

团 体 标 准

T/CSES 97—2023

# 场地土壤污染物人体暴露组解析技术规范 有色金属工业

Technical specification for exposome analysis for human exposure to soil  
contaminants from sites Non-ferrous metal metallurgy industry

2023 - 05 - 22 发布

2023 - 05 - 22 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 有色金属工业.....1

4 工作程序.....1

5 初步调查.....2

    5.1 资料收集与分析.....2

    5.2 现场踏勘和人员访谈.....2

    5.3 初步调查结果.....2

6 场地调查.....3

    6.1 确定调查范围.....3

    6.2 环境样品采集.....3

    6.3 环境样品分析.....3

    6.4 健康风险评估.....3

7 人群调查.....4

    7.1 人群调查方案的制定.....4

    7.2 调查人群的选择.....4

    7.3 生物样品采集、问卷调查和体格检查.....4

    7.4 生物样品检测与分析.....5

    7.5 数据库建立.....5

8 暴露生物标志物的确定.....5

    8.1 统计分析.....5

    8.2 综合研判.....6

9 质量控制.....6

    9.1 人员和实验条件.....6

    9.2 样品采集、保存、运输与实验室分析.....6

    9.3 数据审核与处理.....6

10 报告编制.....6

附 录 A（资料性）有色金属工业重点工艺及特征污染物.....7

附 录 B（资料性）再生金属工业场地筛查数据库推荐特征化合物.....10

附 录 C（资料性）再生金属工业场地可疑/非目标筛选推荐内标物.....18

附 录 D（资料性）人体尿液中总砷及砷代谢产物的分析方法.....20

## 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。

本文件由广东工业大学提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：广东工业大学、生态环境部华南环境科学研究所、华中科技大学、河南师范大学。

本文件主要起草人：安太成、许榕发、熊举坤、郑晶、李桂英、夏玮、曹治国、张释义。

## 引 言

有色金属工业作为国务院重点监管行业之一，其形成的污染场地有可能对人群健康造成威胁。采用暴露组的先进理念与方法开展研究，结合行业特征，建立有色金属工业污染场地土壤污染物与人体暴露的关联，获得暴露生物标志物，为推动我国有色金属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》，规范和指导有色金属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 有色金属工业

## 1 范围

本标准规定了有色金属工业企业场地土壤污染物人体暴露组解析的初步调查、场地调查、人群调查、暴露标志物筛选等技术要求。

本文件适用于我国有色金属工业企业在生产、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/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 630 环境监测质量管理技术导则
- HJ 834 土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法
- HJ 863.1 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 铅锌冶炼
- HJ 863.2 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 铝冶炼
- HJ 863.3 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 铜冶炼
- HJ 863.4 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 再生金属
- HJ 931 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 汞冶炼
- HJ 933 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 镁冶炼
- HJ 934 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 镍冶炼
- HJ 935 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 钛冶炼
- HJ 936 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 锡冶炼
- HJ 937 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 钴冶炼
- HJ 938 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 锑冶炼
- HJ 989 排污单位自行监测技术指南有色金属工业
- T/CSES 94 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

HJ 989和HJ 863.4界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**有色金属工业** non-ferrous metallurgy industry

指通过熔炼、精炼、电解或其他方法从有色金属矿、废杂金属料等有色金属原料中提炼常用有色金属的生产活动，包括有色金属（铝、铅、锌、铜、镍、钴、镁、钛、锡、锑、汞）冶炼和再生有色金属（再生铜、再生铝、再生铅、再生锌）工业。

## 4 工作程序

场地土壤污染物人体暴露组解析可分为初步调查、场地调查、人群调查、暴露生物标志物筛选和报告编制5个阶段，工作程序见T/CSES 94。

## 5 初步调查

### 5.1 资料收集与分析

收集的资料主要包括：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、有色金属工业设施与工艺相关文件及污染相关信息（见表1）。当调查场地与相邻场地存在交叉污染的可能时，须收集相邻场地的相关记录和资料。

表 1 有色金属工业资料收集内容

信息	资料项目
基本信息	有色金属工业企业名称、行业子类、运营管理部门、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	主要生产单元、生产工艺、生产设施和参数、产品名称和产成能力； 主要原辅料名称及成分信息（硫元素占比、有毒有害物质成分及占比） 主要燃料及其成分信息（硫分、灰分、挥发分等）
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、环境处罚信息、历年突发环境事件情况； 监督性监测报告、危废鉴定报告
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
环境影响情况	生态环境影响报告、周边的相关介质监测数据，周边的投诉情况等

### 5.2 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。

### 5.3 初步调查结果

- 5.3.1 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，明确目标暴露人群，明确是否开展场地调查。
- 5.3.2 开展场地调查应同时满足：场地当前或历史上存在有色金属工业污染源；有色金属工业生产活动对场地土壤造成污染且存在人群暴露，可能带来健康风险。
- 5.3.3 场地内有色金属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时，可终止调查。
- 5.3.4 除有色金属工业，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的，调查方法参考 T/CSES 94。



## 6 场地调查

### 6.1 确定调查范围

6.1.1 应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，并参考场地内有色金属冶炼企业环境影响评价文件中提出的周围敏感区域，确定暴露区的调查范围。

6.1.2 参照 T/CSES 94 要求对暴露区和对照区进行划定。

6.1.3 生产区中不同生产单元的划定及其特征污染物见附录 A。

### 6.2 环境样品采集

6.2.1 有色金属工业行业应重点关注金属元素及其化合物；其中再生金属工业除金属元素及其化合物以外，还应关注多环芳烃、氯代苯酚、多氯联苯、多氯萘、二噁英等。

6.2.2 暴露区与对照区的点位布设执行 T/CSES 94。

6.2.3 应依据污染物种类和环境介质类型，参照相关标准执行采集量、采集方式、保存与运输方法、采样记录、质量控制等要求。

### 6.3 环境样品分析

#### 6.3.1 可疑目标筛查和非目标筛查

宜结合色谱-高分辨质谱等手段对有色金属工业污染场地中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) 土壤中半挥发性有机物筛查的前处理及分析方法参照 HJ 834，筛查获得的组间差异特征峰经鉴定取得差异化合物信息。
- b) 为便于场地特征污染物筛查和鉴定，根据有色金属工业场地特征有机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，建立包含有色金属工业场地特征有机污染物分子结构信息的本地化筛查数据库，宜包含的特征有机污染物见附录 C。

#### 6.3.2 目标物分析

根据冶炼的有色金属类型确定场地潜在特征污染物，对有色金属工业特征金属类污染物及其化合物等重点关注的污染物宜进行定量分析获得浓度水平。

- a) 分析方法宜优先采用国家、地方和行业相关标准。标准中未涵盖污染物的分析可采用经验证的实验室自建方法。
- b) 对暴露区和对照区各环境介质中检出的特征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*-test/非参数检验进行组间比较，获得暴露区显著高于对照区的差异化合物 ( $P < 0.05$ )。

#### 6.3.3 综合判断

整理调查信息和监测结果，评估数据质量，分析数据有效性和充分性，确定是否需要补充采样分析。根据环境介质中污染物分析结果，对获得的暴露区显著高于对照区的化合物，结合场地有色金属工业污染源的行业类别、工艺和污染物排放情况综合研判，获得该有色金属工业场地特征污染物清单。

### 6.4 健康风险评估

6.4.1 暴露评估、风险表征、风险判断的具体方法执行 T/CSES 94。

6.4.2 宜对暴露区和对照区及不同人群亚组进行暴露情景识别及暴露量计算。暴露区宜包括：堆浸场区、硫酸罐区、渗滤液池区等。暴露途径宜包括：手-口摄入途径、皮肤接触途径，呼吸吸入、摄食暴露

途径等。暴露量计算过程宜重点关注重金属及其化合物（砷、镉、铬）等有色金属冶炼行业特征有毒有害污染物，再生金属工业还需关注氯代苯酚、多氯联苯（PCBs）、多氯萘（PCNs）和二噁英等有机污染物。

6.4.3 根据受体人群在不同暴露情景下对应的暴露量，判断场地人群健康风险水平，若风险超过可接受水平则开展人群调查，若风险可接受则结束调查。

## 7 人群调查

### 7.1 人群调查方案的制定

根据有色金属工业场地特征污染物清单中污染物特点及其暴露途径，识别潜在内负荷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、样本量确定、人群抽取、问卷调查、体格检查、体内负荷水平调查、内源性代谢物分析等内容。在开展人群调查前，应通过医学伦理审查并取得知情同意。

### 7.2 调查人群的选择

充分考虑场地土壤污染情况确定调查人群。调查人群可分为暴露人群与对照人群。其中暴露人群分为职业接触人群和一般暴露人群（暴露区非职业接触居民）。样本量的确定与调查人群的抽取方法参考 HJ 839。根据暴露情景差异，可将暴露人群进一步划分为不同暴露等级的亚组人群，组内调查人群宜尽量涵盖不同暴露等级的人群亚组。

### 7.3 生物样品采集、问卷调查和体格检查

#### 7.3.1 生物样品采集

根据场地调查获得的场地特征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。推荐采集的生物样品、采集方式、保存与运输条件等见表 2，具体操作可参考 GB/T 16126。

表 2 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	内源性代谢物
血液	目标化合物	V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Cd、Sn、Sb、Hg、Tl 和 Pb 等 26 种金属	多环芳烃及其衍生物、多氯联苯等 SVOCs，以及 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	采用无抗凝采血管静脉采集		采用抗凝采血管静脉采集
	保存和运输	冷藏运输，-80℃冷冻保存		
尿液	目标化合物	V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Cd、Sn、Sb、Hg、Tl 和 Pb 等 26 种金属	多环芳烃等 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中段尿，冻存管分装		
	保存和运输	冷藏运输，-80℃冷冻保存		

#### 7.3.2 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T/CSES 94。

## 7.4 生物样品检测与分析

### 7.4.1 污染物分析

#### 7.4.1.1 可疑目标筛查和非目标筛查

7.4.1.1.1 结合场地调查获得的污染物清单和文献调研，推导有色金属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 6.3.1 b 所构建数据库的基础上，补充羟基多环芳烃、羟基氯代多环芳烃、羟基多氯联苯等 SVOCs 代谢产物信息，建立包含有色金属工业场地特征有机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）。

7.4.1.1.2 可疑目标筛查和非目标筛查方法见 T/CSES 94。

7.4.1.1.3 结合有色金属工业污染场地特征有机污染物类型，可疑目标/非目标筛查分析中推荐使用的内标物见附录 D。

#### 7.4.1.2 目标物分析

7.4.1.2.1 根据冶炼的有色金属类型不同，有色金属工业主要特征人体内负荷污染物为金属元素及其化合物。此外，再生金属行业还可能存在 SVOCs（多环芳烃、氯代苯酚、多氯联苯（PCBs）、多氯萘（PCNs）等）及其代谢产物（羟基多环芳烃（OH-PAHs）等）等有机污染物暴露。根据场地调查结果，对于重点关注的目标物及其代谢产物，可采用定量分析方法检测。

7.4.1.2.2 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。血液和尿液中金属元素的定量分析方法见 T/CSES 94。人体尿液中总砷及砷代谢产物的分析方法见附录 B。

7.4.1.2.3 对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*-test/非参数检验进行组间比较，获得暴露区显著高于对照区的差异化合物（ $P < 0.05$ ）。

#### 7.4.1.3 评估和验证

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差异化合物进行分析评判，获得有色金属工业场地特征体内负荷污染物及/或其代谢产物清单。

## 7.4.2 内源性代谢物分析

结合清单中污染物及/或其代谢产物健康效应类型和毒性参数，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。血液中代谢组学分析方法见T/CSES 94。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。

## 7.5 数据库建立

建立包含场地特征污染物及/或其代谢产物分子、人群特征体内负荷污染物及/或其代谢产物、问卷调查、体格检查及健康状况调查的数据库。

## 8 暴露生物标志物的确定

### 8.1 统计分析

以特征内源性代谢物、生化指标等健康效应指标为因变量，特征污染物浓度值、暴露风险等为自变量，考虑人口学特征、行为活动情况、健康相关因素等基本信息，采用线性回归、加权分位数和回归、贝叶斯核机回归、弹性网络回归等模型分析多种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T/CSES 94。

## 8.2 综合研判

8.2.1 采用专家打分法，组织权威专家对特征污染物/代谢产物进行讨论，根据主要因素制定权重后评分排序，综合研判确定暴露生物标志物及对应的样品类型，考虑的主要因素包括：

- a) 与特征内源性代谢物的相关程度；
- b) 与场地特征土壤污染物的关联，对应暴露途径和暴露情景；
- c) 与场地中有色金属工业行业类别、生产工艺、原辅料、排放污染物的关联；
- d) 人体负荷水平、检出率；
- e) 当前研究情况，包括与有色金属工业行业的关联、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。

8.2.2 获得的暴露生物标志物一般不宜多于 10 种/类污染物。

## 9 质量控制

### 9.1 人员和实验条件

9.1.1 项目参与人员应接受技术培训，考核合格后上岗。

9.1.2 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。

9.1.3 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%。

### 9.2 样品采集、保存、运输与实验室分析

9.2.1 环境样品的采集、保存、运输的质量控制执行对应标准中相关要求；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。

9.2.2 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。

9.2.3 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。

### 9.3 数据审核与处理

9.3.1 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。

9.3.2 异常数据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。

9.3.3 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。

## 10 报告编制

有色金属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。

附 录 A  
(资料性)

有色金属工业重点工艺及特征污染物

下表给出了有色金属工业重点工艺特征污染物。

表 A.1 有色金属工业重点工艺及特征污染物

行业子类	工艺类型	污染类型	排污环节/设备	特征污染物
铅锌冶炼	铅冶炼	大气污染物	制酸系统(熔炼炉烟气)、还原炉+烟化炉、熔炼炉、还原炉、烟化炉环境集烟、浮渣反射炉周边	铅及其化合物、汞及其化合物
			熔铅(电铅)锅周边	铅及其化合物
			锅炉周边	汞及其化合物
	锌冶炼(湿法炼锌)	大气污染物	制酸系统(沸腾炉烟气)、回转窑(烟化炉)、多膛炉	铅及其化合物、汞及其化合物
			锅炉	汞及其化合物
	电炉炼锌	大气污染物	制酸系统(熔炼炉烟气)、电炉环境集烟、回转窑(烟化炉)、锌精馏系统	铅及其化合物、汞及其化合物
			锅炉烟囱	汞及其化合物
	竖罐炼锌	大气污染物	制酸系统(沸腾炉烟气)、焦结蒸馏系统、漩渦炉、锌精馏系统	铅及其化合物、汞及其化合物
			锅炉	汞及其化合物
	ISP 法	大气污染物	烧结机头、制酸系统(烧结烟气)、密闭鼓风机环境集烟、烟化炉、浮渣反射炉、锌精馏系统	铅及其化合物、汞及其化合物
			熔铅(电铅)锅	铅及其化合物
			锅炉	汞及其化合物
所有	所有	水污染物	废水总排放口周边	总锌、总铜、总铅、总镉、总汞、总砷、总镍、总铬、总铊、总钒
			车间或生产设施废水排放口周边	总铅、总镉、总汞、总砷、总镍、总铬
铝冶炼	所有	大气污染物	锅炉	汞及其化合物
		水污染物	企业废水总排放口	石油类、挥发酚
铜冶炼	所有	大气污染物	熔炼炉、吹炼炉、阳极炉(精	砷及其化合物、铅及其化合物、汞及其

行业子类	工艺类型	污染类型	排污环节/设备	特征污染物
			炼炉)、炉窑、	化合物
			锅炉	汞及其化合物
		水污染物	废水总排放口周边	总锌、石油类、总铜、总铅、总砷、总镉、总汞、总镍、总钴、总钼
			车间或生产设施废水排放口周边	总铜、总铅、总砷、总镉、总汞、总镍、总钴
汞冶炼	所有	大气污染物	蒸馏炉、马弗炉	锑及其化合物、汞及其化合物、铅及其化合物
			锅炉	汞及其化合物
		水污染物	废水总排放口周边	石油类、总铜、总锌、总锑、总汞、总镉、总铅、总砷、六价铬
			车间或生产设施废水排放口周边	总汞、总铬、总铅、总砷
镁冶炼	所有	大气污染物	锅炉	汞及其化合物
			废水总排放口	石油类、总铜、总铬、六价铬
		水污染物	车间或生产设施废水排放口	总铬、六价铬
镍冶炼	所有	大气污染物	熔炼炉、吹炼炉、贫化炉、炉窑	铅及其化合物、砷及其化合物、镍及其化合物、汞及其化合物
			锅炉	汞及其化合物
		水污染物	废水总排放口	总锌、石油类、总铜
			车间或生产设施废水排放口	总铅、总砷、总镉、总汞、总镍、总钴
钛冶炼	所有	大气污染物	锅炉	汞及其化合物
		水污染物	废水总排放口	石油类、总铜
			车间或生产设施废水排放口	总铬、六价铬
锡冶炼	所有	大气污染物	陈前处理系统、还原熔炼系统、挥发熔炼系统、环境集烟、配料系统、精炼系统	锡及其化合物、汞及其化合物、镉及其化合物、铅及其化合物、砷及其化合物和锑及其化合物
			锅炉	汞及其化合物
		水污染物	废水总排放口	石油类、总铜、总锌、总锡、总锑、总汞、总镉、总铅、总砷、六价铬
			车间或生产设施废水排放口	总汞、总镉、总铅、总砷、六价铬
钴冶炼	湿法冶炼	大气污染物	锅炉	汞及其化合物
		水污染物	废水总排放口	总锌、石油类、总铜
			车间或生产设施废水排放口	总铅、总砷、总镉、总汞、总镍、总钴
	火法冶炼	大气污染物	熔炼炉、焙烧炉、炉窑	铅及其化合物、砷及其化合物、镍及其

行业子类	工艺类型	污染类型	排污环节/设备	特征污染物
				化合物、汞及其化合物
			锅炉	汞及其化合物
		水污染物	废水总排放口	总锌、石油类、总铜
			车间或生产设施废水排放口	总铅、总砷、总镉、总汞、总镍、总钴
锡冶炼	以锡精矿为原料	大气污染物	配料系统、挥发熔炼炉（包括前床）、挥发焙烧系统、还原熔炼系统、环境集烟（进料、出渣、出锡口等）	锡及其化合物、汞及其化合物、镉及其化合物、铅及其化合物、砷及其化合物和锡及其化合物
	以铅锡精矿为原料	大气污染物	沸腾焙烧系统、烧结系统、还原熔炼系统、精炼系统、吹炼系统、环境集烟（进料、出渣、出锡口等）	锡及其化合物、汞及其化合物、镉及其化合物、铅及其化合物、砷及其化合物和锡及其化合物
	以锡金精矿为原料	大气污染物	配料系统、挥发熔炼炉（包括前床）、挥发焙烧系统、还原熔炼系统、灰吹系统、炼金系统、环境集烟（进料、出渣、出锡口等）	锡及其化合物、汞及其化合物、镉及其化合物、铅及其化合物、砷及其化合物和锡及其化合物
	以精锡为原料	大气污染物	锡白炉	锡及其化合物
	所有	大气污染物	锅炉	汞及其化合物
		水污染物	废水总排放口	石油类、总铜、总锌、总锡、总汞、总镉、总铅、总砷、六价铬
			车间或生产设施废水排放口	总汞、总镉、总铅、总砷、六价铬
再生金属	火法工艺	大气污染物	熔炼炉、熔炼炉环境集烟、熔析炉、熔析炉环境集烟、回转窑（炉）、回转窑（炉）环境集烟、	砷及其化合物、铅及其化合物、锡及其化合物、镉及其化合物、铬及其化合物、多环芳烃、氯代苯酚、多氯联苯、多氯萘、二噁英等
	湿法工艺	大气污染物	锅炉	汞及其化合物、多环芳烃、多氯联苯、二噁英等
	所有	水污染物	废水总排放口周边	石油类、总铜、总锌
			车间或生产设施废水排放口周边	总铅、总砷、总镍、总镉、总铬、总汞

附录 B  
(资料性)

再生金属工业场地筛查数据库推荐特征化合物

下表给出了再生金属工业场地筛查数据库推荐特征化合物。

表 B.1 再生金属工业场地筛查数据库推荐特征化合物

类别	序号	中文名	英文名	CAS
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	苯并芴	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
羟基多环芳烃	1	1-萘酚	1-Hydroxynaphthalene	90-15-3



类别	序号	中文名	英文名	CAS
(OH-PAHs)	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	120-80-9
	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[1]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

类别	序号	中文名	英文名	CAS
	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
甲基多环芳烃 (CH <sub>3</sub> -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-Isopropylnaphthalene	2027-17-0
	11	1-甲基芴	1-Methylfluorene	1730-37-6
	12	9-甲基-9H-芴	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
氯代多环芳烃 (Cl-PAHs)	1	2,7-二氯芴	2,7-Dichlorofluorene	7012-16-0
	2	9-氯-9-H-芴	9-Chlorofluorene	6630-65-5
	3	9-氯代菲	9-Chlorophenanthrene	947-72-8
	4	2-氯菲	2-Chlorophenanthrene	24423-11-8
	5	9,10-二氯代菲	9,10-Dichlorophenanthrene	17219-94-2
	6	1-氯蒽	1-Chloroanthracene	4985-70-0
	7	2-氯蒽	2-Chloroanthracene	17135-78-3

类别	序号	中文名	英文名	CAS
	8	9-氯蒽	9-Chloroanthracene	716-53-0
	9	1,5-二氯蒽	1,5-Dichloroanthracene	6406-96-8
	10	9,10-二氯蒽	9,10-Dichloroanthracene	605-48-1
	11	1,5,9,10-四氯蒽	1,5,9,10-Tetrachloroanthracene	82843-47-8
	12	3-氯荧蒽	3-Chlorofluoranthene	25911-51-7
	13	3,8-二氯荧蒽	3,8-Dichlorofluoranthene	25911-52-8
	14	1-氯芘	1-Chloropyrene	34244-14-9
	15	7-氯苯并[a]蒽	7-Chlorobenz[a]anthracene	20268-52-4
	16	6-氯苯并[a]芘	6-Chlorobenzo[a]pyrene	21248-01-1
	17	2-氯芴	2-Chlorofluorene	2523-44-6
	18	4-氯菲	4-Chlorophenanthrene	24079-43-4
	19	1,8-二氯蒽	1,8-Dichloro-anthracene	14381-66-9
	20	8-氯荧蒽	8-Chlorofluoranthene	145730-31-0
	21	1-氯芘	1-Chloropyrene	34244-14-9
	22	7-氯苯并[a]蒽	7-Chlorobenz(a)anthracene	20268-52-4
	23	6-氯苯并[a]芘	6-Chlorobenz(a)pyrene	21248-01-1
溴代多环芳烃 (Br-PAHs)	1	5-溴萘	5-Bromoacenaphthene	2051-98-1
	2	2-溴芴	2-Bromofluorene	1133-80-8
	3	1,2-二溴萘	1,2-Dibromoacenaphthylene	14209-08-6
	4	3-溴菲	3-Bromophenanthrene	715-50-4
	5	9-溴菲	9-Bromophenanthrene	573-17-1
	6	2-溴菲	2-Bromophenanthrene	62162-97-4
	7	1-溴蒽	1-Bromoanthracene	7397-92-4
	8	9-溴蒽	9-Bromoanthracene	1564-64-3
	9	2,7-二溴芴	2,7-Dibromofluorene	16433-88-8
	10	3-溴荧蒽	3-Bromofluoranthrene	13438-50-1
	11	1,8-二溴蒽	1,8-Dibromoanthracene	131276-24-9
	12	9,10-二溴蒽	9,10-Dibromoanthracene	523-27-3
	13	9,10-二溴菲	9,10-Dibromophenanthrene	15810-15-8
	14	4-溴芘	4-Bromopyrene	1732-26-9
	15	1-溴芘	1-Bromopyrene	1714-29-0
	16	7-溴苯并[a]蒽	7-Bromobenz[a]anthracene	32795-84-9

类别	序号	中文名	英文名	CAS
	17	1,6-二溴苊	1,6-Dibromopyrene	27973-29-1
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-硝基芴	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-硝基苊	1-nitro-pyrene	5522-43-0
	10	7-硝基苯[a]蒽	7-Nitro-benzo[a]anthracene	20268-51-3
	11	6-硝基蒾	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-硝基苊	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-苊酮	1-Acenaphthenone	2235-15-6
	3	9-芴酮	9-Fluorenone	486-25-9
	4	1,2-苊醌	1,2-Acenaphthalenedione	82-86-0
	5	6H-苯并[cd]苊-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
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
多氯联苯 (PCBs)	1	2,4'-二氯联苯	2,4'-Dichlorobiphenyl	34883-43-7
	2	2,4,4'-三氯联苯	2,4,4'-Trichlorobiphenyl	7012-37-5
	3	3,4,4'-三氯联苯	3,4,4'-Trichlorobiphenyl	38444-90-5
	4	2,2',3,5'-四氯联苯	2,2',3,5'-Tetrachlorobiphenyl	41464-39-5
	5	2,2',4,5'-四氯联苯	2,2',4,5'-Tetrachlorobiphenyl	41464-40-8
	6	2,2',5,5'-四氯联苯	2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl	35693-99-3

类别	序号	中文名	英文名	CAS
	7	2,3,4,4'-四氯联苯	2,3,4,4'-Tetrachlorobiphenyl	33025-41-1
	8	2,3',4,4'-四氯联苯	2,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl	32598-10-0
	9	2,3',4',5-四氯联苯	2,3',4',5-Tetrachlorobiphenyl	32598-11-1
	10	2,4,4',5'-四氯联苯	2,4,4',5'-Tetrachlorobiphenyl	32690-93-0
	11	3,3',4,4'-四氯联苯	3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl	32598-13-3
	12	2,2',3,3',4-五氯联苯	2,2',3,3',4-Pentachlorobiphenyl	52663-62-4
	13	2,2',3,4,5-五氯联苯	2,2',3,4,5-Pentachlorobiphenyl	38380-02-8
	14	2,2',4,4',5-五氯联苯	2,2',4,4',5-Pentachlorobiphenyl	38380-01-7
	15	2,2',4,5,5'-五氯联苯	2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl	37680-73-2
	16	2,3,3',4,4'-五氯联苯	2,3,3',4,4'-Pentachlorobiphenyl	32598-14-4
	17	2,3,4,4',5-五氯联苯	2,3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl	74472-37-0
	18	2,3',4,4',5-五氯联苯	2,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl	31508-00-6
	19	3,3',4,4',5-五氯联苯	3,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl	57465-28-8
	20	2,2',3,3',4,4'-六氯联苯	2,2',3,3',4,4'-Hexachlorobiphenyl	38380-07-3
	21	2,2',3,4,4',5'-六氯联苯	2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphenyl	35065-28-2
	22	2,2',4,4',5,5'-六氯联苯	2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl	35065-27-1
	23	2,3,3',4,4',5-六氯联苯	2,3,3',4,4',5-Hexachlorobiphenyl	38380-08-4
	24	2,3,3',4,4',6-六氯联苯	2,3,3',4,4',6-Hexachlorobiphenyl	74472-42-7
	25	2,3,4,4',5,6-六氯联苯	2,3,4,4',5,6-Hexachlorobiphenyl	41411-63-6
	26	3,3',4,4',5,5'-六氯联苯	3,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl	32774-16-6
	27	2,2',3,3',4,4',5-七氯联苯	2,2',3,3',4,4',5-Heptachlorobiphenyl	35065-30-6
	28	2,2',3,3',5,6,6'-七氯联苯	2,2',3,3',5,6,6'-Heptachlorobiphenyl	52663-64-6
	29	2,2',3,4,4',5,5'-七氯联苯	2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl	35065-29-3
	30	2,2',3,4,4',5',6-七氯联苯	2,2',3,4,4',5',6-Heptachlorobiphenyl	52663-69-1
	31	2,2',3,4',5,5',6-七氯联苯	2,2',3,4',5,5',6-Heptachlorobiphenyl	52663-68-0
	32	2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯	2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl	39635-31-9
羟基多氯联苯 (OH-PCBs)	1	2-羟基-5-氯联苯	2-Hydroxy-5-chlorobiphenyl	607-12-5
	2	4-羟基-2-氯联苯	4-Hydroxy-2-chlorobiphenyl	23719-22-4
	3	4-羟基-3-氯联苯	4-Hydroxy-3-chlorobiphenyl	92-04-6
	4	4-羟基-4'-氯联苯	4-Hydroxy-4'-chlorobiphenyl	28034-99-3
	5	2-羟基-2',5'-二氯联苯	2-Hydroxy-2',5'-dichlorobiphenyl	53905-30-9
	6	3-羟基-2',5'-二氯联苯	3-Hydroxy-2',5'-dichlorobiphenyl	53905-29-6
	7	4-羟基-2',5'-二氯联苯	4-Hydroxy-2',5'-dichlorobiphenyl	53905-28-5
	8	4-羟基-3,5-二氯联苯	4-Hydroxy-3,5-dichlorobiphenyl	1137-59-3

类别	序号	中文名	英文名	CAS
	9	4-羟基-2,2',5'-三氯联苯	4-Hydroxy-2,2',5'-trichlorobiphenyl	53905-33-2
	10	4-羟基-2',4',6'-三氯联苯	4-Hydroxy-2',4',6'-trichlorobiphenyl	14962-28-8
	11	3-羟基-2',3',4',5'-四氯联苯	3-Hydroxy-2',3',4',5'-tetrachlorobiphenyl	67651-37-0
	12	4-羟基-2,2',4',6'-四氯联苯	4-Hydroxy-2,2',4',6'-tetrachlorobiphenyl	150304-08-8
	13	4-羟基-2',3',4',5'-四氯联苯	4-Hydroxy-2',3',4',5'-tetrachlorobiphenyl	67651-34-7
	14	4-羟基-2',3',5',6'-四氯联苯	4-Hydroxy-2',3',5',6'-tetrachlorobiphenyl	14962-32-4
	15	2-羟基-2',3',4',5,5'-五氯联苯	2-Hydroxy-2',3',4',5,5'-pentachlorobiphenyl	67651-36-9
	16	4-羟基-2',3,3',4',5'-五氯联苯	4-Hydroxy-2',3,3',4',5'-pentachlorobiphenyl	67651-35-8
	17	3-羟基-2,2',4',5,5'-五氯联苯	3-Hydroxy-2,2',4',5,5'-pentachlorobiphenyl	69278-58-6
(氯代) 苯酚	18	4-羟基-2',3,3',4',5,5'-六氯联苯	4-Hydroxy-2',3,3',4',5,5'-hexachlorobiphenyl	158076-63-2
	1	苯酚	Phenol	108-95-2
	2	邻甲酚	2-Cresol/Ortho cresol	95-48-7
	3	间甲酚	3-Cresol/Meta cresol	108-39-4
	4	对甲酚	4-Cresol/Para cresol	106-44-5
	5	2,4-二甲基苯酚	2,4-Xylenol	105-67-9
	6	2,5-二甲基苯酚	2,5-Xylenol	95-87-4
	7	2,6-二甲基苯酚	2,6-xylenol	576-26-1
	7	3,4-二甲基苯酚	3,4-Xylenol	95-65-8
	9	2,3-二甲酚	2,3-Xylenol	526-75-0
	10	3,5-二甲基苯酚	3,5-Xylenol	108-68-9
	11	间苯二酚	Resorcinol/M-Dihydroxybenzene	108-46-3
	12	2-硝基苯酚	2-Nitrophenol	88-75-5
	13	4-硝基苯酚	4-Nitrophenol	100-02-7
	14	3-硝基苯酚	3-Nitrophenol	554-84-7
	15	2,4-二硝基酚	2,4-Dinitrophenol	51-28-5
	16	4-硝基间甲苯酚	3-Methyl-4-nitrophenol	2581-34-2
	17	4,6-二硝基邻甲酚	4,6-Dinitro-2-methylphenol	534-52-1
	18	2-氯苯酚	2-Chlorophenol	95-57-8
	19	2,4-二氯酚	2,4-Dichlorophenol	120-83-2
	20	2,6-二氯苯酚	2,6-Dichlorophenol	87-65-0
	21	4-氯-3-甲酚	4-Chloro-3-methylphenol	59-50-7
	22	2,4,5-三氯苯酚	2,4,5-Trichlorophenol	95-95-4

类别	序号	中文名	英文名	CAS
	23	2,4,6-三氯酚	2,4,6-Trichlorophenol	88-06-2
	24	2,3,4,6-四氯苯酚	2,3,4,6-Tetrachlorophenol	58-90-2
	25	五氯苯酚	Pentachlorophenol	87-86-5
多氯萘 (PCNs)	1	萘	Naphthalene	91-20-3
	2	1-氯萘	1-Chloronaphthalene	90-13-1
	3	2-氯萘	2-Chloronaphthalene	91-58-7
	4	1,4-氯萘	1,4-Chloronaphthalene	1825-31-6
	5	八氯萘	Octachloronaphthalene	2234-13-1
	6	1,2,3,4-四氯萘	1,2,3,4-Tetrachloronaphthalene	20020-02-4

附 录 C  
(资料性)

再生金属工业场地可疑/非目标筛选推荐内标物

下表给出了再生金属工业场地可疑/非目标筛选推荐内标物。

表 C.1 再生金属工业场地可疑/非目标筛选推荐内标物

	中文名	英文名	缩写	CAS
PAHs 内标	萘-d <sub>8</sub>	Naphthalene-d <sub>8</sub>	Nap-d <sub>8</sub>	211439-12-2
	苊-d <sub>10</sub>	Acenaphthene-d <sub>10</sub>	Acp-d <sub>10</sub>	15067-26-2
	菲-d <sub>10</sub>	Phenanthrene-d <sub>10</sub>	Phe-d <sub>10</sub>	1517-22-2
	蒽-d <sub>12</sub>	Chrysene-d <sub>12</sub>	Chr-d <sub>12</sub>	1719-03-5
	芘-d <sub>12</sub>	Perylene-d <sub>12</sub>	Per-d <sub>12</sub>	1520-96-3
PAHs 衍生 物内标	2-硝基苊-d <sub>9</sub>	2-Nitrofluorene-d <sub>9</sub>	Nflu-d <sub>9</sub>	128008-87-7
	3-硝基苊蒽-d <sub>9</sub>	3-Nitrofluoranthene-d <sub>9</sub>	Nfla-d <sub>9</sub>	350820-11-0
	蒽醌 -d <sub>8</sub>	anthraquinone-d <sub>8</sub>	Anqun-d <sub>8</sub>	10439-39-1
PAHs 代谢 物内标	2-羟基萘-d <sub>7</sub>	2-Hydroxy-Naphthalene-d <sub>7</sub>	2-OH-Nap-d <sub>7</sub>	135-19-3
	2-羟基苊-d <sub>9</sub>	2-Hydroxy-Fluorene-d <sub>9</sub>	2-OH-Flu-d <sub>9</sub>	2443-58-5
	3-羟基菲- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	3-Hydroxy-Phenanthrene- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	3-OH-Phe- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	605-87-8
	1-羟基芘-d <sub>9</sub>	1-Hydroxy-Pyrene-d <sub>9</sub>	1-OH-Pyr- d <sub>9</sub>	5315-79-7
氯代苯酚	4-氯-3-甲基苯酚-d <sub>2</sub>	4-Chloro-3-methylphenol-d <sub>2</sub>	PCMC-d <sub>2</sub>	93951-72-5
	2,4,6-三溴苯酚-d <sub>2</sub>	2,4,6-Tribromophenol-d <sub>2</sub>	2,4,6-TBP-d <sub>2</sub>	118-79-6
	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -4-氯邻苯二酚	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -4-Chlorocatechol	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -4-CCCT	2138-22-9
	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -2,4,5,6-四氯苯酚	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -2,4,5,6-Tetrachlorophenol	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -2,4,5,6-TCP	1246820-81-4
多氯联苯	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -3,3',4,4'-四氯联苯	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -PCB-77	32598-13-3
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -3,4,4',5-四氯联苯	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -3,4,4',5-Tetrachlorobiphenyl	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -PCB-81	208461-24-9
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3,3',4,4'-五氯联苯	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3,3',4,4'-Pentachlorobiphenyl	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -PCB-105	208263-62-1
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3,4,4',5-五氯联苯	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -PCB-114	208263-63-2
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2',3,4,4',5-五氯联苯	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2',3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -PCB-123	208263-64-3
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -3,3',4,4',5-五氯联苯	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -3,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -PCB-126	208263-65-4
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3,3',4,4',5-六氯联苯	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3,3',4,4',5-Hexachlorobiphenyl	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -PCB-156	208263-68-7



	中文名	英文名	缩写	CAS
	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,3',4,4',5'-六氯联苯	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,3',4,4',5'-Hexachlorobiphenyl	$^{13}\text{C}_{12}$ -PCB-157	235416-30-5
	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3',4,4',5,5'-六氯联苯	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl	$^{13}\text{C}_{12}$ -PCB-167	208263-69-8
	$^{13}\text{C}_{12}$ -3,3',4,4',5,5'-六氯联苯	$^{13}\text{C}_{12}$ -3,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl	$^{13}\text{C}_{12}$ -PCB-169	208263-70-1
	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl	$^{13}\text{C}_{12}$ -PCB-189	208263-73-4
多氯萘	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,4-四氯萘	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,4-Tetrachloronaphthalene	$^{13}\text{C}_{10}$ -PCN-27	/
	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,3,5,7-四氯萘	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,3,5,7-Tetrachloronaphthalene	$^{13}\text{C}_{10}$ -PCN-42	/
	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,5,7-五氯萘	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,5,7-Pentachloronaphthalene	$^{13}\text{C}_{10}$ -PCN-52	/
	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,5,6,7-六氯萘	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,5,6,7-Hexachloronaphthalene	$^{13}\text{C}_{10}$ -PCN-67	/
	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,4,5,6,7-七氯萘	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,4,5,6,7-Heptachloronaphthalene	$^{13}\text{C}_{10}$ -PCN-73	/
	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,4,5,6,7,8-八氯萘	$^{13}\text{C}_{10}$ -1,2,3,4,5,6,7,8-Octachloronaphthalene	$^{13}\text{C}_{10}$ -PCN-75	/

附 录 D  
(资料性)  
人体尿液中总砷及砷代谢产物的分析方法

#### D.1 适用范围

本标准规定了尿液中总砷及砷代谢产物含量的方法。

本标准适用于尿液中总砷及砷代谢产物含量的测定；砷甜菜碱(AsB)、亚砷酸盐(iAs<sup>III</sup>)、二甲基砷(DMA<sup>V</sup>)、一甲基砷(MMA<sup>V</sup>)和砷酸盐(iAs<sup>V</sup>)，检出限为0.1 µg/L；总砷分析的检出限为0.0425 µg/L。

#### D.2 方法原理

尿液样品使用稀硝酸消解后过滤，使用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)检测，在氦气(He)模式下采集<sup>75</sup>As的强度，并使用(Ge)或钇(Y)作为内标元素校正基体的干扰及仪器造成的信号漂移，检测样品中总砷的含量。

尿液样品用流动相稀释、过滤后，采用高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱(HPLC-ICP-MS)检测，在氦气(He)模式下采集<sup>75</sup>As以及干扰元素<sup>35</sup>Cl的强度，对比标准品的保留时间及强度得到样品中不同形态砷的含量。

#### D.3 实验试剂与材料

D.3.1 超纯水。

D.3.2 硝酸：优级纯，65%。

D.3.3 氢氧化钠(NaOH)。

D.3.4 磷酸氢二铵(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>。

##### D.3.5 元素标准溶液

直接购买市售国家认可的砷形态标准溶液 AsB、As<sup>III</sup>、DMA<sup>V</sup>、MMA<sup>V</sup>、As<sup>V</sup> (目标元素)；单种元素标准溶液 As 及内标元素 Ge 或 Y。

##### D.3.6 元素质控标准品

直接购买市售国家认可的元素质控标准品。参考说明书进行保存和使用。

#### D.4 仪器和设备

D.4.1 聚乙烯离心管。

D.4.2 容量瓶。

D.4.3 微量移液器。

D.4.4 超纯水系统。

D.4.5 涡旋振荡器。

D.4.6 水浴超声器。

D.4.7 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱仪。

D.4.8 其他一般实验室常用仪器和设备。

#### D.5 样品前处理

将尿液样品加至离心管中，混匀后取 0.5 mL 尿液样品至聚丙烯离心管，加入 4.5 mL 的 1.2% (v/v)

HNO<sub>3</sub>，在 45℃下水浴超声 1 小时，用 0.45 μm 滤膜过滤后得到尿总砷待测样品。

同时取未处理的尿液样品 200 μL 至聚丙烯离心管中，加入 800 μL 的样品稀释液（pH=8.0，30 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>，用 NaOH 调节），混匀后用 0.45 μm 滤膜过滤至聚丙烯液相小瓶中，得到尿砷形态代谢物待测样品。

## D.6 仪器分析

D.6.1 ICP-MS 开机前使用 5.0 mL/min 氦气吹扫碰撞反应池 30~60 min，开机需调谐炬管位置、透镜、分辨率/质量轴，性能报告需要满足仪器检测灵敏度；其中，调谐质量数 89 的响应大于 6000，检测模式为氦气模式。

D.6.2 当尿总砷待测样品中总砷的含量超过预警线（总砷的含量超过 0.032 mg/L）时，立即切换至 HPLC-ICP-MS 分析模式，具体是把进样器从雾化器改为 LC，将 ICP-MS 样品管从雾化器中拔出，接上色谱柱出口端；将样品引入改为 LC，更新模块后打开 HPLC 联用批处理（用预设美国 EPA 6020 方法）；将采集模式改为 TRA，选择 As 和 Cl 为待测元素，设置采集时间为 12 min，调谐参数蠕动泵转速改为 0.3 rps，雾化器改成 0.85 L/min，补偿气体改为 0.15 L/min，碰撞池的 He 气流量改成 4.0 mL/min；调谐时质量数 59 的响应大于 2000，156/140 低于 1%。根据色谱峰保留时间与标准品的对照来区分不同的砷形态代谢物。

## D.7 标准系列的配制

### D.7.1 待测元素混合标准应用液的配制

精确吸取相应体积元素标准溶液置于 50 mL 容量瓶，用稀硝酸稀释（硝酸的浓度为体积百分数 1~2%），此为标准贮备液，浓度为标准应用液的 10 倍，临用时再用相同的稀释剂将标准贮备液稀释成标准应用液。

### D.7.2 待测元素系列标准溶液的配制

用稀硝酸稀释（硝酸的浓度为体积百分数 1~2%），将待测元素混合标准应用液配成不同梯度的标准溶液。配制含 0、0.5、1、2、5、10、20、50 和 100 μg/L 的砷离子标准溶液。

同时，用 pH=8.0，30 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 水溶液，将待测砷形态混合标准应用液配成不同梯度的标准溶液。配制含 0、0.5、1、2、5、10、20、50 和 100 μg/L 的砷形态标准溶液。

### D.7.3 内标元素混合溶液的配制

精确吸取相应体积的内标元素标准溶液和硝酸稀释剂（硝酸的浓度为体积百分数 1~2%）。

### D.7.4 标准曲线的绘制与计算

对系列标准溶液进行上机检测，同时在线检测内标元素混合溶液，以标准系列相应元素的响应值对内标响应值的比值对相应的元素浓度(μg/L)绘制标准曲线或计算回归方程（AsB、As<sup>III</sup>、DMA<sup>V</sup>、MMA<sup>V</sup>和 As<sup>V</sup>）。标准曲线的相关系数>0.999，否则，重新建立标准曲线。

## D.8 试样测定

用测定标准系列的操作条件(C.6)进行试样的测定。每 20~30 个样品为一批。由标准曲线或回归方程得元素的浓度 μg/L)。

## D.9 试验数据处理

### D.9.1 检出限与定量限的确定

本试验以血清样品稀释剂（体积分数为 1~2%）溶液为试剂空白，并用与尿液样品相同的方法进行处理，获得 11 份全过程空白，上机逐一测定，求得 11 个样本某元素的响应值的均值和标准偏差，响应值均值与 3 倍标准差之和所对应的浓度值即为该元素的方法检出限(Limits of detection, LOD)，响应值

均值与 10 倍标准差之和所对应的浓度值即为该元素的方法定量限(Limits of quantification, LOQ)。

D.9.2 元素浓度的计算

尿液样品中某种元素的浓度计算采用公式 (D.1)：

$$C=d \times C_0 \quad (D.1)$$

式中：

C ——尿液中某种元素的浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

d ——样品稀释倍数，尿液为 10；

C<sub>0</sub> ——由标准曲线或回归方程得的稀释尿液中某种元素的浓度， $\mu\text{g/L}$ 。

D.10 质量控制

D.10.1 样品前处理过程的潜在污染评价

为评价样品处理过程中存在的潜在污染，每批样品至少需设置一个全过程空白样，即以尿液样品稀释剂 1%~2%(体积分数)稀硝酸溶液为试剂空白，并用与尿液样品相同的方法进行处理，本次试验的全过程空白样中目标元素的浓度均低于方法定量限，表明操作过程引入的污染较少。

D.10.2 检测方法准确度和精密度

3 间实验室分别对加标浓度为 0.5、5、50  $\mu\text{g/L}$  的五种砷形态的统一样品进行了测定。实验室内相对偏差为 0.2%~6.5%；实验室间相对偏差为 0.3%~13%；重复性限为 0.06~0.43  $\mu\text{g/L}$ ；再现性限为 0.12~1.20  $\mu\text{g/L}$ 。

3 间实验室分别对 200  $\mu\text{L}$  的两份尿液样品进行加标回收率测定，五种砷形态的加标浓度为 5.0  $\mu\text{g/L}$ 。五种砷形态的加标回收率平均值范围分别为 81%~91%和 91%~99%，最终值为 81% $\pm$ 0.5%~91% $\pm$ 3.7%和 91% $\pm$ 2.6%~99% $\pm$ 1.3%。

精密度和准确度数据详见表 D.1。

表 D.1. 方法的准确度和精密度汇总

化合物	加标水平 ( $\mu\text{g/L}$ )	回收率	实验室内相对 标准偏差	实验室间相对标 准偏差	重复性限 r	再现性限 R
AsB	0.5	85% $\pm$ 8.2%	3.9%	9.4%	0.07	0.13
	5.0	99% $\pm$ 4.4%	3.5%	0.6%	0.33	0.34
	50	96% $\pm$ 1.0%	0.8%	0.7%	0.76	1.20
iAs <sup>III</sup>	0.5	93% $\pm$ 10.5%	6.2%	13%	0.06	0.18
	5.0	102% $\pm$ 5.4%	0.6%	4.2%	0.58	0.81
	50	93% $\pm$ 0.8%	0.2%	0.4%	0.72	0.92
DMA <sup>V</sup>	0.5	104% $\pm$ 8.2%	5.1%	8.0%	0.06	0.13
	5.0	87% $\pm$ 4.2%	4.3%	4.5%	0.44	0.74
	50	88% $\pm$ 0.9%	0.5%	0.7%	0.63	0.92
MMA <sup>V</sup>	0.5	89% $\pm$ 7.4%	1.6%	6.2%	0.09	0.12
	5.0	92% $\pm$ 1.3%	0.7%	1.6%	0.08	0.22
	50	89% $\pm$ 0.7%	0.3%	0.3%	0.60	0.78

化合物	加标水平 (μg/L)	回收率	实验室内相对 标准偏差	实验室间相对标 准偏差	重复性限 r	再现性限 R
iAs <sup>V</sup>	0.5	86%±9.0%	6.5%	8.0%	0.12	0.16
	5.0	91%±2.6%	1.8%	3.3%	0.19	0.49
	50	93%±0.9%	0.5%	0.4%	0.89	1.08

D.11 说明

D.11.1 所用玻璃仪器用20%(体积分数)硝酸浸泡过夜，蒸馏水润洗3遍，超纯水润洗3遍，80℃烤箱烘干待用。

D.11.2 本实验整个过程应尽量在洁净区域进行，避免外界环境引入污染。