

低碳导向的校园能源碳核算方法及应用

郭 茹^{1,2,3}, 田英汉^{1,3}

(1. 同济大学 环境科学与工程学院环境规划与管理研究所, 上海 200092; 2. 联合国环境署-同济大学环境与可持续发展学院, 上海 200092; 3. 长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 研究综合了政府间气候变化专门委员会(IPCC)、世界资源研究所(WRI)和青年应对气候变化行动网络(CYCAN)等机构的研究成果,建立了适用于国内的校园能源碳核算方法,以上海市某大学为例进行了能源碳排放分析。结果显示 2004—2012 年该校的碳排放量呈增长趋势,年均增长率为 5.75%;2012 年 CO₂ 排放达 41 112 t,其中电力和汽油碳排放分别占 68.7%和 25.0%。国内外低碳校园对比结果显示,整体可行的低碳校园建设计划的制定和落实,很可能是发达国家高校低碳建设成果显著的主要原因;重新审视低碳校园内涵,认为校园低碳应是相对自身的低碳,是一种持续改进、高效运行的状态;在能源碳核算分析的基础之上,提出了低碳校园管理策略。

关键词: 气候变化; 低碳校园; 能源碳核算; 碳排放分析; 低碳管理策略

中图分类号: X32

文献标志码: A

Low-carbon Oriented Methodology of Energy-related Carbon Accounting and Its Application in Campus

GUO Ru^{1,2,3}, TIAN Yinghan^{1,3}

(1. Institute of Environmental Planning and Management, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. UNEP-Tongji Institute of Environment for Sustainable Development, Shanghai 200092, China; 3. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, Shanghai 200092, China)

Abstract: In this research, the achievements of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), World Resources Institute (WRI) and China Youth Climate Action Network (CYCAN) are integrated to develop a new method on energy-related carbon accounting in campus, which is then applied to the analysis of energy-related carbon emissions in

one of the universities in Shanghai. The result shows an increasing trend of carbon emissions from 2004 to 2012, with an average annual growth rate of 5.75%. Carbon emission in 2012 was 41 112 ton CO₂-eq, in which, electricity-related and gasoline-related emissions accounted for 68.7% and 25.0% respectively. This study compares the low-carbon campus constructions in China with those abroad and points out that the integral and achievable low-carbon planning in western countries is likely to lead to a significant decrease of CO₂ emissions. Therefore, low-carbon in campus is redefined as a lower-carbon condition with continuously improvement and high energy efficiency compared to the baseline condition. A low-carbon campus managing strategy is proposed based on energy-related carbon accounting analysis.

Key words: climate change; low-carbon campus; energy-related carbon accounting; carbon emission analysis; low-carbon managing strategy

随着“低碳经济”在全球范围内的流行以及气候变化问题在国际社会引起的关注日益提升,低碳校园开始成为可持续社会必不可少的一环^[1]。

国外的低碳校园研究起步较早,强调能源资源的节约和技术革新,以可持续校园建设实践探索为主。早在 2005 年,耶鲁大学就提出了“2020 年较 1990 年减排 10%”的低碳建设目标,其中“现有建筑节能改造”和“可再生能源使用”占减排目标量的 60%^[2]。随后,哥本哈根大学、哈佛大学等高校也开始成立专门机构,结合自身特点提出了各自的低碳校园建设目标和方案^[3-6]。当前,绝大部分承诺应对气候变化的国际高校,是在制定碳排放清单并进行碳核算的基础上采取了应对气候变化行动^[7]。

2010 年来,关于低碳校园的定性和定量分析也

收稿日期: 2014-08-18

基金项目: 国家自然科学基金(41301647);中央高校基本科研业务费专项资金(0400219275)

第一作者: 郭 茹(1978—),女,工学博士,副教授,主要研究方向为环境规划与管理、气候变化缓解与适应。

E-mail: ruguo@tongji.edu.cn

逐渐得到了国内学者的重视. 定性研究方面, 邬鹏^[8]以昆明呈贡大学城为例, 深入分析了低碳校园的内涵; 吕斌等^[9]结合西方校园案例构建了我国可持续校园评价指标体系, 其中包含了低碳建设的内容; 郝秀芬等^[10]将低碳校园与经济学和生态学理论结合起来, 制定了低碳校园实践路线图; 赵晶^[11]将国内外低碳校园案例进行比较, 指出我国的大学校园尚没有明确的减排目标、策略以及技术支撑体系. 定量研究方面, 谢鸿宇等^[12]对广州大学 2005~2007 两个学年的碳排放进行了比较分析; 姚争等^[13]运用生态足迹法对低碳校园进行了量化分析, 提出了低碳校园发展建议.

总体而言, 我国当前的低碳校园定量研究偏少, 多数碳排放核算无法为低碳校园管理提供长时间尺度的数据支撑, 导致我国低碳校园建设存在两大困境: 一是低碳校园量化工具的不完善, 二是低碳校园策略和行动缺乏系统性. 因此, 本文尝试集成国际碳核算研究的最新成果建立校园碳排放清单方法, 应用于实际案例, 提供低碳校园管理的量化工具, 探讨低碳校园管理策略, 以实现定量与定性研究的有机结合, 增进校园低碳建设的系统性和科学性.

1 研究对象与研究方法

1.1 案例概况

本文研究对象为上海市某大学主校区. 2012 年该校各类学生总数 51 031 人, 教职工 6 382 人. 研究核算范围为该校主校区(本部), 占地面积 113 公顷(1 695 亩), 是该校教学和行政办公中心.

1.2 研究方法

政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》提供了基础碳核算方法^[14], 为国家层面的碳核算研究提供了重要的理论框架. 2013 年 9 月, 中国第一个针对青年应对气候变化领域的非营利性组织“青年应对气候变化行动网络”(CYCAN), 在 IPCC 清单法的基础上发布了针对校园低碳建设的《校园碳核算攻略》^[15].

比较来看, IPCC 清单法是碳核算的基础, 但其过于宏观, 难以反映区域特征; 《校园碳核算攻略》在 IPCC 清单法基础之上开发了较为完整的校园碳核算体系, 但其中对于碳排放因子的考虑缺乏动态性. 与已有的校园碳核算方法不同, 本文并未以某一特定机构的研究成果为标准, 而是针对具体的研究对象, 采取了遴选比较的方法, 考虑到时间和空间差

异, 从已有的文献中因地制宜地排放因子, 建立了校园碳排放估算方法.

1.2.1 设定组织边界、运营边界

组织边界是指从组织结构的角度确定核算范围, 即确定哪些设施或运营产生的排放属于研究核算范围, 且每个设施或运营操作排放量的百分之多少属于清单范围. 运营边界是在组织边界的基础上, 对报告实体核算范围内的全部排放活动进行统一分类^[16], 以便有效管理. 本研究的组织边界界定为: 该校主校区空间范围内所有属于学校的建筑和设施(包括办公、教学、科研、礼堂和图书馆等全部建筑, 后勤部门餐厅炉灶和交通部门的车辆)运营产生的、与学校日常事务相关的全部能源消费 CO₂ 排放. 所有数据均来源于主校区的部门能耗清单.

部门调研数据显示: 该校区的能源消费类型主要包括: 电力、煤气、油(包括汽油和柴油), 其中电力主要用于建筑内照明、供暖、制冷和设备使用, 油主要用于交通. 值得注意的是, 基础设施的建设和维修环节也会产生大量的碳排放, 但由于数据获取难度较大, 本文中的碳核算并未包含此部分排放. 因此本文对研究对象碳核算的运营边界设定见表 1.

表 1 研究对象碳核算运营边界

Tab.1 Operation boundary of carbon accounting of research object

运营边界	相关活动	相关排放源
范围一	固定源燃烧: 固定设备使用的煤气燃烧 移动源燃烧: 交通工具和移动设备的汽油和柴油而产生的温室气体排放	餐厅炉灶 学校拥有的大、中型客车和小汽车
范围二	外购电力	建筑内照明、供冷供热设备、办公设备、实验设备等

1.2.2 计算公式

本研究中碳排放的计算采用排放因子法, 基本原理为: 能源消费 CO₂ 排放量等于活动水平乘以排放因子. 活动水平量化了区域内造成碳排放的活动, 例如生活和教学活动中的用电量、交通工具的耗油量等; 排放因子是指每单位活动水平对应的温室气体排放量. 公式如下:

$$E = \sum_i A_{D_i} \cdot E_{F_i}$$

其中: E 表示能源消费 CO₂ 排放量; A_{D_i} 为第 i 类能源活动水平; E_{F_i} 为第 i 类能源对应的 CO₂ 排放因子.

确定各类能源的碳排放因子, 是进行碳核算的关键. 尽管 IPCC 提供的数据在研究中被广泛应用, 但是碳排放因子会随时间和地域不同而产生较大差

别.因此,碳排放因子的确定需要本地化.2013年,世界资源研究所、世界自然基金会等多家国际组织联合发布了针对中国城市的《城市温室气体核算工具指南(测试版 1.0)》^[16],其中根据中国统计和报告系统的特点,制定了详细全面的能源碳排放因子清单,同时也考虑了与国际、国内标准兼容性.因此,针对本研究范围内的除电力以外的能源消耗类型,参考《城市温室气体核算工具指南》中提供的默认排放因子列表,选取的汽油、柴油和煤气碳排放因子见表 2.

对于电力碳排放因子的选择,国家发展和改革委员会(以下简称“国家发改委”)定期公布的“中国区域电网基准线排放因子”被许多机构作为电力排放因子,用于核算温室气体排放.但该排放因子以计

算清洁发展机制(CDM)项目为目的,并不完全适用于组织层面的温室气体核算^[16].因此本研究采用 WRI 在《能源消耗引起的温室气体排放计算工具指南(2.1 版)》中修正过的跨省份区域性电力 CO₂ 排放因子.经实地调研,研究区域的用电全部来自国家电网华东电网片区,各年份的电力碳排放因子选取见表 3.

表 2 主要能源碳排放因子

Tab.2 Main factors of energy-related CO₂ emissions

能源类型	CO ₂ 排放因子	单位
车用汽油	2.925	t · t ⁻¹
柴油	3.17	t · t ⁻¹
煤气	9.78	t · 10 ⁻⁴ m ⁻³

表 3 电力碳排放因子

Tab.3 Factors of electricity-related CO₂ emissions

	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
电力碳排放因子(t · 10 ⁻⁶ W ⁻¹ · h ⁻¹)	0.934	0.904	0.865	0.839	0.815	0.8	0.774	0.785	0.752

注:2004、2005、2012 年的电力 CO₂ 排放因子采取对已有数据的线性趋势外推法计算得到

因地制宜地选取碳排放因子是本文基于传统校园碳核算方法的创新.传统的校园碳核算方法在排放因子的选择上大多论证较为简单,可能造成一定的计算偏差;本文的排放因子选取方法考虑了不同地区不同时间的碳排放因子变化,在一定程度上能够反映当地当时的社会经济发展特征.在具体的校园碳核算案例中,碳排放因子的确定是一个结合文献检索和实地调研、时空动态选择的过程,能够保证核算的结果更合理.

宽松.另外,由于在核算过程中未包含基础设施的建设和维修环节,因此核算结果是偏低的.从校园可持续发展的角度来讲,合理的校园低碳策略依然需要考虑设施生命周期的碳排放最小化.

2 计算结果与分析

2.1 整体碳排放分析

本研究选取了该校主校区 2004 年—2012 年各类能源(用电量、煤气、柴油、汽油)的消费量,数据来源为该校能源管理中心和校园节能监管中心提供的统计数据清单.由于统计口径原因,2008 年之前仅有电力消耗和汽油的统计数据.计算得到 2004 年—2012 年该校区年 CO₂ 排放量,如图 1 所示.

从总量来看,该校区能源碳排放量总体呈增长趋势,2004 年—2012 年均碳排放增长率为 5.75%,低于中国同一时期的增速(约为 8.26%),但高于上海同期增速(约为 4.05%)^[17].2012 年校区 CO₂ 排放达 41 112 t.其中 2005 年呈现较高的值,数据显示该年电力消耗高于邻近其他年份,排除统计口径的差异,其原因可能在于该年学校对用电的控制较为

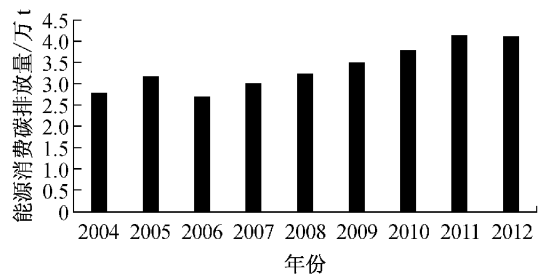


图 1 2004 年—2012 年上海某大学主校区年碳排放量

Fig.1 Carbon emissions of research object from 2004 to 2012

从能源结构来看(图 2),2008 年以来,电力碳排放为 CO₂ 排放的主体,但其比例从 2008 年的 83.6% 降至 2012 年的 68.7%,但统计数据显示电力碳排放总量仍是逐年增加的趋势;根据校园节能监管中心的统计数据,绝大部分建筑的电耗产生在空调和照明系统,这两部分与使用者的行为有紧密联系,因此对人员行为的管理可能带来较大的减排潜力;汽油作为第二大排放源,其碳排放的比例从 2008 年的 15.9% 升至 2011 年的 25.0%,年均增速为 11.9%.由于电力消耗的统计来源于对建筑的监测,而汽油和柴油主要用于交通工具的使用,因此可以认为建筑和交通能耗为该校区的主要碳排放源,应是低碳

校园建设过程重点关注对象。

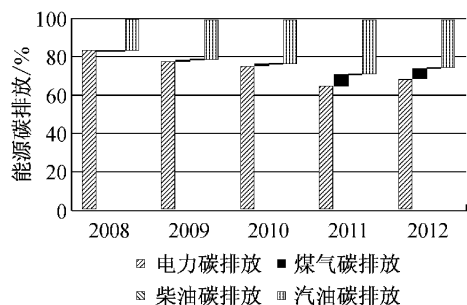


图 2 上海某大学主校区 2008 年—2012 年能源碳排放结构变化

Fig. 2 Structural change of energy-related carbon emissions of research object

2.2 国内外高校碳排放对比

研究选取国内外若干高校进行了碳排放总体情况对比分析(表 4、表 5)。其中,耶鲁大学、广州大学和北京大学数据分别来源于参考文献[5, 12-13],加州大学伯克利分校数据来源于 <http://sustainability.berkeley.edu/reports>,哈佛大学数据来源于 Sustainability Progress Report, <http://report.green.harvard.edu/>,哥本哈根大学数据来源于 http://climate.ku.dk/green_campus/。分析结果如下:

(1) 选取的发达国家高校在近几年碳排放呈逐渐降低的趋势(降低 2%~4%不等),而研究对象在近些年碳排放仍呈增长趋势。这说明发达国家高校已经在低碳校园的实践中取得了一定成效。选取的发达国家案例高校均较早制定了低碳校园发展计划,包括历史碳排放情况和基准线设定、量化减排目标设定、具体低碳措施的应用以及年度碳排放报告。这种整体可行的低碳校园建设计划的制定和落实,带来了显著的减排效果,其经验也值得国内高校借鉴。

(2) 美国几所高校以及国内北方高校北京大学的人均/地均碳排放量与研究对象相差较大(为研究对象的十倍左右)。这种特点可以从几方面解释:首先发达国家由于生活方式的不同,其人均能耗相对中国高校较高,因而导致人均碳排放较高;而中国北方高校的能源结构中,碳排放系数较高的煤炭占据很大比例(北京大学 2009 年燃煤产生的碳排放占总量的 22%),导致碳排放与南方高校相比较。其次,核算对象的特征不同可能造成碳排放的差异:本课题中研究对象仅为其主校区,该区域人口密集,校园布局紧凑,功能较为集中,交通出行量不多;而美国

两所大学和北京大学的核算范围还包括了涉及到的师生居住区,因此人均碳排放差异较大。此外,核算口径的不同也可能是引起差异的原因。

由对比而发现的这些碳排放差异及原因分析,提供了一个重新审视低碳校园内涵的机会。由于当前并不存在一种公认的校园碳核算方法,不同地区、不同机构对不同校园进行的碳核算必然会存在一定差异,而通过国内外对比来评价校园是否“低碳”并非十分合理。因此当前阶段的校园“低碳”,应是一种在明确自身排放历史和排放潜力这一基础之上的相对“低碳”,是一种持续改进、保持高能效的校园运行状态。

表 4 国内外若干高校年均碳排放增长率比较

Tab. 4 Comparison of annual growth rate of carbon emissions among universities home and abroad

学校	年均碳排放增长率/%	年份区间
耶鲁大学	-2.16	2005~2012
哈佛大学	-3.31	2005~2012
加州大学伯克利分校	-4.65	2007~2012
哥本哈根大学	-4.72	2007~2012
上海某高校	3.77	2005~2012

表 5 国内外若干高校碳排放总体情况比较

Tab. 5 Comparison of total carbon emissions among universities home and abroad

学校	人均碳排放/ (kg·人 ⁻¹)	地均碳排放/ (kg·m ⁻²)	年份
耶鲁大学	11 886.01	73.70	2009
加州大学伯克利分校	5 926.68	40.22	2009
广州大学	1 006.36	16.32	2007
北京大学	10 814.82	158.29	2009
上海某高校	803.75	56.98	2009

3 基于能源碳核算的低碳校园管理策略

以能源碳核算为基础的量化研究,不仅能了解校园内历史碳排放状态,更是维持低碳校园建设管理体系有效运行和持续改进的必要手段。

本研究以能源碳核算结果为基础,结合经典戴明循环(Deming Cycle)的“计划(Plan)、执行(Do)、检查(Check)、处理(Action)”模式(PDCA),提出了针对研究对象的低碳校园建设管理策略,具体过程如图 3 所示。

计划阶段包括初始碳排放审计与制定低碳校园量化目标。初始碳排放审计提供了低碳校园建设的基准,是整个低碳校园建设体系关键。本研究案例中分析了 2004 年—2012 年碳排放趋势,并进行了国内

外对比,发现国外富有成效的案例中,初始碳排放审计与基准线设定是行之有效的手段.从本研究的结果来看,能源碳排放呈逐年增长但逐渐减缓和稳定

的趋势,因此可将2012年的CO₂排放总量(41 112 t)排放作为基准线,为减排目标制定提供参考.

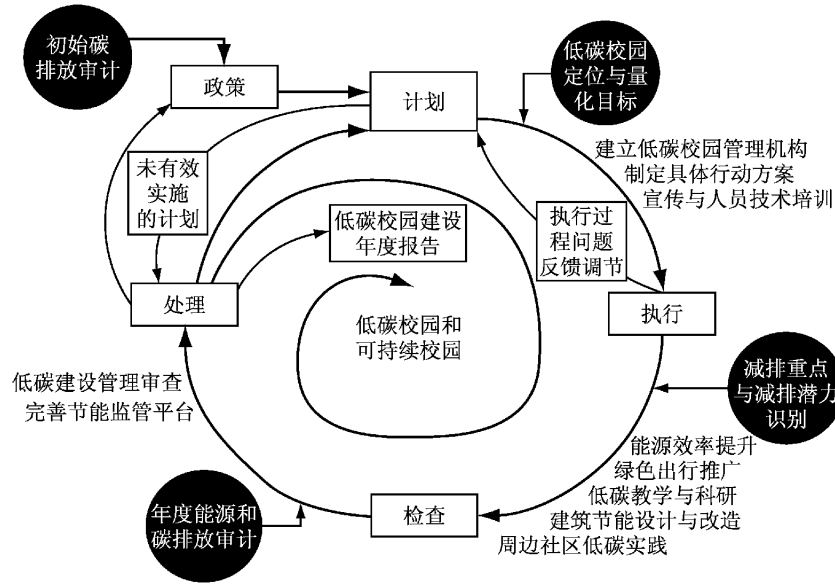


图3 基于PDCA的低碳校园建设管理策略示意图

Fig.3 Strategy of low carbon campus construction and management based on PDCA model

执行阶段是指在基准线制定的基础之上,进一步识别减排主要领域,分解减排目标并制定低碳方案.本文案例中建筑碳排放占比70%左右,是校园碳排放的重点部分,同时经过调研发现,大部分学生宿舍和办公楼仍有很大的减排空间(包括用能设备和习惯等),因此建筑节能设计与改造以及合理用电的宣传教育应作为主要措施;另一方面,交通碳排放在不断增长,鉴于交通工具均属于学校所有,且校园内于2013年建设了新能源汽车租赁试点,其能否良好运行也会一定程度上影响减排潜力,因此可以推行绿色交通政策,进行交通的宏观控制;此外,该校存在一定数量的陈旧建筑有待修缮,不合理的方案制定(如大拆大建、重复建设等)可能导致能源的极大浪费,对此有效的管理也具有一定的减排潜力.

检查阶段是指定期进行能源消费和碳排放审计,同时进行低碳建设管理审查,识别低碳校园建设过程中的成果和不足.研究案例中,检查阶段是较为薄弱的一环,缺乏持续性的、可改进的管理制度.保障碳排放审计实施的有效手段是由学校成立低碳校园办公室,组建具有相关经验的团队,并将碳排放审计其作为一项常规工作落实.

处理阶段是指对低碳校园建设进行总结,发布年度报告,公布低碳校园建设成果,整理优秀实践案例,并对未有效执行的计划进行调整.低碳校园年度报告应包括详细的、量化的历史碳排放趋势和结构、

已有低碳校园措施的成果和不足、新一轮低碳校园建设目标和策略等主要内容.

4 结论

以能源碳核算为主的量化分析作为基础性工作,在低碳校园建设管理过程中起到了不可替代的作用.本研究考虑到碳排放因子的动态性,集成已有的城市和校园碳核算方法,建立了校园碳排放清单核算方法,并进行了应用.结果显示,该校主校区2004年—2012年碳排放量呈逐年增长趋势,增长率为5.75%;2012年校区CO₂排放达41 112 t,其中建筑和交通碳排放占主要比例;建筑电耗是最大的碳排放源;发达国家高校整体可行的低碳校园建设计划的制定和落实,可能是促成其低碳建设成果显著的主要原因,其经验也值得国内高校借鉴;在碳核算方法应用的基础上,提出了低碳校园建设管理概念模型,将量化研究与管理体系进行了有机结合.

参考文献:

[1] Huang Y, Lee J C K. "Green Universities" in China: concepts and actions [J]. Schooling for Sustainable Development, 2014, 5:175.
 [2] University of Copenhagen. Green Accounts 2013 [R/OL]. [2014-02-23]. Copenhagen: University of Copenhagen,

- http://climate.ku.dk/green_campus/.
- [3] Princeton University. The Princeton Review. Guide to 311 Green Colleges [R/OL]. [2011-05-14]. Princeton: Princeton University. http://www.princetonreview.com/uploadedfiles/sitemap/home_page/green_guide/princetonreview_greenguide_2011.pdf.
- [4] Yale University. Yale's greenhouse gas reduction strategy[R/OL]. [2005-06-05]. New Haven Yale University. http://sustainability.yale.edu/sites/default/files/yale_greenhouse_06.pdf.
- [5] Yale University. Sustainability strategic plan 2010—2013[R/OL]. [2010-09-13]. New Haven: Yale University. <http://sustainability.yale.edu/planning-progress>.
- [6] Osmond P, Dave M, Prasad D. Transforming universities into green and sustainable campuses; a toolkit for implementers [R]. Nairobi: UNEP, 2012.
- [7] Mascarelli A L. How green is your campus? [J]. Nature, 2009, 461(7261): 154.
- [8] 邬鹏, 陶伦康. 现代大学城低碳校园建设路径探析——以昆明呈贡大学城为例[J]. 现代教育科学, 2013, 1: 108.
WU Peng, TAO Lunkang, Research on the construction route of low-carbon campus in modern university town; a case study of Chenggong University of Kunming [J]. Modern Education Science, 2013, 1: 108.
- [9] 吕斌, 阚俊杰. 西方可持续校园评价指标体系研究及其对我国的启示[J]. 国际城市规划, 2012(1): 44.
Lǚ Bin, KAN Junjie. Research of campus sustainability assessment indicators system and implications to China [J]. Urban Planning International, 2012(1): 44.
- [10] 郝秀芬, 关青, 郝争, 等. 试论高校建设低碳校园的理论与实践[J]. 河北师范大学学报: 哲学社会科学版, 2012, 2: 153.
HAO Xiufen, Guan Qing, HAO Zheng, *et al.* Theory and practice of low-carbon construction in campus [J]. Journal of Hebei Normal University: Social Science Edition, 2012, 2: 153.
- [11] 赵晶. 国际低碳校园建设之于中国高校的经验[J]. 国际城市规划, 2010, 2: 106.
ZHAO Jing. Learning from the international low-carbon campuses[J]. Urban Planning International, 2010, 2: 106.
- [12] 谢鸿宇, 吴啸, 杨木壮, 等. 广州大学碳排放分析[J]. 广州大学学报. 2011, 2: 1671.
XIE Hongyu, WU Xiao, YANG Muzhuang, *et al.* Carbon emission analysis of Guangzhou University [J]. Journal of Guangzhou University, 2011, 2: 1671.
- [13] 姚争, 冯长春, 阚俊杰, 等. 基于生态足迹理论的低碳校园研究 [J]. 资源科学, 2011, 6: 1163.
YAO Zheng, FENG Changchun, KAN Junjie, *et al.* Low-carbon research based on ecological footprint theory [J]. Resources Science, 2011, 6: 1163.
- [14] IPCC, 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. [S. l.]: IPCC, 2006.
- [15] 中国青年应对气候变化行动网. 校园碳核算攻略[R/OL]. [2013-10-17]. 北京: 中国青年应对气候变化行动网. http://www.cycan.org/?page_id=2383#.
CYCAN. Guide for carbon accounting in campus[R/OL]. [2013-10-17]. Beijing: China Youth Climate Action Network. http://www.cycan.org/?page_id=2383#.
- [16] FANG Weiyan, JIANG Xiaoqian, ZHUANG Guiyang. Greenhouse gas accounting tool for chinese cities (Pilot Version 1.0) [R/OL], [2013-09-01]. [S. l.]: WRI. <http://www.wri.org.cn/node/492>.
- [17] 龙蔚淋. 上海市能源消耗、碳排放与经济增长关系的实证分析 [D]. 上海: 上海师范大学, 2012.
LONG Weilin. Empirical analysis of the relationship between energy consumption, carbon emissions and economic growth in Shanghai [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2012.
- [R]. 上海: 同济大学, 2013.
Tongji University. Report of beach nourishment project of Laohushi Bathing Place and surrounding bays in Beidaihe[R]. Shanghai: Tongji University, 2013.
- [20] 同济大学. 北戴河老虎石浴场及周边岬湾海岸修复工程报告

(上接第 1360 页)

WANG Sulan, WANG Liying. Development tentative plan of Beidaihe scenic spot in Qinhuangdao [J]. Journal of Tongji University: Social Science Edition, 1994(S1): 40.