

基于生命周期视角的绿色建筑项目组合选择分析

陈琳¹,王洋¹,陈洁¹,陈曦²

(1. 西北工业大学 管理学院,陕西 西安 710129;2. 西安石油大学 经济管理学院,陕西 西安 710065)

摘要:基于可持续发展理论,以经济效益、环境效益和社会效益为准则构建绿色建筑项目遴选阶段的评价指标体系,并采用层次分析法进行综合评价;运用作业成本法将绿色建筑项目作业成本划分为单位级、批次级、环境级、项目级和维持级作业五个层次并考虑资金的时间价值和投资风险,以准确地估算生命周期成本;以资源约束下的经济效益和环境负荷为双目标,运用0-1目标规划法构建绿色建筑项目组合选择模型,对模型求解来选择最优的绿色建筑项目组合,并通过引入万达绿色建筑项目的案例检验模型的可行性与有效性。

关键词:绿色建筑;作业成本法;目标规划;项目组合

中图分类号:F406.72 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-7192(2021)04-0080-09

一、引言

目前,全球正面临着严重的资源短缺和环境污染问题,严峻的形势要求人们在改善生活质量的同时,重视资源节约和环境保护,以实现人类的可持续发展^[1]。建筑业作为国民经济的支柱产业在建造和使用过程中消耗大量的资源和能源。据IPCC统计,建筑业能源消耗约占全社会总能耗的40%,且造成了36%的碳排放量。针对建筑行业高耗能、高排放、高污染的特点,20世纪60年代国际社会提出了绿色建筑的概念,它是指以为人类提供健康、适用和高效的使用空间为宗旨,在建筑物整个生命周期内最大限度地节约资源(节能、节地、节水、节材)、保护环境、减少污染,实现人与自然的和谐共生^[2]。

我国正处于城镇化建设的快速发展时期,大规模的建设活动使得资源和环境承受着前所未有的压力。政府相继出台一系列政策法规来缓解资源环境问题,其中,国务院关于主张节能减排也发布了一系列政策,明确提出要“开展绿色建筑行动”。显然,这意味发展绿色建筑是转变我国建筑业发展

方式和城乡建设模式的一个难得的机遇,但也将不可避免地面临巨大的挑战,既要解决众多复杂的技术性难题,还需要充分考虑其经济性。绿色建筑成本被视为影响其发展的首要因素^[3],这也是各参与方最终能否认可和接受的关键。由此可见,分析预测绿色建筑项目的各项成本并据此进一步做出科学的管理决策对于绿色建筑的深入推广具有非常重要的意义。本文聚焦于基于生命周期的绿色建筑项目价值评估,并采用项目组合结合建模的方式对绿色建筑项目的成本进行评估,可以对后续绿色建筑项目发展形成一定程度的参考。

二、国内外研究现状

1. 绿色建筑成本相关研究

绿色建筑首先在国外兴起,成本方面的研究也相应起步较早。Kats等^[4]¹³⁴引领了美国关于绿色建筑成本分析的潮流,他们比较了加州33栋绿色建筑的经济指标,发现达到美国绿色建筑委员会LEED认证级建筑物需要比传统建筑多投入1.84%的成本,而达到LEED金级水平认证则需要额外2%~

收稿日期:2021-03-01

基金项目:国家社会科学基金项目“可持续发展视角下的绿色建筑作业成本计量及成本效益评价研究”(17BGL143)

作者简介:陈琳(1977-),女,西北工业大学管理学院教授,研究方向为作业成本与管理;王洋(1996-),女,西北工业大学管理学院硕士研究生,研究方向为成本管理。E-mail: 491294206@qq.com

5%的成本。Davis^[5-6]研究发现如果在初期设计建筑物时就充分考虑绿色因素,那么建造过程产生的增量成本是极为有限的,并指出在绿色建筑及建筑物构配件决策过程中应用生命周期成本法有利于减少业主的成本负担,同时该方法在投资项目初始成本以及运营成本都不同的情况下是非常有用的决策工具。Zuo等^[7]系统回顾了生命周期视角下绿色建筑评价方面的研究,主张应将用于环境评估的生命周期评价和用于经济分析的生命周期成本相结合,构建模型来实现绿色建筑环境效益与经济效益的平衡。何丹彤^[8]则将绿色建筑全生命周期成本划分为建筑成本、社会自然成本以及消费者成本,构建了基于模糊识别方法以及蒙特罗卡法的绿色建筑全生命周期成本估算模型,为绿色建筑的投资决策提供依据。苗泽惠等^[9]认为运用全生命周期理论可以更好地研究绿色建筑成本并进行绿色建筑的成本控制。王芳等^[10]分别从开发商和使用者的角度建立绿色建筑成本效益测算模型,为双方的决策提供了依据。Tsai W等^[11]则指出运用作业成本法估算绿色建筑项目成本,并将其划分为土地获取成本、直接成本、单位级、批次级、项目级以及环境级作业成本六大部分,并以作业中心为桥梁估算绿色建筑项目生命周期内的碳排放量以及碳税,通过引入案例计算发现,低碳建造技术以及碳税对于房地产公司的投资决策具有非常重要的影响。

2. 绿色建筑项目管理相关研究

与绿色建筑成本研究相比,绿色建筑项目管理方面的研究相对较少。Wu等^[12]认为绿色建筑项目管理涉及理论和实践两个层面,建筑工程公司应当从这两方面考虑如何满足绿色建筑项目的需求。绿色建筑项目选择决策方面,Karla等^[13]借助成本效益分析工具研究社会和企业投资绿色建筑项目的动因,以比利时一家房地产投资公司为例,进行绿色屋顶项目的决策应用研究。Huang等^[14]研究显示,由于缺乏合适的管理框架,新加坡的绿色建筑开发面临着一些障碍,提出可以在未来的绿色建

筑项目中通过引入可持续发展的思想来构建绿色建筑项目的管理框架。紧接着,Huang等^[15]分析未来项目经理在实施绿色建筑项目时可能会面临的挑战,识别绿色建筑项目管理过程中需要掌握的关键知识和技能,提出建立一套基础管理体系以帮助项目经理实行有效和可持续的项目管理。Hadas等^[16]通过分析以色列绿色办公建筑的成本及其企业和社会效益,详细地测算并选择最优绿色建筑以及可替代项目,实现以最少的资金和能源投入以获取最大效益。何小雨等^[17]运用群层次分析法和证据推理法构建绿色建筑的评价体系,从中找出其存在的问题并进行改进。盛佳等^[18]基于BIM技术建立绿色建筑项目管理评价模型,并结合项目管理的全生命周期理论,分析影响绿色建筑项目管理的因素。

通过分析以上文献可以发现,目前绿色建筑成本方面的研究成果丰富,且集中于生命周期视角下经济环境成本计算,增量成本测算以及绿色建筑生命周期成本的研究,然而进一步相关的管理决策研究还很薄弱,能够连接企业战略目标和项目实施的绿色建筑项目组合管理的研究更是欠缺,这些都是当前发展推广绿色建筑亟待解决的重要问题。鉴于此,本文充分结合建筑行业的发展特点,分析和估算绿色建筑项目的生命周期成本和碳排放,并在传统的衡量方法基础之上充分考虑企业发展战略,结合目标规划的形式,对绿色建筑项目投资组合建模并进行求解,从而得到最优发展决策。

二、生命周期理论和作业成本法

1. 生命周期理论

生命周期评价(life cycle assessment, LCA)的思想起源于20世纪60年代,是一种用来识别并量化特定产品或者活动在整个生命周期内(从摇篮到坟墓)的能源消耗和环境影响的方法,包括原材料的采集加工运输、产品的生产包装销售、消费者使用维修、以及最终的循环利用与处置等阶段。自绿色建筑理念兴起以来,国内外很多学者将LCA应用于

建筑领域的环境影响评估,尤其是建筑物的碳排放。这种评价方法能够有效地避免评价的局部性与片面性,促进建筑业实现节能减排,走向可持续发展之路。

生命周期成本(life cycle cost, LCC)是指产品或者项目在生命周期各阶段总的费用支出。这里生命周期所涵盖的时间范围与LCA相同,不同的是,生命周期成本关注的是研究对象的经济表现而非环境影响。对于建筑物而言,其使用年限一般长达30~70年,因此需要采用净现值法将建筑物未来成本折算为现值以计算生命周期成本。

根据绿色建筑项目的基本建设程序,本文将绿色建筑项目生命周期划分为规划设计、施工建造(包括建材的生产和运输)、运营维护以及拆除填埋四个阶段,并据此分析计算绿色建筑项目的经济效益和环境负荷,以实现科学决策。

2. 作业成本法

作业成本法是一种先进的成本计算管理方法。它以“作业消耗资源、产品消耗作业”为指导思想,主张以作业为桥梁,以驱动间接费用发生的成本动因为标准,将资源成本分配至成本对象(产品、项目、服务、市场等)。根据作业成本法的基本思想,上述分配过程需要经历两个阶段:第一阶段,将资源耗费按照资源动因分配到作业中心,形成作业成本库;第二阶段,以作业动因为标准将作业成本库中的成本分配到成本对象。据此计算绿色建筑项目生命周期成本的过程和原理(图1)。而绿色建筑项目作业成本估算可以视为作业成本计算的逆过程,因此包括两个步骤:估算绿色建筑项目消耗作业动因的数量和作业消耗资源的价值。与传统的成本方法相比,作业成本法不仅能够客观真实地反映产品成本,更有利于进一步管理作业、优化价值链,从而实现企业目标。

以Copper和Kaplan对于作业的分类为基础,结合绿色建筑项目特点,本文将作业成本划分为以

下五个层次:(1)单位级作业,指每个成本对象都受益的作业;(2)批次级作业,指使一批成本对象受益的作业;(3)环境级作业,指与环境保护相关的作业;(4)项目级作业,指针对特定项目而执行的作业;(5)维持级作业,指为维持企业的生产经营能力而执行的作业。

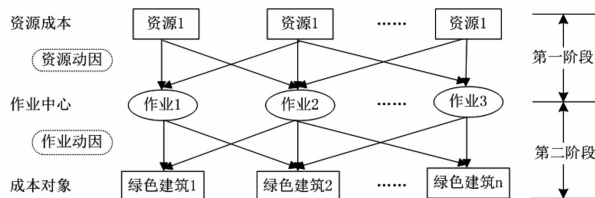


图1 作业成本计算原理

三、模型设计

绿色建筑与传统建筑物相比,注重居住者体验,致力于人与自然的和谐统一;强调在整个生命周期内最大限度地降低资源能源消耗,保护环境;追求经济、环境、社会综合效益最大化等。考虑到现阶段绿色建筑社会成本研究仍然处于探索阶段,本文构建资源约束下以经济效益(净现值)和环境负荷(碳排放量)为双目标项目组合选择模型。

1. 绿色建筑项目组合选择流程

绿色建筑项目组合选择是项目组合管理的前提。在设计绿色建筑项目组合选择流程的过程中,需要注意以下几点:第一,绿色建筑强调最大限度地降低建筑物在生命周期内对环境造成的负面影响,基于此,在绿色建筑项目选择的过程中需要测算各备选项目的碳排放量,并将其作为重要的指标纳入到投资决策过程中。第二,现阶段绿色建筑高昂的成本仍然是阻碍其发展的重要原因,因此,当务之急是管理控制绿色建筑项目的成本,以确保各利益相关者能够接受和认可。第三,绿色建筑是可持续发展理论在实践应用中的延伸,基于此,绿色建筑项目评价的本质应是建筑物的可持续性评价。

综合上述分析,结合项目组合选择的一般流程,本文构建的绿色建筑项目组合选择流程如图2所示。

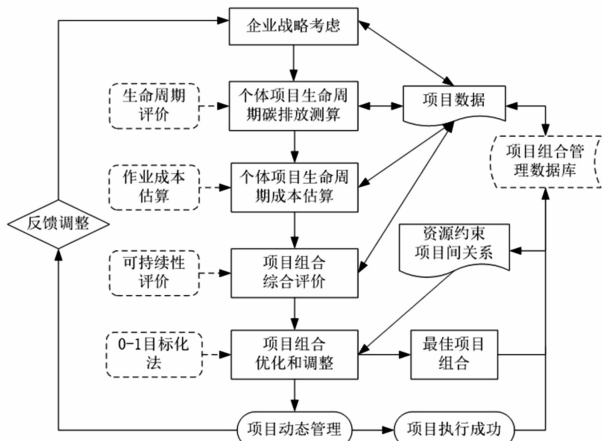


图2 绿色建筑项目组合选择流程

传统的项目管理没有将项目和企业战略有效地衔接起来,不利于企业战略的实施以及战略目标的实现,而项目组合管理是连接企业战略和项目的媒介,通过将资源合理地分配到各个备选项目并实施动态管理,能够有效地保证战略目标的实现。

绿色建筑项目的战略符合度和影响度的评价可建立基于平衡积分卡的指标体系,从顾客需求的满意度、战略目标优势、企业的内部发展、企业的价值贡献度等维度进行评价分析,根据评价指标的特点以及评价的目的科学地选择评价方法,并根据结果对备选绿色建筑项目的战略符合度进行排序等。据此,剔除那些不符合企业战略发展方向和对企业战略贡献度低的项目,符合条件的绿色建筑项目将进入下一阶段的分析。

2. 预测绿色建筑项目生命周期碳排放量

根据绿色建筑项目生命周期的划分,其碳排放量可以表示为:

$$LCCE_i = CE_{iDE} + CE_{iCO} + CE_{iOP} + CE_{iDI} \quad (1)$$

式中, CE_{iDE} 、 CE_{iCO} 、 CE_{iOP} 、 CE_{iDI} 表示绿色建筑项目*i*在规划设计、施工建造、运营维护以及拆除填埋阶段的碳排放量。

对绿色建筑项目进行碳排放清单分析发现,建材生产和能源消耗是最主要的碳排放源头。考虑建材的可回收利用,采用排放系数法预测绿色建筑项目生命周期碳排放量可表示为:

$$LLCE_i = \sum_{n=1}^m p_n \times q_{in} \times (1 - a_n) + \sum_{\delta=1}^n w_{i\delta} \times A_{\delta} \quad (2)$$

式中, m 为建材的种类; p_n 为第 n 种建材的碳排放因子; q_{in} 为绿色建筑项目*i*第 n 种建材的消耗量; a_n 为第 n 种建材的回收系数; n 为能源的种类; $w_{i\delta}$ 为绿色建筑项目*i*第 δ 种能源的消耗量; A_{δ} 为第 δ 种能源的碳排放因子。

3. 估算绿色建筑项目生命周期成本

作业成本法下,绿色建筑项目的成本包括直接成本和作业成本。其中,直接成本指直接材料、直接人工、机器成本、土地获取成本、碳排放成本等可以直接划分到特定项目的成本;而作业成本可划分为单位级、批次级、环境级、项目级以及维持级五大类。因此,绿色建筑项目总成本可以表示为:

$$TC_i = DC_i + ABC_i = DMC_i + DLC_i + MC_i + LCCE_i P_{CO} + LDC_i + \sum_{k \in UN} S_k \lambda_{ik} + \sum_{k \in BA} S_k \kappa_{ik} + \sum_{k \in EN} S_k \rho_{ik} + \sum_{k \in PR} S_k \sigma_{ik} + \sum_{k \in MA} S_k \varphi_{ik} \quad (3)$$

式中, TC_i 表示绿色建筑项目的总成本; DC_i 、 ABC_i 分别为直接成本和作业成本; DMC_i 、 DLC_i 、 MC_i 依次为直接材料成本、直接人工成本以及机器工时成本; $LCCE_i$ 为绿色建筑项目*i*生命周期碳排放数量; P_{CO} 为碳排放交易机制下碳排放的交易单价; LDC_i 为土地获取成本; S_k 为作业*k*的作业动因率,即单位作业动因的成本; λ_{ik} 、 κ_{ik} 、 ρ_{ik} 、 σ_{ik} 、 φ_{ik} 依次为绿色建筑项目*i*对于单位级、批次级、环境级、项目级以及维持级作业的需求量。

在估算绿色建筑项目生命周期成本时,考虑资金的时间价值和投资风险等因素,将未来的成本支出折算为现值。以开始施工的时点为基准期,假设前期设计和施工阶段的成本支出在基准期一次性发生,则绿色建筑项目生命周期成本可表示为:

$$TC'_i = \sum_{j=1}^m \frac{C_{ij}}{(1+r)^j} = C_{ide} + C_{ico} + \sum_{j=1}^m \frac{C_{iop}}{(1+r)^j} + \frac{C_{idi}}{(1+r)^j} \quad (4)$$

式中, TC'_i 表示绿色建筑项目*i*的生命周期成本; C_{ij} 为绿色建筑项目*i*第*j*年的成本支出; C_{ide} 、 C_{ico} 、 C_{iop} 、

C_{id} 依次为项目*i*在规划设计、施工建造、运营维护以及拆除填埋阶段发生的成本; m 为绿色建筑项目的使用年限; r 为剔除通货膨胀率后的折现率。

绿色建筑项目折现率的选定可参考《建设项目经济评价方法与参数》(第三版)^[19]中采用的专家调查法计算出的房地产行业折现率取值,以此为基础,综合考虑企业的发展经营战略、项目特点、项目风险以及资金的机会成本等因素,自行调整并最终确定绿色建筑项目的折现率。

4. 构建项目评价指标体系

绿色建筑项目组合遴选阶段评价的实质是建筑物在全生命周期内的可持续性评价,包括经济、环境以及社会三个维度^[20]。本文基于可持续发展理论,通过查阅相关图书文献^[21-23],以经济效益、环境效益和社会效益为准则构建绿色建筑项目遴选阶段的评价指标体系,最终确定的各层次指标如图3所示。

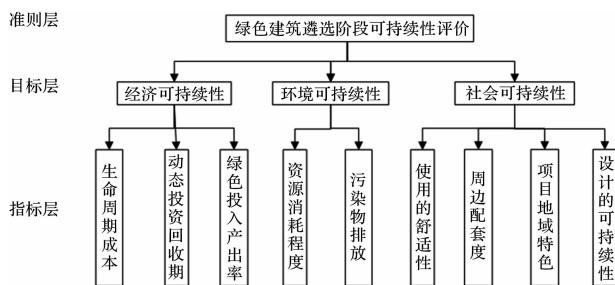


图3 绿色建筑项目组合遴选阶段可持续性评价指标体系

在建立备选绿色建筑项目组合评价指标体系之后,需要选择合适的项目评价方法,计算评价结果并对其优先性进行排序,以此作为项目组合选择的重要依据。而项目综合评价的方法各种各样,多达几十种,处理问题的思路 and 角度也不尽相同。比较常用的包括层次分析法、模糊综合评价法、灰色系统理论、人工神经网络、数据包络分析等方法。

本文绿色建筑项目组合选择评价研究的目的是在各备选绿色建筑方案基本确定的前提下进行优选决策,且评价涉及经济、环境以及社会三个维度,既有定量指标又有定性指标,问题相对复杂。基于此,本文选择在理论知识和方法体系都比较成熟且广泛应用于项目优选决策的层次分析法作为

综合评价方法,通过运用层次分析法,可以计算出各备选项目的分值或权重。

5. 选择最优绿色建筑项目组合

科学分析和评价单个备选绿色建筑项目是项目组合选择的基础和前提,然而,并不是所有评价结果优秀的项目都能入选最终的绿色建筑项目组合,决策者还需要综合考虑其他因素,比如资源和管理能力的限制,备选绿色建筑项目之间的相关性等等。针对上述问题,解决的方法通常是运用运筹学中的数学规划思想,由于本文中绿色建筑项目组合选择的目标并非单一的投资利润最大化,而是综合考虑经济、环境的综合效益最大化,目标规划法可以有效地解决有限资源下(硬约束)多目标问题。基于此,本文构建了如下基于目标规划法的绿色建筑项目组合选择模型。

(1) 模型假设

1)各备选绿色建筑项目的收益和成本不具有协同效应;2)企业未来的收入与成本费用均不存在应收应付业务,即收入与成本体现为同等金额的现金流入与流出,且成本支出在每年末一次性发生;3)各备选绿色建筑项目生命周期内不可预测的成本支出金额很小,可忽略不计;4)建筑公司的财务部门、数据库系统可以提供详细的包括作业动因,成本动因率等信息足以支持绿色建筑项目的作业成本估算。

(2) 决策变量

定义决策变量 $X_i, i=1,2,3,\dots,n$ 。 X_i 为0-1整数变量,与备选绿色建筑项目一一对应。当 $X_i=1$ 时,表示绿色建筑项目*i*被选中;当 $X_i=0$ 时,则表示绿色建筑项目*i*未被选中。

(3) 约束条件

1)经济目标约束。站在投资者的角度,以期望收益率作为折现率,绿色建筑项目组合的净现值应大于等于零,这是实施绿色建筑项目的前提,公式表示为:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{P_{ij} - C_{ij}}{(1+r)^j} X_i + d_{npw}^- - d_{npw}^+ = 0 \quad (5)$$

式中, P_{ij} 表示绿色建筑项目*i*在第*j*年的收益; d_{npw}^- 为

负偏差变量(未达到目标值的部分), d_{npv}^+ 为正偏差变量(超过目标值的部分), d_{npv}^- 和 d_{npv}^+ 均大于等于0。

2) 环境目标约束。尽管节能减排是绿色建筑项目关注的重点问题之一,然而忽视成本效益原则一味地强调降低碳排放量会影响投资者的经济利益,不利于绿色建筑项目的进一步推广。因此,绿色建筑项目组合的碳排放量应满足:

$$\sum_{i=1}^n LLCE_i \times X_i + d_{LLCE}^- - d_{LLCE}^+ = F_{LLCE} \quad (6)$$

式中, F_{LLCE} 指投资者预期的绿色建筑项目组合生命周期碳排放量; d_{LLCE}^+ 、 d_{LLCE}^- 为正负偏差变量。

3) 权重目标约束。根据构建的以经济、环境和社会效益为准则的评价指标体系计算得出的各备选项目的分值或权重,可以用以建立权重目标约束。故而,为实现绿色建筑项目组合产生的经济、环境以及社会的综合效益最大化,绿色建筑项目组合的分值或权值之和应尽量最大化,公式表示为:

$$\sum_{i=1}^n w_i X_i + d_w^- - d_w^+ = \sum_{i=1}^n w_i \quad (7)$$

式中, w_i 为备选绿色建筑项目 i 的分值或权重值; d_w^+ 、 d_w^- 分别为正负偏差变量。

4) 资源约束。绿色建筑项目组合在特定时间的资源消耗(包括资本)之和应不大于该时段的供应量:

$$\sum_{t=1}^n R_{\eta t} X_i \leq F_{\eta t} \quad (8)$$

式中, $R_{\eta t}$ 指绿色建筑项目 i 在 t 时间段内对于 η 资源的需求数量; $F_{\eta t}$ 为资源 η 在 t 时间段内的供应量。

5) 其他约束。其他约束包括强制性、互斥性、依赖性约束等情况。强制性约束是指由于法律或政策等外部环境制约,有些项目必须要实施或者已然在实施,公式表示为: $X_i = 1$; 互斥性约束指两个备选项目不能同时被选中,公式表示为: $X_i + X_j \leq 1$; 依赖性约束指特定备选项目 u 的实施是以其他 A 个项目的实施为前提,公式表示为: $\sum_{i=1}^n X_i \geq A \times X_u$ 。

(4) 目标函数

经过以上分析,结合各约束方程中相关指标的性质,以绿色建筑项目组合的成本效益和环境符合

为双目标的目标函数和约束条件可表示如下:

$$\text{Min} Z = P_1(d_{npv}^- + d_{LLCE}^- + d_{LLCE}^+) + P_2 d_w^- \quad (9)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{P_{ij} - C_{ij}}{(1+r)^j} X_i + d_{npv}^- - d_{npv}^+ = 0 \\ \sum_{i=1}^n LLCE_i \times X_i + d_{LLCE}^- - d_{LLCE}^+ = F_{LLCE} \\ \sum_{i=1}^n w_i X_i + d_w^- - d_w^+ = 1 \\ \sum_{i=1}^n R_{iut} X_i \leq F_{ut} \\ X_i = 0 \text{ 或 } 1 (i = 1, 2, 3, \dots, n) \\ d_{npv}^-, d_{npv}^+, d_{LLCE}^-, d_{LLCE}^+, d_w^-, d_w^+ \geq 0 \end{cases} \quad (10)$$

式中, P_1 、 P_2 为优先因子, $P_1 > P_2$, 即首先要实现经济效益和环境负荷目标,然后是保证权重大的项目被优先选择。

(5) 模型求解

求解目标规划的经典方法有图解法和单纯形法。随着计算机技术的发展应用,运用 Lindo 软件可以快速求解模型。

四、案例分析

近年来,为响应政府号召,万达集团大力开发绿色酒店项目。经相关部门评估,初步筛选出四个符合企业长期发展战略的绿色酒店项目,分别是位于西安、无锡、太原和长春的部分绿色酒店,其星级分别为四星级、四星级、六星级和三星级。考虑到企业资源以及管理能力等方面的限制,需对四个绿色酒店项目进行既定条件下的组合选择。

备选绿色酒店项目的优先次序在指标评价阶段已产生,权重依次为 0.218 9、0.235 4、0.279 3、0.266 4。表 1 为分析估算出的基于作业成本法的绿色建筑项目生命周期成本信息,表 2 是生命周期评价方法下预测的各项目碳排放信息。公司计划在建造阶段最多投入资金 8 000 万元,碳排放量的理想值为 1.1 万吨,人工工时通过加班和雇用临时工的方式扩展后最大供应量可达 700 万/小时。其中,由于万达拟向高端酒店市场发展,因此,作为六星级酒店的太原绿色酒店项目为必选项目。

表 1 备选绿色酒店项目成本信息

万

			西安		无锡		太原		长春		发生年限
收入现值(包括政府补助)			29 650		32 100		39 800		26 400		
土地获取成本			7 000		7 500		8 500		6 000		0
直接材料			6 000		7 000		7 800		5 000		0
直接人工	工时		200		210		300		190		0
	成本		6 000		6 300		9 000		5 700		0
	机器成本		3 000		2 800		3 500		2 600		0
作业成本	成本动因	成本动因率	作业需求量	作业成本	作业需求量	作业成本	作业需求量	作业成本	作业需求量	作业成本	
项目级作业											
绿色设计作业	图纸数量(张)	5 000 元/张	30	15	36	18	50	25	26	13	0
单位级作业											
绿色建造作业	建筑面积(平方米)	500 元/平方米	3.88	1 940	3.99	1 995	4.86	2 430	3.4	1 700	0
运营修缮作业	人工工时(小时)	100 元/小时	2.8	280	2.5	250	3.0	300	2.5	250	1 ~ 50
批次级作业											
建材运输作业	运输距离(公里)	5 元/公里	40	200	40	200	48	240	35	165	0
拆除填埋作业	废弃物重量(吨)	20 元/吨	48	960	25	500	30	600	22.5	450	50
环境级作业											
环境预防作业	建筑面积(平方米)	30 元/平方米	3.88	101	3.99	119.7	4.86	145.8	3.4	102	0 ~ 50
废弃物治理作业	废弃物重量(吨)	10 元/吨	10	100	12	120	15	150	10	100	0 ~ 50
循环利用作业	处理重量(吨)	10 元/吨	15	150	20	200	30	300	13	130	0 ~ 50
设计建造成本			24 506		26 252.7		32 090.8		21 510		
碳排放成本(PCO = 20 元/吨)			105		108		132		92		
收入现值			29 650		32 100		39 800		26 400		
净现值($i = 13\%$)			-52		191		392		114		

表 2 备选绿色酒店项目生命周期 CO₂ 排放量

t

长春				碳排放系数	西安	无锡	太原
施工建造阶段	建材生产			52 380	53 865	65 664	45 900
	运输活动	汽油	2.031 kg/kg	47.85	49.35	58.42	42.90
		柴油	2.171 5 kg/kg	34.80	35.11	42.75	29.65
		电	0.884 3 kg/kw · h	4.35	5.54	7.83	3.45
	施工建造	汽油	2.031 kg/kg	67	69	88	54
		柴油	2.171 5 kg/kg	40	43	65	38
电		0.884 3 kg/kw · h	108	112	121	99	
运营维护阶段		电	0.884 3kg/kw · h	130 950	134 662	164 160	114 749
拆除填埋阶段	建材回收			- 13 618	- 14 000	- 17 072	- 4 616
	拆除填埋			5 269	5 417	6 604	11 933
合计				175 286	180 258	219 520	153 600
备选绿色酒店项目年平均碳排放量				3 506	3 605	4 390	3 072

根据上述信息,设 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 四个变量依次对应位于西安、无锡、太原和长春的四个城市中的绿色酒店项目,构建的目标规划模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Min} Z &= P_1 (d_{npv}^- + d_{LLCE}^- + d_{LLCE}^+) + P_2 d_w^- \\ \begin{cases} -52X_1 + 191X_2 + 392X_3 + 114X_4 + d_{npv}^- - d_{npv}^+ = 0 \\ 3\ 506X_1 + 3\ 605X_2 + 4\ 390X_3 + 3\ 072X_4 + d_{LLCE}^- \\ - d_{LLCE}^+ = 11000 \\ 24\ 611X_1 + 26\ 361X_2 + 32\ 222X_3 + 21\ 602X_4 \leq 8\ 000 \\ 200X_1 + 210X_2 + 300X_3 + 0.266\ 4X_4 + d_w^- - d_w^+ = 1 \\ X_3 = 1 \\ X_i = 0 \text{ 或 } 1, i = 1, 2, 4 \\ d_{npv}^-, d_{npv}^+, d_{LLCE}^-, d_{LLCE}^+, d_w^-, d_w^+ \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

运用 Lingo 求解,可得:

$$X_1 = 1, X_2 = 0, X_3 = 1, X_4 = 1, d_{npv}^+ = 454, d_{LLCE}^- = 32, d_w^- = 0.235\ 5$$

计算结果表明,在既定条件下,综合考虑经济绩效和环境负荷的最优绿色酒店项目组合分别为位于西安、太原和长春的绿色酒店项目。

五、结 论

随着人们对环境问题的日益重视,绿色建筑迎来了难得的发展机遇和相应的巨大挑战。目前国内绿色建筑成本方面关于管理决策研究还很薄弱。首先,运用作业成本法将绿色建筑项目作业成本划分为单位级、批次级、环境级、项目级和维持级作业五个层次以准确地估算绿色建筑项目的总成本;其次,考虑资金的时间价值和投资风险等因素,将未来的成本支出折算为现值来估算绿色建筑项目的生命周期成本,并综合碳排放源采用排放系数法分析预测绿色建筑项目碳排放量;最后,运用 0-1 目标规划法构建绿色建筑项目组合优选决策模型时,考虑资源约束和备选项目之间的相关性,构建以碳排放量、净现值和全面可持续性为目标的 0-1 目标规划模型,并通过对模型求解来选择最优的绿色建筑项目组合。为验证所构建的模型,结合具体案例验证了目标规划模型的可行性与有效性。得出主要结论和研究启示如下。

(1)绿色建筑项目组合选择流程不同于一般项

目流程,在进行选择时应该充分考虑绿色建筑项目的生命周期成本,绿色建筑项目的可持续性评价,在考虑绿色建筑项目的经济和社会效益的同时应该充分考虑绿色建筑项目的环境收益。

(2)由于绿色建筑项目组合选择评价研究涉及定量指标又有定性指标,问题相对复杂,运用层次分析法可以充分考虑不同影响因素的交互作用,计算出各备选项目的分值或权重。实现从经济、环境以及社会评价三个角度对其进行综合评价的目的,方法上具有一定的优选性。

(3)由于绿色建筑项目组合选择的目标并非单一的投资利润最大化,而是综合考虑经济、环境的综合效益最大化,目标规划法可以有效地解决有限资源下多目标问题,并且可以帮助决策者综合考虑其他因素,比如资源和管理能力的限制,备选绿色建筑项目之间的相关性等。可以改进现有绿色项目组合选择中存在的不足。实现科学地分析和评价单个备选绿色建筑项目。

由于本文仅是对绿色建筑项目组合选择的初步探索,今后的研究可以进一步深入研究绿色建筑项目生命周期内各阶段作业中心的划分和成本动因的选择,量化绿色建筑项目社会成本效益,并将其纳入目标规划模型中,以便完善绿色建筑项目组合选择模型的研究。

参 考 文 献

- [1] 吴昌华. 回归:人与自然的和谐[J]. 世界环境, 2020 (2): 31-35.
- [2] 王清勤,叶凌.《绿色建筑评价标准》GB/T50378-2019 的编制概况、总则和基本规定[J]. 建设科技, 2019 (20): 31-34.
- [3] 李增. 我国绿色建筑现状及趋势探究[J]. 低碳世界, 2020, 10(4): 95, 88.
- [4] KATS G, ALEVANTIS L, BERMAN A, et al. The costs and financial benefits of green buildings[R]. A Report to California's Sustainable Building Task Force, 2003.
- [5] DAVIS L. Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction guidance on the use of the LCC methodology and its application in public procurement [J]. Report Commissioned by the European Union,

- 2007:1-80.
- [6] DAVIS L. Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology [C]. Report Commissioned by the European Union, 2007.
- [7] ZUO J, PULLENS S, RAMEEZDEEN R, et al. Green building evaluation from a life-cycle perspective in Australia: a critical review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 70:358-368.
- [8] 何丹彤. 绿色建筑的全寿命周期成本估算[J]. 山东农业大学报(自然科学版), 2016, 46(3):456-459.
- [9] 苗泽惠, 施德阳. 全寿命周期视角下绿色建筑成本控制研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2019(5):66-67.
- [10] 王芳, 王士革. 我国绿色建筑成本效益评价的研究[J]. 科技视界, 2016(15):93, 125.
- [11] TSAI W H, YANG C H, CHANG J C, et al. An activity-based costing decision model for life cycle assessment in green building projects[J]. European Journal of Operational Research, 2014, 238(2): 607.
- [12] WU P, SUI P L. Project management and green buildings: lessons from the rating systems[J]. Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice, 2010, 136(2):64-70.
- [13] KARLA C, SANDRA R. Public versus private incentives to invest in flanders[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2012, 11(4): 417-425.
- [14] HUANG B G, TAN J S. Green building project management: obstacles and solutions for sustainable development [J]. Sustainable Development, 2012, 20(5): 335-349.
- [15] HUANG B G, WEI J N. Project management knowledge and skills for green construction: overcoming challenges [J]. International Journal of Project Management, 2013, 31(2):272-284.
- [16] HADAS G, ISAAC A M, MOSHE S, et al. Cost-benefit analysis of green buildings: an israeli office buildings case study [J]. Energy and Buildings, 2014, 76(6): 558-564.
- [17] 何小雨, 杨璐萍, 吴韬, 等. 群层次分析法和证据推理法在绿色建筑评价中的应用[J]. 系统工程, 2016, 34(2):76-81.
- [18] 盛佳, 邱莹莹, 刘婷婷. 基于 BIM 技术的绿色建筑项目管理影响要素研究[J]. 黑河学院学报, 2019, 10(11): 87-89, 99.
- [19] 高婧, 于军琪. 基于 AHP-Fuzzy 的大型公共建筑可持续性评价研究[J]. 计算机工程与应用, 2014(13):252-256.
- [20] TAYYAB A, AJIBADE A A, ANDRÉ S, et al. Investigating associations among performance criteria in green building projects [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 232:1348-1370.
- [21] 陶鹏鹏. 绿色建筑全寿命周期的费用效益分析研究[J]. 建经济, 2018, 39(3):99-104.
- [22] 贾珍. 某绿色建筑的全生命周期碳排放研究[J]. 建设科技, 2016(17): 78-81.
- [23] 刘秋雁. 绿色建筑全生命周期成本效益评价研究——基于碳排放量的角度[J]. 建筑经济, 2014(1): 97-100.

A Research on Green Building Project Portfolio Selection Model

CHEN Lin¹, WANG Yang¹, CHEN Jie¹, CHEN Xi²

(1. School of Management, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China;
2. School of Economics and Management, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Based on the theory of sustainable development, the paper conducts a comprehensive evaluation by using AHP and takes economic, environmental and social benefits as the criteria to establish an evaluation index system applied in the project selection stage of green building. According to the activity-based costing, the operation cost of a green building project is divided into five levels including unit-level cost, batch-level cost, environmental-level cost, project-level cost and facility-level cost. Consideration should be given to the time value and the investment risk of the funds to estimate the life cycle cost of the project precisely. Taking economic efficiency and environmental load as dual objectives under resource constraints, a green building project portfolio selection model is built by using the 0-1 goal programming and solved to select the optimal green building project portfolio. The model is introduced into Wanda's green building project to examine the feasibility and effectiveness.

Key words: green building; activity-based costing; goal programming; project portfolio

【编辑 吴晓利】