

# 提钒废水处理设备清垢防堵技术应用及经济效益分析

周雅平 (河钢集团承钢公司, 河北 承德 067002)

**摘要:** 针对在某化工企业工业废水处理中时输送管道容易被盐泥堵塞, 清洗过程工作十分困难, 成为严重影响正常生产的难题。本文采用了 ICP 光谱分析法对盐泥成分进行了系统分析, 根据盐泥组成成分进行了形成原因分析。设计并开发了一种新型的自清洗装置及方法, 新装置及处理方法实施后可有效解决管道堵塞问题, 设备平均作业率提升至 91%, 大大提高了提钒过程中废水处理能力, 为实际产业化应用提供了有利的技术支持, 并为企业取得良好的经济效益。

**关键词:** 工业废水; 输送管道; 盐泥; 自清洗; 生产效率; 经济效益

## 0 引言

提钒废水处理设备清垢防堵技术是指针对钒废水处理设备中产生的盐泥堵塞问题进行清除和防止堵塞的技术方法。钒废水处理设备通常会在长时间运行过程中产生污垢, 这些污垢会附着在设备表面, 导致设备的效率降低, 甚至引起设备堵塞, 影响处理效果。因此, 清垢防堵技术的应用对于提高设备的运行效率和延长设备寿命至关重要。

## 1 提钒废水处理设备使用情况

某化工厂采用铵盐作为原料生产氧化钒, 生产过程中产生了高氨氮废水, 采用汽提脱氨技术处理废水中的氨氮。目前氨回收工艺流程如图 1 所示。为防止设备内部堵塞, 需将废水中加入液碱将其 pH 调整至 10-12, 废水入脱氨塔前与出塔的高温水通过管道进入脱氨塔, 在塔内高温条件下氨气从废水中溢出, 氨气通过风机输送至吸收塔与稀硫酸混合生成硫酸铵, 脱氨后废水输送至下道工序使用。

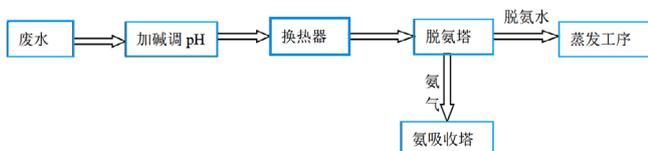


图 1 氨回收系统工艺图

生产过程中管道频繁堵塞, 堵塞物为灰白细小盐泥颗粒。为防止管道频繁堵塞, 需要精控废水 pH 值在 11-12 之间, 由于实际生产过程中产生的废水为低碱度废水, 水中 pH 值精控如下图 2 所示, 由图可以看出全年废水 pH 值精控难度较大, 因此, 大大增加了现场操作难度。同时内部堵塞物清理困难, 处理时需要拆开封头采用机械方式清理, 存在处理时间长、清理过程中导致换热管道损伤等问题, 影响脱氨塔处

理能力。本文对盐泥的成分、盐泥形成原因进行分析研究, 从减少盐泥析出及寻找防堵塞过滤装置两方面研究了如何解决管道堵塞的问题。

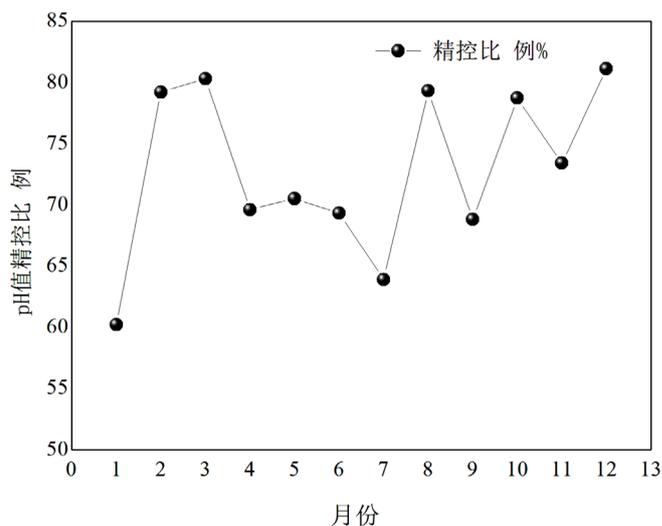


图 2 全年废水中 pH 精控比例情况

## 2 管道堵塞盐泥的成分分析

### 2.1 盐泥化验结果

管道中清理出的盐泥沉淀物为下图 3 所示, 将其进行水浸后发现, 大量胶状絮凝物存在于溶液中, 同时大量不容盐泥沉淀在容器底部。

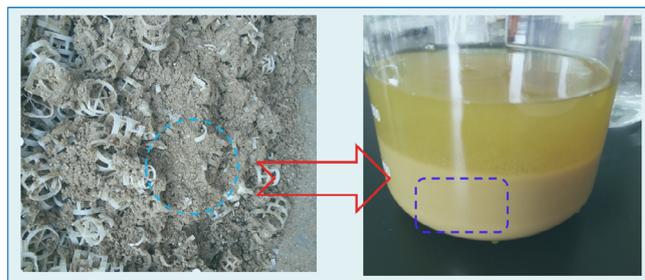


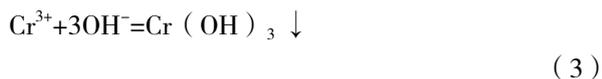
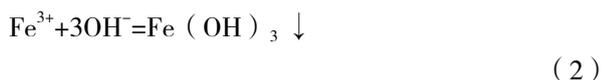
图 3 管道中残留的盐泥

采用了 ICP 光谱分析对盐泥成分进行了分析, 具体主要元素如下表 1 所示。根据元素含量计算发现  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  的含量约占盐泥成分的 40%, 剩余的成分主要元素为 Cr、Fe、Ca、Si, 这些元素基本以碱性氧化物、硫酸盐、硅酸盐等形式存在。

## 2.2 盐泥形成原因

### 2.2.1 含 Cr、Fe 元素原因分析

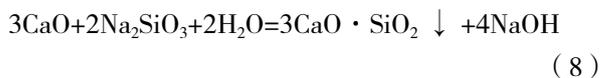
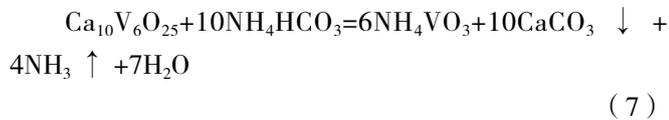
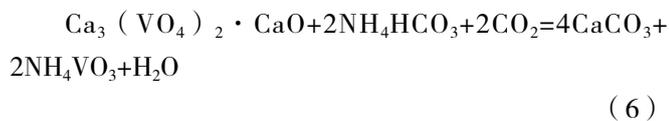
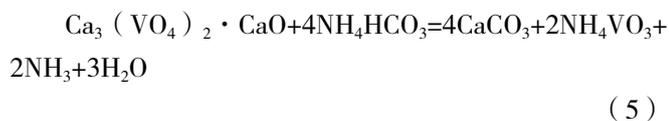
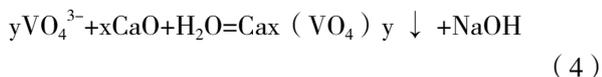
废水在预处理除钒过程中加入过量的铁盐生成钒酸铁沉淀, 部分  $\text{Fe}^{3+}$  进入氨回收工序, 在加入 NaOH 调整 pH 过程中,  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  与  $\text{OH}^-$  结合生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Cr}(\text{OH})_3$  沉淀, 废水调碱过程中有固体物质析出, 具体反应如下 (1) - (3) 式:



在含氨氮废水除铬预处理过程中, 部分含钒、铁、铬胶体未被过滤设备完全过滤而进入到脱氨工序, 该物质易于附着粗糙固体表面。

### 2.2.2 $\text{CaSiO}_3$ 成因分析

钒渣在焙烧过程中生成大量可溶性硅酸盐, 此部分硅酸盐在钒渣浸滤过程中进入到钒液中, 钒液虽经过净化处理, 但少量的  $\text{SiO}_3^{2-}$  进入水处理工序。在生产高纯氧化钒过程中, 采用钙法沉钒的工艺获得高纯钒酸铵, 主要反应如下:



因此在产业化生产过程中, 大量  $\text{Ca}^{2+}$  引入系统中, 并与系统中存在的  $\text{SiO}_3^{2-}$  结合生成  $\text{CaSiO}_3$ 。由于前道工序过滤设备滤布致密度差, 过滤效果差, 导致部分  $\text{CaSiO}_3$  进入氨回收系统, 最终也沉积在管道内。

### 2.2.3 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 成因分析

脱氨塔实际处理废水中主要可溶性盐为  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 其溶度高大 70g/L, 在处理过程中采用蒸汽作为加热源, 当管道出现堵塞停车时, 系统温度波动大, 同时由于管内废水不能完全排出, 高温条件下  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  蒸发结晶, 使得大量  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  晶体析出后堵塞, 由于管道细长且孔径细小, 这些析出盐使得管道极易堵塞。

## 3 防止管道堵塞的自清洗装置的使用及经济效益分析

### 3.1 换热装置结构

结合上述盐泥的成分分析及造成管道的堵塞原因。设计开发了一种自清洗装置和清洗方法用于生产实践, 采用自清洗方式, 能在短时间内清理管道内结晶物质, 结构详见图 4。

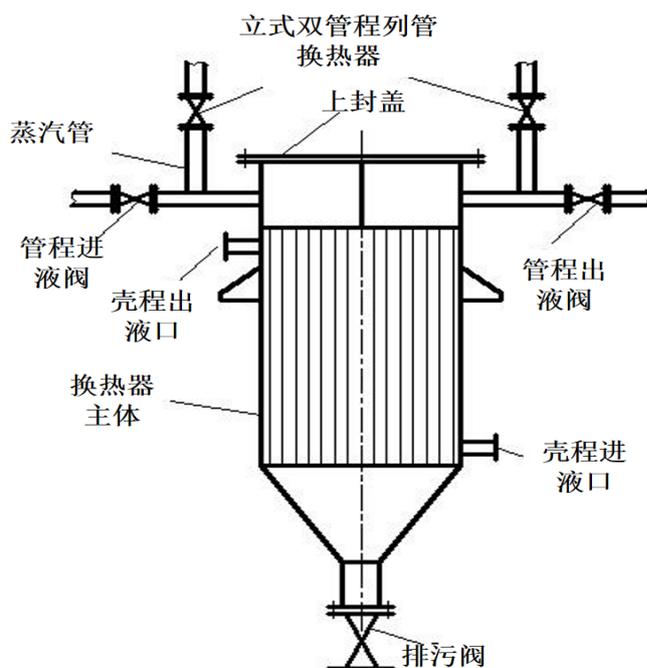


图 4 管道清洗装置

表 1 盐泥除  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  外主要化学成分

元素名称	Al	Ca	V	Cr	Fe	Si	Ti	P
含量 (%)	0.13	8.45	0.073	0.538	3.0648	10.88	0.08	0.01

### 3.2 换热装置工作过程

该换热器采用立式结构，停车后换热管内废水能够完全排出，避免了  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  晶体结晶析出。管程进液管路安装于上封头处，下部封头采用锥体式结构，运行过程中结晶物料沉降于锥体内，该结构便于排料。

正常使用过程中排污阀和蒸汽阀均处于关闭状态，而管程进液阀和管程出液阀处于打开状态，易结晶流体通过管程进液阀进入换热器管程，通过管程出液阀流出，另一种换热流体通过壳程进液口进入壳程，换热后经壳程出液口流出，每隔一段时间打开排污阀进行排污作业。

清垢过程操作：先关闭管程进液阀和管程出液阀，打开排污阀，再缓慢打开蒸汽阀，利用高压高温蒸汽将换热管内结晶物排出，检修时打开上封盖可仔细检查检查换热管。整个操作过程安全、简单，便于应用于实际工业化生产中。

### 3.3 管道自清洗装置对作业效率的影响

在采用自清洗装置前，由于大量沉淀盐和结晶盐形成的盐垢对管道的堵塞，需要经常性停车处理，通过对盐成分的分析 and 设计的专用盐垢清理装置，使用新型清理装置后，设备作业率变化明显。未进行设计优化前，设备平均作业率仅为 75%，改进后换热器作业率显著提升，平均作业率达到 91%。因此采用自主设计的盐垢清理装置可以通过物理方式将盐垢及时清除，有助于降低岗位操作的劳动强度，同时大大提升了设备作业率。

### 3.4 管道自清洗装置应用经济效益分析

钒废水处理设备清垢防堵技术涉及到能源消耗、设备维护和更换成本、生产效率和产品质量等多个方面。

#### 3.4.1 降低能耗

钒废水处理设备在运行过程中，如果出现垢垫和阻塞物的问题，会导致设备的传热效率下降，从而增加了能源消耗。清垢防堵技术可以有效清除设备内部的垢垫和阻塞物，恢复设备的正常工作状态，提高传热效率和流体流动性，从而降低能耗。

#### 3.4.2 减少设备更换和维修成本

垢垫和阻塞物的存在会导致设备的性能下降，甚至引发设备故障。采用清垢防堵技术可以及时清除这些问题，延长设备的使用寿命，减少设备更换和维修的频率和成本。

以一个钒废水处理设备为例，假设设备的购买成

本为 8 万元，预计寿命为 10 年。如果不进行清垢防堵处理，设备可能会因为垢垫和阻塞物的积累而在 5 年后失效，需要进行更换。假设设备更换的成本为 8 万元。而如果定期进行清洗和防堵处理，可以延长设备的使用寿命至 10 年，避免更换设备的成本。此外，设备的维修成本也会因垢垫和阻塞物的存在而增加。清垢防堵技术可以减少设备故障的发生，降低维修成本。

#### 3.4.3 提高生产效率

清洗设备可以恢复设备的正常工作状态，保持设备的高效运行。清除垢垫和阻塞物可以提高设备的传热效率和流体流动性，从而提高生产效率，减少生产停工时间。

以一个钒废水处理设备为例，假设设备每年的生产能力为 1000t。由于垢垫和阻塞物的存在，设备的传热效率下降了 20%，导致生产能力减少了 200t。通过清洗设备，可以恢复传热效率，使其恢复到原来的水平。同时，由于设备的正常运行，减少了生产停工时间，进一步提高了生产效率，由此生产效益得到提升。

#### 3.4.4 提升产品质量

设备内部的垢垫和阻塞物可能会对产品质量产生负面影响。清垢防堵技术可以有效清除这些问题，确保产品的质量稳定提高，为企业产品适应市场需求，开拓更为广阔的市场打下良好的基础。

## 4 结语

综上所述，钒废水处理设备清垢防堵技术的经济效益是显而易见的。通过降低能耗、减少设备更换和维修成本、提高生产效率和增加产品质量，企业可以获得可观的经济回报。然而，具体的经济效益会因不同的设备和工艺条件而有所差异。在实际应用中，需要根据具体情况进行经济分析和评估，以确定清垢防堵技术的具体经济效益。

### 参考文献：

- [1] 陈敏恒,等.化工原理下册[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 时钧,等.化工工程手册(第二版)[M].北京:化学工业出版社,1996.

### 作者简介：

周雅平(1983-),女,汉族,河北衡水人,本科,工程师,2008年毕业于河北科技大学过程装备与控制工程专业,研究方向:钒化工研究。