

## 第五章.反渗透膜系统故障判断和排除

反渗透膜系统主要存在两大类故障：

(1) RO 系统初始运行（调试）时产水量和脱盐率异常。

(2) RO 系统初始运行情况正常，经过一段时间后出现产水量和脱盐率降低的情况。下面针对此两大类故障进行讨论。

### 5-1. 反渗透膜系统初始运行（调试）的故障排除

#### 5-1.1.产水量低，压力高

出现此现象的原因主要有以下几种情况：

##### (1)仪器仪表读数误差

压力表、流量计使用前没有校正，读数不准确。压力表安装位置离压力容器两端较远，其读数含有管路的压力损失，但被作为进水压力则导致进水压力偏低，产水量偏低。

##### (2)温度

进水温度比初始设计时低，进水温度每降低 3℃产水量约降低 10%。

##### (3)进水电导（或 TDS）

进水电导（或 TDS）比设计值高很多，对于 NaCl 溶液 TDS 每增加 1000ppm 则渗透压增加约 11.4psi（0.8bar），相同进水压力下，产水量将降低。

##### (4)产水侧压力

相同进水压力下，由于产水侧设置憋压或者产水管路偏小输送点远、高造成阻力较大，导致净压力减少，产水量降低。

##### (5)压差

正常情况，对于 6 芯装 8040 膜元件，两段压差约 3~4bar。管路设计不合理导致压力损失较大或者二段浓水排放阀不完全关闭，这些都将导致净压力减少，从而导致产水量降低。

##### (6)膜元件通量衰减

湿膜元件保存不到位或湿膜元件装入系统后未采取保护措施，使膜元件变干，导致通量大幅衰减或无通量，从而导致系统产水量低。

膜元件装入系统前没有确认进水是否达标，导致用含有阳离子、中性、两性表面活性剂或含有其它与膜不兼容的化学品的进水浸泡冲洗膜元件，致使膜元件通量衰减，从而导致系统产水量低。

#### 5-1.2 脱盐率低，产水电导高

(1) 仪器仪表读数误差

电导仪（或 TDS 仪）没有进行校正，读数误差较大，导致计算出的脱盐率低。

(2) 膜元件连接器或压力容器端板连接适配器密封泄露

安装膜元件过程中，连接器上的‘O’型圈扭伤或脱落，导致高含盐水进入产水中。判断：首先测出每支压力容器的产水电导，若有某个压力容器的产水电导偏高，再用‘探针法’判断漏盐点的具体位置，若漏盐点在连接器处则可以重新安装膜元件予以纠正；若漏盐点在膜元件处，则须更换有问题的膜元件。

(3) 进水 pH 值

反渗透膜比较理想的 pH 值范围为 6~8，过低或过高的 pH 值对整个系统的脱盐率都有影响。

(4) 进水为地下水，水中碳酸氢根（ $\text{HCO}_3^-$ ）含量较高

地下水碱度较高，其  $\text{HCO}_3^-$  含量较高，由于  $\text{HCO}_3^-$  被脱除后，此平衡（ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ ）将向右进行，导致系统产水 pH 变低，电导升高。

(5) 膜元件被氧化

膜元件装入系统之前没有对预处理出水的达标情况进行检查，致使余氯超标或含有其它氧化剂的进水进入膜系统，造成膜的氧化，使膜元件脱盐率降低。另外阳离子、中性、两性表面活性剂也会造成膜元件脱盐率的降低。

## 5-2. 反渗透膜系统稳定运行后出现的故障排除

此类故障通常至少出现下列情况之一：

- 标准化后产水量下降，通常需要提高运行压力来维持额定的产水量；
- 标准化后脱盐率降低，在反渗透系统中表现为产水电导率升高；
- 压降增加，在维持进水流量不变的情况下，进水与浓水间的压差增大；

膜系统出现上述故障时，分析处理的步骤如下：

(1) 根据故障的症状、位置及日常运行的数据记录初步判断污染属于哪一类型（污堵、结垢、微生物等）；若无日常运行记录，则需对原水及浓水进行水质分析及预处理出水控制指标进行检测，帮助分析故障可能的原因。

(2) 目测、称重、膜元件现场解剖等手段进一步确定故障的原因

目测：打开压力容器第一段进水端板和第二段出水端板，查看膜元件断面及压力容器内壁，若内壁有滑腻感且有腥味则存在微生物污染；若内壁摸起来较粗糙，则存在结垢污染。称重：对第一段第一支和二段最后一支膜元件称重，若一段第一支膜元件较重则可能存在悬浮物、胶体污染；若二段最后一支膜元件较重则可能存在结垢污染。膜元件现场解剖：观察分析膜面污染物，在膜

面加酸或加碱观察现象。

(3)若从以上两步仍旧无法确定故障的原因，可从系统中取出一支膜元件进行全面分析，各个膜元件制造商均有此项服务，通过全面分析基本可以确定故障的原因。全面分析包括目测、称重、性能测试、解剖、膜片污染物分析、加压染色、化学处理等。

(4)通过上面的分析基本可确定故障的原因，根据本手册中《反渗透膜系统的清洗导则》制定合理的清洗方案和纠正措施。

下面将详细的讨论上述三种主要故障原因、辨别方法、防止措施：

### 5-2.1.稳定运行后产水量下降

RO 系统出现标准化后产水量降低，可根据下面三种情况寻找原因：

1. RO 系统的第一段产水量降低，则存在颗粒类污染物的沉积；
2. RO 系统的最后一段产水量降低，则存在结垢污染；
3. RO 系统的所有段的产水量都降低，则存在污堵；

根据上述症状，出现问题的位置，确定故障的起因，并采取相应的纠正措施，根据《反渗透膜系统的清洗导则》进行清洗等。

另外反渗透系统出现产水量下降的同时还会伴随有脱盐率降低、升高等情况。

#### (1) 标准化后产水量下降脱盐率降低

标准化后产水量下降脱盐率降低是最常见的系统故障，其可能的原因是：

##### ① 胶体污堵

出现胶体污堵的原因：

1. 预处理中絮凝剂投加量不足，未进行烧杯试验确定最佳加药量，在线絮凝的效果不佳；
2. 多介质和活性炭过滤负荷过大，过滤流速设计偏大，没有及时进行反洗、正洗；微滤或超滤膜的孔径设计偏大。
3. 日常运行管理中没有监测 SDI 及浊度值，重视不够。

为了辨别胶体污堵，需要：

- 1.测定原水的 SDI 值；
- 2.分析 SDI 测试膜膜表面的截留物；
- 3.检查和分析第一段第一支膜元件端面上的沉积物；

##### ② 金属氧化物污堵

金属氧化物污堵主要发生在第一段，通常的故障原因是：

1. 进水中含铁、锰和铝等离子
2. 进水中含  $H_2S$  并有空气进入，产生硫化盐；

3. 管道、压力容器等部件产生的腐蚀产物；

辨别金属氧化物污堵的手段：

1. 观察保安过滤器内截留污染物和第一支膜元件端面、压力容器内壁；
2. 取出第一支膜元件，解剖分析膜表面的金属离子成分。

### ③结垢

结垢是微溶或难溶盐类沉积在膜的表面，一般出现在原水硬度、碱度高且回收率较高的苦咸水系统中，常常发生在 RO 系统的最后一段，然后逐渐向前一段扩散。含钙、重碳酸根或硫酸根的原水可能会在数小时之内出现结垢堵塞膜系统，而其它结垢一般形成较慢。结垢污染的原因：

1. 未对原水进行水质分析，阻垢剂投加量偏小或效果差；
2. 原水硬度高，且回收率太高，仅投加阻垢剂已经不能抑制沉淀析出。

辨别是否结垢的方法：

1. 查看系统的浓水侧是否有结垢，压力容器内壁及端板摸起来较粗糙；
2. 取出最后一支膜元件称重，存在严重结垢的膜元件一般比较重；
3. 分析原水水质数据；

## (2) 标准化后产水量下降脱盐率升高

标准化后产水量下降脱盐率升高其可能的原因是：

### ①膜压密化

当膜被压密化之后通常会表现为产水量下降脱盐率升高，下列情况下容易发生膜的压密化：

1. 进水压力过高，超过允许的极限值；
2. 进水温度较高，且水锤现象较严重，瞬间压力超过允许的极限值。

辨别膜压密化的方法：取出膜元件解剖，取膜片做微观结构的分析。

### ②有机物污染

进水中的有机物吸附在膜元件表面，造成通量的损失，多出现在第一段。形成有机物污染的原因与上述形成胶体污染的原因基本相同。

辨别有机物污染的方法：

1. 分析保安过滤器滤芯上的截留物；
2. 检查预处理的絮凝剂，特别是阳离子聚合物；
3. 分析进水中的油和有机污染物；
4. 检查清洗剂和表面活性剂；

## 5-2.2.稳定运行后脱盐率下降

## (1) 标准化后脱盐率下降正常产水量

产生这种症状的原因有：

### ① “O”型圈泄漏

当“O”型圈润滑时使用某些不兼容的化学品而损坏或者受到机械应力（如由于水锤作用引起膜元件的运动）损伤时，“O”型圈就会出现泄漏现象，有时还会出现“O”型圈未安装，“O”型圈安装不正确等情况。

防止“O”型圈泄露的方法：润滑时，使用制定的润滑剂“甘油”；安装时加装垫片，防止膜元件来回窜动。

### ② 望远镜现象

产生望远镜现象的原因是进水和浓水间的压差过大；较严重的望远镜现象会造成膜元件的机械损坏。

防止望远镜现象的方法：加强运行数据的记录与分析，当压差超过初始值的15%时，应及时采取有效的纠正措施和化学清洗，尤其注意压差不能超过允许的最大值。

### ③ 膜表面损伤

膜表面的损伤多数是因为系统前端的元件受到水中尖锐颗粒物、结晶体及水锤的共同作用造成的。

防止膜表面损伤措施：

- 1.及时更换保安过滤器滤芯，防止水中的尖锐、硬质颗粒物或活性炭颗粒进入膜元件；
- 2.启动高压泵前对膜系统排气，或者加装电动慢开门，或者高压泵变频启动，防止水锤；
- 3.对于结垢的膜元件清洗时，初始流量应尽量小，防止过大流量冲刷造成损伤。

### ④ 背压

任何时刻，产水压力高于进水或浓水压力0.3bar，复合膜就可能发生复合层间的剥离，从而损坏膜元件。

## (2) 标准化后脱盐率下降产水量升高

产生这种症状的原因有：

### ① 膜氧化

当膜接触到水中的氧化性物质后，膜被氧化破坏，这是不可逆的化学损伤，一旦出现这种情况，只能更换所有膜元件。

膜被氧化可能的原因：膜系统进水中余氯或其它氧化性物质超标；清洗消毒时，未严格按照清洗消毒的要求进行，清洗时间或者温度超标导致膜被氧化。

膜元件是否被氧化可以通过加压染色试验来判定。

② 泄漏

‘O’型圈严重损坏或中心管破裂等将导致进水或浓水渗入产水中，特别是当运行压力较高时，问题就越严重。

5-2.3. 稳定运行后压降增加，导致产水量降低或脱盐率降低

进水与浓水间的压差称为压降；每一支含多支膜元件的压力容器压降上限为 3.5bar，单支有玻璃钢外壳的膜元件的压降上限为 1bar，过高的压降将导致膜元件望远镜现象及膜元件玻璃钢外壳的破裂，从而造成膜元件的机械损伤。当进水流量恒定时，压降的增加常常是由于元件进水网格流道内存在污染物或结垢物，一旦进水流道被堵塞，常常会伴有产水量的下降。

下面为引起压降增加的常见的原因：

① 微生物污染

微生物污染常常会引起 RO 系统所有段压降的显著增加；微生物污染多出现在水源为地表水和废水回用的系统中。

解决微生物污染的方法：

1. 进水中投加杀菌剂，注意防止氧化性杀菌剂进入膜元件，避免膜元件被氧化；

② 结垢污染

结垢污堵进水流道常常会引起最后一段膜元件压降的增加，必须保证采取了控制结垢的适当措施，并采用合适的化学药剂清洗膜元件，同时控制合适的回收率。

表 14. RO 膜系统中常见的系统故障，其症状、原因和纠正措施汇总

故障症状			可能的原因	纠正措施
产水量	盐透过率	压差		
↓	↑	↑	结垢污染	化学清洗，控制结垢
↓	↑	↑	胶体污染	化学清洗，改善预处理
↓	→	↑	生物污染	化学清洗、消毒，改善预处理
↓	→	→	有机物污染	化学清洗；改善预处理
↓	↓	→	压密化	更换膜元件或增加膜元件
↑	↑	→	氧化破坏	更换膜元件，投加还原剂；
↑	↑	→	膜片损伤泄露 “O”形圈泄漏 产水管泄漏	更换膜元件 改进保安滤器过滤效果 更换“O”形圈 更换膜元件

↑增加 ↓降低 →不变 ↑↓主要症状

故障症状			可能的原因	纠正措施
产水量	盐透过率	压差		

↓ ●	↑	↑	结垢污染	化学清洗，控制结垢
↓ ●	↑	↑	胶体污染	化学清洗，改善预处理
↓	→	↑ ●	生物污染	化学清洗、消毒，改善预处理
↓ ●	→	→	有机物污染	化学清洗；改善预处理
↓ ●	↓	→	压密化	更换膜元件或增加膜元件
↑	↑ ●	→	氧化破坏	更换膜元件，投加还原剂
↑	↑ ●	→	膜片损伤泄露； “O”形圈泄漏； 产水管泄漏	更换膜元件改进保安滤器过滤效果 更换“O”形圈 更换膜元件

↑ 增加

↓ 降低

→ 不变

● 主要症状

## 5-3. 北京上远膜元件系统设计或使用现状资料登记表

表 15. 系统概况记录表

登记序号:		记录日期:	
用户信息	用户名称:		联系人:
	E-mail:		电话及传真:
	微信号:		
	工程所在地:		最终用户(选填):
	地址(选填):		邮编:
水源资料	水源特性: <input type="checkbox"/> 反渗透产水 <input type="checkbox"/> 地下水/深井水 <input type="checkbox"/> 地表水 <input type="checkbox"/> 自来水 <input type="checkbox"/> 海水 <input type="checkbox"/> 市政(生活)废水 <input type="checkbox"/> 工业废水		
	水温情况: 最低_____°C 最高_____°C 平均_____°C 设计_____°C		
系统概况	药剂投加: <input type="checkbox"/> 还原剂 <input type="checkbox"/> 絮凝剂 <input type="checkbox"/> 杀菌剂 <input type="checkbox"/> 助凝剂 <input type="checkbox"/> 酸化剂 <input type="checkbox"/> 阻垢剂 <input type="checkbox"/> 其他		
	现有预处理: <input type="checkbox"/> 多介质+活性炭 <input type="checkbox"/> 超滤(MF/UF) <input type="checkbox"/> SDI <sub>15</sub> 值_____		
	设计产水电导:	系统产水电导:	系统脱盐率:
	设计产水量(m <sup>3</sup> /h)	系统产水量(m <sup>3</sup> /h):	系统回收率:
	反渗透系统流程:		
	系统用途: <input type="checkbox"/> 医药工艺用水 <input type="checkbox"/> 医用精致水 <input type="checkbox"/> 电力行业 <input type="checkbox"/> 制取纯净水 <input type="checkbox"/> 生活饮用水 <input type="checkbox"/> 化工行业 <input type="checkbox"/> 锅炉用水(高压.中压.低压) <input type="checkbox"/> 电子行业 <input type="checkbox"/> 冶金行业 <input type="checkbox"/> 废水回用处理 <input type="checkbox"/> 其它行业用水		
	系统运行方式: <input type="checkbox"/> 24小时连续 <input type="checkbox"/> 8小时连续 <input type="checkbox"/> 24小时断续 <input type="checkbox"/> 8小时断续		
	后处理设备流程:		

表 16. 系统预处理详细数据表

机械过滤器 (石英砂过滤器)	材质: <input type="checkbox"/> 不锈钢 <input type="checkbox"/> 普通钢衬胶 <input type="checkbox"/> 玻璃钢					
	控制方式: <input type="checkbox"/> 手动 <input type="checkbox"/> 自动控制阀 <input type="checkbox"/> 电动阀					
	过滤器尺寸 (mm)			填料信息: 填料种类、厚度、粒径等		
	直径	高度	填料厚度			
	冲洗频率及强度					
	冲洗频率	正冲时间	反冲时间			
活性炭过滤器	材质: <input type="checkbox"/> 不锈钢 <input type="checkbox"/> 普通钢衬胶 <input type="checkbox"/> 玻璃钢					
	控制方式: <input type="checkbox"/> 手动 <input type="checkbox"/> 自动控制阀 <input type="checkbox"/> 电动阀					
	过滤器尺寸 (mm)			填料信息: 填料种类、厚度、粒径等		
	直径	高度	填料厚度	活性炭类型	填充质量	活性炭密度
	冲洗频率及强度			备注:		
	冲洗频率	正冲时间	反冲时间			
投加还原剂	是否投加还原剂: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		投加浓度	投加方式	接触时间	
	还原剂成分					
软化器	材质: <input type="checkbox"/> 不锈钢 <input type="checkbox"/> 普通钢衬胶 <input type="checkbox"/> 玻璃钢					
	控制方式: <input type="checkbox"/> 手动 <input type="checkbox"/> 自动控制阀 <input type="checkbox"/> 电动阀					
	过滤器尺寸 (mm)			树脂信息		
	直径	高度	填料厚度	树脂牌号	树脂型号	填充重量

表 17. 反渗透系统原水水质分析表

项目名称 _____		采样时间 _____		采样地点 _____	
原水水源 _____		分析时间 _____		分析人 _____	
pH		浊度 (NTU)		水温 (°C)	
SDI <sub>15</sub>		电导率 (μS/cm)		ORP (mV)	
离子成分		ppm	meq/L	离子成分	
钙离子 (Ca <sup>2+</sup> )				氯离子 (Cl <sup>-</sup> )	
镁离子 (Mg <sup>2+</sup> )				硫酸根 (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	
钠离子 (Na <sup>+</sup> )				碳酸根 (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	
钡离子 (Ba <sup>2+</sup> )				碳酸氢根 (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	
锶离子 (Sr <sup>2+</sup> )				磷酸根 (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	
钾离子 (K <sup>+</sup> )				氟离子 (F <sup>-</sup> )	
亚铁离子 (Fe <sup>2+</sup> )				硝酸根 (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	
铁离子 (Fe <sup>3+</sup> )				二氧化硅 (SiO <sub>2</sub> )	
铝离子 (Al <sup>3+</sup> )				其它离子 (如硼离子)	
总阳离子				总阴离子	
TDS 总溶解固体(ppm)			生物需氧量 BOD (ppm)		
总悬浮固体 (SS)			总有机碳 TOC (ppm)		
硬度 (CaCO <sub>3</sub> ppm)			化学需氧量 COD (ppm)		
总碱度 (mmol/L)			细菌个数 (个/mL)		
酚酞碱度 (mmol/L)			余氯浓度 (ppm)		