

工业污水处理技术及前景

王香爱 张洪利 杨珊 葛子龙

(渭南师范学院 化学与环境学院, 陕西省煤基低碳醇转化工程研究中心, 陕西 渭南 714099)

摘要: 从国内外工业污水处理的发展历程和发展背景出发, 指出了工业污水处理的紧迫性和重要性。介绍了我国工业污水处理的现状, 分别就工业废水预处理的工艺和原理、工业废水生化处理的工艺和原理做了深入地阐述。最后提出了工业污水处理中所存在的问题, 并给出了相应的解决措施。

关键词: 污水处理技术; 处理现状; 意义; 前景展望

中图分类号: TQ 085 文献标识码: A 文章编号: 1671-3206(2017)03-0563-06

DOI:10.16581/j.cnki.issn1671-3206.2017.02.025

Industrial wastewater treatment techniques and prospects

WANG Xiang-ai ZHANG Hong-li YANG Shan GE Zi-long

(Shaanxi Province Engineering Research Center of Coal Conversion Alcohol,
College of Chemistry and Environment, Weinan Normal University, Weinan 714099, China)

Abstract: This article from the development of industrial wastewater treatment at home and abroad and the development background, points out the urgency and the importance of industrial wastewater treatment. Then introduces the present status of industrial wastewater treatment, industrial wastewater pretreatment process and respectively principle, technology and the principle of industrial wastewater biochemical treatment made deeply. Finally puts forward the existing problems in the industrial wastewater treatment, and gives the corresponding solution measures.

Key words: sewage treatment technology; process status quo; meaning; outlook

工业的发展革新不仅创造了无数的工作岗位缓解了现阶段的就业压力, 而且创造了巨大的经济效益推动我国经济发展。但是工业发展对环境的污染也越来越大, 工业废水对水资源的消耗和污染问题也在逐步被放大。水是生命之源, 是人类环境的重要组成部分, 是人类赖以生存和社会发展的必不可少的物质条件之一。但水是不可再生资源, 随着社会经济和工业生产的快速发展, 工业的污水量以及污水种类与日俱增, 污水处理设备的滞后, 形成工业生产与环境保护严重失衡, 污水处理不当或者直接排放, 对人类居住环境和城市形象造成不良影响, 与城市建设步伐不相适应。环境是人类生存以及发展的基础, 因此, 工业经济发展与污水处理必须相辅相成。本文在国内外污水处理技术历史发展的背景下分析我国当下的污水处理现状, 探讨适应于我国国情发展的污水处理模式, 在提升污水处理要求加大环保力度的同时实现工业健康发展; 使经济效益、环境效益和社会效益同步提升成为了现阶段我国工业

建设改革的首要问题^[1-2]。

1 工业污水处理的发展历程和发展背景

1.1 国外工业污水处理的发展情况

国外污水处理业的发展比我国起步要早, 在 1914 年, 英国就创造了活性淤泥法工艺, 应用到污水处理过程中并取得了一定程度的效果。我国相比于欧洲各国, 人均水资源匮乏。总体来讲欧美等国的水资源相对健康良好, 但是工业污水产生的污染是全球性问题, 污水处理难题是每一个国家发展都摆脱不了的。

早在 20 世纪 90 年代欧共体就对水质提出要求, 工业、农业污水流进水体造成海水湖泊富营养化对水体生物造成生存威胁, 地下饮用水质量也受到影响。

1975 年欧盟制定地表水要求的法律, 1980 年制定生活饮用水要求的法律, 对地下水、渔业养殖用水等水体水质进行规范要求。在国外不同国家不同区域所处环境背景不同, 水资源受到污水影响的程度

收稿日期: 2016-06-17

基金项目: 陕西省科技厅自然科学基金项目(2013JQ2021); 陕西省教育厅专项研究基金项目(16JK1271); 渭南市科研创新团队项目(15YKF003); 秦东湿地资源开发与生态保护(2015TCTD-2)

作者简介: 王香爱(1967-), 女, 陕西渭南人, 渭南师范学院教授, 主要从事天然绿色水处理剂的研究。电话: 0913-2136930, E-mail: wnwxa@sina.com

也不同,对污水处理的发展、要求、工艺技术也不同,在一些水资源富裕的国家污水处理法规以及设施比较简化;对于一些工业发达地区水资源被视为原油一样的财富,污水处理的发展开发比较成熟。

1.2 我国工业污水处理的发展历程及背景

1.2.1 1920~1949年 陆陆续续开始建成污水处理厂。在1923年上海北区建成我国首座城市污水处理厂,相继之后的几年之间上海西部地区以及东部地区城市污水处理厂问世。在此之前各个地区工业污水以及城市污水、雨水都是依靠沟渠或者管道直接引流排放到河流湖泊或者大海,单纯依靠排放来处理污水。

1.2.2 1950~1960年 这十年之间主要是将上海老城区以前直排污水铺设的老管道进行集中整理规范,拆除不合理的污水管道,严抓整治地区河流湖泊的污染,改造完成规范化的新污水管道后,开始投资建设一部分一级污水处理厂,在北京、上海等地开始形成日处理量十万吨以上的一级污水处理厂。

1.2.3 1961~1978年 土地浇灌应用到污水处理。在1957年相关部门将此项技术成就列入国家科研计划,并在随后的几年里召开多国技术交流会,积极研发总结新技术的培养实施。这一阶段我国投资建设一大批生物氧化水塘;在我国众多地区相继建设之后,全国的污水处理能力已提升到日处理百万吨以上,新增污水处理管道已达到19 600 km。

1.2.4 1979~2000年 在此时段,中国污水处理正式和国际接轨进入现代化发展,发展速度得到质的提升。80年代初期,在天津和北京先后建成两座生产性质的污水处理实验基地,大量的开发技术人员联合在一起对两个地区的污水处理技术、开发路线进行大规模的探索实验和研究。将二级生物处理技术深入于污水处理工艺中。在经过几年不断的探索,1984年天津建成当时中国规模最大的污水处理厂,新加标准活性污泥生化工艺,在一段时间的运营生产中对地方的环境改善取得显著成效,并且处理能力稳定。我国污水处理走向规模化、企业化。

1.2.5 2001~2015年 21世纪的中国是世界的中国,随着改革开放的进行我国经济发展进入提速阶段,污水处理业的发展也是好势头,随着国家对环境治理越来越重视并提出可持续发展战略目标,不断细化对污水治理的要求,在全国几乎是每一块工业园区都有自己的污水处理厂,城市污水处理厂也在进入高标准规模化投资建设,污水处理行业的发展得益于国家出台完善环保法律法规对环境保护的不断重视,环保立法^[3]。

分析国内外的污水处理发展历史,结合我国的

发展现状十八大报告指出:建设生态文明,化工企业向着绿色发展、高效化发展、低碳发展方向转型。加大治污排污的力度和要求,在不断吸取国外污水处理先进技术的同时积极研究创新使我国拥有适用于自己的污水处理技术。2015年后半年开始出现局部化工企业的效益下滑,受到国家环保政策严格要求企业环保投入加大、产能过剩、销售下滑、物价升高等众多原因,工业发展速度受到不同程度的影响,在转型的初级阶段工业发展出现波动的现象是正常的,必须坚持转型,不断完善提高^[4]。

2 工业污水处理的研究现状

2.1 废水预处理的工艺及原理

在生化处理之前的工艺处理叫作预处理。生化系统处理运行平稳而且投资费用、运行费用比较小。然而治理废水是不可能仅仅依靠生化处理来实现,因为工业污水中含有一部分对生态系统起破坏作用的一些活性物质:微生物、菌类有抑制和摧毁性的物质存在,所以为保障生化系统的健康运行,在污水进入物化工段之前必须要进行一系列预处理,调节水质的可生化性,确保生化处理健康运行^[5]。

预处理的具体目的有二:一是将废水中含有的这部分对生化池中污泥的活性物质有影响的有机物或者无机物,进行一定程度的分离除去或者转化为其他无害的形式,保护污泥活性物质的生长环境;其二是在生化工段之前降低水体的色度、盐分和悬浮颗粒物等,调整COD负荷,来减轻生化工段的运行压力。

废水中的杂质按颗粒尺寸大小可分为悬浮物、胶体和溶解物,其他颗粒尺寸大于100 μm的大颗粒一般会自然沉淀或者与水体分离。胶体和细小颗粒以及悬浮物就需要凝聚法、絮凝法、混凝法使小颗粒转换成为大颗粒,沉淀分离于水体。

2.1.1 凝聚法和絮凝法 在废水添加含有正离子或者基团的混凝药剂,利用静电感应的原理,在胶体中加入大量显正价的离子或基团时,大量正离子在胶体粒子之间就会形成大量的胶体微粒,凝结吸附在一起形成大分子的基团,易于分离到水体之外达到净水的目的。应用最多的凝聚剂有硫酸铝、硫酸亚铁、明矾、氯化铁等。

絮凝法是利用高分子混凝物质在污水中形成线性的高分子聚合物,高分子聚合物结构中粒子之间相互吸附组合形成相对稳定的架桥作用,在这种分子单元之间不断形成架桥作用的积累、凝结,高分子物质不断变大,最终达到饱和形成大颗粒的絮凝体,凝结在一起。常用的絮凝剂有聚丙烯酰胺(PAM)、聚铁(PE)等。

2.1.2 混凝法 混凝法顾名思义就是将凝聚和絮

凝相结合使用的方法。混凝法在工业污水预处理过程中经常被应用到,基本过程大致就是先向污水中加入混凝剂(明矾、硫酸亚铁等药剂),消除胶体粒子之间的静电排斥作用,然后再加入絮凝剂(PAM、PE等药剂),使得水体中微粒半径增大,形成沉淀。

2.1.3 在经过对污水杂质颗粒的取出处理后进入铁碳微电解工段。铁碳处理法又叫铁碳微电解法或铁碳内电解法,铁碳微电解中利用 Fe^{2+}/Fe^{3+} 的氧化还原反应,铁碳微电解会形成无数个微小单位的铁碳原电池,利用电极反应,产生活性电子的游动,促进了污水中有机物的反应活性,使污水中有毒害、不饱和的物质分解转化为其他形式存在,降低化学需氧量COD和生物需氧量 BOD_5 负荷,为后续处理工段正常运行奠定基础。

铁碳微电解是工业污水处理重要的应用手段,用铁碳法作为对有毒害、高浓度COD的工业污水具有可观的处理效果。铁碳法的反应原理被公认的就是:在酸性条件下,铁碳填料投加到水中,铁与碳之间形成原电池反应,形成局部单位大量的微电流反应区域,在微电流的作用下促进了污水中无机物被还原氧化。在实际污水处理中铁碳微电解的处理效果良好,取得了公认的处理效果。

铁碳法的缺点分析:①铁碳填料的价格不菲,在处于酸性条件下被分解,一部分反应不完全的铁屑以及碳将会残留于水中,增加了污水固废量,堵塞仪器管路;②铁在酸性条件下含硫废水形成黑色的硫化铁增加了水体色度,大量的铁离子进入水体中增加了水体的盐分含量。

2.1.4 中和pH 工业废水一般用氢氧化钠和硫酸调节pH。

2.1.5 芬顿氧化(Fenton) 废水流至Fenton反应,投加双氧水 H_2O_2 , H_2O_2 与电解反应带来的 Fe^{2+} 形成强氧化性的芬顿试剂,能产生氧化能力很强的 $\cdot OH$ 自由基,在催化作用下,该自由基可以使难以通过生化去除的高分子芳香环破坏,从而降解去除。大大改善了污水的可生化性,提高了B/C比。

在除上述工艺流程之外废水的预处理还包括膜分离、气浮、过滤、消毒离子交换以及吸附等物化处理工段,结合工厂污水的实际情况选取不同的工艺要求进行废水预处理。

2.2 工业废水生化处理工艺及原理

目前,工业污水处理大部分采用的是生物活性污泥法。利用生物活性污泥法演变出众多的处理工艺,工业园区二级污水处理厂常用的处理工艺有:A/O去磷工艺、A/O除氮工艺、AB法工艺、 A^2/O 去磷除氮工艺、UASB工艺、氧化沟系列工艺等。由处理设施建筑的不同分配和组合使其不同的处理工艺

的处理重点和运行调试不同。伴随污水处理的不断发展进步现已形成:A/O工艺、UASB工艺、离子交换树脂、反渗透水处理技术、生物膜法等较典型的生化处理工艺。下面将对这几种应用比较广泛的处理工艺进行深入介绍。

2.2.1 A/O(A^2/O)工艺 A/O即Anoxic/Oxic(厌氧/好氧)或Anerabic/Oxic(厌氧/好氧)技术的缩写,是污水生物处理去磷除氮重要的处理工艺。在生物脱氮过程中,因为反硝化菌是异氧性细菌,需要大量的碳源维持新陈代谢,实现反硝化的过程,而污水通过好氧硝化反应之后,水中的有机物浓度(碳源)含量偏低,不能提供充足的反硝化的需求量,所以,传统的生物去磷除氮工段在缺氧单元前加入甲醇的方式来补充有机碳源的含量。将缺氧工段放到好氧工段之前,运用进水中含有的有机物作为碳源供给,这种方法叫作前置反硝化流程;经过混合液回流将硝酸盐、亚硝酸盐引入缺氧反应工段。

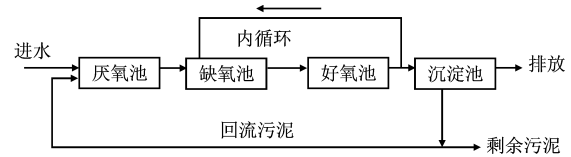


图1 A^2/O 工艺流程图

Fig. 1 A^2/O process flow chart

2.2.2 AB工艺 AB法污水处理工艺是一项新型两段生物处理工艺,即吸附生物降解法的简称。AB工艺是将高负荷法和两段活性污泥法合并在一起的处理方法,A、B两段严格分割开来,使不同特性的菌类分开培养,起到了相互补充、取长补短的作用。所以AB法工艺相比较于传统活性污泥法拥有较高的 BOD_5 、COD、SS、TP和氨氮的去除率。但AB法工艺无法达到深度去磷除氮的效果,因为去磷除氮限度受到制约,污水中还存在大量的营养物质,易于导致水体的富营养化^[6]。

原理:AB法工艺在对污水中污染物的去除主要作用体现在A段的吸附絮凝效果。污水通过管道直接与A段对接,废水中的悬浮物与细菌混合在一起形成结构相对稳定的共聚体,同时为A段提供了丰富的微生物。增加了A段中微生物群在污水处理下的增殖生长速度,缩短了微生物代谢周期,同时分解出大量的粘性物质,这部分粘性物质与废水中的悬浮物、大颗粒以及游离的细菌等物质相互作用形成吸附凝结,产生絮凝体基团,最后通过筛网或者沉淀分离于水体之外。B段和普通活性污泥法类似。

2.2.3 UASB工艺 UASB中文名称为升流式厌氧污泥床,该工艺包含了厌氧活性淤泥法和厌氧过滤法的双面特点。诞生于1971年河南农业大学,科研

人员利用密度不同的物质在重力作用下的性质差异创造出了三相分离器,为升流式厌氧污泥床的问世和升级创造了有利条件。UASB 工艺结构简单、运行维护以及操作难度较低,适用于不同种类的工业污水处理要求,经过长期的发展革新现在已经具备成熟的技术支持,受到了广泛的推广使用。

原理: UASB 的组成为污泥反应区、气液固三相分离和气室。

在反应塔底部含有大量的厌氧活性淤泥,由于这部分淤泥凝聚性和悬浮性致使厌氧塔的底部形成状态良好的淤泥悬浮层,污泥在悬浮状态下微生物、细菌、真菌的新陈代谢活跃,当废水从厌氧塔底部进入后有机物会被活跃的污泥成分充分分解代谢转换为沼气并产生气泡,气泡在水压的作用下不断合并、上浮,带动一部分污泥上浮进入厌氧塔上部的三相分离器中,气泡破裂沼气从水面进入沼气处理器中被收集起来导出 UASB 反应塔。另一部分上浮的淤泥混合物进入三相分离器区,区域的固液气混合物在三相分离器中通过添加药剂经过絮凝凝结作用形成大颗粒的基团,密度变大沉入底部继续参与底部活性淤泥的生化反应,污泥活性物质的代谢产物会随着浮力一直从出水口溢流分离出污泥床,在塔外收集再通过处理经过压泥机变为固废收集^[7]。

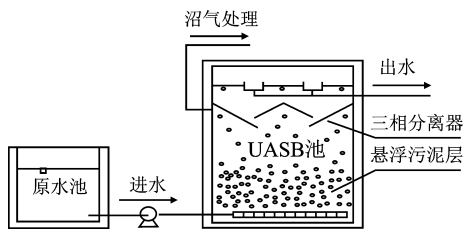


图 2 UASB 工艺原理图

Fig. 2 Schematic diagram of UASB process

3 存在问题以及发展前景

我国污水处理业发展起步偏晚但发展较快,现已取得可喜的成就这是有目共睹的事实,但是面对我国工业的迅速发展,工业生产废水量也在逐年增长,目前污水处理厂的建设规模虽然基本上能满足工业污水处理,但距离深度净化、循环利用还有很大距离。污水处理是世界性难题,发达国家的污水处理能力尚且能达到 70%~80%,中国的污水处理能力只能达到 50%~60%^[8],其余处理不了的部分仍然依靠直接排放。

3.1 污水处理厂的建设和运行

为了满足工业发展的需要,近几年国家新建规范化的污水处理厂 500 余座,污水处理能力还不能满足现阶段的污水生产量,地区经济发展的不同污水处理厂的投资规模也不同,污水处理业大都属于事业单位,是不以盈利为目的的产业,主要作用体现

在公益和环保,所以污水处理的建设和运行还需依靠国家以及地方政府的扶持和宏观调控。受到地方企业经济发展的影响,政府的税收也会波动,如果污水处理厂的建设和运行得不到完善发展,污水直排对地方生活环境将会产生难以估量的危害^[9]。

3.2 污水处理设备的升级

现有的污水处理厂安装运行的设备大部分趋于老化传统型,一大批运行设备来源于国外进口,在运行的过程中出现的设备老化、处理效率下降、设备损坏等问题带来的经济费用巨大,受到知识产权的影响新型设备的引进费用高昂。面对工业污水量的逐年增长趋势我国自主开发将迫在眉睫,这是一种机遇更是严峻的挑战,国内的污水处理技术发展受到考验,培养专业技术人才发展我国自主的污水处理技术成为首要问题,在不断吸取国外同行经验的同时,自主创新开发自主知识产权的污水处理设备,满足补充污水处理的压力。

设备转型:传统的污水处理设备近几年在我国的投入使用取得可观的效果,通过实际的调试运作收获了丰富的经验。但是随着我国水资源的短缺、环境的恶化,国家出台法律的完善,污水处理要求越来越严格和细致,新型技术的开发和引进将会逐渐替代传统设备。膜技术、超滤、电吸附除盐技术、壳聚糖衍生物技术、生化床、电催化氧化、mvr 等一部分具有节能、绿色、循环利用、高效的现代化技术革新是我们未来改革的目标^[10-11]。

3.3 污水除臭

在污水处理的过程中,污水本身就具有很强的挥发性会产生不同种类的臭气,在进入物化和生化系统的过程中,温度的变化促进了臭气的挥发。例如污水进入好氧以及厌氧工段时,因为要保证活性污泥的新陈代谢温度一般都在 20℃ 以上甚至更高,再加上罗茨风机的曝气直接影响了有害气体的布朗运动^[12],导致工厂周边的居民区、工作区空气环境受到严重破坏。

3.4 污泥处理

污泥主要存在于生化系统中,其他工艺工段池的底部定期也会产生浓度较高的污泥,传统的处理方式是先将这部分污泥收集到污泥浓缩池中,再加絮凝剂等药剂处理进入压泥机压滤装袋后保存。传统的压泥机主要是板框式压泥机,其操作难度较低,自动化较低,污泥的水分去除有待提高。逐渐的会被叠螺式污泥压滤机取代^[13],因为其具有更高效的水分去除效果、操作方便、省时高效只是价格比较昂贵。

污泥的主要处理方式有两种:焚烧和深埋。本质上还是没有达到无害化,新技术的开发集中在泥

鳃法培养污泥、植物吸收等天然无害的方向,虽然距离实际产业化的距离还很远,但是我们要向绿色无害化努力。

3.5 污水循环利用

节能环保是我国当下可持续发展的主题,如果运用水处理技术将工业产生废水循环利用到其他途径上将会节约一部分很可观的水用量,带来经济效益的同时又节约我国水资源。回收利用污水在国外已经取得了显著的成效,越来越多的企业将处理后的污水运用到其他领域。随着污水处理技术的发展,工业污水作为二次能源的可行性越来越高,水处理技术的发展推动了企业生产效益,污水的回收利用被企业日益重视,顺应国策顺应民心才是工业发展的根本。

3.6 污水处理后的应用

工业生产对水的需求在不同工段的要求是有所不同的。在确保安全生产的要求下可以利用污水处理技术将车间废水按需求标准合理分类,形成下一级别的车间用水。在通过清污分流的车间清下水(清下水包括循环冷却水、锅炉水、溢流水、辅助用水和清洗用水等)、地面收集雨水、生活区用水等污染程度较小的废水,经过初步处理就可以广泛的运用到砖厂、水泥厂、矿山、建筑等工厂里。可以减少

生产用水量^[14],使水资源紧缺的问题得到缓解。

工业污水中含有大量的盐分、未反应的原料以及有价值的中间产物,利用回收装置加工提取污水中有价值的组分,变废为宝化害为利。一方面节约了生产所需原料成本,另一方面降低了污水浓度。在化工厂生产过程中产生的废酸废碱可以应用到污水的中和调节,节约污水处理成本以废治废创造二次价值^[15-16]。

3.7 兑水和偷排

工业园属于排污大户一般都远离市区和发达区域,位于比较偏僻的荒滩、郊区等地,偷排污水的行为普遍存在却难以被发现惩处。随着国家对污水处理相关特新指标的要求加大,企业面临的排污以及处理污水的费用越来越大,自来水、蒸汽、电费的增加^[17-19],工业生产原料费用的上调加上企业产品销售的缩减对我国工业发展造成一定程度的影响。越来越多的企业上市,同行之间的竞争、国际经济形势的萎靡不振使得企业生存发展无力。

一些地区采取“一企一管”管理模式,即一个企业一个管道先通过企业自身具备的污水处理站将污水处理到一定指标后集中收集到规范化的污水处理厂进行集中处理。污水处理厂接收企业污水的有关指标见表 1、表 2^[20]。

表 1 污水处理厂进水水质要求
Table 1 Water quality requirements of the sewage treatment plant

项目	COD/(mg · L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg · L ⁻¹)	SS/(mg · L ⁻¹)	NH ₃ -N/(mg · L ⁻¹)	TP/(mg · L ⁻¹)	TN/(mg · L ⁻¹)
进水水质	500	260	350	50	1	50
出水水质	≤50	≤10	≤10	≤5(8)	≤0.5	≤15

表 2 污水处理厂进水水质要求
Table 2 Water quality requirements of the sewage treatment plant

项目	BOD ₅ /COD	BOD ₅ /TN	BOD ₅ /TP	COD/TN	COD/TP
数值	0.58	4.7	40	8.2	69.2
指标	>0.3	>3	>20	>9	>30

BOD₅和 COD 指标是鉴别污水中有机物质完全分解形成水和二氧化碳所消耗的生物需要量和化学需氧量。废水中不饱和有机物和无机物的含量越高实验测定 BOD₅和 COD 的数值越大^[21]。

BOD₅/C 指标是体现污水可生化性的重要指标,通常规定 BOD/COD > 0.45 生化效果最理想。污水以有机污染为主, BOD/COD = 0.58 时,生化效果最理想。

BOD₅/T 指标是采用生物脱氮要求的重要指标,因为生物脱氮系统中反硝化的氢供体主要来源于污水中的基质,比值越大消氮效果越明显。

BOD₅/TP 指标是运用生物除磷要求的重要指

标,通常我们要求该值必须大于 20,比值越大除磷效果越明显^[7 22-23]。

大多数企业车间原水浓度(COD 浓度)达到上万的数值,要处理到上述表中所达到的 500 mg/L 以下的要求是比较困难的,需要投入相当大的经费。经济利益的驱使再加上环保理念的淡薄造成企业污水直接排放到外界污染水体环境;另一种手段则是用自来水稀释处理的方法使企业污水达到要求,这两种非法手段都可以为企业节省一大笔污水处理费用,但产生的负面影响很恶劣。

环保立法对环保的责任要求严格规范,在以后的发展中环保永远不能放在金钱之后。对人们的环保意识教育应放在首要位置,要摒弃以破坏环境为代价的经济发展,维护这脆弱的大自然环境。环保局要鼓励群众举报企业偷排偷放;加大对企业污水处理的要求,对企业的违法手段进行严厉查处并且追究有关负责人刑事责任。每个人都要参与到环境保护的历史使命中来,共创绿色环保家园。

4 结束语

环境保护和工业发展是可以和谐共进的。在污水处理技术不断开发和完善下完全可以做到污水的达标排放,只是在众多难题下距离实现工业污水百分百无害化还有一段距离,但我国污水处理工艺的发展速度是位于世界前列的,相信在未来的几年或者十几年内污水处理将会取得新的成效。

参考文献:

- [1] 雷睿,陈莉,李强,等.工业污水处理厂二级出水深度处理工艺研究[C]//全国排水委员会 2012 年年会论文集.北京:中国环境科学出版社,2012.
- [2] 王洪臣.城镇污水处理的方向与技术需求[J].给水排水,2013(3):63-67.
- [3] 王胜平,李磊.对我国工业污水处理的现状和存在的问题探讨[J].城市建筑,2013(10):144-147.
- [4] 王洪臣.我国污水处理业的发展历程与未来展望[J].环境保护,2012(15):19-23.
- [5] 高延耀,顾国维.水污染控制工程[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [6] 沈文浩,宁利.工业污水处理自动监控技术的发展研究现状[J].造纸科学与技术,2011(5):178-212.
- [7] 周春玲.浅谈几种工业污水处理方法[J].黑龙江科技信息,2010(4):30-40.
- [8] 王凯军,宫徽.未来污水处理技术发展方向思考与探索[M].北京:科学出版社,2013.
- [9] 梁文栋.我国工业污水处理的市场发展及前景分析[J].水工业市场,2013(5):43-51.

- [10] 高颖.采用膜生物反应器技术进行工业污水处理[J].水工业市场,2010(5):120-122.
- [11] 雷晓东,熊蓉春,魏刚.膜分离法污水处理技术[M].南京:南京大学出版社,2012.
- [12] 张晓键,黄霞.水与废水处理的原理与工艺[M].北京:清华大学出版社,2011:123.
- [13] 李魁晓,白雪,李鑫玮,等.城市污水处理厂二级出水深度处理组合工艺研究[J].环境工程学报,2012,6(1):63-67.
- [14] 陆刚.典型工业废污水处理技术特点分析[J].水资源研究,2014(4):78-80.
- [15] 林静,刘静.概述工业污水处理再利用问题[J].黑龙江水利科技,2011(4):284.
- [16] 周宏春.我国工业废水处理存在的问题及建议[J].社会科学,2013(6):78-81.
- [17] 刘自成.我国污水处理存在的问题[J].全球节能环保网,2011(4):23-41.
- [18] 曹雨欣.工业污废水处理分析及治理[J].科技信息,2011(16):366.
- [19] 苏红海,戴义保,黄国栋.工业污水的动态处理技术[J].电子技术,2002,29(5):9-10.
- [20] 张自杰.排水工程:下册[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [21] 耿东颖.浅谈城市工厂污水处理及回收[J].科技创新与应用,2012(2):67-71.
- [22] 龚志孟,陈伯尧.生态型污水处理技术的应用前景[M].北京:中国社会科学出版社,2004.
- [23] 刘妍.水处理技术在污水处理中的意义以及前景[J].科技创新与应用,2013(1):12-21.

(上接第 562 页)

- [9] 张和禹,王亚男,魏国清,等.陶瓷膜超滤技术应用于桑椹汁的澄清与除菌加工[J].蚕业科学,2010(1):148-151.
- [10] 张敬,热合满·艾拉,艾提亚古丽·买热甫,等.陶瓷膜在哈密瓜汁微滤除菌工艺中的应用研究[J].食品工业科技,2012,33(13):243-245.
- [11] Evans P J, Bird M R, Pihlajamaki A, et al. The influence of hydrophobicity, roughness and charge upon ultrafiltration membranes for black tea liquor clarification [J]. Membrane Science, 2008, 313: 250-262.
- [12] Oliveira R C D, Doce R C, Barros S T D D. Clarification of passion fruit juice by microfiltration: Analyses of operating parameters, study of membrane fouling and juice quality [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 111: 432-439.
- [13] Fuenmayor C A, Lemma S M, Mannino S, et al. Filtration of apple juice by nylon nano-fibrous membranes [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 122: 110-116.
- [14] Almandoz C, Pagliero C, Ochoa A. Corn syrup clarification by microfiltration with ceramic membranes [J]. Journal of Membrane Science, 2010, 363: 87-95.
- [15] Chhaya, Sharma C, Mondal S. Clarification of stevia ex-

- tract by ultrafiltration: Selection criteria of the membrane and effects of operating conditions [J]. Food and Bio-products Processing, 2012, 90: 525-532.
- [16] Gana Q, Howellb J A, Fieldb R W, et al. Beer clarification by microfiltration-product quality control and fractionation of particles and macromolecules [J]. Journal of Membrane Science, 2001, 194: 185-196.
- [17] 李华兰.超滤澄清桑果醋技术的研究[J].中国调味品,2009,34(2):64-66.
- [18] 汪勇,温勇,黄才欢,等.无机陶瓷膜超滤大豆混合油脱胶的研究[J].中国油脂,2004,29(11):15-17.
- [19] Michele S, Pinto, Ana C S, et al. Influence of multilayer packaging and microfiltration process on milk shelf life [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2014(1):151-159.
- [20] 邓成萍,薛文通,孙晓琳,等.超滤在大豆多肽分离纯化中应用[J].食品科学,2006,27(2):192-195.
- [21] Loginov N, Boussetta N, Lebovka N, et al. Separation of polyphenols and proteins from flaxseed hull extracts by coagulation and ultrafiltration [J]. Journal of Membrane Science, 2013, 442: 177-186.
- [22] 许浮萍,梁志家,田娟娟.应用膜分离结合醇沉法纯化大豆异黄酮[J].食品科学,2009,30(16):78-82.