

港口设备分布式智能化控制系统设计

刘元才

(中交一航局安装工程有限公司)

摘 要：为了解决港口工艺流程控制系统智能化、模块化、数字化控制过程中的问题，采用分布式工艺流程控制系统的框架。通过部署分布式智能控制器及各类传感器设备，获取每个生产设备状态运行信号。智能控制、智能设计生产工艺控制流程，实现了工艺流程控制系统的智能化和生产作业数字化，并在岳阳某炭码头项目成功应用，与传统的工艺相比，更稳定、安全，具有一定的经济性，可为类似工程提供拱参考。

关键词：港口控制系统；分布式；工艺流程控制系统；智能化

0 引言

传统模式下的工艺流程控制系统生产效率受人为因素影响较大，系统稳定性较差，易造成中断、停机次数过多，生产设备生命周期减少，且人工操作易出现疲劳状态下的误操作，因此，生产工艺流程控制系统智能化十分必要^[1]。由于实际生产工艺流程交叉繁多，造成控制逻辑的复杂性，往往需要专业技术人员根据现场生产实际情况定制开发生产作业流程。在设计分布式智能生产工艺流程控制系统时考虑到流程模块化，并结合现场的真实作业条件，设计成单个设备控制流程和多个设备控制流程 2 种模式相结合的工艺流程智能控制系统。随着自动化技术的发展，国内外已经有港口开始实现工艺流程智能控制系统自动化作业，但是有一定局限性，复杂工况下仍需要操控人员辅助操作才能保证作业效率。港口设备分布式智能化控制系统是一种能够解决工艺繁多、流程复杂等工况下的分布式工艺流程智能控制系统，旨在生产作业过程中可以自动分配生产任务，调整生产流程，自动诊断复位，尽量降低人工干预的需求，提高工艺流程控制系统的智能化作业程度，保证作业效率和运行稳定性。

1 分布式智能工艺流程控制系统

传统工艺流程控制系统分为工艺规划与设计、工艺控制与监测、设备管理、设备采集与分析等。分布式智能工艺流程控制系统在参考传统工艺控制系统的基础上，分为设计模块化功能、结构化编程和人机操作界面。为满足不同的作业需要，将控制系统操作模式设计为全自动、半自动、手

动、急停 4 种模式，通过人机设计界面上按钮实现各种模式切换。全自动模式，事先无需人为录入流程，系统根据生产任务智能分配，并从开始作业到作业结束自动控制，作业过程中如出现异常情况自动诊断、自动修正。半自动模式，作业前先需要人工录入具体流程，从开始作业到作业结束自动控制。手动模式，将人机界面切换到手动控制页面能够单独对生产设备进行控制。急停模式，禁止所有工艺生产设备的输出信号，使整个系统处于停止状态。分布式智能工艺流程控制系统可以分解为 9 个模块：工艺流程规划、工艺流程设计、工艺流程控制、工艺流程监测、生产工艺设备管理、设备信号采集、数据分析、系统自我诊断、人机界面智能显示。各模块之间工艺流程关系见图 1。

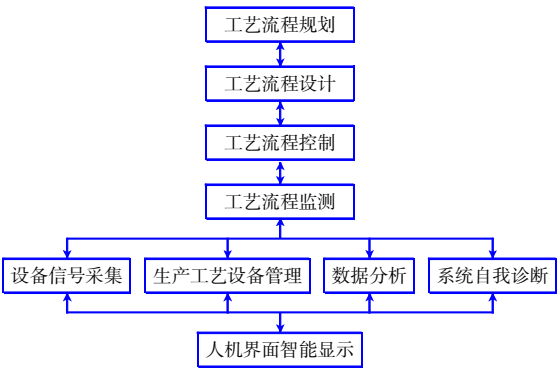


图 1 工艺流程模块关系示意图

1.1 工艺流程规划与工艺流程设计

分布式工艺流程控制系统对每个工艺生产设备进行定义和归类。根据现场实际情况工艺生产

设备定义为装船、卸船、翻车机取料、堆场堆料、堆场取料、第三方装料、第三方取料等。根据定义的属性,为工艺流程设计提供控制依据,为智能工艺流程控制系统提供基础框架,是最重要的模块之一。

根据工艺流程规划的流程图,以每个生产设备为控制节点,分析每个控制节点的前置节点和后置节点的数量、逻辑关系(包括并、且、或、不相关等)、开始节点、结束节点以及相邻节点的过渡条件。在具体分析的基础上进行生产设备工艺流程设计。最终设计成果会使分布式智能工艺流程控制系统符合现场实际,满足智能化系统的运行需求。主要的生产设备包括:翻车机、堆取料机、卸料小车、采制样系统、带式输送机、桥式抓斗卸船机、直线移动式装船机等。例如,将 X1、P1—P10、T1—T3 等工艺生产设备定义为卸船工艺,其中 X 代表卸船机, P 代表皮带机, T 代表堆料机。以卸船工艺流程规划图为准,经过工艺流程设计,得到 3 条工艺流程,见图 2。

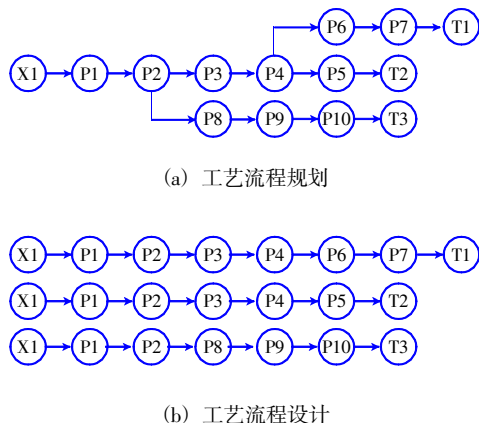


图 2 卸船工艺流程规划及设计图

1.2 工艺流程控制与工艺流程监测

工艺流程控制是分布式智能工艺流程控制系统的核心模块。该模块将会对每个生产设备进行数据采集和分析,根据分析结果生成智能控制策略,依据策略自动控制。以卸船工艺流程设计图为例,选择开始节点、结束节点,工艺流程控制模块会依据现有的逻辑关系,自动生成控制策略。

工艺流程监测模块对正在运行控制流程进行实时监测,若发生故障或者异常情况,会根据事件等级进行处理。同时也会对未运行的控制流程进行实时诊断,若设备不具备正常运行条件,设

备将进入准备状态并会提示技术管理人员进行现场故障排查。待设备具备正常运行条时,进入生产状态,对应的流程即可正常启动。对设备的实时监测,增加了系统的稳定性、安全性,为智能化、自动化提供技术保障。

1.3 生产工艺设备管理

为满足正常的生产运行和日常维护工作,通过分析每个生产设备的累计运行时间、故障状态、设备信号等,系统将进行现场巡查、故障排除、设备运行状态等提示。如发现异常,第一时间将情况反馈到操作人员,缩短响应时间,减少安全隐患。

1.4 设备信号采集与数据分析

通过对生产设备进行信号采集如运行、故障、限位状态等信号进行采集,为分布式智能工艺流程控制系统提供基础数据,是数据分析和系统自我诊断的基础,见图 3。

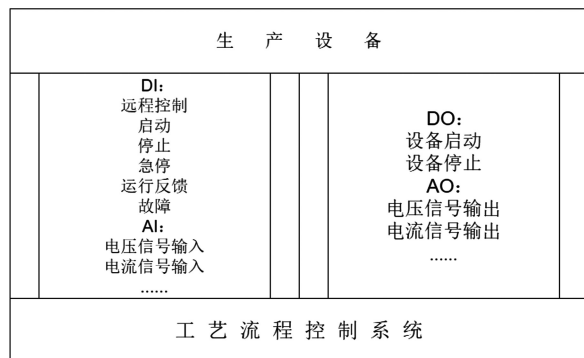


图 3 生产设备信号采集示意图

对生产设备进行数据分析,将为工艺流程控制模块生成的控制策略提供有效依据。数据分析是对各类设备运行数据的深度挖掘。通过收集设备的工作时长、故障频率、能耗等数据,可以及时发现设备潜在故障,提前安排维护工作,减少停机时间。同时,结合大数据技术,对不同设备的数据进行对比,找出性能差异,为设备升级和采购决策提供依据。

1.5 系统自我诊断与人机界面智能显示

系统自我诊断能力是系统稳定运行、安全运行的保障。通过传感器和监测机制,实时收集系统运行的各种数据,当系统出现异常时,自我诊断能够迅速定位问题所在,并发出警报。

人机界面智能显示是连接人与机器的关键桥

梁。利用先进的显示技术和智能算法，为用户提供直观、清晰且易于操作的交互界面。通过高分辨率显示屏，能够准确呈现丰富的信息，如数据图表、图像和文字说明等。智能显示可根据用户需求和操作习惯进行个性化定制，提高用户体验。

2 分布式智能工艺流程硬件框架

分布式现场总线控制系统采用完全的分层分布式结构，网络由站控层、区域网络控制层和现场设备控制层组成。站控层的主要目的是实现程控主站与上位机监控系统、全厂 PLC 系统的连接，采用冗余工业以太网网络架构。区域网络控

制层是根据工艺系统的设备布置及流程将系统划分为多个相对独立的控制区域，每个区域设一个或多个现场总线区域网络智能控制器，区域网络智能控制器采用挂墙安装，取代常规方案中的远程站。现场设备控制层是指控制系统的每个工艺设备由基地式智能控制器控制，基地式智能控制器就近布置在设备的 IO 处，实现现场 IO 的数据网络化。一定区域的基地式智能控制器上连到区域网络智能控制器实现区域控制。区域网络智能控制器和基地式智能控制器之间采用工业现场总线通讯，见图 4。

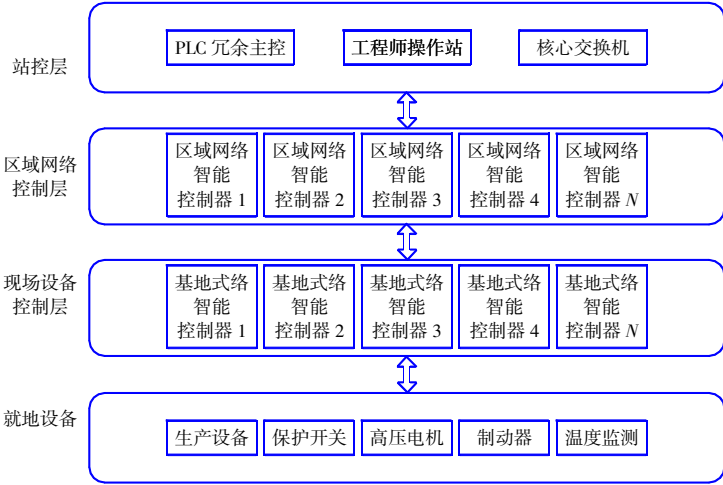


图 4 分布式智能工艺流程控制系统硬件系统拓扑图

根据生产设备及传感器的分布情况，选取合适的位置安装分布式智能控制器。根据数字量、模拟量的点位数量及预留点位数量，选取分布式智能控制器型号。通过分布式智能控制器传输被控设备信号到主控制器，主控制器进行逻辑运算，制定智能工艺流程策略。

分布式智能工艺流程控制系统硬件框架不同于传统的硬件框架，具有以下特点：利用框架有效节省设计时间，同时减少了系统控制信号电缆的数量。与传统方案相比由于电缆数量减少，节省了工程项目至少 20% 的费用。分布式与传统改造、扩展方案相比可扩展性强，不需要重新布线、增加 IO 模块，只需要在设备旁增加 1 个智能控制器，就可以边用、边扩、边投运。系统的改造、扩展更方便。

3 分布式工艺流程控制系统智能化技术

3.1 冗余供电及冗余通讯技术

为了分布式智能工艺流程控制系统能够安全、

稳定地运行，采用了冗余供电、冗余通讯的技术^[9]。

冗余供电技术，每台分布式智能控制器有主供电回路和备用供电回路，正常情况下，默认主回路供电，备用回路不工作；当出现主回路断电或者异常情况下，自动切换至备用回路，待主回路恢复正常时，自动切换回主回路。

冗余通讯技术，每台分布式智能控制器有 PROFIBUS-DP 通讯总线模块 2 组，一主一备。每台控制器通过串联的方式组成通讯环网，最终形成 2 个一主一备的通讯总环网。2 台智能控制器之间，在正常情况下，默认使用主回路进行通讯，备用回路不工作；当出现主回路通讯中断或者异常情况下，自动切换至备用通讯回路，待主回路通讯恢复正常时，自动切换回主回路进行通讯。冗余通讯回路见图 5。在保证传输的有效性和准确性的前提下，减少了系统的响应时间，增加了系统抗外界干扰的能力。冗余供电、冗余通讯技术为后续工作奠定了坚实的技术基础。

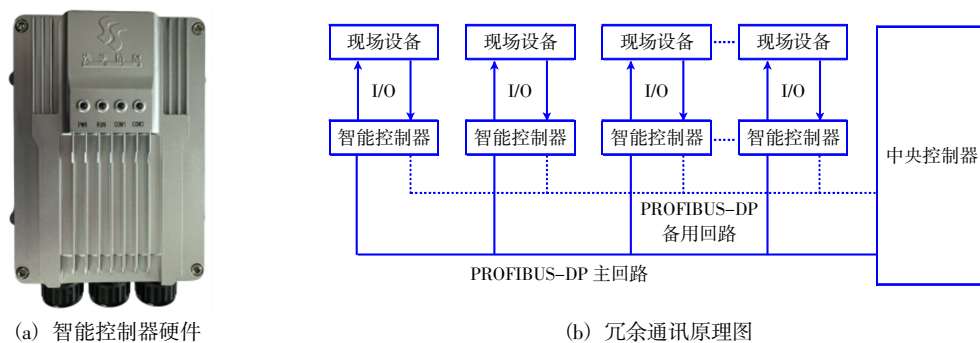


图 5 冗余通讯回路示意图

3.2 智能策略生成技术

为了解决分布式智能工艺流程控制系统能够自动生成控制策略,自动生成作业流程,自动下达作业指令等智能操作,需要一个综合性强、适应范围广的策略算法来支撑。

算法需要针对每个生产工艺设备进行排序,确定启动顺序和停止的方式。因此如何排序就成了策略的关键,为了解决这一问题,提出了节点的概念。以生产工艺设备为节点,每个工艺流程由开始节点、结束节点和若干个中间节点组成。工艺设备主要包括皮带输送机、电子皮带秤、排

水器、除铁器、除杂设备、干雾除尘设备、堆场喷淋设备、堆取料机、卸料小车、翻车机等。按照设备进行节点编码,流程从开始节点开始,经过若干中间节点,从结束节点结束。在每个节点中,会有不同的前置条件和后置条件。前置条件是启动该节点的前提,后置条件是该节点要达成的目标,同时也是后一个节点的前置条件。每个节点一一相连形成一个工艺流程,多个工艺流程最终组成一个庞大的工艺流程总控制网。最终算法会把一条或者多条发送给工艺流程控制模块,控制模块按照要求启动、停止流程^[3-4],见图 6。

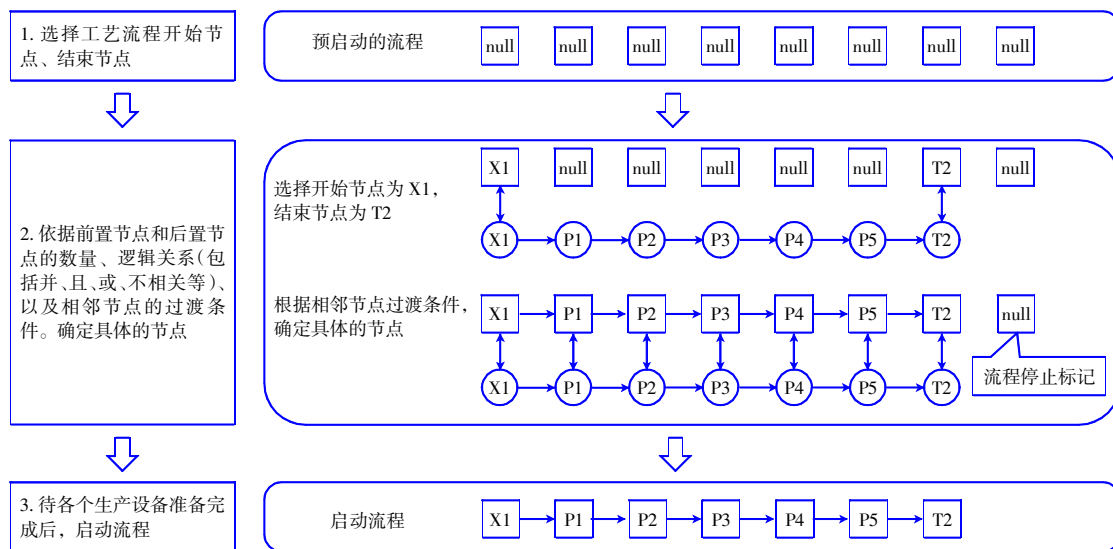


图 6 智能策略生成技术示意图

3.3 智能控制技术与自动诊断技术

智能控制技术模块是策略的具体“执行者”。其庞大的中央控制系统具有强大的计算能力。中央控制系统在收到一条或者多条工艺流程时,会按照流程编码编好的顺序执行,直至流程结束。即中央控制系统下达作业指令,程序自动解析指

令代码、选择作业流程,并根据当前设备状态,按照预定的作业流程开始生产作业,直至作业流程结束。

自动诊断技术依据工艺设备,按预定的程序检查设备是否在正常工作、有无故障及故障所在位置的技术。通过该技术可以论证该节点的前置

条件和后置条件是否满足流程运行要求。

3.4 人机界面智能显示技术

该技术是分布式智能工艺流程控制系统和用户之间进行人机交互、信息交换的媒介，同时也是分布式智能工艺流程控制系统的外在表现。其显示的画面和交互的方式直接影响用户体验。从画面设计、交互方式等方面提升用户体验感。主要设计的画面有：欢迎界面、登录界面、主界面、设置界面、工艺流程界面、故障报警界面、用户管理界面、授权和密匙界面等。利用三维 BIM 渲染技术增强显示效果。

4 分布式智能工艺流程控制系统工程应用

岳阳某煤炭码头项目由煤炭码头、储备基地和铁路专线 3 部分组成，工艺流程繁琐复杂。分布式智能工艺流程控制系统实际应用于该项目中，每日均连续稳定运行，减少了设备检修次数，同时为技术改造项目提供了有利的实施条件，在作业过程中，分布式智能工艺流程控制系统，实时生成策略模型，并按照设定流程有序运行。与传

统的工艺流程相比，提高了系统的安全性、稳定性和经济性。

5 结语

本文通过对分布式智能工艺流程控制系统架构和工艺流程技术进行设计，针对生产工艺作业中稳定性、安全性等难点问题，提出冗余供电及冗余通讯、智能策略生成、智能控制、自动诊断、人机界面智能显示等技术，实现工艺策略自动生成，策略自动控制，相较于传统的工艺流程系统更加稳定、安全。

参考文献：

- [1] 王志刚. 港口散货取料机无人取料系统设计及应用[J]. 中国港湾建设, 2023, 43(10): 90-93.
- [2] 赵兴文, 赵健博, 杨静, 等. 基于分布式 IPC 的智能集控系统设
计[J]. 煤矿机械, 2024, 45(4): 211-214.
- [3] 王平. 试析港口电气自动化 PLC 的现状与发展趋势[J]. 内江科技, 2023, 44(2): 73-74.
- [4] 孟燕兵, 房超, 薛颖. 智能化分布式指挥与控制建设及关键技术应用[J]. 国防科技, 2024, 45(1): 55-61.