

# 基于 LCA 框架的城市水系统环境可持续性评价方法

高长波<sup>1</sup>, 曾海燕<sup>2</sup>, 陈新庚<sup>2</sup>, 陈继伟<sup>3</sup>

(1. 广东轻工职业技术学院, 广东 广州 510300 2. 中山大学环境科学和工程学院, 广东 广州 510275 3. 广东省造纸研究所, 广东 广州 510300)

**摘要** 环境可持续性评价是规划建设城市可持续水系统的基础。利用生命周期评价(LCA)系统性结构框架, 构建了城市水系统环境可持续性评估流程和指标体系, 并提出了综合评价方法。该方法能从更广的视野来全面考虑潜在的环境影响(或效益), 有助于识别和选择一些重要的因素, 诸如营养成分回用和能源回收等, 更好地体现了城市水系统各要素之间的内在联系。

**关键词** 城市水系统; 环境可持续性指标(ESI); 生命周期评价(LCA)

中图分类号: X820.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2007)02-0051-03

## Evaluation of environmental sustainability for urban water systems based on LCA framework

GAO Chang-bo<sup>1</sup>, ZENG Hai-yan<sup>2</sup>, CHEN Xin-geng<sup>2</sup>, CHEN Ji-wei<sup>3</sup>

(1. Guangdong Light Industry Technical College, Guangzhou 510300, China; 2. School of Environmental Sciences and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3. Guangdong Paper Industrial Research Institute, Guangzhou 510300, China)

**Abstract** Environmental sustainability assessment is the basis on which urban sustainable water system is planned and constructed. A set of environmental sustainability indices(ESI) and evaluation procedure based on the framework of life cycle assessment(LCA) were presented. The results indicate that this method helps to determine the potential environmental impacts from more aspects and helps to identify and choose the important ESI, such as recycling of nutrients and recovery of energy. The method discloses the internal relationships of the urban water system parameters much better than other methods.

**Key words** urban water system; environmental sustainability index(ESI); life cycle assessment(LCA)

城市水系统是支撑城市存在和发展的重要基础设施<sup>[1]</sup>。城市水系统是指城市中与水相关的各个组成部分所构成的水物质流、水设施和水活动, 包括水源系统、供水系统、用水系统、排水系统和容纳系统等子系统。城市水系统是水的社会循环的实施主体, 因此, 城市水系统可持续性评价的实质是对城市社会水循环进行评价<sup>[2-3]</sup>。环境可持续性评价是规划建设可持续城市水系统的基础, 评价城市水系统的可持续性对推进城市可持续发展有着重要意义。

国内外虽然提出了一些水资源可持续利用指标

体系, 但普遍存在指标信息覆盖不全和指标间信息重叠, 影响了评价的科学性<sup>[4-6]</sup>。本文利用生命周期评价方法(Life Cycle Assessment, LCA)<sup>[7]</sup>较完善的框架系统来构建城市水系统环境可持续性指标体系(Environmental Sustainability Indicators, ESI), 找出制约城市水资源可持续利用瓶颈因素, 为制定正确的城市水资源可持续利用策略提供科学依据。

### 1 基于 LCA 框架的技术路线

a. 确定研究目标。本研究目标是评价城市水

系统的环境可持续性,为评估城市水资源的可持续利用提供决策依据。

b. 定义系统边界(包括时间边界、空间边界和生命周期边界)。对于环境可持续性评价,可能要考虑更长的时间范围,比如 50~100 a。空间边界一般指行政区域范围。城市水系统的生命周期边界包括原水的提取、饮用水系统、废水处理系统及污泥的处理处置等。LCA 是一个重复进行的过程,因而随着研究的深入和信息的积累,可以对系统边界进行修正。

c. 建立一个技术框架来选择和识别 ESI。这个框架是针对研究目标,通过识别最重要的因素来选择相应指标的结构性系统。ESI 的框架通常是基于因果关系的压力-状态-响应模型及生态足迹模型等。本文利用 LCA 框架,通过 LCA 对功能单位的整个生命周期产生的所有显著的环境影响(或效益)进行分析和计算,识别和选择一些重要的 ESI。

d. 收集资料和数据进行案例研究。另外,要对数据进行评估,包括其与所研究的城市水系统的环境可持续性的相关程度、对潜在环境影响的预见能力以及数据的可得性和质量。通过案例研究可以不断评估和改善指标体系。

城市水系统的环境可持续性评估流程如图 1。

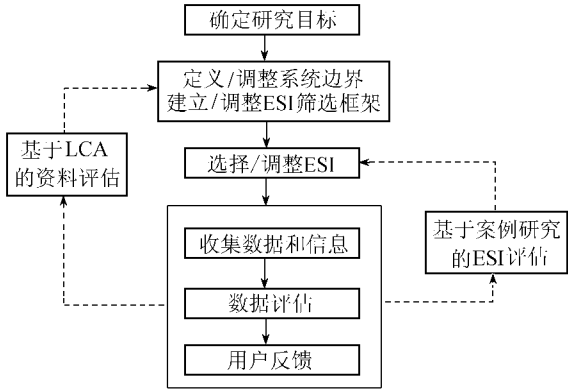


图 1 基于 LCA 框架的城市水系统环境可持续性评估工作流程

## 2 评价系统范围

根据不同的研究目标,设定了 3 种城市水系统边界,如图 2 所示。

第 1 种是基于工艺过程的边界(图 2 中的 1a 和 1b),主要评价水处理过程(包括给水处理和污水处理)的潜在环境影响,其评估结果可供工艺工程师参考,但是对于评价整个城市水资源系统的环境可持续性相对不足。

第 2 种系统边界包括了原水提取、净化、配水、用水、污水系统和雨水系统(图 2 中的 2)。这是一个相对较全面的研究范围,但通常割裂了饮用水、污

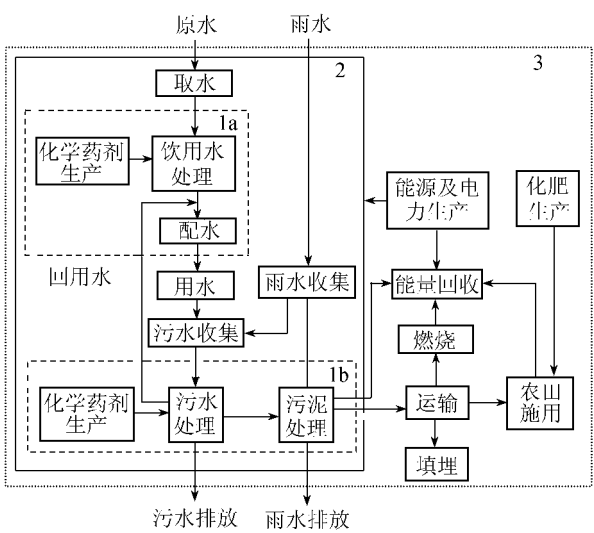


图 2 基于 LCA 的城市水系统边界示意图

水及雨水系统,可能限制决策者对水系统整个生命周期主要环境影响的前瞻性判断和改进的机会<sup>[8]</sup>。

第 3 种系统边界(图 2 中的 3)除了包括传统的城市水系统外,还包括化学药剂和能源供应、污泥处置的环境影响等。通过这个边界可以从更系统、更全面的观点来选择 ESI。

## 3 评价指标体系

本文提出了不同系统边界所对应的 ESI(表 1)。植物营养成分 N 和 P 的排放、污泥填埋处置、电力及化学药剂的消耗在第 1 种和第 2 种系统边界中体现,第 2 种系统边界还包括用水量指标;能量回收(由于回收沼气而产生能量)指标、营养成分农田施用和重金属(Cd、Pb、Hg、Cu)向土壤转移在边界 3 中得到反映。可根据实际案例选择关键性的指标。比如,对于水资源缺乏的城市,节约用水、提高水的回用量和减少漏失率是关键,而在水资源较丰富的区域,可能要更关心诸如污泥中的重金属含量问题和能源消耗。

## 4 综合评价方法

综合考虑以上环境可持续性评价指标,得出城市水系统环境可持续性水平的总体评价结果。其步骤如下<sup>[4]</sup>：

a. 分析影响因素,建立城市水系统环境可持续性指标体系及单项指标的评价标准。以国内外相同区域城市经济、社会、环境协调发展及水资源利用良好城市的水资源可持续利用实际水平作为城市水系统环境可持续性评价标准。

b. 确定评价指标的定值转换方法。采用单项指数法,将指标分为 3 大类,即正向指标、逆向指标和适度指标。比较有关指标的实际值与其相应的评

表 1 城市水系统环境可持续性主要评价指标

| 环境可持续指标体系( ESI )  | 对应边界     | 单位             | 影响环境可持续性的内容                            |
|-------------------|----------|----------------|----------------------------------------|
| 给水处理和污水处理的化学药剂消耗量 | 1a ,1b 2 | kg             | 不可再生能源和资源消耗                            |
| 供水系统电力消耗量         | 1a 2     | kW·h           | 不可再生能源消耗和相关污染物排放                       |
| 污水处理系统电力消耗量       | 1b 2     | kW·h           | 不可再生能源消耗和相关污染物排放                       |
| BOD、N、P 排放量       | 1b 2     | kg             | 导致水体富营养化效应                             |
| 重金属向水体排放量         | 1b 2     | g              | 导致水生生态污染                               |
| 污泥填埋量             | 1b 2     | kg             | 水体、土壤、大气污染、土地占用                        |
| 配水漏失量             | 2 3      | m <sup>3</sup> | 淡水资源消耗和相应污染物排放                         |
| 回用水量              | 2 3      | m <sup>3</sup> | 减少淡水资源消耗和相应污染物排放量                      |
| 用水量               | 2 3      | m <sup>3</sup> | 淡水资源消耗和相应污染物排放                         |
| 污泥处置运输距离          | 3        | km             | 柴油消耗和机动车尾气污染                           |
| 沼气利用              | 3        | kW·h           | 减少不可再生能源消耗和相关污染物的排放量                   |
| 营养成分 N 的农田施用量     | 3        | kg             | 减少化肥生产的能源消耗和温室气体 N <sub>2</sub> O 的排放量 |
| 营养成分 P 的农田施用量     | 3        | kg             | 减少 P 资源的消耗                             |
| 氨氮排放量             | 3        | kg             | 导致富营养化和酸化效应                            |
| 重金属向土壤排放量         | 3        | g              | 导致陆生生态污染                               |

价标准值 ,求得该单项指数。

c. 确定评价指标的权重。可采用层次分析法 ( AHP )和专家打分。

d. 建立综合评价模型进行指标合成 ,求得综合评价价值。首先计算系统指数 ,即在各系统单项指数的基础上 ,按其各自的权重进行加权求和 ,然后计算城市水系统环境可持续性综合指数 ,即在各系统指数的基础上 ,按照各子系统在城市水资源可持续利用中的贡献大小( 即系统权重 )进行再一次加权而得出综合指数。

e. 对综合评价指标值进行比较和分析。

5 结 语

与以往的评价指标体系相比 ,基于 LCA 框架的城市水系统环境可持续性评价方法能从更广的视野来考虑潜在的环境影响( 或效益 ) ,有助于识别和选择一些重要的相关因素 ,诸如营养成分回用和能源回收等 ,更好地体现了城市水系统各要素之间的内在联系。另外 ,指标的选择要结合实际案例考虑数据收集的可达性和可靠性。

参考文献 :

[ 1 ] 洪阳 ,曹静 . 城市水资源系统综合评价指标体系初探 [ J ]. 上海环境科学 ,2000 ,19( 6 ) :269-271 .  
[ 2 ] 陈卫 ,吴慧芳 ,孙敏 ,等 . 城市水系统良性运作的节水减污技术关键 [ J ]. 水资源保护 ,2004( 1 ) :40-43 .  
[ 3 ] 陈庆秋 ,薛建枫 ,周永章 . 珠江三角洲城市水系统的可持续性评价 [ J ]. 中国给水排水 ,2005 ,21( 7 ) :101-103 .  
[ 4 ] 王华 . 城市水资源可持续利用综合评价——以南京市为例 [ J ]. 南京农业大学学报 ,2003 ,26( 2 ) :59-62 .  
[ 5 ] LUNDIE S ,PETERS G M ,BEAVIS P C . Life cycle assessment for sustainable metropolitan water systems planning [ J ].

Environmental Science & Technology ,2004 ,38 :3465-3473 .  
[ 6 ] DANIEL H . A framework for systems analysis of sustainable urban water management[ J ]. Environmental Impact Assessment Review ,2000 ,20( 2 ) :311-321 .  
[ 7 ] ISO14040 . Environmental management—life cycle assessment : principles and framework[ S ]. 1997 .  
[ 8 ] LUNDIN M ,MORRISSON G M . A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water system[ J ]. Urban Water ,2002( 4 ) :145-152 .

( 收稿日期 :2005 -08 -18 编辑 :高渭文 )

· 简讯 ·

三江源地区退牧还草效果显著

三江源自然保护区位于青藏高原腹地 ,素有“ 中华水塔 ”之称 ,总面积 36.3 万 km<sup>2</sup> ,平均海拔 4 000 多 m ,是世界高海拔地区生物多样性最集中的自然保护区。2003 年 ,中国为保护黄河、长江和澜沧江源头地区草地生态系统而启动了大规模退牧还草工程 ,使三江源地区已退化的 1 000 万 hm<sup>2</sup> 天然草原休养生息。

据最近公布的《2006 年青海省生态环境监测公报》显示 ,中国三江源地区中、高产量等级草地的面积明显增加 ,而低产量草地面积减少。这一监测结果表明 ,近年来实施的退牧还草生态工程效果比较显著。卫星遥感数据显示 ,三江源地区 2006 年与 2003 ~ 2004 年相比 ,年产小于 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 的低等级草地面积减少 ,而 3 000 ~ 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 的中、高产量等级草地面积明显增加 ,其中 6 000 ~ 7 500 kg/hm<sup>2</sup> 的草地面积比 2003 年和 2004 年分别增加了 95 % 和 98 % ,7 500 ~ 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 的草地面积比 2003 年和 2004 年分别增加了 1.7 倍和 1.1 倍 ,而高于 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 的草地面积分别增加了 5.8 倍和 1.1 倍。

( 本刊编辑部供稿 )