

### 超滤系统工艺参数优化

本技术服务公告提供 HYDRAcap®系统反洗过程的优化信息。

#### 1. 反洗程序的描述

当固体在HYDRAcap®组件的膜表面上聚积时，跨膜压差（TMP）会有相应的上升。在许多情况下，这些固体或污染物能够通过物理或化学的方法进行清除。反洗是一种去除污染物的物理或化学方法。反洗程序有多个步骤，可以只采用水的物理冲洗，也可以加化学药剂（比如，活性氯、过氧化氢、次氯酸钠和柠檬酸）或加气反洗。反洗工艺的设计对于整套系统的稳定运行至关重要。如果反洗程序的任何组成部分没有经过优化或者反洗的频率不够，跨膜压差（TMP）将会升高。跨膜压差（TMP）的增加过程在初期也许会非常慢，在一周或两周内以每周0.14bar的速度上升，但在一段时间之后，当TMP达到1.05bar后，TMP上升的速度会明显加快。为了保持系统性能和回收率的稳定，反洗程序的每一个步骤都需要优化。这些步骤包括：

	常规水反洗	加气反洗（AEB）	加药反洗（CEB）
第一步	正冲洗	正冲洗	正冲洗
第二步	顶反洗	空气加压	顶反洗（水/化学药剂）
第三步	底反洗	顶反洗	底反洗（水/化学药剂）
第四步		底反洗	浸泡
第五步			漂洗

#### 1) 空气加压

虽然将空气加压列为加气反洗程序的第一步，但延长空气接触时间没有任何好处。空气接触时间为由排空原水母管且顶端浓水母管加压到0.1MPa+ 5秒。美国海德能指定必须使用无油压缩空气。某些系统不允许使用空气，可以不采用此步骤。应该注意的是，采用空气加压的系统应该注意在系统设计中应确保不发生水锤现象。

#### 2) 正冲洗

正冲洗是指水从进水口冲洗到浓水排放口。正冲洗一般采用超滤进水，某些系统也可采用超滤产水。正冲洗的流量至少要达到每个组件 9m<sup>3</sup>/h(40gpm)，冲洗污堵的膜丝、在膜表面形成剪切力去除在膜面沉积的污染物。对于进水浊度高的系统，在运行过程中容易形成厚滤饼层，采用正冲洗步骤能有效去除滤饼层。

### 3) 顶反洗和底反洗

反洗程序中的顶反洗和底反洗是真正的反洗步骤：水从超滤的产水侧，以170-255 l/mh（100-150gfd）的水通量透过膜，到达膜的进水侧，去除膜丝内侧的颗粒污染物。顶反洗时，反洗水从上部的浓水口排放；底反洗时反洗水从底部的进水口排放。在进行加药反洗（CEB）时，顶反洗和底反洗需要开启加药泵加入相应的化学药剂，即加氯反洗（CEB1）、加碱反洗（CEB2）、加酸反洗（CEB3）。

### 4) 浸泡

为了使药剂有充分的反应时间，在加药反洗（CEB）后，需要浸泡。当污染较为严重时，可调整漂洗步骤：不直接漂洗膜内的残存的药剂，而是从上部浓水管口加入1bar的无油空气，将膜丝内侧的水从底部排放口排空。使用空气加压能使膜丝扩张2-3%，让膜内滞留的颗粒物更容易被清除。

### 5) 漂洗

加药反洗（CEB）的最后一步是漂洗，包括顶反洗和底反洗。持续时间要保证能彻底清除掉膜内残存的化学药剂。

## 2. 反洗程序优化

运行周期、反洗水量和水通量都对系统的回收率和系统的大小具有重要影响。一个理想的系统应该是高水通量、低反洗频率和反洗时的低产水用量。通过反洗程序的优化，有时会明显增加系统的运行周期、水通量和回收率。

在确定最佳反洗效率时，需要改变许多参数。最佳反洗参数可能每一个系统都不一样，本文只提供一个优化反洗程序的基本方法。如果超滤系统进行过现场试验，可采用现场试验的优化反洗参数。如果没有，可以参考美国海德能公司的超滤系统设计导则。

实现反洗优化，系统必须具备以下条件：

- A. 每个膜块中至少有一支膜组件，采用透明PVC管将给水口、产水口、浓水口与母管上相应的端口连接。
- B. 能通过改变PLC来改变反洗参数。
- C. 系统至少能连续运行12小时。
- D. 系统运行方式为底部进水。

反洗优化的程序如下：

### 2.1 预优化程序

在优化反洗步骤前，需观察反洗各步的效果。

- 1) 让系统运行3、4个小时，检测在每个反洗步骤后每一个透明管中水的颜色和固体含量，做定性分析。设定一个参考点或基线值，比如按照1—5来定义“混浊度”值（1为无色/无固体，5为最深色/高固体含量），记录每一个反洗步骤结束前的“混浊度”。每次优化步骤后，有必要对反洗步骤的颜色和混浊度进行定性比较。采用任意刻度，记录下面每个反洗步骤的干净度。
- 2) 计算反洗结束后运行两分钟时的TMP。TMP可以定量考察反洗步骤，但在较短的运行时间内，用来调整反洗的参数，往往不够精确。在污染严重的情况下，即TMP上升较为明显的情况下，可以用做参考来优化反洗程序。

### 2.2 反洗参数优化

- 1) 在预优化程序中，可以大体上观察到哪一个反洗步骤需要优化。因为通过透明管，能明显地看到反洗各步中，水的颜色变化和固体物质含量的降低。反洗优化的目的是：
  - A. 优化正冲洗，确保正冲洗结束时水的颜色和固体残余量足够低。如果在正冲洗之前有空气加压过程，而确保正冲洗完成时膜组件内没有残余空气。
  - B. 反洗程序其他步骤的优化。这些步骤除去污染物的机理相近，优化的技巧是让每一个步骤所承担的污染物去除任务基本相同。这意味着不需要每一个步骤对颜色和固体的去除效果达到透明PVC管内的水完全清澈。这些步骤应互相配合，在反洗过程结束时，透明PVC管中没有任何残留物。如果不以这种方式优化，系统的回收率会不必要地降低。一个理想的优化系统应该达到以下值：

正洗=1

顶反洗=3

底部反洗=3，2或1

浸泡=无

漂洗=1

- 2) 根据在预优化过程中得到的每个步骤的混浊度，可以对反洗各步的持续时间进行优化。如果某一步骤高的混浊度（比如4），就应增加其持续时间（20—50%），来降低该步骤的混浊度值。每一个反洗步骤的典型时间范围如下：

空气加压=30—50秒

正冲洗=6—20秒

顶反洗=6—10秒

底反洗=6—16秒

浸泡 (CEB) = 40—300秒

漂洗 = 12—30秒

- 3) 如果所有需要优化的反洗步骤被调整到新的持续时间后, 要重复预优化程序和反洗优化程序, 直到所有的反洗步骤被优化为止。
- 4) 当所有的反洗步骤都被优化后, 系统运行12个小时, 反复观察每一个反洗步骤的透明PVC管的混浊度。如果要进行二次优化, 按照反洗优化程序1—3步骤实施。

### 3. 系统运行时间/反洗周期的优化

运行时间或反洗周期的优化是一个定量过程, 需要仔细观察TMP的变化。系统经过了反洗程序优化, 在反洗结束后性能 (如TMP、水通量等) 必须回到初始值或者某个稳定值。如果不能恢复到初始值, 就可能是运行时间过长所致, 污染物累积过多并被压实了, 常规的反洗无法清除污染。当反洗后的TMP在12-24小时内增加了3.5-5kPa (0.7psi) 时, 需要进行手动反洗。如果手动反洗还不能恢复性能, 就需要进行加药反洗 (CEB) 或化学清洗了。

- 1) 当反洗后TMP能恢复到初始值时, 减少运行时间 (即延长反洗周期) 5分钟, 按照新的运行时间运行12—24小时。继续这种反复减少运行持续时间, 直到反洗结束后TMP能恢复到初始值的连续稳定运行数天为止。
- 2) 相反, 如果系统自从经过反洗优化后一直保持稳定, 说明有可能增加的运行时间。减少每次过滤的时间, 直到12—24小时内TMP增加3.5kPa (0.5psi), 此时可把运行周期定到了之前的设定值 (减5分钟)。

应该注意的是, 污染的机理和特点随地点和季节的不同会有明显的变化。系统稳定性的定义是, 在一段时间的运行中反洗后TMP的变化非常小。在同一个运行周期内, TMP的起始值与结束值可以相差0.14bar (2psi), 但只要反洗能够将TMP恢复到起始值, 就说明系统是稳定的。