

给水净化新工艺

陈培康 裘本昌 主编

A series of five horizontal, wavy white lines spanning the width of the cover, located below the author information and above the publisher information.

学术书刊出版社

701712
845

给水净化新工艺

陈培康 裘本昌 主编

学术书刊出版社

内 容 提 要

本书由中国土木工程学会给水排水学会,组织了30多位有经验的专家学者撰写编辑而成。从理论分析、设计计算、工艺流程、适用范围和经济效果等方面,较系统地阐述了70年代发展起来的有关给水水质常规净化工艺各环节、微絮凝直接过滤、特殊水质处理、微污染源水质深度处理以及净化自控技术等方面的新工艺、新技术和新经验,并列举了一些应用实例和设计参数。既可作为给水专业新知识的教材,也可供有关科技人员和水厂技术改造的参考。

给 水 净 化 新 工 艺

陈培康 裘本昌 主编

责任编辑:张秀智

*

学术书刊出版社出版(北京海淀区学院南路86号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京昌平百善印刷厂印刷

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:16 插页:1 字数:410千字

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数:1-3 000册 定价:15.00元

ISBN 7-80045-624-2/TU·16

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 常规给水净化技术发展的主要成就	(1)
第二节 新工艺的研究开发与实际应用	(2)
第三节 特殊水质处理主要成就和经验	(7)
第四节 国内外给水深度处理技术发展概况	(9)
第二章 新型絮凝剂	(11)
第一节 聚丙烯酰胺	(11)
第二节 聚合铝 (碱式氯化铝)	(14)
第三节 聚合铁	(21)
第四节 氯化硫酸亚铁	(26)
第五节 碳酸镁	(30)
第三章 混合絮凝新技术	(32)
第一节 静态混合絮凝新概念	(32)
第二节 快速混合理论和装置	(33)
第三节 新型絮凝池	(40)
第四章 沉淀 (澄清) 新工艺	(54)
第一节 同向流斜板沉淀池	(54)
第二节 迷宫式斜板沉淀池	(59)
第三节 气浮分离技术的新发展	(67)
第四节 平流式沉淀池的改进	(73)
第五节 超脉冲澄清 (沉淀) 池	(79)
第六节 改进型机械搅拌澄清池	(84)
第七节 新型水力循环澄清池	(87)
第五章 过滤新技术	(99)
第一节 三层滤料滤池	(99)
第二节 陶粒滤料滤池	(103)
第三节 移动冲洗罩滤池	(112)
第四节 均粒石英砂滤料滤池	(118)
第五节 V型滤池	(124)
第六节 水上水厂	(129)
第六章 微絮凝直接过滤技术的新发展	(132)
第一节 微絮凝直接过滤特点及应用条件	(132)
第二节 一元化净水技术及装置	(139)
第三节 横向收敛流过滤技术	(144)
第七章 新型消毒方法与装置	(152)
第一节 臭氧消毒及其发生器	(152)

第二节	次氯酸钠消毒及其发生器·····	(158)
第三节	二氧化氯消毒及制备方法·····	(163)
第四节	折点加氯特点及实用效果·····	(166)
第八章	特殊水质处理技术·····	(170)
第一节	高浊度水处理·····	(170)
第二节	低温低浊水处理·····	(189)
第三节	地面水除藻技术·····	(194)
第四节	地下水除铁除锰新工艺·····	(197)
第五节	地下水除氟新工艺·····	(208)
第九章	微污染水源水质深度处理 ·····	(215)
第一节	地下水深度处理的试验研究·····	(215)
第二节	臭氧预处理的活性炭深度处理·····	(219)
第三节	生物滤塔预处理的活性炭深度处理·····	(227)
第四节	接触氧化法预处理的深度处理·····	(231)
第十章	水厂自动控制技术·····	(238)
第一节	投药自动控制技术·····	(238)
第二节	微机按数学模式二级控制加矾·····	(243)
第三节	新型自动加氯系统·····	(249)

第一章 概 论

我国城市给水净化技术,通过大量科学试验和生产实践,不论是在理论探索方面,还是在应用技术开发方面,都有了新的发展。在不断改革常规给水净化工艺的基础上,开发了一批新材料、新工艺、新设备;发展了一些有实用价值的新概念和新理论。在实践中,不断总结经验,勇于探索创新,掌握了以黄河水系为代表的高浊度水及以松花江水系为代表的寒冷地区低温低浊水的高难度水质净化技术;有效地解决了地下水除铁、除锰、除氟和地面水除藻等特殊水处理新方法和新设备。我国在借鉴国外先进技术的基础上,正在探索和开发应用适合国情的微污染水源水质深度处理的技术和理论,特别是在高浊度水处理和地下水除铁除锰等方面,在技术上有所创新,在理论上有所发展。

第一节 常规给水净化技术发展的主要成就

给水常规净化技术,一般系指由絮凝(投药、混合、反应)、沉淀、过滤和消毒等组成的净水工艺流程。从总体规划设计来看,目前,我国无论是大型水厂设计,还是小型净水设备开发和应用,都具有自己的特色。其中具有代表性的大型水厂规划设计有上海市长桥水厂和北京市水源九厂等。

上海长桥水厂1961年初建设计规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,1972年扩建为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,1980年再次扩建设产后,总供水能力为 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,是我国目前最大的城市自来水厂之一。它以总体设计布局紧凑、技术先进、全部操作自动化而称著,被誉为“中国式水厂”。其主要特点是:工艺设计以浅层沉淀理论为依据,采用了改进型平流沉淀池与清水池合建的方式,既提高了平流沉淀池工作效能,又解决了用地不足问题;创造性地选用了虹吸式冲洗移动罩滤池,并采用程序自动控制运行。此外,还优选使用大型立式离心泵,实行自动操作。整个设计投资省、占地少、能耗低、出水水质好,技术经济效益显著,得到好评。

北京水源九厂设计规模为 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,是目前我国一次规划设计、分期建设的一项大型城市给水工程,也是目前国内给水工程中水质净化标准较高、各项设施较为完善的净水厂。一期工程供水能力为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,已于1988年建成投产,二期工程正在设计筹建之中。该水厂以密云、怀柔水库为水源,原水具有一般微污染封闭水源特征:低浊(一般为 $10 \sim 20$ 度,有时出现 $100 \sim 200$ 度)、含藻(藻类细胞总数为 $200 \times 10^4 \sim 700 \times 10^4$ 个/L)、臭味色度较高(嗅阈值一般为 $4 \sim 20$,个别达 40 ;色度一般为 $4 \sim 20$ 度)。水厂根据北京市对饮用水水质要求高的特点,其净化工艺以除藻、除浊、去味、去色等项目为主要净化对象。原水先经预加氯处理后,进入常规净化工艺流程。常规净化由混合井(设有二级快速搅拌机桨板)、机械搅拌斜管澄清池(内径 29m)和煤、砂双层滤料虹吸式滤池和后加氯消毒等工艺组成。为脱臭去色,滤后水再经活性炭滤池过滤。当原水水质较好时,加药原水经快速混合(1min)后,可超越机械搅拌斜管澄清池进行微絮凝直接过滤;当原水水质较差时,滤后水则需先经活性炭滤池过滤处理,再加氯消毒。此外,还设有滤池反冲洗水回收池和污

泥脱水处理装置,使整个水厂形成一个设施较为完善的常规净化工艺系统,又具有直接过滤和深度处理的净化工艺特色,可因原水水质条件而灵活运行,以保证出水水质,确保安全供水。

70年代后期,我国开发的“水上水厂”别具特色,它把取水、净水、送水系统,集中装在一个钢制或钢丝网混凝土船体内,并对陆上水厂传统净化工艺进行了改革。首先把净水工艺流程的水力高度,由5~7m成功地减轻至2.5m左右,与船舱高度设计有机地结合起来,使船体重心位于水体以下,保证了水上水厂的稳定和安全。其次研究采用快速旋流混合、多级机械网架反应、小坡度斜管沉淀和新型3层滤料滤池(橡胶粒、无烟煤、石英砂)等净化新工艺,具有停留时间短、造价低、建设工期短、使用灵活、管理方便等特点。1977年,在扬州市成功地建成供水能力为5 000m³/d的第一座生产性试验船,1984年,在马鞍山市建造了设计规模达50 000m³/d的“水上水厂”。尔后江南地区、兰州地区相继建造了一些2 000~12 000m³/d小型水上水厂。

80年代以来,多种型式的小型给水净化器在农村广为应用。特别是体内、外循环均粒滤料一元化连续过滤净化器和横向收敛连续过滤器,使絮凝、沉淀、过滤集中在一个滤罐内完成,设备结构简单,操作管理方便,更受欢迎。

水上水厂和小型一元化给水净化器和其他类型一体化净水器等的开发和应用,也为我国小型水厂建设,开创了一条商品化、系列化的新途径,从根本上改变了过去按土建安装施工方法建造水厂的旧模式,简化了基建繁琐程序,缩短了建厂工期。为广大农村和小城镇实现自来水化,提供技术条件。

第二节 新工艺的研究开发与实际应用

一、开发应用了几种新型絮凝剂

在澄清水过程中起到絮凝作用的药剂,称为絮凝剂。还有一些药剂配合絮凝剂使用,它在絮凝澄清水过程中,只起辅助作用,在沉淀前投加的称为助凝剂;在沉淀后水中投加的叫作助滤剂。

70年代以来,我国开发了一些新型高效高分子絮凝剂和助凝剂。如碱式氯化铝(无机高分子聚合铝的一种)和聚丙烯酰胺(有机高分子聚合物)等。80年代初期,采用氢氧化铝为原料,“一步法”生产的聚合氯化铝效果好、成本低、质量高,某些质量指标优于日本AK114产品标准,已广为使用。其固体产品,开始出口国外。同时,还开发制成了新型无机高分子聚合硫酸铁絮凝剂,其性能指标达到了日本产品水平,它具有价廉、用量少、形成矾花大、沉降速度快、沉淀物少、腐蚀性小等优点。其固体化研究,近年也有新的进展。

1982年,天津市凌庄水厂研制成功氯化硫酸亚铁絮凝剂,这种新型絮凝剂,用于低温低浊原水,一般可不投加助凝剂,且具有絮凝效果稳定、沉淀出水浊度低、投量少、成本低等优点。如与助凝剂硅酸钠混合使用,其絮凝效果更好。

这些高分子絮凝剂的研究开发,为我国给水净化推广应用高效经济药剂开辟了新的途径。

二、混合絮凝工艺有了新的发展

我国在实践中,开发了多种絮凝池型,由动态絮凝型式,逐渐过渡到静态絮凝型式,不断地向高效、低耗、小型方向发展。絮凝停留时间由传统的15~30min,缩短到10min,这是一个很大的进步。近年多采用平流折板、竖流人字(折)板、波纹板和栅条、网格等絮凝池。实践表明,这些新型絮凝池、均具有絮凝效率高、投药少、能耗省等特点。这些高效絮凝新工艺的絮凝时间,一般采用6~10min(个别水厂采取12min),与隔板絮凝池比较,可省造价40~60%,药耗10~30%。据统计,1977年以来,在江苏、湖北等地已陆续建成采用折板絮凝池的水厂有20多座,其中最大设计能力为40 000m³/d。栅条、网格絮凝池于1982年生产性试验成功,1983年通过部级技术鉴定后得到广泛应用,经济效益显著。现已有近90座水厂采用建成投产。其中最早采用的是洪湖水厂,1983年7月投产,供水量为20 000m³/d;最大的是广州西村水厂,设计规模为30×10⁴m³/d。但这种絮凝池适应低温低浊原水的处理,还有待今后在实践中验证。

三、沉淀技术不断革新,研究应用了多种高效池型

70年代以来,沉淀工艺在理论上有了新的发展,在技术上有所创新。首先是运用浅层沉淀理论,对平流沉淀池进行了创造性技术改进,使其形成一种长、狭、浅的新池型;改善进水布水条件,增设纵向集水槽,大大提高了水平流速;特别是采用了行车式、虹吸式吸泥机,实现了自动排泥,有效地解决了排泥难题。这种改进型平流沉淀池单池最大出水能力可达20×10⁴m³/d,其工作效率可与一般机械搅拌澄清池媲美,更适用于大型水厂。

70年代后期以来,发展起来的气浮池、同向流斜板沉淀池、迷宫斜板沉淀池和超脉冲沉淀池等新工艺,均为很有发展前途的高效池型,各有其特点和适用条件,目前正在逐步推广采用。

气浮池是浑水固液两相分离的一种新形式。其主要优点是:占地少、造价低、净水效率高、泥渣含水率低。适用于处理含藻、低浊、悬浮杂质轻的原水。1979年,最先用于产水量为5 000m³/d的苏州胥江水厂,目前规模较大的是产水量为7×10⁴m³/d的昆明水厂。

同向流斜板沉淀池是在浅层理论和变量流沉淀的基础上发展起来的高效新工艺。实际运行的液面负荷可达30~50m³/m²·h,比异向流斜板沉淀池高2~3倍。1978年,首先用于天津杨柳青水厂,设计规模为15 000m³/d。目前要算1984年建成的天津凌庄水厂规模最大,设计规模为18×10⁴m³/d。

迷宫沉淀池是在斜板沉淀池的基础上改进而成的。依靠重力、流体阻力和惯性力等外力综合作用,使水中絮凝颗粒强制分离。有上向流和侧向流两种形式。具有较高液面负荷,前者接近于斜管沉淀池,后者约为斜管沉淀池的1.5倍。1986年,首先用于湖北省江陵水厂,设计能力为20 000m³/d。设计规模最大的达30×10⁴m³/d,1988年用于哈尔滨三水厂。目前已有10多座水厂建成投产。

80年代期间,有的水厂还对60年代以来被广为采用的机械搅拌澄清池和水力循环澄清池,进行了技术改造,使其产水能力提高了1~2倍。

机械搅拌澄清池工作效果稳定,60年代以来一直被广为应用。1964年,最早用于北京水源六厂,设计规模为8 000m³/h(单池出水量为1 300m³/h)。1976年,在泸州天然气化工

厂建造了一座直径达36m的辐射式机械搅拌澄清池，单池出水量为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ($3\ 650 \text{ m}^3/\text{h}$)，该设计仍为当前国内同类型最大的池型。机械搅拌澄清池清水区上升流速一般为 $0.8 \sim 1.1 \text{ mm/S}$ 。苏州横山水厂1977年建成两座机械搅拌澄清池，清水区设计上升流速为 1.0 mm/S ，单池出水量为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，经合理技术改造后，其出水量增加到 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。这一技术成果已在其他水厂推广。

水力循环澄清池结构简单，易于上马，一般适用于中小型水厂。尽管它存在着池深大，絮凝时间短，投药量偏高，且对水量、水质、水温变化的适应性差等弱点，60年代开发以来，仍被广为采用。1935年，浙江省黄岩县水厂对原型水力循环澄清池，采取了加大絮凝室容积，改变喷嘴安装方式，并适当控制喷嘴流速等技术措施，大大改善了絮凝效果，使分离区上升流速，由原型的 1 mm/S 提高到 $2 \sim 3 \text{ mm/S}$ 。并通过研究提出了新的水力特性参数和计算方法。为工程设计提供了依据。

此外，60年代国内研究采用的脉冲澄清池，在南京地区使用较多，单池设计流量为 $15\ 000 \sim 50\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。1988年，南京市自来水公司总结了20多年的生产管理经验，认为它对于长江水系含沙量低于 $3\ 000 \text{ mg/L}$ 的原水还是有较好的适应性，澄清效果较为稳定。实际运行的悬浮区上升流速(1.8 mm/S)高于设计的上升流速；在产水量相同的条件下，其药耗低于斜管沉淀池；悬浮区底部积泥与否，是脉冲澄清池能否保证正常运行的关键；一个脉冲周期的时间 T 不等于充水和放水时间之和，还要包括高水位和低水位的停滞时间。这些经验肯定了它的实用性。但一般认为产水能力较低（悬浮区上升流速仅为 $0.7 \sim 1.0 \text{ mm/S}$ ），且对水量、水质变化较为敏感。这是多年来未得推荐的主要原因。1988年，上海市政工程设计院开发的超脉冲澄清池，克服了上述缺点。悬浮区上升流速可达 $2 \sim 3 \text{ mm/S}$ 。现已用于工程设计，有待进一步总结经验为推广创造条件。

四、过滤理论和工艺有了新的发展

70年代以来，我国过滤技术发展较快，不论是理论研究方面还是新工艺开发应用方面，都有了新的发展。多年来，主要是沿着提高滤速，延长过滤工作周期、降低自身水耗、提高操作管理自动化水平和开发污泥处理设备的发展方向，涌现了多种新工艺、新池型、新滤料和装置，应用于工程设计和老厂技术改造，取得了很好的技术经济效益。这些新技术的推广应用，使过滤速度从 $8 \sim 10 \text{ m/h}$ 提高到 $12 \sim 13 \text{ m/h}$ ；过滤周期从 $12 \sim 24 \text{ h}$ 增加到 $24 \sim 48 \text{ h}$ ；反冲冲洗耗水率从 $3 \sim 5\%$ 减少到 1% 左右。这是我国净水过滤技术发展中一个较大的进步。在过滤技术方面主要成果有：

1. 开发应用了双阀、三层滤料和移动罩滤池

双阀滤池的特点是，简化了反冲洗管路系统，减少了阀门，改善了反冲洗操作条件。1975年，上海石化总厂水厂首先采用了双阀滤池，设计规模为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，它是我国目前采用这种滤池规模最大的一个水厂。后来，天津凌庄水厂($22 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)和新开河水厂($50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)等大型水厂，都采用了双阀滤池。三层滤料滤池具有出水水质好、滤速高、周期长等优点。1975年，最早开发采用的是湖北省黄石市王家里水厂，产水量为 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，也是采用这种滤池较大的水厂，尔后推广用于凉亭水厂等10余个水厂。移动罩滤池首建于南通市南通港水厂。这是在产水量为 $2\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ 试验性泵吸式冲洗移动罩滤池的运行成功的基础上，建造了出水能力为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂。1977年，上海市政工程设计院与上

海市自来水公司合作,研究采用虹吸式冲洗移动罩滤池获得成功,并于1980年,在上海长桥水厂建成了出水能力为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的大型虹吸式移动罩滤池系统。这是我国目前最大的移动罩滤池水厂。它综合了虹吸滤池、无阀滤池等特点于一体,成为一种便于进行自动反冲洗的新池型。现已在全国各地城市水厂广为应用,也用于县镇乡村给水厂。其中规模最小的是浙江省岱山县东沙水厂,其产水量为 $1200 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2. 研究开发了多种过滤新工艺

如均粒滤料下向流过滤、粗滤料反粒度过滤、横向辐射流和收敛流过滤、轻质均粒滤料上向流过滤等,为推广应用微絮凝直接过滤及研制一元化连续过滤装置,提供了多种技术条件。

国内烧结的陶粒滤料,其理化性能优于苏联产品。1980年,在重庆望江机器厂首先采用了陶粒滤料滤池,将老砂滤池改装成陶粒、石英砂双层滤料滤池,其最佳滤速可达 $20 \sim 25 \text{ m/h}$ 。现已在西南等地区推广。均粒石英砂滤池于1987年首次用于沙市水厂的旧滤池改造。它具有滤速高($15 \sim 18 \text{ m/h}$)、周期长(48h以上)、气水反冲洗耗水率低(1%以下)等优点。现正在新建工程设计及老厂滤池改造中得到应用。

1983年,重庆建筑工程学院对横向辐射流过滤技术,进行了一系列理论性和实用性研究;并在此基础上,开发了横向收敛流连续过滤装置。它改变了传统过滤和反冲洗方式,具有微絮凝过滤特点。现已用于小型给水净化和废水处理。

1985年,湖南大学对粗滤料反粒度过滤技术进行了生产性试验,探索其过滤规律,取得了实用性研究成果。试验表明,选用粗砂粒径最小为 $0.63 \sim 0.71 \text{ mm}$,最大为 $1.6 \sim 2.0 \text{ mm}$,比较合适。在进水浊度为 30 mg/L 、投药量为 7 mg/L 的直接过滤运行中,平均滤速为 $16 \sim 18 \text{ m/h}$,过滤周期为 $12 \sim 20 \text{ h}$,平均出水浊度在 1 mg/L 左右。终期截污量约达 15 kg/m^3 ,远高于普通快滤池(3.5 kg/m^3)的截污能力。反冲洗耗水率也较低。

3. 开发了多种优质净水滤料

近年来,为提高滤池滤床的截污能力,以适应新型滤池发展的需要,滤料工业也有了新的发展。除了逐步走上标准化和工业化生产的石英砂滤料外,还开发了无烟煤、磁铁矿、锰砂、陶粒、瓷砂、发泡轻质聚氯乙烯、活性炭以及小粒径活性氧化铝等多种新型工业滤料,为开发和推广微絮凝直接过滤、一元化连续循环过滤和微污染原水深度处理以及提高地下水除铁、除锰、除氟效率等创造了技术条件。瓷砂又称稀土瓷砂,园形颗粒,状如白色小球,粒径有 $1.0 \sim 2.5 \text{ mm}$ 等不同规格,表面毛糙多孔,理化性能好。它具有耐腐蚀、耐磨损、耐高温低温、外观洁净、使用寿命长等特点,是一种很有发展的水处理滤料。

4. 滤池反冲洗技术有了新发展

研究采用气水联合冲洗方法,将是今后滤池反冲洗的发展方向。近年来,由于深层截污过滤技术的发展,为了减少积污滤层反冲洗水耗,提高冲洗效果,更好地恢复滤层的过滤效能,国内许多学者对这方面的技术开发,做了大量研究工作。主要研究成果有:

哈尔滨建筑工程学院在“颗粒碰撞”和“水流剪力”两种现代滤层反冲洗理论上,研究提出了反冲洗高效区的新概念;滤料起始反冲洗速度计算公式;及选择滤料粒径和反冲洗速度图解法,为优化确定滤料粒径和反冲洗膨胀率,提供了理论依据和计算方法。天津大学对滤池反冲洗过程,在研究滤料颗粒碰撞与水流剪力作用效果的基础上,推出了深层过滤高效率反冲洗速度的数学模式。

1986年, 武汉城建学院与武汉市自来水公司合作, 结合水厂生产需要, 研制成功了水电结合式虹吸滤池自动反冲洗新装置。并研究提出了过滤水头与虹吸排水形成时间变化关系的数学模式; 最佳排水虹吸形成时间算式和曲线图解法。本装置具有结构简单、造价低廉、节水效果好等优点。通过电路互锁和时间继电器等自控装置, 能准确地控制反冲洗时间。一般可节约待滤水60%, 有推广实用价值。

与此同时, 武汉工业大学和武汉自来水公司合作, 还试制成功了具有多种功能的悬移式配气装置, 这是一种节水型的气水反冲洗设备。整个反冲洗过程, 可采取程序控制自动操作。它具有造价低、配气均匀、维修方便、不易堵塞、工作可靠等优点。在采用水洗强度 $10 \sim 12 \text{ L/m}^2 \cdot \text{S}$ 、气洗强度 $2 \sim 4 \text{ L/m}^2 \cdot \text{S}$ 条件下, 冲洗 $2 \sim 4 \text{ min}$, 平均减少冲洗耗水量33%, 增加产水量60%左右。

五、更新消毒药剂的发展趋势

多年来, 国内外自来水消毒, 惯用液氯和漂白粉进行加氯消毒, 对提高水质控制传染病, 保障人体健康, 起到了主导作用。自70年代初期, 发现水中存在多种微量卤代甲烷物质, 其中氯仿居多, 引起了国内外学者的充分关注。对改用新的消毒剂, 做了大量的研究工作。为减少在水中存在这种致癌物质, 国外自来水消毒有逐渐改用臭氧、次氯酸钠、二氧化氯等新氧化剂的趋势。据报导, 应用臭氧、二氧化氯和氯胺等消毒剂, 将成为美国今后的发展方向。

臭氧是一种很强氧化剂, 作为给水消毒剂在世界上已有80多年历史。臭氧氧化迅速, 反应完全。它不仅可以杀菌、去色、除嗅、灭活藻类、氧化难以降解有机质; 而且作为原水预臭氧化处理, 还有加强絮凝的作用。因此, 在美国和西欧国家使用较多。但臭氧发生器设备复杂、能耗大、成本高, 有效利用率低。目前, 国内仅有少数水厂采用臭氧与活性炭联用, 作为微污染水源深度处理的预处理剂, 一般城市水厂仍多采用加氯消毒法。

为了脱氯可采用折点加氯法。上海市自来水公司已有多年实践经验。但折点加氯仍存在氯仿问题, 有待进一步研究解决, 或采用其它消毒方法。

次氯酸钠及二氧化氯是很有发展的用于饮用水消毒的强氧化剂。采用次氯酸钠消毒, 灭菌效果好, 成本低, 使用安全, 且具有余氯效应, 能使管网保持一定余氯, 与臭氧、紫外线消毒比较, 更适于给水消毒。国外为消毒安全, 已普遍采用, 如美国纽约、芝加哥等大城市自来水厂均已采用。国内已研制有多种结构的系列次氯酸钠发生器, 正在农村小型水厂推广应用。

二氧化氯杀菌力强, 一般为自由氯的二倍, 且在水中不致生成卤化有机物。能去除氯仿和藻类引起的臭味。因此, 用以处理含酚和有臭味的原水尤为适宜。瑞士早在1950年就用于含酚地下水消毒、除臭; 1962年改为自动操作设备; 后来苏黎世水厂大量采用二氧化氯消毒, 就是在多年实践经验基础上发展起来的。

近年来, 人们对使用二氧化氯处理饮用水, 是以控制三卤甲烷、色、味, 促使铁、锰氧化, 或作为氧化剂以增强絮凝沉淀作用。如1979年, 美国印第安纳州埃文斯维尔市水厂, 选用了二氧化氯作为控制THMS的有效方法。

我国目前正处在开发采用二氧化氯作为消毒剂的萌芽阶段。已在组织研制简易、安全、价廉、现场制备的二氧化氯发生器。

综上所述,我国常规给水净化工艺的技术进步,是多年来不断更新换代的变革过程。絮凝、沉淀、过滤的效率,均有明显的提高,取得了很好的技术经济效益,使我国净化技术达到了一个新的水平。但还有许多薄弱环节,如新型絮凝剂和消毒剂品种较少,计量设备和检测仪表质量不高,自控技术不够先进,原水除藻和水质深度处理还缺乏实践经验等,都有待今后做出极大的努力。

第三节 特殊水质处理的主要成就和经验

本书所讨论的特殊水质技术,只涉及高浊度水质处理、低温低浊水质净化、地表水除藻以及地下水除铁、除锰、除氟等方面的特殊水质处理。

一、高浊度水处理理论和工艺均有新的发展

首先,是根据群体沉降理论,找出了影响群体沉降的主要因素,如泥砂含量和组成,稳定泥砂、极限粒径等因素,用群体沉降理论替代了以往单一颗粒自由沉降理论。并用新的理论,来指导高浊度水处理的设计问题。由于沉降理论的改变,使辐流式沉淀池等设计计算公式有了根本变化,而大大提高了产水能力。其次,掌握了处理高浊度水构筑物的特点,主要是认识到了,具有快速混合的聚丙烯酰胺絮凝剂和进水泥量有两次分离的构造要求;同时还应有足够的泥渣浓缩面积和容积,以便安装排泥机械,并做到不出现淤积泥砂角落,保证排泥系统畅通,从而很好地解决了排泥问题。第三,掌握了聚丙烯酰胺絮凝剂处理高浊度水的使用规律和经济投加量。第四,掌握了高浊度水的运动规律和多种有效处理工艺流程,如研究开发了XB-I型、XB-II型水旋澄清池及新型竖流式沉淀池,用以进行一级处理,可处理好含砂量小于 $80\text{kg}/\text{m}^3$ 的高浊度水。采用预沉、二次沉淀和过滤工艺流程,可用以处理含砂量大于 $80\text{kg}/\text{m}^3$ 的高浊度水。新近试验成功的回流清水高效絮凝澄清池,其液面负荷比辐流沉淀池提高二倍以上。

二、低温低浊水处理积累了若干较为成熟经验

高寒地区低温低浊原水的水质特点是,粘度大,pH值、碱度、耗絮量低,悬浮物颗粒小,絮凝反应慢,矾花小而不易下沉。用常规净化技术即使投加大量絮凝剂,也难以获得预期的净化效果,有时甚至反而提高了水的浊度。因此,多年来成为给水净化中的一个技术难题。70年代中期,作为攻关课题进行了系统研究,对其悬浮颗粒沉降规律和低温絮凝特点有了新的认识。在历年实践中,也积累了一些成功的经验。首先是,采用滤前投加少量活化硅酸助滤剂,进行微絮凝接触过滤,可获得满意的效果;其二,采用气浮法取代沉淀法,冬季处理低温低浊原水,春季用以除藻,浊度去除率可达97~99%,这是一条成功的经验;其三,采用阳离子高分子电解质作助凝剂,受水温影响较小,形成矾花密实易沉,絮凝沉淀效果好,国外已广为应用;其四,采用机械搅拌澄清池,处理低温低浊水,只要冬季控制好泥渣浓度,可以保证正常运行,不仅效率高,而且节省矾耗,其主要优点还是不需投加助凝剂和助滤剂。

三、地表水除藻通过实践掌握了一些可行的处理方法

地表水除藻也是给水净化中一个技术难题。我国南方常以湖泊为城市给水水源，北方有不少城市从水库取水，这些封闭性水源都有繁殖藻类问题。含藻水中藻类繁多，各有其特性，除藻应采取不同的方法，必要时应通过试验来确定。除藻可采用化学法和物理法。国外采用微滤机直接过滤，效果较好。国内武汉、抚顺等地也有使用。实践表明，对于低温、高色度、含比重较轻藻类的原水，宜采用气浮法除藻，也可采取预加氯法。含有大量藻类和有机物的受污染原水，去除藻类和有机污染质，国外多向原水预加臭氧和二氧化氯。预加氯可能会导致有机物含量增高，生成三卤甲烷，产生异臭，存在突变物，还有待今后深入进行研究。

四、地下水除铁除锰技术有了突破性进展

我国多数地区地下水含铁量在10mg/L以下，含锰量在1.0mg/L以下；含铁量超过10mg/L，含锰量超过2mg/L的情况较少；但少数特殊地区也有含铁量超过30mg/L、含锰量超过10mg/L的情况。

水中含有过量的铁和锰，将有害人体健康，给生活带来不便，并危害工业生产，影响产品质量。因此，国家饮用水卫生标准规定：饮用水中含铁量不得超过0.3mg/L。因此，提高地下水除铁除锰技术水平，在发展给水净化工艺中，占有很重要的地位。70年代以来，中国市政工程东北设计院、北京市市政设计院和哈尔滨建筑工程学院等单位，为开发新的地下水除铁除锰技术，做了大量的工作。无论在技术上和理论上，都有所发现和创新。80年代以来，在推广采用曝气接触氧化法的同时，北京市市政设计院开发了充氧回灌地层除铁除锰新技术。中国市政工程东北设计院深化了微生物接触氧化除铁除锰理论，并应用于实际工程中，简化了工艺流程，取得了很好的技术经济效益，1986年，提出了生物活性滤膜除铁除锰机理的新概念。在除铁除锰过程中，是由活性滤膜的生物化学作用、滤层的接触氧化作用和截留吸附作用共同完成的。同时以此原理为依据，研制成定型的KTG充氧设备和DCTM型生物接触氧化除铁除锰过滤器，为地下水含铁含锰地区给水提供了经济高效的处理工艺和设备。

1987年，该院又通过含高铁高锰地下水现场，对除锰机理进行了系统的研究，获得大量技术数据，进一步论证了“生化活性滤膜法”除铁除锰的机理：是由生物、化学、物理综合作用的结果。在机理上，证实了铁细菌分泌酶的催化作用；提出必须在水中保持一定数量 Fe^{2+} ，以促进铁细菌繁殖和增加固锰作用。在工艺上，采取中强曝气控制水中溶解氧的方法，取得了减少反应时间、缩短滤料成熟期、提高滤速的效果，为推广采用石英砂作为滤料和优化一级处理工艺流程创造了技术条件。此外，还通过对滤膜黑粉的分析，确认了滤膜的成分和结构。通过对滤膜的“培养、成熟、稳定”三阶段铁细菌含量的分析，掌握了它与滤速的关系，为控制滤速提供了科学依据。这一成果，使我国地下水除铁除锰技术提高到新的水平。用于工程设计和技术改造，将取得更好的经济效益。

根据国外报导，地层除铁建设费仅为地面除铁设施的20~30%。国内开发这项新技术，用于一些实际工程，也取得了不同程度的节省基建投资和运行成本的经济效益。有待总结实践经验，为推广创造条件。此外，1985年，武汉工业大学在苏联研究基础上，对投加 H_2O_2 地层除铁进行了试验研究，但目前还仅在试验室研究阶段。

五、地下水除氟开发了较为经济的处理新工艺

我国含高氟地下水分布也较广。除上海市外,其余各省、市、自治区都发现有饮水型氟病,北方15个省、市较为普遍;南方在江苏、湖北、广东、福建等省有一定分布区。高氟水主要存在于深层地下水。卫生部1985年实施的《生活饮用水卫生标准》规定:氟化物含量限值为 1.0mg/L 。

饮用高氟地下水必须进行除氟。常用除氟方法很多,有化学沉淀法、过滤吸附法、活性氧化铝法以及反渗透、电渗析、离子交换法等。近年来,中国市政工程华北设计院开发的用二氧化碳代替稀硫酸降低原水pH值的活性氧化铝除氟法并形成配套装置,在技术上有所创新。其主要特点:用小颗粒活性氧化铝提高了吸附容量;滤速达 7m/h ,较大颗粒的提高 $2\sim 3$ 倍;不增加饮用水中 SO_4^{2-} 、 Cl^- 含量;实现了再生废液无害化处理;其最大优点是:水质好,成本低,操作管理安全方便,有推广价值。

第四节 国内外给水深度处理技术发展概况

世界上许多国家和地区,都存在水资源污染的问题。自然水体有机污染根据其来源,一般可分三类:天然产物、天然产物的氧化副产物(如腐植酸、富里酸等),工农业及生活活动污染物。水源轻度污染或称微污染,首先是水中氨氮显著升高,有机物种类增加,浓度提高。

这些污染物采用絮凝、沉淀、过滤的常规给水净化方法,只能去除一部分原水中的腐植质及吸附于腐植质或絮凝体的微量有机物和农药等有机质;而大部分微量有机物不能被去除。因此,本世纪初期,对水中有机污染物如何进行深度处理,早已引起国外有关学者和专家的关注,多年来也做了大量的研究工作。

目前,微污染水质的深度处理技术,不论是在理论方面还是在应用技术上,国内外都有很大进步和发展。应用较为普遍的深度处理方法有:臭氧氧化法,活性炭吸附法,臭氧与活性炭联用生物活性炭深度处理法。正在开发应用的还有:生物滤塔与活性炭联用处理法,接触氧化与活性炭联用处理法,臭氧与超声波联用处理法等。总的来说,利用各种不同方法进行预处理,而用活性炭作为后处理,是当前微污染水源水质深度处理的基本技术对策。

最早研究应用臭氧与活性炭联用技术,始于70年代初期,用于联邦德国的杜塞尔多夫水厂。到70年代后期,欧洲各国已进入推广应用阶段。目前,世界上采用臭氧与活性炭联用处理法规模最大的是苏联莫斯科水厂,其处理流量为 $120 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。美国给水深度则以活性炭为主。1988年,在美国俄亥俄州辛辛那提市建成了世界上最大的粒状活性炭深度处理净水厂,处理流量为 $662000 \text{m}^3/\text{d}$ 。

70年代中期以来,我国作为城市供水的水源,普遍受到工业废水的污染,不少城市从自来水中检出多种有机污染物质。1975年,兰州市白银地区建立了第一座供水量为 $30000 \text{m}^3/\text{d}$ 的活性炭深度处理净化厂。该水厂以黄河为水源,因受工业废水污染,原水中汞、酚、砷、铬、石油、硝基化合物等多种微量有机物超标。率先研究采用了活性炭进行深度处理工艺,共建了6座活性炭逆流吸附塔($D=4.5\text{m}$, $H=7.6\text{m}$)。每塔产水量为 $5000 \text{m}^3/\text{d}$ 。并设有活性炭直接电热再生装置,主要设备由沸腾炉和再生炉体组成。活性炭再生电耗为 1.77kW 。

$\text{h/kg} \cdot \text{炭}$ (其中沸腾炉 $1.55\text{kW} \cdot \text{h/kg} \cdot \text{炭}$, 再生炉 $0.22\text{kW} \cdot \text{h/kg} \cdot \text{炭}$) 当时制水成本为 $0.36\text{元}/\text{m}^3$ (其中炭耗为 $0.13\text{元}/\text{m}^3$)。

1985年, 北京市田村山水厂设计规模为 $170\ 000\text{m}^3/\text{d}$ 。这是我国采用臭氧与活性炭联用深度处理工艺系统的第一个城市净化厂。该厂用以原水除臭。现正在修建的北京水源九厂, 近期设计能力为 $50 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$, 远期为 $100 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。建成投产后, 将是我国臭氧与活性炭联用深度处理系统的最大水厂。

目前, 正在研究采用臭氧、活性炭或两者联用工艺的, 还有上海、苏州、沈阳、哈尔滨、天津、包头、长岭等市。各地都做了大量研究工作。

不少大专院校对活性炭作为给水深度处理的理论与应用技术, 作了很多试验研究, 提出了有价值的成果和论点, 肯定了臭氧与生物活性炭联用工艺的优越性。如清华大学在研究报告中指出: 活性炭吸附作用是去除水中有机污染物最合适的方法之一, 对大多数微量有机物如PAH、硝胺、农药等吸附作用十分有效, 其去除率一般大于95%。臭氧与生物活性炭联用技术, 能通过活性炭表面的微生物, 对水中有机物进行去除, 从而延长炭床使用寿命, 是一种很有发展潜力的处理技术。

同济大学在《活性炭去除微污染源中的氨氮》报告中指出: 在饮用水生物活性炭处理过程中, 氨氮硝化居主导地位。当水温为 20°C 时, 氨氮硝化接触时间仅需 $3\sim 5\text{min}$ 。在水中同时存在氨氮和微量有机物情况下, 水中有限的溶解氧将优先用于硝化。当水中氨氮浓度在 1.6mg/L 以下时, 去除率可达90%; 但随氨氮浓度升高, 去除率有逐渐下降的趋势。同时认为两级生物活性炭处理可提高氨氮去除能力, 可满足污染较为严重水源的处理要求。

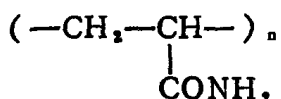
第二章 新型絮凝剂

第一节 聚丙烯酰胺

一、理化特性

聚丙烯酰胺絮凝剂(PAM)又称三号絮凝剂,是由丙烯酰胺聚合而成的有机高分子聚合物,无色、无味、无臭、易溶于水、没有腐蚀性。聚丙烯酰胺在常温下比较稳定,高温、冰冻时易降解,并降低絮凝效果,故其贮存与配制投加时,温度不得超过65℃,室内温度不得低于2℃。

聚丙烯酰胺的分子结构式为



结构式中丙烯酰胺分子量为71.08, n 值为 $2 \times 10^4 \sim 9 \times 10^4$,故聚丙烯酰胺分子量一般为 $1.5 \times 10^6 \sim 6 \times 10^6$ 。

二、产品分类

聚丙烯酰胺产品按其纯度来分,有粉剂和胶体两种。粉剂产品含聚丙烯酰胺92%;胶体产品含聚丙烯酰胺8~9%。

按分子量来分,有高分子量、中分子量、低分子量3种。高分子量的产品分子量一般大于800万,主要用在石油工业中水处理;中分子产品主要用于水处理,分子量一般为150~600万;低分子量产品分子量一般小于20万,主要用在纺织、造纸工业中水处理。

按离子型来分,有阳离子型、阴离子型和非离子型。阳离子型一般毒性较强,主要用于工业用水和有机质胶体多的工业废水;阴离子型是水解产品,由非离子型改性而来,它带有部分阴离子电荷,可使这种线型聚合物得到充分伸展,从而加强了吸附能力,适用于处理含无机质多的悬浮液或高浊度水。

三、絮凝机理

它的絮凝机理是:聚丙烯酰胺具有极性基团,酰胺基团易于借氢键作用在泥沙颗粒表面吸附;另外,聚丙烯酰胺有很长的分子链,其长度一般有1000Å,但宽度只有1Å,很大数量级的长链在水中有巨大的吸附表面积,其絮凝作用好,可利用长链在颗粒之间架桥,形成大颗粒絮凝体,加速沉降。

聚丙烯酰胺架桥作用示意图见2-1-1和2-1-2。

聚丙烯酰胺在NaOH等碱类作用下,可起水解反应,其水解反应方程式如下



图 2-1-1 架桥作用示意图之一

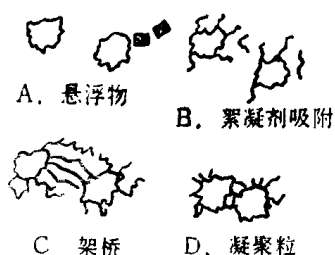
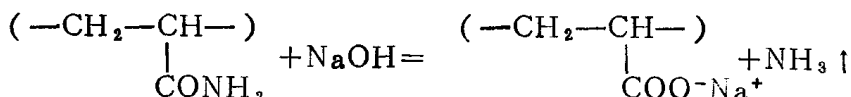


图 2-1-2 架桥作用示意图之二



聚丙烯酰胺水解反应,使部分聚丙烯酰胺生成聚丙烯酸钠,其中丙烯酸钠分子在水中易电离成 RCOO^- 和 Na^+ ,因此,聚丙烯酰胺水解体是聚丙烯酰胺和聚丙烯酸钠的共聚物。由于 RCOO^- 的作用,使水解体成为阴离子型高分子絮凝剂。聚丙烯酰胺部分水解后,使非离子型转变成阴离子型,在 RCOO^- 离子的静电斥力作用下,使聚丙烯酰胺主链上呈卷曲状的分子链展开拉长,增加吸附面积,提高架桥能力,所以部分水解体的絮凝效果要优于非离子型的聚丙烯酰胺。处理高浊度水的聚丙烯酰胺,一般使用部分水解体产品,因为最佳水解度(水解度是聚丙烯酰胺分子中酰胺基转化为羟基的百分数)的聚丙烯酰胺沉降速度是非水解体的2~9倍。如水解度过低,则效果不明显,与非水解体相似;如水解度过高,虽然主链展开度更大,但由于分子链负电荷过强,和阴离子性质的泥土颗粒斥力增大,则反而影响对水中阴离子型粘土类胶粒的吸附架桥作用,使絮凝效果低于非离子型的产品。根据试验和生产性资料证明,由于每条河流中泥沙成分不同,泥土颗粒的负电荷强弱也不同,最佳水解度是变数,但变化不大,以25~35%水解度的产品效果较好。

四、搅拌和投加的主要数据

聚丙烯酰胺水解体粉剂产品,是处理高浊度水最有效的高分子絮凝剂之一。可单独使用,也可与普通絮凝剂同时使用,在处理含沙量为 $10\sim 150\text{kg/m}^3$ 高浊度水时,效果显著,既可保证出水水质,又可减少絮凝剂用量和一级沉淀池的容积,一般药剂费用可节约30~60%,产水量可增加2~4倍。

聚丙烯酰胺水解体粉剂产品,溶解搅拌时间,一般为0.5~1h。提高水温 and 搅拌速度,可以加快溶解速度,但水温过高会引起降解反应,最高不得超过 65°C 。搅拌速度以不超过 10m/s 为宜,否则会造成絮凝剂断链,降低絮凝效果。

聚丙烯酰胺的投加量,一般以原水絮凝试验或相似水厂的生产运行数据来确定。其投加量随原水含沙量增高而增加,严格来说,投加量是原水泥沙颗粒表面积的函数、随颗粒表面积之和的增加而增大投量。

聚丙烯酰胺的投加浓度,从絮凝效果而言,投加浓度越稀越好,但浓度太稀会增加投加设备,一般以2%的投加浓度为宜。

聚丙烯酰胺的最佳絮凝条件,用GT值来表示,在沉降开始时,浑液面沉速随GT值的增加而迅速增大,出现最大值后,又随GT值的增加而减小,最后稳定于某一值,不再随GT值发生变化。但浑液面沉速的最大值与稳定值相差很大,如原水含沙量为 100kg/m^3 时采用较低的