与处理系统设计	数据采集单元、通信模块、中央控制系统、数据存储方案等	数据采集单元：高速 ADC，通信模块：以太网，中央控制系统：PLC，数据存储：云数据库
控制策略选择	PID 控制、模糊控制、模型预测控制等	温度控制采用 PID 控制策略，压力控制采用模糊控制策略
仪表布局方案设计	可读性、易用性、标识与分类、安全性、可维护性等	关键参数仪表集中在控制面板上，颜色标识区分不同参数，易于维护的布局设计

5.3 数据处理与分析方法

数据采集后,需要进行数据处理与分析,以提取有用的信息并帮助优化生产过程。这可能涉及数据清洗、数据转换、模式识别、异常检测等方法。

数据处理与分析可以使用各种技术,如统计分析、机器学习、人工智能等。例如,可以使用机器学习算法来识别生产过程中的规律性变化,或者使用异常检测算法来及时发现异常情况。

综合考虑,一个数据采集与处理系统的设计需要将传感器数据有效地传输并存储,同时使用适当的数据处理与分析方法,以实现实时监测、控制和生产优化。这可以帮助精细化工装置实现更高效、稳定和可靠的生产。

6 结语

在设计目标与要求分析部分,我们强调了确立明确的目标和要求对于精细化工装置设计的重要性,如性能指标和操作要求的明确有助于确保装置能够满足生产过程需求,并保

持高效稳定的操作。同时,在测量技术与传感器选择中,我们深入探讨了不同测量技术和传感器的适用性,为装置的精准测量提供了指导。此外,我们对执行器与仪表选择进行了详细阐述,强调了合适的控制策略、执行器和仪表布局对于装置操作和控制的关键作用。本论文通过对精细化工装置仪表的细致探讨,为工程实践者提供了在设计和优化过程中的指导原则和实用方法。随着技术的不断发展和应用的深入,我们相信在精细化工装置领域的仪表设计将会继续取得突破,为工业生产的持续改进和创新做出重要贡献。

参考文献

- [1] 张明迪.浅谈化工企业自动化仪表设计及施工管理[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(3):132-134.
- [2] 陈方霞.浅谈某工业园区门站供气工程自控仪表设计[J].中国仪器仪表,2022(12):33-36.
- [3] 贺睿.重整装置仪表设计工作分析[J].广东化工,2021,48(18):159-160.