

无锡深度处理工艺选型和存在的问题分析

笪跃武 胡侃

(无锡市自来水总公司,无锡 214073)

摘要 以无锡地区水厂深度处理改造后的生产经验为基础,对项目实施及调试运行中,在工艺选型、设备采购、工程施工、生产运行中存在的问题进行了分析。认为:①在采用石英砂作活性炭垫层,降低生物泄漏风险时,宜采用翻板滤池,但需要注意控制好冲洗强度、静置时间、生物量等细节,并且较厚较细的石英砂垫层易导致水头损失增长较快。②臭氧发生器系统在设备采购和设计时,如果考虑不足,可能会出现进气量不足、配气不均匀、曝气盘堵塞等问题,对冷却用水、配套仪表、售后服务等问题也需给予一定重视。③在生产运行中,当冬季水温较低时,臭氧—生物活性炭工艺对氨氮去除效果不明显;活性炭滤池存在生物泄漏风险;臭氧投加量高时存在溴酸盐生成风险;原水加氯减少,会导致沉淀池水生植物疯长,砂滤池石英砂滤料受铁的污染变红等问题。

关键词 深度处理 臭氧 生物活性炭 翻板滤池 设备选型 改造

1 工程概况

无锡处长江三角洲,历来以太湖作为主要水源,但随着水环境污染和生态的破坏,原水微污染的问题非常突出,已经显现出水水质型缺水的态势。2007年无锡发生了“5.29”生态灾害水危机事件,出厂水的臭味问题引起用户的不满。水危机事件后,经过多方努力,虽然太湖原水水质已大幅提高,但短期季节性水质波动还是给水厂生产带来一定的困难,原水水质保证率不高,影响长期安全供水。

针对无锡太湖水源水质情况,为保证城市安全优质供水,无锡市自来水总公司从2009年开始启动安全优质供水工程,对以太湖原水为水源的水厂,在原有常规处理的基础上,新增原水生物预处理和臭氧—生物活性炭深度处理工艺,其中南泉水源厂85万 m^3/d 预处理和中桥水厂60万 m^3/d 深度处理工程,于2010年底建成投运,锡东、雪浪水厂深度处理工程也分别于2011年3月、4月建成投运。在项目实施和工艺运行过程中陆续发现一些设计和运行方面的问题,不断地进行整改完善和工艺优化。

在本次工艺升级改造中,中桥、锡东、雪浪3座水厂处理工艺形式基本相同,遇到的问题比较类似,现主要以中桥水厂为例进行介绍,其他水厂相关情况作补充。

中桥水厂臭氧—生物活性炭深度处理工程是

锡市安全优质供水工程之一,在原有常规处理的基础上新建60万 m^3/d 臭氧—生物活性炭深度处理工程,2010年12月建成投入运行。中桥水厂工艺流程见图1。

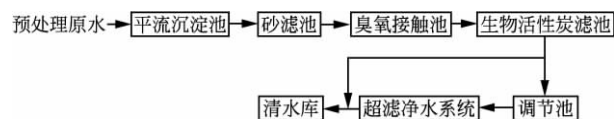


图1 中桥水厂工艺流程示意

臭氧—生物活性炭深度处理工程由提升泵房与臭氧接触池、生物活性炭滤池、臭氧发生器间、鼓风机房、综合加药间、液氧站、自动控制系统、配电系统等组成。

提升泵房与臭氧接触池合建,为2座30万 m^3/d 。每座提升泵房分为独立2组,每组泵房内设潜水轴流泵6台,4用2备。臭氧接触池紧贴提升泵房布置,每座臭氧接触池同样分为独立2组,采用全封闭结构,有效水深6m,三段式布气,接触时间15min,臭氧投加量1~2 mg/L 。采用微孔曝气,池内逸出的臭氧经收集、热催化剂破坏分解成氧气后排入大气。

采用3台20 kg/h 臭氧发生器,设计最大加注量2 mg/L ,气源采用外购液氧。

活性炭滤池采用翻板滤池,共2座,每座14格,双排布置,单格面积96 m^2 ,空床滤速9.8 m/h 。采

用活性炭和石英砂双层滤料,上层为 8~30 目柱状或压块破碎炭,厚度 2.1 m;下层为 $d_{10}=0.6$ mm,不均匀系数 1.3,厚度 0.6 m 的石英砂滤料。冲洗方式为气冲+水冲。

2 工艺选型和设备选择中的问题

2.1 活性炭滤池

2.1.1 活性炭滤池的选型

无锡 3 座水厂深度处理升级改造,是在原有常规工艺基础上增加臭氧—生物活性炭工艺,必须考虑与现有工艺的匹配。经过对浙江、苏州、昆山等周边水厂考察,活性炭滤池在运行一段时间后,活性炭将作为微生物的良好载体,通过微生物降解和活性炭吸附的作用,协同去除水中污染物。但是活性炭滤池普遍存在生物泄漏和浊度反弹的风险,如把活性炭滤池放在砂滤前,可以降低这一风险,但对沉淀出水要求较高,活性炭使用周期缩短;如把活性炭滤池放在砂滤池后,则必须考虑生物泄漏和浊度反弹的问题,比较常用的做法是在活性炭层下设置砂垫层,保证水质^[1]。

经过对运行效果和成本综合考虑,无锡各水厂在进行深度处理改造时,采用在砂滤池后增加臭氧—生物活性炭工艺,炭滤池采用上层活性炭、下层石英砂的双层滤料滤池。通过对翻板滤池、V 型滤池、普通快滤池进行比较,决定采用翻板滤池。

翻板滤池具有如下特点:①滤料、滤层多样化,适合多层滤料滤池,而 V 型滤池有混层问题。②采用序批式冲洗,冲洗时翻板排水阀关闭,滤料流失率低。普通快滤池有滤料流失问题,对轻质活性炭更明显。③采用气水反冲,系统布水、布气均匀,滤料反冲洗后洁净度高,水头损失小。④过滤周期长,截污量大,一般为 6~10 d。⑤施工周期较短,适合工期要求紧的工程。

2.1.2 活性炭滤池运行和调试过程中应注意的问题

(1) 控制好冲洗强度。采用活性炭滤料的翻板滤池,在反冲洗时要控制好气冲洗和水冲洗强度,防止滤料流失或混层。特别是新炭运行时,要有足够的浸泡时间,采取较低的反冲洗强度、较长的静置时间和较小的翻板阀初始开启度,防止活性炭流失。待生物炭运行稳定后,适当加大反冲洗强度,减小静

置时间,加大翻板阀初始开启度。

(2) 控制好静置时间。每次水冲洗以后,静置时间要控制到,被冲洗悬浮的活性炭颗粒能够恰好沉降稳定,又能保证杂质不会发生再沉淀,防止翻板阀开启时滤料流失,或杂质不能及时排放,降低冲洗效果。

(3) 定期跟踪采样。检测不同深度活性炭指标,如碘吸附值、亚甲基蓝吸附值、生物量等,结合水质处理效果,评价滤料的性能,及时调整运行参数。当夏季温度较高时,生物量较多,可以加大反冲洗强度,缩短运行周期;当生物量随水温降低时,可以降低反冲洗强度,延长运行周期,保持一定的生物总量,保证处理效果。

(4) 石英砂垫层造成水头损失增长较快。由于在活性炭下部采用了比较厚和比较细的石英砂滤料层,炭砂滤池在实际运行中,虽然有效保证了出水的生物安全和浊度指标,但水头损失增长较快,据以往试验和运行数据判断,活性炭在运行时水头损失增长较小,而现在的水头损失主要是由石英砂滤料造成的,客观上限制了活性炭滤池运行周期的延长。实际运行中,因供水调度的需要,虽然水量负荷只有设计的一半,但多次发现 5~6 d 后,部分活性炭滤池水头损失接近 2 m,如水量负荷随着需求增加,活性炭滤池的水头损失可能增长更快,运行周期会进一步缩短。

2.2 臭氧发生器

各厂家的臭氧发生器原理虽然大体相同,但又各具特点。在系统设计时一般只进行初步设计,具体细节要等到设备招标以后,根据中标厂家具体设备情况进行完善调整,当工期紧,施工快时,就有可能因招标时考虑不足,在细节上产生问题。无锡地区水厂深度处理改造中,臭氧发生器系统也遇到一些问题:

(1) 最大进气量问题。因为厂家提供的臭氧发生器最高运行压力为 0.099 MPa,而臭氧接触池水深 6 m,加上设备和管道损失,可供配气的压力差较小。深度处理设计中 3 台臭氧发生器采用公用进气母管和配气母管的并联运行方式,当单独对一台臭氧发生器进行最大进气量和最大臭氧产量测试时,能够满足要求,但并联同时运行时,则暴露出输配气能力不足的问题,最大产量达不到设计要求。最后

和厂家沟通协调,将进气压力提高至 0.12 MPa,才基本满足要求。

(2) 配气均匀性问题。在配气系统设计时,按照最大臭氧投加量 2.0 mg/L 考虑,因臭氧质量分数一般最高 10%,要保证臭氧产量,必须加大氧气进气量,此时管道阻力大,压力损失多,往臭氧接触池配气的散气阀开启度较大,控制气量效果差,各个臭氧接触池配气不均匀。当正常水质时,臭氧投加量较小,所需氧气量也相应减少,提供给各臭氧接触池的气量就更小,此时散气阀开启度小,会频繁开启和关闭,导致臭氧投加不均匀。所以为了保证均匀配气,就要加大进气量,降低臭氧浓度,保证最低均匀配气所需气量,这导致一定的氧气浪费。另外臭氧接触池配气量过小,还会导致配气管道末端具有排水功能的曝气盘堵塞(见图 2)。

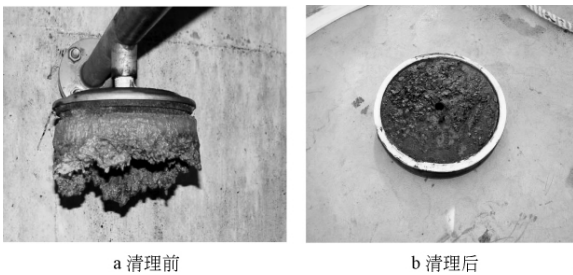


图 2 堵塞的下排水曝气盘

(3) 冷却用水问题,臭氧发生器冷却用水量较大,每天要上千 m^3 ,如直接排放,将造成较大的浪费,因冷却水只起到降温作用,不产生水质污染,可以直接用厂区自来水冷却,回用清水池。对于没有足够厂区自来水的水源厂,在臭氧发生器冷却问题上就有较大麻烦,无锡南泉水源厂预处理采用用臭氧发生器,必须设置冷却塔进行降温(见图 3),而冷却塔在高温时,会效率下降,影响臭氧系统的运行效果。

(4) 配套仪表问题。一般臭氧发生器本体较为



图 3 南泉水源厂预处理臭氧发生器冷却塔

稳定,但配套仪表,如水中余臭氧测定仪、气体流量计、压差式流量计等经常出现不稳、波动的情况,经多次校准仍无改善,水中余臭氧测定仪校准时所用电解液与膜片更换较为频繁,测定空气中余臭氧的仪表灯管寿命为 0.5~1 年,需经常清灰。

(5) 售后服务问题。臭氧发生器运行一定周期后,需要专业性的检查维护,发生故障维修响应时间和备品备件采购周期较长,特别是进口产品,如没有及时可靠的售后服务,将直接影响系统的运行可靠性,这一点在设备选购时要特别注意。另外臭氧系统冷却水离子交换树脂尾气破坏器触媒等使用周期较短,更换成本较高。

(6) 自控问题。臭氧发生器一般都有自带的独立控制系统,可以单独现场控制;现在水厂建设也一般考虑全厂自动化控制。两者之间因硬件配置,系统兼容性,以及通讯协议,技术保护等原因,往往出现一些困难,导致臭氧发生器运行状态信号不能采集,传输不稳定或数据有限,不能反映全部运行情况,系统不能远程控制等,对水厂自动化水平的提升造成障碍。

2.3 关键设备的选择

深度处理改造过程中,还会用到提升泵、鼓风机、阀门等设备,设备的好与坏,直接影响到工艺运行的效果,运行成本高低,检修维护量大小,自动化实现程度和生产可靠性。对关键设备的选择,应从使用要求和环境出发,从产品性能、品牌、使用业绩、售后服务等方面进行综合比选,关键部件要指定材质。

中桥水厂臭氧接触池提升泵在运行中发现有腐蚀和叶轮卡死现象,检查分析发现,提升泵的叶轮和泵体间隙较小,由于叶轮材质为铸铁,在水中生锈,引起卡死。经与厂家联系,分批返厂做防腐;在平时运行时,也采用备用泵周期性轮换运行的方式,避免类似问题影响运行。事后了解到,厂家其实有铸铁和不锈钢两种材质叶轮可供选择,但在设备采购招标过程中,没有明确要求材质,厂家自然提供成本较低的铸铁叶轮。如招标时,明确要求采用不锈钢叶轮,可以避免锈蚀卡死问题。

阀门的电动头也存在类似的问题,因招标时没做明确要求,厂家提供的电动头外壳材质为塑料材

质,在施工过程中经常有损坏现象,如指定采用金属材料,情况会好得多。

3 施工中注意的问题

(1) 活性炭滤池进水管防腐问题。活性炭滤池进水阀和进水管材质要满足水含有余臭氧的环境要求。在深度处理运行1年后检查时,发现进水阀传动机构、进水管及螺栓、法兰存在明显的腐蚀现象,钢筋混凝土进水渠道有混凝土剥落、钢筋腐蚀外露现象。因为活性炭滤池进水含有一定的余臭氧,所以在相关设备选择时,要考虑防腐,阀门传动机构不能放在水中,管道及配件最好用不锈钢,混凝土渠道要涂氟碳涂料。

(2) 翻板阀安装问题。翻板阀是翻板滤池中的重要部件,中桥水厂活性炭滤池的翻板阀虽然本身质量较好,但安装精度要求也相应较高,供货商安装时,因施工质量未控制好,导致部分翻板阀漏水严重,控制不同步,经常出现机构脱落现象,导致冲洗跑炭。经与厂商沟通协调后,全部重新安装,严格控制同心度和间隙,保证安装精度。运行1年多来,效果较好。

(3) 面包管安装问题。翻板滤池底部构造简单,采用面包管做为布水布气管,面包管固定方式一般为直接用化学螺栓固定,所以要求翻板滤池底部混凝土浇筑要平整,误差要小,避免二次找平导致固定不牢,在高强度冲洗震动时,面包管脱落。

(4) 高位水箱冲洗问题。采用高位水箱冲洗时,水冲阀要选用能启闭迅速的阀门,保证冲洗强度迅速达到要求。水箱中要考虑采取避免冲洗水夹气的措施,中桥水厂在活性炭滤池冲洗调试时发现,在水冲 $60 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 时,冲洗水夹气现象明显,其原因是冲洗水箱为扁平状,水深只有 $0.5 \sim 1.5 \text{ m}$,设计时没有考虑防止夹气的措施,所以在大量冲洗时,水冲立管中心形成真空,导致大量气体吸入。后来采取在水冲立管上增加大面积钢板,阻止空气吸入,效果较好。另外,活性炭滤池调试时,冲洗水量大,调试时间长,需要考虑有大量临时水源接入冲洗水箱。

4 工艺运行中的问题分析

4.1 冬季枯水期对氨氮去除效率不理想

中桥水厂深度处理工艺运行后,对氨氮的去除效果不明显(见图4)。臭氧可氧化原水中的部分含

氮有机物,氨氮不降反升,活性炭滤池运行初期,以吸附为主,对氨氮没有去除作用,生物膜长成后,可以去除一定的氨氮,但因为原水氨氮的浓度一般小于 0.2 mg/L ,生物处于贫营养化状态,亚硝化杆菌和硝化杆菌数量较少,无法增殖。在冬季枯水季节,原水受到外源污染或引水等影响,氨氮会异常升高(最高超过 1.0 mg/L),此时由于水温较低,深度处理工艺中生物量减少,活性降低,导致对氨氮去除较少。



图4 水温与深度处理氨氮的关系(中桥水厂)

而锡东水厂(与中桥水厂工艺基本相同)虽然同期也遭遇原水氨氮高的问题,但去除率却达到90%以上,出厂水氨氮稳定在 0.02 mg/L 以下(见图5)。

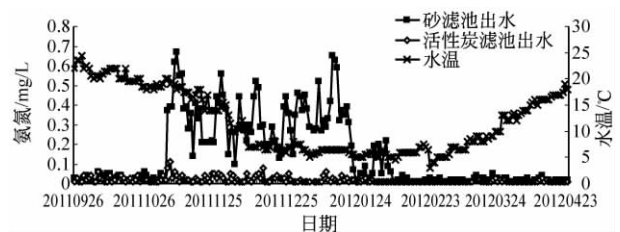


图5 水温与深度处理氨氮的关系(锡东水厂)

分析其原因,主要是由于10月底水温仍较高约 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (见图5),因望虞河引水,原水氨氮升高,此时适宜的温度与充足的养料,给锡东水厂活性炭滤池的亚硝化细菌与硝化细菌的生长,提供了较好的条件,活性炭滤池在短期内适应氨氮波动,氨氮去除率逐渐升高并趋于稳定(约90%),活性炭滤池出水氨氮基本低于 0.1 mg/L ,这期间培养出的生物活性高、数量多,为低温时应对高氨氮奠定了较好的基础。

所以,在进入冬季枯水期前,水温高于 $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,如果原水氨氮较低,可通过人为投加硫酸氨,促进生物亚硝化杆菌和硝化杆菌生长和增殖,增加数量和活性,以利于深度处理工艺对氨氮的去除,提高低温时应对水源氨氮波动的能力。

4.2 生物泄漏风险性控制

活性炭滤池运行稳定后,活性炭上形成的生物膜有利于有机污染的去除,但同时也存在生物泄漏的风险。为客观的评价生物泄露的风险,对无锡三座水厂砂滤、炭滤和出厂水的细菌含量进行对比检测,由图 6 可知,在经过活性炭滤池后,细菌含量都有了明显增高,提示存在生物泄漏的风险。

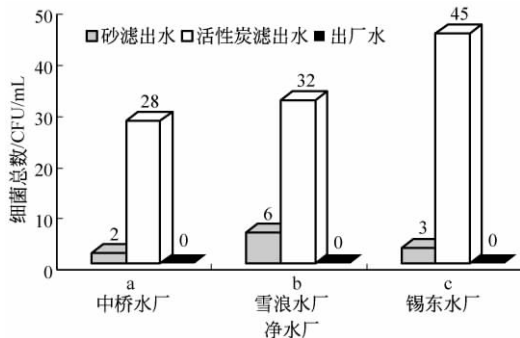


图 6 三座净水厂细菌总数变化

针对这一问题,在工艺设计中,已经采用了较厚和较细的石英砂作为活性炭的垫层,保证水质。但为进一步提高生物安全性,还采取以下措施:①通过对炭滤出水细菌总数的测定和在线颗粒计数仪的颗粒数测定,及时了解和分析活性炭滤池的生物泄漏风险。②定期采样分析,通过调整反冲洗方式和强度,控制活性炭中生物量。③调整消毒方式,提高出厂水化合性余氯含量,有效杀死吸附在炭颗粒内部的微生物^[2]。

4.3 溴酸盐生成风险

臭氧具有去除水中色、臭的作用,但若原水中含有一定浓度的溴离子,就可能生成潜在致癌性副产物溴酸盐,《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)规定饮用水中的溴酸盐浓度不得超过 0.01 mg/L。

通过对中桥水厂 2012 年上半年各过程水样跟踪检测(见图 7),原水溴离子浓度 0.032~0.258 mg/L,预臭氧浓度 0.5~1.5 mg/L,出水溴酸盐始终未检出;在深度处理阶段,随着后臭氧浓度提高至 0.4~1.2 mg/L,水中溴酸盐逐渐被检出,其浓度随总臭氧投加量(1.6~2.7 mg/L)的增加而升高,最高为 3.87 μg/L,虽未超标,但存在溴酸盐风险。长期运行数据显示,一般总臭氧投加量在 2.0 mg/L 以下,无溴酸盐检出,而投加量在 2.0~2.5 mg/L 之间,溴酸盐检出,但并不超标,实际生产中一般将臭氧投

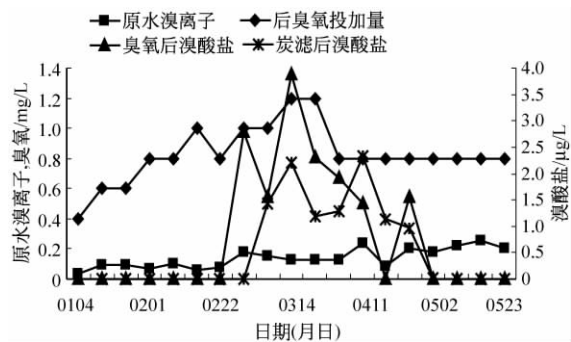


图 7 深度处理对溴酸盐生成的影响

加量控制在 2.0 mg/L 以下^[2]。

4.4 砂滤池石英砂滤料变红问题

从 2011 年开始,中桥水厂多次发现砂滤池反冲洗水呈桔红色,2012 年对砂滤池组织翻池时,发现石英砂表面呈铁锈红色,对砂样用 1:10 硝酸浸泡后,砂样恢复原灰白色或淡黄色。对浸出成分进行检测(见表 1),发现含有较多的铁,说明石英砂滤料受到铁的污染。

表 1 砂样含铁分析

样品名称	铁/mg/L
中桥黄砂(1:10 硝酸)	9.58
中桥黄砂(1:1000 硝酸)	0.30
中桥红砂(纯水 2.29)	0.052
中桥红砂(纯水 3.1)	0.055
中桥红砂(1:10 硝酸)	42.9
中桥红砂(1:1000 硝酸)	3.40

经分析发现,随着预处理和深度处理的投运,为了防止活性炭滤池生物受影响,原水加氯大为减少,预氯化转为预臭氧化,水中的铁转化为不溶的三氧化二铁,并且混凝剂中也含有一定的铁;部分铁通过沉淀去除;部分铁会在沉淀池出水经过跌水曝气或砂滤池接触氧化,产生新的不溶三氧化二铁,不溶三氧化二铁可能会粘附在池壁或石英砂上,因砂滤池冲洗主要是水冲,没有气冲,滤料颗粒摩擦强度不足,导致石英砂逐渐变红,通过与其他水厂对比发现,如果冲洗效果有保证,可以有效降低变红程度。

4.5 水生植物问题

深度处理投运后,因原水加氯的减少,对生物生长的抑制作用大为减小,沉淀池出现明显的水草疯长现象,有时水草可以长至 3 m 高,严重影响排泥车

丹江口水库与密云水库水质对比及对现行工艺的影响分析

孙福强 顾军农 赵顺萍 李玉仙

(北京市自来水集团有限责任公司, 北京 100031)

摘要 南水北调中线工程通水后,北京市将面临多水源供水的局面,为了保障多水源供水条件下的饮用水水质安全,在对比丹江口水库和密云水库水源水质特征的基础上,分析了外调水源对现行水厂工艺的影响;两水库原水疏水性物质不多,因此氯消毒副产物对水质安全威胁相对较小;丹江口水源水中有机物分子质量较高,可以通过混凝沉淀去除,特别是如果增加预臭氧氧化单元,则对有机物有较好的去除效果,因此丹江口水源进京后,现行水处理工艺(臭氧—活性炭)能够满足出水对有机物的要求;但由于南水北调水源的 pH 较高、浊度较低,来水后需试验确定合适的混凝药剂和投加量,当选择铝盐混凝剂时还需要检测沉淀出水的余铝浓度。

关键词 南水北调 工艺适应性 有机物分子质量 有机物亲疏水性

为了解决北方水资源紧缺的问题,国家实施了南水北调工程,南水北调中线工程是解决北京市水资源紧缺的根本措施,对于提高城市供水保证率、改善城市水环境、保证经济社会可持续发展具有重要意义。南水北调工程完工后,北京市将面临多水源供水的局面,即北京市地表水(密云与怀柔等水库)、丹江口水库水(南水北调)、河北四水库水(岗南、王快、西大洋和黄壁庄等水库)、北京市地下水等将成为北京市未来的主要供水水源。北京城市供水水源

北京市科委计划项目(Z111100074211003)。

的运行,需要安排大量人工清除。同时沉淀池出水堰,滤池池壁也有明显丝状绿藻生长,人工清理后,几天到一两周,就会长到原来的样子。绿色植物生长需要光照,如能在沉淀池和滤池上采取遮光措施或加盖屋顶,可以有效缓解这一现象;在新建水厂时,可以考虑将滤池或沉淀池放在室内。

5 结语

针对太湖微污染原水的特点,无锡各水厂通过深度处理改造,不断完善净水工艺,提高对水质变化的应变能力,有效解决臭味问题,出厂水水质也逐年提高,耗氧量稳定在 1.0~1.5 mg/L,实现优质供水的目标。

在深度处理实施过程中也遇到了一些问题,经过摸索实践,特别是在设备选型、施工管理、臭氧系统运行、

将会呈现出多样性和复杂性,影响安全供水的因素越来越复杂。为了保障多水源供水条件下的饮用水水质安全,需要把握多水源水质特征,对于城市水厂工艺选择提供技术支持。

1 水质指标对比分析

1.1 主要水质指标对比

通过对密云水库和丹江口水库的主要水质指标对比可知,丹江口水库水的 pH、氨氮、硝酸盐氮、总氮、总磷指标偏高(见表 1)。有资料认为,总氮含量高于 0.2 mg/L,磷含量高于 0.02 mg/L 的水体利于藻类的生长。特别是在南水北调过程中存在多

生物活性炭滤池运行管理方面,积累了一定的经验。

目前深度处理运行时间还较短,系统的运行研究需要经过几年的积累和探索,对后续运行效果还要继续观察,对活性炭再生等问题,还需要进一步摸索解决。

参考文献

- 1 许嘉炯. 生物活性炭深度处理工艺的系统选择和应用. 给水排水, 2012, 38(9): 33~37
- 2 石鲁娜, 周圣东. 无锡市给水深度处理工艺运行研究. 见: 全国给水深度处理研究会 2012 年年会论文集, 2012

○ E-mail: dywzq@yahoo.com

收稿日期: 2013-01-15

修回日期: 2013-01-22