反渗透膜法海水淡化技术在大连石化公司的应用

杨 恒[1] 徐金枝[2] 王荣海[1]

（1. 中国石油大连石化公司；2. 大连信达环境工程评估中心）

摘 要 大连石化公司采用反渗透膜法海水淡化工艺为生产装置提供淡水资源，其用水取自炼化装置冷却换热后的海水，不额外增加海水的取用量，降低了成本。装置采用常规预处理加三级反渗透膜分离技术，同时配备了能量回收装置，将反渗透高压“浓水”的能量转换到低压的原海水中，使得能耗大大降低。文章介绍了该工艺的流程及其技术特点，该装置节能、节水，其产品水质量达到甚至超过了中压锅炉补给水的要求。工程运行稳定，对沿海同类企业有借鉴意义。

关键词 大连石化公司 反渗透膜法 海水淡化 节水

0 概 述

随着大连石化原油加工能力的提高，对水量的需求将增加到 4.5×10^4 t/d 左右（约占大连市用水量的 5%），用水量增加近 3×10^4 t/d，其中 70%为水质要求高的锅炉补给水。要解决该问题，如果沿用以往向市政申请的方式解决，不但需要 1.2 亿元的水资源增容费，而且还需再建设大规模的离子交换制水设备，同时也将进一步加剧大连市的用水紧张局面。

大连石化公司濒临黄海，炼油装置所用的冷却水大部分取自海水，因此海水系统设施完备，具有集中的海水泵站和完备的海水供水管网，可避开取水工程的高额造价，同时能提供稳定的水源。

另外，经过炼油装置冷换后的海水温度终年保持在 20～30℃范围，无需增加任何成本就可解决制约膜法海水淡化工艺在北方应用中的原水水温问题。

在大量调研论证的基础上，大连石化公司提出了海水淡化的设想，自行解决炼化装置扩建、发展的用水问题。并建成了反渗透膜法海水淡化装置。

1 大连石化公司海水淡化工艺

1.1 工艺简介

大连石化公司海水淡化装置采用常规预处理加三级反渗透膜分离技术生产锅炉除盐水。其中一级反渗透（RO）的产水量为 5500 t/d，三级反渗透的产水量为 5000 t/d。

该套装置的原水取自四催化装置气轮机复水器冷却水出口的海水，在加入絮凝剂、杀菌剂等药品后经初滤、双滤料过滤、活性炭过滤等设施预处理后，再经高压泵、增压泵、能量回收系统将海水加压，进一级反渗透膜进行脱盐。产品水进入水箱后再进行二级反渗透处理，因为产水直接送至炼化装置电厂的中压锅炉，故设计了三级反渗透处理，以确保产出水的电导等其他参数满足锅炉用水的水质需求。每一级产水均设置中间水箱，其中一级反渗透装置分为三套，三套总产水量 5652 t/d，系统回收率 45%，脱盐率 99.5%；二级反渗透装置分为两套，两套共产水 5568 t/d，系统回收率 90%，脱盐率 97%；三级反渗透系统分为两套，两套总产水量为 5040 t/d，系统回收率 90%，脱盐率 97%。

原料海水取自于四催化装置复水器冷却后海水或海水供水管网中海水，温度调节使水温达到 15～28℃，由海水提升泵升压后送到海水反渗透淡化装置。进入海水初滤器之前在海水管道中加入次氯酸钠（NaClO）杀菌，按比例量加入聚合铝（PAC），经海水初滤器初滤后，达到海水压力≥0.4 MPa、水温 15～28℃、余氯 0.2～0.5 mg/L 指标的海水进入双料过滤器进行直流凝聚过滤。

双料过滤器过滤出水进入活性碳过滤器进行过滤，去除双料过滤器出水中泄漏的小分子有机物及原水中氧化性氯。活性碳过滤器出水分别加入还原剂 $NaHSO_3$、阻垢剂，并充分混合后经 ORP（氧化还原电

杨恒，1997 年毕业于大连工业大学机电一体化专业，现任大连石化公司热电联合车间工艺运行和设备管理工程师，主要从事化学水处理技术研究和运行管理。通信地址：大连市甘井子区山中街 1 号大连石化公司热电联合车间，116031

位监测无Cl_2存在)检测,定期SDI(控制<4)检测,水质合格后进入5 μ保安过滤器,其作用是截留来自预处理产水中大于5 μ的颗粒进入反渗透系统。

保安过滤器的出水一部分至高压泵,经升压后进入反渗透装置,另一部分出水进入能量回收装置PX。从反渗透装置排出的浓水进入PX,其高压势能直接被转换进入PX系统的原海水中。压力不足部分由增压泵升压补偿,达到与高压泵出口相同的压力,然后与通过高压泵的海水混合,进入一级海水反渗透系统。

海水淡化工艺流程见图1。

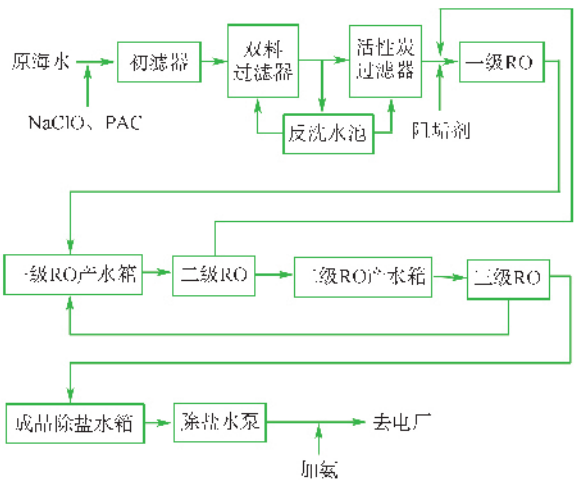

图1　海水淡化工艺流程

由于炼油装置24 h连续供水,这种工艺设计可以解决在供水不断的情况下及时处理中间过程的故障,如可单独停某一套更换保安过滤器滤芯;处理每级压力容器连接件故障等任一系统中的设备故障。

经过三级反渗透处理,产水电导率保持在10 μS/cm以下(正常指标2～3 μS/cm),见表1。全部作为中压锅炉补水,极大地缓解了炼化装置水资源需求问题。

海水淡化装置运行期间,装置耗电4～4.5 kWh/t水(除原水取水泵以外的所有设备及生活耗电),低于设计指标5.05 kWh/t水。累计产合格除盐水800余万吨。一级膜化学清洗周期3个月。运行的压力、产水量、产水水质均满足设计要求,产水水质指标见表1。

1.2 技术特点

1.2.1 原海水取自冷却水出口

原海水为换热后的排放水,一是解决了冬季原水温度低的问题;二是利用了其装置的排放水,取此海水将不额外增加海水的取用量,节省了利用海水的资源费。膜法海水淡化系统的产水率与水温关系密切。进水温度每升高1℃,相应的产水量可增加3%。因为是四催化换热后的海水,其温度可控制在18～30℃之间,指标与反渗透系统的要求接近,极大地解决了原海水水温的问题,这对于地处北方的海水淡化装置有节约淡水、节约能源的重要意义。

表1　海水淡化装置产水水质

项目	平均值	设计指标
pH	8.8	8.5～9.2(送四催化) 6.5～8.0(送电厂)
含钠量/(μg/L)	150	≤300
SiO_2/(μg/L)	40	≤100
电导率/(μS/cm)	3	≤10
硬度/(μmol/L)	0	≈0

1.2.2 能量回收系统

在一级反渗透系统中,"浓水"的剩余压力仍高达5.3 MPa左右。如此高压力的水排放掉很浪费,而且高压水排放也是一个不易解决的问题。为了更有效地利用这部分能量,使用ERI美国能源回收公司的能量回收装置。该装置不需要外部动力,只有单一活动组件,靠水流驱动使其旋转,将反渗透高压"浓水"的能量转换到低压的原料海水中。该设备体积很小,效率却高达94%,相当于节省了一台高压泵,使得能耗大大降低,相应也降低了成本。

1.2.3 产品水外供

海水淡化装置可谓海水淡化系统和炼厂相结合的典范。原料取自炼厂,产品返供给炼厂。由于采用了三级反渗透系统,产品水质量达到甚至超过了中压锅炉补给水的要求。相比之下,采用海水淡化的方法制取除盐水要比传统的自来水加离子交换方法成本要低得多,且更环保。

2　海水淡化装置运行的经验总结

大连石化公司海水淡化装置投用后,根据该装置的运行状况,总结出以下经验:

◆ 反渗透膜法海水淡化的关键是要根据具体的海水水质、取水方式等选择适用的前处理单元。合适的前处理单元可在一定程度上延长膜的使用寿命,并且节能、产品满足要求。

◆ 复合反渗透海水淡化膜技术,PX型能量回收装

置，多级海水升压泵，高压、小扬程、大流量海水增压泵等组成了反渗透海水淡化现阶段最典型的高效率处理单元，使膜法海水淡化的成本大大降低。锅炉水水质的制水成本为 9.20 元/t，循环水水质的制水成本为 1.05 元/t，满足要求。并且，随着技术的不断发展，海水淡化的一次性投资及运行成本将呈下降趋势。因此，海水淡化对于缓解工业用水紧张具有深远意义和广阔的应用前景。

◆ 随着装置长期稳定的运行，合格产品水被源源不断地输送到炼化生产装置，这表明，在沿海地区对于能够提供余热的石油化工、电力等行业，膜法、热法的海水淡化是一条提供水源的新途径。

3 存在问题及解决措施

3.1 微生物及防治

大连地处渤海之滨，属于内海，自身的更新能力有限，置换一次需 15 年，非常缓慢。同时，大连海域是全国主要的海菜、贝类、海参养殖区。春季，在海中过冬的各种生物，尤其是以猛水蚤为代表的虫卵随原海水进入系统，活性炭过滤器由于吸附了大量的有机物杂质，同时流速慢，渐渐变成了猛水蚤繁殖的温床，大量繁殖的成虫，直接恶化出水母线 SDI。最终大量的猛水蚤被保安过滤器截流，致使保安过滤器更换频率上升，运行成本增加。

从生物污染的季节性和危害性来看，春季容易发生以猛水蚤大量孳生为特征的生物污染，夏季容易发生赤潮为标志的生物污染。近几年每年发生前者约 1 次，后者约 1～2 次。前者具体表现为：原水水质突然恶化，多介质过滤器制水周期缩短，进水、产水压力差上升加快，反洗频繁，多介质过滤器产水水质变差。活性炭产水水质进一步恶化，出水母线 SDI 可达 5 以上。夏季容易发生以赤潮为标志的生物污染，具体表现为：多介质过滤器压力差急速上升，活性炭母线出水 SDI 达到 6.67 以上。

根据几年的运行实际，逐渐摸索出一套解决方法，在春季微生物污染多发季节采取防范措施，如临时投加杀菌剂、增加预处理过滤器反洗频次、对预处理过滤器进行化学清洗等。除 2004 年初发生过一次生物污染事件后，再无规模污染发生。

3.2 海水腐蚀及对策

海水对装置的腐蚀、锈蚀是非常严重的。这种现象在国内同类装置中也普遍存在。对此，采取了更换管道与设备的材质、采用新材料的方法解决。如低压部分管道采用孔网钢塑复合管，基本杜绝了这部分的腐蚀现象；高压部分采用 2507 双相钢，这种材质的钢材是目前耐海水腐蚀比较理想的材料。另外，对装置内的金属部分采取了喷涂保护层的方法来防止水气腐蚀。从目前运行状况来看，取得了较好的效果。

4 结束语

大连石化公司相继建成并投产了以 5500 t/d 反渗透膜法海水淡化装置为龙头的三套再生水处理装置，每天生产锅炉用除盐水 10500 t，循环水补水为 5000 t。承担了目前公司锅炉用水 70% 以上的供水量。反渗透膜法海水淡化装置于 2003 年 11 月正式投入生产，至今运行稳定。已生产合格的除盐水 800 余万吨，成为公司工业用水的重要渠道。

大连石化公司通过膜法海水淡化工艺的应用和实践，不仅解决了自身发展用水的制约问题，同时在国内工业水处理技术领域起到了领先和示范作用，在合理利用自然资源、节约淡水以及保护环境方面取得了良好的社会效益。

参 考 文 献

[1] 樊雄，潘巧明，陈文松，熊卿. 国产反渗透膜海水淡化装置试验与运行报告[A]. 第一届海水淡化与水再利用西湖论坛论文集 [C]. 2006.

[2] 卢彦越. 反渗透海水淡化系统优化设计的研究[D]. 中国海洋大学. 2004.

[3] 刘炎伟. 外压式超滤用于海水淡化的研究[D]. 武汉大学. 2005.

（收稿日期 2009-04-10）
（编辑 王 薇）

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告