

阻垢剂在化工企业的应用及经济性分析

刘蔚然（山东水长清环保科技股份有限公司，山东 潍坊 262700）

摘要：化工企业为国民经济发展提供了重要基础原材料和中间体，为推动我国工业经济发展作出了重要贡献。但是，化工企业运行过程中，冷却水系统、锅炉系统及反应釜等化工设备容易出现水垢。化工设备结垢容易影响化工设备的工作效率和使用寿命，从而增加化工企业的生产成本、降低企业的经济效益。本文从阻垢剂概述、阻垢剂在化工企业的应用技术研究、阻垢剂在化工企业应用案例及经济性分析和阻垢剂在化工企业应用的发展前景等方面进行了论述，为化工企业合理使用阻垢剂提供了参考和借鉴。

关键词：阻垢剂；化工企业；循环冷却水；锅炉；反应釜；经济性分析

中图分类号：TQ317 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 022-0061-03

Application and Economic Analysis of Scale Inhibitors in Chemical Enterprises

Liu Weiran (Shandong Shuichangq Environmental Protection Technology Co., Ltd. Weifang Shandong 262700, China)

Abstract: Chemical enterprises provide important basic raw materials and intermediates for the development of the national economy, and have made important contributions to the promotion of China's industrial economic development. However, in the operation process of chemical enterprises, cooling water systems, boiler systems and reactors and other chemical equipment are prone to scaling. The scaling of chemical easily affects the working efficiency and service life of chemical equipment, thereby increasing the production cost of chemical enterprises and reducing the economic benefits of enterprises. This paper describes the scaling inhibitor overview, the application technology research of scaling inhibitor in chemical enterprises, the application case and economic analysis of scaling inhibitor in chemical enterprises, and the development prospects of scaling inhibitor in enterprises, etc., which provides reference and reference for the rational use of scaling inhibitors in chemical enterprises.

Keywords: Scale inhibitor; Chemical enterprise; Recirculating cooling; Boiler; Reactor; Economic analysis.

在化工企业的生产运行过程中，化工设备结垢是一个普遍存在且具有重要危害的现象。化工设备结垢后会严重影响热交换效率、降低流体输送能力、增加设备腐蚀风险，并且水垢的产生会大大缩短化工设备的使用寿命，不仅大大增加了化工企业的运行成本，也对化工企业的经济效益带来了较大影响。阻垢剂作为一种有效的化学药剂，能够有效解决化工企业设备结垢问题，从而有效的优化化工企业生产流程、降低企业运行成本并提高企业综合效益。

1 阻垢剂概述

阻垢剂是一种具有能分散水中的难溶性无机盐、阻止或干扰难溶性无机盐在金属表面的沉淀、结垢功能，并维持金属设备有良好传热效果的一类药剂。通俗的讲，凡能控制产生泥垢和水垢的药剂称之为阻垢剂。^[1] 阻垢剂可大致分为无机阻垢剂和有机阻垢剂。其中，无机阻垢剂包括聚磷酸盐类阻垢剂和磷酸盐类阻垢剂，有机阻垢剂包括羧酸类阻垢剂、磺酸类阻垢剂和膦酸类阻垢剂。

在实际工作中，阻垢剂主要阻垢机理有静电斥力与分散、晶格畸变、络合增溶等方式实现阻垢效果。比如，阻垢剂分子可以吸附在成垢粒子的表面，使成

垢粒子之间产生静电斥力或者空间位阻效应；碳酸钙、硫酸钙等结垢物质具有特定的晶体结构，阻垢剂能够吸附到正在形成的晶体表面，从而改变晶体生长的晶格结构，使晶体无法按照正常的方式生长和聚集，实现阻垢效果；乙二胺四乙酸（EDTA）及其衍生物等阻垢剂进入水体后与成垢离子碰撞络合形成稳定的螯合物，使部分成垢离子能较为稳定地存在于介质中，从而进一步减缓沉淀产生速度。阻垢剂络合增溶阻垢机理如图1所示。

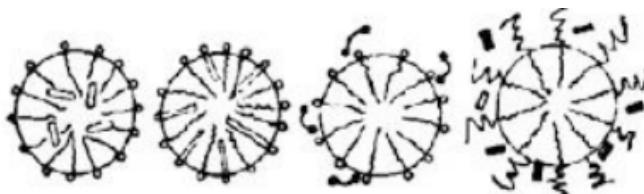


图 1 阻垢剂络合增溶阻垢机理图

2 阻垢剂在化工企业的应用技术研究

2.1 阻垢剂在循环冷却水系统中的应用

化工企业在生产过程中，需要产生大量的冷却水对设备进行冷却。这些冷却水通过循环冷却水系统，给化工企业生产设备的正常运行提供了重要保障。

比如：用于反应釜的冷却。在众多化工反应过程中，氧化反应、聚合反应等许多反应是放热反应，这些反应释放出的热量如果不及时消除，会导致反应温度过高影响化工企业正常生产；由于机械运转、物料的处理等多种因素导致化工设备在运行过程中会产生热量，如果温度过高，会影响设备的性能，缩短设备的使用寿命，甚至可能引发设备故障。冷却水在设备的冷却系统中循环，可带走多余热量，确保设备的稳定运行；在一些对温度敏感的化工合成过程中，冷却水能够起到精确调节温度的作用，确保化工合成反应条件符合要求。

在循环冷却水不断循环使用的过程中，由于水分蒸发、水温变化等因素，致使形成碳酸钙、碳酸镁等水垢，这些水垢会附着在换热器的管壁上，轻则降低换热器传热效率，重则使换热器堵塞，影响换热器的使用寿命。^[2]据有关部门统计，水垢厚度每增加1mm，热交换效率就会降低约5%至10%。化工企业通过将阻垢剂添加到锅炉水中，可有效的通过阻垢剂与水样中离子的作用，减少水垢的产生，大大提高锅炉使用的安全性。^[3]

2.2 阻垢剂在锅炉水系统中的应用

在化工企业中，动力系统对化工企业的生产运作至关重要。锅炉作为化工企业的重要动力设备，对锅炉用水的水质要求非常高。在锅炉系统运行过程中，锅炉水中的杂质在高温、压力、蒸汽浓缩的情况下会产生多种物理、化学反应生成杂质在锅炉内壁形成水垢和腐蚀产物。^[4]由于水垢的导热系数远低于金属，所以大量水垢的产生会导致锅炉的受热不均匀，加大燃料的消耗。

并且，水垢的长期积累会给锅炉系统带来较大的腐蚀破坏，严重影响锅炉的使用寿命、加大了锅炉系统的安全故障或事故发生概率。通过将氢氧化钠、碳酸钠等碱性阻垢剂添加在锅炉水中，可对锅炉水的pH值进行有效调节，使水中的镁、钙等离子形成疏松沉淀物，通过排污系统排出锅炉，从而大大减少水垢的产生，提高锅炉使用的安全性。^[5]

2.3 阻垢剂在化工反应釜中的应用

反应釜是化工反应的重要设备装置，化工反应釜内一旦形成水垢，会给化工反应效果带来不良影响。特别是在一些有机合成反应中，化工反应过程中容易生成高沸点有机物，这些有机物在化工反应釜壁上逐渐沉积形成水垢层。

此外，在一些聚合反应中，没有反应完全的低聚物也可能在反应釜壁上形成水垢。在反应釜中使用的阻垢剂需要确保阻垢剂不能干扰反应釜内物质的正常

反应进程，不能与反应物发生反应，不影响反应釜内反应物反应的选择性和转化率。

3 阻垢剂在化工企业应用案例及经济性分析

3.1 典型案例分析

在石油化工生产过程中，在原油开采、炼制和加工等环节，成垢离子的存在会对设备运行效率造成显著影响。比如，在注入水与地层水混合后，其中的钙、镁、硫酸根等离子容易发生化学反应，在油井套管、油管及地层孔隙中形成碳酸钙、硫酸钡等坚硬垢层，这些垢层会严重影响石油开采的整体经济效益。为解决结垢问题，某石油化工企业引入了一种专门适用于油藏环境的高效阻垢剂。这种阻垢剂具有较好的耐温、耐盐和抗剪切性能，能够在复杂的地下环境中保持稳定活性，并具备良好的兼容性，不会对地层岩石或储层流体产生危害。在使用阻垢剂后，油井的注水压力保持稳定，没有出现因结垢导致的注水压力急剧上升的情况。并且，油井产量有了一定幅度上升，炼油质量也得到了提升。

山东某化肥和化工原料生产企业，在进行阻垢剂合理使用后，企业经济效益得到了大幅提升。在该企业的生产流程中，水冷却系统是维持生产设备正常运行温度的重要环节。但是，由于该企业成立时间比较早，冷却系统已经使用多年，面临较为严重的结垢问题。由于垢层在换热器表面、管道内壁不断积累，导致换热器的换热效率降低。

经过企业技术人员化验，该结垢物质主要为碳酸钙、硫酸钙。为了解决这一问题，该化工企业引进了一款高品质的阻垢剂，经过5个月的运行，使得换热器的换热效率由每月下降3%~5%缩小到了5个月一共下降了1%，节能增效效果特别明显。

此外，该企业的蒸发结晶设备的加热管道同样容易结垢，这不仅影响了传热效果，还会很大程度的增加了设备的能耗。在使用阻垢剂后，溶液中的钙、镁等离子被有效的分散和螯合，有效的阻止了它们形成垢层沉积在管道表面，大大缩减了因设备结垢问题导致的设备停机时间，提高了设备的运行稳定性和可靠性。

3.2 阻垢剂在化工企业应用的经济效益分析

化工企业反应釜、循环水系统、锅炉系统等相关系统及设备装置，在使用阻垢剂后，设备装置表面结垢现象大幅减轻，热交换效率和流体输送能力显著增强。比如，在化工企业循环冷却水系统中使用阻垢剂可使热交换设备的热交换效率提高，减少加热设备的能源消耗，能源采购成本大幅降低；阻垢剂在化工企业应用后，使得化工企业生产设备结垢和腐蚀程度大

幅降低，设备使用寿命得到了延长。设备使用寿命延长，将会大大降低了企业设备更新换代的成本，提高了企业生产效益。

实践表明，结垢会加快化工设备的腐蚀和损坏速度，使用阻垢剂后，设备的结垢问题得到缓解，设备的使用寿命可延长3-5年。此外，设备如果结垢严重会导致因设备故障严重而停机，设备停机会导致生产中断，会给企业带来较大的违约损失。

通过科学合理的使用阻垢剂，大大降低了机械设备结垢的程度，减少了因结垢引起设备故障停机的次数，最大限度的保障化工企业正常生产，减少不必要的损失。虽然购买阻垢剂需要花费一定资金，但因减少水垢的形成使得化工企业生产设备寿命延长及企业运行效率得到提高带来的效益远大于购买阻垢剂的花费，所以阻垢剂的应用给化工企业带来的经济效益非常可观。

4 阻垢剂在化工企业应用的发展前景

4.1 化工企业对阻垢剂需求量将大幅增加

近年来，随着化工企业的迅速发展，化工企业生产设备的结垢问题也受到了行业内的广泛关注。化工企业的热交换设备、管道系统、锅炉系统等设备在长时间运行过程中，受水质、物料成分等多种因素的影响容易产生结垢现象。一旦化工设备结垢就会降低设备的热交换效率、增加管道阻力，并增加设备故障的发生率，影响化工企业生产的连续性和产品性能指标。合理使用阻垢剂可以很好的抑制水垢的形成，保障设备的正常运行，延长设备的使用寿命。所以，化工企业对未来对阻垢剂的需求量将逐步增加。

4.2 绿色环保型阻垢剂受到化工企业青睐

随着国家环保法规政策要求的日益严格，广大化工企业对阻垢剂的环保性能将会提出更高的要求，研发绿色环保型的阻垢剂逐渐成为新的发展趋势。基于生物基材料的阻垢剂是利用生物发酵技术制备而成，具有可生物降解、无毒、无污染等优点，能有效减少阻垢剂对环境的影响，逐渐受到广大化工企业的喜爱。东北石油大学化学化工学院的李辉、孙征楠、荆国林研发团队研究了一款绿色环保阻垢剂Ly-CCQDs。该产品主要是以无水柠檬酸、L-赖氨酸为主要原料，通过熔融缩聚法合成。

经过研究试验表明，Ly-CCQDs对钙垢生长有显著的抑制作用。有研究者利用衣康酸和2-丙烯酰胺-2-甲基丙磺酸作为功能性反应单体，对橡椀栲胶进行改性，成功制备了一种新型绿色无磷改性栲胶阻垢剂。此外，聚合物型阻垢剂和纳米复合型阻垢剂的研究也取得了新的进展，这些新型阻垢剂的研究和应用，

将大大提高化工企业的绿色化发展水平。

4.3 智能型阻垢剂成为未来发展新趋势

近年来，随着现代传感技术和智能材料的发展，智能型阻垢剂的探索正在成为阻垢剂领域的前沿研究方向之一。智能型阻垢剂的最大特点是能够根据温度、pH值、离子浓度等实际环境条件的变化自动调整其阻垢性能，可实现化工企业设备装置精准的结垢预防和控制。

此外，结合在线监测技术和远程控制系统，智能型阻垢剂还可以实现动态管理和实时优化，进一步提升工业生产的智能化水平。由于智能型阻垢剂具备独特的优势，使其在化工设备的结垢预防与控制方面发挥着不可替代的作用。智能化水平的提高，不仅减少因结垢导致的设备故障和维修成本，还能大幅提高化工生产的效率和产品质量，在化工行业的可持续发展进程中具有深远的意义。

随着阻垢剂的广泛应用，其性能评价方法也受到了行业人员的广泛关注，华北电力大学、东北电力大学的研究团队提出并研究了研制了一体化智能型阻垢剂性能的快速评定装置，实现了水处理剂阻垢性能评定的全程自动化。

5 结束语

随着国家“双碳”战略的大力推进，化工企业绿色化水平将逐步提高。阻垢剂在化工企业高质量发展中起着重要作用，可以有效解决化工设备结构的难题，为化工企业稳定生产提供保障。随着化工技术的快速发展，阻垢剂的性能也将得到持续优化，在未来化工企业发展中，阻垢剂将扮演着越来越重要的角色。

参考文献：

- [1] 佚名. 何谓阻垢剂常用的有哪些阻垢剂 [J]. 工业水处理. 2024,44(04):112.
- [2] 陈勇, 武栓义, 康维. 无磷缓蚀阻垢剂在循环冷却水处理中的应用 [J]. 清洗世界. 2016,32(04):20-24.
- [3] 刘晶晶, 郭妍欣. 不同阻垢剂在锅炉水处理中的阻垢效果研究 [J]. 山西化工. 2024,44(04):138-140.
- [4] 牛国印, 全勤俭. 新型锅炉水处理剂在锅炉运行中的应用总结 [J]. 氮肥与合成气. 2023,51(07):48-49.
- [5] 刘晶晶, 郭妍欣. 不同阻垢剂在锅炉水处理中的阻垢效果研究 [J]. 山西化工. 2024,44(04):138-140.

作者简介：

刘蔚然 (1983-)，男，汉族，山东潍坊人，毕业于山东鲁东大学，本科，研究方向：化学工程、给水处理、排水处理、工业水处理、水处理药剂研发、水处理检测等。