

上海松江二水厂深度处理改造及运行效果

张磊¹, 洪景涛²

(1 青岛国林实业有限责任公司, 青岛 266031; 2 上海市市政工程设计研究总院第二设计研究院, 上海 200092)

摘要: 随着卫生部新颁《生活饮用水卫生标准GB 5749-2006》实施的过渡期即将结束, 由于原水水质不稳定, 松江自来水公司二水厂亟需实施深度处理改造以保证出厂水达标要求。本文介绍了松江二水厂创造性地将原有平流式沉淀池进行改造, 克服了厂区用地紧张、电力容量不足等诸多难题, 在常规处理工艺基础上新增O₃-BAC深度处理工艺, 实现提升供水水质工程实例, 具有一定的借鉴意义。

关键词: 自来水厂 深度处理 生活饮用水卫生标准

Keywords: Water Treatment Plant; Advanced treatment Technology; Drinking water standard

1 松江二水厂现状概况

1.1 原有常规处理工艺流程

松江二水厂供水规模为 20 万m³/d, 是松江自来水公司的主力供水水厂, 日均供水负荷已达 80%。该水厂包括 2 条各 10 万m³/d生产工艺流程, 分两期建成, 一期建成于 1995 年, 二期扩建于 2005 年。2 条生产流程均仅为常规水处理工艺, 原水口取水后经约 10 公里的管道输送进入水厂, 水厂采用平流沉淀池和汽水反冲均质滤料滤池为主体的常规处理工艺, 净水工艺流程见图 1。

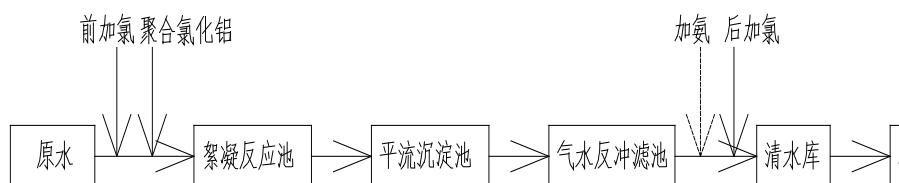


图 1 松江二水厂常规处理工艺流程示意图

1.2 斜塘原水的水质状况

松江二水厂原水取自黄浦江上游支流斜塘，由于所在流域多年来的经济发展，原水水质有逐年下降趋势。

表 1 是松江二水厂 2004 年~2009 年原水部分水质指标汇总。从表 1 中可以看出，斜塘原水的COD_{Mn}、氨氮较高，其中COD_{Mn}最高超 11mg/L，氨氮最高达到 5.6mg/L，表明水体受到一定程度有机污染。此外原水铁、锰浓度也较高，铁最高达到 9mg/L，年度平均也在 2mg/L 左右，锰最高浓度也曾达 1mg/L 以上。

表 1 斜塘原水 2004~2009 年部分水质指标汇总

年度	项目	浊度	色度	氨氮	亚硝酸氮	COD _{Mn}	溶解氧	铁	锰	PH
	单位	NTU	—	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	—
2004	最大值	330	13	1.80	0.5	8.96	6.53	6.1	1.15	7.7
	最小值	16.9	8	0.05	<0.001	3.76	2.16	0.45	0.01	7.1
	平均值	46.7	10	0.51	0.053	5.56	4.39	1.68	0.156	7.5
2005	最大值	182	28	2.80	0.95	7.6	9.07	6	0.32	7.8
	最小值	10.4	7	0.01	0.001	4	1.93	0.4	0.02	7.2
	平均值	42.57	21	0.54	0.032	5.56	4.84	1.66	0.12	7.5
2006	最大值	194	28	3.60	0.16	9.84	9.88	12	0.65	7.7
	最小值	3.3	17	0.01	0.002	3.76	2.11	0.25	0.01	7.1
	平均值	39.3	24	0.65	0.04	5.61	5.46	2.01	0.16	7.4
2007	最大值	87.6	29	5.6	0.5	11.24	9.37	9.1	0.59	7.9
	最小值	13.8	10	0	0.002	4.8	2.66	0.08	0.05	6.9
	平均值	31.8	23	0.8	0.044	6.1	5.94	2.16	0.13	7.3
2008	最大值	94.0	191.0	1.60	0.060	7.91	11.72	7.70	0.43	7.8
	最小值	11.3	8.0	0.05	0.005	3.59	2.81	0.12	0.05	6.8
	平均值	24.9	18.8	0.58	0.025	5.72	7.09	2.04	0.14	7.3
2009	最大值	60.6	35	2.17	0.150	8.24	11.60	6.50	0.36	7.8
	最小值	9.6	12	0.03	0.010	3.92	3.40	0.10	0.05	7.0
	平均值	26.1	18	0.54	0.018	5.42	7.19	1.51	0.14	7.3

1.3 现有工艺条件下出厂水水质状况

下表为松江二水厂 2004 年~2009 年出厂水部分水质指标汇总。

表 2 松江二水厂 2004~2009 年出厂水部分水质指标汇总

年份	项目	浊度	色度	氨氮	亚硝酸氮	COD _{Mn}	铁	锰	PH	余氯
	单位	NTU	cu	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	—	mg/L
	新国标限值	1.0	15	0.5	—	3	0.3	0.1	6.5~8.5	≥0.5
2004	最大值	1.18	7	1.7	0.015	5.26	0.01	0.14	7.5	2
	最小值	0.14	4	0	<0.001	2.6	0	0	6.8	0.3

	平均值	0.4	5	0.42	<0.001	3.6	0	0.03	7.1	1.04
2005	最大值	0.75	7	2.00	0.015	4.56	0.11	0.1	7.5	2.3
	最小值	0.19	4	0	<0.001	2.40	0	0	6.9	0.3
	平均值	0.42	5	0.39	<0.001	3.48	0.004	0.008	7.2	1.1
2006	最大值	0.81	8	3.2	0.16	4.28	0.08	0.15	7.4	2
	最小值	0.16	3	0	0.002	2.40	0	0	6.9	0.4
	平均值	0.385	4	0.50	0.0436	3.36	0.004	0.02	7.1	1.2
2007	最大值	0.75	10	5.6	0.015	4.59	0.28	0.17	7.5	1.8
	最小值	0.04	3	0	<0.001	2.85	0.05	0.05	6.8	0.3
	平均值	0.31	5	0.8	<0.001	3.81	0.12	0.05	7.1	1.2
2008	最大值	0.40	11	1.40	0.005	5.62	0.25	0.10	7.5	1.86
	最小值	0.09	4	0.05	0.002	2.18	0.05	0.05	6.5	0.50
	平均值	0.20	5	0.37	0.004	3.38	0.11	0.07	7.1	1.10
2009	最大值	0.30	12	1.10	<0.001	4.08	<0.05	0.10	7.40	1.96
	最小值	0.10	4	0.02	<0.001	2.26	<0.05	0.05	6.70	0.65
	平均值	0.19	6	0.24	<0.001	3.17	<0.05	0.09	7.02	1.29

从表 2 可知，在常规处理工艺下，松江二水厂出厂水浊度、色度等主要水质指标较好。但由于原水污染，出厂水中 COD_{Mn} 、氨氮、锰参照新的饮用水标准，常有超标的现象。对松江二水厂 2003 年~2009 年出厂水 1972 个 COD_{Mn} 数据统计结果表明，其中有 1701 个数据大于新标准 3.0mg/L 的限值，超标率达到 86.3%，同时，出厂水氨氮超过新标准 0.5mg/L 限值的比率也达到 30.4%。

1.4 松江二水厂深度处理改造面临的难题

松江二水厂作为一个老水厂，规划建设初期没有考虑建设深度处理工艺系统的用地需求，完成一、二期常规处理工艺系统和污泥处理系统的建设后，厂区内已无预留的建设用地。同时，随着当地经济发展，水厂周边土地都已开发建设，没有征地条件，要实施深度处理改造，用地十分困难。

另一方面，松江二水厂是松江自来水公司的主要供水水厂，日均供水负荷已达 80%，因此水厂改造工程不能对正常生产和不间断安全供水产生任何影响，这为实施水厂改造增加了极大难度。

2 松江二水厂深度处理改造方案研究

在这样的原水水质条件下，水厂现有常规处理工艺难以保证出厂水水质符合新的国家生活饮用水卫生标准（GB5749—2006）的要求，因此进行水厂深度处

理改造势在必行。结合上海黄浦江原水处理经验，通过研究和比选，认为O₃-BAC工艺是适合斜塘原水的深度处理工艺。

2.1 深度处理改造总体方案

考虑到深度处理改造用地受限，经深入分析，并在中试的基础上，提出了将平流沉淀池改造为平流-斜管沉淀池，同时将节约的沉淀池的空间改造为上向流颗粒活性炭滤池。利用两期沉淀池之间的空地建设臭氧发生系统和臭氧接触池。由此形成了如图 2 的新的净水工艺流程。

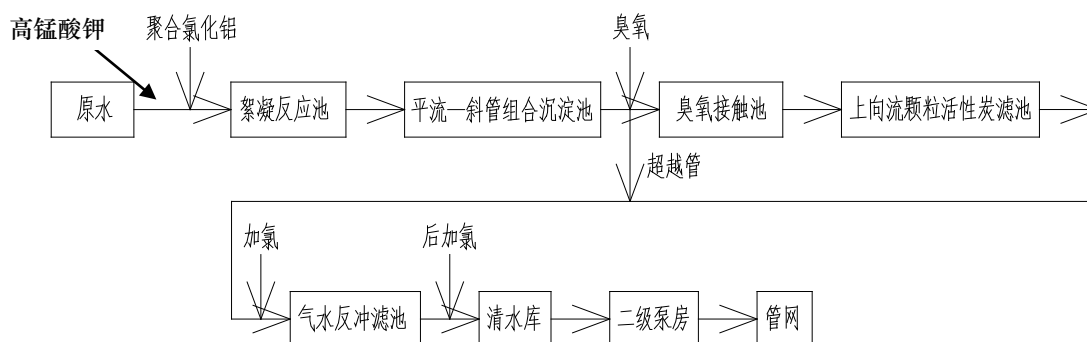


图 2 松江二水厂深度处理改造后净水工艺流程

2.2 沉淀池改造方案

松江二水厂原有单座制水能力为 5 万m³/d平流沉淀池 4 座，沉淀区长度约 75m，宽度约 15.6m，每座沉淀池又被隔墙分为等宽的 2 格。

图 3 是 2008 年 7 月沉淀池改造前平流沉淀池中心纵剖面池面、距池面 1m 和 2 米沿池长方向的浊度分析结果。由图中可知平流沉淀池进水 35m 后不同深度的浊度差别很小，且直至出口，浊度下降很少，这说明在平流式沉淀池后端去除浊度的效率已不高。

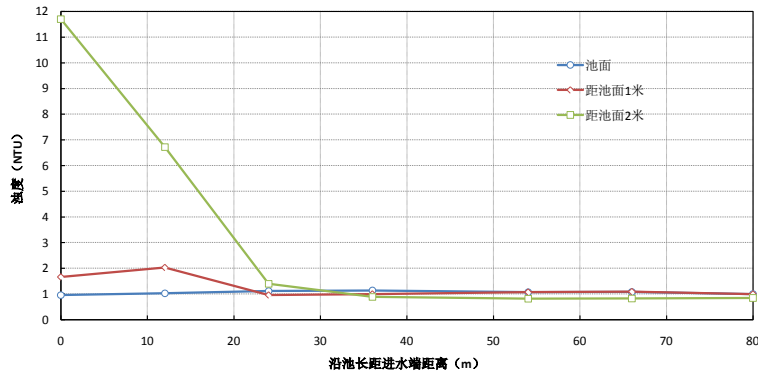


图3 沉淀池改造前纵剖面浊度分布

据此，提出将沉淀池沿水流方向分隔为3段（见图4）：

第1段保持现状。仍作为平流沉淀区，长34m。

第2段改造为斜管区。斜管沉淀区长20m，上升流速为6.67m/h，PVC斜管长1.0m，倾角60°，上部设不锈钢指型槽。为解决斜管沉淀区底部排泥问题，在现有虹吸排泥机上设置了一个机械推杆和刮泥翻板的刮泥装置，将斜管区的积泥刮至平流沉淀区后再由原有排泥机排出池外。

斜管区末端设出水渠，沉淀出水在导流渠内直接提升至臭氧接触池。

第3段改造为上向流颗粒活性炭滤池。活性炭滤池出水直接进入砂滤池。松江自来水公司开展了上向流颗粒活性炭滤池的中试研究，结果表明活性炭滤池采用上向流工艺在技术上可行，在一定的工艺条件下，上向流活性炭滤池的水头损失约40~50cm。与下向流活性炭滤池相比大大减小，从而减小了增加深度处理工艺所需提升的水头，减小了所需新增的电力负荷，可解决厂内电力容量不足的困难，这对老厂改造具有重要意义。另一方面，炭滤池采用上向流工艺可保证炭滤池出水水位与砂滤池之间的高程差相当于原沉淀池与滤池之间的高程差，因而可以满足自炭滤池至砂滤池实现重力流的要求，从而无需对现有沉淀池进行加高改造，节省了工程投资和时间。

活性炭滤池长16m，加设隔墙分为宽约3.8m的4格，单格滤池面积为60.8m²，滤床厚2m，颗粒活性炭粒径为8×20目，不均匀系数1.5~2.0，空床停留时间为14min，相应滤速为8.6m/h。活性炭滤池利用现有滤池反冲洗鼓风

机单气冲，强度为 $55\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ，设计冲洗周期 3~4 天。

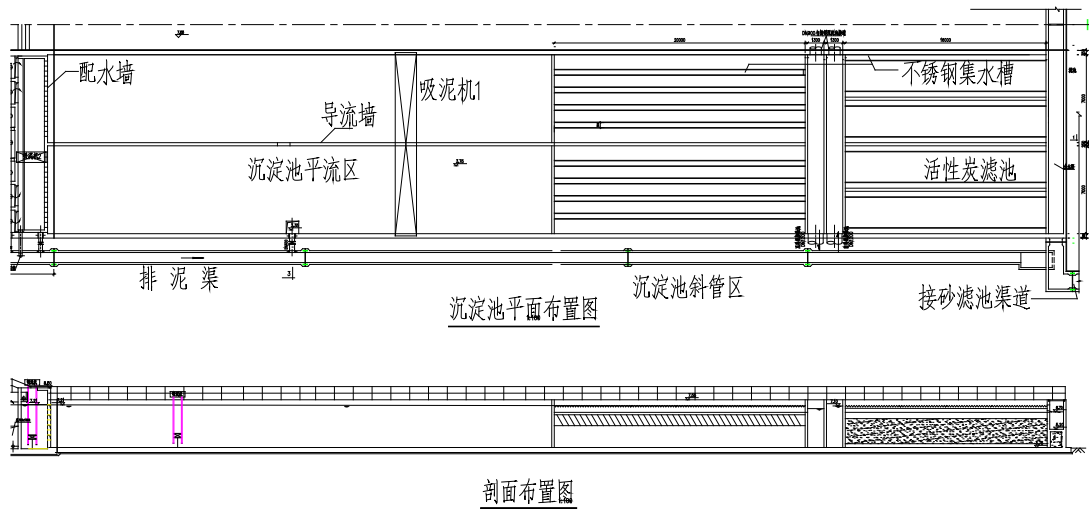


图 4 松江二水厂沉淀池改造后布置

改造后的斜管沉淀池和活性炭滤池，另增加了移动式遮光罩，以控制夏季可能发生的藻类繁殖。

2.3 臭氧发生系统及臭氧接触池建设方案

新建臭氧系统布置于水厂一、二期沉淀池之间，自西向东依次布置氧气站、臭氧接触池和臭氧制备车间。

1、臭氧接触池

新建臭氧接触池按 $20\text{万m}^3/\text{d}$ 规模设计，分设为可独立运行的 2 座，每座规模为 $10\text{万m}^3/\text{d}$ 。臭氧接触池设计加注能力为 $2\text{mg/L}\sim 2.5\text{mg/L}$ ，有效接触时间为 15min ，设三个阶段，按 5: 5: 5 的时间比例设置，单座池宽 14.95m ，长 17.75m ，水深为 7.4m 。每座接触池内设导流墙。布气装置拟采用微孔扩散接触器。整个臭氧接触池为全封闭设计。在池顶设正负压释放阀，不锈钢人孔盖板，尾气收集装置等，池内设不锈钢检修门。在池顶设置尾气破坏装置 2 套，1 用 1 备，用于收集和分解臭氧尾气。

每座臭氧接触池进水渠道内各设潜水轴流泵 1 台以提升水位，单台 $Q=5630\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=1.50\text{m}$ ， $N=55\text{KW}$ 。臭氧接触池出水通过管道接至活性炭滤池。

2、臭氧制备车间

臭氧制备车间设置臭氧发生器、供电单元、MCC、PLC 及变压器等，平面尺寸约 $24\text{m}\times 10\text{m}$ 。设臭氧发生器二套，二常用，软备用。单台臭氧发生能力为

10kg/h（青岛国林 CF-G-2-10KG），臭氧浓度为 10%。一台故障时，每台最大产量为 15kg/h，臭氧浓度为 6%。臭氧制备系统包括臭氧发生器、仪表及控制系统等。另设与臭氧制备系统配套的补氮系统和内循环冷却水系统，包括热交换器和压力平衡水箱等。

3、氧气站

经对液氧及现场制氧的比选，并考虑目前类似规模水厂的经验，本工程氧气源考虑采用液氧供应系统。氧气站设置于臭氧接触池西侧的室外，平面尺寸约 10m×7m，液氧储存供应系统设备放置于此，采用租赁液氧供应系统方式供氧。

2.4 改造施工实施过程

鉴于松江二水厂改造片刻也不能影响正常生产和不间断安全供水，只能利用在供水量较小的冬季里分期开展。改造工作从沉淀池开始，首先将平流式沉淀池改造为平流-斜管沉淀池。自 2008 年冬季开始，依次对 4 座沉淀池进行改造。每座改造完成后，立即投入生产运行，然后进行下一座沉淀池的改造。由于冬季用水低谷期时间有限，每年冬季只能完成 2 座沉淀池的改造。至 2009 年冬季结束，完成了全部 4 座沉淀池的改造施工。在每座沉淀池改造为平流-斜管沉淀池的同时，也进行沉淀池分割出来区域改造为活性炭滤池的施工，因而同期也完成了活性炭滤池的建设。

3 松江二水厂深度处理改造后净水效果

2010 年 5 月，深度处理改造工程全部完工，经过调试后正式投入运行。

3.1 平流-斜管沉淀池运行效果

沉淀池总出水的浊度稳定在 0.6NTU~1.6NTU 之间，平均浊度约 1NTU。上述运行结果表明，松江二水厂将平流式沉淀池改造为平流-斜管沉淀池是成功的。

3.2 有机污染指标去除效果

图 5 是松江二水厂改造前的 2009 年和改造后 2010 年同期出厂水 COD_{Mn} 的比较。从图中可以看出，改造前出厂水 COD_{Mn} 基本都在 3.0mg/L 的限值以上，

而深度改造后，出厂水COD_{Mn}在 1.0mg/L~2.0mg/L之间，平均约 1.5mg/L。

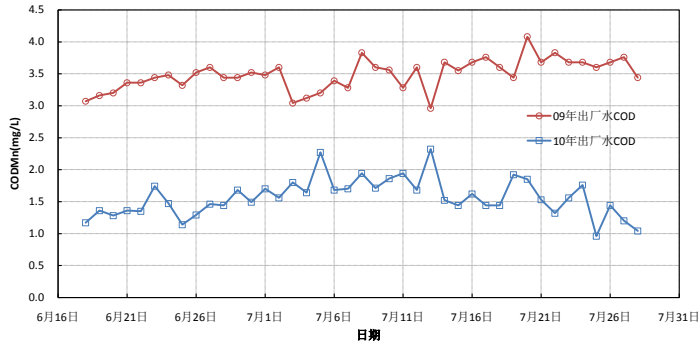


图 5 松江二水厂深度处理改造前后出厂水COD_{Mn}比较

2、UV₂₅₄去除效果

UV₂₅₄作为一个代表水中碳-碳双键和苯环类有机污染指标，检测方便，开展饮用水深度处理研究的人员经常被采用。松江二水厂深度处理工艺运行后，对各水处理工艺出水的UV₂₅₄进行了监测，结果如图 6 所示。

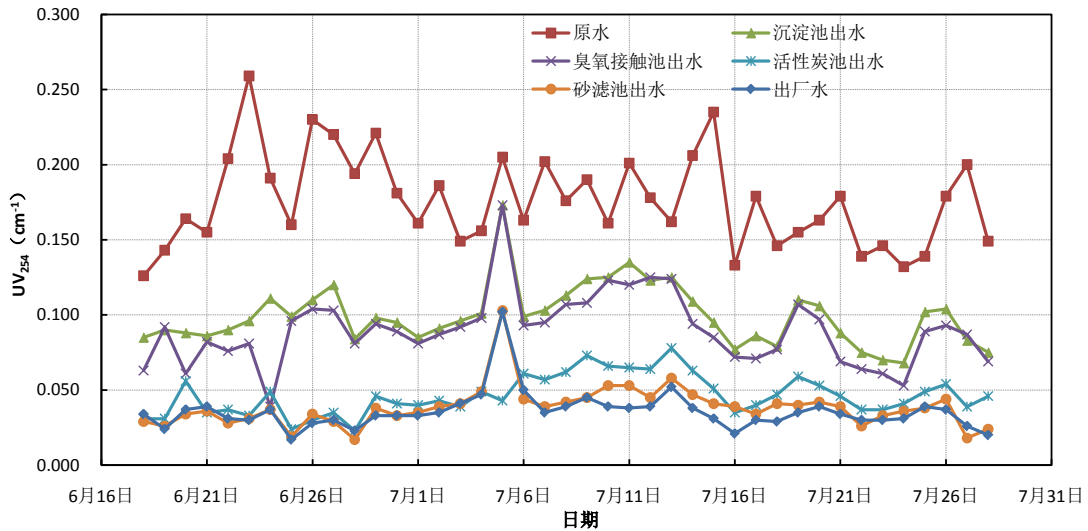


图 6 松江二水厂各工艺出水UV₂₅₄变化曲线

从图 6 可以看出，在混凝沉淀对UV₂₅₄有一个较大去除之后，活性炭滤池也对UV₂₅₄有一个较好的去除效果。全部工艺流程对UV₂₅₄的总去除率平均达到近 80%。

3.3 净水效果综述

从表 3 可以看出，深度处理投入运行后，出厂水水质显著改善。松江二水厂深度处理前出厂水色度平均 5~7 度，深度处理后出厂水色度基本在 2 度以下，色度的下降，大大改善了出厂水的感官性状指标。COD_{Mn} 平均值由常规处理约 3.5mg/L 降至 1.5mg/L 左右，下降 50% 以上，远低于饮用水新标准 3.0mg/L 的要求，有效地去除了水中的有机污染物此外，出厂水中的铁、锰都低于检测限值，而在改造之前锰偶有超标。总体而言，经过深度处理工艺，出厂水关键水质指标均已达到国家新颁布的水质标准的要求。

表 3 松江二水厂深度处理改造后出厂水部分水质指标汇总

项目	浊度	色度	氨氮	COD _{Mn}	铁	锰	总氯	游离氯	溴酸盐	菌落总数
单位	NTU	cu	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	CFU/mL
新国标限值	1.0	15	0.5	3	0.3	0.1	≥0.5	≥0.3	10	100
最大值	0.24	4.00	0.07	2.32	<0.05	<0.05	1.44	1.05	5.71	3.00
最小值	0.10	0.00	<0.02	0.96	<0.05	<0.05	0.78	0.54	0.00	0.00
平均值	0.15	0.83	<0.02	1.56	<0.05	<0.05	1.05	0.76	0.38	0.20

注：表中带“<”符号的数据表明低于检测限，其中的数值为检测限值。

4 结语

1、松江二水厂深度处理改造工程独具特色地将沉淀池沿池长方向改造为平流—斜管组合沉淀池和活性炭滤池，解决了用地、用电的困难，节省了投资，改造后的沉淀池、滤池运行效果稳定。

2、臭氧系统做为深度处理改造工程的关键工艺设备，选用了国内技术领先的臭氧设备，运行稳定可靠，技术性能接近进口产品，节约了投资，在国内给水厂率先实现了臭氧设备国产化。

3、对改造后实际生产运行监测结果表明，在增加深度处理系统后，出厂水 COD_{Mn}、色度、嗅味等指标显著改善，COD_{Mn} 平均值在 2mg/L 以下，达到了新的国家饮用水标准的要求。同时，本工程处理工艺对有机污染物的持续去除能力，以及深度处理工艺可能带来的其它问题，建议予以长期跟踪监测与关注。

4、从松江二水厂深度处理改造的实践来看，在常规处理的基础上经深度处理改造，使供水水质达到新标准的要求，为我国各大中城市现有自来水厂进行深度处理改造是一条可供选择的技术路线。

参考文献

- [1] GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准, 中国标准出版社, 北京, 2007年4月。