

FRP 管道内固化控制系统设计^{*}

许家忠 张文博 张礼勇 王 伟 刘 宇

(哈尔滨理工大学自动化学院, 哈尔滨 150080)

摘要 研究了玻璃纤维增强塑料(FRP)管道的固化原理以及内固化加热系统结构, 设计了基于 PLC 的内加热固化控制系统, 介绍了控制系统软硬件设计和控制流程。实践应用表明, 该系统性能稳定, 温度控制精度高, 可实现对高压 FRP 管道优质、高效加热固化。

关键词 高压玻璃钢管道 内加热固化 PLC

世界石油开采已有近百年历史, 我国石油开采也有几十年的历史, 因油管腐蚀和结垢堵塞导致油管频繁更换, 使采油成本不断增加。玻璃钢管是玻璃纤维增强塑料(FRP)管道的简称, 它具有质轻、高强、耐腐蚀、不结垢、不结蜡、不易积沙、内壁光滑、流体阻力小的特性, 以及具有安装方便、维修工作量小、管材保温性能好、不污染水质和使用年限长等优点。因此在世界各国被广泛地应用于输送液体介质和解决油田腐蚀等方面^[1-2]。

传统的纤维缠绕管体是在缠绕成型后, 采用“外固化”工艺在固化炉内将热量通过辐射、传导和对流等方式传递给制件完成固化。新型“内固化”工艺是采用加热带内部芯模的方式使复合材料升温, 进而完成其固化成型^[3]。内固化相对于外固化的优点是复合材料在内部热压作用下由内向外逐层固化, 有利于树脂流动和气泡的排出, 使材料更加密实; 蒸汽、金属芯模和复合材料间传热效率高, 可提高固化效率^[4]。由于蒸汽加热不会对芯模产生污染, 同时具备温控范围宽、不必安装固定的加热器以及在工程上易于实现旋转加热等优点, 因此选用蒸汽作为加热介质。

1 内固化原理

高压 FRP 管道固化原理如图 1 所示。FRP 管体是由热固性环氧树脂浸渍过的玻璃纤维束缠绕在可加热的金属模腔外表面固化而成。芯模是一个中空的壁厚均匀的金属管体, 芯模和缠绕管体等长, 而且是轴对称的, 芯管是通入饱和水蒸气、压缩空气和冷却水的中空且四周开有小孔的钢管^[5-6]。当缠绕结束后, 通入孔管内腔的蒸汽经过孔管壁的小孔进入芯模外腔, 对芯模进行加热, 被加热的钢质芯模将热量传递给纤维树脂缠绕层, 当温度达到一定程度时, 缠绕层中树脂就会逐步升温、粘度下降、流动迁移, 进而凝胶、粘度上升、凝胶结束, 进一步交链成为

三维网状结构, 管道固化时作旋转运动, 以便均匀加热 FRP 管体, 并防止未固化液态树脂由于重力作用而聚集于管道下表面。在固化反应完成后, 再输送冷却介质使芯模迅速冷却, 制品与模具之间因“热胀冷缩”滞后将产生间隙, 以便顺利脱模, 最后向管道内通入压缩空气, 将残留的水分吹干, 固化结束。

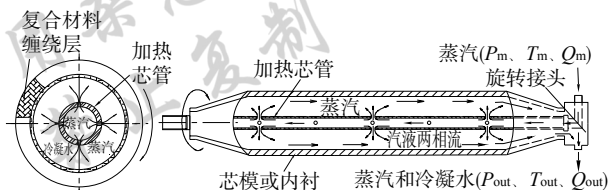
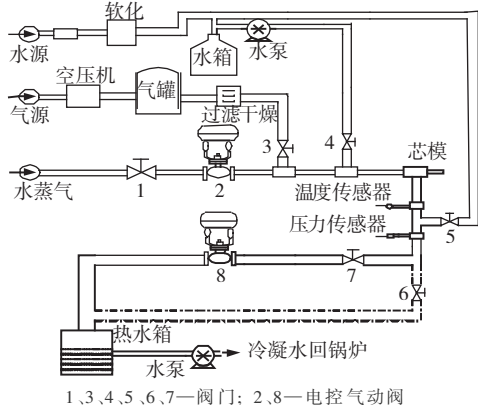


图 1 高压 FRP 管道固化原理图

2 内固化蒸汽加热系统设计

内固化控制系统管道结构如图 2 所示。来自锅炉的饱和水蒸气通过阀门 1、电控气动阀 2 进入芯模内腔, 经内腔壁孔进入芯模外腔对芯模加热, 从外腔流出的蒸汽和凝结水分别经阀门 7、电控气动阀 8 和阀门 6 进入热水箱。安放于芯模出口处的温度传感器和压力传感器检测温度和压力。冷却水经过阀



1, 3, 4, 5, 6, 7—阀门; 2, 8—电控气动阀

图 2 内固化控制系统管道结构

^{*} 国家自然科学基金项目(50902039)、黑龙江省青年科学基金项目(QC08C66)、黑龙江省博士后基金项目(LBH-Z08101)

门4进入芯模,从芯模外腔流出的热水经阀门5流回冷却水箱循环利用,冷却后由水泵送至固化系统,完成芯模冷却工艺。

为避免芯模管道结垢,冷却系统的补充水由自来水经自动软水器离子交换处理后提供。压缩空气由专门的空气压缩机供给,经过滤和干燥处理后经阀门3进入芯模,压缩空气推动芯模内剩余冷却水经阀门5流出,进行汽水分离后压缩空气排入大气,实现冷却后吹扫工艺。

3 内固化控制系统设计

3.1 控制系统硬件设计

内固化控制系统选用欧姆龙 CJ1G 型 PLC,同时连接 3 个 CJ1W-OC211 型数字量输出模块、1 个 CJ1W-DA08C 型模拟量输出模块、1 个 CJ1W-AD081-V1 型模拟量输入模块。触摸屏选用台达 DOP-A10THTD1 型触摸屏。通过 RS232 串口通讯线与 PLC 相连接。温度传感器为 PT100 型传感器加温度变送器(两线制),输出电流为 4~20 mA,连接 PLC 的模拟量输入模块。调节阀选用西门子智能定位器,与 PLC 的模拟量输出模块相连接。PLC、温度传感器、西门子智能定位器形成一个温度闭环回路,实现了对温度模拟量的检测和控制。与 PLC 相连的触摸屏可以实现人机互动、状态显示、参数下

载等功能。基于 PLC 的内固化控制系统总体结构如图 3 所示。

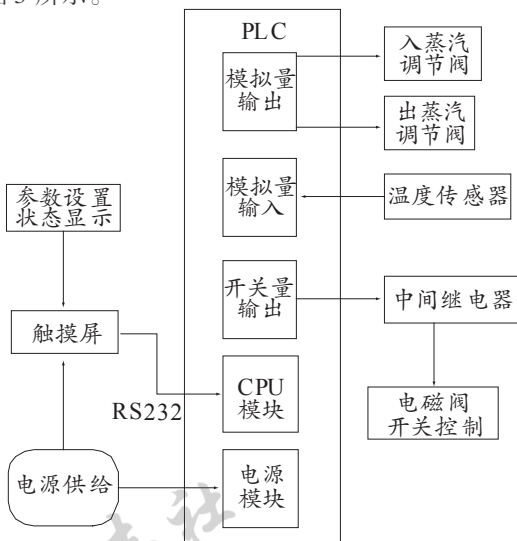


图3 内固化控制系统总体结构图

3.2 控制系统软件设计

(1) PLC 程序设计

本系统采用模块化设计思想分别对触摸屏和 PLC 进行程序设计。PLC 程序流程如图 4 所示。

控制系统分为自动、分段和手动 3 种操作模式。在手动状态下可以单独控制各个阀门的开关,调节阀的开度,范围在 0~100% 之间。该阶段主要用于

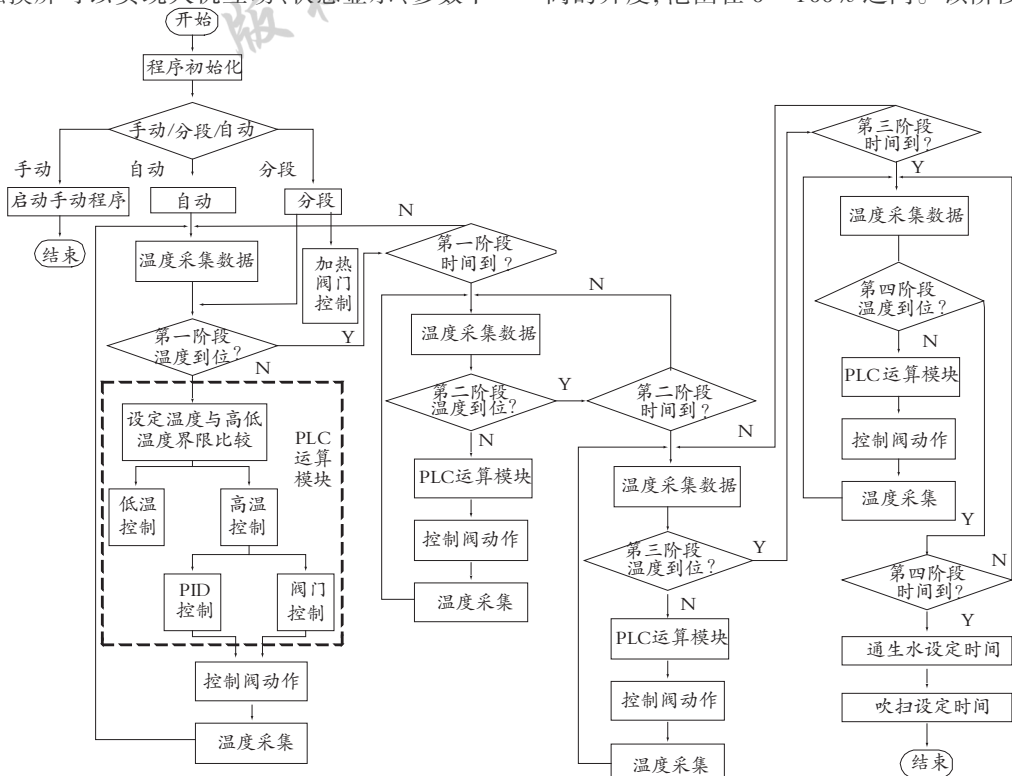


图4 PLC 程序流程图

预加热和调试阀门。在分段状态下分为加热、冷却、吹扫3部分,每一部分单独控制。在分段加热状态下可以任意设定加热温度来进行加热处理,与自动阶段不同的是在该阶段不受时间控制。在分段冷却和分段吹扫过程中可以单独根据设定时间来分别进行冷却处理和吹扫处理。在自动状态下系统根据设定的加热参数(每段加热时间与加热温度),自动进行每一阶段的加热处理,此时温度传感器将检测到的温度值以模拟量的形式送入 PLC 模拟量输入模块,与设定的高低温度界限值进行比较,确定采取高温控制模块或者低温控制模块。当进入低温控制模块时,通过触摸屏预先设定4个参数:进气阀开度和出气阀开度、温度波动界限、上升与下降脉冲时间。控制开始时,进气阀与出气阀按照设定的开度开启,定时器记录上升脉冲时间,上升时间结束后进气阀关闭进入下降脉冲时间,下降时间结束后进气阀再次开启设定的开度,依次循环,当温度升高到设定温度与波动温度的差值时,进气阀与出气阀同时关闭。

当进入高温控制模块时,与预先设定的温度值进行比较,启动 PID 算法,将运算所得的控制量以模拟量信号的形式发出:一路输出控制进蒸汽调节阀,另一路输出将第一路输出信号取反后控制出蒸汽调节阀,即两个调节阀的开度是互补的,其开度之和为100%。控制二者开度值就可以控制芯模内蒸汽的压力从而控制蒸汽的温度。高温控制模块的阀门控

制则应用于蒸汽压力稳定、外界环境变化很小的条件下。当所有加热时间结束后自动进入冷却阶段,冷却时间结束后自动进入吹扫阶段,当吹扫时间结束后整个自动控制系统结束。

4 结语

内加热固化控制系统已应用于高压 FRP 管道固化成型,芯模温度在低于 90℃时,蒸汽温度控制误差为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$,在高于 90℃时,蒸汽温度控制误差为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,可实现直径 350 mm 以下的高压 FRP 管道内加热固化。生产实践表明,内固化工艺生产的管道性能优于外固化管道,采用内加热固化工艺可实现复合材料管道制备的高效、优质且成本低。

参考文献

- [1] Oswald K J. Thirty years of fiberglass pipe in oilfield applications: A historical perspective[J]. Materials Performance, 1996, 35(5): 65-68.
- [2] 苏焕荣,郝大富.用好玻璃钢管道提高油田效益[J].玻璃钢/复合材料,2001(5):18-20.
- [3] You Bo, Xu Jiazhong, Wang Xiongjian. Integrated manufacturing system of high pressure FRP pipes[J]. Int J Computer Applications in Technology, 2007, 30(4): 245-255.
- [4] 张福承. 环氧玻璃钢管快速高效制造技术[J]. 纤维复合材料, 2004(1): 36-38.
- [5] 杨慧. 纤维缠绕复合材料固化工艺过程数值研究[J]. 机械强度, 2008, 30(2): 250-254.
- [6] 陈浩然,任明法. 复合材料缠绕壳体结构成型和使用过程多场分析的研究进展[J]. 力学进展, 2007, 37(2): 233-245.

CONTROL SYSTEM DESIGN OF FRP PIPE INTERNAL HEATING CURING PROCESS

Xu Jiazhong, Zhang Wenbo, Zhang Liyong, Wang Wei, Liu Yu

(School of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

ABSTRACT The curing principle of FRP pipe as well as the system structure of internal heating curing process is researched. The internal heating curing control system based on PLC is designed. The design of system hardware and software and the control process are described. The application shows that the system with high temperature control precision is stable, which can realize high quality and efficiency curing of high-pressure FRP pipe.

KEYWORDS high-pressure FRP pipe, internal heating curing, PLC

BaySystems 复合材料体系开拓新领域

拜耳材料科技全球聚氨酯体系业务的统一品牌 Bay-Systems 复合材料体系代表了密切合作的客户关系以及定制化的聚氨酯解决方案。

Baypreg 是一种用于复合材料生产的强韧轻质材料。这种材料适用于各种压模工艺,可与纸质蜂窝等各类芯材相兼容,且能够与天然纤维等多种增强纤维材料一同加工。Bay-preg 复合夹层材料采用纸质蜂窝或玻璃纤维垫制成,具有良好的力学性能,质轻且具有天然纤维的增强性。

Multitec 可用于建造高质量的增强结构,是传统玻璃纤维增强塑料的理想替代品,并也赋予了设计师们自由的设计空间。提供基本的结构支撑功能外,更提高了生产效率。Multitec 先进泡沫™是拜耳最新开发的一款产品,不仅便于加工而且成本效益高。

汽车运输行业是复合材料最为突出的应用领域,汽车制造商们正想方设法为汽车“瘦身”。因此,目前市场对于质地轻盈、尺寸稳定性优异,且具有高强度和高韧性的汽车零部件有着极高的需求。(化工网)