

工业水处理技术

(第十册)

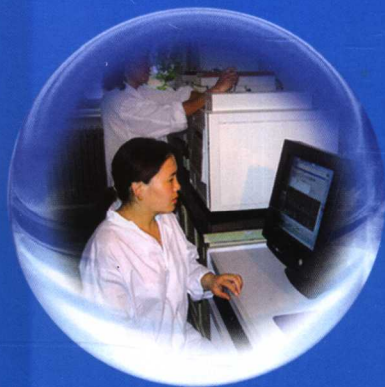
李本高 王建军 龙 军 主编

中国石化出版社



北京林华水质稳定剂厂
BeiJing LinHua Water-Quality Stabilizer Factory

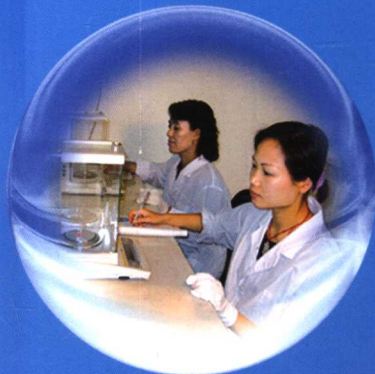
珍惜
水资源
共创
绿色家园



以人为本



科技兴起



质量第一



用户至上



茂名众和国颂精细化工有限公司

茂名众和国颂精细化工有限公司领到了美国奥瑞认证有限公司审核通过的《质量管理体系认证证书》。其产品“南树牌”水处理剂遍销广东、广西、海南、福建等沿海各省市，深受用户好评。中国石化集团公司、茂名石化公司以及茂名市的各级领导也常来公司视察、检查指导工作，对公司的企业管理和产品质量都给予充分肯定和高度评价。



生产车间一角



成品包装



茂名石油化工公司炼油厂一角



茂名乙烯厂区一角



柳州钢铁集团公司



海南富岛化肥厂厂区一角



广西宜州电石厂电石炉进行生产



柳钢氧气厂三号水场

客户遍布

前 言

水是自然界分布很广的物质，是一切生命的源泉。水是基础性的自然资源 and 战略性的经济资源，水资源的可持续利用，是经济和社会可持续发展的极为重要的保证。因此，世界各国都十分重视水的问题，都在强化水资源管理，积极倡导节约用水工作。

广义上讲“水资源”是指自然界中任何形态(固态、液态和气态)的、存在于地球表面和地球岩石圈、大气圈、生物圈中的水；狭义上讲“水资源”是指地球上可利用的或者可能被利用的、具有一定数量和质量保证的、在一定时间内可以更新的那部分淡水量。水资源是一种动态资源，具有诸多独特的自然特性和功能，例如，可恢复性和有限性、时空分布不均匀性、统一性和不可分割性、多功能性和不可替代性以及利与害双重性等。

全球水总储量为 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，其中 96.5% 为海水，淡水储量为 $3502.992 \times 10^4 \text{ km}^3$ ，约占水总储量的 2.53%，其中 88% 为固态，其余 12% 的大部分为地下水，实际上可供人类生活和生产取用的淡水储量仅为水总储量的 0.014%。随着世界人口快速增加、工业迅猛发展、水体污染日趋严重以及世界水资源在时空上分布不均等因素影响，近些年来世界不同地区频繁出现“水荒”、“水危机”、“水贫困”、“水难民”，甚至“水战争”。水资源短缺已经成为 21 世纪全球面临的最大挑战之一。

我国多年平均水资源总量为 $28124 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，约占全球的 5.8%，居世界第 6 位，但人均年水资源占有量仅为 2300 m^3 ，居世界第 109 位，曾被联合国列为世界上 13 个贫水国之一。可见，我国的水资源并不丰富。事实上，近些年来水危机已经严重地制约了我国一些地区的经济发展。我们正进入一个新的水资源短缺时代，水相当于 21 世纪的“石油”，因此，必须坚持“开源与节流并重、节流优先、治污为本、科学开源和综合利用”的原则，做好城市供水、工业用水、节水和水污染防治工作。以此为主旨，自 2000 年以来，中国石化集团公司加大了对节水减排工作的支持和管理力度，开展了卓有成效的工作。成立了节水领导小组和专家组，使节水减排工作比较顺利地进行；支持和开发了一批节水减排新技术，建立了一批节水减排示范工程，使 2003 年中石化加工吨油取新水和排污比 1999 年降低了 50% 以上，一些先进企业已经接近或达到国际先进水平，取得了显著的社会效益和良好的经济效益。为进一步加强水处理技术信息交流，自 1995 年以来中国石油化工集团公司水处理技术服务中心先后组织编写，并由

中国石化出版社出版发行了《石化工业水处理技术进展》、《水处理药剂及材料实用手册》、《水处理工艺与运行管理实用手册》和《工业水处理技术》(第一册到第九册)等。本书为《工业水处理技术》第十册,系中国石化第十届水处理技术研讨会论文集。

2006年9月召开的中国石化第十届水处理技术研讨会,围绕“提高水处理效果,实现节水减排,污水回用”主题进行专题研讨。本次研讨会共征集科技论文109篇,主要内容涉及提高工业水重复利用率、减少污水排放、提高循环水处理效果、提高污水处理效果、污水回用与深度处理、凝结水回收与利用、微生物与粘泥控制、泄漏物料检测与处理、环保型水处理药剂研制与应用、膜法处理、分析与自动控制、工业水管理等新经验、新工艺、新设备、新技术。

本书论文内容丰富、信息广泛、技术新颖、实用性较强,这是众多从事水处理技术和管理人员近几年来研发成果和经验的总结,会对广大水处理工作者和管理人员具有较好的参考价值。在此,向本书积极投稿的论文作者们表示谢意!

本书由李永存主审。

限于水平和经验以及时间仓促,书中疏漏和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

专 论

污水回用技术进展与发展趋势·····	李本高 汪燮卿 陆婉珍(1)
金陵分公司 2005 ~ 2006 年节水减排进展 ·····	徐庆轶(8)

废水处理与达标排放

生物增效技术在炼油废水处理中的应用研究·····	赵俊仁 王玉祥 李晨光(17)
利用炼油废催化剂处理炼化外排污水技术研究 ·····	张 莉 于瑞红 李本高(24)
催化剂生产废水悬浮物处理技术研究与应用 ·····	张 莉 马 欣 王振宇 张利强 李本高(33)
高酸高钙原油电脱盐高浓度废水处理技术研究 ·····	秦 冰 桑军强 李本高 高 峰(39)
燕化炼油厂制硫污水除油效果考察·····	沈 辉 仇金玲(44)
醋酸污水引入腈纶污水处理场的可行性研究·····	李向富(48)
论污水生物脱氮原理和运行控制管理·····	张耀君 王荣海 赵 斌(52)
酸性水及碱渣综合脱硫脱氨技术的应用·····	张继伟(57)
聚醚生产厂有机废水的处理·····	王梅梅(63)

节水减排污水回用技术

运用目标管理方法 降低新鲜水用量·····	王一平(67)
稳定污水回用深度处理运行的经验与探讨·····	连立国 纪 轩(72)
开展节水减排 实现节能降耗·····	常 虹 梁多兰 王红霞 豆秀华(76)
大排污水回用后的水处理效果评价及存在问题分析 ·····	王 湘 杨军文 彭明勇(80)
污水回用对循环水处理带来的影响·····	张国锋(85)
优化用水方案 推进节水减排工作·····	周文争(91)
炼油污水深度处理回用中试·····	米治宇(95)
大庆石化分公司炼油污水深度处理后回用于循环水可行性研究·····	王 巍(98)
以科技为手段实现工业水系统优化运行·····	宋晓辉(102)
炼油污水处理工艺及回用技术总结·····	陈长顺(105)
再谈高原炼厂供排水系统的节能降耗改造·····	梁满会(110)
浅谈格炼供排水系统的节能降耗改造·····	梁满会 王 焕(115)
双膜工艺在炼厂节水减排中的应用·····	谢小华(118)
工业循环冷却水节水分析·····	(123)
利用模拟试验结论 攻克尿素工艺废水回收难题·····	彭剑声(127)

砂滤池反洗水回用及运行小结·····	黄 斌(131)
化肥工业节水减排技术现状及发展方向·····	钱效南 朱羽中(134)
蒸汽凝结回收系统运行情况及效益分析·····	李火兵 张晓春(140)
凝结水的再利用·····	周和东 廉 文 温广春(146)

循环水处理技术

含硫循环水处理技术研究·····	傅晓萍 唐安中(150)
提高循环冷却水专业管理水平 推进节水减排工作全面开展·····	戚晶冰(156)
生物净化处理含油循环冷却水的试验研究·····	欧阳志(161)
电解方法用于循环水杀菌机理研究·····	谭 丽 李本高(166)
塔西南石化厂循环水提高浓缩倍数研究·····	张晓燕(173)
循环水冷换设备堵塞原因分析及对策·····	周 健 赵雪扬(180)
水场浓缩倍数低的原因分析·····	赵雪扬(186)
试论循环水系统高浓缩倍数下运行所面临的困境·····	叶永荣(190)
高浓缩倍数配方在化工循环水场的应用·····	唐 华(193)
提高浓缩倍数的影响因素与对策·····	姜海清 郭恩勇 李春才(196)
浓缩倍数的测定与实践·····	董红军 李红霞(199)
CAOT 高级氧化技术在循环水处理中的应用 ·····	谢小华(204)
循环经济在工业循环水系统的应用·····	宋爽英(211)
浅谈循环冷却水系统对炼油生产装置的影响·····	梁满会(216)
乙烯厂水冷换热器泄漏原因分析及处理·····	何永江 江国鹏 朱志浩 巴拉哈提(220)
简述查找循环冷却水系统泄漏的几种方法·····	杨春风 何建平 刘 雷 徐 剑(227)
循环水系统泄漏的危害、查找及措施·····	赵敏昶(230)
循环水场快速查漏方法探究·····	胡家刚(233)
电厂循环水系统腐蚀超标成因剖析和控制·····	吕 慧 孔朝辉 程 谱(236)
循环水场粘泥超标的原因分析及对策·····	翟清华 何建平 刘 雷 徐 剑(240)
小循环水系统的不停车清洗预膜·····	邓传真(244)
纤维过滤工艺探讨及在我公司循环水中的应用·····	何建平 孙书文(248)
GE - BETZ 循环水处理技术在高原炼厂的应用 ·····	梁满会 王 焕 刘 微(253)
电厂循环水系统水处理方式调整及其效果分析·····	赵俊仁 杨志刚(258)
优化循环冷却水处理方案 提高水处理工作水平·····	朱宝庆(264)
改善循环水水质与提高浓缩倍数的关系·····	庞志仿(270)
风险评价在循环水系统泄漏分析与对策中应用·····	王 利(275)

水处理药剂、配方与材料

外排污水回用循环水环保型水处理配方研制·····	余正齐 李亚红 李本高(279)
适应高浓缩倍数运行的绿色水处理配方研究·····	傅晓萍 胡跃华(283)
聚环氧琥珀酸盐的合成与性能研究·····	王 秀(288)
泄漏情况下循环水处理配方工业应用试验·····	吴志文 符 志 温志刚(292)
高浓缩倍数运行配方的研究·····	符 志 吴志文 温志刚(299)
高浓缩倍数水质条件下新型药剂配方筛选及应用·····	孔庆义(308)

RP-99L 在辽河石化循环水场应用总结	杨春风 何建平 刘 雷 徐 剑(311)
RP-04L 加酸水处理配方在化纤循环水系统中的应用	张国锋(315)
高效水处理剂的试验研究及应用	窦传杰 张永胜 陈秀华 张伟明(319)
HCl—H ₂ S 体系新型水溶缓蚀剂的研究	石顺存 邓彤彤 盛 洁(324)
超强稳磷锌聚合物对提高水处理效果和降低成本的探讨	汪素卿 杜长河 秦进良(327)
SPC-1107 杀生剂在循环水系统中的应用	张忠梁 杨秀忠(331)
浅析水处理中的杀生剂	陈 磊(339)
循环水冷却水处理中杀菌剂的选用	刘长霞(342)
二氧化氯在工业循环冷却水中的应用	闫伯鸿(346)
德国(BK Giulini)配方在化工循环水场的应用	李庆民 赵小珍 于宝国 王 荆(351)
高吸水聚合物的开发与应用进展	汪多仁(355)
化学水、纯水与给水处理	
电渗析极水工艺调整提高制水率	刘云峰 司艳霞 赵桂英 李 峰(359)
电去离子软水技术	王 方(362)
混床离子交换树脂电再生过程解析	王 方(367)
正交试验在阳床再生方法改进中的应用	陈佑军(372)
利用降压法控制管网的漏失量	宋晓辉 李春才 穆天放(376)
关于生活水量不足问题的探讨	刘 伟 曾 佳(379)
利用被污染的第二松花江水制取纯水的工艺过程	曲 哲(385)
水处理装置、设备与技术改造	
改造凉水塔 提高效率 节水降耗	杨 敏(388)
有效提高横流式冷却塔热力性能的方法	朱 瑛 丁文华(394)
循环水冷却塔的扩能改造	杨根山 何国健(398)
无填料喷雾冷却塔在格炼改造中的应用	梁满会 李 强(401)
高寒地区水塔防冻技术的研究	滕国文 宋晓辉 李春才 穆天放(408)
进水温度对反渗透运行的影响	张晓春(412)
浮沉池在净化水处理中的应用	闫伯鸿(416)
实现离心脱水机的连续运转	刘玉凤(421)
疏水器在原液供纺加热器中的应用	王永江(425)
一种基于空穴效应的绿色清洗技术应用研究	王希光 顾培臣(428)
二氧化氯发生器在炼厂循环水场中的使用	蒋丽萍(433)
污水场曝气池排水方式改造	刘玉凤(436)
PLC 在压滤机系统的应用	朱羽中(439)
水质管理与分析测试	
茂炼水质管理的方式方法及其改进	叶永荣(442)
加强管理 稳步提高工业水重复利用率	季淑娟(451)
塔西南石化厂循环水处理项目承包模式探讨	张晓燕 李 健(458)

腈纶污水中化学耗氧量(COD)分析技术改进

..... 田素燕 刘殿明 史 野 刘忠辉(461)

循环水含油监测分析管理的新思路..... 王 华(464)

水质在线分析技术的进展及在石化工业中的应用..... 程 立(466)

研发与技改简报

冷却水处理技术的重大突破—3D Trasar 赵 芳(470)

油田污水处理技术现状和今后发展方向..... 崔延君(475)

油田污水处理用缓蚀剂及酸化缓蚀剂的发展现状及展望..... 刘江平(480)

建筑一体化节能型生活热水系统..... 周政学(485)

如何实现智能水表的精确计量..... 陈玉珍(488)

污水处理厂设备的安全运行管理..... 张春梅(491)

经济合理确定供热二级管网循环水泵的扬程..... 王立革(495)

多台并联变频调速水泵的节能控制方式..... 单耀宇(499)

基于变频器电动水泵调速控制工作原理及定量节能分析..... 戴俊明(502)

污水处理智能控制技术的现状及进展..... 于春梅(505)

工业局域网络技术在污水处理厂的应用..... 马默渠(511)

污水处理厂的自动控制设计方式的选取..... 孔 悦(515)

变频调速技术在供水系统的应用及其注意事项..... 王海涛(520)

排气阀在给排水系统计量中的应用..... 高 扬(523)

消除松花江水污染的主要措施..... 王继东(526)

VT型污水处理工艺 武立文(529)

厂家简介

北京林华水质稳定剂厂简介..... (532)

茂名众和国颂精细化工有限公司简介..... (534)

中国石油化工集团公司第四届至第九届水处理技术研讨会论文集目录..... (536)

编后记..... (554)

污水回用技术进展与发展趋势

李本高 汪燮卿 陆婉珍

(中国石化石油化工科学研究院, 北京 10083)

【摘要】 通过文献检索、技术交流和现场考察对国内外污水回用技术的发展及应用现状进行调查, 城市外排污水回用技术在工业发达国家得到了广泛应用, 工业外排污水回用技术在国内已经取得成功并开始推广。

1 前 言

世界性的水资源不足, 水污染日益严重加剧的趋势, 迫使人们探索节约用水、减少污水外排、保护水环境的方法, 为此, 污水回用技术应运而生。污水回用不但可以节约大量新水, 而且可以大幅度减少污水外排, 因而, 成为工业企业节水减排的重点。污水回用经过 40 年的发展, 人们通过对污水水质和水用户对水质要求的深入研究, 对外排污水的不同用途提出了不同的水质标准, 一批先进、可靠、经济适用的污水回用技术先后开发成功并得到较为广泛的推广应用, 不但取得了显著社会效益, 而且创造了较好的经济效益。在工业发达国家, 回用污水(或再生水)已成为重要的第二水源^[1], 较好地解决了工业发展与水资源不足、工业发展与水环境污染之间的矛盾, 如美国用水量 2000 年比 1975 年虽然增长了 138.5%, 但取水量却降低了 8.8%; 日本用水量 1995 年比 1965 年虽然增长了 201.6%, 但取水量却降低了 27.8%, 大幅度提高水的重复利用率保证了社会经济发展对水资源的需求。

我国虽然对水资源不足, 水环境污染的严重性认识较晚, 到 20 世纪 90 年代末才将节约用水、减少污水外排提到工作日程, 但要求迫切、发展快。如何适应这个快速发展的形势要求, 开发和采用先进、可靠、经济适用的污水回用技术就成为人们十分关心的问题。为降低工业企业水耗、减少污水外排, 积极稳妥开发和推广污水回用技术, 避免因采用技术不当而达不到节水减排目的和造成经济损失, 对污水回用技术进行深入调查和分析, 具有重要的现实意义和战略意义。

2 污水回用技术内容

由于外排污水水质复杂, 且比新水差, 在回用前必须解决什么样的水质可以回用问题。因而需要制订科学合理的回用水质标准, 进一步提高回用污水水质, 解决回用水在使用过程中的水质稳定问题。

2.1 回用污水水质标准

不管是城市外排污水, 还是工业外排污水, 水质明显比新水差。污水中的污染物种类和

浓度是新水的几十倍,有些甚至高出上百倍。这些污染物使外排污水水质变差,导致外排污水的腐蚀性、结垢性和微生物繁殖等特性显著增强。如果不经适当处理将水质提高,不能满足用户对水质的要求;如果将外排污水中的污染物全部去除,使处理后的水质和新水水质相同或相近,虽然能够满足用户对水质的要求,但大大增加外排污水处理技术难度,过长的处理工艺使技术的可靠性降低,同时大幅度增加外排污水处理设施的投资和运行费用,使污水回用无经济效益,甚至出现负效益。因此,需要对不同水用户对水质的最高要求和最低要求进行研究,确定既能满足水用户对水质的要求,确保外排污水回用后不产生水质问题而影响生产装置的正常运行;又不使外排污水处理后的水质“质量”过剩,增加外排污水处理难度和运行成本。因此,科学、合理的回用水质标准就成为首先需要解决的问题。

工业发达国家在 20 世纪 60 年代开始对城市外排污水回用工业循环冷却水水质标准进行研究,取得了比较满意的结果,提出了城市外排污水回用循环冷却系统的水质标准^[1]。不同国家和地区的回用水水质标准不尽相同,总体上日本标准比美国标准严,特别是对主要污染物 COD 浓度的要求,日本东京和名古屋分别比美国推荐标准低 7.8 倍和 8.9 倍。

我国在 20 世纪末开始对外排污水回用水质进行研究,石油化工科学研究院在研究炼油厂达标外排污水回用炼油装置循环冷却水技术时,于 2000 年首先提出炼油厂外排污水回用循环冷却水的水质指标,并在工业化试验中按照所提出的回用水质指标运行,取得了成功后在中石化和中石油十几套炼油化工装置循环冷却水系统推广应用。在认真总结达标外排污水回用循环冷却水系统经验的基础上,2002 年中石化提出了炼油化工外排污水回用循环冷却水的企业试行水质标准,同年中国国家推荐标准(GB 50335—2002)也相继颁布。

随着对外排污水的深入研究和新的回用技术发展,将外排污水经过膜技术深度处理作为饮用水和锅炉给水课题已经提到议事日程,研究结果和实践经验使人们认识到:进水水质是决定处理膜是否能够正常运行的关键,只有当进水水质稳定满足处理膜要求时,处理膜才能正常运行。膜技术对城市污水处理的成功经验和对炼油外排污水处理的失败教训,要求人们研究和制订符合处理膜要求的水质标准,中国石化等企业正在开展这方面的工作。

2.2 提高回用污水水质技术

外排污水水质差,直接回用多数不能满足水用户对水质的要求,因此,需要进行处理使水质进一步提高。根据不同用户对水质的不同要求,人们对提高外排污水水质进行了大量和深入研究,表 1 是对活性炭去除污水中污染物的研究结果,表明活性炭对 COD、BOD、SS 和色度有良好的处理效果,去除率一般达到 60% 左右;但对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 T-P 的处理效果差,几乎无效。

表 1 活性炭处理外排污水的效果

项 目	科罗拉多泉处理厂			洛杉矶导试厂			大连市政污水处理厂		
	进水	出水	去除率/%	进水	出水	去除率/%	进水	出水	去除率/%
pH 值	6.9	6.9	—	—	7.5	—	7.4	7.8	—
浊度/度	62	6	90	1.5	0.8	46	4.2	3.4	19
色度/度	39	18	54	30	5	83	46	19	59
COD/(mg/L)	139	39	72	30	11	64	65	44	32
BOD/(mg/L)	57	24	58	5.7	2.4	58	5.3	—	—
SS/(mg/L)	15	3	79	5.4	2.4	56	4.8	0.9	81
$\text{NH}_3 - \text{N}/(\text{mg/L})$	24	27	—	7.4	7.1	4	35	33	5
T-P/(mg/L)	0.7	0.9	—	2.9	2.9	—	4.1	3.6	12

在对单元工艺研究的同时,对单元的不同组合工艺也进行了深入研究,表2是不同单元的不同组合工艺对外排污水的处理结果^[2-3]。表2结果显示,过滤和混凝沉淀分别对去除SS和浊度非常有效,对COD和BOD也有一定的去除效果,可以使外排污水中这些污染物浓度达到回用循环冷却水的要求;将过滤与活性炭吸附组合,形成“过滤+活性炭吸附”组合工艺,除对T-N和T-P去除效果较差外,对其他几项指标均具有优异的去除效果;采用“混凝沉淀+过滤”组合工艺处理外排污水,出水水质能够全部达到回用循环冷却水的要求;如果采用“混凝沉淀+过滤+氨解析+炭柱”组合工艺,处理后的外排污水水质接近地表新水,完全满足反渗透膜对进水水质的要求;采用“曝气+沉淀+过滤”组合工艺,处理效果与“混凝沉淀+过滤”组合工艺基本相当,出水水质满足回用循环系统的要求,因而使该工艺得到了广泛实际应用。

表2 不同单元组合工艺对外排污水处理的效果

处理工艺	深度处理工艺	出水水质/(mg/L)						
		SS	BOD	COD	T-N	T-P	浊度	色度
活性污泥法	无	20~80	20~30	40~110	20~80	6~15	5~20	15~80
	过滤	5~10	5~10	10~70	15~35	4~12	0.3~5	15~60
	过滤+炭柱	<3	<1	5~15	15~30	4~12	0.3~3	~5
	混凝沉淀	<5	5~10	40~70	15~30	1~2	~10	10~30
	混凝沉淀+过滤	<1	<5	30~60	2~10	~1	0.1~1	10~30
	混凝沉淀+过滤+氨解析	<1	<5	30~60	2~10	~1	0.1~1	10~30
	混凝沉淀+过滤+氨解析+炭柱	<1	<5	1~15	2~10	~1	0.1~1	<5
生物滤池	无	20~40	15~35	40~100	20~60	6~15	5~15	15~80
	过滤	10~20	10~20	30~70	15~35	6~15	<10	15~60
	曝气+沉淀+过滤	5~10	5~10	30~60	15~35	4~12	0.5~5	15~60

2.3 回用污水水质稳定技术

采用水质稳定技术,可以经济有效地解决水质在使用过程中对生产设备产生的腐蚀、结垢和水中菌藻滋生等问题。外排污水虽然经过适当处理,水质得到了提高,但水质仍不如新水好,水中COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等微生物繁殖所需要的营养元素比新水高十几倍,有利于微生物的快速生长与繁殖;水中氯离子等促进金属设备腐蚀的无机盐浓度也比新水高,导致回用水的腐蚀性增强。水质的这些因素使回用水产生的问题比新水严重,如不加以有效解决,将严重影响生产装置的正常运行。因此,人们十分重视对回用水的水质稳定技术研究和开发,特别是外排污水回用循环冷却水技术,取得了巨大成功和广泛应用,形成了比较成熟的系列水质稳定技术。

自20世纪60年代以来的研究和实践经验表明:采用液氯对回用污水进行消毒,既十分有效,可以将细菌总数控制在 10^2 个/mL以下;又经济,处理费用一般在0.05元/ m^3 以下,因而在国内外得到广泛应用。外排污水回用循环冷却水系统首先需要解决微生物控制问题,采用连续加入液氯方法,可以有效控制污水回用循环冷却水后的微生物生长、繁殖和生物粘泥滋生,使细菌总数控制在 1×10^5 个/mL以下,生物粘泥控制在 $2\text{mL}/\text{m}^3$ 以下。针对达到回用标准的回用污水水质,采用以磷(膦)酸盐和多元羧酸共聚物为主要组分的水处理配方进行处理,可以有效抑制循环冷却水系统的金属设备腐蚀和水冷器结垢,国内外现场运行结果显示水处理效果与同类新水相当,能满足生产装置长周期运行对水处理效果的要求。

3 污水回用现状

3.1 城市外排污水回用

城市污水水量大、受污染程度较低、水质波动小、且易处理和收集,有利于大规模处理以降低处理费用,因而受到工业发达国家的重视,使城市污水处理率达到 80% 以上。丰富的城市外排污水资源和较好的水质,为污水回用提供了有利条件。1962 年日本开始进行污水回用技术开发和应用,70 年代已初见规模。随着回用技术的不断发展,再生水成本不断下降、水质不断提高,逐渐成为缓解水资源短缺矛盾的主要手段。1990 年日本已建成 1369 座“中水”工程,东京江东区污水回用量达到 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,城北区达到 $24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,它们中的 80% 回用于工业用水;赖沪内海地区污水回用量已达该地区用淡水总量的 2/3,取新水量仅为淡水用量的 1/3,大大缓解了该地区的水资源严重短缺矛盾^[4-5]。

美国是世界上开展污水回用最早的国家之一。20 世纪 60 年代初开始大规模建设污水处理厂,随后开始进行污水回用。到 1980 年美国已有 357 个城市实现污水回用,再生回用点 536 个。污水主要回用于灌溉、景观、工艺、冷却水、锅炉补水、回灌地下和娱乐养鱼等多种用途,回用总量达到 $94 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,其中用于灌溉达 $58 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,占回用总量的 60%;回用于工业达 $28 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,占总回用总量的 30%,其他方面的回用水量不足 10%。

污水回用在美国经久不衰的实例很多^[6-8],如城市污水回用的先驱之一,美国 Burbank 电厂 1967 年开始在循环水量分别为 $7300 \text{ m}^3/\text{h}$ 和 $12000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的系统进行城市污水回用。在循环冷却水系统全部采用城市污水做补充水条件下,浓缩倍数控制在 5 左右运行,循环水细菌总数 $< 10^5$ 个/mL,碳钢腐蚀速率 $< 0.025 \text{ mm/a}$ 、铜管腐蚀速率 $< 0.005 \text{ mm/a}$,处理效果完全满足生产运行要求;全美最大的核电站—派洛浮弟核电站,将生物膜处理后的出水经电站深度处理后作为冷却水使用,水的循环次数达 15 次;西南地区的几个主要发电厂,包括核电厂在内普遍使用处理后的城市污水作为冷却水系统的补水,如拉斯维加斯的科拉拉电厂和森路士电厂,都使用 1981 年投产、处理规模为 $24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的拉斯维加斯市污水厂的外排污水做冷却水系统的补水,还有洛杉矶市长滩地区的电厂,均使用城市外排污水做循环水的补水;马里兰州的伯利恒钢铁厂使用 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 背河污水厂的外排污水于工业生产和工艺冷却用水已有 40 年的历史;佛罗里达州的圣彼得斯堡在 1978 年开始将再生水回用于生活杂用水,目前已能够向 7000 多户家庭提供再生水;圣迭戈市有 $18.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 再生水作为饮用水;位于加州的橘县水管理区的 21 世纪水厂,1965 年开始研究将深度处理后的污水回灌地下,1972 年兴建工程,1976 年投入运行,回注水总量为 $9.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

新加坡是严重缺水国家,所使用的一半淡水量需要从马来西亚进口,因此,十分重视污水回用。采用“双介质过滤 + 反渗透”(DMF + RO)工艺对城市三级处理污水进行深度处理,2000 年在裕廊岛工业园区投产一套产水规模 $30000 \text{ m}^3/\text{d}$ 的城市污水深度处理装置,出水主要回用于化学水给水和消防系统。另外以三级处理的城市污水为水源,采用“超滤 + 紫外光 + 反渗透”生产“新生水”工艺,投资 1700 万新元建设一套产水能力 $33000 \text{ m}^3/\text{d}$ 用于饮用水的城市外排污水深度处理装置,该系统所产生的“新生水”大部分进入饮用水源水库作为饮用水,部分作为瓶装饮用水免费发放参观游人。

膜技术用于污水处理,具有出水水质好、效率高、占地小的显著特点。自 20 世纪 90 年

代以来,膜技术用于城市污水处理方兴未艾,取得了巨大成功,如膜生物反应器(MBR)技术在美国、日本和欧洲得到广泛推广和应用,建设了许多不同规模的处理装置。

我国在 20 世纪 50 年代尝试过采用污水灌溉农田,80 年代探索将城市污水深度处理后回用于生活和工业,首先是大楼污水的再利用^[5]。80 年代末,随我国大部分城市水危机的频繁出现,促进了污水回用技术的研究和开发,形成两种主要方式的污水回用:一是“中水”回用,二是集中处理后回用。办公楼、宾馆、饭店和生活小区等较为集中排放的污水就地净化后得到“中水”,回用于冲厕、洗车、消防、绿地等杂用水,如 1982 年青岛市将“中水”作为市政及其他杂用水,缓解了淡水供求矛盾。集中处理回用是将二级处理出水经深度处理后再供给工业生产和城市生活作低质用水。如大连春柳污水处理厂将二级处理污水进行深度处理后回用煤气厂代替新水,这是我国最早进行的示范工程。其后北京、天津等城市也建起了相应的示范工程。但总体上我国城市污水回用技术不成熟、规模小、推广应用不多。

3.2 工业外排污水回用

工业污水与城市污水明显不同,工业污水受污染程度较大、水质受工艺过程影响波动大、多数工业污水处理较难。工业发达国家一般将工业企业产生的废水在生产现场只经过简单处理,水质达到进入城市污水处理系统要求后,再进入设施完善的城市污水处理系统与生活污水混合后进行处理,一方面可以降低工业污水的处理难度,另一方面实现大规模处理可降低处理费用,因而,工业污水单独回用在工业发达国家并不多见。我国与发达国家情况完全不同,一方面城市污水处理设施尚不完善,城市污水处理率不到 20%;另一方面大型工业企业一般都建有完备的工业废水处理设施,对本企业产生的废水进行处理,水质达标后外排。企业的污水处理条件,大大促进了对工业外排污水回用技术的研究和开发,在外排工业污水进一步处理提高水质、达标外排工业污水回用循环水和工业外排污水的再生水脱盐技术方面进行了积极探索,取得了不同程度的进展。

我国 1997 年开始研发提高炼油厂达标外排污水水质技术^[1],1998 年东北某炼油厂采用“混凝沉淀+精密过滤+臭氧氧化+石英砂过滤+活性炭过滤+中空超滤”组合工艺建成第一套处理能力 200m³/h 的工业装置,现场运行结果表明该工艺对 COD 等污染物的去除效果较好,可使 COD 从进水的 120mg/L 降低到出水 40~60mg/L,浊度和悬浮物可降低到 10mg/L 以下,但该工艺对氨氮处理效果较差,基本无去除效果;2002 年天津某炼油厂采用“二级曝气+絮凝气浮+石英砂过滤+生物活性炭滤池+消毒”组合工艺,建设处理能力 500m³/h 的装置对炼油厂外排污水进行再处理,出水作为循环冷却水系统的补充水。该装置在实际处理量 250m³/h 时,对 COD、氨氮、浊度和悬浮物去除效果较好,出水 COD 和氨氮分别降低到 26mg/L 和 2mg/L,浊度和悬浮物也低于 10mg/L 以下,且运行较平稳;同年北京某炼油厂采用“生物滤池+混凝沉淀+加氯+纤维素过滤+活性炭过滤”组合工艺,建成一套处理能力 450m³/h 的炼油厂外排污水再处理装置,出水主要用于循环冷却水系统和膜脱盐装置,投产后运行基本正常,出水 COD 在 20~30mg/L,氨氮小于 3mg/L,水质基本满足“超滤+反渗透”(UF+RO)双膜处理工艺对进水水质的要求;近几年通过对提高外排污水水质的工艺流程不断优化,形成了以“BAF+混凝沉淀+加氯+过滤”组合工艺为主的工业外排污水再处理流程,建成并投用的 10 余类似处理装置的运行情况总体良好,出水水质基本达到设计要求。

20 世纪 90 年代我国开始探索达标外排工业污水回用循环冷却水技术的可行性,七八个企业先后进行过外排污水回用循环冷却水系统现场试验,虽然都因污水回用循环水后微生物

失控而未取得成功,但促进了对工业外排污水回用循环冷却水系统的深入研究。1996年中石化水处理中心开始认真分析和总结外排污水回用循环冷却水系统失败的原因,经过对外排工业污水水质特性、微生物繁殖特性和生物粘泥结构特征的深入研究,开发出以水质稳定技术为主,杀菌和过滤处理为辅的短流程工艺,形成了具有自主知识产权的炼油厂达标外排污水回用循环冷却水成套技术^[9]。该技术2000年首先在湛江东兴炼油厂实现工业化成功应用后,先后推广到18套循环冷却水系统应用,实现了循环冷却水系统补水全部用外排污水替代的目标,从而使炼油厂加工吨原油取水和排污水量分别达到国际先进水平的 $0.5\text{m}^3/\text{t}$ 原油和 $0.2\text{m}^3/\text{t}$;在此基础上,该中心于2002年又开发出乙烯装置外排污水回用循环系统技术,经过在30万t/a乙烯装置循环水系统的2年工业运行,处理效果满足生产装置高效长周期连续运行的要求,2004年通过中国石化主持的技术鉴定。随后中国石化和中国石油先后开发出炼化外排污水经过类似“BAF+混凝沉淀+加氯+过滤”工艺处理后的再生水回用循环水技术,在近10套循环水系统应用结果表明,虽然回用 1m^3 外排污水的运行费用较短流程高1元左右,但总体运行较好,可以满足生产装置正常运行对水处理效果的要求。

与此同时,膜技术用于工业污水处理和脱盐也成为人们探索的热点,目前在国内建设了包括微滤膜、超滤膜、纳滤膜和反渗透膜在内的15套以上用于工业污水处理和工业再生水脱盐的装置,虽然存在的问题较多,总体情况较差,但人们的探索热情很高。自2001年以来,我国先后在石化、石油、电力和冶金等系统建设了规模大小不同的膜处理装置15余套,总处理能力约 $8000\text{m}^3/\text{h}$ 。这些装置包括3套MBR,3套循环水系统的排污水脱盐,9套工业再生水脱盐。从现场情况看,3套处理化工和炼油污水的MBR装置,出水水质和水量都未达到设计要求,其中1套在1年多的断续运行中,膜组件已经更换2次,近期将进行第3次更换;用于循环水系统排污水脱盐的3套装置中,用于热电循环水系统排污水脱盐的一套装置运行状况较好,已连续运行3年多,但用于炼油循环水系统排污水脱盐的2套装置,建成后一直未投入正常运行;用于工业再生水脱盐的9套装置中,1套运行较好,3套运行基本正常,其他6套不能正常运行,有些甚至不能运行。这些不能投入正常运行的膜处理装置,主要原因在于工业外排污水水质不稳定,波动时的水质不能满足膜对水质的要求。

新加坡自2002年以来对裕廊岛工业园区产生的外排工业污水回用工业目的进行研究,建设了处理规模为 $4\sim 6\text{m}^3/\text{h}$ 的外排工业污水采用膜技术深度处理脱盐的中型试验装置,采用微滤/超滤工艺,反渗透设计和运行通过计算机模拟实现,由4组平行运行的膜组件组成(可以同时测试不同型号,不同材料,不同运行方式的膜组件)。通过对两座污水厂的水质进行的2年试验,发现污水中的有机物对膜污染较严重,处理效果和运行稳定性取决于污水处理的上游生化工艺运行效果,未实现工业化运行。

4 污水回用发展趋势

向深度和广度发展:从污水源看,污水回用首先从污染程度较轻、水质较好的城市污水开始,随后发展到水质较差的生活小区、工业园区、工业企业内部污水,广开回用污水水源。从污水回用对象看,首先是从对水质要求较低的农田灌溉用水、生活杂用水、绿化用水、景观用水、循环冷却用水开始,再发展到回用于饮用水、化学脱盐用水和锅炉给水,回用到对水质要求不同的各种水用户。

向技术集约化方向发展:污水回用包括进一步提高污水水质和再生水水质稳定两个方面,不同水用户对水质要求不同,因而在技术上表现出从单元技术,如絮凝沉淀、过滤、活性炭吸附等向组合工艺技术,如“BAF+混凝沉淀+加氯+过滤”等,再向多种技术集成,如“BAF+加氯+过滤+水质稳定”、“BAF+混凝沉淀+加氯+过滤+杀菌+超滤+反渗透+混床”等方面发展。在目前,技术上可以做到处理多种性质的外排污水,处理水质也可以满足各种水用户的不同要求。

向零排放方向发展:在工业发达国家,已经完成了对低污染水质如城市外排污水的回用,当前正进行较高污染水质回用的研发工作,并开始向污染物零排放方向发展,比较典型的是美国公司开发的高效结晶器技术,已在美国西部和中东地区的一些国家推广应用,可以使污水全部回用,污染物全部回收,实现真正意义上的零排放。

5 结 束 语

污水回用是缓解水资源不足、减轻环境污染的行之有效方法。经过 40 余年的发展,提高城市外排污水水质技术和回用污水水质稳定技术在工业发达国家得到了广泛应用,并开始研发污水零排放技术;我国虽在城市外排污水回用方面的工作和技术进展较慢,但在工业外排污水回用技术开发和应用方面进行了大量工作,开发成功的提高工业外排污水水质技术和回用循环冷却水的水质稳定技术开始在石油化工企业推广应用,并对膜技术用于工业污水处理进行了积极探索。随着人口迅猛增加和工业快速发展,水资源供求矛盾加剧、水环境污染日趋严重等问题,已经成为制约社会经济发展的瓶颈,必将促进更有效、更经济、更可靠的污水回用新技术出现,使污水成为重要的第二水源,实现社会、经济、资源、环境的和谐发展。

参 考 文 献

- 1 李本高等.工业水处理技术(第八册),北京:中国石化出版社,2004.3~4
- 2 邹余敏.石油化工污水回用乙烯装置循环水研究,石油化工科学研究院博士学位论文,2005
- 3 William T. Bresnahan. Water Reuse in Oil Refineries, Mater. Perform, 1997, 36(7): 40~44
- 4 M. Ogoshil, et al. Water reuse in Japan, Water Science and Technology, 2001, 43(10): 17~23
- 5 籍国东,姜兆春等.我国污水资源化的现状分析与对策探讨,环境科学进展,1999,7(5): 85~95
- 6 刘昌明,何希吾.中国 21 世纪水问题研究,北京:科学出版社,1996
- 7 D. K. Ammerman. Once the province of communities the South and West, Water Reuse is Gaining Popularity Throughout the United States, Water Environment & Technology, 1998, (6): 67~71
- 8 P. Gambrell, D. d Mara. City Sets New Standard for Converting for Effluent Reuse: Lime-Induced Removal of Excreted Pathogens, Water Science and Technology, 1989, 21(3): 79~84
- 8 耿艳楼等.中水回用,河北轻化工学院学报,1997,18(1): 71~75
- 9 曹湘洪等.中国工程院化工、冶金与材料工程学部第五届学术会议论文集.北京:中国石化出版社,2005, 384~387

金陵分公司 2005 ~ 2006 年节水减排进展

徐庆轶

(中国石化金陵分公司节水减排小组, 南京 210033)

【摘要】 介绍中国石化金陵分公司节水减排进展。

1 节水减排项目概述

中国石化股份有限公司金陵分公司炼油区域地处南京栖霞山, 北临长江中下游地区, 是从事炼油专业生产的大型炼油企业, 2004 年实际加工量为 864.21 万 t, 2005 年实际加工量为 1100 万 t, 2006 年计划加工量为 1150 万 t。南京地区的水资源虽然富裕, 但市政部门从长远的发展观点对企业的排放水质的要求很高, 必须达标才能排放, 以减少长江流域的污染。从公司炼油的长远发展利益和对环境的保护考虑, 必需进行节水减排工作, 既降低炼油成本又保护了人类生存环境。

中国石化股份有限公司考虑到金陵分公司发展的需要, 特成立中国石化节水技术小组, 在炼油事业部组织领导下, 于 2005 年指导我公司炼油实施节水减排工作。

多年来我公司领导对节水工作极其重视和支持, 成立了节水领导小组, 完善了整个节水的管理网络, 并于 2003 年进行了分公司炼油系统的水平衡工作。在公司内部, 定期召开节水工作会议, 采纳各单位职工提出的节水合理化建议, 落实各项节水措施, 炼油工业用水重复利用率逐步提高, 吨原油耗新鲜水量逐年下降, 炼油加工量 2005 年为 1100 万 t/a, 耗新鲜水为 0.95t 水/t 油, 吨原油排水量为 0.64t 排放水/t 油。应该说节水潜力非常大, 进一步做好节水及污水的深度处理和回用工作, 充分合理地利用好各种水源, 降低新鲜水总用量, 降低污水排放总量, 争取达到炼油耗新鲜水量小于 0.5t 水/t 油, 污水排放量小于 0.2t 水/t 油的先进水平。

目前金陵分公司的污水处理方式为: 生产装置排放的污水为含油污水、含硫污水、含碱污水、假定净水这几部分组成, 其中含油、含碱污水到分公司的污水处理场, 处理后的达标污水排入长江; 假定净水到污水处理场的隔油池进行处理; 含硫污水到分公司的污水汽提装置进行处理, 分公司现有两套污水汽提装置, 设计处理能力分别为 100t/h、80t/h, 处理后的净化水一部分回用到生产装置, 另一部分到污水处理场进行再处理, 目前分公司净化水的回用率达到了 69% 左右。

从分公司目前的生产情况看, 节水工作及污水深度处理回用的工作还是有很大的潜力的, 经过分公司安环、动力、技术管理、生产、发展项目等多个职能部门的分析论证后, 提出了可行的五项节水减排方案, 见表 1。

通过实施表 1 所列的五项节水减排方案, 可使金陵分公司炼油部分水源回用率, 从目前的 46.6% (表 2) 提高至改造后的 78.7% (表 5); 可使每吨原油耗水吨数由目前的