

附件 2

团体标准《废五金加工利用环境风险 评估技术指南》编制说明

(征求意见稿)

生态环境部华南环境科学研究所
2023 年 10 月

目录

一、工作简况	1
1.1 标准制定任务来源	1
1.2 标准制定的必要性	1
1.3 标准起草单位简介	2
1.4 标准编制工作过程	2
二、我国废五金加工利用情况	2
2.1 废五金加工利用概况	3
2.2 废五金加工利用区域分布情况	3
2.3 废五金加工利用环境污染	4
三、废五金加工利用环境风险评估研究	7
3.1 废五金加工利用区环境风险评估理论研究	7
3.2 环境风险评估指标体系的构建	10
3.3 环境风险评估指标权重的研究	21
3.4 废五金加工利用环境风险评估	28
四、确定标准主要内容	32
4.1 适用范围	32
4.2 规范性应用文件	32
4.3 术语与定义	32
4.4 环境风险评估程序	32
4.5 环境风险评估准备	32
4.6 环境风险识别	33
4.7 环境风险评估指标体系	33
4.8 环境风险等级划分	34
4.9 环境风险评估报告编制	34
五、采用国际标准和国外先进标准的情况，与国际、国内同类标准水平的对比情况	34

六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系	35
七、重大分歧意见的处理经过和依据	35
八、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议	35
九、贯彻标准的要求和措施建议	35
十、废止现行有关标准的建议	35
十一、其他应予说明的事项	35

一、工作简况

1.1 标准制定任务来源

根据广东省循环经济和资源综合利用协会《关于召开 2023 年第二批团体标准立项评审会的通知》（粤循综协[2023]158 号）的要求，团体标准《废五金加工利用环境风险评估技术指南》制定项目由广东省循环经济和资源综合利用协会归口。标准牵头单位为生态环境部华南环境科学研究所、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心。

1.2 标准制定的必要性

环境风险评估是环境管理的重要基础，针对突发环境风险，生态环境部已发布《建设项目环境风险评价技术导则》、《企业突发环境事件风险评估指南（试行）》、《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法》、《环境风险评估技术指南—粗铅冶炼企业环境风险等级划分方法》等方法与技术导则，但对于区域污染物长期排放造成的环境风险评估，尚缺乏针对性的、科学规范的环境风险评估方法支撑，导致环境管理在宏观决策层面常常缺乏科学论证依据。

废五金加工利用是我国再生资源回收利用的重要行业之一，而强化资源回收利用又是我国减污降碳协同增效工作的重要抓手，进一步完善废五金加工利用区域的环境管理，对于促进资源回收利用、减少碳排放有着重要意义。目前，对于废五金加工利用行业污染物长期排放造成的环境风险研究相对较少，通过本标准的研究制订，规定废五金加工利用环境风险评估的程序、方法和内容。探索解决废五金加工利用区域环境风险防控中的关键科学问题，给出一种科学、客观评估长时间污染物排放的环境风险影响及风险等级划分的方法，可填补我国对于区域性及资源循环再生领域环境风险评估技术方法的空白，对于解决我国固体废物加工利用行业长期性、复合性、累积性的环境影响评估这一难题具有重要的借鉴意义。

同时，本技术指南是 2019 年国家重点研发计划“固废资源化”项目课题《进口固废环境影响和风险评估技术研究》（课题编号 2019YFC1904801）配套的废五金加工利用环境风险评估技术指南。2017 年 7 月国务院办公厅印发《禁止洋垃圾入境推进固体废物进口管理制度改革实施方案》，大力推进固废管理制度改革。但由于缺乏科学规范的环境风险评估科学方法，导致宏观决策层面缺乏科学论证依据，面临多边协定履约风险。通过此技术指南建立的环境风险评估方法，开展进口废五金加工利用环境风险评估，为

我国应对世贸组织下潜在被诉风险提供规范的风险评估科学证据支撑。

1.3 标准起草单位简介

生态环境部华南环境科学研究所，是生态环境部直属的从事综合性环境科学研究的公益性科研机构。主要面向国家前瞻性环境问题，开展科学研究，为国家环境保护事业提供科技支撑，为区域环境质量改善提供技术服务。长期从事固体废物资源化利用环境管理对策和污染防治等技术研究，先后承担或参加“再生铝行业污染防治技术政策”、“再生铜工业污染防治技术政策”、“基于页岩钒行业全过程污染防治的短流程清洁生产关键技术”、“废铅膏再生技术多维评价及污染控制技术体系研究”等国家/地方重点项目 30 余项，获得国家和省部级奖励 7 项，形成核心专利技术 9 项。

生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，作为生态环境部固体废物环境管理领域技术支持单位，受生态环境部委托实施国家固体废物进口许可的技术审核工作，长期从事进口固体废物污染防治和环境管理技术方面的相关研究，围绕环境风险评估和分类管理进行了大量具体的研究。承担了国家社会科学基金重大项目“社会源危险废弃物环境责任界定与治理机制研究”、国家发改委“全国固体废物管理 信息系统推广应用”、环保公益性科研专项“我国固体废物分级分类标准及技术研究”、“典型大宗工业固体废物环境管理技术体系研究”等项目 30 余项，研究范围涵盖固体废物分级分类管理标准及技术、固体废物管理信息系统建设技术、环境风险管理模式等内容。

1.4 标准编制工作过程

1、2021 年 10 月：成立标准编制组，系统开展国内外相关标准及文献调研。

2、2022 年 3 月：针对标准定位、适用范围、编制思路、环境管理技术需求等问题开展多次交流研讨，明确标准的编制原则、技术路线和标准草案的基本框架。

3、2022 年 10 月：组织开展现场调研、专家咨询，形成标准（初稿）和编制说明。

4、2023 年 4 月：生态环境部华南环境科学研究所向广东省循环经济和资源综合利用协会提交了《废五金加工利用环境风险评估技术指南》标准项目的申请。

5、2023 年 7 月：广东省循环经济和资源综合利用协会通过了生态环境部固体废物与化学品管理技术中心牵头的立项申请。

二、我国废五金加工利用情况

废五金共 1 类 3 种，海关商品编号分别是 7204490020（以回收钢铁为主的废五金电

器)、7404000010(以回收铜为主的废电机等(包括废电机、电线、电缆、五金电器))、7602000010(以回收铝为主的废电线等(包括废电线、电缆、五金电器))。

2.1 废五金加工利用概况

我国废五金加工行业生产原料主要包括国内回收废五金和进口废五金,2017年7月27日国务院办公厅发布了《关于印发禁止洋垃圾入境推进固体废物进口管理制度改革实施方案的通知》(国办发〔2017〕70号),2020年11月25日,生态环境部等四部委联合发布《关于全面禁止进口固体废物有关事项的公告》。我国每年废钢加工利用总量约为2亿吨,废铜和废铝的加工利用量约为1千万吨。

2.2 废五金加工利用区域分布情况

我国有近60个废五金回收拆解基地或产业园,具体见表1。

表1 我国废五金回收基地概况

省	市/县	废金属回收产业园
辽宁	大石桥	废铝集散与再生利用基地园区
天津市	静海县子牙镇	天津子牙环保产业园
四川	成都	四穿省再生资源市场、成华再生资源回收市场、新津县西部最大的废旧铜和铝的集散基地
	内江	内江的废旧物资交易市场
湖南	团山	团山金属再生资源大市场
	安化	安化(全国三大钨钴钼废料等有色金属集散地之一)
	永兴县	永兴县回收白银园区
	株洲	长株潭再生资源中心
	郴州	永兴县郴州有色金属产业园区
	永州	湖南省永州铜业循环经济工业园
湖北	宜昌	再生铅集散生产区
江西	鹰潭	江西鹰潭铜产业循环基地拆解加工区
安徽	池州	南阳废金属安徽铜陵(有色金属)园区安徽界首田营循环经济工业区
江苏	兴化	戴南镇(全国最大的不锈钢废料集散地)、南京铁心桥地区南京雨南废旧金属市场
	扬州	扬州市废旧金属物资交易市场 太仓再生资源进口加工园区 江苏邳州再生铅循环经济示范区 张家港进口废汽车压件拆解加工试点园区
福建	厦门	厦门园区
	沙县	凤岗街道古县村金古金属深加工特色园区
	漳州	港尾镇全通金属园区
浙江	金华	永康芝英镇废旧金属材料市场

	嘉兴	秀洲区王江泾镇栋梁村不锈钢交易市场
	绍兴	永宁废旧金属交易、废旧金属物资交易集散中心
	镇海	废金属拆解集聚区
	台州	台州市金属资源再生产业基地
广东	佛山	南海大沥镇废旧金属加工 澜石国际金属交易中心(不锈钢市场)园区
		南海区大沥镇联滔工业园
河南	长葛	大周镇，四大市场，即中原有色金属交易市场、中州铝型材市场、河南不锈钢市场和大周金属炉料市场
河北	石家庄	石家庄：10个废旧物资市场、10个废钢铁集散中心
	望都	废旧钢铁、铜合金加工园区、文安东都再生资源环保产业基地
山东	潍坊	东邢、西牟、刘家庄、草庙社区的四个废旧物资回收市场
	临沂	华东有色金属交易城园区、河东区临沂循环经济产业基地

2.3 废五金加工利用环境污染

早期的废五金拆解主要通过酸洗、无序拆解等作业，根据相关文献，废五金拆解加工已经导致区域地表水和土壤污染严重。2006年中国地质大学地球科学研究院王世纪等的研究^[1]认为：台州市路桥有400km²重金属污染较为严重，路桥区至泽国镇中部一带20km²范围内已达到重度污染，以东地区250km²范围为中度污染，其余130km²范围为轻度污染。重度污染范围与废旧金属拆解回收点集中分布区域基本吻合，表层土壤以Cd、Cu、Pb、Zn污染为主，污染程度较为严重，已测得污染区稻谷铅严重超标。2007年浙江省地质调查院^[2]历时3年，对拆解业污染区域路桥区峰江街道基本农田质量调查显示，该地区土壤已遭受严重的镉、铜等重金属和多氯联苯等有机污染物的复合污染，显著影响了土地质量，并带来显著的食品安全问题。2008年姚春霞等研究表明，台州市表层土壤的污染物以铜、镉、铅和锌为主，汞和砷的污染相对较轻^[3]；土壤汞含量为0.037-0.74mg/kg，其中9%的土壤样品含量超出国家二级土壤标准值^[4]。2013年陈海棠^[5]等选取台州废五金拆解作坊集中且拆解历史较长的4个自然村农田土壤，开展了重金属污染水平研究，电子废物拆解作坊房前屋后的农田土壤受到了不同程度的重金属污染，其中Cd和Cu为中度污染，Hg为轻微污染。农田土壤中Cu、Pb、Ni和Zn的污染主要来自于电子固废焚烧排放的烟尘大气沉降，Cd和Hg主要来自电子固废酸洗废水径流及电子固废长期堆放淋溶。2015年叶景甲^[6]等对台州路桥区拆解区土壤中PCBs研究表明，土壤中 $\Sigma 20$ PCBs的质量分数范围是71.68~379.77ng/g，且PCBs的组成主要以低氯代为主，四氯和五氯分别占总PCBs质量分数的47.8%和41.9%，污染区域土壤中PCBs基本来自废旧电子电器的泄漏。2017年张昱^[7]等对台州市路桥区电子废弃物拆解园区、下

脚料拆解作坊、尾渣倾倒点及周边农田土壤重金属研究来看，电子废弃物拆解区及周边农田土壤已普遍受到重金属污染，不仅电子废弃物拆解点与废渣倾倒（排放）点土壤呈重度污染状态，周边农田也出现了轻度到重度污染不一的情况。Cd、Cu、Pb 与 Zn 等 4 种重金属呈重度污染。土壤重金属污染存在两条主要扩散途经，首要的是电子废弃物拆解产生的粉尘与焚烧产生的飞灰随大气沉降而产生的污染，次要的是拆解点与废渣倾倒点经雨水冲刷、淋溶下渗、地表径流所造成的污染。贵屿土壤和沉积物中平均含 PBDEs 0.26-824ng/gDW，沉积物和鱼体中的 PBDE 是其他研究区域的 10-1000 倍，其中 BDE-209（十溴联苯醚的一种工业品）是主要的同系物（35-82%），这说明 10-BDE 的普遍性，但同时也包含 5-BDE 和 8-BDE。PBDEs 和 PBDE/Fs（多氯代二苯并二噁英）主要产生于酸洗和燃烧工序，酸洗源土壤中 PBDEs 和 PCDD/Fs 含量分别为 12500-89800pg/g 和 203-1100pg/gWHO-TEQ（世界卫生组织 1998 年规定的毒性效价），燃烧源附近土壤 PBDEs 和 PCDD/Fs 分别为 PCDD/F 13500-25300pg/g 和 84.3-174pg/gWHO-TEQ。土壤中 16 种多环芳烃的总量介于 44.8-3206ug/kg 之间，平均值为 582ug/kg，较我国土壤的背景值高 4.8 倍，且以电子废物燃烧源最高（2065ug/kg）。多环芳烃主要种类为萘、菲和荧蒽，主要来源于电子废物的不完全燃烧、燃煤污染与摩托车尾气污染^[8]。

2008 年中山大学生命科学学院罗勇^[9]等选取广东省清远市龙塘镇和石角镇内电子废弃物拆解作坊共 29 个表土样本及附近农田 33 个土壤样本进行取样分析，结果表明，龙塘镇电子废弃物拆解作坊表土中 4 种重金属的总含量平均值高达 11086mg·kg⁻¹，远高于电子废物焚烧迹地，其中 Zn、Cu、Pb 和 Cd 平均含量分别为 3039.6、6371.5、1635.4 和 39.3mg·kg⁻¹。从事电子废弃物拆解业历史较短的石角镇的拆解作坊表土中，4 种重金属总含量和各金属平均含量均低于龙塘镇，显示出拆解历史越长，污染越严重的倾向。

2013 年华南理工大学对清远市龙塘镇、佛山市里水镇及汕头贵屿镇这三个区域土壤和河流底泥重金属污染状况和生态危害程度进行初步评价：Cd 是最普遍的污染重金属，三个地区的所有采样点 Cd 含量均超过背景值，其中龙塘镇超标 10 倍以上，里水镇超标百倍以上，贵屿镇超标上千倍。对于河流底泥重金属含量，除 Zn 以外，其他 4 种重金属的含量均表现为表面含量远远高于底部含量，且随着深度的增加浓度随之减少。5 种重金属含量主要呈现出 Cu>Pb>Zn>Cr>Cd 的趋势。5 种重金属的化学形态变化趋势普遍以活性形态存在，容易发生迁移，对生态环境的潜在危害大^[10]。

2015 年华南理工大学张金莲等^[11-12]研究表明：清远市龙塘镇和石角镇电子垃圾拆解区附近表层 0~20cm 土壤中 Pb、Cu、Cd、Zn、Ni 和 Cr 元素含量表现出不同程度的富集。72.7%的表层土壤样品存在一种或几种重金属超过食用农产品产地环境质量评价标准，以 Cd、Cu、Pb、Zn 污染为主，其中 Cd 是最普遍也是污染最严重的重金属。土壤样品综合污染指数在 0.30~14.61 之间，68.2%的土壤样品受到重金属污染，其中更有 53.3%为重污染等级。

Cd、Pb、Zn 和 Cu 在表层土壤中含量较高，深层土部分(20~100cm)含量相差不显著。Cr 和 Ni 元素在整个采样剖面含量基本一致，无统计学意义上的差别。绝大多数土壤样品中 Pb、Cu 和 Cd 活性形态在总量中的比例占到一半以上，特别是 Cd，普遍以活性形态存在，容易发生迁移，具有极大的生态风险。拆解区下游河流底泥中的重金属 Cd、Cr、Cu、Zn 和 Pb 在 0-1500m 内总体逐渐降低，Cd 在 0-40cm 内含量总体逐渐降低，但远超背景值，Cu 含量采样深度内递减规律最显著且在 0-10cm 内含量超标，Cr、Zn 和 Pb 除部分点位在表层积累较多外，其余与背景值相差不大且未超标。拆解区下游河流底泥中 Cd 主要以弱酸溶态和可还原态存在，Cu 主要以可氧化态存在，Cr 主要以残渣态存在，Zn 和 Pb 以可还原态为主；其中 Cd 的可提取态比例较高(>60%)，易造成“二次污染”。潜在生态风险结果表明，拆解区下游河流底泥已经受到严重的重金属污染，各金属生态危害中 Cd 危害程度属于极强($E_i > 320$)，Cr、Cu、Zn 和 Pb 危害风险程度属于轻微($E_i < 40$)；金属 Cd 对整个潜在生态风险指数 RI 贡献值最大(>88%)，应重点加强对 Cd 污染的防控^[12]。

2018 年安徽师范大学与中国科学院广州地球化学研究所吴江平等^[13]的研究认为：清远市龙塘电子垃圾拆解地稻田土壤和大米中 Cd、Cu 和 Pb 等重金属含量显著高于对照区，表明粗犷的电子垃圾拆解活动已造成当地农田重金属污染。土壤和大米中重金属含量与电子垃圾拆解类型有关：电子元件拆解工厂附近稻田土壤和大米中 Cd 的含量显著提高，而电路板和电缆线拆解工厂附近土壤和大米中 Cu 的含量较高；土壤的风险评估结果显示，电子垃圾拆解地稻田土壤中的 Cd 具有极强的生态特性；健康风险评估结果显示，电子垃圾拆解地当地居民食用大米时，Cd 和 Cu 具有健康风险，Cd 具有致癌风险。

三、废五金加工利用环境风险评估研究

3.1 废五金加工利用区环境风险评估理论研究

3.1.1 环境风险评价研究概述

(1) 环境风险评价理论概述

根据我国学者陆雍森的定义，广义上，环境风险评价是指对人类的各种社会经济活动所引发或面临的危害（包括自然灾害）对人体健康、社会经济、生态系统等所造成的可能损失进行评估，并据此进行管理和决策的过程。狭义上，环境风险评价常指对有毒有害物质危害人体健康和生态系统的影响程度进行概率估计，并提出减小环境风险的方案 and 对策。环境风险评价能够为环境风险管理和决策提供科学的依据。国际对环境风险评价的研究始于 20 世纪 70 年代，其中美国在环境风险评价方面的研究起步较早，1976 年，美国环保署颁布的《致癌风险评价准则》中首次提出了风险评价的概念。国内对环境风险评价的研究起步较晚，从 20 世纪 80 年代才开始环境风险的基础研究，但由于国家的重视，环境风险评价制度在我国迅速建立并发展起来。21 世纪以后，我国环境风险评价已日趋完善，环境风险评价技术也逐渐成熟。

根据风险受体的不同，环境风险评价可分为健康风险评价和生态环境风险评价等；根据评价尺度不同，环境风险评价可分为有毒有害物质环境风险评价、事件环境风险评价、项目环境风险评价和区域环境风险评价等。

(2) 人体健康风险评价理论概述

人体健康风险评价是表征因环境污染所致的潜在健康效应过程，主要评估区域活动或污染物对人体健康造成的影响与损害，以便确定环境风险类型与等级，预测污染影响范围及危害程度，为风险管理提供科学依据与技术支持。人体健康风险评价是环境风险评价的重要组成部分，其实现了人体健康和环境污染有机结合，这种评价的主要特点是指标定量化，能准确地用数字显示污染因子对人体产生怎样的、何种程度的危害。我国的健康风险评价研究始于上世纪 90 年代，被列入国家通关计划后，健康风险评价取得了较大进展。

目前国内外对于人体健康风险的研究，多是针对某个具体的污染物或有毒有害物质对特定人群、特定器官等产生的不利影响展开风险评价。经典的环境健康风险评价方法是美国环境保护署(US EPA)于 1980 年代提出的包括危害鉴定、剂量-效应评价、暴露评价和风险表征的“四步法”，该方法主要针对确凿的污染物浓度和毒性等相关信息，定量

描述污染物对人体健康产生的危害，进而提出环境风险管理措施。而对于区域性人体健康风险评价，“四步法”仅将区域内所有污染物通过各种暴露途径产生的风险进行加和，具有一定的局限性。因为人体健康风险不仅与环境质量和暴露途径密切相关，还与区域环保管理水平、环保投入、政府管理手段、公众环保意识等息息相关。

(3) 生态环境风险评价理论概述

生态环境风险评价指在生态系统受一个或多个胁迫因素影响后，对不利的生态后果出现的可能性予以评估，其研究侧重于评估人为活动引起的生态系统不利改变，最终为风险管理提供决策支持。一般来说，生态风险评价是用环境学、生态学、地理学、生物学等多学科的综合知识，采用数学、概率论等量化分析技术手段来进行预测、分析和评价。评价内容包括评价水平的确定(个体、群体、物种、非生物体系)、危害性质的确定(生物毒性、环境污染、生态破坏)、危害程度的确定(剂量—反应关系、危害阈值)、以及控制指标的确定等。风险表征则包括描述危害的可能性或概率、危害的性质和时间特征、危害的范围和不确定度分析。

生态环境风险评价方法通常分为物理方法、数学方法和计算机模拟方法。其中物理方法主要包括商值法和暴露-反应法，这2种方法也是环境风险评价和人体健康风险评价比较常用的定量评价模型。生态风险具有模糊性、灰色性和不确定性等特点，因此可以采用相应的数学方法来解决，如模糊数学评价、灰色系统理论、马尔可夫预测法、概率风险分析方法和机理模型等。计算机模拟方法目前常用的有人工神经网络模型和蒙特—卡罗模型。区域范围内往往包含多种生态风险，其风险评价远比单一环境中的风险评价更为复杂，因此对于生态环境风险评价，目前的主流研究均聚焦于区域生态风险评价。

(4) 区域风险评价理论概述

区域风险评价(regional risk assessment)是在区域尺度上描述和评估环境污染、人为活动或自然灾害对生态系统及人体健康产生不利作用的可能性和大小的过程。相对于单一地点的风险评价，区域风险具有多源、多途径和多受体的特点，评价范围由局地扩展到区域水平，存在相互作用和叠加效应，过程较复杂，因此进行区域风险评价能够较为真实客观的反映区域环境影响因素的综合效应。

区域风险评价常用的评价方法有模糊数学综合评判方法、环境风险综合评价法、相对风险评价模型、PETAR方法、信息扩散法和层次分析法等。这些方法中，环境风险

综合评价法、层次分析法等评价方法都属于指标体系评价法，通过构建区域风险评价指标、计算风险叠加值、划分风险等级等步骤，进行区域风险评价。从风险理论的角度看，区域的风险来自于由风险源、风险因子、评价终点（风险受体）构成的暴露路径，一个区域内可能由无数条这样的路径传播风险，因此考察识别区域内的主要的风险暴露路径并评价各路径、驱动力、风险源、风险因子、评价终点的相对重要性，就构成了区域风险识别的理论基础和技术路线，并以此构建区域风险评价的指标体系和概念模型。

（5）本研究评价方法的确定

典型固废加工利用区域带来的环境污染对生态环境的影响具有长期性、复合性、累积性、远期效应等特点，不管是健康风险评价的“四步法”，还是生态环境风险评价的商值法、模糊数学法、概率风险分析法，以及区域风险评价的相对风险评价模型、信息扩散法等，都无法较为全面、客观的评估加工利用环境风险影响。而采用评价指标体系法进行区域环境风险评估，是一个相对更为实用、有效的研究思路。通过构建一个科学合理的评价指标体系，可以使得加工利用区域环境影响的复杂性变得简单化、归一化、条理化，并形成一套程序化、可复制的系统方法，从而有效支撑本指南的制定。

3.1.2 评价指标体系法研究概述

在国内外环境风险评价相关研究成果的基础上，结合本指南研究目标及特点，参照层次分析法、环境风险综合评价法等指标体系评价方法的研究思路，建立基于风险源、风险受体、风险防控能力三个准则层的典型区域环境风险指标体系，其建立过程主要包括评价指标选取、指标权重确定、评价标准分级、综合评价体系构建等4个步骤。

（1）评价指标选取

指标体系的构建是典型区域环境风险定量化评价的基础，因此评价指标的选取是否合适将直接影响评价的结果。评价指标的选取应基于所评价区域、评价对象环境影响的特征及其管理目标，在充分了解区域风险源、风险途径、风险受体及其相互影响关系的基础上，通过大量的资料分析、现场调查、专家咨询等工作获得。评价指标的选取应遵循综合性、代表性、科学性、可比性、可操作性等原则。

（2）指标权重确定

指标权重表征各评价指标在典型区域环境风险评价中的重要性或所占比重的大小，即该指标在整个评价体系中的相对重要程度，是对各指标对于典型区域环境风险评价价值

贡献程度的量化。

指标权重的确定方法可分为主观赋权法、客观赋权法及主客观结合赋权法三大类。主观定权法是基于研究者对于相关领域的知识储备及研究经验对指标权重进行打分，进而确定权重的方法，包括主观经验法、专家意见法（德尔菲法）、专家调查加权法等。客观赋值法主要是利用指标反应的信息量来确定权重的方法。常见的客观赋值法有差异驱动法、熵值法及人工神经网络定权法等。主客观结合赋权法是指将主观赋权和客观赋权两种方法结合起来，实现定量和定性的结合，包括主成分分析法（PCA）、层次分析法（AHP）、模糊综合评判法等。在实际应用过程中，往往耦合了不同的权重确定方法。

通过对比各类赋权方法的适用性和优劣势，本研究拟采用德尔菲法和层次分析法相结合的方法，确定评价指标权重。

（3）分级标准确定

根据确定的指标体系研究思路，综合考虑各层次评价指标的基准值（标准值）和分级标准。典型区域环境风险评估是一个系统性、综合性和科学性的评价过程，而单个指标的对比分析不能科学、全面地评价风险评估结果，因此需要确定每个评价指标的基准值。在指标基准值确立之后，综合考虑我国典型固废加工利用区域的污染源及风险受体特征、建设管理水平等因素，按高风险、中风险、低风险三个等级进行分级评价。

（4）综合评价指标体系构建

由各单项指标构建而成的评价指标体系框架，一般参照层次分析法（AHP）的思路可分解为四个层次，从上到下分别为目标层、准则层、要素层和指标层，其中目标层表示解决问题的目的，即课题研究要达到的总目标；准则层表示采取某种措施、方案等来实现总目标所涉及的中间环节；要素层表示要选用的解决问题的各种措施、方案等；指标层为要素层每个要素的具体指标。

综上，根据指标层级及评价指标的选取，完成典型区域环境风险评价指标体系的构建；根据指标基准值、权重值和分级标准的确立结果，可进行典型区域环境风险评估等级值的计算，给出最终评价结果及管理建议。

3.2 环境风险评估指标体系的构建

3.2.1 评估指标体系的构建原则

（1）科学性原则

构建指标体系，应当采用科学的方法和手段。首先，指标体系中的各项指标的概念及含义与指标体系的关系应尽量明确。其次，选取的指标必须是能够通过调研、测试等方式得出，并能较好反映废五金加工利用主要特征，能真实反应典型区域环境风险水平，确保评价结果的科学性和准确性。

(2) 代表性和简洁性

应选用代表性较强的典型指标，尽可能以较少指标包含较多信息，避免重复，力求简洁易用。

(3) 可操作性原则

该原则主要从数据的可获性方面分析，重点考虑指标相关数据的可取性、可比性和可测性。选择指标时，并非越多越好，而是要考虑指标的可量化性及数据获取的难易度和可靠度。一般来说，优先选取现有数据及简单易得的数据，指标体系中不应出现重复或重要环节疏漏等情况。此外，增加定量指标所占的比例可提高指标体系的可操作性。

(4) 定量与定性相结合原则

评价指标应尽可能选用容易量化指标，而对难以量化且意义重大的指标采用定性方法。

(5) 兼容性和可扩展性

指标体系应与国内现有指标相协调，且能与国际接轨，同时保持继承性，使得指标有一定的灵活性，并通过不断的实践得到发展和完善。

3.2.2 评估指标体系的组成

(1) 模型构建思路

根据废五金加工利用污染源清单分析、《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法》（环办应急〔2018〕9号）、《生态环境健康风险评估技术指南 总纲》（HJ1111-2020）、环境风险评价方法、健康风险评价方法、文献查阅环境或健康相关指标体系研究涉及到的指标，包括环境质量综合评价指标体系^[32]、区域水安全评价指标体系^[33]、环境健康区域协调发展评价指标体系^[34]、区域环境健康综合风险评价指标体系^[35]、环境镉污染健康风险评价指标体系^[36]等，结合环境和人体健康风险评价关键要素，进行理论分析，利用压力-状态-响应（P-S-R）模型，建立基于风险源、受体和风险防控能力的废五金加工利用环境风险评估指标体系。即废五金加工利用产生污染来源，对环境造成压力，环境中的污染物质通过各种环境直接进入生态环境，最终对生态环境造成威胁，政府采取积极

的措施来有效控制环境污染以及环境污染造成的损害风险。

(2) 建立风险评估指标体系

按照模型构建的总体思路，选择适宜的维度初步构建指标体系，将目标问题分解为4个层次，依次为目标层、准则层、要素层和指标层。

目标层即评价目的，也就是废五金加工利用环境风险评估。准则层基于“风险压力-风险现状-风险应对”三方面反映环境风险，即风险源、风险受体和风险防控能力。要素层风险源指标由加工利用情况和污染排放2个要素构成，风险受体指标由环境质量、环境敏感度和污染暴露3个要素构成，风险防控能力由环境管理和公众反应2个要素构成。指标层为筛选后的相应指标，根据指标特性分为定量指标和定性指标。

3.2.3 评估指标的筛选

固废加工利用环境风险评价指标的选取应符合典型固废加工行业的生产特征及风险评估要求，选取的指标应能对典型固废加工利用环境风险做出合理的分析评价，才能提出具有针对性、可操作性的对策与措施。

(1) 评估指标体系筛选方法

指标体系构建采用的方法主要包括理论研究法、文献资料分析法、小组讨论、Delphi法等。本次选取指标和构建指标体系时，通过对废五金加工利用行业工艺特点及环境影响特征的分析，识别废五金加工利用环境风险源、主要风险因子、风险受体等情况，结合固废加工利用区域环境特点，污染暴露等特征，通过理论分析筛选出最能体现环境风险的指标，再通过小组讨论和专家咨询的方式，根据专家意见进一步提高指标体系的科学性和准确性，最终形成较为完善的指标体系。

(2) 评估指标的确定

根据指标筛选原则及方法，确定的废五金加工利用环境风险评价指标见表3.2-1。

表 3.2-1 废五金加工利用环境风险评估指标

目标层 A	准则层 B	要素层 C	指标层 D	单位
废五金加工利用环境风险评估指标	风险源指标 (B ₁)	加工利用情况 (C ₁)	废五金加工利用量 (D ₁)	万 t
			废五金加工利用企业数量 (D ₂)	个
			废五金夹杂率 (D ₃)	%
			通过清洁生产审核企业占比 (D ₄)	%
		污染排放	废五金加工利用废水排放量 (D ₅)	t

体系 (A)	(C ₂)		废五金加工利用废气排放量 (D ₆)	t		
			废五金加工利用固体废物产生量 (D ₇)	t		
			废五金加工利用水污染物排放量 (D ₈)	t		
			废五金加工利用大气污染物排放量 (D ₉)	t		
	风险受体指标 (B ₂)	环境质量 (C ₃)		大气污染程度 (D ₁₀)	-	
				地表水污染程度 (D ₁₁)	-	
				土壤污染程度 (D ₁₂)	-	
		环境敏感度 (C ₄)		大气环境风险受体数量 (D ₁₃)	万人	
				周边人口密度 (D ₁₄)	人 /km ²	
				水环境风险受体数量 (D ₁₅)	个	
				土壤环境风险受体密度 (D ₁₆)	%	
		污染暴露 (C ₅)		大气铅浓度 (D ₁₇)	mg/m ³	
				地表水铅浓度 (D ₁₈)	mg/L	
				地表水镉浓度 (D ₁₉)	mg/L	
				农田土壤铅浓度 (D ₂₀)	mg/kg	
				农田土壤镉浓度 (D ₂₁)	mg/kg	
		风险防控能力 指标 (B ₃)	环境管理 (C ₆)		突发环境事件应急预案编制及演练情况 (D ₂₂)	-
					废五金加工利用污染整治情况 (D ₂₃)	-
				废水集中处理情况 (D ₂₄)	-	
				废水在线监控设施安装情况 (D ₂₅)	%	
				废气在线监控设施安装情况 (D ₂₆)	%	
			突发环境事件发生数量及等级 (D ₂₇)	-		
	公众反应 (C ₇)		生态环境质量公众满意度 (D ₂₈)	-		

(3) 指标解释

1) 风险源指标

风险源指标是反映废五金原料夹杂污染物及加工利用过程中排放的污染物对环境可能产生危害的源。本指标由加工利用情况和污染排放 2 个要素构成，总共 9 个指标，全部为定量指标。定量指标中 8 个为逆向指标，1 个为正向指标。逆向指标越大，废五金加工利用带来的环境和人体健康风险越大，指标越小，越有利于环境保护和人体健康。

①加工利用情况指标说明

废五金加工利用量指废五金加工利用园区或集聚区某年度的废五金加工利用量。

废五金加工利用企业数量指废五金加工利用园区或集聚区某年度废五金定点加工利用企业数量。

废五金夹杂率指废五金中其他夹杂物的重量除以废五金重量，废五金中其他夹杂物指在产生、收集、包装和运输过程中混入废五金中的其他物质（不包括废五金的包装物

及在运输过程中需使用的其他物质)。

通过清洁生产审核企业占比指废五金加工利用园区或集聚区废五金加工利用定点企业中通过清洁生产审核企业的数量与废五金加工利用企业总数量的比值。

②污染排放指标说明

废五金加工利用废水排放量指某年度废五金加工利用园区或集聚区废五金加工利用废水排放总量。

废五金加工利用废气排放量指某年度废五金加工利用园区或集聚区废五金加工利用废气排放总量。

废五金加工利用固体废物产生量指某年度废五金加工利用园区或集聚区废五金加工利用固体废物产生总量。

废五金加工利用水污染物排放量指某年度废五金加工利用园区或集聚区废五金加工利用 COD、铅、镉、铬、镍、铜等特征污染物排放总量。

废五金加工利用大气污染物排放量指某年度废五金加工利用园区或集聚区废五金加工利用 TSP、铅、镉、铬、镍、铜等特征污染物排放总量。

2) 风险受体指标

风险受体指标指可能受到废五金加工利用排放污染物危害的园区或集聚区外部人群、内部人群以及周边集中生活区、具有一定社会价值或生态环境功能的单位或区域等。本指标由环境质量、环境敏感度和污染暴露 3 个要素构成，总共 10 个指标，全部为定量指标。

①环境质量指标说明

考虑到废五金加工利用主要对大气、地表水和土壤造成了严重危害，因此，环境质量指标选取大气、地表水和土壤环境质量，且废五金加工利用特征污染物种类较多，故采用综合污染指数评估大气、地表水和土壤的污染程度。

地表水综合污染指数计算：

单项污染指数的计算方法： $S_i = C_i / C_{si}$

式中： S_i ——单项水质参数 i 的污染指数；

C_i ——污染物实测浓度；

C_s ——相应类别的标准值。

综合污染指数的计算方法：
$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

大气环境综合污染指数计算：

单项污染指数： $P_i = C_i / S_i$ ；

综合污染指数： $P = \sum P_i$ ；

式中：P 为空气综合污染指数；

P_i 为 i 项空气污染物的分指数； C_i 为 i 项空气污染物浓度的年均值； S_i 为 i 项空气污染物的环境质量标准限值。

土壤环境综合污染指数计算：

土壤单项污染指数 (P_i) = 土壤污染物实测值/污染物质量标准

内梅罗污染指数 (P_N) = $\{ [(P_{i均})^2 + (P_{i最大})^2] / 2 \}^{1/2}$

②环境敏感度指标说明

大气环境风险受体数量指废五金加工利用园区或集聚区内部及外部 5 公里半径区域内大气环境风险受体中人口数量 (万人)，包括居住区、医疗卫生机构、文化教育机构、科研机构、行政机关、企事业单位、商场、公园和涉及军事禁区、军事管理区、国家保密相关区域。

周边人口密度指废五金加工利用园区或集聚区内部及外部 5 公里半径区域内可能受废五金加工利用环境影响的人口密度 (人/平方公里)。

水环境风险受体数量指水环境风险受体分布情况，即 1) 园区或集聚区雨水排口、清净废水排口、污水排口下游 10 公里范围内有如下的一类或多类环境风险受体：集中式地表水、地下水饮用水水源保护区 (包括一级保护区、二级保护区及准保护区)；农村及分散式饮用水水源保护区；2) 废水排入受纳水体后 24 小时流经范围 (按受纳河流最大日均流量计算) 内涉及跨省界的；3) 园区或集聚区雨水排口、清净废水排口、污水排口下游 10 公里流经范围内有生态保护红线划定的或具有水生态功能区的其他水生态环境敏感区和脆弱区，如：国家公园，国家级和省级水产种质资源保护区，水产养殖区，天然渔场，海水浴场，盐厂保护区，国家重要湿地，国家级和地方级海洋自然保护区，生物多样性保护优先区域，国家级和地方级自然保护区，国家级和省级风景名胜区，世界文化和自然遗产地，国家级和省级森林公园，世界、国家和省级地质公园，基本农田保护区，基本草原；4) 园区或集聚区雨水排口、清净废水排口、污水排口下游 10 公里流经范围内涉及跨市界的；5) 园区或集聚区分布在溶岩地貌、泄洪区、泥石流多发等

地区的。

土壤环境风险受体密度指园区或集聚区内部及外部1公里半径区域内土壤环境风险受体用地面积占比（%），包括GB50137规定的农林用地（E1）、居住用地（R）、中小学用地（A33）、医疗卫生用地（A5）、社会福利设施用地（A6）、公园绿地（G1）。

③污染暴露指标说明

通过文献查阅和现场调研可知，废五金加工利用造成了区域复合污染，对人群健康影响较大的污染物主要为铅、镉、PCBs和BDEs等，考虑到PCBs和BDEs目前缺乏毒理学参数，无法进行风险评估。同时，PCBs、BDEs未列入常规监测，缺乏历史监测数据。因此，本次研究通过铅和镉在不同介质中的污染暴露来表征对人体健康的影响，共设置5个指标，分别是大气中铅浓度、地表水中铅浓度和镉浓度和农田土壤中铅浓度和镉浓度。

3) 风险防控能力指标

风险防控能力指标由环境管理和公众反应2个要素构成，总共7个指标。

①环境管理指标说明

包括突发环境事件应急预案编制及演练情况、废五金加工利用污染整治情况、废水集中处理情况、废水在线监控设施安装情况、废气在线监控设施安装情况、突发环境事件发生数量及等级。6项环境管理指标均为逆向指标。

②公众反应指标说明

公众对生态环境质量满意度指公众对废五金加工利用园区或集聚区生态环境状况、政府生态环保工作的满意度、认可度和党委政府加强生态环境建设的信心等。

3.2.4 评估指标体系的构建

根据筛选出的指标和层次结构，构建的废五金加工利用环境风险评估指标体系框架见图3.2-1。

3.2.5 评估指标体系标准的确定

（1）基准值的确定思路

开展废五金加工利用环境风险评估需要对各项评估指标确定其标准值。标准值的确定，应充分考虑国内园区或集聚区环境风险及环境保护的有关要求、废五金环境保护相关政策和管理要求、生态环境和人体健康风险评估技术要求等，结合废五金加工利用园区或集聚区现实水平进行确定。为了适应当前评价的要求，现拟定以下几项原则供制定

标准值时参考。

- 1) 已有国家或国际相关标准的标准值；
- 2) 2010-2019 年国内废五金加工利用园区或集聚区现状值；
- 3) 没有任何标准供参考的指标，根据专家的研究成果或经验确定标准值；
- 4) 对于定性指标基准值无法划分级别时，则统一给出一个基准值。

(2) 基准值的分级

根据确定的标准研究思路，综合考虑废五金加工利用环境风险水平，将其划分为高风险、中风险和低风险三个等级。

(3) 基准值的确定方法

为了基准值取值的科学性，本次研究在进行文献检索、现场调研、专家咨询等的基础上，收集了 9 个国内废五金加工利用园区或集聚区统计数据，综合考虑行业发展因素，或参考国内外现行的相关标准，对废五金加工利用环境风险评估指标基准值进行确定。定量指标基准值具体见表 3.2-3，定性指标基准值见表 3.2-4。

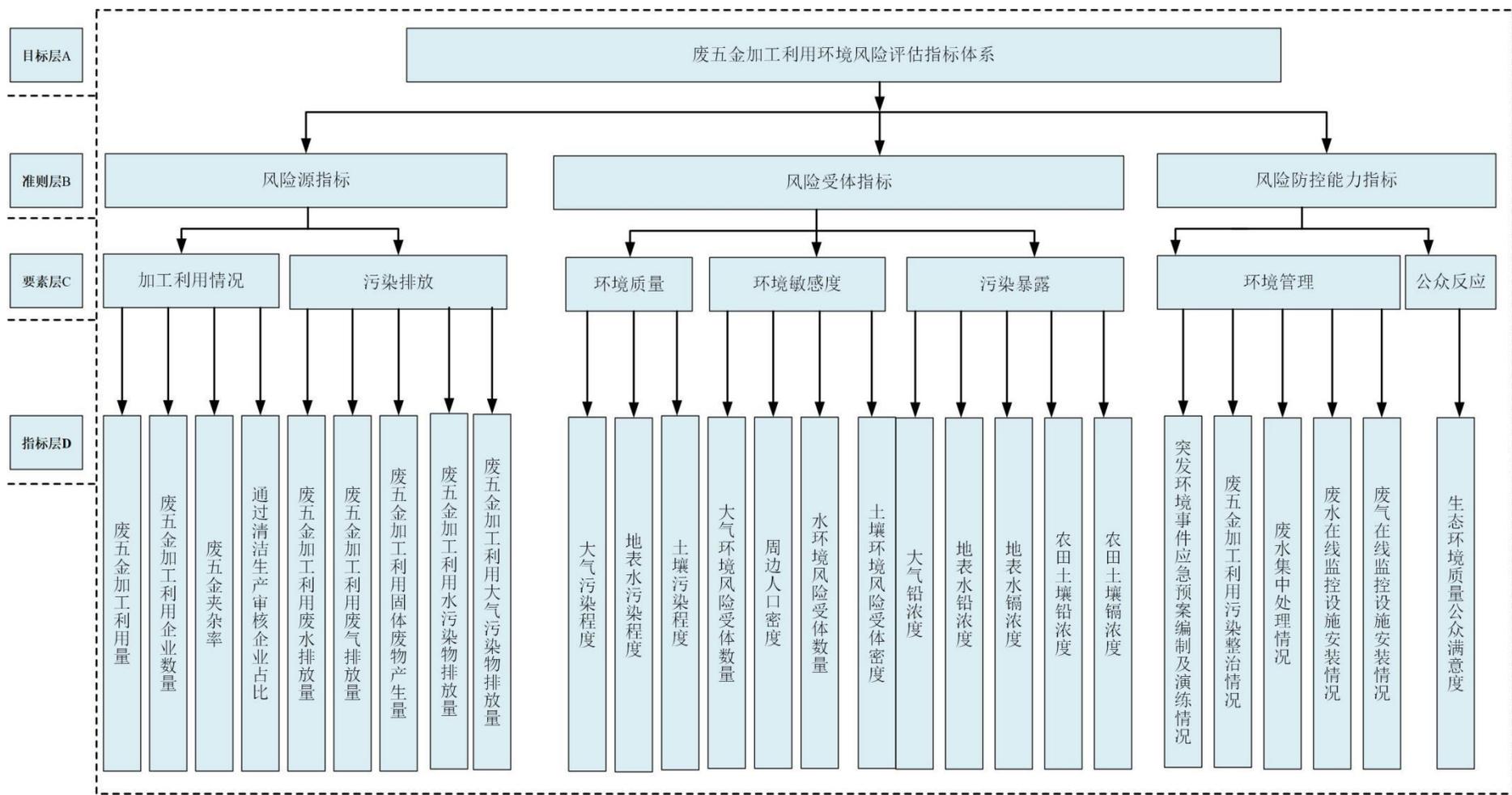


图 3.2-1 废五金加工利用环境风险评估指标体系框架

表 3.2-3 废五金加工利用环境风险评估定量指标基准值

准则层	要素层	指标层	单位	分级标准		
				高风险	中风险	低风险
风险源 指标	加工利用情况	废五金加工利用量	万 t	>50	(20,50]	≤20
		废五金加工利用企业数量	个	>25	(10,25]	≤10
		废五金夹杂率	%	>2.0	(0.5,2.0]	≤0.5
		通过清洁生产审核企业占比	%	≤10	(10,80]	>80
	污染 排放	废五金加工利用废水排放量	万 t	>500	(100,500]	≤100
		废五金加工利用废气排放量	亿 m ³	>150	(50,150]	≤50
		废五金加工利用固体废物产生量	万 t	>5000	(100,5000]	≤100
		废五金加工利用水污染物排放量	t	>400	(50,400]	≤50
		废五金加工利用大气污染物排放量	t	>1000	(100,1000]	≤100
风险受 体指标	环境 质量	大气污染程度	-	>4.0	(1.3,4.0]	≤1.3
		地表水污染程度	-	>1.0	(0.8,1.0]	≤0.8
		土壤污染程度	-	>3.0	(1,3]	≤1
	环境敏 感度	大气环境风险受体数量	万人	>25	(5,25]	≤5
		周边人口密度	人 /km ²	>2000	(500,2000]	≤500
		土壤环境风险受体密度	%	>20	(10,20]	≤10
	污染 暴露	大气铅浓度	ug/m ³	>0.5	(0.25,0.5]	≤0.25
		地表水铅浓度	mg/L	>0.1	(0.05,0.1]	≤0.05
		地表水镉浓度	mg/L	>0.01	(0.005,0.01]	≤0.005
		农田土壤铅浓度	mg/kg	>170	(70,170]	≤70
		农田土壤镉浓度	mg/kg	>0.6	(0.3,0.6]	≤0.3
风险防 控能力 指标	环境 管理	废水在线监控设施安装情况	%	<50	[50,100)	100
		废气在线监控设施安装情况	%	<50	[50,100)	100
	公众 反应	生态环境质量公众满意度	-	≤60	(60,80]	>80

表 3.2-4 废五金加工利用环境风险评估定性指标基准值

准则层	要素层	指标层	分级标准		
			高风险	中风险	低风险
风险受体指标	环境敏感度	水环境风险受体数量	1) 园区或集聚区雨水排口、清净废水排口、污水排口下游 10 公里范围内有如下 一类或多类环境风险受体：集中式地表水、地下水饮用水水源保护区（包括一级保护区、二级保护区及准保护区）；农村及分散式饮用水水源保护区；2) 废水排入受纳水体后 24 小时流经范围（按受纳河流最大日均流量计算）内涉及跨省界的。	1) 园区或集聚区雨水排口、清净废水排口、污水排口下游 10 公里流经范围内有生态保护红线划定的或具有水生态功能区的其他水生态环境敏感区和脆弱区，如：国家公园，国家级和省级水产种质资源保护区，水产养殖区，天然渔场，海水浴场，盐厂保护区，国家重要湿地，国家级和地方级海洋自然保护区，生物多样性保护优先区域，国家级和地方级自然保护区，国家级和省级风景名胜区，世界文化和自然遗产地，国家级和省级森林公园，世界、国家和省级地质公园，基本农田保护区，基本草原；2) 园区或集聚区雨水排口、清净废水排口、污水排口下游 10 公里流经范围内涉及跨市界的；3) 园区或集聚区分布在溶岩地貌、泄洪区、泥石流多发等地区的。	不涉及
风险防控能力指标	环境管理	突发环境事件应急预案编制及演练情况	无		已编制突发环境事件应急预案，根据要求及时更新且每年组织演练
		废五金加工利用污染治理情况	无		针对废五金拆解造成的环境问题，已编制污染治理方案，并按照方案落实了相关整治措施
		废水集中处理情况	未建设集中污水处理设施		建有集中污水处理设施
		突发环境事件发生数量及等级	发生过较大及以上等级的突发环境事件	无较大及以上等级的突发环境事件，发生过一般突发环境事件	未发生过突发环境事件

3.3 环境风险评估指标权重的研究

3.3.1 常用权重确定方法

(1) 主观赋权法

① 主观经验法

主观经验法是评价者根据自己的经验直接给评价指标加权。一般情况下，是决策者根据自己的个人经验和对各项指标重要程度的认识，确定各项指标的权重。可能在实施中也会召集一些相关人士进行讨论，但基本以决策者的经验来判断和决定。该方法优点在于能集中智慧，建立在丰富的经验基础上，但缺点是太依赖主观经验，因此结果具有不确定性，同时具有片面性。常用于一些企业员工或单位职工的绩效考核中。

② 德尔菲法（又称专家意见法）

德尔菲法一般采用调查员通过调查问卷与多个专家沟通后得到的看法。这个沟通是单线的，各个专家之间没有联系。通过反复调查和征询，最终由调查员汇总和归纳专家们的一致看法，作为权重确定的依据。其优点主要是简便易行，缺点是停留在几个专家定性分析的基础上，尽管最后可能多个专家的意见达到了统一，但更多的是反映了专家们的主观意见趋同的一种行为。因为人们在多数意见都统一的前提下，有着一种“随大流”的倾向。因此，由德尔菲意见法确定出来的权重可靠性也不是很高，因为它还是缺乏定性定量相结合的分析与运算。

③ 专家调查加权法

专家调查加权法要求所聘请的专家先独立对评价指标加权，然后对每个评价指标的权数取平均值，作为权重系数。将专家评价的分值相加进行记分，计算公式为：

$$E = \sum_{i=1}^n Ei$$

式中：E——评定总分；

E_i——第*i*个专家的评分，*i*=1, 2, 3, ..., *n*。

与德尔菲法相比，同样是采用专家意见，但不同之处在于专家调查加权法只需要一轮就能得出结论，而德尔菲法需要经过多次反复，因此应用与操作方面显得比较简便。

(2) 客观赋权法

客观赋值法主要是利用指标反应的信息量来确定权重的方法。常见的客观赋值法有

差异驱动法、熵值法及人工神经网络定权法等。

①差异驱动法

即计算指标数据的方差贡献率确定对应的权重。该方法能够保证权重的赋值不受主观影响，指标的差异越大，对方案的评价作用越大，权重系数越大；

第一步：根据指标体系收集相应的指标源数据；

第二步：对所有的数据进行归一化处理，及无量纲化；

正向指标（促进作用）的无量纲化处理方法为：

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - m_j}{M_j - m_j}, \quad 0 \leq X'_{ij} \leq 1$$

负向指标（副作用）的无量纲化处理方法为：

$$X'_{ij} = \frac{M_j - X_{ij}}{M_j - m_j}, \quad 0 \leq X'_{ij} \leq 1 \quad (i=1, 2, \dots, a; j=1, 2, \dots, b)$$

其中 $m_j = \min\{X_{ij}, 1 \leq i \leq a\}$, $M_j = \max\{X_{ij}, 1 \leq i \leq a\}$, ($j=1, 2, \dots, b$)。 X'_{ij} 分别为第 i 个被评价对象的第 j 个指标预处理后的指标值 ($i=1, 2, \dots, a; j=1, 2, \dots, b$)

经过无量纲化处理后的指标都是越大越好。

第三步：计算平均值及方差

$$\bar{X}'_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'_{ij}, \quad (j=1, 2, \dots, b)$$

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X'_{ij} - \bar{X}'_{ij})^2, \quad (j=1, 2, \dots, b)$$

第四步：计算指标方差贡献率，即权重系数；

$$W_j = \sigma_j^2 / \sum_{j=1}^m \sigma_j^2, \quad (j=1, 2, \dots, b), \quad W_j \text{ 即为计算后的各指标对应的权重}$$

②熵值法

“熵”最早是从热力学引入到信息论中，现在已经广泛应用于各个不同的领域。信息系统中，信息熵是用来度量系统的无序程度的，信息的效用则是对系统有序程度的度量。信息熵越小，其信息的效用值越大，系统指标所占的权重也就越大；反之，信息熵越大，其信息的效用值越小，指标权重也就越小。

熵值法流程与方差贡献率的方法类似，只是利用熵值的方式取代方差的确权方式，是依据各个不同的方案之间指标数据的差异程度来确定指标权重。

权重确立流程如下：

第一步：根据指标体系收集相应的指标源数据；

第二步：对所的数据进行归一化处理，与上述无量纲化过程一致；

第三步：计算第 j 项指标下第 i 个被评价对象的值在此指标中所含的比重和熵值；

$$P_{ij} = X'_{ij} / \sum_{i=1}^n X'_{ij}$$

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}, \text{ 其中 } k > 0, k = 1/\ln n, e_j \leq 0$$

第四步：计算第 j 项指标的差异系数；

$$G_j = \frac{1 - e_j}{m - Ee}, \text{ 其中 } Ee = \sum_{i=1}^n e_j, 0 \leq G_j \leq 1, \sum_{j=1}^m G_j = 1$$

第五步：计算各指标对应的权数；

$$W_j = G_j / \sum_{j=1}^m G_j, (j=1, 2, \dots, m), W_j \text{ 即为计算后的各指标对应的权重。}$$

以上两种方法主要是利用指标数据的差异性来确定权重，数据差异越大，对方案的评价作用越大。方法的特点就是根据客观信息来计算权重系数，不受人干扰，缺点是对样本数据统计量要求大，对于定性的指标难以衡量其作用，同时对评价的目的没有较好的导向作用。

(3) 主客观结合赋权法

主客观结合赋权法是指将主观赋权和客观赋权两种方法结合起来，实现定量和定性的结合，该类方法主要有主成分分析法（PCA）、层次分析法（AHP）、模糊综合评判法等，最常用为前两种。

①主成分分析法（PCA）

主成分分析法又称主组元分析、主分量分析，是用损失少量信息（小于信息量的 15%）来换取减少变量的一种方法。主成分分析方法，通常都是以因子贡献率的大小排序，其优点是将复杂的多维空间变化为简单的低维空间，通过个别主导因子对复杂系统做出综合评价。其权重的计算方法如下：

第一步：根据指标体系收集相应的指标源数据；

第二步：数据标准化和相关矩阵计算，标准化方法类似差异驱动法所述归一化处理

方法:

第三步: 计算相关矩阵的特征值 λ_i 、特征向量 r_j ;

第四步: 计算各个主成分的方差贡献率 b_j 和累计贡献率 $\sum b_j$;

$$b_j = \lambda_i / \sum_{k=1}^p \lambda_k \quad (i=1,2,\dots, p)$$

$$\sum b_j = \sum_{k=1}^1 \lambda_k / \sum_{k=1}^p \lambda_k \quad (i=1,2,\dots, p)$$

第五步: 计算主成分得分矩阵 r_{ij} ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$), 主成分得分就是指标的权重。计算公式如下:

$$l_{ij} = \sqrt{r_i} r_{ij} \quad (i,j=1,2,\dots, p)$$

$$r_1 = r_{11}x_1 + r_{12}x_2 + \dots r_{1p}x_p$$

$$r_m = r_{21}x_1 + r_{22}x_2 + \dots r_{2p}x_p$$

...

$$r_m = r_{m1}x_1 + r_{m2}x_2 + \dots r_{mp}x_p$$

其中, l_{ij} 为主成分载荷, r_{ij} 为对应特征值的特征向量。

②层次分析法 (AHP)

层次分析法 (The analytic hierarchy process, 简称 AHP) 是美国著名的运筹学家 T.L.Satty 等人在 20 世纪 70 年代提出的一种定性分析与定量分析相结合的多准则决策方法。它是将决策问题的有关元素分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础上进行定性分析和定量分析的一种决策方法。它把人的思维过程层次化、数量化, 并用数学方法为分析、决策、预报、或控制提供定量的依据。应用层次分析法确定指标权重时, 首先要把问题层次化, 根据问题的性质和达到的总目标, 将问题分解为不同组成因素, 在每一层次上可以按照其上一层的某个因素对该层因素两两比较确定判断矩阵, 通过矩阵计算得出该层因素对于该准则的权重, 最后计算因素对于总体目标的组合权重, 从而得到不同因素权重的优劣权值, 其基本步骤如下:

第一步，建立阶梯层次结构模型。在开展评估之前，将评价的问题进行梳理，将评估体系中各个因素的相互关系、逻辑归属以及重要性进行分层排列，构建出一个自下而上的有层次的结构模型。层次分析法是将一个评估体系分为三个层次：最高层（目标层），通常只有一个，即是要开展的项目或工程要实现的目标；中间层（准则层），这一层次中将实现目标分解为多个子目标；最低层（方案层），这一层次包括了为实现目标可供选择的各种措施、决策方案等。

第二步，确定思维判断定量化标度。Satty 提出了“成对比较法”的理念，主要比较结构模型图中下一级指标相对于子目标或总目标两两相比的重要性，即表示不同指标间的重要程度，运用了一种 1-9 标度法，这是 Satty 提出来的将思维判断量化的一个较为适用的方法。因为人们在区分事物的差别时，总是用相同、较强、强、很强、极端强的语言，再进一步细分，可以在相邻的两级之间插入折衷的提法，因此，1-9 级的标度对于大多数决策判断来说都是适用的。主要方法见表 4.3-1。

表 4.3-1 成对比较法的标度含义

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有同样的重要性
3	表示两个因素相比，一个因素比一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比，一个因素比一个因素明显重要
7	表示两个因素相比，一个因素比一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比，一个因素比一个因素极端重要
2、4、6、8	表示两相邻判断的中值
上述数值的倒数	两因素反过来比较是原比较值的倒数

第三步，构建判断矩阵。通过上述的相互比较，确定下一层方案对上一层子目标或下一层子目标对总目标影响的权重，将定性的问题定量化，即构建判断矩阵。层次分析法一般采用通过召集或咨询专家，确定各个指标两两相对的重要程度，构造一组判断矩阵。这些矩阵应由工作人员制成相应的矩阵表，发给每个专家，由他们按照 1-9 标度准则加以判断和标度。

a_k	B_1	...	B_n
B_1	B_{11}	...	B_{1n}
\vdots
B_n	B_{n1}	...	B_{nn}

b_{ij} 表示相对于上一层次因素 a_k 时，因素 B_i 对 B_j 的相对重要性

判断矩阵可表示为 $B = (b_{ij})_{n \times n}$ ，对判断矩阵有 $b_{ii} = 1$ ， $b_{ij} = 1/b_{ji}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$)。

第四步，计算对目标的权向量并作一致性检验分析。通过层次间排序算出判断正互反矩阵的最大值及其所对应的特征向量，得出每个层次内部的排序数值，获得方案层对于目标层的重要性数据序列，从而获得最终结果。并对获得的数据进行量化和一致性检验。

1) 计算判断矩阵 B ，每一行元素的乘积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}, (i = 1, 2, \dots, n)$$

2) 计算 M_i 的 n 次方根 V_i ，并对向量 $V = (V_1, V_2, \dots, V_n)^T$ 归一化得到 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ ，即所求的特征向量。

$$V_i = \sqrt[n]{M_i}$$

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{j=1}^n V_j}$$

3) 根据 $AW = \lambda_{\max} W$ ，求出最大特征根

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

4) 一致性检验

① 计算一致性指标 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ ，当判断矩阵具有完全一致性时，则有 $CI = 0$ 。

② 找出相应的平均随机一致性指标 RI ，常用的 RI 取值如表 4.3-2 所示。

表 4.3-2 平均一致性指标

阶段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

③ 计算一致性比例 $CR = CI / RI$ ，当 $CR < 0.1$ 时可以接受。否则就需要调整判断矩阵，并使之具有满意的一致性。

④ 层次总排序及一致性检验：层次总排序是由上而下逐层进行的，根据同一层次中参差单排序的计算结果，综合的处对上一层次的相对重要性的排序权证，最后得出最低层因素相对于最高层因素的总排序权重。

类似于层次单排序，对总排序的计算结果也要进行一致性检验。公式如下：

$$CI = \sum_j^m b_j CI_j$$

$$RI = \sum_j^m b_j RI_j$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

其中 CI 为总排序的一致性指标, CI_j 和 RI_j 分别位于 a_j 对应的 B 层次中判断矩阵的一致性指标和随机一致性指标。 CR 为层次总排序的随机一致性比例。

当 $CR \leq 0.1$ 时, 则认为层次总排序结果具有满意一致性, 否则需要重新调整判断矩阵的元素取值。

⑤判断矩阵的校正

当判断矩阵出现不一致时, 说明专家的意见分歧较大, 需要对判断矩阵加以校正, 通常采用定量诊断法, 首先确诊出判断矩阵的主要毛病所在, 然后再由专家们研究之后给出适当的比例, 最终达到满意的结果。

层次分析法最大的优点是具有层次分解性, 并实现了定量与定性的相结合, 精度高, 能准确地确定评估指标的权重, 使评估指标间相对重要性得到合理体现, 为公正、科学地进行评估奠定了基础。

通过对比各类赋权方法的适用性和优劣势, 本研究拟采用德尔菲法和层次分析法相结合的方法, 确定评价指标权重。

3.3.2 权重的确定

为了确保评估指标体系的先进性和科学性, 本次调查的选择 10 位熟悉废五金加工利用环境影响的专家进行调查, 回收 10 份, 有效调查表 10 份, 回收率和有效率均为 100%, 此处选择其中的一位专家的调查结果进行代表性计算说明。调查表见表 3.3-3。

(1) 权重处理

通过发放判断矩阵的专家调查表进行判断矩阵的构造，由 10 位专家分别给出每一层次因素的相对重要性权重打分。采用层次分析方法（AHP）确定各层指标相应权重。假设各个专家评价的可依赖程度相同，所以对计算所得的各位专家的指标权重进行算术平均，就得到废五金加工利用环境风险评估指标体系的权重，具体见表 3.3-3。

表 3.3-3 废五金加工利用环境风险评估指标权重

目标层 A	准则层 B	要素层 C	指标层 D	权重	百分权重
废五金加工利用环境风险评估指标体系(A)	风险源指标 (0.45)	加工利用情况 (0.38)	废五金加工利用量 (D ₁)	0.052	5
			废五金加工利用企业数量 (D ₂)	0.027	3
			废五金夹杂率 (D ₃)	0.068	7
			通过清洁生产审核企业占比 (D ₄)	0.024	2
		污染排放 (0.62)	废五金加工利用废水排放量 (D ₅)	0.039	4
			废五金加工利用废气排放量 (D ₆)	0.045	4
			废五金加工利用固体废物产生量 (D ₇)	0.043	4
			废五金加工利用水污染物排放量 (D ₈)	0.07	8
			废五金加工利用大气污染物排放量 (D ₉)	0.084	8
			风险受体指标 (0.40)	环境质量 (0.35)	大气污染程度 (D ₁₀)
	地表水污染程度 (D ₁₁)	0.028			3
	土壤污染程度 (D ₁₂)	0.063			6
	环境敏感度 (0.25)	大气环境风险受体数量 (D ₁₃)		0.025	3
		周边人口密度 (D ₁₄)		0.023	2
		水环境风险受体数量 (D ₁₅)		0.028	3
		土壤环境风险受体密度 (D ₁₆)		0.023	2
	污染暴露 (0.40)	大气铅浓度 (D ₁₇)		0.072	5
		地表水铅浓度 (D ₁₈)		0.012	2
		地表水镉浓度 (D ₁₉)		0.012	2
		农田土壤铅浓度 (D ₂₀)		0.032	3
		农田土壤镉浓度 (D ₂₁)	0.032	3	
	风险防控能力指标 (0.15)	环境管理 (0.8)	突发环境事件应急预案编制及演练情况 (D ₂₂)	0.008	2
			废五金加工利用污染整治情况 (D ₂₃)	0.008	2
			废水集中处理情况 (D ₂₄)	0.008	3
			废水在线监控设施安装情况 (D ₂₅)	0.012	3
			废气在线监控设施安装情况 (D ₂₆)	0.018	3
		公众反应 (0.2)	生态环境质量公众满意度 (D ₂₇)	0.03	3

3.4 废五金加工利用环境风险评估

根据废五金加工利用环境风险评估指标体系标准和权重，采用评分法对各指标进行

评估，将各项指标分值累加，确定废五金加工利用环境风险评估指标值，最高为 100 分，废五金加工利用环境风险评估详细见表 3.4-1。

废五金加工利用环境风险评估分级根据评估指标值分为高风险、中风险和低风险，风险表征分级情况见表 3.4-2。

表 3.4-2 废五金加工利用环境风险评估分级表征

风险等级	高风险	中风险	低风险
指标分值	>60	(40,60]	≤40

表 3.4-1 废五金加工利用环境风险评估

准则层	要素层	指标层	评估依据	分值
风险源指标	加工利用情况	废五金加工利用量（万吨）	>50	5
			(20,50]	3
			≤20	1
		废五金加工利用企业数量（家）	>25	3
			(10,25]	2
			≤10	1
		废五金夹杂率（%）	>2.0	7
			(0.5,2.0]	4
			≤0.5	2
		通过清洁生产审核企业占比（%）	≤20	2
			(10,80]	1
			>80	0
	污染排放	废五金加工利用废水排放量（万吨）	>500	4
			(100,500]	2.5
			≤100	1
		废五金加工利用废气排放量（亿 m ³ ）	>150	4
			(50,150]	2.5
			≤50	1
		废五金加工利用固体废物产生量（万吨）	>5000	4
			(100,5000]	2.5
			≤100	1
废五金加工利用水污染物排放量（吨）		>400	8	
		(50,400]	5	
		≤50	3	
废五金加工利用大气污染物排放量（吨）	>1000	8		
	(100,1000]	5		
	≤100	3		
风险受体指标	环境质量	大气污染程度	>4.0	5
			(1.3,4.0]	3
			≤1.3	0

		地表水污染程度	>1.0	3	
			(0.8,1.0]	2	
			≤0.8	0	
		土壤污染程度	>3.0	6	
			(1,3]	4	
			≤1	0	
	环境敏感度	大气环境风险受体数量 (万人)	>25	3	
			(5,25]	2	
			≤5	1	
		周边人口密度(人/km ²)	>2000	2	
			(500,2000]	1	
			≤500	0	
		水环境风险受体数量	1) 园区或集聚区雨水排口、清净废水排口、污水排口下游 10 公里范围内有如下一类或多类环境风险受体：集中式地表水、地下水饮用水水源保护区（包括一级保护区、二级保护区及准保护区）；农村及分散式饮用水水源保护区；2) 废水排入受纳水体后 24 小时流经范围（按受纳河流最大日均流量计算）内涉及跨省界的。		3
			1) 园区或集聚区雨水排口、清净废水排口、污水排口下游 10 公里流经范围内有生态保护红线划定的或具有水生态功能区的其他水生态环境敏感区和脆弱区，如：国家公园，国家级和省级水产种质资源保护区，水产养殖区，天然渔场，海水浴场，盐厂保护区，国家重要湿地，国家级和省级海洋自然保护区，生物多样性保护优先区域，国家级和省级自然保护区，国家级和省级风景名胜区，世界文化和自然遗产地，国家级和省级森林公园，世界、国家和省级地质公园，基本农田保护区，基本草原；2) 园区或集聚区雨水排口、清净废水排口、污水排口下游 10 公里流经范围内涉及跨市界的；3) 园区或集聚区分布在溶岩地貌、泄洪区、泥石流多发等地区的。		2
			不涉及		0
			土壤环境风险受体密度 (%)	>20	2
				(10,20]	1.2
		≤10		0.8	

	污染暴露	大气铅浓度	>0.5	5	
			(0.25,0.5]	3	
			≤0.25	1	
		地表水铅浓度	>0.1	2	
			(0.05,0.1]	1	
			≤0.05	0	
		地表水镉浓度	>0.01	2	
			(0.005,0.01]	1	
			≤0.005	0	
		农田土壤铅浓度	>170	3	
			(70,170]	2	
			≤70	1	
		农田土壤镉浓度	>0.6	3	
			(0.3,0.6]	2	
			≤0.3	1	
风险防控能力指标	环境管理	突发环境事件应急预案编制及演练情况	无	2	
			已编制突发环境事件应急预案，根据要求及时更新且每年组织演练	0	
		废五金加工利用污染治理情况	无	2	
			针对废五金拆解造成的环境问题，已编制污染治理方案，并按照方案落实了相关整治措施	0	
		废水集中处理情况	未建设集中污水处理设施	3	
			建有集中污水处理设施	0	
		废水在线监控设施安装情况（%）	<50	3	
			[50,100)	2	
			100	0	
		废气在线监控设施安装情况（%）	<50	3	
			[50,100)	2	
			100	0	
		公众反应	生态环境质量公众满意度	≤60	3
				(60,80]	2
				>80	1

四、确定标准主要内容

4.1 适用范围

本标准规定了废五金加工利用环境风险评估的程序、方法和内容。

本标准适用于指导生态环境管理过程中，为预防和控制废五金加工利用过程污染物长期排放造成的环境风险。适用对象为涉及废五金拆解、冶炼的设区的市级以上人民政府批准设计的工业园区或集聚区。

4.2 规范性应用文件

本章节列出了规范条文中出现的标准。

4.3 术语与定义

本文件规定了废五金加工利用环境风险评估技术指南中所涉及到的有关术语及定义。根据本文件的技术内容，给出了废五金、园区及集聚区边界、环境风险、环境风险评估、环境风险源、环境风险受体等六个术语，并进行了定义或解释。本术语和定义仅适用于本文件。

4.4 环境风险评估程序

本文件在环境风险评估程序中，介绍了风险评估的程序由风险评估准备、风险识别、风险等级划分与报告编制四个步骤实施。

4.5 环境风险评估准备

本文件环境风险评估准备主要包括资料调查内容和调查范围两个方面，并在附录 C 中提供了详细的应获取的参考资料清单。

(1) 资料调查内容

通过资料收集、现场踏勘、问卷调查、专家访谈、座谈会等方式方法，开展废五金加工利用环境风险评估基础资料调查准备工作，调查内容应包括废五金加工利用区概况、环境风险源情况、环境风险受体情况、环境风险控制能力等。

(2) 资料调查范围

1) 大气环境风险受体调查范围包括废五金加工利用区边界外延 5 公里半径范围。

2) 水环境风险受体调查范围包括废五金加工利用区雨水排放口、清净废水排放口、污水排放口上游 5 公里，下游 24 小时流经范围（按接纳河流最大日均

流速计，原则上不低于 10 公里范围）。

3) 土壤环境风险受体调查范围包括废五金加工利用区边界外延 1 公里半径范围。

4) 调查时可根据区域自然环境概况、河流感潮情况、环境风险受体分布情况等实际情况适当扩大或增加调查范围。

4.6 环境风险识别

环境风险识别包括环境风险源识别和风险受体识别。

(1) 将废五金加工利用环境风险源进行识别，形成环境风险源清单，宜包括环境风险源类别、名称、地理位置、规模、污染物产排、环境管理情况等。

(2) 通过列表法、矩阵法、地理信息系统（GIS）支持下的叠图法等方法识别环境风险敏感度，宜包括环境风险受体类别、名称、地理位置、规模、保护要求等。

(3) 通过资料收集、补充监测等方法识别废五金加工利用区环境质量和污染暴露情况。

4.7 环境风险评估指标体系

根据第三章环境风险评估研究结果，建立废五金加工利用环境风险评估指标体系，主要包括风险源指标、风险受体指标和风险防控能力指标。

(1) 风险源指标

风险源指标是用于评价废五金原料夹杂污染物及加工利用过程中排放的污染物对生态环境可能产生危害的指标，是环境风险事件发生的先决条件。包括废五金加工利用情况和污染排放两大类指标。

(2) 风险受体指标

风险受体指标是用于评价废五金加工利用过程对生态环境、环境敏感目标和人体健康造成的影响的指标。包括环境质量、环境敏感度和污染暴露三大类指标。

(3) 风险防控能力指标

风险防控能力指标是用于评价废五金加工利用环境风险防控、监控预警、应急管理以及公众认可度的指标。包括环境管理和公众反应两大类指标。

环境风险评估指标体系构成图见图 3.2-1，指标项目及分值见表 3.4-1。

4.8 环境风险等级划分

本文件从环境风险评估和风险分级及表征两个方面提出了要求。

(1) 采用评分法，对风险源、风险受体和风险防控能力三方面指标进行评分，将各项指标分值累加，确定废五金加工利用环境风险指标值，最高为 100 分。

(2) 根据环境风险评估结果，将废五金加工利用环境风险分为高风险、中风险和低风险。

4.9 环境风险评估报告编制

本文从风险评估准备、风险识别、风险分析和风险分级等方面对环境风险评估报告的编制提出了建议。

五、采用国际标准和国外先进标准的情况，与国际、国内同类标准水平的对比情况

本标准没有采用国际标准。

本标准在制定过程中未检测到同类国际标准。

本标准主要参考了以下标准：

GB/T 27921 风险管理 风险评估技术

GB 3095 环境空气质量标准

GB 3097 海水水质标准

GB 3838 地表水环境质量标准

GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

HJ 2.2 环境影响评价技术导则 大气环境

HJ 2.3 环境影响评价技术导则 地表水环境

HJ 964 环境影响评价技术导则 土壤环境

HJ 169 建设项目环境风险评价技术导则

HJ25.3 污染场地风险评估技术导则

六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与相关法律、法规、规章及相关标准协调一致，没有冲突。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无

八、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议《废五金加工利用环境风险评估技术指南》作为推荐性标准颁布实施。

九、贯彻标准的要求和措施建议

建议本技术指南在批准发布 3 个月后实施。

十、废止现行有关标准的建议

无

十一、其他应予说明的事项

无