

分析测试

自动顶空固相微萃取-GC/MS法 测定表观污染地表水典型臭味物质的 优化及应用研究

魏彬^{1,2}, 孟欣^{1,2}, 何杰^{1,2}, 李学艳^{1,2*}, 朱学惠³

(1. 苏州科技大学环境科学与工程学院, 江苏苏州 215009;

2. 苏州科技大学环境生物技术研究所, 江苏苏州 215009;

3. 江苏省优联检测技术服务有限公司, 江苏苏州 215100)

摘要:采用 HS-SPME-GC/MS 法对不同污染河流水中臭味物质检测方法进行优化, 探讨了不同因素对萃取效果的影响。结果表明, 用 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 作萃取纤维头, 水样体积为瓶容积的 1/2、转速为 250 r/min、65 $^{\circ}\text{C}$ 恒温加热 30 min、25% NaCl 投量 (W/V%)、250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 3 min 时效果最佳。DMTS 在 5.0~200 ng/L 范围内线性关系良好, 拟合度 $R^2=0.9987$, 2-MIB、GSM 在 2.0~200 ng/L 范围内线性较好, 拟合度 $R^2\geq 0.999$; 方法检出限分别为 3.6、2.3、1.1 ng/L, 回收率为 88.1%~97.2%, RSD 为 5.1%~7.3%。该方法适用于地表水中致臭物质的定量分析, 同时探讨了典型臭味物在不同表观污染中的差异性。

关键词: 地表水; 臭味物质; 自动顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱

中图分类号: X832

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2019)09-0222-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2019.09.048

Optimization and application of determination of typical taste & odor compounds in apparently polluted surface water by automated HS/SPME-GC/MS

WEI Bin^{1,2}, MENG Xin^{1,2}, HE Jie^{1,2}, LI Xue-yan^{1,2*}, ZHU Xue-hui³

(1. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China; 2. Institute of Environmental Biotechnology, Suzhou University of Science and

Technology, Suzhou 215009, China; 3. United Testing Services Co., Ltd., Suzhou 215100, China)

Abstract: Automatic head-space solid phase micro-extraction-gas chromatography/mass spectrometry (HS-SPME-GC/MS) is employed to optimize the detection method for taste & odor compounds in surface water with different pollution levels. The influences of different factors on the extraction efficiency are explored. The best detection effects are obtained under conditions that the 50/30 μm DVB/CAR/PDMS coating extraction fiber is selected for HS-SPME, ten micro-liter of sample solution with 0.25 $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ NaCl has been equilibrated at 250 r/min and 65 $^{\circ}\text{C}$ for 30 min, and the extraction fiber is injected into GC-MS at 250 $^{\circ}\text{C}$ for 3 min. The calibration linear ranges of DMTS, 2-MIB and GSM are 5.0-200, 2.0-200 and 2.0-200 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively, the detection limits are 3.6, 2.3 and 1.1 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively. The relative standard deviations are 5.1%-7.3% and the average rates of recovery are 88.1%-97.2%. This method is applicable to quantitative analysis on taste & odor substances in surface water. The differences of typical taste & odor compounds in different apparent pollutions are also explored.

Key words: surface water; taste & odor compounds; automatic head-space solid phase micro-extraction; gas chromatography-mass spectrometry

随着社会的发展,城市河流水体功能也日渐变化,人们对水质的要求不断提高。当外源、内源以及气候因素等协同作用,常伴随一系列生化物理反应,

水体感官性状表现的一种污染形式,称之为水体表观污染,其极端形式为“水华”或“黑臭”,其异味是较直接的性状,常带来嗅觉上的不悦^[1]。目前关于

收稿日期:2018-12-19;修回日期:2019-07-03

基金项目:“十三五”水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07205003)

作者简介:魏彬(1992-),男,硕士研究生,研究方向为水污染控制与理论,1064330761@qq.com;李学艳(1976-),女,博士,副教授,研究方向为给水中微量有机物去除技术与理论,通讯联系人,lyxhit@sina.com。

水源水中臭味研究较多,而不同表观污染程度的河流中臭味物尤其是藻类水中 2-甲基异莰醇(2-methylisobomeol, 2-MIB)、土臭素(geosmin, GSM)较常见,而黑臭水中致嗅物包括硫醚类^[2]。其中 2-MIB 和 GSM 是典型藻引发的物质,在河流和湖库型水源中常有检出,而黑臭水中常检出二甲基三硫醚(Dimethyl trisulfide, DMTS)^[3-4]。而用于臭味物检测的前处理技术工艺中顶空固相微萃取(HS-SPME)操作简单、快速、无需溶剂,得到广泛的应用。但目前采用的手动方式耗时较长,难以满足高效率工作,而自动萃取一体化进样方式可解决此问题。同时关于不同表观污染水体中臭味物质与污染间的关系无明确报道,因此,笔者考察了在此方式下检测的最优化条件,初步分析水中臭味物在不同表观污染水体中的变化规律。

1 材料与方 法

1.1 主要仪器与试剂

7890A-5973N GC/MS, HP-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm)气相色谱柱(Agilent, 美国);20 mL 螺口萃取瓶、MPS XT 全自动样品前处理装置(Gerstel, 德国);50/30 μm DVB/CAR/PDMS, 23GA 固相微萃取纤维头(Supleco, 美国)。

2-MIB、GSM 标准品(2 μg/mL)、DMTS 标准品(98%)、NaCl(450℃烘烤 2 h)。

1.2 样品前处理

萃取瓶中加入适量溶液及 NaCl,置于恒温振荡装置中。使萃取纤维头暴露于液面上方空气中,吸附目标物反应后取出于 GC/MS 中进行分析,每组条件至少取 3 组平行样。

1.3 仪器条件

1.3.1 色谱条件

高纯 He(99.999%)流量为 1 mL/min;进样口温度为 250℃,不分流;升温程序:40℃保持 2 min,以 8℃/min 升至 120℃,5℃/min 升至 130℃,15℃/min 升至 250℃保持 5 min,共 27 min^[5]。

1.3.2 质谱条件

EI 电源,电离能量 70 eV,离子源 230℃,四级杆 150℃,GC/MS 接口 280℃。检测方式为 SIM 模式,2-MIB、GSM 和 DMTS 的监测离子 m/z 分别为 95、135、112、125、126、111。

1.4 实际样品测定

采用 0.45 μm 滤头以减少目标物挥发,避免交叉污染^[6]。因目标物分子质量<200 及碳分子数少

的物化特性^[7-8],选取 DVB/CAR/PDMS 材质纤维,其对 C₃~C₂₀挥发性和半挥发性物质吸附能力较好^[9-10],后期分析中采用该类型纤维进行实验。3 种臭味物质基本性质见表 1。

表 1 3 种臭味物质基本性质

臭味物质	沸点/℃	分子质量	定量离子(m/z)	臭味阈值/(ng·L ⁻¹)
DMTS	177	126	126	10
2-MIB	210	168	95	15
GSM	249	182	112	10

2 结果与讨论

2.1 气液比对萃取效果的影响

萃取纤维头距液面高度影响实验的重现性^[11],样品量会影响目标物释放,当水量过多时操作不便导致萃取时间延长,纤维头吸附量有其最大吸附值;而水样少吸附量不足,检测结果响应不明显,即需探究其最佳气液比,详见表 2。

表 2 气液比对萃取效果的影响

气液比	DMTS		2-MIB		GSM	
	响应均值	误差	响应均值	误差	响应均值	误差
3:2	21242	2556	6226	2121	10072	2126
1:1	38485	1625	13853	1116	23744	1115
2:3	41728	2965	10779	1932	20016	2131

从表 2 中可以看出,气液比为 3:2 时,其响应值偏低,对方法的建立和低浓度的检测不利;当气液比为 2:3~1:1 时,挥发性强的醚类物质响应值增大,其他 2 种物质响应值减小,综合考虑 20 mL 样品瓶适宜气液比为 1:1。

2.2 样品振荡速度对萃取效果的影响

加热装置转速为 250、500、750 r/min 3 档,100 ng/L 混合溶液在不同转速下进行实验,结果如表 3 所示。搅拌有利于目标物从液相进入气相,提高萃取效率^[12]。

表 3 振荡速度对萃取效果的影响

转速/(r·min ⁻¹)	DMTS		2-MIB		GSM	
	响应均值	误差	响应均值	误差	响应均值	误差
0	21185	1225	5853	1006	12744	1115
250	35431	1123	10845	1123	24021	1003
500	31185	1625	10253	1116	25744	1115
750	30030	1322	9956	1206	21001	1033

由表 3 可以看出,当转速增大至 750 r/min 时,DMTS 响应值相对于最大值降低了 11.98% ~ 15.24%,此趋势与周洋等研究一致^[13];而 2-MIB 随转速升高先增加了 85.29%,750 r/min 时降低了 5.46 ~ 8.20%;GSM 响应值随转速升高先增大 88.49%至最佳,继续增大后减小了 12.57%,降低的原因是转速过高,液体飞溅附着于瓶侧壁影响萃取效果。仪器采用非水浴加热振荡,其转速和大部分文献所描述的水浴磁力转速不相一致,综合考虑转速为 250 r/min。

2.3 盐浓度对萃取效果的影响

样品中加入适量无机盐可增大溶液的离子强度,降低待测化合物的溶解度,使其更易从溶液向顶空挥发,从而提高萃取效率^[14]。为考察盐浓度对臭味物萃取效果影响,在温度为 65℃ 条件下,混合样品溶液中加入 0~35% (W/V) 的 NaCl 固体,在振荡条件下进行萃取,结果如表 4 所示。

表 4 盐浓度对萃取效果的影响

浓度/ %	DMTS		2-MIB		GSM	
	响应均值	误差	响应均值	均值	响应均值	误差
0	28520	1232	9235	1011	17588	1243
10	39674	1324	10212	1342	19245	1254
15	43367	1543	12123	1023	20234	1359
25	48485	1625	13853	1116	23744	1115
35	40145	1765	11342	1206	22187	1045

由表 4 可以看出,当浓度在 0~35% 时,随 NaCl 的增加,响应值先增后减,但 3 种物质变化趋势不同,DMTS 响应值由最小至最大增大了 70%,而 2-MIB、GSM 分别增加了 50.01%、35%至最大。增大主要是由于盐析效应,电离出的离子占据了有机物周围的水分子,使目标物挥发出来;而 NaCl 过多导致响应值下降,2-MIB 由最佳下降了 18.13%,DMTS 为 17.20%,GSM 为 6.56%,原因主要是 NaCl 溶解度达到饱和,对目标物吸附有影响,因此 25% 的 NaCl 为最佳投量。

2.4 温度对萃取效果的影响

加热有助于目标物从水中挥发,提高加热温度将增强萃取效果^[15],温度不断增加将促使物质从纤维上解吸。温度过高会给操作带来不便,且高温下水蒸汽包裹萃取纤维影响其寿命,同时纤维上的水分对 GC-MS 产生损伤,理论上不超过 80℃^[16]。因此考察了 50~70℃ 条件下的萃取效果,结果如表 5 所示。

表 5 温度对萃取效果的影响

温度/ ℃	DMTS		2-MIB		GSM	
	响应均值	误差	响应均值	误差	响应均值	误差
50	28020	1232	9035	1011	14588	1243
55	39074	1324	9812	1342	16245	1254
60	43167	1543	11023	1023	20234	1359
65	48185	1625	13853	1116	23744	1115
70	40045	1765	10002	1206	21187	1045

由表 5 可以看出,目标物的响应整体是先增大后减小。温度从 50~70℃ 逐渐升高时,DMTS 的响应面积由最小增加 71.97%至最大,此时温度为 65℃。而温度继续升高后响应值出现下降,降幅为 16.89%;2-MIB 的上升趋势为 53.33%,而下降趋势为 27.80%;GSM 的响应值由最小增加 62.76%至最大,而后随温度上升响应值出现 10.77% 的下降。通常升高温度,液体内分子热运动加快,有利于目标物在基质中的扩散,缩短平衡时间。但温度过高会使目标物在涂层与基质中的分配系数降低,涂层对分析物的吸附量减小影响灵敏度^[17],并且会导致非目标物质被释放形成竞争吸附效果,综合考虑 65℃ 更适合实验需求。

2.5 萃取时间对萃取效果的影响

萃取时间对吸附效果具有较大影响,决定了萃取纤维的吸附量。时间过短,化合物在液相、气相和固相三相间未达到平衡,萃取纤维对待测组分的吸附量较小;时间过长,会导致水样中与纤维涂层亲和力和较好的杂质组分夺取吸附点位,降低目标物的萃取效果^[18]。萃取时间对萃取效果的影响如表 6 所示。

表 6 萃取时间对萃取效果的影响

时间/ min	DMTS		2-MIB		GSM	
	响应均值	误差	响应均值	误差	响应均值	误差
10	29398	2341	8245	2311	16765	2011
20	32689	2214	10121	2121	20032	1243
30	48185	1625	15853	1116	25744	1115
40	43124	1765	12053	1212	21700	1022

由表 6 可以看出,2-MIB、GSM 和 DMTS 的最大萃取量在 30 min 达到最大且趋于平衡状态,随着时间的延长,3 种物质的响应值呈增大趋势,依次为 2-MIB>DMTS>GSM。理论上随着萃取时间的延长可被检测出的物质越多,但研究中发现,3 种物质都

出现下降,2-MIB下降了23.97%,DMTS下降了10.50%。原因是由于待测物质之间存在竞争吸附,延长萃取时间使具有更好吸附性能的物质取代萃取纤维上已被吸附的吸附性能较差的物质^[19],导致某些物质的响应值下降。此外,由于GC-MS的升温程序总时长与萃取时长基本一致,可在进行分析的过程中同步完成下一个样品的萃取,使样品的富集与检测同时进行,提高实验效率。因此,从萃取、实验效率两方面考虑,选择30 min为最佳萃取时间。

2.6 解吸时间对萃取效果的影响

在萃取温度为65℃、NaCl投量为25%、萃取时间为30 min、解吸温度为250℃的条件下,解吸时间对3种臭味物萃取效果的影响如表7所示。

表7 解吸时间对萃取效果的影响

解吸时间/min	DMTS		2-MIB		GSM	
	响应均值	误差	响应均值	误差	响应均值	误差
1	28185	1225	8853	1006	12744	1115
2	35431	1123	10245	1123	20021	1003
3	48185	1625	15853	1116	25744	1115
4	46132	1322	15006	1206	25001	1033

从表7中可以看出,DMTS、2-MIB和GSM在解吸一段时间后萃取量变化趋势不明显。3 min之后DMTS由最大值降低了5.34%,而其他2种物质下降的趋势稍小,2-MIB和GSM分别降低了4.26%、2.89%,由于醚类物质更容易挥发且不同醚分子之间不能形成氢键,其沸点比醇类物质的沸点低很多即会出现相对较大的下降趋势。综合考虑解吸时间为3 min。

2.7 方法的回归线性、检出限、相对标准偏差和加标回收率

配制质量浓度为0~200 ng/L的混合标准溶液,用50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取纤维头于上述各优化的因素条件下进行测定,绘制标准曲线并进行线性回归分析。向不含DMTS、2-MIB和GSM溶液的自来水中分别加标100 ng/L进行加标回收,每个质量浓度平行测定6次。结果如表8所示。

表8 3种致嗅物质的相关性 R^2 、检出限、RSD和回收率

化合物	R^2	方法检出限/ (ng·L ⁻¹)	RSD/% (n=6)	回收率/ %
DMTS	0.9987	3.6	7.3	88.1
2-MIB	0.9991	2.3	5.1	96.7
GSM	0.9994	1.1	6.5	97.2

由表8可以看出,2-MIB和GSM质量浓度在2.0~200 ng/L时,呈较好的线性关系($R^2 \geq 0.999$),而DMTS在2 ng/L时响应值不稳定,在5~200 ng/L时线性关系 $R^2 = 0.9987$,检出限分别为3.6、2.3、1.1 ng/L。采用该优化方法的回收率为88.1%~97.2%,RSD为5.1%~7.3%。可通过该方法对地表水体中臭味物进行检测。

2.8 污染水中臭味物的测定

采用优化后的自动顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法对SZ城区部分表观污染地表水体进行常规指标及致嗅物的检测,检测时间从2018年1月至7月份,水体中常规项目指标如表9所示,典型臭味物质如表10所示。

表9 不同表观污染地表水中常规指标质量浓度

检测项目	Chl-a/ (g·L ⁻¹)	Im/ (mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)
正常水体	2.00~24.34	3.04~6.58	0.31~2.72	0.05~0.34
水华水体	28.08~2748.4	3.62~18.66	2.24~8.02	0.19~1.71
黑臭水体	6.52~45.91	26.54~95.05	9.85~27.13	0.32~1.95

表10 不同表观污染地表水中臭味物质质量浓度

检测项目	DMTS/ (ng·L ⁻¹)	2-MIB/ (ng·L ⁻¹)	GSM/ (ng·L ⁻¹)
正常水体	3.74~9.04	5.90~14.46	3.56~16.87
水华水体	13.93~26.56	17.45~205.17	21.06~107.3
黑臭水体	28.45~343.02	16.39~35.66	5.21~10.89

结果表明,正常水中臭味物的嗅阈值为10 ng/L。富营养化水中后期2-MIB及GSM最高达到205.17 ng/L、107.3 ng/L,超过嗅阈值,此时Chl-a质量浓度为2.748 mg/L,说明藻密度对臭味物有影响,后期营养物消耗殆尽,藻细胞破裂死亡致使胞内2-MIB释放,且导致产生GSM的微生物数量增加,这与邵晨等^[20]在研究产嗅藻类对2-MIB释放的影响结论一致。而黑臭水中主要以DMTS占主导,达343.02 ng/L,部分水中2-MIB达35.66 ng/L,均高于阈值。从表9中可以发现,河流中均能检测到不同质量浓度的臭味物,整体主要是以2-MIB占主导,这与李巧霞等^[21]在研究太湖湾中臭味物结论相吻合。通过臭味物质的检测发现,不同表观污染地表水中成分具有差异性和特征性。

3 结论

(1)建立了自动顶空固相微萃取-气相色谱-质

谱法测定表观污染地表水体中典型臭味物质的分析方法,该法操作简单、检测灵敏度高,适用于痕量致嗅物质 DMTS、2-MIB、GSM 的定性定量分析。实现 GC-MS 与自动萃取器之间重叠时间的优化,提高效率。

(2)“水华”水中,随 Chl-a 升高同时伴随细胞代谢死亡,会导致胞内臭味物质的释放,但分泌嗅物与 Chl-a 变化并不完全同步。“黑臭”水体在外源得到控制的情况下有向富营养化“水华”水体转化的可能,期间水中 Chl-a 会出现急剧增加,同时水中 DMTS 降低,2-MIB、GSM 升高。

参考文献

- [1] 孙娜,黄勇,李学艳.城市不同水体表观特征污染物及污染类型识别[J].水资源保护,2015,31(3):84-87.
- [2] 孟晓晴.饮用水中臭味问题研究综述[J].净水技术,2016,(S2):16-18.
- [3] 方菲菲,于建伟,杨敏,等.顶空固相微萃取法用于测定水中二甲基三硫醚[J].中国给水排水,2009,25(6):86-89.
- [4] 刘成,胡湛波,郝晓明,等.吹扫捕集-GC/MS 法测定南宁市竹排冲黑臭河道水体臭味物质[J].环境工程学报,2012,6(5):1744-1748.
- [5] 周雪,黄勇,李学艳,等.HS-SPME-GC/MS 法测定地表水中典型臭味物质[J].中国给水排水,2012,28(20):146-148.
- [6] 彭世富.水体中臭味物质土臭素和 2-甲基异茨醇检测方法及其在江苏省不同水系中分布情况的研究[D].南京:东南大学,2014.
- [7] 魏魏,郭庆园,赵云云,等.顶空固相微萃取-气质联用法测定水中 7 种致嗅物质[J].中国给水排水,2014,1(18):131-135.
- [8] 张振伟,应波,鄂学礼.水中 2-甲基异茨醇等 3 种致嗅物质的顶空固相微萃取-气相色谱-质谱测定法[J].环境与健康杂志,2012,29(5):453-455.
- [9] 吴采樱.固相微萃取[M].北京:化学工业出版社,2012.
- [10] 马康,张金娜,何雅娟,等.顶空固相微萃取-气质联用测定环境水样中 7 种痕量土霉味物质[J].分析化学,2011,39(12):1823-1829.
- [11] 李勇,张晓健,陈超.水中臭味评价与致嗅物质检测技术研究进展[J].中国给水排水,2008,24(16):1-6.
- [12] 李文超,王永花,孙成,等.分子印迹技术与固相微萃取技术联用的研究进展[J].环境化学,2011,30(09):1663-1671.
- [13] 周洋,吴娟,钟非,等.水中 5 种异味物质顶空固相微萃取-气相色谱-质谱测定[J].环境科学与技术,2016,(10):92-95.
- [14] Luo Y, Pan L, Pawliszyn J. Determination of five benzodiazepines in aqueous solution and biological fluids using solid-phase micro extraction with carbowax TM/DVB fiber coating[J]. Journal of Micro Column Separations, 2015, 10(2):193-201.
- [15] Godayol A, Alonso M, Besalu E, et al. Odour-causing organic compounds in wastewater treatment plants: Evaluation of headspace solid-phase micro extraction as a concentration technique [J]. Journal of Chromatography A, 2011, 1218(30).
- [16] Chen X, Luo Q, Yuan S, et al. Simultaneous determination of ten taste and odor compounds in drinking water by solid-phase micro-extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Environmental Sciences, 2013, 25(11):2313-2323.
- [17] 吴丰昌,王立英,黎文,等.天然有机质及其在地表环境中的重要性[J].湖泊科学,2008,20(1):1-12.
- [18] 范苓,秦宏兵,张晓赞.顶空固相微萃取-气相色谱/质谱法同时测定富营养化水体中 9 种异味物质[J].江南大学学报(自然科学版),2014,13(3):355-359.
- [19] Burbank H M, Qian M C. Volatile sulfur compounds in Cheddar cheese determined by headspace solid-phase micro-extraction and gas chromatograph-pulsed flame photometric detection [J]. Journal of Chromatography A, 2005, 1066(1-2):149-157.
- [20] 邵晨,黎雷,于水利,等.产嗅藻类对东太湖某地原水中臭味物质 2-MIB 的贡献[J].中国环境科学,2014,(9):2328-2333.
- [21] 李巧霞,潘纲,王丹,等.太湖十八湾臭味物质变化规律及除嗅方法[J].环境工程学报,2012,6(9):3191-3192. ■

霍尼韦尔创新技术获选助力中石油广东石化炼化一体化项目

2019 年 8 月 22 日霍尼韦尔 UOP 宣布,中国石化天然气集团有限公司广东石化分公司(以下称“中石油广东石化”)将在其位于中国的炼化一体化项目中采用霍尼韦尔 UOP 的先进重油加工技术。投产后,新工厂的原油年加工能力有望达到 2 000 万 t,从而帮助推动国家能源安全战略,同时助力中石油广东石化向高度整合的石化产品供应商转型。

霍尼韦尔 UOP 将提供一系列技术授权、工程设计、关键设备、先进的催化剂和吸附剂,以及操作人员培训、试车和持续运营的技术服务。

“这是符合中石油运营规模和操作复杂性的经济可行的解决方案。”霍尼韦尔 UOP 中国区副总裁兼总经理刘茂树表示,“霍尼韦尔 UOP 提供的技术将炼油运营与全套芳烃联合装置结合在一起,可帮助中石油广东石化实现芳

烃的超大规模高效生产,使之有望成为全球领先的企业之一。”

该项目包括年产量为 370 万 t 的 Unicracking™ 加氢裂化装置,以及两套年产量为 300 万 t 的 UOP CCR Platforming™ 铂重整装置。Unicracking 加氢裂化能将重质减压蜡油转化为汽车燃料和石化产品原料,CCR Platforming 铂重整用于生产燃料和芳烃,以及工厂其他工艺所必需的氢气。

该工厂还计划投建一套年产量为 260 万 t 的轻解吸剂(LD)Parex™ 芳烃联合装置,用于生产高纯度对二甲苯。投产后,该装置单套规模将跻身世界领先行列。此外,该芳烃联合装置还包括 UOP Sulfolane™ 芳烃抽提、Isomar™ 异构化和 Tatoray™ 甲苯歧化工艺,以及 UOP 烯烃脱除工艺装置,以确保 Parex 吸附分离工艺持续维持良好的运行状态。

(凌颖)