

LCA 数据库专题竞赛

参赛报告

参赛小组信息：

LCA 数据集名称：煤电-超高压电站锅炉-液氨 SCR 脱硝、除尘、湿法石膏脱硫-中国-2016

小组成员：毕雅璐

指导老师：张立麒

大学/学院：华中科技大学/煤燃烧国家重点实验室

一、 技术代表性分类和目标代表性定义

本小组选择**煤电**作为 LCA 研究的目标产品。

通过查阅资料，对“**煤电的 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、 煤电产品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 燃煤电厂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、按电站锅炉出口蒸汽参数分类	蒸汽参数即锅炉出口蒸汽压力： <ul style="list-style-type: none">• 中压锅炉:3.8 ~ 5.4 MPa,最常用蒸汽参数 3.8MPa,450℃• 高压锅炉: 9.8 ~ 13.7 MPa,最常用蒸汽参数 9.8MPa,450℃• 超高压锅炉:13.7 ~ 16.7 MPa,最常用蒸汽参数 13.4MPa/538℃/538℃• 亚临界锅炉: 16.7~22.1 MPa,最常用蒸汽参数 16.7MPa/538℃/538℃• 超临界锅炉: 22.1 ~27 MPa, 23.5~26.5MPa/538~543℃/538℃~566℃• 超超临界锅炉: > 27 MPa,额定出口温度 ≥590℃ 本表以下均基于“超高压锅炉”
2、按电站锅炉排渣方式分类	排渣方式分为 <ul style="list-style-type: none">• 固态排渣锅炉，大多数锅炉采用固态排渣• 液态排渣锅炉 本表以下均基于“固态排渣锅炉”
3、按电厂冷却	三种常见的冷却方式：

方式分类	<ul style="list-style-type: none"> • 空气冷却，是当前的电厂建设的优选 • 直流冷却 • 循环冷却 本表以下均基于“空气冷却”
4、在数据调查范围中划分单元过程	电站锅炉的运行通常从煤炭的开采到燃煤发电为止。从相关资料中划分运行过程以及考虑数据的可得性，超高压燃煤电厂运行的 LCA 模型可以划分为 4 个单元过程： 煤粉的燃烧、烟气脱硝、除尘、脱硫

(2) 单元过程的技术代表性细分

表 2 燃煤电厂运行过程的单元技术代表性细分

单元过程 技术 代表性细分	煤粉的燃烧	烟气脱硝	除尘	脱硫
(1) 产品规格型号	超高压锅炉	氨法 SCR 脱硝	<ul style="list-style-type: none"> • 电除尘器 • 布袋除尘器 	石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺
(2) 原辅料类型	<ul style="list-style-type: none"> • 工艺水 • 工业水 	<ul style="list-style-type: none"> • 液氨 • 氧化钛基催化剂 	未区分	<ul style="list-style-type: none"> • 石灰石 • 地表水 • 废水处理剂
(3) 能耗类型	<ul style="list-style-type: none"> • 动力煤 -锦界煤洗煤 2(NC-09-647)	电能，厂内自产	电能，厂内自产	<ul style="list-style-type: none"> • 电能，厂内自产
(4) 工艺设备类型	π 型布置、单炉膛、四角切圆燃烧、固态排渣	板式催化剂，采用“2+1”模式	<ul style="list-style-type: none"> • 五电厂电除尘器 • 四电厂除尘器 • 三电厂除尘器 • 其他 	<ul style="list-style-type: none"> • 吸收塔系统 • 石灰石上料及浆液制备系统 • 石膏脱水及废水系统
(5) 生产规模类型 (技术代表性)	超高压锅炉，净输出功率 ~185.5MW	脱硝效率 $\geq 80\%$ ，	除尘效率 $\geq 99.5\%$	脱硝效率 $\geq 95\%$
(6) 辅助工艺设备类型	制粉系统 水处理系统 通风系统等	液氨储罐	配备脱硫技术可以协同去除 PM，提高除尘效率	增压风机 球磨机 真空皮带脱水机

2、目标代表性定义

(1) 选定技术代表性

从资料调研中知道，电站锅炉作为火力发电最重要的三大主机之一，一台蒸汽参数为 670t/h 的超高压锅炉配套容量为 200MW 的汽轮机，是目前所运行电站锅炉的主体，可以很好的代表传统的煤电行业。此外随着《燃煤电厂大气污染物排放标准》的公布，传统燃煤电站也配备了各种烟气净化系统，以动力煤为主要能源/原料，采用超高压电站锅炉，配有除尘、氨法 SCR 脱硝、石灰石-石膏湿法脱硫设备的燃煤电厂，是当前中国煤电行业的最常见的系统配置。因此是燃煤电厂运行 LCA 数据集开发的首选基本技术代表性。

除上述基本技术代表性外，动力煤的种类、SCR 脱硝的还原剂以及脱硫系统的水源也是影响 LCA 结果的重要因素（因为原材料的改变会影响上游的生产以及下游废物的处理和排放），因此这些因素对 LCA 结果有重要影响，需要特别注明。

结合当前燃煤电厂中成熟稳定的技术方案，对上述的影响因素进行了细分及说明，得到 LCA 技术代表性划分如表 3。

表 3 常规燃煤电厂原材料使用分类

影响因素	设计类型/原料	技术说明 (LCA 技术代表性)
煤种	动力煤	锦界煤洗煤 2 (NC-09-647)
氨法 SCR 脱硝技术	液氨	液氨储罐、蒸发槽、缓冲槽、废水泵
	氨水	氨水储罐、蒸发塔、氨水泵、循环泵
	尿素	尿素储仓、尿素溶液储分解室及风机
石灰石-石膏湿法脱硫 (脱硫效率~95%)	水源	地表水
		海水

(2) 选定目标代表性：

本 LCA 研究的目标代表性定义为：**以锦界煤洗煤 2 (NC-09-647) 动力煤为主要能源/原料、采用超高压电站锅炉生产的煤电，且除尘、脱硝、脱硫技术对应的原料（见表 3）。数据应代表 2016 中国传统超高压燃煤电站锅炉（技术）的平均水平。**

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）。

目标与范围定义 生命周期模型 LCA结果 评审

模型名称: 煤电(MWh, 超高压燃煤锅炉), 行业LCA-代表市场或技术平均水平 (采用行业/技术/多家企业资料), 中国, 2016

研究目标

*产品名称: 煤电

产品类别: 火电

规格型号: 超高压燃煤锅炉

形状与形态: 其他

*研究类型: 行业LCA-代表特定技术/全行业/市场平均水平 (用于流程行业数据库...)

功能单位与基准流: 净输出1MWh电能

研究范围

*系统边界: 生命周期-生产阶段 (从资源开采到产品出厂)

实景过程范围: 煤粉的燃烧、烟气SCR脱硝、静电除尘、湿法脱硫、固废处理

产地: 中国

*基准年: 2016

工艺设备: 超高压锅炉、SCR脱硝设备、湿法脱硫设备、静电除尘器及其辅助设备

生产规模: 大型电站锅炉 (670t/h) 配套200MW的汽轮机组

主要原料: 动力煤--锦界煤洗煤2 (NC-09-647)

主要能耗: 动力煤

取舍规则:

1. 普通物料重量 < 1% 产品重量时, 以及含稀有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%
2. 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;
3. 大多数情况下, 生产设备、厂房、生活设施等可以忽略;
4. 在选定环境影响类型范围内的已知排放数据不应忽略。

数据质量评估: CLCD方法

项目信息:

- 1) 项目名称
- 2) 委托方
- 3) 委托目的
- 4) 潜在应用

图 1 LCA 模型的目标代表性定义 (eFootprint 截图)

另外, 通过系统分析还需要注意到: 除上述所提及的代表性之外, 还有一些系统因素会导致 LCA 结果显著变化, 例如采用不同参数的锅炉、其他先进的燃烧技术 (CCS)、固废处理系统、不同类型 SCR 催化剂型号 (如蜂窝式催化剂等, 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, 但不本次的 LCA 研究范围之内。

二、 LCA 数据集文档

数据集名称：煤电-超高压电站锅炉-液氨 SCR 脱硝、除尘、湿法石膏脱硫-中国-2016

1、系统功能与系统边界

系统功能与基准流：净输出电能，1MWh

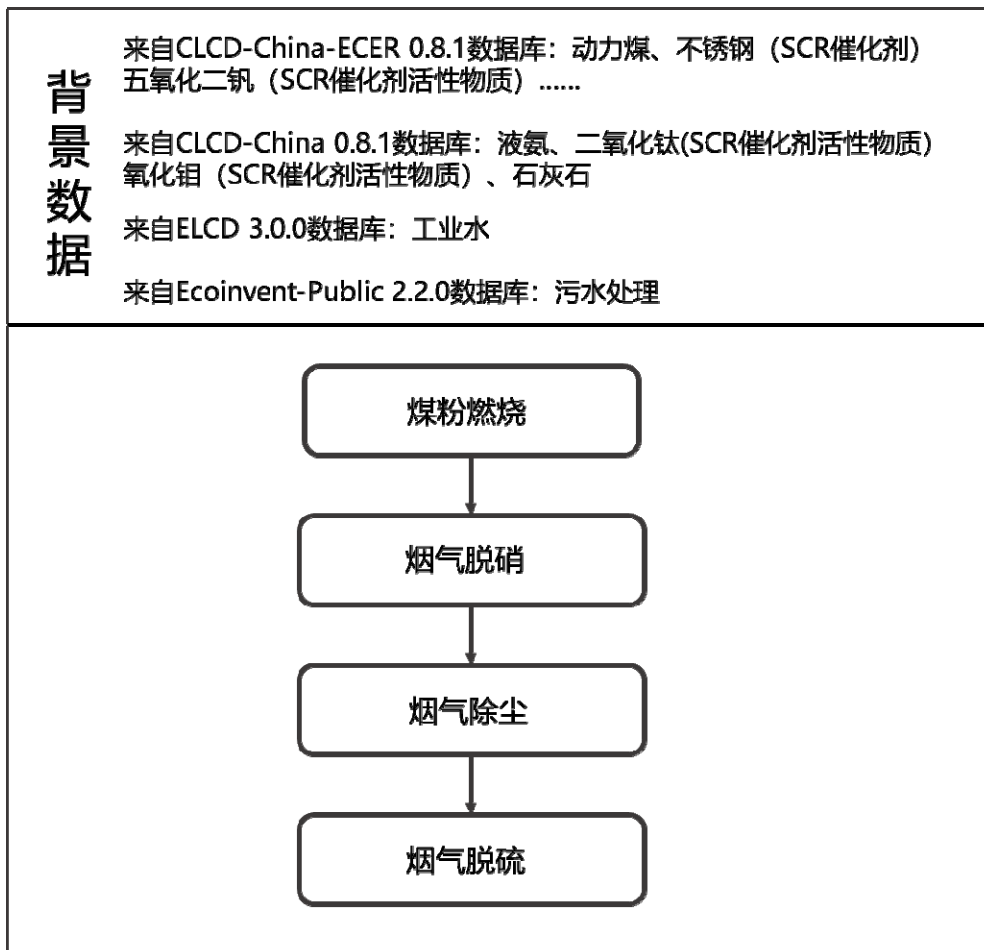
LCA 研究类型：行业 LCA-代表市场或技术平均水平

产地：中国

基准年：2016 年

系统边界：从各种主要资源开采到煤电出厂为止（“从摇篮到大门”）

- **实景过程：**划分为煤粉的燃烧、烟气脱硝、除尘、脱硫四个单元过程，包含主要燃烧过程、烟气净化、原料运输以及废物的运输和处理。
- **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

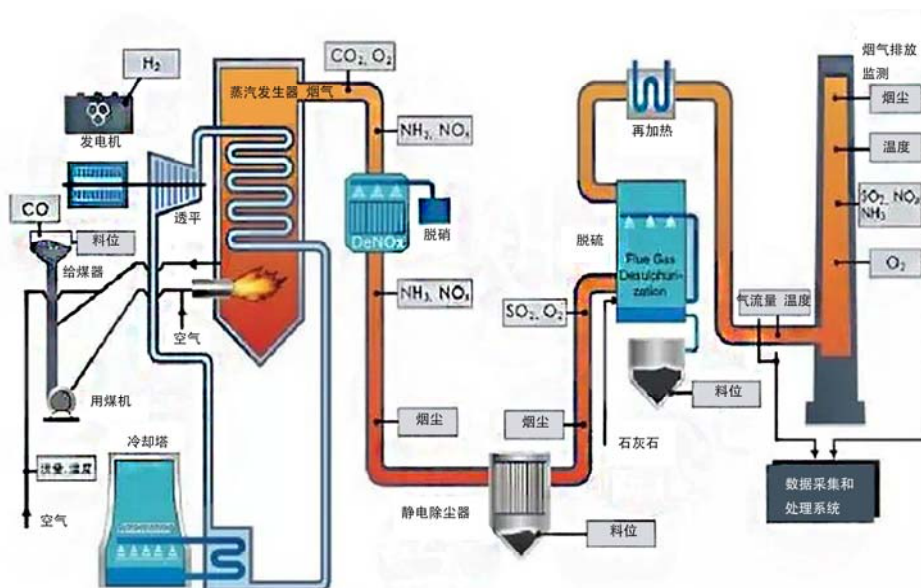
产品种类与规格：锅炉的蒸汽参数为 16.7MPa/538℃/538℃

主要技术代表性：常规的燃煤电站锅炉、装设有 SCR 选择性脱硝设备、除尘设备、湿法石灰石脱硫系统

过程名称 \ 类别	工艺设备与规模	主要消耗	主要排放
煤粉燃烧	670t/h超高压锅炉	工艺水、动力煤	灰渣、烟气(PM、CO ₂ 、SO ₂ 、NO _x 、Hg...)
烟气脱硝	选择性催化还原法脱硝技术	液氨、电力、催化剂	氨气
烟气除尘	五电场静电除尘器	电力	固体废物
烟气脱硫	石灰石-石膏湿法脱硫技术	石灰石、地表水	废水

主要数据来源：电力行业（燃煤发电企业）清洁生产指标体系 2015、燃煤电厂研究论文、工业源产排污系数手册（2010 修订）下册、火电厂大气污染物排放标准（GB13223-2011）、国家电力公司一流火力发电厂考核标准（试行）（国电发[2000]196号）、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（图片来源于网上）



3、建模方法

副产品：石膏，主分配系统按经济价值分配；脱除的 SO₂、工业水、污水治理按物理分配

再生循环：无再生原料消耗，无废气再生过程

取舍规则：符合 CLCD 取舍规则。燃煤产生的灰渣视为零环境影响的原料，不追溯上游过程。

缺失过程：无

背景过程数据库：主要原料采用 CLCD-China-ECER 0.8.1 及 CLCD-China 0.8.1，污水处理、工业水来自于 ELCD 3.0

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

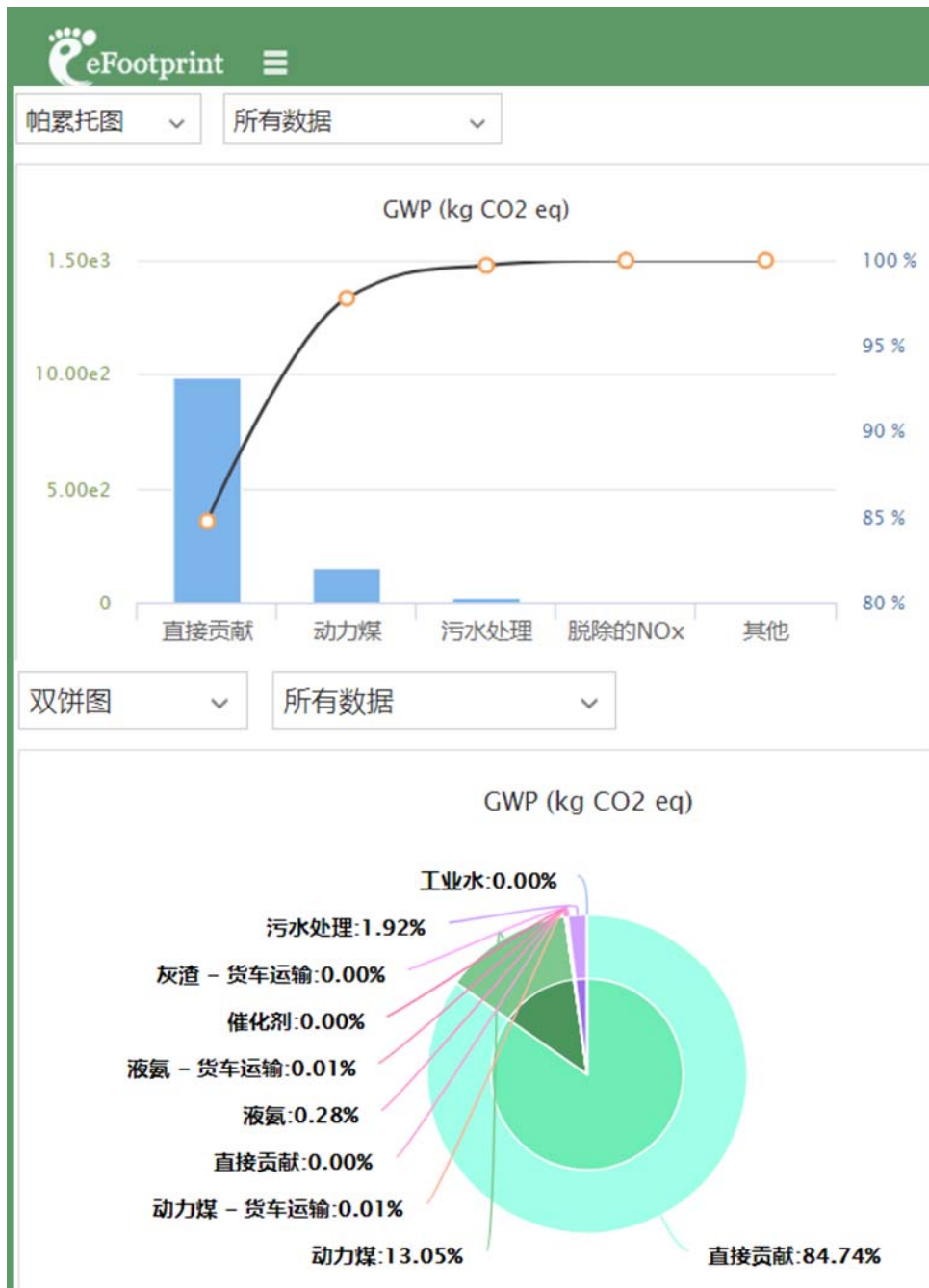
- **过程累积贡献分析：**以 GWP（全球暖化/碳足迹）、AP（酸化）、EP（水体富营养化）三个指标为例。



The screenshot shows the eFootprint software interface with the following data table:

过程名称	GWP (kg CO ₂ ...)	PED (MJ)	ADP (kg Sb eq)
煤炭	1.16e3	1.82e4	8.21e-4
直接贡献	8.84e2	0	0
动力煤	1.12e2	1.80e4	8.01e-4
动力煤 - 货车运输	6.42e-2	9.63e-1	3.39e-7
脱除的NOx	3.39e0	4.25e1	8.01e-6
直接贡献	0	0	0
液氨	3.28e0	4.09e1	2.17e-6
液氨 - 货车运输	9.28e-2	1.39e0	4.91e-7
催化剂	1.40e-2	1.71e-1	5.35e-6
直接贡献	0	0	0
不锈钢	2.79e-3	3.48e-2	1.16e-8
二氧化钛	4.07e-3	4.91e-2	1.87e-7
五氧化二钒	1.46e-3	1.82e-2	8.99e-8
氧化铝	5.68e-3	6.92e-2	5.06e-6
灰渣 - 货车运输	2.41e-3	3.62e-2	1.27e-8
污水处理	2.23e1	6.69e1	2.15e-5
工业水	1.36e-2	1.82e-1	4.55e-8

- 单个过程的贡献分析：以煤电生产过程和全球暖化指标的 Pareto 图和双饼图为例。



- **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 CO2 ...)	AP (kg SO2 eq)	EP (kg PO43-eq)
煤电	二氧化碳 (化石源 [排放到大气 (未指定类型)])	排放	84.74%	0%	0%
煤电	动力煤	背景AP	13.05%	50.16%	41.17%
煤电	污水处理	背景AP	1.92%	5.37%	24.14%
煤电	脱除的NOx	实景UP	0.29%	4.27%	6.30%
脱除的NOx	液氨	背景AP	0.28%	2.71%	4.03%
脱除的NOx	液氨 - 货车运输	背景AP	0.01%	0.09%	0.11%
煤电	动力煤 - 货车运输	背景AP	0.01%	0.06%	0.08%
脱除的NOx	催化剂	实景UP	0.00%	0.01%	0.00%
煤电	工业水	背景AP	0.00%	0.00%	0.01%
催化剂	氧化铝	背景AP	0.00%	0.00%	0.00%
催化剂	二氧化钛	背景AP	0.00%	0.01%	0.00%
催化剂	不锈钢	背景AP	0.00%	0.00%	0.00%
煤电	灰渣 - 货车运输	背景AP	0.00%	0.00%	0.00%
催化剂	五氧化二钒	背景AP	0.00%	0.00%	0.00%
煤电	总颗粒物 [排放到大气 (未指定类型)]	排放	0%	0%	0%

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
煤电	污水处理	WU (kg):7145.18%	已评估
煤电	动力煤	WU (kg): 6454.30%	已评估
煤电	脱除的NOx	WU (kg):-560.33%	已评估
脱除的NOx	液氨	WU (kg):-554.98%	已评估
煤电	二氧化碳 (化石源 [排放到大气 (未指定类型)])	GWP (kg CO2 eq):84.74%	已评估
煤电	工业水	WU (kg):-28.79%	已评估
煤电	氟氧化物 [排放到大气 (未指定类型)]	EP (kg PO43-eq):28.30%	已评估
煤电	总颗粒物 [排放到大气 (未指定类型)]	RI (kg PM2.5 eq):25.96%	已评估
煤电	二氧化硫 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):20.77%	已评估
脱除的NOx	催化剂	WU (kg):-2.89%	已评估
脱除的NOx	氨 [排放到大气 (未指定类型)]	EP (kg PO43-eq):2.14%	已评估
催化剂	二氧化钛	WU (kg):-1.29%	已评估
催化剂	氧化铝	WU (kg):-1.08%	已评估
催化剂	五氧化二钒	WU (kg):-0.32%	已评估
催化剂	不锈钢	WU (kg):-0.20%	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。

过程名称: 煤电; 清单名称: 动力煤; 数量单位: 0.504521293800539(t)

清单数据基础不确定度 (自定义): ± 1 %

评估项	实票过程目标代表性	清单数据实际代表性	不确定度(±)
(选项) 主要数据来源	代表行业平均数据		--
(选项) 样本代表性	代表行业平均数据	行业统计(产... > ...	0%
(选项) 时间代表性	2016	2016	0%
(选项) 地理代表性	中国	中国	0%
(选项) 技术代表性	过程名称选...		--

背景数据匹配不确定度评估

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	代表行业平均数据	代表行业平均数据	0%
*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	选路选单...	消耗与燃料的种...	10.00%

清单数据评估结果: ±25.98%

过程名称: 脱硝的NOx; 清单名称: 催化剂; 数量单位: 0.000374968795921428(Item(s))

清单数据基础不确定度 (自定义): ± 5 %

评估项	实票过程目标代表性	清单数据实际代表性	不确定度(±)
(选项) 主要数据来源	代表行业平均数据	企业生产统计或...	15.00%
(选项) 样本代表性	代表行业平均数据	企业调查2-4家	20.00%
(选项) 时间代表性	2016	2016	0%
(选项) 地理代表性	中国	中国	0%
(选项) 技术代表性	过程名称选...	工艺设备、主要...	5.00%

清单数据评估结果: ±25.98%

- **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。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

- 中国煤电（2016年）大多采用超高压电站锅炉（670t/h）且都装设有烟气净化设备以满足《火电厂大气污染物排放标准》，且大部分为本模型使用的技术，因此符合表3要求的燃煤电厂均可采用本数据集所建立的煤电LCA模型。
- 此外，采用亚临界参数以上的锅炉或其他先进的燃烧系统（IGCC、oxy-combustion）会直接影响燃煤电厂的排放，因此需另行开展LCA研究。
- 使用不同的烟气净化系统，例如使用尿素SCR脱硝、石灰石-石膏海水脱硫、固废处理系统，都会影响煤电生产的间接排放，因此应该另外收集相关的技术数据。