

工业水处理技术

(第八册)

李本高 徐振洪 龙 军 主编

北京林华水质稳定剂厂

中国石化出版社

工业水处理技术

(第八册)

李本高 徐振洪 龙 军 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书为《工业水处理技术》丛书第八册,集中介绍水处理技术有关内容,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。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。本书可供从事水处理工作的技术、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业水处理技术.第八册/李本高,徐振洪,龙军主编.
—北京:中国石化出版社,2004
ISBN 7-80164-628-2

I.工… II.①李… ②徐… ③龙… III.工业用水-水处理
IV. TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 088131 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 45 印张 1147 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

定价:96.00 元

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和战略性的经济资源，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手册》和《工业水处理技术》（第一册到第七册）。本书为《工业水处理技术》第八册，系中国石化第九届水处理技术研讨会论文集。

2004 年 9 月召开的中国石化第九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 144 篇，主要内容涉及到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。

主 编
2004 年 8 月

目 录

专论

污水回用技术调查与分析	李本高	乔映宾 (1)
新建炼油企业的排水系统优化设计及污水回用	郝新洋 薛旭	张勇 (15)
电去离子和树脂电再生技术的研究进展	王方	(24)

节水减排与污水回用及处理

石化污水水质特性及对回用于循环冷却水的影响	江萍	(30)
达标外排污水回用循环水技术三年工业化运行的体会	徐军	吴潮汉 (37)
乙烯厂污水回用乙烯装置循环水处理技术	王秀	王征 (43)
污水回用于循环水存在的问题及解决办法	虞碧川	俞惠庆 (49)
石油化工污水回用于循环水工业应用技术	郇和生	任志峰 王崇 (56)
泰州石化水污染治理达标整体技术设计总结	张勇	郝新洋 (61)
天津石化公司工业节水技术总结	赵俊仁	(67)
优化循环水场设计实现节水	刘坤	(70)
乙烯装置外排污水水质特性研究	王金华	邹余敏 (76)
石化企业废(污)水资源化利用分析	李晨光	(81)
小本体聚丙烯装置循环水工艺的节水改进	董一军	(87)
炼油污水的净化回用	常虹	李雨枫 武向超 (93)
节水减排 提高工业水重复利用率	陆象波	(96)
炼油达标污水回用于循环水技术的探讨	陈长顺	(101)
循环水排污回收应用	陈秀华	(106)
废弃空调污水回用于循环冷却水系统	殷盛荣	(109)
精细管理 大胆创新 做好基层节水工作	姚坚刚	(113)
循环水节水技术在乙烯装置上的应用	王文新	梁秀文 (120)
应用即时生产法 降低吨油水耗	徐庆轶	陈启胜 (123)
采用过程集成设计技术优化炼厂用水网络的方法和 应用	梁龙虎	庞景宾 郭宏新 (133)
利用双膜法完善石油污水深度处理工艺	纪轩	刘丽娜 (142)
曝气生物滤池在污水深度处理中的应用研究	李晨光	(147)
O/A/O 法处理聚醚有机废水	王梅梅	(154)
A/O 法二沉池污泥上浮分析及措施	朱羽中	李国浩 (157)
“三法”净水技术在我厂的应用	张学峰	李万成 (162)
清污分流在储运部清洁生产中的效用	储祥萍	(166)
优化用水方案 降低污水排放量	周文争	(168)
A/O 生化法脱氮处理炼厂综合污水的总结与探讨	赵斌	(171)

气体分馏装置含硫碱性污水处理·····	华丽光(177)
燕化西区污水回用于循环水的运行状况·····	王 成 王一平等(179)
乙烯装置外排污水回用技术在乙烯循环水工业应用·····	于文云 王 红 李本高(184)

凝结水回收与利用

炼油凝结水回收现状及对策·····	孙恒慧(189)
加氢裂化装置凝结水综合利用·····	赵培江(196)
冷凝水回收利用技术在 100kt/a SBS 装置上的应用 ·····	李小梅 毛崇奇(199)
炼油厂凝结水的回收与利用·····	宋晓辉 刘向峰 李春才(204)
最大限度地利用蒸汽凝结水 降低能耗费用·····	庞志仿(208)
石化生产中蒸汽冷凝水回收利用·····	徐岩峰 徐家明(210)

循环水处理

工艺优化与节能降耗

炼油厂循环水处理中存在的问题及治理对策·····	胡 雍 鲁雅秋(214)
金陵分公司循环水处理技术发展与节水降耗的进步·····	徐庆轶(219)
循环冷却水系统蒸发损失的计算·····	胡跃华(226)
纯碱循环水系统的闭路改造和工艺优化·····	叶君树 尚德波 黄加东(232)
循环水场的优化设计·····	宋晓辉 王兴武 任宗艳(236)
循环水装置的节能改造·····	王红霞 马祖领等(241)
反渗透技术在循环水场的应用·····	徐悦妹(244)
停运旁滤池 提高循环水经济运行效果·····	闵育军 周 聪(249)
循环水连续加氯与冲击加氯技术对比·····	张国锋(253)
循环冷却水总碱度偏低浅析及处理措施·····	杨根山 李 忠(257)
克拉玛依石化公司循环水存在问题及改进措施探讨·····	代宁波 向长军 胡新田(260)
乙烯水冷换热器堵塞的原理及对策·····	戚晶冰(265)
压力降法在循环冷却水系统粘泥监控中的应用·····	姜之宇 李晨光 任 海(269)
提高浓缩倍数 实现节水目标·····	赵雪扬(273)
影响工业循环水浓缩倍数及药耗的因素分析·····	胡河胜(276)
节水降耗中对浓缩倍数的新认识·····	何永江(280)
管理与科技并重 提高循环水浓缩倍数·····	宋晓辉(283)
高浓缩倍数循环水水质运行质量影响因素分析·····	梁秀文(287)

泄漏物料检测与处理

炼油四部西区循环水系统在泄漏状态下的综合

治理·····	符 志 吴志文 李江文等(291)
浅议炼油厂循环水换热器泄漏的判断·····	陈 焱(297)
循环水系统泄漏的排查·····	李 彤(301)
生产装置换热器泄漏对循环水系统的影响·····	周文争(305)
油污对循环冷却水系统的影响及对策·····	朱 瑛 刘业添(310)

清洗与预膜

循环冷却水系统不停车化学清洗预膜技术研究及

应用·····	常 虹 王红霞 武向超(314)
不停车清洗技术在炼油Ⅳ循的应用·····	吴小芳 蒋建华(317)
不停车化学清洗技术的应用·····	姜海清 宋晓辉(321)
不停车化学清洗在炼油装置循环水系统中的应用·····	蒋丽萍(325)
不停车清洗技术在化肥循环水系统的应用·····	夏丽亚 严仲彪 吴小芳(328)
一种新型不停车清洗预膜方案的应用研究·····	曹栩然 陈施荣(332)
循环水免清洗预膜处理新技术·····	宋爽英 周 晴(337)
水质管理	
精细管理 科学用水 不断提高工业水管理水平·····	唐安中(343)
强化管理 提高循环水处理技术水平·····	陈向阳 袁瑞阳 梁世健(348)
加强管理 采用新技术 推动东循水质全面达标·····	叶永荣(352)
依靠科技攻关 提高水质管理水平 确保装置长周期运行·····	翟清华 杨春风(355)
循环冷却水系统运行管理及相关软件介绍·····	张利强 李本高(361)
提高循环水水质对策的探讨·····	刘长霞 朱 瑛 刘亚添(366)
浅析循环水管理·····	周 健(370)
落实水质管理措施 提高循环水水质·····	胡家刚(373)
水处理药剂	
缓蚀阻垢剂	
炼化企业达标外排污水回用热电循环水处理配方 RP-12(ZF)	
的研制·····	余正齐 李本高(377)
适合中硬中碱水质高浓缩倍数自然运行配方的研究·····	秦会敏 酆和生(383)
污水处理气浮装置抑垢技术·····	徐 军 高 峰(388)
环烷基咪唑啉衍生物多功能水处理剂的研究·····	石顺存 周秀林 易平贵等(392)
PBTC 工业产品的副产物分析 ·····	石顺存 刘小平 何增广(398)
适合于高硬度、高碱度水的水稳剂在天津石化公司的工业	
应用·····	张树萍 刘国新(403)
泄漏情况下循环冷却水处理配方的研究·····	吴志文 温志刚(409)
WP-6 系列药剂配方在惠州原油码头循环水处理中的工业应用	
试验·····	符 志 吴志文(417)
WJP-401 阻垢缓蚀剂的性能评价及应用 ·····	罗 伟 吴宜雪 王 正(425)
应用 TS 水处理技术现场试验总结 ·····	于振民(432)
一种高效阻磷酸垢及稳定锌盐共聚物 YSW301 ·····	王 亭 酆和生等(436)
ZH442 系列阻缓剂在补充水为黄河水碱性运行和加酸处理方案	
的工业应用·····	王素卿 曹怡飞等(440)
循环水腐蚀影响因素的研究·····	胡艳华 酆和生(444)
杀菌灭藻剂	
氧化性杀生剂的筛选及评价·····	龚 莉(450)
“1227”在处理炼油循环水系统泄漏过程中的应用 ·····	黄克根(454)
循环冷却水杀菌剂的筛选和应用探索·····	胡河胜(459)

SS321-JH 杀菌剂在工业循环水系统中的应用试验	符 志 刘凤扬(464)
过氧乙酸用于循环冷却水系统杀菌试验研究	段杨萍 胡跃华 余立坤(468)
RP-79 在炼油化工循环水中的应用	秦海生 蔡 明(476)
新型高效灭藻剂 MZ-7 在循环水场的应用	王红霞 马祖领 张坤峰等(478)
聚季铵盐杀菌剂效果的评价	鲁永清(481)
高级醇合成双烷基季铵盐杀菌剂的研究	邢 林 周 霖(484)
清洗剂、预膜剂、絮凝剂及其他药剂	
不同清洗预膜配方在化肥循环水的应用	朱羽中(488)
ZW-1 清洗剂的研制及应用	吴小芳 石亚菊(494)
炼油厂污水处理絮凝剂筛选	沈 辉(500)
天然淀粉改性絮凝剂的开发与应用	汪多仁(504)
壳聚糖水处理剂的开发与应用进展	汪多仁(507)
羧甲基淀粉的开发与应用	汪多仁(512)
化学水、纯水及饮用水处理	
化学水与纯水	
再生剂质量对再生效果和生产成本的影响	胡跃华(519)
混床离子交换树脂静态电再生实验及应用	王 方 杨斌斌 杨建永等(525)
除盐车站过滤器技术改造	姜正福(529)
预处理与反渗透装置的运行	张晓春(535)
自动协调磷酸盐处理在石化热电厂的应用	江 红(540)
热电厂阴床工艺的技术改造	曲宗凤(546)
软化水及各种除氧水腐蚀状况及原因分析	杨春风 翟清华(550)
纯水处理装置的工艺调节方法	朱宝庆(554)
饮用水	
新区饮用水二次污染情况及防治对策	刘 伟(559)
二氧化氯在新鲜水消毒中的应用	谭立华(564)
水资源、水污染与饮用水面临的挑战	李锦冬 李亚冬 霍淑敏(567)
水处理装置与设备	
高效纤维过滤器在循环水处理中的应用	龙洪坤(577)
循环水场无阀滤池逃水故障分析与节水改造方案	邓传真(581)
节能型过滤器在循环水旁滤中的应用	任宗艳 宋晓辉等(585)
重力式无阀滤池的技术改造	朱 瑛(588)
污水处理场高密度沉淀池的效果	李 林(592)
含油污水处理场溶气浮选系统的应用与改进	姜率维(595)
新建污水处理装置 DCI 除油池的除油效果差问题的分析与探讨	吴国奇(599)
仿“玛利塔”在大连石化公司二循的应用	李 林(606)
监测换热器在大氮肥循环水系统中的应用与改进	冯正坤 刘其良 聂伟安(619)
带式压滤机在“三泥”处理中的应用	李海松 马祖领 秦劲松等(623)
优化运行方式 确保循环水系统高效节能	黄良志 曾文波(626)

如何做好海水冷却凝汽器运行的防腐工作·····	王 利 江 红(632)
循环水装置风机振动故障的处理·····	仲大庆 黄加东(635)
浅谈铸铁水管堵漏的几种处理方法·····	陈 林(639)
循环水冷水泵油封改造·····	吕永良(643)
变频调速在居住小区供水系统的应用设计·····	罗庆忠 梁 星(646)
电机变频器在水泵上的应用·····	徐岩峰 郑大鹏(648)
有关供排水系统管材价值评价分析·····	郭秀芳(651)
自动加药与分析测定	
NALCO 自动加药技术在燕化橡胶厂四循的工业应用 ·····	王一平 王 成(654)
1# 循环水自动加药系统开发运行总结 ·····	黄纪军 徐雪花(662)
工业循环水中总磷含量测定条件的优化·····	裴是生(669)
测定软水中 SiO_2 的误差原因及对策 ·····	伍治群(672)
对炼油厂污水碱度测定的干扰因素的排除·····	胡鸿志(676)
热水用量计算方法浅探·····	郭秀芳(679)
研究与技改简报	
含油污水的生物处理技术·····	刘 明(682)
炼油厂含硫污水的治理措施与综合利用·····	徐家明(685)
前郭石化分公司污水回用对策展望·····	何晓林 徐家明(687)
厂家简介	
北京林华水质稳定剂厂简介·····	(690)
茂名众和国颂精细化工有限公司简介·····	(691)
中国石油化工集团公司第四届至第八届水处理技术研讨会论文集目录·····	(693)
编后记	

污水回用技术调查与分析

李本高

乔映宾

(石油化工科学研究院, 北京 100083) (中石化科技开发部, 北京 100029)

【摘要】 通过文献检索和现场考察方法对国内外污水回用技术的发展及应用现状进行调查和综合比较发现, 城市外排污水回用技术在发达国家已得到广泛应用; 外排工业污水回用技术应用在国外不多见, 在国内已经取得成功并开始推广; 膜技术对城市外排污水的处理在国外已取得成功, 国内虽无成功的示范工程, 但正处在用于工业污水深度处理的试验中。

1 概 述

世界性水资源不足, 水污染加剧的趋势日益严重, 迫使人们寻找节约用水、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, 并成为节水减排技术的开发热点。经过 40 年左右的发展, 一批先进、可靠、经济适用的污水回用技术先后开发成功。

我国虽然对水资源不足、水环境污染严重性认识较晚, 直到 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。如何适应新形势的发展要求, 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。为降低石化企业水耗、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 污水回用发展状况

污水回用是缓解水资源危机、保护水环境的关键途径之一。日本早在 1962 年开始污水回用技术的开发和应用, 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的主要手段(表 1 是日本水资源利用情况)。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; 濑户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。

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(主要情况如表 2 所示)。到 1980 年美国已有 357 个城市实现污水回用, 再生回用点 536 个。污水主要回用于包括灌溉、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,如城市污水回用的先驱之一,佛罗里达州的圣彼得斯堡,1978 年开始将再生水回用于生活杂水,目前已能够向 7000 多户家庭提供再生水;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;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 $9.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

表 1 日本 1965 ~ 1995 年间水资源开发利用概况

 $10^6 \text{ m}^3/\text{d}$

项 目 \ 时 间	1965 年	1975 年	1985 年	1995 年
淡水使用总量	49.1	131.6	137.3	148.1
淡水提取总量	31.3	40.5	24.9	22.6
回收利用总量	17.4	81.4	102.4	114.3
回收利用率/%	24.2	64.9	74.5	77.2

表 2 美国 1975 ~ 2000 年间水资源开发利用概况

 $10^8 \text{ m}^3/\text{d}$

项 目 \ 时 间	1975 年	1985 年	2000 年
淡水使用总量	18.992	28.187	45.302
淡水提取总量	13.735	13.493	12.531
污水排放总量	9.259	8.445	6.911
再利用水量	工业循环再利用	5.268	14.644
	城市废水再利用	0.026	0.079
平均再利用率/%	28	52	72

我国早在 20 世纪 50 年代尝试采用污水灌溉农田,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。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。目前,污水回用主要有两种方式:一是“中水”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;二是集中处理后回用,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。但总体上我国污水回用技术不成熟、规模小、推广应用少。

3 污水回用技术内容

调查中发现,人们对污水回用的说法不确切甚至混乱,如仅对外排污水进行的二次处理也叫污水回用,对经反渗透膜处理后的水回用也叫污水回用。因此,有必要对污水回用进行界定。污水回用是指,为满足生产或生活某种需要而使用外排污水的全过程,一般包括提高外排污水水质进行的污水深度处理过程和深度处理水的回用过程两个方面。实现污水回用全过程的技术为污水回用技术,主要包括外排污水的深度处理技术和处理水的回用技术,过程中的某项技术不能称为污水回用技术,正如炼油技术包括蒸馏技术、分离技术、装备制造技术、催化技术、控制技术等一样,不能将其中的某一项技术或几项技术称为炼油技术。

3.1 污水深度处理技术

达到国家环保排放标准的污水杂质仍然较多,一般满足不了对回用水质的要求。为使外排污水达到回用水质指标,进一步降低外排污水杂质含量,提高水质的过程为污水的深度处理或二次处理,完成该过程的技术为污水深度处理技术。

3.2 处理水的回用技术

经过深度处理的外排污水,水质虽然得到提高,能够满足某种用途对水质的基本要求,但在不同用途的使用过程仍然产生问题,如在锅炉使用过程产生结垢和腐蚀,在循环水使用过程产生腐蚀、结垢和微生物繁殖等,如果这些问题不能得到很好的解决,将严重影响生产的正常进行。解决回用水在使用过程产生的问题所采用的方法或工艺为回用水技术。

3.3 回用水质

确定回用水水质不但要考虑污水深度处理和回用两方面的技术难度、投资和运行费用,同时要根据水资源状况、水价等因素考虑回用水的用途。一般而言,对回用水的水质要求越低,污水深度处理难度越小,投资越少,处理费用越低;但对回用水的处理难度越大,技术要求越高,运行管理越难,越不容易取得好效果,处理费用也越高。反之,如果对回用水水质要求越高,污水深度处理难度越大,工艺流程越长,运行管理越难,越不容易取得好的效果,投资也越多,处理费用也越高;但对回用水的处理难度越小,技术要求越低,运行管理越方便,处理费用越低。因此,污水回用存在最佳回用水质,应综合考虑,两者关系大致如图1所示。

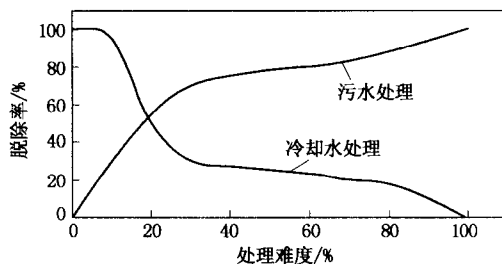


图1 脱除率与处理度的关系

4 城市污水回用技术

4.1 城市污水深度处理技术

发达国家在城市污水回用方面做了大量工作,开发出许多技术,并已得到广泛推广和成功应用。表3是美国对传统的污水深度处理单元处理效果的研究结果。采用“混凝沉淀+过滤”组合工艺对外排污水进行深度处理,可以使出水水质达到 $SS < 1\text{mg/L}$ 、 $BOD < 5\text{mg/L}$ 、

COD 30~60mg/L、T-N 2~10mg/L 和浊度 0.1~1mg/L 水平，这种水质完全满足回用循环水水质的要求；如果希望将水质进一步提高作为化学水的进水，采用“混凝沉淀+过滤+氨解析+炭柱”组合工艺可以满足要求；从表 3 还可以看出“活性污泥法”和“生物滤池法”处理污水的效果相当，出水水质相似。

表 3 污水深度处理单元过程可达到的水质指标

处理工艺	深度处理工艺	出水水质/(mg/L)						
		SS	BOD	COD	T-N	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	15~6

活性炭是常用来处理污水的材料，表 4 是一些公司应用活性炭取得的结果。表 4 结果显示：活性炭对去除 COD、BOD、SS 和浊度均十分有效，但对氨氮和磷的处理基本无效，与表 3 中“混凝沉淀+过滤+氨解析”和“混凝沉淀+过滤+氨解析+炭柱”组合工艺比较发现活性炭对氨氮基本无去除效果的结果一致。另外，由于活性炭价格昂贵，再生工艺较复杂，在实际应用中一般只作为保安材料。

表 4 活性炭处理外排污水效果

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
NH ₃ -N/(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

国内外对二级处理的城市污水采用的深度处理工艺如表 5。从表 5 可以看出，美国对二级处理的城市污水回用循环水系统进行的深度处理工艺比较简单，一般不超过三步，且每步都较简单；日本除川崎工业采用 4 步处理工艺外，其他单位所采用的工艺流程也不超过三步。我国一些单位开发的深度处理工艺流程相对较复杂，流程也较长。

大连是我国实现城市污水回用较早的城市，表 6 是大连市政公司对城市污水进行“生化+沉降+过滤+杀菌”工艺处理后的实际出水水质。结果显示“中水”的 COD 和 NH₃-N 等主要污染物浓度较低，但氯离子和硫酸根离子浓度较高。

表 5 国内外二级处理的城市污水采用的深度处理工艺

深度处理工艺流程	采 用 单 位
混凝沉淀 + 过滤	美国宾夕法尼亚电厂
混凝沉淀	美国马里兰伯利恒钢厂
加氯 + 化学软化 + 沸石处理	美国德克萨斯石油公司
加氯 + 石灰 + 明矾防腐剂	美国内华达电力公司
混凝沉淀 + 活性炭 + 加氯	日本东京都江东地区
加氯	日本江崎工业水
混凝沉淀 + 沙滤 + 加氯	日本名古屋工业水
混凝沉淀 + 双层滤料过滤 + 活性炭 + 臭氧	日本川崎工业水
澄清 + 过滤 + 杀菌 + 除氮氮	中国市政东北设计院
生物接触氧化 + 混凝沉淀 + 双层滤料过滤	中国清华大学
生物接触氧化 + 混凝沉淀 + 精密过滤 + 杀菌	中国中科院生态环境所

表 6 大连城市污水回用水质(2003 年 9 月 22 日水样)

		mg/L	
项 目	结 果	项 目	结 果
钙硬(以 CaCO ₃ 计)	78.0	可溶性锌	0.2
碱度(以 CaCO ₃ 计)	83.9	总铁	0.08
总硬(以 CaCO ₃ 计)	130.0	可溶性硅(以 SiO ₂ 计)	17.0
SO ₄ ²⁻	105.6	COD _{Cr}	19.9
Cl ⁻	136.8	NH ₃ - N(以 N 计)	0.2
总磷(以 PO ₄ ³⁻ 计)	1.5	pH 值	7.18
正磷(以 PO ₄ ³⁻ 计)	1.3		

新加坡采用“混凝沉淀 + 过滤 + 杀菌”组合工艺对二级处理的城市污水进行深度处理，出水水质见表 7。从表 7 可以看出，出水的 COD 和 NH₃ - N 浓度较低，与大连市政公司的处理结果十分相似。

表 7 新加坡二级处理的城市污水深度处理后的主要水质

项 目 名 称	指 标	项 目 名 称	指 标
TDS/(mg/L)	600 ~ 700	NH ₃ - N/(mg/L)	< 10
电导/(μS/cm)	< 1000	PO ₄ ³⁻ /(mg/L)	< 5
COD _{Cr} /(mg/L)	20 ~ 30		

4.2 城市污水回用

目前，城市污水回用于工业目的主要用作循环冷却水补水和化学水的给水。实现城市污水回用最早、规模最大的美国，将城市污水主要回用循环冷却水系统；而起步较晚、起点高的新加坡，将城市污水回用化学水的给水。如 1998 年现场考察过装机 150MW 的美国 Burbank 电厂，1967 年开始在循环水量分别为 7300m³/h 和 12000m³/h 的系统进行城市污水回用。在全部采用城市污水做补充水条件下，浓缩倍数基本控制在 5 左右运行，循环水细菌总数 < 10⁵ 个/mL，碳钢腐蚀速率 < 0.025mm/a、铜管腐蚀速率 < 0.005mm/a，处理效果完全满足生产运行要求。

2003 年现场考察新加坡裕廊岛工业园区发现，该工业园区 2000 年建成并投产一套产水规模 30000m³/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。该装置采用 DMF + RO 技术对城市三级处理污水进行深度处理(流程如图 2)，出水水质见表 8。投资 1700 万新元建设的这套系统对经过三级处理的城市污水处理效果很好，已平稳运行 3 年，3 年中更换了 10% 的膜组件。另外，新加坡还建设一个产水规模为 32000m³/d 新生水厂，采用

典型的“UF + RO”双膜处理工艺，流程为“三级处理的城市污水 + UF + 紫外光 + RO → 新生水”。该系统所产生的新生水大部分掺入到饮用水水库作为饮用水，部分新生水瓶装免费发放参观游人。工艺中 UF 膜由加拿大泽能环保工程公司提供，RO 膜由陶氏化学提供。

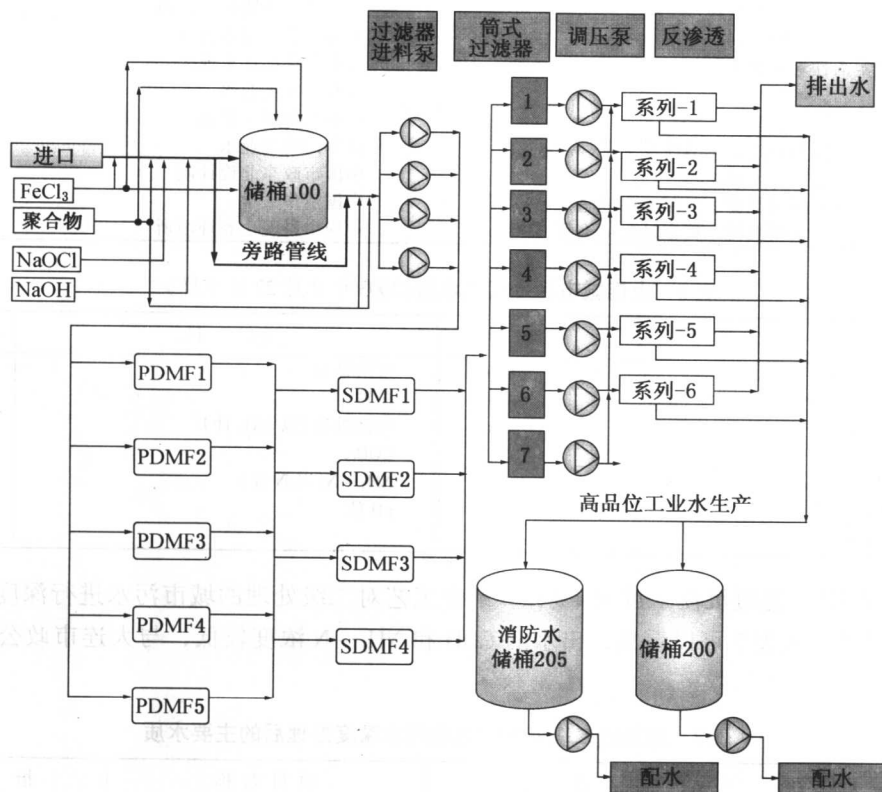


图2 DMF + RO 工艺流程

表8 工业水和 DMF + RO 工艺水质

项目名称	工业水水质		DMF + RO 水质	
	规 范	实际运行	规 范	实际运行
pH 值	6.5 ~ 7.0	6.6 ~ 7.4	6.5 ~ 7.5	6.8 ~ 7.2
电导率/(μ S/cm)	700 ~ 2200	700 ~ 2200	< 250	66 ~ 133
TDS/(mg/L)	350 ~ 1300	500 ~ 1300	< 150	33 ~ 70
浊度/(NTU)	0.5 ~ 2.0	0.4 ~ 1.7	< 0.5	0.1 ~ 0.4
色度/Hazen Unit	5 ~ 15	13	< 5	< 5
总硬度(以 CaCO_3 计)/(mg/L)	100 ~ 250	100 ~ 160	< 60	1 ~ 3
总碱度(以 CaCO_3 计)/(mg/L)	30 ~ 80	40 ~ 80	< 45	16 ~ 22
Cl^- /(mg/L)	100 ~ 500	150 ~ 500	< 55	6 ~ 21
SO_4^{2-} /(mg/L)	80 ~ 145	120 ~ 160	< 30	< 7
SiO_2 /(mg/L)	1 ~ 10	6 ~ 10	< 2	0.1 ~ 0.4
NH_3 (以 N 计)/(mg/L)	3 ~ 18	5 ~ 15	< 3	0.1 ~ 1.0
BOD_5 /(mg/L)	< 5	< 5	< 3	< 1
COD/(mg/L)	30 ~ 60	20 ~ 30	< 10	2 ~ 4
细菌/(CFU/100mL)	< 0	< 1000	< 1000	< 1
氰化物和硫化氢/(mg/L)	< 0.02	N.D.	N.D.	CN^- < 0.01

5 工业污水回用技术

在发达国家将外排工业污水回用工业目的并不多见,无论是文献报道或现场考察,都未找到成功的案例,原因是什么?通过在美国和新加坡的考察发现,环保法规的严格使工业企业十分注重采用节水技术,从源头控制取水总量,因而生产过程产生的污水量少,不具备污水回用规模。如新加坡裕廊岛工业园区共有包括 60 万 t/a 乙烯生产装置、生产合成气、有机酸、醇类、醛类、酚类、以及聚合物的化工企业在内的 12 家大型石油化工企业,日排放污水总量仅为 7000m³。美国一些工厂产生的工业污水在本厂进行简单处理后进入相关专业化污水处理厂与生活污水按照一定比例混合后进行处理,使难处理的工业污水既易于处理,又降低理费用低。由于工厂产生的少量污水未单独进行处理,因而使工业污水回用技术无水源可用。

但是,像新加坡这样严重缺水的国家,目前也正在将进行裕廊岛工业园区产生的外排工业污水回用工业目的的研究。如他们从 2002 年开始进行处理规模为 4~6m³/h 的外排工业污水采用膜技术深度处理的中型试验,中试装置采用微滤/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)。用中试方法试验过两座污水厂的水质,发现有机物对膜的污染较严重,处理效果和运行稳定性主要取决于上游生化工艺的运行效果。

我国情况与发达国家大不相同,一是工业企业取水量大,排污水多,大型企业都建有独立的工业污水处理系统,有充足的外排污水水源;二是城市污水的处理率不高,并且多数工业企业远离城市。因此,开发和采用工业污水回用技术客观上允许。经过几年努力,我国在工业污水深度处理和回用技术开发和应用方面取得了可喜进展,也积累了一定的经验。

5.1 外排工业污水的深度处理技术

开展外排工业污水深度处理工作主要集中在石油石化系统。如工作开展比较早的东北某炼油厂,1999 年开始采用“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”组合工艺深度处理炼油厂外排工业污水,2001 年 8 月出水水质见表 9。分析结果表明,COD 已从进水的 120mg/L 降低到 64.2mg/L,去除率达到 50%;出水氨氮浓度仍较高,为 112.4mg/L。另外,从 2001 年到 2003 年现场运行情况看,出水浊度和悬浮物含量较低,一般在 10 mg/L 以下,COD 一般能够保持在 40~60mg/L,但氨氮浓度较高,在 80~180mg/L 之间,中空超滤并未投入日常运行。

表 9 东北某炼油厂回用污水主要水质数据(2001 年 8 月)

项 目	结 果	项 目	结 果
钙硬(CaCO ₃ 计)/(mg/L)	63.0	S ²⁻ /(mg/L)	0
总硬(CaCO ₃ 计)/(mg/L)	86.1	Cl ⁻ /(mg/L)	244.3
总碱(CaCO ₃ 计)/(mg/L)	44.2	SO ₄ ²⁻ /(mg/L)	224.6
总磷(PO ₄ ³⁻ 计)/(mg/L)	1.6	COD _{Cr} /(mg/L)	64.2
正磷(PO ₄ ³⁻ 计)/(mg/L)	0.6	氨氮(以 NH ₄ ⁺ 计)/(mg/L)	112.4
总铁/(mg/L)	0	pH 值	4.86

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”组合工艺对炼油厂外排污水进行深度处理,建成一套处理规模为 500m³/h 的深度处理装置,2002 年