

# 油制气废水中毒害有机物分析及一般特征

慎义勇<sup>1</sup>, 傅家谟<sup>1</sup>, 盛国英<sup>1</sup>, 韦朝海<sup>2</sup> (1. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640, E-mail: shenyi@gig.ac.cn; 2. 华南理工大学化工学院, 广州 510641)

**摘要:**对油制气废水特征进行较全面的调查和分析, 给出 GC/MS(气相色谱-质谱联用)分析的一般前处理流程、废水的一般特征数据及废水中芳烃类毒害有机物的 GC/MS 分析结果。废水中 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、酚、氨氮、可萃取有机物的值分别可达 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ): 400 ~ 600、60 ~ 80、20 ~ 30、60 ~ 80、170 ~ 200。GC-MS 检测到 79 种芳烃类有机物, 这些有机物进、出水浓度总和分别为  $140.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $129.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。分析数据表明油制气废水毒性强, 较难进行生物处理。

**关键词:**油制气过程废水; 毒害有机物; GC/MS 分析

中图分类号: X832 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)01-05-109

## Analysis of Toxic Organic Compounds in MGP Wastewater and Investigation of Wastewater's General Characteristics

Shen Yiyong<sup>1</sup>, Fu Jiamo<sup>1</sup>, Sheng Guoying<sup>1</sup>, Wei Chaohai<sup>2</sup> (1. SKLOG, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China E-mail: shenyi@gig.ac.cn; 2. College of Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

**Abstract:** A full-scale investigation and analysis of MGP (Manufacture Gas from Petroleum) Wastewater was carried out in this study. It's the first time that this paper publicizes the wastewater's general data, pretreatment method of GC/MS analysis and compositions of toxic organic compounds. The concentration of wastewater's COD<sub>Cr</sub>, BOD<sub>5</sub>, phenolic,  $\text{NH}_4^+$  and extractive-organic is:  $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \sim 600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \sim 80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \sim 80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  and  $170 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \sim 200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  respectively. There are 79 kinds of aromatic compounds were detected by GC/MS, the total concentration of influent and effluent is  $140.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  and  $129.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  respectively. The data proved that MGP wastewater is toxic and difficult for bio-treatment.

**Keywords:** MGP wastewater; toxic organic compounds; GC/MS analysis

近年来的研究发现, 水体中检出的毒害有机物在种类及浓度方面有增加的趋势<sup>[1-3]</sup>, 在城市污水处理厂和自来水中也已检出多种毒害有机物<sup>[4-8]</sup>。

油制气生产过程是重油的催化裂解过程, 油制气废水一直是参照一般石油化工厂的控制和处理模式, 忽略了生产过程产生的有毒副产物对废水处理效果的影响。迄今为止, 对油制气过程废水的研究报道不多, 有关该类废水的数据也很少。已有的研究也仅考虑提高油制气废水中氨氮的处理效果, 对该类废水的生物毒害性没有引起足够重视。

### 1 材料及方法

#### 1.1 仪器与试剂

气相色谱-质谱联用仪 (HP5890 II GC/5972

MSD)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 中性, 颗粒度 100 ~ 200 目。使用前在马弗炉中 (450 °C) 干燥 4h 进行活化。SiO<sub>2</sub>, 颗粒度 80 ~ 100 目。使用前加热干燥 (150 °C) 5h。必须在温度高于 100 °C 时将 SiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 放入干燥瓶里保存。

实验采用的所有溶剂均为分析纯并需二次蒸馏, 以去除溶剂中可能影响分析的杂质。

多环芳烃标准物质<sup>[9-10]</sup>: 萘、苊、二氢苊、芴、菲、蒽、萤蒽、芘、苯并[a]蒽、蒽、蒹、苯并[b]萤蒽、苯并[k]萤蒽、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽、苯

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (49632060); 广东省自然科学基金项目 (963043)

作者简介: 慎义勇 (1969 ~), 男, 博士研究生。

收稿日期: 2000-05-03

并[ghi]萘混合标样(US-106 N)、多环芳烃回收率指示物标样(Surrogates):萘- $d_8$ 、二氢萘- $d_{10}$ 、菲- $d_{10}$ 、蒽- $d_{12}$ 、菲- $d_{12}$ (US-108 N)混合标样,购自美国 ULTRA Scientific.内标为六甲基苯,购自 Aldrich 公司,分析纯.

## 1.2 常规分析方法

COD<sub>Cr</sub>、酚类化合物、氨氮:采用国家环保局制定的标准方法<sup>[11]</sup>

可萃取有机物总量:以二氯甲烷为萃取剂进行萃取.定容,紫外分光光度计 230 nm 处测试.该指标可表示油制气废水中有机物的含量.

可萃取有机物标准物:采用二氯甲烷对大体积(5~10 L)的油制气废水进行萃取分离后,用旋蒸仪将萃取物中的萃取剂旋蒸除去,将剩余部分放于干燥瓶内恒重,将恒重后的化合物称重,用二氯甲烷配制成一定浓度的标准储备液.

## 1.3 GC/MS 分析流程及条件

GC/MS 分析的预处理流程见图 1.

层析柱:SiO<sub>2</sub> 在上部,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在下部,装柱需敲打使层析柱密实.

HP-5 色谱柱(50 m × 0.32 mm × 0.17 μm),程序升温:45 °C  $\xrightarrow{3\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}}$  200 °C  $\xrightarrow{5\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}}$  285 °C (30 min);无分流进样;载气为氦气,流速 2.0 ml · min<sup>-1</sup>;柱头压 10.0 psi.

仪器最小检测限为 0.13 ng,按照图 1 所示流程进行预处理的方法最小检测浓度为 3.25 μg · L<sup>-1</sup>.

回收率及重复性测试:对多环芳烃标准物质和多环芳烃回收率指示物(Surrogates)标样配制的配水,按照图 1 所示进行 3 样平行测试.得到的 Surrogates 中各有机物的回收率平均值 > 93.1%.多环芳烃标准物中各有机物的 3 次测试相对标准偏差 < 17.01%.各标准化化合物的平均回收率及相对标准偏差都在美国 EPA 规定的范围内,证明本实验方法可靠而稳定.

## 2 结果

油制气生产过程实际上是重油裂解过程.该过程废水是一种含石油类有机物的废水,且比一般的石油化工厂废水的成分更复杂,具更强的毒性.没有进行浮选处理的油制气废水表面漂浮着褐色油类物质,废水表面漂浮的褐色油渣可经浮选除去.本研究选择某油制气厂经浮选后的废水和处理设施终排水为研究对象(废水分析取样点见图 2).

### 2.1 传统生物处理设施对废水处理能力的初步观察

传统的油制气废水处理全流程见图 2.

厌氧部分:厌氧处理前后的 COD<sub>Cr</sub> 和 BOD<sub>5</sub> 几乎没

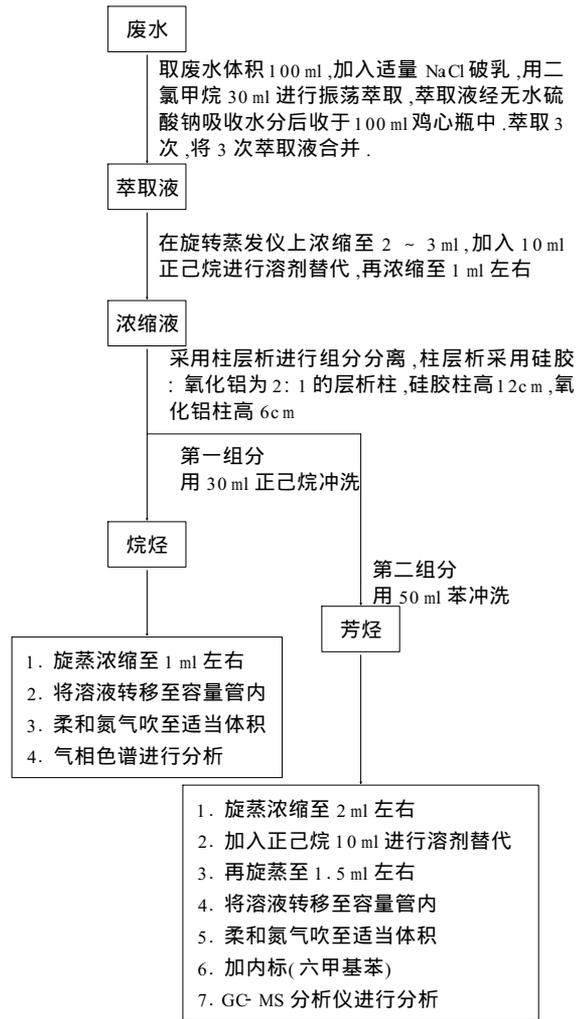


图 1 废水中有机物分析流程

有发生变化.对厌氧污泥进行接种培养,发现污泥中的厌氧菌种极少,厌氧设施只是起着沉淀池的作用.分析认为,可能是由于油制气废水的强毒性而使得厌氧微生物无法利用废水中的基质,经过一段时间之后,厌氧设施由于微生物无法增殖而形同虚设.

好氧部分:同厌氧池相比,曝气池出水的 COD、BOD 去除率有些提高,但远远达不到废水排放标准.现场观察曝气池内只有少量的污泥存在,经菌落培养表明污泥内菌种很少.可见,废水的毒性和生物难降解特性抑制了好氧菌种的增殖,一般的好氧菌种无法处理该类废水.由于强力而持续的曝气作用,出水中的挥发酚得到了较好的去除,但被吹出废水的挥发类有机物污染了周围的大气环境.

传统的废水处理系统不能有效处理油制气废水,为提高废水的处理效果,有必要对传统处理方法进行

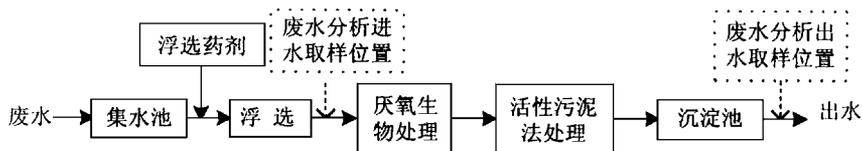


图 2 油制气废水处理的传统流程

各方面的改进。

## 2.2 废水一般特征调查

对生物处理设施进水进行数月的观察和各项指标分析,表 1 给出了废水各指标变化范围及异常情况下出现的结果,最大值出现在浮选效果不好的时候;若浮选设施运行稳定,废水的各项指标基本维持稳定。

表 1 废水的一般特征

废水指标	废水指标结果(进水)
废水流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	300,但随着产气量的增加废水量有大幅增加的趋势。
颜色	浮选后废水为亮黄色;若浮选结果不好,则为褐色。
气味	刺鼻气味,对工厂周围的农作物有负面影响。
废水的生物降解性	浮选后出水接种原废水处理设施中的活性污泥,在数月内, $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 基本不发生变化。
pH	6.5 ~ 7.5,较稳定。
$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	400 ~ 600,最大可达 800。
$\text{BOD}_5/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	60 ~ 80,废水异常时仍然较稳定。
氨氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	60 ~ 80,最大可达 120。
酚/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	20 ~ 30,最大可达 50。
可萃取有机物/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	170 ~ 200,最大可达 300。
其它 <sup>1)</sup>	4℃时开始凝固并分层,上部清澈透明,下部为深褐色,上清液
烷烃	$\text{COD}_{\text{Cr}}$ 在 100 ~ 150 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,气相色谱分析表明无烷烃存在。

1) 该数据有可能反映了废水中完全处于溶解状态的有机物质,同时也说明废水中大部分污染物在低温时的溶解度很低或低温时乳化态被破坏。

## 2.3 芳烃类化合物分析结果

油制气废水中有机物以烷烃类、芳烃类及非烃类化合物为主,采用气相色谱分析烷烃,采用 GC/MS 分析废水中的芳烃类化合物,所采用废水的一般特征数据见表 2,废水的 GC/MS 特征谱图见图 3。

表 2 GC/MS 分析所采用废水的特征数据/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 

项目	pH	$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{BOD}_5$	氨氮	酚类	可萃取物
进水	6.9	436	67	70	15	179
出水	7.0	389	32	65	10	165

对多个废水样品的气相色谱分析表明废水中不含有烷烃(见表 1)。

非烃组分主要由胶质和沥青质组成,其中组分的进一步分析较困难,其含量可由下式间接表示: $C_{\text{NHC}} = C_{\text{TEO}} - C_{\text{AR}} - C_{\text{AL}}$ ,其中  $C_{\text{NHC}}$  表示非烃有机物的总浓度, $C_{\text{TEO}}$  表示总可萃取有机物浓度, $C_{\text{AR}}$  表示芳烃类有机物总浓度, $C_{\text{AL}}$  表示烷烃总浓度。

进出水中芳烃类化合物分析结果见表 3,GC/MS 分析结果中给出了各化合物的保留时间及分子式,以便其他的研究者参照对比,从表 3 分析结果可看出,进水和出水中含有的芳烃类化合物近 80 种,这些化合物属于美国职业卫生研究所列出的 25043 种毒害物之列,有些还属于 EPA 所列 114 种优控有机物之列,这些有机物大部分能够在环境或动植物体内蓄积,对人体产生长远不良影响,这些化合物在进水、出水中的浓度极其相近,废水经过活性污泥法处理后,其中的毒害有机物没有明显的改变,所列出的毒害有机物之中,有些已经由有关国家或部门制定排放标准进行限制,由表 3 可以看出油制气废水中这些化合物的浓度远高于所规定的排放标准,其中,出水中苯并[a]芘的浓度竟然超出我国废水排放标准的  $1.16 \times 10^5$  倍。

由于表 3 中所列出的大部分毒害有机物并不能由  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  氧化,因此环境检测部门所测定的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  中并不完全包括这些有机物对 COD 的贡献,表 3 中给出了废水中芳烃类有机物总浓度及总的理论 COD 值,进水和出水中芳烃类有机物的总浓度分别达到 140.79  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  及 29.11  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,进、出水中理论 COD 分别高达 435.53  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、395.50  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对于油制气废水,即使 COD 的去除率达到 100% 也不表示其处理后出水可以排放,对于该类废水,应重点考虑废水中毒害有机物对排放水体的影响,氨氮等常规指标可以放于次要位置考虑,因此,对该类废水应采取异于传统的监测和控制方式,即监测和控制以毒害有机物为主,常规指标为辅。

## 3 结论

油制气废水是一类毒性强,不易生物处理的有机废水,虽然该废水中氨氮的含量很高,但相对于其它类的废水而言对水体氨氮污染的贡献不大,油制气废水对水体的危害主要是毒害有机物,对油制气废水处理与排放应执行一套新的标准,这种标准应以控制排水

中的毒害有机物为首要目标,而将  $N-NH_4^+$ 、P、COD 等的去除放于次要位置。

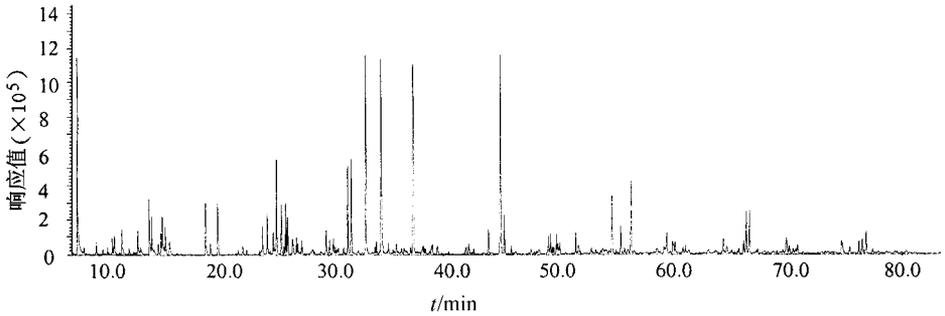


图 3 油制气废水 GC/MS 分析特征谱图

表 3 GC/MS 分析从废水中检测到的芳烃类化合物<sup>1)</sup>

编号	检出化合物	分子式	保留时间 / min	进水/ $mg \cdot L^{-1}$		出水/ $mg \cdot L^{-1}$		排放标准 / $mg \cdot L^{-1}$	标准制定 部门 <sup>[12,13]</sup>
				毒物浓度	理论 COD	毒物浓度	理论 COD		
1	乙基苯	$C_8H_{10}$	5.98	13.52	50.1	11.00	41.47	0.057	U.S.EPA
2	二甲基苯	$C_8H_{11}$	6.21	14.40	54.9	12.79	48.4	0.0012	U.S.EPA
3	萘	$C_{10}H_8$	19.37	7.28	28.9	6.77	24.3	0.059	U.S.EPA
4	苯并[b]噻吩	$C_8H_6S$	19.77	1.59	3.71	1.35	3.15	2.00	CIS
5	2-甲基萘	$C_{11}H_{10}$	24.72	3.69	11.22	3.17	9.64	+	
6	1-甲基萘	$C_{11}H_{10}$	24.72	4.06	12.34	3.20	9.73	+	
7	联苯	$C_{12}H_{10}$	28.70	2.86	8.61	2.17	6.53	0.001	CIS
8	2,6-二甲基萘	$C_{12}H_{12}$	29.35	0.04	0.12	0.03	0.09	+	
9	1,3-二甲基萘	$C_{12}H_{12}$	29.84	0.35	1.07	0.23	0.70	+	
10	1,4-二甲基萘	$C_{12}H_{12}$	30.49	0.55	1.68	0.29	0.89	+	
11	2,3-二甲基萘	$C_{12}H_{12}$	30.64	0.31	0.95	0.17	0.52	+	
12	二氫萘	$C_{12}H_8$	31.28	5.00	14.74	4.54	13.38	0.019	U.S.EPA
13	1,2-二甲基萘	$C_{12}H_{12}$	31.34	0.22	0.67	0.13	0.40	+	
14	乙基萘	$C_{12}H_{12}$	31.49	0.09	0.28	0.04	0.12	+	
15	4-甲基联苯	$C_{13}H_{12}$	33.40	0.21	0.64	0.10	0.31	+	
16	2-甲基联苯	$C_{13}H_{12}$	33.50	0.31	0.95	0.14	0.427	+	
17	1,6,7-三甲基萘	$C_{13}H_{14}$	34.50	0.11	0.34	0.10	0.31	0.01	FL
18	二苯呋喃	$C_{12}H_8O$	34.66	20.41	52.45	19.75	50.75	+	
19	1,4,6-三甲基萘	$C_{13}H_{14}$	35.14	0.04	0.12	0.04	0.12	0.01	FL
20	2,3,6-三甲基萘	$C_{13}H_{14}$	35.33	0.05	0.16	0.05	0.16	0.01	FL
21	芴	$C_{13}H_{10}$	37.20	0.37	1.11	0.29	0.87	0.059	U.S.EPA
22	3,4'-二甲基联苯	$C_{14}H_{14}$	37.69	0.02	0.06	0.02	0.06	+	
23	3,3'-二甲基联苯	$C_{14}H_{14}$	37.82	0.03	0.09	0.05	0.15	+	
24	甲基-二苯呋喃	$C_{13}H_{10}O$	38.24	0.92	2.43	1.34	3.53	+	
25	苯并[b]萘[2,1-d]呋喃	$C_{16}H_{10}O$	56.48	0.01	0.03	0.02	0.05	+	
26	苯并[b]萘[2,3-d]呋喃	$C_{16}H_{10}O$	57.26	0.06	0.16	0.10	0.26	+	
27	2-甲基芴	$C_{14}H_{12}$	41.31	0.01	0.03	0.01	0.03	+	
28	4-甲基芴	$C_{14}H_{12}$	41.96	0.11	0.37	0.08	0.27	+	
29	甲基芴	$C_{14}H_{12}$	41.96	0.36	1.22	0.27	0.92	+	
30	1-甲基芴	$C_{14}H_{12}$	42.29	0.20	0.68	0.15	0.51	+	
31	蒽	$C_{14}H_{10}$	45.06	14.97	43.43	13.23	38.38	0.059	U.S.EPA
32	二苯并噻吩	$C_{12}H_8S$	45.76	0.01	0.03	0.02	0.05	+	
33	二甲基芴	$C_{15}H_{14}$	46.36	0.03	0.09	0.06	0.18	+	
34	4-甲基-二苯并噻吩	$C_{13}H_{10}S$	48.06	0.02	0.05	0.03	0.08	+	
35	2-甲基菲	$C_{15}H_{12}$	49.21	0.84	2.52	0.88	2.64	+	
36	4/9-甲基菲	$C_{15}H_{12}$	49.40	0.85	2.55	1.05	3.15	+	
37	1-甲基芴	$C_{15}H_{12}$	50.06	0.56	1.68	0.54	1.62	+	
38	4,5-二甲基菲	$C_{16}H_{14}$	51.62	0.01	0.03	0.01	0.03	+	
39	3,6-二甲基菲	$C_{16}H_{14}$	52.46	0.01	0.03	0.01	0.03	+	
40	2,5-二甲基菲	$C_{16}H_{14}$	53.08	0.08	0.24	0.08	0.24	+	
41	2,7-二甲基菲	$C_{16}H_{14}$	53.33	0.15	0.45	0.08	0.24	+	
42	二甲基菲	$C_{16}H_{14}$	53.47	0.58	1.76	0.47	1.42	+	
43	2,3-二甲基菲	$C_{16}H_{14}$	53.64	0.08	0.24	0.10	0.30	+	
44	荧蒽	$C_{16}H_{10}$	54.04	0.04	0.12	0.03	0.09	0.068	U.S.EPA

续表 3

编号	检出化合物	分子式	保留时间 / min	进水/ mg·L <sup>-1</sup>		出水/ mg·L <sup>-1</sup>		排放标准 / mg·L <sup>-1</sup>	标准制定 部门 <sup>[12,13]</sup>
				毒物浓度	理论 COD	毒物浓度	理论 COD		
45	苳	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	55.54	0.87	2.61	0.74	2.22	0.067	U.S.EPA
46	三甲基菲	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub>	57.33	0.22	0.67	0.15	0.46	+	
47	甲基苳	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub>	58.68	3.94	11.67	3.54	10.49	+	
48	苯并[ a ]苳	C <sub>17</sub> H <sub>11</sub>	59.33	0.14	0.42	0.18	0.54	+	
49	2,3-苯并苳	C <sub>17</sub> H <sub>11</sub>	59.54	1.52	4.50	1.30	3.85	+	
50	苯并[ b ]苳	C <sub>17</sub> H <sub>11</sub>	60.26	0.47	1.39	0.56	1.66	+	
51	二甲基苳	C <sub>18</sub> H <sub>14</sub>	62.91	0.67	2.02	0.62	1.87	+	
52	苯并[ b ]萘[ 2,1-d ]噻吩	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> S	63.95	0.01	0.03	0.02	0.06	+	
53	苯并[ ghi ]苳	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	64.37	0.05	0.15	0.07	0.21	+	
54	苯并[ b ]萘[ 2,3-d ]噻吩	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> S	64.47	1.60	4.27	1.36	3.63	+	
55	苯并[ b ]萘[ 1,2-d ]噻吩	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> S	65.70	1.21	3.23	1.08	2.88	+	
56	苯并[ a ]苳	C <sub>18</sub> H <sub>11</sub>	65.94	0.07	0.20	0.08	0.23	0.059	U.S.EPA
57	苳	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	66.45	2.6	7.6	2.13	6.23	0.059	U.S.EPA
58	甲基苯并[ a ]苳	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub>	67.23	0.03	0.09	0.10	0.30	+	
59	2-甲基苳	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub>	69.15	0.02	0.06	0.03	0.09	+	
60	5-甲基苳	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub>	69.48	0.75	2.23	0.68	2.02	+	
61	4-甲基苳	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub>	69.67	0.25	0.74	0.68	2.01	+	
62	6-甲基苳	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub>	70.05	1.47	4.37	1.71	5.08	+	
63	1-甲基苳	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub>	70.74	2.14	6.37	1.59	4.76	+	
64	苯并[ i+k ]苳	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	73.84	2.87	8.38	2.62	7.65	0.11	U.S.EPA
65	苯并[ b ]苳	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	74.17	1.68	4.91	1.37	3.97	0.11	U.S.EPA
66	苯并[ a ]苳	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	74.44	1.95	5.69	1.88	5.45	+	
67	7,12-二甲基苯并[ a ]苳	C <sub>20</sub> H <sub>15</sub>	74.50	0.13	0.38	0.30	1.10	+	
68	苯并[ e ]苳	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	75.69	0.65	1.90	0.73	2.12	0.002	U.S.EPA
69	苯并[ a ]苳	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	76.56	2.13	6.22	1.20	3.48	0.00003	ZHB
70	二萘嵌苯(苳)	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	76.90	3.54	10.34	3.48	10.09	0.01	U.S.EPA
71	茛并[ 1,2,3-cd ]苳	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	83.69	0.01	0.03	0.01	0.40	+	
72	二苯咪喃[ a,j ]苳	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	83.78	1.84	5.33	1.68	4.87	+	
73	茛并[ 1,2,3-cd ]苳	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	84.43	0.51	1.48	1.09	3.16	0.02	U.S.EPA
74	二苯咪喃[ a,h ]苳	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	84.54	2.31	6.70	2.45	7.10	0.055	U.S.EPA
75	二苯咪喃[ a,c ]苳	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	85.55	2.43	7.04	2.10	6.09	+	
76	苯并[ b ]苳	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	85.86	1.59	4.61	2.14	6.20	+	
77	(二萘品并苯)苳	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	85.88	3.67	10.64	3.60	10.44	+	
78	苯并[ g,h,l ]苳	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	86.80	0.14	0.40	0.10	0.29	0.0055	U.S.EPA
79	二苯并[ def,mno ]苳	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	87.28	1.9	5.51	2.76	8.00	+	
	总计			140.79	435.53	129.11	395.497		

1) + 表示虽然目前没有确定的标准限制该物质的排放,但属于美国职业卫生研究所列出的有毒化合物。U.S.EPA:美国国家环保局;ZHB:中国国家环保局;FL:美国佛罗里达州;CIS:独联体。

## 参考文献:

- 杨艳红,傅家谟,盛国英. 珠江三角洲一些城市水体中微量有机氯化物的初步分析. 环境科学学报,1996,16(1):59~65.
- 侯剑秋. 广州市区珠江河段水污染情况浅析. 生态科学,1993,(增刊):14~20.
- Daniel J Fisher, Melvin H Knott, Bonnie S. Turley. Acute and chronic toxicity of industrial and municipal effluents in Maryland, U.S.. Water Environ. Res.,1998,3(10):101~107.
- 王新明,盛国英,傅家谟. 大坦沙污水处理厂进出水有机污染物初步分析. 广州环境科学,1994,(2):13~16.
- 刘文君等. 某市饮用水水质生物稳定性研究. 环境科学,1999,20(2):34~37.
- 韦朝海,钱宇. 珠江广州河段水污染综合整治的探讨. 环境保护,1997,(10):5~7.
- 盛国英,傅家谟,闵育顺等. 广州市环境中优控有机污染物初步研究. 广州环境科学,1995,10(2):28~32.
- 杨艳红,傅家谟,盛国英. 珠江三角洲一些城市水体中微量有机污染物的初步研究. 环境科学学报,1998,18(3):271~276.
- 林峥,麦碧娴,张干. 沉积物中多环芳烃和有机氯农药定量分析的质量保证和质量控制. 环境化学,1999,18(2):115~121.
- U.S.EPA SW-846. Test Methods for Evaluating Solid Waste( Third Edition) .1986.
- 国家环保局.水和废水检测分析方法. 北京:中国环境科学出版社,1989.
- U.S.EPA. Universal Treatment Standards. 40CFR 1997, Part 268.45.
- Marshall Sittig. World wide limits for toxic and hazardous chemicals in air, Water and Soil. New Jersey( USA): Noyes Publications,1994.