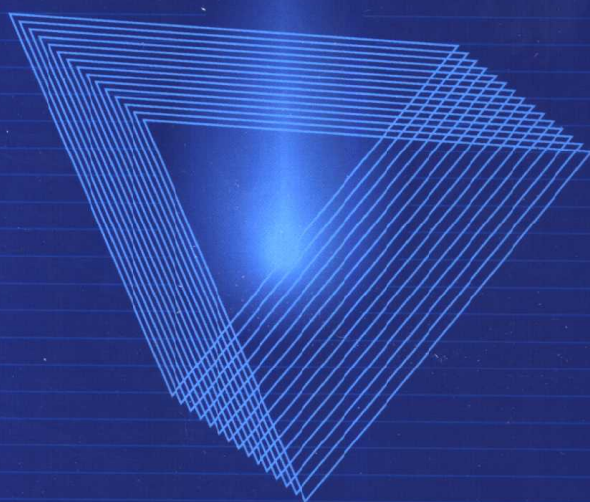


工业水处理原理及应用

雷仲存 钱 凯 刘念华 编著



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

工业水处理原理及应用

雷仲存 钱 凯 刘念华 编著

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

工业水处理原理及应用/雷仲存,钱凯,刘念华编著.
北京:化学工业出版社,2003.4
ISBN 7-5025-3695-7

I.工… II.①雷…②钱…③刘… III.工业用水-水处理 IV.TQ085

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第014409号

工业水处理原理及应用

雷仲存 钱 凯 刘念华 编著

责任编辑:管德存

文字编辑:刘莉珺 徐 娟 邹 宁

责任校对:蒋 宇

封面设计:潘 峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 22¼ 字数 558 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3695-7/X·138

定 价:50.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

人类进入 21 世纪，面临着水资源紧缺和水环境污染的严重挑战。我国政府非常重视水环境的保护，制定了许多有关的法律和法规，并把它作为可持续发展的一项重要战略。

水是工业生产过程中的血液，工业生产过程中需要使用大量的水。因此，如何科学地掌握水处理技术，合理的利用水资源，改善水环境，保障工业生产正常、高效、科学的运行，是我们的一项艰巨任务。

本书以工业水处理技术如工业给水处理、锅炉水处理、工业循环冷却水处理、中水处理为主要内容，介绍了工业水处理技术的应用实例和经验教训，书中共列举了国内外工业水处理较典型的、成熟的、先进的应用技术 120 多例。

本书主要是在国内外许多水处理专家、学者的研究成果的基础上编写而成，其中引用了国内外许多专家、学者的研究成果、数据、图表等。沈一平教授、朱伟明、李增朴高工、王存政、吴宏宾、刘秋生、孙伟等同志提供了一些重要的资料，陈振选、李军老师参加了审稿工作，在此一并致谢。

雷仲存高工参加了全书的第一、二、三、四章的编写工作，钱凯教授指导了全书的编写工作，刘念华同志参与了第二章的部分编写工作。

由于我们水平有限，时间仓促，难免有错误，望专家、同行、朋友批评指正。

编者

2002 年 11 月于北京

内 容 提 要

本书以工业水处理技术应用实例为主，全书共分四章，包括工业给水处理、锅炉水处理、工业循环冷却水处理、中水处理等工程实例，并辅以关键性的原理及新技术介绍。列举了国内外工业水处理较典型的、成熟的、先进的应用技术 120 多例。内容紧密联系实际，实用性强。

本书可供工业企业及科研、设计单位的废水处理设计和其他工程技术人员使用，也可作为大专院校环境工程及其相关专业师生参考用书。

目 录

第一章 工业给水处理	1
第一节 工业水的预处理.....	1
一、地表水的预处理.....	1
二、地下水的预处理	14
三、自来水的预处理	18
第二节 水的软化处理	20
一、化学软化处理	20
二、物理软化处理	27
三、离子交换软化处理	30
第三节 水的除盐处理	67
一、水的化学除盐	67
二、膜分离技术除盐	72
第四节 水的除氧处理.....	113
一、水中气体的溶解特性及除氧方法.....	113
二、热力除氧.....	115
三、解吸除氧.....	123
四、化学除氧.....	126
五、电化学除氧.....	139
第二章 锅内加药处理	156
第一节 炉内理化过程及沉淀物形态.....	156
一、炉内的化学反应.....	156
二、炉内的理化过程.....	156
三、锅水中沉淀物的形态.....	157
第二节 锅内加碱处理法.....	158
一、天然碱处理法.....	158
二、纯碱处理法.....	159
第三节 锅内加磷酸盐处理法.....	160
一、磷酸盐处理法.....	160
二、聚磷酸盐处理法.....	162
第四节 锅内加复合防垢剂处理法.....	162
一、纯碱-腐殖酸钠复合防垢剂处理法	162

二、磷酸盐-氢氧化钠复合防垢剂处理法	163
三、纯碱磷酸盐复合防垢剂处理法	163
四、纯碱-栲胶复合防垢剂处理法	164
五、多种药剂复合防垢剂处理法	164
第五节 锅内加合成有机防垢剂处理法	165
一、聚羧酸类防垢剂处理法	165
二、有机膦酸盐防垢剂处理法	165
三、复合有机防垢剂处理法	166
第六节 石墨吸附法	167
一、吸附的原理	167
二、投加方法	167
第七节 中、高压锅炉锅内加药处理	168
一、磷酸盐处理	168
二、低磷酸盐处理	169
三、协调 pH 值-磷酸盐处理	169
四、全挥发性处理	170
第三章 工业循环冷却水处理	184
第一节 冷却水系统	184
一、直流冷却水系统	184
二、循环冷却水系统	184
三、敞开式循环冷却水系统	186
第二节 循环冷却水系统中沉积物及其控制	191
一、循环冷却水系统中沉积物	191
二、形成污垢的动力学过程	196
三、污垢的控制技术	198
第三节 循环冷却水系统中金属的腐蚀、影响因素及其控制	206
一、循环冷却水系统中金属腐蚀的形态及机理	206
二、循环冷却水系统中金属腐蚀的控制	216
第四节 循环冷却水系统中微生物的控制	226
一、构成黏泥的微生物的种类和特性	226
二、黏泥附着和淤泥堆积的机理	227
三、影响黏泥生成的因素	228
四、防止黏泥的方法及其作用机理	230
五、黏泥处理剂的残余效应	232
六、影响黏泥处理剂效果的环境因素	233
七、黏泥处理剂的种类和效果	233
第五节 冷却水系统的管理与运行	236
一、水质管理和加药管理	236
二、水处理效果的监控	240
三、定期检查时的调查方法和热交换器的清洗	243

四、新建装置、设备的冷却水处理和注意事项.....	245
第六节 循环冷却水处理应用实例.....	247
第四章 中水处理.....	297
第一节 生物接触氧化处理机理.....	297
一、生物膜对废水的净化作用.....	297
二、流态.....	298
三、生物降解有机污染物的动力学.....	298
四、生物相及其演变规律.....	298
第二节 中水处理技术.....	299
一、中水处理水量、回用水质.....	299
二、中水处理工艺流程.....	300
第三节 中水回用方式.....	301
一、单幢高层建筑物的中水回用系统.....	301
二、居民小区中水回用系统.....	301
三、城市污水处理厂集中处理后分散回用方式.....	301
第四节 中水处理工程试验及实例.....	302
参考文献.....	349

第一章

工业给水处理

第一节 工业水的预处理

天然水中含有大量杂质，必须对其进行一系列处理，使其达到工业和民用用水质量标准后才能使用。

一、地表水的预处理

对天然水进行处理的第一步为除去水中所含的悬浮物质和胶体物质，以便为水的进一步软化和除盐创造良好的条件，这一水处理过程一般称为水的预处理。锅炉用水的预处理包括原水的混凝，沉淀或澄清和过滤等过程。经过预处理可使水中悬浮物含量减少到 5mg/L 以下，使之成为澄清水，然后根据不同的用途再作进一步的深度处理。

(一) 混凝

将原水静置，开始时水中的粗大泥砂颗粒逐渐下沉，原水的浑浊度降低。但随后不管将原水静置多久，其浑浊度也无法进一步降低。这种现象称为浑水的稳定性。

浑水的稳定性是由于水中的胶体物质造成的。胶体物质的颗粒尺寸太小，在水中受到水分子运动的冲击作无规则的高速运动，因此能均匀地扩散在水中而不致下沉。此外，胶体颗粒表面因吸附有大量离子而带电荷，这样就使同类胶体颗粒因带有同性电荷而不能相互结合也不能自行沉淀，而是处于一种比较稳定的胶体状态中。

1. 混凝机理

为了破坏胶体颗粒的稳定性，促使胶体颗粒下沉就需要向水中加入混凝剂，进行水的混凝处理。消除或减弱胶体稳定性的作用称为胶体脱稳。脱稳的胶体能够聚结成较大的颗粒，迅速地与水分离开来。通常认为胶体脱稳是由于三方面的作用：离子的压缩作用；胶体吸附和混凝剂的架桥作用；沉淀物的网捕作用。

2. 影响混凝处理的因素

(1) pH 值 pH 值对混凝剂生成絮凝物的形态、对减弱胶体颗粒表面电负荷以及对胶体凝聚速度均有影响。由于原水中所含溶解盐和有机胶体不同，各种混凝剂又各有其最适合的 pH 值，因而在混凝处理时应调整溶液的 pH 值，使该混凝剂的混凝作用达到最大，而絮体的溶解度或其他不良影响又减小到最小的程度。混凝处理时最佳的 pH 值应通过小规模试验确定。

(2) 水温 由于混凝剂的水解是一种吸热反应，因而水温降低时混凝剂的水解速度减慢，同时水的黏性增加，使胶体颗粒的不规则布朗运动强度减弱，不利于胶体颗粒的相互碰撞凝聚。此外水温低时，絮凝物形成速度较慢，形成的絮凝物细而松，也会影响混凝效果。

水温对铝盐混凝剂的混凝效果影响明显，应用硫酸铝对原水进行混凝处理时，最佳水温

约为 25~30℃。水温对铁盐混凝剂混凝效果的影响不如对铝盐大。对于低温水的混凝处理，一般采用增加混凝剂量和投加高分子助凝剂的方法，但效果仍不理想。更好的方法尚有待进一步研究。

(3) 混凝剂用量 通常水中悬浮物愈多、浑浊度愈大，混凝剂的剂量就应相应增大。但混凝剂剂量过大会使其水解产物迅速絮凝而使混凝剂失去活性，不利于胶体颗粒的去除，反而会使出水的浑浊度上升。

(4) 原水水质 如原水浑浊度较低，所需凝聚时间过长，可采用助凝剂如黏土、高分子聚合物等以加速凝聚过程。如原水中有大量腐殖质等高分子有机物，这些物质会吸附在胶体颗粒表面，使胶体颗粒不易聚集，影响混凝效果。此时应加入氯或臭氧以破坏这些有机物。

(5) 水与混凝剂的混合速度 混凝过程大致可分为两个阶段，即混合阶段和絮凝阶段。在混凝剂投入水中后开始的混合阶段，混凝剂的水解、胶体颗粒稳定性的失去以及絮凝体的开始形成都是在数十秒内快速完成的。所以水和混凝剂必须高速混合以便两者充分混合而使反应均匀，同时使失稳的胶体颗粒增加碰撞形成粗大絮状物。在絮凝阶段应使絮凝流速由大而小，逐渐减慢，使长大的絮凝体加快沉降。特别在絮凝阶段后期，流速太快易使已形成的絮凝体破碎，使胶体颗粒出现再度稳定现象，恶化混凝效果。

(6) 助凝剂 助凝剂一般不起混凝作用，但具有调节混凝时的 pH 值、增大絮凝物密度以利沉淀等功能。在混凝过程中同时使用助凝剂，可减少混凝剂量，并可缩短混凝时间。

3. 混凝剂的性能

(1) 硫酸铝 pH 值的应用范围 4~11，优化范围 5~7，生成絮体较轻，浊度去除率高，腐蚀率较低，价格低廉。

(2) 氯化铁、硫酸铁 pH 值的应用范围 8~12，优化范围 5~11，生成絮体较重，浊度去除率高，腐蚀率较高，价格低廉。

(3) 聚合铝 pH 值的应用范围 4~10，优化范围 5.5~7.5，比单一的硫酸铝混凝效果好，生成絮体较轻，浊度去除率高，腐蚀率较低，价格稍贵。

(4) 聚合铁 pH 值的应用范围 4~10，优化范围 5.5~7.5，比单一的硫酸铝混凝效果好，生成絮体较轻，浊度去除率高，腐蚀率较低，价格稍贵。

(5) 聚丙烯酰胺 聚丙烯酰胺是水处理中最常用的高分子混凝剂，又分为非离子型、阳离子型、阴离子型。

非离子型：pH 值的应用范围 3~9，优化范围 4~8，生成絮体较大，浊度去除率高，腐蚀率较低，价格较高。可用于造纸、印染等废水。

阳离子型：pH 值的应用范围 3~9，优化范围 4~8，生成絮体较大，浊度去除率高，腐蚀率较低，价格较高。可用于高悬浮物的无机废水。

阴离子型：pH 值的应用范围 5~12，优化范围 7~11，生成絮体较大，浊度去除率高，腐蚀率较低，价格较高。可用于高悬浮物的无机废水。

(二) 沉淀与澄清

1. 澄清机理

对澄清技术可用下式表示：

$$\begin{aligned} T &= H/v = AH/Q \\ v &= H/T = H/(AH/Q) = Q/A \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中 T ——澄清所需时间，s；

H ——澄清池高度, m;
 v ——沉降速度, m/s;
 A ——澄清池表面积, m²;
 Q ——进水流量, m³/s。

由上式可知, 沉降速度快, 则澄清时间短; 反之, 沉降速度慢, 则澄清时间长。而水中颗粒或絮体的沉降速度与前述所选用的混凝剂的种类也有关, 如选择铝盐作混凝剂时, 因生成的矾花较轻, 故沉降速度低; 而如选择其他类型混凝剂如铁盐或石灰等, 则颗粒的沉降速度就相对高。此外, 在设计澄清池时, 为保证澄清效果, 在澄清池中除去最小颗粒的沉降速度和水平流速两者之比取(20:1)~(40:1), 如果两者之比大于这一比例, 颗粒往往来不及沉降而影响澄清效果。

根据物理学中斯托克斯定律

$$v = 64.4(\sigma - \rho)D^2/\mu \quad (1-2)$$

式中 v ——沉降速度, m/s;
 σ ——颗粒密度, kg/m³;
 ρ ——流体密度, kg/m³;
 μ ——流体黏度, Pa·s;
 D ——颗粒直径, m。

由式(1-2)可见, 颗粒直径越大, 则沉降速度越高, 而且两者呈平方关系。颗粒密度越大或颗粒与流体两者的密度差越大, 则沉降速度也越大。此外流体的黏度越小则沉降速度越大, 两者呈反比关系。由此可联想到在澄清前投加混凝剂, 一方面可使水中颗粒凝聚成较大的颗粒, 使颗粒直径增大, 另一方面加入高分子絮凝剂后, 常可使水的黏度变小, 因而使沉降速度增大。

2. 影响澄清的主要因素

澄清的效果与许多因素有关。在此只强调停留时间。

停留时间是指单位体积水流经澄清池所需的时间。停留时间取决于澄清池的目的和处理的对象。如主要是去除水中的粗砂、黏土等大颗粒的杂质, 则停留时间可短一些。但如果主要是去除水中浊度等小颗粒的杂质, 则停留时间宜长一些。例如, 对于前者去除粗砂、黏土, 如停留时间为几个小时, 则对于后者即去除小颗粒时的停留时间可以是几天, 对于后续工序将进行过滤的水, 则停留时间一般为2~4h。

(三) 过滤

过滤是利用一些多孔介质, 即滤料从水中分离不溶解固体的过程。这些过滤介质可以允许水通过而对固体颗粒起到筛分、截留的作用。

使水通过过滤介质常需要有一定的压力, 这种压力可以分别由重力、真空或流体压力来提供, 使用压力的大小则取决于过滤的面积、过滤的时间和反冲洗的流量等因素。

根据上述原理, 过滤可分为恒压过滤和恒速过滤两种。恒压过滤是指在过滤过程中压力保持恒定, 随着过滤过程的进行, 滤出水的流量将逐渐减小, 当达到特定的最小流量时, 过滤器就需要进行反冲洗。而恒速过滤则指在过滤过程中滤出水的流量维持恒定, 随着过滤过程的进行就需要不断增加压力, 当达到特定压力时, 过滤器需进行反冲洗。

1. 过滤机理

以恒压过滤为例, 通过过滤器的流量方程式如式(1-3)所示。

$$t/V = (\mu\alpha r_c V)/(2 \times \Delta P \cdot A^2) + (\mu r_s L_s)/(\Delta P \cdot A) \quad (1-3)$$

式中 t ——过滤时间, s;

V ——过滤液体积, m^3 ;

μ ——过滤液黏度, $Pa \cdot s$;

α ——每单位滤液体积的滤饼体积;

r_c ——滤饼的阻力, $1/m$;

r_s ——滤膜的阻力, $1/m$;

A ——过滤面积, m^2 ;

ΔP ——总压力降, Pa ;

L_s ——滤膜的厚度, m 。

式(1-3)适用于当滤饼已建立后的稳态过滤。

由于 $r_c \gg r_s$, 故

$$r_c = K(\Delta P)^c$$

这里的上角标 c 是压缩系数, K 是常数。即 r_c 随着过滤压力 ΔP 的改变而改变。

学者霍德逊提出了应用于常用砂滤的方程式。即在砂滤器中, 压头损失 h 在正常流量时为:

$$h = KQD \quad (1-4)$$

式中 Q ——单位时间单位面积过滤水的体积, m^3/s ;

D ——过滤器的深度, m 。

2. 过滤速度及其影响因素

过滤速度或过滤速率是评价过滤效果好坏的重要指标。过滤速度的快慢取决于下列因素: 未过滤水的性质, 即进水水质; 滤出水的要求, 即出水水质要求; 滤床中滤料颗粒的大小; 滤床中滤料的深度等。例如, 原水水质差, 则一般过滤速度较慢; 原水水质好, 则过滤速度就快。又如, 出水水质要求高, 则过滤速度不宜太快, 一般合适的过滤速度才能获得低浊度的出水。影响过滤速度的因素较多, 补充介绍如下。

(1) 絮体(矾花)的性质 由于在过滤之前往往伴随着一个混凝沉降过程, 因此是否投加混凝剂, 投加混凝剂的种类以及投加混凝剂后生成的絮体(矾花)的性质会直接影响过滤速度。

当弱絮凝作用时

$$K = (vS^3\Delta P)/L \quad (1-5)$$

而当强絮凝作用时, 则

$$K = (vS^2\Delta P)/L \quad (1-6)$$

式中 K ——过滤指数, 反映过滤的难易程度;

v ——流速, m/s ;

S ——滤床颗粒的有效尺寸大小, m ;

ΔP ——压力差, Pa ;

L ——滤床深度, m 。

在上两式中由于 K 为一定值, 而 v 、 S 、 ΔP 均为分子, 惟有 L 为分母, 故如果要求过滤速度快, 则要通过低的压头损失等措施来达到。此外, 上两式中的过滤指数 K 是随着不

同的水质而变化的。因为过滤指数 K 反映过滤的难易程度， K 值可以由 0.4 提高到 6.0，随着 K 值提高，则过滤更容易。

(2) 砂粒的大小 随着砂粒直径的增大，压头损失降低；砂粒直径小，则压头损失增加。因此，如果知道过滤器的压头损失，就可以估计采用的砂粒的类型及合适的粒径。

(3) 流动状况 水的流动状况对过滤速度和过滤的效果也有明显的影响。图1-1表示的是砂滤器中雷诺数与絮体穿透率的关系。

由图 1-1 可见，随着水的雷诺指数的增加，絮体的穿透率增加，即当过滤速度增加导致水进入湍流状态，则絮体的穿透深度也相应增加，这时会引起更多的颗粒进入滤床。因此在高流速时进入滤床的污泥会多于低流速时，因而应选择合适的流速和流动状况。

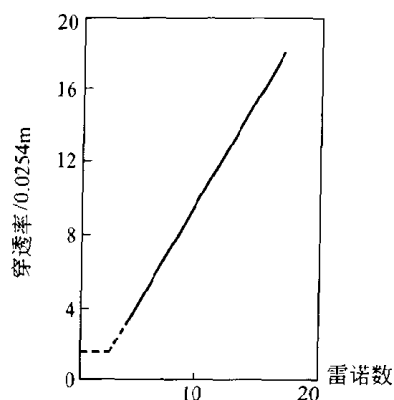


图 1-1 砂滤器中雷诺数与絮体穿透率的关系

【实例 1-1】某市供水总公司第八水厂设计实例

1. 水厂净水处理系统

采用常规的水处理工艺，原水在取水管理站进行预加氯，靠重力流经输水管道，进入厂区进行净化处理，工艺流程为：取水口预加氯→加药→反应→沉淀→过滤→消毒→加压→市区管网，具体工艺流程见图 1-2。

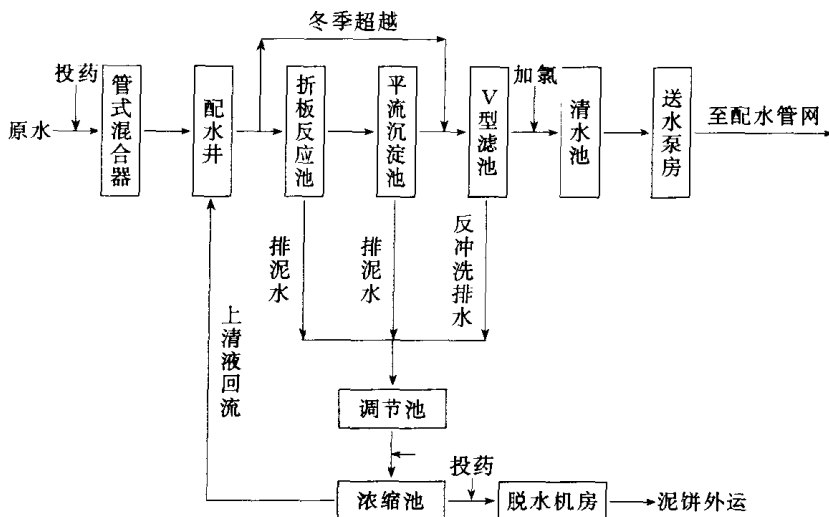


图 1-2 水厂净水处理工艺流程

主要的净水处理构筑物及其设计参数如下。

(1) 预加氯

a. 黄壁庄取水管理站内设 3 台容量为 40kg/h 的真空加氯机（2 用 1 备）及超声波流量计 2 台。

b. 岗南取水管理站内设 2 台容量为 1350kg/d 的真空加氯机，针型流量调节阀 1 台，超声波流量计 1 台。

原水预加氯的主要目的为夏季灭藻，投加量控制在 5mg/L 以下。

(2) 加药 采用聚合氯化铝，最大投加量为 30mg/L，共设 3 台 G430VE75/75 隔膜式变频驱动加药泵，单台流量 0~1950L/h，扬程 26m，2 用 1 备。加药泵的控制采用复合环控制，即以原水的流量、浊度、温度、pH 值等信号，按设定比例投加，再由设在反应池前

的 SC5200 型流动电流测定仪所测定的信号，进行远程微调控制，使加药量处于最佳值。

(3) 混凝与沉淀 取自岗南、黄壁庄水库的原水浊度较低，一般在 10NTU 左右，为取得较理想的处理效果，以下因素极为重要：混凝剂在水中的快速混合；适当的反应时间；较稳定的沉淀效果。为达到以上目的，本工程采用静态混合器、折板反应池和平流沉淀池。

a. 混合 原水进入净水厂区，加药后进入 DN1400，长 4.2m 的管式静态混合器快速混合。

b. 反应 采用 4 组竖流式折板反应池，单池平面尺寸为 20m×10m，单池设计能力为 $8.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。主要设计参数为：反应时间 11min；折板间流速 $v_{\text{收}} = 0.38 \sim 0.1 \text{ m/s}$ ， $v_{\text{放}} = 0.08 \sim 0.02 \text{ m/s}$ 。

c. 沉淀 采用 4 组平流沉淀池，单池设计能力为 $8.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，单池尺寸为 100m×20m×3.8m。主要设计参数为：停留时间 2h；水平沉速 14mm/s，在平流沉淀池内设有 $L_k = 20\text{m}$ 机械刮泥桥，将沉淀的絮体刮至池首泥斗中，用固定式重力排泥管排出，排泥持续时间及排泥间隔均可调。

d. 过滤 采用气水混合反冲洗加 V 型槽表面扫洗的 V 型滤池。共有 16 个双单元滤池，分为 2 大组，每组 8 个滤池，每组的处理能力为 $16.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，每个滤池尺寸为 12m×3.5m×2.0m，中间由反冲洗水集水槽分开。为了便于滤池检修，在每个滤池进水口均设有检修闸板。

主要设计参数为：正常运行时滤速 10.2m/h；水冲强度 $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；扫洗强度 $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，反冲洗周期 24h；砂面上水深 1.2m；滤料粒径 0.9~1.3mm，厚 1.4m。

当水头损失或时间达到设定值时，滤池开始反冲洗。反冲洗离心泵的流量 $Q = 1260 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H = 6\text{m}$ 。反冲洗操作分 2 个步骤，首先是气水联合反冲洗 3~5min，然后是水冲洗 3~4min，水的表面扫洗始终伴随进行。

e. 清水池及送水泵房 清水池共设 2 座，单池的平面尺寸为 60m×90m，有效水深 4m，单池容积 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，总容积 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，占水厂产水量的 13.3%。清水池为地下式钢筋构筑物，池内设 DB43C 型液位变送器 1 台。

送水泵房设计采用时变化系数为 1.4，总送水能力为 $42 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据配水管网平差计算结果，出厂水压力为 35m，因此泵房内设有 6 台 SDA500-600 型离心清水泵， $Q = 4380 \text{ m}^3/\text{h}$ ， $H = 40\text{m}$ ， $N = 630\text{kW}$ ，4 用 2 备，其中 3 台为变频调速泵，配 HXR450mF₆ 型变频调速电机，630kW，660V；3 台为定速泵，配 HXR500mF₆ 型高压电机，630kW，10kV。

f. 加氯 滤后水由液氯进行灭菌消毒，投氯点设在清水池的进水管上，投氯量按 1.5mg/L 设计。加氯间的平面尺寸为 42m×9m，可分为 4 个部分：氯瓶间、加氯机间、碱吸收间和值班室。加氯机间设置 3 台容量为 20kg/h 的 70C4424C 型真空加氯机，2 用 1 备。

2. 水厂废水处理系统

本系统由调节池、浓缩池、污泥脱水及泥饼处置 4 部分组成，处理对象主要是反应池、沉淀池排泥水和滤池反冲洗废水，处理工艺流程如图 1-3 所示。

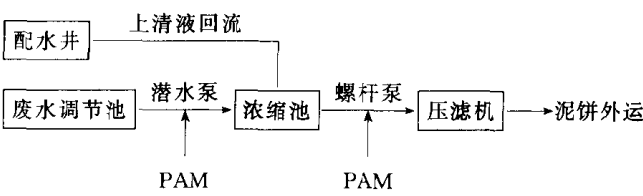


图 1-3 水厂废水处理工艺流程

其中，生产废水处理系统构筑物及其设计参数如下。

(1) 调节池 采用钢筋混凝土结构，平面为矩形，尺寸为 $24\text{m} \times 9\text{m}$ ，深 4.2m ，超高 0.9m ，有效容积约为 700m^3 。为使池内废水不在此产生沉淀，其东北角装设 1 台潜水搅拌机，安装高度（轴距池底）为 1.0m 。池西端装设 2 台流量为 $350\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 10m 的潜水泵，1 用 1 备。泵与搅拌机均由液位计控制开停，当调节池液位达到 1.5m 时，自动开启搅拌机， 1.0m 时停止运行；液位达到 1.8m 时，开启 1 台潜水泵，此时絮凝剂投加泵连锁开启，将絮凝剂与泥水混合，打入浓缩池进行浓缩，液位降至 1.3m 时停泵。

(2) 浓缩池 浓缩池面积为 254m^2 ，直径 18m ，总高度 6m ，采用钢筋混凝土结构。在进入浓缩池的管道上，投加少量聚丙烯酰胺絮凝剂（以下简称 PAM），以加速浓缩。池内装有引进的单臂机械刮泥机，底部刮板将浓缩污泥刮进池底泥斗内，再经螺杆泵送入脱水间进行脱水，螺杆泵的流量为 $25\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 12m ，上清液收集到集水井内，集水井内的 2 台潜水泵将上清液打回到厂前区的配水井里，随原水再进行处理，回收利用。

(3) 脱水间 脱水机械采用 1 台韩国生产的 YC-SP 型的双滤布压滤式污泥脱水机（简称带式压滤机），带宽 3m ，速度 $0.8 \sim 3.2\text{m}/\text{min}$ ，日处理干泥 $12 \sim 15\text{t}$ ，污泥产率为 250kg （干泥）/（ $\text{m} \cdot \text{h}$ ）。在污泥进入压滤机前，投加含量 2.5‰ 的 PAM，投加量控制在 $1\text{‰} \sim 2\text{‰}$ 之间（相对干污泥计），投加后可以获得较粗大的絮体和清澈的间隙水，这样污泥经浓缩压榨后，泥饼的含固率为 $25\% \sim 50\%$ 。脱水后的泥饼由固定式皮带运输机运至室外的移动式皮带运输机上，再装车外运，最终用于填坑。

3. 水厂运行状况

该水厂自 1996 年 8 月正式投产以来，运行状况良好，由于原水为水库地面水，水质变化频繁，净水系统的各工艺阶段在水处理过程中，处理效果十分显著，特别是当原水水质发生大的变化时，通过采取得力措施，确保了水质水量，圆满地完成了总公司下达的生产指标。

1996 年 8 月，该市遇到特大洪涝灾害，市区许多水井被淹，全市面临水荒。由于山洪暴发，水厂来水浊度高达 1400NTU ，超过设计能力几十倍，为保证出水水质和出水水量，通过采取增加滤池反冲洗频率、增大加药量、增大加氯量、把沉淀池刮泥桥的一个运行过程分成几段、缩短反应池及沉淀池的排泥间隔、增加水质检测频率等措施，出水水质全部达到国家检测标准。

1999 年 2、3 月份，原水水质恶化，氨氮含量过高，色度大，鱼腥味很浓，引起部分市民不满。针对这一情况，水厂研制出了一套简便实用的粉末活性炭投加设备，向水中投加了活性炭，出厂水质明显好转，色、味指标明显降低，使市民喝上了放心水。

几年来，水厂累计向市区优质供水将近 2 亿立方米，出厂水余氯合格率达 100% ，浊度控制在 1NTU 以下，其他指标均达到了国家饮用水水质卫生标准，大大缓解了该市的供水紧张局面，为工农业的发展提供了有力的保障。同时水厂的生产废水处理系统运行良好，年处理废水 150 万立方米，脱泥近 6000m^3 ，每年可为水厂节约资金 10 余万元，既保护了环境，又充分利用了水资源，收到了良好的社会效益和经济效益，得到了环保部门及同行的较高评价。当然在几年的运行中，也发现了许多问题。

(1) 水厂入口处，应设投氯装置，实现三点加氯 目前水厂为两点加氯：一是在取水管理站，进行季节性预加氯，二是在水厂清水池之前，加氯消毒后，进入市区管网。因为设计时预加氯的主要目的是在夏季高藻期，消灭输水管线中的藻类，故没有设置蒸发器，但在实

际运行中,发现冬季及初春水库水质状况差,如有时氨氮超标、锰超标,均需在取水口进行预加氯,但由于气温低,而无法投加,影响净水效果。如在水厂入口处增设一投加点,既可解决此问题,又可改善混凝效果,保证出厂水质。

(2) 滤站应设在室内 筹建时考虑到资金问题,故把滤站建在室外,结果给运行管理带来麻烦。首先,夏季高温时,池壁长满藻类,有时滤砂上也长一层藻,既影响处理,又增加人工清池费用;冬季下雪路滑,给值班人员巡视带来困难;遇大风天气,水就会不可避免地被污染。

(3) 选泵时,应大小匹配,以适应流量变化 水厂送水泵房设有 6 台泵:3 台定速泵,3 台调速泵。其性能参数为:流量 $Q = 4380\text{m}^3/\text{h}$,扬程 $H = 40\text{m}$,电机功率 630kW。由于市区供水管网陈旧,承压能力低,在水厂刚开始运行时,市区旧管网崩管现象时有发生,限制了出厂水压,水泵出口阀不能全部打开,耗能较大。为解决此问题,水厂出资 30 万元,把 6 台水泵的叶轮进行了切削,切削后的性能为:流量 $Q = 3400\text{m}^3/\text{h}$,扬程 $H = 30\text{m}$,减小了水泵流量,降低了扬程,提高了水泵效率。如在当初设计选泵时,做到大小匹配,就能适应不同流量压力变化,避免出现以上问题。

(4) 生产废水应分开处理 由于滤池反冲洗水含固率低,仅为 0.11%,可直接回收进入配水井进行二次净化(北京水源九厂即以此工艺运行,效果较好),这就要求将反应沉淀排泥水与滤池反冲洗水分流,再建 1 条管道和 1 座调节池,这样生产废水分流进入 2 个调节池,含固率高的排泥水进入原调节池,含固率低的反冲洗水进入新的调节池。建议新建调节池容积为 1 个滤池反冲洗水量的 1.5 倍,即 600m^3 ,池中装潜水泵,使反冲洗水用泵送入配水井,这样进原调节池的水含混量较以前有所提高,浓缩时间由原来的 3.82h 增加到 12.45h,浓缩时间加长,浓缩效果就会好,进入压滤机的污泥含固率增大,脱泥效果相应也就好。

(5) 更换絮凝剂 原设计中选用的絮凝剂不适合水厂的废水处理,不能使废水中所含杂质很好地絮凝,造成浓缩池的上清液不清,并且连续脱泥压不成泥饼。通过做混凝试验,自 1999 年 10 月起,将试运行期间外方专家推荐使用的 FJ-02 阳离子型 PAM,改成 AN910PWG 阴离子型 PAM,并调整其投加量,从而大大改善了生产废水的处理效果。

【实例 1-2】 某市自来水公司二水厂扩建工程设计与运行

1. 工程概况

某市自来水公司二水厂位于龙潭山脚松花江畔,原供水规模 $4 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,1964 年建成投产。随着社会的发展,原有的供水规模已无法满足需求,扩建工程于 1992 年开始,设计供水能力 $12 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,由某市政工程设计院负责设计。工程分两期建设:一期工程新建取水泵站及加药工艺,二期工程扩建净水厂及管网部分。一期工程已于 1993 年底竣工;二期工程于 1996 年开工,1998 年 7 月竣工试车运行。扩建工程引进法国 DEGREMONT 公司先进技术,总投资 2.1 亿元。扩建工程的设计特点主要体现在:工艺构筑物选型充分考虑了原水水质特性;净水工艺通过一定调整即可实现与特定原水水质相适应的优化运行方式;成套引进国外先进净水工艺及设备;引进了先进的自控技术及完善的数据采集处理系统;采用了先进的节能降耗技术及设备;扩建同时结合对原有老工艺的技术改造。

2. 原水水质及处理工艺

二水厂水源为松花江吉林段,丰满大坝下游,基本未受工业污染,水质清洁。浑水期最高浊度 150NTU(短期),平均浊度 20~50NTU;每年 11 月至第二年 4 月为低温低浊期,

水温 0~4℃，浊度 2~18NTU；4 月份至 6 月份原水藻类含量高，色度升高，常年 pH 值 6.8~7.2。

根据原水水质特征，参考其他水厂运行经验并结合二水厂实际，并通过技术经济比较，确定二水厂净水工艺流程如图 1-4。

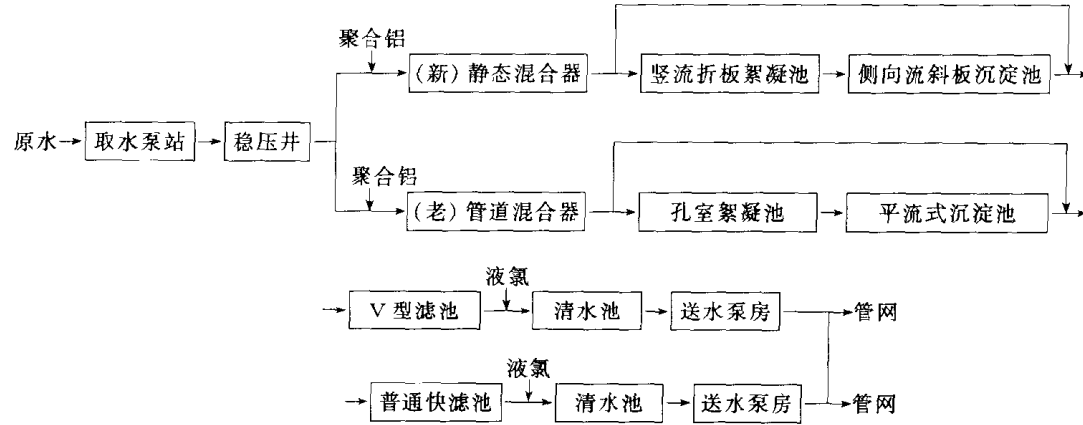


图 1-4 工艺流程

3. 净水工艺设计及运行

(1) 取水泵站

a. 取水头 取水头设在龙潭大桥下游 300m 松花江心处，水质较好。取水头形式为江心淹没式箱式取水头，箱体两面进水，进水格栅流速为 0.15m/s。共设 2 个箱体，每个箱体平面尺寸为 12.7m×5.5m，高 3.9m。取水头设计特点：为了方便施工，将其设计分割为两个独立箱体，钢筋混凝土箱体预制；在箱体上设置 DN300 充、排水管，在施工时，根据箱体就位偏差程度通过注水或抽水来精确定位箱体（控制标高精度）；在进水格栅栅条上加套导热性能差的橡胶管，防止细小冰絮冻结在格栅上，缩小进水面积影响进水量；取水头箱体长度方向平行水流流向避免洪水冲刷，水力条件好。共设 2 根 DN1200 自流管线， $v = 0.82$ m/s, $i = 0.0028$ 。

b. 取水泵站 取水泵站由进水间、滤网间、吸水间、泵房、值班控制室、高低压配电室组成。取水泵房为地下式，设计流量 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，校核流量取 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。取水泵站共 4 台机组，离心泵型号为 24SA-18A，其中 1 台机组为调速机组，电机采用 YQTI-450-6 型屈氏内反馈调速电机。运行几年来的生产实践表明，调速机组在调整新老水量方面较为灵活，而且系统维护管理方便，节能效果显著，运行 2 年就收回全部投资。输水管线为 2 根 DN1200 预应力钢筋混凝土管，输水距离为 1.9km。取水泵站设计特点：采用地下式，自灌式取水，虽埋深较大，但水量供给相对充足，水力条件好；布置紧凑；采用先进的内反馈调速机组及高压节能电机（10kV），形成调定联合供水系统等。

实际运行中出现的问题有：在藻类繁殖旺盛期，格栅易被堵塞，加之大块异物附着，严重影响正常取水量；由于取水头为淹没式，加之江心水流湍急，在进行取水头堵塞清理及维护时，操作船只难于定位并靠近取水头，操作条件差；取水泵站日总取水量不足，较难达到设计取水量。

(2) 稳压井 根据二水厂实际特点，扩建工程水处理构筑物在高程上要与原老工艺密切配合，工艺设计中采用了稳压配水井，同时利于新老系统水量的优化调度与分配，并为后续处理创造良好的水力条件。水力停留时间 3min。稳压井与加药间合建，平面尺寸为 12m×