

炉温控制对水煤浆水冷壁气化炉的运行影响

马超平

(新疆天业汇合新材料有限公司, 新疆 石河子 832045)

【摘要】在运行水煤浆水冷壁气化炉时, 将炉温控制在适当范围内是至关重要的, 这可以有效预防气化炉出现结渣、结焦等问题。炉温控制是水煤浆气化炉运行的关键环节, 其合理与否直接影响到气化炉的运行效果和经济效益。这里所指的炉温, 主要是指水煤浆在高温下发生气化的温度, 也就是炉膛内的温度。炉温控制是确保水煤浆水冷壁气化炉稳定运行和操作安全的重要手段。通过合理控制炉温, 可以显著提高气化炉的运行效率和稳定性, 从而确保生产装置的长周期运行。因此, 化工企业应当深入分析水煤浆水冷壁气化炉的炉温变化规律, 并据此制定有效的炉温控制策略, 以提高气化炉的运行效率和经济效益。

【关键词】炉温控制; 水煤浆; 水冷壁气化炉

气化炉是气化工序中的核心设备, 其通过水煤浆与氧气的燃烧与气化反应, 生成合成气。此反应过程非常迅速, 固体在炉内停留时间通常仅数秒钟。生成的粗煤气中甲烷含量较少, 且由于反应温度较高, 不会产生焦油、酚及高级烃等凝聚的副产物, 因此对环境的影响相对较小。随着煤化工产业的持续发展, 对气化炉的性能要求也在不断提高。水冷壁气化炉作为气化装置中的关键设备之一, 对于装置的安全、稳定运行具有决定性作用。在实际应用中, 水冷壁气化炉可根据用户需求配置不同的工艺参数, 实现对气化过程的精确控制。

一、水冷壁气化炉概述

(一) 水冷壁气化炉的结构组成

目前的气流床气化技术主要采用干法和水煤浆两种进料方式, 同时承压壳体的保护方式也有耐火砖结构和水冷壁结构两种。水煤浆水冷壁气化炉采用水煤浆与水冷壁结合的方式, 这种组合方式不仅综合了水煤浆耐火砖和干粉水冷壁技术的优点, 同时有效避免了它们的不足, 从而提高了气流床气化技术的整体性能和稳定性。

水煤浆水冷壁气化炉其结构主要由燃烧室和激冷室两部分组成。燃烧室由炉壳、水冷壁、摄像头、烧嘴、热电偶等关键部件构成, 而激冷室则与德士古耐火砖气化炉相似, 包括激冷环、下降管、下降管支撑、液位计等组成部分。为了防止高温合成气损坏炉壁, 水冷壁气化炉燃烧室外部设置环腔, 并通入氮气或者是二氧化碳对炉壳进行密封保护。同时, 为了隔绝燃烧室与激冷室, 设置了中隔板, 保证了环腔密封效果。

气化炉在实际使用中, 由于受操作温度变化影响, 会出现工艺烧嘴的灼烧损坏, 水冷壁上盘管与渣口盘管的烧灼损坏, 下降管的变形烧穿等异常现象, 导致不必要的停车。炉温的控制还会影响水冷壁渣层厚度, 气化炉内温度梯度的变化以及合成的组分变化, 甚至

影响到气化炉的排渣、激冷室的架桥及后续水系统内的热负荷变换。为了确保水冷壁气化炉的安全运行, 我们采取了一系列严谨的措施。其中包括设置激冷室液位低低联锁、氧煤比高高联锁、激冷水流量低低联锁等一系列联锁保护装置。这些系统能够有效地防止气化炉发生事故, 确保生产过程的安全和稳定^[1]。

(二) 水冷壁气化炉的特点

在煤气化生产过程中, 水冷壁气化炉的主要特点分为以下几点: 1. 气化炉的水煤浆制备工艺比较简单, 能够有效控制煤浆浓度及灰渣性能。同时, 对煤种适应性强, 能够生产优质的合成气。2. 气化炉具有较好的操作弹性, 可根据需要灵活调节气化参数, 达到理想的工艺要求。3. 气化炉技术较为先进, 且具有较好的经济性, 可以大大降低运行成本, 提高经济效益。4. 气化炉具有较好的耐高温性、抗冲击性能, 能够有效保证气化装置的长周期稳定运行。5. 气化炉操作环境相对较为稳定, 不容易出现严重事故。同时, 安全性能好, 操作更加安全可靠。6. 气化炉是一种连续生产系统, 对其安全性要求较高。因此, 在气化装置设计时应采用可靠的结构和工艺措施^[2]。

(三) 水冷壁气化炉的主要功能

水冷壁气化炉根据不同的气化工序要求, 可以选择不同品牌和型号的炉型。气化炉一般采用卧式布置, 可以更好地与系统流程相匹配, 有利于生产操作的安全运行。水冷壁气化炉的主要功能分为以下几点: 1. 水冷壁气化炉一般采用大直径的水冷壁管, 可满足高温、高压条件下的冷却要求。2. 水冷壁气化炉有较高的传热效率, 可有效提高系统热效率, 同时可以减少气化炉的耗煤量, 提高气化炉运行经济指标。3. 水冷壁气化炉具有较好的耐高温、高压、抗腐蚀能力。由于采用特殊材料制造, 水冷壁气化炉具有较高的承压能力, 可适应高温、高压条件下的运行要求, 满足大型煤化工装置长周期安全运行^[3]。

（四）水煤浆水冷壁气化炉与粉煤气化炉的对比

水煤浆水冷壁气化炉和粉煤气化炉是两种常见的煤气化技术，它们在结构、原料适应性、运行特性和环保等方面有一些区别。具体来说：1. 结构：水煤浆水冷壁气化炉采用膜式水冷壁结构，气化炉内部有多根水冷壁管，通过水循环冷却，保护炉壁不受高温侵蚀。粉煤气化炉则通常采用耐火砖衬里结构，炉壁需要承受高温和磨损。2. 原料适应性：水煤浆水冷壁气化炉适用于低阶煤、高灰分煤等劣质煤的气化，对原料的适应性较广。粉煤气化炉则对原料的粒度、水分等要求较高，一般适用于高品质的煤粉。3. 运行特性：水煤浆水冷壁气化炉的气化强度相对较低，但操作稳定，气化效率较高，适用于大规模工业化生产。粉煤气化炉的气化强度较高，但操作复杂，对控制系统要求较高。4. 环保方面：水煤浆水冷壁气化炉采用湿法进料，产生的灰渣量较少，且灰渣可用于建筑材料等领域，有利于环保。粉煤气化炉产生的灰渣量较大，且含有一定的重金属等有害物质，需要进行专门处理。水煤浆水冷壁汽化炉与粉煤汽化炉的能效对比如表 1 所示。

二、炉温控制对气化炉的影响

气化炉的操作条件是由煤的性质和工艺操作条件决定的，在生产中应严格控制气化炉炉温。在温度过

低的情况下，燃烧后的灰渣中残碳含量较高，这不利于气化过程，会使得整体的煤耗增加。同时，由于渣量的增加，锁斗系统的负荷也随之增加，导致锁斗集渣时间缩短，锁斗阀门动作更加频繁，进而加剧锁斗阀门的磨损。此外，由于渣量的增加，锁斗管线及锁斗排渣管线被磨穿的风险大大增加，捞渣机的负荷也随之增加，导致其损坏的频次增加。此外，炉温过低还会导致水冷壁渣层过厚且渣层过于松散，极易发生垮渣现象，导致渣口堵塞或激冷室架桥，从而使气化炉被迫停车。

如果气化炉炉温控制过高，渣层不易形成，水冷壁不能达到以渣抗渣的目的，极有可能造成水冷壁或上下盘管烧穿。炉温过高还会导致水系统的热负荷升高，尤其会造成高压闪蒸罐，低压闪蒸罐，除氧器超压，同时温度过高会导致沉降槽絮凝剂的絮凝效果变差，无法处理黑水。气化炉温度的控制应该根据煤灰熔点的温度来确定，在气化炉可以正常排渣，且不发生频繁垮渣的情况下，气化炉的炉温控制得越低越好。气化炉的炉温也不能单纯地认为过高或过低，应该合理控制气化炉燃烧室内的温度梯度，正常的气化炉挂渣应该为炉顶最厚，中部较薄，下部略厚，渣口出渣保持流动。

表 1 水煤浆水冷壁气化炉与粉煤气化炉的能效对比

项目		单位 用量	水煤浆水冷壁 气化炉		粉煤气化炉		能源折算系数	
			能量 MJ	用量	能量 MJ	单位	数值	
气化单元								
1	磨煤耗电	KWh	19.2	176.85	19.2	176.85	MJ/KWh	9.22
2	煤输送耗电	KWh	4.56	42.95	4.56	42.95	MJ/KWh	9.22
3	气化灰水耗电	KWh	31.90	301.35	36.54	382.23	MJ/KWh	9.22
4	煤耗	Kg	1165	32528	1165	32528	MJ/kg	27.94
5	氧耗	Nm ³	762	4515	761	4515	MJ/Nm ³	5.95
6	循环水	t	40.1	100.2	42.1	100.2	MJ/t	2.52
7	104℃锅炉水	t	1.62	444.53		0.00	MJ/t	271.85
8	新鲜水	t	0.4	2.52	0.4	2.52	MJ/t	6.27
9	脱盐水	t	0.4	16.54	0.4	16.51	MJ/t	40.95
10	外排污水	t	0.92	43.25	0.92	43.25	MJ/t	46.04
11	7MPa 蒸汽副产	t	-0.02	-82.95		0.00	MJ/t	2771.25
12	10MPa 蒸汽副产	t	-1.32	-3623.1		0.00	MJ/t	2723.65
变换单元								
1	循环水	t	8.91	22.37	8.91	22.37	MJ/t	2.52
2	脱盐水	t	1.22	51.49	1.27	95.45	MJ/t	41.86
3	电耗	KWh	2.87	25.78	5.98	55.12	MJ/KWh	9.20
4	3.8MPa 蒸汽副产	t	-0.8	-2240	-0.67	-1871	MJ/t	2802
5	1.5MPa 蒸汽副产	t	-0.8	-223.42	-0.2	-548	MJ/t	2791.2
6	0.5MPa 蒸汽副产	t	-0.6	-1653.6	-0.84	-2642	MJ/t	2755.2
产品								
1	变换合成气 H ₂	Nm ³	-2021	-21712	-2021	-21712	MJ/Nm ³	10.74
2	变换合成气 CO	Nm ³	-28.7	-364	-28.7	-364	MJ/Nm ³	12.65
3	变换合成气 CH ₄	Nm ³	-7.23	-256	-7.3	-256	MJ/Nm ³	35.78

因此,在操作过程中,必须严格控制气化炉的炉温,以确保其处于适宜的范围内,以避免上述问题的发生。^[4]。

三、水冷壁气化炉运行炉温的控制方法

(一) 控制汽包压力和蒸汽产量

汽包压力和蒸汽产量是控制炉温的重要参数,其变化会对炉温产生影响。为了调节汽包压力和蒸汽产量,可以通过调整水冷壁渣层厚度来实现。具体操作如下:当汽包压力比气化炉压力高 0.5 MPa 时,在不影响气化炉运行的前提下,将气化炉水循环系统切换到恒定状态。当汽包压力和蒸汽产量波动较大时,说明渣层较为松散,需要提高炉温,熔化松散渣层,重新进行挂渣。汽包压力和蒸汽产量的调节主要通过控制水冷壁渣层厚度来实现,正常情况下降汽包蒸汽量控制在 1-2t/h 最为适宜。

(二) 控制合成气成分

1. CH_4 含量与炉温呈反比关系, CH_4 含量增加表明炉温降低,反之升高;而 CO_2 含量与炉温呈正比关系, CO_2 含量增加表明炉温升高,反之降低。渣口压差的变化也能反映炉温的变化,渣口压差增大表明炉温降低,反之升高。

2. 除了通过控制气化炉的氧煤比来调整合成气的组分,还可以通过调节煤浆的浓度以及雾化水的加入量来实现进一步的控制和调节。这些操作都是为了确保合成气的质量和产量符合预期的要求。

(三) 锁斗系统设置

锁斗系统设置与渣量不匹配的情况下,系统渣量上升,但锁斗集渣时间和捞渣机变频未及时调整,可能导致锁斗管线堵塞或破渣机上部架桥。若长时间未处理,锁斗将无法排渣,导致被迫停车。在正常操作中,应注意燃烧室是否发生垮渣现象,锁斗下部温度是否上升,上下部温差是否增大,捞渣机电流是否下降,以及锁斗与气化炉压差是否增加。为了确保系统正常运行,需要随时调节锁斗的集渣时间和捞渣机的变频。

(四) 控制渣的形态

在炉温正常的情况下,渣应以细颗粒为主,无大块渣。当炉温偏高时,渣粒会呈现细颗粒状态;而当炉温偏低时,渣粒会变大,大颗粒会增加,并出现大块渣。此外,如果渣内有丝渣、胡子渣等,这表明渣口缩小,熔渣流速加快,从而引起拉丝现象。在这种情况下,应适当提高炉温。另外,通过观察排出的渣量也可以判断炉温。如果渣量较少,说明渣逐渐堆积在燃烧室中,此时可以适当提高气化炉的温度。因此,为了保持稳定的炉温,我们需要密切关注渣的状态和渣量的变化。

(五) 控制原煤灰熔点

煤灰熔点的高低对于炉温的控制具有重要影响。根据理论,炉温应高于灰熔点 50℃ 以确保正常操作。

然而,实际操作中,气化炉内炉温无法直接测量,因此需要在不发生垮渣且渣能顺利排出的前提下,尽量降低炉温以延长运行周期。

考虑到单一煤种的灰熔点可能存在较大的波动,不利于精确控制,可以通过不同煤种之间的配比来调整原料煤的灰熔点。这种配比方法可以使水冷壁气化炉的用煤更加广泛。

为了实现经济效益最大化,可以通过高价和低价煤的配比来调整原料煤的成本。这种配比方法可以在满足生产需求的同时,降低成本并提高经济效益。

(六) 控制氧煤比与中心氧比

氧煤比及中心氧气比例的调节是控制炉温的核心手段。当氧煤比升高时,炉温也随之升高;反之,氧煤比降低时,炉温则降低。中心氧气比例的调节主要目的是控制气化炉燃烧室内的温度梯度,进而控制燃烧室不同位置的渣层厚度。

在调节氧煤比时,我们不仅需要考虑煤浆与氧气的比值,还需要关注煤浆的浓度以及煤浆中固定碳的含量。当煤浆浓度降低时,相当于氧气量增加,因此氧煤比应当适当降低;而当煤浆浓度升高时,相当于氧气量下降,因此氧煤比应当适当升高。

此外,氧煤比的控制还与烧嘴压差与渣口压差有关。当烧嘴压差越低时,雾化效果越差,因此应当适当降低氧煤比;反之,可适当提高氧煤比。

综上所述,在控制炉温的过程中,我们需要综合考虑多种因素,通过精细调节氧煤比及中心氧气比例,以确保气化炉的稳定运行并实现高效的气化效果。

结语:

综上所述,水煤浆水冷壁气化炉是一种采用高温高压气化技术处理煤的方法,其结构主要包括燃烧室、水冷壁、下降管、激冷室等部分。在操作过程中,温度控制主要依赖于氧煤比控制、中心氧比例调节以及烧嘴压差控制。相较于半废锅流程和全废锅流程的气化炉,纯水冷壁气化炉对煤质的要求更为宽松,同时炉温控制范围也更为广泛。

参考文献:

- [1] 张波,赵蓉. 炉温控制对水煤浆水冷壁气化炉的运行影响[J]. 氮肥与合成气,2023,51(02):51-53.
- [2] 雷玉龙,闫晓泽. 水煤浆耐火砖气化炉改为水冷壁气化炉的思路及可行性分析[J]. 煤化工,2022,50(03):5-8.
- [3] 夏英,阚浩勇,范辉等. 水冷壁式气化炉内侧渣钉对气化炉传热的影响[J]. 过程工程学报,2021,21(06):687-694.
- [4] 杨玉辉,郭晓镭,许建良. 水冷壁气化炉温度监控软件及其应用[J]. 自动化与仪表,2020,35(08):56-61.
- [5] 任金锁,贾雷,丁满福. 水煤浆气化炉材料的选择与应用探讨[J]. 中国化工装备,2020,22(01):37-40.