

LCA 数据库专题竞赛

参赛报告

参赛小组信息：

LCA 数据集名称：甲醇(99.5%)-煤制甲醇-中国-2016

小组成员：梁田，鲁春阳，高宇，姬嘉琳

指导老师：王姗姗

大学/学院：郑州大学/化学与分子工程学院

参赛题目：煤制甲醇生命周期评价

一、技术代表性分类和目标代表性定义

本小组选择【甲醇】作为 LCA 研究的目标产品。

通过查阅资料，对“甲醇 LCA”的技术代表性进行了分类分析，并最终明确定义了本研究的目标代表性。

1、甲醇的技术代表性分类分析

(1) 技术代表性的基本分类与单元过程划分

表 1 甲醇的技术代表性基本分类与单元过程划分

分类方法	分类结果与解释
1、按基本工艺技术分类	两种基本工艺技术： • “天然气制甲醇”工艺 • “煤制甲醇”工艺 本表以下分类均基于“煤制甲醇”工艺技术
2、按主要原料种类分类	按煤的挥发分，将所有煤分为：褐煤、烟煤和无烟煤。 本表以下分类均基于烟煤和无烟煤的混合煤
3、在数据调查范围中划分单元过程	煤化工企业生产通常从煤炭开采开始到甲醇出厂为止。 从各种资料中分生产过程的数据可得性考虑，LCA 模型中可以划分 5 个单元过程：煤炭开采、煤气化、变换、低温甲醇洗、甲醇合成及精馏。

(2) 单元过程的技术代表性细分

表 2 甲醇生产单元过程的技术代表性细分

单元过程 技术 代表性细分	煤炭开采	煤气化	变换	低温甲醇洗	甲醇合成及精馏
(1) 产品规格型号	未区分	煤气的原料为烟煤和无烟煤 1:1 混合煤	未区分	未区分	甲醇通常按浓度分类 <ul style="list-style-type: none"> • 99.99% • 99.9% • 99.5% • 90%
(2) 原辅料类型	烟煤和无烟煤	干煤粉, 液态排渣 其他辅料未区分	Fe-Cr 系变换催化剂 Cu-Zn 系变换催化剂 Co-Mo 系变换催化剂	本工段采用低温甲醇洗工艺脱除变换气中 CO ₂ 、全部硫化物、其它杂质和 H ₂ O	铜基催化剂 非铜基催化剂 液相催化剂
(3) 能耗类型	未区分	主要使用电力, 未区分	主要使用电力, 未区分	主要使用电力, 未区分	主要使用电力, 未区分
(4) 工艺设备类型	分为露天开采和地下开采, 地下开采为主 皮带运输为主, 未区分	壳牌气化炉 <ul style="list-style-type: none"> • 固定床气化 (代表: Lurgi) • 流化床气化 (代表: Winkler) • 气流床气化 (代表: Texaco、Shell) 	宽温耐硫部分变换工艺	未区分	甲醇生产采用 Lurgi 工艺 精馏采用“3+1”塔工艺
(5) 生产规模类型	未区分	未区分	未区分	未区分	50 万 t/a <ul style="list-style-type: none"> • 大中型: 20~60 万 t/a • 小型(包括联醇): 2~10 万 t/a
(6) 辅助工艺设备类型	未区分	未区分	废水去生化处理	硫回收系统 (克劳斯硫回收装置)	<ul style="list-style-type: none"> • 废水去生化处理 • 部分粗甲醇进入二甲醚装置

2、目标代表性定义

(1) 选定技术代表性

从资料调研中知道, 以煤炭为主要原料、以电和蒸汽为主要能源、采用煤制甲醇工艺生产的甲醇 (99.5%), 占到中国甲醇市场份额

66%以上。天然气制甲醇仅占中国市场份额的 26%。因此煤制甲醇是甲醇 LCA 数据集开发的首选基本技术代表性。

(2) 选定目标代表性：

本 LCA 研究的目标代表性定义为：以煤炭为主要原料、以电和蒸汽为主要能源、采用煤制甲醇生产的甲醇（99.5%）。数据应代表中国 2016 年企业及供应链水平。

选定的目标代表性应写入 LCA 模型的目标与范围定义中（如下图中 eFootprint 界面截图所示）。

The screenshot shows the '目标与范围定义' (Target and Scope Definition) section of the eFootprint LCA model. The model name is '甲醇(t, 99.5%), 企业LCA-代表此企业及供应链水平 (采用实际生产数据), 中国, 2016'. The interface is divided into two main sections: '研究目标' (Research Objectives) and '研究范围' (Research Scope).

研究目标 (Research Objectives):

- *产品名称: 甲醇
- 规格型号: 99.5%
- *研究类型: 企业LCA-代表特定企业及供应链水平 (用于企业产品报告/工艺设备选型分析)
- 产品类别: 99.5%
- 形状与形态: 溶液
- 功能单位与基准流: 生产1t甲醇 (99.5%)

研究范围 (Research Scope):

- *系统边界: 生命周期-生产阶段 (从资源开采到产品出厂)
- 产地: 中国
- 工艺设备: 壳牌气化炉、甲醇三合一塔精馏装置
- 主要原料: 煤炭
- 取舍规则:
 - 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。
- 实量过程范围: 汽化、变换、低温甲醇洗、甲醇合成及精馏
- *基准年: 2016
- 生产规模: 500kt/a
- 主要能耗: 电、蒸汽
- 数据质量评估: CLCD方法
- 项目信息:
 - 项目名称
 - 委托方
 - 委托目的
 - 潜在应用

图 1 LCA 模型的目标代表性定义（eFootprint 截图）

另外，通过上述分析还可以注意到：除上述市场份额最大的技术代表性之外，还有一些技术因素会导致 LCA 结果显著变化，例如天然气制甲醇等，其 LCA 结果将有显著不同，应该单独收集数据，开发独立的 LCA 数据集，但不在本次的 LCA 研究范围之内。

二、 LCA 数据集文档

数据集名称：99.5%甲醇-煤制甲醇-中国-2016

1、 系统功能与系统边界

系统功能与基准流： 甲醇生产，1 吨

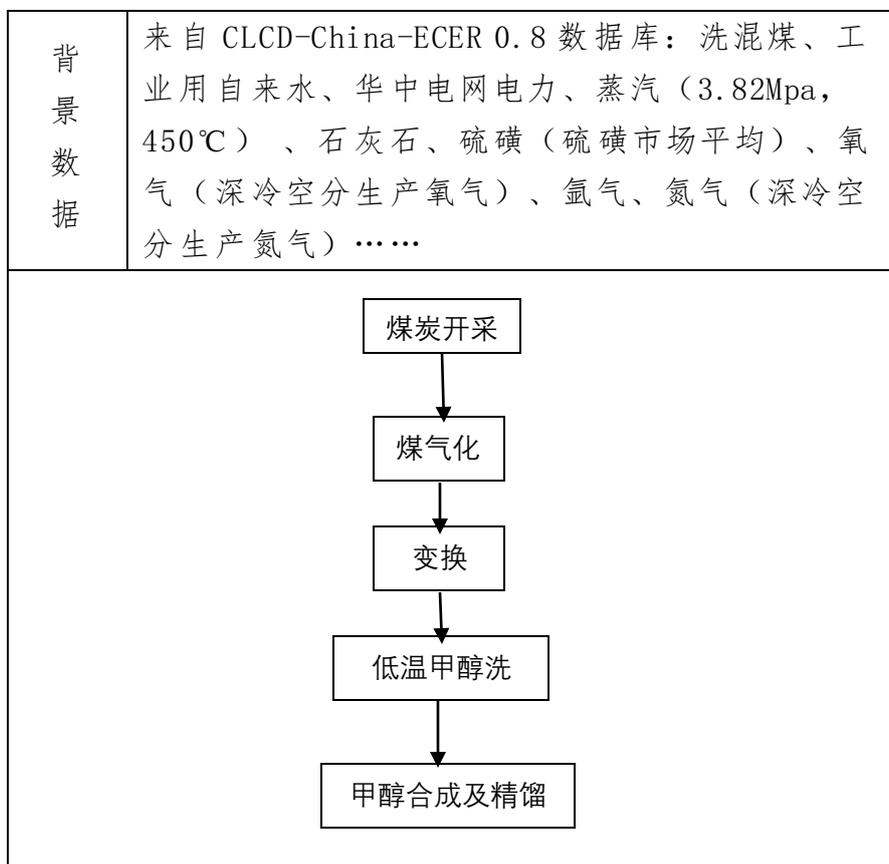
LCA 研究类型： 企业 LCA-代表特定企业及供应链水平

产地： 中国

基准年： 2016 年

系统边界： 从各种主要资源开采到甲醇出厂为止（“从摇篮到大门”）

- **实景过程：** 划分为煤炭开采、煤气化、变换、低温甲醇洗、甲醇合成及精馏五个单元过程，包含主要生产工序、末端治理。
- **背景过程：** 采用背景数据库，追溯了各种原料的上游生产过程直到资源开采为止。



2、 实景过程数据代表性

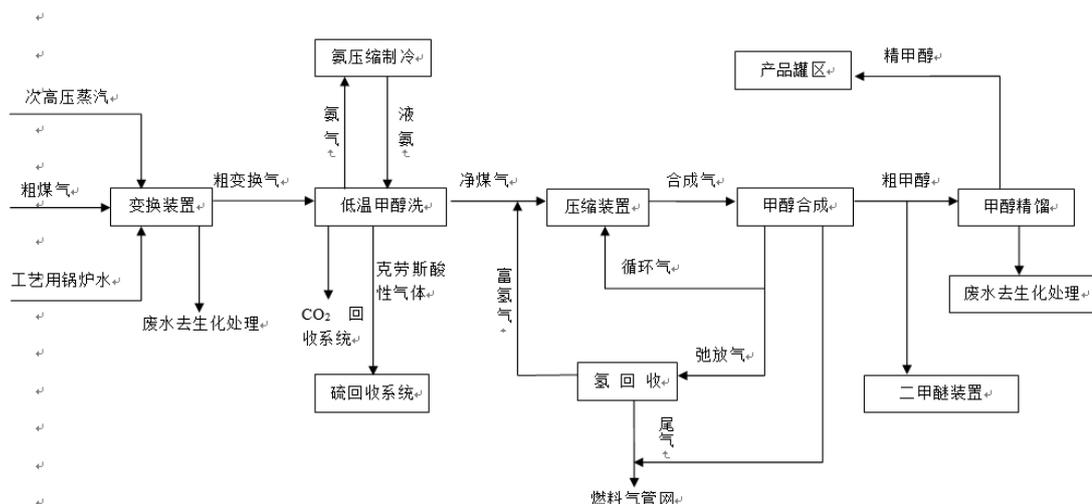
产品种类与规格： 99.5% 甲醇

主要技术代表性： 煤炭制甲醇、常规原料（煤炭）、常规能耗（煤炭、电力）

类别 过程名称	工艺设备与规模	主要消耗	主要排放
煤炭开采	地下开采为主	煤矿、电力、柴油	CO ₂ 、颗粒物
煤气化	气化炉 (φ 4680, H=31640)	煤炭、电力、高压蒸汽	CO ₂ 、烟粉尘
变换	第一变换炉 (φ 3400×9200) ; 第二变换炉 (φ 4000×11400)	电力、次高压蒸汽	废水
低温甲醇洗	循环甲醇冷却器 (φ 2400×10000A=20000 m ²) ; 甲醇洗涤塔 (φ 3200H~47450 浮阀塔)	电力	CO ₂ 、H ₂ S
甲醇合成及精馏	甲醇合成塔 (φ 3800, H=140000) ; 预精馏塔 (φ 2400, H=40000) ; 加压精馏塔 (φ 3000, H=50000) ; 常压精馏塔 (φ 4000, H=55000)	电力	低压蒸汽、废水

主要数据来源：企业清洁生产审核报告、煤化工行业研究论文、工业源产排污系数手册（2010 修订）中册、大气污染物综合排放标准（GB16297-1996）、企业生产数据。模型包含了行业排放标准里所有的排放，并补充了来自文献资料统计的排放数据。

实景过程工艺流程图



3、 建模方法

副产品： 硫磺、液氨、液氮、液氧、二甲醚（按物理分配）。

再生循环： 无再生原料消耗，无废弃再生过程。

取舍规则： 符合 CLCD 取舍规则。

缺失过程： 二甲醚副产品数据缺失（无二甲醚上游生产数据）。

背景过程数据库： 主要原料均采用 CLCD-China-ECER 0.8。

软件工具： 采用亿科 eFootprint 系统，在线完成全部 LCA 工作，包括建模、计算分析、数据质量评估、LCA 结果发布。

4、 LCA 结果分析

- **过程累积贡献分析：** 以 GWP（全球暖化/碳足迹）、PED（初级能源消耗）、WU（水资源消耗）、AP（酸化）、EP（水体富营养化）这 5 种指标为例。

甲醇					
目标与范围定义 生命周期模型 LCA结果 评审					
累积贡献 灵敏度分析 完整性检查 数据质量评估 报告与发布					
基准流: 甲醇-甲醇(1t)					
百分比					
过程名称	GWP (kg CO ₂ eq)	PED (MJ)	WU (kg)	AP (kg SO ₂ eq)	EP (kg PO ₄ eq)
甲醇	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
直接贡献	0%	0%	0%	0.97%	0.44%
原料煤	56.40%	92.11%	1.84%	86.14%	85.47%
水	0.34%	0.06%	91.99%	0.35%	0.44%
电力	1.31%	0.23%	0.18%	1.32%	1.07%
蒸汽	42.22%	1.64%	0.65%	87.34%	86.88%
石灰石	0.02%	0.00%	0.00%	0.09%	0.19%
硫磺	-0.24%	-0.03%	-0.02%	-0.15%	-0.14%
液氧	-0.06%	-0.01%	-0.02%	-0.06%	-0.05%
液氩	-0.00%	-0.00%	-0.01%	-0.00%	-0.00%
液氮	-0.00%	-0.00%	-0.00%	-0.00%	-0.00%

从图中可以看出对 GWP（全球暖化/碳足迹）贡献最大的是原料煤、对 PED（初级能源消耗）贡献最大的是原料煤、对 WU（水资源消耗）贡献最大的是水、对 AP（酸化）贡献最大的是蒸汽、对 EP（水体富营养化）贡献最大的原料煤。

- 单个过程的贡献分析：以全球暖化指标的柱状图为例。



从图中可以看出这几种物质和能源的消耗对 GWP（全球暖化/碳足迹）的贡献。其中贡献最大的是原料煤和蒸汽的消耗

- 清单数据灵敏度分析：实景过程的各项消耗与排放对 LCA 结果的贡献率（即灵敏度），由此排序可以识别重要的消耗排放。

过程名称	清单名称	上游数据类型	GWP (kg ...)	PED (MJ)	WU (kg)	AP (kg SO2 eq)	EP (kg PO43-eq)
甲醇	原料煤	背景AP	56.40%	92.11%	7.84%	36.14%	45.47%
甲醇	蒸汽	背景AP	42.22%	7.64%	10.65%	37.34%	26.38%
甲醇	电力	背景AP	1.31%	0.23%	0.18%	1.32%	1.07%
甲醇	水	背景AP	0.34%	0.06%	81.39%	0.35%	0.44%
甲醇	石灰石	背景AP	0.02%	0.00%	0.00%	0.09%	0.19%
甲醇	二甲醚	数据不可得	0%	0%	0%	0%	0%
甲醇	废气 [排放到大气 (未指定类型, 长期)]	排放	0%	0%	0%	0%	0%
甲醇	总颗粒物 [排放到大气 (未指定类型, 长期)]	排放	0%	0%	0%	0%	0%
甲醇	炉渣、矿渣、熔渣 (未指定类型) [生产过程废弃物]	排放	0%	0%	0%	0%	0%
甲醇	废水 [排放到水体 (未指定类型, 长期)]	排放	0%	0%	0%	0%	0%
甲醇	二氧化硫 [排放到大气 (未指定类型, 长期)]	排放	0%	0%	0%	13.06%	0%
甲醇	氮氧化物 [排放到大气 (未指定类型)]	排放	0%	0%	0%	11.91%	26.64%
甲醇	液氮	背景AP	-0.00%	-0.00%	-0.00%	-0.00%	-0.00%
甲醇	液氢	背景AP	-0.00%	-0.00%	-0.01%	-0.00%	-0.00%
甲醇	液氧	背景AP	-0.06%	-0.01%	-0.02%	-0.06%	-0.05%

从清单数据灵敏度分析中可以看出对上述 5 种指标贡献最大的是原料煤和蒸汽的消耗。

5、 CLCD 数据质量评估

- **识别重要数据：**eFootprint 计算每一项消耗或排放对各项 LCA 指标的灵敏度，然后按其最大的灵敏度排序。

过程名称	清单名称	最大灵敏度	评估状态
甲醇	原料煤	ODP (kg CFC-11 eq):95.29%	已评估
甲醇	水	WU (kg):81.39%	已评估
甲醇	蒸汽	RI (kg PM2.5 eq):75.29%	已评估
甲醇	氮氧化物 [排放到大气 (未指定类型)]	EP (kg PO43-eq):26.64%	已评估
甲醇	二氧化硫 [排放到大气 (未指定类型, 长期)]	AP (kg SO2 eq):13.06%	已评估
甲醇	电力	AP (kg SO2 eq):1.32%	已评估
甲醇	硫磺	POFP (kg NMVOC eq):-1.29%	已评估
甲醇	总颗粒物 [排放到大气 (未指定类型, 长期)]	RI (kg PM2.5 eq):0.77%	已评估
甲醇	石灰石	POFP (kg NMVOC eq):0.52%	已评估
甲醇	液氢	AP (kg SO2 eq):-0.06%	已评估
甲醇	液氧	WU (kg):-0.01%	已评估
甲醇	液氮	AP (kg SO2 eq):-0.00%	已评估

- **不确定度评估：**eF/CLCD 系统采用谱系矩阵评估主要消耗和排放（灵敏度>1%）的不确定度，以及主要消耗连接的背景数据的匹配不确定度。

清单数据不确定性评估

过程名称: 甲醇; 清单名称: 原料煤; 数量单位: 1.596(t)

清单数据资料不确定性评估

清单数据基础不确定度 (自定义): ± %

评估项	实型过程目标代表性	清单数据实际代表性	不确定度(±)
* 主要数据来源	代表企业及...	产品配料表...	5.00%
* 样本代表性	代表企业及供应链实际数据	> 75%全年...	0%
* 时间代表性	2016	2016	0%
* 地理代表性	中国	中国	0%
* 技术代表性	过程名称...	从被研究企...	0%

背景数据匹配不确定性评估

评估项	清单数据目标代表性	背景过程实际代表性	不确定度(±)
* 主要数据来源	代表企业及供应链实际数据	代表行业平均数据	5.00%
* 时间代表性	2016	2013	5.00%
* 地理代表性	中国	中国	0%
* 种类规格代表性	消耗清单...	消耗与原料...	0%

评估

清单数据评估结果: ±8.66%

清单数据不确定性评估

过程名称: 甲醇; 清单名称: 蒸汽; 数量单位: 1.739(t)

清单数据资料不确定性评估

清单数据基础不确定度 (自定义): ± %

评估项	实型过程目标代表性	清单数据实际代表性	不确定度(±)
* 主要数据来源	代表企业及供...	产品配料表/B...	5.00%
* 样本代表性	代表企业及供应链实际数据	> 75%全年产...	0%
* 时间代表性	2016	2016	0%
* 地理代表性	中国	中国	0%
* 技术代表性	过程名称...	从被研究企业...	0%

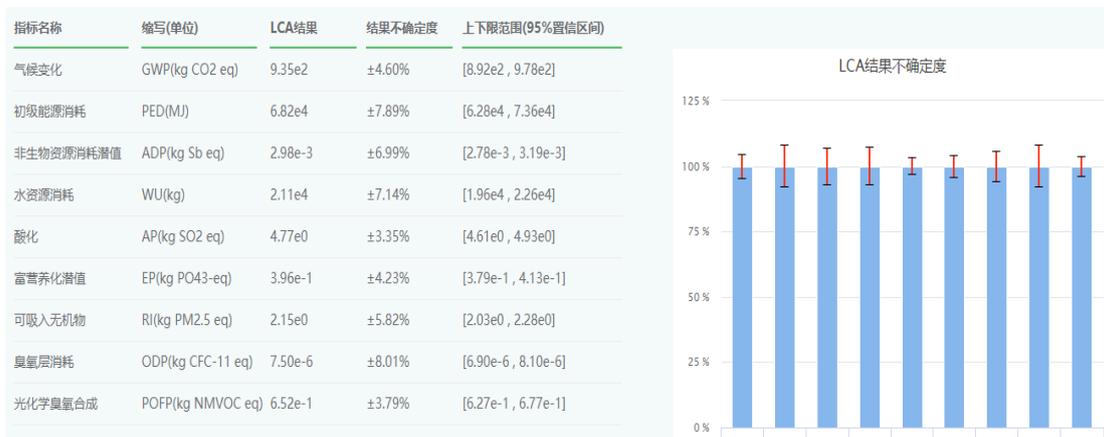
背景数据匹配不确定性评估

评估项	清单数据目标代表性	背景过程实际代表性	不确定度(±)
* 主要数据来源	代表企业及供应链实际数据	代表行业平均数据	5.00%
* 时间代表性	2016	2013	5.00%
* 地理代表性	中国	中国	0%
* 种类规格代表性	消耗清单...	消耗与原料的...	0%

评估

清单数据评估结果: ±8.66%

- **LCA 结果的不确定度:** 最终得到每项 LCA 指标结果的不确定度, 如下图所示。用户可以根据不确定度结果, 补充收集数据, 迭代改进。



6、数据集适用范围

- 中国市场 66% (2016 年) 的甲醇都是采用煤制甲醇生产的, 因此绝大多数情况下可采用本数据集所建立的甲醇 LCA 模型。
- 天然气制甲醇, 与上述煤制甲醇的 LCA 模型存在较大差异, 需要另行开展 LCA 研究。

比赛心得: 刚接触到 LCA 时, 是通过导师的指引了解到亿科, 后来为了进

一步深入学习 LCA 参加了这次竞赛，在学习过程中遇到了非常多的困难，但这也是进步的必经之路。通过这次 LCA 竞赛以及导师和王洪涛等老师指导，我们小组成员学到很多关于应用亿科 eFootprint 系统这个工具来研究环境问题的知识。谢谢主办方组织的这次 LCA 比赛，希望下届还能参加。再次感谢亿科给我们这次宝贵的学习机会来提升自己！