

DB4403

深圳市地方标准

DB4403/T XXXXX—XXXX

碳足迹数据质量评价技术规范

Technical Specifications for Quality Evaluation of Carbon Footprint Data

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

深圳市市场监督管理局 发布

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 数据质量的内容 2

5 数据质量指标 2

6 数据质量评价 5

7 数据质量的要求 7

附录 A（资料性）不确定性分析 8

参考文献 10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由深圳市市场监督管理局提出并归口。

本文件起草单位：深圳市计量质量检测研究院、XX。

本文件主要起草人：xx。

碳足迹数据质量评价技术规范

1 范围

本文件规定了产品碳足迹数据质量评价的术语和定义、数据质量所涵盖的内容及各项数据质量指标、整体数据质量评价方法以及数据质量要求。

本文件适用于指导第三方机构、企业及其他相关组织企业、第三方认证机构及其他相关组织开展产品碳足迹数据质量评价工作。

本文件适用于针对产品碳足迹评价中的初级数据和次级数据进行数据质量评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 24040—2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架
GB/T 24044—2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南
GB/T 24067—2024 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南
SZDB/Z 166—2016 产品碳足迹评价通则

3 术语和定义

GB/T 24067—2024界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

元数据 metadata

关于数据或数据元素的数据（可能包括其数据描述），以及关于数据拥有权、存取路径、访问权和数据易变性的数据。

[来源：GB/T 5271.17—2010，定义 17.06.05]

3.2

数据集 dataset

包含指定产品或过程的生命周期信息的文档或文件，涵盖描述性元数据以及定量生命周期清单和/或生命周期影响评估数据

3.3

数据质量 data quality

数据在满足所声明的要求方面的能力特性。

[来源：GB/T 24040—2008，3.19]

3.4

数据质量指标 data quality indicator (DQI)

用于定量或定性描述数据在满足所声明的要求方面的能力特性。

3.5

数据质量评级 data quality rating (DQR)

对数据质量指标的半量化的评价。

3.6

敏感性分析 sensitivity analysis

用来估计所选用方法和数据对研究结果影响的系统化程序。

[来源：GB/T 24044-2008，定义 3.31]

3.7

不确定性分析 uncertainty analysis

用来量化由于模型的不准确性、输入的不确定性和数据变动的累积而给生命周期清单分析结果带来的不确定性的系统化程序。

注：区间或概率分布被用来确定结果中的不确定性

[来源：GB/T 24044-2008，定义 3.33]

3.8

初级数据 primary data

一个单元过程或活动的量化值，该值是通过直接测量或基于直接测量的原始数据计算得到的数据。

注1：初级数据并非必须来自所评价的产品系统，因为初级数据可能涉及其他与所评价的产品系统具有可比性的产品系统。

注2：初级数据包括温室气体排放因子和/或温室气体活动数据。

[来源：ISO 14067:2018，3.1.6.1]

3.9

次级数据 secondary data

不符合初级数据要求的数据。

注1：次级数据是经权威机构验证且具有可信度的数据，数据可来源于数据库、公开文献、排放因子库、计算估算数据或其他具有代表性的数据。

注2：次级数据可包括从代替过程或估计获得的数据。

[来源：ISO 14067:2018，3.1.6.3]

4 数据质量的内容

应选取能实现碳足迹量化评价目的和范围的初级数据和次级数据，尽可能使用能减少偏差和不确定性的最高质量的数据。数据质量宜包括以下方面内容：

- 1) 时间跨度 (Time-related Coverage)：数据的年份以及收集数据的最小时间跨度；
- 2) 地域范围 (Geographical Coverage)：为实现产品碳足迹评价目的所收集单元过程数据的地域；
- 3) 技术覆盖面 (Technology Coverage)：具体的技术或技术组合；
- 4) 代表性 (Representativeness)：对数据集合反映实际关注群（如地理范围、时间跨度和技术覆盖面等）的程度的定性评价；
- 5) 完整性 (Completeness)：测量或估算的数据所占的比例；
- 6) 准确性/精度 (Precision)：对每一个数据值的变动的度量（如方差）；
- 7) 信息（如数据、模型和假设）的不确定性 (Uncertainty)；
- 8) 数据来源 (Sources of the data)：数据来源的文档记录；
- 9) 一致性 (Consistency)：对所采用的方法学能否统一应用到不同分析内容中的定性评价；
- 10) 可再现性 (Reproducibility)：对其他独立人员采用同一方法学和数据值信息重现产品碳足迹评价结果的程度的定性评价。

应明确建立项目的数据质量目标，定义对上述1)～10)方面表现的要求及整体数据质量要求。应结合数据质量目标，对数据获取的工作原则做出规定及说明。宜建立数据管理系统，保留相关文件和其他记录，进行数据质量评价，并尽可能持续提高数据质量。

5 数据质量指标

5.1 技术代表性

技术代表性描述了数据来源中所记录的技术特性与实际技术之间可能存在的差异。技术特征一方面体现在产品的具体参数，例如，材料的纯度（例如技术质量硅与芯片级硅）、材料的加工深度（例如金属棒与金属箔）、特定处理（例如表面处理、涂层等）、耐用性/使用寿命、服务质量、产品的具体可回收性等。另一方面，特定技术及其操作方式（例如，通过天然气蒸汽转化、地热能或太阳能发电生产氢气）也会影响该过程对环境的影响，相关技术特征包括原材料基础、合成路线、服务速度、负载系数和高度可变过程（如废物处理和运输）的其他参数，内部回收率等。

数据收集者应尽量捕捉以下列出的四个方面的信息，以便数据的未来使用者能够尽可能详细地了解数据所代表的技术特征。

- 1) 工艺设计：工艺设计指的是对最终产品的材料路径和/或产品质量有影响的工艺设定条件，例如，发动机的马力或分离过程中的筛网直径等。工艺设计通常使用流程图展示。
- 2) 操作条件：操作条件通常是现场特定的参数，如温度、压力、流量、生产率等；这些参数随着质量输出而变化。
- 3) 材料质量：材料质量是指原材料的类型和质量（例如，造纸的纸浆或汽油的原油）；材料质量通常会影响到工艺设计、操作条件，并最终影响输出。比较不同技术时，要确保材料没有不同（例如，“铜”与“钢”）；对于相同的材料，则是要验证材料的实际成分是否相同（例如，铜矿石13%与铜矿石5%）。
- 4) 工艺规模：工艺的规模包括单次产量、生产线的数量等方面。新技术通常在商业化之前以实验室规模开发，并在较小规模（例如中试规模）进行测试；相同的商业化技术也可能会以不同的规模使用。

数据来源中所记录的信息中符合实际情况的类别越多，意味着数据的技术代表性更好。技术代表性应由相关专家结合其专业经验并参考下列评价规则给出相应判断：

- 非常好：所用数据的技术特征全部完全匹配实际情况。
- 好：所用数据的其中三类技术特征可匹配实际情况；或数据可在很大程度上代表实际情况；或数据可反映市场主流技术的整体情况。
- 中等：所用数据的其中两类技术特征可匹配实际情况；或数据可部分代表实际情况；或数据至少可反映市场主流技术中的一种情况。
- 差：所用数据的其中一类技术特征可匹配实际情况；或数据可小部分代表实际情况；或数据可反映已有技术中的一种情况。
- 非常差：所用数据完全不匹配实际情况；数据所代表的是完全不同的技术。

5.2 地理代表性

地理代表性描述了数据中所记录的位置信息（例如市场、场址、区域、国家等）与实际生产、运行或消费的位置的匹配程度。前景系统应使用现场或来自产品生产方或提供者的特定数据。在被证实比起特定数据更为准确、精确且完整的情况下，也可使用通用数据。对于背景系统则可以使用平均市场消费组合数据。

为实现好的地理代表性，应优先使用实现位置匹配的最小位置单元。当所用数据和实际位置处于同一相关区域时（如深圳之于中国，中国之于亚洲），可由数据所记录的位置信息的地理分辨率等级与研究所需要的地理分辨率等级的差值进行表征（地理分辨率等级见表1），例如，评估所需要的是广东省数据（分辨率等级为E），数据所记录的位置信息为中国数据（分辨率等级为D）或现场数据（分辨率等级为G），则数据的分辨率等级差值分别为2和1。当所用数据和实际位置并未处于同一相关区域时（如深圳之于新加坡），则需考虑不同位置情境下的生产、运行或消费情况的相似程度。

表1 地理分辨率等级

分辨率等级	A	B	C	D	E	F	G
名称	全球	洲	区域	国家	省份	市/县	现场
示例	世界	亚洲	东亚/欧盟	中国	广东省	深圳市	X区X街道

地理代表性应由相关专家结合其专业经验并参考下列评价规则给出相应判断：

- 非常好：所用数据的位置信息和研究所需要数据位置完全匹配。
- 好：所用数据和实际位置处于同一相关区域，且分辨率等级差值为1；或处于非相关区域，但有足够的证据表明该区域的生产情况与被研究情况具有极高的相似度。
- 中等：所用数据和实际位置处于同一相关区域，且分辨率等级差值为2；或处于非相关区域，但有足够的证据表明该区域的生产情况与被研究情况具有一定的相似度。
- 差：所用数据和实际位置处于同一相关区域，且分辨率等级差值为3或以上。
- 非常差：数据来自非相关区域，且该区域的生产情况与被研究情况相比的相似度没有足够的证明；或来自未知区域。

注：个别数据（比如电力）可能需要重新考量分辨率等级划分，例如在中国和广东省之间增加“区域”（华东、华南等）

5.3 时间代表性

时间代表性是指所使用的数据所代表的时间范围与研究所需要的时间范围之间的适配程度。数据的时间始终是指数据所代表的或者通过测量获取数据的实际时间，而不是数据出版/发布的时间；若使用通过测量获取的数据进行计算/建模或估算，数据的时间为所使用数据所代表的或者通过测量获取数据的实际时间，而非计算/建模或估算完成的时间。此外，数据还应表明过期时间/适用时间范围。

时间代表性与技术代表性密切相关，技术会随着时间的推移而变化。对于不同的产品，更新变化的速度并不相同。因此，针对不同产品碳足迹评价中所对应的时间代表性评估，应采用不同的时间间隔进行定义，如对于技术快速进步的部门（例如IT、新能源技术等）应设定更短的时间间隔来区分时间代表性的优劣表现。时间间隔是指所用数据获取的时间和研究所需要的时间之间的差值。

时间通常以年为单位。但在某些特殊的情况下，结合研究目标和应用场景，可能需考虑在一年（特别是炎热和寒冷季节）或一天（白天/晚上）之内的清单数据的差异。

时间代表性应由相关专家结合其专业经验并参考下列评价规则给出相应判断（对于时间间隔的定义仅供参考，有必要的情况下，需提供设定更短或更长时间间隔的理由的说明）：

- 非常好：时间间隔小于3年，且仍处于数据所代表的适用时间范围/技术范围。
- 好：时间间隔小于3年，且很大程度上处于数据所代表的适用时间范围/技术范围。
- 中等：时间间隔在3到5年之间，技术具有一定程度的改变，但整体没有本质上变化。
- 差：时间间隔在5到10年之间。
- 非常差：所用数据所代表的时间不详或时间间隔大于10年。

5.4 精度与不确定性

针对数据的不确定性，本文件仅针对于参数不确定性（parameter uncertainty）进行评价。不确定性分析的相关说明详见参考附录A。

数据的不确定性分布类型（如对数正态分布、正态分布、均匀分布和三角分布等）可根据样本情况采用统计分析或专家判断的方法确定。当数据来自单一的文献报道或只有少量的样本时，通常选择对数正态分布。数据通常以平均值代表其统计值，并用不确定性分布模型描述随机抽样数据。

5.5 数据来源可靠性

数据来源的可靠性（reliability）评估数据生成的方式以及对于所获得的数据进行验证/确认的程度。数据生成的方式可分为以下三种：

- 1) 测量（Measurement）：测量值是由LCA从业者、生产者或项目合作伙伴直接测量的值；来自报告的值，若这些值是经过测量并被允许发布的，也可以被视为测量值。测量值可以通过多种分析或物理方法生成，例如调查问卷、采样或监测等。
- 2) 计算（Calculation）：计算是指通过数学运算来获取特定属性的值的过程，例如利用质量或能量平衡进行计算。计算建模被认为是计算的一种。
- 3) 估算（Estimation）使用科学假设或数量的近似来确定给定实体价值的过程，估算可以基于行业专业知识/观察、计算、测量或定性的假设。

所有数据获取的方法都需要适当的文档记录，并需验证/确认其合理性。验证/确认方法包括但不限于以下方法：与其他来源的交叉检查、质量/能量平衡、现场检查和/或重新计算。验证/确认过程也应在公开的文档中进行描述（至少提供所使用方法的简要概述）。

数据来源的可靠性应由相关专家结合其专业经验及下列评价规则给出相应判断：

- 非常好：基于现场调查或测量的原始数据，并被验证过其合理性。
- 好：基于现场调查或测量的原始数据但未被验证过其合理性；或基于计算的数据，并被验证过其合理性。
- 中等：基于计算的数据但未被验证过其合理性；或基于估算的数据，但被验证过其合理性。
- 差：基于估算的数据，虽未被验证过其合理性，但由合适的人（如行业专家）完成并进行了文件记录。
- 非常差：基于估算的数据，未被验证过其合理性且无文件记录。

5.6 完整性

完整性是指被记录的流的涵盖程度。被记录是不仅包括那些通过测量、计算或估算方式所获取的数据，还包括关于代表性、来源等方面的信息的记录。完整性可以采用定性或定量的方式进行评价。

若采用半定量化评价，可由相关专家结合其专业经验并参考下列评价规则给出相应判断：

- 非常好：所有的流都已被记录；整个过程包括了全部的过程数据，或者过程以非常详细的形式建模。若完全满足相关标准中所要求的取舍准则，也可被认为是非常好的完整性。
- 好：所有相关的流都已被记录；基本上满足相关标准中所要求的取舍准则。
- 中等：部分相关的流被记录。
- 差：很多相关的流都未被记录。
- 非常差：没有关于完整性的文档记录。

若采用定量化评价，完整性由百分比表示，与环境影响缺失的比例有关，如少计算了5%的总碳排放代表实现了95%的完整性。环境影响计算的缺失与进行碳足迹评价过程中的取舍情况有关。总碳排放的真实值（100%完整性）通常是个估算值，是通过模型的不断迭代估算出来的，因此，对于完整性的定量化评价也是通过将实际的覆盖情况（包括阶段、活动、系统、产品和流）与假设的、理想化的100%覆盖情况进行比较，从而得出的估算结果。

5.7 一致性和可再现性

一致性是指在数据建立、设置和维护中，所用数据（如所使用的背景数据来源）、方法（包括所应用生命周期清单方法和其他方法和建模的选择，如，分配、替代等）、假设、其他相关流程等方面的是否统一。好的一致性表现应该为完全符合GB24040体系和其他标准/方法指导文件（如产品种类规则文件）的要求，与碳足迹量化评价中的目标和范围要求一致，并一致地应用于所有数据；应关注基本信息（如命名规则和术语）、功能单位、基准流、分配方法、情景假设和代表性、数据计算方法等方面。

可再现性是指其他独立人员采用同一方法学和数据值信息重现产品碳足迹评价结果的程度，与程序和方法的一致性和标准化密切相关。

注：比起其他数据质量指标，一致性和可再现性侧重体现在数据收集和处理方面的方法选择。在此文件中，一致性和可再现性无需纳入半定量化的数据质量等级的计算中，但至少应在元数据中给出相关信息的记录以及定性描述。

6 数据质量评价

6.1 总体数据质量等级的计算

碳足迹总体数据质量等级的计算步骤如下：

- a) 识别并列出现所有对其上游过程使用次级数据集完成计算的过程，并计算这些过程的碳足迹；
- b) 按照第 6.2 章节对每个过程的数据质量各指标进行评分；
- c) 计算每个过程的碳足迹权重。碳足迹权重是该过程碳足迹与所有过程碳足迹之和的比值。若某个过程的碳足迹为负数，则取其绝对值，并将其纳入分母中；

d) 根据公式（1）计算产品碳足迹总体 DQR 值，并对照表 2 确定碳足迹数据质量的水平等级。

$$DQR_{\text{总}} = \sum_{k=1}^N (DQR_k \times W_k) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $DQR_{\text{总}}$ —— 电池产品碳足迹整体数据质量等级；
 N —— 使用次级数据计算其上游过程碳足迹的过程的数量；
 DQR_k —— 过程 k 的数据质量等级，计算方法见第6.2章节；
 W_k —— 过程 k 的碳足迹权重，%。

注：对于相对复杂的模型，针对过程a)，可仅识别最相关的过程。所识别的过程应至少占产品碳足迹结果的80%。相应地，在计算每个过程的碳足迹权重时，应计算各过程碳足迹与所有被识别出过程碳足迹之和的比值，而不是各过程碳足迹与产品碳足迹结果的比值。例如，数据质量评价过程中仅识别了占产品碳足迹结果85%的过程，其中，过程1占产品碳足迹结果20%，在此情况下， W_1 应为23.5%（=20/85）。

表2 基于DQR的整体数据质量水平

$DQR_{\text{总}}$	整体数据质量水平
≤ 1.5	非常好
1.5~2.0	好
2.0~3.0	中等
3.0~4.0	差
> 4	非常差

6.2 单个过程的数据质量等级评价

应根据公式（2）计算每个过程的数据质量等级。可参考表3对每个过程的数据质量指标进行赋值，表中的“非常好、好、中等、差、非常差”的含义应具体参照第5章中针对不同指标所描述的情况进行定性，若适用。

$$DQR_k = \frac{TiR+TeR+GeR+C+P+R+X_W \times 4}{i+4} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- DQR_k —— 过程 k 的数据质量等级；
 TiR —— 时间代表性得分；
 TeR —— 技术代表性得分；
 GeR —— 地理代表性得分；
 C —— 完整性得分；
 P —— 精度与不确定性得分；
 R —— 数据来源可靠性得分；
 X_W —— 所有数据质量指标打分中的最高分值；
 i —— 为适用的指标数量（即数值不为0的指标个数）。

注1：考虑到最差的质量指标通常会削弱数据的整体数据质量，最差的质量指标得分共被计入5次。

注2：每个过程都是活动数据和次级数据集的组合。针对代表性的三项指标，需要分别针对活动数据和次级数据集评价两次，并计算这两次评估的算数平均值。

表3 各指标的数据质量赋值规则

评价结果	赋值	数据质量指标		
		代表性（ TeR 、 GR 、 TiR ）；可靠性（ R ）；完整性（ C ，定性）	不确定性（ P ） （相对标准偏差）	完整性（ C ，定量）
非常好	1	在非常高的程度上符合标准，没有做出后续改进的必要	极低的不确定性 （小于10%）	大于95%
好	2	高度符合标准，几乎没有后续改进的必要	较低的不确定性 （10%~20%）	85%~95%
中等	3	以中等、合格的程度上符合标准，同时需要改进	中等程度的不确定性 （20%~30%）	75%~85%
差	4	符合部分标准，但并不足够，需要针对性的改进	较高的不确定性 （30%~50%）	50%~75%

非常差	5	完全不符合标准，需要非常实质性的改进	极高的不确定性 (大于50%)	小于50%
不适用	0	该指标不适用于被评价的数据	-	-
未评价	5	该指标未被判断或审查，或其质量不可知或无法被验证		

注 1：不确定性（*P*）作为定量化指标，可选择不计入半定量化整体数据质量评价，但需单独报告量化值。

注 2：完整性（*C*）可以采用定性或定量的方式进行评价，详见 5.4。

注 3：部分指标可能不适用被评价的数据，例如，与具体位置无关的数据不必被评价其地理代表性。需提供“指标不适用”的相关说明。

应根据明确规定和说明的分配程序将输入输出分配到不同的产品中。一个单元过程分配的输入和输出的总和应与其分配前的输入输出相等。当同时有几种备选的分配程序时，应进行敏感性分析，说明偏离所选分配程序所带来的影响。应确定和其他产品系统共享的过程，并根据以下原则逐步处理：

- a) 宜不进行分配；
- b) 使用能反映其物理关系的方式来进行分配。如产品的质量、数量、体积、热值等比例关系；
- c) 当物理关系不能确定或不能用作分配依据时，用其经济关系来进行分配，如产品产值或利润比例关系等。

7 数据质量的要求

应结合评价的目的和范围对数据质量做出要求。可以采用定性、半定量或定量的方式确定数据质量要求。具体要求应以产品种类规则等标准/方法指导文件的要求为准，本文件不对数据质量的具体要求做强制性规定。

定性的数据质量要求可能包括对于数据文档记录、命名法、数据审核程序及审核报告等方面的规定，例如规定使用 ILCD 数据格式。

半定量的数据质量要求包括对于单个过程的数据质量要求和对于总体数据质量等级要求。可基于数据贡献率情况对 DQR 做出要求，如表 4 所示。

表4 针对DQR的数据质量要求

类型		数据质量要求
单个过程	产品碳足迹量化结果中贡献率超过70%的过程	$DQR_k \leq 3$
	产品碳足迹量化结果中贡献率为20~30%的过程	$DQR_k \leq 4$
	产品碳足迹量化结果中贡献率不超过10%的过程	使用可获得的最佳数据即可
整体产品碳足迹评价		$DQR_{总} \leq 3$

定量的数据质量要求可对碳足迹评价结果的整体不确定度进行规定，例如以相对标准偏差衡量的评价结果不确定度小于10%。数据中的不确定性会通过模型传播并体现在最终分析结果中，为更好地理解参数不确定性对于结果的影响，宜对过程及碳足迹评价结果的不确定性进行评价。不确定性分析方法可参考附录A。

附录 A

（资料性）

不确定性分析

A.1 概述

不确定性分析包括定性和定量两个方面，定性分析是对不确定性产生原因的分析说明，定量分析是对产品碳足迹中所涉及的初级和次级数据以及碳足迹评价结果的不确定性的计算和汇总。

A.2 定性分析

很多原因会导致清单结果与真实数值不同。应在不确定性分析中应尽可能解释并记录所有不确定性原因。根据产生原因，碳足迹评价中的不确定性可分为：

- 1) 参数不确定性（parameter uncertainty）：参数不确定性来自对参数真实值的不完全了解。可能包括以下原因：
 - 数据缺乏或丢失：在现有条件下无法获得或者非常难于获得某排放所必需的数据。在这些情况下，常用方法是使用相似类别的替代数据，以及使用内推法或外推法作为估算基础；
 - 数据缺乏代表性，包括技术、地理、时间代表性；
 - 样本随机误差：与样本数多少有关，通常可以通过增加样本数来降低这类不确定性。
- 2) 情景不确定性（scenario uncertainty）：不可避免的规范性选择（如对于功能单位、系统边界、分配原则等方面的选择）会导致不确定性，因为不同的选择可能会产生不同结果；
- 3) 模型不确定性（model uncertainty）：建模过程中的假设和简化会带来模型对于预测现实世界情况的有效性的不确定性。

A.3 定量分析

定量分析的基本流程包括：确定清单中单个变量的不确定性（包括初级数据和次级数据），并基于多个变量的不确定性计算碳足迹评价结果的整体不确定性。

A.3.1 单个变量不确定性量化

初级数据的不确定性可通过使用平均值及基于一定数量的数据点的标准偏差进行计算，次级数据的不确定性可基于对参数上下限值的估计（区间越大意味着不确定性越高）、使用文献中合理的标准偏差数据、或结合数据质量指标评价进行不确定度估计。

如果数据样本足够大，可以应用标准统计拟合良好性检测，并与专家判断相结合来帮助决定用哪一种概率密度函数（如对数正态分布、正态分布、均匀分布和三角分布等）来描述数据（若需要，可对数据进行分割）的变率，以及如何对其进行参数化。

当数据来自单一的文献报道或只有少量的样本时，通常选择对数正态分布。数据通常以平均值代表其统计值，并用不确定性分布模型描述随机抽样数据。在样本非常小的情况下，不确定性量化通常源于经验性的评价（例如专家判断）。

A.3.2 合并不确定性量化

合并不确定性建议优先使用蒙特卡罗模拟（Monte Carlo Simulation）或类似技术；也可使用误差传递方法作为简化计算方法。

蒙特卡罗模拟将已知参数不确定性转化到输出变量的不确定性分布中，是最常用的量化参数不确定性的方法之一。其基本原理是根据输入值的概率密度函数生成大量随机值，分别计算出相应的输出值；然后对多次输出值进行统计得到其概率密度函数。

进行蒙特卡罗模拟应首先了解模型结构及各参数之间的依赖关系，通过贡献分析、热点分析、敏感性分析等方式分析模型最相关的方面，识别关键性参数（对结果影响最大的生命周期阶段、过程和数据等）。其中敏感性分析通常是在一定范围内改变一些参数，同时保持其他参数不变，对比前后两种结果，

检查结果影响。结果变化的百分比为敏感性系数，敏感性系数值大的参数将相对更为显著地影响评价结果，可被视为关键性参数。

随后应估算每一个关键性参数的不确定性。对数正态分布为最常见的数据统计分布类型之一。实景数据的不确定性可通过使用平均值及基于一定数量的数据点的标准偏差进行计算，背景数据的不确定性可基于对参数上下限值的估计（区间越大意味着不确定性越高）、使用文献中合理的标准偏差数据、或结合数据质量指标评价进行不确定度估计，并进而可执行蒙特卡罗模拟来量化输出（碳足迹评价结果）的不确定性。

参 考 文 献

- [1] Global guidance principles for LCA database
- [2] Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3
- [3] GaBi Databases & Modelling Principles 2022
- [4] European Commission: Commission Recommendation On the Use of Common Methods to Measure and Communicate the Life Cycle Environmental Performance of Products and Organizations
https://environment.ec.europa.eu/publications/recommendation-use-environmental-footprint-methods_en
- [5] Guidance on Data Quality Assessment for Life Cycle Inventory Data
-