

NGH 综合模拟实验系统及控制模块设计^{*}

宁伏龙¹ 蒋国盛¹ 吴翔¹ 李兵² 张凌¹

(1.中国地质大学·武汉 2.中国人民解放军总装备部工程设计研究总院)

宁伏龙等.NGH 综合模拟实验系统及控制模块设计.天然气工业,2008,28(10):122-124.

摘要 天然气水合物研究中急需解决的问题是水合物勘探和开采时钻井内的热力学特征以及相应的钻井技术。研制了水合物综合模拟实验系统,以研究水合物形成和分解的热力学和动力学特性、井内热压力分布规律以及相应的水合物钻井技术等。由于实验持续时间长、压力高、环节多,为减轻劳动强度和保证实验安全,在实验系统中增加了控制模块。PCI-1711 多功能卡为控制模块的核心,采用 OMRON/G2R-1 型继电器控制系统设备的关停,系统可实现自动超压保护。通过接口转换模块连接微机和控制器,在微机上对可编程高低温实验箱进行控制,流量比例阀和步进电机分别用来控制微钻模块中的钻杆升降和转速。整套控制模块已在水合物合成及钻井液模拟实验中得到了成功应用,系统运行稳定,超压保护灵敏,大大减轻了实验强度并增强了实验安全性。

关键词 天然气水合物 综合 模拟 实验系统 控制 模块 设计

天然气水合物(Natural Gas Hydrate,简称 NGH)因其在资源、环境和全球变化中的重要意义引起世界许多国家的高度重视,成为当代地球科学和能源研究的一大热点,其研究水平已从某种程度上反应了一个国家的综合科技实力和可持续发展潜力^[1-2]。对 NGH 的研究离不开实验模拟,而实验装置是 NGH 研究的基础,为其应用提供基本数据。由于 NGH 的形成和稳定需要高压低温环境(温度通常低于 300 K,压力通常高于 $38 \times 10^5 \text{ Pa}$ ^[3]),因此实验室内研究 NGH 需要苛刻的实验设备。

一、NGH 综合模拟实验系统

从能源角度看,水合物研究课题中最急需解决的问题是水合物分解热力学和动力学特性、水合物勘探和开采时钻井内的热力学特征以及相应的钻井技术,如钻进时的钻速、钻压、钻井泥浆的循环护壁、井控等。据此出发研制了 NGH 综合模拟实验系统,以期今后大规模开采 NGH 提供相关钻井理论和技术支持。该综合实验系统主要由大体积的可视化钛合金高压反应釜(透明窗口条件下,工作压力 35 MPa;盲盖条件下,工作压力 50 MPa),提供温度

环境的 HLT705P 可编程高低温实验箱(工作温度范围 $-203 \sim 373 \text{ K}$),提供高压环境的气/液增压泵(工作压力 70 MPa),可放大 3~500 倍的美 ZOOM 70XLOpta 光学变焦显微数字成像观察系统,数据采集系统微钻系统以及其他辅助设备(真空泵、气体泄漏报警器等)构成(图 1)。能够可视化地显微观察 NGH 在纯水以及多孔隙介质(主要是砂子)中的合成与分解情况,模拟实际钻井条件研究钻进规程和钻进过程控制,可扩展用于含水合物地层力学性质测试,可进行低温钻井液性能测试实验等,还可以对 NGH 开采方法进行研究。因此,具有综合性强、功能全、研究领域广等特点^[4]。

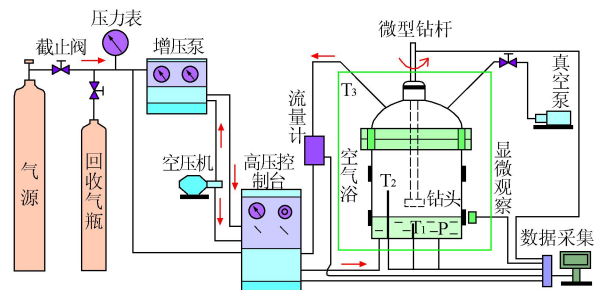


图 1 NGH 综合模拟实验系统示意图

^{*} 本文受到国家自然科学基金(编号:50704028)、教育部新世纪优秀人才计划(编号:NCET-05-0663)和中国地质大学(武汉)优秀青年教师资助计划(编号:CUGQNL0623,CUGQNL0725)项目的资助。本文作者还有中国科学院广州能源研究所的关进安和中国地质大学的窦斌。

作者简介:宁伏龙,1977年生,讲师,博士,研究方向为天然气水合物勘探开发、油气钻井开发。地址:(430074)湖北省武汉市中国地质大学工程学院。电话:(027)65198002。E-mail:nflzx@cug.edu.cn

由于实验持续时间长(常需要 20 h 以上)、压力高、环节多,为提高自动化程度、减轻劳动强度和保证实验安全,在上述装置组成的基础上又设计了控制模块,通过微机对综合实验系统进行控制,包括设备的起停、超压卸荷、温度控制以及微型钻机的运行。

二、控制模块的硬件体系设计

设备的起停和超压卸荷控制属于开关量,而温度以及微钻部分控制属于模拟量输出。在综合考虑系统控制参数、成本及实现难易程度后,选择了研华 12 位 PCI-1711 多功能卡作为控制模块和数据采集的核心。它具有 FIFO 的高速缓存,带有 16 通道单端模数输入、16 通道数字 I/O 和 2 通道数模输出,采集速率可达 100 kHz,可编程的计数/计时器作为 A/D 转换的速度触发,还可灵活设定输入类型和范围并具有通道自动搜索功能。

1. 设备启/停控制

设备启/停控制主要包括高低温试验箱、增压泵,真空泵和微钻系统的工作开关。这里选用 OMRON/G2R-1 型 8 路继电器作为执行元件,它的接通/释放最大时间为 15/5 ms,输入信号为 TTL 电平,带光电隔离,最大工作电压 360 V。将继电器分别与计算机和设备电源接头相连,利用计算机给 PCI1711 卡发送 0,1 指令来控制继电器的开关,实现低电压控制高电压从而控制实验设备开关。

2. 超压保护

由于水合物实验压力很高(10~50 MPa),各管路部件都有相应的压力限值,介质又是易燃易爆的天然气。因此,为保证实验能安全顺利进行和避免一些事故的发生,需要对实验系统的运行压力进行控制,实现超压报警,并自动泄压。为此,设计了高压控制台,将系统中的管路集中控制。在控制台主管路上安装瑞士 NOVA 公司的 NV1-20-6M-ATC 型气控阀,驱动压力 65~75 psi(1 psi=6.895 kPa),最大工作压力 20 000 psi。由日本 SNC 公司的 VP542 型 2 位 3 通电磁阀控制它的打开和闭合,该电磁阀反应灵敏,动作迅速。电脑根据压力传感器判断是否超压,若超压则接通继电器控制电磁阀打开,接通低压气体,从而驱使气控阀在高压下自动泄压。控制台还备有手动泄压截止阀,在自动泄压失效和反应釜试压时使用。

3. 温度控制

温度环境主要由一台定制的可编程高低温试验箱 HLT705P 提供。它自带有韩国 SANWONTECH

公司生产的液晶触摸可编程温度控制器 TEMI550,控温范围 $-70\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度波动度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,均匀度小于等于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,通讯接口为 RS-485。为实现在微机对其控制,需要将通讯接口转换成 RS-232。因此采用了 ICP DAS 生产的 I-7520 型工业级数据总线转换模块,将其分别与 TEMI550 和微机相连,从而实现计算机与高低温试验箱之间的通讯连接。实际实验时,发现通过控制器设定的温度值比高低温试验箱内实际稳定温度值高 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。因此在通过微机向控制器发送指令时,将调温设定值提高了 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,并在箱内安放了一个较高精度的铂电阻温度传感器,从而使箱内的温度维持在实验预定温度范围内。

4. 微钻模拟控制

微钻系统的控制包括钻杆给进、钻压、转速和冲洗液循环等。现阶段主要是对钻杆的转速和给进速度进行控制,其他部分控制仍然采用机械和手动方式。步进电机转速与控制信号的脉冲频率成正比,因此它被用来控制钻杆转速,通过 PCI-1171 卡的数字信号输出通道改变控制信号的频率来直接控制微型钻机的转速。此外,采用 4WE6G50/AW220-50NZ4 型比例阀控制给进油量从而控制钻杆给进速度。比例流量控制阀的节流口开度由输入信号的电压大小决定,所以通过 PCI-1171 卡的 D/A 通道控制电磁比例阀节流口的开度,进而控制给进油量,来达到控制给进速度的目的。整个控制模块示意图如图 2 所示。

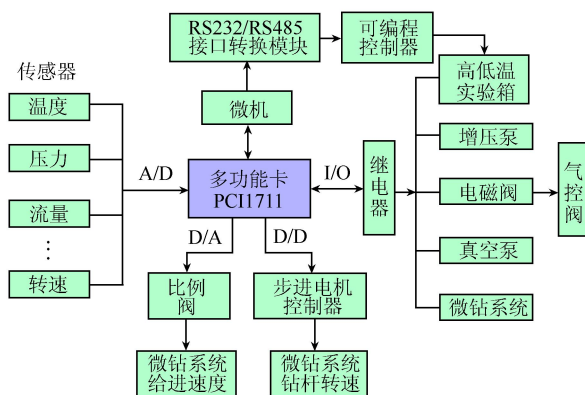


图 2 NGH 综合模拟系统控制模块结构示意图

三、控制模块的软件设计

1. 软件功能定义

软件是整个控制系统设计的关键,要求运行响应时间短,占用内存小,可扩展性好,系统升级维护

方便。软件划分成3个模块来实现,包括设备控制与监测模块、数据采集与显示模块和数据处理与分析模块。设备控制与监测模块功能主要是软件启动后对系统进行初始化自检、设定系统参数和打开各实验设备并同时监测设备的运行状态。对采集的压力数据进行判断是否超过警报值,如果超过警报值就发出警报,同时自动打开气控阀泄压以保证实验安全。

2. 软件功能实现

根据软件功能要求,选择 Visual C++ 6.0 作为开发工具,采用多线程编程技术。PCI-1711 多功能卡 CD 中随带有库函数和编程所需要的动态链接库 (DLL),数据采集和设备控制模块功能实现主要是通过调用其中的 API 函数实现^[5-6]:

(1)数据采集卡的打开,调用函数 DRV_DeviceOpen(DeviceNum,DriverHandle)。

(2)采集卡的配置,调用函数 DRV_AIConfig(DriverHandle,lpAIConfig)。

(3)数据采集,调用函数 DRV_AIVoltageIn(DriverHandle,lpAIVoltageIn)。

(4)向指定的通道发送0或1开关量,调用函数 DRV_DioWriteBit(DriverHandle,lpDioWriteBit)。

(5)读取设备的运行状态,调用函数 DRV_DioReadBit(DriverHandle,lpDioReadBit)。

(6)向指定的通道发送模拟信号,调用函数 DRV_AOVoltageOut(DriverHandle,lpAOVoltageOut)。

(7)数据采集卡的关闭,调用函数 DRV_DeviceClose(DriverHandle)。

3. 软件介绍

数据采集及设备控制和监测界面友好,简洁实用,操作简单,设备控制和检测模块实现设备控制和监测功能;下部的工具条实现采集数据的实时数据记录的显示;主界面为数据采集模块,采用类似示波器的形式在电脑屏幕上显示实时数据。点击相应的设备图标可启动或关闭设备,通过文本框设定实验温度和压力值。软件还提供超压报警的多媒体功能,显示报警动画和发出报警声音,同时及时打开气控阀来泄荷减压。

软件运行前可以设置采集卡采样间隔、压力报

警值、泄流压力、温度、压力等参数的数据采集通道,设备控制端口等参数。

四、结论及建议

天然气水合物模拟微钻综合实验系统的控制模块主要借助 PCI-1711 多功能卡的高速数据采集和数字及模拟输出功能,结合 PLC 控制技术,从而实现了设备关停、超压卸荷、温度和微钻系统运行的微机自动控制。软件部分由面向对象的 VC++ 语言采用多线程技术编制而成,界面友好,具有很好的维护性和扩充性。整套控制系统已在水合物合成及微钻模拟实验中得到了成功应用,运行稳定,执行速度快,超压保护灵敏,大大减轻了实验强度并增强了实验安全性。

随着天然气水合物研究的不断深入和工业技术的不断进步,天然气水合物实验装置正向综合化、微细观察化、模拟真实化和集中智能控制化方向发展,尤其后者已成为水合物实验技术研究的一个主要趋势。因此,今后应将天然气水合物模拟微钻综合实验系统的控制模块进一步优化,最好建立一个中央控制台,对所有输入输出信号进行集中管理。同时将增压系统和微钻系统剩余的机械和手动操作改为微机控制,以进一步降低实验劳动强度。

参 考 文 献

- [1] 宁伏龙.天然气水合物地层井壁稳定性研究[D].武汉:中国地质大学,2005.
- [2] 巩艳,袁宗明.天然气水合物勘探开发技术评价[J].西南石油大学学报,2007,29(增刊2):53-56.
- [3] SLOAN E D. Introductory overview: Hydrate knowledge development [J]. American Mineralogist, 2004, 89: 1155-1161.
- [4] 窦斌,蒋国盛,吴翔,等.天然气水合物合成及微钻实验装置设计[J].天然气工业,2004,24(6):77-79.
- [5] 李兵,宁伏龙,关进安,等.天然气水合物合成实验软件系统的设计[J].天然气化工,2005,30(3):44-47.
- [6] 李兵,宁伏龙,关进安,等.天然气水合物合成实验数据采集系统的设计[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2004(10):36-38.

(修改回稿日期 2008-08-20 编辑 罗冬梅)