万方数据资源系统 WANFANG DATA (CHINAINFO)

华北电力技术
NORTH CHINA ELECTRIC POWER
2000 No.3 P.9-12

数字化期刊 DIGITIZED PERIODICAL

# 石景山热电厂反渗透预处理工艺改进的研究

于海琴　陈振华

摘　要：在实验室用模拟实验探讨、选择并确定石景山热电厂反渗透预处理工艺，筛选混凝处理的最佳工艺条件，确保原水经预处理系统后污染指数FI符合反渗透进水要求。
关键词：石景山热电厂；反渗透；预处理工艺；污染指数
分类号：TM621.8　文献标识码：A
文章编号：1003-9171(2000)03-0009-04

## Research on Improving Counter-flow Infiltration Pretreetment Process in Shijingshan Cogeneration Power Plant▲

石景山热电厂锅炉补给水处理工艺中的反渗透是在1994年10月投入并运行的。其预处理系统流程为：永定河水—机械搅拌加速澄清池—普通快滤池—细砂机械过滤器—活性炭过滤器—反渗透。本厂反渗透设备采用卷式复合膜，设计要求的污染指数FI值不大于4，但是运行半年后，由于污染指数FI偏高，考虑到反渗透设备投资高，污染指数FI接近4，继续运行会对膜产生较大的污染，造成反渗透膜清洗频繁，使反渗透的经济性下降；加上反渗透设备本身存在的一些问题，所以设备被解列停运。为提高设备的利用率，并从经济角度出发，厂生产部决定对预处理系统和工艺进行改造，以降低FI，从而重新投运反渗透。本试验的目的就是要分析预处理设备出水FI偏高的原因，即通过实验室试验对预处理工艺条件进行筛选，并测定、分析工艺系统改进后的FI，为电厂预处理工艺的改造提供依据。

## 1　试验方法和试验用仪器

### 1.1　试验方法

(1) 烧杯搅拌试验确定混凝剂最优加药量、最佳助凝剂和最优搅拌条件、速度梯度；
(2) 小型动态模拟试验筛选获取最优FI的预处理工艺及条件。

### 1.2　仪器

DBJ-621型定时变速六联搅拌器；
PHS-2型酸度计；
WGZ数字式浊度仪；
FI测定仪；
模拟过滤系统(石英砂过滤柱和活性炭过滤柱)；
玻璃器皿。

### 1.3　永定河水质分析结果

表1　永定河水质分析结果

| 水温／°C | pH (25°C) | 浊度／FTU | $COD_{Mn}$／$mgO_2 \cdot L^{-1}$ | $Cl^-$／$mg \cdot L^{-1}$ | $Al^{3+}$／$mol \cdot L^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 20.2 | 8.54 | 5.7 | 5.2 | 59.88 | 0.044 |

## 2 试验内容

### 2.1 混凝剂最优加药量的确定

混凝剂最优剂量是指达到既定水质目标的最小混凝剂投放剂量，而烧杯搅拌试验是目前确定混凝剂最优投放剂量使用最多的方法。选择搅拌条件的原则是：综合考虑烧杯搅拌试验的最优化的经验参数，并与电厂现有混合设备的实际运行参数相适应，确定出搅拌试验的模拟参数。试验为了保证加药均匀、易于调节控制和反应迅速，均采用液态加药方式，即把电厂提供的液态聚合铝配成1 mL(近似为1 mg)($Al_2O_3$)的溶液，按确定的不同剂量分别加入到1000 mL原水水样中，以100 r/min转速快速搅拌3 min，再以50 r/min慢速搅拌10 min，然后静置20 min，测定上清液的各项指标。由于聚合铝混凝剂对水温和pH的变化适应性强，整个试验过程对pH和温度不加以控制。

石景山热电厂所用的混凝剂为聚合铝PAC，分子式为［$Al_2(OH)_nCl_{6-n}$］$_m$，混凝剂的性能指标如表2所示。

表2 聚合铝的性能指标

| 指　　标 | $Al_2O_3$(质量分数)／% | 盐基度／% | pH (25℃) | $Cl^-$／$g\cdot L^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|
| 电厂用聚合铝性能 | 8.1 | 40 | 4.20 | 128 |
| 聚合铝标准 | ＞10.0 | 50～80 | 3.5～4.5 | — |

聚合铝的盐基度越高，聚合物的粘结架桥能力越强。但电厂提供的聚合铝的盐基度和$Al_2O_3$含量均与聚合铝的性能标准有差距。

试验烧杯加药量的确定：取200 mL水样，在慢速搅拌条件下，以每次增加1 mL混凝剂的方法向烧杯中投药，直至出现矾花，此时的加药量为最小加药量，取其1／4作为1号杯加药量、取其2倍作为8号杯加药量，在1号和8号之间按照依次增加相等量的方法确定其它6个烧杯的加药量。试验确定永定河水200 mL水样的最小混凝剂(聚合铝)加药量是3 mL(≈3 mg)，试验选用的是1 000 mL容量的烧杯，1 000 mL容量的烧杯取水样800 mL可以保证在搅拌时不溢出，而且确定的加药量恰为整数，800 mL水样混凝剂的最小加药量是12 mL(≈12 mg)。试验结果见表3。

表3 混凝剂最优加药量试验结果

| 烧杯号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水温／℃ | | 20.2 | 20.2 | 20.2 | 20.2 | 20.2 | 20.2 | 20.2 | 20.2 |
| 混凝剂量／mL | 800 mL水样 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | 1 000 mL水样 | 3.75 | 7.50 | 11.25 | 15.00 | 18.75 | 22.50 | 26.25 | 30.00 |
| 浊度／FTU | | 2.0 | 1.9 | 0.8 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 |
| pH | | 8.48 | 8.24 | 8.14 | 7.96 | 7.88 | 7.78 | 7.66 | 8.9 |
| $Cl^-$／$mg\cdot L^{-1}$ | | 65.15 | 68.98 | 74.54 | 79.81 | 85.27 | 88.62 | 91.98 | 94.37 |
| COD／$mgO_2\cdot L^{-1}$ | | 7.6 | 4.4 | 5.2 | 5.6 | 3.6 | 4.2 | 3.8 | 3.6 |
| $Al^{3+}$／$mol\cdot L^{-1}$ | | 0.02 | 0.026 | 0.02 | 0.012 | 0.021 | 0.022 | 0.017 | 0.02 |

| 除浊百分率／% | 64.9 | 66.7 | 86.0 | 78.9 | 77.2 | 75.4 | 73.7 | 71.9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 矾花出现的时间和特性 | 1 min20 s出现矾花，矾花细小 | 1 min30 s出现矾花，矾花细小 | 49 s出现矾花，1 min39 s矾花开始增大 | 40 s出现矾花，1 min10 s花开始变密 | 30 s出现矾花，1 min矾花开始变密 | 30 s出现矾花，1 min矾花开始变密 | 28 s出现矾花，1 min20 s矾花开始变密 | — |

由图1可以看出，随混凝剂加药量的增加，混凝效果明显变好；当聚合铝加药量为11 mg/L左右时，上清液浊度降到0.8，除浊百分率达到86.0%，混凝效果最好，而且凝絮形成速度快、沉降快，沉降后上清液的浊度小，除浊百分率高；随加药量继续增大，浊度稍有增加，但变化不大。电厂补给水处理实际运行的混凝剂加药量与此结果基本相符。

2.2　助凝剂种类的选择

助凝剂的使用，一方面可以降低混凝剂的用量，另一方面又可以改善絮凝体的粒度、比重和密实性，使其有利于沉降，并不易破碎。试验根据电厂提供的6种助凝剂，按照上述搅拌条件，以11 mg聚合铝／L水样的最佳加药量为准，同时添加1 mg/L助凝剂，做烧杯搅拌试验。结果如表4所示：

表4　助凝剂筛选试验结果

| 助凝剂 | AN910SH | AN912SH | FO4190PG | AN923SH | FL45C | FL17 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 水温／℃ | 19.0 | 19.0 | 19.0 | 19.0 | 19.0 | 19.0 |
| 浊度／FTU | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.6 | 0.5 |
| pH | 7.94 | 7.94 | 7.80 | 7.80 | 7.92 | 7.90 |
| $Cl^-$／$mg\cdot L^{-1}$ | 74.73 | 74.73 | 73.78 | 74.73 | 74.73 | 74.73 |
| COD／$mgO_2\cdot L^{-1}$ | 1.6 | 2.8 | 4.8 | 0.8 | 2.2 | 2.3 |
| $Al^{3+}$／$mol\cdot L^{-1}$ | 0.018 | 0.024 | 0.018 | 0.017 | 0.020 | 0.016 |
| 除浊百分率／% | 94.7 | 92.9 | 89.5 | 85.8 | 89.5 | 91.2 |
| 矾花出现的时间和特性 | 加药后立即出现矾花，矾花量多，40 s后增大，矾花较紧密 | 25 s出现矾花，47 s后矾花增大，沉降后矾花比较紧密 | 27 s出现矾花，57 s后矾花增大 | 20 s出现矾花，45 s后矾花增大 | 16 s出现矾花，32 s后矾花增大细小、量多 | 27 s出现矾花，57 s后增大，矾花细小、量多 |

结果表明，加入助凝剂后，混凝效果都比未加助凝剂的要好，上清液浊度均不大于0.8；助凝剂对pH、残留铝离子和氯离子几乎没有影响，但对有机物的去除有明显的影响。助凝剂AN910SH在搅拌试验中形成的矾花量适中，颗粒中等大小，沉降速度较大，凝絮紧密，而且上清液残留浊度最小，有机物残留量也很低，所以认为AN910SH是比较适合的助凝剂。助凝剂AN912SH形成的矾花较大，数量相对少些，除浊效果与AN910SH的差别不大，在考虑药品价格对生产经济性实际影响的前提下，可以考虑选用助凝剂AN912SH。虽然助凝剂AN923SH处理后的产品水COD最小，但因其除浊效果最差，不宜选用。

2.3　最佳搅拌条件的确定

混凝剂加入水中后，必须创造适宜的水力条件使混凝过程顺利进行，这也正是电厂为提高设备的实际处理效果而需要重视的。聚合铝的水解和聚合过程在进入澄清池设备之前已经完成。混合阶段：施加强烈搅拌使混凝剂迅速分散并与水中的胶体接触，开始凝聚，产生一定密度的微絮凝体，强烈搅拌时间不宜过长，防止破坏后续絮凝作用。絮凝阶段：施加慢速搅拌，使微絮凝体碰撞聚集、接触长

大，搅拌强度太大不利于凝絮长大。

2.3.1　搅拌强度的确定

试验以已经确定的最佳混凝剂剂量和助凝剂为基础，以240 r／min速搅拌30 s使药品混合，然后1～4号烧杯分别按50 r／min、100 r／min、150 r／min和200 r／min搅拌5 min，最后调到50 r／min保持5 min，停止搅拌后静置20 min取上清液测定各指标，结果如表5所示。

表5　最佳搅拌速度的确定实验结果

| 转速／r·min$^{-1}$ | 50 | 100 | 150 | 200 |
|---|---|---|---|---|
| pH | 7.82 | 7.86 | 8.0 | 7.96 |
| 浊度／FTU | 0.8 | 0.5 | 0.5 | 1.1 |
| 除浊百分率／% | 85.8 | 91.2 | 91.2 | 80.7 |
| 混凝现象 | 10 s出现矾花，30 s后矾花稍微增大 | 10 s出现矾花，20 s后矾花增大，矾花较大，量较多 | 10 s出现矾花，20 s后矾花增大变密，矾花较大，沉降快，效果明显 | 矾花细小，效果较差 |

结果表明：在混凝剂加入水中快速混合后，以100～150 r／min的速度搅拌，有利于矾花长大，此时成长速度适合使矾花形成密度适当的絮凝体，有利于沉降，除浊效果好。

2.3.2　搅拌时间的确定

试验以已经确定的混凝剂最佳剂量和助凝剂为基础，以240 r／min快速搅拌30 s使药品混合，然后1号～3号烧杯按100 r／min分别搅拌3、5、7 min，最后调到50 r／min保持5 min，停止搅拌后静置20 min取上清液测定各指标，结果如表6所示。

表6　确定搅拌时间的试验结果

| 搅拌时间／min | 3 | 5 | 7 |
|---|---|---|---|
| pH | 7.98 | 7.96 | 7.82 |
| 浊度／FTU | 0.7 | 0.5 | 0.4 |
| 除浊百分率／% | 87.7 | 91.2 | 91.2 |
| 混凝现象 | 矾花出现时间和沉降效果相近 | | |

结果表明：搅拌时间超过5 min，除浊百分率达到90%以上，继续延长搅拌时间，效果改变不明显。说明在搅拌速度确定的情况下，一定的搅拌时间就已经足够保证矾花长大到最佳，长成的矾花其大小和密度保证了沉降效果。

2.3.3　静置时间的确定

试验以已经确定的混凝剂最佳剂量和助凝剂为基础，以240 r／min快速搅拌30 s，然后按100 r/min搅拌5 min，最后调到50 r/min保持5 min，停止搅拌后分别静置不同时间取上清液测定各指标，结果见表7。

表7　静置时间的确定试验结果

| 沉降时间／min | 1 | 3 | 5 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pH | 7.94 | 8.00 | 7.98 | 7.98 | 8.00 | 7.82 | 7.94 | 7.98 |
| 浊度／FTU | 1.9 | 0.8 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |

| 除浊百分率／% | 66.7 | 87.7 | 89.5 | 91.2 | 91.2 | 96.5 | 98.2 | 98.2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

絮凝体应该在澄清设备中停留足够的时间，才能充分沉降、分离。结果表明：沉降时间超过5 min，除浊百分率达到90%以上。在搅拌速度和搅拌时间确定的情况下，矾花的大小和密度保证了沉降效果，随沉降时间的延长，沉降效果变好，但沉降时间超过一定值后，效果改变不明显。另外，从pH稳定的结果看，沉降时间对絮凝体聚合物的形态没有影响。

2.4　FI的测定

污染指数FI是确定预处理系统对反渗透膜的影响程度的最佳指标。用上述试验确定的最佳混凝条件，结合过滤、杀菌，组成完整的反渗透预处理模拟工艺，利用污染指数测定仪测定模拟系统的运行效果。

取足量水样(40 L)，分别按流程1：原水(永定河水)—混凝处理—细砂过滤—活性炭过滤；流程2：原水(永定河水)—混凝处理—次氯酸钠杀菌—细砂过滤—活性炭过滤(维持石英砂过滤器出口活性氯的含量为0.2 mg/L)进行预处理。混凝处理采用已经确定的最佳条件，包括助凝剂，用泵做动力，维持污染指数测定仪所需的压力(0.21 MPa)。测定要求出水量所需要的时间，并计算FI值，结果见表8。

$$FI=(1-\frac{t_i}{t_f})\times 100$$

表8　污染指数测定结果

| 污染指数 | $FI_1$ | $FI_2$ | FI平均 |
|---|---|---|---|
| 工艺流程1 | 1.41 | 1.18 | 1.25 |
| 工艺流程2 | 0.51 | 0.30 | 0.41 |

其中　$t_i$——开始过滤500 mL水样所需时间，s；

$t_f$——15 min后过滤500 mL水样所需时间，s。

从结果看，两种预处理流程的污染指数都远在4以下，并且加氯处理后的污染指数由未加氯时的1.25降到0.41，加氯处理对于河水杀菌处理效果较好，对反渗透保护膜有较大的影响。结果表明采用优化的运行工艺和操作条件后，均可以使预处理的污染指数满足反渗透的要求。

## 3　试验总结和建议

根据混凝烧杯搅拌试验和模拟反渗透预处理系统出水污染指数FI的测定结果，对于以永定河水为原水的石景山热电厂，我们认为：

(1) 电厂应加强运行管理，对混凝处理的条件进行系统调试，以提高混凝处理效果。用聚合铝混凝剂对河水进行混凝处理，聚合铝加药量在11 mg/L左右；混凝处理在保证搅拌强度100～150 r／min、搅拌时间达到5 min、凝絮在设备中停顿5 min以上时，混凝处理效果较好。

(2) 助凝剂加入水中后，明显改变了处理效果，对降低混凝剂剂量、加大絮凝体强度和沉降速度都有促进作用。建议电厂在综合考虑运行费用和水质改善的基础上，对设备改造和操作负担进行更深入的论证。

(3) 反渗透预处理系统采用混凝处理＋次氯酸钠＋细砂过滤柱＋活性炭过滤柱的工艺和混凝处理＋细砂过滤柱＋活性炭过滤柱的工艺，其污染指数都能满足设备用水要求，但考虑到石景山热电厂所用水源为永定河水，特别是到夏季时，城市附近的河水有适宜的温度和生物营养成分，生物繁殖速度和数量较大，再加上近些年我国地表水污染越来越重，所以我们建议最好是选用混凝处理—次氯酸钠杀菌—细砂过滤—活性炭过滤—保安过滤器的工艺，使反渗透的运行效果和经济性有保障。

(4) 实验室搅拌试验结果对实际设备的生产过程具有重要的参考价值，但和电厂实际生产设备的运行结果会存在较大的偏差，这是不可避免的。实验室设备和系统基本上都是采用有机玻璃或塑料材

料，而电厂实际生产设备的管路是铁合金金属材料，铁腐蚀产物的胶体对FI的影响是比较大的，会使现场设备在相同条件下的FI远远高于实验室测定值。这一点是需要现场运行管理人员特别注意的。

(5) 现场设备和实验室设备的尺寸存在很大的差别，由此造成的水力学参数差异对FI的影响也是很大的，这是无法平衡的。实验室模拟试验只是为现场实际工艺提供参考，在此基础上需要对实际设备和系统进行严格的调试。

(6) 高分子聚电解质的助凝剂溶解性较差，在试验过程中，发现使用助凝剂时有“ 鱼眼 ”现象产生，从而降低助凝剂的使用效率，尤以固体药品严重。所以建议电厂在使用助凝剂时，应根据助凝剂的溶解能力尽量提前配成溶液，但又要协调好液体药品加药时间和储存时间的关系，因为液体助凝剂储存时间长易水解和滋生菌类。■

作者单位：于海琴（北京电力高等专科学校(北京 100044)）
陈振华（石景山热电厂(北京 100041)）

参考文献：

［1］姚重华等.混凝剂与助凝剂.北京：中国环境科学出版社，1992.
［2］范瑾初等.混凝技术.北京：中国环境科学出版社，1992.
［3］施燮钧.火力发电厂水质净化.北京：中国电力出版社，1993.
［4］冯逸仙.反渗透水处理.北京：中国电力出版社，1997.

(收稿日期：1999-12-06)

(改回日期：1999-12-28)