

场地土壤污染物人体暴露组解析技术规范

废旧电子电器产品

1 范围

本文件规定了废旧电子电器产品拆解与回收区域毒害污染物人体暴露组解析的工作程序、初步调查、区域调查、人群调查、暴露标志物筛选等技术要求。

本文件适用于废旧电子电器产品收集、运输与贮存、再利用和处置全过程中形成的污染场地中毒害污染物（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 3095 环境空气质量标准

GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准

GB 13015 含多氯联苯废物污染控制标准

GB 5085.7 危险废物鉴别标准 通则

GB 18599-2020 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 16126 生物监测质量保证规范

HJ 93 环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）采样器技术要求及监测方法

HJ 691 环境空气 半挥发性有机物采样技术导则

HJ 1031 排污许可证申请与核发技术规范 电子工业

HJ 875 环境污染物人群暴露评估技术指南

HJ 527 废弃电器电子产品处理污染控制技术规范

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 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 691 环境空气 半挥发性有机物采样技术导则

HJ 194 环境空气质量手工监测技术规范
HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范
HJ 839 环境与健康现场调查技术规范 横断面调查
HJ 91.1 污水监测技术规范
HJ/T 55 大气污染物无组织排放监测技术导则
HJ/T 167 室内环境空气质量监测技术规范
HJ/T 397 固定源废气监测技术规范
HJ/T 166-2004 土壤环境监测技术规范
HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
HJ 164-2020 地下水环境监测技术规范
T/CSES 94 场地土壤污染物人体暴露组解析技术规范 总纲
T/CSES 95 场地土壤污染物人体暴露组解析技术规范 石化工业
T/CSES 96 场地土壤污染物人体暴露组解析技术规范 炼焦化学工业
T/CSES 97 场地土壤污染物人体暴露组解析技术规范 有色金属工业

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 家用电器 household electric appliance

家用电器及类似用途产品，包括电视机、冰箱、空调、洗衣机、吸尘器等。

3.2 电子产品 electronic product

信息技术（IT）和通讯产品、办公设备，包括计算机、打印机、传真机、复印机、电话机等。

3.3 废弃家用电器与电子产品 waste household appliances and electronic product

已经失去使用价值或因使用价值不能满足要求而被丢弃的家用电器与电子产品，以及其元（器）件、零（部）件和耗材。废弃电器电子产品类别及清单按附录 A。

3.4 粗放式的电子垃圾拆解 extensive e-waste dismantling

用火烤电路板取出电子元件，用酸洗的方式提取贵金属，剩余的边角料将被焚烧，用过的废酸排放到河流及田地中的活动。

3.5 毒害污染物 toxic and harmful contaminants

电器与电子产品中含有的铅、汞、镉、六价铬、多溴联苯（PBB）和多溴二苯醚（PBDEs）以及国家规定的其他有毒有害物质。

3.6 拆解 disassembly

通过人工或机械的方式将废弃旧电子电器产品进行拆卸、解体，以便再生利用和处置的活动。

3.7 再利用 recycle

对废弃电器与电子产品或废弃材料的再加工，加工后材料的用途可与以前相同或不同，但不包括对废弃材料直接焚烧进行的热能回收。

3.8 处理 treatment

对废弃电子与电器产品清除污染、拆解、破碎、再利用的活动。

3.9 处置 disposal

废弃电子与电器产品经处理后，产生的无法进一步再使用、再利用的残余物，采用焚烧、填埋或其他方式，以达到减容、减少或消除其危害性的活动。

3.10 暴露 exposure

一种及一种以上的生物、化学或物理因子与人体在时间和空间上的接触。

3.11 暴露途径 exposure pathway

污染物从污染源经由土壤、水和食物到达人体或其他被暴露生物个体的路线。

3.12 敏感目标 sensitive targets

污染源周围可能受污染物影响的居民区、学校、医院、饮用水源保护区以及重要公共场所等。

3.13 对照人群 controled population

未暴露于环境污染物的人群。

4 工作程序

区域毒害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，工作流程如图 1 所示，具体工作程序见 T/CSES 94。

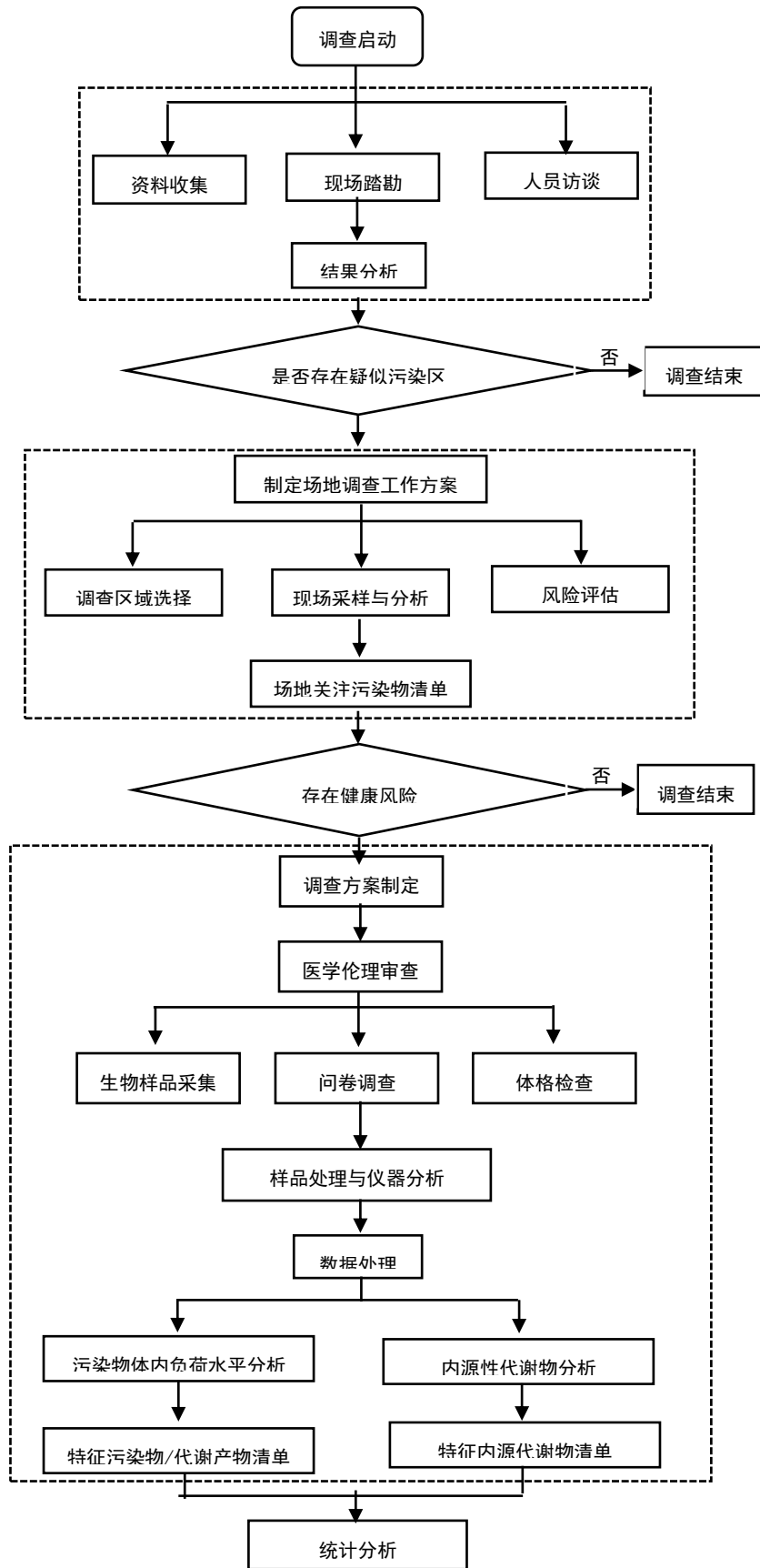


图 1 场地土壤污染物人体暴露组解析工作程序

5 初步调查

5.1 资料收集

5.1.1 自然和社会信息资料

区域及周边区域的自然信息资料包括地理位置、地形、地貌、土壤、水文和气象资料等；社会信息资料包括人口密度及分布，敏感目标分布、经济社会发展状况和规划、国家和地方政策、法规与标准等。

5.1.2 土地利用历史及环境资料

区域及周边区域的环境污染相关资料(用来辨识区域及相邻区域开发及活动状况的区域环境保护规划、生态和水源保护区规划，土地利用规划、水文地质勘察报告、区域环境监测与风险评估报告、新闻报道和公众通知等)，以及其它有助于评价场地状况的历史资料。

5.1.3 废旧电子电器产品拆解、加工与回收污染资料

区域及周边区域从事废旧电子电器产品拆解、加工和回收专业处理企业、民营企业以及作坊数量和规模，当前及历史拆解废旧电子电器产品种类及数量，拆解回收处理废旧电子电器产品的工艺、规模及工艺流程图，回收处置电子电器废弃物所采用的处理方法。区域及周边专业处理企业、民营企业以及作坊平面布置图，区域及周边各类管网分布资料、环保设施分布及使用情况，废旧电子电器产品拆解、加工、回收等“三废”排放状况及去向等，以及相关企业的环境影响评价报告书或报告表、清洁生产审核报告、排污许可及排放记录、污染治理设施运行状况记录、环境污染事故记录等文件或文字资料。

5.2 现场踏勘

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废弃电器电子产品拆解区域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。现场踏勘的范围、方法、主要内容及重点见 HJ 25.1 和 HJ 25.3。

5.3 人员访谈

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，对区域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。具体访谈对象、方法、内容等见 HJ 25.1 和 HJ 25.3。

5.4 初步调查结果分析

对经收集、踏勘和访谈获得的资料信息进行分析，明确区域内及周边区域是否存在可能的污染源，并进行不确定性分析。若有潜在的污染源，应分析其可能的污染类型、污染状况和来源，判定目标暴露人群，明确是否需要开展区域调查。具体诸如以下内容：

- a) 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，初步判断各类污染物类型，明确目标暴露人群，明确是否开展场地调查。
- b) 开展场地调查应同时满足：场地当前或历史上存在电子电器拆卸的污染源；废旧电子电器拆卸行业生产活动对周边区域造成污染且存在人群暴露，可能带来健康风险。
- c) 场地内废旧电子电器拆卸重金属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。
- d) 除废旧电子电器拆卸行业，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，具体调查方法见 T/CSES 94。

6 区域调查

6.1 区域调查方案的制定

根据初步调查结论制定区域调查方案，内容包括调查目的、调查周期、调查区域、采样点布设、样品采集、保存、运输、实验室分析、数据处理、质量控制等。通过区域调查，确定区域存在污染物种类、浓度和空间分布，识别区域特征污染物的人群暴露情景和暴露途径。

6.2 调查区域的选择

6.2.1 污染区的确定

对于污染区的确定应该遵循以下要求：

a) 综合分析区域大气、水体、土壤和地下水污染物的来源特征、迁移转化、暴露途径和人群分布等，确定污染区的范围。污染区包括废旧电子电器产品拆解区、加工区、回收再生利用区、废弃物处置区以及周边潜在污染区域。

b) 根据区域使用功能，宜进一步将区域内划分为废旧电子电器产品堆放区、

拆解区、加工区、废弃物处理区、生活区等分区，其中拆解区、加工区和废弃物处理区可考虑生产工艺、构筑物等因素进一步划分为不同生产单元。

6.2.2 对照区的确定

设置调查对照区，要求对照区不存在废旧电子电器产品潜在特征大气、水体、土壤和地下水的污染物相关的污染源，与污染区具有类似的自然条件、社会经济状况和人口特点。

6.3 采样点布设与环境样品采集

6.3.1 废旧电子电器产品拆解与回收行业应重点关注有色金属（铝、铅、锌、铜、镍、钴、镁、钛、锡、锑、汞等）、黑色金属（铁、锰、铬等）、重金属（汞、镉、铅、铬、砷等）以及塑料、氟氯化碳、聚乙烯联苯、多氯联苯（PCB）、多溴联苯（PBB）和多溴联苯醚（PBDEs）等有毒有害物质。常见废旧电子电器产品毒害污染物及特征污染物见附录 B。

6.3.2 污染区和对照区：应分别布设采样点，污染区的点位布设应尽量涵盖所有分区单元。区域常年季风下风向及重要居民区应加密布点，且采样点应远离交通干道，并结合污染物、构筑物等特征进行布设。污染区与对照区的样本量应保持一致或接近。

6.3.3 采集的环境介质包括大气、水体、土壤和地下水等。

a) 环境大气：采样包括废旧电子电器产品堆放区、拆解区、加工区、废弃物处理区、生活区等室内、室外场所，采样点的布设与样品采集按 HJ/T 167、HJ 194 执行，宜开展春、夏、秋、冬四季调查。

b) 环境水体：对废旧电子电器产品拆解、加工以及回收区等区污染的区域，当地表水或地下水为饮用水源，可考虑开展地表水或地下水监测。

点位布设：污染区和对照区的地表水水质的调查点位布设原则和方法按 HJ/T 91 执行。地下水水质的调查点位布设原则和方法按 HJ/T 164 执行

样品采集：环境水体（地表水、地下水）的点位布设、样品采集、保存运输及质量控制按 HJ/T91、HJ/T 164 执行；底质样品的点位布设、采集、保存、运输及质量控制按 HJ/T 91 执行。

c) 环境土壤：采样点的布设方法包括系统随机布点法、系统布点法和分区布点法，点位布设原则和采样方法按 HJ 25.2 执行，一般开展一期调查。

d) 室内积尘：当废旧电子电器产品拆解、加工、回收等污染区域的企业为在产，且排放废气中存在特征污染物时，可考虑开展室内积尘监测。包括废旧电子电器产品拆解、加工、回收等污染区工作场所和周边居民家庭，以及对照区居民家庭的灰尘样品，点位布设和样品采集按 HJ 839 执行，点位布设和采样频次与室内空气调查保持一致。

e) 农作物：当废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业污染区域存在农用地且主要为自产自食时，可考虑开展农作物调查。根据当地膳食结构及食用频率确定调查主要农作物种类，每种农作物不少于 6 个样品。以土壤采样为采样单元，采集对应粮食、蔬菜等主要农产品，种植农作物应与土壤样品同步采集，样品采集、保存、运输及质量控制按 NY/T 398 执行。

f) 土壤-气：初步调查判断区域可能存在挥发性有机物等可以气态形式赋存于土壤气中的污染物时，可结合土壤、地下水采样点的布置，设置监测井对土壤气进行采样调查，土壤气监测井的设置、样品采集、保存等环节的技术要求按 HJ 25.2 执行。

g) 废水：废旧电子电器产品拆解、加工、回收废弃污染物处理在产企业可考虑开展废水监测，样品采集、保存和流转宜见 HJ 91.1 和 HJ/T 397。

6.4 环境样品分析

6.4.1 可疑目标筛查和非目标筛查

宜结合高效液相色谱/气相色谱-高分辨质谱等手段对废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业污染区域中潜在有毒有害有机污染物进行分析，宜结合电感耦合等离子体质谱等手段对有毒有害金属污染物进行分析，筛选判断产地特征污染物及/或其分解产物。

a) 环境大气中挥发性有机污染物(VOCs)和半挥发性有机污染物(SVOCs)筛查前处理及分析方法见 HJ 1270、HJ 1194 和 HJ 759，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) 环境水体和地下水中毒害有机污染物筛查前处理及分析方法按 HJ 744 和 HJ 715 执行，筛查获得的组间差异特征峰经鉴定取得差异化合物信息。

c) 环境土壤和沉积物中毒害有机污染物筛查前处理及分析方法见 GB 36600 和 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。室内

积尘样品的前处理和分析检测可参照土壤样品的方法进行优化, 筛查获得的组间差异特征峰经鉴定取得差异化合物信息。

e) 为便于废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域特征污染物筛查和鉴定, 根据废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域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, 建立包含废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域特征有机污染物分子结构信息的本地化数据库, 宜包含的特征有机污染物见附录 C。

6.4.2 目标物分析

根据废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业确定区域潜在特征污染物, 对废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业特征重金属类污染物及其化合物、特征有机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 ($P < 0.05$)。

6.4.3 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, 结合废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业污染物排放情况综合研判, 获得该废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域特征污染物清单。

6.5 健康风险评估

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

6.5.2 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计算。暴露区宜包括: 拆解区、加工区、回收区、废弃物处理区等。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(铅、汞、铬、镉、砷)等废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业特征有毒有害污染物, 同时重点关注塑料、溴代阻燃剂、氟氯化碳、聚

乙烯联苯、多氯联苯（PCB）、多溴联苯（PBB）和多溴联苯醚（PBDEs）等有毒有害有机化合物。

6.4.3 根据受体人群在不同暴露情景下对应的暴露量，判断废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域人群健康风险水平，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

根据废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域特征污染物清单中污染物特点及其暴露途径，识别潜在体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

确定调查人群。充分考虑废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域特征污染物的高暴露人群、一般暴露人群（污染区非职业暴露居民）和对照区人群（对照区非职业暴露居民）。

a) 根据高暴露人群工种差异、一般暴露人群暴露特征等信息，可进一步在组内细分不同暴露等级的人群分组。

b) 暴露人群和对照人群宜在调查区域居住不少于3年，且每年居住时间不少于6个月。

c) 不同组别（高暴露人群、一般暴露人群、对照人群）年龄性别比例需保持一致，组内男女比例尽量保持1:1。

调查人群样本量的确定与抽取方法见 HJ 839。组内调查人群宜尽量涵盖不同暴露等级的人群分组。

7.3 生物样品采集

宜综合考虑污染物筛查、内源性代谢物分析、生化指标及特征效应指标检测所需要的生物样品类型、用量及采集储存方式，统筹安排并同时采集。一般选择

血液、尿液、毛发、指甲等人体生物材料开展污染物体内负荷水平分析和内源性代谢物分析。人体生物材料的选择、采集时间、采集量、采集方式、保存与运输条件等见表 1，具体操作按 T/CSES 94 执行。相关样本宜在生化指标及特征效应指标检测时协同采集。

表 1 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	铝、铅、锌、铜、镍、钴、镁、钛、锡、锑、汞、铁、锰、铬、砷等金属	氟氯化碳、聚乙烯联苯、多氯联苯 (PCB)、多溴联苯 (PBB) 和多溴联苯醚 (PBDEs) 等 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°C 冷冻保存		
	目标化合物	铝、铅、锌、铜、镍、钴、镁、钛、锡、锑、汞、铁、锰、铬、砷等金属	氟氯化碳、聚乙烯联苯、多氯联苯 (PCB)、多溴联苯 (PBB) 和多溴联苯醚 (PBDEs) 等 SVOCs 代谢产物	氨基酸、糖、有机酸、脂肪酸、核苷、核苷酸等
	采集量	20mL	20mL	20mL

尿液	采集方式及保存和运输	一次性聚乙烯尿杯采集中段尿，冻存管分装 冷藏运输，-80℃冷冻保存		
	目标化合物	铝、铅、锌、镍、钴、镁、钛、锡、锑、汞、铁、锰、铬等金属	氟氯化碳、聚乙烯联苯、多氯联苯（PCB）、多溴联苯（PBB）和多溴联苯醚（PBDEs）等 sVOCs 代谢产物	氨基酸、糖、有机酸、脂肪酸、核苷、核苷酸等
毛发	采集量	0.1g 以上	0.1g 以上	0.1g 以上
	采集方式及保存运输	采集枕部近头皮 2-3mm 处长 1cm 左右的人体毛发 常温干燥保存		

7.4 问卷调查和体格检查

7.4.1 健康问卷调查

采集生物样品的同时，对调查人群开展问卷调查，问卷应包括基本情况、行为生活方式、职业相关情况、环境相关情况、患病史情况、近三个月身体状况等内容。

健康问卷调查以收集暴露行为模式和健康资料为目的，内容包括：

- a) 基本情况：年龄、性别、民族、文化程度、婚姻状况、收入水平等。
- b) 环境、职业危险因素：居住环境、职业因素等。

c) 行为特征：吸烟、饮酒、饮茶、饮食习惯等，重点调查与环境污染物暴露有关的行为生活方式。

d) 既往疾病史：家族史、遗传病史、慢性病史、职业病史、近期患病情况等。

e) 健康影响指标：根据污染物类型及其导致的健康效应，确定调查人群相关疾病的患病情况，如恶性肿瘤、呼吸系统疾病、消化系统疾病、循环系统疾病和神经系统疾病等。

7.4.2 体内负荷水平调查

根据废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域污染物可能引起的健康效应，收集调查人群生物样品（血液、尿液、指甲、毛发、组织等），测定其中污染物及其代谢物的含量。生物样品采集时间、采样方法、样品保存、运输、实验室分析、质量控制、数据处理和报告等按 GB/T 16126 执行。

7.4.3 体格检查

根据环境污染物引起的健康效应，选择相关指标进行体格检查。体格检查包括一般检查、辅助检查、涉及特征污染物健康影响特征的专项检查 and 效应指标检测。体格检查实验室要符合《健康体检管理暂行规定》《医疗机构临床实验室管理办法》的相关规定。

7.5 生物样品分析

7.5.1 污染物分析

结合生物样品类型和区域污染物特征，宜综合采用可疑目标筛查、非目标筛查、目标物分析对潜在体内负荷污染物及其代谢产物进行分析。

7.5.1.1 可疑目标筛查和非目标筛查

a) 结合废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域调查获得的污染物清单和文献调研，推导废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业污染区域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 6.4.1 e 所构建数据库的基础上，补充羟基多环芳烃、硝基多环芳烃、羟基多氯联苯等 SVOCs 代谢产物，建立包含废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业污染区域的特征有机污染物及其代谢产物分子结构信息的本

地化筛查数据库见附录 C。

b) 可疑目标筛查和非目标筛查方法见 T/CSES 94。

c) 结合废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业污染区域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内标物见附录 D。

7.5.1.2 目标物分析

a) 根据废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业特征，废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业主要特征人体内负荷污染物为有色金属（铝、铅、锌、铜、镍、钴、镁、钛、锡、锑、汞）、黑色金属（铁、锰、铬）及其化合物、塑料、氟氯化碳、聚乙烯联苯、多氯联苯（PCB）、多溴联苯（PBB）和多溴联苯醚（PBDEs）等有毒有害物质。此外，废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业还可能还存在代谢物多环（羟基类多环芳烃（OH-PAHs）、硝基类多环芳烃（O₂N-PAHs）、含氧类多环芳烃等）等有机污染物暴露。根据区域调查结果，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。

b) 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。人体血液和尿液中金属元素的分析方法可见 T/CSES 94 和 T/CSES 97。人体血液和尿液中有毒有害有机污染物的分析方法可见 T/CSES 94。

c) 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，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，对于暴露人群显著高于对照人群的化合物（ $p < 0.05$ ），经判断其合理性后作为特征污染物保留。

7.5.1.3 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，获得废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域特征体内负荷污染物及/或其代谢产物清单。

7.5.2 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 和 T/CSES 97。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。

7.6 数据库建立

建立包含废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域特征污染物及/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，采用回归模型定量分析废弃电器电子产品拆解区域特征污染物暴露与健康效应指标之间的关联。考虑研究对象的人口学特征（如年龄、性别、民族、文化水平等）、行为活动情况（如饮食、吸烟、饮酒、运动习惯、睡眠等）、健康因素情况（如职业暴露史、既往病史、家族史、就医行为等）、社会因素（如文化程度、收入水平、婚姻状况、本地居住史等）的影响，将其作为协变量纳入关联分析。自变量、因变量和协变量的选取应有科学依据及生物学理论基础。根据变量类型选取区域特征污染物与健康效应指标的关联分析方法，并采用错误发现率（False Discovery Rate, FDR）对显著相关性进行多重验证。一般认为 $FDR \text{ Adjusted-}P < 0.05$ 具有统计学意义。具体分析方法执行见 T/CSES 94。

8.2 综合判断

8.2.1 采用专家打分，组织权威专家对特征污染物/代谢产物进行讨论，经综合判断或根据主要因素制定权重后评分排序，最终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) 与废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业区域特征有毒有害污染物的关联，对应暴露途径和暴露情景；

c) 与废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业拆解类型、加工类型、回收类型、废弃物处理类型、工艺类型的关联

d) 人体负荷水平、检出率；

e) 当前研究情况，包括与废旧电子电器产品拆解、加工、回收行业的关联、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应具有代表性、敏感性、关联性和可行性，一般不宜多于 10 种/类污染物。

9 质量控制

9.1 总体要求

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 项目实施过程中严格执行对应的技术规范、标准等条款，保证仪器设备、样品采集、实验室条件、实验室质量控制、标样试剂等符合调查要求。

9.1.4 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。

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。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/825314200330011311>