

附件 2

团体标准《废纸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、我国废纸加工利用情况	3
2.1 废纸加工利用概况	3
2.2 废纸加工利用区域分布情况	3
2.3 废纸加工利用污染物排放	4
2.3.1 废纸加工利用工艺	4
2.3.1 废纸加工利用污染物排放	5
三、废纸加工利用环境风险评估研究	7
3.1 废纸加工利用环境风险评估理论研究	7
3.1.1 环境风险评价研究概述	7
3.1.2 评价指标体系法研究概述	9
3.2 环境风险评估指标体系的构建	10
3.2.1 评估指标体系的构建原则	10
3.2.2 评估指标体系的组成	11
3.2.3 评估指标的筛选	11
3.2.4 评估指标体系的构建	16
3.2.5 评估指标体系标准的确定	16
3.3 环境风险评估指标权重的研究	20
3.3.1 常用权重确定方法	20
3.3.2 权重的确定	26
3.4 废纸加工利用环境风险评估	27
四、确定标准主要内容	31
4.1 适用范围	31

4.2 规范性应用文件	31
4.3 术语与定义	31
4.4 环境风险评估程序	31
4.5 环境风险评估准备	31
4.6 环境风险识别	32
4.7 环境风险评估指标体系	32
4.8 环境风险等级划分	33
4.9 环境风险评估报告编制	33
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	33
六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系	33
七、重大分歧意见的处理经过和依据	33
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	33
九、贯彻标准的要求和措施建议	34
十、废止现行有关标准的建议	34
十一、其他应予说明的事项	34

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《废纸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，针对突发环境风险评估，生态环境部已发布《建设项目环境风险评价技术导则》、《尾矿库环境风险评估技术导则（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》、《环境风险评估技术指南—硫酸企业环境风险等级划分方法》等，江苏省和山东省先后出台地方标准《工业园区突发环境事件风险评估指南》等方法与技术导则。但对于区域或行业环境风险评估，尚缺乏针对性、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。

废纸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，进一步完善废纸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。废纸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，目前我国对于废纸加工利用行业的环境影响研究相对较少，且缺乏区域性、累积性环境风险评估理论方法。通过本标准的研究制订，规定废纸加工利用区域环境风险评估的工作程序、评估内容、评估方法及技术要求，探索解决废纸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、客观评估环境风险影响及确定风险等级的技术方法，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、累积性的环境风险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）配套的废纸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，开展废纸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《废纸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华南环境科学研究所牵头的立项申请。

二、我国废纸加工利用情况

废纸共 1 类 4 种，海关商品编号分别是 4707100000（回收（废碎）的未漂白牛皮、瓦楞纸或纸板）、4707100000（回收（废碎）的漂白化学木浆制的纸和纸板（未经本体染色））、4707300000（回收（废碎）的机械木浆制的纸或纸板（例如，废报纸、杂志及类似印刷品））、4707900090（其他回收纸或纸板（包括未分选的废碎品））。

2.1 废纸加工利用概况

我国废纸加工行业生产原料主要包括国内回收废纸和进口废纸。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》。自 2021 年 1 月 1 日开始，所有废纸均为全面禁止进口。

2.2 废纸加工利用区域分布情况

从分布格局来看，我国废纸加工利用企业主要分布于浙江、广东、山东等沿海地区。以进口废纸为例，2018 年浙江、广东、山东三个省份进口废纸加工利用企业数量占全国的 78.3%，相比 2017 年增加了 7.8%，且行业集聚度有所提高；2019 年废纸加工利用企业分布情况与 2018 年相比相差不大。

表 2-1 近五年废纸加工利用企业分布情况（以进口废纸为例）

省份	2015 年		2016 年		2017 年		2018 年		2019 年	
	数量 (家)	占比 (%)	数量 (家)	占比 (%)	数量 (家)	占比 (%)	数量 (家)	占比 (%)	数量 (家)	占比 (%)
浙江省	54	42.2	66	37.3	58	36.5	41	49.4	36	48.0
广东省	20	15.6	27	15.3	26	16.4	16	19.3	16	21.3
山东省	16	12.5	7	4.0	28	17.6	8	9.6	9	12.0
江苏省	6	4.7	8	4.5	7	4.4	5	6.0	4	5.3
福建省	10	7.8	14	7.9	10	6.3	6	7.2	3	4.0
其他省份	22	17.2	35	19.8	30	18.9	7	8.4	7	9.3
合计	128		177		159		83		75	

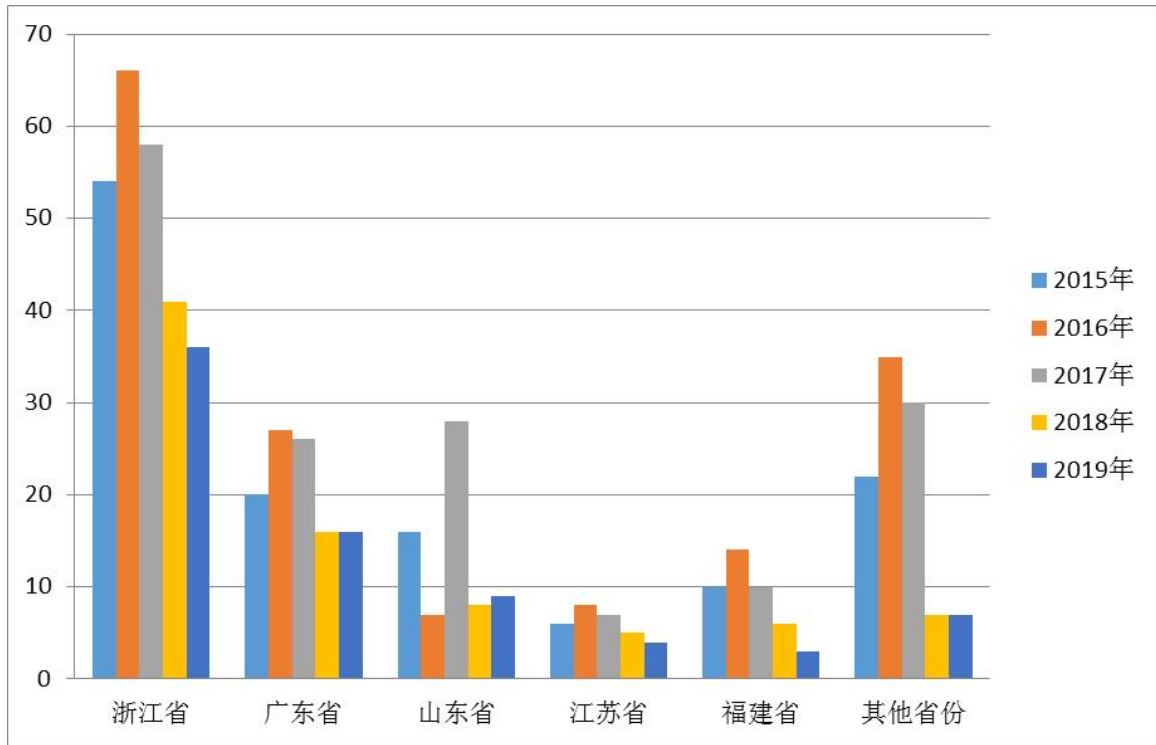


图 2-1 主要省份废纸加工利用企业数量变化图（以进口废纸为例）

2.3 废纸加工利用污染物排放

2.3.1 废纸加工利用工艺

废纸加工利用工艺总体可分为制浆和造纸（抄纸）两个环节。目前我国废纸加工行业工艺流程通常包括碎浆、筛选、净化、除渣、洗涤、浓缩、热分散、揉搓、浮选、脱墨和漂白等工序；主要设备包括输送机、碎浆机、除砂机、浓缩机、热分散器、磨浆机、纸机等。近几十年来，我国废纸加工利用工艺主要经历了以下五个发展阶段：

表 2-2 我国废纸加工行业工艺发展阶段

阶段	工艺流程说明	备注
改革开放初期（80年代初期）	（1）废箱板瓦楞纸→输送带→水力碎浆→盘磨→CX 筛选→圆网浓缩→抄纸 （2）改进流程：废箱板瓦楞纸→输送带→球内蒸煮→水力碎浆→盘磨→CX 筛选→圆网浓缩→抄纸	工艺简单，处理后的废纸浆质量较差
80年代末期	废箱板瓦楞纸→皮带输送→水力碎浆→高浓除砂→塑料分离→预浓缩→螺旋压榨→撕碎→热分散→压力筛→圆网浓缩→生产纸板	机械分离和热分散处理相结合；洗涤法脱墨
90年代	工艺环节基本不变，但设置从单回路增加到双回路、三回路，浮选与热分散增加到二道，漂白从一段变为二段	浮选法脱墨和热分散工艺相结合
2000年以后	引进新闻纸、文化印刷用纸生产工艺和设备；开始工艺及设备的国产化研究及创新	双回路脱墨生产系统；自动控制装置以及“三废”处理系统

阶段	工艺流程说明	备注
2010 年以后	工艺环节基本不变，增加、引进更大规模及更高效率的生产设备；增加、引进高效的废水、废气、固废回收利用及治理设施	资源、能源利用效率及“三废”处理能力提高

我国废纸加工行业在 2005 年以前以引进国外先进的工艺技术及设备为主，2005 年以后同时加快了国产废纸处理工艺及设备的研究与创新。废纸制浆工艺最初仅为简单的水力碎浆、盘磨、筛选、圆网浓缩、抄纸，到后来不断丰富、延长工艺流程，并逐步采用更为先进、高效的生产设备及污染治理设施，我国废纸制浆工艺技术、装备水平一直在不断的改进与优化中。目前，国内约 70% 的造纸生产线已达到国际或国内先进水平，各重点造纸企业中，几乎都配有目前国际上幅宽最大、车速最高的大型造纸机。

节能减排是造纸行业一项重要工作。随着国家和各地造纸行业相关排放标准日益严格、相关政策的收紧，以及造纸末端治理技术的进步，造纸行业的清洁生产和污染防治取得了明显进步。在政策引导和技术投入等共同作用下，近十年我国造纸行业的新鲜水用量、能源消耗、排水总量及主要污染物排放总体呈下降趋势。据中国造纸协会统计数据，2006 年到 2015 年十年中，我国造纸行业单位产品能耗、主要废水废气污染物排放量变化情况详见表 2-3。

表 2-3 我国造纸行业节能减排情况变化

项目	2006 年	2015 年	变化量(%)
单位产品能源消耗(kg 标准煤/t)	501.08	378.18	-24.5
废水排放量(亿 t)	37.4	23.6	-36.78
单位产品 COD 排放量(kg/t)	23.9	3.1	-87.1
万元产值 COD 排放量(kg/万元)	53.83	4.69	-91.28
万元产值氨氮排放量(kg/万元)	1.26	0.17	-86.5
单位产品 SO ₂ 排放量(kg/t)	6.6	3.4	-48.1
万元产值 SO ₂ 排放量(kg/万元)	14.83	5.19	-64.97
单位产品 NO _x 排放量(kg/t)	3.6	1.6	-56.4
万元产值 NO _x 排放量(kg/万元)	8.05	2.37	-70.61
万元产值烟(粉)尘排放量(kg/万元)	7.66	1.93	-74.79
单位产品一般固废产生量(kg/t)	24.6	24.0	-2.4

2.3.1 废纸加工利用污染物排放

废纸加工利用主要包括制浆和造纸两个阶段。

(1) 废纸制浆污染物排放

废纸制浆工艺产生的污染包括水污染、固体废物污染、大气污染，其中水污染是主

要环境问题。

①水污染物

废纸制浆产生的废水主要来自废纸的碎浆、疏解，废纸浆的洗涤、筛选、净化、脱墨及漂白过程。通常无脱墨工艺的废纸浆比有脱墨工艺的废纸浆的废水排放量及有机物浓度均低很多。废水中含有的污染物主要包括：总固体悬浮物：包括纤维、细小纤维、粉状纤维、矿物填料、无机填料、涂料、油墨微粒及微量的胶体和塑料等。可生物降解的有机污染物(BOD₅)：主要由纤维素或半纤维素的降解物，或淀粉等碳水化合物构成。其他有机污染物(COD_{Cr})：由木素的衍生物及一些有机物组分包括蛋白质、胶黏剂、涂布胶粘剂等形成。污染物主要控制指标为：SS、BOD₅、COD_{Cr}等。

②大气污染物

主要为漂白工序产生的少量污染物质，污染物的排放量因漂白方法、漂白剂的种类、未漂浆的种类及质量不同而异。废纸制浆生产过程中产生的大气污染较轻。

③固体废物

废纸制浆产生的固体废物主要包括废纸碎浆时分离出的砂石、金属、塑料等废物，净化、筛选、脱墨过程分离出的矿物涂料、油墨微粒、胶黏剂、塑料碎片、流失纤维等，浮选产生的脱墨污泥和废水处理产生的污泥。固体废物的产生量与所用回收废纸的种类及生产的再生纸或纸板的品种有关。

(1) 废纸造纸污染物排放

造纸工艺的污染物排放包括废水污染、大气污染和固体废物污染，其中废水污染是主要环境问题。

①水污染

造纸生产工艺产生的废水主要为纸机白水，其成分以固体悬浮物和有机污染物为主。COD_{Cr} 为 500~800mg/L，BOD₅ 为 200~350mg/L。固体悬浮物包括纤维、填料、涂料等；有机污染物主要由细小纤维、填料和胶料，以及添加的施胶剂、增强剂、防腐剂等构成，以不溶性污染物为主，可生化性较低。造纸白水分稀白水和浓白水，稀白水通常处理后回用，浓白水由于含大量的可回用纤维，全部回用作冲浆。

②大气污染

造纸生产过程中排放的大气污染物主要为纸张抄造和涂布过程中的废气、锅炉燃煤燃烧产生的烟尘、二氧化硫等有害气体以及造纸废渣焚烧处置产生的二噁英。污染物主

要控制指标为：SO₂、NO_x、烟尘和二噁英。

③固体废物污染

造纸过程产生的固体废物包括造纸生产工艺产生的纤维性浆渣、造纸机干部产生的软辊压光损纸、卷纸机和复卷机产生的纸毛边等干损纸、造纸机湿部和压榨部产生的损纸、白水澄清产生的污泥、及动力锅炉产生的灰渣。

三、废纸加工利用环境风险评估研究

3.1 废纸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

本课题研究内容为区域环境风险评估。结合前文对于生态环境、区域风险评价理论及评价方法的梳理可知,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,不管是生态环境风险评价的商值法、模糊数学法、概率风险分析法,还是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对环境的综合风险影响。而采用评价指标体系法进行区域环境风险的综合评估，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对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，从而有效支撑本课题的研究目标与研究内容。

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，结合本课题研究目标及特点，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环境综合评价指标体系，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，是对各指标对于环境风险评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。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，完成区域环境综合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，可进行区域环境综合风险评价值的计算，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，并能较好反映废纸加工利用主要特征，能真实反应环境风险水平，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

根据废纸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、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等，结合环境风险评价关键要素，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纸加工利用环境风险评估指标体系。

（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，也就是废纸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”三方面反映区域环境综合风险，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，通过对废纸加工利用行业工艺特点及环境影响特征的分析，识别废纸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，人群暴露和健康损害等特征，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

固废加工利用环境风险评价指标的选取应符合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。

(3) 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，通过对废纸加工利用行业工艺特点及环境影响特征的分析，识别废纸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，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。

(4) 评估指标的确定

根据指标筛选原则及方法，确定的废纸加工利用环境风险评估指标见表 3.2-1。

表 3.2-1 废纸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
废纸加工利用环境风险评估指标体系 (A)	风险源指标 (B ₁)	加工利用 (C ₁)	废纸加工利用量 (D ₁)	万 t
			废纸加工利用企业数量 (D ₂)	个
			废纸夹杂率 (D ₃)	%
			通过清洁生产审核企业占比 (D ₄)	%
		污染排放 (C ₂)	废纸加工利用废水排放量 (D ₅)	t
			废纸加工利用废气排放量 (D ₆)	t
			废纸加工利用固体废物排放量 (D ₇)	t

目标层 A	准则层 B	要素层 C	指标层 D	单位
			废纸加工利用水污染物排放量 (D ₈)	t
			废纸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
	风险防控能力指标 (B ₃)	环境管理 (C ₆)	土壤环境风险受体密度 (D ₁₆)	%
			突发环境事件应急预案备案情况 (D ₁₉)	%
			废纸加工利用污染整治情况 (D ₂₀)	-
			废水在线监控设施安装情况 (D ₂₁)	%
			废气在线监控设施安装情况 (D ₂₂)	%
	公众反应 (C ₇)		突发环境污染事件发生数量 (D ₂₃)	件
			生态环境质量公众满意度 (D ₂₄)	%

(5) 指标解释

1) 风险源指标

风险源指标是反映废纸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，废纸加工利用带来的环境风险越大，指标越小，越有利于环境保护。

①加工利用情况指标说明

废纸加工利用量指废纸加工利用园区或集聚区某年度的废纸加工利用量。

废纸加工利用企业数量指废纸加工利用园区或集聚区某年度废纸加工利用企业数量。

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

②污染排放指标说明

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

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

废纸加工利用固体废物排放量指某年度废纸加工利用园区或集聚区废纸加工利用固体废物排放总量。

废纸加工利用水污染物排放量指某年度废纸加工利用园区或集聚区废纸加工利用COD、BOD、SS、氨氮、可吸附有机卤素、二噁英等特征污染物排放总量。

废纸加工利用大气污染物排放量指某年度废纸加工利用园区或集聚区废纸加工利用颗粒物、SO₂、NO_x、挥发性有机物、二噁英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纸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

考虑到废纸加工利用主要对地表水、大气和土壤造成危害，因此，环境质量指标选取地表水、大气和土壤环境质量，且废纸加工利用特征污染物种类较多，故采用综合污染指数评估地表水、大气和土壤的污染程度。

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纸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。

周边人口密度指废纸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纸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) 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 10 个指标。

①环境管理指标说明

包括突发环境事件应急预案备案情况、废纸加工利用污染整治情况、废水在线监控设施安装情况、废气在线监控设施安装情况、突发环境污染事件发生数量，5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纸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，构建的废纸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

开展废纸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、废纸环境保护相关政策和管理要求、生态环境风险评估技术要求等，结合废纸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) 2011-2020 年国内废纸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，综合考虑废纸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，收集了国内废纸加工利用集聚区统计数据，综合考虑行业发展因素，或参考国内外现行的相关标准，对废纸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。

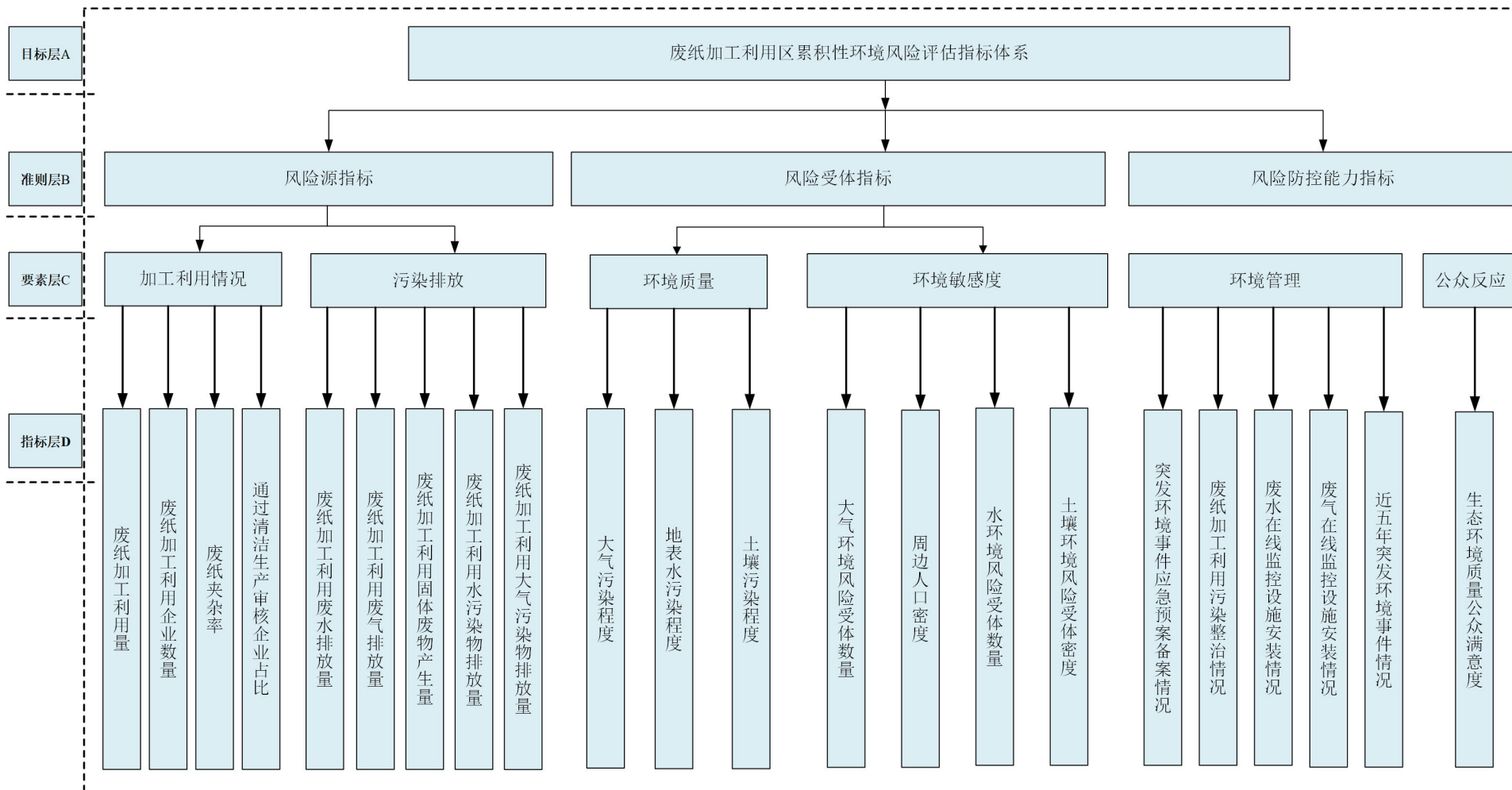


图 3.2-1 废纸加工利用环境风险评估指标体系框架

表 3.2-3 废纸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	废纸加工利用量	万 t	>200	(200,50]	≤50
		废纸加工利用企业数量	个	>50	(30,50]	≤30
		废纸夹杂率	%	>1.5	(0.5,1.5]	≤0.5
		通过清洁生产审核企业占比	%	≤20	(20,80]	>80
	污染排放	废纸加工利用废水排放量	万 t	>2000	(1000,2000]	≤1000
		废纸加工利用废气排放量	亿 m ³	>20	(10,20]	≤10
		废纸加工利用固体废物排放量	万 t	>3	(1,3]	≤1
		废纸加工利用水污染物排放量	t	>2000	(500,2000]	≤500
	废纸加工利用大气污染物排放量	t	>3000	(1000,3000]	≤1000	
风险受 体指标	环境质 量	大气污染程度	-	>1.0	(0.8,1.0]	≤0.8
		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	>100	(50,100]	≤50
		周边人口密度	人 /km ²	>200	(100,200]	≤100
		土壤环境风险受体密度	%	>50	(20,50]	≤20
风险防 控能力 指标	环境管 理	突发环境事件应急预案备案情况	%	<50	[50,100)	100
		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
		突发环境污染事件发生数量	次	≥3	(3,1]	0
	公众反 应	生态环境质量公众满意度	-	≤60	(60,80]	>80

表 3.2-4 废纸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。	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；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	废纸加工利用污染整治情况	未编制过污染整治方案	已编制污染整治方案，未落实相关整治措施	已编制污染整治方案，并按照方案落实了相关整治措施

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与定量的结合分析与运算。

③ 专家调查加权法

专家调查加权法是要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；

Ei ——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：

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

负向指标（副作用）的无量纲化处理方法为：

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

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

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

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

第四步：计算指标方差贡献率，即权重系数；

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

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 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 3.3-1。

表 3.3-1 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 3.3-2 所示。

表 3.3-2 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 位熟悉废纸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%。

(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，就得到废纸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 废纸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 (%)
废纸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 (0.40)	废纸加工利用量 (D ₁)	0.062	6
			废纸加工利用企业数量 (D ₂)	0.047	5
			废纸夹杂率 (D ₃)	0.038	4
			通过清洁生产审核企业占比 (D ₄)	0.034	3
		污染排放 (0.60)	废纸加工利用废水排放量 (D ₅)	0.059	6
			废纸加工利用废气排放量 (D ₆)	0.045	5
			废纸加工利用固体废物排放量 (D ₇)	0.045	5
			废纸加工利用水污染物排放量 (D ₈)	0.06	6
			废纸加工利用大气污染物排放量 (D ₉)	0.054	5
			环境质量 (0.50)	大气污染程度 (D ₁₀)	0.06
	地表水污染程度 (D ₁₁)	0.08		8	
	土壤污染程度 (D ₁₂)	0.06		6	
	环境敏感度 (0.50)	大气环境风险受体数量 (D ₁₃)		0.05	5
		周边人口密度 (D ₁₄)		0.05	5
		水环境风险受体数量 (D ₁₅)		0.05	5
		土壤环境风险受体密度 (D ₁₆)	0.05	5	
	风险防控能力指标 (0.15)	环境管理 (0.80)	突发环境事件应急预案备案情况 (D ₁₉)	0.018	2
			废纸加工利用污染整治情况 (D ₂₀)	0.022	2
			废水在线监控设施安装情况 (D ₂₁)	0.027	3
			废气在线监控设施安装情况 (D ₂₂)	0.026	3
			突发环境污染事件发生数量 (D ₂₃)	0.022	2
		公众反应 (0.20)	生态环境质量公众满意度 (D ₂₄)	0.03	3

3.4 废纸加工利用环境风险评估

根据废纸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，确定废纸加工利用环境风险评估指标值，最高为 100 分，废纸加工利用环境风险评估详见表 3.4-1。

废纸加工利用环境风险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 3.4-1 废纸加工利用环境风险评估

准则层	要素层	指标层	百分权重	评估依据	分值
风险源 指标	加工利用情况	废纸加工利用量（万吨）	6	>200	6
				(200,50]	3.6
				≤50	1.2
		废纸加工利用企业数量（家）	5	>50	5
				(30,50]	3
				≤30	1
		废纸夹杂率（%）	4	>1.5	4
				(0.5,1.5]	2.4
				≤0.5	0.8
		通过清洁生产审核企业占比（%）	3	≤20	3
				(10,80]	1.8
				>80	0.6
	污染排放	废纸加工利用废水排放量（万吨）	6	>2000	6
				(1000,2000]	3.6
				≤1000	1.2
		废纸加工利用废气排放量（亿 m ³ ）	5	>20	5
				(10,20]	3
				≤10	1
		废纸加工利用固体废物产生量（万吨）	5	>3	5
				(1,3]	3
				≤1	1
废纸加工利用水污染物排放量（吨）		6	>2000	6	
			(500,2000]	3.6	
			≤500	1.2	
废纸加工利用大气污染物排放量（吨）	5	>3000	5		
		(1000,3000]	3		
		≤1000	1		
风险受体 指标	环境质量	大气污染程度	6	>1.0	6
				(0.8,1.0]	3.6
				≤0.8	1.2
		地表水污染程度	8	>1.0	8
				(0.8,1.0]	4.8
				≤0.8	1.6
		土壤污染程度	6	>3.0	6
				(1,3]	3.6
				≤1	1.2
	环境敏感度	大气环境风险受体数量（万人）	5	>100	5
				(50,100]	3
				≤50	1

准则层	要素层	指标层	百分权重	评估依据	分值						
		周边人口密度 (人/km ²)	5	>200	5						
				(100,200]	3						
				≤100	1						
		水环境风险受体数量	5	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。	5	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。	3				
								不涉及	1		
								土壤环境风险受体密度 (%)	5	>50	5
										(20,50]	3
		≤20	1								
		风险防控能力指标	环境管理	突发环境事件应急预案备案情况	2	<50	2				
						[50,100)	1.2				
100	0.4										

准则层	要素层	指标层	百分权重	评估依据	分值
		废纸加工利用污染整治情况	2	未编制过污染整治方案	2
				已编制污染整治方案，未落实相关整治措施	1.2
				已编制污染整治方案，并按照方案落实了相关整治措施	0.4
		废水在线监控设施安装情况（%）	3	<50	3
				[50,100)	1.8
				100	0.6
		废气在线监控设施安装情况（%）	3	<50	3
				[50,100)	1.8
				100	0.6
		突发环境污染事件发生数量	2	≥ 3	2
				(3,1]	1.2
				0	0.4
	公众反应	生态环境质量公众满意度	3	≤ 60	3
				(60,80]	1.8
				>80	0.6

表 3.4-2 废纸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

四、确定标准主要内容

4.1 适用范围

本标准规定了废纸加工利用环境风险评估的工作程序、评估内容、评估方法及技术要求。

本标准适用于指导生态环境管理过程中，为预防和控制废纸加工利用过程污染物长期排放造成的环境风险。适用对象为涉及废纸制浆、废纸造纸的设区的市级以上人民政府批准设立的造纸基地、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

本文件规定了废纸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，给出了废纸、基地、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、风险评估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，开展废纸加工利用环境风险评估基础资料调查准备工作，调查内容应包括废纸加工利用区概况、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纸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纸加工利用区雨水排放口、清浄废水排

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纸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) 将废纸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纸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，建立废纸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纸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。包括废纸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纸加工利用过程对生态环境、环境敏感目标造成的影响的指标。包括环境质量、环境敏感度两大类指标。

(3) 风险防控能力指标

风险防控能力指标是用于评价废纸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，确定废纸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，将废纸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

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《废纸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