

工业水处理技术

(第七册)

李本高 徐振洪 余正齐 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

(第七册)

李本高 徐振洪 余正齐 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书为《工业水处理技术》丛书第七册,集中介绍水处理技术有关内容。主要包括:循环冷却水处理技术、污水处理技术、污水回用于循环水技术、水处理药剂与材料、水处理设备、工业用水分析检测方法等。

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. 第七册/李本高, 徐振洪, 余正齐主编.
—北京: 中国石化出版社, 2003
ISBN 7-80164-483-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 120736 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

海丰印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 12 印张 303 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

内部发行

目 录

国外考察报告

赴新加坡考察污水膜处理与回用技术报告

..... 中国膜工业协会石油化工专业委员会考察团 (1)

循环冷却水处理技术

- 优化水处理工艺 降低水处理成本 周文争 (8)
- 如何确保高浓缩倍数下换热设备的长周期运行 徐悦妹 (11)
- 循环水水质的双向控制技术 胡家刚 (15)
- 循环水场检修时循环水系统的评价工作 陈 焱 (20)
- 循环冷却水结垢的原因分析及对策 王红霞等 (25)
- 化工循环水系统预膜方案研究 吴小芳 (29)
- 有机清洗和预膜在循环水系统扩建后的应用 何永江 (34)

污水处理技术

- 炼油污水处理装置长周期运行经验总结 林 峰 (37)
- 丙烯腈废水的深度处理 米治宇等 (41)
- 炼油工业污水处理“同步脱氮法”探索及应用 林 峰 (46)
- 絮凝沉降分离法处理 ABS 污水可生化性研究 李向富 (54)
- 地沟式污水生态脱氮处理技术研究 关小满等 (58)
- 优化污水场运行 降低能耗 刘 伟 (64)

污水回用于循环水技术

- 外排污水回用技术在茂名乙烯循环水系统工业应用 于文云等 (70)
- 达标外排污水直接回用于循环水技术工业化运行总结 徐 军等 (75)
- 炼化外排污水回用于循环冷却水技术的研究 江 萍 (80)
- 废水回收利用的研究 陶翠玲等 (87)
- 沧州炼油厂污水回用可行性分析 钱连新 (91)
- 合理选择工艺流程 提高工艺凝结水回收技术水平 于文云等 (96)

水处理药剂与材料

- 膦系水稳剂 ZH471 的应用与改进 唐安中 (99)
- 采用新型加酸水处理配方 降低水处理费用 周文争 (105)
- BC - 655 杀菌灭藻剂的应用研究 黄文氢等 (108)
- 缓蚀阻垢剂 RP99L 和 RP52AB 的经济性对比 王红兵 (112)
- 新型高效长效杀生剂——SS411MS 汪素卿 (115)
- 缓蚀阻垢剂冷冻后性能的研究 胡双妹等 (119)
- 粉末二氧化氯的开发与应用进展 汪多仁 (122)
- 纳米级活性炭纤维的开发与应用进展 汪多仁 (127)

水处理设备

- 石化企业循环水冷却塔的优化配置 陈向阳等 (133)
- 如何延长冷却器管束的使用寿命 林光仁 (137)
- 技术改造 提高水质 杨立娟 (140)
- 钢制无阀滤池改造 提高水质 刘鹏飞 (143)
- 解决除氧器除氧不合格问题一例 叶永繁等 (145)

分析检测方法

- 工业水系统固着菌的检测与防治方法 何世梅等 (148)
- 利用测试瓶进行快速检测循环水中的硫细菌 何世梅等 (151)
- 用电位滴定法测循环水中氯离子含量 夏绍珍等 (154)
- 生活饮用水水质分析技术跟踪 孙力等 (159)

其他

- 反渗透膜污染原因及对策 李丰等 (164)
- 电去离子净水设备脱除弱电解质的机理及能力 王 方 (167)
- 离子交换膜间水的电离及其应用 王 方 (172)
- 锅炉蒸汽和给水 SiO_2 含量异常原因分析 于永建等 (177)

赴新加坡考察污水膜处理与回用技术报告

中国膜工业协会石油化工专业委员会考察团

(2003年9月15日)

中国膜工业协会石油化工专业委员会应美国陶氏化学公司邀请,并分别经中石化公司和中石油公司批准,组成石油石化行业和膜协会有关污水处理与回用方面的管理及技术专家12人赴新加坡污水膜处理及回用技术考察团,于2003年9月2日至11日以中石化技术开发部正局级调研员乔映宾教授为团长,在美国陶氏(DOW)化学公司亚太区市场经理袁念慈先生和新加坡胜科(SUT Sakra)公用事业私人有限公司项目经理郑巧庚先生陪同下,对新加坡裕廊岛工业园区污水膜法深度处理与回用工程就水质、膜技术、工程、运行和处理费用等方面进行现场考察,并与新加坡胜科公用事业私人有限公司执行副总裁陈清源先生、业务发展副总裁吴福兴先生、王美河先生及污水深度处理与回用工厂原厂长 Eu Hong Gay 先生就考察中的问题、工业污水处理、海水淡化和垃圾焚烧进一步座谈。同时在新加坡泽能环保工程区域营业经理陈伟宗先生陪同下对新加坡新生水厂进行现场参观和考察。现场考察结束后,考察团结合国内污水深度处理与回用技术进行内部交流和讨论。具体情况如下:

1 新加坡污水处理与回用现状

1.1 新加坡水资源状况

新加坡作为岛国地域狭小,面积只有660平方公里,而人口达到400万,自然资源匮乏,水成为其战略资源。目前,新加坡饮用水的一半来自北部山区的下雨蓄水,另一半来自邻国马来西亚,但该国与马来西亚仅有的两个供水协议将分别于2011年和2061年失效。随着工业的繁荣,新加坡对水的需求也不断增长,这种供求矛盾促使新加坡政府及工业界不断寻求创造性的供水办法,能够使该国水资源实现自给自足。

新加坡目前已建成一个日产水30000m³的大型反渗透工厂处理经三级处理的城市污水,出水作为裕廊岛石化工业使用的工业水(IW)和高级工业水(HGIW);一个日产水32000m³的大型新生水厂处理经三级处理的城市污水,出水按照8%的比例进入饮用水源水库经自然混合后作为居民生活用水。

按照新加坡政府规划,在2010年前实现水资源由蓄水、马来西亚供水和再生水组成目标,在2015年前实现水资源由蓄水、马来西亚供水、再生水和淡化海水组成目标,以满足国民生活和工业生产对水资源的需要。

1.2 裕廊岛工业园区污水处理情况

裕廊岛位于新加坡南部,由7个小岛通过填海办法合并而成,面积2650公顷,是新加坡大型石油化工工业园区。在裕廊岛规划和发展的同时,SembCorp公用事业公司一通过他的

子公司 SUT Sakra 公司和 SUT Seraya 公司实施“公用事业设施集中化”方案，为裕廊岛工业园区的众多石化公司、化学公司和精炼公司提供系列公用设施，包括蒸汽供应、废水处理、除盐水供应、冷却水供应、产品贮存设施及终端设施等。

废水集中处理。将包括 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总量为 7000m³ 的工业污水集中，这些污水中主要含有氰化物、苯酚、甲醛、有机酸、醇类、醛类、脂类、硫化物、氨和多支链长链有机酸等。来自不同装置的污水先进行均质调节，再采用生化技术进行集中处理，使出水水质达到如表 1 所示的排放标准后直接排海。这些工业污水目前尚未回用，但正在进行深度处理与回用中型试验。

表 1 新加坡污水直接排海标准

项目名称	指标	项目名称	指标
COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	< 100	SS/mg·L ⁻¹	< 50
BOD ₅ /mg·L ⁻¹	< 50	pH	6~9
NH ₃ - N/mg·L ⁻¹	< 50		

1.3 裕廊岛工业园区污水回用情况

基于战略考虑，新加坡政府早在 20 世纪 70 年代已经向裕廊岛工业园区提供工业水(IW)作为替代性的工业水源。这种工业水主要是从 Ula Pandan 废水回收厂排放的经过三级处理的污水(新加坡的污水需要处理到符合 BOD₅ < 20mg/L、SS < 30mg/L 指标)，而工业水的典型水质为 BOD₅ < 3mg/L、SS < 5mg/L 和 TDS < 1300mg/L。为鼓励企业使用回用水，回用水的出售价格比饮用水便宜很多，因此，无论对直接回用还是做进一步深度处理均有很大的吸引力。

为使污水回用对工业界更具吸引力，公用事业署(PUB)在 1996 年至 1997 年对投资裕廊岛的石化公司、化学公司和精炼公司开展调查基础上，提出高级工业用水(即污水经深度处理后的水)水质比饮用水水质更优的目标，将高级工业用水的电导率控制在 250μS/cm，小于饮用水的 350~650μS/cm。同时将高级工业用水以稍低于饮用水价格出售，并通过单独输水系统卖给裕廊岛的工业用户，专用于工业生产过程。

污水深度处理和回用工程建设规模为 30000m³/d，并要求在技术选择上需要考虑许多下水道陈旧、地下水位高、海水倒灌导致工业水水质随潮位而急剧变化，如氯化物在 100~500mg/L 变化，电导率在 800~1800μS/cm 之间波动等因素，在设计上应预留足够安全裕量。1997 年初举行有 10 余家国际著名水处理公司参加的工程招标和组织评标。各种投标书提出的污水深度处理及回用工艺可以分为如下三类：

- a. EDR 技术；
- b. MF + RO 技术；
- c. DMF + RO 技术。

EDR 技术与 RO 技术相比由于达不到高脱盐率而未被采纳，MF 技术作为预处理工艺与传统介质过滤技术相比经济上有两个不足：一是每隔 5 年必须更换 MF 膜组件；二是 MF 膜只能提供 90%~95% 的系统回收率，考虑到新加坡政府对每吨工业水征收 0.43 新元(约合人民币 2.15 元)水费、RO 装置水回收率 86% 等因素，经测算预处理工段水回收率必须超过 95%，才能使整个项目在经济上可行。DMF 技术水的回收率可达 99%，又由于 DMF + RO 技

术在印度 Chennai 市的马德拉斯化肥有限公司(MFL)一套日产水 12250m^3 的装置上成功应用, 整个系统水回收率达到 85%, 因而最后选择 DMF + RO 技术作为最终方案, 设计和建设合同由美国 Aquatech 国际公司(AIC)中标。

方案确定后进行现场中型试验, 试验包括混凝和絮凝条件优化、双介质过滤器-滤层优化、聚合物带出试验、预处理充分性及污堵性研究、RO 膜元件的选择等。从混凝和絮凝优化试验确定采用聚合物+混凝剂方案; 双介质过滤器-滤层优化试验结果显示采用细砂作为滤料, 出水水质 SDI 值稳定, 当 $\text{SDI} < 4$ 时, 水质完全满足 RO 对进水水质的要求; 聚合物带出试验结果表明, 聚合物带出为零; 预处理充分性及污堵性试验显示, 当采用由单支陶氏 FILMTEC BW30-365FR 抗污染元件组成, 在运行回收率为 86% 时, 运行近 1 个月没有任何污堵。将回收率提高到 90%, 使膜在强制污堵条件下运行, 也未产生严重污堵; RO 膜元件的选择试验结果表明陶氏 FILMTEC BW30-365FR 抗污染元件性能良好, 在近 10 年中成功应用于印度 Chennai 厂。

通过中型试验确定如图 1 所示的工艺路线:

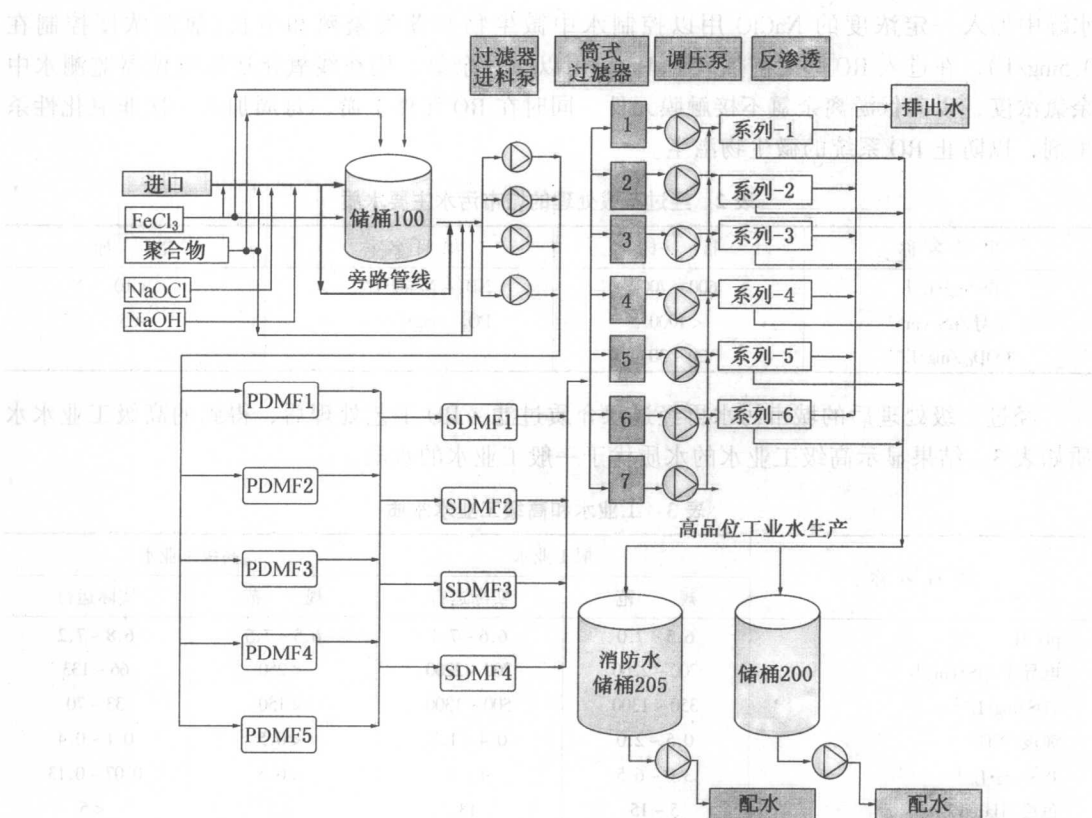


图 1 污水深度处理与回用工艺流程

该工艺和装置具有如下特点:

a. 高效过滤器能够始终维持水质的 SDI 在低水平上运行。过滤层分成两室后, 一方面提高空气摩擦和反洗效果, 另一方面使初级过滤器为颗粒和污泥堆积提供空间, 次级过滤器作为精滤器, 并且初、次级过滤器始终有一个保持在线运行; 初、次级过滤器交错反洗, 避

免同步,有利于出水水质 SDI 值的稳定。

b. 采用级间升压泵实现节能。为达到系统 86% 的回收率, RO 的第一、二段设一台高压泵,第三段设一段间升压泵,并在第一段的产品水管上设置节流孔板以控制第二段的给水流量,使第一、二段运行的同时冲洗第三段。

c. 第三段用产品水冲洗。由于第三段 RO 进水的盐浓度高,浓水极易达到饱和,导致膜的污堵和结垢。因此,在第三段采取用产品水定期对污染物和沉淀物进行冲洗,防止膜结垢。

d. 采用变频驱动装置实现节能。通过采用变频驱动,高压泵正好运行在使膜不产生污堵所需压力下运行。

e. 系统水的回收率高。将过滤器反洗之前的排污水通过再循环管线送回入口回用,用氯化物消毒的 RO 浓水反洗双介质过滤器,并将过滤器正洗水循环使用,这些步骤大大减少了水的损失,使系统总回收率高达 86%。

为确保处理系统高效平稳运行,进水采用经过三级处理的城市废水(水质见表 2),在进水罐中加入一定浓度的 NaClO 用以控制水中微生物和藻类繁殖和生长(氯胺浓度控制在 0.5mg/L),在进入 RO 膜之前加入 NaHSO_3 用以除去余氯,用在线氧化还原电位器监测水中余氯浓度,以确保游离余氯不接触膜元件。同时在 RO 元件上游,每周加入一次非氧化性杀生剂,以防止 RO 系统的微生物滋生。

表 2 经过三级处理的城市污水主要水质

项目名称	指 标	项目名称	指 标
TDS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	600 ~ 700	$\text{NH}_3 - \text{N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	< 10
电导/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	< 1000	$\text{PO}_4^{3-}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	< 5
$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	20 ~ 30		

经过三级处理后的城市污水再经过双介质过滤 + RO 工艺处理后,得到的高级工业水水质如表 3。结果显示高级工业水的水质优于一般工业水的水质。

表 3 工业水和高级工业水水质

项目名称	一般工业水		高级工业水	
	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/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	700 ~ 2200	700 ~ 2200	< 250	66 ~ 133
TDS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	350 ~ 1300	500 ~ 1300	< 150	33 ~ 70
浊度/NTU	0.5 ~ 2.0	0.4 ~ 1.7	< 0.5	0.1 ~ 0.4
TSS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	3.0 ~ 6.5	1 ~ 2	< 0.5	0.07 ~ 0.13
色度/Hazen Unit	5 ~ 15	13	< 5	< 5
总硬度(以 CaCO_3 计)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	100 ~ 250	100 ~ 160	< 60	1 ~ 3
总碱度(以 CaCO_3 计)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	30 ~ 80	40 ~ 80	< 45	16 ~ 22
$\text{Na}^+/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	65 ~ 300	150 ~ 200	< 50	10 ~ 12
$\text{Cl}^-/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	100 ~ 500	150 ~ 500	< 55	6 ~ 21
$\text{SO}_4^{2-}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	80 ~ 145	120 ~ 160	< 30	< 7
$\text{SiO}_2/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1 ~ 10	6 ~ 10	< 2	0.1 ~ 0.4
NH_3 (以 N 计)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	3 ~ 18	5 ~ 15	< 3	0.1 ~ 1.0

续表

项 目 名 称	一般工业水		高级工业水	
	规 范	实际运行	规 范	实际运行
PO_4^{3-} (以 P 计)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1~4	2~4	<0.5	0.04~0.10
嗅味	U.O.	U.O.	U.O.	U.O.
$\text{BOD}_5/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	<5	<5	<3	<1
$\text{COD}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	30~60	20~30	<10	2~4
细菌/ $\text{CFU}\cdot(100\text{mL})^{-1}$	<0	<1000	<1000	<1
氰化物和硫化氢/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	<0.02	N.D.	N.D.	$\text{CN}^- < 0.01$

投资 1700 万新元建设的这套系统对经过三级处理的城市废水处理效果很好,排出的浓水水质能够达到排海要求,直接排海,已平稳运行 3 年,出水水质稳定,3 年中总共只更换了 10% 的膜组件。

高级工业水经过“阴床 + 阳床 + 混床”工艺处理后,作为发电厂锅炉给水,已建成三条产化学水 $380\text{m}^3/\text{h}$ 的生产线,并且采用微电解方法对离子交换树脂进行再生,水质完全满足发电蒸汽锅炉的需要,运行平稳、正常。

1.4 双膜法生产新生水情况

新加坡新生水厂采用“UF + RO 双膜处理工艺”,流程如下:

三级处理的城市污水 → UF → 紫外光 → RO → 新生水

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。新生水厂第一期工程的产水规模为 $32000\text{m}^3/\text{d}$,大部分产品新生水全部掺入到饮用水水库作为饮用水源,部分新生水作为瓶装饮用水免费发放参观游人。

2 污水处理与回用特点

2.1 生产集约化,服务社会化

在裕廊岛规划和发展的同时,明确提出“公用事业设施集中化”的理念。将 12 家石化公司、化学公司和精炼公司产生的工业废水进行集中处理,一方面可以减少投资、降低运行和管理费用,产生规模效应;另一方面可以将来自不同工厂、污染物不同的工业废水中有用成分加以综合利用,变废为宝。如高 pH 废水与低 pH 废水混合后发生相互中和作用,从而节约单独处理高 pH 废水需要加入的酸和单独处理低 pH 废水需要加入的碱。

裕廊岛所需要的工业水也是集中处理和提供,达到减少投资,降低运行费用和人工成本的目的,使投资污水深度处理和回用工厂能够获得较好的经济效益。

裕廊岛工业企业所需要的冷却水,其中 $70000\text{m}^3/\text{h}$ 是海水。采用海水冷却可以大幅度减少工业水的消耗和排污,为避免海水对输送水管线和水冷器的腐蚀,在技术上采取内涂层和间接冷却办法,间接冷却即用海水冷却工艺介质的冷却水。这些冷却水及相关服务也是由一个公司集中提供。

再如蒸汽供应、除盐水供应、冷却水供应、产品贮存设施及终端设施等,都实行集约化经营,社会化服务。

2.2 政府引导,市场化经营

鉴于新加坡的水资源状况,新加坡政府把水作为战略资源加以考虑和规划,明确提出到

2010年实现水资源由蓄水、马来西亚供水扩大到蓄水、马来西亚供水和再生水为水源,到2015年再把海水淡化作为新的水资源。为此,新加坡政府在1994年准备建立亚太地区世界级石油化工中心裕廊岛时,新加坡的公用事业署(PUB)通过其下属公司经营裕廊岛水网,向裕廊岛提供经过三级处理的城市污水作为工业水。到2000年建成日产水 30000m^3 将经过三级处理的城市污水采用DMF+RO技术处理的高级工业水厂。

2002年建成日产水 32000m^3 将经过三级处理的城市污水采用UF+RO技术处理的新生水厂,同时在新生水厂建成一座现代化新生水生产过程展览馆,免费向游人开放,专人讲解和电视片介绍新加坡的水资源状况、政府规划、新生水的生产过程、新生水水质、新生水对人体健康影响等人们关心的问题,配有新加坡总理吴作栋等政府官员和80000市民参加饮用新生水盛大场面的巨幅彩色照片,并向游人赠送包装精良的瓶装饮用新生水,同时组织新加坡中小学学生参观。

同时用经济杠杆推动污水资源化,实现市场化经营。新加坡政府对每 m^3 工业水征收0.43新元水费,将自来水价提高到2.12新元/ m^3 。采用DMF+RO工艺处理城市三级污水的运行成本 $0.6\sim 0.7$ 新元/ m^3 ,产品水以1.56新元/ m^3 出售,使从事污水处理的公司每处理 1m^3 污水获得 $0.43\sim 0.53$ 新元利润,回用污水的公司每回用 1m^3 污水减少0.56新元的水费支出,使污水处理公司和污水回用公司都有利可图。

2.3 节水工作,从易到难

新加坡政府在节水工作上注意从易到难的顺序展开。在裕廊岛工业园区装置设计和建设时,要求采用节水工艺,从源头上做好节水工作,12家大型石油化工企业的污水排放总量仅为 $7000\text{m}^3/\text{d}$,不到我国同类企业排污的 $1/10$ 。再如用海水作为冷却水,虽然一次性投资比新水大,但节水效果十分明显,运行费用也低于新水。因而,裕廊岛工业园区的工业装置所用冷却水绝大部分是海水。

城市污水的污染程度远远低于工业污水,处理也比较容易,经过二级处理后,再经过絮凝沉淀+砂滤+氯气处理,水质稍加处理就可达到RO膜对进水水质的要求,现已建成 $30000\text{m}^3/\text{d}$ 规模的高级工业水生产线一条、 $32000\text{m}^3/\text{d}$ 规模的新生水生产线一条。

城市污水回用实现后,目前正对裕廊岛产生的 $7000\text{m}^3/\text{d}$ 工业污水进行深度处理和回用中型试验,处理规模为 $4\sim 6\text{m}^3/\text{h}$ 。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。中试装置由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。中试研究工作已经进行一年,测试过两座污水厂的出水。主要问题是膜的有机物污染以及如何有效对膜进行清洗。微滤/超滤工艺的处理效果和运行稳定性主要取决于上游生化工艺的运行情况。中试出水浊度小于 0.1NTU ,SDI小于2,SS小于 $2\text{mg}/\text{L}$,COD,TDS没有明显的变化,微滤/或超滤工艺对 $\text{NH}_3\text{—N}$ 没有明显的去除效果,反渗透可以去除90%。

在进行工业污水深度处理和回用中型试验的同时,也在进行海水淡化中型试验。海水淡化中试装置采用混凝过滤作为预处理,再经高压反渗透膜过滤。处理能力为 $192\text{m}^3/\text{d}$ 。由取水泵,加药泵(氯、氯化铁等),双层滤料滤池,砂滤池,保安过滤器,高压泵,初级反渗透膜过滤器,二级反渗透膜过滤器,出水加药泵(氯、碱等)及蓄水池等组成。水的回收率55%,出水TDS小于 $100\text{mg}/\text{L}$, Cl^- 小于 $70\text{mg}/\text{L}$,符合世卫组织对饮用水水质的要求。技术难题是对硼的去除,要求出水硼的含量小于 $0.5\text{mg}/\text{L}$ 。

3 建 议

(1) 加强宣传、提高认识

新加坡在开展污水回用上注意宣传,提出“新生水-为企业、为生活、为生命”的宣传口号,并注意对国民进行节水和污水回用教育,效果良好。我们石油石化行业是用水大户,也是污水排放大户,多数企业地处水资源不足或严重不足的地区,应该采取多种形式如报刊、杂志、会议、培训班和示范工程等形式,加强对广大干部和职工、特别是主要领导干部的宣传和教育,提高他们对水资源不足和环境污染严重性认识。

(2) 重点支持、市场运作

新加坡政府在污水处理与回用上采取引导、重点支持和市场运作相结合的方针,收效明显。我们石油石化行业可充分利用大集团的优势和便利条件,在政策、资金、分配方面引导企业积极采用先进可靠的节水和污水回用技术、工艺、设备;并集中人力、物力和财力开发节水工艺和技术,污水处理和回用技术及设备,做好示范工程;石油石化行业具有庞大的公用工程系统,目前运作效率不很高,如果把这部分资源重新配置,使各企业的动力、供排水等从事公用工程的单位从主体分离出来,组建集团公司自己的公用工程服务公司,实行市场化运作规模化经营,不仅为各企业提供公用工程服务,参与世界公用工程服务方面的竞争,而且可以大幅度提高这部分资源的效率。

(3) 提高水价、奖罚并重

新加坡自来水水价为 2.12 新元/ m^3 (合 10.6 元人民币),我国自来水价格大多数在 3 元人民币/ m^3 以下,水价便宜,节水和污水回用工作推广难度大,如果在集团公司内部提高取水水价,不但使企业感受到做好节水和进行污水回用工作有利可图,而且使从事污水处理和回用的服务公司也有合理的回报。同时加强对企业考核力度,对节水减排工作突出的单位和个人进行适当奖励,对节水减排工作差的单位和个人进行必要处罚,节水减排工作必将取得显著成效。

(4) 节水减排、顺序推进

石油石化行业与新加坡裕廊岛工业园区的情况不同,自身取水量大、排污水多,多数企业远离城市,因此,应在首先做好源头节水工作的同时,考虑污水回用到绿化、消防、冷却水、工艺水和锅炉水。我国国情与新加坡不完全相同,目前将污水回用作为饮用水,条件并不具备。

总之,通过对新加坡污水处理和回用工程考察,对新加坡污水处理和回用理念、膜技术、工艺、效果和运行成本有了比较清楚的了解,也增强了考察团成员做好污水处理和回用工作的信心。

团长:乔映宾

成员:郭有智 陈 齐 李本高 徐传海 胡江青 张晓方

苏志远 李明义 郑东晟 党延斋 陈长兴

执笔:李本高

优化水处理工艺 降低水处理成本

周文争

(中国石化洛阳分公司动力厂供水车间)

该厂供水车间担负着为炼油厂、化纤厂、动力厂等装置提供循环冷却水的任务,循环水场主要包括第一循环水场、第二循环水场、第三循环水场及化纤循环水场四部分。

第一循环水场的系统容量为 8000m^3 ,供水能力为 14800t/h ,1984 年建成投用。目前的供水量为 13000t/h 左右,主要供给常减压装置、第一催化裂化装置、加氢装置、催化重整装置、五联合污水汽提及第一套硫磺装置的循环冷却水。

第二循环水场的系统容量为 3000m^3 ,供水能力为 6200t/h ,1984 年建成投用。目前的供水量为 6200t/h 左右。主要供给发电车间 1[#]、2[#]、3[#]、4[#]、5[#] 发电机组及空压站的 6[#] 空压机的循环冷却水。

第三循环水场的系统容量为 3000m^3 ,供水能力为 9600t/h ,1989 年建成投用。目前的供水量为 5500t/h 左右,主要供给第二催化裂化装置、气体分馏装置、烷基化装置、脱硫醇装置及五联合第二套硫磺装置的循环冷却水。

化纤循环水场的系统容量为 10000m^3 ,供水能力为 28000t/h ,1999 年 11 月建成投用。目前的供水量为 20000t/h 左右,主要供给对二甲苯装置、精对苯二甲酸装置、聚脂装置、空压冷冻装置及长、短丝装置的循环冷却水。

过去,该车间循环水系统采用的水处理方案为采取自然 pH 运行,投加的药剂为 RP-51 (仿日本溧田公司的 S-113 药剂)。该药剂是 1989 年由北京石油化工科学研究院研制,由该厂金达公司三环化工厂生产,药剂的投加浓度为 50mg/L 。由于长年干旱及水资源的超量开采,地下水水质逐年恶化,主要成垢离子钙离子由原来的 120mg/L 上升到 220mg/L ,总碱度由原来的 210mg/L 上升到目前的 310mg/L 。表 1 为目前地下水水质分析数据表。缓蚀阻垢剂 RP-51 的最大处理范围为: $\text{Ca}^{2+} + \text{总碱度} < 900\text{mg/L}$,在自然 pH 下,循环水中钙离子最大允许浓度为 450mg/L 。因此,长期以来,循环水系统只得在低浓缩倍数下运行。循环水系统的浓缩倍数一般控制在 1.7 左右,造成循环水系统的新鲜水消耗量、排污量及药剂投加量均比较大,水处理成本比较高。

表 1 该厂地下水水质分析数据表

分析项目	分析数据	分析项目	分析数据
pH 值	7.70	$\text{SO}_4^{2-}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	74
$\text{K}^+/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2.30	Ca^{2+} (以 CaCO_3 计)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	226
电导率/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	767	HCO_3^- (以 CaCO_3 计)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	310
$\text{Cl}^-/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	62	总溶解性固体/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	551

为了提高循环水系统的浓缩倍数,降低生产成本,该厂于1995年委托北京石油化工科学研究院研制出了加酸调pH配方为RP-52A+RP-52B(即仿日本深田公司的S113+六偏磷酸钠+锌盐),该配方的药剂投加浓度为140mg/L,于1995年10月在第一循环水场投入使用。RP-52A+RP-52B加酸调pH配方的投用,不仅提高了循环水的质量,而且使循环水系统的浓缩倍数得以大幅度的提高,循环水系统的浓缩倍数由加酸前的1.60提高到加酸后的3.0左右,循环水系统的新鲜水消耗及排污量大幅度降低,水处理费用明显下降。

为了采用加酸调pH配方,降低水处理费用,在1999年8月份利用第一循环水场的加酸设施,增上了临时加酸管线,利用水射器向第二循环水场加酸,使第二循环水场的水处理配方实现了由RP-51自然pH配方向加酸调pH配方的转换,循环水系统的浓缩倍数由加酸前的1.60提高到加酸后的3.0左右,每小时可节约新鲜水86t,减少排污量54t。第三循环水场及化纤循环水场也分别于1999年9月份及2000年8月份建成并投用了自动加酸设施,实现了由RP-51自然pH配方向加酸调pH配方的转换。

四个循环水场采用RP-52A+RP52B加酸调pH配方代替RP-51自然pH配方后,循环水系统的浓缩倍数得到了大幅度的提高,节水及减污效果非常明显,每年可节约各种水处理费用394.2万元。表2为各循环水场加酸前后操作费用变化情况。

表2 循环水场加酸前后操作费用变化情况

项 目		RP-51 自然 pH	RP-52A+RP-52B 加酸调 pH 配方	加酸前后节约量	加酸前后节约 费用/(万元/年)	加酸前后系统节约 费用/(万元/年)
系 统						
第一 循环 水场	浓缩倍数	1.60	3.0			108.1
	新鲜水消耗	420t/h	241t/h	179t/h	150	
	排污量	260t/h	80t/h	180t/h	31	
	加药量	3.5t/月	7.5t/月	-4.0t/月	-72.9	
第二 循环 水场	浓缩倍数	1.60	3.0			29.9
	新鲜水消耗	207t/h	121t/h	86t/h	72.1	
	排污量	123t/h	40t/h	83t/h	14.3	
	加药量	3.5t/月	6.6t/月	-3.1t/月	-56.5	
第三 循环 水场	浓缩倍数	1.60	3.30			28
	新鲜水消耗	176t/h	93t/h	83t/h	69.6	
	排污量	108t/h	33t/h	75t/h	13	
	加药量	2.8t/月	5.8t/月	-3.0t/月	-54.6	
化纤 循环 水场	浓缩倍数	1.50	3.60			228.2
	新鲜水消耗	540t/h	245t/h	295t/h	247.2	
	排污量	331t/h	65t/h	266t/h	57.5	
	加药量	4.3t/月	8.5t/月	-4.2t/月	-76.5	
合 计						394.2

注:新鲜水的单价为0.97元/t;

排到明沟的污水单价为0.20元/t;

缓蚀阻垢剂 RP-51、RP-52A、RP-52B 的价格为1.518万元/t。

循环水系统采用 RP-52A + RP-52B 加酸调 pH 配方后, 浓缩倍数大大提高, 系统补充新鲜水及排污费用明显降低, 但由于该处理配方需要投加 RP-52A 与 RP-52B 两种药剂, 药剂投加浓度高达 140mg/L, 造成循环水系统药剂费用有较大的提高。为了降低药剂消耗, 于 2000 年与北京石油化工科学研究院合作研制了新型加酸调 pH 配方 RP-99L, 该药剂主要由有机膦化合物及聚丙烯酸类化合物复合而成。在加酸控制 pH 为 7.50 ~ 8.30、钙硬度 $\leq 800\text{mg/L}$ 时, 具有较好缓蚀和阻垢效果。该药剂于 2000 年 8 月 18 日起在第三循环水场进行了试用, 试验期间循环水水质控制平稳。第三循环水场采用 RP-99L 加酸配方代替 RP-52A + RP-52B 配方后, 药剂的投加浓度由原来的 140mg/L 降到 70mg/L, 每年可节约水处理费用 44.76 万元, 见表 3。

表 3 第三循环水场调整配方前后加药变化情况

项 目 \ 配 方	配 方		项 目 \ 配 方	配 方	
	RP-52A + RP-52B 加酸配方	RP-99L 加酸配方		RP-52A + RP-52B 加酸配方	RP-99L 加酸配方
总 磷	10 ~ 14mg/L	6.0 ~ 7.6mg/L	加药量	5.80 吨/月	2.85 吨/月
药剂投加浓度	140mg/L	70mg/L	药剂费用	8.80 万元/月	5.07 万元/月
每年节约费用	44.76 万元				

2002 年 4 月份, 新型加酸调 pH 配方 RP-99L 开始在第一、第二循环水场推广应用, 由于第一循环水场主要供给炼油生产装置的循环水, 且具有自流热水系统, 循环水成分较为复杂, 而第二循环水场由于供水能力不足需要第一循环水场进行水的补充。目前, 两个循环水系统水并联运行, 为了提高水处理效果, 将第一、第二循环水场 RP-99L 的药剂投加浓度由 70mg/L 提高到 80mg/L。目前, 两个循环水场运行平稳。采用 RP-99L 加酸配方代替 RP-52A + RP-52B 配方后, 两个循环水场每月可节约缓蚀阻垢剂 6.30t, 每年可节约药剂费用高达 114.76 万元。下一步, 车间将根据加酸配方 RP-99L 在第一、第二循环水场使用情况, 待配方进一步改进完善后, 在化纤循环水场推广使用, 以降低化纤循环水场的药剂费用。

如何确保高浓缩倍数下换热设备的长周期运行

徐悦妹

(上海石油化工股份有限公司塑料事业部动力车间)

【摘要】 针对上海石化地区工业补充水水质差, 循环水系统既要达到高浓缩倍数, 又要确保换热设备连续 3~5 年的长周期运行等问题, 制定对策并实施, 效果明显。

循环冷却水通过加入一定的缓蚀剂、阻垢剂、杀生剂, 来达到缓解系统中换热设备的腐蚀、结垢、粘泥问题, 从而达到长周期运行的目的。但每台换热设备的运行工况不同, 加上长时间运行, 粘泥、钙垢和腐蚀产物会日积月累, 最终影响设备的换热能力, 甚至局部腐蚀穿孔而泄漏, 影响装置的正常生产。近几年循环水系统大修间隔时间越来越长, 如聚丙烯装置、2[#]聚乙烯装置上次大修时间间隔就达 4 年, 而 1[#]聚乙烯装置自 1999 年 5 月大修, 一直到 2003 年 3 月计划检修, 也是整整的 4 年时间, 以后是不是会更长? 另外, 集团公司对循环水浓缩倍数要求越来越高, 我们股份公司领导也提出向 5 倍进军, 而浓缩倍数越高, 势必药剂的停留时间延长, 药效减弱; 浓缩倍数越高, 系统钙硬度升高, 势必增加了成垢机会, 从而又增加垢下腐蚀。所以, 在这么长的时间内、这么高的浓缩倍数下如何来保证换热设备的安稳运行, 则是现在乃至今后一直需要不断改进的一个课题。2002 年作为攻关课题, 从三方面着手, 从中收获不少。

1 采用反渗透技术, 改善补充水水质

上海石化地处杭州湾畔, 源水水质较差, Cl^- 、钙硬度较高(见表 1), 循环水浓缩倍数要提高到 5 倍, 则循环水中的钙离子(以 CaCO_3 计)可达 600mg/L 以上, 而大多数水处理药剂对此无法承受, 从而对水质控制带来很大威胁。所以, 往往为了确保水质, 降低浓缩倍数运行, 系统排污、补充水量很大。为了两全, 我们利用反渗透技术, 改善补充水水质, 既不影响水质, 又能提高浓缩倍数, 最终达到节能降耗的目的。

表 1 上海石化地区工业补充水水质

时 间 项 目	2000 年			2001 年			2002 年		
	高	低	均	高	低	均	高	低	均
$\text{Cl}^-/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	272	88	135	183	68	124	171	78	109
总碱度(以 CaCO_3 计)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	204	106	169	198	118	157	190	146	163
Ca^{2+} (以 CaCO_3 计)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	162	95	135	161	91	125	163	109	125

以 2001 年工业补充水水质为例, Ca^{2+} (以 CaCO_3 计) 浓度年平均 125mg/L , 则循环水只能浓缩 3.5 倍, 所以, 在确保水质的前提下, 要进一步提高浓缩倍数, 改善工业补充水水质无疑是一个好的途径。

由股份公司出资 100 万元, 在事业部相关各方的大力支持配合下, 淡水产量 $30\text{m}^3/\text{h}$ 的反渗透装置于 2002 年 6 月底竣工并投入试运行。将聚丙烯、2# 高压聚乙烯循环水的排污水和部分工业水作为其处理水源, 经过砂滤、碳滤、精滤后, 由反渗透膜除盐, 除盐率在 $95\% \sim 97\%$ 。从 7 月份到现在, 尽管未达负荷运转, 但实施效果明显。随着对新技术的不断摸索、不断完善, 反渗透装置满负荷运转后, 其效果将更为理想。

表 2 反渗透装置投用前后效果对比

内 容	2002 年 7 ~ 11 月	2001 年 7 ~ 11 月	节 约 量	节约幅度/%
工业水补水量	23.4 万 t	29.8 万 t	1.1 万 t (合水费 2.5 万元)	4.7
RO 产纯水量	4.3 万 t	—		
RO 反洗水量	1 万 t	—		
水处理剂消耗	32.96 万元	37.16 万元	4.2 万元	12.7
浓缩倍数	5.44 倍	4.52 倍	上升 0.92 倍	16.9

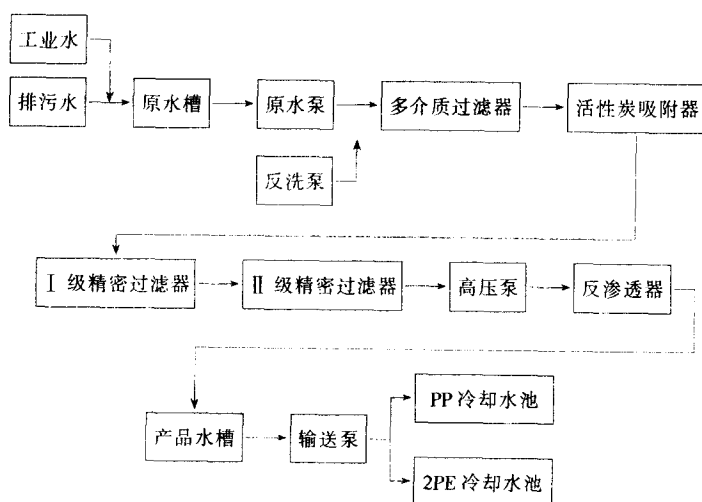


图 1 反渗透装置工艺流程简图

7 ~ 10 月份反渗透装置由于试运行, 实际产水量在 $11.4\text{m}^3/\text{h}$, 离 $30\text{m}^3/\text{h}$ 的满负荷运行还有近 3 倍的差距, 而且, 随着冬季枯水期的到来, 利用反渗透技术改善工业补充水水质, 使循环水中实际钙硬度没变, 也就是说水处理药剂对这些成垢因子的容忍度没变, 照样能发挥较好的水处理效果, 但浓缩倍数明显得到提高, 实现了公司领导对循环水管理浓缩倍数向 5 倍进军的目标, 达 5.44 倍, 比去年同期上升了 16.9%, 而且在节能降耗工作上, 效果也很明显, 仅今年 7 ~ 10 月份的 4 个月, 又只是满负荷运行的三分之一, 就节约了 5.4 万元, 若满负荷运行, 则每年能节约 48.6 万元, 尤其目前对水资源的节约日益强调, 其社会效益具有深远意义。