

CNG储配站燃气出口温度控制模式探讨

□ 杭州市燃气(集团)有限公司(310051) 沈晓东 高立鸿

摘要: 近年来,城镇CNG储配站发展很快,其燃气出口温度控制模式一般采用手动启停热水锅炉控制,本人根据杭燃滨江CNG储配站一年多来的运行分析,发现采用这种控制模式不仅温度波动幅度大,而且经济性较差。针对这种情况,在SIEMENS S7-300控制系统中建立燃气出口温度PLC自控模块,并对原热水循环系统进行少量改造,即可取得较好的控制效果。

关键词: CNG储配站 燃气温度 自动控制

1 滨江CNG储配站工艺流程及燃气温度控制现状

杭州燃气公司于2009年建成并投运滨江CNG储配站,设计规模为4 000Nm³/h,气源采用压缩天然气气瓶车公路运输,在储配站内,高压天然气经过两级调压,压力降至0.3MPa,计量加臭后送入市政燃气管网。其工艺流程如下:

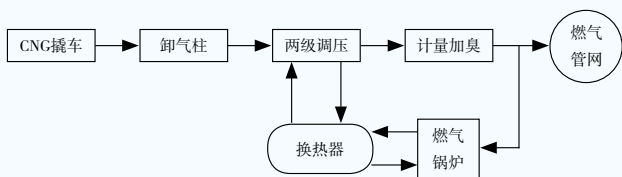


图1 滨江CNG储配站工艺流程

CNG储配工艺是一个绝热节流降压的过程,根据工程热力学焦耳·汤姆逊效应,非理想气体经节流压力降低的情形下会出现温度变化,其大小和方向同当时气体的压力与温度有关,节流过程是一个稳定流动初、终态焓值相等的降压过程。实际运行中,高压天然气降压过程中整体温度会剧烈下降,为了确保管网和调压设备安全,由1套热水循环系统加热天然气,该系统由燃气热水锅炉、循环水泵、管壳式换热器及

供回水循环管道组成。运行操作人员根据燃气出口温度变化情况开启或停用热水锅炉,实际操作中,燃气温度很难控制,特别是在卸气开始阶段,热功率很大,换热器换热能力不足,温降过快,而卸气后半段,热功率降低,温升很快,结果是燃气温度波动过大。

2 CNG储配站的燃气出口温度的变化特点

整个卸气过程,有很明显的3个阶段,分别为卸气初始段、卸气后半段、卸气中止段。每个阶段的燃气出口温度变化情况都不同。

卸气初始阶段,CNG压力从18MPa降至12MPa,温度变化最为剧烈,燃气流量2 500Nm³/h,过程时间为0.5h,燃气出口温度总体表现为快速下降。

卸气后半阶段,CNG压力从12MPa直至卸气结束,所需时间约1.2h,燃气出口温度由快速下降变为缓慢下降,继而变为缓慢上升,最后变为快速上升的过程。

卸气中止阶段,当二级调压器后燃气出口压力达到0.31MPa,调压器将自动关闭,直到燃气出口压力降为0.26MPa,调压器自动起跳继续卸气。在调压器动作关闭阶段,绝热节流降压过程中止,燃气不再膨胀吸热。热水锅炉产生的热量将全部转变成循环水系

统的蓄热量,循环水温度将快速上升。

热水循环系统具有热惯性大、滞后性大的特点。实际运行中,换热系统循环水温度变化严重滞后于CNG站燃气出口温度变化。如果纯粹依靠燃气出口温度变化开启或停用热水锅炉运行,显然达不到控制要求。

3 CNG站燃气出口温度控制思路

3.1 CNG储配站燃气出口温度总体控制思路

针对卸气过程中的不同阶段,计算出不同阶段的换热功率,利用热水锅炉改变循环水温度,以适应不同卸气阶段的换热需要。在特殊的卸气中止阶段,把富裕的热量通过蓄热箱储存起来,以达到维持温度稳定和节约能源的目的。

3.2 整个卸气过程总换热功率计算

(1) 第一级换热器平均所需的热功率 Q_1

$$\begin{aligned} Q_1 &= q_n C_p (\Delta P dT/dP + \Delta T) \\ &= 2\,500 \times 1.65 \times [(18-0.7) \times 4+5] \\ &= 306\,075 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

q_n ——标准体积流量, m^3/h ;

C_p ——气体容积定压热容, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$;

ΔT ——附加温差,可取为 $5\text{K} \sim 7\text{K}$;

ΔP ——降压前、后的压力差, MPa ;

dT/dP ——焦耳·汤姆逊系数, K/MPa 。

(2) 第二级换热器平均所需的热功率 Q_2

$$\begin{aligned} Q_2 &= q_n C_p (\Delta P dT/dP + \Delta T) \\ &= 2\,500 \times 1.65 \times [(0.7-0.3) \times 4+5] \\ &= 27\,225 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

(3) 总热功率 Q :

$$Q = Q_1 + Q_2 = 306\,075 + 27\,225 = 333\,300 \text{ kJ/h}$$

3.3 卸气开始阶段

CNG压力从 18MPa 降至 12MPa ,所需时间为 0.5h ,燃气出口温度控制值 5°C 。此阶段,换热器的热功率应提高到 $666\,600\text{kJ/h}$,换热器平均换热温差为:

$$\begin{aligned} \Delta T_m &= Q / (KA\eta) \\ &= 666\,600 / (2\,340 \times 7.8 \times 0.9) \\ &= 40.6^\circ\text{C} \end{aligned}$$

K ——换热器传热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

A ——换热器换热面积, m^2

η ——换热效率

ΔT_m ——平均温差

根据计算值,按燃气温度控制值为 5°C ,循环水供水温度应不低于 45.6°C ,利用热水锅炉自带控制器,将下限温度设定为 45°C ,上限温度设定为 47°C 。

3.4 卸气后半阶段

CNG压力从 12MPa 降至 0.6MPa ,所需时间为 1.2h ,燃气温度控制值为 5°C 。换热器的热功率为 $277\,750\text{kJ/h}$,换热器平均温差:

$$\begin{aligned} \Delta T_m &= Q / (KA\eta) \\ &= 277\,750 / (2\,340 \times 7.8 \times 0.9) \\ &= 16.9^\circ\text{C} \end{aligned}$$

根据计算值,循环水供水温度不低于 21.9°C 即可,因此时循环水温度在 46°C 左右,为简化控制流程,可在供回水管上设置一只等径旁路阀,分流经过换热器的流量,并根据燃气出口温度值来控制旁路阀的开启或关闭,以实现温度的自动控制。

3.5 卸气中止阶段

在循环水供回管道间设置一只旁路阀,同时在回水管道上设置一只蓄热箱,把热水锅炉产生的热量通过蓄热箱储存起来。其设计流程如图2。

循环水系统总水容量为: $V_{\text{总}} = 2 \times V_{\text{锅炉}} + V_{\text{管道}} + V_{\text{换热器}} = 0.545 + 0.545 + 0.4 + 0.285 = 1.78 (\text{m}^3)$,循环水泵额定流量为 $25\text{m}^3/\text{h}$,为满足半小时卸气初始阶段的换热需要,蓄热水箱设计容积为: $V = 25 \times 0.5 \div 2 - 1.78 = 4.47 (\text{m}^3)$ 。

3.6 自控系统设计

自动系统需要4个开关量信号:燃气进口压力开关信号(动作值 12MPa);二级调压器前后差压开关信号(动作值0);燃气出口温度信号(动作值 20°C);燃气出口温度信号(动作值 5°C)。输入开关量信号采用原系统自有的模拟量输入信号(一级调压器前压力和燃气出口温度),通过PLC控制程序(比较模块)实现3个开关量信号。输出信号有2个:旁通阀开启信号,旁通阀关闭信号。

自控系统流程见图3。

热水锅炉、循环水泵、调压装置、阀门等设备出现故障及其他不确定因素造成自控系统振荡等情况下应撤出自动控制装置。系统安装一只自/手动切换开关,正常情况下投入自动,出现异常或需要检修撤出自动。

PLC主控制程序设计见图4。

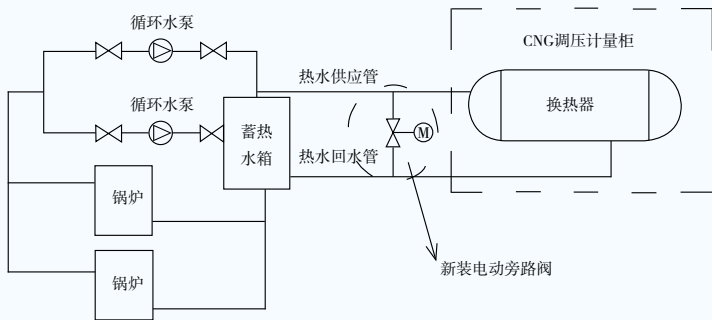


图2

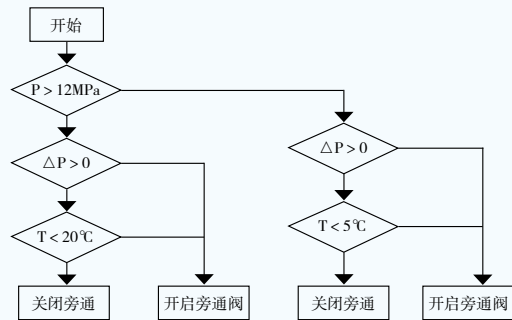
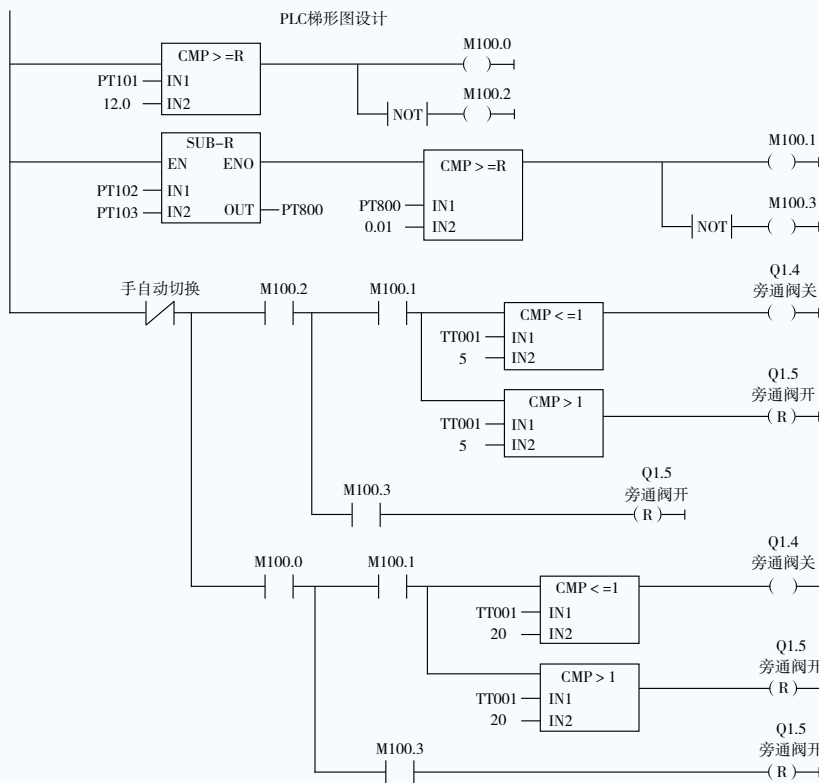


图3 自控系统流程图



程序说明：

- 燃气压力信号判断（12.0MPa）
- 调压器动作信号判断（0.01MPa）
- 燃气出口温度 ≤ 5℃，关旁通阀
- 燃气出口温度 > 5℃，开旁通阀
- 调压器动作关闭，旁通阀开启
- 燃气进口压力大于12MPa，温度低于20℃，关闭旁通阀
- 燃气出口温度 > 20℃，开旁通阀
- 调压器动作关闭，旁通阀开启

图4 PLC主控制程序

4 结束语

CNG储配站燃气出口温度自动控制设计是个复杂的课题，因为CNG储配站具有非连续性、非线性的运行特点，使得常规的PID控制模式很难实施。本文中很多设计思路也是根据实际运行数据分析总结而来，是一种新型控制方式的探索。经长期观察，理论计算数据与实际运行数据还是比较吻合的，说明该控制模式在实际应用中可以实施。采用本控制模式，不仅技改成本较低，而且控制效果较好，值得推广。

参考文献

- 1 严铭卿，宓元琪等，天然气输配技术，化学工业出版社，2009
- 2 GB 50028-2006，城镇燃气设计规范，中国建筑工业出版社，2006
- 3 王兆明，可编程序控制器原理、应用与实训，机械工业出版社，2008
- 4 钱颂文，换热器设计手册，化学工业出版社，2002