

·城镇给排水·

嘉兴南郊水厂微污染河网水集成净水处理工艺选择与设计

许嘉炯¹ 雷挺¹ 沈裘昌¹ 钟燕敏¹ 芮¹ 查人光² 陈群² 朱海涛²

(1 上海市市政工程设计研究总院, 上海 200092; 2 嘉源给排水有限公司, 嘉兴 314000)

摘要 嘉兴市南郊水厂一期工程设计规模 15 万 m³/d, 针对劣 V 类原水考虑预处理、加强常规处理、深度处理和紧急处理四种措施, 具体采用预臭氧—生物预处理—中置式高密度沉淀池—后臭氧—上向流活性炭吸附池—下向流序批反冲洗砂滤池工艺。从调试运行情况看, 出水水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006), 出厂水浊度控制在 0.1~0.2 NTU。

关键词 微污染河网水 加强常规处理 深度处理 中置式高密度沉淀池 序批反冲洗砂滤池

1 工程背景

嘉兴市为浙江省辖市, 位于全国经济最发达的长江三角洲南翼, 地处浙北杭嘉湖平原东部, 紧邻全国最大的经济中心——上海市, 北接苏州市, 西连杭州、湖州两市, 东南濒临钱塘江与杭州湾。

嘉兴市虽然位于我国经济发达地区, 但水资源并不丰富, 人均占有水资源量仅为 625 m³, 不到浙江省人均的 1/3。目前嘉兴市地表水虽然污染较严重, 但考虑到长距离引水涉及跨区域协调难度大及投资大等因素暂无法实施, 而地下水的取用又因易引起地下水水位下降和地面沉降受限制, 故目前仍只能以地表河网水作为水厂水源。嘉兴市此前常年运行的 2 座水厂——城区的南门水厂和城西的石臼漾水厂, 均取用地表河网水, 故新建南郊水厂亦就地取用微污染河网水, 通过优化处理工艺来满足新颁布的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 的要求。

嘉兴南郊水厂设计总规模为 45 万 m³/d, 一期 15 万 m³/d 已于 2007 年 7 月通水投产。

2 原水水质特点分析

根据 2001 年和 2002 年《嘉兴市环境状况公报》中公布的数据和评价, 嘉兴 8 条主要河流, 均受到不同程度的污染, 其中以石臼漾水厂水源新塍塘污染最轻, 为 III~IV 类水体, 而南门水厂水源长水塘的水质则为劣 V 类水体。

南郊水厂水源为长水塘和南郊河双水源切换。2000~2003 年嘉兴环保监测站对长水塘蚂蝗

塘桥 (离南郊水厂 1 km 左右) 断面水质监测的结果见表 1。

表 1 长水塘蚂蝗塘桥断面水质监测结果

检测项目	最高值	最低值	平均值	GB 3838—2002 地表水环境质量 III 类水标准
水温 / °C	32.2	5.8	20.2	
悬浮物 / mg/L	145	21	68.9	
DO / mg/L	6.36	1.22	3.19	5
COD _{Mn} / mg/L	10	5.23	6.99	6
pH	7.74	7.19	7.48	6~9
BOD ₅ / mg/L	7.36	2.73	5.07	4
氨氮 / mg/L	6.49	0.56	3.29	1
亚硝酸盐 / mg/L	0.401	<0.001	0.224	
挥发酚 / mg/L	0.005	<0.002	0.003	0.005
石油类 / mg/L	0.667	0.025	0.269	0.05
COD _{Cr} / mg/L	54.5	14.7	25.9	20
总磷 / mg/L	0.77	0.20	0.45	0.2
总氮 / mg/L	7.21	2.99	5.66	1

2003 年 12 月和 2004 年 3~4 月, 嘉兴给排水有限公司对南郊河水源作了常规分析, 主要检测指标见表 2。

从表 1 和表 2 中可以看到, 南郊水厂两个河网水水源水质所受有机物污染均比较严重, 尤其是铁、锰、色度和有机污染等指标, 最高值已达 V 类水源标准, 如采取常规处理工艺, 南郊水厂出厂水水质指标难以达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 的要求。

表 2 南郊河水源水质分析

项 目	南郊河 (2003 121706)	南郊河 (2004 031706)	南郊河 (2004 041306)	GB 3838—2002 地表水环境质量 III类标准
色度 /度	26	48	22	
浊度 /NTU	33.0	36.4	176	
臭味 /级	2	2	3	
肉眼可见物	微悬粒	微悬粒	微悬粒	
pH	7.53	7.97	7.82	6~9
总硬度 /mg/L	198.2	210.2	208.2	
总铁 /mg/L	0.75	1.65	0.90	0.3
锰 /mg/L	0.297	0.131	0.389	0.1
硝酸盐氮 /mg/L	2.11	2.56	0.81	10
苯并(a)芘 /mg/L	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$	2.8×10^{-6}
水温 /℃	7.0	10.5	12.4	
氨氮 /mg/L	4.19	3.42	5.64	1
亚硝酸盐氮 /mg/L	0.113	0.171	0.240	
耗氧量 /mg/L	6.93	10.24	6.98	6
总碱度 /mg/L	102	106	144	
铝 /mg/L	0.117	0.036	0.146	
总磷 /mg/L	0.26	0.42	1.17	0.2
总氮 /mg/L	6.35		10.22	1
COD _{Cr} /mg/L	28	14	19	20
BOD ₅ /mg/L		6.9		4

3 工艺选择分析

通过多年来对嘉兴地表河网水源水质进行的试验和检测,基本找到了一套针对嘉兴地表水源水质,大幅改善嘉兴南郊水厂出水水质的净水工艺和相应的技术参数,并已在嘉兴石臼漾水厂得到运行验证。从总的净水工艺分析,可采取 4 道净水措施 (见表 3)。

表 3 不同净水措施的目的

净水措施	目 的
预处理	去除氨氮和相对分子质量 $<1\ 000$ 亲水性强的有机物,主要由生物降解去除,并改善后续处理效果。
加强常规处理	确保出水浊度 $<0.1\text{NTU}$ 。相对分子质量 $>10\ 000$ 的胶体有机物主要通过常规处理去除, $1\ 000\sim10\ 000$ 有机物形态可能处于胶体和真溶液之间,常规处理可以去除一部分。
深度处理	相对分子质量 $500\sim3\ 000$ 的有机物能被活性炭有效去除,臭氧可以使部分大分子有机物氧化降解成小分子有机物。
紧急处理措施	针对突发性水质恶化的临时处理措施。

在进行具体工艺选择时考虑到预处理的目的主要是氨氮的去除和对后续常规处理工艺的改善作

用,故作为第一道处理工艺;紧急处理措施主要是应对水质突发性有机污染,通过投加粉末活性炭和高锰酸钾 (或复合高锰酸盐) 进行控制,故需设于常规处理工艺之前;加强常规处理和臭氧—活性炭深度处理工艺作为处理工艺核心一般顺序布置,但臭氧—活性炭深度处理工艺往往由于生物活性炭表面生物膜老化脱落并穿透炭层,引起出水浊度的提高以及对生物稳定性的质疑。

基于中置式高密度沉淀池在嘉兴石臼漾水厂的稳定运行,该池在出水浊度的控制 (见表 4)、COD_{Mn} (见图 1) 和锰 (见图 2) 等的去除方面较普通平流沉淀池有明显的优势,故采用中置式高密度沉淀池将南郊水厂沉后水浊度控制在 1NTU 左右并有效控制污染物等相关指标是有把握的。

表 4 中置式高密度沉淀池与平流式沉淀池除浊效果对比

月份	出水平均浊度 /NTU	
	平流式沉淀池出水	中置式高密度沉淀池
1	2.17	0.89
4	3.12	0.93
7	2.76	1.09
9	2.07	0.70

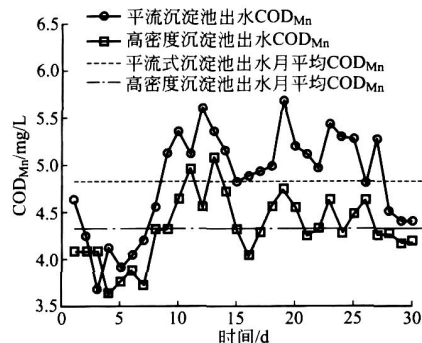


图 1 平流沉淀池和中置式高密度沉淀池 1 月出水 COD_{Mn} 对比

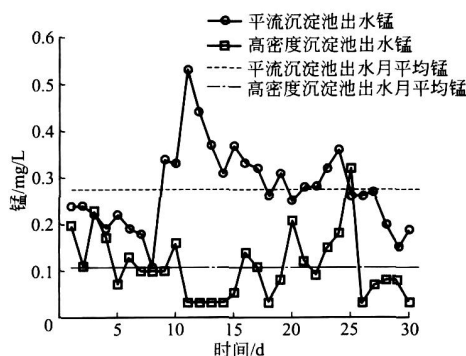


图 2 平流沉淀池和中置式高密度沉淀池 1 月出水锰对比

4.4 中置式高密度沉淀池

规模 15 万 m^3/d 。采用机械混合、机械絮凝、斜管沉淀和污泥浓缩合建形式,共分 2 组,每组规模 7.5 万 m^3/d 。

机械混合室设在池体中央,机械混合时间 30~60 s,回流污泥和矾液及预氧化药剂等加注后与原水一起进入混合室进行机械混合。

混合后采用机械提升搅拌絮凝方式,使原水与数倍的回流水混合,然后进入沉淀分离区。分离区上部设斜管,分别置于絮凝区两侧,上升流速约 4.2 mm/s,斜管上部布置集水槽,沉后水经集水槽汇集后通过连接管道接入臭氧接触池。

分离区下部设污泥浓缩区,采用推流式刮泥机进行污泥浓缩、刮泥,池东侧设小型泥斗,用 DN300 排泥管接出,排泥管与螺杆泵连接,螺杆泵配变频电机,设计回流污泥量考虑 5%~15%,多余污泥接入污泥处理系统。沉淀池放空时可排入回收池,用泵排空。

4.5 臭氧接触池

臭氧接触池规模为 15 万 m^3/d ,不设中间提升泵房。

采用全封闭结构,接触时间 15 min。分为独立 2 组。每组接触池前均设 DN1400 的手动蝶阀。接触池分 3 次曝气头曝气接触,三阶段反应,最后经跌落出水至活性炭吸附池。曝气头采用管式微孔曝气,臭氧向上,水流向下,充分接触。

接触池内逸出的臭氧经负压收集、热催化剂破坏分解成氧气后排入大气。

4.6 臭氧发生器间

臭氧发生器间与臭氧接触池合建,按 15 万 m^3/d 建设,臭氧设计最大加注量 4 mg/L,其中前臭氧 0.5~1 mg/L,后臭氧 3~3.5 mg/L,采用 15 kg/h 臭氧发生器,共 2 台,不设备用。当 1 台发生故障或检修时通过加大另一台负荷达到臭氧供气量。

在厂区西侧设贮氧、制氧专区,近期安置液氧罐,远期再建制氧车间。

4.7 滤池

本工程将活性炭吸附池和砂滤池合建在一起,双排布置,一排为上向流活性炭吸附池,另一排为序批反冲洗砂滤池,设计规模均为 15 万 m^3/d ,各分为

9 格,共用中间管廊。

4.7.1 活性炭吸附池

臭氧接触池出水进入活性炭吸附池,采用上向流运行方式,即下部进水,经过活性炭吸附层吸附后,上部利用指形槽出水。活性炭吸附池单格面积 60.4 m^2 ,上升流速 12 m/h。吸附层为活性炭层,厚度 2.5 m,炭层停留时间 15 min。

活性炭吸附池采用气冲,最大强度约 60 $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$,冲洗历时约 3 min。

活性炭吸附池仅设气冲增大气水与炭粒之间摩擦即可。考虑气冲后出水浊度升高,设置初期水排放管。

4.7.2 序批反冲洗砂滤池

活性炭吸附池出水后直接进入砂滤池,在进水前视需要最大投加 5 mg/L 聚合氯化铝铁作为助滤剂,采用机械混合。砂滤池采用序批气水反冲洗池,单格面积 96 m^2 ,滤速 7.6 m/h。滤层由上而下为:石英砂 $D=0.75\text{ mm}$,厚度 1 m;支承层 $D=3\sim16\text{ mm}$,厚度 0.45 m。

砂滤池冲洗采用气水反冲洗,水冲为水箱冲洗,由设在管廊里的水泵抽取砂滤池出水注入水箱。水箱设在管廊上部。气冲设备设在滤池鼓风机房内。

4.8 清水池

清水池调节容量为 15%。一期设清水池 1 座,容积 22500 m^3 。

4.9 吸水井与二级泵房

本设计吸水井与二级泵房一期土建规模 45 万 m^3/d ,一期设备按 15 万 m^3/d 布置, $K_b=1.25$ 。采用吸水井与二级泵房分建,泵房一侧为变配电间。

吸水井 2 座,半地下式钢筋混凝土结构,顶板承压,两座吸水井之间通过阀门连通。

泵房为半地下式,泵房内共设 7 台泵基,均为卧式离心泵,一期安装 3 台,2 用 1 备,其中 1 台安装变频调速装置,变频泵采用 6 kV 高压电机,非变频泵采用 10 kV 高压电机。

4.10 加药加氯间

加药间土建规模为 45 万 m^3/d ,一期设备安装 15 万 m^3/d 。加药间内包括加矾、PAM、粉末活性炭、高锰酸盐以及酸碱系统。

4.10.1 加矾系统

采用的混凝剂为液体聚氯化铝铁,商品液体有效氧化铝浓度 10%,最大加注量 4 mg/L,平均 2 mg/L,投加点一期 2 个,终期 8 个。砂滤前设投加点作为助凝剂,最大加注量 5 mg/L,平均 3 mg/L,投加点一期 1 个,终期 3 个。

4.10.2 加 PAM 系统

PAM 最大投加量 0.2 mg/L,平均投加量 0.1 mg/L,采用进口一体化专用 PAM 溶药装置,配制溶液浓度 0.1%,在线稀释至 0.02%。投加点一期 4 个,终期 12 个。

4.10.3 加粉末活性炭系统

粉末活性炭最大投加量 20 mg/L,采用手动调配装置,投加浓度 5%,按终期规模选型。投加泵一期 15 万 m^3/d 规模时,2 个投加点设 4 台加注泵,2 用 2 备;终期 8 台泵,6 用 2 备,对应 3 个加注点。

4.10.4 加复合高锰酸盐系统

复合高锰酸盐最大投加量 1.5 mg/L,平均投加量 1 mg/L。

一期 1 个投加点设 2 台计量泵,1 用 1 备;终期 4 台计量泵,3 用 1 备,对应 3 个加注点。

4.10.5 加酸系统

采用 98% 的浓硫酸,根据试验设定最大投加量 70 mg/L,一期设储酸罐 1 只,终期设 2 只(1 个储酸罐储量应满足至少可连续使用 5 d)。

一期 2 个投加点设 2 台双头计量泵,1 用 1 备;终期 6 台双头计量泵,3 用 3 备,对应 6 个加注点。

4.10.6 加碱系统

采用 30% 的 NaOH 溶液,根据试验数据设定最大投加量 8 mg/L (纯),一期设储碱罐 1 只;终期设 2 只(1 个储碱罐储量应满足至少可连续使用 5 d)。

一期 2 个投加点设 2 台双头计量泵,1 用 1 备;终期 6 台双头计量泵,3 用 3 备,对应 6 个加注点。

4.10.7 加氯系统

为保证管网中有一定余氯,最终需对出厂水加氯,最大投加量按 3 mg/L 计,平均投加量 1 mg/L,一期选用 20 kg/h 真空自动加氯机 2 台,1 用 1 备;终期共设 5 台加氯机,3 用 2 备。

氯库按 15 万 m^3/d 规模平均加注量储存 15 d 设计。

4.11 污泥平衡池

一期设置 2 座,并预留 2 座位置,用于均匀浓缩污泥,圆型,单池有效容积为 400 m^3 。

污泥平衡池进水(泥)采用泵送入池的方式,圆型,每座平衡池设置水下搅拌机 2 套。采用 2 根排泥管,将浓缩污泥重力输送至综合泵房。

4.12 综合泵房、脱水机房及污泥堆场

脱水机进水污泥设计含固率为 3%,按三期 45 万 m^3/d 处理干泥 42~91.8 t/d 计,脱水机总处理能力要求为 1400~3060 m^3/d 。脱水机每天运行 8~22 h。

脱水机房设置脱水机和螺旋输送机。

脱水污泥输送至污泥堆棚定期外运处置,污泥堆棚面积为 120 m^2 。

PAM 的投加系统采用阴离子型固体粒状 PAM,污泥脱水机 PAM 最大投加量为 4 kg/t 干泥,PAM 投配浓度为 0.5%,在线稀释浓度为 0.1%。

5 调试与运行

南郊水厂采用的工艺较新,尤以中置式高密度沉淀池和序批反冲洗砂滤池调试工作为重。经过试运行,目前单池运行已经稳定。在此过程中中置式高密度沉淀池的运行除受加药量的影响外,其出水水质受下部排泥的影响较大,试运行阶段进行了不同工况反复调试;序批反冲洗砂滤池的调试重点主要在反冲洗系统,通过试运行阶段调试,目前逐步掌握了冲洗的周期和最佳冲洗时间。

目前南郊水厂投产运行近一年,调试工作尚在进行中,出厂水水质已达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,出厂水浊度控制在 0.1~0.2 NTU,具体水质参数见表 5。

表 5 2007 年 7 月南郊水厂月平均主要水质指标

项目	沉后水	出厂水
浊度 /NTU	0.27	0.11
色度 /度	8	<5
臭和味 /级	0	0
可见物	无	无
pH	7.2	7.2
氨氮 /mg/L	0.26	0.04
亚氮 /mg/L	0.023	<0.001
耗氧量 /mg/L	3.28	1.37
锰 /mg/L	<0.05	<0.05
总铁 /mg/L	0.06	<0.05
余氯 /mg/L		0.67

天津市杨柳青水厂超滤膜法饮用水处理技术示范工程

韩宏大^{1,2} 何文杰² 吕晓龙¹ 李爱斌²

(1 天津工业大学生物化工研究所, 天津 300160; 2 天津市自来水集团有限公司, 天津 300040)

摘要 天津市杨柳青水厂新建规模为 $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$, 工程采用超滤膜法处理技术, 详细介绍了该示范工程的工艺设计特点, 并对工程的运行效果和运行成本进行了阐述。工程实践表明出水浊度 $< 0.1\text{ NTU}$, $\text{COD}_{\text{Mn}} < 3\text{ mg/L}$, 达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 要求。

关键词 饮用水 超滤膜 示范工程

1 工程背景

由于水环境污染的加剧和水质标准的提高, 水厂常规水处理工艺的局限性越来越明显^[1], 因此研究开发新的净水技术成为目前城市供水行业面临的重要课题。天津市杨柳青水厂超滤膜法饮用水处理技术示范工程是天津市自来水集团有限公司承担的天津市科技创新基金项目(05FZZDSH00500)“膜法饮用水处理技术研究及示范工程”的一部分。针对滦河原水的特点, 在天津市杨柳青水厂建立了 2 套 $300\text{ m}^3/\text{d}$ 的中试装置, 1 套为混凝—压入式超滤膜

法水处理装置, 1 套为混凝—浸入式超滤膜法水处理装置。从 2006 年开始在 2 套中试装置上进行了为期 2 年的试验研究, 形成了系统化的集成技术, 并将技术成果应用到示范工程中。示范工程主工艺采用混凝—压入式超滤膜法水处理工艺, 超滤膜为国产内压式超滤膜, 并采用浸入式超滤膜回收装置对压入式膜的反洗水进行回收, 总产水能力为 $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$, 占地面积约 400 m^2 。

2 工艺流程

试验研究表明, 滦河原水水质特性明显, 分为 3 个水质期^[2]: 低温低浊期(12 月下旬~次年 3 月中旬), 正常水质期(3 月下旬~6 月上旬, 10 月中旬~

天津市科技创新基金项目(05FZZDSH00500)。

6 回顾与思考

(1) 水源水质的改善措施应作为水处理的重要组成部分。嘉兴南郊水厂所取原水为内河 V 类, 在水源选择时已考虑长水塘和南郊河择优切换。在水厂实施的同时, 完成河道的疏浚与整治, 并控制污染源产生。目前原水水质较建设前已有一定改善, 结合高效先进的处理工艺, 对于降低水厂药耗, 确保出水水质达标, 具有积极意义。

(2) 结合原水水质进行调试, 寻找不同工况最佳运行模式, 充分发挥生产工艺的能力。南郊水厂扩容工程采取先进的工艺, 投加了高锰酸盐和 PAM 等多种药剂, 并在处理工艺流程布置上有所创新。只有寻找不同工况下最佳运行模式才能科学经济地发挥各生产构筑物的处理能力, 并在不同工作负荷下, 尝试寻找最佳运行模式, 逐步积累经验, 稳步提高出水水质。

(3) 新技术对于新工艺具有较强的推动作用。正是因为中置式高密度沉淀池和序批反冲洗砂滤池这些新技术在嘉兴石臼漾水厂的成功应用, 才使本次南郊水厂常规处理和深度处理工艺相结合的新组合工艺得以贯彻实施。

参考文献

- 1 储金宇, 吴春笃. 臭氧技术及应用. 北京: 化学工业出版社, 2002
- 2 郑志民, 雷挺, 许嘉炯, 等. 嘉兴石臼漾水厂深度处理工程设计与运行. 给水排水, 2005, 31(10): 10~13
- 3 许嘉炯, 雷挺, 沈裘昌, 等. 嘉兴石臼漾水厂扩容工程的设计和调试运行. 给水排水, 2006, 32(5): 1~5

○通讯处: 上海市中山北二路 901 号

电话: (021) 51298214

E-mail: xu_jj_gp1@smeti.com

收稿日期: 2008-06-10