

LCA 环境影响分析新探

席德立 彭小燕

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

摘 要 影响分析是 LCA 的核心内容, 也是难度最大的部分. 目前采用的定性方法和定量方法都存在不少缺点. 本文在笔者构筑的 LCA 指标体系的基础上探索在影响分析中引入我国现行的环境质量评价方法和手段使影响分析的方法更易于操作, 其结果更具有客观性和可比性. 本文论述了各项评价指标的计算方法及要素指标的形成并指出利用 5 个要素指标的数据能比较全面地反映产品的环境性能.

关键词 LCA, 影响分析, 环境质量评价.

产品生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 是对产品 (或服务) 生命周期全过程的环境影响所作的综合评价, 目前它已在产品环境标志计划的实施、产品生态设计、企业的环境管理等诸多领域得到了越来越多的应用^[1]. 在 LCA 方法学中影响分析是在完成目标界定、清单分析后开展的又一部分工作, 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. 可以说, 影响分析是 LCA 的核心内容, 也是难度最大的部分. 目前开发了不少影响分析的方法, 大致可分为定性法和定量法 2 类. 定性方法主要依靠专家评分, 其结果有一定的随意性和不可相比性; 定量方法比较严格, 其结果有一定的可比性, 但需要详尽的清单数据, 而且也受限于人们对环境问题认识的深度和广度, 实际操作起来存在不少困难.

本文在笔者所构筑的 LCA 指标体系^[2]的基础上, 论述各类指标的计算方法, 同时探索在影响分析中引入我国现行的环境质量评价方法和手段, 使影响分析的方法更易于操作, 其结果更具有客观现实性, 可比性.

应该指出的是, LCA 影响分析和传统的环境评价是有原则区别的. 首先是研究对象不同, 前者以产品为考察对象, 后者则以建设项目或地区环境质量为评价对象; 其次, 评估的目的不同, LCA 在于确定产品的环境负荷, 比较产品环境性能的优劣, 或对产品进行重新设计, 而环

境评价着重于通过调查预测, 揭示污染的程度, 对环保措施提出改进意见, 或用于多个厂址的优选. 虽然两者有不少差异, 但总的来说, 都是对与产品或建设项目相关的环境性能进行评价, 因此在方法上和评价的标准上有许多相通之处. 将人们所熟知的环境评价方法和标准引入 LCA 影响分析之中, 不但便于 LCA 的推广应用, 也使这 2 种不同类型的环境影响评价获得基本上统一的基础.

1 影响分析的单项评价指标

借鉴环境影响评价的单项评价方法, 根据文献[2]的指标体系, 设定用于产品环境评估的单项指标:

$$P_i = \frac{m_i}{M_i} \quad (1)$$

式中, P_i 为单项指标值; m_i 为污染清单值; M_i 为参比标准值.

在 (1) 式中, 污染清单值 m_i 是清单分析中列出的数据, 参比标准值 M_i 是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, 下面分述各单项指标的计算方法.

1.1 资源消耗

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干预中非生物资源消耗的处理办法^[3],确定资源消耗单项指标的计算方法为:

$$P_i = \frac{m_i c_i}{R_i} \tag{2}$$

式中, m 为资源消耗量, 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 为全国资源的已探明量, 亿吨资源; i 为资源种类.

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. 这种简单比较可用下式完成:

$$P_i = \frac{P_i}{\sum P_i} \quad \text{且} \quad \sum P_i = 1 \tag{3}$$

1.2 水污染、大气污染指标

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 研究中选用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, 为统一方法, 建议采用国家标准做为 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, 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. 这些标准主要有:

- (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》
- 选定使用的标准后, 公式(1)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/单位产品;
 - 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水和大气质量下降, 而被污染的水或大气的体积数. 如, 1kg 丙酮的生产可能造成 $30m^3$ 的大气污染和 $5m^3$ 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.

同样, 可以利用公式(3)对各单项指标进行处理, 获得主要污染物的排名次序以及它对该产品所造成污染的贡献率.

1.3 固体废物和其它污染指标

在文献[2]开发的污染指标体系中还有固体废物指标以及包含噪声、放射性、恶臭等多种污染类型的其它类指标. 这几类指标其标准量纲通常是不同的, 要作单独的考查.

(1) 固体废物 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, 单位为 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.

$$P_i = \frac{m_i}{M} \tag{4}$$

式中, M 为产品的重量, kg; m_i 为产生的固体废物量, kg.

例如, 产品使用阶段固废单项指标的值始终小于 1, 若 P_i 的值接近于 1, 则显然表明该产品的回用率较低, 材料再生较困难. 对于有害固

体废物,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。

(2) 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(h)规定的,得到的污染清单值也以噪声声压级和持续时间(h)进行描述。但实际上,用声压级不能进行直接比较,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。

这里提出的方法是:

$$P_i = \frac{G_i}{G_s} = \frac{U_i \times t_i}{U_s \times t_s} \quad (5)$$

式中, 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, Pa^2 ; t 为持续时间, h; 下标 i 为污染源; 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:

$$U = U_0 \times 10^{L_u/10} \quad (6)$$

其中, U_0 为人体可接受的声压域值, $U_0 = 4 \times 10^{-10} (\text{Pa}^2)$; 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,噪声向人体传达的声能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。

(3) 放射性与恶臭 国家有关标准规定了人体年最大可接受的放射剂量(雷姆),其监测所使用的单位与之相同,为雷姆。可以参照噪声单项指标的形成方法确定相应的放射性污染单项指标。

恶臭的标准我国还未正式发布,国外通常以恶臭的稀释倍数来表示,无量纲,也极易直接用测定值与标准值进行比较,得到相对倍数的单项指标值。

同时,这一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出规定标准的倍率,这样也便于对单项指标进行处理,进而产生环境要素的指标。

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、水污染指标、大气污染指标、固体废物指标和其它类型污染指标。

我国在进行环境综合质量和影响评价时,一般的作法是分别对大气、水体等多种环境要素进行评价,得到各要素的综合评价指数^[4]。这些评价模式多种多样,较常见的有南京模式、混合加权模式、Nemerow 模式、几何指数模式、统计模式等等,其基本方法是对各单项指标进行加权和统计处理。由于各单项指标都是由超标倍数来表示的,因而处理后得到的结果能较好地反映出实际的污染水平和环境质量。

本文在 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。因此,计算产品的各环境要素的指标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在利用公式(2)进行计算后,由于分母值远大于分子的值,使得指标值均需用指数计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,资源贮量也为亿 t。

用(7)式计算得到的资源消耗要素指标 Q_R 的量纲为(单位产品 $\times \text{a}$)⁻¹。

$$Q_R = \sum_n \omega \times P_i \quad (7)$$

式中, P_i 为 i 种资源消耗的单项指标,(单位产品 $\times \text{a}$)⁻¹; ω 为 i 种资源的权重值,无量纲; n 为资源种类数, $n \geq 2$ 。

权重表示国家对各类资源的保护政策、对不同资源开发所持态度及各种资源在我国的贫富程度;权重值需经过对各种资源进行全面比较研究后方可得到。在这里仅指出权重数值的存在,尚无法给出具体的数据。

(2) 水污染和大气污染指标 水污染与大

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, 但实际上这种比较是可行的. 水或大气中污染物的含量一旦达到了卫生标准的浓度, 即被认为它已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. 这也是选择卫生标准做为 LCA 研究的基准的重要原因. 由此水污染与大气污染要素指标可分别表达为:

$$Q_W = \sum P_i$$
$$Q_A = \sum P_i \tag{8}$$

式中, Q_W 为水污染要素指标, m^3 水/单位产品; Q_A 为大气污染要素指标, m^3 大气/单位产品; P_i 为单项指标, m^3 (水或大气)/单位产品.

(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, 我们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. 在这里先定义固体废物要素指标 Q_S 为:

$$Q_S = \sum P_i \tag{9}$$

对于其它类环境问题, 在讨论其单项指标时已经指出, 这些指标具有相同的物理意义, 是可以进行比较的. 但在通常的环境质量评价中, 还要考虑其风险程度而予以加权处理, 由此形成下面其它类型要素指标 Q_O 的计算方法:

$$Q_O = \sum \omega \cdot P_i \tag{10}$$

式中, ω 为考虑风险程度的权重; 下标 i 为其它污染类型的种类.

经过以上定义, 可以总结出产品生命周期评估所使用的评价指标的产生方法及其相应的量纲形式. 这些指标内容汇总在表 1 中, 它们从不同的方面反映了产品的环境性能, 体现了其全部生命过程中各阶段(原材料生产、产品加工制作、产品的包装运销、产品使用以及报废后处

置) 的资源消耗、水污染、大气污染、固废排放等污染的程度. 这些指标具有特定的含义, 若通过加权处理, 可以得到较为简单的数据结果, 从而进行产品间的比较或产品本身各阶段间的比较.

表 1 环境单项指标与环境要素指标的计算方法

环境要素	符号	单项指标 P	要素指标 Q
资源消耗	R	$P_i = \frac{m_i \times c_i}{R_i^2}$	$Q_R = \sum w_i \times P_i$
水污染	W	$P_i = \frac{m_i}{M_i}$	$Q_W = \sum P_i$
大气污染	A	$P_i = \frac{m_i}{M_i}$	$Q_A = \sum P_i$
固体废物	S	$P_i = \frac{m_i}{M_j}$	$Q_S = \sum P_i$
其它类型的污染	O	$P_i = \frac{G_i}{G_S} = \frac{U_i \times t_i}{U_s \times t_s}$	$Q_O = \sum w_i \times P_i$
$U = U_O \times 10^{L \cdot U \cdot 10}$			

3 关于产品综合评价指标的讨论

由清单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. 但是应该指出的是: 这 5 个要素指标之间存在着某种不可比性, 具体表现在:

(1) 数据值的差异 资源消耗指标值一般而言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为非常小的值, 要用负指数来表达; 而大气污染指标由于累计了多种大气污染物的排放造成的大气污染的体积数, 而显然会以百或以千计; 其它类中的数据一般则在 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;其它类指标则代表污染超过人体可接受值的倍数.它们的物理意义是完全不同的,无法进行直接的比较.

以上分析说明,虽然同类环境要素中各单项指标具有相同的含义,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.尽管国外一些研究单位,如瑞典国家科学院提出了“环境负荷”的概念,试图以各种原材料和工艺过程的环境负荷指数(Environmental Load Index ELI)来计算某个产品的环境负荷值(Environmental Load Value ELV)^[5],但这种方法涉及许多人为的主观的不定因素,尚未得到公认,因此这个问题至今不能认为已得到完满的解决,还有待于更加深入全

面的研究.

从另外一个角度来看,是否一定需要仅用一个指标来描述产品的全部环境性能呢?笔者认为,LCA 方法体系的建立不一定着眼于单一指标的形成.若用一组数据可以很好地表达出产品的环境特性,且容易被使用者和消费者辨识,也能在一定程度上达到预期的目的.

参 考 文 献

- 1 席德立.清洁生产.重庆:重庆大学出版社,1995:167—195
- 2 席德立,彭小燕.产品生命周期评估指标体系的探讨.台北:第四届海峡两岸环境保护学术研讨会.1996.12
- 3 Heijungs R. Environmental Life Cycle Assessment of Products. Leiden: Guide-October, 1992: 42
- 4 冯利华.环境科学研究,1993,6(5):41
- 5 Jacquetta J Lee et al. Resources, Conservation and Recycling, 1995, 13: 37—56

(上接第75页)

息系统等技术,比较符合目前国际计算机技术的发展潮流.

(2) 规范性. PEIS 建设是在国家环保局的统一部署下,根据中国环境信息资源管理战略规划的要求进行的.按照结构化思想组织开发,在代码设计、界面设计、数据库设计等方面始终注重统一规范,基本保证了数据的一致性、完整性和有效性.

(3) 实用性.基础数据库、应用管理模块和决策支持模块的开发强调为现行管理制度服务,提供了丰富的功能,基本满足管理需要.图形化的用户界面容错性较好,并提供详尽的用户手册和联机帮助,便于用户使用.系统还具有较强的安全管理功能和方便灵活的用户管理能力.

省级环境信息系统的开发标志着我国环境信息系统建设走上了新的台阶,它的设计和实施吸收了几十年来我国信息系统研究的经验教训.为了保证这套系统的生命力,使它在环境管理中发挥应有的作用,下一步要加强各省级环境信息中心的队伍建设,开发其它管理急需的应用模块,并开发相应的市级系统提供数据支持.各地利用这次引进的先进的计算机软硬件环境,还可以进一步开发适于本地需要的应用程序.

参 考 文 献

- 1 程声通等.环境科学,1989,10(2):57—61
- 2 程声通等.环境科学,1995,16(3):15—18
- 3 Steve J Ayer. Object-Oriented Client/Server Application Development. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1995: 70—75
- 4 孙启宏等.环境科学研究,1994,7(6):51—54

Physical Testing and Chemical Analysis, Guiyang 550002): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(6), 1997, pp. 71—72

Dry and wet deposition of element mercury was measured by moss bag in this study. The results showed that when concentration of atmospheric mercury is $200\text{--}1135\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, wet and dry deposition of mercury are $1700\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, $987\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ at the mercury mine area respectively. The concentration of gaseous mercury is $3.4\text{--}4.0\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, wet and dry deposition of mercury are $33\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, $21\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ respectively at the area which is 67 km from mercury source. Wet deposition is 61%—63% and dry deposition is 37%—39%. Dry and Wet deposition of element mercury are correlation with distance from mercury source.

Keywords: mercury, moss bag, dry and wet deposition, mercury mine, atmospheric determination.

The Design of the Chinese Provincial Environmental Information Systems. Gao Lang, Cheng Shengtong et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(6), 1997, pp. 73—75

This paper introduces the overall design, basic structure, main contents, developing process, and characteristics of the Provincial Environmental Information Systems (PEIS) that cover 27 provinces in China. Under the guidance of research on Environmental Information Resources Management Planning and Environmental Information Normalization, several basic databases, environmental management modules, and decision-making support modules were developed through the way of combining the structural life cycle idea with the fast prototype developing methodology. On the whole, the technique of the established systems is advanced, their functions are practical, their design is normalized, their management is convenient, and the establishment of them is the base for further development of the environmental information networks in our

country.

Keywords: information system, environmental management, environmental information system.

A Study on the Impact Analysis of LCA. Xi Deli et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(6), 1997, pp. 76—80

The impact analysis is a key part in LCA. It is also the most difficult one in LCA. There are some disadvantages for both the existing qualitative and quantitative approaches. On the basis of the LCA index system proposed by authors earlier, the method of environmental quality assessment has been introduced to the impact analysis in this study, which makes the impact analysis much easier than before. Moreover, the obtained results are rather objective and comparable. This paper illustrates the estimation approaches for evaluation indexes and explains how to form the essential index system. It has been pointed out that the use of 5 essential indexes should be enough for defining the environmental properties of a product comprehensively.

Keywords: LCA, environmental quality assessment, impact analysis.

Development, Application and Industrialization of Environmental Useful Microorganism. Shi Jialiang et al. (Dept. of Environ. Sci., East China Normal University, Shanghai 200062): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(6), 1997, pp. 81—83

Microorganisms play an important role in a lot of fields, such as the degradation and transformation of pollutants, recycling of resources, producing and development of green products, protection of ecological environment. It is discussed in this paper that the direction of development and industrialization of the useful microorganisms.

Keywords: environmental useful microorganism, industrialization, development, application.