

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S1.049

建筑生命周期环境管理集成解决方案

申琼¹, 杨洁², 侯萍³, 朱永光³, 王洪涛²

(1. 四川农业大学 城乡建设学院, 都江堰 611830; 2. 四川大学 建筑与环境学院, 成都 610065;

3. 成都亿科环境科技有限公司, 成都 610065)

摘要:针对近年来备受关注的绿色建筑及其评价问题,采用生命周期评价理念设计了建筑行业生命周期环境管理集成解决方案,介绍了该方案的主要功能特点,包括建材生产、建筑设计与建造、建筑运行等全生命周期过程的环境评价与管理,可以为政府及相关机构开展绿色建筑评价工作、建立相应管理体系提供支持。

关键词:绿色建筑;设计;建筑材料;生命周期评价;生命周期管理;集成方案

中图分类号:X32 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)S1-0215-04

An Integrated Solution for Life Cycle Management of Buildings

Shen Qiong¹, Yang Jie², Hou Ping³, Zhu Yongguang³, Wang Hongtao²

(1. Urban and Rural Development College of Sichuan Agricultural University, Dujiangyan 611830, Sichuan, P. R. China;

2. College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, P. R. China;

3. IKE Environmental Technology Company, Chengdu 610065, P. R. China)

Abstract: An integrated solution for life cycle management of buildings was developed based on the methodology of Life Cycle Assessment (LCA). It supports environmental evaluation of multiple life cycle stages of a building, i. e. production of building materials, building design and construction, and operation of buildings. The features of this solution are introduced in this paper. The solution may provide a tool for assessment and management of green buildings.

Key words: green building, design, building materials, life cycle assessment, life cycle management, solution

随着环保与低碳的理念越来越为公众所关注,各行各业都在探索自身在环保方面发展的可能性。建筑行业作为国民经济中的支柱产业,其所造成的环境影响和面临的环境负担尤为严重。有研究表明,中国建筑物总能耗占全社会总能耗的25%~28%,CO₂排放量占社会总排放量的40%左右^[1]。建筑的高能耗和高碳排放使得它对节能减排工作造成巨大的压力,因而近年来对绿色建筑及其评价的研究越来越受到政府及行业的关注。

建筑的能耗和碳排放不仅发生在建筑运行阶段,还发生在建材生产、建筑建造等阶段,因此需要采用生命周期的理念对建筑产品进行评价和管理。量化地分析评价建筑全生命周期环境影响是建筑行业改进的基础,也是实现建筑行业节能减排的基础。近年来,世界各国在绿色建筑评价方面做了许多工作,如建筑行业国际标准ISO21930:续建筑认证体系DGNB^[4]、日本的建筑物综合环境性能评价系统CAS-BEE^[5]、韩国绿色环境评价标准GBC^[6]的评价指标体系中,也都包含着从建筑材料开始的生命周期评价结果。同时,各个国家研究机构也都开发了建筑全生命周期的评价工具,如加拿大的ATHENA^[7],英国的ENVEST2^[8],瑞典的ECO-EFFECT^[9]等,体现了国际社会对建筑行业全生命周期评价的重视程度。国内,技术方面,蔡筱霜^[10]以办公建筑为例,建

立了建筑全生命周期碳排放计算方法及部分建筑环境影响清单数据库;林波荣等^[11]以典型住宅建筑和商业建筑为例,采用生命周期评价方法,对建筑全生命周期焓能及CO₂排放进行了研究。标准方面,中国早在2006年发布的《绿色建筑评价标准》^[12]就强调了建筑的全生命周期的概念,重庆市也在2009年发布了《重庆市绿色建筑评价标准》^[13],评价绿色建筑提供了各项详细的标准支持;而2011年的JGJ/T222-2011《建筑工程可持续性评价标准》^[14]则是基于生命周期方法的建筑可持续性评价标准。

在现有的对绿色建筑的研究中,大多数研究集中在如何建造绿色建筑,如选用新型绿色建材、研发节能技术等,而基于绿色建筑评价、利用评价结果支持和改进建筑管理,仍在探索当中。在现行的绿色建筑管理领域,尽管已经建立了多种评价标准,但多数标准主要依靠人工进行数据收集、评价和报告,增加了评价过程的主观因素,降低了工作效率。尤其是对于建筑生命周期评价而言,涉及大量数据的收集、处理和分析,如果没有信息化的软件工具支持,整个评价过程将耗时耗力,且难以真正为建筑管理体系提供支持。

本研究基于建筑的生命周期思想,提出了建筑生命周期评价与管理的基本思路与方法,联合开发了相应的数据库与信息化解决方案,适用于建筑行业对建筑产品进行生命周期

收稿日期:2013-04-23

作者简介:申琼(1968-),男,讲师,主要从事建筑基础工程、建筑规划以及工程监理等研究,(E-mail)swydong@yahoo.com.cn。

管理,实现绿色低碳建筑目标。

1 方案总体介绍

建筑的生命周期主要包括 3 个阶段:建材生产阶段,包括原材料的开采加工过程、建材生产过程以及建材的运输过程;建筑建造阶段,包括建筑的设计,实际的施工过程;建筑运行与维护阶段,主要包括建筑运行过程中的采暖、制冷、机械通风及照明等以及建筑的维护更新过程中消耗的建材。此外,建筑的拆除处置阶段,在本方案中尚未考虑。

针对以上建筑生命周期的 3 个阶段,开发了相应的建材和建筑生命周期数据收集、计算、分析与报告功能,并开发了相应的数据库系统。其工作原理是:不同阶段的主体利用数据收集工具填报建材生产、建筑制造、建筑运行阶段的各种生产及环境信息,信息将被存储在数据库中。然后结合国内外的生命周期基础数据库,建模、计算、分析产品的生命周期环境影响,并可以根据分析结果进行不同方案的选择,为建材生产、建筑建造或建筑管理的改进提供支持。

集成管理方案的体系框架如图 1 所示。

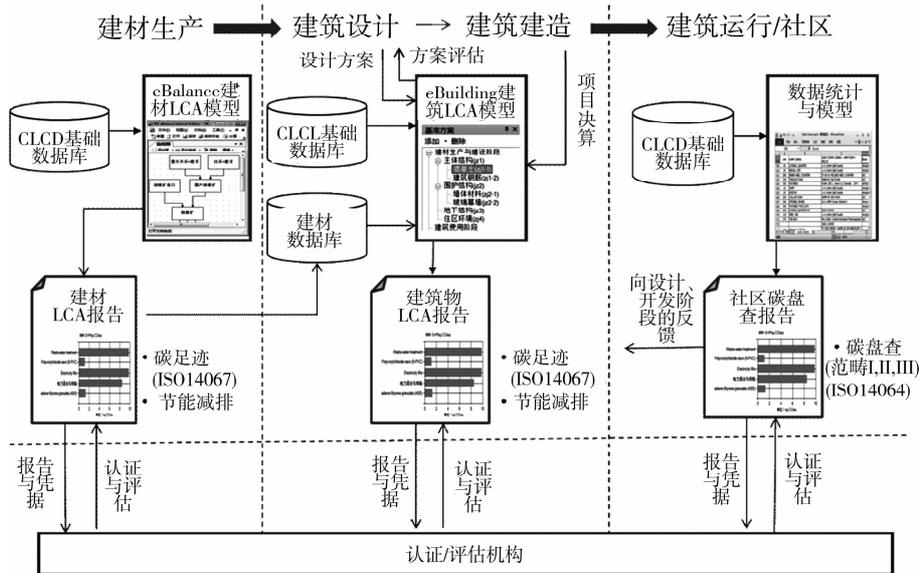


图 1 集成方案总体框架

2 建材生产

在建材生产阶段,方案可根据建材生产及运输过程中的材料消耗、能源消耗、环境排放等数据,采用生命周期评价方法在 eBalance^[15] 软件中建立建材的 LCA 模型,然后结合 CLCD^[16] 等生命周期基础数据库进行建材生产全生命周期的碳足迹及相关节能减排指标计算,并根据生命周期评价结果为不同的建材产品出具 LCA 报告,使建材生产商明确产品的环境影响,并对产品进行改进。

同时建材生产商可将建材的 LCA 报告提交给相关的认证或评估机构,由认证评估机构对结果进行认证和评估,并根据认证和评估结果为厂商出具相关标识声明等。由此,建材厂商可为自己的产品进行宣传,提高产品的市场竞争力,也为建筑建设单位的绿色选材提供参考。

此外,在对常用建材做 LCA 报告的同时可以累积建材行业的数据,并逐步扩充建材行业的 LCA 本地数据库。

3 建筑设计与建造

该解决方案在建筑设计阶段,有助于进行设计方案与选材的优化。可以通过对比采用不同的设计方案,选择更适合、环境性能更好的设计方案。也可以通过选择环境影响较小的建材降低建筑生命周期的环境影响。

在设计阶段按施工图计算得到的只是按设计方案预计的环境影响。在没有确定建材供应商之前,是采用数据库的行业平均数据进行估算。建筑实际的环境影响需要在施工

完成、项目决算后对模型按实际的数据进行更正,按建材实际的供应商的数据,并考虑施工过程的能源消耗等环境影响。在建造阶段主要是对采购和施工过程的管理,选择环境影响小的供应商。

建筑行业的建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)系统是将建筑的设计数据、建造信息、维护信息等各种建筑信息保存在一起,为建筑生命周期中的所有决策提供可靠依据。通过与 BIM 系统建立接口,就可以从 BIM 中导出建筑设计方案的所有材料清单,然后导入到该系统中,结合 CLCD 基础数据库和建材数据库提供的数据支持,就可计算该建筑的生命周期各种环境影响指标(包括碳足迹和各种节能减排指标),并输出报告。

将建筑的 LCA 报告提交给认证/评估机构,由认证/评估机构做出认定后颁予相应证明,可参与绿色建筑评选。同时也可以根据对最终方案的分析,发现可以改进的环节,在实际建造过程中进行改进,真正提高建筑的环境性能。

此方案的潜在用户包括政府管理部门和建筑开发商两类。对政府管理部门而言,通过方案的实施,可以了解现有建筑的生命周期各项环境影响指标,在对建筑行业现有环境影响在定量了解的基础上,制定更为合理的政策目标,避免政策目标与实际情况的脱离。同时,通过实施该方案,政府可以规范开发商在建筑设计制造阶段的开发行为,督促其采用更加环保的技术和材料,从而达到强化对建筑行业的节能与低碳管理的目的。此外,在当前各地将建筑行业作为节能减排重要领域的情况下,方案的实施能够帮助政府推进节能

减排目标的实现。

而对开发商来说,一方面,依据方案计算得到的量化的生命周期结果,可以发现建筑生命周期中环境影响大的环节和问题,从而不断改进设计方案,开发出更加节能低碳的建筑设计方案;另一方面,通过该方案的实施,开发商可以优化对建筑开发全过程的管理,包括建筑材料的选择、建筑技术的改进等。此外,通过实施该方案,开发商可参与绿色建筑评选及相关环保标识的申请,提高企业自身及其产品的市场竞争力和社会影响力。

目前,该方案已经在实际建筑项目中应用实施。具体的实施框架如图 2 所示。

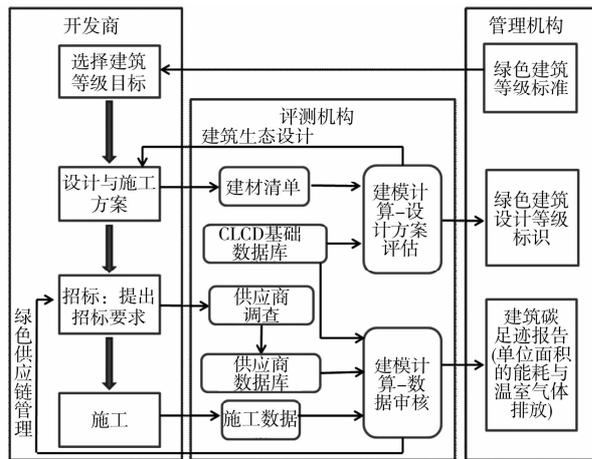


图 2 建筑设计与施工阶段的管理方案框架

首先,开发商依据管理机构出台的绿色建筑等级标准选择合适的建筑等级目标,并根据选定的等级目标进行设计与施工方案的制定。然后根据设计与施工方案的各种数据,结合 CLCD 基础数据库进行设计方案的评估,根据评估结果可不断修改方案,最终选定与等级目标相符合的设计与施工方案,并报管理机构核查颁发绿色建筑等级标识。

设计方案选定之后通过招标确定相关供应商,经过供应商调查得到供应商数据库,结合施工数据对建造阶段进行建模计算。根据计算结果不仅可以出具建筑碳足迹报告,还可以对整个供应链进行环境影响分析并通过进行绿色供应链管理进一步提高建筑的环境性能。

4 建筑运行/社区

针对建筑运行阶段即社区层面上的碳排放问题,本研究同样开发了相应的社区碳排放评测系统。该评测系统基于生命周期评价方法并结合 CLCD 基础数据库设计了数据统计模型,对社区层面上的碳排放进行统计计算。社区碳排放系统的总体研发框架如图 3 所示。

在该评测系统中,社区管理者和住户分别填报各自的信息数据和活动数据,评测系统后台配置了排放系数数据库,可根据用户填报的活动数据计算相应活动的碳排放结果,并根据计算结果统计形成建筑运行的碳排放结果数据库,进而出具碳盘查报告。此外,还可根据用户填报的信息数据、活动数据并结合碳排放结果数据库,利用 eBalance 模型计算进行不同的方案与情景分析,为建筑与社区运行提供更合理的政策建议。

该评测系统是集社区信息和数据管理、信息和数据填写、碳排放量计算、图表结果分析以及统计报告为一体的解决方案。评测系统采用网站形式,可实现网上在线填报,操作性强,采集信息方便快捷;填报工作设计合理规范,极大地提高了用户填报的数据质量,避免因数据质量太差导致可信度不高。此外,系统后台配置的计算方法依据相关的国际标准 ISO14064-1^[17]设定,更加科学化,而计算结果不仅可以实现即时化,同时可以将定量结果以相应的图表形式表现出来,量化和图表化使相关方对建筑运行阶段的碳排放情况有更加直观的了解。

通过社区碳排放评测系统的运行,政府和社区管理部门可以定量掌握社区的能耗与碳排放情况,进而更有针对性地制定相关的政策目标,改进社区管理,促进低碳社区的建设。

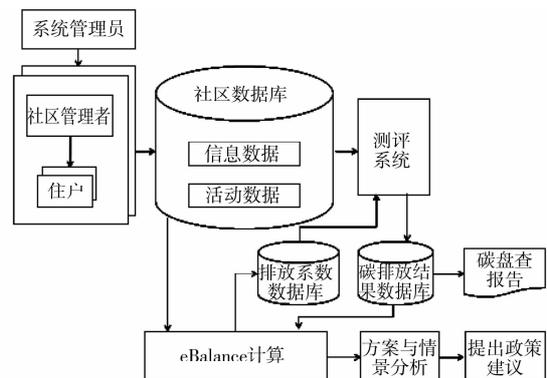


图 3 社区碳排放评测系统研发框架

5 CLCD 数据库

在整个系统的计算过程中都离不开数据库的支持。数据库的主要目的是提供各种原料的生命周期汇总数据(通常包含从资源开采到产品出厂的全过程),以简化下游产品的生命周期建模、计算与分析。

本系统采用了中国生命周期核心数据库(CLCD)作为基础数据库。CLCD 数据库是目前国内唯一可公开获得的综合性中国本地化 LCA 基础数据库。CLCD 基础数据库拥有一个统一的核心模型,是由 300 多种交叉联系在一起的大宗能源、原材料、运输单元过程组成的,这些单元过程构成了一个网状的核心模型,从而保证了 CLCD 所有产品生命周期模型的完整性和一致性。加上一些下游单元过程,CLCD 0.8 总共有 600 多个单元过程和产品,并仍在不断扩展中。主要的产品如表 1 所示,完整的产品列表见文献[18]。

CLCD 数据库在开发过程中,遵循了数据库收集指南中针对各工作步骤和文档记录提出的建议和要求,并开发了 eBalance 软件的相应功能,确保了数据收集过程的流程化和一致性。

在 CLCD 数据库中区分了国内生产与进口部分,进口原材料采用国外 Ecoinvent 数据库^[19]的数据,国内生产部分进一步按工艺技术和企业规模进行了细分,分别收集数据并建立模型,最后按中国的市场份额加权平均,得到的数据代表中国市场平均水平。在各个单元过程中,原料消耗数据主要来自行业统计资料或技术文献,主要排放物来自于国家污染源普查统计,部分排放物来自于化学平衡计算。

表 1 CLCD 0.8 数据库涵盖的主要产品种类

行业	基础产品
能源	石油类燃料:原油、柴油、汽油、煤油等
	煤炭类燃料:煤炭、焦炭、焦炉煤等
	气体类燃料:天然气、液化石油气等
	电力与蒸汽:燃煤火电、水电、电网混合、工艺蒸汽等
黑色金属	铁矿石、球团/烧结矿、生铁、硅铁/铬铁等铁合金、转炉/电炉钢等
有色金属	铜精矿、火法/湿法电解铜、铝土矿、氧化铝、电解铝,以及铅、锌、镍、锡、镉、汞、镁、钛等
无机非金属	水泥、混凝土、石灰石、石膏、砂石、玻璃、陶瓷、砖等
无机化学品	无机原材料:硫酸、盐酸、硝酸、氢氧化钠、纯碱、钛白粉、氧气、氮气、合成氨、氯气等
有机化学品	乙烯、丙烯、甲醇、乙炔、树脂、部分塑料、涂料、橡胶等
运输	公路、铁路、水路运输
污染治理	废气处理:脱硫、脱硝
废水处理	物理化学法、生化法

在 eBalance 软件中完整记录了数据收集过程的原始数据和算法,使得数据收集过程随时可重复、可追溯。

数据收集完成后,按数据库指南要求,进行了完整性检查、物料平衡检查。并提出了基于原始数据不确定度的数据质量评估和基于敏感度分析的数据质量控制方法(称为 CLCD-Q 方法)^[20],用于数据质量评估与控制。

CLCD 数据库涵盖的清单物质可用于支持不可再生资源消耗、水资源消耗、全球暖化、酸化、富营养化、固体废物、可吸入无机物、毒性等多种环境影响的分析。

CLCD 的建材产品数据库是基于 CLCD 的基础产品数据库得到的,从而保障了建材产品模型的完整性和数据的一致性。其中水泥、钢铁等大宗建材产品,也是 CLCD 核心模型的组成部分。目前涵盖的建材产品种类包括无机非金属、钢材、有色、塑料、涂料等,见表 2。

表 2 CLCD 数据库中的建材产品种类

分类	建材产品
无机非金属	水泥、混凝土、石灰、砂石、石膏、平板玻璃、墙体砖、瓷砖等
钢材	普通碳钢的板材、管材、线材、棒材、型材、镀锌板、主要的铁合金和不锈钢等
有色	电解铝、电解铜、(正在补充铝材、铜材等压延加工材料)
塑料	聚乙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯等常用树脂
涂料	苯乙烯、丙烯酸、丙烯酸丁酯、甲基丙烯酸甲酯、乙烯、丁二烯等溶剂单体,重钙、钛白粉等填充材料,以及水性涂料产品

CLCD 基础数据库中基础能源、原材料的数据和 CLCD 建材数据库中各种建材的数据可用于建材生产阶段,建筑设计和建造阶段以及建筑运行阶段能耗和碳排放等环境影响生命周期计算,是解决方案的重要组成部分。

6 结 论

本研究开发了一套针对建筑行业特点的生命周期管理方案,涵盖了建材生产、建筑设计及制造、建筑运行等建筑行业的全生命周期。该方案不仅可以实现不同方案或情景的对比分析,帮助选择对环境更为友好的方案,还可实现对建筑行业的不同阶段进行建模计算,分析不同阶段的环境影响,为建筑产品的持续改进提供支持;同时还可以将建筑企业与认证评估机构和政府联系起来,让 3 者在系统的管理方案中发挥各自的最大优势,实现建筑行业绿色低碳的目标。

参考文献:

- [1] 高祥生. 用低碳理念全程控制建筑装饰装修[EB/OL]. (2001-04-29) [2013-03-20]. http://www.niid.com.cn/guandian_info.asp?nid=883.
- [2] International Organization for Standardization (ISO). ISO21930: 2007, Sustainability in building construction-environmental declaration of building products[S]. Geneva: ISO, 2007.
- [3] British Standards Institution (BSI). EN 15643: 2010, Sustainability of construction works-sustainability assessment of building[S]. London: BSI, 2010.
- [4] German Sustainable Building Council (DGNB) [EB/OL]. (2007-03-18) [2013-04-01]. <http://www.dgnb.de/en>.
- [5] MURAKAMI S, IWAMURA K, SATO M, et al. Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE) [C]//Proceedings of the Fifth International Conference on Ecobalances. 2002: 575-578.
- [6] 金道焕. 韩国建筑评价标准[M]. 首尔: 国土海洋部环境部, 2008.
Jin D H. Building evaluation standards of the South Korea[M]. Seoul: Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, 2008.
- [7] Athena Sustainable Materials Institute [EB/OL]. (1997-02-03) [2013-03-20]. www.athenaSMI.ca.
- [8] ENVEST 2 [EB/OL]. (2002-03-10) [2013-04-01]. <http://investv2.bre.co.uk>.
- [9] EcoEffect [EB/OL]. (2009-11-25) [2013-04-06] <http://www.ecoeffect.se>.
- [10] 蔡筱霜. 基于 LCA 的低碳建筑评价研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- [11] 林波荣, 彭渤. 我国典型城市全生命周期建筑焓能及 CO₂ 排放研究[J]. 动感(生态城市与绿色建筑), 2010, 3: 45-49.
Lin P R, Peng B. Research on whole life cycle building enthalpy and CO₂ emission of typical cities[J]. Dynamic(Ecological City and Green Building), 2010, 3: 45-49.
- [12] 中华人民共和国建设部. GB/T50378-2006 绿色建筑评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [13] 重庆市建设技术发展中心, 重庆市建筑节能中心. DBJ/T50-066-2009 绿色建筑评价标准[S]. 重庆: 重庆市城乡建设委员会, 2009.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T222-2011 建筑工程可持续性评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [15] 亿科环境科技有限公司. eBalance 评测版[EB/OL]. 成都: 亿科环境科技有限公司, (2012-01-03) [2013-03-20]. http://www.itke.com.cn/index.php?_m=mod_article&_a=article_content&article_id=120.

支持和指导作用。

参考文献:

- [1] 陈超宇. 印染废水双膜法(CMF-RO)深度处理及回用研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2010.
- [2] 简武, 冯玮隼, 沈玲玲. 膜分离技术在水处理中的研究及应用进展[J]. 绿色科技, 2012, (3): 163-166.
Jian W, Feng W J, Shen L L. Theoretical and Applied Research of Membrane Separation Technique in Water Treatment [J]. Journal of Green Science and Technology, 2012, (3): 163-166.
- [3] 张宽. 浅析中水回用[C]//华北地区给水排水技术信息网年会论文集. 天津: [出版者不详], 2010: 906-910.
- [4] Cazorra T. Water reuse of south Barcelona's wastewater reclamation plant[J]. Desalination, 2008, 218(1/2/3): 43-51.
- [5] Ammary B Y. Wastewater reuse in Jordan: Present status and future plans[J]. Desalination, 2007, 211(1/2/3): 164-176.
- [6] Miller G W. Integrated concepts in water reuse: managing global water needs[J]. Water Reuse Association, 2006, 187(1/2/3): 65-75.
- [7] Randles N. Large scale operating experience in membrane systems for water and waste water reclamation [J]. Desalination, 1996, 108(1/2/3): 205-211.
- [8] Chakravorty B, Layson A. Ideal feed pretreatment for reverse osmosis by continuous microfiltration[J]. Desalination, 1997, 110(1/2): 143-150.
- [9] Wintgens T, Melin T, Schafer A, et al. The role of membrane process in municipal[J]. Desalination, 2005, 178(1/2/3): 1-11.
- [10] 刘锋刚, 胡保安, 何文杰, 等. 微滤膜法饮用水处理工艺中膜污染控制的研究[J]. 给水排水, 2007, 33(11): 16-20.
Liu F G, Hu B A, He W J, et al. Study on fouling control in microfiltration for drinking water treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33(11): 16-20.
- [11] 齐鲁. 浸没式超滤膜处理地表水的性能及膜污染控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [12] Wang F L, Tarabara V V. Pore blocking mechanisms during early stages of membrane fouling by colloids[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2008, 328(2): 464-469.
- [13] 玉晓龙. 连续微滤的膜污染及对策[J]. 商品与质量: 学术观察, 2011(6):370.
Yu X L. The pilot studies of submerged continuous microfiltration for municipal wastewater treatment [J]. Membrane Science and Technology, 2011(6):370.
- [14] 单达聪, 耿爱莲. L9(3⁴) 正交试验数据 Excel 自动分析模板的建立和应用[J]. 饲料工业, 2011, 32(1): 24-27.
Shan D C, Geng A L. The establishment and application of excel automatically analyze template on basis of L9 (3⁴) orthogonal test data [J]. Feed Industry, 2011, 32(1): 24-27.
- [15] Chen J P, Kim S L, Ting Y P. Optimization of membrane physical and chemical cleaning by a statistically designed approach [J]. Journal of Membrane Science, 2003, 219(1-2): 27-45.

(编辑 胡志平)

(上接第 218 页)

- [16] 刘夏璐, 王洪涛, 陈建, 等. 中国生命周期参考数据库的建立方法与基础模型[J]. 环境科学学报, 2010, 30(10): 2136-2144.
Liu X L, Wang H T, Chen J, et al. Method and basic model for development of Chinese reference life cycle database of fundamental industries [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30(10): 2136-2144.
- [17] International Organization for Standardization (ISO). ISO 14064-1:2006, Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. [S]. Geneva: ISO, 2006.
- [18] 亿科环境科技有限公司. CLCD 数据库的单元过程与产品清单 [EB/OL]. (2013-07-06)[2013-04-08]. [http://www.itke.com.cn/blog/downloads? did=26](http://www.itke.com.cn/blog/downloads?did=26).
- [19] Swiss centre for Life Cycle Inventories. Ecoinvent database [EB/OL]. Swiss: Swiss centre for Life Cycle Inventories. (2012-07-25)[2013-04-06]. <http://www.ecoinvent.ch>.
- [20] 黄娜, 王洪涛, 范辞冬等. 基于不确定度和敏感度分析的 LCA 数据质量评估与控制方法[J]. 环境科学学报. 2012, 32(6): 1529-1536.
Huang N, Wang H T, Fan C D, et al. LCA data quality assessment and control based on uncertainly and sensitivity analysis[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(6): 1529-1536.

(编辑 詹燕平)