HiQLCD 海科数据

HiQLCD 数据库

总体方法论报告

编制人：钱子豪

2026. 04. 21

目录

1. 引言 1

2. HIQLCD 的目标与范围 4

2.1 目标 4

2.2 范围 4

2.2.1 功能单位与基准流 *4*

2.2.2 系统边界 *5*

2.2.3 取舍准则 *8*

2.2.4 支持的 LCIA 方法 *8*

2.3 数据质量要求 10

3. 生命周期清单建模 13

3.1 数据收集与验证 13

3.1.1 数据来源 *13*

3.1.2 收集数据的质量检查与验证 *13*

3.1.3 缺失数据处理 *14*

3.2 单元过程数据集的建立 15

3.2.1 数据集活动分类 *16*

3.2.2 混合数据集 *19*

4. 系统模型 23

4.1 分配，基于分类截断 23

4.1.1 多功能过程 *24*

4.1.2 再利用与回收截断 *25*

4.1.3 废物处理分配 *27*

4.2 替代，归果 27

4.2.1 多功能过程 *28*

4.2.2 废物处理分配 *29*

4.3 分配，截断，EN15804 31

4.3.1 废弃终止状态与截断点 *32*

4.3.2 多功能过程 *33*

4.3.3 清单指标 *33*

5. 审核与归档 36

5.1 审核流程与质量保证 36

5.2 命名规范 41

5.2.1 过程命名规范 *42*

5.2.2 流命名规范 *42*

5.3 流的归档 43

5.4 数据集的归档 43

参考文献 45

1. 引言

HiQLCD 是依照国际参考生命周期数据系统（International Reference Life Cycle Data System, ILCD）框架开发的中国本土生命周期清单（Life Cycle Inventory, LCI）数据库，由上海海科智慧数据科技有限公司（以下简称“海科数据”）发布。海科数据是一家专注于提供高质量生命周期评价（Life Cycle Assessment, LCA）数据解决方案的中国企业。有关海科数据的更多信息可参见 HiQLCD——中国领先的 LCA 数据库 。

作为高覆盖度的 LCA 背景数据库，HiQLCD 涵盖了多个产品类别，包括电力、煤炭、石油与天然气、钢铁、合金、有色金属、化工产品、建筑材料、光伏、锂电池、电子设备、废弃物处理以及运输等。为满足多样化的 LCA 研究需求，HiQLCD 提供三种并行的系统模型（**见第 4 节**）：*“分配，基于分类截断”（cut-off）*、*“替代，归果”（consequential）*、*“分配，截断，EN15804”（EN15804）*。

HiQLCD 致力于为 LCA 从业者提供能够反映中国工业生产状况的本地化背景数据，使其开展的 LCA 研究更加可靠、更契合供应链中的实际生产，并完全符合 ISO 14040/44(ISO 2006b; 2006c)（生命周期评价）以及 ISO 14067(ISO 2018)（产品碳足迹）核算要求。HiQLCD 的通用方法论同时遵循 ILCD(JRC 2010b)和 UNEP(UNEP 2011)生命周期数据库指南中所要求的主要原则。为确保数据的可靠性，HiQLCD 遵循以下四项原则：

- **代表性**

能够体现区域差异（部分精细到省级尺度）及生产技术差异（区分特定技术与混合技术）。

基于多元本地化数据源，包括行业统计与标准，以及近三年的企业级生产数据，以确保数据对中国国情的代表性。

- **一致性**

按照 ILCD 要求，对元数据与文档管理及处理流程采用统一的规则。

在同一行业内的各数据集采用一致的方法学，以实现可靠的行业内横向比较。

- **质量保证**

对每一项相关生产技术纳入详细的技术数据，同时在消费端引入与市场和贸易相关的信息。

实施严格的质量控制制度，涵盖数据的完整性、一致性与准确性；每个数据集（包括元数据和单元过程数据）均需经过专家评审。

引入多维度数据质量评估与不确定性分析方法（如谱系矩阵评分、泰勒级数展开、蒙特卡洛模拟），以在 LCI 和生命周期影响评价（Life Cycle Impact Assessment, LCIA）结果层面提供全面的不确定性估计。

- **透明性**

完整记录每个数据集的信息，包括工艺描述、地域与时间范围、数据来源、假设条件、系统边界、基准单位、作者信息及更新历史等。

保留所有数据处理与操作步骤的完整审计链，以最大化可追溯性。这种高度的透明性是结果可复现的前提，使结果能够被独立验证。

HiQLCD 的更新频率：

HiQLCD 的更新策略与其发展阶段相匹配。当前处于快速扩张阶段，常规版本更新（数据集更新，例如从 v1.3.0 到 v1.4.0）约每六个月发布一次。一旦数据库趋于稳定，更新频率将调整为每年一次。此外，维护性更新（例如错误修正，从 v1.4.0 到 v1.4.1）则根据需要更频繁地发布，以确保数据质量。涉及重大架构变化的大版本升级（例如从 v1.0 到 v2.0）计划每隔数年进行一次。

本文件详细介绍了 HiQLCD 的总体方法论，涵盖目标与范围、LCI 建模、系统模型以及数据集的归档。每当 HiQLCD 发布新版本（新增或更新数据集）时，本文件都将同步更新。

HiQLCD 的潜在应用：

- **LCA 数据披露**（LCA 研究、产品碳足迹/PCF 报告）
- **认证与标识** （环境产品声明/EPD、碳标签）

- **工艺优化** （生态设计、绿色供应链管理）
- **政策研究** （微观层面决策支持）
- **环境信息交流**

用户支持与社区反馈

HiQLCD 通过完善的文档、常见问题（FAQ）及专门的帮助台服务为用户提供支持，以协助用户有效使用数据库。FAQ 页面可访问 https://www.hiqlcd.com/about#ContactUs。HiQLCD 还根据需求组织培训、在线教程和研讨会，以增强用户能力。社区反馈主要通过结构化的反馈表（如错误报告）和直接沟通渠道收集，更广泛的用户互动则通过线下技术研讨会和学术会议促进。所有反馈，包括错误报告和建议，都会被系统地审查并纳入后续更新，从而持续提升数据质量、透明性和可用性。

2. HiQLCD 的目标与范围

本章依据 ISO 14040 与 14044 界定 HiQLCD 的目标与范围。第 2.1 节阐述目标，第 2.2 节描述范围，第 2.3 节定义 LCI 数据集的数据质量准则。

2.1 目标

HiQLCD 的目标是提供具有代表性、一致性、质量保障和透明性，并能够反映中国工业生产状况的本地化 LCI 背景数据集。这些数据集使 LCA 从业者能够在中国生产体系框架下，以及与中国工业相融合的全球价值链中，开展符合 ISO 标准的 LCA。按照 ISO 标准，HiQLCD 的目标定义如下：

目标用户。HiQLCD 适用于所有希望分析和报告中国各行业产品与服务 LCA 影响的从业人员。潜在用户包括但不限于：

- LCA 研究者与顾问、政府科研机构、高校
- 开展产品或企业足迹研发工作的运营方
- 开发足迹相关决策支持工具的服务提供商（如软件开发商）
- 为某些相关行业提供次级数据的数据库开发者

预期应用。所有旨在与 ISO 14040/44 系列标准保持关联或以其为基础的实际生命周期相关应用(ISO 2006b; 2006c)，以及 ISO 14067（碳足迹）等相关具体标准(ISO 2018)。

2.2 范围

本节界定 HiQLCD 的范围及相应的输出数据集。

2.2.1 功能单位与基准流

根据 ISO 14044，功能单位被定义为“用于作为基准单位的量化的产品系统性能”(ISO 2006c)。恰当定义的功能单位可确保对提供相同功能的产品系统进行公平比较，但其具体形式会因产品的应用场景而异。在实践中，可据此定义基准流，使其在不同情境下实现不同功能。为实现最大的建模灵活性，数据库为基准流提供了多种流属性。HiQLCD 采用的总体原则是：产品的基准流应尽可能准确地反映“物理”流，而具体的产品特性则在工艺和/或备注字段中单独列出。例如，燃料

煤的主要基准流定义为 1 kg，而含碳量与低位发热量则作为附加属性给出。为便于数据使用，系统支持同一单位组内（如质量单位）的自动单位换算，并在计算过程中自动检索并应用相应的换算系数。

2.2.2 系统边界

系统边界界定了数据集所代表的产品系统中包含的工艺、物料流和能量流，其范围取决于所请求的数据集类型（如大门到大门、摇篮到大门，或摇篮到大门 + 生命末期）。HiQLCD 数据集所采用的具体边界见表 2.1。

表 2.1：重点环节数据集的系统边界。

部门	包含的过程
煤炭	露天开采：钻孔、爆破、装载、破碎、运输、排弃、污染物处理与处置
	地下开采：掘进、采煤、机械与设备、井下及厂内运输、通风、污染物处理与处置
	原煤加工：由煤矿至选煤厂的运输、储存、破碎与筛分
	原煤分选
	脱水与干燥
原油与天然气	陆上勘探与钻井过程
	海上勘探与钻井过程
	资源开采
	泄放与火炬燃烧排放
	水资源消耗与废水处理
	场地内管道运输
电力	能源转化装置的建设、再投资与退役
	能源转化过程：所有相关的物料与能源投入、脱硝与脱硫单元、维护、污染物处理与处置
	输电与配电损耗
	配电基础设施的建设与退役
矿石与矿物开采	露天开采：钻孔、爆破、剥离表土、矿石装载与运输
	地下开采：掘进、采煤、机械与设备、井下及厂内运输、通风、污染物处理与处置
	矿山工程建设
	矿石采集

	矿石提升
钢铁	金属矿石开采
	自产燃料、电力与热能
	焦炭及相关还原介质
	辅助投入品的生产
	炼钢、废物处理与处置
可再生能源发电设备（光伏组件、风力发电机）	部件生产
	组装
	设备的退役与拆解
生命末期（EoL）	收集与运输
	机械与化学（预）处理
	回收
	污泥与渣处理
	能效措施与回收（电力/热能）
	燃烧计算（含所有相关排放）
	渗滤液处理
	填埋气处理
	基础设施（含废水处理厂等）
运输	能源消耗与排放
	基础设施（含道路、铁路等）
	设施（含卡车、机车等）
	运输损耗

2.2.3 取舍准则

本部分的“取舍”是指在系统模型中省略与研究无关的生命周期阶段、活动类型（如投资品、储存）、特定过程和产品（如内部回收的聚合物生产废料在再次熔化前的再造粒）以及基本流。

定义取舍准则的目的，是在对特定产品系统建模时，为省略相关性较低的过程链细节提供实用指南。一般而言，所有可归属于被分析系统的过程和流（在归果建模情况下，还包括通过后果受到影响的部分）都应按照 ISO 14067:2018 的要求纳入系统边界(ISO 2018)。然而，并非所有这些过程和基本流在数量上都具有相关性。在此情境下，相关性的判定依据是该流对整体环境影响结果的贡献显著程度（通过迭代筛选或专家判断识别）以及适用的产品类别规则（PCR）的具体要求。对于相关性较低的部分，可使用质量较低的数据（“数据估算”），以减少为这些部分收集或获取高质量数据的工作量(JRC 2010b)。其中，不相关的部分可被完全舍去（如此一来，原本用于收集这些数据的精力便可转而用于为相关的过程和基本流获取更优质的数据）。HiQLCD 数据集中所有相关的物料与能量流，均在 PCR 的范围内尽可能予以纳入。

作为一般规则，若缺乏数据，且某些物料或能量流（累计）占物料与能量流的比例不足 1%，且在各影响类别中占环境影响的比例不足 5%，则这些流可以被省略。

2.2.4 支持的 LCIA 方法

环境影响的计算在所谓的 LCIA 中进行。在 LCIA 过程中，所有基本流都按其对特定影响类别的贡献进行特征化。由此可量化多个基本流对某一给定影响的总体贡献。HiQLCD 提供全面的 LCI，从而能够适用于任何相关的 LCIA 方法。

HiQLCD 所采用的 LCIA 方法以及一些关键的清单指标取自 ecoinvent 3.10(Sonderegger T. and Stoikou N. 2023; Ioannidou D. et al. 2021)，包括但不限于：

LCIA 方法

- CML v4.8 2016
- CML v4.8 2016 no Long-Term (LT) emissions
- Crustal Scarcity Indicator 2020

- Ecological Footprint
- Ecological Scarcity 2021
- Ecological Scarcity 2021 no LT
- Ecosystem Damage Potential
- EF v3.0
- EF v3.0 no LT
- EF v3.1
- EF v3.1 no LT
- EPS 2020d
- EPS 2020d no LT
- IMPACT World+ v2.1, footprint version
- IPCC 2013
- IPCC 2013 no LT
- IPCC 2021
- IPCC 2021 no LT
- ReCiPe 2016 v1.03, endpoint (E)
- ReCiPe 2016 v1.03, endpoint (E) no LT
- ReCiPe 2016 v1.03, endpoint (H)
- ReCiPe 2016 v1.03, endpoint (H) no LT
- ReCiPe 2016 v1.03, endpoint (I)
- ReCiPe 2016 v1.03, endpoint (I) no LT
- ReCiPe 2016 v1.03, midpoint (E)
- ReCiPe 2016 v1.03, midpoint (E) no LT
- ReCiPe 2016 v1.03, midpoint (H)
- ReCiPe 2016 v1.03, midpoint (H) no LT
- ReCiPe 2016 v1.03, midpoint (I)
- ReCiPe 2016 v1.03, midpoint (I) no LT
- TRACI v2.1
- TRACI v2.1 no LT
- USEtox v2.13, endpoint

- USEtox v2.13, endpoint no LT
- USEtox v2.13, midpoint
- USEtox v2.13, midpoint no LT

重点关注的清单指标

- Cumulative Energy Demand (CED)
- Cumulative Exergy Demand (CExD)
- EN15804+A2 - Additional impact categories and indicators
- EN15804+A2 - Core impact categories and indicators
- EN15804+A2 - Indicators describing biogenic carbon content at factory gate
- EN15804+A2 - Indicators describing output flows
- EN15804+A2 - Indicators describing resource use
- EN15804+A2 - Indicators describing waste categories
- Inventory results and indicators

请注意，尽管 CML 和 ReCiPe 更适用于欧洲情境，而 TRACI 和 USEtox 更适用于美国情境，但 HiQLCD 仍同时采用了上述所有方法，主要基于以下三点考虑：

1) LCI 数据的质量被认为应优先于 LCIA 方法的区域特异性。HiQLCD 的优势在于确保 LCI 具有中国特异性，同时提供多种可选的 LCIA 方法。

2) 在现阶段，面向中国的 LCIA 方法仍然缺失。鉴于上述方法在 LCA 领域被广泛采用，我们假定这些特征化因子在中国情境下同样适用。然而，未来仍应推动开发中国特异性的 LCIA 方法，并加强与全球 LCA 社区的合作。

2.3 数据质量要求

HiQLCD 数据集的数据质量基于数据质量指标（Data Quality Indicators, DQI）进行界定。这些指标涵盖五项关键准则：技术代表性、时间代表性、地理代表性、可靠性和完整性。每项准则划分为五个数据质量等级，其中等级 1 表示最高数据质量，等级 5 表示最低。数据质量准则与质量等级的定义改编自*《Data Quality Management for Life Cycle Inventories-an Example of Using Data Quality Indicators》*

(Bo Pedersen Weidema and Marianne Suhr Wesnæs 1996)。表 2.2 给出了各数据质量准则的定义，表 2.3 概述了各数据质量准则与质量等级的评估方案。

表 2.2：数据质量准则定义。

指标	**描述**
技术代表性	数据反映实际所用技术的程度。
时间代表性	数据反映活动实际时间（如年份）或活动年代的程度。
地理代表性	数据反映活动实际地理位置（如国家或场址）的程度。
可靠性	用于获取数据的来源、数据收集方法和验证程序的可靠程度。
完整性	数据在统计学上对相关活动的代表程度。完整性包括：在与特定活动相关的全部场所中，可获得并被使用的数据所占的百分比。完整性还涵盖数据中的季节性及其他正常波动。

表 2.3：数据质量准则与质量等级判定的评估方案。

质量等级	**1 - 非常好**	**2 - 好**	**3 - 一般**	**4 - 差**	**5 - 非常差**
技术代表性	基于相同技术、由多种来源生成的数据。	基于相同技术、由少量来源生成的数据。	基于相似但不同技术生成的数据。	基于不同技术生成的数据。	技术未知的数据。
时间代表性	时间差异小于 3 年的数据。	时间差异小于 6 年的数据。	时间差异小于 10 年的数据。	时间差异小于 15 年的数据。	数据年代不明或时间差异超过 15 年。
地理代表性	来自相同地区的数据。	来自包含目标区域在内的更大区域的平均数据。	来自生产条件相似区域的数据。	来自生产条件略为相似区域的数据。	来自未知区域或生产条件差异极大区域的数据。
可靠性	基于测量的已验证数据。	部分基于假设的已验证数据，或基于测量的	部分基于假设的未验证数据。	合格估算（例如由行业专家提供）。	不合格估算。

		未验证数据。			
完整性	来自所有相关过程现场，并覆盖足够时间以平滑正常波动的数据。	来自超过 50% 现场，并覆盖足够时间以平滑正常波动的数据。	来自少于 50% 现场，但覆盖足够时间以平滑正常波动的数据。	来自超过 50% 现场，但仅覆盖较短时间段的数据。	来自少于 50% 现场且仅覆盖较短时间段的数据，或代表性不明。

3. 生命周期清单建模

3.1 数据收集与验证

3.1.1 数据来源

在 HiQLCD 中，100% 的数据均基于中国本地来源，并由多种渠道汇编而成。数据来源主要涵盖以下五类：

1. 经授权的企业客户数据；
2. 行业统计数据；
3. 公开可获得的企业数据；
4. 经同行评审的文献数据；
5. 通过易碳数科自主开发的 LCA SaaS 工具共建共享的数据。有关该工具的详细信息，可参见《Steel LCA Tool》使用手册，该工具是为钢铁 EPD 应用开发的专用版本(EC Digital 2025)。

3.1.2 收集数据的质量检查与验证

在数据收集阶段，HiQLCD 组建专家团队制定并应用**数据质量检查清单**，以确保所有收集到的信息符合既定的质量要求。

a. 平衡性与合理性检查：

这些检查涵盖质量平衡、能量平衡、排放平衡以及合理性评估。检查旨在验证所有相关的过程步骤、输入与输出是否均已纳入。作为验证的一部分，关键评估内容包括物料与能量平衡、排放一致性以及化学元素检查。此外，还会审查过程特征（如能源效率、副产品生成及物质循环），以检出异常并确保数据完整性。

为符合 ISO 14046 标准并支持准确的水足迹核算，HiQLCD 对每个单元过程实施严格的水平衡检查。该验证确保所有水输入之和（包括纯水以及输入物料的含水量，后者通过“湿物料含水量”流属性计算）等于所有水输出之和（包括向大气/水体的排放以及输出产品中的水分）。这种严格的质量平衡可精确计算水耗，无论其被定义为蒸发损失（向大气排放）还是取水与排水之间的净差额。

b. 异常处理：

一旦发现异常，即启动与数据提供方或内部专家的迭代审查流程。该流程旨在确

定问题是源自数据本身、方法学缺陷，还是属于特殊情况。区分孤立异常与系统性问题，对于采取恰当的解决措施至关重要。

c. 其他技术与背景检查：

除技术验证外，还需依据更广泛的原则进行检查，如数据质量方法、数据来源可靠性，以及与既定目标和范围（如功能单位与系统边界）的一致性。这些检查可确保整体的协调一致，并保证数据准确反映实际情况。具体而言，所需的细节程度以及是否纳入技术差异，由以下准则决定：

- **环境重要性：**被识别为“关键过程”（对影响结果贡献显著）的过程，将以最高的细分程度建模。
- **技术代表性：**若不同生产技术（例如钢铁生产路线的差异）占据相当的市场份额，则为其分别创建独立的数据集。
- **数据可得性：**对于非关键过程，在缺乏一手数据时，按照数据质量层级使用具有代表性的平均值或类比数据。

d. 验证结果的归档：

验证过程的所有结果均记录在数据集元数据中。特定性程度越高，对应的数据质量评级越高。

在成功完成所有验证检查后，数据方可纳入 HiQEditor 系统——该平台用于开发所有 HiQLCD 数据集。HiQEditor 是专为 HiQLCD 数据库开发的、基于网页的专有 LCA 数据管理平台，是数据收集、单元过程建模、数据集创建与质量保证的中枢，可确保所有数据录入与格式严格遵循 HiQLCD 的建模与质量规则。有关 HiQEditor 的更多详细信息，可访问 https://www.hiqlcd.com/service/editor。

3.1.3 缺失数据处理

数据缺失是 LCA 实践中反复出现的难题，往往由数据获取受限或信息不可得所致。在此情况下，专家团队必须评估并确定最恰当的策略来填补数据缺口，同时保持准确性并尽量减少过度简化。

由于不存在通用解决方案，每一实例都须单独评估。常用方法包括：

- **文献综述：**查阅报告、学术论文和技术书籍。此类来源虽被广泛使用，但可能缺乏与 LCA 相关的数据。

- **化学计量估算：**对于化学反应，缺失数据通常可基于化学计量关系和假定的反应收率进行估算。
- **类比数据：**可使用类似过程或技术的数据来近似缺失值。
- **估算数据：**在无法获得直接数据的情况下，具备资质的专家可给出有依据的估算，并最好辅以上述一种或多种方法作为支撑。
- 行业专家咨询： 直接与工艺工程师、工厂运营人员或技术协会沟通，以获取具体运行数据或验证假设。该方法对于获取非公开数据或核实类比数据的代表性尤为有用。

用于处理缺失数据的所选方法，必须按照 ISO 14044 的要求进行透明记录。

3.2 单元过程数据集的建立

每个单元过程数据集都包含详细信息，涵盖定义其代表性与适用性的多项属性：

- **地理范围：**指明该活动所代表的区域。例如，某过程可能反映华北地区的典型情况。地理范围指明活动所代表的区域。HiQLCD 对核心基础工业优先采用高地理细分度，以确保数据精度。对于电力和煤炭等关键部门，会专门在区域或省级层面开发数据集，以捕捉资源品质和能源结构在空间上的显著差异。这种方法确保了这些关键投入的区域差异被准确反映。
- **时间覆盖：**界定数据集的时间有效性，通常以起止年份表示。例如，数据集“硫酸，未指定工艺”的时间范围为 2023 至 2025 年。该时间段反映的是数据收集的时间范围，或数据集被外推所代表的时长。即使结束日期已成过去，只要生产方法或供应链未发生显著变化，该数据集仍可保持有效。
- **过程文档：**对活动进行全面描述，包括其目的、技术、边界及方法学背景。
- **自然资源消耗：**记录自然资源的输入，例如生产 1 kg 棉花所需的水量（升）。
- **排放特征：**详述对环境的排放，例如在燃煤电厂燃烧 1 kg 煤所排放的大气污染物。
- **物料流清单（物料清单）：**描述输入与输出，例如生产 1 kg 报纸所需的原材料和添加剂。
- **能源与燃料消耗：**量化能源消耗，包括生产铝等产品所使用的电力结构。
- **质量、水与碳平衡：**追踪物料与碳（化石碳与生物碳）的流向。例如，来自木

材的生物源碳有多少留存于纸制品中，又有多少以 CO_2 的形式释放。

- **年产量：**提供生产规模的背景信息，例如华北地区煤矿的硬煤年总产量。

每项活动通过其名称、参考产品、地理位置和时间覆盖的组合而得到唯一标识。这些标识符还辅以通用唯一识别码（UUID），从而实现跨系统一致的数据集引用与集成。

3.2.1 数据集活动分类

活动依据其在生命周期框架中的功能角色进行分类。所有活动都涉及输入与输出的交换（图 1）：

- **基本流：**这些是直接与环境相连的流。输入包括资源开采（如从河流取水、树木对 CO_2 的吸收），输出包括向大气、水体或土壤的排放。
- **中间流：**指过程之间交换的物料流和能量流。输出交换可能包括参考产品、副（共）产品或废弃物。

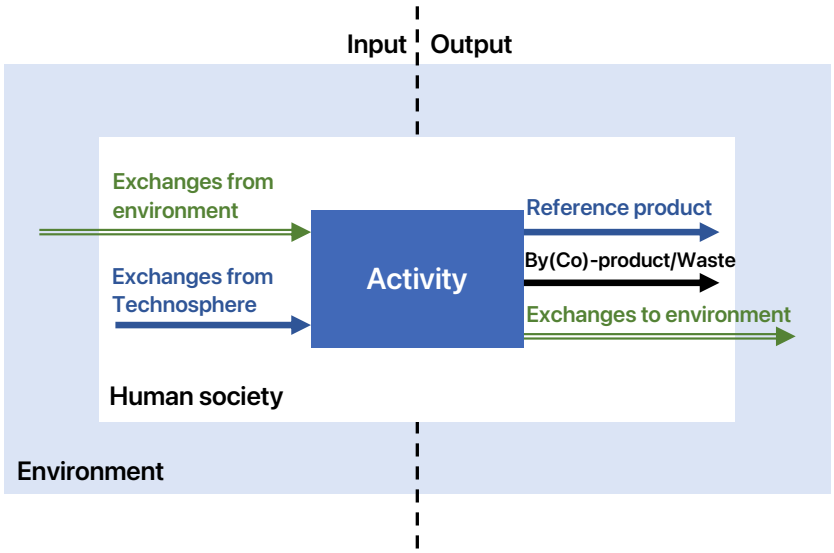


图 1 活动所涉及的输入与输出

普通转换活动（材料与能源）

转换活动是对输入进行转换的人类活动，使活动的输出不同于输入（图 2），例如硬煤矿将地下的硬煤转换为可投放市场的硬煤产品。所有不属于上述特殊类型的活动均为“普通”转换活动。在 HiQLCD 中，普通转换过程可进一步分为“**材料**”与“**能源**”两类，分别表示参考输出为材料或能源（不含能源载体）的活动。

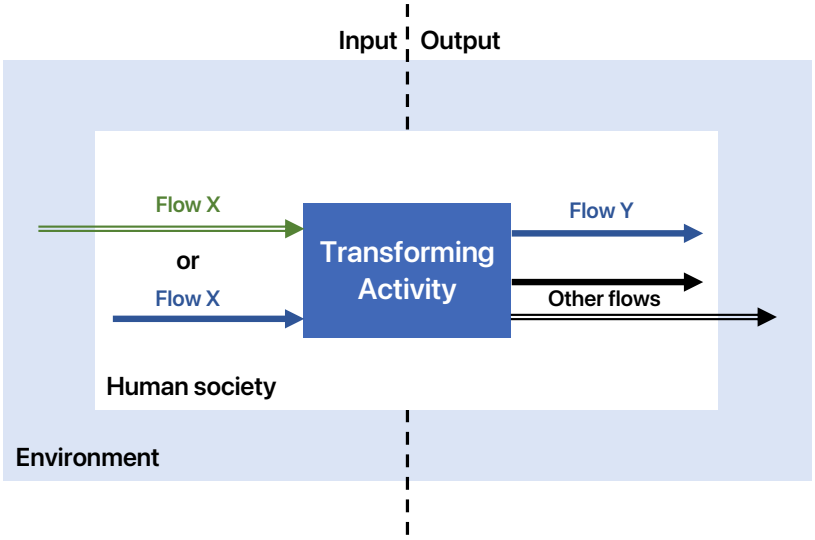


图 2 转换活动

服务或过程类活动

服务或过程类活动在不直接涉及所服务产品物料流的情况下，使其他活动得以实现或获得支持（图 3）。例如，使用链锯砍伐木材会涉及燃料和设备的使用，但树木本身并不作为输入。相比之下，林业过程则直接包含树木。设备使用、燃料消耗及相关排放被记为服务过程的输入，并间接影响林业过程的输出。

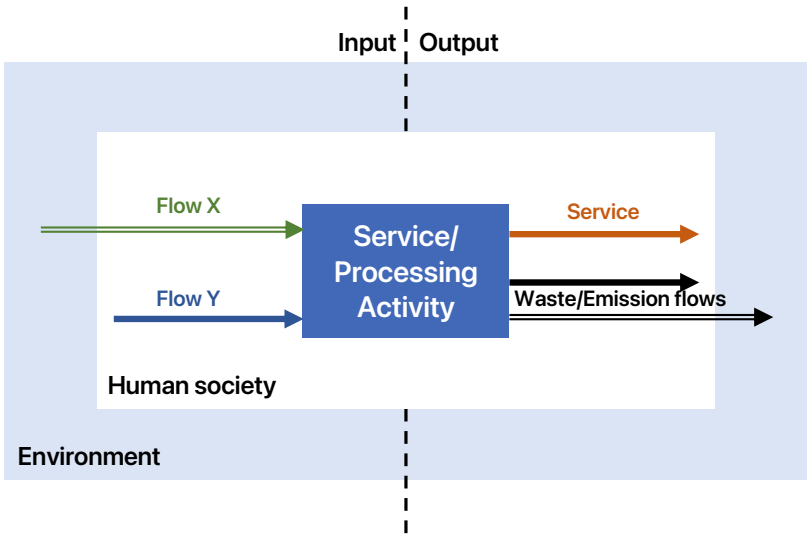


图 3 服务/过程类活动

建设类活动

建设类活动涉及长期资本品（如建筑物、机械、道路和生产设施）的建造与使用——这些资产的使用寿命通常超过一年。

建设类活动包括建设、维护、土地占用与转型（如适用）以及生命末期处置（图

4）。使用寿命结束时的输出包括废物流及相关影响。基础设施的质量随废物流一同离开建设过程。因此，基础设施产品缺乏直接的质量参数，但可通过**使用寿命**和**服务能力**等属性来表征。

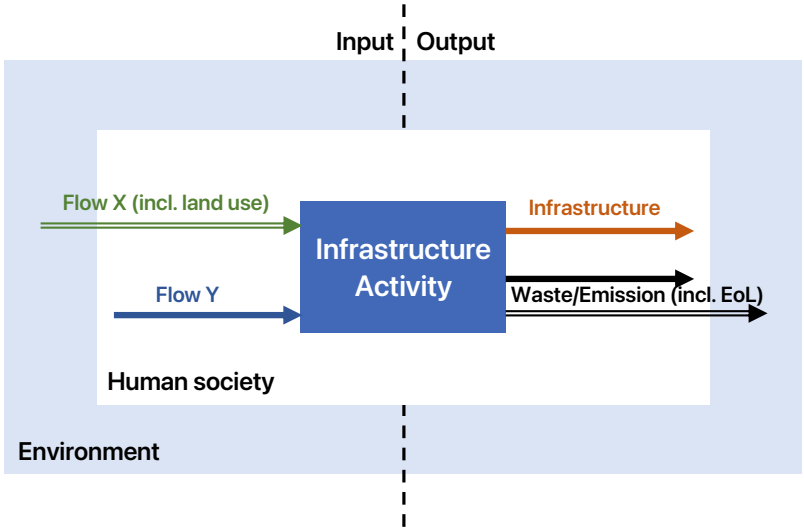


图 4 建设类活动

废物处理活动

废物处理过程对废物流进行处理，将其转化为有价值的产品或释放的排放物（图5）。当废物被转化为有价值的产品时（例如将废弃食用油加工为生物燃料），该过程被视为以回收利用为导向。当废物被转化为释放到环境中的排放时（例如处理废水并排放清洁水），该过程被归为最终处置。

与典型的生产过程不同，处理活动中的基准流通常位于输入端，表示所处理的废物。

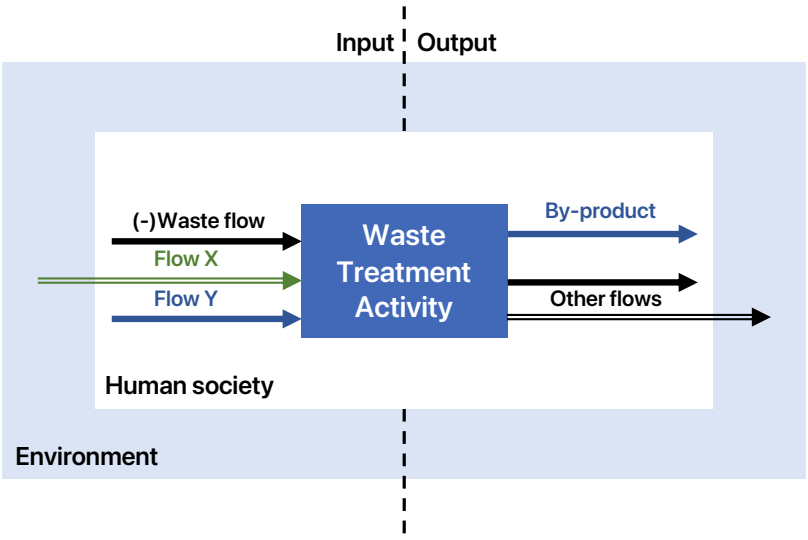


图 5 废物处理活动

运输活动

运输过程被定义为在一定距离内将对象从一个地点运送到另一个地点的过程。以货物运输为例，需要考虑每单位质量和距离所消耗的能源与排放，以及道路和车辆的损耗（图 6）。

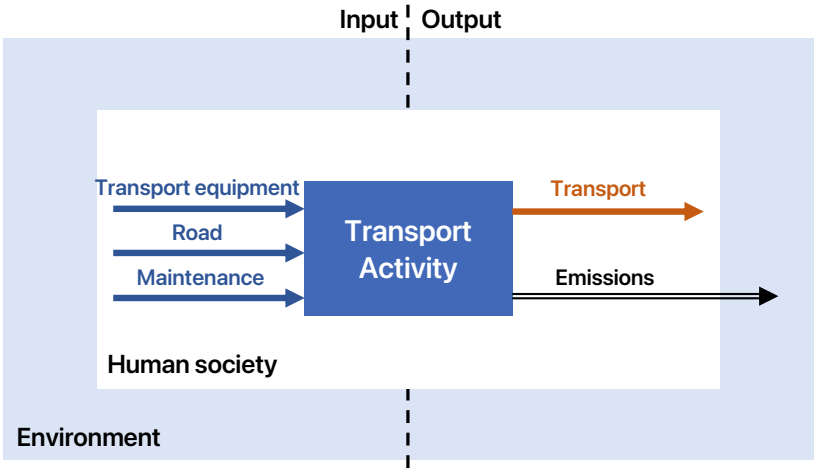


图 6 运输活动

3.2.2 混合数据集

混合数据集将多个较低层级的单元过程或市场数据集合并为单一的、更高层级的概况，以反映所有纳入组分的加权平均。混合可沿多个维度进行——例如按地域（如区域或全国混合）、按技术（生产混合）或按消费模式（市场组）。在混合数据集中，我们通过多源汇总确保生产相关数据的非保密性。这种方法在有效地匿名化特定企业数据的同时，提升了数据集的代表性。混合数据集的主要特征包括：

- **范围定义：**明确数据合并所覆盖的边界（区域、时间段、技术集合）。
- **份额因子：**用于对各组成数据集加权的份额或比例（如生产量、消费流量、市场份额）。
- **预混合输入：**每个输入数据集已包含其自身的过程清单、运输链和产品损耗。
- **元数据归档：**对混合方法、权重数据来源、假设条件，以及任何时间或技术调整的说明。

生产混合

生产混合数据集表征在特定区域和时间范围内，某一产品所有相关生产路径或工

艺变体的产量加权平均（图 7）。

构建该数据集时，首先识别各项独立的技术或制造工艺（例如转炉炼钢与电炉炼钢，或常规燃煤电厂与联合循环燃气轮机）。其次，计算各技术的相对市场或生产份额——通常来自行业统计、工厂层面调研或贸易数据——作为份额因子。然后将这些因子应用于相应的过程清单（物料、能源、排放和共产品），并汇总为单一的“平均”概况。其结果是一个具有代表性的单元过程，能够反映现实中在用技术的组合，在平滑场址特异性差异的同时，保留关键的区域性和时间性特征。随数据集附带的元数据应记录份额数据的来源与参考年份、所含技术清单、任何假设或数据缺口，以及加权与混合所采用的方法。通过定期更新生产混合数据集——每当市场份额发生显著变化或出现新技术时——分析人员便可保持最新的平均概况，从而支持一致且可比的生命周期评价。

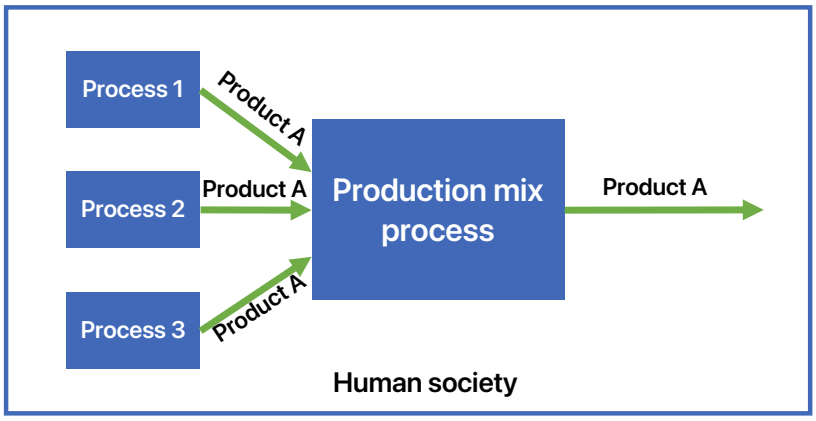


图 7 生产混合过程

消费混合（市场与市场组）

市场

市场数据集表征某一产品在特定地理区域（通常为省或市）内被消费时的综合供给组合。市场活动不对其输入进行转换，而只是将转换活动的中间输出传递给将该中间输出作为输入消费的转换活动，例如从供应方的硬煤传递到消费方的硬煤。它整合三类主要的产品供给流，并按其在当地消费中的份额加权（图 8）：

- **本地生产：**在同一区域内生产并使用的产品单元（“本地产、本地销”）。
- **国内进口：**在同一国家其他地区生产并运输至目标区域的产品单元。
- **国际进口：**来自国外的产品单元，包括从海外产地运输至本国入境港口的过

程。

为反映真实的物流情况，市场数据集还纳入：

- **国内运输：**国内进口产品从其他地区运至目标区域的运输。
- **港口后运输：**国际进口产品从本国入境港口运至目标区域的运输。
- **损耗：**运输阶段发生的产品损耗（如撒漏、变质）。

通过对各组分的生命周期清单（生产过程、运输链和损耗）施加消费份额权重，市场数据集得出一个具有代表性的概况，反映产品到达本地最终用户的所有路径。

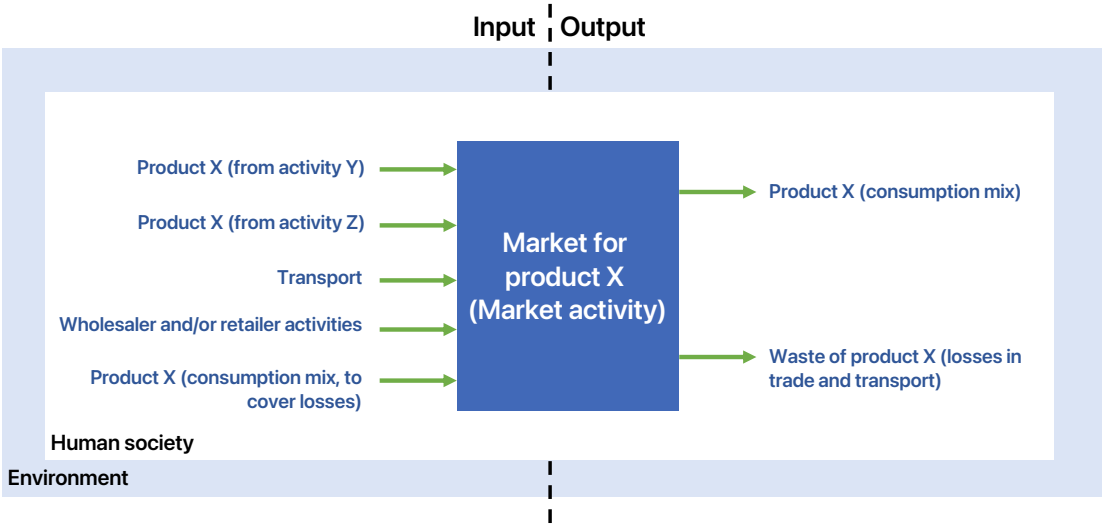


图 8 市场过程

市场组

市场组数据集组合多个市场数据集，以表征更大的地域单元（如多省区域或整个国家），其方式是按各组成市场在总消费中的份额对其加权（图 9）：

- **区域市场组：**由某一区域内所有子区域的市场数据集组合而成（如华东地区所有省份），并按各省对该产品全国消费的贡献加权。
- **全国市场组：**由各区域市场组数据集（如华东、华中、华南）组合而成，并按各区域在全国消费中的份额加权。

由于每个底层市场数据集已纳入生产、进口物流和运输损耗，构建市场组时只需对这些预混合概况进行消费量加权求和，在市场组层级无需额外的运输或损耗建模。

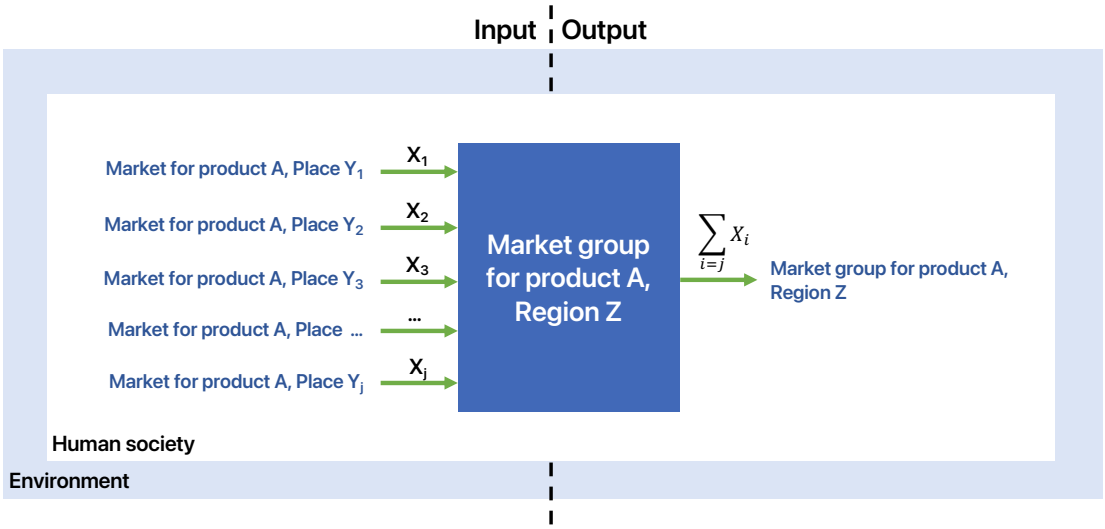

Input
Output
Market for product A, Place Y1
Market for product A, Place Y2
Market for product A, Place Y3
Market for product A, Place ...
Market for product A, Place Yj
X1
X2
X3
...
Xj
Market group for product A, Region Z
$\sum_{i=j} X_i$
Market group for product A, Region Z
Human society
Environment

图 9 市场组过程

4. 系统模型

HiQLCD 不仅是一个 LCI 数据库，也是一个相互连接的 LCI 数据网络。HiQLCD 中未链接的单元过程数据集通过数据库服务层相互连接：每一个中间输入——无论是电力消耗、原材料使用还是道路基础设施——都与相应的供应单元过程相链接。因此，任一单元过程的变化都会传导至几乎所有累积 LCI 结果。视其量级而定，这种涟漪效应对大多数数据集而言可忽略不计，但对少数数据集可能影响显著。

HiQLCD 将单元过程数据存储为未链接的多产出数据集，其中输入仅以产品名称标识，而非以供应活动标识，输出则可能包含多个产品。这种格式既反映了数据提供方通常交付单元过程的方式，也符合用户的一般查看方式。

为计算已链接的单产出系统数据集，数据库应用系统范围的建模规则，从未链接的多产出数据集中推导得出。原始的多产出数据集与派生的单产出数据集共享同一 UUID。

HiQLCD 提供三种类型的系统模型：

- *分配，基于分类截断*
- *替代，归果*
- *分配，截断，EN15804*

每个系统模型都遵循各自特定的 LCI 建模规则，但它们都遵循“归因型”或“归果型”建模的基本原则(Thomas Schaubroeck et al. 2021; JRC 2010b; Tomas Ekvall 2020; Tomas Ekvall et al. 2020; Rolf Frischknecht et al. 2016)。

4.1 分配，基于分类截断

*“分配，基于分类截断”*系统模型属于“归因系统”。该归因型模型将废物管理的责任完全归于废物产生者（“污染者付费”），并允许回收材料以无负荷方式进入后续过程（截断）。其指导原则是：初级生产承担所有上游负担；任何回收部分都从初级生产者处扣除。本系统模型适用于 ILCD 手册所定义的“情境 C”(JRC 2010b)。

- **回收材料** 成为回收过程的无负荷输入。例如，回收纸仅承担收集与回收的影响，而不承担原生纸的林业采伐和制浆负担。
- **废弃物** 承担 其处理的全部负担。有价值的副产品（如城市垃圾焚烧产生的热能）被截断：其收益不再分配回废物产生者。

数据库中所有的中间流都在产品层面（而非活动层面）被分类为**可分配产品**、**可回收物**或**废弃物**。这一分类决定了每个流在分配过程中的处理方式。

- **可分配产品**：具有经济价值的普通（共）产品；纳入分配。
- **可回收物**：无经济价值或经济价值较低、可作为回收活动输入的材料（如废金属、废纸）。
- **废弃物**：无经济价值或具有负经济价值、需要处置服务的材料（如废水、受污染土壤、放射性废物）。

可回收材料在进入回收或处理过程的节点被截断，因此在后续使用中是无负荷的。废物处理完全分配给废物产生者。废物处理产生的任何有价值的输出同样按截断法处理，可在不承担进一步环境负担的情况下使用。由多功能活动产生的普通共产品，则按适用的方法学规则通过分配程序处理。

4.1.1 多功能过程

对于每个多产出活动，系统首先进行平衡检查，然后应用分配因子（用户自定义或默认的经济分配）将输入、排放和中间流在各产出之间进行划分。分配方法的选择（如经济价值法与物理属性法）取决于 LCA 的范围和目标。在移除可回收流和废物流（移至输入端）后，剩余的共产品按其既定因子进行分配（图 10）。对于经济分配，市场价格存于我们的数据管理系统 HiQEditor 中，并在适用经济分配的数据集中予以记录。市场价格每 5 年更新一次，并据此重新计算经济分配。

HiQLCD 中特定部门的数据集，依据其对 PCR 要求的符合情况进行分配。为确保在组合数据集时得到方法学上一致的结果，整个 HiQLCD 数据库以经济分配作为首要默认规则。仅当物理关系决定应采用不同方法（如质量或能量分配）时才作例外。至关重要的是，所有此类偏离均在**附录 A** 中明确记录。这种透明性

使从业者能够识别采用不同分配规则的数据集，并评估其与自身所分析系统的兼容性。

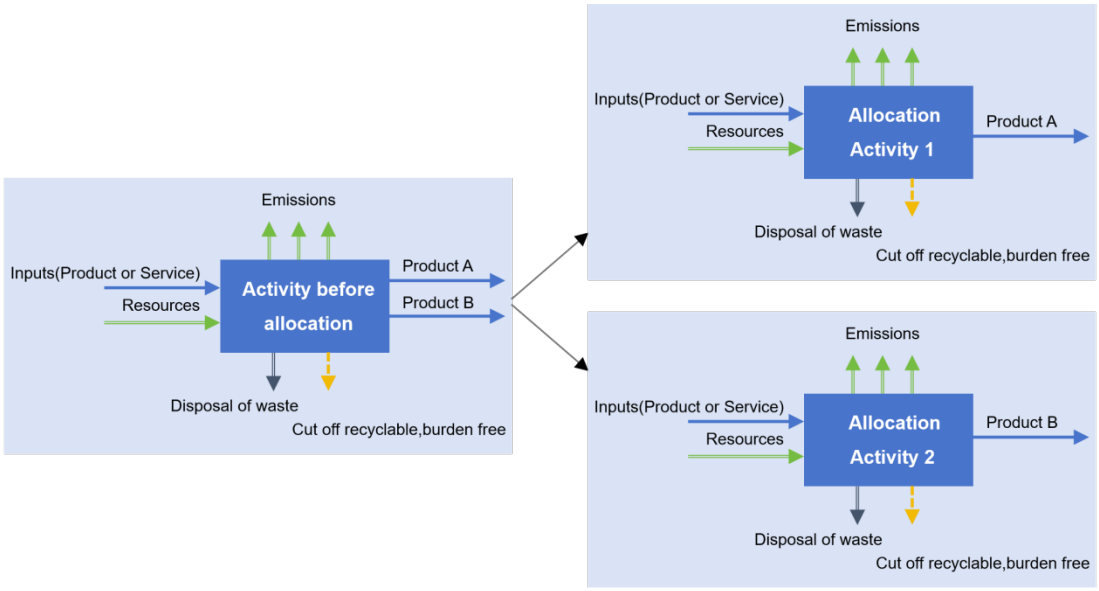


图 10 截断系统模型中数据集的分配

HiQLCD 确保分配规则的一致应用：可为单个数据集定义特殊方法，而其余所有数据集默认采用经济分配，即以市场价格乘以产出数量得出收入份额作为分配因子。

此外，以待处理材料作为输入的活动不单独进行分配（图 11）。分配属性对待处理材料并不适用，而仅适用于回收活动或特殊生产之后的材料。

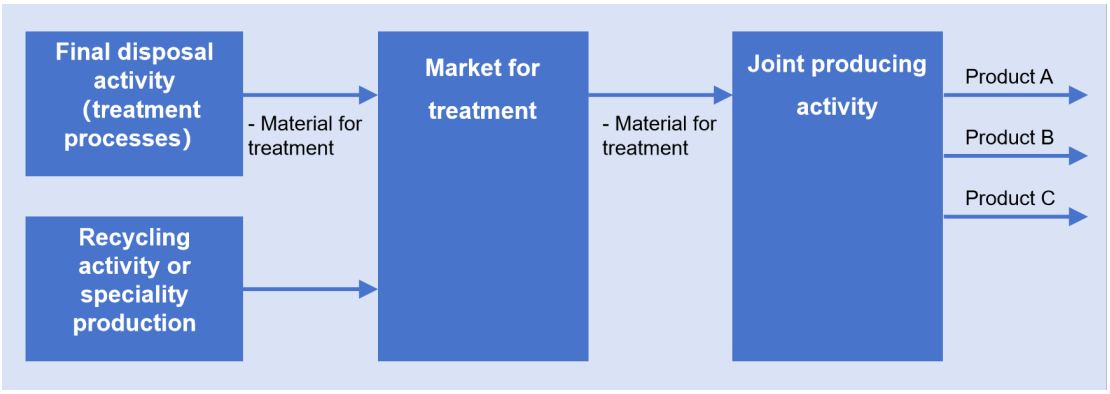


图 11 含待处理材料的数据集的分配

4.1.2 再利用与回收截断

可回收产出通过引用一个特殊的*"产品名称，截断"*数据集与初级生产相分离，该数据集不含任何输入或排放（无负荷）。在初级生产活动中，回收产出被记录为

一个负输入，指向一个空的截断过程（图 12）。

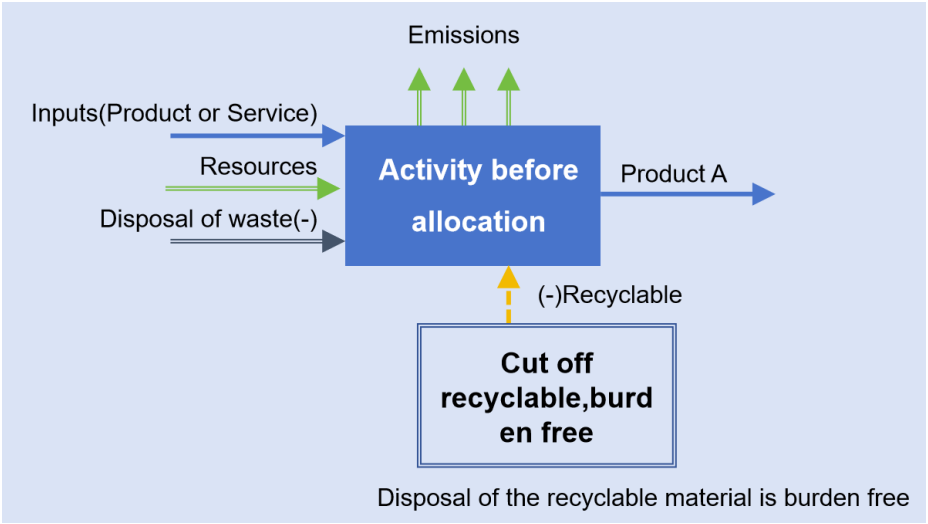


图 12 可回收产出的“截断”

截断发生在可回收材料离开初级生产阶段时。下游回收过程从与无负荷回收数据集相连的市场中获取材料（图 13）。

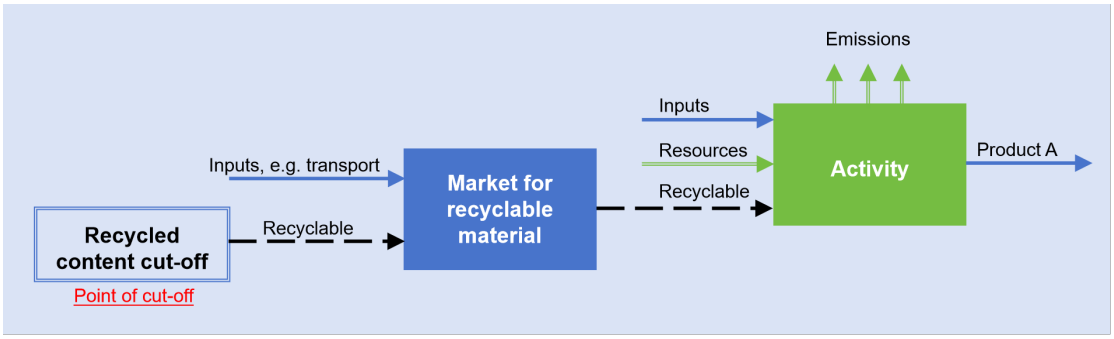


图 13 可回收输入的“截断”

特殊情况：回收链

在 LCI 数据库中，回收过程可能跨越多个相互链接的单元过程，截断通常在回收开始时应用，但有时会因回收材料的中间形态而细化。例如，未分拣的消费后废料首先经过收集和分拣——产生“分拣后废料”——它与原始废料一样，被归类为无负荷的可回收输入（图 14）。然而，尽管废料和分拣后废料都从初级生产中被截断，回收链本身仍被建模：分拣后废料的供应链可追溯至最初的废料收集阶段，从而确保第二生命周期的连续性，并消除两种材料形态之间的任何人为边界。

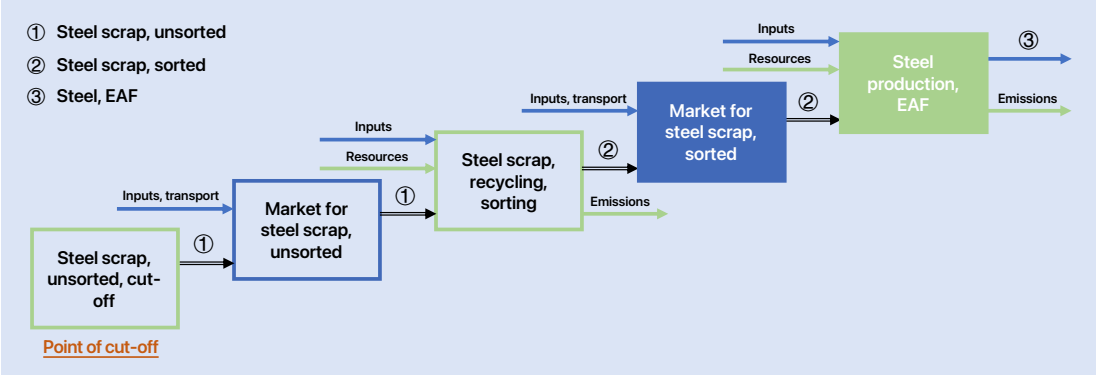


图 14 截断系统模型中的回收链

4.1.3 废物处理分配

废物产出被建模为负输入，表示需要废物管理服务。废物管理过程随后提供相应处理，其输入和排放完全分配回产生废物的活动。

处理过程中任何非废弃物的副产品（即具有剩余价值的材料）在废物处理过程结束时被截断，并作为无负荷产出进入数据库，可供其他系统使用（图 15）。

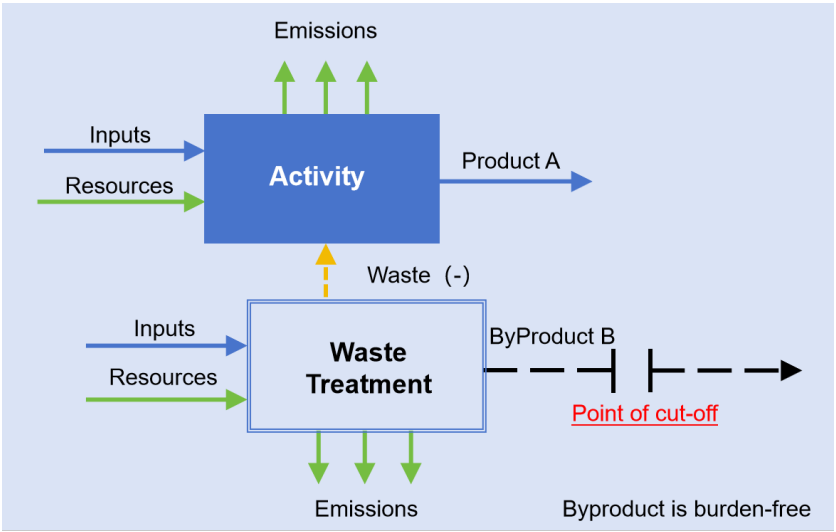


图 15 废物处理活动中的截断

4.2 替代，归果

*“替代，归果”*系统模型属于更广义的“归果系统”范畴，并通过替代来解决多功能性问题。在该模型中，所有共产品都被假定为替代市场上的等效产品，同时预期这些产品不会在背景系统或其他系统中引起额外装机或减产等大规模后果，即不会对其造成结构性改变。该方法所依赖的基本假设与归因型建模不同，常用于“假

设性”分析和未来情景预测，主要用于微观层面的决策支持。本系统模型适用于ILCD 手册所定义的“情境 A”(JRC 2010b)。

该模型有两条核心原则：

- **共产品替代：**所有共产品都被建模为负输出（移至输入端），主过程被赋予所有输入和排放的全部环境负担。通过取代市场等效产品而避免的环境影响被计入系统。例如，垃圾焚烧产生的电力被假定替代来自化石燃料等常规来源的电力。
- **等效替代：**被替代产品与被取代产品之间的功能差异应予以考虑，且优先通过替代实际被取代的数量来处理（例如，炼钢共产品转炉渣在水泥中实际替代的硅酸盐水泥用量）。或者，作为次优选择，可通过对被替代功能及其清单的数量进行市场价值修正来考虑这些差异，即共功能与其所应取代功能之间的市场价格比值。

4.2.1 多功能过程

4.2.1.1 单一参考产品的过程

当某一过程只有一个主要参考产品，而其他输出被视为非参考的共产品时，这些共产品被建模为负输入。核心过程保留所有直接输入和排放。环境负担仅分配给参考产品，而共产品被建模为替代市场上的等效产品。若对于非所需的共功能，存在以足够规模运行/生产的功能等效替代过程/产品，则该非所需共功能应以被取代过程或产品的平均市场消费组合来替代，并从该组合中排除待替代的过程路径/产品（图 16）。

与完全归果建模相比，这种简化处理的理由在于：要在潜在过程中识别出最可能被取代的那些过程并计算被取代组合，需要投入大量精力。在完全归果建模中，需要识别出最可能被取代过程的组合。而过程选择虽可能更精确、但同时也更不确定，其带来的有限收益被认为不足以证明这一投入的合理性。

市场组合被用作一种现实且稳健的近似，它额外考虑了各种次要后果和约束的存在——这些通常可被假定为会减少或完全抵消/避免理论上的主要后果。共产品与其原始生产者之间的链接被移除，取而代之的是，负输入直接连接到相应的市

场数据集。

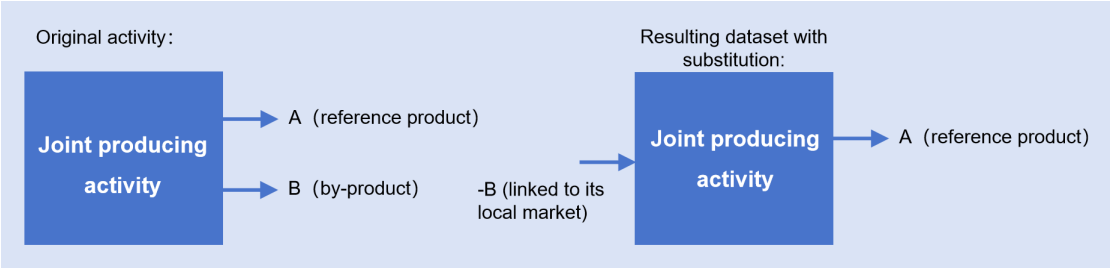


图 16 原始多产品活动及由此生成的、采用替代法的数据库数据集

4.2.1.2 联合生产过程（多个参考产品）

与理论上的完全归果模型相比，不应对决定性共功能（多个参考产品）进行替代。若无法识别这些决定性共功能，则假定其为：在所分析的多功能过程或系统的全部共功能中，合计贡献超过 50% 市场价值的那些共功能。这意味着，实际上会被替代的恰是该过程的主要决定性共功能(JRC 2010b)。

当一个活动存在多个参考产品时（这种情况可能发生在存在多个产品输出且不存在替代生产路线时），多产品数据集会被复制为与参考产品数量相同的若干活动，因为上述程序需要分别针对每个参考产品执行，以分别反映各产品需求增加所带来的后果。因此，对于生产多个同等重要参考产品的过程——如石油开采中的原油与天然气，或采矿中的铅精矿与锌精矿——需要在各参考产品之间进行分配。根据研究目标和技术关系，分配可基于物理属性（如质量）或经济价值进行。

除主要参考产品之外的任何附加副产品，均按第 4.2.1.1 节的方法处理——它们被建模为负输入，用于替代市场等效产品。

4.2.2 废物处理分配

在*“替代，归果”*系统模型中，可回收和不可回收废物都被视为需要处理的负担。废物处理过程的所有环境影响都被分配给产生该废物的活动。

若在处理过程中回收了有价值的副产品——例如垃圾焚烧产生的电力——这些副产品被建模为负输出，用于替代市场等效产品。

因此，对于废物和生命末期处理，采用系统扩展：通过可回收性替代，以二次产

品所在市场的平均原生路线市场组合来替代所避免的初级生产；功能差异则通过替代实际被取代的数量或市场价值修正来考虑（图 17）。采用原生生产市场组合的简化替代，其理由与上文所述多功能性一般情况下使用市场组合的理由相同。一个例子是来自生产废物或生命末期产品焚烧并能源回收所产生的电力。被取代并待替代的过程，是废物/生命末期处理发生地所在市场（如国家、地区、子电网）的电力组合，但需排除待替代的那一电力来源。

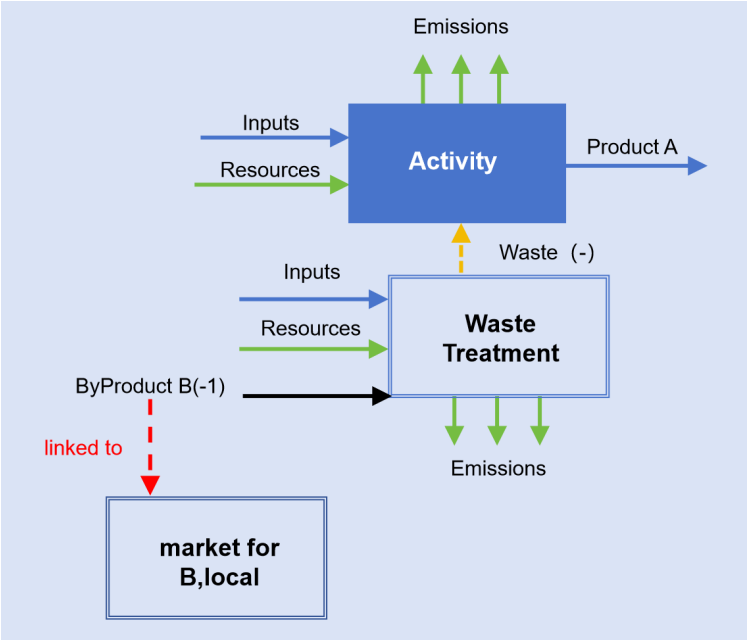


图 17 废物处理活动中的替代

特殊情况：回收链

以钢铁回收为例，一条完整的回收链包括：

1．废钢收集与分拣（进入市场）

- 输入：废钢，未分拣（负输出）
- 输出：废钢，已分拣

2．钢铁回收（电炉，100% 废钢输入）

- 输入：废钢，已分拣
- 输出：再生钢，电炉

在*“替代，归果”*模型中，分拣和回收过程都将废钢（无论已分拣还是未分拣）视为待处理的输入。光伏支架系统的生产通过未分拣废钢的负输入（-1）与回收链相链接。该记法表示光伏系统将废钢作为副产品/废物产生，而废钢随后成为分

拣过程的原料。

废钢流经分拣阶段和市场，最终进入钢铁生产（电炉）过程。由此得到的再生钢被建模为在全球市场上取代初级（原生）钢。通过这种链条层面的替代，环境收益（即避免生产原生钢的影响）被有效地追溯并归功于提供可回收资源的光伏支架系统。

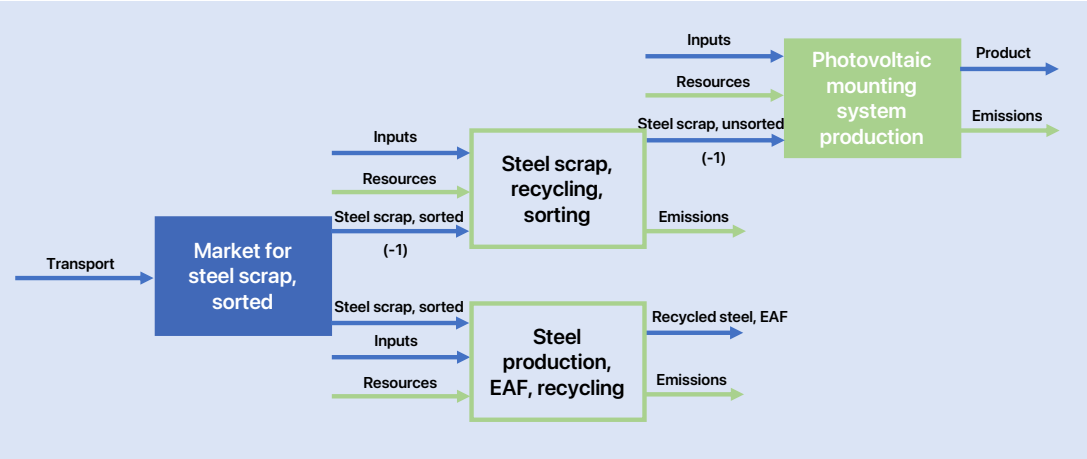


图 18 归果系统模型中的回收链

4.3 分配，截断，EN15804

*“分配，截断，EN15804”*系统模型属于归因系统。该系统模型旨在满足环境产品声明（EPD）从业者的需求，符合 EN15804(CEN/TC 350 2019)、ISO21930(ISO 2017)和 ISO14025(ISO 2006a)的归因解释，提供这些标准所要求的所有生命周期清单指标，并遵循欧盟委员会设定的*“废弃终止”*标准。

*“分配，截断，EN15804”*系统模型遵循截断法的基本原则。所有中间流被分为三类：可分配产品、可回收物和废弃物。其分类决定了在建模框架内的分配方法。与*“分配，基于分类截断”*系统模型类似，废物的产生者承担废物处理的全部负担（“污染者付费”）。可回收产出在被使用时对使用者而言是无负荷的。

*“分配，截断，EN15804”*系统模型与*“分配，基于分类截断”*系统模型的主要差异如下：

- **截断点：**初级系统与次级系统之间的边界，依据 EN15804&A2:2019 的废弃终止标准来界定和调整。遵循该指南，部分供应链中的截断点已作调整，以与废弃终止标准保持一致。在这些情况下，产品分类（即可分配产品、

可回收物、废弃物）在必要时也作了相应修改，以与新的截断点保持一致。材料达到废弃终止状态后可能需要的进一步处理，不再属于初级系统。

- **清单指标：**EPD 所要求的指标在 LCI 和 LCIA 两个层面提供。*"分配，截断，EN15804"*系统模型提供描述资源使用、废物类别和输出流的 LCI 与 LCIA 指标，以及生物源碳含量信息，与 EN15804&A2:2019 保持一致。

4.3.1 废弃终止状态与截断点

在支持环境产品声明（EPD）的 LCA 中，符合 EN15804&A2:2019 的系统边界以"废弃终止"状态为参照来界定。EPD 中报告的一组指标涉及跨越该边界的非基本流交换，它们既可能是研究系统的输入，也可能是其输出。在*"分配，截断，EN15804"*系统模型中，截断点遵循"废弃终止"标准。

4.3.1.1 废弃终止状态

根据 EN15804 的定义及欧盟《废弃物框架指令》(European Commission 2008)，当满足以下条件时，材料达到其废弃终止状态：

- 回收的材料、产品或构件被普遍用于特定目的；
- 对该回收的材料、产品或构件存在市场或需求（例如通过正的经济价值来识别）；
- 回收的材料、产品或构件符合特定用途的技术要求，并满足适用于产品的现行法规与标准；
- 使用该回收的材料、产品或构件不会导致整体上的不利环境或人体健康影响。

废物处理过程通常属于初级产品系统的一部分，依据"污染者付费"原则。材料达到废弃终止状态后可能需要的进一步处理，不属于初级系统。例如，在*"分配，截断，EN15804"*系统模型中，金属在精炼厂或重熔炉的回收活动已超出该废弃终止状态。用于回收的材料、用于能源回收的材料以及输出的能源，均按"达到废弃终止状态并离开系统边界时"的数量计算。

在实际应用中，物料流越过废弃终止状态的确切节点须视具体情况而定，许多情况下取决于何时达到特定的成分或性能。若尚未达到废弃终止状态的再生材料与

原材料混合，并在生成单一产品的过程中发生化学转化，则废物处理与产品制造之间其他过程输入与输出的分配，在可能的情况下同样需要逐案处理。这种逐案处理在通用数据库中无法实现，因此 HiQLCD 对此作出了相应假设。

4.3.1.2 “分配，截断，EN15804”中的废弃终止状态

基于上述废弃终止标准，部分供应链中的截断点已作调整，并在必要时修改了副产品分类，以与新的截断点保持一致。例如，在*“分配，基于分类截断”*系统模型中，“废铁，未分拣”被视为可回收物；而在*“分配，截断，EN15804”*系统模型中，“废铁，未分拣”属于废弃物，只有在分拣活动之后，它才成为具有市场、并满足法律技术规范要求的可回收产品。

由于截断点的调整，部分数据集的建模不得不随之改变，以适应新的副产品分类。例如，过程*“废钢，回收，分拣”*在*“分配，基于分类截断”*系统模型中的基准流为“1 kg 废钢，已分拣”，而在*“分配，截断，EN15804”*系统模型中，该过程被修改，基准流被设为“-1 kg 废钢，未分拣”，以满足废弃终止标准（图 19）。

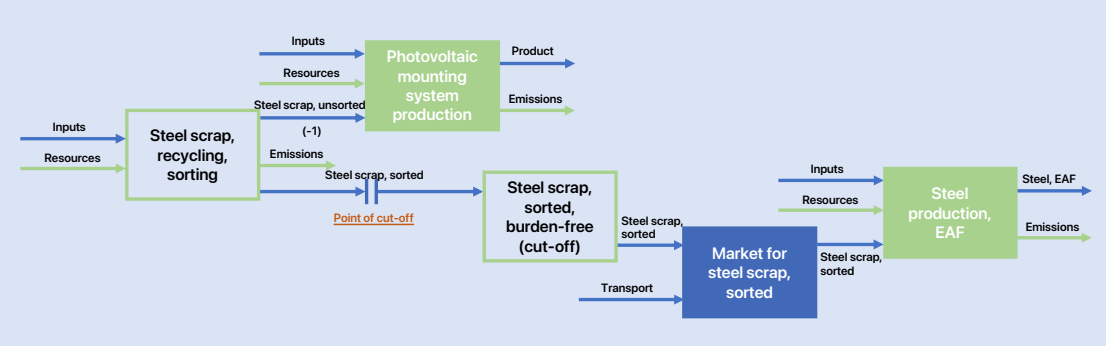


图 19 EN15804 系统模型中基于“废弃终止”标准调整后的截断点

4.3.2 多功能过程

*“分配，截断，EN15804”*系统模型遵循 EN15804&A2:2019 所规定的分配规则。在可回收流和废物流被移除（移至输入端）后，剩余的可分配产品按其既定因子进行分配。当某些产品（如高炉矿渣和粉煤灰）对其生产活动的收入贡献极小时，它们不分摊生产活动的任何影响(CEN/TC 51 2022)。在这种情况下，这些产品的消费者将以无负荷方式获得它们。

4.3.3 清单指标

根据 EN15804&A2:2019，需要申报三组生命周期清单指标以及生物源碳信息，以提高产品环境性能描述的透明度。在 HiQLCD 的*“分配，截断，EN15804”*系统模型中，这些指标描述资源使用、废物类别和输出流，并提供生物源碳含量信息。下表概述了该系统模型所包含的 LCI 指标：

- 再生材料使用量（SM）
- 可再生二次燃料（RSF）
- 不可再生二次燃料（NRSF）
- 用于回收的材料（MFR）
- 用于能源回收的材料（MER）
- 输出能源—电力（EEE）
- 输出能源—热能（EET）
- 用作原材料的可再生一次能源使用量（PERM）
- 用作原材料的不可再生一次能源使用量（PENRM）
- 不含用作原材料部分的可再生一次能源使用量（PERE）
- 不含用作原材料部分的不可再生一次能源使用量（PENRE）
- 可再生一次能源使用量总计（PERT）
- 不可再生一次能源使用量总计（PENRT）
- 净淡水使用量（FW）
- 处置的危险废物（HWD）
- 处置的非危险废物（NHWD）
- 处置的中低放射性废物（ILLRW）
- 处置的高放射性废物（HLRW）
- 产品中的生物源碳含量（BCCP）
- 随附包装中的生物源碳含量（BCCAP）

在 HiQLCD 中，清单指标的计算采用改编自 ecoinvent 实现框架的混合方法 (Sonderegger T. and Stoikou N. 2023; Ioannidou D. et al. 2021)。具体而言，这些指标依类别不同通过两种不同途径得出：一部分通过类似特征化的方法（与 LCIA 类似）使用特定的“基本流”计算，另一部分则直接由物理“流属性”（如生物源碳含量）得出。

为建模这些指标，已根据该指标究竟是过程特征（如再生材料使用量）还是产品特征（如生物源碳）而分别使用基本流和流属性。例如，碳含量是基于“流属性”计算的，而非作为独立的清单流。具体而言：（1）对于产品中的生物源碳含量（BCCP）：使用产品流预先定义的“非化石碳含量”属性计算。（2）对于随附包装中的生物源碳含量（BCCAP）：由具体包装材料输入/输出（中间流）的“非化石碳含量”属性，结合质量平衡计算得出。这些指标的计算考虑了上一段所定义的截断点。例如，资源输出流按“达到废弃终止状态并离开系统边界时”的数量计算（图 20）。

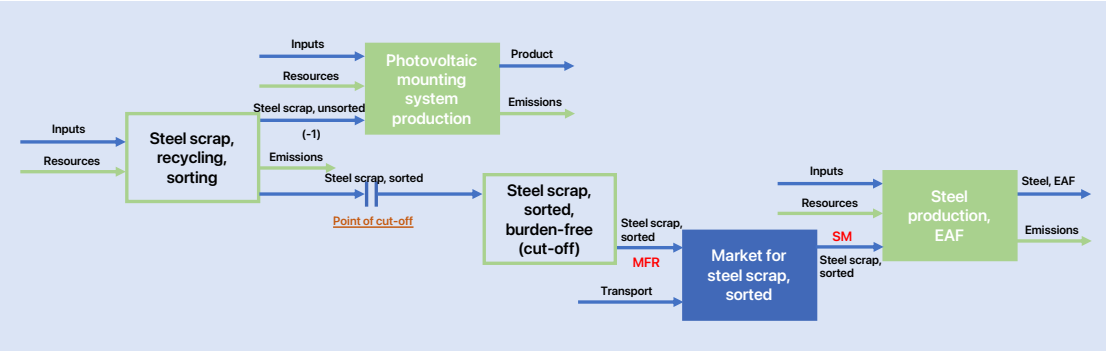


图 20 在计算“用于回收的材料（MFR）”与“再生材料使用量（SM）”两个指标时所考虑的流

5. 审核与归档

5.1 审核流程与质量保证

HiQLCD 在其数据库管理体系中建立了基于两层质量检查的审核与验证程序，以进行质量保证：

1) 内部质量检查：作为首要的过滤机制，这一层由开发团队与战略学术合作伙伴进行迭代审核，目标是在数据定稿前解决技术错误、确保模型稳健性并验证方法学一致性。
2) 外部质量检查：作为最后的把关环节，这一层由独立的第三方审核机构执行，目的是对数据库的透明性与代表性作出客观评估，确保其无偏地符合国际标准。

这两层中的详细流程与角色如下所述。

内部质量检查：

- **一级内部审核**：一级内部审核团队由数据库开发团队成员组成，审核范围主要涵盖数据质量与模型完整性。
- **二级内部审核**：二级内部审核团队由审核专家组成，审核范围侧重于行业特定审查以及模型的科学稳健性。根据数据类型及其预期用途、所属专业领域，以及数据是否源自内部或外部来源和/或机构，由我们的合作伙伴（如清华大学天工团队、中国科学院，以及其他学术与行业专家）或独立机构进行第二轮质量审核。该遴选过程灵活且以需求为导向。审核人数由数据集的复杂程度及所涉具体工业领域决定。首要准则是确保获得足够的领域专业知识，以验证数据的技术准确性。因此，我们会邀请所需数量的相关专家以确保审核的稳健性，而不设预先规定的人数上限。

已为所收集数据及单元过程准备了一份通用方面的检查清单（涵盖技术信息、平衡检查和合理性检查）（**见 3.1.2**），以确保满足数据质量要求。

在合理性检查中，基本原则是避免出现过高或过低的数值和/或缺失的排放。因此，合理性与错误检查不仅须在单元过程层面进行，还须扩展至供应链层面。这

些合理性与错误检查会与内部 LCA 专家、行业客户及学术合作伙伴共同进行严格讨论与优化。

对于典型过程/产品，可从标准、行业研究报告、同行评审出版物及其他数据库获得具有代表性的排放数据。这些指标用于对相似过程进行交叉核对与比较。HiQLCD 中新增或更新的数据由数据开发人员逐一与现有或可比数据集进行双重核对。

一级内部审核与二级内部审核的关注重点有所不同。一级内部审核涵盖四个方面，二级内部审核涵盖三个方面，详见下表。

表 5.1 一级内部审核

	内容	描述	目的
数据质量控制	背景数据选择	数据来源是否可靠、是否与系统边界和技术流程一致；地理、时间、技术代表性是否充分	确保背景数据具有代表性与一致性
	数据与单位一致性	背景数据与前景数据是否协调；物料流与能量流的单位与计量方法是否一致	确保计算结果的一致性与准确性
	数据完整性	是否完整涵盖所有输入/输出；避免遗漏关键流	确保系统边界内数据的完整性
	数据准确性与精确性	数据来源是否可靠、误差范围是否可接受、测量方法是否准确	提高数据可靠性，减少系统性偏差
	不确定性分析	影响的不确定性分析与敏感性分析是否充分、合理	确保结果的稳定性与透明度
模型的科学性与合理性	系统边界	系统边界是否定义全面、描述清晰	确保产品系统被全面覆盖
	LCI 建模方法	建模过程是否遵循 LCA 原则；参数设置、公式与逻辑关系是否科学合理	确保建模在理论上成立且可验证
	质量与能量平衡	质量、能量、元素是否守恒；输入/输出物质是否合理配平	避免遗漏关键输入/输出流、虚假排放或高估能效
	功能单位/声明单位	功能单位或声明单位是否定义清晰；是否符合 ISO 标准、行业指南或 PCR 要求	确保可比性
模型完整性	排放谱系与截断点	是否存在未建模的排放、未链接的上下游过程，或运输/废物	确保模型完整并覆盖整个生命周期

		处理等环节的遗漏	
	能源与资源输出建模	是否包含余热、蒸汽或电力等共产品；能源回收或材料回收输入是否合理建模	确保系统输入与输出的完整表达，避免高估收益
数据库文档化	数据来源标注	每个数据集是否有明确标识的提供方或界定的责任	确保数据来源清晰，便于追溯与责任划分
	命名一致性	各类材料、能量流和过程的名称是否符合统一命名规范	确保数据集之间的一致性，避免歧义与重复
	资源流、排放流、能量流的系统化记录	资源输入、排放和能量流是否完整记录，单位与属性是否明确	提升数据透明度，确保平衡性与可比性
	每个过程的背景说明、数据来源与参考文献	是否为每个过程提供必要的背景信息和可靠的参考文献	确保数据透明性与科学性，便于验证与复用
	引用格式一致性	文档与数据引用格式是否一致并符合规范	确保数据集之间一致，便于学术与行业引用

表 5.2 二级内部审核

	内容	描述	目的
数据质量控制	背景数据选择	数据来源是否可靠；系统边界与数据流（地点、时间、技术代表性）是否恰当	确保背景数据具有代表性与一致性
	数据与单位一致性	背景数据与前景数据是否协调；物料流与能量流的单位与计量方法是否一致	确保计算结果的一致性与准确性
	数据完整性	输入/输出流是否完整涵盖，避免遗漏关键数据或边界缺口	避免系统边界“泄漏”，确保完整性
	数据准确性与精确性	数据来源是否可靠、误差范围是否可接受、测量方法是否准确	提高数据可靠性，减少系统性偏差
	不确定性分析	是否开展了不确定性与敏感性分析	确保结果的稳定性与透明度
	技术状态（先进/常规/成熟/中试/实验室）	模型是否准确反映工业水平或研发阶段	确保模型贴近实际
	工艺整合程度	该过程是独立单元，还是嵌入其他工艺系统	明确界定系统边界与建模范围

	计算方式（平均值或特定值）	数据代表行业平均值，还是来自具体企业/装置的特定值	确保方法学透明、结果可比
	关键过程	主要生产步骤是否在建模层级被准确体现	确保建模覆盖核心过程。
	反应物/产物的种类与数量	输入/输出是否完整、合理，单位是否一致	确保物料平衡与准确性
	化学反应效率与产率	反应路径是否符合理论与实际，产率是否真实	避免高估或低估效率
	副产品、废物与残留物	其去向（回收/处理/排放）是否被建模	避免遗漏环境排放
	循环流（如内部回用材料）	是否纳入系统边界，路径是否完整	确保物料循环的完整性
	辅助材料与公用工程	蒸汽、水、电等辅助投入是否被建模	确保系统输入的全面覆盖
	末端治理	石灰、氨等末端控制投入是否真实、合理	确保污染治理过程的可信度
模型的科学性与合理性	技术状态与工艺逻辑	模型是否反映实际工艺或行业平均水平，过程是否真实、具有代表性	确保模型真实且具有代表性
	行业特定的分配方法	是否正确应用了行业通用的分配方法（如钢铁行业的共产品处理）	确保方法符合行业规范，避免偏差
	替代假设的适宜性	替代建模是否符合行业逻辑，例如回收铝是否替代原生铝	避免误导性的减排效果，保持科学性
	共产品与系统扩展建模	是否考虑了共产品的分配/替代，系统扩展是否运用得当	减少系统偏差，防止结果误导
	能量平衡（低位热值/高位热值）	模型是否正确表示所有能源输入（电力、热力、燃料）	避免遗漏或高估能效
	质量平衡	输入是否等于输出，总质量是否守恒	防止数据遗漏或失真
	元素平衡（碳/金属等）	关键元素是否守恒，回收流是否被建模	确保元素守恒与循环利用
	化学反应方程式	反应方程式是否配平、是否与实际工艺一致	确保质量与能量守恒
	废物与再生材料的建模方法	废物是否被错误建模为原生材料，回收过程是否反映行业实践	避免低估或高估与回收相关的环境负担
异常数据审核	功能单位	功能单位是否定义清晰、是否符合 ISO 标准	确保可比性
	系统边界完整性	上游过程（如资源开采）是否相连，是否避免了断点	确保覆盖完整生命周期
	燃料建模缺陷	是否只建模了燃料输入而忽略了燃烧排放	避免温室气体被低估
	运输建模	运输距离是否代表实际或典型	避免低估/高估运输影

		情况	响
	替代	回收或共产品建模是否合理	避免误导性收益
	废水处理	废水及其处理是否被建模	防止遗漏与水相关的影响
	二次材料建模	再生材料是否被错误地视为“无负荷”	避免结果偏差
	共产品分配/系统扩展	分配或系统扩展是否运用得当	避免引入无关功能
	能源输出	蒸汽、余热、电力等是否被正确建模	确保合理的能效
	废物/残渣处理	影响是否被高估，或再生材料是否被错误建模为原生材料	确保建模的合理性

外部质量检查：

外部审核由独立的外部审核机构或公司执行。数据库的外部审核涉及三个角色：

- HiQLCD 团队：负责提供所有必要信息，回应审核意见，并确保内容按照质量保证程序进行更新。
- 独立外部审核专家：由外部审核机构/公司的审核团队组成，负责评估数据库模型的数据来源、建模方法和文档质量。他们基于独立样本进行检查，并向原数据团队提供讨论与反馈。
- HiQLCD 内部质量保证团队：实施多层级质量控制流程，包括回应问题、更新数据库以及由专家再次审核。

LCI 数据库的外部审核关注五个方面：方法学一致性、路径一致性、数据完整性、地理代表性，以及分类与活动类型的准确性，详见下表。

表 5.3 外部审核

	内容	描述
方法学一致性	一致性	验证模型是否符合数据库建模指南和 ISO 14044 的要求，特别是在分配、系统边界、取舍准则以及 LCIA 方法应用的一致性方面
	与 LCIA 方法的兼容性	检查数据项是否与 LCIA 方法（如 EF3.1、ReCiPe、CML）对应，以确保可用于后续影响计算
路径一致	供应链建模路径的一	验证产品或活动是否完整追溯至原料开采或一次能源；

性	致性	缺失的链接可能导致系统不完整或影响被低估
	背景数据引用的一致性	确保电力、运输、燃料等背景数据引用自同一版本数据库，来源一致
	技术路径逻辑的一致性	验证各建模步骤（如反应、分离、处理）是否构成连续的技术链，不存在跳步或逻辑不通的过程链接
数据完整性	质量与能量平衡	检查输入与输出是否平衡（如分配前后的总质量/能量），是否存在异常损失或数据缺项
	流覆盖的完整性	验证是否包含所有主要原料、能源、水、排放流、共产品、副产品及废物流
	元数据的完整性	确保每个数据集包含完整的元数据，包括单位、时间、地区、技术说明、数据来源和建模假设
	排放与废物流的完整性	验证 CO_2、NOx、废水、固废等关键排放和废物流是否被完整表示，包括其处理过程
地理合规性	区域代表性	验证数据集是否与目标地区的实际背景相符（如电力结构、技术路径、法规要求）
	区域流的一致性	确保所选背景过程（如运输、电力）与目标地区一致，避免使用“默认全球”数据
	跨区域处理的一致性	涉及多个国家或地区的数据分配是否得到恰当处理，进出口过程的建模逻辑是否一致
分类与活动类型的准确性	国际分类一致性（ISIC/NACE）	数据集所标注的分类是否与所代表的技术活动对应，避免分类错误影响数据筛选与分配
	活动类型标注的准确性	数据集是否被准确标注为“能源”“材料”“过程”等，以确保在系统中被正确识别
	行业分类逻辑的合理性	检查数据集是否被分配到正确的行业审核团队或活动范围，避免专业匹配错误

审核人员资质：

- 领域专家：需具备至少 5 年专业经验，深入精通特定行业技术、生产路线和环境影响评估，并能够分析复杂数据集。
- LCA 专家：需具备 5 年 LCA 专业经验，拥有扎实的理论基础，熟悉数据库所涉及的产品或工艺，并能有效识别数据集中的技术问题或不一致之处。

HiQLCD 中的每个数据集都经过包含内部与外部审核的全面审核流程。通常由至少一名 LCA 专家和一名领域专家组成的配对团队进行审核。

5.2 命名规范

一致的命名规范是数据库质量的重要方面。为确保标准化，HiQLCD 所采用的命

名规范主要依据 ILCD 手册的指南(JRC 2010c)，以确保与国际标准的总体一致性。因此，任何数据库对象（包括影响特征化因子、流属性、流和过程）都必须被正确命名。当因数据库中不存在而需创建新过程或新流时，须保持与现有活动或流的一致性。

5.2.1 过程命名规范

HiQLCD 的过程命名规范涵盖 11 个关键维度：产品名称、技术路径/工艺路线、材质/成分、形态/物理状态、规格（定量）、应用范围、燃料类型、产品品质（定性）、标准、来源以及补充说明。这一结构化命名规范能够精确表征活动，并对不同过程作出无歧义的区分。

所有维度同等重要且相互补充，共同构成一个集成的描述框架。例如，一个过程名称可表述为："*单晶硅光伏电池；TOPCon 技术；N 型；210mm*210mm*"。该示例展示了多维描述符如何明确捕捉关键生产特征，并为数据集提供详尽的信息基础。

维度定义：

- **产品名称**：与该活动相关的具体输出产品或服务。
- **技术路径/工艺路线**：与生产或服务相关的技术或工艺。
- **材质/成分**：产品的材料或成分。
- **形态/物理状态**：产品的最终形态（固体、液体、气体）或几何形式（板、管、丝）。
- **规格（定量）**：产品的关键参数（如直径、长度、功率等级）。
- **应用范围**：产品的功能场景（如农业设备、工业设备）。
- **燃料类型**：生产中所用的燃料类型，尤其适用于发电、设备和运输环节。
- **产品品质（定性）**：产品的质量特征或等级，如高密度、无杂质、食品级等。
- **标准**：产品或服务所满足的法规或标准（如车辆的国四、国五）。
- **来源**：产品的原料来源（原生/再生、生物基/化石基）。
- **补充说明**：无法归入其他维度但对产品十分重要的信息。

5.2.2 流命名规范

HiQLCD 中的流按层级结构存储，该结构依据技术特征（适用于非基本流和自然资源）以及排放归属介质（空气、水、土壤）进行组织。

总体而言，HiQLCD 中所有相关的 LCI 基本流（资源与排放）均已预先定义。因此，用户需要新增定义的基本流数量极少甚至为零。

流名称结构由基础名称和附加字段组成，附加字段用于进一步细化流信息，主要用于产品流和废物流。

- **基础名称**：符合行业通用术语的概括性描述名称。仅当缩写已被广泛接受和认可时方可使用。
- **附加字段**：用于描述材料/成分、含量或其他能反映产品自身特性的参数（如铁矿石，45%Fe）。

5.3 流的归档

流的归档是过程及 LCI 结果固有归档工作的重要组成部分。由于流属性会直接影响 LCI 和 LCIA 的结果，流的归档具有不可或缺的作用。

HiQLCD 采用定制化的命名规范。这些流以结构化格式命名，以精确反映中国供应链的具体特征。

HiQLCD 中的流（在适用情况下）通过以下信息进行归档：

- 基准量
- 流名称及同义词
- 分类
- 类型（可分配产品、可回收产品、废弃物）
- CAS 编号
- 流属性
- 化学式（如适用）
- 用于补充说明的通用备注栏

5.4 数据集的归档

HiQLCD 严格采用国际生命周期数据系统（ILCD）格式(JRC 2010a)作为底层数据结构，以促进国际数据交换。ILCD 格式由欧盟委员会开发，旨在通过国际标

准化的数据格式促进 LCI/LCA 数据集的交换。

对于每个聚合 LCI 数据集，我们提供一份内容广泛的过程元数据清单，用以描述该聚合过程的过程特征、建模方法与验证、管理信息，以及输入和输出。除过程元数据外，每个聚合 LCI 数据集还提供流元数据、流属性、单位组数据、来源数据和联系信息。

参考文献

CEN/TC 51. 2022. *Cement and Building Lime - Environmental Product Declarations - Product Category Rules Complementary to EN 15804 EN 16908:2017+A1:2022*.

CEN/TC 350. 2019. *Sustainability of Construction Works - Environmental Product Declarations - Core Rules for the Product Category of Construction Products EN 15804:2012+A1:2013/A2:2019*.

European Commission. 2008. *2001/118/EC: Commission Decision of 16 January 2001 amending Decision 2000/532/EC as regards the list of waste. OJ L 47, 16.2.2001*.

Ioannidou D., Foster C., Symeonidis A. *et al.* 2021. "Documentation for the 'Allocation, cut-off, EN15804' system model." ecoinvent Association.

EC Digital. 2025. "STEEL LCA TOOL MANUAL (V1.4)."

Tomas Ekvall. 2020. "Attributional and consequential life cycle assessment." In *Sustainability Assessment at the 21st century*, Edited by María José Bastante-Ceca. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89202.

Tomas Ekvall, Anna Björklund, Gustav Sandin, Kristian Jelse, Jenny Lagergren, and Maria Rydberg. 2020. "Modeling recycling in life cycle assessment."

Rolf Frischknecht, Enrico Benetto, Thomas Dandres *et al.* 2016. "LCA and decision making: when and how to use consequential LCA; 62nd LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 9 September 2016." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 22 (2):296–301. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1248-9.

ISO. 2006a. *Environmental Labels and Declarations - Type III Environmental Declarations - Principles and Procedures ISO 14025:2006*.

ISO. 2006b. *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework ISO 14040:2006*.

ISO. 2006c. *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines ISO 14044:2006*.

ISO. 2017. *Sustainability in Buildings and Civil Engineering Works — Core Rules for Environmental Product Declarations of Construction Products and Services ISO 21930:2017*.

ISO. 2018. *Greenhouse Gases - Carbon Footprint of Products - Requirements and Guidelines for Quantification ISO 14067:2018*.

JRC. 2010a. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) - Documentation of LCA data sets*. First edition ed. Publications Office of the European Union.

JRC. 2010b. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. First edition ed. Publications Office of the European Union.

JRC. 2010c. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Nomenclature and other conventions*. First edition ed. Publications Office of the European Union.

Thomas Schaubroeck, Simon Schaubroeck, Reinout Heijungs, Alessandra Zamagni, Miguel Brandão, and Enrico Benetto. 2021. "Attributional & Consequential Life Cycle Assessment: Definitions, Conceptual Characteristics and Modelling Restrictions." *Sustainability* 13 (13)https://doi.org/10.3390/su13137386.

Sonderegger T., and Stoikou N. 2023. "Implementation of life cycle impact assessment methods in the ecoinvent database v3.10." ecoinvent Association.

UNEP. 2011. *Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases - A basis for greener processes and products 'Shonan Guidance Principles'*. Edited by Guido Sonnemann, and Bruce Vigon.

Bo Pedersen Weidema, and Marianne Suhr Wesnæs. 1996. "Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators." *Journal of Cleaner Production* 4 (3-4):167–74. https://doi.org/10.1016/s0959-6526(96)00043-1.