

空分装置分馏塔系统定点扒砂工艺技术研究

张斌¹ 龙荣波²

1. 杭氧集团股份有限公司 浙江 杭州 310000

2. 杭州杭氧化医工程有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：空分装置分馏塔系统定点扒砂工艺，围绕珠光砂填充特性及失效问题展开。阐述工艺基础认知，涵盖珠光砂特性、定点扒砂内涵及空分装置运行状态的影响。介绍关键技术要点，包括定点定位、过程控制及砂料处理技术。设计前期准备、实施及后期恢复的完整流程，分析复杂塔体结构、塔体变形及低温环境带来的技术难点，并给出相应的应对思路，为工艺实施提供全面的技术支撑。

关键词：分馏塔；定点扒砂；珠光砂；空分装置；工艺技术

引言：冷箱作为空分装置的核心设备，其内部珠光砂的隔热性能直接影响整套空分的运行效率。空分长期运行后，冷箱内珠光砂易出现沉降、密实度不均、板结等问题，需通过扒砂作业才能恢复性能。传统的扒砂方式易对管道、设备造成一定的损伤，因此定点扒砂的工艺应运而生。本文针对该工艺展开研究，从基础认知、关键要点、流程设计及技术难点与应对思路等方面进行探讨，为提升空分装置运行稳定提供技术参考。

1 分馏塔系统定点扒砂工艺的基础认知

1.1 分馏塔珠光砂填充特性及扒砂必要性

分馏塔夹层中填充的珠光砂是一种轻质颗粒材料，学名：膨胀珍珠岩，是一种酸性火山玻璃质熔岩经过焙烧膨胀后制成，凭借多孔结构和松散堆积的特性形成隔热屏障，颗粒间自然堆叠的间隙阻隔热量传递，初始状态下能通过均匀分布维持稳定的隔热效果^[1]。而长期运行后，珠光砂会受到设备产生的振动影响，同时低温与常温交替的温度变化等因素，导致部分区域颗粒相互挤压，出现局部沉降、密实度差、冷箱结块等现象。隔热层的完整性被破坏后，冷箱冷量损失，空分能耗增加，此时需要通过扒砂作业将失效的珠光砂清除，再填充新的隔热材料进行补充。填充新砂前需对夹层内壁进行检查，确保无残留杂质阻碍新砂均匀堆积。填充后的珠光砂需经过一段时间自然沉降，才能形成稳定的隔热结构。之后再进行补砂，将冷箱内因珠光砂沉降产生的空腔补满，以确保冷箱的保冷效果，防止冷量损失。

1.2 定点扒砂工艺的技术内涵与核心目标

定点扒砂工艺的技术重点在于，通过精准检测确定珠光砂失效的具体位置，避免对整个隔热层进行全面拆除。实施过程中需结合冷箱的设备布置图、钢结构图、配管图等资料，分析不同部位的受力情况和低温区域的

温度分布，判断珠光砂的失效区域。针对已识别的失效部位，采用适配的工具和作业流程进行局部清理。选用的工具需与塔体材质相匹配，避免刮伤表面保护层。核心目标是在移除失效珠光砂的同时，保护冷箱内部本体结构不受损伤，保留仍能正常发挥作用的隔热部分，为后续填充作业奠定均匀稳定的基础，维持设备原有的结构强度和隔热保冷效果，作业中需控制扒砂速度，防止过快操作引发局部砂流扰动影响周边的结构。

1.3 空分装置运行状态对扒砂工艺的影响因素

空分装置运行时的温区梯度会直接作用于珠光砂层，若低温区域的珠光砂受潮，在长期低温环境中会与塔体表面产生冻结粘连，增加扒砂时的剥离难度。装置停机后的冷箱在复温过程中，会使珠光砂内部积存的气体快速逸出，导致颗粒间结构松散，需要在扒砂前对砂层的稳定性进行评估，防止作业中出现涌砂或坍塌。设备运行期间持续的振动会改变珠光砂的堆积状态，不同部位的振动频率和幅度差异可能造成沉降程度不均，扒砂工艺需根据实际观察到的沉降情况调整作业顺序，先处理沉降严重的区域，再逐步清理其他部位，避免因局部受力失衡引发塔体结构变形。扒砂过程中还需关注冷箱内表面的腐蚀情况，锈蚀区域可能附着更多珠光砂颗粒，需采用特殊处理方式确保清理彻底。

2 定点扒砂工艺的关键技术要点

2.1 定点定位技术

塔体结构与扒砂点的匹配设计需结合分馏塔的设备布置、管道布置、焊接缝分布和支撑结构位置，避开承重部件集中区域，选择便于操作且不影响塔体稳定性的点位。设计时需考虑扒砂口大小与内部通道的对应关系，确保砂料能顺利流出。开口边缘需进行圆角处理，防止锐角划伤作业人员或工具。内部珠光砂堆积状态的

判断方法可通过监测不同区域的温度变化差异，推测隔热层可能出现的沉降或空洞。观察塔体外部结霜情况也能辅助判断，异常结霜部位往往对应珠光砂失效区域。结合设备运行时的振动反馈，能更精准锁定堆积异常的位置。检测周期需与设备运行周期相适配，便于及时发现问题。精准定位工具的技术特性体现在具备适应塔体曲面的接触端，能在不损伤外层保温层的前提下深入夹层内部。工具需带有导向功能，可沿预设路径移动，准确到达目标区域。工具操作端设有缓冲装置，接触塔体时可减轻冲击力。操作时工具移动速度需均匀，避免因突然变速影响定位精度。工具使用后需及时清理表面残留砂粒，防止部件磨损。工具存放时需避免接触腐蚀性物质，延长使用寿命。

2.2 扒砂过程控制技术

砂流速度的调节方式需通过改变扒砂口开启程度实现，根据砂料流动状态缓慢调整开口大小，防止砂料拥堵或流速过快冲击冷箱内部塔器及管道。在砂料流动不畅时，可采用轻柔搅动的方式疏导，避免强硬冲击引发颗粒挤压结块。搅动工具需采用柔性材质，减少对塔体内部的刮擦。塔内压力与温度的协同控制要求在扒砂过程中保持压力稳定，避免因压力波动导致珠光砂颗粒飞溅。温度需维持在合理区间，防止过低温度造成人员冻伤^[2]。压力调节需通过专用阀门缓慢进行，温度则依靠外部保温措施保持稳定。阀门调节时需留意指针变化，避免过度操作。保温措施需覆盖塔体关键部位，减少热量交换。避免设备损伤的操作规范包括禁止使用硬质工具直接敲击塔体内壁，作业时保持工具与金属表面的适当距离。操作过程中需实时观察塔体振动情况，发现异常立即停止作业。对塔体易损部位需预先设置防护垫，减少工具意外触碰造成的伤害。

2.3 珠光砂处理技术

扒出砂料的暂存与筛选工艺需使用防雨防潮编织袋存放，防止颗粒飘散。砂需重复利用时，筛选需采用多层滤网分级过滤。滤网需定期清理，避免堵塞影响筛选效率。暂存物料需放置在平整地面，做好防雨防潮措施，同时需将物料放置在托盘上，防止物料直接与地面接触受潮或被雨水浸泡，珠光砂包装袋需扎紧，防止粉尘外溢污染环境。可回收砂料的净化处理方法，包括通过风选去除轻质粉尘，再经干燥处理降低含水量，恢复其隔热性能。处理后的砂料需经过松散度检查，符合要求方可重新使用。干燥过程需控制环境湿度，避免砂料再次吸收水分。干燥设备需放置在通风良好的区域，便于水汽排出。废弃砂料的环保处置方式需采用密封袋封

装，运输至指定处置场所进行固化处理，防止颗粒渗入土壤或进入大气环境。处置过程需避免砂料与其他废弃物混合，保持单独存放。封装前需检查袋子密封性，防止运输中出现破损污染环境。

3 定点扒砂工艺的流程设计

3.1 前期准备阶段

分馏塔系统停运与隔离步骤需先逐步降低运行负荷后，将设备、管道液体排尽，然后逐步让设备复温。用阀门切断与其他设备连接的管道，在连接部位设置隔离装置，防止介质残留泄漏。复温过程中需定期查看塔体温度变化，避免复温速度过快产生结构应力。介质复温至适宜温度前，需排出设备及管道内部的残留液体，排放液体时需通过专用管道引至指定容器加温汽化，避免随意流淌。安全防护措施的部署要点包括在作业区域周边设置防护栏，划分明确的操作范围。为作业人员配备防冻手套和防护面罩，避免直接接触低温部件或飞溅的砂料。作业区域通风需保持良好，防止粉尘积聚。在入口处放置应急用品，便于应对突发情况。地面需铺设防滑垫，防止作业人员滑倒。防护栏上需悬挂醒目的警示标识，提醒非作业人员勿入。工具设备的检查与调试流程需逐一查看扒砂工具的连接部位是否牢固，移动部件是否灵活。调试控制阀门的开关性能，确保能精准调节。对监测仪器进行试运行，确认显示功能正常。检查设备供电线路是否完好，避免因线路问题影响作业。

3.2 实施阶段

定位点确认与标记流程需结合前期检测结果，在冷箱表面确定扒砂位置。使用专用标记笔做出清晰记号，标记范围需覆盖整个待处理区域。标记完成后再次核对位置与内部结构的对应关系。核对时需参照管道布置图、设备布置图及塔体结构图，确保标记点与内部夹层位置准确对应。如需多处分层扒砂时操作顺序设计需从上层区域开始，逐层向下推进。每层扒砂量需根据砂料堆积厚度确定，完成一层清理后再进行下一层作业。相邻区域的扒砂需保持衔接，避免出现遗漏的死角。每层作业结束后，需清理边缘残留的砂料。清理时需使用软质工具，避免刮伤管道和塔体表面。实时监测与异常处理机制要求安排专人观察砂料流动状态和塔体表面温度变化。发现砂料堵塞时，采用专用工具缓慢疏通。若出现异常振动，立即停止作业，检查原因并妥善处理后再继续。监测人员需记录各项数据变化，为后续操作提供参考。

3.3 后期恢复阶段

塔内清洁与检查步骤需使用压缩空气吹扫夹层内

部,清除残留的细小砂粒。检查塔体内部构件和管道、仪表有无损伤,重点查看焊接部位是否完好。清理扒砂口周边的杂物,确保密封面平整。检查过程中需留意角落部位,防止残留砂料影响后续作业。吹扫方向需从内向外,避免粉尘向其他区域扩散。珠光砂回填的工艺要求需从底部开始逐步填充,填充过程中需不时轻敲冷箱外部,促进砂料均匀堆积。回填至指定高度后,需静置一段时间,让砂料自然沉降稳定。填充时需控制速度,避免砂料堆积过密影响隔热效果^[3]。系统重启前的调试流程需先开启部分阀门,缓慢恢复塔内压力。检查各连接部位的密封性能,确认无泄漏后,逐步提升温度至运行要求。调试过程中密切关注设备运行声音,确保无异常响动。压力恢复过程中需多次检查阀门状态,防止出现异常启闭。升温过程需均匀平稳,避免局部温度骤升引发部件变形。

4 工艺实施中的技术难点与应对思路

4.1 复杂塔体结构下的定点精准度保障

分馏塔内部塔器、管道、仪表及各类支撑件错综复杂,这些部件和设备会遮挡夹层空间,导致部分区域难以直接观测。塔体曲面和不规则拐角增加了外部定位与内部实际位置的对应难度,容易出现定位偏差。焊接接缝处的凸起可能改变内部空间形态,进一步干扰定位准确性。大部分冷箱存在内部管线穿行,这些管线与夹层的交叉部位更难准确定位。应对思路需结合管道三维结构模型,在关键部位设置虚拟定位点,通过外部标记与内部结构特征的比对校准位置。采用可弯曲的探测工具,深入夹层内部接触砂层,根据反馈的阻力变化判断实际堆积状态。在塔体不同高度设置辅助参照点,通过多点联动验证提升定位准确性。操作时需反复核对外部标记与内部探测结果,确保两者匹配一致。探测工具进入夹层后,需缓慢移动,避免触碰内部构件导致方向偏移。工具末端可加装柔性接触头,减少对内部结构的刮擦。

4.2 扒砂过程中塔体及管道变形的预防措施

扒砂时砂料流动会对塔体及内部管道产生侧向冲击力,长期作用可能导致薄弱部件发生轻微形变。局部砂料快速移除后,原有受力平衡被打破,塔体可能向空置区域倾斜。材质较薄的塔体部位在受力不均时,表面可能出现凹陷。塔体与基础连接的部位若受力变化,可能影响整体稳定性。预防措施需控制单次扒砂量,每次清

理后暂停一段时间,让塔体应力缓慢释放。在扒砂口周边设置临时支撑装置,增强局部结构强度。按照对称顺序进行多点作业,避免单侧受力过大。实时监测塔体垂直度变化,发现微小偏移时及时调整作业顺序。支撑装置需与塔体表面紧密贴合,分散局部受力。支撑装置的材质需与塔体相近,避免因热胀冷缩系数不同产生额外应力。

4.3 低温环境对扒砂设备性能的影响及应对

低温会使扒砂设备金属部件韧性下降,活动关节容易出现卡顿。密封材料在低温下可能硬化收缩,导致设备连接处出现缝隙,影响操作稳定性;设备线路在低温下可能变脆,频繁弯曲易出现断裂;低温还可能使设备控制面板反应迟缓,影响操作指令传递,因此需选用适合的耐低温材质制作核心部件,减少温度变化对结构强度的影响。活动部位涂抹专用低温润滑剂,保持运动灵活;还可以在设备外部加装隔热护套,减缓温度传递速度。定期检查密封部位状态,发现硬化迹象及时更换适配的密封件。操作前对设备进行预冷处理,让部件逐渐适应低温环境,避免突然接触低温引发设备异常。作业间隙时可将设备放置在保温箱内,防止温度过度下降,线路外部需包裹防冻套管,减少低温对其性能的影响。

结束语

定点扒砂工艺在空分装置分馏塔维护中展现出显著优势,通过精准定位与局部清理,有效保护了冷箱本体及内部设备、管道的原始结构,提升了作业效率与安全性,同时节省了维护时间和维护成本,避免了过多的资源浪费。面对当前各种复杂的冷箱布局、塔器的变形风险及所处的低温环境,该新颖的施工工艺通过技术变革与细致操作,实现了高效、安全的扒砂作业。未来,随着我国空分技术不断的创新,相信定点扒砂工艺也会进一步成熟和完善,届时也将为空分装置的稳定运行提供更强的保障。

参考文献

- [1]周欣海,俞卓玮,孟祥柏.空分设备分馏塔冷箱安全问题探讨[J].冶金动力,2023(03):42-46.
- [2]范思廷.降低分馏塔顶循环系统压降的措施[J].化工技术与开发,2022,51(11):73-75.
- [3]刘荣,张华.渣油加氢装置分馏单元塔顶系统腐蚀分析与防护[J].炼油技术与工程,2025,55(6):51-54,64.