

基于组态王与PLC的深水压力模拟测试系统的设计

刘晓林^{1,2,3}, 高洁云^{1,2,3*}, 王嘉瑞^{1,2,3}, 陈浩文^{1,2,3}

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质学会自动化智能化钻探装备创新基地, 河北 廊坊 065000; 3. 中国地质调查局深部探测钻探装备技术创新中心, 河北 廊坊 065000)

摘要:在深海钻探中,深水仪器在下水前通常需要进行压力模拟测试以验证水密性与耐压性,因此经常用到深水压力模拟测试系统。本文对传统的深水压力模拟测试系统进行了改进,改进后的系统电控部分主要由组态王与PLC组成。PLC作为下位机,通过其内置的A/D模块,配合压力传感器可实现对压力信号的采集,用户可以设置参数与预设程序,通过开关量输出点、接触器等实现试压泵的启停和阀门开关控制;系统支持手动、自动两种工作模式;通过PLC串口配合蓝牙串口透传模块,可实现蓝牙设备端数据显示。组态王作为上位机通过串口以Modbus RTU协议方式与下位机通讯,组态编程开发人机交互界面,实现用户对压力模拟测试全过程的加压、保压、卸荷设置,以及实现监控测试过程、显示压力曲线、显示报表等功能。深水压力模拟测试系统具有人机界面友好、模拟监控形象直观、功能齐全、性能可靠、操作方便、安全及具备可扩展性等优点。

关键词:压力模拟测试系统;组态王;PLC;串口通讯;Modbus RTU;深海钻探

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2025)01-0121-08

Design of deepwater pressure simulation testing system based on KingView and PLC

LIU Xiaolin^{1,2,3}, GAO Jieyun^{1,2,3*}, WANG Jiarui^{1,2,3}, CHEN Haowen^{1,2,3}

(1. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. Innovation Base for Automatic and Intelligent Drilling Equipment, Geological Society of China, Langfang Hebei 065000, China; 3. Innovation Center for Deep Exploration and Drilling Equipment Technology, CGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: In deep-sea drilling, deepwater instruments' water tightness and pressure resistance should be verified by pressure simulation testing system before launched. So deepwater pressure simulation testing system is often used. This article improves the traditional deepwater pressure simulation testing system, the improved system's electrical control part is mainly composed of KingView and PLC. The system uses PLC as the lower computer, and through its built-in A/D module, combined with pressure sensors, it can collect pressure signals. Users can set parameters and preset programs, and control the on-off of the pump and the valves through digital outputs, contactors, etc. The system provides auto-manual dual-mode. By combining the PLC serial port with the Bluetooth serial port transmission module, remote device display can be achieved. KingView was developed as the upper computer, to communicate with the lower computer via serial port based on Modbus RTU protocol, develops a human-machine interaction interface through configuration programming, realizes pressurization, pressure holding, and unloading setting for the entire process of pressure simulation testing, as well as monitoring the testing process, displaying pressure curves, and reporting forms. The deepwater pressure simulation testing system has the advantages of friendly human-machine

收稿日期:2024-05-28; 修回日期:2024-07-27 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.01.017

基金项目:国家重点研发计划项目“深海开路泥浆液位闭环控制系统研制”(编号:2021YFC2800802)

第一作者:刘晓林,男,汉族,1987年生,高级工程师,地质机械专业,长期从事钻探设备自动化研究工作,河北省廊坊市广阳区金光道77号,liuxiaolin_cqu@163.com。

通信作者:高洁云,女,汉族,1996年生,助理工程师,地质机械专业,硕士,主要从事钻探新技术、新设备、新工艺的研发工作,河北省廊坊市广阳区金光道77号,775726390@qq.com。

引用格式:刘晓林,高洁云,王嘉瑞,等.基于组态王与PLC的深水压力模拟测试系统的设计[J].钻探工程,2025,52(1):121-128.

LIU Xiaolin, GAO Jieyun, WANG Jiarui, et al. Design of deepwater pressure simulation testing system based on KingView and PLC [J]. Drilling Engineering, 2025, 52(1): 121-128.

interface, intuitive simulation monitoring, complete functions, reliable performance, convenient operation, safety, and scalability.

Key words: pressure simulation testing system; KingView; PLC; serial communication; Modbus RTU; deep-sea drilling

0 引言

在深海钻探中,作业环境和条件都较陆地上更加复杂,对钻探器具与钻探工艺等提出了更严峻的考验。其中,钻探器具的水密性与耐压性是两个非常重要的指标,对器具的功能性影响非常大,因此,用于深海的水下器具或设备在下水前通常需要进行压力模拟测试以验证水密性与耐压性,深水压力模拟测试系统就是用于此类测试的实验室设备^[1-3]。现有的深水压力模拟测试系统具有操作繁琐,人机界面不够智能化,不能查看历史记录等缺点。为了提升深水压力测试系统的操作便捷性与功能多样性,本文对现有的深水压力测试系统进行了改进,提出了一种新型的深水压力模拟测试系统。

组态王软件是一款面向工业自动化的通用数据采集和监控软件,能以灵活多样的组态方式提供良好的用户上位机开发界面,具有开发简单、扩展性好、可靠性高等优点。PLC以其可靠性高、编程简单、功能强大、性价比高、体积小、能耗低等显著特点广泛应用于现代工业自动化领域,常作为现场数据采集和控制设备,结合现代控制方法和智能设备可实现闭环控制、智能控制等多功能一体的综合控制^[4-9]。

新型深水压力模拟测试系统采用PC端组态王软件和PLC分别作为上位机和下位机,配合压力传感器、电磁阀和试压泵等其他设备,通过组态和PLC程序,实现用户对压力模拟测试全过程的加压、保压、卸荷设置,以及实现监控测试过程、显示压力曲线、报表等功能,并支持手动、自动两种工作模式。通过PLC串口配合蓝牙串口透传模块,还可实现蓝牙设备端数据显示。

1 系统总体设计

对一般压力模拟测试系统进行需求分析,结合压力模拟测试试验反馈,新型深水压力模拟测试系统应具备以下功能和特点:

(1)能够实时检测模拟舱内压力,并且根据预设目标压力自动进行比较判断,然后实现加压、保压和卸荷等操作。

(2)上位机人机界面友好,能够以图形或动画等直观方式展现现场信息,能够让使用者便捷设置或修改目标压力及保压时间等参数。

(3)能够对压力模拟测试全过程进行数据采样、记录,并且自动生成“压力-时间”曲线和报表,从而可通过保存的曲线和报表等信息,对被测试件耐压失效或系统故障原因等进行分析^[10]。

(4)在不启动PC端,或当PC端出现故障,或上位机与下位机之间通讯出现故障时,能够通过手动越权的方式实现系统脱机使用,同时可以通过简易方式控制压力和保压时间,支持远程、多地紧急停机,确保紧急情况下安全可靠关泵和卸压。

(5)可通过数字通讯接口与外部交换数据,具备一定的数据交互性和较高的后期扩展性。

为满足上述要求,在一般压力模拟测试系统的基础上,新型深水压力模拟测试系统进行了一些改进与升级^[11-12]。系统设计如图1所示,由增压系统、进水阀、脉动缓冲器、压力模拟舱、排水阀、排气阀、压力传感器和控制系统组成^[13]。

增压系统由水箱、试压泵、泵卸荷阀、安全阀、止回阀、压力表和管道附件等组成,为系统提供高压动力源,是整个系统执行机构的核心。进水阀和排水阀是带手轮的电磁截止阀,可在紧急情况下进行手动越权控制。脉动缓冲器用于减小后端压力脉动,减小系统对模拟舱结构和被测试件的脉动冲击。压力模拟舱是压力模拟测试的容器,压力传感器用以检测舱内压力^[14-16]。

控制系统由PLC、PC端组态王、接触器、压力传感器、试压泵电机、电磁阀、蓝牙串口透传模块及线控操作盒等附件组成,是整个系统的控制核心。PLC作为下位机,PC端组态王作为上位机,上位机与下位机之间通过RS232串口进行连接,依托组态王内置的Modbus RTU主从协议与PLC进行半双工通讯^[17]。

2 PLC下位机控制系统开发

2.1 主要硬件选型与配置

关于PLC选型,通过对控制系统I/O点需求进

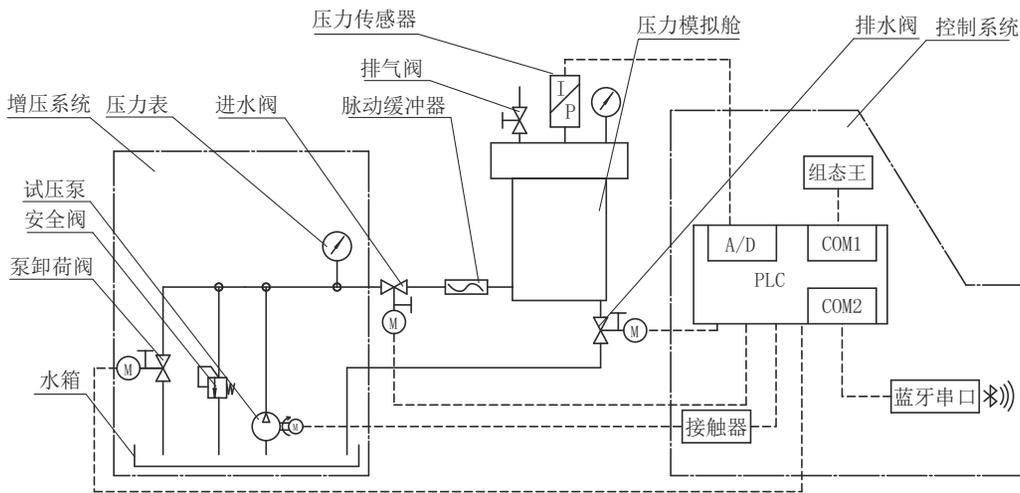


图 1 深水压力模拟测试系统

Fig.1 The deepwater pressure simulation testing system

行分析可以得到:PLC 应至少具备 5 个开关量输入点以实现手动开关、急停等开关信号的接入;至少具备 4 个开关量输出点以满足卸荷阀、进水阀、排水阀、试压泵电机接触器以及 LED 信号指示灯等开关量信号的输出;需满足压力信号采集输入需求;至少具备 2 个 RS232 串口以满足与组态王以及蓝牙串口透传模块的串口通讯要求。因此选择 ESMAC2408 型 PLC,该款 PLC 集成度高,具有轻量化、功能模块齐全、编程功能丰富、防护等级高等优点,非常适合微小型自动控制系统,其主要参数指标见表 1。由该 PLC 主要参数指标可以得出,该 PLC I/O 端口能满足使用要求:内置大电流驱动电路,无需中间继电器即可驱动 24 V/3 A 以内的电动机,且内置了 A/D 转换模块可满足 4~20 mA 或 0~10 V 信号采集输入。RS232 串口支持标准 Modbus

RTU 从站协议,可与支持 Modbus RTU 主站协议的上位机设备通讯;CAN2.0B 接口可作为系统与外部设备的数据交换接口,也可用于后期扩展接口。以该 PLC 为核心构建下位机控制系统,线控操作盒连接 PLC 的开关量输入/输出,实现系统电源启动和急停以及 LED 信号指示灯等功能;压力传感器采集信号经 4~20 mA 采集输入 PLC;通过 PLC 开关量输出控制各电磁阀及接触器等元器件的启停。

根据 PLC 选型,考虑到电流信号抗线路压降性较好,优选 4~20 mA/0~40 MPa 型压力传感器^[18-19]。

基于安全可靠及应急控制等原则,设备需要提供自动控制/手动越权两种控制方式。在自动控制模式下,设备按 PLC 设定程序的输出点来控制试压泵电机启停及相应电磁阀与信号指示灯的动作;当需要调试或手动控制某台设备时,或者出现突发状

表 1 ESMAC2408 型 PLC 主要参数指标

Table 1 Main parameters of ESMAC2408 PLC

参 数	指 标	参 数	指 标
产品型号	ESMAC2408HKBSV10	电流输入检测 4~20 mA	2
外形尺寸	120 mm×80 mm×12 mm	模拟电压输入 0~10 V	2
CPU 类型	STM32F103VET7	输入端口	电阻检测端口 4
通讯口	1×CAN2.0B, 2×RS232 (Modbus)		24 V 上拉开关量输入 5
额定电压	8~31V DC		开关量输入端口 17
电流消耗	40 mA (无负载)~18 A (最大)	输出端口	高速计数端口 2
工作温/湿度	-40~85 °C/95%		开关量输出 8(3 A)
程序存储	112 K		PWM 输出 6
用户存储	8 K		传感器电源 5 V/30 mA

况,此时可利用手动越权来控制设备的启停。另外,除控制台或电控箱外,还需具备线控操作盒,以期实现远程控制与多地停机控制等功能。

采用轻量化、功能易于实现的蓝牙串口透传模块作为辅助扩展口,通过PLC的RS232串口自由通讯功能,与外部设备进行简单数据交换,既可通过蓝牙向智能手持设备发送相关压力、保压时间等数据以供脱机或手动使用系统,又可以替代上位机实现设置或修改试验参数等功能。

新型深水压力模拟测试系统额定最大工作压力为30 MPa,选择Z4DSY-30/40型电动试压泵,其主要技术参数见表2。

表2 电动试压泵主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of electric pressure testing pump

型号	Z4DSY-30/40
额定压力/MPa	40
流量/(L·h ⁻¹)	30(高压),360(低压)
柱塞直径/mm	14
配套电机功率/kW	1.5(Y90L-4型)
外形尺寸/mm	815×485×1100
质量/kg	200

综上,新型深水压力模拟测试系统主要硬件选型与配置如表3所示。

表3 主要硬件选型与配置

Table 3 Main hardware selection and configuration

硬件名称	配置
PLC	ESMAC2408型PLC,17个开关量输入点,8个开关量输出点,1×CAN2.0B,2×RS232(Modbus)
压力传感器	4~20mA/0~40MPa型
按钮开关及线控操作盒	自动控制/手动控制
蓝牙串口透传模块	RS232串口通讯
电动试压泵	Z4DSY-30/40型,额定压力40MPa

除上述硬件外,还需要高压电动截止阀、24 V直流电源、直流接触器、热继电器、三相断路器、保险及电控箱体、导轨、端子等一些附件^[20]。

2.2 电路设计

2.2.1 主电路设计

系统的主要执行设备是试压泵电机,根据电动

试压泵型号,电机选型为Y90L-4型1.5 kW三相异步电机,主电路设计如图2所示。

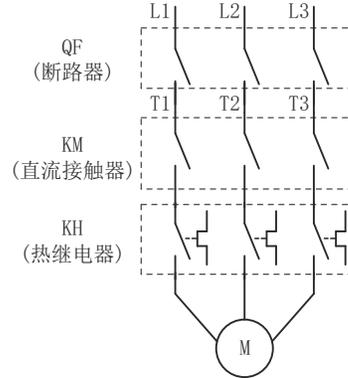


图2 主电路图

Fig.2 Main circuit diagram

2.2.2 PLC的I/O分配及控制电路设计

PLC的I/O端口分配见表4。PLC的输入点主要为开关量输入点,采集面板及线控操作盒实体按钮开关、继电器及接触器开关状态作为系统输入,并在上位机界面显示;另外有一路4~20 mA模拟量实时采集压力数据。PLC的输出点均为开关量输出,其中三路直接驱动24 V电动阀,分别控制排水阀、进水阀和卸荷阀,另有一路通过继电器控制泵控继电器。

表4 PLC I/O端口分配

Table 4 PLC I/O port allocation table

端口	I/O点	名称	代号	功能
输入	I0.0	按钮	SB	系统启动
	I0.1	继电器触点	KA	泵控继电器状态
	I0.2	急停按钮	SBE1	线控急停状态
	I0.3	急停按钮	SBE2	面板急停状态
输出	I0.4	接触器辅助触点	KM	泵控接触器状态
	INN18	压力传感器	PS	压力传感器4~20mA信号采集
	Q0.0	继电器线圈	KA	泵控继电器KA
	Q0.1	电动阀	DT1	排水阀DT1
	Q0.2	电动阀	DT2	进水阀DT2
	Q0.3	电动阀	DT3	卸荷阀DT3

PLC外部控制电路如图3所示,其原理和功能设计如下:通过PLC的开关量输入点来检测启动开关、泵控继电器以及急停开关的状态,以便这些状态通过PLC寄存器在上位机显示;PLC的输出点驱

动控制进、排水阀和卸荷阀、泵控继电器等执行件；泵控接触器 KM 的辅助触点信号接入面板和线控操作盒的指示灯，显示泵运行/停止状态；PLC 的模拟

量输入点接入压力传感器信号，一个串口与 PC 上位机通讯，另一串口与蓝牙串口透传模块通讯。

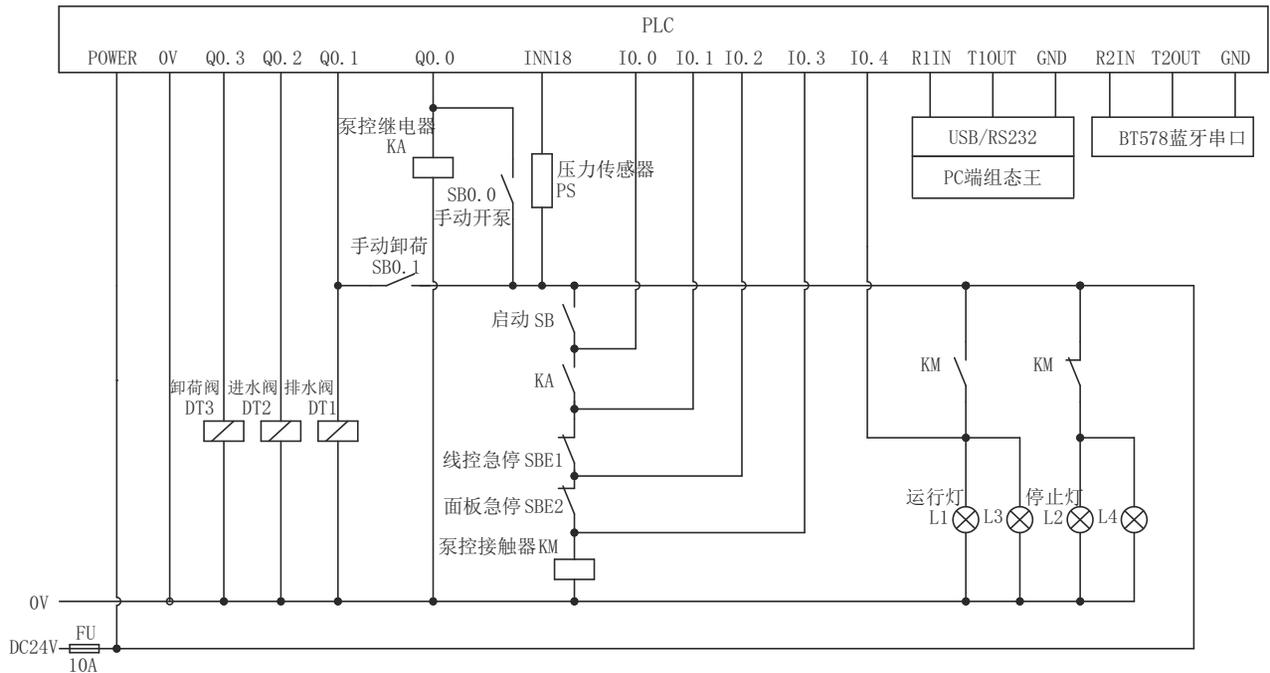


图 3 PLC 外部控制电路

Fig.3 PLC external control circuit diagram

2.3 PLC 程序设计

ESMAC2408 型 PLC 厂家提供了梯形图编程和在线监测软件 Easybuilder, 该软件采用符合 IEC 61131-3 标准的编程语言, 并与 Windows 的图形界面和面向对象的操作完美匹配。该软件人机界面友好、操作简单、指令功能强大, 包含了数学、PWM、系统控制等指令。

如图 4 所示, 根据 PLC 程序设计一般原则, PLC 程序应具备简短、省时、高效、具有模块化、可读性好、易修改、可扩展性强等特点。因此, 将新型深水压力模拟测试系统的主程序分为 4 个小程序, 分别设计为: 组态王读取 PLC 数据, 压力传感器 PS, 组态王写入 PLC 数据, 输出。

组态王读取 PLC 数据子程序主要功能是将 PLC 输入开关量状态检测送入组态王界面显示, 方便操作者从组态王界面直观掌握设备运行状态, 如继电器状态、电动阀状态、面板及线控操作盒按钮状态等。

压力传感器 PS 子程序主要功能是对系统默认

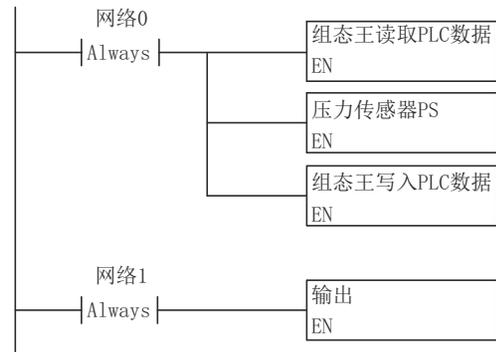


图 4 主程序设计

Fig.4 Main program design

压力传感器(量程 4~20 mA/0~40 MPa)采集数据进行运算、处理和转换。PLC 的 INN18 端口采集数据并以一定的采样率处理后, 经运算转换成 32 位浮点型压力(MPa)值并放入指定用户存储区, 以供组态王读取该数据。压力传感器数据除了提供给组态王读取以外, 还要通过 PLC 的 COM2 串口以自由协议发送给蓝牙串口透传模块, 方便外部设备读取和直观显示该数据。

组态王写入PLC数据子程序主要功能是设置和修改预设压力、保压时间等参数,以及选择压力传感器量程和信号。上位机手动操作电动试压泵的启停指令也通过该子程序接入并送至PLC输出子程序经逻辑关联、互锁等运算至PLC输出点。

输出子程序主要处理组态王端、电控箱端及线控操作盒开关量输入信号,经逻辑运算处理后输出电动阀和泵控继电器。

3 组态王上位机监控系统开发

3.1 软件总体设计

上位机监控系统拥有用户管理、现场模拟监控、启停控制、参数设置、实时曲线、历史曲线、报表系统等功能。变量历史库中添加相关变量以实现历史曲线与报表的存储、查询和打印等功能。上位机监控系统总体框图设计如图5所示。

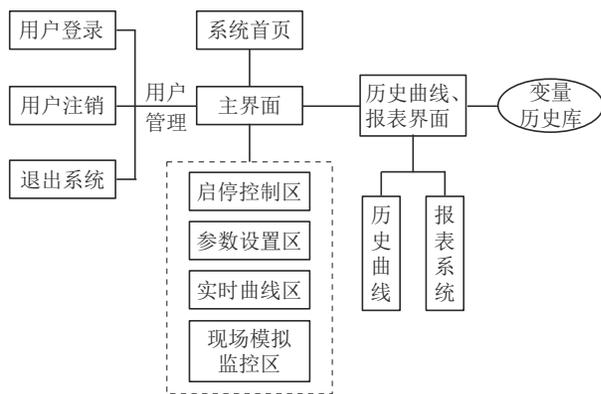


图5 上位机监控系统框图

Fig.5 Diagram of upper computer monitoring system

图5中,系统首页主要显示系统启动画面和版本信息等基本信息和用户管理界面。用户通过用户管理界面可登录、注销和退出系统。登录系统后进入主界面,主界面分为“启停控制区”、“参数设置区”、“实时曲线区”和“现场模拟监控区”4个功能分区,是主要的用户操作和参数曲线显示区。另外,用户可通过点击“历史曲线”跳转进入历史曲线和报表界面,用于查看和打印历史数据曲线和报表信息,这些数据来自组态王的变量历史库。

3.2 组态王通讯设置

Modbus是一种串行通讯协议,作为工业领域通讯协议的业界标准,常用于数据采集与监视控制系统(SCADA)中。组态王通过标准Modbus RTU

协议主从模式与PLC通讯,同时还需设置设备地址和串口参数与PLC设备地址和串口参数一致^[21]。

3.3 变量的管理与存储

数据库是联系上位机和下位机的桥梁,数据库中存放的是变量的当前值。根据系统中变量类型,按照标准Modbus协议功能码和PLC寄存器地址设置组态王中变量的寄存器地址和数据类型,并根据具体数据使用需求设置读写属性和采样频率等。对于一些需要添加到变量历史库中的变量,还应设置变量记录。

3.4 主监控界面设计

根据上位机监控系统的总体设计,在主界面上设计相应功能区,通过组态王软件开发环境提供的图库、动画连接、命令语言、曲线控件等功能进行设计,将系统各运行状态和参数设置、按钮及指示灯、曲线等在主界面生动地反映出来^[22]。主监控界面设计如图6所示。

3.5 历史曲线和报表系统

历史曲线和报表系统记录了之前试验的有关数据,对用户来说是非常重要的。通过调用组态王内置的历史曲线及报表功能。用户可以从组态王记录的变量历史库中按指定的起始时间和时间间隔查询指定变量的记录数据,并可通过报表打印函数和历史曲线打印按钮实现打印功能。

4 压力模拟测试试验

使用新型深水压力模拟测试系统对某设备进行压力测试。首先将设备放置在压力模拟舱内,然后将模拟舱关闭并密封好,同时确保其他设备正常工作。然后在组态王软件主监控界面中设置好5级目标压强值和最终压强(25 MPa),设置保压时间6 min。按“启动”按钮,压力测试试验开始。试验过程中,可以在主监控界面中的“压力-时间”显示框看到舱内的压强值逐步到达设定的目标值并保持一段时间,最终到达25 MPa。在保压时间内,压力下降值在允许范围内,说明此次压力测试试验成功。试验完成后,可以使用“历史曲线”功能查询此次试验的“压力-时间”数据与曲线(如图7所示)。

5 结语

在新型深水压力模拟测试系统设计中,以组态王作为上位机开发平台,充分利用了软件的通用性

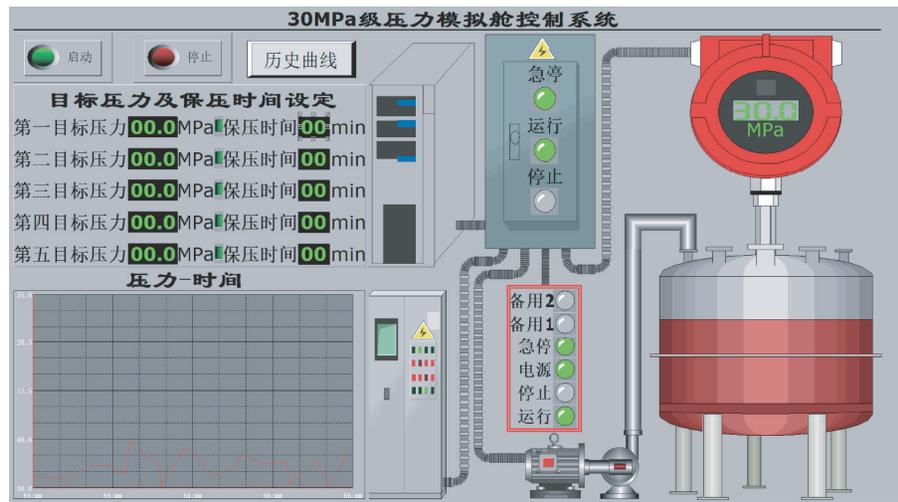


图6 主监控界面设计

Fig.6 Design of main monitoring interface

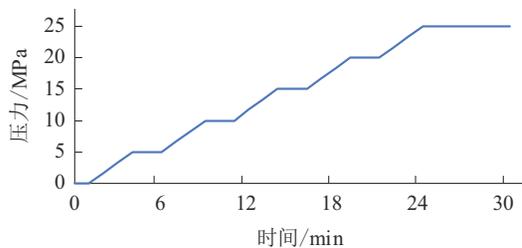


图7 压力-时间曲线

Fig.7 Pressure-time history

好、易学易用、功能强大等优势,缩短开发周期,提高了工作效率。系统能够实时检测压力并实现自动控制,简化了操作流程。控制界面人机友好,对现场试验流程的监控模拟生动直观。数据处理、存储、查询和打印功能齐全,为深水压力模拟测试提供了完整的过程数据支持。PLC用以现场设备状态采集和控制输出,性能可靠、操作方便,可多地控制、手动越权控制及脱机使用等功能的引入大大提高了系统运行的安全与稳定性。系统扩展接口丰富、通讯方式灵活,具有很高的可扩展性,后期可视具体情况进一步完善、改进和升级该系统。

参考文献(References):

- [1] 叶建良,张伟,谢文卫.我国实施大洋钻探工程的初步设想[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(2):1-8.
YE Jianliang, ZHANG Wei, XIE Wenwei. Preliminary thoughts on implementation of the ocean drilling project in China [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(2):1-8.
- [2] 辛秀东,邹叶龙,薛清波,等.深水光缆分线盒的设计及应用

[J].电子技术,2016,45(1):86-87.

XIN Xiudong, ZOU Yelong, XUE Qingbo, et al. Design and application of deep water cable junction box[J]. Electronic Technology, 2016,45(1):86-87.

- [3] 刘协鲁,阮海龙,赵义,等.海域天然气水合物保温保压取样钻具研究与应用进展[J].钻探工程,2021,48(7):33-39.
LIU Xielu, RUAN Hailong, ZHAO Yi, et al. Progress in research and application of the pressure-temperature core sampler for marine natural gas hydrate[J]. Drilling Engineering, 2021,48(7):33-39.
- [4] 程一斌,王祥傲.S7-200PLC与组态王在供胶监控系统设计上的应用[J].安徽农业大学学报,2019,46(3):554-558.
CHENG Yibin, WANG Xiangao. Design of glue supply monitoring system based on S7-200 plc and KingView[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2019,46(3):554-558.
- [5] 王明松,马鸿雁.基于组态王的变电站运行状态在线监控系统设计与应用[J].电工技术学报,2015,30(S1):484-489.
WANG Mingsong, MA Hongyan. Design and application of running status of substation online monitoring system based on KingView [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015,30(S1):484-489.
- [6] 任俊杰,李红星,李媛.基于PLC和组态王的过程控制实验系统[J].实验室研究与探索,2010,29(5):16-18.
REN Junjie, LI Hongxing, LI Yuan. Process control experimental system based on PLC and KingView[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2010,29(5):16-18.
- [7] 喻支乾.基于组态王、PLC及变频器在恒压供水控制系统的设计[D].济南:山东大学,2008.
YU Zhiqian. Based on KingView, PLC and inverter in constant pressure water supply control system design [D]. Jinan: Shandong University, 2008.
- [8] Lu P, Dai F Z, Zhang T Y. An automatic water supply system based on KingView and PLC[J]. Journal of Advances in Artificial Life Robotics, 2021,2(1):12-16.
- [9] 邓都都,阮海龙,陈云龙,等.海洋石油708船深水离线电池分配系统的研制与应用[J].钻探工程,2024,51(2):78-84.

- DENG Dudu, RUAN Hailong, CHEN Yunlong, et al. Development and application of deepwater off-line battery distribution system for the ship HYSY 708[J]. *Drilling Engineering*, 2024, 51(2):78-84.
- [10] 王志平,何洪阳,陈春俊. 传感器阵列测板脉动压力测试方法[J]. *现代制造工程*, 2018(8):119-122,80.
WANG Zhiping, HE Hongyang, CHEN Chunjun. Fluctuation pressure measuring method based on sensor array plates[J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2018(8):119-122,80.
- [11] 王伟. 试压系统改进设计[J]. *机床与液压*, 2018, 46(16):145-146.
WANG Wei. Improved design for pressure test system[J]. *Machine Tool & Hydraulics*, 2018, 46(16):145-146.
- [12] 徐友江,任永良,姜民政,等. 油田注水模拟系统的数据采集与控制系统[J]. *化工自动化及仪表*, 2018, 45(4):255-258.
XU Youjiang, REN Yongliang, JIANG Minzheng, et al. Data acquisition and control system of oilfield flooding simulation system[J]. *Control and Instruments in Chemical Industry*, 2018, 45(4):255-258.
- [13] 王绍清,徐肯,冯勇建. 微型电容式压力传感器的制作与测试[J]. *仪表技术与传感器*, 2005(3):3-4,33.
WANG Shaoqing, XU Ken, FENG Yongjian. Fabrication and testing of capacitive pressure microsensors[J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2005(3):3-4,33.
- [14] 钱德儒,郑俊华,高润峰,等. 地层压力模拟测量短节研制[J]. *石油机械*, 2021, 49(4):58-63.
QIAN Deru, ZHENG Junhua, GAO Runfeng, et al. Development of formation pressure simulation gauging nipple[J]. *China Petroleum Machinery*, 2021, 49(4):58-63.
- [15] 张致勇,黄志坚. 液压系统模拟加载模块的设计[J]. *液压气动与密封*, 2017, 37(3):60-61.
ZHANG Zhiyong, HUANG Zhijian. Design of hydraulic system simulation loading module[J]. *Hydraulics Pneumatics & Seals*, 2017, 37(3):60-61.
- [16] Gammer M D, Kolesnikov S P, Kolesov G V. Stand simulated process for testing pumps[J]. *Litiyo i Metallurgiya (Foundry Production and Metallurgy)*, 2012(3):320-324.
- [17] 刘延霞,陆倩,任子晖. 基于组态王和PLC的货物自动识别系统[J]. *仪表技术与传感器*, 2013(6):55-58.
LIU Yanxia, LU Qian, REN Zihui. Goods automatic identification system based on KingView and PLC[J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2013(6):55-58.
- [18] 孙圣和. 现代传感器发展方向[J]. *电子测量与仪器学报*, 2009, 23(1):1-10.
SUN Shenghe. Development trend of modern sensor[J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrument*, 2009, 23(1):1-10.
- [19] Sreejith V S, Zhang H F. Modeling and testing of a highly sensitive surface acoustic wave pressure sensor for liquid depth measurements[J]. *Sensors and Actuators A-Physical*, 2024, 372:115377.
- [20] 任启伟,赵远,孟义泉,等. 基于Unity3D的岩心钻机模拟实训平台研究[J]. *钻探工程*, 2022, 49(3):51-59.
REN Qiwei, ZHAO Yuan, MENG Yiquan, et al. Research on core drill simulation training platform based on Unity3D[J]. *Drilling Engineering*, 2022, 49(3):51-59.
- [21] 李雅妮,肖鹏. 基于PLC和组态王的电镀生产线自动控制系统设计[J]. *电世界*, 2019, 60(5):40-43.
LI Yani, XIAO Peng. Design of automatic control system of electroplating production line based on PLC and KingView[J]. *Electrical World*, 2019, 60(5):40-43.
- [22] 马林联,马铭泽. 基于触摸屏组态王和PLC的一种机械手监控系统研究[J]. *工业控制计算机*, 2019, 32(3):127-128.
MA Linlian, MA Mingze. Manipulator monitoring system based on touch screen and KingView and PLC[J]. *Industrial Control Computer*, 2019, 32(3):127-128.

(编辑 荐华)