

壳牌气化炉激冷盒烧损原因分析及修复改造

杨岱

云南云天化工业装备技术有限公司, 云南 昆明 650300

DOI:10.61369/ERA.2026060038

摘 要 : 激冷盒作为壳牌气化炉的关键部件, 它的运行状况会直接和整个装置的稳定以及安全产生关联。壳牌煤气化工艺的核心设备也就是这种气化炉, 激冷盒在长时间运转之后, 比较容易出现烧损的情况。那么, 本文基于它的结构特性以及工作机理, 来深入开展烧损关键诱因的剖析工作, 这些诱因包括激冷气通道阻塞、激冷气的供应出现短缺情况, 惰性气体于环形区域当中的分布比较稀疏, 密封间隙的尺寸超出了标准范围。鉴于长期设备维护实践来开展工作, 构思了一套激冷盒的全面修复以及升级策略。这个方案着重对检查孔的设计进行了调整, 对百叶窗的构造开展了优化, 并且对密封体系进行了改进。激冷盒的烧蚀状况在改造之后得到了明显的改善, 这样气化炉的运行时长也因此增加了, 这就为开展相似设备的维护工作带来了可借鉴的经验。

关 键 词 : 壳牌气化炉; 激冷盒; 烧损原因; 修复改造; 密封结构

Analysis of Burnout Causes and Repair and Transformation of Quench Box in Shell Gasifier

Yang Dai

Yunnan Yuntianhua Industrial Equipment Technology Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650300

Abstract : As a key component of the Shell gasifier, the operational status of the quench box is directly related to the stability and safety of the entire unit. The gasifier, which is the core equipment of the Shell coal gasification process, is prone to burnout of the quench box after prolonged operation. Therefore, based on its structural characteristics and working mechanism, this paper conducts an in-depth analysis of the key causes of burnout, including blockage in the quench gas passage, insufficient quench gas supply, sparse distribution of inert gas in the annular region, and seal gap dimensions exceeding standard limits. Drawing on long-term equipment maintenance practices, a comprehensive repair and upgrade strategy for the quench box has been devised. This plan focuses on adjusting the design of inspection ports, optimizing the louver structure, and improving the sealing system. After the transformation, the erosion condition of the quench box has significantly improved, thereby extending the operational duration of the gasifier and providing valuable experience for the maintenance of similar equipment.

Keywords : Shell gasifier; quench box; burnout causes; repair and transformation; sealing structure

引言

壳牌煤气化技术, 也就是洁净煤利用方面的一个关键途径, 在国内被广泛运用, 壳牌气化炉的构成属于工艺的关键所在, 装置的生产效益会直接受到它运行稳定程度的影响, 激冷盒在气化炉内起着核心的作用, 它的核心功能是把大约200摄氏度的循环激冷气体进行均匀散布, 让其与大约1500摄氏度的高温合成气充分地交融, 这样来实现合成气温度的显著下降, 保护下游设备。激冷盒在持续开展运行工作时, 会面临高热负荷以及复杂的流场, 它的烧损现象是比较常见的, 激冷盒要是出现故障, 就会扰乱激冷气流的分布, 从而导致合成气倒窜到环形腔室当中, 进而引发该区域的测温元件发出警报。如果情况加剧, 那就会启动气化炉的紧急停车程序。对激冷盒烧损的缘由开展深入剖析, 并且切实探寻修复改造方案, 对于维持气化装置长期平稳运转有着关键价值。

一、激冷盒结构与工作原理

(一) 激冷盒结构组成

激冷盒被放置在气化炉的激冷段, 它的构造是相当复杂的。

主要包含了激冷盒主体、激冷气分配孔、平衡孔、百叶窗、膨胀节以及密封结构等方面的组件, 把Incoloy 825钢当作激冷盒的材料来使用, 这种材料拥有优异的高温抗氧化以及耐腐蚀的特性。激冷气会把炉体四接管口当作注入通道注入环形空间, 借助八个

膨胀节来开展分流工作，分流至激冷盘，然后穿过分配孔以及百叶窗，最终在炉膛内部得以充分混合，激冷盘上面分布了384个直径为11.5毫米的孔洞，这些孔洞是用来开展激冷气体分配工作的。这些孔洞采用两排形式来进行布局。气体穿过这些孔洞之后，进入百叶窗结构，会产生2.81度的旋转导向流场。这股流场接着进入炉膛空间，并且与高温合成气进行混合。

（二）工作原理

激冷区域的气流混合机制，是鉴于均匀分布的旋转冷却气流开展的。这些旋转冷却气流会裹挟着气化炉膛当中旋转的合成气，进而形成外部温度偏低、内部温度偏高的旋转气流结构，气化炉烧嘴所喷出的合成气在炉膛当中形成了四度逆时针的旋转流，激冷盘所产生的激冷气会以二点八一度顺时针方向进行旋转，这两股气流在激冷口区域开展交汇，从而形成了方向相反的交叉包裹上升流。激冷盒可保证激冷气分布均匀，同时激冷气与热合成气混合充分，避免出现激冷段、输气管受热不均等现象。^[1]这个设计借助把冷气环绕在热气周围的方式，来减轻激冷口金属所面临的高温压力。

二、激冷盒烧损原因分析

（一）激冷气通道堵塞

激冷盒出现烧损情况，并且激冷气通道发生堵塞现象，这构成了关键的缘由，激冷气会携带大量像灰垢这类的异物，管道在长时间运行之后，其内部会形成片状的腐蚀物。要是进行检修停车，腐蚀物就会脱落，从而把分配孔堵塞住。因为激冷环与下降管是通过焊接连接成一个整体的，所以在出现损坏的情形时，这两者通常会同时呈现出不同程度的损坏状况。^[2]那么在激冷盘上面，有384个直径为11.5毫米的分配孔，它们构成了激冷气流所具有的核心通道，激冷气分配不均的主要原因是分配孔堵塞，也就是异物阻塞会引发流场分布异常。这样气化炉内部流场就会改变，激冷盒局部位置会出现气量不足的情况。随即百叶窗局部高温回火烧蚀的问题也会产生。激冷气压缩机开展设计气量的工作时气量不足，冷量比较少，这样就导致冷气对于热合成气的包裹特性较差，很容易造成热合成气回火烧蚀的情况。

（二）激冷气量不足

激冷口烧蚀现象在国内工厂当中普遍存在，激冷气压缩机K1301原始设计能力不足是引发这个问题的缘由之一，激冷口的冷却效果由于气量不足而出现了减弱的情况，这样后段区域的温度就整体上升了。位于激冷盒和高压氮气反吹管中间的冷却盘管存在腐蚀和氧化层，当下方高压氮气吹管堵塞爆裂后，造成冷却盘管减薄通洞。^[3]激冷口百叶窗出口面积偏大，这就使得流速出现了下降，致使冷气包裹层难以有效地形成，进而增加了烧蚀风险。

（三）环形空间惰性气体不足

环形空间会把氮气充入进来，开展维持微正压的工作，以此防止合成气渗入。这样做能够保障气化炉稳定运行，避免壳体温度出现异常升高的情况，那么环形空间的氮气供应要是不足，气化炉的温度就会随之升高，这样热合成气就会进入炉膛外围区域。当气流以一定的速度冲击下降管出口处的液面时，气液间的强烈动量传导会引起气体的湍流，从而引起液体的湍动。^[4]激冷盒由于热合成气串入，承受了超出设计温度的热负荷，进而加速了

它的烧损过程。

三、壳牌气化炉激冷盒热应力集中问题的详细分析

（一）极端温度梯度引发的热应力剧增

壳牌气化炉激冷盒在极端温差条件当中开展运行工作，巨大的温度梯度是热应力产生的缘由。激冷盒迎火面会承受着1400℃至1600℃的高温合成气以及熔渣的直接作用，它的背火面则和大约200℃至250℃的激冷水相接触，这样就在壁厚方向上形成了显著的径向温差。壁厚仅仅只有数十毫米，然而温差却突破了一千二百摄氏度，高温侧的材料在受热的情况下会发生膨胀，低温侧的材料在遇冷时会出现收缩，同一构件内部的温度分布不均匀，引发了膨胀方面的差异，那么在激冷盒壁面的内部，会产生出巨大的弯曲热应力。几何突变位置会产生应力集中的现象。激冷盒折边区域、开孔周边以及筋板连接部位，热应力分布呈现出非均匀的特性，在激冷盒的拐角区域当中，应力集中系数常常会超过2.0，这就意味着，即便平板区域的平均应力还处于材料屈服强度范围之内，拐角处的局部应力却早就超出了材料的屈服极限，从而使得该区域率先开展塑性变形阶段的进程。

（二）结构拘束导致的“自约束”效应

激冷盒在气化炉内一般会采用把周边焊接当作安装方式来使用，或者借助支撑件定位来开展安装工作，这种结构特性会引发热应力聚集现象，并且这种现象还比较显著。激冷盒整体会被固定到激冷室壳体以及支撑梁上，其周边位移会受到严格的限制，激冷盒在高温合成气的作用之下受热膨胀，它的边缘由于刚性约束而没办法自由伸展，这样就产生了极大程度上的压缩热应力。激冷盒一般会把夹套式构造当作来使用，或者借助厚度不同的板材开展焊接工作，进而在其内部产生一种“自约束”效应，由于板厚存在差异，就使得热容量以及热响应速度有了显著的不同，厚板在升温方面比较缓慢，而薄板升温则比较迅速。薄壁区域在瞬态工况当中会马上升温膨胀，并且升温膨胀的速度比较快，而厚壁区域则会保持低温的状态，构件的热响应出现不同步的情况，从而引发相互之间的牵制，进而形成了自约束效应。原激冷环挡水板由于现场挡水板受损比较严重，冲蚀出的孔洞较多，且整体厚度变薄，应对挡水板进行更换。^[5]厚薄板焊缝区域会承受显著的剪应力以及拉应力集中的情况，裂纹很容易在这个地方萌生。

（三）瞬态工况下的热冲击应力

激冷盒在稳态工况当中承受热应力，并且面临开停车以及事故工况所带来的热冲击，这个时候热应力集中的情况最为剧烈，在气化炉升温的这个阶段当中，合成气的温度出现了骤然升高的情况，而激冷水由于循环延迟，导致其温度处于偏低的状态，这样就形成了热冲击。气化炉反应段上部环形空间温度上升，而底部环形空间温度下降，说明气化炉存在热合成气窜入环形空间的情况。^[6]激冷盒的内壁在遭遇高温冲击的情况下，会马上产生出显著的拉应力，要是激冷水流量出现波动，或者出现局部干壁现象，那么金属壁温就会急剧地升高，那么骤冷现象会在冷却水重新把该区域覆盖的时候出现。经过骤冷骤热的循环过程，金属表层就会产生交变的热应力，材料表层存在的细微瑕疵，激冷室承压外壳一般采用堆焊或复合奥氏体不锈钢材料以应对介质对承压外壳的腐蚀。^[7]比如刮痕以及气泡，会把反复变化的应力聚集起

来。这种应力的作用容易引发裂纹，主要原因是热疲劳效应。

（四）焊接接头处的热应力叠加

激冷盒热应力集中在焊接接头区域出现的频率比较高，冶金质量以及力学性能存在不连续性是其根本缘由，焊接过程会在激冷盒接头内部留下拉伸残余应力，这些残余应力会和设备运行时的载荷应力进行叠加。在设备运行的过程当中，焊缝区域的实际应力水平极大程度上超出了设计预期，这主要缘由是工作热应力以及残余应力共同发挥作用，焊缝金属、热影响区以及母材之间，它的晶粒构造和热膨胀系数会呈现出细微的差别。在气化炉开停车时，在较低的温度下硫化物与空气和水反应生成连多硫酸，对激冷环的开裂起促进作用。^[9] 这种材料的不均匀性主要是由于不同区域的热历程存在差异所导致的。晶界区域所存在的微观差异会引发热应力在局部进行聚集，进而促使蠕变孔洞得以加速萌生以及裂纹持续开展延伸工作。

四、修复改造方案

（一）检查孔改造

激冷盒环形空间的上部位置设置了4个100mm×100mm的检查手孔，整个激冷盒的直径是2620mm，激冷水出口间隙宽度要求大于6mm，以防止激冷环内部颗粒物堵塞。为保证出口间隙均匀，须在出口处间次设置固定支撑块。^[9] 运用检查手孔去处理内部异物的清理工作难以取得有效效果，进行检查孔的设计时把它设计成了长弧形态，这样就扩展了检测的范围以及面积。对取30度的手孔弧长角度进行检查，然后在四个方位分别进行弧形检查孔的配置，在检修过程当中，会把激冷盒内部的灰尘等异物借助吸尘器以及人工的方式去处理清除工作，这样能防止激冷气分配孔发生堵塞。检修效率以及清理效果得到了极大程度上的显著提升。

（二）百叶窗结构改造

鉴于流场模拟以及工程实践，来开展激冷盒百叶窗的结构改进工作，其核心要点是提高激冷气出口速度，并且增强冷气对热合成气的包覆作用，原百叶窗把6毫米厚的Incoloy 825钢板当作材料来使用，它的出口面积相对较大。百叶窗的厚度从六毫米增加到了十二毫米，并且在孔洞两侧分别开展喷涂零点五毫米防火涂层的工作，激冷口的流通面积开展缩减工作，缩减到了0.150m²，它的流速跟着得以提升，提升到了8.30m/s，和原先的6.13m/s相比，增速达到了35.4%。施工方案是：在现有百叶窗通道两端隔板的内孔位置，分别开展新增一根竖直隔板的工作。新

增隔板的规格是56毫米宽、150毫米高、3毫米厚。进行安装时，一定要保证新增隔板和原有隔板之间得以紧密贴合，坡口的两端都进行了精细的修整工作。新型板材采用梯形设计来开展制作，得以确保和既有隔板的花焊角焊缝实现紧密贴合，新增加的隔板内端口需要去进行打磨，打磨成60°的坡口，这样做是为了保障气流能够正常流通，外端口和原有隔板之间采用花焊的方式来进行固定工作。为了提高激冷盒材料的防火性能，需要把耐高温防火材料喷涂在急冷口至环形空间150mm的区域当中。

（三）密封结构改造

激冷盒上下密封位置由于热膨胀的原因引发了密封失效的情况，已经开展了全面的改造工作，急冷盒原本的上密封挡板开展了切除工作，把耐高温纤维填塞到密封挡板以及水冷壁管之间。在炉膛侧密封挡板的端部，需要开展填塞两圈耐高温陶瓷纤维盘根的工作，这种盘根的规格是10mm×10mm，在急冷盒顶板密封点的地方，增设两块规格是20mm×6mm的密封挡板。其中一块挡板要单面焊接到顶板上，这样能保证顶板密封条和水冷壁管紧密贴合，没有间隙；密封板分别被固定在水冷壁管上，它的间隙会维持在零点三毫米以内。在底板密封点的地方，增设两块12mm×6mm的挡板，并且把它们单面焊接到急冷盒的底部，水冷壁管平台和底板密封条这方面需要开展紧密贴合的工作。

（四）工艺优化措施

需要开展激冷系统运行可靠性的提升工作，要把工艺操作优化以及设备改造结合起来。严格按焊接工艺规程和作业指导书要求施焊。做到焊前预热、焊后消氢并严格控制好温度。^[10] 借助降低激冷气温度，就可以防止冷热气混合效果受到损害；环形空间当中氮气的注入量需要提高，来抑制热合成气往该区域进行扩散，进而有效地控制环形空间的温度水平；把激冷气压缩机的运行维护工作开展得更加强化，从而保证激冷气量能够契合设计预期。

五、结束语

壳牌气化炉激冷盒出现烧损情况，主要缘由是热应力集中以及冷却水膜遭到破坏这两方面共同作用的结果，激冷盒烧损难题得到化解，原因在于开展了结构设计的优化工作，从而改善了流场分布，进行了材质升级来提升耐热耐蚀性能，开展焊接工艺改进工作以消除制造缺陷，并且和科学的工艺操作结合起来。实践表明，这个修复方案在技术方面是可靠的，并且所取得的成效也很明显，对于提高Shell气化炉运行的稳定性而言，有着重要的推广意义。

参考文献

- [1] 卢林栋，张鸿儒. 壳牌气化炉激冷盒烧损原因及修复改造 [J]. 氮肥与合成气, 2024, 52(09): 19–23+34. DOI: 10.19910/j.cnki.ISSN2096–3548.2024.09.005.
- [2] 卢玉升，孙明华，姜志轩. 航天气化炉激冷环堵塞原因分析与结构改进 [J]. 氮肥与合成气, 2025, 53(10): 45–48. DOI: 10.19910/j.cnki.ISSN2096–3548.2025.10.012.
- [3] 张智荣. 气化炉激冷区易出现的问题分析 [J]. 大氮肥, 2023, 46(01): 35–37.
- [4] 景寿堂，范为鹏，杜常宗，等. 不同结构气化炉激冷室气液两相流的数值模拟 [J]. 煤化工, 2024, 52(01): 102–105+125. DOI: 10.19889/j.cnki.10059598.2024.01.027.
- [5] 刘立国，张晓北. 水煤浆气化炉激冷环损坏的问题分析与改造 [J]. 中国设备工程, 2018, (24): 230–231.
- [6] 江明亮，朱林军，任德正. 浅析气化炉激冷环烧损的原因及对策 [J]. 大氮肥, 2022, 45(06): 361–364.
- [7] 郭殿龙. 水煤浆气化炉激冷室底部蓬渣原因及应对措施 [J]. 氮肥与合成气, 2025, 53(09): 54–55+60. DOI: 10.19910/j.cnki.ISSN2096–3548.2025.09.016.
- [8] 秦学功，陈斌，贺力奇，等. 气化炉激冷环失效分析及对策 [J]. 石油化工设备, 2000, (04): 41–43.
- [9] 张亚宁，白云波，杜常宗. 气流床气化炉激冷环的结构分析与设计要求 [J]. 煤化工, 2022, 50(06): 124–126+130. DOI: 10.19889/j.cnki.10059598.2022.06.028.
- [10] 郎启富. 壳牌气化炉激冷口盘管损坏原因分析及改进 [J]. 云南化工, 2020, 47(01): 146–149+152.