

湖北兴福电子材料有限公司
IC 级磷酸产品
生命周期评价报告

编制单位：湖北兴福电子材料有限公司

编制日期：2022 年 5 月 24 日

企业名称	湖北兴福电子材料有限公司		
企业地址	宜昌市猇亭区猇亭大道 66-3 号		
统一社会信用代码	91420500679782802W		
企业性质	有限公司		
联系人	廖义	联系方式（电话、email）	18827268922
评价目的	评价生产1吨IC级磷酸的环境影响		
功能单位	1吨IC级磷酸产品		

评价结果：

依据ISO 14040:2006、ISO 14044:2006等产品生命周期评价相关标准，对企业生产的1吨IC级磷酸产品进行了环境影响评价，评价范围及结果如下所示：

(1) 系统边界

本研究的系统边界为原材料获取、原材料运输、磷酸生产、成品包装到产品出厂的1吨IC级磷酸生产的生命周期各阶段。

(2) 评价结果

研究过程中用到的中国生命周期基础数据库（CLCD）是由亿科开发，基于中国基础工业系统生命周期核心模型的行业平均数据库。CLCD数据库包括国内主要能源、交通运输和基础原材料的清单数据集。利用 eFootprint 软件系统，IC级磷酸的LCA分析结果如下：

表 1. 1 吨 IC 级磷酸 LCA 结果

环境影响类型指标	影响类型指标单位	LCA 结果
GWP	kg CO ₂ eq	3737.341
PED	MJ	63763.810
AP	kg SO ₂ eq	1.478
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	19.917
HHD	1,4-二氯苯当量/kg	15.539

(3) 生态设计建议

基于湖北兴福电子材料有限公司1吨IC级磷酸LCA结果，对减少环境影响方

面提出以下建议：

1) 原材料的生产过程中采用的上游原材料以及生产过程原、物料消耗对环境的影响直接影响本产品生命周期环境影响评价结果，其中原料黄磷的上游生产对环境的影响最大，建议选择对环境影响更少、环境更加友好的黄磷作为原材料；

2) 加强供应商管理，促进原材料供应商在原材料生产过程中减少原料、物料和能源消耗，降低对环境的影响。

3) 通过工艺改进、采取节能降耗措施等，继续减少电力消耗量，减少生产阶段中电力使用产生的排放。

(4) 其他

本产品生命周期模型建立过程中所有原材料的消耗量均来自于企业实际生产数据，未进行假设。因企业无法获得部分上游原材料的实景数据或实景数据获取不完整，因此部分原材料的上游数据来自于数据库同类型产品生产企业平均水平数据。

目录

1. 目标与范围定义	1
1.1. 目标定义	1
1.1.1. 产品信息	1
1.1.2. 功能单位	1
1.1.3. 数据代表性	1
1.2. 范围定义	1
1.2.1. 系统边界	1
1.2.2. 取舍原则	2
1.2.3. 环境影响类型	2
1.2.4. 数据质量要求	3
1.2.5. 软件与数据库	3
2. 数据收集	4
2.1. IC 级磷酸的生产	5
3. 生命周期影响分析	6
3.1. LCA 结果	6
3.2. 过程累积贡献分析	7
3.3. 清单数据灵敏度分析	8
4. 生命周期解释	14
4.1. 假设与局限性说明	14
4.2. 完整性说明	14
4.3. 数据质量评估结果	14
4.4. 结论与建议	15

1. 目标与范围定义

1.1. 目标定义

1.1.1. 产品信息

本研究的研究对象为：IC 级磷酸，具体信息如下：

规格型号：无

产品类别：无机酸制造（2611）

形状与形态：液态

1.1.2. 功能单位

本报告以 1 吨 IC 级磷酸为功能单位。

1.1.3. 数据代表性

报告代表企业 LCA-代表此企业及供应链水平（采用实际生产数据），时间、地理、技术代表性如下：

（1） 时间代表性：2021

（2） 地理代表性：中国

（3） 技术代表性，包括以下方面：

- 工艺设备：

打磷泵、水合塔、循环酸泵、成品泵、换从泵、压滤泵、稀酸高位槽、电子磷酸泵、磷酸储罐等

- 生产规模：1 条年产 30000 吨电子级磷酸产线

- 主要原料：黄磷

- 主要能耗：电力、蒸汽、水、压缩空气

1.2. 范围定义

1.2.1. 系统边界

本研究的系统边界为原材料获取、原材料运输、IC 级磷酸生产、成品包装到产品出厂的 1 吨 IC 级磷酸生产的生命周期各阶段。IC 级磷酸产品生命周期系统边界图见图 1。

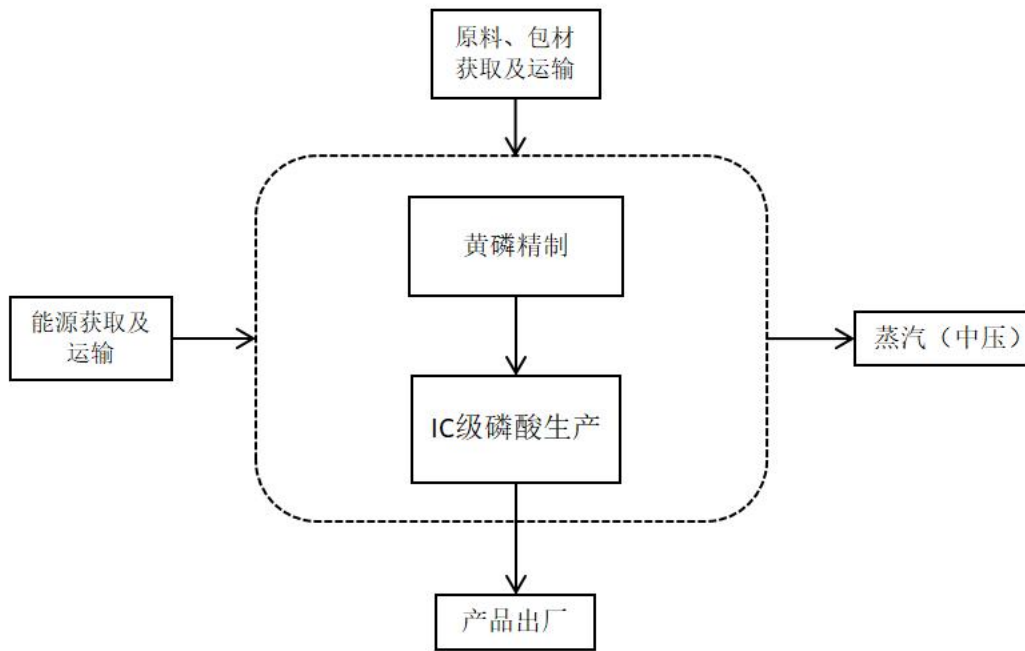


图 1 IC 级磷酸产品生命周期系统边界图

1.2.2. 取舍原则

本研究采用的取舍规则以各项原材料投入占产品重量或过程总投入的重量比为依据。具体规则如下：

- 普通物料重量 < 1% 产品重量时，以及含稀贵或高纯成分的物料重量 < 0.1% 产品重量时，可忽略该物料的上游生产数据；总共忽略的物料重量不超过 5%；
- 低价值废物作为原料，如粉煤灰、矿渣、秸秆、生活垃圾等，可忽略其上游生产数据；
- 大多数情况下，生产设备、厂房、生活设施等可以忽略；
- 在选定环境影响类型范围内的已知排放数据不应忽略。

1.2.3. 环境影响类型

本研究选择了全球变暖、初级能源消耗、酸化、富营养化和人体健康危害五类环境影响指标计算，具体见下表所示。

表 2. 环境影响类型指标

环境影响类型指标	影响类型指标单位	主要清单物质
全球变暖 (GWP)	kg CO ₂ eq.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O...
初级能源消耗 (PED)	MJ	硬煤, 褐煤, 天然气...
酸化 (AP)	kg SO ₂ eq	SO ₄ ²⁻
富营养化 (EP)	EP (kg PO ₄ ³⁻ eq.)	NO ₃ ⁻
人体健康危害 (HHD)	1,4-二氯苯当量/kg	颗粒物

注: eq 是 equivalent 的缩写, 意为当量。例如气候变化指标是以 CO₂ 为基准物质, 其他各种温室气体按温室效应的强弱都有各自的 CO₂ 当量因子, 因此产品生命周期的各种温室气体排放量可以各自乘以当量因子, 累加得到气候变化指标总量 (通常也称为产品碳足迹, Product Carbon Footprint, PCF), 其单位为 kg CO₂ eq.。

1.2.4. 数据质量要求

数据质量代表 LCA 研究的目标代表性与数据实际代表性之间的差异, 本报告的数据质量评估方法采用 CLCD 方法。

CLCD 方法对模型中的消耗与排放清单数据, 从①清单数据来源与算法、②时间代表性、③地理代表性、④技术代表性等四个方面进行评估, 并对关联背景数据库的消耗, 评估其与上游背景过程匹配的不确定度。完成清单不确定度评估后, 采用解析公式法计算不确定度传递与累积, 得到 LCA 结果的不确定度。

1.2.5. 软件与数据库

本研究采用 eFootprint 软件系统, 建立了 IC 级磷酸产品生命周期模型, 并计算得到 LCA 结果。eFootprint 软件系统是由亿科环境科技有限公司研发的在线 LCA 分析软件, 支持全生命周期过程分析, 并内置了中国生命周期基础数据库 (CLCD)、欧盟 ELCD 数据库和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

研究过程中用到的中国生命周期基础数据库 (CLCD) 是由亿科开发, 基于中国基础工业系统生命周期核心模型的行业平均数据库。CLCD 数据库包括国内主要能源、交通运输和基础原材料的清单数据集。

在 eFootprint 软件中建立的本产品 LCA 模型, 其生命周期过程使用的背景数据来源见下表:

表 3 背景数据来源表

清单名称	所属过程	数据集名称	数据库名称	备注
------	------	-------	-------	----

硅石	黄磷[生产]	硅石	CLCD-China-EC ER 0.8
白煤	黄磷[生产]	硬煤(烟煤,无烟煤)(主要包括烟煤和无烟煤)	CLCD-China-EC ER 0.8
电极	黄磷[生产]	人造石墨	CLCD-China-EC ER 0.8
电力	磷矿石【生产】	华中电网电力(到用户)	CLCD-China-EC ER 0.8
柴油	磷矿石【生产】	柴油(运输后)	CLCD-China-EC ER 0.8
电力	黄磷[生产]	华中电网电力	CLCD-China-EC ER 0.8
柴油	黄磷[生产]	柴油	CLCD-China-EC ER 0.8
水	黄磷[生产]	自来水(工业用)	CLCD-China-EC ER 0.8
五硫化二磷	IC级磷酸[生产]	忽略	-
硫化钠	IC级磷酸[生产]	忽略	-
工业级盐酸	IC级磷酸[生产]	盐酸	CLCD-China-EC ER 0.8
工业级液碱	IC级磷酸[生产]	烧碱	CLCD-China-EC ER 0.8
包装桶	IC级磷酸[生产]	高纯聚乙烯	CLCD-China-EC ER 0.8
纸板	IC级磷酸[生产]	瓦楞纸板	CLCD-China-EC ER 0.8
塑料托盘	IC级磷酸[生产]	高纯聚乙烯	CLCD-China-EC ER 0.8
塑料套袋	IC级磷酸[生产]	高纯聚乙烯	CLCD-China-EC ER 0.8
打包带	IC级磷酸[生产]	高纯聚乙烯	CLCD-China-EC ER 0.8
电力	IC级磷酸[生产]	华中电网电力	CLCD-China-EC ER 0.8
压缩空气	IC级磷酸[生产]		CLCD-China-EC ER 0.8
氮气	IC级磷酸[生产]	管道氮气	CLCD-China-EC ER 0.8
蒸汽	IC级磷酸[生产]	中压蒸汽	CLCD-China-EC ER 0.8

2. 数据收集

2.1. IC级磷酸的生产

(1) 过程基本信息

过程名称：IC级磷酸的生产

过程边界：原材料生产获取到产品生产打包出厂

(2) 数据代表性

主要数据来源：代表企业及供应链实际数据

产地：中国

基准年：2021

工艺设备：打磷泵、水合塔、循环酸泵、成品泵、换从泵、压滤泵、稀酸高位槽、电子磷酸泵、磷酸储罐等

主要原料：黄磷

主要能耗：电力、水、蒸汽

生产规模：1条30000吨/年电子级磷酸生产线

末端治理：公司产品生产过程中产生的污染物有废气、废水、固体废弃物。废气和废水采用了相应的处理技术，废气达标排放，废水零排放。固体废弃物按要求储存，外运给对应单位处理。

表4. 过程清单数据表

类型	清单名称	数量	单位	上游数据来源	用途/排放原因
产品产出	IC级磷酸	1	t	--	--
原材料/物料	黄磷	290.097	kg	实景过程数据	
原材料/物料	五硫化二磷	0.073	kg	忽略	
原材料/物料	硫化钠	1.604	kg	忽略	
原材料/物料	水	8.393	t	CLCD-China-ECE R 0.8	
原材料/物料	工业级盐酸	2.303	kg	CLCD-China-ECE R 0.8	
原材料/物料	工业级液碱	9.163	kg	CLCD-China-ECE R 0.8	
原材料/物料	包装桶	11.902	kg	CLCD-China-ECE R 0.8	

原材料/物料	纸板	0.397	kg	CLCD-China-ECE R 0.8	
原材料/物料	塑料托盘	3.519	kg	CLCD-China-ECE R 0.8	
原材料/物料	塑料套袋	0.299	kg	CLCD-China-ECE R 0.8	
原材料/物料	打包带	0.566	kg	CLCD-China-ECE R 0.8	
能源	电力	681.721	kWh	CLCD-China-ECE R 0.8	
能源	蒸汽	-0.589	t	CLCD-China-ECE R 0.8	蒸汽外供
能源	压缩空气	464.324	m ³	CLCD-China-ECE R 0.8	
能源	氮气	99.874	m ³	CLCD-China-ECE R 0.8	
待处置废物	磷酸钙	1.240	kg	忽略	
待处置废物	砷渣	0.568	kg	忽略	

(3) 运输信息

表 5. 过程运输信息表

物料名称	毛重	起点	终点	运输距离	运输类型
黄磷	290.097kg	保康楚烽	兴福电子	208km	货车运输-柴油
工业级液碱	9.163kg	宜昌	兴福电子	5km	货车运输-柴油
包装桶	11.902kg	上海	兴福电子	1200km	货车运输-柴油
纸板	0.397kg	宜昌	兴福电子	30km	货车运输-汽油
塑料托盘	3.519kg	上海金山	兴福电子	1160km	货车运输-柴油
塑料套袋	0.299kg	宜昌	兴福电子	38km	货车运输-柴油
打包带	0.566kg	宜昌	兴福电子	15km	货车运输-汽油

注：运输数据上游数据来源均来自 CLCD 数据库

3. 生命周期影响分析

3.1. LCA结果

在 eFootprint 上建模计算得黄磷的 LCA 计算结果，计算指标分为 GWP、PED、AP、EP、HHD。

表 12. IC 级磷酸 LCA 结果

环境影响类型指标	影响类型指标单位	LCA 结果
GWP	kg CO ₂ eq	3737.341
PED	MJ	63763.810
AP	kg SO ₂ eq	1.478
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	19.917
HHD	1,4-二氯苯当量/kg	15.539

3.2. 过程累积贡献分析

过程累积贡献是指该过程直接贡献及其所有上游过程的贡献（即原料消耗所贡献）的累加值。由于过程通常是包含多条清单数据，所以过程贡献分析其实是多项清单数据灵敏度的累积。

表 13. IC 级磷酸 LCA 累积贡献结果

名称	GWP (kg CO2 eq)	PED (MJ)	AP (kg SO2 eq)	EP (kg P043-eq)	HHD (kg 1,4-二氯苯 eq)
1 吨 IC 级磷酸【生产】	3737.341	63763.810	1.478	19.917	15.539
直接贡献	0.000	0.000	0.000	0.125	0.000
黄磷	3301.567	57585.097	1.295	17.340	14.081
水	1.495	19.129	0.001	0.012	0.006
电力	528.460	7396.602	0.204	2.500	2.078
黄磷-柴油货车运输	4.485	44.635	0.007	0.215	0.146
工业级盐酸	1.869	25.506	0.001	0.008	0.006
工业级液碱	6.727	89.269	0.003	0.034	0.030
工业级液碱-柴油货车运输	0.747	6.376	0.000	0.022	0.003
包装桶	32.141	624.885	0.008	0.133	0.085
包装桶-柴油货车运输	0.747	6.376	0.001	0.010	0.028
纸板	0.374	6.376	0.000	0.004	0.002
纸板-柴油货车运输	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
塑料托盘	9.717	184.915	0.003	0.040	0.025
塑料托盘-柴油货车运输	0.374	0.000	0.000	0.014	0.009
塑料套袋	0.747	12.753	0.000	0.004	0.002
塑料套袋-柴油货车运输	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002
打包带	1.495	31.882	0.000	0.006	0.005
打包带-柴油货车运输	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
压缩空气	48.212	0.000	0.000	0.010	0.005
氮气	17.566	229.550	0.007	0.082	0.068
外供蒸汽	-219.756	-2499.541	-0.053	-0.653	-1.041

砷渣	0.374	0.000	0.000	0.000	0.000
----	-------	-------	-------	-------	-------

3.3. 清单数据灵敏度分析

清单数据灵敏度是指清单数据单位变化率引起的相应指标变化率。通过分析清单数据对各指标的灵敏度，并配合改进潜力评估，从而辨识最有效的改进点。表中罗列了 GWP、PED、AP、EP、HHD 灵敏度的清单数据。

表 14. 清单数据灵敏度表

名称	GWP (kg CO2 eq)	PED (MJ)	AP (kg SO2 eq)	EP (kg P043-eq)	HHD (kg 1,4-二氯苯 eq)
1 吨 IC 级磷酸【生产】	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
直接贡献	0.00%	0.00%	0.01%	0.63%	0.00%
黄磷	88.34%	90.31%	87.62%	87.06%	90.62%
水	0.04%	0.03%	0.04%	0.06%	0.04%
电力	14.14%	11.60%	13.82%	12.55%	13.37%
黄磷-柴油货车运输	0.12%	0.07%	0.45%	1.08%	0.94%
工业级盐酸	0.05%	0.04%	0.05%	0.04%	0.04%
工业级液碱	0.18%	0.14%	0.17%	0.17%	0.19%
工业级液碱-柴油货车运输	0.02%	0.01%	0.03%	0.11%	0.02%
包装桶	0.86%	0.98%	0.56%	0.67%	0.55%
包装桶-柴油货车运输	0.02%	0.01%	0.09%	0.05%	0.18%
纸板	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.01%
纸板-柴油货车运输	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%
塑料托盘	0.26%	0.29%	0.17%	0.20%	0.16%
塑料托盘-柴油货车运输	0.01%	0.00%	0.02%	0.07%	0.06%

塑料套袋	0.02%	0.02%	0.01%	0.02%	0.01%
塑料套袋-柴油货车运输	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%
打包带	0.04%	0.05%	0.03%	0.03%	0.03%
打包带-柴油货车运输	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%
压缩空气	1.29%	0.00%	0.03%	0.05%	0.03%
氮气	0.47%	0.36%	0.47%	0.41%	0.44%
外供蒸汽	-5.88%	-3.92%	-3.56%	-3.28%	-6.70%
砷渣	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

根据表 13 和表 14，IC 级磷酸生命周期过程中 IC 级磷酸生产原材料阶段对环境的影响最大，下图中对产品生命周期中各环节进行分析。图 2 为各环节初级能源消耗 (PED) 的贡献情况，从图中可以看出，原材料黄磷的贡献最大，占 90.31%，其次为生产消耗电力，占比 11.60%，外供蒸汽贡献抵消占比 3.92%。

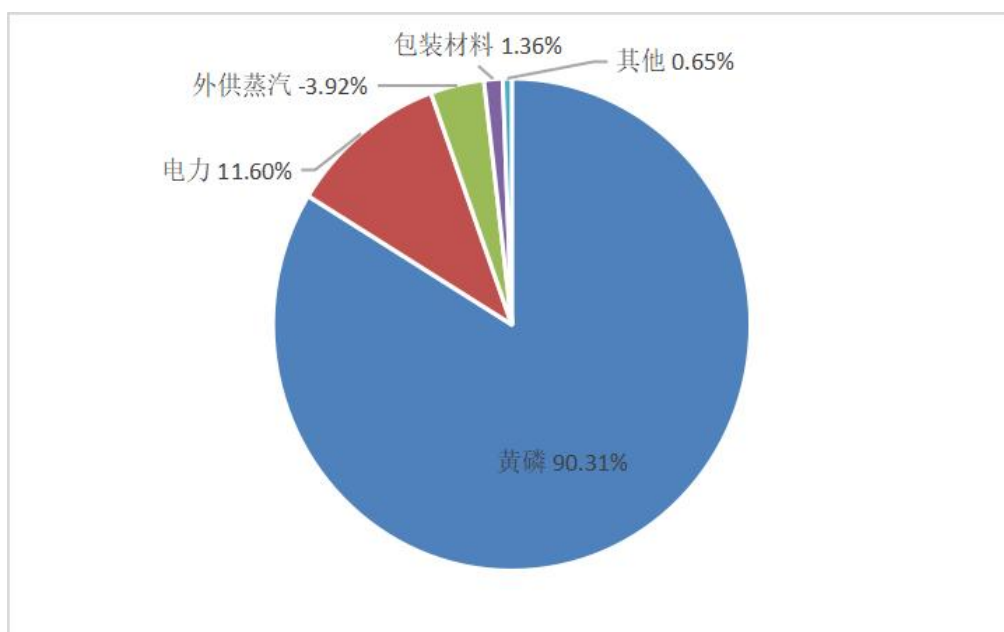


图 2 IC 级磷酸生产过程中各清单过程 PED 百分比饼图

下图 3 为各环节对气候变化 (GWP) 的贡献情况，从图中可以看出，原料黄磷的贡献最大，占 88.341%，其次为电力，占比为 14.14%。

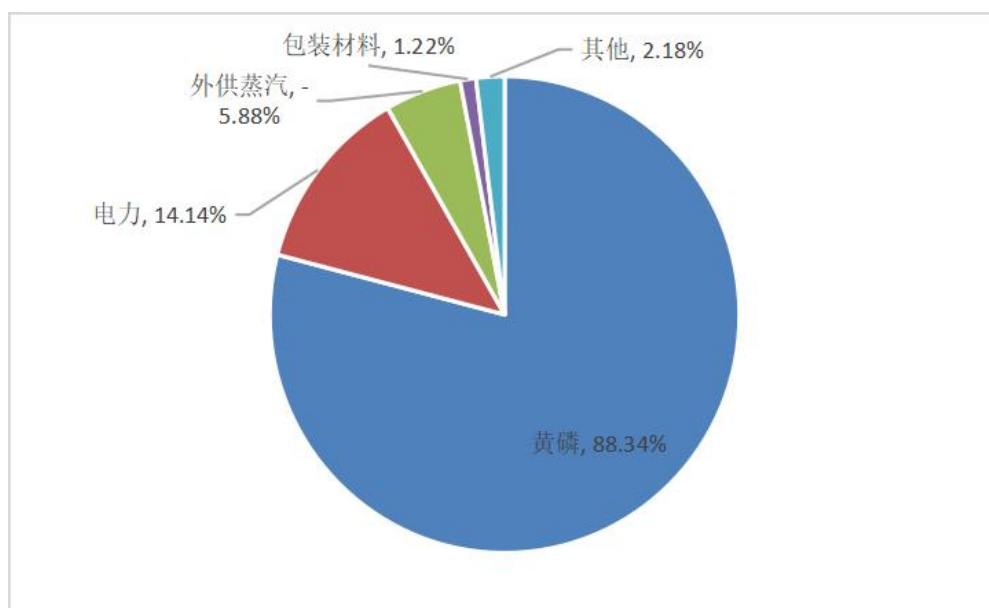


图 3 IC 级磷酸生产过程中各清单过程 GWP 百分比饼图

下图 4 为 IC 级磷酸生产各环节对酸化 (AP) 的贡献情况, 从图中可以看出, 原料黄磷的贡献最大, 占 87.62%, 其次为电力消耗贡献, 占比为 13.82%。

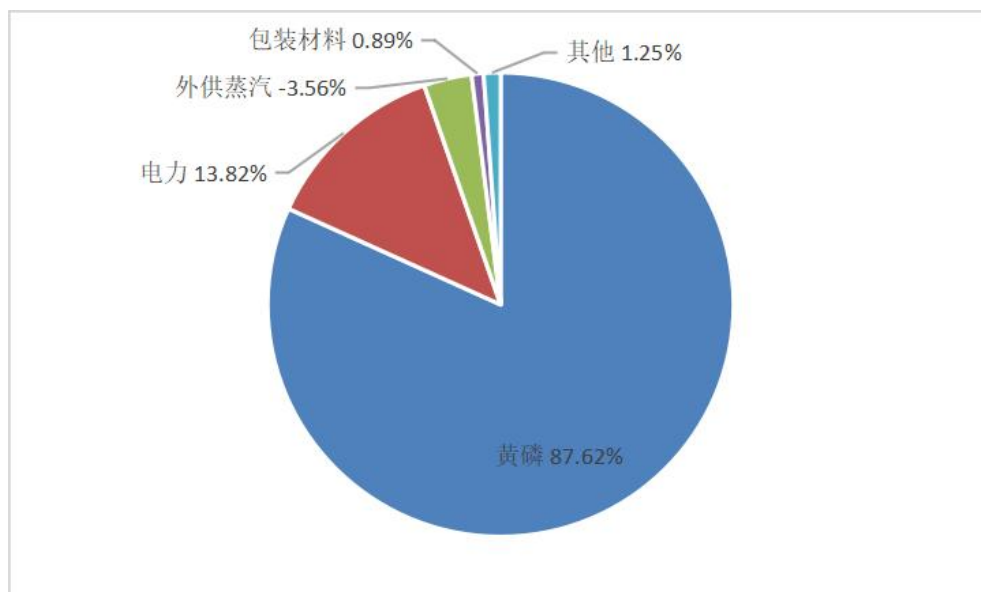


图 4 IC 级磷酸生产过程中各清单过程 AP 百分比饼图

下图 5 为各环节对人体健康危害 (HHD) 的贡献情况, 从图中可以看出, 原料黄磷的贡献最大, 占 90.62%, 其次为电力消耗排放, 占比为 13.37%。

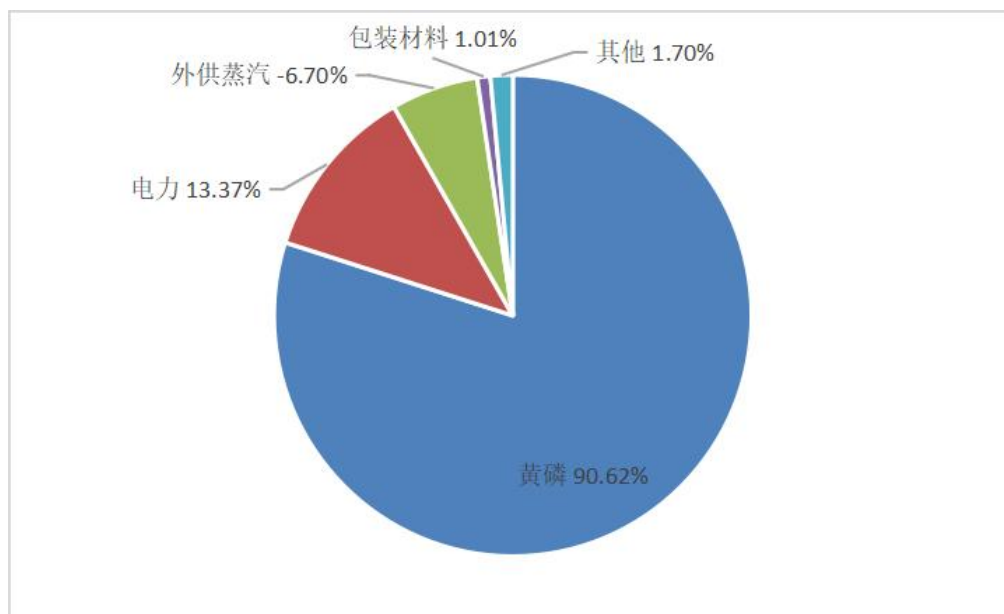


图 5 IC 级磷酸生产过程中各清单过程 HHD 百分比饼图

下图 6 为环节对富营养化 (EP) 的贡献情况, 从图中可以看出, 原料黄磷的贡献最大, 占 98.64%, 其次为消耗的电力 排放, 占比为 0.73%。

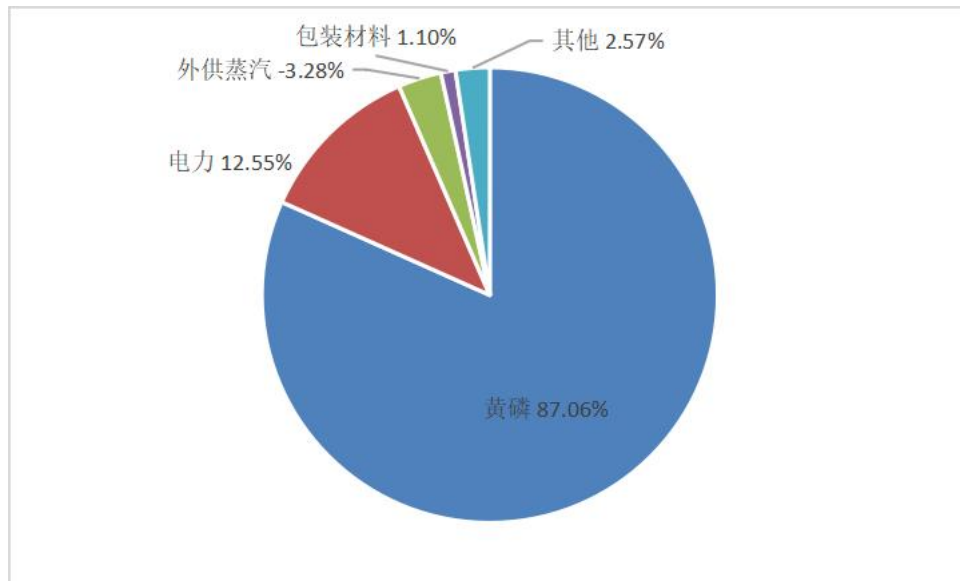


图 11 IC 级磷酸生产过程中各清单过程 EP 百分比饼图

4. 生命周期解释

4.1. 假设与局限性说明

本产品生命周期模型建立过程中所有原材料的消耗量均来自于企业实际生产数据，未进行假设。企业无法获得上游原材料的实景数据或实景数据获取不完整，研究过程中对数据根据物料平衡等进行了合理性修正。

原料黄磷的上游数据来源于企业供应链实际生产数据，工业级盐酸、工业级液碱、包装材料和能源（包含电力）及排放的数据均来自于数据库中数据。

4.2. 完整性说明

生命周期模型数据模型中上游生产数据完整，无需补充。

表 15. 数据缺失或忽略的物料汇总表

消耗名称	所属过程	上游数据来源	数量单位	重量比	检查结果
五硫化二磷	黄磷 [生产]	可忽略	0.073kg	0.01%	符合取舍规则
硫化钠	黄磷 [生产]	可忽略	1.604kg	0.16%	符合取舍规则
磷酸钙	黄磷 [生产]	可忽略	1.240kg	0.12%	符合取舍规则
砷渣	黄磷 [生产]	可忽略	0.568kg	0.06%	符合取舍规则

4.3. 数据质量评估结果

报告采用 CLCD 质量评估方法，在 efootprint 系统上完成对模型清单数据的不确定度评估。本报告研究类型为企业 LCA-代表此企业及供应链水平，得到数据质量评估评估结果见表。

表 16 . LCA 数据质量评估结果

指标名称	缩写（单位）	LCA 结果	结果不确定度	结果上下限 (95%置信区间)
初级能源消耗	PED(MJ)	63763.810	±9.53%	[5.24E+009, 6.35E+009]
气候变化	GWP(kg CO2 eq)	3737.341	±8.78%	[4.08E+008, 4.87E+008]
酸化	AP(kg SO2 eq)	1.478	±6.45%	[2.34E+006, 2.66E+006]

				+006]
富营养化	EP(kg P043- eq.)	19.917	±15.52%	[3.95E+003, 5.40E +003]
人体健康危害	HHD(1,4-二氯苯 当量/kg)	15.539	±10.83%	[9.01E+005, 1.12E +006]

4.4. 结论与建议

通过对1吨IC级磷酸产品的生命周期分析，从原材料生产、运输到产品生产各阶段的初级资源消耗、气候变化、酸化、富营养化和人体健康危害等环境影响指标的量化、评价和分析，从3.1~3.3的分析结果，可以看出消耗的电力对各项环境影响指标均较大，其他各原材料不同环境影响程度不同，这些结果可为下一步开展绿色工厂建设、生态产品生产提供依据。

基于以上分析结果，本产品可在以下三个方面进行改进，以进一步减少产品对环境的影响：

1) 原材料的生产过程中采用的上游原材料以及生产过程原、物料消耗对环境的影响直接影响本产品生命周期环境影响评价结果，其中黄磷的上游生产对环境的影响较大，建议选择对环境影响更少、环境更加友好的黄磷作为原材料；

2) 加强供应商管理，促进原材料供应商在原材料生产过程中减少原料、物料和能源消耗，降低对环境的影响；

3) 通过分析结果可以发现，IC级磷酸产品生产阶段中，消耗的电力对环境的影响占比较大，建议企业通过工艺改进、采取节能降耗措施、使用清洁能源等，减少生产电力消耗量，降低生产阶段中电力使用产生的排放。