## 不确定性分析

在LCA中存在广泛的不确定性，例如清单数据的准确度、评价分析模型的假设等因素，直接影响研究结果的可靠性。因此必须要对LCA进行不确定性分析，以判断和量化由于不确定性和数据变动的累积给结果带来的不确定性。

数据的不确定性受到数据的精度、完整性、时间代表性、地理代表性、技术代表性和基础代表性累积影响。本研究中数据的不确定性以95%的置信区间表示，符号SDg95（几何标准偏差的平方），用数据不确定性计算公式计算：

（8）

式中：

*U1*为精度的不确定性因子；

*U2*为完整性的不确定性因子；

*U3*为时间代表性的不确定性因子；

*U4*为地理代表性的不确定性因子；

*U5*为其他技术代表性的不确定性因子；

*Ub*为基础不确定性因子。

基于数据的不同类型，本研究根据下表选择对应的基础不确定性因子。

表5.2推荐的基础不确定性因子

|  |  |
| --- | --- |
| 活动和排放的类别 | 推荐的基础不确定性因子 |
| 热能 | 1.05 |
| 电力 | 1.05 |
| 半成品 | 1.05 |
| 原材料 | 1.05 |
| 运输服务 | 2.00 |
| 废水处理服务 | 1.05 |
| 基础设施 | 3.00 |
| CO2排放 | 1.05 |
| 燃烧产生的甲烷排放 | 1.50 |
| 农业产生的甲烷排放 | 1.20 |
| 燃烧产生的N2O排放 | 1.50 |
| 农业产生的N2O排放 | 1.40 |

根据上述内容，对数据进行类别划分，并评价数据质量标准，结果敏感度最高的数据不确定性结果见表5.3。

表5.3结果敏感度最高的数据不确定性

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 数据项名称 | 不确定性因子 | | | | | | 数据不确定性 |
| 基础不确定性Ub | 精度U1 | 完整性U2 | 时间代表性U3 | 地理代表性U4 | 技术代表性U5 |
| 炼焦煤 | 1.05 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.12 |
| 粗高炉煤气 | 1.05 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.12 |
| 高炉煤气 | 1.05 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.12 |
| 喷吹煤 | 1.05 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.12 |
| 水渣 | 1.05 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.20 | 1.31 |
| 低压蒸汽 | 1.05 | 1.00 | 1.05 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.07 |
| 外购焦炭 | 1.05 | 1.10 | 1.05 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.16 |
| 外购铁矿 | 1.05 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.05 | 1.20 | 1.29 |
| 回收低压蒸汽 | 1.05 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.12 |
| 回收转炉煤气 | 1.05 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.12 |
| 粗焦炉煤气 | 1.05 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.12 |
| 焦炉煤气 | 1.05 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.12 |

本研究根据下列公式计算数据对应的95%置信区间范围：

置信区间下限：

（9）

置信区间上限：

（10）

式中：

*A下限*为数据置信区间下限；

*A上限*为数据置信区间上限；

*ug*为数据项对应GWP值；

*SDg95*为数据的不确定性（以95%的置信区间表示）。

表5.4为结果敏感度最高的数据置信区间。

表5.4结果敏感度最高的数据置信区间

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 数据项名称 | GWP 100a | | 置信区间 | | |
| 数值 | 单位 | 下限 | 上限 | 单位 |
| 炼焦煤 | 0.316 | kgCO2eq/kg | 0.28057 | 0.35501 | kgCO2eq/kg |
| 粗高炉煤气 | 0.943 | kgCO2eq/m3 | 0.83832 | 1.06075 | kgCO2eq/m3 |
| 高炉煤气 | 0.943 | kgCO2eq/m3 | 0.83832 | 1.06075 | kgCO2eq/m3 |
| 喷吹煤 | 0.316 | kgCO2eq/kg | 0.28057 | 0.35501 | kgCO2eq/kg |
| 水渣 | 0.883 | kgCO2eq/kg | 0.67532 | 1.15481 | kgCO2eq/kg |
| 低压蒸汽 | 0.822 | kgCO2eq/kg | 0.76757 | 0.88115 | kgCO2eq/kg |
| 外购焦炭 | 1.301 | kgCO2eq/kg | 1.11853 | 1.51416 | kgCO2eq/kg |
| 外购铁矿 | 0.090 | kgCO2eq/kg | 0.06963 | 0.11606 | kgCO2eq/kg |
| 回收低压蒸汽 | 0.822 | kgCO2eq/kg | 0.73111 | 0.92509 | kgCO2eq/kg |
| 回收转炉煤气 | 1.312 | kgCO2eq/m3 | 1.16636 | 1.47583 | kgCO2eq/m3 |
| 粗焦炉煤气 | 0.773 | kgCO2eq/m3 | 0.68719 | 0.86952 | kgCO2eq/m3 |
| 焦炉煤气 | 0.773 | kgCO2eq/m3 | 0.68719 | 0.86952 | kgCO2eq/m3 |

由于每个数据的不确定性都将对最终结果产生影响，且影响的大小受每项数据的敏感性影响，因此，本研究采用下列公式计算最终结果的不确定性：

（11）

式中：

*GSDy*为最终结果的不确定性；

*S1*为数据项1的敏感性；

*GSD1*为数据1的不确定性；

*S2*为数据项2的敏感性；

*GSD2*为数据2的不确定性；

*Sn*为数据项n的敏感性；

*GSDn*为数据n的不确定性。

通过上式计算得到电镀锌产品碳足迹的不确定性如表5.5所示。

表5.5电镀锌产品碳足迹的不确定性

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 产品名称 | 数据不确定性 | GWP 100a | | 置信区间 | | |
| 数值 | 单位 | 下限 | 上限 | 单位 |
| 电镀锌产品 | 1.16 | 1.98252 | tCO2eq/t | 1.71277 | 2.29475 | tCO2eq/t |