

附件 2

# 团体标准《废塑料加工利用环境风险评估技术指南》编制说明

(征求意见稿)

《废塑料加工利用环境风险评估技术指南》编制组

2023 年 7 月

# 目 录

1 项目背景 .....	1
1.1 任务来源 .....	错误! 未定义书签。
1.2 工作过程 .....	错误! 未定义书签。
2 标准编制的必要性分析 .....	错误! 未定义书签。
3 国内外相关标准情况 .....	错误! 未定义书签。
3.1 国外相关标准发展情况 .....	错误! 未定义书签。
3.2 国内外相关标准发展情况 .....	错误! 未定义书签。
4 编制依据与原则 .....	错误! 未定义书签。
4.1 编制依据 .....	错误! 未定义书签。
4.2 编制原则 .....	错误! 未定义书签。
5 主要内容说明 .....	错误! 未定义书签。
5.1 适用范围 .....	错误! 未定义书签。
5.2 规范性引用文件 .....	错误! 未定义书签。
5.3 术语与定义 .....	错误! 未定义书签。
5.4 风险评估工作程序 .....	错误! 未定义书签。
6 标准实施建议 .....	错误! 未定义书签。

## 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《废塑料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固体废物与化学品管理技术中心、生态环境部华南环境科学研究所。

### 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。

废塑料加工利用行业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，进一步完善废塑料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。目前我国对于废塑料加工利用行业环境风险影响研究相对较少，且缺乏区域性环境风险评估理论方法。通过本标准的研究制订，规定废塑料加工利用环境风险评估的程序、方法和内容。探索解决废塑料加工利用环境风险防控中的关键科学问题，给出一种科学、客观评估环境风险影响及风险等级的技术方法，可填补我国对于区域性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）配套的废塑料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和健康风险评估科学方法，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，开展进口废塑料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。

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。

### 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：生态环境部固体废物与化学品管理技术中心向广东省循环经济和资源综合利用协会提交了《废塑料加工利用环境风险评估技术指南》标准项目的申请。
- 5、2023 年 6 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、我国废塑料进口及加工利用情况

### 2.1 废塑料进口量及变化趋势

1994-2018 年期间，我国共进口 11166.7 万吨废塑料。1997 年以前较少，年进口量

在 20~55 万吨。1998 年-2012 年期间，废塑料进口量呈逐年增长趋势。2012 年进口量到达顶峰，为 887.8 万吨。2013 年的环保整顿和绿篱行动，进口量有所减少。2014 年市场环境稍微宽松，进口增速有所上升。然而，2015 年世界经济发展下行，国内外需求疲态难改，下游制品厂受终端需求疲弱拖累，持续压价采购再生料。另外，新料价格受石油价格下跌的影响与再生料的价差逐步缩窄，从而挤压了再生料的需求。国外废塑料采购价较高，导致价格倒挂，很多企业减少进口或不进口，导致进口量下滑。2016 年与 2015 年基本持平。2017 年国务院发布《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》（国办发〔2017〕70 号），同年下半年原环保部基本停止了固体废物的进口审批，废塑料进口量大幅下降为 582.9 万吨。随着来自生活源的废塑料（8 个品种）和全部废塑料先后从《限制进口类可用作原料的固体废物目录》调入《禁止进口固体废物目录》等措施的施行，2018 年废塑料进一步下降到只有 5 万吨，2019 年基本无进口（表 1、表 1、图 1）。

**表 1 1994 年-2018 年我国废塑料进口情况**

	全球出口量 (万吨)	中国进口量 (万吨)	中国进口量占全 球出口量之比	中国进口金额 (亿美元)	中国进口平均价 格(美元/吨)
1994 年	227.1	45.7	20.1%	1.03	225
1995 年	279.2	55.9	20.0%	1.14	205
1996 年	245.1	21.2	8.7%	0.42	200
1997 年	244.3	46.1	18.9%	0.84	181
1998 年	295.5	65.5	22.2%	1.15	176
1999 年	390.0	138.8	35.6%	2.54	183
2000 年	433.4	200.7	46.3%	4.91	244
2001 年	464.2	222.8	48.0%	5.27	236
2002 年	518.5	245.8	47.4%	5.41	220
2003 年	613.2	302.4	49.3%	7.75	256
2004 年	1013.1	409.6	40.4%	13.79	337
2005 年	979.7	495.7	50.6%	19.28	389
2006 年	1128.3	586.5	52.0%	24.07	410
2007 年	1250.8	691.2	55.3%	32.03	463
2008 年	1364.3	707.5	51.9%	43.17	610
2009 年	1448.4	732.6	50.6%	35.46	484
2010 年	1574.0	801.0	50.9%	50.88	635
2011 年	1517.3	838.4	55.3%	61.09	729
2012 年	1513.2	887.8	58.7%	64.04	721
2013 年	1319.6	788.1	59.7%	60.49	768
2014 年	1571.7	825.4	52.5%	60.35	731

	全球出口量 (万吨)	中国进口量 (万吨)	中国进口量占全 球出口量之比	中国进口金额 (亿美元)	中国进口平均价 格(美元/吨)
2015年	1306.7	735.4	56.3%	41.84	569
2016年	1268.3	734.7	57.9%	36.95	503
2017年	1002.9	582.9	58.1%	32.63	560
2018年	679.3	5.0	0.7%	-	-
合计	22648.0	11166.7	49.3%	606.52	540

2018年中国进口数据来自:全国固体废物登记系统;

其他数据来自 <https://comtrade.un.org>

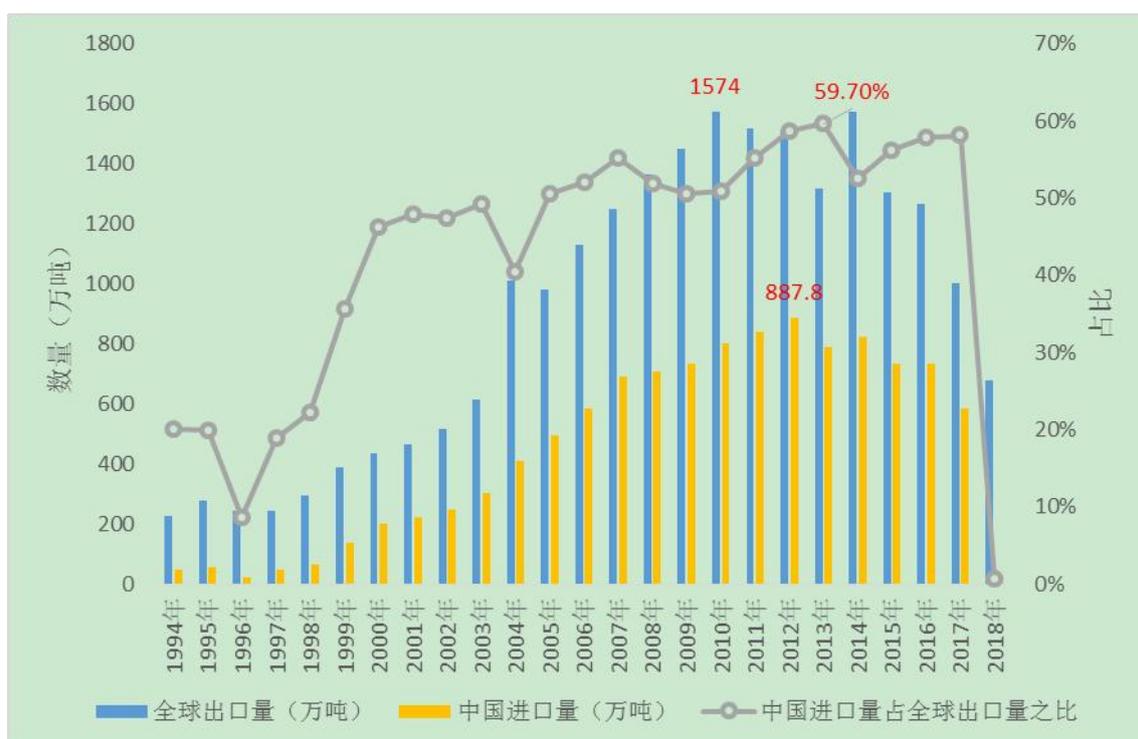


图 1 1994 年-2018 年我国废塑料进口情况

表 2 2013 年-2018 年我国废塑料进口占比情况

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
全部固体废物进口数量(万吨)	5485.2	4960.2	4697.9	4481.0	3906.6	1896.9
废塑料进口数量(万吨)	782.8	845.6	731.3	738.0	582.1	5.2
废塑料进口占比	14.3%	17.0%	15.6%	16.5%	14.9%	0.3%

数据来自: 进口固体废物统计分析年报

## 2.2 进口废塑料类别分析

5类废塑料中，乙烯聚合物的废碎料及下脚料（PE）2015年以前占绝大多数，达50%左右，聚对苯二甲酸乙二酯废碎料及下脚料（PET）占比第二，为20%左右。2016年-2017年期间，PE与PET相当，分别进口总量的30%多。苯乙烯聚合物的废碎料及下脚料和氯乙烯聚合物的废碎料及下脚料（PVC）的进口量很少，占比不足5%。其他类废塑料的占比一般在20%左右。2018年废塑料进口绝对数量极度下降，几类废塑料的占比有所变化，其他类废塑料占比提高到46%（表3、图2）。

**表 3 2013年-2018年我国各类废塑料进口情况**

	海关商品编号及废塑料简称	数量 (万吨)	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
海关商品编号	3915100000	进口量	338.1	428.4	353.9	252.5	193.9	1.2
废塑料简称	PE	占比	44.0%	53.4%	48.5%	34.5%	33.3%	24.0%
海关商品编号	3915200000	进口量	22.9	11.3	9.1	9.2	13.8	0.2
废塑料简称	PS	占比	3.0%	1.4%	1.2%	1.3%	2.4%	4.0%
海关商品编号	3915300000	进口量)	37.4	32.3	23.4	44.4	30.3	0.0
废塑料简称	PVC	占比	4.9%	4.0%	3.2%	6.1%	5.2%	0.0%
海关商品编号	3915901000	进口量	214.9	201.9	202.9	252.2	216.4	1.3
废塑料简称	PET	占比	28.0%	25.2%	27.8%	34.5%	37.2%	26.0%
海关商品编号	3915909000	进口量	155.3	128.9	140.3	173.8	127.6	2.3
废塑料简称	其他	占比	20.2%	16.0%	19.2%	23.7%	21.9%	46.0%
合计		进口量	768.6	802.9	729.5	729.5	732	582.1
		占比	100.0%	100.0%	100%	100.0%	100.0%	100.0%

数据来源：全国固体废物登记系统

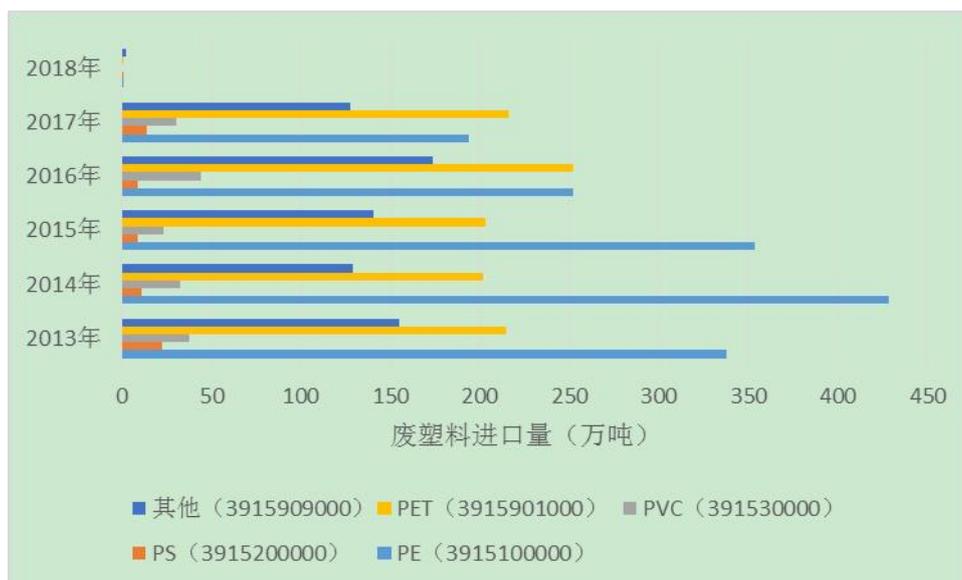


图 2 2013 年-2018 年我国各类废塑料进口情况

## 2.3 进口废塑料加工利用区域分布情况

废塑料进口企业数量众多，长期占居全部进口固体废物加工利用企业总数的 50%以上。2011 年高峰时，涉及废塑料进口的加工利用企业多达 1579 家。此后虽逐年下降，2016 年以前进口企业超过 1000 家。随着固体废物进口政策改革，2017 年降为 865 家，2018 年进一步减少为 27 家（表 4）。

表 4 2013 年-2018 年我国废塑料进口企业情况

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
全部固体废物进口加工利用企业数（家）	2527	2317	2142	1766	1344	257
废塑料进口加工利用企业数（家）	1410	1308	1266	1155	863	27
废塑料进口加工利用企业占比	55.8%	56.5%	59.1%	65.4%	64.2%	10.5%

数据来自：进口固体废物统计分析年报

涉及废塑料进口的加工利用企业主要分布在我国沿海的东部地区，如广东、江苏、山东、浙江、天津和河北。其中尤以广东为甚。广东的企业长期占全国进口废塑料加工利用企业的 50%左右（表 5）。

**表 5 2013 年-2018 年我国废塑料加工利用企业分布情况** (单位: 家)

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
北京	1	1	1	0	0	0
天津	58	66	59	54	29	2
河北	51	42	40	37	36	1
山西	0	1	1	1	0	0
内蒙古	2	1	0	0	0	0
辽宁	33	41	43	42	36	0
吉林	5	1	1	2	1	0
黑龙江	2	1	1	1	1	0
上海	40	41	42	39	27	2
江苏	136	136	141	135	116	1
浙江	87	91	86	89	77	7
安徽	18	22	21	17	8	1
福建	48	53	56	58	50	0
江西	20	10	7	7	5	0
山东	113	121	131	127	95	1
河南	2	1	1	2	1	0
湖北	6	1	3	1	0	0
湖南	29	7	4	2	0	0
广东	737	650	608	529	356	12
广西	18	18	20	12	9	0
海南	0	0	0	0	0	0
重庆	0	0	0	0	0	0
四川	1	0	0	0	0	0
贵州	0	0	0	0	0	0
陕西	0	0	0	0	0	0
甘肃	0	0	0	0	0	0
青海	0	0	0	0	0	0
宁夏	0	0	0	0	0	0
新疆	3	3	0	0	0	0
合计	1410	1308	1266	1155	847	27

数据来自：进口固体废物统计分析年报

进口废塑料加工利用企业的类型主要分为 3 类，塑料再生造粒类企业、塑料制品类生产企业和以 PET 为原料的化纤类生产企业，分别属于废弃资源综合利用业（C42）、塑料制品业（C292）和合成纤维制造（C282）等行业。其中再生塑料粒子制造类企业大多规模小、投入少、工艺简单、产品附加值低。

2011 年的 1579 家加工利用企业中，再生塑料粒子制造类、化纤类企业分别为 1023 家，占全国进口废塑料企业的 64.8%。<sup>[6]</sup>由此可以看出我国废塑料进口高峰时期，进口

废塑料的企业还是以小企业为主，大量分散在沿海及中部省份各地，也形成了广东清远等几大集散加工场所，给当地环境管理带来一定的压力。

## 2.4 废塑料进口数量地区分析

2013年至2018年期间，20个省(自治区、直辖市)废塑料累计进口量大于0.1万吨。进口量居前9位的省份依次为：广东（34.48%）、浙江（13.29%）、福建（12.76%）、天津（11.22%）、江苏（9.67%）、山东（8.03%），合计占废塑料进口总量的89.45%（表6）。

**表 6 2013 年-2018 年我国废塑料进口数量地区分布情况（单位：万吨）**

	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	合计	占比
广东	210.5	288	283.1	291.2	173.7	1.8	1248.3	34.48%
浙江	115.4	95.1	85.1	94.4	90.1	1	481.1	13.29%
福建	104.9	105.1	93	83.2	75.2	0.7	462.1	12.76%
天津	98.1	91.8	78.4	69.9	67.7	0.4	406.3	11.22%
江苏	92.9	75.4	55.1	61.6	64.8	0.1	349.9	9.67%
山东	71.2	71.4	61.5	53.2	33.3	0	290.6	8.03%
上海	32.3	35.4	34.5	39.6	39.2	0.5	181.5	5.01%
河北	12	20.3	18.5	24	22.6	0.3	97.7	2.70%
辽宁	14.4	13.8	12.3	9.5	7.5	0	57.5	1.59%
湖南	1.3	0.1	0	0	0	0	1.4	0.04%
安徽	7.1	3.1	4.4	3	3.8	0	21.4	0.59%
江西	3.8	1.4	2.5	1.8	1.5	0	11	0.30%
广西	2	0.4	0.4	0.1	1.5	0	4.4	0.12%
北京	0.4	0.2	0.3	0.1	0.8	0	1.8	0.05%
吉林	0.7	0.9	0.1	0.1	0	0	1.8	0.05%
新疆	1.4	0.1	0	0	0	0	1.5	0.04%
河南	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0	0.6	0.02%
黑龙江	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.5	0.01%
内蒙古	0.2	0.1	0	0	0	0	0.3	0.01%
山西	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
四川	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
湖北	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
海南	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
重庆	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
甘肃	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
贵州	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
宁夏	0	0	0	0	0	0	0	0.00%

	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	合计	占比
青海	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
陕西	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
西藏	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
云南	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
合计	768.6	802.9	729.5	732	582.1	5	3620.1	100.00%

数据来自：全国固体废物管理信息系统

## 2.5 进口废塑料加工利用环境污染影响

进口的废塑料会夹带一些固体夹杂物，同时废塑料加工利用过程中会产生和排放一定的固体废物、废水、噪声和废气（表 7、图 3），对生态环境和人体健康造成危害。

进口废塑料在湿法破碎、清洗等过程中会产生较多工业废水，其中含有一些耗氧性污染物和含氮类、含磷类、石油类等污染物。

进口废塑料加工利用会产生工业废气，其中废塑料干法破碎过程中产生的废气中的污染物主要是颗粒物，再生热熔造粒过程中产生的废气中含有挥发性有机物、二恶英等污染物，同时热熔前原料混合环节产生可能产生少量含颗粒物废气。

除了进口带来的夹杂物外，废塑料回收、再生处理过程中会产生固体弃物，多为不能破碎分选的固体杂物碎片，清洗后水池中沉积的残渣，废水处理产生的污泥、废气处理产生的废弃活性炭和废催化剂等，以及包装废物和机器维修时产生的废矿物油等固体废物，其中废弃活性炭、废催化剂和废矿物油为危险废物。

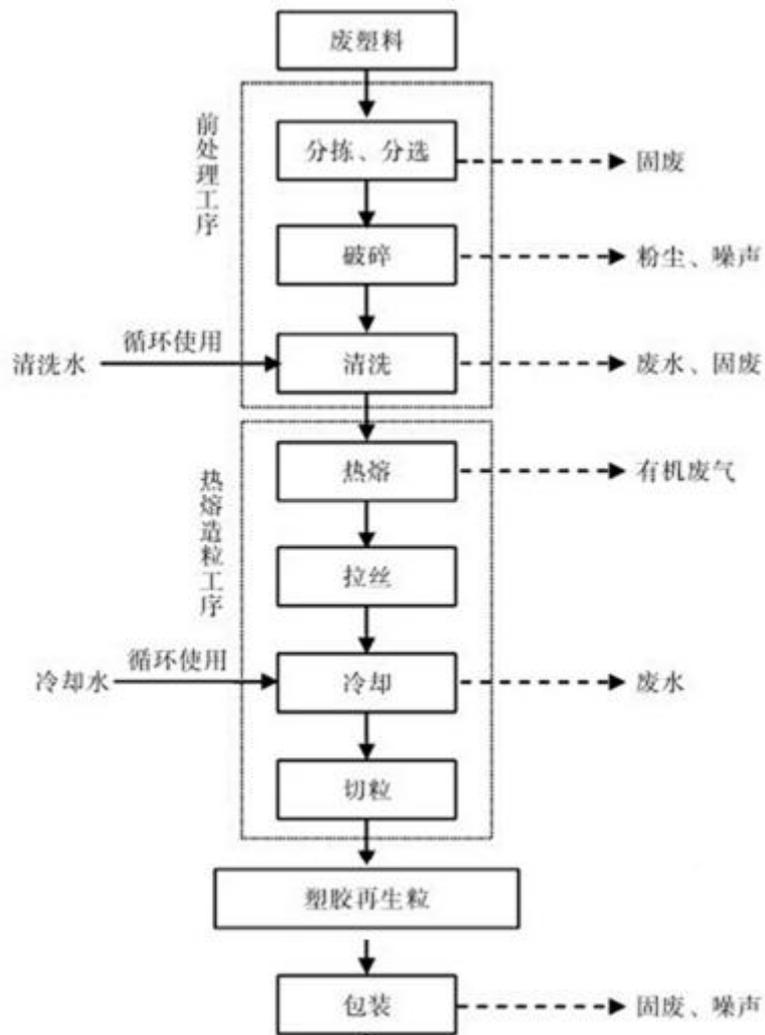


图 3 废塑料加工利用中产污环节示意图

表 7 废塑料加工利用主要产污环节和污染物

生产单元	主要工艺	产污设施	废水	废气	固废	
前处理	分选	分选机	-	颗粒物	分选固废（多为一般固废、少量危废）	
	干法破碎	干法破碎机			-	
	清洗	湿法破碎	湿法破碎机	悬浮物、化学需氧量、含氮类、含磷类、石油类等	-	清洗废渣（一般固废）
		常温清洗机	热洗机			
热熔造粒	熔融挤出	混料机	-	颗粒物	-	
		挤出机	-	挥发性有机物、二恶英类	废滤网（一般固废）	
公用	包装	包装机	-	-	废包装物（一般固废）	
	废水处理	污水处理站	悬浮物、化学需氧量、含氮类、含磷类、石油类等	-	污泥（一般固废）	
	废气处理	布袋除尘	-	颗粒物	收集粉尘（一般固废）	
		挥发性有机物处理	-	挥发性有机物、二恶英类	废活性炭、废催化剂（危废）	
	维修	--	-	-	废矿物油（危废）	

## 2.6 废塑料行业发展政策

近几年，我国政府部门出台了很多关于废塑料污染治理和再生利用行业规范的意见，比如《关于加强建立绿色生产和消费法规政策体系的意见》中指出，推广再生材料和制品，加强绿色标准体系建设。《国务院关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》明确，提速构建废弃物循环利用体系，提高废塑料和轮胎等的回收利用率。《“十四五”循环经济发展规划》提出，加强塑料垃圾分类回收和利用。2021年9月15日，生态环境部和国家发改委联合印发了《“十四五”塑料污染治理行动方案》，提出2025年塑料产品生产、流通、消费、再利用、末端处置全链条治理，有效抑制白色污染。方案中明确强调完善塑料产品的质量安全标准，健全标准体系，规范应用领域，引导产业合理布局，防止产能盲目扩张，规范行业秩序。2020年1月19日，国家生态环境部和国家发改委联合发布《关于进一步加强塑料污染治理的意见》，规定了全面禁止废塑料进口。

此外，为了规范废塑料再生利用行业的发展，我国生态环境部和相关部门及行业协会制定了很多国家和行业标准。比如《废塑料分类及代码》（GB/T 37547—2019）、《废塑料回收技术规范》（GB/T 39171—2020）、《废塑料再生利用技术规范》（GB/T 37821—2019）、《废塑料回收分选技术规范》（SB/T 11149—2015）和生态环境部还在修制定过程中的《废塑料污染控制技术规范》（HJ 364—2021）等，这些国行标准中对废塑料的分类分级和编码规则、再生利用、回收分选、破碎、清洗、干燥、分选、造粒和改性技术、储存和运输、焚烧及协同处置等过程的污染控制和环境管理要求等做出了全面系统的规定。

我国废塑料再利用行业在国家政策和国家及行业标准的系统规范下，正向着规范化、法制化、环保节能、高品质和高质量方向发展。

### **三、废塑料加工利用环境风险评估研究**

#### **3.1 废塑料加工利用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）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。

### (3) 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。

#### **(4) 本研究评价方法的确定**

不论是健康风险评价的“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区域环境风险影响。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估贡献程度的量化。

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。典型区域累积性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，完成典型区域累积性环境风险评估指标体系的构建；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，并能较好反映废塑料加工利用主要特征，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

根据废塑料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<sup>[32]</sup>、区域水安全评价指标体系、环境健康区域协调发展评价指标体系、区域环境健康综合风险评价指标体系、环境镉污染健康风险评估指标体系等，结合环境和人体健康风险评估关键要素，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塑料加工利用环境风险评估指标体系。即废塑料加工利用产生污染来源，对环境造成压力，环境中的污染物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，也就是废塑料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”三方面反映累积性环境风险，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2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,通过对废塑料加工利用行业工艺特点及环境影响特征的分析,识别废塑料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,确定的废塑料加工利用环境风险评价指标见表3.2-1。

表 3.2-1 废塑料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
废塑料加工利用环境风险评估指标体系 (A)	风险源指标 (B <sub>1</sub> )	加工利用情况 (C <sub>1</sub> )	废塑料加工利用量 (D <sub>1</sub> )	万 t
			废塑料加工利用企业数量 (D <sub>2</sub> )	个
			废塑料夹杂率 (D <sub>3</sub> )	%
			通过清洁生产审核企业占比 (D <sub>4</sub> )	%
		污染排放 (C <sub>2</sub> )	废塑料加工利用废水排放量 (D <sub>5</sub> )	t
			废塑料加工利用废气排放量 (D <sub>6</sub> )	t
			废塑料加工利用固体废物产生量 (D <sub>7</sub> )	t
			废塑料加工利用水污染物排放量 (D <sub>8</sub> )	t
			废塑料加工利用大气污染物排放量 (D <sub>9</sub> )	t
	风险受体指标 (B <sub>2</sub> )	环境质量 (C <sub>3</sub> )	大气污染程度 (D <sub>10</sub> )	-
			地表水污染程度 (D <sub>11</sub> )	-
			土壤污染程度 (D <sub>12</sub> )	-
		环境敏感度	大气环境风险受体数量 (D <sub>13</sub> )	万人

		(C <sub>4</sub> )	周边人口密度 (D <sub>14</sub> )	人 /km <sup>2</sup>
			水环境风险受体数量 (D <sub>15</sub> )	个
			土壤环境风险受体密度 (D <sub>16</sub> )	%
	风险防控能力 指标 (B <sub>3</sub> )	环境管理 (C <sub>5</sub> )	突发环境事件应急预案编制及演练情况 (D <sub>17</sub> )	-
			废塑料加工利用污染整治情况 (D <sub>18</sub> )	-
			废水集中处理情况 (D <sub>19</sub> )	-
			废水在线监控设施安装情况 (D <sub>20</sub> )	%
			废气在线监控设施安装情况 (D <sub>21</sub> )	%
			突发环境事件发生数量及等级 (D <sub>22</sub> )	-
		公众反应 (C <sub>6</sub> )	环境投诉数量 (D <sub>23</sub> )	-

### (3) 指标解释

#### 1) 风险源指标

风险源指标是反映废塑料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，废塑料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

废塑料加工利用量指废塑料加工利用园区或集聚区某年度的废塑料加工利用量。

废塑料加工利用企业数量指废塑料加工利用园区或集聚区某年度废塑料定点加工利用企业数量。

废塑料夹杂率指废塑料中其他夹杂物的重量除以废塑料重量，废塑料中其他夹杂物指在产生、收集、包装和运输过程中混入废塑料中的其他物质（不包括废塑料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塑料加工利用园区或集聚区废塑料加工利用定点企业中通过清洁生产审核企业的数量与废塑料加工利用企业总数量的比值。

##### ②污染排放指标说明

废塑料加工利用废水排放量指某年度废塑料加工利用园区或集聚区废塑料加工利用废水排放总量。

废塑料加工利用废气排放量指某年度废塑料加工利用园区或集聚区废塑料加工利用废气排放总量。

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

## 2) 风险受体指标

风险受体指标指可能受到废塑料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 2 个要素构成，总共 7 个指标，全部为定量指标。

### ①环境质量指标说明

考虑到废塑料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，且废塑料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塑料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。

周边人口密度指废塑料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塑料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、清浄废水排口、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、清浄废水排口、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、清浄废水排口、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) 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、废塑料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塑料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，构建的废塑料加工利用累积性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

开展废塑料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、废塑料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，结合废塑料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 年国内废塑料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，综合考虑废塑料加工利用累积性环境风险水平，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 7 个国内废塑料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，对废塑料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。

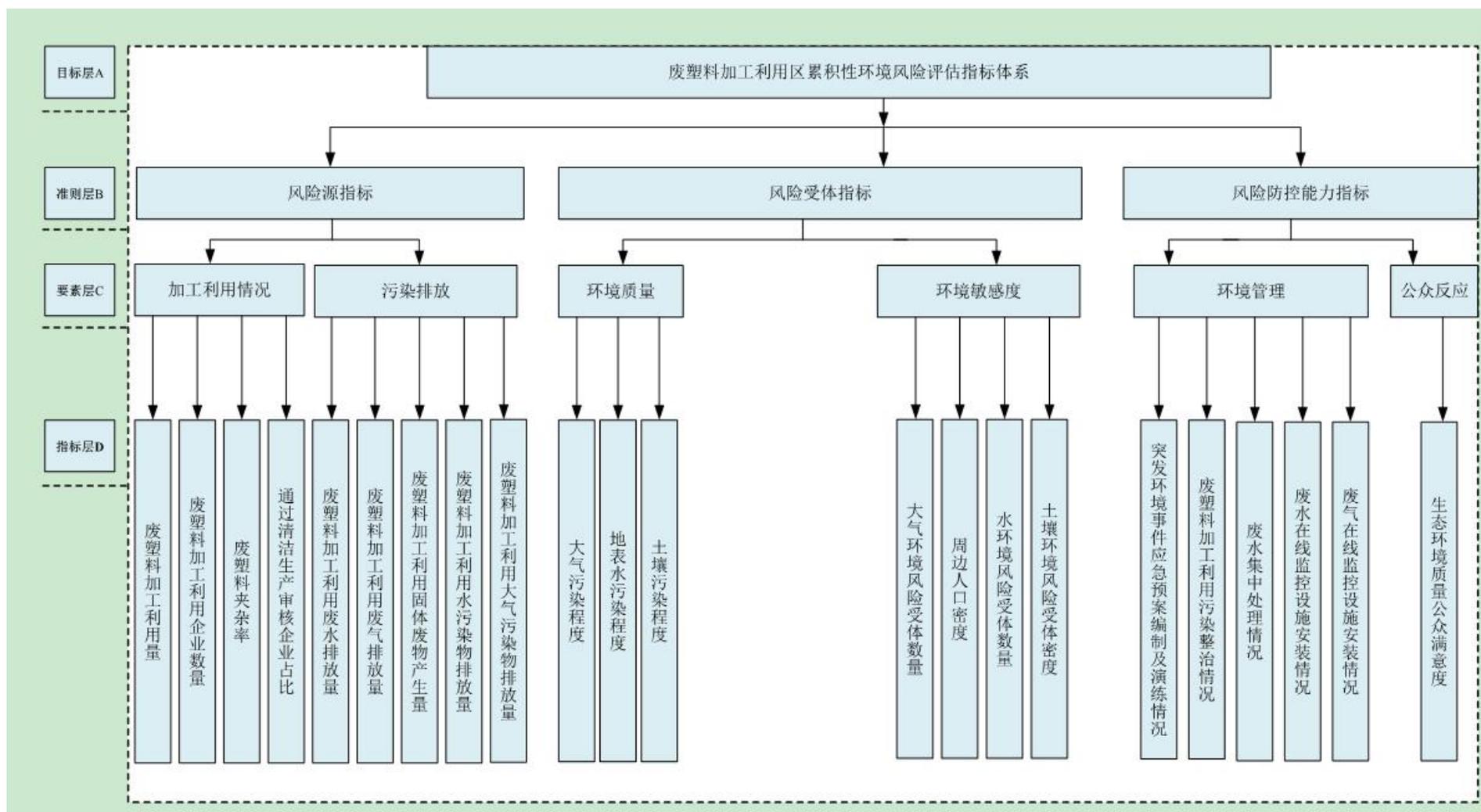


图 3.2-1 废塑料加工利用环境风险评估指标体系框架

表 3.2-3 废塑料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	废塑料加工利用量	万 t	>10	(2,10]	≤2
		废塑料加工利用企业数量	个	>20	(10,20]	≤10
		废塑料夹杂率	%	>2.0	(0.5,2.0]	≤0.5
		通过清洁生产审核企业占比	%	≤20	(20,80]	>80
	污染排放	废塑料加工利用废水排放量	万 t	>10	(1,10]	≤1
		废塑料加工利用废气排放量	亿 m <sup>3</sup>	>10	(1,10]	≤1
		废塑料加工利用固体废物产生量	万 t	>2000	(200,2000]	≤200
		废塑料加工利用水污染物排放量	t	>10	(1,10]	≤1
		废塑料加工利用大气污染物排放量	t	>50	(5,50]	≤5
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 <sup>2</sup>	>2000	(500,2000]	≤500
		土壤环境风险受体密度	%	>20	(10,20]	≤10
		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 废塑料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。	不涉及
		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	
		废塑料加工利用污染治理情况	无	针对废塑料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	
风险防控能力指标	环境管理	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：

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

式中：E——评定总分；

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

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

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

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

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，不受人为干扰，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 $\lambda_i$ 、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 位熟悉废塑料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，就得到废塑料加工利用区累积性环境风险评估指标体系的权重，具体见表 3.3-3。

表 3.3-3 废塑料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
废塑料加工利用环境风险评估指标体系 (A)	风险源指标 (0.49)	加工利用情况 (0.17)	废塑料加工利用量 (D <sub>1</sub> )	0.052	5
			废塑料加工利用企业数量 (D <sub>2</sub> )	0.027	3
			废塑料夹杂率 (D <sub>3</sub> )	0.068	7
			通过清洁生产审核企业占比 (D <sub>4</sub> )	0.024	2
		污染排放 (0.32)	废塑料加工利用废水排放量 (D <sub>5</sub> )	0.059	7
			废塑料加工利用废气排放量 (D <sub>6</sub> )	0.041	4
			废塑料加工利用固体废物产生量 (D <sub>7</sub> )	0.043	5
			废塑料加工利用水污染物排放量 (D <sub>8</sub> )	0.09	8
			废塑料加工利用大气污染物排放量 (D <sub>9</sub> )	0.084	8
	风险受体指标 (0.33)	环境质量 (0.21)	大气污染程度 (D <sub>10</sub> )	0.066	7
			地表水污染程度 (D <sub>11</sub> )	0.068	7
			土壤污染程度 (D <sub>12</sub> )	0.063	7
		环境敏感度 (0.12)	大气环境风险受体数量 (D <sub>13</sub> )	0.055	5
			周边人口密度 (D <sub>14</sub> )	0.023	2
			水环境风险受体数量 (D <sub>15</sub> )	0.028	3
	风险防控能力指标 (0.16)	环境管理 (0.13)	突发环境事件应急预案编制及演练情况 (D <sub>22</sub> )	0.009	2
			废塑料加工利用污染整治情况 (D <sub>23</sub> )	0.008	2
			废水集中处理情况 (D <sub>24</sub> )	0.017	3
			废水在线监控设施安装情况 (D <sub>25</sub> )	0.022	3
		废气在线监控设施安装情况 (D <sub>26</sub> )	0.019	3	
		公众反应 (0.03)	生态环境质量公众满意度 (D <sub>27</sub> )	0.021	3

### 3.4 废塑料加工利用环境风险评估

根据废塑料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，确定废塑料加工利用环境风险评估指标值，最高为 100 分，废塑料加工利用环境风险评估详细见表 3.4-1。

废塑料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 废塑料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 废塑料加工利用环境风险评估**

指标项目		评估依据	分值		
风险源 指标	加工 利用 情况	废塑料加工利用量 (万吨)	>10 (2,10] ≤2	5 3 1	
		废塑料加工利用企 业数量(家)	>20 (10,20] ≤10	3 2 1	
		废塑料夹杂率(%)	>2.0 (0.5,2.0] ≤0.5	7 4 2	
			通过清洁生产审核 企业占比(%)	≤20 (10,80] >80	2 1 0
				污染 排放	废塑料加工利用废 水排放量(万吨)
		废塑料加工利用废 气排放量(亿 m <sup>3</sup> )	>10 (1,10] ≤1		4 2.5 1
			废塑料加工利用固 体废物产生量(吨)		>2000 (200,2000] ≤200
		废塑料加工利用水 污染物排放量(吨)			>10 (1,10] ≤1
			废塑料加工利用大 气污染物排放量 (吨)		>50 (5,50] ≤5
	风险受 体 指标				大气污染程度
		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]	4	
			≤1	0	
	环境 敏感 度	大气环境风险受体 数量（万人）	>25	5	
			(5,25]	3	
			≤5	1	
			周边人口密度（人 /km <sup>2</sup> ）	>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。	2	
			不涉及	0	
		土壤环境风险受体 密度（%）	>20	2	
	(10,20]		1.2		
	≤10		0.8		
风险防 控能力	环境 管理	突发环境事件应急 预案编制及演练情	无	2	
			已编制突发环境事件应急预案，根	0	

指标	况	据要求及时更新且每年组织演练		
	废塑料加工利用污染整治情况	无	2	
		针对废塑料回收利用造成的环境问题，已编制污染整治方案，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

本标准规定了废塑料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，为预防和控制废塑料加工利用过程污染物长期排放造成的环境风险。适用对象为涉及废塑料加工利用的基地、工业园区和集聚区。

### 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

本文件规定了废塑料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，给出了废塑料、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，开展废塑料加工利用环境风险评估基础资料调查准备工作，调查内容应包括废塑料加工利用区概况、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塑料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塑料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塑料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) 将废塑料加工利用环境风险源进行识别，形成累积性环境风险源清单，宜包括累积性环境风险源类别、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塑料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，建立废塑料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塑料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，是累积性环境风险事件发生的先决条件。包括废塑料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塑料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塑料加工利用区环境风险防控、监控预警、应急管理能力和公众认可度的指标。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，确定废塑料加工利用环境风险指标值，最高为 100 分。

(2) 根据累积性环境风险评估结果，将废塑料加工利用区累积性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累积性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《废塑料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