

脱硫剂还原装置在化工工程中的应用及经济效益分析

朱树镇 吴立剑 闫永 (山东鲁北企业集团总公司, 山东 滨州 251909)

摘要: 本文主要围绕脱硫剂还原装置在化工工程领域的应用展开探讨, 先阐述了脱硫剂还原装置的基本概念, 接着详细剖析其工作原理, 从吸附、反应以及再生等进行分析, 对该装置在化工工程中的应用展开多维度分析, 涉及石油炼制、煤化工、天然气净化等方面。研究得出, 脱硫剂还原装置在提高脱硫效率、降低生产成本以及减少环境污染等方面具有关键作用, 能为化工工程的绿色、可持续发展提供支撑。脱硫剂还原装置在化工工程中具有显著的经济效益, 从降低生产成本、增加生产效益、环保效益转化以及资源回收利用等多个方面为企业带来积极影响。

关键词: 脱硫剂; 还原装置; 化工工程; 经济效益

中图分类号: TQ545 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 014-0052-03

Application and Economic Benefit Analysis of Desulfurizer Reduction Units in Chemical Engineering

Zhu Shuzhen, Wu Lijian, Yan Yong (Shandong Lubei Enterprise Group General Company, Binzhou Shandong 251909, China)

Abstract: This paper focuses on the application of desulfurizer reduction units in the field of chemical engineering. It begins by explaining the basic concept of desulfurizer reduction units, followed by a detailed analysis of their working principles, including adsorption, reaction, and regeneration. The application of these units in chemical engineering is explored from multiple dimensions, covering areas such as petroleum refining, coal chemical industry, and natural gas purification. The study concludes that desulfurizer reduction units play a crucial role in improving desulfurization efficiency, reducing production costs, and minimizing environmental pollution, thereby supporting the green and sustainable development of chemical engineering. Additionally, desulfurizer reduction units demonstrate significant economic benefits in chemical engineering, positively impacting enterprises by lowering production costs, increasing production efficiency, converting environmental benefits, and promoting resource recycling.

Keywords: desulfurizer; reduction unit; chemical engineering; economic benefits

在化工工程领域中, 由于环保要求变得越来越严格, 且人们对于产品质量提出更高的要求, 脱硫工艺就成为关键的环节。脱硫剂还原装置能有效地将各类化工原料以及产物中的硫元素脱除, 实现资源的清洁利用目标。脱硫剂还原装置通过高效的脱硫反应, 大幅降低二氧化硫等污染物的排放。然而, 其价值远不止于环保层面。从经济角度深入剖析, 脱硫剂还原装置对化工企业的成本控制、生产效益提升、资源回收利用等方面均产生着深远影响, 与企业的经济效益紧密相连。

1 脱硫剂还原装置概述

脱硫剂还原装置是一种用于脱除化工原料或产物中硫元素的设备, 同时它还能对脱硫剂进行还原再生, 使其可以循环利用。该装置一般由反应塔、再生系统、换热装置、控制系统等多个部分构成, 反应塔是脱硫反应发生的核心, 含硫气体或液体在其中会与脱硫剂充分接触, 发生脱硫反应; 再生系统的作用是将吸附了硫的脱硫剂进行还原处理, 让它恢复脱硫活性, 可以再次投入使用, 这能提高脱硫剂的利用率, 降低生

产成本; 换热装置可以回收反应过程中的热量, 以此实现能量的合理利用, 降低能耗, 控制系统能实时监测并调控装置的各项运行参数, 确保装置稳定、高效地运行。该装置根据不同的化工生产需求以及工艺特点, 在结构设计、操作条件等方面会存在差异, 但其核心目的都是借助物理或化学方法来实现硫的高效脱除以及脱硫剂的循环利用, 以此确保化工生产的顺利开展以及环境友好性。

2 脱硫剂还原装置的工作原理

2.1 吸附原理

在脱硫剂还原装置运行时, 吸附是脱硫起始的关键。以物理吸附为例, 它是基于分子间范德华力的作用, 当含硫气体或液体和脱硫剂相接触时, 硫分子在范德华力作用下, 被吸附于脱硫剂的表面, 脱硫剂一般有较大的比表面积以及丰富的孔隙结构, 这为物理吸附创造了有利条件, 如活性炭基脱硫剂, 其发达的孔隙结构能大量捕获硫分子, 让含硫物质在孔隙里面聚集。化学吸附涉及化学反应, 脱硫剂与硫产生化学键合, 如金属氧化物脱硫剂, 以氧化锌为例, 氧化锌与硫化

氢发生化学反应生成硫化锌和水，借助这种化学吸附作用将硫固定在脱硫剂表面。化学吸附具有较高的选择性和吸附强度，能更有效地脱除特定形态的硫。

2.2 反应原理

脱硫反应是脱硫剂还原装置运作的关键部分，在不同的脱硫反应中，酸碱中和反应属于常见的一种类型。例如，运用氢氧化钠溶液这样的碱性脱硫剂去脱除酸性含硫气体二氧化硫，二氧化硫会和氢氧化钠发生酸碱中和反应，生成亚硫酸钠以及水，此种反应的速度相对较快，能高效地脱除掉酸性硫气体。氧化还原反应在脱硫过程中也有着广泛的运用，以湿式氧化法脱硫为例，借助氧化态的脱硫剂将硫化氢氧化成为单质硫，在这个过程中，脱硫剂中的活性成分会被还原，之后借助空气等氧化剂来实现再生，如在改良ADA法中，脱硫剂蒽醌二磺酸钠也就是ADA会将硫化氢氧化为单质硫，自身被还原成为氢蒽醌二磺酸钠，再借助空气中的氧气将它氧化回ADA，以此达到脱硫剂的循环使用。

2.3 再生原理

脱硫剂的再生是确保脱硫剂还原装置能持续稳定运行的关键，热再生是其中一种常见的再生方式，对于部分吸附了硫的物理吸附剂或借助可逆化学反应来附硫的脱硫剂而言，可以借助加热方式，让其吸附的硫发生脱附现象或进行逆向反应，如活性炭吸附硫后，在高温且有惰性气体保护的环境下进行加热，硫会以气态的形式被脱除，活性炭实现再生，这种方式适用于热稳定性相对较好的脱硫剂。化学再生则是借助化学反应，促进脱硫剂恢复活性，如采用氧化法对被硫化的金属氧化物脱硫剂进行再生，将处于硫化态的脱硫剂暴露在空气中，在特定的温度以及催化剂的作用下，硫化物会被氧化成为金属氧化物与二氧化硫，二氧化硫还可以被回收加以利用；生物再生是一种创新的再生方法，是利用微生物的代谢作用促进脱硫剂再生，某些细菌可以在特定条件下，将硫化物氧化为单质硫或硫酸盐，自身获取能量，实现脱硫剂的再生，这种方法具有能耗低、对环境友好等优点。

3 脱硫剂还原装置在化工工程中的应用分析

3.1 在石油炼制中的应用

在石油炼制时，原油一般含有一定量的硫化合物，这些硫化合物在加工中会导致诸多不良后果，如腐蚀设备、影响催化剂活性以及使油品质量降低。脱硫剂还原装置在石油炼制多个环节具有关键作用，在常减压蒸馏前采用预脱硫工艺，借助脱硫剂还原装置去除原油部分硫，能减轻后续加工设备腐蚀风险。而在催化裂化装置中，原料油中的硫会让催化剂中毒失活，

进料前用脱硫剂还原装置做脱硫预处理，能有效保护催化剂，提升催化裂化反应效率与产品质量。对于生产清洁燃料的加氢精制工艺而言，脱硫剂还原装置必不可少，它能将油品中的硫醇、硫醚、噻吩等有机硫化合物在氢气与催化剂作用下转化成硫化氢脱除，以此达到越发严格油品硫含量标准，产出符合环保要求的清洁汽油、柴油等产品。

3.2 在煤化工中的应用

煤化工作为煤炭清洁高效利用的关键路径，脱硫剂还原装置在整个流程中占据着关键位置。煤气作为煤化工的核心工艺，在其运行过程中所产生的合成气内，含有诸多如硫化氢之类的含硫气体，如果不实施脱硫处理，会对后续设备造成腐蚀，还会对合成气的利用产生影响，如在用于合成氨、甲醇等产品时，会导致催化剂中毒。脱硫剂还原装置可以运用湿法脱硫或干法脱硫工艺来对合成气开展脱硫操作，在湿法脱硫中，常用的有氨水法、醇胺法等，借助脱硫剂与硫化氢发生化学反应将其去除，脱硫剂经过再生后可以循环使用；干法脱硫大多采用氧化锌、氧化铁等脱硫剂，借助化学吸附原理来脱除硫化氢。在煤制油过程中，原料煤中的硫会转移至油品中，对油品质量产生影响，脱硫剂还原装置在煤制油的加氢提质环节，能有效地脱除油品中的硫，提升煤制油产品的质量，使其达到与石油基油品相近的质量标准。

3.3 在天然气净化中的应用

天然气是一种清洁且高效的能源，在整个能源结构中所占的比例持续上升。但天然气中大多含有硫化氢、硫醇等含硫的杂质，这些杂质具有腐蚀性，燃烧时还会产生二氧化硫，污染环境。脱硫剂还原装置作为天然气净化的关键设备，在天然气开采井口处，一般会设置小型的脱硫剂还原装置，对刚开采出来的天然气进行初步脱硫处理，以此防止含硫气体对井口设备以及输送管道造成腐蚀。在天然气处理厂，根据天然气中硫含量以及组成的差异，会采用不同类型的脱硫剂还原装置，对于高含硫的天然气，大多采用醇胺法脱硫，借助醇胺溶液与硫化氢等酸性气体发生化学反应来进行吸收，吸收后的富液经过再生塔再生，能释放出硫化氢并回收硫黄，醇胺溶液得以循环使用。

3.4 在精细化工中的应用

精细化工产品具有高附加值、小批量且多品种的特性，对于原料以及产品的纯度具有极高的要求。脱硫剂还原装置在精细化工生产中发挥着脱除原料中微量硫杂质的作用，以此保障产品质量。例如，在医药中间体合成过程中，原料中的硫杂质有可能对反应的选择性以及收率产生影响，甚至导致产品质量不符合

标准。借助高精度的脱硫剂还原装置，能将原料中的硫含量降低到 ppm 级甚至更低，确保合成反应顺利开展以及产品的纯度；在香料、染料等精细化工产品生产时，硫杂质的存在会对产品色泽、气味等品质指标造成影响，脱硫剂还原装置借助精确脱硫，能提升原料的纯度，提高精细化工产品的质量以及市场竞争力。

3.5 在废气处理中的应用

化工工程生产期间会产生大量含硫废气，如果缺乏有效的处理措施，会对大气环境带来严重的污染。脱硫剂还原装置在废气处理中具有关键作用，针对大型化工企业的锅炉烟气脱硫而言，经常会用到的脱硫剂还原装置采用的是石灰石-石膏法，将石灰石粉制作成浆液当作脱硫剂，让其与含硫烟气在吸收塔内部展开接触反应，二氧化硫被吸收后生成亚硫酸钙，接着借助氧化空气将它氧化成硫酸钙，也就是石膏，以此实现脱硫目标，脱硫剂可以循环使用。对于冶炼行业所产生的含有高浓度二氧化硫的废气，可以采用双碱法脱硫，先使用氢氧化钠溶液吸收二氧化硫，生成亚硫酸钠，再利用石灰乳将亚硫酸钠再生为氢氧化钠，生成亚硫酸钙沉淀，实现脱硫剂的循环以及硫资源的回收。

4 脱硫剂还原装置在化工工程中的经济效益分析

4.1 降低生产成本

脱硫剂还原装置能提升脱硫剂的利用率，降低能耗以及设备维护成本，削减化工企业的生产成本，该装置能使脱硫剂充分进行反应，减少浪费现象，降低采购开支。借助采用节能设备以及优化系统，降低电力等能源的消耗，利用优质材料并进行合理设计，减少设备维修的频次以及费用。以某化工企业为例，在使用新装置后，脱硫剂的用量降低了 20%，年电力消耗减少了 50 万千瓦时，设备维修次数从 5 次减少到了 2 次，每年节省脱硫剂采购费 20 万元、电费 30 万元以及设备维护费 15 万元，

4.2 增加生产效益

脱硫剂还原装置能保障化工生产的连续稳定，提升生产效率以及产品质量。其稳定的脱硫效果能避免设备因为硫腐蚀、堵塞而导致停机，增加生产时长。某炼油厂升级装置后，年运行时长从 7000 小时增加至 7500 小时，按照每小时产值 2 万元来计算，年增效益 1000 万元，脱硫彻底能提高产品纯度，契合高端市场的需求，提升产品售价，如某企业脱硫后产品纯度提高，每吨售价上涨 500 元，年产量 5 万吨，年增销售收入 2500 万元。

4.3 环保效益转化为经济效益

脱硫剂还原装置能帮助企业避免环保罚款、获取

政策补贴以及提升企业形象开拓市场，在严格的环保监管下，超标排放的罚款高昂，该装置能保证排放达标，避免经济损失。某企业曾经因为脱硫不达标被罚款 100 万元，更换装置后避免了后续的罚款，部分地区对环保改造企业给予补贴，某企业获得了 50 万元补贴。良好的环保表现能提升企业形象，吸引更多的合作机会，如某企业凭借出色的脱硫措施与跨国企业合作，年新增订单 500 万元，

4.4 资源回收利用效益

脱硫剂还原装置能实现资源回收利用，创造额外的效益，脱硫所产生的副产物如石膏可以用于建筑材料，某电厂每年生产 5 万吨石膏，经过加工后每吨售价 200 元，年获收入 1000 万元。部分装置能循环利用脱硫剂，降低新脱硫剂的采购成本，某企业装置实现了 80% 的脱硫剂循环利用，年节省采购费 80 万元。

5 结论

综上所述，脱硫剂还原装置在化工工程中具有关键且不可替代的作用，如石油炼制、煤化工、天然气净化、精细化工以及废气处理等领域，均需要依靠它来达到高效脱硫以及资源的清洁利用。深度剖析其工作原理，包含吸附、反应以及再生原理等，便能对装置性能给予优化，提升脱硫效果。在应用过程中，脱硫剂还原装置在不同化工领域呈现出各自的特点与优势，能解决含硫物质引发的设备腐蚀、产品质量降低、环境污染等问题，同时在降低生产成本方面具有明显的成效。

参考文献：

- [1] 赵晓玲, 刘宗社, 李超群, 范锐, 伍申怀, 雷恒, 刘志华, 蓝家文. 复合金属氧化物固体脱硫剂对烟气脱硫反应性能的研究 [J]. 石油与天然气化工, 2024, 53(05):163-168.
- [2] 管泽坤, 赵亭, 张雨, 柳云骐. 反应吸附脱硫催化剂的研究进展 [J]. 石油学报(石油加工), 2024, 40(06):1564-1575.
- [3] 赵勇, 王小雄, 张媛, 王树勋. 干法烟气脱硫吸附剂的研究进展 [J]. 环境工程, 1-5.
- [4] 宋文娟. 化工工程中脱硫剂还原装置研究 [J]. 石化技术, 2024, 31(08):39-40+82.
- [5] 陈祥伟, 郭继香, 王立, 罗俊杰, 宋瀚轩, 高晨豪. 天然气湿法脱硫剂的研究进展 [J]. 现代化工, 2024, 44(09):40-45.

作者简介：

朱树镇 (1989-)，男，汉族，山东省无棣县人，本科，助理工程师、初级会计师，研究方向为化工工程。