



第5章 环境材料 评价方法的研究

北京大学环境科学与工程学院
张剑波



5.1 环境材料的评价体系

■ 5.1.1 环境材料评价标准的制订

- 评价一种材料是否为环境材料，首先必须确定评价标准。
- 从环境材料的定义看，制订评价标准实际上是对材料的先进性（功能性），舒适性（经济性）和环境协调性三个方面进行标准指标定量。



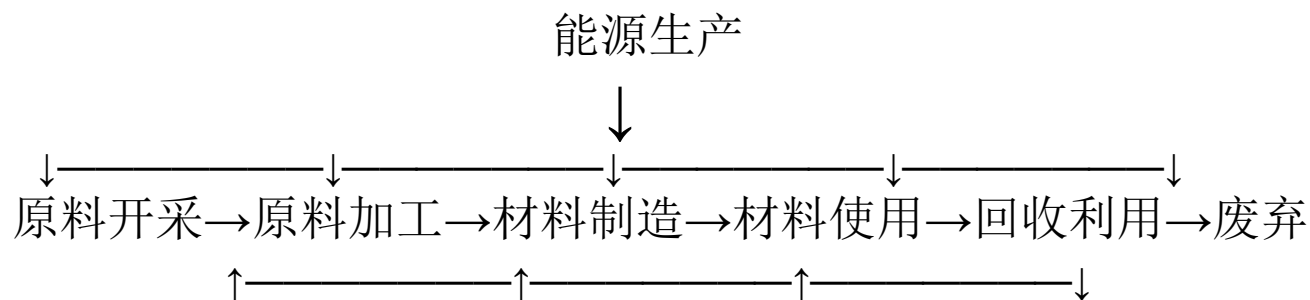
环境材料评价标准的制订

- 由于不同种类的材料使用功能和环境影响的大小不同，因此不可能对所有的材料制订统一的评价标准。
- 对同类材料而言，尽管其在使用中表现出各种功能，但是往往其中一种或几种是主要的和共有的功能，即基本功能。
- 将材料按基本功能分类，分别制定相应的环境材料评价标准。

5.1.2 环境材料评价指标定量方法



- 根据环境材料的概念，环境材料的评价必须以材料的完整寿命周期为研究范围。



- 在材料评价和比较中，需确定其**比较基准**，可规定其基本功能相同的一定**重量**或**体积**的材料为基准。



(1)环境协调性指标化

- 环境协调性指材料在整个寿命周期内对环境的综合影响，可以用LCA（life circle assessment）方法定量其指标。LCA基本框架由研究目标及范围、编目分析、环境影响评估、环境改善评估四部分组成。
- 研究目标及范围确定LCA的**目的及边界条件**；
- **编目分析**确定寿命周期内各阶段资源、能源消耗数据及污染物排放数量；
- **环境影响评估**根据编目分析得到的数据，对寿命周期的环境综合影响作出评估；
- **环境改善评估**则根据寿命期各阶段环境负担，确定可能的改善途径。



将环境影响划分以下几个指标：

- ADP 不可再生之原料消耗
- EDP 不可再生之能源消耗
- GWP 温室效应
- ODP 臭氧层的破坏
- AP 环境酸化
- POCP 光化学氧化物生成
- NP 氮化作用
- ECA 生物体之损害
- HT 人类健康损害



指标当量化

- 采用相对定量的方法，对每种指标选定一种参照物；将编目分析得到的污染物的环境影响作用以参照物的当量表示。



5.2 生命周期评价（LCA）

■ 5.2.1 生命周期评价的发展

- 生命周期评价是70年代初至90年代发展起来的理论，即对产品从最初的原材料采掘到原材料生产、产品制造、产品使用以及产品用后处理的全过程进行跟踪和定量分析与定性评价。
- 当前生命周期评价已形成了基本的概念框架和技术框架，成为产业生态学的主要理论与方法。
- 国际标准化组织（ISO）制定的ISO14000环境管理体系亦将生命周期评价作为该体系的一个重要步骤。目前ISO正在积极促进生命周期评价理论的完善和方法的国际化工作。



5.2.1.1 方法的起源

- 生命周期评价最初始于70年代初美国开展的一系列针对包装品的分析、评价，当时称为**资源与环境状况分析**（REPA）。
- 1969年由美国中西部资源研究所(MidWest Research Institute)所开展的针对可口可乐公司的饮料包装瓶进行的研究。该研究试图从最初的原材料采掘到最终的废弃物处理，进行全过程的跟踪与定量分析，为了知道使用不同的包装材料到底意味着什么样的总体影响。在此基础上，又对使用塑料饮料容器的可行性进行考虑，并比较了复用式容器与一次性容器的整体环境影响。这种正式的分析方案便是LCA方法的起源和基础。
- 随后美国ILLINOIS大学富兰克林研究会以及斯坦福大学也相继开展了一系列针对其它包装品的类似研究。



特征:

- (1)主要由工业企业发起，秘密进行，研究结果作为企业内部产品开发与管理的决策支持工具。如：可口可乐包装的研究结果，使得公司抛弃了过去长期使用的玻璃瓶，转而采用至今仍然使用的塑料瓶。而这项研究直到1976年4月才在《科学》（**SCIENCE**）杂志上发表了一篇文章。
- (2)大多数研究的对象是产品包装品。
- (3)采用能源分析方法。由于能源分析方法在当时已比较成熟，而且很多与产品有关的污染物排放显然与能源利用有关，因而能源分析方法被广泛地应用于(REPA)环境状况分析。



5.2.1.2 学术探讨阶段

- 在70年代，环境问题的核心是能源问题。然而从生产系统的角度看，如果在一个系统内不进行物流的测算，就不可能进行能源分析。
- 同时随着70年代末到80年代中期出现的全球性的固体废弃物的问题，这种研究方法又逐渐成为一种资源分析工具。
- 因而这一时期的REPA均着重于计算固体废弃物产生量和原材料消耗量。



特征:

- (1)政府积极支持与参与。从1975年开始, 美国国家环保局开始放弃对单个产品的分析评价, 继而转向于如何制订**能源保护和固体废弃物减量目标**。同时欧洲经济合作委员会也开始关注生命周期评价的应用, 要求工业企业对其产品生产过程中的能源、资源以及固体废弃物排放进行全面的监测与分析。
- (2)案例发展缓慢, 方法论研究兴起。由于一系列REPA工作未能取得很好的研究结果, 对此感兴趣的研究人员和研究项目逐渐减少, 公众的兴趣也逐渐淡漠。尤其是企业界几乎放弃了这方面的研究。
- (3) 该研究方法缺乏统一的研究方法论, 分析所需的数据常常无法得到; 而且对不同的产品采取不同的分析步骤, 同类产品的评价程序和数据也不统一。



特征:

- (4) 学术界关于REPA的方法论研究仍在缓慢进行。欧洲和美国的一些研究和咨询机构依据REPA的思想相应发展了有关废弃物管理的一系列方法论，更深入地研究环境排放和资源消耗的潜在影响。如英国的Boustead咨询公司针对清查分析方法作了大量研究，逐步形成了一套较为规范化的分析方法，为后来著名的Boustead模型打下了坚实的理论基础。
- (5) 1984年，受REPA方法的启发，瑞士联邦“材料测试与研究实验室”为瑞士研究部开展了一项有关包装材料的研究，该研究首次采用了健康标准评估体系，既后来所发展的临界体积方法。



5.2.1.3 方法日益成熟

- 80年代末期以后，随着区域性与全球性环境问题的日益严重，以及全球环境保护意识的加强，可持续发展思想的普及以及可持续行动计划的兴起，大量的REPA研究重新开始。
- REPA研究涉及到研究机构、管理部门、工业企业、产品消费者，但是其使用REPA的目的和侧重点各不相同，而且所分析的产品和系统也变得越来越复杂，急需对REPA的方法进行研究和统一。



方法日益成熟

- 1989年荷兰国家居住、规划与环境部（VROM）针对传统的“末端控制”的环境政策，首次提出了制订面向产品的环境政策。这种面向产品的环境政策涉及到产品的生产、消费到最终废弃物处理的所有环节，即所谓的产品生命周期。这种管理模式逐渐发展成今天所称的“链管理”。该研究提出了要对产品整个生命周期内的所有环境影响进行评价；同时也提出了要对生命周期评价的基本方法和数据进行标准化。
- 1990年由“国际环境管理学与化学学会(SETAC)”首次主持召开了有关生命周期评价的国际研讨会，在该会议上首次提出了“生命周期评价”的概念。在以后的几年里，SETAC又主持和召开了多次学术研讨会，对生命周期评价从理论与方法上进行了广泛的研究。
- 1993年SETAC根据在葡萄牙的一次学术会议的主要结论，出版了一本纲领性报告：“**生命周期评价纲要：实用指南**”。该报告为生命周期评价方法提供了一个基本技术框架，成为生命周期评价方法论研究起步的一个里程碑。



方法日益成熟

- 目前生命周期评价在方法论上还不十分成熟。SETAC和ISO已经在积极促进生命周期评价方法论的国际标准化研究。ISO14040标准《生命周期评价——原则与框架》已于1997年颁布，相应的标准ISO14041《生命周期评价——目的与范围的确定和清单分析》，ISO14042《生命周期评价——生命周期影响评价》，ISO14043《生命周期评价——生命周期解释》也已正式公布。该标准体系拟对生命周期评价的概念和技术框架及实施步骤进行标准化。
- 欧洲、美国、日本等国家和地区还制定了一些促进LCA的政策和法规，如“生态标志计划”、“生态管理与审计法规”、“包装及包装废物管理准则”等。这一阶段出现了大量LCA案例，如日本已完成数十种产品的LCA，丹麦用3年时间对10种产品类型进行了LCA等。
- 1996年，国际上正式出版了有关LCA评价的专业刊物《国际生命周期评价学报》（International journal of life cycle assessment），表明生命周期评价研究在国际上已占有很重要的位置。



5.2.1.4 LCA在中国的发展

- 在中国，LCA研究起步较早，发展也非常迅速，已成为学术界关注的焦点和研究热点。在政府的引导和支持下，国内大量研究人员围绕LCA方法开展了卓有成效的研究工作，包括生命周期清单分析中的分配方法、环境影响类型分配体系、中国环境影响特征因子和权重因子的确定等等。
- 1999年，国家质量技术监督局发布等同于ISO14040的《生命周期评价——原则与框架》国家标准（GB / T 24040），2000年发布等同于ISO14041的《生命周期评价——目的与范围的确定和清单分析》国家标准（GB / T 24041）。2002年，又发布了分别等同于ISO14042和ISO14043的《生命周期评价——生命周期影响评价》国家标准（GB / T 24042）与《生命周期评价——生命周期解释》国家标准（GB / T 24043）。



LCA在中国的发展

- 在国内的LCA研究方面，材料生命周期评价（MLCA）的研究及应用是目前最主要的研究方向之一，也一直是环境材料研究中的重要组成部分。
- 1998年起，国家“九五”高新技术研究计划（863计划）支持了首项“材料的环境协调性评价研究”课题，由北京工业大学牵头主持，重庆大学、北京航空航天大学、清华大学、西安交通大学和四川大学等联合承担，与国内一些主要材料企业合作，对国内几大类主要基础材料进行了全面的MLCA评估。该项目对我国钢铁、水泥、铝、工程塑料、建筑涂料、陶瓷等7类典型的量大面广的代表性材料进行了生命周期评价研究，初步获得了以上代表性材料的环境负荷基础数据。在大量系统工作的基础上，总结了材料环境负荷分析的方法，创新地提出了上述典型材料生命周期评价的新方案和定量方法，构建和设计了材料的环境负荷基础数据库框架，并自主开发了数据库管理软件和材料的生命周期评价软件。



5.2.2 生命周期评价的概念框架

- 生命周期评价又称为环境协调性评价、生命周期评估、寿命周期评价等，已经成为对材料和产品进行环境表现分析的一种重要方法。
- 由于LCA方法本身的复杂性和历史承袭的原因以及实施LCA的目的不同，对LCA的概念和方法历来有着不同的理解，甚至在SETAC和ISO的文件中，LCA的定义也在不断的修改和变化。



5.2.2.1 LCA的定义

- 在1993年，由SETAC对LCA定义为：通过对能源、原材料消耗及废弃物排放的鉴定及量化来评估一个产品、过程或活动对环境带来的负担的客观方法。
- 具体来说是通过确定和量化与评估对象相关的能源消耗、物质消耗和废弃物排放，来评估某一产品、过程或事件的环境负荷；定量评价由于这些能源、物质消耗和废弃物排放所造成的环境影响；辨别和评估改善环境（表现）的机会。评价过程应包括该产品、过程或事件的寿命全过程，包括原材料的提取与加工、制造、运输和销售、使用、再使用、维持、循环回收，直到最终的废弃。
- 该方法通过识别和量化所用的能量、原材料以及废弃物排放来评价与产品及其行动有关的环境责任，从而得到这些能量和材料应用以及排放物对环境的影响大小，并对改善环境的各种方案做出评估。



LCA的定义

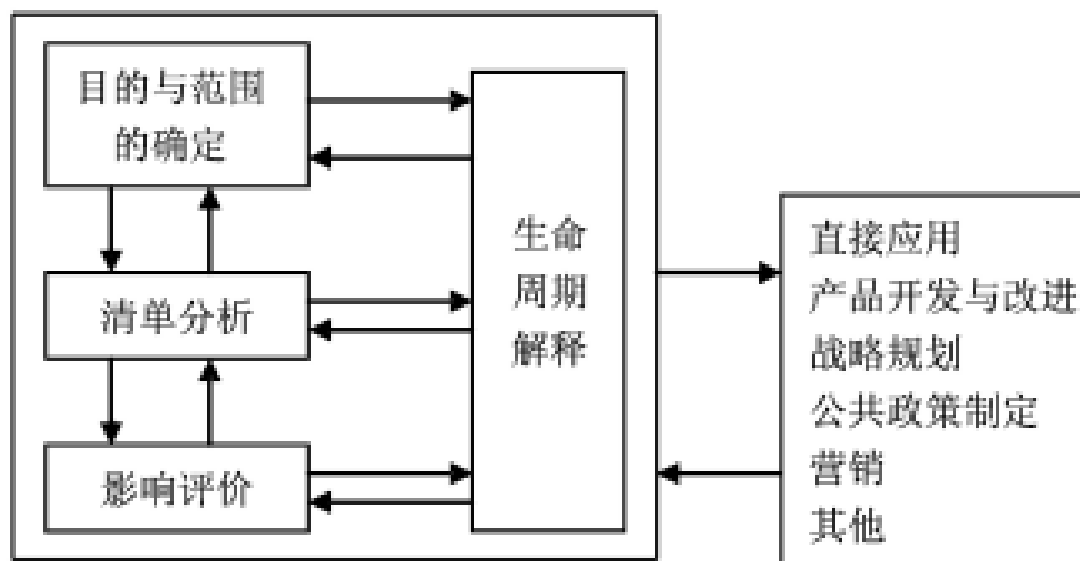
- 在1997年ISO修订的LCA标准（ISO14040）中给出的LCA的定义为：汇总和评估一个产品（或服务）体系在其整个寿命周期间的所有投入及产出对环境所造成的和潜在的影响的方法。这里的**产品系统**是通过**物质和能量**联系起来的，具有一种或多种特定功能的**单元过程**的集合。在LCA标准中，“产品”既可以指（一般制造业的）产品系统，也可以指（服务业提供的）服务系统。生命周期是指产品系统中前后衔接的一系列阶段，从原材料的获取或自然资源的生成，直至最终处置。ISO不仅规范了所有产品和服务的技术标准，随着环境保护的需要，也在尝试对环境问题的分析方法进行标准化。
- 在LCA发展过程中，其定义不断地得到完善和充实，对定义的描述发生了明显的变化，但基本的思想和方法却都保留和固定了下来。



5.2.2.2 LCA的技术框架

- 1993年SETAC在《生命周期评价纲要：实用指南》中将生命周期评价的基本结构归纳为4个有机联系的部分，(1)定义目标与确定范围（goal and scope definition）；(2)清查分析（清单分析，编目分析inventory analysis）；(3)影响评价（impact assessment）；(4)改善分析（improvement assessment）。

生命周期评价技术框架





(1)定义目标与确定范围

- 这是LCA的第一步，它直接影响到整个评价工作程序和最终的研究结论。定义目标即清楚地界定评价对象，说明开展此项LCA的目的和原因，以及研究结果的可能应用领域，即研究结果的接受者或预期交流对象。
- 评价的范围包括评价功能单元定义、评价边界定义、系统的输入和输出分配方法、环境影响评价的模型及其解释方法、数据要求、指出重要假设和限制、审核方法及评价报告的类型及其格式等。研究范围的确定应保证能满足研究目的，以保证研究的广度、深度、详尽程度与之相符，在研究过程中，可能由于收集到新的信息而要对研究对象加以修正。
- 在进行评价时要涉及大量数据，这些数据可能来自直接实测而得到，也可能是一些中间处理数据，在处理这些数据时，一定要说明数据是如何获得的，它的精度、完整性如何，是否具有代表性等，显然数据的质量是进行LCA方法进行评价的关键所在。



(2)清单分析

- 它的目的是将**环境负荷**定量化。对一种产品、工艺和活动在其整个生命周期内的能量与原材料需要量、以及对环境的排放（包括废气、废水、固体废弃物及其他环境释放物）进行以数据为基础的客观量化过程。该分析评价贯穿于产品的整个生命周期，即原材料的提取、加工、制造和销售、使用和用后处理。需要收集的输入数据包括资源和能源的消耗状况，输出数据则依据主要因素考虑具体的过程对环境造成的影响。



(3) 影响评价

- 对清查阶段所识别的环境影响压力（环境负荷）进行定量或定性的表征评价，其目的是根据清查分析后所提供的物料、能源消耗数据以及各种排放数据对产品所造成的环境影响进行评估，即采用定量调查所得的环境负荷数据定量分析对人体健康、生态环境、自然环境的影响及其相互关系。影响分析是LCA的核心内容，也是难度最大的部分，一般将数据收集起来进行评价，包括：资源消耗、水污染、大气污染、固体污染、环境商值EQ。



(4)改善评价

- 改善评价是LCA的最终目标，系统地评估在产品、工艺或活动的整个生命周期内消减能源消耗、原材料使用以及环境释放的**需求与机会**，比较产品的环境优劣，可对产品进行重新设计，不断改善和改进，这种分析包括定量和定性的改进措施。例如改变产品结构，重新选择原材料，改变制造工艺和消费方式，以及废弃物管理等。



5.2.2.3 LCA的特点

- LCA的特点除了“寿命周期概念”和“定量化”这两个基本特征之外，LCA还具有明显的“过程化”的特征，即将整个的life cycle细分为多个的过程，对每个过程进行定量的描述，从而可以系统地、充分地阐述与产品系统相关的环境影响，进而才可能**定位**和辨别出影响产品系统环境表现的**薄弱环节**，并寻找到改善环境表现的时机和途径。LCA方法的这些特征体现了环境保护手段由简单、局部、粗放向复杂、全面、精细方向发展的趋势。
- LCA方法不是要求企业被动地接受检查和监督，而是鼓励企业发挥主动性，将环境因素结合到企业的决策过程中。



5.2.3 LAC的应用范围

- 5.2.3.1用于工业企业部门
- (1)产品系统的生态辨识与诊断。识别对研究影响最大的工艺过程和产品寿命阶段，评估产品（包括新产品）的资源效益。
- (2)产品环境影响评价与比较。以环境影响最小化为目标，分析比较某一产品系统内的不同方案或者对替代产品（或工艺）进行比较。
- (3)生态产品设计与新产品开发。
- (4)再循环工艺设计。大量的LCA工作结果表明，产品用后处理阶段的问题十分严重，解决这一问题需要从产品的设计阶段就考虑产品用后的拆解和资源的回收利用。



LAC的应用范围

- **5.2.3.2政府环境管理部门和国际组织**
- (1)制定环境政策和建立环境产品标准。
- (2)实施生态标志计划为评估和区别普通产品与生态标志产品提供了具体的指标
- (3)优化政府的能源、运输和废物管理方案。
- (4)向公众提供有关产品和原材料的资源信息。
- (5)国际环境管理体系的建立。LAC直接促进了国际环境管理体系的制定。ISO14000环境管理体系标准，与已被80多个国家和地区所广泛采用。该标准旨在促进全球经济发展的同时，通过环境管理国际标准来协调全球环境问题，试图从全方位着手，通过标准化手段来有效地改善和保护环境，满足经济持续增长的需求。



LAC的应用范围

- **5.2.3.3 LCA用于消费者组织**
- 消费者组织主要利用LCA指导消费者进行环境产品的消费，以及对公众行动进行全过程的环境评价。



5.3 LCA清单分析

- **5.3.1清单分析的基本内容**
- 生命周期清单分析（life cycle inventory, LCI）涉及数据的收集和计算程序。



关键术语和基本内容

■ 1)产品系统

- 产品系统是由提供一种或多种确定功能的**中间产品流**联系起来的单元过程的集合。对产品系统的表述包括单元过程、通过系统边界（无论是输入或输出的）的基本流和产品流以及系统内部的中间产品流。

■ 2)单元过程

为更清晰地显示系统内部联系，寻找环境改善的时机和途径，通常需要将产品系统分解为一系列相互关联的过程或子系统，即单元过程。分解的程度取决于前面的**目的与范围**的确定以及**数据**的可获得性。单元过程从“上游”（**upstream**）过程中得到输入，并向“下游”（**downstream**）过程产生输出。单元过程之间通过中间产品流和（或）**待处理的废物**相联系，与其他产品系统之间通过产品流相联系，与环境之间通过**基本流**相联系。



关键术语和基本内容(2)

- 3)数据类型
 - 量化单元过程的输入和输出。数据可归入的主题包括：
 - (a) 能量输入，原材料输入，辅助性输入，其他物理输入；
 - (b) 产品；
 - (c) 向空气的排放，向水体的排放，向土地的排放，其他环境因素。
 - 4)产品系统模型
- 表述物理系统关键要素的模型。对于所要建立模型的物理系统中要素的选择取决于研究的目的与范围。



5.3.2 清单分析的主要步骤:

- 生命周期清单分析是生命周期评价中对所研究**产品系统**整个生命周期中输入和输出进行汇编和量化的阶段，即收集产品系统中定量或定性的输入输出数据，计算并量化的过程。
- 清单分析的目的是对产品系统的有关**输入和输出**进行量化。输入和输出可包括与该系统有关的对资源的使用，以及向空气、水体和土地的排放。可根据预先确定的**LCA**目的和范围需要，依据上述数据做出解释。
- 进行清单分析也是一个**反复**的过程。当取得了一批数据，并对系统有进一步的认识后，可能会出现新的数据要求，或发现原有的局限性，因而要求对数据收集程序做出修改，以适应研究目的，有时也会要求对研究目的或范围加以修改。
- 生命周期清单分析是**LCA**四个组成部分中**研究最成熟、理解最深入和应用最充分**的一个。



5.3.2.1 数据收集的准备

- 在LCA研究中，数据收集程序会因不同系统模型中的各单元过程而变；同时，可能因参与研究人员的组成和资格，以及满足产权和保密要求的需要而有所不同。
- 数据收集需要对每个单元过程进行透彻了解。为了避免重复计算或断档，需要对每个单元过程进行明确表述，包括对输入和输出进行定量和定性表述，确定过程的起始点和终止点，以及对单元过程功能的定量和定性表述。



数据收集的准备（续）

- （1）数据的确认

在数据收集过程中必须检查数据的有效性。

- （2）数据与单元过程的关联

必须对每一单元过程确定适宜的基准流（如1kg材料或1MJ能量），并据此计算出单元过程的定量输入和输出数据。

- （3）数据与功能单位的关联和数据的合并

根据流程图和系统边界可以将各单元过程相互关联，从而对整个系统进行计算。



数据收集的准备（续）

■ （4）系统边界的修改

反复性是LCA的固有特性，必须根据由敏感性分析所判定的数据重要性来决定数据的取舍。初始产品系统边界必须依据确定范围时规定的边界准则进行适当的修改。

■ （5）数据缺口的处理

在清单数据计算过程中，经常会遇到数据缺口（data gap），可能的发生原因不一而足，比较常见的有：①清单资料不可得（对方无法提供或查无相关资料）；②本土特有流程；③某段期程不在国内发生；④数据调研成本过高，无法实现。

- 对于数据缺口，最简单的处理方法就是在合理的情况下，将其假设为零，亦即忽略不计，但另一可能更为合理的方式，是找寻替代数据予以填补。替代数据的重要性可依据敏感性分析来判断，如果替代数据对输入输出最后结果的影响不大时，就不必要找寻更为准确的数据；反之，若替代数据对最后的结果具显著影响时，则不应使用替代数据。



数据来源

- 有关清单分析的操作步骤，美国EPA制定了详细的指南，对于发展中国家来说，由于统计数据的欠缺以及企业管理水平的限制，要完全按照美国指南完成清单分析，存在许多困难。
- 首先把产品的清单数据分为产品的**社会数据**和产品的**企业数据**两大类。然后用不同的方法分别获得这两类数据。
- 产品的社会数据是指来自于社会的**原材料**和**商品能源**所携带的清单数据，以及产品出厂后通过社会流通领域，进入消费、使用阶段直至废弃后处置这些阶段所包括的清单数据。
- 产品的企业数据则是表征企业将购进的原材料加工制作成产品过程中涉及的消耗和排放状况。

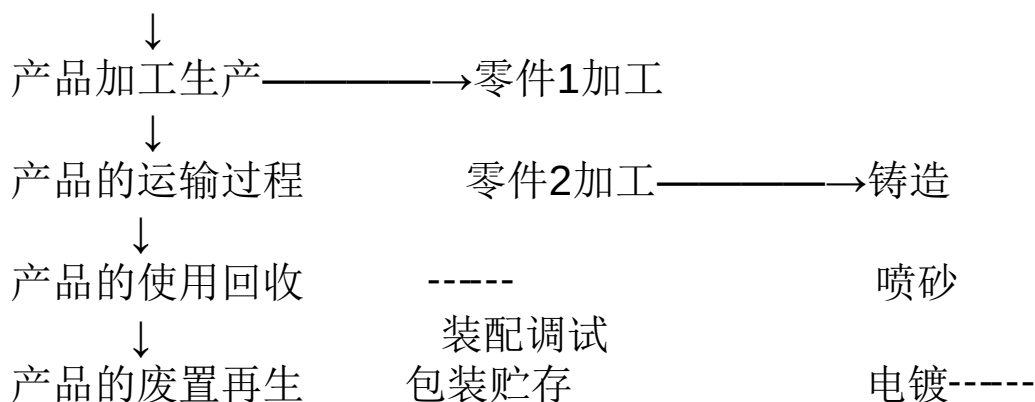


企业数据的来源:

- 深入了解产品，包括产品的结构、组成、包装及使用性能等。考查产品组成的方法有：产品解剖、产品图纸分析和零件估算。
- (1)产品解剖是将产品拆分开来，分别对零部件进行材料分类和称重，以确定不同材料在整个产品中的重量比例。这种方法比较适合小件产品。对于某些中型或大型产品，则需要进行图纸分析。
- (2)图纸分析是利用产品的设计图纸或生产图纸对所用材料进行分类和统计。方法简单易行且准确度较高。但在实际研究中，企业出于技术保密的考虑，往往不愿意提供实际的图纸。
- (3)零件估算是一种比较粗糙的方法，只能确定材料的大致种类和用量，适合于精度要求不高的LCA研究。
- 产品分析除了结构组成分析外，还包括使用分析，这是对产品的使用功能、使用领域、使用寿命及使用过程中可能存在的问题进行分析的过程。



- ## 原材料生产加工



过程树（过程图）的成功描绘有助于清单分析准确、顺利、全面地完成。在随后的清单分析过程中还可能对过程树进行必要的修正。



社会数据的获得

- 材料可能来自于不同的行业，一般是通过市场的流通领域购得的。其环境性能是由社会生产的总体水平决定的。但是这些数据并未以LCA所需的形式给出，因此要进行进一步的计算处理。
- **(1) 产值污染系数法**
产值污染系数法即是利用材料所属的行业的**总产值**和相应的**总排污数**得到典型污染物的**产值排污系数**（污染物排放量/单位产值），再根据企业产品所消耗的原材料成本进行单位产品的原材料加工生产阶段的污染计算，这是一种简单而粗糙的计算方法。
- **(2) 产量污染系数法**
产量污染系数法是利用行业**产量统计值**和**污染统计值**计算出**产量污染系数**（污染物排放量/单位产量），相较于产值污染系数法，利用产量计算不受市场价格的差别和波动的影响，较容易实施。理论上，产值污染系数法和产量污染系数法应有较好的一致性。然而在实际的运用中却可能由于统计口径的不同而带来较大的偏差。



社会数据的获得(续)

■ (3)行业污染系数法

各行业部门的典型排放数据是根据该行业的技术特点和总的技术现状而提出的，可以代表全行业实际的污染排放水平。这些数据比较规范，避免了不同行业产品间的模糊对比，具有较好的确定性；行业排放的典型污染数据是较易得到的，可有较好的连续性。

- 获得了各种材料的污染系数就可以根据某产品所用材料的实际消耗量，确定出相应的资源和污染数据。

■ 某产品污染物排放量

=行业综合污染系数 (kg污染物/t) × 产品产量 (t)

=产值污染系数 (kg污染物/万元) × 材料价值 (万元)

=产量污染系数 (kg污染物/t) × 产品产量 (t)

- 同样地，根据材料的资源消耗系数（资源、能源），也可以获得产品的资源消耗清单，这一系数一般可以从行业生产中获得。



5.3.2.2 企业清单数据的获得

- 在企业生产流程分析中，已大致确定了企业生产各部门的情况，现在则要从企业的实际生产出发，作进一步的定量处理。具体步骤为：画出该产品生产的质量流程图、获得数据、数据筛选、数据整理、最终形成清单。



(1)企业生产质量流程图

- 借助于企业的生产过程树，可将该产品的整个生产过程划分为若干个相多独立的过程单元，再对每个单元进行输入、输出的各种物料和能源的数据进行统计和收集，这就是生产质流图。



生产质流图

(物质输入)

原料
能量
资源
其他产品

某
一
生
产
过
程

单
元

过程产品
副产品
可用资源
加工余量

(物质输出)

水污染物
大气污染物
固体废弃物
噪音、放射性、废热...

(环境输入)

生物资源
非生物资源
能量
空间

(环境输出)



生产质流图

- 生产质流图需标出各过程单元间物质传递的数量关系，体现出物料平衡、能量平衡的基本原则，即各过程单元的输入、输出基本一致，用下式表示：

$$\sum M_i = \sum M_o \quad (\text{下标 } i \text{ 是输入, 下标 } o \text{ 是输出})$$

- 通过平衡可对各种输入、输出数据进行比较检查和筛选。一般地说，如果输入与输出之间的差值在2%以内，即可认为所获得的数据是准确的。

$$(\sum M_i - \sum M_o) / \sum M_i \leq 2\%$$



(2)形成产品的生产阶段的清单

- 企业生产流程与污染数据（资源消耗视为一种污染因子）的汇总即为产生清单的过程，它以矩阵形式给出。这一矩阵的各过程单元数据即来自质流图。总计的数据则表达产品的整个生产过程的总体水平，污染因子在这一阶段是根据目标界定中所确定的污染物种类来进行统计的，是实际应用的数值表达。在计算机模型中，未被采用的污染因子可以数值0表示。

(3)产品包装/运销、使用/回收及处理等阶段的清单



- 产品的包装过程可作为企业产品生产的最后工序纳入企业生产过程清单之中。若产品的分装包装是在企业外部完成的，则应另行计算。
- 产品的运销是一个社会化过程，一般很难对其所有的过程数据做全面的统计，对于无特殊污染危害的产品的运销，可认为是所有产品的一个共同性问题，具有相同的评价基础。但若产品的运销过程有其特殊性，如恶臭、易燃、易爆、易泄露等，则必须加以特别的考虑。
- 产品的使用回收与处置是产品实现其使用价值，转化为废物的过程，一般不在产品的产地，可能分布在全国的广大地区。因而这一数据的获得除了根据产品的设计资料外，要采取与获取企业生产清单完全不同的方法；如：用户访问、问卷调查或现场测定等。这几种方法均需详细记录访问的时间、地点、人员等具体情况，内容包括：



(3)产品包装/运销、使用/回收及处理等阶段的清单

- 产品特征：购入与使用年限，使用现状及技术水平；
- 污染特征：污染物种类、污染排放量，包括水、气、渣等等，并要求出示有效数据文件，如监测报告、企业报表、岗位记录等；
- 存在问题：产品自身使用问题、消耗品问题及可能的解决方法等等,产品处置过程中存在的污染问题；
- 产品使用、处置中的其它材料，及能源消耗（水、煤、电、原料等）；
- 产品的可回用性能（回用率或废品回收水平）。
- 将以上数据归纳总结即可得到产品的使用与处置清单。对于可回用/再生的产品或部件在其废置后，又可做为一种新的资源形式，进入社会生产中，它的数值计算可表达为负数。

下表给出了以小型垃圾焚烧炉为案例研究对象的清单数据

环境要素	污染因子	生命周期各阶段				总计
		原材料生产	产品生产	产品使用	产品废置	
资源消耗 /t. 台 ⁻¹	水	73.48	170.72	0	0	244.30
	煤	2.63	3.95	50.59	0	57.71
	石油	0	1.78	896.44	0	898.22
	铁矿石	4.70	0	0	0	4.70
	石灰石	2.36	0	0	0	2.36
	有害垃圾	0	0	2628	0	2628
水污染/g. 台 ⁻¹	汞	2.0E-5	0	0	0	2.0E-5
	镉	5.3E-4	0	0	0	5.3E-4
	铅	3.75E-3	0	0	0	3.75E-3
	砷	1.00E-2	0	0	0	1.00E-2
	六价铬	9.0E-4	0	0	0	9.0E-4
	挥发酚	4.34E-2	0	0	0	4.34E-2
水污染/g. 台 ⁻¹	氰化物	4.78E-2	0	0	0	4.78E-2
	石油类	0.645	0	0	0	0.645
	硫化物	7.48E-2	0	0	0	7.48E-2
	COD	8.91	0	0	0	8.91
	TSP	323.7	10.25	1943	0	2277
	一氧化碳	104.8	258.2	0.61	0	363.6
大气污染 /g. 台 ⁻¹	二氧化碳	21.0	91.0	8.76	0	121.8
	氮氧化物	0	24.99	13.80	0	38.79
	有机废气	0	48.09	63.44	0	111.53
固体废弃物 /kg. 台 ⁻¹	固废总量	0.41	0.92	31.5	2E3	2032
其它类型	噪音a ² . s	0	0.11	0.48	0	0.59



垃圾焚烧炉清单分析

- 从表中可看出，水污染问题主要是由原材料（钢材和水泥）引起的，在整个产品的排放清单中不居主要地位。



5.3.3 LCA评价清单分析中的分配方法

- 生命周期清单分析，即针对产品系统所有单元过程的输入和输出（原材料、能源、环境排放）进行清查和计算。然而实际生产单元过程不可能总是只有一种原料（或产品）输出或输入；而且生产工艺常通过原料或配件互相连接，因此就需要对系统的输入和输出在各产品中进行分配。分配通常出现在各产品系统及开环再循环过程中。



5.3.3.1 生产系统与分配问题

- 当多种产品同时产出于某各生产工艺时，就构成多种产品系统。例如，燃煤热电厂，电和热作为共同产品输出，需要确定多少煤用于发电和产热，以及生产一单位电将释放多少 CO_2 ，生产一单位热释放多少 CO_2 等问题。因此与生产电力、热相关的工艺过程，如采煤、运输和发电过程都需要进行分配。
- 多产品系统的特殊形式是**基础设施**共享系统和废物处理系统。
- 生产系统的再循环过程。工业生产过程实际上存在着复杂的再循环利用过程，即边角料、副产品或废旧产品等再生产工艺的重新利用。由于再循环的出现，改变了生产工艺的物流、能流的方向和流量，构成了复杂的相互连接的工业生产系统，再循环通常存在两种方式，即**闭环再循环**和**开环再循环**。



5.3.3.1 生产系统与分配问题

- 闭环再循环：指一个生产系统内，一些副产品，边角料或废弃物被重新利用或回用，其可减少原材料的使用和初级原料的生产。
- 开环再循环：开环再循环是与闭环再循环相比较而言的，是指一个产品系统的副产品、废弃物或产品在消费后被重新收集、处理，然后被另一个产品系统作为原料再利用，**只有开环再循环才存在分配问题。**
- 开环再循环中要研究解决的分配问题主要是再循环产品或物质的**收集处理过程**应该分配给哪个系统，资源采掘或获取过程是否应该完全分配给利用原材料进行生产的初级系统；最终的废物处理过程是否完全分配给最后利用该物质的产品系统。



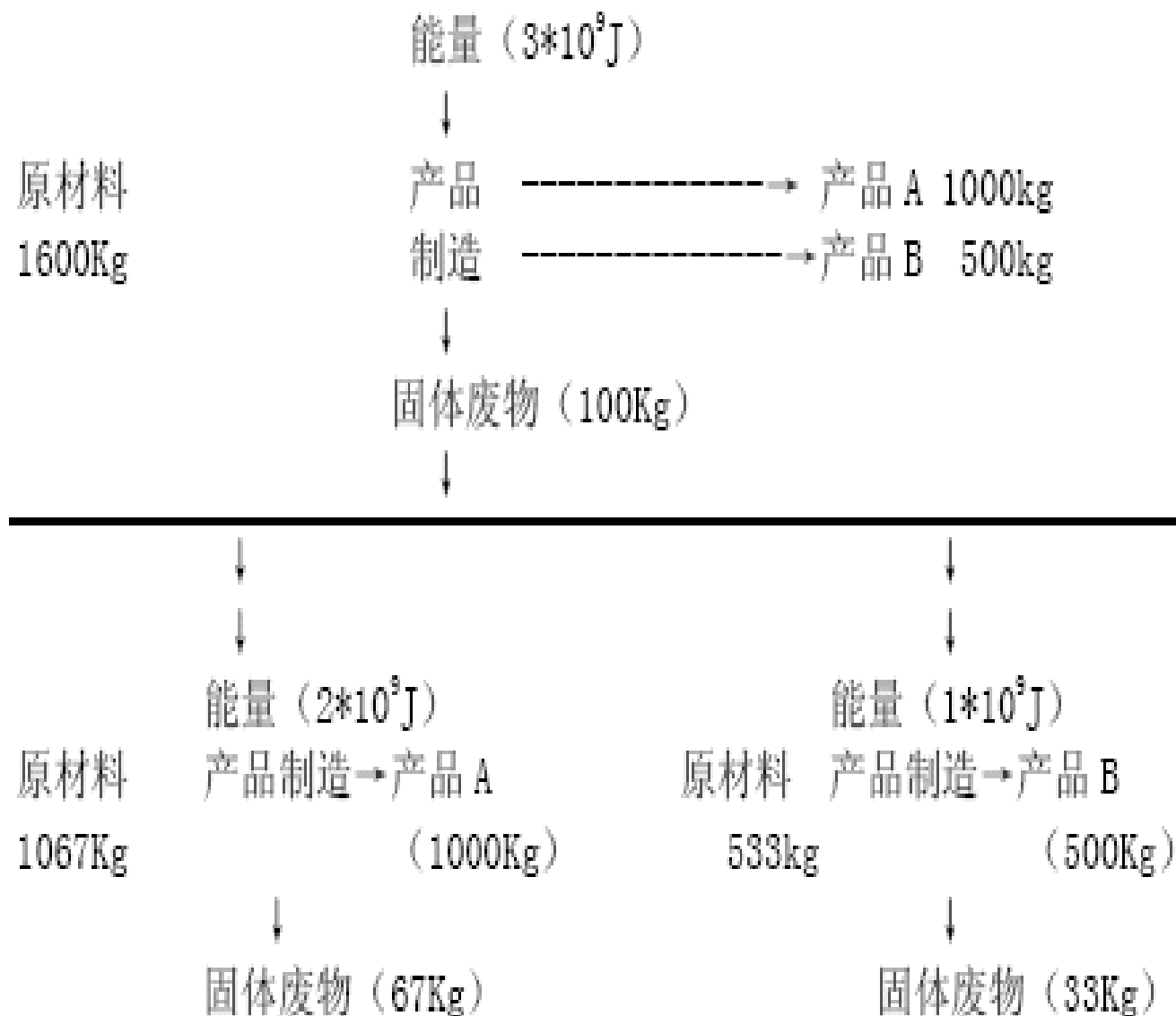
5.3.3.2 分配原则与方法

- 原则一,尽可能避免分配问题的出现,通过分析工艺之间的因果关系,将可以分解的工艺继续分解以消除虚假的共同工艺,即将具体的工艺过程和环境交换与具体产品对应起来,从而避免分配问题的出现。扩展系统边界,通过扩展产品系统边界,将系统外输入和输出纳入多研究的系统中,从而避免出现分配,但扩展系统边界的做法必须要和研究目标一致。
- 原则二,在无法避免分配的情况下,通过确定所研究工艺的所有功能单位的输入或输出比例进行分配。



(1)多产品系统的分配

- 多产品系统的分配的目标就是要找到一个分配参数，以尽可能的反映系统本身的物理行为，通常采用产品的重量、能量、能质、面积、体积、摩尔值等物理参数进行分配。例如最常见的形式就是以每种产品的相对重量大小来分配系统的输入和输出。



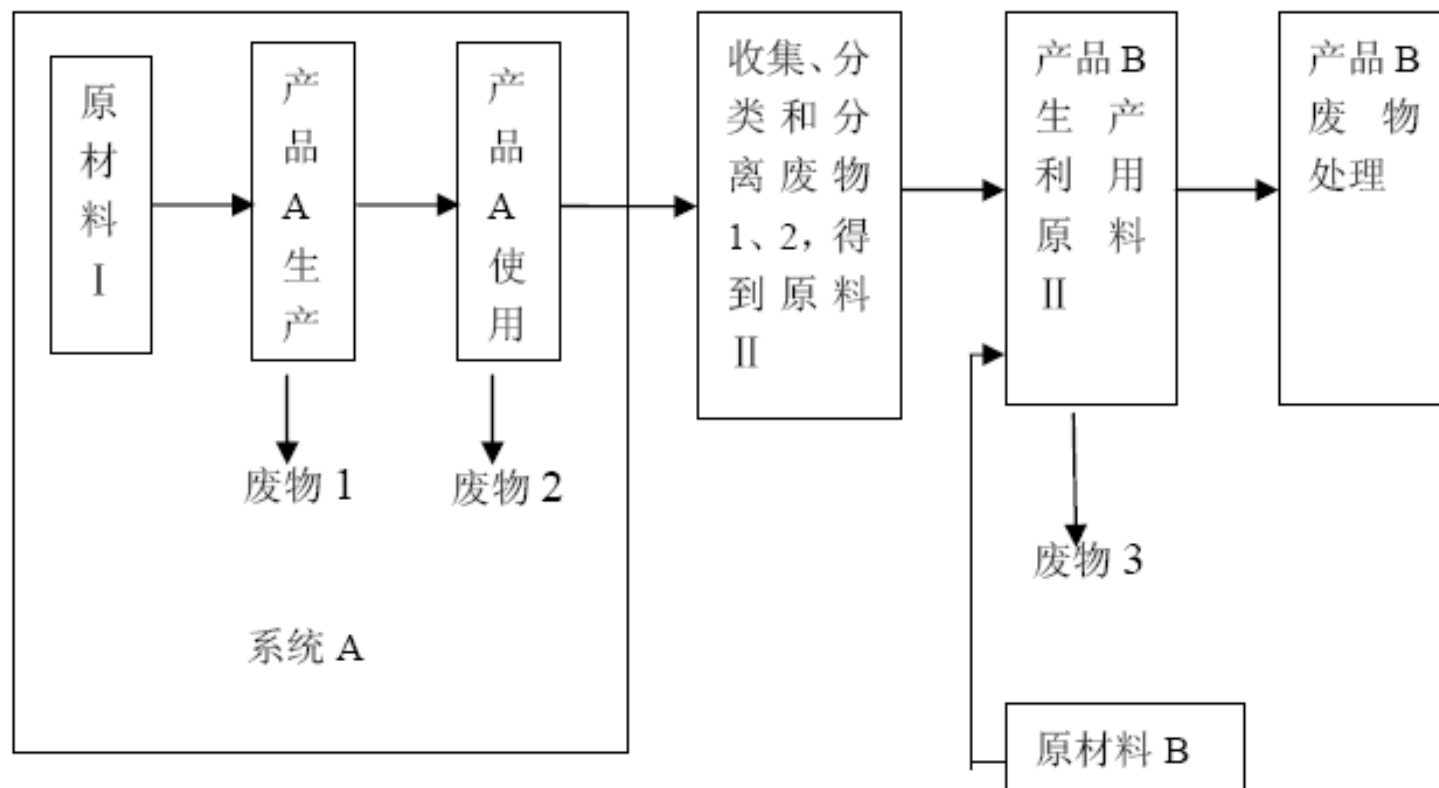
图：多产品系统的重量分配法



(2)开环再循环的分配

- 下图是一个开环再循环的系统模型，由于废物1和废物2被系统B作为部分原料利用而构成一个开环再循环，而主要问题是如何将系统A输出的废物流在产品A和产品B之间进行分配。在该系统中。需要进行分配的环境负荷包括：原生材料过程中的环境负荷，与废物处理系统相关的环境负荷，再循环过程的环境负荷。

图 5-6：开环再循环中的分配





对等分配方法

- SETAC提出了一种对等分配方法（即50: 50法），即将产品中原材料生产和产品最终作为废物处理造成的环境负荷由原材料生产和废物处理系统各负担50%，再循环过程所造成的环境负荷也由提供再循环材料的系统和接收再循环材料系统各负担50%。尽管这种方法常常掩盖了产品系统输入和输出中各种能流和物流的相对大小和重要性，但在实践中，由于其它方法经常缺乏足够的数据，而使对等分配法成为目前最为普遍的方法。



对等分配方法

- 由于开环再循环明显地减少了要处理的废物和需要提供的再生资源，而且从理论上讲，开环再循环所减少的废物处理量一般属于产生该废物的产品系统；而减少的原材料投入则属于利用该循环材料的产品系统。
- 对等分配方法实际上没有考虑再循环的实际情况，即当再循环经济价值不高时，实际上原材料生产系统承担了过多的再循环过程中的环境负荷。



- 假设上述模型系统中工生产了100个单位地产品A，其中60个单位被回收重新作为生产70个单位的产品B的原材料之一，产品B在使用后再进行燃烧处理，那么与60个单位产品A相关的输入和输出是否分配给系统A？
- 根据分配原则，原材料生产的环境负荷A1，使用后产品A的收集、分类和分离的环境负荷A2，以及最终的废物处理过程的环境负荷B3应该在系统A和系统B之间进行分配，但实际上两个系统间的环境负荷只与60个单位的产品A有关。因此：
- $A1=60/100=60\%$ $A2=100\%$
- 假设产品A和产品B由同种材料组成，那么废物处理的环境负荷B3为： $B3=60/70=86\%$ （添入其它原料）
- 采用均等分配的原则，产品A将承担地环境负荷为：
- $L(A) = 0.5 \times (0.86 \times B3 + 1.00 \times A2 + 0.60 \times A1)$
- 分配问题主要涉及多产品系统和再循环系统。目前，对等分配法仍是较好的选择。



5.4 LCA环境影响分析

- 根据清单数据对产品的环境性能予以评价，即环境影响分析，其目的是根据清单分析所提供的物料、能源消耗数据以及各种排放数据对产品所造成的环境影响进行评估，其是LCA的核心内容，也是难度最大的部分。
- 目前环境影响分析评价的方法有许多种，但基本上包含4个步骤：即分类、表征、归一化和评价。
- 在LCA评价中，将环境损害主要分为3类，即资源消耗、人体健康影响和生态环境影响。然后进一步细化为全球变暖、酸雨破坏作用、臭氧层减少、沙漠化、富营养化作用等。表征是对比分析和量化的过程，如二氧化硫和二氧化氮两种气体都可形成酸雨，但同样的气体量所形成的酸雨程度不同，这时就要用表征将其过程量化。通常在表征中都用计算当量的方法，用以比较和量化这种程度上的差异。



环境影响分析

常用表征指标

环境损害类型	指标名称	参照物	环境损害类型	指标名称	参照物
温室效应	GWP100	CO ₂	酸雨	AP	SO ₂
臭氧层减少	ODP	氟利昂-11	富营养化	NP	P



5.4.1 影响分析的单项评价指标

- 设定用于产品环境评估的单项指标： $P_i = m_i / M_i$
- 式中 P_i 为单项指标， m_i 为污染清单指标， M_i 为参比标准值。
- m_i 是清单分析中列出的数据，参比标准值 M_i 则体现现阶段人类社会对环境健康要求的**基本标准**，两者之比即为用于评价的某项指标数据。



1)资源消耗 (R)

- 资源消耗是产品向自然的索取，对各产品而言，消耗越多表明其环境性能越差，在这里资源消耗视为污染的一种特殊表现形式，并参照荷兰环境科学中心对消耗型环境资源中非生物资源消耗的处理方法，确定资源消耗单项指标的计算方法为： $P_i = m_i c_i / R_i$
- 式中： m 是资源消耗量， kg资源/t产品 （或万元产值）； c 为资源的年产量， 亿吨资源/a ； R 是全国资源的已探明量， 亿吨资源 ； i 是资源种类。
- 上述指标表示由于该种产品的生产和使用使某种资源消耗增加的分额，其中 R 、 C 的数据可以从国家统计部门、行业统计部门的统计数据中获得，得到的 P 值越大表明该种资源的消耗问题越严重。而相应的数值最大者，或在全部数值中所占比例较大者所对应的该种资源存在严重的资源消耗问题。



2) 水污染 (W)、 大气污染 (A) 指标

- 对于水污染、大气污染我国都有相应的环境指标。我国的环境指标体系中包括环境质量标准，污染排放标准和基础与方法标准3大类。在LCA研究中选择**环境质量标准**作为评价的依据。
- 我国的环境质量标准分为国家标准和地方标准2类。为统一起见，一般采用国家标准作为LCA研究中的通用标准。国家标准系列中又有各级质量标准，环境卫生标准、行业生产标准等多种类型。产品生命周期评估的重要特点在于跨越产品生产的区域范围，使异地生产的产品有较好的可比性，因此在选择标准时不应含有地方性、行业性因素，且最好采用国际通用的标准作为LCA评价的参比基准。基于这种考虑，应选用以保护人体健康为目的的环境卫生和工业卫生标准，它们与国际标准较为接近，且不含地方特点。



标准主要有：

- (1) 国家 《工业企业设计卫生标准》（TJ36-79）
- (2) 《居住区大气中有害物质的最高允许浓度》
（采用一次性数值）
- (3) 《地面水中有害物质的最高允许浓度》
- (4) 《工业企业噪声卫生标准》（试行草案）
- (5) 国家 《放射防护规定》



水污染（W）、 大气污染（A）指标

- 选定使用的标准后，公式 $P_i = m_i / M_i$ 中的各参数就有了具体的数据单位。
- P_i ：单项指标值， m^3 （水或大气）/单位产品；
- m_i ：污染清单值， kg 污染物/ m^3 （水或大气）；
- M_i ：参比标准值， mg 污染物/ m^3 （水或大气）。
- 该单项污染指标的现实含义为：由于该产品的生产所造成的被污染的水或大气的体积数。如：**1kg**丙酮的生产可能造成**30m³**的大气污染和**5m³**的水污染，使其达不到卫生要求。这样，各种污染物对水体和大气的污染有了一个统一的标准单位，可对不同性质的污染物进行比较。



3) 固体废物

- $P_i = m_i / M_i$
- 定义污染清单值 (m_i) 表示为kg废物/单位产品；参比标准 (M_i) 选用产品的重量，单位是kg，单项指标 (P_i) 用单位产品的重量进行处理后，表示为产品产生固体废物与产品自重的比例，反映产品的固废产率。
- 例如，产品使用阶段固废单项指标的值始终小于1，若 P_i 的值接近1，则显然表明该产品的回用率较低，材料再生较困难。对于有害的固体废弃物，应根据相应的国家标准，处理成受污染的土壤的体积，或作为专项进行考查。



4)噪声

- 国家关于噪声的标准都是以噪声声压级（dB(A)）和噪声持续时间（n）规定的，得到的污染清单值也以噪声声压级和持续时间（n）进行描述。但实际上，用声压级不能进行直接的比较，而应转化为它所携带的能量，即噪声的声压（u）来进行评价，方可得到正确的结论。
- 定义： $P_i = G_i / G_s = (u_i \times t_i) / (u_s \times t_s)$
- P为单项指标，无量纲；G为噪声水平， $\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ ；u为声压，t为持续时间，h；下标i为污染数，下标s为标准规定水平。



- 在实际的监测工作中，往往直接利用仪器得到噪声声压级的数据（ L_u ），需要利用噪声声压级的有关定义进行换算，才可以进行比较到达人体的声能的大小。声压 u 与声压级 L_u 之间的关系为：
- $u = u_0 \times 10^{L_u/10}$
- 其中 u_0 为人体可接受的声压域值， $u_0 = 4 \times 10^{-10}$ （Pa）， L_u 为声压级，dB(A)。计算得到的单项指标 P_i 的实际含义为噪声向人体转达的声能。这类污染的单项指标数据都是无量纲的，且其物理的和实际的指标含义均为超过规定标准的倍数与人体平均可接受声能间的比例。当 P_i 值大于1，则表示超过了所规定的可接受水平； P_i 值小于1时，则表明噪声污染较小。



5.4.2 环境要素指标

- 环境要素指标是由5种环境要素中各自的单项污染指标分别进行处理后得到的。这5种要素指标是：资源消耗指标，水污染指数，大气污染指数，固体废物指标和其他类型的污染指标。
- 由于在LCA研究中所使用的单项指标的单位各不相同，如资源消耗指标为资源量/单位产品,而水体污染指标则表达为水的体积/单位产品，故在计算产品的各环境要素的指标时也须相应地采用不同的方法和模式。



1)资源消耗指标

- 产品的生产总要涉及到水耗、能耗（电力、煤炭、石油等）和主体材料。各种资源消耗的单项指标由于分母值远大于分子的值，使得指标值均需要指数记数法表示才有比较的意义。一般地，资源消耗清单值表达为kg，该种资源的年产量用亿t表示，资源储量也为亿t，
- $P_i = m_i/M_i = m_i c_i/R_i$
- 资源消耗要素指标 $Q_R = \sum n_i \omega_i \times P_i$ （单位产品a）⁻¹
- 式中 P_i 为 i 种资源消耗的单位指标（单位产品 $\times a$ ）⁻¹； ω_i 为 i 种资源的权重值，无量纲； n 为资源种类数， $n \geq 2$ 。需要指出的是：权重表示国家对各类资源的保护政策，对不同的资源开发所持态度及各种资源在我国的贫富程度，权重值需要经过对各种资源进行全面比较研究后方可得到，在这里尚无法给出具体的数据。



(2)水污染和大气污染

- 水污染和大气污染指标是以被污染的水和大气的体积来表示的。严格地说，对于种类不同的污染物似乎不能进行各污染单项指标间的比较。但实际上这类比较是可行的。水或大气中污染物的含量一旦达到了卫生标准的浓度，即可被认为它已经失去了原先的利用价值，将造成对人体健康的危害。而对人体健康的损害状况虽有所差别，但不能说某一种疾病比另一种疾病更好或更坏，所以可以不加权重，故：
- 水污染指标 $Q_w = \sum P_i$ (m^3 水/单位产品)， P_i 为单项指标
- 大气污染指标 $Q_A = \sum P_i$ (m^3 大气/单位产品)， P_i 为单项指标。



(3)固体废物及其它

- 固体废物的产生没有严格的指标进行规范，采用的单项指标也仅表示了单位产品或单位重量产品所产生废物的多少。对于同类产品的生产和使用处置可达到直接比较的效果；而对于不同类产品或技术含量差别较大的产品是否能进行比较却存在着疑问。定义固体废物要素指标： $Q_i = \sum P_i$
- 对于其它类型要素指标，由于其单项指标的物理意义均为超过规定标准的倍数，是可以比较的。但需考虑其风险程度而予以加权处理，所以定义其他类型要素指标
 $Q_0 = \sum \omega_i \times P_i$ ， ω 为考虑其风险程度的权重，下标*i*为污染种类



环境单项指标与环境要素指标的计算方法

环境要素	符号	单位指标 P	要素指标 Q
资源消耗	R	$P_i = m_i c_i / R_i$	$Q_R = \sum_i \omega_i \times P_i$
水污染	W	$P_i = m_i / M_i$	$Q_W = \sum P_i$
大气污染	A	$P_i = m_i / M_i$	$Q_A = \sum P_i$
固体废物	S	$P_i = m_i / M_i$	$Q_S = \sum P_i$
其他类型的污染	O	$P_i = G_i / G_s = u_i \times t_i / u_s \times t_s$ $u = u_0 \times 10^{\ln/10}$	$Q_O = \sum \omega_i \times P_i$



5.4.3 关于产品的综合评估指标

- 由清单分析数据及相应的标准值可以计算得到一系列单项环境指标并汇总成5个要素指标。它们都反映了产品环境性能的某个侧面，所构成的整个数据组全面表达了产品与环境间的关系。但应指出的是，这5个要素指标之间存在着某种不可比性，表现在：
- (1)数据值的差异：资源消耗指标值一般由于基准数据十分巨大，因而造成单项指标值和要素指标值都可能成非常小的值，要用负指数来表达；而大气污染指标由于累计了各种大气污染物的排放造成的大气污染的体积数，显然会以百或以千计；其他类中的数据一般在0到几十之间，反映出超过标准值的倍数。各个量的数值的绝对大小并不代表其环境影响的相对强弱。



- (2)各指标数据的单位不同，不能对这些数据相互间进行直接的处理。
- (3)指标的性质不同，资源消耗指标反映产品对该资源的消耗份额；水污染与大气污染指标则表明生产、使用和处置产品所造成的水体和大气污染的量；其它指标则代表污染超过人体可接受值的倍数，它们的物理意义完全不同，无法进行直接比较。
- 要素指标反映产品对某种环境要素的影响程度。但各个不同要素却不能以指标数值进行简单处理，要产生一个全面反映产品的环境性能，单一的定量的综合指标值，在理论上是必要的，也是可能的，但在实际上是非常困难的。



5.5 结果解释

- 生命周期解释是生命周期评价中根据规定的**目的和范围**的要求对清单分析和（或）影响评价的结果进行归纳以形成结论和建议的阶段。
- **5.5.1 生命周期解释概述**
- **1) 生命周期解释的目的**
- 生命周期解释的目的是基于生命周期清单分析和（或）影响评价的发现，分析结果、形成结论、解释局限及提出建议，并以透明化方式报告解释结果。
- 解释环节中可包括一个根据研究目的和研究范围、收集数据的性质和质量进行评审与修正的反复过程。解释应能反映所做的所有敏感性分析的结果。



2)生命周期解释的主要特征

- (1) 为了满足研究目的和范围的要求，在清单分析和（或）影响评价结果基础之上采取系统化的方法辨识、限定、检查、评价与提交最终解释结果；
- (2) 无论是生命周期解释阶段内部还是与生命周期评价或清单研究其他阶段之间，都是一种反复的过程；
- (3) 通过强调涉及研究目的和范围的生命周期评价或清单研究的优势与局限，提供了LCA方法和其他环境管理技术的关联。



3)生命周期解释的主要步骤

- （1）在生命周期评价或清单研究结果基础上对重大环境问题的辨识：
- （2）在完整性、敏感性和一致性分析基础上对生命周期评价或清单研究结果进行评价；
- （3）得出解释结论、建议和最终报告。



5.5.2重大环境问题的辨识

■ 1)目的

- 该步骤的目的在于组织由LCIA或LCI阶段的分析结果，在与研究目的与范围保持一致并与评价部分进行交互作用的前提下，确定环境影响重大议题。与评价部分进行交互作用的目的在于充分考虑并修正前面阶段所用方法与所作假设等产生内涵与推论，如分配原则、边界划定准则、影响类型选择、类型参数及模型等。



2) 相关信息的选择与组织

- 该步骤需要LCI或LCIA研究前面阶段4个方面的信息：
- （1）LCI和（或）LCIA阶段的发现，并需要与数据质量信息汇集与组织。其结果须以适当的方式来组织，比如按照生命周期的各个阶段、产品系统的不同工序或单元过程、运输、能量提供以及废弃物管理。这样的结果可用数据清单、表格、柱状图，或输入输出和（或）类型参数结果的其他适当表现形式。
- （2）方法选择信息，例如分配原则和产品系统界限。
- （3）研究中所采用的价值选择。
- （4）该研究涉及到不同团体的任务和职责，以及相关的鉴定评审结果。



3)重大问题的确定

- 如果LCI和（或）LCIA阶段的结果确实与已确定的研究目的和范围保持一致，就可以确定这些评价结果的相对重要性，从而确定影响显著的重大问题。这个过程同接下来的评价过程一起，都应当是不断反复的过程。
- 重大议题可以包括：
 - （1）清单数据类别，如能源、排放、废弃物等；
 - （2）影响类型，如资源消耗、温室效应潜力等；
 - （3）各生命周期阶段，例如个别操作单元或运输、电力生产之类过程的组合，对LCI或LCIA结果的主要贡献。
- 确定产品系统的重大议题，可以比较简单，也可以非常复杂，须根据实现确定的研究目的与范围来决定。



5.5.3评价

- **1)目的与要求**
- 评价步骤的目的是建立并加强LCA或LCI实施结果，包括所鉴别出的重大问题的置信度和可靠性。评价步骤应与LCA或LCI实施的范围和目的相吻合，并考查其最终的预期用途。评价的结果则须以一种清楚易懂的方式来展现。
- 在评价过程中，通常应考虑采用如下3种技术：
 - （1）完整性检查；
 - （2）敏感性检查；
 - （3）一致性检查。
- 不确定分析及数据质量评价的结果，应当能够支持上述几项检查。



2)完整性检查

- 完整性检查的目的是确保生命周期解释阶段所需资料都是可提供,而且完整的。
- 如果任何相关信息有所遗失或不完整,则应对其满足LCA实施所设定的目的与范围的必要性予以考虑。如经考虑后发现这项信息并非必要,则应在明确记录之后,开始下一步的评价阶段。如果这项信息对于重大问题的确定非常必要,则必须重新回到之前的LCI和(或)LCIA实施阶段,或者重新调整事先设定好的研究目的与范围。



3)敏感性检查

- 敏感性检查的目的是通过确定最终结果及结论是否受到数据不确定性、分配方法或类型参数计算结果等因素的影响，来评估这些结果或结论的可靠性。
- 敏感性分析所需详细程度主要依赖于LCI和（或）LCIA分析的结果，但下面几点应予以考虑：
 - （1）LCA实施目的与范围中事先确定的议题；
 - （2）LCA实施其他阶段中所得结论；
 - （3）相关专家的意见及过去的经验。
- 敏感性检查的结果将用来决定是否需要更全面和（或）更精确的敏感性分析的需求性，及其对LCA实施结果的明显效应。
- 在敏感性检查无法体现不同实施方案间的重大差异时，并不能断言各方案间的差异一定不存在。这种差异可能确实存在，只不过因为数据和方法的不确定性而使其无法被鉴别。



4)一致性检查

- 一致性检查的目的是检查实施过程中所采用假设、方法和数据是否能与实施目的和范围保持一致。
- 如果与LCA和（或）LCI实施相关，或是基于实施目的与范围的要求，下列问题应予以考虑：
 - （1）产品系统内部各生命周期之间及不同产品系统间的数据质量差异，是否与实施的目的与范围一致？
 - （2）区域和（或）时间上有差异时，是否一致性地被应用？
 - （3）分配规则及系统范畴是否一致性地应用于所有的产品系统？
 - （4）影响评价的步骤是否一致性地被应用？



5.5.4结论与建议

- 项目实施最终结论的得出，与生命周期解释阶段其他步骤之间应该是相互影响并且不断反复的过程。结论提出的合理顺序应该是这样：
- （1）辨识出重大问题。
- （2）评估方法与结果的完整性、敏感性及一致性分析。
- （3）提出初步结论并检查其各步骤与实施目的及范围的要求是否一致。
- （4）结论如果具有一致性，则可以作为完整结论。否则应视具体状况，返回前途步骤（1）、（2）或者（3）。
- 只要适合实施的目的与范围，应当对决策者提出具体的建议。该建议应当依据项目实施的最后结论，并应反映由结论所引申的合理结果。



5.5.5报告

- 最终报告应遵照ISO14040的要求，完整、客观地叙述整个LCA实施过程。在对生命周期阶段进行报告时，应严格遵循在价值选择、理论依据及专家判断方面的公开透明性。



5.5.6 生命周期解释实例及分析

- 对影响力评估的结果进行解释可以是多种多样的，这完全取决于分析的目的。下面有几个相关的实例及解释，具有一定代表性。
- 1)回收玻璃瓶是否节约能源？
- 美国伊利诺依州的阿贡国家实验室（Argonne National Laboratory）于1994年5月发表的一篇研究报告表明，尽管理论上熔化回收的碎玻璃瓶比熔化石英原料节省能源，但充其量不超过**13%**。但如果到垃圾填埋场的距离保持不变，当玻璃瓶回收地点至熔化厂的距离提高到**100英里**时，回收便无法节省任何能源了。



2)可重复用式玻璃瓶还是无菌纸盒更有利于保护环境？

- 回答是，很难讲。
- 1995年7月德国联邦环境署费时4年进行的LCA分析表明牛奶用多次重复使用的玻璃瓶比一次性无菌纸盒包装对环境造成的负担略轻。然而无菌纸盒联合会（FKN）的另一项独立的调查表明，UBA的研究是基于1992/1993年度的背景资料，即假定玻璃瓶可重复使用25次，无菌纸盒回收率为12%等。而1995年的实际情况是在德国牛奶用玻璃瓶的使用次数远远低于25次，而无菌纸盒的回收率大大高于12%，应为40%左右。而且牛奶用玻璃瓶的实际运输距离至少比1992年所估计的长两倍。如果基于这些新的数据，两种包装系统的环境表现可能很接近，甚至逆转。为此德国环境部长Topfer博士指出：简单地试图用LCA分析方法在不同的体系中进行优劣比较是非常困难的，但研究至少可以指出不同体系在环境上的不同弱点。



3) 一次性还是可多次使用性婴儿尿布是符合环保要求？

- 20世纪80年代，美国的某个州曾经围绕是否允许使用一次性婴儿尿布的问题展开一场辩论，当时公众舆论认为这种尿布浪费资源，同时加重了该州垃圾填埋场的压力。结果是州议会在公众舆论的压力下颁布禁止使用一次性婴儿尿布的法令。随后当地居民们开始大量使用多次用尿布，却导致了清洗尿布用的水量的大幅度增加。而LCA分析表明这个州恰恰是美国最干旱的州之一，水源非常紧张，但人口稀少，荒地幅员辽阔，垃圾填埋场根本不存在任何压力。结果是可以推断的，该州重新审议了法案，恢复使用一次性尿布。
- 由此可见在选择LCA分析系统边界时对于有些环境问题的取舍必须考虑本地实际情况。



5.6 LCA方法的局限性和困难

■ 5.6.1 LCA的局限性

■ 1)应用范围的局限性

作为一种环境管理工具，LCA只考虑生态环境、人体健康、资源消耗等方面的环境问题，而不涉及技术、经济或社会效果方面，目前仅仅是众多有助于做出决策的工具(如风险评价、环境表现（行为）评价、环境审核、生命周期影响评价)中的一种，所以还必须结合其他方面的信息来确定方案并采取行动。

■ 2)评估范围的局限性

LCA的评估范围没有包括所有与环境相关的问题。例如，LCA只考虑发生了的或一定会发生的环境影响，一般不考虑可能发生的环境风险及其必要的预防和应急措施。LCA方法也没有要求必须考虑环境法律的规定和限制。但在企业的环境政策和决策过程中这些都是十分重要的方面。这种情况下应考虑结合其他的环境管理方法。



- 3)评估方法的局限性
- LCA的评估方法既包括了客观，也包括了主观的成分，因此它并不完全是一个科学问题。在LCA方法中主观性的选择、假设和价值判断涉及到多个方面，所以LCA的结论需要完整的解释说明。
- 4)时间和地域的局限性
- 无论LCA中的原始数据还是评估结果，都存在时间和地域上的限制。在不同的时间和地域范围内，会有不同的环境清单数据，相应的评估结果也只造用于某个时间段和某个区域。由于研究结果通常针对于全球和区域，所以可能不适用于一些具体地方；同时，某些地区或区域的实际情况也并不能完全代表全球或区域的状况。



5.6.2 LCA理论上的困难

- 1)客观性问题
- LCA作为一种评价产品环境影响的方法，最重要的是保证结论的客观性。但LCA所处理的环境问题以及所采用的量化方法，都对LCA的客观性有着极大的影响。
- 首先，LCA方法在许多环节的实施中，既依赖于LCA的标准，也依赖于实施者对LCA方法的理解和对被评估系统的认识以及自身积累的评估经验和习惯，这些难以完全避免的非标准化的因素都有损于LCA的客观性。
- 第二，LCA中所做出的大量选择和假定，包括功能单元的定义、系统边界的设置、数据收集渠道和影响类型的选择等，在本质上无法脱离主观因素的影响，所以必然会产生误差。
- 第三，环境影响评估在量化过程必然要引入像权重因子这样的主观因素，其评估结果必然因人而异，没有重复性并且难以验证，使得其客观性受到损害。



- 2)计算模型的局限性
- 用于生命周期清单分析或评价环境影响的模型实际上存在很大局限性。因为它们的假定条件可能对某些潜在影响或运用是不可行的。由于目前尚不存在一种在科学上可接受的、对各种不同的污染物作权重的方法，因此，对不同类型的污染进行比较还存在着困难，甚至在同一单元中的污染影响也没有测定过。所以，将清单数据转换为环境损害的计算方法通常非常复杂和不确定，其简化处理公式如“临界容量”等存在着根本上的缺陷，精确度很受影响。



■ 3)数据采集及质量分析方法的标准化问题

虽然LCA的数据收集标准化有了很大进展，但不同分析的结果差别仍然很大。差异源自于系统边界定义不同、产品系统间的输入输出分配不同、收集的数据质量参差不齐等。例如不同国家的电力结构不同，在计算消耗电能对环境的影响时差异就较大。评价方法的标准化问题将直接影响评价结果的比较和交流。另外，对于数据质量的分析也非常重要，但直至目前，基础数据可靠性和全面性的评判仍不存在标准的方法。

■ 4)研究结果的不确定性

- 由于许多参数还不能简化到用一个指标来概括的程度，数据更新的速度又相当快，而且在确定权重过程中使用的假设也可能有问题，因此不能为消费者提供关于某一特定产品在环境方面具有绝对优势的结论。



5.6.3 实际应用中的问题

- 1)数据完整性和精度问题
- 由于LCA需要大量的数据，J.Nash和M.D.Stoughton等人的研究表明，对某种材料充分的LCA评价可能涉及60万个基本数据，这就不可避免地产生数据资料可得性的问题。由于无法取得或不具备有关数据，或是数据质量问题（如数据断档、数据类型、数据综合、数据平均、现场特性等），研究人员必须经常依据典型的生产工艺、全国平均水平、工艺的工程估计或专业判断等来获取数据，所以其结果可能造成数据不准确、误差或偏差较大，甚至会得出错误结论。



5.6.3 实际应用中的问题 (续)

■ 2)完成费用较高

为了进行生命周期评价, 对许多产品来说, 评价研究工作复杂, 费用支出很高。因为不同地区的产品或工艺对环境有不同的影响, 所以LCA必须符合具体情况, 并对不同的情况进行重复评价, 这样需要许多费用。目前, 进行一项LCA通常需花费10000~100000美元。并且其价格随着所要求的精确度的提高而大幅度增长。在欧洲, 某政府进行一个LCA约花费150万欧元(ECU)。由于产品(甚至产品类别)数量众多, 如此高的费用使得LCA仅能有选择地应用于某些产品。

■ 3)时间花费长

对许多产品来说, 由于生命周期评价研究工作复杂, 在花费高昂的同时, 花费的时间通常也很长。在国外完成一个LCA, 一般要6~18个月, 因此用LCA结果为产品尤其对电子、计算机等变化快的产品作设计是不切实际的。

■ 4)计算机辅助评价问题

适当的LCA软件工具和LCA基础数据库可以使LCA的应用简化。虽然目前这个领域发展非常迅速, 可大大缩短开发设计方案时的分析时间, 但存在的问题仍相当多, 其评价结果的质量非常有限。