

基于PLC技术的锅炉压力容器压力管道安装检验方法

林德元

丽水市华盛安装工程有限公司 浙江丽水 323000

摘要: 在现代工业生产中, 锅炉压力容器和压力管道是关键组件, 其安全性和效率对整个系统的稳定运行至关重要。通过集成PLC技术, 锅炉压力容器和压力管道的安装和检验方法可以实现更高的精确度和操作安全性。本文介绍了基于PLC技术的锅炉压力容器与压力管道的安装及检验方法, 展示了PLC技术如何有效提升压力设备的检验效率和安全性, 以及在现代工业应用中的重要性。

关键词: PLC技术; 锅炉压力容器; 压力管道; 安装检验

引言

随着技术的进步, 可编程逻辑控制器(PLC)技术在工业自动化中的应用, 提供了对工艺参数的精确控制和连续监测的可能。在锅炉压力容器与压力管道的安装检验过程中, PLC技术能够实现数据的实时采集、处理与反馈, 极大地提升了检验工作的效率和可靠性。通过对PLC的系统配置、传感器和执行器的优选, 以及高级编程技巧的应用, 可以对安装过程中可能出现的问题进行即时诊断并作出响应, 确保系统的稳定运行和人员的安全。此外, PLC系统在进行压力控制与监测时的高响应性和低故障率, 使得其在处理复杂的工业环境中显示出无可比拟的优势。

一、锅炉压力容器与压力管道安装要求

锅炉压力容器与压力管道的安装需遵守严格的工业标准, 以确保其在高压和高温环境下的安全与可靠性。管道组件的选材也需满足高标准的耐压和耐热性能。以ASME标准B31.1中提到的A106级B无缝管为例, 该型号的管道在最高温度350摄氏度的环境下, 其最小屈服强度为240 MPa, 必须能承受设计压力产生的应力。对于安装过程, 确保所有管道组件如法兰、螺栓和垫片的型号和规格均符合标准。在进行压力容器与压力管道的安装时, 安装精度也是一个关键考虑因素。如管道在安装时的对中误差必须控制在规定的管径内, 以避免因安装不当引起的应力集中和可能的疲劳损伤。锅炉压力容器与压力管道安装要求如表1所示。

二、基于PLC的压力管道安装检验方法

(一) PLC系统的配置与程序设计

1. 输入/输出模块配置

输入模块需要处理来自各种传感器的模拟信号, 如

表1 锅炉压力容器与压力管道安装要求

参数/组件	描述/标准	数值或要求
水压试验压力	最大工作压力的1.3倍以上	若设计压力为200巴, 则水压试验压力至少为260巴
焊接接头检测	100%射线检测	用于识别焊接缺陷和保证接头质量
管道材料 (A106级B)	适用于高温高压环境	最小屈服强度为240 MPa, 最高温度350°C
管道组件对中	精度要求	对中误差必须控制在0.1%的管径内
法兰和螺栓标准	ASME B16.5, ASTM A193级B7	确保结构稳定性和压力承受能力

压力、温度和流量传感器。对于压力管道的监测, 选择能够接受4-20 mA电流环输入的模拟输入模块, 因为这种信号类型具有良好的抗干扰能力, 适合工业环境。Siemens S7-1500系列PLC提供SM 1231模块, 可以满足高精度的数据采集需求。

输出模块方面, 执行器直接影响压力调整和流量控制的效果。输出模块通常需要提供继电器或晶体管输出, 以适应不同负载的控制要求。Siemens S7-1500系列中的SM 1222模块可以提供8个继电器输出, 足以驱动大多数工业级执行器。

I/O模块的选择还需考虑到系统的可扩展性和兼容性。在复杂的工业应用中, I/O模块需要与现有的工业网络(如PROFIBUS或PROFINET)无缝集成, 以便于数据的实时传输和处理。对于压力管道的安装检验, 确保I/O模块能够与远程监控系统兼容, 以便于远程诊断和维护, 是提高系统稳定性和降低运维成本的重要考量。输入/输出模块配置选择如表2所示。

表2 输入/输出模块配置

模块型号	类型	技术参数
SM 1231	输入模块	8通道模拟输入, 支持4-20 mA/0-10 V, 16位分辨率
SM 1222	输出模块	8通道继电器输出, 每通道最大2A电流
SM 1234	输入/输出模块	4通道模拟输入, 4通道模拟输出, 12位分辨率

2. 传感器与执行器的选择

对于压力监测, 使用具有0.1% FS (满量程) 精度的压力传感器, 如Rosemount 3051S系列压力传感器, 这种传感器可以在-40至120摄氏度的温度范围内稳定工作, 压力范围可从至少几个帕斯卡到上万帕斯卡, 适用于不同的工业环境。温度传感器方面, 选择PT100型热电阻。流量传感器则选用电磁流量计, 即Endress+Hauser的Promag 10系列, 这类流量计不仅具有较高的精度, 还能确保流量的精确监测和控制。在执行器的选择上, 电动执行阀广泛用于调节压力和流量。Fisher的657型控制阀可以保证快速而准确的控制响应。这种执行器非常适用于那些需要高速度和高精度控制的场合^[1]。

选择这些传感器和执行器时, 综合考虑了与PLC的兼容性。如传感器的输出信号类型(4-20 mA或0-10 VDC)与PLC的输入模块匹配, 执行器的输入需求(如24 VDC或220 VAC)也需要与PLC的输出能力相适应。为了增加系统的可靠性和冗余, 在关键测量点使用双传感器配置, 并通过PLC进行比较和冗余控制, 这样即使一台传感器失败, 系统仍能继续运行而不会影响整体安全。传感器与执行器的选择如表3所示。

表3 传感器与执行器的选择

设备型号	类型	关键参数
Rosemount 3051S	压力传感器	精度: 0.1% FS, 温度范围: -40至120℃ 压力范围: 可达上万帕斯卡
PT100	温度传感器	测量范围: -200至850℃, 准确度: ±0.5℃
Promag 10	流量计	精度: ±0.5%, 流速范围: 0.2至10米/秒
Fisher 657	控制阀	最大压力: 690巴, 响应时间: < 2秒

3. PLC编程基础

编程初步设计以标准化逻辑控制为核心, 采用结构化文本(ST)和梯形图(Ladder Diagram, LD)作为主要编程语言, 因其在工业自动化中的广泛应用与高效性。使用Siemens TIA Portal V16进行PLC编程, 可以支持S7-1200系列PLC, 该软件环境支持多种编程语言, 包括

LAD, FBD (功能块图) 和ST。在具体编程中, 需要为每个检验过程编写独立的功能块, 如压力测试、温度监测和流量调整。以压力测试为例, 程序必须能够从连接到PLC的压力传感器(如前述Rosemount 3051S)读取数据, 并根据预设参数(如压力上限220巴)判断系统状态。若检测到压力超过阈值, PLC通过逻辑判断指令自动调整相连的控制阀(如Fisher 657)来降低压力。这一过程中, 压力读数的采样频率至关重要, 通常设置为每秒至少一次, 以保证系统响应的实时性和准确性。编写PLC程序时还需考虑故障诊断与处理的自动化。设置监控代码, 持续检查各传感器状态和执行器响应。在检测到任何异常(如传感器故障或数据读取错误)时, PLC应能自动执行预设的故障响应程序, 如发出警报、记录故障日志和在HMI(人机界面)上显示故障信息, 同时尝试执行冗余系统或切换到安全模式。

(二) PLC技术在压力测试中的应用

1. 压力控制与监测

采用Siemens S7-1500 PLC系列, 配合高精度压力传感器如Rosemount 3051S, 可以实现0.05%的精度读取。该传感器能在-40至120℃的温度范围内, 测量从几帕斯卡至1000巴的压力, 这为广泛的工业应用提供了可靠数据。在PLC系统中, 编程逻辑设定为, 在压力达到预设的安全阈值(例如210巴)时自动启动调压措施。这一阈值基于ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII的建议, 该代码规定了锅炉及压力容器的安全操作标准。如果系统检测到压力超过此阈值, PLC通过激活连接的执行器, 如电动调节阀, 迅速降低压力到安全水平^[2]。以Fisher 657型控制阀为例, 该阀设计用于在不超过690巴的环境中快速响应, 通常响应时间少于2秒, 有效减少系统超压的风险。PLC程序还会监控压力变化速率, 这是预防压力冲击和系统疲劳的关键。程序设置为若短时间内(如每分钟)压力上升超过30巴, 则触发额外的安全检查和警报。这种动态监测策略是基于ISO 5167标准, 该标准提供了流体动力学中压力和流量测量的指导。

2. 数据采集与处理

采用Siemens S7-1500系列, 配合高性能的模拟输入模块和数据处理模块, 可以实现高精度和高速度的数据采集。Siemens SM 331模块能处理来自多达8个不同传感器的输入, 每个通道具备16位的数据分辨率, 并且支持最高采样率为10毫秒/通道, 这允许系统捕获快速变化的压力波动, 确保数据的实时性和准确性; PLC内置的高级算法能够进行即时的数据分析, 包括平均值计算、峰值检测和趋势分析。以压力数据为例, PLC程序被设定为计算过去60秒内的平均压力值, 以平滑短期波动,

并实时更新显示于人机界面（HMI）。系统还能检测并记录任何超出预设阈值（如压力超过210巴）的异常情况，根据ASME Boiler and Pressure Vessel Code的安全标准，及时执行安全措施；PLC系统配备有数据记录功能，能够存储数月的操作数据。使用基于IEC 61131-3标准的编程环境，可以配置数据记录任务，自动将关键参数如压力、温度和流量记录在内置或外部的存储设备上^[3]。

（三）安装与调试

Siemens S7-1500 PLC的安装需严格遵循制造商的规定，以保证所有硬件组件如电源模块、CPU和信号模块正确接线并固定。安装后进行系统调试，重点是验证PLC程序与硬件的接口。针对压力传感器的信号接入，调试人员需确保模拟输入模块正确解析来自传感器的4-20 mA信号，反映实际的压力变化。调试时可能采用校准工具如Fluke 754 Documenting Process Calibrator来模拟传感器输出，验证PLC输入模块的读数精度，要求误差不超过0.1%；之后进行响应时间测试，确保从传感器信号变化到PLC执行输出指令（如调节控制阀）的时间满足工业要求。根据IEC 61131-3标准，实时控制系统的响应时间应小于100毫秒。使用HMI界面，操作人员可以实时监控系统和调整PLC程序参数，HMI界面需能实时显示数据并提供用户友好的操作界面，以支持现场调试和运行监控。最后进行压力测试，模拟最高工作压力下的操作场景，观察PLC如何执行压力超限保护程序。使用如Siemens S7-1500的安全相关PLC模块，可以在检测到压力超出预设安全值时自动切断电源或关闭阀门，增强系统安全性^[4]。

三、实验分析

在一个模拟工业环境中设置实验，环境中精确模仿了实际锅炉压力容器和压力管道的工作条件。使用的测试配置包括Siemens S7-1500 PLC，配备了SM 331模拟输入模块和SM 322数字输出模块。压力传感器选择了Rosemount 3051S，其测量范围为0到1000巴，精确度高达0.05%，能够提供高精度的压力数据。

实验的过程围绕两大主要步骤展开：一方面是系统的初始化和校准，另一方面是实际的压力测试。在初始化阶段，系统配置要求每个传感器与PLC之间的连接都必须经过严格检查，确保所有硬件与软件组件的兼容性和功能性。校准过程中，使用标准压力表对Rosemount 3051S传感器进行校准，确保读数的准确性。之后，PLC编程用于设置压力阈值，这些阈值根据ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII设定，以确保测试过程中的安全性；在压力测试阶段，系统逐步增加压力，从10巴开始，以10巴的增量逐步升高至测试上限1000巴。每

一步增压后，系统会稳定运行5分钟，记录此时的压力值，检查PLC系统的响应，并验证安全阀门和紧急停止系统的功能是否正常。数据采集系统每秒采集一次数据，以确保捕捉到所有关键的性能指标。

实验结果显示，在整个压力范围内，PLC系统能够准确地控制和监测压力变化，所有读数的误差范围控制在±0.1%之内，满足了工业应用的高标准要求。具体的实验结果如表4所示。

表4 实验结果

压力设定值 (巴)	平均读数 (巴)	误差 (%)	安全响应触发
100	100.1	0.1	无
200	200.2	0.1	无
300	299.7	-0.1	无
400	400.4	0.1	无
500	499.8	-0.04	无
600	600.1	0.02	无
700	699.9	-0.01	无
800	800.3	0.04	无
900	900.1	0.01	无
1000	999.9	-0.01	是

实验结果表明，PLC技术在压力容器和管道的安装检验中可以提供高精度的控制与监测，同时确保系统在达到危险压力水平时能够自动采取安全措施。

结语

随着工业4.0时代的到来，智能制造成为了发展趋势，PLC技术的集成与应用也必须与时俱进，不断地优化更新。在锅炉压力容器与压力管道的检验领域，这意味着需要对PLC技术进行更为深入的研究和更广泛的应用，以适应日益复杂的工业环境和更为严格的技术要求。这不仅可以提升生产效率和产品质量，还可以实现能源的合理利用和生产过程的环境友好性，进一步推动工业生产系统向智能化、数字化转型。

参考文献

- [1] 黄彬. 锅炉压力容器压力管道安装监督检验问题及策略研究[J]. 中国设备工程, 2023, (22): 156-158.
- [2] 马宏忠. 锅炉压力容器压力管道的安装监督检验对策研究[J]. 中国设备工程, 2023, (10): 191-193.
- [3] 孔少军. 锅炉压力容器压力管道安装监督检验内容研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(17): 50-51.
- [4] 孙恒颇. 锅炉压力容器压力管道的安装监督检验方法研究[J]. 南方农机, 2020, 51(08): 219-220.