

杨敏慧,袁培炎,罗天烈,等.基于层次分析法评估长江上游宜宾段工业园区环境风险[J].环境工程技术学报,2022,12(2):624-632.

YANG H M, YUAN P Y, LUO T L, et al. Assessment of the environmental risk of the industrial parks of Yibin section of the upper reaches of the Yangtze River based on analytic hierarchy process[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, 12(2): 624-632.

# 基于层次分析法评估长江上游宜宾段工业园区环境风险

杨敏慧,袁培炎,罗天烈\*,文栋嘉,刘国

地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,国家环境保护水土污染协同控制与联合修复重点实验室,  
成都理工大学生态环境学院

**摘要** 长江宜宾段工业园区中分布着众多化工企业,对周边流域生态环境具有潜在风险。选择环境风险源、管控机制、风险受体3个准则层,包括行业类型、园区企业生产工艺、环境管理体系、环境风险管理体系、受纳水体环境等13个指标层建立评估模型体系;采用层次分析法(AHP)评估了宜宾市6家工业园区(A~F)的环境风险。结果表明,6家工业园区准则层权重总占比表现为环境风险源(69.939)>环境风险受体(38.076)>风险管控机制(33.420),各园区环境风险综合值表现为B园区(19.147)<D园区(19.265)<A园区(22.237)<C园区(23.646)<F园区(25.838)<E园区(30.321),各工业园区均属于中等环境风险。  
**关键词** 环境风险评估;沿江工业园区;层次分析法;指标权重;风险管控

中图分类号:X820.4 文章编号:1674-991X(2022)02-0624-09 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.20210683

## Assessment of the environmental risk of the industrial parks of Yibin section of the upper reaches of the Yangtze River based on analytic hierarchy process

YANG Minhui, YUAN Peiyan, LUO Tianlie\*, WEN Lijia, LIU Guo

State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, State Environmental Protection Key Laboratory of Synergetic Control and Joint Remediation for Soil and Water Pollution, College of Ecology and Environment, Chengdu University of Technology

**Abstract** Many chemical enterprises are distributed in the industrial parks of Yibin section of the Yangtze River, which have potential risks to the ecological environment of the surrounding basin. There is still a lack of corresponding technical guidelines and normative references for regional environmental risk assessment such as industrial parks. Using analytic hierarchy process (AHP), the environmental risk assessment of six industrial parks (A-F) in Yibin was carried out. Three criteria layers, namely, environmental risk sources, control measures and risk receptors, and 13 index layers were selected to establish the evaluation model. The 13 index layers included industry type, production process of enterprises in the park, environmental management system, environmental risk management system and receiving water environment, etc. The results showed that the total weight proportion of the criterion layer of the six industrial parks was environmental risk source (69.939) > environmental risk receptor (38.076) > risk control mechanism (33.420). The total environmental risk values of the parks were in the order of Park B (19.147) < Park D (19.265) < Park A (22.237) < Park C (23.646) < Park F (25.838) < Park E (30.321), all belonging to medium environmental risk.

**Key words** environmental risk assessment; industrial park along the river; analytic hierarchy process; weight of index; risk management and control

长江流域宜宾段主要存在6家工业园区,环境污染源和风险源多而复杂、生产密集、管控缺乏科学依据等原因,导致园区的环境风险事故以及长期积累的环境风险大大提高<sup>[1-2]</sup>。该区域位于长江流域

的上游,长江流域水污染与经济增长呈负相关状态,上游生态治理有利于改善水污染现状,促进产业发展<sup>[3]</sup>。为了保证长江上游流域水环境质量,需要开展沿江工业园区的环境风险评估,降低风险事故发生

收稿日期:2021-11-15

基金项目:长江生态环境保护修复驻点跟踪研究(CJZDGYJXX48)

作者简介:杨敏慧(1998—),女,硕士研究生,研究方向为场地污染风险评估, yangminhui13@stu.cdut.edu.cn

\* 责任作者:罗天烈(1989—),男,副研究员,博士,研究方向为污染生态化学与风险评价, luotianlie19@cdut.edu.cn

的概率, 预防污染物泄漏对周边居民的健康风险与生态环境造成的危害<sup>[4]</sup>。

初期, 环境风险评估关注单一物体或者特定元素对人类健康的影响<sup>[5-6]</sup>。随着研究的深入, 由于发现环境风险是具有特定结构、功能的复杂系统<sup>[7]</sup>, 因此对其的研究逐渐发展到对工业污染和其他人为活动的评估, 在评估时不仅要考虑污染事故本身的性质, 还要关注研究区域的社会脆弱性、生态敏感性<sup>[8-10]</sup>, 依据不同类型的工业园区的特点确定需要重点评估的方向<sup>[11-13]</sup>。环境风险源本身具有不确定性, 研究人员在选择时也有一定的主观性, 应该进行有效的筛选分类<sup>[14]</sup>。风险源中有害物质发生泄漏导致事故发生时, 应充分考虑事故产生的伴生物质和次生危险物质<sup>[15]</sup>。目前, 国内外关于工业园区环境风险评估方面的标准规范或导则鲜见报道, 常用的评估方法包括环境风险源分级、环境风险指数评价法、风险场分析、问卷调查法以及层次分析法等。此外, 前人采用地理软件 GIS 进行了环境风险评估<sup>[7]</sup>和提出了基于证据权重的区域尺度风险源分级方法<sup>[16]</sup>。

现阶段, 工业园区的环境风险评估多侧重于关注区域工业园区的风险状况及风险管理, 缺少针对特定区域的环境风险评估方法研究。长江工业园区的环境风险受到内外部众多主控因子以及长江沿岸特殊地理环境的影响, 采用层次分析法 (AHP) 的风

险评估可实现定量分析和定性分析的融合。突破传统定量评估法中参数数值的局限性, AHP 方法可结合专家的理性分析和客观判断, 对主控因子赋予权重, 再考虑长江工业园区周边环境更为合理。以宜宾市 6 家工业园区为研究对象, 计算了园区化学品源对应临界量的比值 ( $Q$ ) 和“三废”(废气、废水、废渣) 排放数据; 根据风险识别结果, 采用 AHP 法评估了 6 家工业园区的环境风险, 并基于评估结果提出了相应的风险管控措施建议。

## 1 区域概况和研究方法

### 1.1 区域概况

以长江流域宜宾段 6 家沿江工业园区 (图 1) 为研究对象, 根据宜宾市生态环境局提供的宜宾市长江干流四川段片区入河排污口资料, 再分别对 6 家工业园区进行走访调查, 了解各工业园区内部的主要产业, 存在的可能风险源物质, 并对风险源进行定量收集。6 家工业园区主要涉及化工和材料方面, 存在较多的危险化学品, 生产过程也极易产生“三废”, 工业园区还聚集了部分食品、白酒生产企业, 生产过程中排放的有机物含量较高。此外, 还获取了园区周边环境敏感受体、涉及环境风险物质和数量, 以及安全生产管理、现有的环境风险管控与应急措施、应急资源等相关信息。

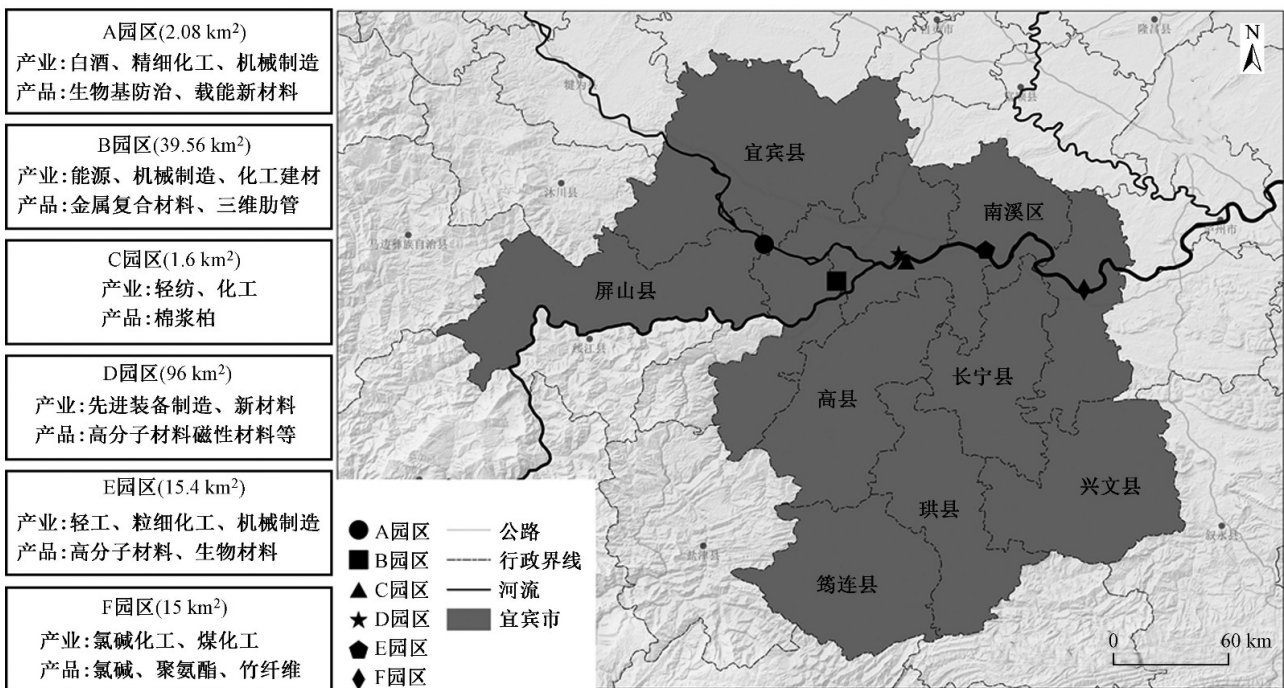


图 1 长江流域宜宾段 6 家工业园区位置及概况

Fig.1 Overview of the six industrial parks in Yibin section of Yangtze River

### 1.2 风险评估方法

AHP 法是较为常用的多准则决策工具之一, 广泛应用于企业和工业园区 2 个层面的环境风险评估<sup>[17]</sup>。该方法首先把复杂问题分解为多个准则层和指标层, 对每个层进行评分和计算, 再分析排序结果给出意见。根据成对比较中每个标准的相对重要性分数间接确定标准权重, 即使输入不完整或不一致, 也可以产生权重、总体分数和一致性度量<sup>[18]</sup>。

AHP 方法建模常包含 4 个步骤<sup>[19]</sup>: 1) 建立层次结构模型, 目标层、准则层和指标层分别用 a、b、c 表示; 2) 进行成对比较, 构造各级判断矩阵; 3) 对每个层次的标准进行排序, 并检查一致性; 4) 确定备选方案的总体优先级, 并检查一致性。

首先, 在确立 AHP 模型的指标时, 需要满足一定的原则<sup>[19]</sup>: 1) 满足环境风险评估中最重要的三大要素——风险源、控制机制和受体<sup>[20]</sup>; 2) 充分体现工业园区在环境风险评估时的不确定性和复杂性等特征; 3) 结合宜宾市工业园区发展现状及特征。

其次, 采用 1~9 的标度法<sup>[21]</sup> 对指标重要程度赋值, 同一层的每 2 个指标进行相对重要程度比较, 确定各自权重, 再建立各自的判断矩阵 (表 1)。

表 1 相对重要性取值  
Table 1 Relative importance value

相对重要性 ( $b_{ij}$ 、 $c_{ij}$ )取值	定义
1	$i$ 与 $j$ 同样重要
3	$i$ 比 $j$ 稍微重要
5	$i$ 比 $j$ 明显重要
7	$i$ 比 $j$ 强烈重要
9	$i$ 比 $j$ 绝对重要
2, 4, 6, 8	2个相对重要性标度之间的中间值
倒数	若 $b$ 层中的 $i$ 与 $j$ 进行比较, 则判断值为 $b_{ij}$ , 其中 $b_{ij}$ 与 $b_{ji}$ 成倒数关系, 即 $b_{ij}=1/b_{ji}$

构建准则层 b 与其所对应的指标层 c 的判断矩阵 (表 2)。

表 2  $b_k$ -c 之间的判断矩阵  
Table 2 Judgement matrix between  $b_k$ -c

指标	$c_1$	...	$c_n$
$c_1$	1	...	$c_{1n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$c_n$	$c_{n1}$	...	1

构建目标层 a 与所有准则层 b 的判断矩阵, 判断矩阵的一致性检验公式如下:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

$$CR = CI / RI$$

式中:  $\lambda_{max}$ 为判断矩阵最大特征值; CI 为判断矩阵偏离的指标; CR 为随机一致性比。

当  $CR < 0.1$  时, 判断矩阵的一致性是可以接受的, 否则需要修改判断矩阵以满足一致性要求。最后, 确定和备选方案的总体优先级, 并检查一致性。层次分析法的结果输出是一组分数, 代表每个指标的相对重要性, 这有助于确定工业园区的优先风险。

## 2 结果与讨论

### 2.1 园区化学品存储量

宜宾沿江工业园区内有较多企业, 企业中的风险源因行业差别存在较大差异, 除了对行业工艺设备等方面的评估, 还应该考虑污染源自身的扩散性和相互叠加的影响<sup>[22]</sup>。针对各工业园区的化学品存储量, 根据 HJ 169—2018《建设项目环境风险评价技术导则》<sup>[23]</sup>, 计算了所涉及的每种危险物质在厂界内的最大存储量与其  $Q$ , 结果如图 2 所示。

每个工业园区因为自身产业的特点, 都有自己的特征危险物质。A 园区主要产业为纺织、机械加工、化工、碳素制品等, 含有少量的危险化学品; B 园区主要由汽车配套产业、机械制造业等为主, 产品基本不含有危险化学品; C 园区以纺织业工厂为主, 精深加工纺织消费品存在较多的化纤物质, 如纤维素醚、羟乙基纤维素等; D 园区主要是生产智能终端设备, 产品含有少量危险化学品; E 园区现有产业以化工、轻工产业和机械制造为主, 化工企业的甲苯含量较高, 还有一部分硝酸、硫酸、盐酸等化学品; F 园区主要产业为化工、竹类加工、酒类食品等, 存在较多的危险化学品, 存储量也极高, 氢气含量极高, 甲醛严重超标, 接近其他工业园区  $Q$  的 10 倍, 还存在甲基肼、二甲醚、液氯等, 有着较高的危险化学品风险。6 家工业园区中, F 园区的危险化学品存储量最高, 且为其他园区存储量的 10~100 倍, 具有极高的危险化学品风险。

### 2.2 园区“三废”排放量统计

除了危险化学品, 还对园区的“三废”排放量进行了统计, 结果如图 3 所示。从图 3 可以看出, A 园区中纺织业产生较多的粉尘进入大气环境中; 园区的化工企业规模均较小, 因此其废水排放中只含少量的污染物; 制造业产生了较多的固体废物。B 园区可能存在一些二氧化硫相关的生产过程, 排放气体中含有二氧化硫和氮氧化物; 废水排放量较少, 但含有较高的 COD 和有机物; 厂区内的居民众多, 因

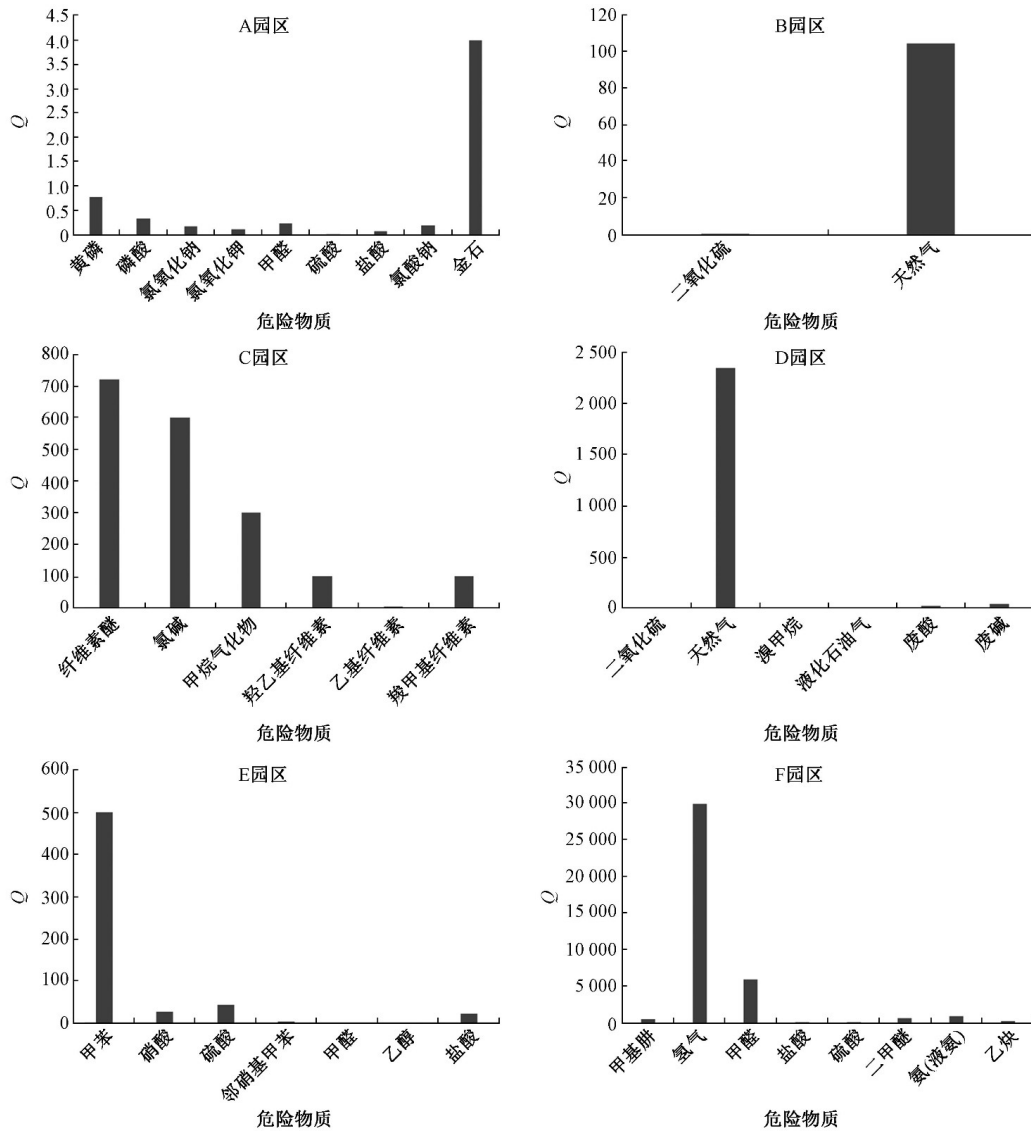


图 2 6 家工业园区的 Q

Fig.2 Q value of six industrial parks

此固体废物以生活垃圾为主。C 园区中由于纺织业的聚集, 排放气体中以二氧化硫和氮氧化物为主, 且排放量均较大; 废水排放量极高, 废水中污染物含量较少; 固体废物基本为纺织废物垃圾。D 园区排放的废气中氮氧化物和一氧化碳含量较高, 这可能是由于材料制备过程中产生了少量有毒有害气体, 其没有被很好地吸收过滤; 印刷业和纺织业导致废水排放量较大, 但污染物含量较少; 固体废物产生量较大, 尤其以工业废物为主。E 园区排放废气中含有一部分的氮氧化物和粉尘, 二氧化碳含量较高, 符合该园区的甲苯储存量较高的情况; 废水所含污染物较少; 固体废物排放量较高。F 园区废气排放量最高; 废水排放量虽然较少, 但是所含 COD 极高; 工业废物产生量相对较少, 该园区的危险化学品的存量最高。总体而言, F 园区“三废”情况较差, 废气排放总

量最高, 且废水中的 COD 远超其他园区。

### 2.3 园区环境风险评估

宜宾的 6 家工业园区临江分布, 化工企业占比较大。由于各工业园区的主导产业不一样, 其风险物质种类及数量存在差异。工业园区风险的表征主要包括化学品、大气、水、危险废物等环境风险源, 考虑园区现在所实行的风险管控机制, 再结合园区内和园区外 5 km 以内环境敏感受体的分布情况, 构建 AHP 模型。设置符合 HJ 941—2018《企业突发环境事件风险评估指南》<sup>[24]</sup> 的打分原则, 根据专家对不同层级指标的打分结果, 可以获得各园区的环境风险值。

#### 2.3.1 AHP 模型评价体系构建

目标层的确立: 针对的区域是长江流域流经的宜宾市, 核心问题是工业园区环境风险评估, 目标层

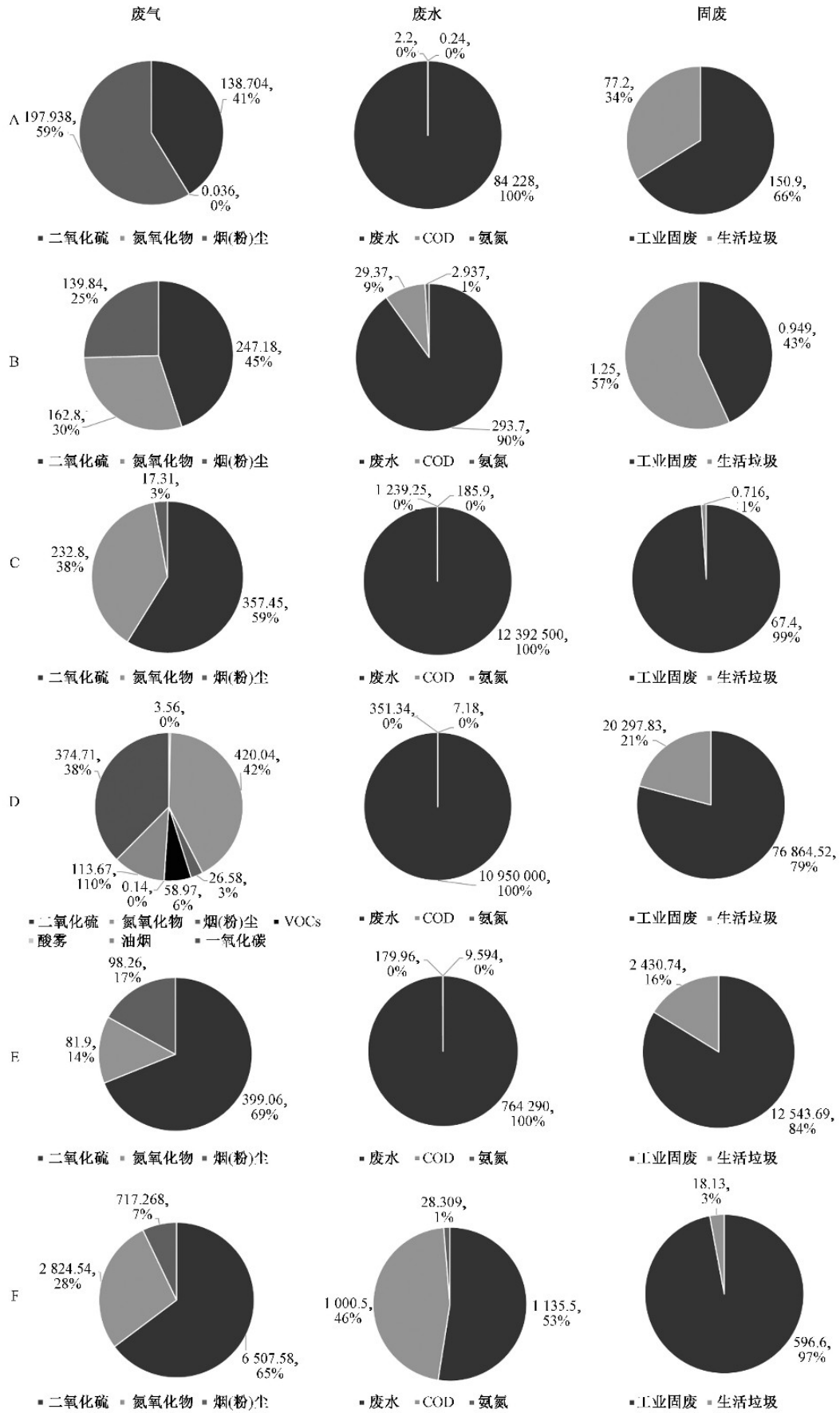


图 3 工业园区“三废”排放量 (t/a)

Fig.3 "Three Wastes" emissions in industrial parks

是长江宜宾段沿江工业园区环境风险综合值。

准则层的确立: 为了准确计算环境各因素的风险评估值, 考虑风险源、受体以及风险管控机制三大因素的作用<sup>[10]</sup>。

指标层的确立: 根据定量法中的风险源筛选过程和 AHP 法的特点, 从中选取环境风险源、风险管控机制、环境风险受体 3 类指标。环境风险源包括行业类型、园区企业生产工艺、园区内危险物品、危

险物排放情况 4 项指标<sup>[8]</sup>; 风险管控机制包括环境管理体系、环境风险管理体系、环境应急预案处置、环境监控情况 4 项指标; 环境风险受体包括保护区类型、受纳水体环境、受纳大气环境、生态脆弱性、人口密度 5 项指标。

通过对长江宜宾段工业园区收集资料的分析以及指标的选取结果, 建立了 AHP 模型评价体系 (图 4)。

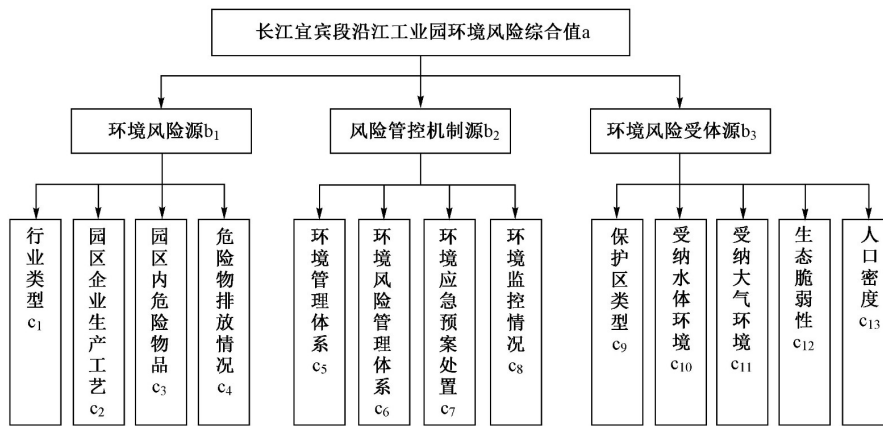


图 4 环境风险评价指标体系

Fig.4 Hierarchical structure of environmental risk assessment index system

依据专家调查问卷结果<sup>[8,25-26]</sup>, 不同层级指标重要性对比矩阵见表 3。

表 3 各级指标权重

Table 3 Index weight values at all levels

一级指标	权重	二级指标	权重	排序
环境风险源	0.333	行业类型	0.161	2
		园区企业生产工艺	0.052	7
		园区内危险物品	0.090	4
		危险物排放情况	0.029	10
风险管控机制	0.506	环境管理体系	0.033	9
		环境风险管理体系	0.131	3
		环境应急预案处置	0.253	1
		环境监控情况	0.090	5
环境风险受体	0.161	保护区类型	0.011	12
		受纳水体环境	0.089	6
		受纳大气环境	0.044	8
		生态脆弱性	0.012	11
		人口密度	0.006	13

从表 3 可以看出, 准则层指标权重为风险管控机制 (0.506)>环境风险源 (0.333)>环境风险受体 (0.161)。风险管控机制权重远高于环境风险源和环境风险受体, 在对工业园区进行风险防范时, 应该更加重视风险管控机制的制定, 而且必须切实实施这

些机制措施。

从二级指标的权重来看, 环境应急预案处置排名第一, 说明风险防范监管比环境风险事故应对更加重要, 环境风险防范的重要措施包括工业园区层面的环境监管。人口密度权重位列最末, 工业园区促进了经济的快速发展, 在这种情况下, 容易轻视园区污染物对人体健康造成的影响。生态脆弱性和保护区类型权重相对也较低, 说明该区域的生态保护意识还不是很明朗, 相关部门在工业园区环境风险评价时需强化。

### 2.3.2 AHP 指标体系评分标准

根据工业园区各级评价指标的计算结果, 依据 HJ 941—2018《企业突发环境事件风险评估指南》<sup>[24]</sup>, 对各指标的评分等比例换算成总分均为 50 分, 打分原则如表 4 所示。

利用下式将各指标权重与评分进行加权计算:

$$H = \sum_{i=1}^n W_i \times h_i$$

式中:  $H$  为各园区环境风险综合值;  $W_i$  为各项指标权重;  $h_i$  为各指标打分。结合 HJ 941—2018《企业突发环境事件风险评估指南》<sup>[24]</sup> 的评估准则, 将  $H$  分为 0~5、5~45 和 45~50 3 个区段, 分别对应一般环境风险、中等环境风险和重大环境风险<sup>[19,27]</sup>。

表 4 工业园区风险评估指标评分标准

Table 4 Scoring standards of the industrial park risk assessment index

准则层	评估指标	评分标准
环境风险源	行业类型	化工、石化, 50分; 危险品贮存与运输, 40分; 医药、电镀、冶炼, 30分; 机械制造、建筑施工, 20分; 其他, 10分
	企业生产工艺	国内落后(高危生产工艺), 50分; 国内一般(高危生产工艺), 40分; 国内先进(高危生产工艺), 30分; 国内领先, 20分; 国际领先, 10分
	园区内危险物品	存在重点环境管理危险废物, 100分; 不存在, 0分
	危险废物排放情况	当 $0 < Q < 10$ , 10分; 当 $10 \leq Q < 100$ , 30分; 当 $Q \geq 100$ , 50分
风险管控机制	环境管理体系	无环境管理体系, 50分; 管理体系简单且无专门管理机构, 40分; 管理体系完善且无专门管理机构, 30分; 管理体系完善且有专门管理机构, 20分; 体系完善有专门管理机构通过ISO 14000认证, 0分
	环境风险管理体系	有完善的安全管理制度且有环境风险监督机制, 0分; 有完善的安全管理制度, 20分; 有初级的安全管理制度, 30分; 列入编制计划, 40分; 无, 50分
	环境应急预案处置	有完善应急预案且有事故应急演练, 0分; 有完善应急预案, 20分; 有初级应急预案, 30分; 列入编制计划, 40分; 无, 50分
	环境监控情况	自动在线监测(常规指标和行业特性指标), 0分; 自动在线监测(常规指标), 20分; 定期人工监测, 30分; 不定期人工检测, 40分; 无, 50分
环境风险受体	保护区类型	
	接纳水体环境	企业雨水、清净下水、污水排口下游10 km内有自然保护区、重要湿地、风景名胜区、特殊生态系统以及自来水厂取水口、各大学校、医院、居民居住地等, 50分; 企业雨水、清净下水、污水排口下游10 km内有水产养殖区、天然渔场、耕地、基本农田保护区、地质公园、森林公园、天然林等, 30分; 无上述2类情况, 10分
	接纳大气环境	
	生态脆弱性	
	人口密度	$< 1\,000$ 人/ $\text{km}^2$ , 10分; $1\,000 \sim 2\,000$ 人/ $\text{km}^2$ , 30分; $\geq 2\,000$ 人/ $\text{km}^2$ , 50分

2.3.3 环境风险评估结果

沿江 6 家工业园区环境风险如表 5 所示。从表 5 可以看出, 6 家工业园区准则层权重总占比为环境风险源 (69.939) > 环境风险受体 (38.076) > 风险管控机制 (33.420), 各园区环境总风险值为 B 园区 (19.147) < D 园区 (19.265) < A 园区 (22.237) < C 园区 (23.646) < F 园区 (25.838) < E 园区 (30.321), 环境风险综合值均为 5~45, 属于中等环境风险。

表 5 6 家工业园区环境风险值

Table 5 Environmental risk value of six industrial parks

工业园区	环境风险源	风险管控机制	环境风险受体	环境风险综合值
A	8.040	6.117	8.080	22.237
B	6.250	5.053	7.844	19.147
C	16.640	3.833	3.173	23.646
D	6.250	5.053	7.962	19.265
E	16.118	6.359	7.844	30.321
F	16.640	6.025	3.173	25.838

从图 5 可以看出, A 园区主要以环境风险受体贡献为主, 占园区风险综合值的 36.34%; B 园区主要以环境风险受体贡献为主, 占园区风险综合值的 40.97%; C 园区主要以环境风险源贡献为主, 占园区风险综合值的 70.37%; D 园区主要以环境风险受体贡献为主, 占园区风险综合值的 41.33%; E 园区主要以环境风险源贡献为主, 占园区风险综合值的 53.16%; F 园区主要以环境风险源贡献为主, 占园区风险综合值的 64.40%。

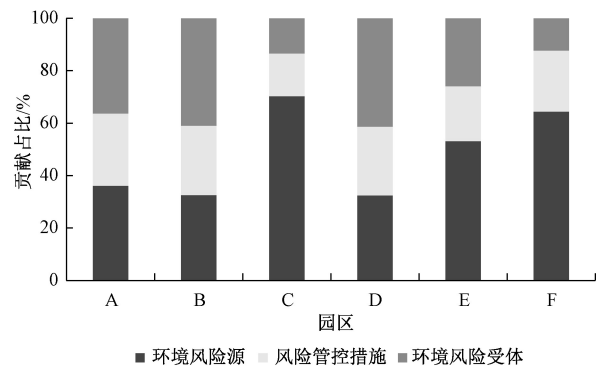


图 5 6 家工业园区准则层分值贡献占比

Fig.5 Proportion of criteria layers scores of six industrial parks

将 6 家工业园区的风险指标进行汇总, 环境风险源贡献占比最高, 为 49.79%, 环境风险受体贡献占比为 27.11%, 风险管控机制贡献占比为 23.10%。环境风险源带来的环境风险, 主要是由于煤化工企业、机械制造、能源企业等企业聚集, 虽然大多数工业园区已经建立了污水处理设施, 但是由于排放管理缺少有效的管控, 也会出现超标排放。因此, 园区应该开展清洁生产审核, 试行重大风险源的严格防范, 加强危险化学品储存和危险废物排放的管理控制。

风险管控机制贡献占比较小, 表明工业园区在环境风险的防范方面有一定的应对措施, 但由于园区内的组成较为复杂, 管理体系尚未落实到每一个相关企业, 管理部门职责不够清晰, 实时监控设施也较匮乏<sup>[28]</sup>。因此, 园区需要加强制度管理, 提升实时监控污染的能力。环境风险受体方面, 该区域位于

长江流域上游,周边的生活区比较密集,长江经济带在带动沿江区域经济发展的同时,也对沿江的环境造成威胁,应该在保证长江水体以及周边环境生态健康的前提下,提速经济带发展。

#### 2.4 风险管控措施建议

针对长江宜宾段沿江工业园区的风险计算结果,提出以下风险管控措施建议。

(1) 源头控制。改进生产工艺,为企业降低成本和能耗,使企业生产效率得到提高。此外,需要推动化工企业开展以提高产品质量、节能降耗、环境保护、安全生产以及资源化利用等为重点的技术改造和工艺升级,引导企业采用新技术实现清洁生产和节能减排,采用优化控制技术,促进生产安全和稳定,提高劳动生产率,推进产业结构转型升级。

(2) 过程管理。6家工业园区需要对污染源进入环境的过程进行管理,这需要生态环境部门的监督,也需要园区内各企业提高环境风险管控能力。监管部门建立联合执法监管机制,强化环境执法监督,完善区域环境风险预警制度,通过区域监测监控,利用物联网、GIS等先进技术,针对工业园区点、线、面排放源的监控,构建园区全方位的环境质量监控与安全预警系统,提高特征污染物实时监控和区域风险防范能力。

(3) 受体保护。6家工业园区沿长江而建,是长江经济带的典型的工业园区例子,此类工业园区应减少环境污染事故的发生或降低污染事故的影响范围,尽可能减少对长江水环境质量的负面影响,从而保证长江的水生生态系统的安全。宜宾工业园区周边的居民区较多,人员密度较大,通过对工业园区进行风险评估,提出相应的管控措施,减少环境污染事故发生的概率,保障居民生活的环境质量安全,促进人民生活幸福感的提升。

### 3 结论

(1) 采用AHP法进行风险评估,从中选取环境风险源、风险管控机制、环境风险受体3类指标,其中环境风险源包括行业类型、园区企业生产工艺、园区内危险物品、危险废物排放情况4项指标;风险管控机制包括环境管理体系、环境风险管理体系、环境应急预案处置、环境监控情况4项指标;环境风险受体包括保护区类型、接纳水体环境、接纳大气环境、生态脆弱性、人口密度5项指标。

(2) 所构建的AHP模型评价体系中,通过打分得到风险管控机制、环境风险源和环境风险受体的权重分别为0.5057、0.3328和0.1616。该区域风险

评估结果中,风险综合值表现为环境风险源(69.939)>环境风险受体(38.076)>风险管控机制(33.420);各园区环境风险综合值表现为B园区(19.147)<D园区(19.265)<A园区(22.237)<C园区(23.646)<F园区(25.838)<E园区(30.321),各园区均属于中等环境风险。

(3) 针对宜宾沿江区域的环境风险特征,受益于其带来的经济发展的同时,也应注意生产安全,在长江上游水域的特殊环境背景下,严格执行国家及当地政府工业园区相关管控条例,控制源头,管控过程,保护受体。

#### 参考文献

- [1] 文传浩,滕祥河.长江经济带转型发展的方向[J].*开放导报*, 2017(3): 18-21.  
WEN C H, TENG X H. The direction of the Yangtze River economic belt transformation[J]. *China Opening Journal*, 2017(3): 18-21.
- [2] 曹啸.长江上游沿江经济带发展研究:以宜宾市为例[D].成都:四川省社会科学院, 2011.
- [3] 郭媛媛.浅析长江流域生态治理与经济发展[J].*热带农业工程*, 2020, 44(4): 101-104.  
GUO Y Y. Ecological governance and economic development of Yangtze River Basin[J]. *Tropical Agricultural Engineering*, 2020, 44(4): 101-104.
- [4] DING G Y, XIN L, GUO Q A, et al. Environmental risk assessment approaches for industry park and their applications[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020, 159: 104844.
- [5] TORRESAN S, CRITTO A, RIZZI J, et al. DESYCO: a decision support system for the regional risk assessment of climate change impacts in coastal zones[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2016, 120: 49-63.
- [6] DEPLEDGE M H, FOSSI M C. The role of biomarkers in environmental assessment: invertebrates[J]. *Ecotoxicology (London, England)*, 1994, 3(3): 161-172.
- [7] SHAO C F, YANG J A, TIAN X G, et al. Integrated environmental risk assessment and whole-process management system in chemical industry parks[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2013, 10(4): 1609-1630.
- [8] 史哲齐,李继繁,王悦,等.基于TOPSIS-AHP法的石化企业环境风险筛选研究[J].*南开大学学报(自然科学版)*, 2020, 53(1): 17-25.  
SHI Z Q, LI J F, WANG Y, et al. Study on environmental risk screening of petrochemical enterprises based on TOPSIS-AHP[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis*, 2020, 53(1): 17-25.
- [9] PENG J F, SONG Y H, YUAN P, et al. An novel identification method of the environmental risk sources for surface water pollution accidents in chemical industrial parks[J]. *Journal of*

- Environmental Sciences*, 2013, 25(7): 1441-1449.
- [ 10 ] GE Y, DOU W, GU Z H, et al. Assessment of social vulnerability to natural hazards in the Yangtze River Delta, China[J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2013, 27(8): 1899-1908.
- [ 11 ] GIUBILATO E, ZABEO A, CRITTO A, et al. A risk-based methodology for ranking environmental chemical stressors at the regional scale[J]. *Environment International*, 2014, 65: 41-53.
- [ 12 ] KARIMI M, NAZARI R, DUTOVA D, et al. A conceptual framework for environmental risk and social vulnerability assessment in complex urban settings[J]. *Urban Climate*, 2018, 26: 161-173.
- [ 13 ] 周德红.最大可信事故的化学工业园区风险分析[J]. *武汉工程大学学报*, 2011, 33(7): 66-68.  
ZHOU D H. Risk analysis of chemical industry park based on the maximum credible accident[J]. *Journal of Wuhan Institute of Technology*, 2011, 33(7): 66-68.
- [ 14 ] LIU H L. Parameter uncertainty analysis in environmental risk assessment caused by hazardous chemical accident[J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2019, 17( 5 ): 11851-11867.
- [ 15 ] MENG X J, ZHANG Y, YU X Y, et al. Regional environmental risk assessment for the Nanjing Chemical Industry Park: an analysis based on information-diffusion theory[J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2014, 28( 8 ): 2217-2233.
- [ 16 ] STEIN A, STARITSKY I, BOUMA J, et al. Interactive GIS for environmental risk assessment[J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1995, 9(5): 509-525.
- [ 17 ] HAN R R, ZHOU B H, AN L Y, et al. Quantitative assessment of enterprise environmental risk mitigation in the context of Na-tech disasters[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, 191(4): 210.
- [ 18 ] HUANG L, WAN W B, LI F Y, et al. A two-scale system to identify environmental risk of chemical industry clusters[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 186(1): 247-255.
- [ 19 ] 田园. 基于层次分析法的化工企业环境风险评估研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
- [ 20 ] SAVARD M. Modelling risk, trade, agricultural and environmental policies to assess trade-offs between water quality and welfare in the hog industry[J]. *Ecological Modelling*, 2000, 125(1): 51-66.
- [ 21 ] SAATY T L. What is the analytic hierarchy process[M]//*Mathematical Models for Decision Support*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1988: 109-121.
- [ 22 ] 朱坚平, 张丽, 韩辉.沿江区域事故风险评估风险因子研究[J]. *工业安全与环保*, 2011, 37(6): 4-5.  
ZHU J P, ZHANG L, HAN H. Study on the risk factor in regional accident risk assessment along the Yangtze River[J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2011, 37(6): 4-5.
- [ 23 ] 生态环境部. 建设项目环境风险评价技术导则: HJ 169—2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [ 24 ] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. 企业突发环境事件风险分级方法: HJ 941—2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [ 25 ] 李艳萍, 乔琦, 柴发合, 等. 基于层次分析法的工业园区环境风险评价指标权重分析[J]. *环境科学研究*, 2014, 27(3): 334-340.  
LI Y P, QIAO Q, CHAI F H, et al. Study on environmental risk assessment index weight of industrial park based on the analytic hierarchy Process[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2014, 27(3): 334-340.
- [ 26 ] 常杪, 黄泳锋, 李冬激, 等. 基于“检查表-层次分析法”的贵州省工业园区环境风险评估方法研究[J]. *四川环境*, 2015, 34(4): 121-127.  
CHANG M A, HUANG Y F, LI D W, et al. Study on environment risk assessment and management of industrial park in Guizhou Province based on the checklist- analytic hierarchy[J]. *Sichuan Environment*, 2015, 34(4): 121-127.
- [ 27 ] 郭丽娟, 袁鹏, 宋永会, 等. 化工园区企业环境风险分级管理研究[J]. *环境工程技术学报*, 2011, 1(5): 403-408.  
GUO L J, YUAN P, SONG Y H, et al. Environmental risk classification and management for chemical industry[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2011, 1(5): 403-408.
- [ 28 ] 金伟成, 吴俊杰, 解明媛. 沿江工业园区环境风险管理探讨[J]. *污染防治技术*, 2014, 27(3): 84-87.  
JIN W C, WU J J, XIE M Y. Investigation on the environmental risk management in the industrial park along Yangtze River[J]. *Pollution Control Technology*, 2014, 27(3): 84-87. □