

国外某新建炼厂加热炉控制系统分析

樊君宇

(中石化广州工程有限公司 广东 广州 510620)

摘要: 炼厂加热炉的控制水平是决定加热炉效率的重要因素,国内炼厂加热炉控制方案通常为燃料量控制加热炉出口温度,鼓风机控制氧含量,引风机和烟囱挡板分程控制加热炉炉膛负压的控制方案。随着国家一带一路的实施,加热炉的控制需要满足国际标准的要求和国际业主的认可。本文以科威特某新建炼厂煤油加氢装置的加热炉为例,从操作模式、控制目标、燃烧控制系统、抽力控制、空气预热系统控制和几个方面详细介绍此项目中加热炉采用的控制方法。

关键词: 炼厂; 加热炉; 空燃比; 控制

1 项目及加热炉介绍

科威特某新建炼厂中有两套并列的煤油加氢装置,每套装置有一个反应进料加热炉,其设计热负荷为13.1MW,为辐射对流圆筒形加热炉。

加热炉使用4台底烧气体燃烧器,长明灯配备离子棒火检,主火焰配备UV光学火检。空气经前置蒸汽预热器加热到91℃后,在空气预热器内与热烟气交换热量,鼓引风机配备变频器。

加热炉有强制通风和自然通风两种操作模式。设计条件下过剩空气系数10%;自然通风模式过剩空气系数为15%,热负荷为设计热负荷的100%。

2 加热炉操作模式

正常设计情况下,加热炉工作在平衡抽力模式。鼓风机负责吸风口、预热器(空气侧)、燃烧器及风道的压力损失,引风机负责预热器(烟气侧)及烟道的压力损失。此种工况下,预热器正常工作,燃烧器燃烧充分,加热炉热效率高。

当引风机出现状况时,烟囱挡板打开,预热器从系统中切除,此时燃烧器燃烧的是未经换热的冷空气,但是由于鼓风机仍在工作,燃烧器空气侧仍能有较大的压降保证充分燃烧,此工况为强制鼓风工况。

当鼓风机出现状况时,此时快开风门打开,由于没有冷空气进行换热,预热器和引风机工作没有意义并且可能被热烟气损坏,因此需要将烟囱挡板打开,关闭预

热器和引风机。燃烧器空气侧压降靠烟囱抽力提供,混合动力不足导致混合效果差,燃烧需要较大的过剩空气系数(本项目为15%)保证其安全完全燃烧。

在不同的操作模式下加热炉控制方式有所不同。本项目设有单独的模块识别当前的操作状态,其依据为:

- (1) 强制通风:鼓风机运转信号和快开风门关闭信号;
- (2) 自然通风:至少一个快开风门没有关闭。

3 控制目标

加热炉控制的主要有以下四个方面。

3.1 保证炉出口工艺介质温度

出口工艺介质的高低直接影响着下游工序操作工况的稳定和产品质量。本装置强制通风模式下采用空燃比的控制方案,其能够随时保证空气与燃料量的匹配,使炉膛一直有充足的氧气供燃烧,消除了空气流量随燃料流量变化的滞后,其过剩空气系数可取10%(国内常规加热炉过剩空气系统为15%)。不同过剩空气系数对加热炉的影响见表。

由表中给出的数据可以看出,过剩空气系数10%与15%相比,加热炉放热量小,热效率高;炉膛温度低,辐射管架、对流管板设计温度降低,节省合金钢铸件材料,同时衬里设计计算温度降低,可减少衬里厚度;预热器负荷较小,预热器的投资和占地面积减小;空气量和烟气体量均较小,烟风道尺寸、鼓/引风机流量及压头均可减小。

表 不同过剩空气系数对加热炉参数的影响

| 过剩空气系数/% | 热负荷 / MW | 放热量 / MW | 火焰温度 /℃ | 炉膛温度 /℃ | 预热器烟气出口温度 /℃ | 预热器热负荷 /MW | 燃料量 / (kg/s) | 空气量 / (kg/s) | 烟气体量 / (kg/s) | 热效率 /% |
|----------|----------|----------|---------|---------|--------------|------------|--------------|--------------|---------------|--------|
| 10 | 13.1 | 13.87 | 2130 | 840 | 155 | 1.69 | 0.2893 | 5.27 | 5.56 | 91.7 |
| 15 | 13.1 | 13.89 | 2074 | 898 | 155 | 1.79 | 0.2896 | 5.52 | 5.81 | 91.5 |

但是过剩空气系数较小时,火焰温度上升,会导致热力NO_x的产生增多,对燃烧器的设计要求提高。

从整体上讲,低的过剩空气系数对加热炉的投资以及操作消耗均有减小,其对环境的影响可通过提高燃烧器的技术水平解决。空燃比的控制方案可取较低的过剩空气系数,其具有一定的经济效益和先进性。

3.2 保证合适的炉膛抽力

炉膛抽力过高,燃烧器燃烧不稳定,有脱火可能,漏风量增加,加热炉效率降低;炉膛抽力过低,高温烟气不能够迅速的排出炉膛,抽力为0或者正压时,高温烟气从孔门等渗出,影响加热炉的安全和效率。本项目中根据引风机是否运行的不同分别控制引风机(引风机运行)和烟囱挡板(引风机不运行),在引风机出现状况时,切换到最小火焰模式,将燃料调节阀关至最小,迅速全开挡板并将挡板设置为手动模式,较国内常规控制相比操纵元件清晰,更加安全。

3.3 保证充足的过剩空气使燃烧充分

国内通常采用氧含量调节入炉挡板/燃烧器空气压力的方式,反应速度慢,入炉挡板波动大。本装置采用空燃比控制方案后,反应迅速,装置操作平稳。

3.4 保证设备(预热器、风机)的安全运行

主要是防止预热器和引风机在低温情况下发生露点腐蚀,保证装置长周期稳定运行。

4 加热炉燃烧控制系统

4.1 实现控制的元件

本装置强制通风的操作模式下采用空燃比控制方案,自然通风模式下采用常规的温度单参数控制方法。空燃比方案需要精确知道入炉燃烧的空气量和燃料气量,空气量由设置在鼓风机吸风口的文丘里测量,燃料气量由设置在燃料气线的流量计测量,此外还需要工艺介质出口温度传感器和O₂分析仪以及一系列运算模块等。

空燃比的控制方案较国内的常规控制相比硬件上主要是添加了文丘里和温度计。文丘里处于吸风口段,占地面积没有显著增加,仅仅增加吸风口高度,其吸风口空气压降稍微增加,但是这些不利与其能实现空燃比控制方案得到的效益相比是微不足道的。

4.2 强制通风下的燃烧控制流程

在强制通风模式下,炉出口温度控制器(TC-054)产生一个燃料需求信号送至两个选择器——高选择器TY-054A和低选择器TY-054B中。

4.2.1 低选择器TY-054B

低选择器TY-054B在热需求(TC-054)和实际参与燃烧空气量(FY-047D)对应的燃料量(FY-047A中

转换)中选择低值,其输出量代表了加热炉需要的燃料气量和当前空气量下加热炉能够安全操作的燃料气量的低值。

实际参与燃烧风量(FY-047D)需要对当前情况下燃烧器点燃的个数进行修正,其应为文丘里测量校正后的空气流量(FY-047)与参与燃烧的燃烧器个数占总燃烧器个数的比值(FY-047E)的乘积。

燃烧器计数模块(FY-047E)接收联锁系统发出的当前点燃燃烧器个数信息,输出参与燃烧的燃烧器个数占总燃烧器个数的比值,其运算公式为:

$$FY-047E(\text{输出}) = \frac{\text{燃烧的燃烧器个数}}{\text{燃烧器总个数}(4)}$$

实际参与燃烧风量(FY-047D)被送至FY-047A中,在FY-047A模块中计算出当前风量对应的等效燃料量,其运算公式如下:

$$FY-047A(\text{输出}) = FY-047D(\text{输出}) / HC-047 * (1 + (AC-046-50) / 500)$$

其中,FY-047A(输出)为等效燃料量,FY-047D(输出)为实际参与燃烧的风量,HC-047为理论的空气/燃料比率,AC-046为氧含量校正。

HC-047为操作者根据燃料性质手动输入,不同燃料其值不同;氧含量(AC-046)的影响被限制在正负10%范围内,避免氧分析仪的波动对等效燃料量产生不期望的影响。

低选择器TY-054B的信号输作为FC-046的设定值,与实际的燃料量(FY-046A)作对比,然后将信号输入到操作模式开关(FY-070)中进行进一步选择。操作模式开关(FY-070)接收联锁系统的信号(基于当前加热炉工作在强制通风状况还是自然通风状况)输出相应信号。

低选择器TY-054B可保证燃料量被实际的可参与燃烧风量所限制,在加热炉降负荷时,优先减少燃料气,再减少空气。

4.2.2 高选择器TY-054A

高选择器TY-054A在热需求(TC-054)和当前燃料气量(FY-046A)中选择高值,其输出信号在FY-047B中转换成所需风量。

$$FY-047B(\text{输出}) = TY-054A(\text{输出}) * HC-047 / (1 + \frac{AC-046-50}{500})$$

$$FC-047C(\text{输出}) = FY-047B(\text{输出}) / FY-047E$$

FC-047C(输出)在正常操作情况下作为空气流量控制器FC-047的设定值,在开工时人工设定其设定值,在稳定后投入自动。

高选择器TY-054A可保证在加热炉升负荷时,优先增加空气,再增加燃料气。

4.2.3 燃料气高低压限位

为了避免燃烧器放热量超过最大的允许范围,在燃

料气系统上设置低选择器 PY-047A, 其在燃料气控制值 (FY-070 输出值) 和 PC-047A 的输出值中选择低值。PC-047A 为燃料气最大压力控制器, 设定值为人工输入 (应低于燃烧器最大工作压力)。

为了避免燃烧器放热量低于最小的允许范围, 在燃料气系统上设置高选择器 PY-047B, 其在 PY-047A 的输出值和 PC-047B 的输出值中选择高值。PC-047B 为燃料气最小压力控制器, 设定值为人工输入 (其对应于四台燃烧器能够稳定燃烧的最小的燃料气压力)。

4.3 自然通风的控制方案

自然通风情况下, 由于风量无法准确控制, 炉出口温度控制器 (TC-054) 产生一个热负荷信号直接作用到燃料气压力控制器 (PC-047C), 旁路掉交叉限幅控制。

燃料气压力控制器 (PC-047C) 的输出值为满足热负荷要求的燃料气压力值, 其经过燃料气压力高低限位后, 调节燃料气阀。

当炉出口温度超过设定值时, 燃料气压力控制器 (PC-047C) 减小燃料气阀开度; 当炉出口温度低于设定值时, 燃料气压力控制器 (PC-047C) 增大燃料气阀开度。

5 加热炉抽力控制

辐射顶设置一个压力表, 其根据引风机是否运行的不同, 分别控制挡板 (引风机不运行) 和引风机变频 (引风机运行)。两个控制器均提供炉膛高低压报警, 高报为 $-1\text{mmH}_2\text{O}$, 低报为 $-20\text{mmH}_2\text{O}$ 。

5.1 引风机运行时的控制流程

通过控制引风机变频来调节炉膛压力。

开工时预热器不工作, 炉膛抽力靠烟囱挡板控制。烟囱挡板控制器 (PC-048A) 为手动模式且为 100% 开度, 引风机变频控制器 (PC-048B) 为手动模式和 0% 开度。当加热炉温度升高时, 操作者慢慢关闭烟囱挡板保证炉膛负压为 $-2.5\text{mmH}_2\text{O}$, 在加热炉负荷达到期望值后, 如果预热器不准备投用时, 挡板控制器可转为自动模式。

若需要投用预热器, 此时操作者需同时操作挡板控制器和引风机变频控制器, 逐渐减小挡板开度和增加变频频率, 直至挡板完全关闭, 此时可将引风机变频控制器投入自动。

5.2 引风机不运行时的控制流程

通过控制烟囱挡板开度来调节炉膛压力。为了避免在此时烟囱挡板完全关闭, 导致炉膛压力高高联锁, 烟囱挡板控制器开度最小限制在 15%。

开工或者小负荷时, 燃烧器需要较高的过剩氧, 此时挡板控制器可设置为手动模式以避免不稳定的燃烧。烟囱挡板配备开关回讯。

6 空气预热系统控制

6.1 空气预热器烟气出口温度控制

空气预热器烟气出口温度控制的主要目的是避免空气预热器产生露点腐蚀。通过调节空气旁路挡板开度来调整进入预热器的空气量, 进而保证空气预热器烟气出口温度在设定值。

本装置烟气露点温度为 112°C , 专利商规定预热器最小金属温度应高于露点温度 30°C , 其预热器管壁热电偶低温报警设定值为 142°C , 经过预热器厂商核算, 烟气出口温度可为 155°C 。

当转换成自然通风状况时, 烟囱挡板打开, 烟气通过烟囱挡板排出, 此时空气旁路挡板逐渐打开, 空气预热器被旁路。

6.2 前置预热器蒸汽流量控制

通过调节蒸汽进料阀的开度, 控制前置预热器的空气出口温度为 91°C 。

当空气出口温度低于设定温度时, 控制器增加蒸汽进料阀门开度; 当空气出口温度高于设定温度时, 控制器减小蒸汽进料阀门开度。

当减小蒸汽进料阀门开度时, 蒸汽流量减小的同时, 蒸汽压力同时减小。为了避免蒸汽压力过小导致回水不畅, 此时一个压力控制回路接管温度控制回路, 限制蒸汽进料阀后压力在某一压力以上。

7 结语

本炼厂加热炉的控制主要有燃烧控制、抽力控制、空气预热器烟气出口温度控制和前置预热器蒸汽流量控制。

空燃比的控制方案, 过剩空气系数可以较常规的控制稍低, 其具有一定的经济效益和先进性。其内部运算能够保证在热负荷增加时先调节风量再调节燃料量, 热负荷降低时先调节燃料量再调节风量, 调节迅速, 运行安全, 加热炉热效率高。

参考文献:

- [1] 袁峰, 王鑫, 倪鹏. 常减压装置加热炉自动化控制优化实践 [J]. 石化技术, 2021, 28(12): 15-17+42.
- [2] 田海, 魏学松, 马天, 等. 基于多级网络的步进梁式加热炉控制系统设计 [J]. 自动化仪表, 2021, 42(10): 46-51.
- [3] 黄立新, 郭怀兵. 新宽厚板轧钢厂加热炉二级过程控制系统的应用 [J]. 冶金管理, 2021(03): 109-110.

作者简介: 樊君宇 (1990.03-), 男, 汉族, 河南洛阳人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 炼厂加热炉设计。