

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

团 体 标 准

T/CSES XXXX—XXXX

场地土壤污染物人体暴露组解析技术规范 石化工业

Technical specification for exposome analysis of human exposure to soil
contaminants from contaminated sites petrochemical industry

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国环境科学学会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 石化工业	1
4 初步调查	1
4.1 资料收集与分析	1
4.2 现场踏勘和人员访谈	2
4.3 初步调查结果	2
5 场地调查	2
5.1 确定调查区域	2
5.2 环境样品采集	2
5.3 环境样品分析	5
5.4 健康风险评估	5
6 人群调查	5
6.1 人群调查方案的制定	6
6.2 调查人群的选择与抽取	6
6.3 生物样品采集、问卷调查和体格检查	6
6.4 污染物体内负荷水平分析	7
6.5 内源性代谢物分析	7
7 暴露生物标志物的确定	8
7.1 回归分析	8
7.2 综合判断	8
8 报告编制	9
附 录 A （资料性）石化工业特征污染物	10
附 录 B （资料性）石化工业污染场地环境样品中污染物分析方法	12
附 录 C （资料性）石化工业场地本地化筛查数据库推荐特征化合物	14
附 录 D （资料性）石化工业污染场地污染物分析推荐内标物	23

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由生态环境部华南环境科学研究所提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：生态环境部华南环境科学研究所、广东工业大学、中国科学院广州地球化学研究所、中国科学院生态环境研究中心

本文件主要起草人：严骁、郑晶、安太成、麦碧娴、张卫平、徐琳、罗伟铿、蔡凤珊

引 言

石化工业作为高污染、高风险的土壤环境污染源被国务院列为重点监管行业，形成的污染场地可能对人群健康造成威胁。采用暴露组研究的先进理念与方法，结合行业特征，建立石化工业污染场地土壤污染物与人体暴露之间的关联，获得暴露生物标志物，为推动我国石化工业场地污染物人体暴露风险评估技术的发展，防范重点环境风险提供支撑。

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国土壤污染防治法》和《土壤污染防治行动计划》，规范和指导石化工业污染场地土壤污染物暴露标志物筛选工作，推进场地环境保护监督管理技术的创新、示范和推广，开展暴露组解析并获得暴露生物标志物，评估场地污染物的人体健康风险，保障人体健康，特制定本文件。

场地土壤污染物人体暴露组解析技术规范 石化工业

1 范围

本文件规定了石化工业场地土壤污染物人体暴露组解析的工作程序、初步调查、场地调查、人群调查、暴露生物标志物筛选等技术要求。

本文件适用于我国石化工业企业在生产、关停、搬迁过程中形成的污染场地中土壤污染物（仅限化学污染物）暴露人群的暴露组解析工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
- GB 31570 石油炼制工业污染物排放标准
- GB 31571 石油化学工业污染物排放标准
- GB 31572 合成树脂工业污染物排放标准
- GB/T 16126 生物监测质量保证规范
- HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则
- HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
- HJ 630 环境监测质量管理技术导则
- HJ 853 排污许可证申请与核发技术规范 石化工业
- T/CSES □□□ 场地土壤污染物人体暴露组解析技术规范 总纲
- 《医疗机构临床实验室管理办法》（卫医发【2006】73号）

3 术语和定义

GB 31570、GB 31571、GB 31572及HJ 682界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

石化工业 Petrochemical Industry

包括GB 31570、GB 31571和GB 31572中规定的石油炼制工业、石油化学工业和合成树脂工业。

4 初步调查

4.1 资料收集与分析

应搜集场地基本资料，场地所在区域的自然、社会信息，场地土地利用历史及环境资料、石化工业设施与工艺相关文件及污染相关信息（见表1）。石化企业产排污类别与解释参照HJ 853。当调查场地与相邻场地存在相互污染的可能时，须调查相邻地的相关记录和资料。

表 1 石化工业污染信息建议收集的资料清单

信息	资料项目
基本信息	石化企业名称、行业类别、运营管理单位、生产运行状况、企业总平面布置图及面积、重点设施设备分布图、雨污管线分布图
生产信息	生产装置、主要工艺、生产设施与参数、各生产设备的主要原料、产品、生产（加工）能力；

信息	资料项目
	原辅料名称及成分信息（如原油中硫、镍、钒、汞含量） 主要燃料、是否自产及其成分信息（硫分、灰分、挥发分、汞含量等）
环境管理信息	环境影响评价文件及批复、建设项目竣工验收报告、环境影响后评价报告、清洁生产报告、排污许可证、突发环境事件风险评估报告、应急预案等； 废气、废水收集、处理及排放，固体废物产生、贮存、利用和处理处置等情况； 土壤和地下水环境调查监测数据、历史污染记录、历年突发环境事件情况。
产排污及污染防治设施情况	废气产污环节、特征污染物、排放形式及污染治理设施建设和运行情况； 废水类别、特征污染物及污染治理设施建设和运行情况； 固体废物的产生与处置情况。

4.2 现场踏勘和人员访谈

在资料收集和初步分析的基础上，通过现场踏勘进一步了解场地及周边区域的现状和历史情况，以及敏感目标的分布和暴露人群的特征。对资料收集与现场踏勘所涉及的疑问，采取面谈、电话交流或书面调查等方式，对场地现状或历史的知情人进行访谈，进行信息补充和已有资料的考证。现场踏勘和人员访谈的具体内容和重点参照HJ 25.1。

4.3 初步调查结果

通过查阅和分析经收集、踏勘和访谈获得的资料信息，根据专业知识和经验判断，识别场地被污染的可能性和疑似污染区域，初步判断土壤污染物类型，提出目标暴露人群，明确是否开展场地调查。

开展场地调查应同时满足：场地当前或历史上存在石化工业污染源；石化工业生产活动对场地土壤造成污染；由石化工业生产活动引起的土壤污染存在人群暴露，可能带来健康风险。

终止调查应满足以下条件之一：场地当前或历史上不存在石化工业污染源；场地内石化工业污染源引起的土壤污染不存在人群健康风险或造成人群健康风险的可能性极低；除石化工业，场地内或周边还存着其他重要污染源，可能对研究结果产生重大影响。

5 场地调查

5.1 确定调查区域

5.1.1 根据场地的具体情况、场地内外的污染源分布、水文地质条件以及污染物的迁移和转化等因素，判断场地土壤污染物的可能分布，并参考场地内石化企业环境影响评价文件中提出的周围敏感区域，确定污染区的调查范围。

5.1.2 参照《场地土壤污染物人体暴露组解析技术 总纲》，对污染区、对照区进行划定。

5.1.3 石油炼制工业、石油化学工业、合成树脂工业对应的重点工艺区域及其潜在特征污染物情况见附录 A，应根据不同工艺区域的潜在污染物分布差异，参照 GB 31570、GB 31571、GB 31572 和 GB 39728 进一步将生产区划分为不同的生产单元。

5.1.4 对照区的设置应注意周边不存在石化工业特征污染物相关污染源。

5.2 环境样品采集

5.2.1 石化工业行业涉及的污染物包括石油烃（正己烷等）、卤代烃（二氯甲烷等）、苯系物（甲苯等）、酚类（苯酚等）、苯胺类、多环芳烃（苯并[a]芘等）及其衍生物（含氧多环芳烃、硝基多环芳烃等）、金属元素（汞、镉、镍、铅、镭、铬、锡、铜、锰、钒、砷等）及其化合物等，应重点关注。

5.2.2 暴露区与对照区的点位布设见《场地土壤污染物人体暴露组解析技术 总纲》。

表 3 环境样品采集过程执行要求

介质	目标物	金属元素（汞和六价铬除外）	汞	六价铬	苯系物、烃类和石油烃等挥发性有机物	多环芳烃、苯胺类、硝基芳香烃类、氯代烃类、酚类和硝基酚类等半挥发性有机物		
固态样品	容器材质	聚乙烯、玻璃	玻璃	聚乙烯、玻璃	玻璃（棕色）	玻璃（棕色）		
	保存	<4℃避光冷藏保存，180 d 内分析	<4℃避光冷藏保存，28 d 内分析	<4℃避光冷藏保存，1 d 内分析	<4℃避光冷藏保存，7 d 内分析	<4℃避光冷藏保存，7 d 内分析		
	其他要求	/	/	/	采样瓶装满装实并密封	采样瓶装满装实并密封		
液态样品	目标物	其他金属元（汞、砷和六价铬除外）	汞、砷	六价铬	苯系物、烃类和石油烃等挥发性有机物	酚类	苯胺类	多环芳烃等半挥发性有机物
	容器材质	聚乙烯瓶（桶）	玻璃或聚乙烯容器	聚乙烯瓶（桶）	硅硼酸盐玻璃瓶	玻璃（棕色）	玻璃瓶（棕色）	玻璃瓶（棕色）
	保存	加 HNO ₃ 调节 pH <2，30 d 内分析	1 L 水样中加入 10 ml 浓 HCl；<4℃避光冷藏保存，14 d 内分析	加 NaOH 调节 pH 8~9，24 h 内分析	加 HCl 调节 pH ≤2；加入抗坏血酸除去余氯；<4℃避光冷藏保存，7 d 内分析	加 H ₂ SO ₄ 调节 pH ≤2；加入抗坏血酸除去余氯；<4℃避光冷藏保存，7 d 内分析	甲酸调节至 pH 7~8；1 L 水样中加入 80 mg 硫代硫酸钠；<4℃避光冷藏保存，3~7 d 内分析	1~5℃冷藏避光保存，7 d 内分析
	其他要求	/	/	/	水样应充满样品瓶并加盖密封	/	/	/

T/CSES XXXX—XXXX

气态 样品	目标物	其他金属元素 (汞和六价铬除 外)	汞	六价铬	苯系物、烃类和石油烃等 挥发性有机物	酚类	多环芳烃等半挥发性有机物
	采集 方式	滤膜采样法	富集管采样法	滤膜采样法	吸附管采样或罐采样法	XAD树脂采样法	滤膜采样法(颗粒相)和树脂 或聚氨酯泡沫采样法(气相)
	保存	干燥、避光,室 温下保存;180 d 内分析	聚乙烯自封袋或 专用具塞玻璃管 密封;0~4℃冷 藏保存;30 d内 分析	-18℃以下冷 冻保存;7 d 内分析	吸附管采样:0~4℃冷藏 保存,7 d内分析; 罐采样:室温保存,20 d 内分析	<4℃避光冷藏保存,14 d内分 析	<4℃避光冷藏保存,7 d内分析

依据污染物种类、环境介质类型，以及拟采用的分析方法，执行不同的采集量、采集方式、保存与运输方法、采样记录、质量控制等要求，石化工业污染场地重点关注污染物样品采集要求参考表 3。

5.3 环境样品分析

5.3.1 对环境样品宜先开展可疑目标筛查和非目标筛查分析，并进一步对筛查获得的场地特征污染物及/或其分解产物、其它需重点关注的石化工业污染场地特征污染物、金属元素等，和其他重点关注行业污染物开展定量分析获得浓度水平。

5.3.2 可疑目标筛查和非目标筛查。宜结合色谱-高分辨质谱定性分析对潜在污染物进行分析，筛选判断场地特征污染物及/或其分解产物。

- a) 土壤中挥发性有机物和半挥发性有机物筛查的前处理及分析方法分别参照 HJ605 和 HJ 834，筛查获得的组间差异特征峰经鉴定取得差异化化合物信息。
- b) 为便于场地特征污染物筛查和鉴定，应根据石化场地特征污染物及其迁移转化规律，结合文献调研，依托 METLIN、T3DB、PubChem 等化合物开源数据库，建立包含炼石化场地特征污染物分子结构信息的本地化筛查数据库。石化场地本地化筛查数据库应包含的特征污染物见附录 C。

5.3.3 目标物分析。根据实际情况，宜对筛查获得的场地特征污染物及/或其分解产物、其它需重点关注石化工业污染场地特征污染物、金属元素等，采用定量分析方法获得其定量浓度。

- a) 分析方法宜优先采用国家、地方和行业相关标准，石化工业污染场地特征污染物分析方法见附录 B。标准中未涵盖目标污染物的分析可采用经验证的实验室自建方法。
- b) 对污染区和对照区各环境介质中检出的目标污染物浓度水平进行统计描述，预处理和数据质量评价。根据数据特征采用 T 检验/非参数检验进行组间比较，获得污染区显著高于对照区的差异化化合物 ($p < 0.05$)。

5.3.4 整理调查信息和监测结果，评估检测数据的质量，分析数据的有效性和充分性，确定是否需要补充采样分析等。根据各环境介质中污染物筛查结果，对获得的污染区显著高于对照区的差异化化合物，结合场地内石化污染源的行业类别、工艺和污染物排放情况，判断其合理性，形成石化场地特征污染物。

5.4 健康风险评估

5.4.1 应对生活区、办公区及不同生产分区的暴露人群分组进行暴露情景识别及暴露量计算。暴露情景识别、暴露途径确定和暴露量计算的具体方法执行《场地土壤污染物人体暴露组解析技术 总纲》。生产区宜包括：精炼区、油罐区、废水处理区。

5.4.2 暴露量计算过程应重点关注苯系物、石油烃、多环芳烃、酚类、金属元素等石化行业特征有毒有害污染物类型。具体可包括：

- a) 苯系物与多环芳烃：苯、甲苯、二甲苯、乙苯、苯乙烯、1,3-丁二烯、对二氯苯、苯并[a]芘；
- b) 石油烃：1,3-丁二烯；
- c) 卤代烃类：对二氯苯、氯仿、1,2-二氯乙烷；
- d) 重金属及其化合物：砷、铬、镉、汞、铊；
- e) 其他：甲乙酮、异丙醇、环氧乙烷、环氧氯丙烷、N,N-二甲基甲酰胺、丙烯醛。

5.4.3 根据受体人群在不同暴露情景下对应的暴露量，判断场地是否存在人群暴露风险，若存在一定暴露风险则开展人群调查，若不存在或暴露风险可忽略则结束调查。暴露途径宜包括：经口摄入、皮肤接触、呼吸吸入等。

6 人群调查

6.1 人群调查方案的制定

根据石化工业场地土壤污染物清单中污染物特点及其暴露途径，识别潜在内暴露污染物及其代谢产物，制定人群调查方案。人群调查方案应包括调查人群选择、人数确定、人群抽取、问卷调查、体格检查、体内负荷水平分析、内源性代谢物分析等内容。在开展人群调查前，应组织开展医学伦理审查并通过。

6.2 调查人群的选择与抽取

调查人群可分为高暴露人群（场地内石化工业企业工作的职业暴露人群）、一般暴露人群（场地周边污染区的非职业暴露居民）和对照人群（对照区的非职业暴露居民）。根据5.1.3对场地内不同暴露区域的划分，可根据主要工作区域将石化工业企业工人进一步细分为不同暴露情景工人，一般可将从事常减压蒸馏、催化裂化和催化重整等主要生产工艺的工人设为高暴露人群，储运、装车等工人设为中暴露人群，文职人员设为低暴露人群。抽样人群应尽量涵盖不同暴露程度的人群分组。

调查人数的确定及抽取方法见《场地土壤污染物人体暴露组解析技术 总纲》。

6.3 生物样品采集、问卷调查和体格检查

6.3.1 生物样品采集

根据场地调查获得的污染物清单及其暴露途径，确定采集生物样品的类型、采集时间、采集量、采集方式、保存与运输条件等。石化工业污染场地暴露带来的人体内负荷污染物主要包括苯系物、石油烃、卤代烃等挥发性有机物，苯酚、多环芳烃及其衍生物（硝基类衍生物、含氧类衍生物、氯代衍生物和溴代衍生物）、杂环多环芳烃（咪唑、吡啶、喹啉、吲哚等）等半挥发性有机物，挥发性有机物代谢物，半挥发性有机物代谢物（羟基多环芳烃、羟基氯代多环芳烃等），金属元素（汞、镉、镍、铅、镉、铬、锡、砷等）等及其代谢产物等。推荐采集的生物样品、采集方式、保存与运输条件等见表4，具体操作可参考GB/T 16126。采集生物样品前需获得调查对象的知情同意并签订知情同意书。

表 4 建议采集生物样品及采样方法

生物样品	项目	金属元素	有机污染物分析		内源性代谢物	
			可疑/非目标筛查	目标分析	非目标筛查	
血液	目标化合物	^{51}V 、 ^{52}Cr 、 ^{55}Mn 、 ^{59}Co 、 ^{60}Ni 、 ^{63}Cu 、 ^{66}Zn 、 ^{75}As 、 ^{78}Se 、 ^{111}Cd 、 ^{118}Sn 、 ^{121}Sb 、 ^{202}Hg 、 ^{205}Tl 和 ^{208}Pb 等 26 种金属	苯系物和烃类等 VOCs，苯酚、多环芳烃及其衍生物等 SVOCs，以及 VOCs 和 SVOCs 代谢产物		氨基酸、糖、有机酸、脂肪酸、核苷、核苷酸等	
	采集量	2 ml	2 ml		2 ml	
	采集方式	无抗凝采血管				抗凝采血管
	保存和运输	冷藏运输， -80°C 冷冻保存				
尿液	目标化合物	^{51}V 、 ^{52}Cr 、 ^{55}Mn 、 ^{59}Co 、 ^{60}Ni 、 ^{63}Cu 、 ^{66}Zn 、 ^{75}As 、 ^{78}Se 、 ^{111}Cd 、 ^{118}Sn 、 ^{121}Sb 、 ^{202}Hg 、 ^{205}Tl 和 ^{208}Pb 等 26 种金属	VOCs 代谢物、SVOCs 代谢物		氨基酸、糖、有机酸、脂肪酸、核苷、核苷酸等	
	采集量	20 ml	20 ml		20 ml	
	采集方式	一次性聚乙烯尿杯采集，冻存管分装				

生物样品	项目	金属元素	有机污染物分析		内源性代谢物
			可疑/非目标筛查	目标分析	非目标筛查
	保存和运输	冷藏运输，-80℃冷冻保存			

6.3.2 问卷调查和体格检查

采集生物样品的同时，对调查人群开展问卷调查和体格检查，具体方法执行《场地土壤污染物人体暴露组解析技术 总纲》。

6.4 污染物体内负荷水平分析

6.4.1 污染物可疑/非目标筛查分析

6.4.1.1 结合场地调查获得的污染物清单和文献调研，推导石化工业污染场地人群生物样品中可能的特征有机污染物及其代谢产物，并结合 METLIN、T3DB、PubChem 等化合物开源数据库，在 5.3.2 (b) 所构建数据库的基础上，补充 VOCs 代谢物，以及羟基多环芳烃 (OH-PAHs) 和羟基氯代多环芳烃 (OH-Cl-PAHs) 等代谢产物信息，建立包含石化工业场地特征污染物及其代谢产物分子结构信息的本地化筛查数据库 (附录 C)。

6.4.1.2 宜应用气相色谱/超高效液相色谱-飞行时间质谱联用 (GC/UPLC-QTOF-MS) 或气相色谱/超高效液相色谱-四极杆-轨道离子阱质谱仪 (GC/UPLC-Q-Orbitrap-MS) 等高分辨质谱仪器，优化仪器参数和生物样品前处理流程，建立灵敏高效的可疑/非目标筛查方法，对血液或尿液中的潜在污染物或其代谢产物进行分析，筛选人体生物样品中的特征污染物及/或其代谢产物。血液和尿液中可疑目标筛查和非目标筛查方法见《场地土壤污染物人体暴露组解析技术 总纲》。

6.4.1.3 结合石化工业污染场地特征污染物类型，可疑目标/非目标筛查分析中推荐使用的内标物见附录 D，包括挥发性有机物及其代谢物、多环芳烃及其衍生物、多环芳烃代谢物等。

6.4.2 污染物定量分析

6.4.2.1 对筛查获得的石化工业场地人群特征污染物及/或其代谢产物、其它需重点关注的目标物、金属元素等，可采用定量分析方法获得其定量浓度。

6.4.2.2 宜采用电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS) 对生物样本中的金属元素开展定量分析；采用配备有吹扫捕集装置的气相色谱-质谱联用仪 (PT-GC-MS) 对生物样本中的 VOCs 进行定量分析；采用气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 和高效液相色谱-三重四极杆串联质谱联用仪 (HPLC-MS/MS) 对生物样本中的 SVOCs 及有机污染物代谢产物进行定量分析。人体血液和尿液中金属元素和多环芳烃及其衍生物、杂环多环芳烃、苯系物等石化工业特征污染物的定量分析方法见《场地土壤污染物人体暴露组解析技术 总纲》。目标物的分析宜优先采用国家、地方和行业相关标准。标准中未涵盖目标物的分析可采用经验证的实验室自建方法。

6.4.2.3 暴露人群和对照人群检出的目标污染物浓度水平进行统计描述，根据数据特征采用 T 检验/非参数检验进行组间比较，获得暴露人群显著高于对照人群的差异化合物 ($p < 0.05$)。

6.4.3 整理调查信息和调查结果，评估数据的质量，分析数据的有效性和充分性，以及结果的可靠性，确定是否需要补充采样分析。根据生物样品中污染物定性和定量分析结果，对获得的暴露人群显著高于对照人群的化合物进行分析评判，提出石化工业场地特征体内负荷污染物及/或其代谢产物清单。

6.5 内源性代谢物分析

结合排放清单中污染物及其代谢物健康效应类型及毒性参数，确定内源性代谢物分析采用的生物样品类型及检测手段。推荐使用血液和尿液，检测手段可采用目标分析与非目标分析，目标物类型可包括代谢组学和脂质组学等。基于液相色谱-高分辨质谱的血液和尿液中多种内源性代谢物非目标分析方法见《场地土壤污染物人体暴露组解析技术 总纲》。获得的数据文件经标准化处理后，使用多变量

化学计量学方法衡量和验证各离子对各组样本分类判别的影响强度和解释能力，挖掘具有生物学意义的差异离子，并通过进一步结构鉴定得到特征内源性代谢物。

7 暴露生物标志物的确定

7.1 回归分析

以特征效应指标、特征内源性代谢物等健康效应指标为因变量，特征污染物为自变量，考虑年龄、性别、文化水平、BMI、饮食、体力活动等基本信息，采用主成分分析、贝叶斯线性回归、弹性网络回归等模型分析多种场地特征污染物混合暴露与健康效应指标之间的关联。具体分析方法执行《场地土壤污染物人体暴露组解析技术 总纲》。

7.2 综合判断

组织权威专家对特征污染物/代谢产物进行讨论，根据相关资料及研究与应用需要进行综合判断，最终确定暴露生物标志物及对应的样品类型。获得的暴露生物标志物一般不宜多于10种/类污染物。综合判断时主要考虑因素包括：

- a) 与特征内源性代谢物的相关程度；
- b) 与该场地特征土壤污染物的关联，对应暴露途径和暴露情景；
- c) 与该场地中石化工业生产工艺、原辅料、排放污染物的关联；
- d) 本次研究的检出率、人体负荷水平；
- e) 当前研究情况，包括与石化工业的关联、分析方法的成熟度、已有人群研究的检出率和负荷水平、毒性效应、人群潜在暴露风险等。

8 质量控制

8.1 人员和实验条件

8.1.1 项目参与人员应接受技术培训，考核合格后上岗。

8.1.2 承担分析任务的实验室需具备相关资质。实验室运行管理规范，配备所承担任务相配套的实验室仪器设备和人员，有完备的质量控制与质量保证管理系统。

8.1.3 校准和比对所需测量分析的工具及仪器，包括体格检查、环境监测仪器及实验室分析仪器的准确度和精密度，合格率应达到100%。

8.2 样品采集、保存、运输与实验室分析

8.2.1 环境样品的采集、保存、运输的质量控制按 HJ 630 和 HJ 25.2 执行；人群生物样品的采集、保存、运输的质量控制按 GB /T 16126 执行；体格检查的质量控制按《医疗机构临床实验室管理办法》执行。

8.2.2 环境样品和人体生物样品分析方法原则上优先选择国家标准、行业标准、国际标准、国外标准等规范性方法，或者公认权威的分析方法。分析过程的质量控制与质量保证技术要求执行对应标准中相关要求。

8.2.3 自行扩充和修改过的标准方法、实验室自建方法宜参照 HJ 630 进行方法确认，建立实验室分析质量控制技术要求并严格执行。

8.3 数据审核与处理

8.3.1 数据的录入、整理与分析处理按 GB/T 8170 执行。编制数据清理计划，按统一的标准化方式处理所有数据，检查数据的规范性、完整性、合理性、唯一性、准确性、可溯源性，将核查问题汇总并分析后，采取标准化、修订、补遗或去除等处理。

8.3.2 异常数据或样品的识别和剔除需具有充分理由并考虑可能影响因素及合理性。

8.3.3 根据数据特征选择正确的统计分析方法，注意辨析混杂因素及其影响。

9 报告编制

石化工业污染场地土壤污染物人体暴露组解析报告应全面、真实的反映解析工作的全全过程，调查方案、原始数据、计算和分析过程可编入报告附录。报告应包括背景介绍、初步调查、场地调查、人群调查、暴露生物标志物筛选、质量控制与评价、结论及建议等章节。其中结论及建议部分应包括以下内容：

- a) 该石化工业污染场地基本情况及特点；
- b) 暴露生物标志物基本信息，包括理化性质、人体代谢转化情况等；
- c) 暴露生物标志物与该石化工业污染场地土壤污染物的关联，在不同暴露情景下的主要暴露途径分析，以及对应土壤污染物相关信息，包括理化性质、环境中的浓度和空间分布、工业来源等；
- d) 暴露生物标志物对应的生物样品类型和适用人群，生物样品的推荐采集方法、检测分析方法、质量评价与质量控制方案；
- e) 暴露生物标志物的当前研究情况，包括人体负荷水平、流行病学和毒理学研究等；
- f) 在该石化工业污染场地及其他石化工业污染场地的应用建议、局限性。

附录 A
(资料性)
石化工业特征污染物

下面给出了部分石化工业的特征污染物。

表 A.1 石化工业的特征污染物

行业	污染物类型	工艺位置	特征污染物
石油炼制	大气污染物	催化裂化催化剂再生烟气排气筒周边	镍及其化合物
		重整催化剂再生烟气排气筒、离子液法烷基化装置催化剂再生烟气排气筒周边	苯系物、石油烃
		废水处理有机废气收集处理装置排气筒周边	苯系物
		有机废气排放口周边	苯系物、石油烃、卤代烃
		氧化沥青装置排气筒周边	多环芳烃
		锅炉烟囱周边	汞及其化合物
		危险废物焚烧炉排放筒周边	金属（汞、镉、镍、铅、镉、铬、锡、铜、锰）及其化合物、砷及其化合物
	泵、压缩机、阀门、开口阀或开口管线、气体/蒸气泄压设备、取样连接系统、法兰及其他连接件、其他密封设备周边	石油烃、苯系物、卤代烃、多环芳烃	
	水污染物	废水总排放口周边	苯酚、钒、苯系物、苯胺类
		延迟焦化装置冷焦水、切焦水废水排放口周边	多环芳烃
		加工含汞原油常减压蒸馏装置电脱盐废水排放口周边	汞及其化合物
		酸性水汽提装置废水排放口周边	砷及其化合物
		催化裂化装置烟气脱硫废水排放口、催化汽油吸附脱硫装置烟气脱硫废水排放口周边	镍
航空汽油调和车间废水排放口、四乙基铅生产装置废水排放口周边		铅	
石油化学工业	大气污染物	废水处理有机废气收集处理装置排气筒、含卤代烃有机废气排放口、其他有机废气排放口周边	卤代烃、石油烃、苯系物、多环芳烃
		锅炉烟囱周边	汞及其化合物
		危险废物焚烧炉排放筒周边	金属（汞、镉、镍、铅、镉、铬、锡、铜、锰）及其化合物、砷及其化合物
		动静密封点（如机泵、阀门、法兰等）泄漏、挥发性有机液体常压储罐（固定顶罐、内浮顶	石油烃、苯系物、多环芳烃

行业	污染物类型	工艺位置	特征污染物
		罐、外浮顶罐等)及酸性水罐呼吸、冷却塔/循环水冷却过程逸散、固体物料堆场逸散、固体物料破碎、过筛车间排气周边	
		危险废物焚烧炉排放筒周边	金属元素(汞、镉、镍、铅、铋、铬、锡、铜、锰)及其化合物、砷及其化合物
		泵、压缩机、阀门、开口阀或开口管线、气体/蒸气泄压设备、取样连接系统、法兰及其他连接件、其他密封设备周边	烃类、苯系物、多环芳烃
	水污染物	废水总排放口周边	石油类、挥发酚、钒、铜、锌、可吸附有机卤化物、废水有机特征污染物 ⁽¹⁾
		车间或生产设施废水排放口周边	多环芳烃、铅、镉、砷、镍、汞、烷基汞、铬、六价铬
合成树脂工业	大气污染物	车间或生产设施排气筒	烃类、苯系物、
		废水、废气焚烧设施排气筒	二噁英类、挥发性有机物、其他废气污染物 ⁽¹⁾
		危险废物焚烧炉排放筒周边	金属元素(汞、镉、镍、铅、铋、铬、锡、铜、锰)及其化合物、砷及其化合物、多环芳烃
		泵、压缩机、阀门、开口阀或开口管线、气体/蒸气泄压设备、取样连接系统、法兰及其他连接件、其他密封设备周边	苯系物、烃类、多环芳烃
		泵、压缩机、阀门、开口阀或开口管线、气体/蒸气泄压设备、取样连接系统、法兰及其他连接件、其他密封设备	烃类、苯系物
	水污染物	废水总排放口	多环芳烃、酚类、苯胺类
		车间或生产设施废水排放口	铅、镉、砷、镍、汞、铬

附录 B
(资料性)

石化工业污染场地环境样品中污染物分析方法

下面给出了石化工业污染场地环境样品中污染物分析方法。

表 B.1 石化工业污染场地环境样品中污染物分析方法

样品类型	污染物项目	检测方法或标准	方法编号
土壤	汞、砷	土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法	HJ 680
	总汞	土壤和沉积物 总汞的测定 催化热解-冷原子吸收分光光度法	HJ 923
	总铬	土壤 总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 491
	六价铬	土壤和沉积物 六价铬的测定 碱溶液提取-火焰原子吸收分光光度法	HJ 1082
	金属元素	土壤和沉积物12种金属元素的测定 王水提取-电感耦合等离子体质谱法	HJ 803
	苯系物、烃类	土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱法	HJ741
		土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ 642
		土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 605
	石油烃	土壤和沉积物 石油烃 (C10-C40) 的测定 气相色谱法	HJ 1021
		土壤和沉积物 石油烃 (C6-C9) 的测定 吹扫捕集/气相色谱法	HJ 1020
	酚类	土壤和沉积物 酚类化合物的测定 气相色谱法	HJ 703
	苯胺类	土壤和沉积物13种苯胺类和2种联苯胺类化合物的测定 液相色谱-三重四级杆质谱法	HJ 1210
	多环芳烃	土壤和沉积物 多环芳烃的测定 高效液相色谱法	HJ 784
		土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法	HJ 805
多环芳烃、苯胺类、硝基芳香烃类、氯代烃类、硝基酚类等	土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	HJ 834	
水体	汞、砷	水质汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法	HJ 694
	烷基汞	水质 烷基汞的测定吹扫捕集/气相色谱-冷原子荧光光谱法	HJ 977
	钒	水质 钒的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	HJ 673
	六价铬	水质 六价铬的测定 流动注射-二苯碳酰二肼光度法	HJ 908
	金属元素	水质 65种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 700
	苯系物	水质 苯系物的测定 顶空/气相色谱法	HJ 1067
	苯系物、烃类	水质 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱法	HJ 686
		水质 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 639
		水质 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ 810
氯苯类	水质 氯苯类化合物的测定 气相色谱法	HJ 621	

样品类型	污染物项目	检测方法或标准	方法编号
	石油烃	水质 可萃取性石油烃（C10-C40）的测定 气相色谱法	HJ 894
		水质 挥发性石油烃(C6-C9)的测定 吹扫捕集/气相色谱法	HJ 893
	挥发性卤代烃	水质 挥发性卤代烃的测定 顶空气相色谱法	HJ 620
	酚类	水质 酚类化合物的测定 气相色谱-质谱法	HJ 744
	苯胺类	水质 17 种苯胺类化合物的测定 液相色谱-三重四极杆质谱法	HJ 1048
	多环芳烃	水质 多环芳烃的测定 液液萃取和固相萃取高效液相色谱法	HJ 478
气体	汞	环境空气 气态汞的测定 金膜富集/冷原子吸收分光光度法	HJ 910
	六价铬	环境空气 六价铬的测定 柱后衍生离子色谱法	HJ 779
	金属元素	空气和废气 颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 657
		空气和废气 颗粒物中金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	HJ 777
	苯系物	环境空气 苯系物的测定 固体吸附/热脱附-气相色谱法	HJ 583
		环境空气 苯系物的测定 活性炭吸附/二硫化碳解吸-气相色谱法	HJ 584
	苯系物、烃类	环境空气 挥发性有机物的测定 吸附管采样-热脱附/气相色谱-质谱法	HJ 644
		环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法	HJ 759
	挥发性卤代烃	环境空气 挥发性卤代烃的测定 活性炭吸附-二硫化碳解吸/气相色谱法	HJ 645
	酚类	环境空气 酚类化合物的测定 高效液相色谱法	HJ 638
	多环芳烃	环境空气和废气 气相和颗粒物中多环芳烃的测定 高效液相色谱法	HJ 647
		环境空气和废气 气相和颗粒物中多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法	HJ 646

附录 C
(资料性)

石化工业场地本地化筛查数据库推荐特征化合物

下面给出了石化工业场地本地化筛查数据库推荐特征化合物。

表 C.1 石化工业场地本地化筛查数据库推荐特征化合物

类别	序号	中文名	英文名	CAS
挥发性有机污染物 (VOCs)				
苯系物	1	苯	Benzene	71-43-2
	2	甲苯	Toluene	108-88-3
	3	乙基苯	Ethylbenzene	100-41-4
	4	邻二甲苯	O-xylene	95-47-6
	5	间二甲苯	M-xylene	108-38-3
	6	对二甲苯	P-xylene	106-42-3
	7	苯乙烯	Styrene	100-42-5
	8	2-乙基甲苯(邻甲乙苯)	O-ethyltoluene	611-14-3
	9	3-乙基甲苯(间甲乙苯)	M-ethyltoluene	620-14-4
	10	对-甲乙苯	(p)4-Ethyltoluene	622-96-8
	11	均三甲苯	1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8
	12	1,2,4-三甲苯	1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6
	13	联三甲苯	1,2,3-Trimethylbenzene	526-73-8
	14	4-异丙基甲苯	p-Isopropyltoluene	99-87-6
	15	丙基苯	N(p)-Propylbenzene	103-65-1
	16	异丙基苯	Iso-Propylbenzene	98-82-8
	17	丁苯	N-Butylbenzene	104-51-8
	18	叔丁基苯	Tert-Butylbenzene	98-06-6
	19	仲丁基苯	Sec-Butylbenzene	135-98-8
	20	氯苯	Chlorobenzene	108-90-7
	21	邻二氯苯	1,2(o)-Dichlorobenzene	95-50-1
	22	1,3-二氯苯	1,3(m)-Dichlorobenzene	541-73-1
	23	1,4-二氯苯	1,4(p)-Dichlorobenzene	106-46-7
	24	1,2,3-三氯苯	1,2,3-Trichlorobenzene	87-61-6
	25	1,2,4-三氯苯	1,2,4-Trichlorobenzene	120-82-1
	26	2-氯甲苯	2-Chlorotoluene	95-49-8
	27	对氯甲苯	4-Chlorotoluene	106-43-4
	28	溴苯	Bromobenzene	108-86-1
	29	1,3-二乙基苯	1,3-Diethylbenzene	141-93-5
	30	对二乙基苯	P-Diethylbenzene	105-05-5
烃类	1	乙烷	Ethane	74-84-0

2	丙烷	Propane	74-98-6
3	正丁烷	N-butane	106-97-8
4	2-甲基丁烷(异戊烷)	Isopentane	78-78-4
5	正戊烷	N-pentane	109-66-0
6	环戊烷	Cyclopentane	287-92-3
7	正己烷	N-hexane	110-54-3
8	环己烷	Cyclohexane	110-82-7
9	正庚烷	N-heptane	142-82-5
10	正辛烷	N-octane	111-65-9
11	癸烷	N-decane	124-18-5
12	十一烷	N-undecane	1120-21-4
13	2,3-二甲基丁烷	2,3-Dimethylbutane	79-29-8
14	3-甲基戊烷	3-Methyl pentane	96-14-0
15	2,3-二甲基戊烷	2,3-Dimethyl pentane	565-59-3
16	2-甲基己烷(异庚烷)	2-Methylhexane	591-76-4
17	3-甲基己烷	3-Methylhexane	589-34-4
18	异辛烷	2,2,4-Trimethyl pentane	540-84-1
19	2-甲基庚烷	2-Methylheptane	592-27-8
20	3-甲基庚烷	3-Methylheptane	589-81-1
21	甲基环戊烷	Methylcyclopentane	96-37-7
22	甲基环己烷	Methylcyclohexane	108-87-2
23	氯甲烷	Chloromethane	74-87-3
24	二氯甲烷	Dichloromethane	75-09-2
25	三氯甲烷	Chloroform/Trichloromethane	67-66-3
26	四氯化碳	Carbon tetrachloride	56-23-5
27	三氯氟甲烷	Monofluorotrichloromethane	75-69-4
28	二氯二氟甲烷	Dichlorodifluoromethane	75-71-8
29	溴氯甲烷	Bromochloromethane	74-97-5
30	二溴甲烷	Dibromo methane	74-95-3
31	一溴二氯甲烷	Bromodichloromethane	75-27-4
32	一氯二溴甲烷	Dibromochloromethane	124-48-1
33	溴甲烷	Bromomethane	74-83-9
34	三溴甲烷	Bromoform	75-25-2
35	氯乙烷	Chloroethane	75-00-3
36	1,2-二氯乙烷	1,2-Dichloroethane	107-06-2
37	1,1-二氯乙烷	1,1-Dichloroethane	75-34-3
38	1,1,1-三氯乙烷	1,1,1-Trichloroethane	71-55-6
39	1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	79-00-5

40	1,1,1-三氯三氟乙烷	1,1,1-Trichlorotrifluoroethane	354-58-5
41	1,1,1,2-四氯乙烷	1,1,1,2-Tetrachloroethane	630-20-6
42	1,1,2,2-四氯乙烷	1,1,2,2-Tetrachloroethane	79-34-5
43	1,2-二溴乙烷	1,2-Dibromoethane	106-93-4
44	1,2-二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	78-87-5
45	2,2-二氯丙烷	2,2-Dichloropropane	594-20-7
46	1,3-二氯丙烷	1,3-Dichloropropane	142-28-9
47	1,2-二溴-3-氯丙烷	1,2-Dibromo-3-chloropropane	96-12-8
48	乙烯	Ethene	74-85-1
49	丙烯	Propene	115-07-1
50	正丁烯	1-Butylene	106-98-9
51	顺-2-丁烯	Cis-2-butene	590-18-1
52	反-2-丁烯	Trans-2-butene	624-64-6
53	1-戊烯	1-Pentene	109-67-1
54	顺-2-戊烯	Cis-2-pentene	627-20-3
55	反-2-戊烯	Trans-2-pentene	646-04-8
56	1-己烯	1-Hexene	592-41-6
57	1,3-丁二烯	1,3-Butadiene	106-99-0
58	异戊二烯	Isoprene	78-79-5
59	乙炔	Acetylene	74-86-2
60	氯乙烯	Vinyl chloride	75-01-4
61	1, 1-二氯乙烯	1,1-Dichloroethene	75-35-4
62	反-1,2-二氯乙烯	Trans-1,2-dichloroethene	156-60-5
63	顺-1,2-二氯乙烯	Cis-1,2-dichloroethene	156-59-2
64	三氯乙烯	Trichloroethylene	79-01-6
65	四氯乙烯	Tetrachloroethylene	127-18-4
66	1,1-二氯丙烯	1,1-dichloropropene	563-58-6
67	顺式-1,3-二氯丙烯	Cis-1,3-dichloropropene	10061-01-5
68	反式-1,3-二氯-1-丙烯	Trans-1,3-dichloropropene	10061-02-6
69	六氯-1,3-丁二烯	Hexachlorobutadiene	87-68-3
70	异丙醇	2-Propanol/Isopropanol	67-63-0
71	丙酮	Acetone	67-64-1
72	2,4-二甲基戊烷	2,4-Dimethylpentane	108-08-7
73	2,3,4-三甲基戊烷	2,3,4-trimethyl-Pentane	565-75-3
74	壬烷	n-Nonane	111-84-2
75	十二烷	n-Dodecane	112-40-3
76	1,1,2,2-四氟-1,2-二氯乙烷	1,2-Dichloroperfluoroethane	76-14-2
77	亚乙基二氯	1,1-Dichloroethane	75-34-3

	78	四氯乙烷	1,1,2,2-tetrachloroethane	79-34-5
其它	1	4-甲基-2-戊酮	Methyl isobutyl ketone	108-10-1
	2	甲硫醇	Methanethiol	74-93-1
	3	乙硫醇	Ethyl mercaptan	75-08-1
	4	丁硫醇	N-butyl mercaptan	109-79-5
	5	乙酸乙酯	Ethyl acetate	141-78-6
	6	二硫化碳	Carbon disulfide	75-15-0
	7	二硫化碳	Carbon disulfide	75-15-0
	8	丙烯醛	Acrolein	107-02-8
	9	叔丁基甲醚	Methyl tert-butyl ethe	1634-04-4
	10	2-丁酮	2-Butanone	78-93-3
	11	四氢呋喃	Tetrahydrofuran	109-99-9
半挥发性有机污染物 (SVOCs)				
多环芳烃 (PAHs)	1	萘	Naphthalene	91-20-3
	2	苊	Acenaphthene	83-32-9
	3	菲	Phenanthrene	85-01-8
	4	蒽	Anthracene	120-12-7
	5	芴	Fluorene	86-73-7
	6	芘	Pyrene	129-00-0
	7	1,2-苯并[A]蒽	1,2-Benz(a)anthracene	56-55-3
	8	苯并[k]荧蒽	Benzo[k]fluoranthene	207-08-9
	9	苯并[a]芘	Benzo[a]pyrene	50-32-8
	10	茚并[1,2,3-CD]比	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	193-39-5
	11	苯并[g,h,i]花	Benzo[ghi]perylene	191-24-2
	12	苊烯	Acenaphthylene	208-96-8
	13	荧蒽	Fluoranthene	206-44-0
	14	1,2,5,6-二苯并萘	Chrysene	218-01-9
	15	苯并[B]荧蒽	Benzo[b]fluoranthene	205-99-2
	16	二苯并蒽	Dibenzanthracene	414-29-9
	17	花	Perylene	198-55-0
	18	苯并[E]芘	Benzo[e]pyrene	192-97-2
	19	地托咪定	Benzo[b]naphtho[2,1-d]thiophene	239-35-0
	20	苯并[ghi]荧蒽	Benzo[ghi]fluoranthene	203-12-3
	21	环戊烯(C,D)芘	Cyclopenteno[cd]pyrene	27208-37-3
	22	苯并菲	Triphenylene	217-59-4
	23	苯并[j]荧蒽	Benzo[j]fluoranthene	205-82-3
	24	二苯并[cd,jk]芘	Anthantrene	191-26-4
	25	六苯并苯	Coronene	191-07-1

	26	苯并芘	Benzo[a]fluorene	238-84-6
	27	7,12-二甲基苯并蒽	7,12-Dimethylbenz[a]anthracene	57-97-6
	28	3-甲基胆蒽	3-Methylcholanthrene	56-49-5
甲基多环芳烃 (CH3-PAHs)	1	1-甲基萘	1-Methylnaphthalene	90-12-0
	2	2-甲基萘	2-Methylnaphthalene	91-57-6
	3	1,3-二甲基萘	1,3-Dimethylnaphthalene	575-41-7
	4	1, 4-二甲基萘	1,4-Dimethylnaphthalene	571-58-4
	5	1,7-二甲基萘	1,7-Dimethylnaphthalene	575-37-1
	6	2,6-二甲基萘	2,6-Dimethylnaphthalene	581-42-0
	7	2,7-二甲基萘	2,7-Dimethylnaphthalene	582-16-1
	8	2,3,5-三甲基萘	2,3,5-Trimethylnaphthalene	2245-38-7
	9	1,4,6,7-四甲基萘	1,4,6,7-Tetramethylnaphthalene	13764-18-6
	10	2-异丙基萘	2-Isopropyl-naphthalene	2027-17-0
	11	1-甲基芘	1-Methylfluorene	1730-37-6
	12	9-甲基-9H-芘	9-Methylfluorene	2523-37-7
	13	二苯并噻吩	Dibenzothiophene	132-65-0
	14	4-甲基二苯并噻吩	4-Methyldibenzothiophene	7372-88-5
	15	2, 8-二甲基二苯并噻吩	2,8-Dimethyldibenzothiophene	1207-15-4
	16	1-甲基菲	1-Methylphenanthrene	832-69-9
	17	2-甲基菲	2-Methylphenanthrene	2531-84-2
	18	3-甲基菲	3-Methylphenanthrene	832-71-3
	19	9-甲基菲	9-Methylphenanthrene	883-20-5
	20	1-甲基荧蒽	1-Methylfluoranthene	25889-60-5
	21	蒽烯	Retene	483-65-8
	22	1-甲基屈	1-Methylchrysene	3351-28-8
	23	2-甲基屈	2-Methylchrysene	3351-32-4
	24	甲基萘	Methylnaphthalene	1321-94-4
硝基多环芳烃 (N-PAHs)	1	1-硝基萘	1-Nitro-naphthalene	86-57-7
	2	2-硝基萘	2-Nitro-naphthalene	581-89-5
	3	5-硝基苊	5-Nitro-acenaphthene	602-87-9
	4	2-硝基芘	2-Nitro-fluorene	607-57-8
	5	9-硝基蒽	9-Nitro-anthracene	602-60-8
	6	9-硝基菲	9-Nitro-phenanthrene	954-46-1
	7	3-硝基菲	3-Nitro-phenanthrene	17024-19-0
	8	3-硝基荧蒽	3-Nitro-fluoranthene	892-21-7
	9	1-硝基芘	1-Nitro-pyrene	5522-43-0
	10	7-硝基苯[A]蒽	7-Nitro-benzo[a]anthracene	20268-51-3
	11	6-硝基联苯	6-Nitro-chrysene	7496-02-8

	12	6-硝基苯[a]嵌二萘	6-Nitro-benzo[a]pyrene	63041-90-7
	13	2-硝基荧蒽	2-Nitrofluoranthene	954-46-1
	14	2-硝基芘	2-Nitropyrene	5522-43-0
含氧多环芳烃 (O-PAHs)	1	1,4-萘醌	1,4-Naphthoquinone	130-15-4
	2	1-萘酮	1-Acenaphthenone	2235-15-6
	3	9-芴酮	9-Fluorenone	486-25-9
	4	1,2-萘醌	1,2-Acenaphthalenedione	82-86-0
	5	6H-苯并[cd]芘-6-酮	6H-Benzo[cd]pyren-6-one	3074-00-8
	6	9,10-菲醌	9,10-Phenanthrenequinone	84-11-7
	7	苯并[a]蒽-7,12-二酮	Benz(a)anthracene-7,12-dione	2498-66-0
	8	苯并蒽酮	Benzanthrone	82-05-3
	9	蒽醌	Anthraquinone	84-65-1
杂环芳烃	1	喹啉	Quinoline	91-22-5
	2	2-甲基喹啉	2-Methyl quinoline	91-63-4
	3	3-甲基喹啉	3-Methyl quinoline	612-58-8
	4	7-甲基喹啉	7-Methyl quinoline	612-60-2
	5	2,4-二甲基喹啉	2,4-Dimethyl quinoline	1198-37-4
	6	2,5-二甲基喹啉	2,5-Dimethyl quinoline	26190-82-9
	7	7-乙基喹啉	7-Ethyl quinoline	7661-47-4
	8	异喹啉	Isoquinoline	119-65-3
	9	1-甲基异喹啉	1-Methylisoquinoline	1721-93-3
	10	3-甲基异喹啉	3-Methylisoquinoline	1125-80-0
	11	5-氨基异喹啉	5-Aminoisoquinoline	1125-60-6
	12	8-苯基喹啉	8-Phenylquinoline	605-04-9
	13	苯并[f]喹啉	Benzo[f]quinoline	85-02-9
	14	苯并[h]异喹啉	Benzo[h]quinoline	229-71-0
	15	噻吩	Thiophene	110-02-1
	16	苯胺	Aniline	62-53-3
	17	联苯胺	Benzidine	92-87-5
	18	吲哚	Indole	120-72-9
	19	吡啶	Pyridine	110-86-1
	20	咔唑	Carbazole	86-74-8
	21	氧茚	Benzo-furan	271-89-6
	22	二苯并呋喃	Dibenzofuran	132-64-9
	23	吡啶	Acridine	260-94-6
	24	7-甲基吲哚	7-Methyl-1H-indole	933-67-5
	25	2-甲基吡啶	2-Methylpyridine	109-06-8
	26	咔唑	Carbazole	86-74-8

	27	2,5-二苯基呋喃	2,5-Diphenyl furan	955-83-9
	28	1-萘胺	Naphthylamine	134-32-7
	29	1,4-二甲基-9H-咔唑	1,4-Dimethylcarbazole	18028-55-2
	30	1,8-二甲基咔唑	1,8-Dimethylcarbazole	6558-83-4
	31	2,8-二甲基二苯并噻吩	2,8-Dimethyldibenzothiophene	1207-15-4
	32	2-硝基双苯并噻吩	2-Nitrodibenzothiophene	6639-36-7
	33	3-甲基咔唑	3-Methylcarbazole	4630-20-0
	34	3-甲基二苯并噻吩	3-Methyldibenzothiophene	16587-52-3
	35	4,6-二甲基二苯并噻吩	4,6-Dimethyldibenzothiophene	1207-12-1
	36	4-甲基二苯并呋喃	4-Methyldibenzofuran	7320-53-8
	37	4-甲基二苯并噻吩	4-Methyldibenzothiophene	7372-88-5
	38	5,6-苯并喹啉	5,6-Benzoquinoline	85-02-9
	39	二苯并噻吩	Dibenzothiophene	132-65-0
羟基多环芳烃 (OH-PAHs)	1	1-萘酚	1-Hydroxynaphthalene	90-15-3
	2	2-萘酚	2-Hydroxynaphthalene	135-19-3
	3	9-羟基芴	9-Hydroxyfluorene	1689-64-1
	4	3-羟基芴	3-Hydroxyfluorene	6344-67-8
	5	2-羟基芴	2-Hydroxyfluorene	2443-58-5
	6	4-羟基菲	4-Hydroxyphenanthrene	7651-86-7
	7	9-羟基菲	9-Hydroxyphenanthrene	484-17-3
	8	3-羟基菲	3-Hydroxyphenanthrene	605-87-8
	9	1-羟基菲	1-Hydroxyphenanthrene	2433-56-9
	10	2-菲醇	2-Hydroxyphenanthrene	605-55-0
	11	3-羟基荧蒽	3-Hydroxyfluoranthene	17798-09-3
	12	1-羟基芘	1-Hydroxypyrene	5315-79-7
	13	1,2-二羟基芘	1,2-Dihydroxypyrene	
	14	1-羟基苯并(a)蒽	1-Hydroxybenzo[a]anthracene	69847-26-3
	15	3-羟基苯并(a)蒽	3-Hydroxybenzo[a]anthracene	4834-35-9
	16	苯并[I]芘-4-醇	4-Hydroxybenzo[a]anthracene	37574-48-4
	17	5-羟基苯并[a]蒽	5-Hydroxybenzo[a]anthracene	960-92-9
	18	8-羟基苯并[a]蒽	8-Hydroxybenzo[a]anthracene	34501-23-0
	19	苯并[a]蒽-11-醇	11-Hydroxybenzo[a]anthracene	63019-35-2
	20	1-羟基屈	1-Hydroxychrysene	63019-38-5
	21	2-羟基屈	2-Hydroxychrysene	65945-06-4
	22	3-羟基屈	3-Hydroxychrysene	63019-39-6
	23	4-羟基屈	4-Hydroxychrysene	63019-40-9
	24	6-羟基屈	6-Hydroxychrysene	37515-51-8
	25	1-羟基苯并[a]芘	1-Hydroxybenzo[a]pyrene	13345-23-8

	26	2-羟基苯并[a]芘	2-Hydroxybenzo[a]pyrene	56892-30-9
	27	3-羟基苯并[a]芘	3-Hydroxybenzo[a]pyrene	13345-21-6
	28	4-羟基苯并[a]芘	4-Hydroxybenzo[a]pyrene	28318-40-3
	29	5-羟基苯并[a]芘	5-Hydroxybenzo[a]pyrene	24027-84-7
	30	6-羟基苯并[a]芘	6-Hydroxybenzo[a]pyrene	33953-73-0
	31	7-羟基苯并[a]芘	7-Hydroxybenzo[a]pyrene	37994-82-4
	32	8-羟基苯并[a]芘	8-Hydroxybenzo[a]pyrene	13345-26-1
	33	9-羟基苯并[a]芘	9-Hydroxybenzo[a]pyrene	17573-21-6
	34	10-羟基苯并[a]芘	10-Hydroxybenzo[a]pyrene	56892-31-0
	35	11-羟基苯并[a]芘	11-Hydroxybenzo[a]pyrene	56892-32-1
	36	12-羟基苯并[a]芘	12-Hydroxybenzo[a]pyrene	56892-33-2
	37	羟基苯并[b]荧蒽	1-Hydroxybenzo[b]fluoranthene	100516-03-8
PAHs 衍生物代谢物	1	2-羟基氧芴	2-Hydroxydibenzofuran	86-77-1
	2	3-羟基咔唑	3-Hydroxycarbazole	7384-07-8
	3	5-羟基异喹啉	5-Hydroxyisoquinoline	2439-04-5
	4	4-硝基-1-萘酚	4-Nitro-1-Naphthol	605-62-9
VOCs 代谢物				
VOCs 代谢物	1	S-苯汞基酸	N-Acetyl-S-(phenyl)-l-cysteine	4775-80-8
	2	反式,反式-1,3-丁二烯-1,4-二羧酸	Trans, trans-Muconic acid	3588-17-8
	3	邻苯二酚	1,2-Dihydroxybenzene	120-80-9
	4	苯甲酰甲酸	Phenylglyoxylic acid	611-73-4
	5	D-扁桃酸	Mandelic acid	611-71-2
	6	N-乙酰基苄基半胱氨酸	N-Acetyl-S-(benzyl)-l-cysteine	19542-77-9
	7	N-乙酰基-S-(2,4-二甲基苯)-L-半胱氨酸	N-Acetyl-S-(2,4/2,5/3,4-dimethylphenyl)-l-cysteine	581076-69-9
	8	2-甲基马尿酸	2-Methylhippuric acid	42013-20-7
	9	3-甲基马尿酸	3-Methylhippuric acid	27115-49-7
	10	4-甲基马尿酸	4-Methylhippuric acid	27115-50-0
	11	N-乙酰基-S-(2-羟乙基)-L-半胱氨酸	N-Acetyl-S-(2-hydroxyethyl)-l-cysteine	15060-26-1
	12	硫代二乙酸	Thiodiglycolic acid	123-93-3
	13	N-乙酰-S-(3,4-二羟基丁基)-L-半胱氨酸	N-Acetyl-S-(3,4-dihydroxybutyl)-l-cysteine	144889-50-9
	14	N-乙酰基-S-(4-羟基-2-丁烯-1-基)-L-半胱氨酸	N-Acetyl-S-(1-hydroxymethyl-2-propenyl)-l-cysteine	159092-65-6
	15	(2R)-2-乙酰氨基-3-(1,2,2-三氯乙烯基硫基)丙酸	N-Acetyl-S-(trichlorovinyl)-l-cysteine	111348-61-9
	16	(2R)-2-乙酰氨基-3-[(Z)-1,2-二氯乙烯基]硫基丙酸	N-Acetyl-S-(1,2-dichlorovinyl)-l-cystein	2148-31-4
	17	(2R)-2-乙酰氨基-3-(2,2-二氯乙烯基硫基)丙酸	N-Acetyl-S-(2,2-dichlorovinyl)-l-cysteine	126543-43-9

18	N-乙酰基-S-(N-甲基氨基甲酰基)-L-半胱氨酸	N-Acetyl-S-(N-methylcarbamoyl)-L-cysteine	103974-29-4
19	N-乙酰-S-(2-氰乙基)-L-2-氨基-3-巯基丙酸	N-Acetyl-S-(2-cyanoethyl)-L-cysteine	74514-75-3
20	2-苯基丙酸	(±)-2-Phenylpropanoic acid	492-37-5
21	2,5-二氯苯酚	2,5-Dichlorophenol	583-78-8
22	N-乙酰基苄基半胱氨酸	N-Acetyl-S-(benzyl)-L-cysteine	19542-77-9
23	3,5-二氯苯酚	3,5-Dichlorophenol	591-35-5
24	3,4-二氯苯酚	3,4-Dichlorophenol	95-77-2
25	2-噻氧噻唑烷-4-羧酸	(R)-2-Thioxothiazolidine-4-carboxylic acid	20933-67-9
26	2-氨基-2-噻唑啉-4-羧酸	rac 2-Aminothiazoline-4-carboxylic acid	2150-55-2
27	4-氯邻苯二酚	4-Chlorocatechol	2138-22-9

附录 D
(资料性)
石化工业污染场地污染物分析推荐内标物

下面给出了石化工业污染场地污染物分析推荐内标物。

表 D.1 石化工业污染场地污染物分析推荐内标物

类别	中文名	英文名	缩写	CAS
PAHs 内标	萘-d ₈	Naphthalene-d ₈	Nap-d ₈	211439-12-2
	芴-d ₁₀	Acenaphthene-d ₁₀	Acp-d ₁₀	15067-26-2
	菲-d ₁₀	Phenanthrene-d ₁₀	Phe-d ₁₀	1517-22-2
	蒽-d ₁₂	Chrysene-d ₁₂	Chr-d ₁₂	1719-03-5
	茈-d ₁₂	Perylene-d ₁₂	Per-d ₁₂	1520-96-3
PAHs 衍生物 内标	2-硝基芴-d ₉	2-Nitrofluorene-d ₉	Nflu-d ₉	128008-87-7
	3-硝基芴-d ₉	3-Nitrofluoranthene-d ₉	Nfla-d ₉	350820-11-0
	蒽醌-d ₈	Anthraquinone-d ₈	Anqun-d ₈	10439-39-1
	异喹啉-d ₇	Isoquinoline-d ₇	Isoqul-d ₇	17157-12-9
	1-硝基萘-d ₇	1-Nitronaphthalene-d ₇	1-Nnap-d ₇	80789-77-1
	9-芴酮-d ₈	9-Fluorenone-d ₈	9-Flr-d ₈	137219-34-2
	1-硝基茈-d ₉	1-Nitropyrene-d ₉	1-Npyr-d ₉	93487-20-8
PAHs 代谢物 内标	2-羟基萘-d ₇	2-Hydroxy-Naphthalene-d ₇	2-OH-Nap-d ₇	135-19-3
	2-羟基芴-d ₉	2-Hydroxy-Fluorene-d ₉	2-OH-Flu-d ₉	2443-58-5
	3-羟基菲-13C ₁₂	3-Hydroxy-Phenanthrene- ¹³ C ₁₂	3-OH-Phe- ¹³ C ₁₂	605-87-8
	1-羟基茈-d ₉	1-Hydroxy-Pyrene-d ₉	1-OH-Pyr-d ₉	5315-79-7
VOCs 内标	氟苯	Fluorobenzene	F1b	462-06-6
	4-溴氟苯	4-Bromofluorobenzene	4-Bf1b	460-00-4
	1,2-二氯苯-d ₄	1,2-Dichlorobenzene -d ₄	1,2-Dcb-d ₄	2199-69-1
	1,4-二氟苯	1,4-Difluorobenzene	1,4-Df1b	540-36-4
	氯苯-d ₅	chlorobenzene-d ₅	Cb-d ₅	3114-55-4
VOCs 代谢物 内标	N-乙酰-S-(2-甲酰乙基)-L-半胱氨酸-d ₄	N-Acetyl-S-(2-carbamoylethyl)-L-cysteine-d ₄	AAMA-d ₄	81690-92-8
	苯甲酰甲酸-d ₅	Phenylglyoxylic acid-d ₅	PGA-d ₅	611-73-4
	N-乙酰-S-丙基-L-半胱氨酸-d ₇	N-Acetyl-S-propyl-L-cysteine--d ₇	BPMA-d ₇	14402-54-1
	N-乙酰-S-苯基-L-半胱氨酸-d ₅	N-Acetyl-S-(phenyl)-l-cysteine-d ₅	PMA-d ₅	4775-80-8