

小型精细化工生产过程的集散控制系统设计

邹志云

核生化灾害防护化学全国重点实验室

摘要: 根据 3 种精细化学品小型生产过程的检测控制要求, 以 PC 机为上位机, 以 UW 控制模块和现场仪表变送器等为基本检测控制单元, 应用工业以太网通信进行数据交互, 采用 UWinTech 组态软件进行 I/O 设备、数据记录点的设置和用户操作图形用户界面开发, 设计了一套 UW500a 集散控制系统 (Distributed Control System, DCS), 完成了硬件系统的选型设计、集成构建和生产过程控制软件系统的开发, 以及大屏幕显示系统的设计和集成。仿真运行结果表明, 其可以较好满足精细化学品生产过程的工艺操作控制要求, 能显著提升生产过程的自动化程度, 为实现生产过程的数字化转型奠定良好技术基础。

关键词: 精细化工; 集散控制系统 (DCS); 硬件系统设计; 控制软件组态

集散控制系统 (Distributed Control System, DCS), 又称分散型控制系统, 是以微处理器为基础, 采用控制功能分散、显示操作集中, 兼顾分而自治和综合协调设计原则的新一代控制系统, 是目前流程行业采用的主流控制系统^[1]。DCS 采用多层分级、合作自治的结构形式, 实现生产过程的分散控制和集中管理, 运行稳定、可靠, 得到过程工业界的广泛认同^[2-4]。近年来, 为了预防精细化工生产中安全风险, 应急管理部在其发布的《精细化工反应安全风险评估规范》(GB/T42300—2022) 要求国内精细化工装置采用 DCS 控制^[5]。从国内外化工生产过程数字化转型的成果案例看, DCS 也为数字化及数字孪生系统的建造提供了最基础的数据采集和操作控制平台及手段^[6-8]。

我室生产 3 种精细化学品的小型精细化工生产过程的自控系统^[9]为 20

世纪 90 年代初设计、建造, 计算机监控系统在 21 世纪初由 PC 总线、STD 总线型更换为可编程控制器, 但控制系统仍只有工艺参数显示和少量工艺参数自调功能, 大部分需现场手动操作, 自动化程度较低, 基本以手动生产操作为主, 操作人员数量需求多, 劳动强度高, 未能实现远程隔离操作, 存在很大安全隐患, 各批次产品质量和产量的一致性不佳, 也难以实现生产过程的数字化转型。

为了更好保障生产过程安全和批次一致性, 为实现生产过程的数字化转型打好数据采集和操作执行的技术基础, 需进行自控系统的重新设计和建造, 提高该小型精细化工生产过程的综合自动化程度。经研究, 确定该小型精细化工生产过程集散控制系统的建设原则为: 按照工艺专业的操作控制要求, 遵照保证安全、可靠、实用, 力求先进以及美观的原则, 设计、建造该小型精细化工生产过程集散控制系统^[9, 10], 在技术可行和经济合理的

条件下尽可能提高该小型精细化工生产过程的自动化和信息化程度, 确保该小型精细化工生产装置自动、稳定、安全运行, 减轻生产操作人员的劳动强度, 为实现生产过程的数字化转型提供技术平台和技术基础。

目前国产 DCS 系统有 3 种主流产品: 中控 ECS-700、和利时 MACS-K、优稳 UW500a, 经招标和专家评估, 本文以优稳 UW500a DCS 系统为例, 分享其在小型精细化工生产过程的应用^[11]。

本文根据 3 种精细化学品生产过程的检测控制要求, 以 PC 机为上位机, 以 UW 控制模块和现场仪表变送器等为基本检测控制单元, 应用工业以太网通信进行数据交互, 采用 UWinTech 组态软件进行 I/O 设备、数据记录点的设置和用户操作图形用户界面开发, 设计了一套 UW500a 集散控制系统 (Distributed Control System, DCS), 完成了硬件系统的选型设计、集成构建和生产过程控制软件系统的开发^[12-14], 以及大屏幕显示系统的设计和集成。

* 本文来自装备综合研究基金资助项目 (项目编号: JK20202A060496)。

1 集散控制系统硬件选型设计

设计的小型精细化工生产过程 UW500a 集散控制系统的硬件组成框图如图 1 所示，由 2 台操作员站和 1 台工程师站组成的上位机系统。该 UW500a 集散控制系统的硬件配置清单^[12]见表 1。

经安装调试和测试，设计的 UW500a 集散控制系统的实际信号输入输出（I/O）通道数为：模拟量输入（AI）114 通道；模拟量输出（AO）22 通道；热电阻输入（RTD）32 通道；开关量输入（DI）160 通道；开关量输出（DO）80 通道。

根据 3 种精细化学品生产过程检测控制要求统计：1）S 生产过程的 I/O 通道数需求如下。AI：41，AO：11，RTD：9，DI：72，DO：40；2）W 生产过程的 I/O 通道数需求如下。AI：32，AO：12，RTD：8，DI：76，DO：45；3）J 生产过程的 I/O 通道数需求如下。AI：

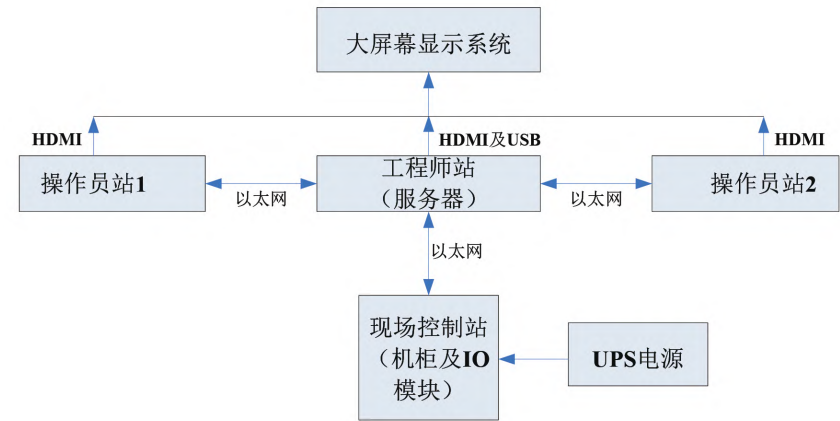


图 1 UW500a 集散控制系统组成框图

23，AO：9，RTD：8，DI：49，DO：26。在 S、W 和 J 生产过程不同时生产情况下，UW500a 集散控制系统的实际信号输入输出（I/O）通道数能够满足各装置的信号输入输出（I/O）要求。

现场控制站达到以下配置、抗干扰、防护及防腐要求：1）配备了控制及输入输出模板相应的背板、底座、端

子板模块、继电器输出模块和线缆；2）控制单元、通信单元、供电系统都为 1：1 冗余配置；3）所有模块模板具有足够高的防护等级及抗干扰能力和相应的保护措施，保证在恶劣（包括但不限于高温、潮湿、粉尘、强电磁干扰及腐蚀等）的现场环境下正常工作；4）所有控制器、I/O 卡件达到 ANSI/

表 1 UW500a 集散控制系统的硬件配置清单

序号	模件名称	数量	型号规格
1	工程师站	1	DELL OptiPlex3080MT 4.1GHz/8G/1T/4G/WIN/DVD-RW/ 键鼠；操作系统：Windows 10；显示器：27"、1920×1080/16:9/1000:1/5MS/250NIT/1×VGA/2×DP
2	操作员站	2	DELL OptiPlex3080 3.6GHz/8G/500G/4G/WIN/DVD-RW/ 键鼠；操作系统：Windows 10；显示器：27"、1920×1080/16:9/1000:1/5MS/250NIT/1×VGA/2×DP
3	现场控制站机柜	1	工业标准机柜（800mm×600mm×2200mm，27"）
4	工程师及操作员站操作台	3	工业标准操作台（700mm×1118mm×750mm）
5	大屏幕显示系统	1	3×3 55" 液晶拼接屏，物理拼缝≤3.5mm，分辨率 1920×1080
6	UPS 电源	1	6kV 0.5h，三相四线，电压范围：220×（1±1%）VAC，频率 50/60Hz，电流峰值比 3:1，额定功率因数：0.8。
7	控制模件	2	UW5101，CPU：嵌入式 32 位 CPU，720MHz，64M SDRAM，256M Disk On Chip，2048 个控制回路/s，2 个 Snet 接口，通信速率 100Mbps。功率：5V/2A，24V/6mA
8	16 路大信号模拟量输入模件	8	UW5212，电压：0～5V、1～5V、0～10V 电流：0～20mA、4～20mA，模拟量采样：±0.1%F.S.，阻抗≥20MΩ@500V 功率：5V/100mA，24V/100mA
9	16 路热电阻模拟量输入模件	2	UW5214，热电阻：Pt100、Cu50，串模干扰≥60dB，功率：5V/100mA，24V/100mA
10	16 路模拟量混合输入输出模件	3	UW5231，电压：0～10mV、0～20mV、0～100mV、0～5V；电流：0～10mA、0～20mA、4～20mA；热电阻：Pt100、Cu50；热电偶：B、E、J、K、S、T 型，功率：5V/100mA，24V/700mA
11	模拟量通用输入模块	12	UW5261 输入信号：电压：0～10mV、0～20mV、0～100mV、0-5V；电流：0～10mA、0～20mA、4～20mA；热电阻：Pt100、Cu50；热电偶：B、E、J、K、S、T，精度±0.1% F.S.，供电电源：+24VDC，<50mA（配电），<30mA（不配电）
12	模拟量输出模块	25	UW5266，输出信号：0～10mADC，4～20mADC，0～20mADC，精度±0.15% F.S.，供电电源 +24VDC，<35mA
13	32 路数字量输入模件	4	UW5311，扫描周期：20ms，功率：5V/200mA，24V/10mA
14	16 路数字量输出模件	6	UW5322，扫描周期：20ms，功率：5V/200mA，24V/10mA
15	电源模件	2	UW5411（168W），220V 50Hz 单相交流电源，允许电压波动：176～264VAC；允许频率波动：50±3Hz，I 路输出电压：5.00VDC 精度±2%，输出电流 7.00ADC II 路输出电压：23.0VDC 精度±5%，输出电流 7.00ADC 两路不共地直流电源，抗干扰：脉冲群 2kV。稳压调节：电源调整率≤1%
16	通信模件	1	UW5136，2×8 口工业以太网冗余交换机模件

ISA-S71.04 标准所定义的 G3 等级环境的防腐要求; 5) 全部 I/O 板卡输入电路带电磁隔离或光电隔离。所有模块模板具有自诊断功能, 可带电插拔。

测试结果表明, 设计的 UW500a 集散控制系统能满足该小型精细化工生产过程控制规模和现场工作环境要求。

2 集散控制系统控制软件的组态开发

UW500a 集散控制系统配置的 UWinTech Pro 控制工程应用软件平台是一个通用的系统组态和运行控制平台^[13], 目标应用系统需要通过 UWinTech Pro 系统组态软件组态产生。系统组态后将产生应用系统的实时数据库、控制算法目标程序、监控流程图、历史数据库以及各类报表文件。精细化工过程控制软件的具体组态开发流程如图 2 所示。

实际上, 图 2 中的 (3) 步、(4) 步、(5) 步、(6) 步及 (7) 步在组态时是可以并行进行的, 无明确的先后顺序。但注意在 (4) 步进行设备链接时, 必须先进行 (3) 步操作。且对于具有多个控制站的工程, 可以分别由多个人来组态每个控制站的数据库、算法、流程图等, 然后再利用组态软件提供的导入导出功能合并成为一个系统工程。

如 S 生产过程控制软件的硬件配置组态包括控制模件 (CPU)、IO 模件 (AI、AO、DI、DO)、通信模件的配置组态, 其中控制模件 00 (UW5101) 配置组态画面如图 3 所示, IO 模件总体配置组态画面如图 4 所示。

开启 UWinTech Pro 控制软件应用平台的实时数据库管理器, 进行 AI、AO、DI、DO 等输入输出 IO 数据点组态, 以及电动机、阀门、时间顺序图和联锁回路运行所需数据点的组态。其中 S 生产过程系统信息数据记录点组态画面如图 5 所示。

开启操作站画面管理器, 进行带控制点工艺流程图等人机操作界面的设计,

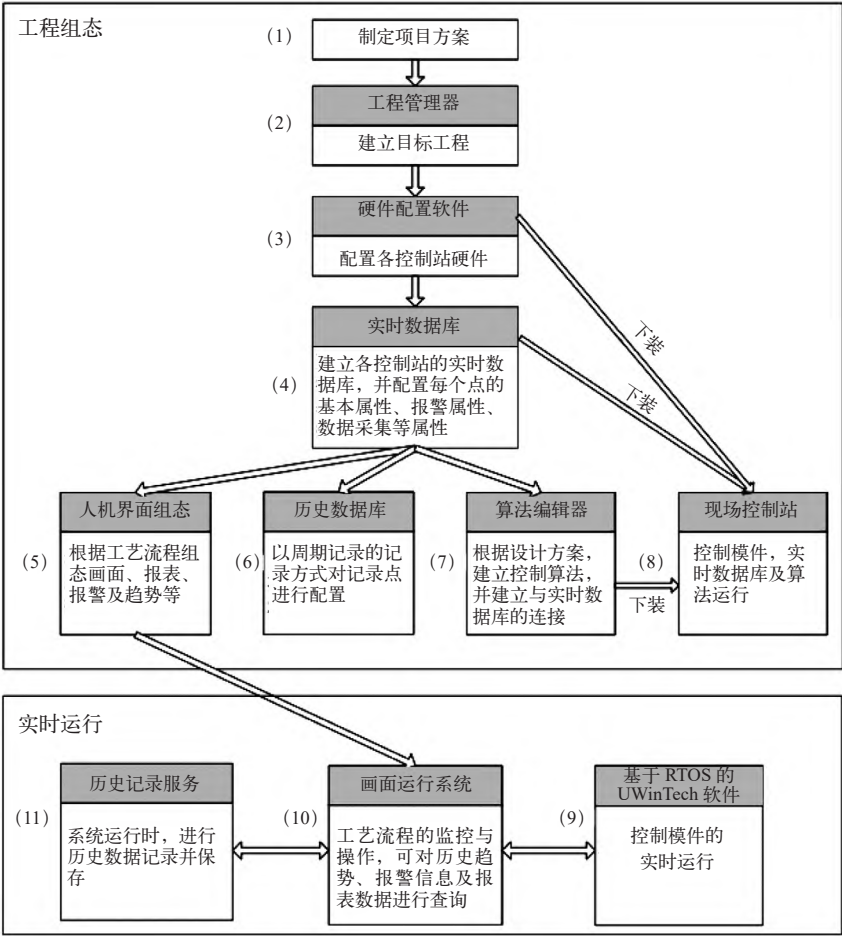


图 2 精细化工过程控制软件组态开发流程

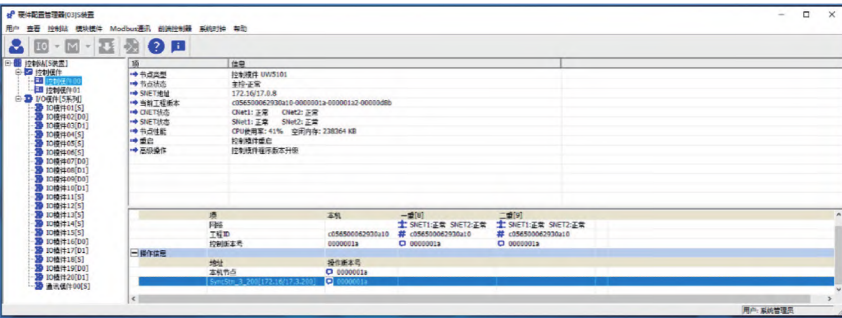
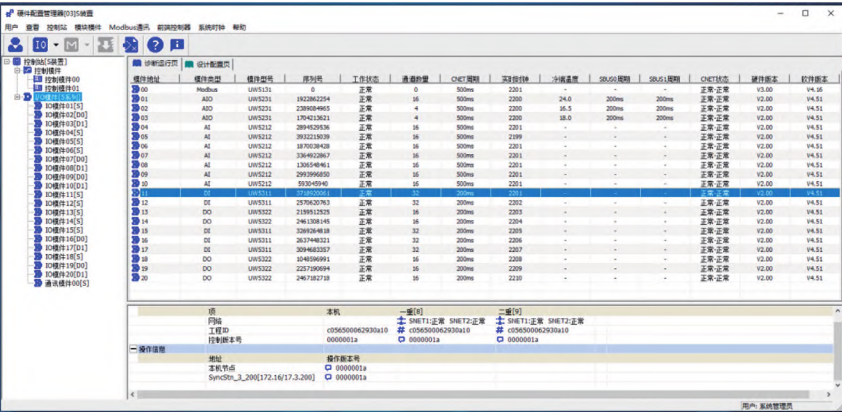


图 3 S 生产过程控制站控制模件 00 (UW5101) 配置组态画面



设计的J生产过程间歇生产过程控制流程如图6所示,S生产过程联锁控制画面如图7所示,开关阀、机泵、调节回路操作界面如图8所示,由此可以对精细化工生产过程进行自动操作控制^[14]。

3 大屏幕显示系统的集成与构建

为了更加直观、实时、全方位地集中显示3种精细化学品生产过程控制人机界面信息、集散控制系统各路信号监控信息、配方控制顺控图控制实时运行情况、联锁报警信息、统计图表报表等自动化系统的信息,开展了DCS大屏幕显示系统的集成与构建工作。

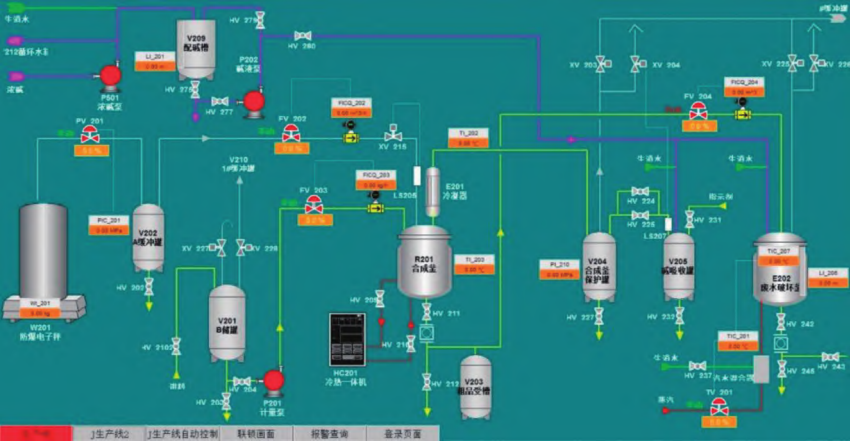
设计的大屏幕显示系统的工作原理如图9所示,采用内置图形图像拼接处理器的3×3共9块55吋拼接屏构成大屏幕,DCS工程师站及操作员站等输出的视频信号经16进16出高清矩阵输出至大屏幕显示拼接。内装视频控制软件的DCS工程师站及操作员站连接16进16出高清矩阵的USB口或网口,控制各个拼接屏的显示内容。视频控制软件的主操作界面见如图10所示,其功能设置界面如图11所示。幕墙配置为3row×3col,对采用数字图像图形(DVI)传输的高清数字矩阵其协议配置一般选择HONGKONG_HDMI。大屏幕显示的DCS工艺流程图操作界面如图12所示。

4 仿真运行与总结

按照精细化学品S、W和J生产工艺流程和操作规程,对以上设计的UW500a集散控制系统及其控制软件进行了仿真运行,结果表明DCS系统运行稳定、可靠,能按操作规程规定的操作步骤进行生产过程操作控制。这也验证了设计的S、W和J生产过程DCS系统及其控制软件的正确性和有效性。说明遵循生产工艺操作规程和工艺流程图等工程设计图样,基于UWinTechPro1.7a控制工程应用软件平台和UW500a集散控制系统,开发生

实时数据库管理器 (0.315秒)									
ID	设备	数据类型	寄存器1	寄存器2	寄存器3	寄存器4	寄存器5	寄存器6	寄存器7
1	STNID	3	-	-	-	-	-	-	-
2	STNNAME	5	-	-	-	-	-	-	-
3	STNCOMMENT	-	-	-	-	-	-	-	-
4	STNDEVIS	435	-	-	-	-	-	-	-
5	STNITEMONT	1285	-	-	-	-	-	-	-
6	STNALARMCNT	0	-	-	-	-	-	-	-
7	STNALARMT	0	-	-	-	-	-	-	-
17	STNRM	2	-	-	-	-	-	-	-
18	STNBASERDOR	8	-	-	-	-	-	-	-
19	STNNETONLL	0	-	-	-	-	-	-	-
33	STNNET	0	-	-	-	-	-	-	-
34	STNNETA	0	-	-	-	-	-	-	-
35	STNNETB	0	-	-	-	-	-	-	-
36	STNNETC	0	-	-	-	-	-	-	-
37	STNNETD	0	-	-	-	-	-	-	-
38	STNNETE	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
39	STNNETF	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
40	STNNETG	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
41	STNNETH	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
42	STNNETI	0	-	-	-	-	-	-	-
43	STNNETJ	0	-	-	-	-	-	-	-
44	STNNETK	0	-	-	-	-	-	-	-
45	STNNETL	0	-	-	-	-	-	-	-
46	STNNETM	0	-	-	-	-	-	-	-
47	STNNETN	0	-	-	-	-	-	-	-
48	STNNETO	0	-	-	-	-	-	-	-
49	STNNETP	0	-	-	-	-	-	-	-
50	STNNETQ	0	-	-	-	-	-	-	-
51	STNNETR	0	-	-	-	-	-	-	-
52	STNNETS	0	-	-	-	-	-	-	-
53	STNNETT	0	-	-	-	-	-	-	-
54	STNNETU	0	-	-	-	-	-	-	-
55	STNNETV	0	-	-	-	-	-	-	-
56	STNNETW	0	-	-	-	-	-	-	-
57	STNNETX	0	-	-	-	-	-	-	-
58	STNNETY	0	-	-	-	-	-	-	-
59	STNNETZ	0	-	-	-	-	-	-	-
60	STNNETAA	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
61	STNNETAB	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
62	STNNETAC	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
63	STNNETAD	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
64	STNNETAE	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
65	STNNETAF	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
66	STNNETAG	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
67	STNNETAH	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
68	STNNETAI	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
69	STNNETAJ	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
70	STNNETAK	0.0000	-	-	-	-	-	-	-
71	STNNETAL	0.0000	-	-	-	-	-	-	-

图5 S生产过程控制系统信息数据记录点组态画面



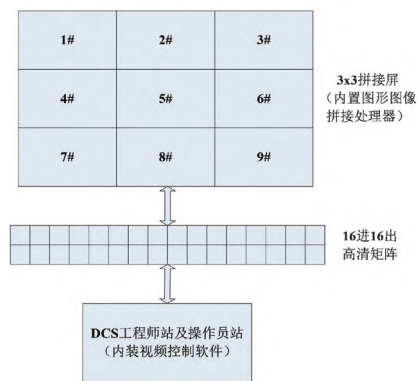


图 9 大屏幕显示系统的工作原理图



图 10 视频控制软件主界面

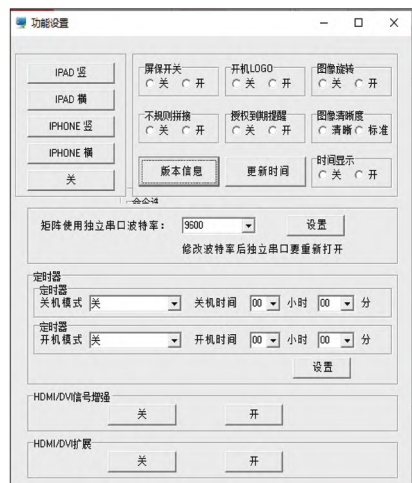


图 11 视频控制软件功能设置

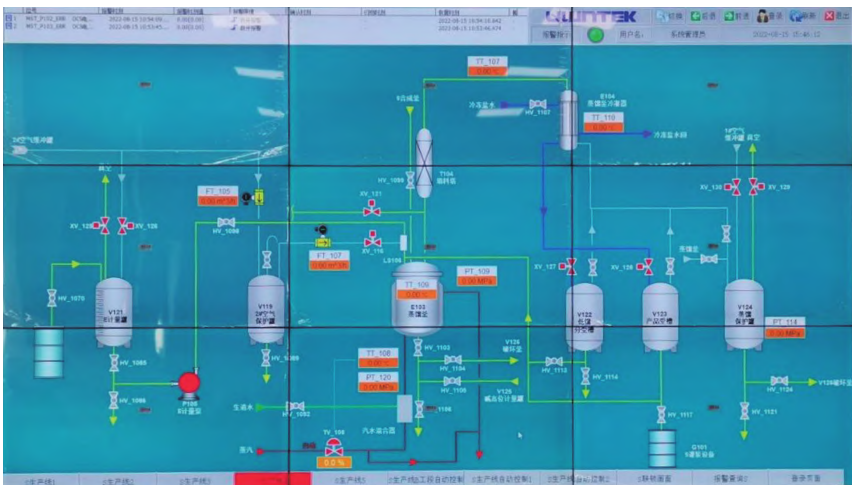


图 12 大屏幕显示 DCS 工艺流程图操作界面

产过程自动控制软件的技术途径可行。

下一步将在现场安装调试，与建造的生产装置相连，进行新一代生产过程的试车和生产操作控制，以及与生产过程管理系统和数字孪生系统相连，实现生产过程管控一体化和数字化。

参考文献：

[1] 黄海燕, 余昭旭, 何衍庆. 集散控制系统原理及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2021.

[2] 李晓倩. 精细化工生产过程控制系统分析与设计[J]. 化工设计通信, 2020, 46(12):61-62.

[3] 刘慧敏, 陈荣. JX-300XP DCS在聚酯装置中的应用[J]. 煤炭与化工, 2017, 40(6):114-118.

[4] 王长镇, 戴荣华, 张金儒, 等. DCS在

精细化工中的应用[J]. 化工设计通信, 2015, 41(2):28-30.

[5] 全国安全生产标准化技术委员会. 精细化工反应安全风险评估规范: GB/T42300—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.

[6] SWAPAN BASU. Plant Intelligent Automation and Digital Transformation [M]. Academic Press, 2022: 209-241.

[7] FRANK ZHU. Digitalization and Analytics for Smart Plant Performance: Theory and Applications[M]. John Wiley & Sons, 2021:461-469.

[8] 邹志云, 刘燕军, 刘兴红, 等. 精细化工过程控制技术的重要发展趋势[J]. 冶金自动化, 2011, 35(5):11-16.

[9] 邹志云, 刘燕军, 刘兴红, 等. 一种小型精细化工生产装置综合自动化控

制系统的设计[J]. 冶金自动化, 2014, 38(S2):629-633.

[10] 中国石油和化学工业联合会. 分散型控制系统设计规范: HG/T20573—2012[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.

[11] 袁超. UW500集散控制系统在精细化工行业全自动解决方案[J]. 自动化博览, 2015(1):100-101.

[12] 杭州优稳自动化系统有限公司. UW500集散控制系统手册[Z]. 2020.

[13] 杭州优稳自动化系统有限公司. UWTech控制工程应用软件平台控制组态手册[Z]. 2021.

[14] 杭州优稳自动化系统有限公司. UWTech控制工程应用软件平台实时监控手册Pro1.0[Z]. 2019.