

# 现代煤制油化工生产废水零排放的探索与实践

吴秀章

(中国神华煤制油化工有限公司,北京 100011)

**摘要:**现代煤制油煤化工行业的技术、排放特点,以及产业聚集地区的特殊生态环境,要求要高度重视节水和生态保护,该行业实现生产废水零排放是节水的重要措施。神华煤制油、煤化工示范工程的实际运行经验表明,采取适宜的工艺处理、组合生化、先进的膜分离、蒸发和结晶以及深度精制处理等组合技术,可以实现现代煤制油煤化工项目生产废水的零排放。

**关键词:**煤制油;煤化工;生产废水;零排放

**中图分类号:**X703.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2015)04-0010-07

## Exploration and practice of zero wastewater discharge for modern coal-to-liquid and chemical Industry

WU Xiu-zhang

(China Shenhua Coal to Liquid and Chemical Co., Ltd., Beijing 100011, China)

**Abstract:** The technology and emission features of the modern coal to liquid(CTL) and coal to chemical(CTC) industry as well as the special ecological environment of the industrial region require the industry to highly emphasize on water saving and ecological protection. It is an important water-saving measure for modern CTL and CTC industry to accomplish zero-discharge of wastewater. The practical operation experience of Shenhua CTL and CTC demonstration projects has indicated that by proper combination of different technologies such as process extraction, bio-chemical treatment, advanced membrane separation, evaporation and crystallization, as well as deep purification, it is feasible to accomplish zero wastewater discharge for modern CTL and CTC projects.

**Key words:** coal-to-liquid(CTL); coal-to-chemical(CTC); industry wastewater; zero wastewater discharge

我国的现代煤制油煤化工产业大多位于水资源相对匮乏的西北部地区,将煤制油煤化工过程中生产的废水全部处理、回用,实现生产废水的零排放,对于节约水资源消耗、减少污染物排放和环境保护,以及支撑现代煤制油煤化工产业的发展都具有重要意义。

### 1 我国现代煤制油化工及排放特点

本文所述的现代煤制油、煤化工是指能够直接或间接替代目前基本上或全部是以原油为原料生产的成品油、基础化工原料的技术产业等,包括了煤炭直接液化工程、煤炭间接液化工程、煤制低碳烯烃及聚烯烃塑料工程、煤制乙二醇工程、煤制代用天然气、煤制芳烃工程等,这些技术基本上都已经完成了技术开发和工业示范,正在进入规模化、产业化发展阶段。

#### 1.1 现代煤制油化工关系国民经济和能源安全

我国能源企业近期发展的现代煤制油、煤化工行业主要集中在能够直接解决关系国家能源安全、国内市场需求量大、资源极度短缺、供应不足、对外

依存度大的行业和产业,主要是实现部分石油替代、减少对进口聚烯烃的依赖、保证我国聚酯行业原料乙二醇和二甲苯的可靠供应以及解决大气污染所急需的清洁燃料-天然气等。表1列举了典型的现代煤炭转化技术的产品及替代产品的供需情况。

表1 现代煤制油煤化工技术的产品供需情况

技术	煤制油		煤制低 碳烯烃	煤制 乙二醇	煤制 芳烃	煤制 天然气
	煤直接 液化	煤间接 液化				
主要产品	柴油、 汽油、 液化气	柴油、 石脑油、 液化气	乙烯、 丙烯	乙二醇	对二 甲苯	天然气
直接替代产品	原油		乙烯 丙烯	乙二醇	对二 甲苯	天然气
2012年消费	4.76		3216 2406	1084	1178	1471
2012年生产	2.05		1523 1534	290	549	1077
2012年进口	2.71		1693 872	794	629	425
对外依存度/%	57.0		52.6 36.2	73.2	53.4	28.9

注:表中单位原油为亿t、天然气为亿m<sup>3</sup>、其余为万t。

由于近年发展的现代煤制油化工产业关乎国家

的经济安全,建设企业也多是大型能源企业,项目投资大、对各种资源的要求也大,因此其环境保护、节能减排也就格外受关注。

## 1.2 工艺技术新、复杂,污染物排放多、新、复杂

早在上世纪早期国外就实现了煤炭直接液化和间接液化产业化,但随着丰富原油的大量发现而中止,南非因其特殊的资源和政治因素发展了煤炭间

接液化产业,美国煤制天然气也仅仅建设了大平原一个工厂,国外对现代煤制油、煤化工技术的开发基本处于停滞状态。我国的科技机构、能源企业为了保障国家能源安全、积极应对原油及基础化工原料对外依存度逐年提高的不利局面,大力开发新工艺、新技术,并建设了一批居世界领先水平的煤制油、煤化工示范工程,如表2所示。

表2 我国现代煤制油煤化工产业

产业	煤制油	煤制烯烃	煤制乙二醇	煤制芳烃
核心技术	直接液化	费托合成	甲醇制烯烃	甲醇制芳烃
产业化地点	内蒙古鄂尔多斯	内蒙古鄂尔多斯、山西长治	内蒙古包头	陕西榆林 <sup>①</sup>
核心技术来源	神华集团	中科院山西煤化所	中科院大连化物所	中科院福建物构所
示范工程规模/(万 t·a <sup>-1</sup> )	108	18	60	20
投产日期	2008年	2009年	2010年	2009年
世界地位	目前世界唯一	世界第二套次	世界第一	世界第一

注:①为工业试验装置。

由于我国近期发展的现代煤制油、煤化工大多是新开发的首次产业化,没有经验可以借鉴。因此对生产过程中产生的污染物认识有待深入,这就给污染物处理、特别是污水处理带来了更大的难度。

以煤炭直接液化为例,其煤液化、液化油加氢稳定产生污水含硫、氮、酚,非常难处理,其性质如表3所示<sup>[1]</sup>;甲醇制烯烃装置生产的废水含有较多的石油脂肪烃、酯、有机盐、多甲基苯类芳烃及低聚物,COD

表3 煤直接液化及加氢稳定酸性水分析结果

mg/L

分析项目	液化酸性水	加氢稳定酸性水	分析方法	标准号
pH	8.56	9.52	玻璃电极法	GB 6920—1986
COD <sub>Cr</sub>	5.87 × 10 <sup>4</sup>	1.40 × 10 <sup>5</sup>	重铬酸钾法	GB 11914—1989
石油类(矿物油)	2.02 × 10 <sup>3</sup>	466	红外光度法	GB/T 16488—1996
动物油类(非烃)	840	179	红外光度法	GB/T 16488—1996
挥发酚	8.72 × 10 <sup>3</sup>	1.12 × 10 <sup>3</sup>	蒸馏后溴化容量法	GB 7491—1987
TOC	1.51 × 10 <sup>4</sup>	2.38 × 10 <sup>3</sup>	燃烧氧化—非红外吸收法	HJ/T 71—2001
氨氮	9.87 × 10 <sup>3</sup>	3.89 × 10 <sup>4</sup>	蒸馏和滴定法	GB 7478—1987
游离氨	773	1.93 × 10 <sup>4</sup>		GB 7478—1987
固定氨	1.19 × 10 <sup>4</sup>	2.97 × 10 <sup>4</sup>		GB 7478—1987
硫化物	9.81 × 10 <sup>3</sup>	7.86 × 10 <sup>4</sup>	碘量法	
氰化物	27.8	49.7	硝酸银滴定法	GB 7486—1987
BOD <sub>5</sub>	2.68 × 10 <sup>4</sup>	6.67 × 10 <sup>4</sup>	稀释和接种法	GB 7488—1987
悬浮物	145	295	重量法	GB/11901—1989
总碱度(CaCO <sub>3</sub> 计)	3.36 × 10 <sup>4</sup>	1.43 × 10 <sup>5</sup>	滴定法	
氯根	33.5	30.6	硝酸银滴定法	GB/11896—1989
硫酸根	19.8	34.5	重量法	GB/11899—1989
钙	2.88	4.10	原子吸收分光光度法	GB 11905—1989
镁	1.48	1.04		
硫代硫酸根	69.7	193	碘量法	
总含盐量(溶解固形物)	2.75 × 10 <sup>3</sup>	2.11 × 10 <sup>3</sup>	重量法	

高,处理难度大。

现代煤制油、煤化工的工艺流程长,一般都包括了燃煤锅炉和自备电站的动力中心、以煤气化到合成甲醇或煤制氢的传统煤化工、煤制油和液化油精制的油品加工、甲醇制烯烃/芳烃及烯烃/芳烃后加工的石油化工、催化剂制备等无机化工,所以现代煤制油、煤化工污水的种类多、污染物复杂,处理难度也大。

### 1.3 地处煤炭资源丰富、水资源短缺的地区

我国的煤炭资源大部分位于水资源相对匮乏的山西、内蒙古、陕西、宁夏和新疆等西北部省区,为了提高煤制油、煤化工行业的竞争力,就要求降低煤炭的运输成本,煤制油、煤化工工厂建设在煤田附近就成为必然的选择。

由于煤制油、煤化工的加工规模大、工艺流程长、对水资源要求供应量大且保证程度要高,这也与当地的水资源供应能力相矛盾。

### 1.4 生态文明建设对环境保护提出了更高要求

煤制油和煤化工以难以处理的煤炭为原料,工艺过程复杂,包括了煤化工、油品加工、石油化工、无机化工等多个专业,其生产过程排放的特点是生产过程污染物产生量大、对污染物处理的要求高、环境保护设施复杂且投资大等。

西北部地区水资源匮乏的现实,一方面要求煤制油化工企业尽可能地少用水,减少对当地生态的影响,二是也没有足够的纳污水体来接纳生产废水中的污染物。如果不能很好地解决生产过程中产生的污染物处理问题的话,环境问题将会成为制约煤制油化工产业发展的瓶颈<sup>[2]</sup>。

### 1.5 温室气体排放引起重视

现代煤制油、煤化工是将高碳能源转换为低碳能源,生产过程需要大量的氢气。大量、低成本氢气的来源是煤气化生产的合成气与水蒸气发生 CO 变换反应而得,制氢一方面会消耗大量的水,另外也排出较多的 CO<sub>2</sub>。典型的煤制油、煤化工项目的 CO<sub>2</sub> 排放如表 4 所示<sup>[3]</sup>,煤炭直接液化、间接液化每生产 1 t 油品分别排放 5.56 和 6.86 t CO<sub>2</sub>、煤制烯烃每生产 1 t 聚烯烃要排放 10.52 t 的 CO<sub>2</sub>。大量的 CO<sub>2</sub> 排

表 4 典型煤制油化工的 CO<sub>2</sub> 工艺排放因子和 CO<sub>2</sub> 工厂排放因子

工艺	工艺排放因子	工厂排放因子
煤炭直接液化	3.33	5.56
煤制烯烃(MTO)	6.41	10.52
煤炭间接液化	5.10	6.86

放也引起了重视,神华集团率先开展了二氧化碳捕集与地质封存(CCS)的工业性试验研究<sup>[4-5]</sup>。

## 2 现代煤制油煤化工污水处理技术

现代煤制油、煤化工的复杂特性致使所产污水的种类多、污染物复杂且难以处理,对某些污水缺少处理经验,以煤炭直接液化为例,其生产过程排放的污水即包括了煤液化过程产生含硫、氨和酚的特别难处理的污水,催化剂制备过程产生的含(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>的污水,煤气化、动力中心、循环水场等产生的含盐污水,以及各个生产装置产生的普通含油污水。因此要针对各类污水的不同性质采用有针对性的处理工艺,才能达到回收、处理污水中污染物的目的。

现代煤制油、煤化工要实现生产废水零排放的目标,就是要将生产过程中产生的污水进行分类、严格的处理,经处理后的再生水达到在本企业生产过程中能够全部回用的水质指标。

### 2.1 工艺处理技术

对于生产废水中含有量大、性质特殊、特别是有回收利用价值的污染物时,要首先采用在工艺装置上回收其中的污染物,然后再送污水处理场处理。以煤炭直接液化为例,其煤液化、加氢稳定和加氢改质装置产生的污水中含有较高的 H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub> 及有机酚,就采取了污水汽提先除油、汽提出 H<sub>2</sub>S 和 NH<sub>3</sub>,

表 5 煤液化污水汽提和酚回收工艺前后污水性质

污染物	mg/L		
	煤液化污水 (污水汽提 进水)	污水汽提出 水(酚回收 进水)	酚回收出水 (污水处理场 进水)
石油类	9110	414	107
氨氮	20865	178	152
硫化物	9535	70	60
氨	10190	69	60
pH		8.7	8.8
挥发酚		4337	78
水中总酚		4659	83
COD			4336
固体悬浮物浓度			42
回收物及用途	污水汽提装置回收的 H <sub>2</sub> S 送硫磺回收装置生 产硫磺,作为煤液化的 助催化剂;回收的氨作 为催化剂制备的原料		酚回收装置 回收的杂酚作 为副产品外售

然后送酚回收装置萃取处理。这样一方面回收了其中有用的物质,另外一方面也大大降低了污水处理场的处理难度,工艺处理前后污水性质变化如表 5 所示,表中数据说明煤液化污水经汽提和酚回收处理后,去除了约 98.8% 的油、99.4% 的  $H_2S$ 、99.4% 的  $NH_3$  和 98.2% 的酚。

在化工工艺装置能够直接使用工艺净化水,可以大幅度降低污水处理场的负荷,例如煤直接液化项目加氢稳定装置的反应系统水洗注水由原设计使用除盐水改为脱酚净化水后,煤液化(高浓度)污水生化处理线的加工负荷由 90 t/h 降低到了 60 t/h。

## 2.2 组合生化处理工艺

生化处理是有效去除污水中有机化合物、氨氮的方法,但针对不同的污水、不同的污染物含量要采

用不同的处理工艺。普通的含油污水采用常规的隔油-气浮-A/O 生化-生物过滤即可;但对于像煤液化高浓度污水,其中较高浓度的有毒、有害物质残留会严重影响生化处理系统的稳定运行,特别是煤液化废水对  $NH_3-N$  的生物硝化处理有一定的毒性,表现在 A/O 处理工艺极易受到影响,硝化反应难以建立,一旦受到影响,处理系统对氨氮几乎没有脱除能力,因此就要借助污水预处理工艺来解决这个问题;煤液化污水通过高效生化处理、粉末活性炭吸附以及絮凝沉淀-多介质过滤器-生物活性炭处理后的产品水也不能保证连续回用,因此就又采用了臭氧氧化工艺对生化处理后的煤液化高浓度废水进行了后处理。典型的煤制油含油污水、煤液化高浓度污水及煤制烯烃生化处理工艺如表 6 所示。

表 6 煤制油和煤制烯烃生化处理工艺

污水名称	处理量/ ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	气浮	预处理	生化	后处理	吸附过滤	沉淀-过滤-吸附
煤液化含油污水	204	涡凹气浮	无	A/O	无	无	絮凝沉淀-多介质过滤器-生物活性炭
煤液化高浓污水	150	涡凹气浮	高级氧化(AOP)	A/O/3T-BAF 生化	臭氧氧化	活性炭吸附	絮凝沉淀-多介质过滤器-生物活性炭
煤制烯烃污水	650	无	无	A/O/BAF	无		絮凝沉淀

## 2.3 废水除盐工艺

煤制油煤化工企业都会遇到含盐废水的处理问题,含盐废水主要来自除盐水和冷凝水站的排污、循环水场的排水,该类水质的特征是有机物和 COD 含量不高、但盐含量高,一般采用过滤和反渗透或电渗析的工艺来处理。

### 2.3.1 低含盐废水的处理

反渗透是一种以压力为推动力的膜分离过程;在依靠含盐废水给水泵的压力头,克服自然渗透压及膜的阻力,使水透过反渗透膜,将水中溶解盐或污染杂质阻止在反渗透膜的另一侧。膜是反渗透系统的核心部件,膜的好坏直接决定着反渗透系统的性能。采用不同材料制备的反渗透膜具有不同的化学稳定性、热稳定性、机械性能和亲和性能。目前常用的膜材料有:纤维素酯、二醋酸纤维素及三醋酸纤维

素;聚芳香酰胺;聚苯并咪唑、聚苯并咪唑酮、聚酰胺酰肼和聚酰亚胺<sup>[6]</sup>。神华煤制油和煤制烯烃项目都采用了反渗透膜处理含盐废水、回收其中大部分的水,如表 7 所示,反渗透膜系统的回收率可达 65% ~ 75%、回收的水用于循环水场补水。

### 2.3.2 浓含盐废水的处理

如表 7 所示,反渗透膜系统还会排出约占其总进水量 35% 的浓盐水,其电导率在 5 000  $\mu S/cm$ 、含盐量在 3 100 mg/L 左右<sup>[7]</sup>,国内外近年来对浓盐水进一步脱盐回收水的方法主要包括高效反渗透、真空膜蒸馏浓缩技术、正渗透技术、喷雾蒸发技术、冷冻法浓缩技术等。

ZL97197289 公开了一种处理浓盐水的高效反渗透技术(HERO<sup>TM</sup>)<sup>[8]</sup>,该系统可以回收浓盐水中高达 90% 以上的水,可靠性高;该高效反渗透(HERO<sup>TM</sup>)工艺允许进水水质有一定的负荷波动,高效反渗透系统不管是在进水 COD 高达 500 mg/L,还是硅含量高达 100 mg/L,亦或是含盐量(TDS)高达 9 900 mg/L 的工况下均能够稳定高效的运行;系统能够产出的高纯度、低含盐量、低 TOC(COD)的净化水,精制后可用于锅炉补给水,也可直接用于冷却水或其他用途。Aquatech 系统包含:石灰软化澄清池(高效澄清池)及污泥处理系统、预处理系统

表 7 反渗透膜处理含盐废水

项目	处理量	来水	反渗透产水及去向	浓盐水量及去向
煤炭直接液化	212	循环水排污、除盐车站、冷凝水站	157 深度处理	55 蒸发器
煤制烯烃	1400	生化再生水、循环水场排污、净水厂、自备电站等	950 循环水场补水	450 外排

(石英砂过滤器、钠离子交换器、弱酸阳床、脱碳塔)、超滤系统、反渗透系统、精处理系统,如图 1 所示。

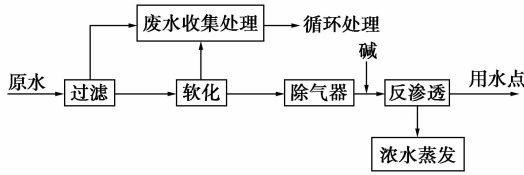


图 1 Aquatech 高效反渗透工艺

膜蒸馏技术是膜法与蒸馏法相结合的膜分离技术。真空膜蒸馏过程的操作温度相对其他膜蒸馏过程可以更低,渗透通量大;真空膜蒸馏的分离原理是被分离物质的热溶液通过分离膜一侧,另一侧抽真空,从而在膜两侧形成传递蒸汽压差,在真空侧产生单一的气态物质,经过冷凝成液体,从而实现溶液的浓缩和分离;真空膜蒸馏技术以膜两侧的压力差为驱动力,具有热利用效率高、传质阻力小、分离效率高、膜通量大、无透过物蒸发等优点<sup>[9]</sup>。王军等<sup>[10]</sup>研究表明,采用膜蒸馏浓缩技术处理电厂电导率为 2 860  $\mu\text{S}/\text{cm}$  的 RO 浓水时,通过预酸化调整热侧浓水的 pH 并控制浓缩倍数,可实现连续稳定运行;当控制膜热侧 RO 浓水的 pH 为 5、浓缩倍数为 10 时,可回收 RO 浓水中 85% 左右的水,在连续 180 h 的运行中,膜通量始终保持在 8  $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  左右、出水电导率稳定在 3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  左右。

高效电渗析是一种利用电能除去溶液中可溶矿物质离子的先进水处理技术。频繁倒极电渗析(EDR)法以选择性离子交换膜为分离介质,以直流电场为驱动力,可将电解质离子组分从水溶液和其他不带电组分中分离出来。在高效电渗析运行过程中,电极与淡水、浓水每小时都会自动反转 2~4 次。产生的离子反向运动以“电冲洗”的形式将膜表面上沉积离子或胶体物质除去;这种“电冲洗”可控制膜的污染,并能减少对原水的预处理工序,能够适应

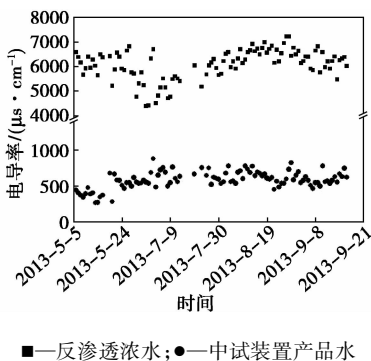


图 2 电渗析进水与产水的电导率

进水水质的波动。电渗析中试装置处理包头煤制烯烃 RO 产生的电导率为 4 000 ~ 5 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  的反渗透浓水,产水电导率稳定在 1 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以下,多数时间稳定在 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  左右,从电导率来看高效电渗析系统的产品水已明显优于黄河取水,满足作为工厂循环冷却水的补水;合格产品水的回收率在 85% 以上。试验结果如图 2 所示<sup>[7]</sup>。

### 2.4 蒸发结晶工艺

采用蒸发结晶法处理浓盐水是通过蒸发浓缩,使废水中具有结晶性能的溶质浓度达到过饱和状态,形成许多微小的晶核,晶核长大形成晶体析出,再进行固液分离、获得固态结晶体;其中废水中的水份吸热后汽化形成二次蒸汽,二次蒸汽冷凝后获得较纯净的水,可实现浓盐污水中混杂溶质与水的分离。在蒸发系统启动前,通过向料液中添加硫酸钙晶体(作为盐种),使浓盐水在循环过程产生硫酸钙等,沉淀在盐种上结晶增长。由于循环泵的机械搅动,打碎了这些固体颗粒,在蒸发器循环浓缩过程中产生了新的盐种,且连续产生。神华煤直接液化项目采用双效降膜蒸发器处理 RO 浓盐水、采用蒸发-结晶工艺处理催化剂废水,其结果如表 8 所示<sup>[11]</sup>, RO 浓盐水蒸发器回收的水的电导率为 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 催化剂废水蒸发器回收的水可以直接循环回催化剂制备装置使用。

表 8 蒸发结晶工艺处理煤液化废水结果

废水	工艺	进水		出水		浓缩液去向
		水量/ ( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ )	电导率/ ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	产水/ ( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ )	浓缩液/ ( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ )	
RO 浓盐水	蒸发	129	13000	118	11	蒸发塘
催化剂废水	蒸发 + 结晶	103	75200	98.3	—	结晶器

### 2.5 初级产品水深度精制工艺

煤制油化工工艺装置生产波动在所难免,因此生产装置产生废水的流量和性质都会发生变化,势必会影响污水处理场的操作和出水的水质;另外如果污水处理产水按照循环水场补水考虑时,由于冬季生产时循环水场的蒸发量和补水量较低,会造成回用水不能全部利用。因此大型煤制油煤化工厂在规划污水处理场回用水用途时,要考虑其回用水水质既能够满足循环水场的补水要求、又能够满足锅炉的补水要求。

神华煤直接液化含油污水生化处理后的尾水、煤液化高浓度污水经组合工艺处理后的尾水,还是含有少量的有机污染物和氨氮,有机污染物浓度虽

然不高,但可生化性差。通过 A/O + MBR + RO 深度处理,出水水质完全能够达到锅炉的补水要求。含盐废水蒸发器产生的再生水再通过超滤(UF) + 反渗透(RO)技术深度处理后,送锅炉回用。

### 3 现代煤制油、煤化工生产废水零排放方案实例与探讨

神华集团为了减少环境污染、降低水耗、保护煤制油化工企业所在地区的生态环境,在煤炭直接液化示范项目实现了生产废水零排放运行、新疆煤基新材料项目正在按照生产废水零排放的方案进行建设,同时也正在对包头煤制烯烃示范项目实现生产废水零排放的技术方案进行研究工作。

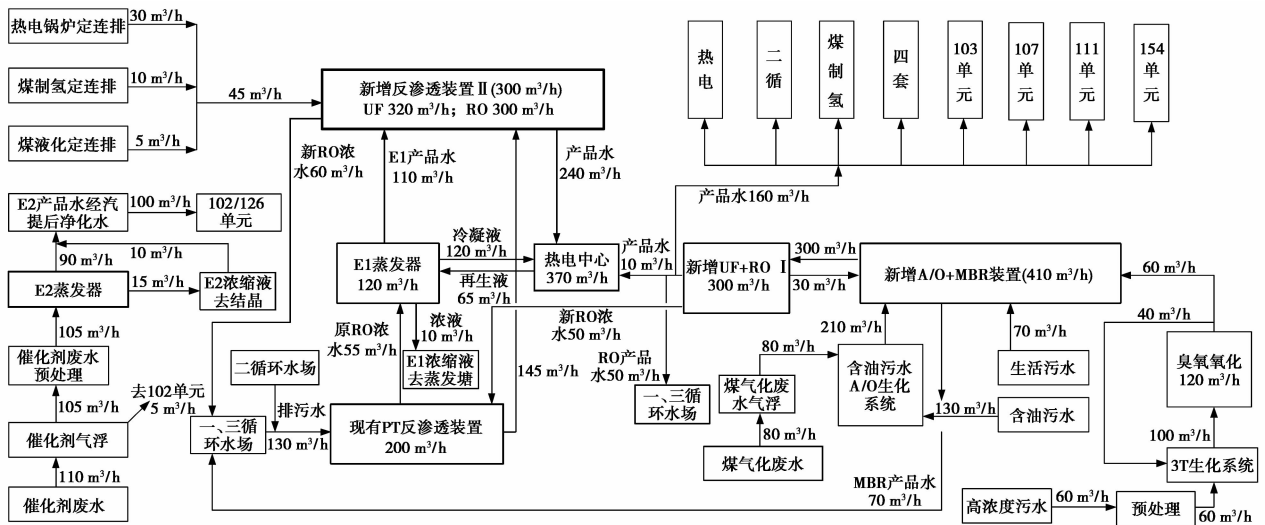


图3 神华煤直接液化示范工程污水处理场冬季水平衡图

### 3.2 煤基新材料项目生产废水零排放实施方案

煤基新材料项目是以煤炭为原料,通过煤气化制合成气、合成气制甲醇、甲醇制低碳烯烃、烯烃聚合生产聚烯烃塑料的煤化工项目。该项目的甲醇制烯烃(MTO)装置的反应生成水先经过隔油、涡凹气浮、溶气气浮与煤气化污水、全厂含油污水和生活污水混合后经“A/O生化池+BAF曝气生物滤池”处理;生化净化水与循环水场排污、除盐站排水混合,经“高密池+V型滤池+超滤+RO反渗透”处理回收其中75%的水;RO剩余的25%的浓盐水经“化学软化沉淀+砂滤+离子交换软化+超滤+高效反渗透”处理回收其中85%的水回用;从高效反渗透装置出来的超浓盐水再经蒸发、结晶回收其中的剩余水。新疆煤基新材料项目设计产生各种生产废水1400 t/h,经上述过程处理后的各种再生水将全部回用至各生产装置,仅产生固体盐2.5 t/h,污

### 3.1 煤炭直接液化生产废水零排放实例

神华煤炭直接液化工程是年生产油品108万t的工业示范工程,该工程包括了煤气化制氢、煤液化制油、液化油加氢提质、气体脱硫、自备电站、环境保护等54个单元和装置,工艺系统复杂,生产过程中产生的污水数量大、类型多、处理难度大。该示范工程按照生产污水的性质分成了4类,分别采用不同的工艺进行处理,之后又对各条生产线的再生水进行了深度精制,深度精制水适合于全厂任何一个用水点使用,处理后的水全部回用,实现了生产废水的零排放,该示范工程冬季生产期间(再生水难平衡的季节)污水处理场不同废水的处理与精制流程,以及水平衡情况如图3所示。

水处理场水平衡如图4所示。

### 3.3 电渗析用于煤化工生产废水零排放的探讨

神华包头煤制烯烃示范项目针对排放的工业废水和生活污水,在生化处理达标的基础上,进一步采用基于石灰软化+超滤(UF)+反渗透(RO)的组合工艺法,实现进一步处理进而大部分回用的目的,处理后的脱盐水送往厂区循环水系统,作为循环冷却水补水。其回用水站的反渗透系统已投入使用多年,反渗透系统设计处理能力约1400 t/h,经过超滤、反渗透系统后,回收脱盐水约950 t/h,然而,反渗透系统仍然产生接近35%、约450 t/h的反渗透浓水。针对反渗透浓水进行有效处理从而回用,进一步提高全厂废水的综合回用率,大幅度减少废水排放量以及随废水一同排放的化学耗氧量(COD)总量,对于公司的发展具有重要意义。

GE公司在包头煤制烯烃示范工程现场建设了

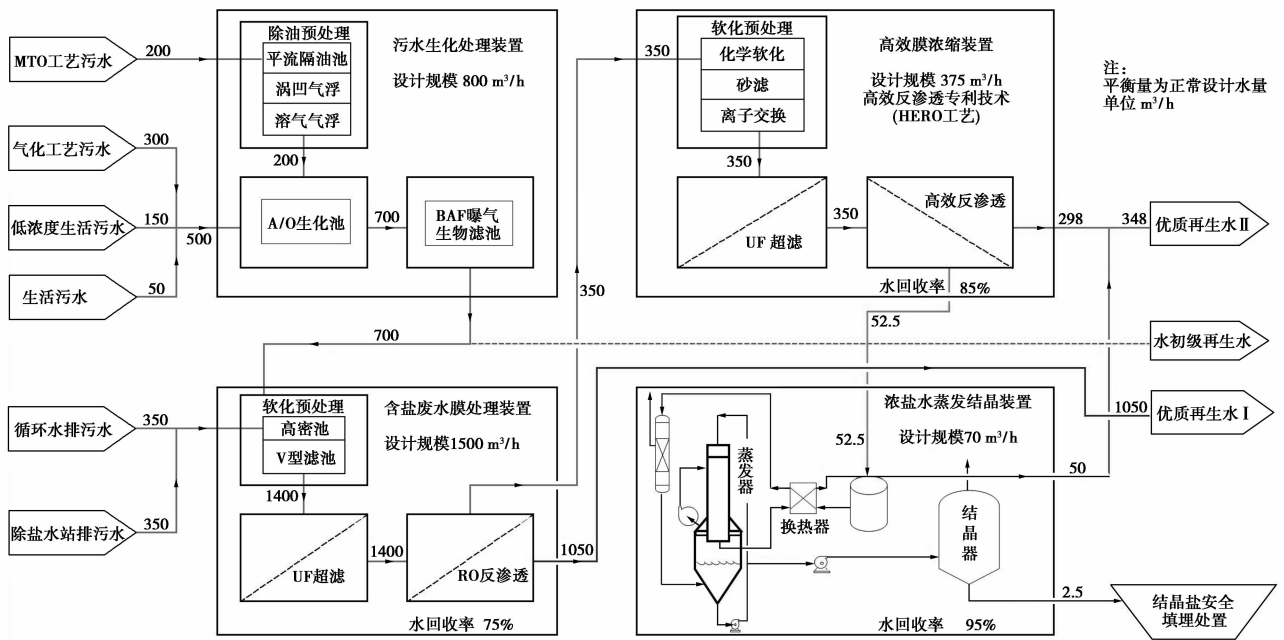


图 4 新疆煤基新材料项目污水处理厂水平衡图

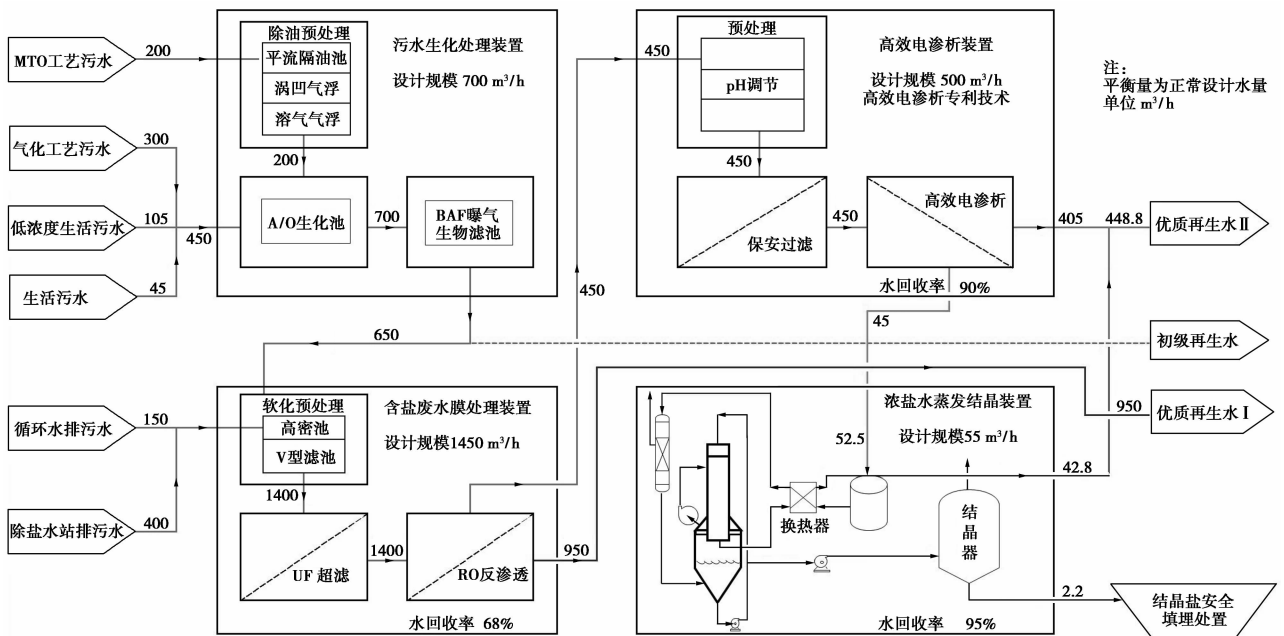


图 5 包头煤制烯烃示范工程污水处理厂规划水平衡图

5 m<sup>3</sup>/h 电渗析中试装置, 根据其 2 500 h 的运行结果表明, 试验后期其产水率稳定在 95% 左右、COD 的去除率为 46% 左右, 据此包头煤制低碳烯烃示范工程按采用电渗析工艺的生产废水零排放方案如图 5 所示。图中数据表明, 包头煤制烯烃示范工程在目前污水处理和回用水装置的基础上, 再建设规模为 500 t/h 的高效电渗析装置和规模为 50 t/h 的蒸发、结晶装置就可以实现生产废水全部回用处理、生产废水零排放。

## 4 结论

(1) 现代煤制油煤化工项目采用先进可靠的污水处理技术实现生产废水零排放是节约水资源、保护生态环境、支持高碳能源向低碳能源转换可持续发展的的重要举措。

(2) 采取适宜的工艺处理技术、组合生化技术、先进的膜分离技术、蒸发和结晶技术以及深度精制

(下转第 18 页)

和执行将成为大型现代煤化工一体化项目实现“安、稳、长、满、优”运行的重要保障。

除了《工程统一规定》及设计基础、业主总体设计管理内容还包括采购技术文件模板、界区条件表、管道等级表、管道综合图、物料和公用工程平衡、界面分工和协调原则、工程设计深度要求、设计裕量管理、整定值管理等。

### 1.3 设计管理组织

在神华煤直接液化项目的建设过程中,设计管理组织形式主要分为两种。一是部门集中管理,无论是公司成立前的工程部,还是公司成立后设立的设计管理部,其职能主要是负责项目前期和基础设计的管理工作。二是项目部模式下的矩阵式管理,在项目进入开工阶段后,公司成立了直接液化项目部,各项目组直接对口各 EPC 承包商或设计单位进行设计工作的日常管理,设计管理部则向各项目组派遣设计经理和必要的专业工程师,并负责项目总体设计条件的管理、界面协调、工程统一规定的维护、组织阶段性设计审查、重大和共性技术问题的解决、工程设计资料管理等事宜。为此,设计管理部将有限的技术资源划分为设计协调组、总体管理组、审查协调组、文档管理组等职能小组,并随着项目实施的进展进行必要的适时调整。基本满足了项目建设期间对设计管理的需求<sup>[2]</sup>。

在煤直接液化、煤制烯烃等项目中都采用了首次示范或具有世界领先水平的工艺技术,随着发现和攻克一个又一个难题,项目会不断被完善和优化,全厂系统必须在最短的时间内做出最准确的调整。依靠业主自己的项目总体管理团队能更及时、准确、

果断地做出决策,避免了全面依靠承包商而存在的沟通、协调、人力、程序等方面因素影响项目的推进。

技术管理系统组织机构设置本着充分利用现有技术资源原则,技术管理系统是在神华煤直接液化项目部及煤制油厂已设置机构的基础上予以强化的功能,并通过内部技术管理系统的运作,以期获得社会优势技术资源的支持和协作。具体如图 1 所示。

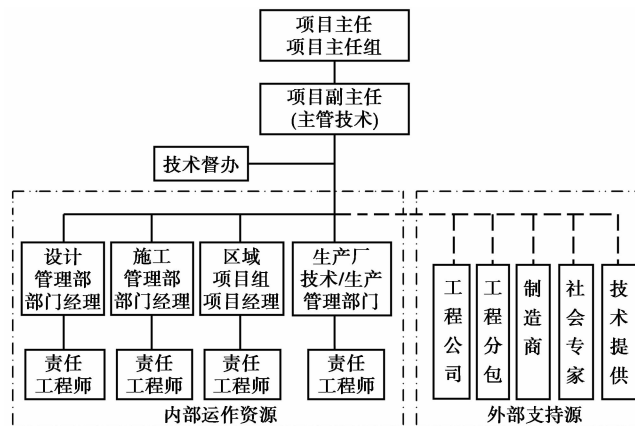


图 1 技术管理系统组织机构设置

### 1.4 统一规定及程序文件的编制和执行

煤直接液化项目先期工程由十几套工艺装置和若干公用、辅助设施组成,而且还要兼顾未来规划和发展,如何确定统一的技术要求,并使得参与项目建设的各方能够从不同的利益层面、不同的设计理念和不同的工程经验出发,充分理解和准确执行这些要求,是该项目面临的巨大挑战之一。本项目依托国内外有经验的工程公司,组织编写了 153 个涉及各专业的技术基础和工程统一规定,并根据项目执行过程中的具体情况适时进行修改和补充,为 EPC

(上接第 16 页)

处理技术,可以有效地适应现代煤制油煤化工产生的污水数量大、类型多、污染物难以处理的特性。根据项目生产废水水质的特性,采用上述不同工艺技术的集成,可以实现现代煤制油煤化工项目生产废水的零排放。

### 参考文献

- [1] 吴秀章. 煤炭直接液化含酚酸性水处理方案探讨[J]. 工业水处理, 2009, 29(2): 80-82.
- [2] 刘鸿亮, 曹凤中. 煤化工产业的发展与环境资源约束[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2008, 8(1): 1-4.
- [3] 吴秀章. 典型煤炭清洁转化过程的二氧化碳排放[R]. 化石能源的清洁高效可持续开发利用(第二届中国工程院/国家能源局能源论坛)论文集[C]. 北京: 煤炭工业出版社, 2012: 430-437.

- [4] 吴秀章, 崔永军. 神华 10 万 t/a CO<sub>2</sub> 盐土层封存研究[J]. 石油学报(石油加工), 2010, (增刊): 236-239.
- [5] 吴秀章. 中国二氧化碳捕集与地质封存首次规模化探索[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [6] 周军, 方少明, 张宏忠, 等. 反渗透膜在水处理中的研究进展[J]. 过滤与分离, 2006, 16(9): 12-15.
- [7] 陈海斌. 煤化工反渗透浓盐水处理和回用的探讨[J]. 神华科技, 2012, 10(4): 86-89.
- [8] 德巴斯什·穆雷帕德黑. 高效率操作的反渗透方法和设备: 中国, ZL97197289. 3[P]. 2004.
- [9] 蔡月圆, 费学宁, 苑宏英, 等. 浓盐水处理技术研究进展[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(4): 93-98.
- [10] 王军, 栾兆坤, 曲丹, 等. 疏水膜蒸馏浓缩技术用于 RO 浓水回用处理的研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(19): 1-5.
- [11] 李成, 王立新, 朱德汉. 煤直接液化项目污水处理零排放工艺中蒸发技术的应用[J]. 神华科技, 2013, 11(4): 74-78. ■