

熵权基点决策法在绿色施工评价中的应用^①

罗佳^{1,3}, 张坤²

(1. 中国矿业大学 力学与建筑工程学院, 北京 100083; 2. 湖南省社会科学院, 湖南 长沙 410083;

3. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:绿色施工是实现建造方式由劳动力密集型向技术密集型、由粗放型向集约型转变的组织方式。保证绿色施工的有效推进,一方面要创新绿色施工技术,另一方面要采取科学的评价方法。在已有文献的基础上,构建了一套科学的绿色施工评价指标体系,并运用熵理论和基点的决策分析方法建立综合评价模型,在一定程度上克服了以往绿色施工评价中的指标主观、测量效果不准确的问题。通过对某工程施工实例分析证明,该方法实用性强,可以应用于工程项目的前期招标方案评价和施工中、后期的施工质量评价。

关键词:绿色施工;熵;基点;评价

中图分类号:U458.1

文献标志码:A

文章编号:1672-7835(2015)05-0088-05

Application of the entropy theory and base points method in green construction assessment

LUO Jia^{1,3} & ZHANG Kun²

(1. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

2. Hunan Academy of Social Sciences, Changsha 410083, China;

3. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Green construction (GC) has become an inevitable choice of current engineering construction. Green Construction scheme, which contains scientific and effective construction of the indicator, is helpful to promote the development of green construction and evaluation. Based on the energy and resource utilization, environmental impact of construction, construction enterprise integrated management, and technical support, this paper develops a set of objective, feasible GC index system, and employs the entropy theory and method of base points to establish a mathematical model. Through analyzing engineering examples, the method is practical which can be used in the early period of the project bidding scheme evaluation and construction of quality evaluation of the later - period.

Key words: green construction; entropy; base points; evaluation

绿色施工模式并不是一种完全脱离传统施工模式的全新的、科技含量高、技术复杂的施工方式,而是一种用可持续发展的思路对传统施工模式进行重新优化的,使其成为保护环境、节约资源、减少污染物排放的施工模式。

国外学界对绿色施工的研究与企业对绿色施工的实践均处于领先地位。一些发达国家已制定较完善的绿色施工标准化体系,甚至制定了相关的法律法规,同时也形成了成熟的评价体系与方法,如英国

① 收稿日期:2015-02-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70971140);铁道部科技研究开发计划项目(2011Z016)

作者简介:罗佳(1982-),女,湖南湘潭人,博士生,主要从事工程管理研究。

的建筑研究组织环境评价法、美国的能源及环境设计先导计划评定系统、日本的建筑物综合环境性能评价体系、加拿大的绿色建筑挑战等。我国绿色施工起步则较晚,2004年才在北京推行。2008年奥运会也采取了某些相关的绿色建筑标准。但在我国仍然缺乏满足实际应用的指标体系,尤其是较大工程项目的施工招、投标仍以工程施工造价作为竞标的基本指标,缺乏对施工方案的绿色施工指标考核,难以满足工程建设实际应用的需求,这严重制约了我国绿色施工管理与绿色施工技术的发展,阻碍了绿色施工理论的推广应用^[1]。因此,在施工方案的设计和选择阶段提高绿色施工的要求,以科学的评价方法对施工方案进行筛选和评定是绿色施工研究的重要课题之一。

1 文献综述

绿色施工理论最早可以追溯到20世纪30年代,美国建筑学家富勒提出了“少费而多用”原则,这一原则的学理基础即生态学的循环利用思想,通俗地讲,就是要充分、合理、有效地利用有限的物质资源,来满足人类不断增长的生存需要^[2]。在绿色运动的推动下,绿色可持续发展思想从建筑延伸到工程施工领域,20世纪80年代,日、美、德等发达国家开始绿色施工实践的探索,分别制定了相应的政策,为绿色施工提供制度保障。学术界也通过理论研究提供技术支持,研究成果涉及到了施工过程的各个阶段,具有较强的技术性和实践性。一些学者等结合精益生产思想,提出了施工过程分析(CPA)方法和施工生命周期评估(LAC)方法^{[3][4]}; Tam和Gangol等人在绿色施工评价研究过程考虑管理表现因素和执行表现因素对施工项目的影响问题^{[5][6]}。Kubba和Hwang介绍了国外绿色施工的工程管理工作过程和评价方法^{[7][31][8]}。

我国的绿色施工虽然起步晚,但是在绿色施工评价研究方面也取得了比较丰富的研究成果,具体体现在关于绿色施工方案的优化选择、绿色施工管理的经济性、项目环境管理、方案选择以及绿色施工评价各个方面。有的学者研究了施工全过程的绿色施工的要点、难点和评价(GCA)指标体系^{[9][10]};有的学者从工程项目的管理因素识别出发,分析了工程施工管理中的主要因素,为绿色施工评价研究提供了指导^{[11][12]};有的学者从施工项目绩效管理的视角研究了绿色施工的项目管理问题^{[13][14][15]};还有学者从工程专业技术的角度研究了绿色施工方案的设计和评价问题^{[16][17][18]}。

综上所述,虽然国内外众多学者和机构运用不同的方法,针对绿色施工评价指标体系进行了研究,并建立了评价模型。但是通过分析已有的研究成果发现,绿色施工指标体系中定性指标较多,增加了评价的不确定性,因此,绿色施工中的定性指标和影响施工的未知因素进行综合考虑是目前该领域研究的重点,在前人研究的基础上构建一套绿色施工方案评价指标体系,并引入基点和熵理论,建立指标权体系系数的数学模型,并给出精确解,能提高复杂项目绿色施工方案选择的科学性和实用性。实例证明,该方法适用于外国建设项目绿色施工方案的评选,可以为建设项目绿色施工评价提供依据。

2 绿色施工方案指标体系构建及评价

2.1 绿色施工方案评价指标的选取

已有文献中涉及的绿色施工评价指标体系包含了施工管理、环境保护、节水、节能、节地等方面的内容,以及绿色建筑和奥运工程绿色施工等评价指标,因此,在构建绿色施工方案评价指标时,应尽量与已有指标相协调。而且,在绿色施工方案的评价中注重施工的组织设计,以便考察施工企业未来施工中的行为表现。本文在参考国内外研究成果的基础上,从能源资源利用、施工环境保护、施工企业综合管理以及技术支持4个方面选取绿色施工方案评价指标(见表1)。

评价指标体系共分3级,第一层为目标层、子目标层和指标层。绿色施工方案评价是评价的总目标。子目标层,分别是能源与资源利用(用以测量施工过程中是否遵循了“少费多用”原则)、施工环境影响(用以测量工程对自然和社会环境的影响程度)、施工企业综合管理(用以测量施工企业的管理水平)和施工技术支持(用以测量使用技术的规范性和科学性)。指标层,包括节材措施(X_1)、节水措施(X_2)、节能措施(X_3)、节地与施工用地保护(X_4)、大气扬尘控制(X_5)、噪音振动控制(X_6)、光污染控制(X_7)、水污染控制(X_8)、土壤保护(X_9)、建筑垃圾控制(X_{10})、地下设施文物和资源保护(X_{11})、现场施工管理(X_{12})、员工安全与健康(X_{13})、周边协调管理(X_{14})、项目规划设计(X_{15})、绿色施工技术(X_{16})共16个指标,指标的含义较为简单明了,文中不再进行详细阐释。

表1 绿色施工方案评价指标体系

| 目标层 | 子目标层 | 指标层 |
|------------------|----------|-------------------------|
| 绿色施工方案 评价指标体系 | 能源与资源利用 | 节材措施(X_1) |
| | | 节水措施(X_2) |
| | | 节能措施(X_3) |
| | | 节地与施工用地保护(X_4) |
| | 施工环境影响 | 大气扬尘控制(X_5) |
| | | 噪音振动控制(X_6) |
| | | 光污染控制(X_7) |
| | | 水污染控制(X_8) |
| | | 土壤保护(X_9) |
| | | 建筑垃圾控制(X_{10}) |
| | | 地下设施文物和资源保护(X_{11}) |
| | 施工企业综合管理 | 现场施工管理(X_{12}) |
| | | 员工安全与健康(X_{13}) |
| | | 周边协调管理(X_{14}) |
| | 施工技术支持 | 项目规划设计(X_{15}) |
| | | 绿色施工技术(X_{16}) |

2.2 熵和基点决策方法在绿色施工方案综合评价中的应用

针对工程建设过程中的实际情况,解决施工方案综合评价中的不确定性和问题,将熵权基点理论应用于绿色施工的方案综合评价,其主要思想是:选取基点方案(一般是理想方案),利用绿色施工评价指标体系,将待评施工方案与基点方案进行比较后得出指标权系数。在权系数比较过程中,引入熵来描述权系数的随机性,以优化理论和最大熵原理为依据,建立了确定指标权系数的教学模型,并给出精确解。

具体步骤如下,假设待评施工方案 n 个,记为集合 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$; 评价指标个数为 m 个,记作 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$, 则 $m \times n$ 个指标的构成矩阵为: $A = [a_{ij}]_{n \times m}$, 方案集对指标集的评价矩阵,假设最优施工方案为 C_{n+1} , 得到扩展评价矩阵 $\bar{A}_{(n+1) \times m}$ 。按照绿色施工方案评价指标三类属性对其进行规范化处理,得到规范化数学矩阵为 R :

$$R = [r_{ij}]_{n \times m}$$

将评价价值越大越好的效益型指标 (I_1) 规范化为:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - a_j^{\min}}{u_j - a_j^{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, n + 1)$$

将评价价值越小越好的成本型指标 (I_2) 规范化为:

$$r_{ij} = \frac{a_j^{\max} - a_{ij}}{a_j^{\max} - u_j} \quad (i = 1, 2, \dots, n + 1)$$

将评价价值越接近某一固定值越好的固定型指标 (I_3) 规范化为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 1 - a_{ij} - u_{\Delta_i} \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, n + 1)$$

而基点方案的 m 个评价指标各分量值均为 1。

设 m 维指标的权重为 $w, w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$, 则 $\sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j > 0, j = 1, 2, \dots, m$ 。那么, B_i (方案 i) 的综合评价价值 V_i 等于:

$$V_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij}$$

由于绿色施工评价指标的实际权系数具有很强的不确定性,所以,可将评价指标的权系数 w_j 理解为第 j 个绿色施工方案评价指标在整个指标体系 B 中的概率,用香依信息熵表示指标权系数的不确定

性,记作:

$$f_i(w) = \sum_{j=1}^m w_j |1 - r_{ij}|, i = 1, 2, \dots, n$$

表示方案 i 的评价结果 C_i 与基点方案的评价结果 C_{n+1} 的加权距离。根据最优化原则,所有方案的评价值与基点方案的评价值进行比较,其中与基点方案评价值加权距离之和最小的方案即为最优方案,同时,为了消除绿色施工方案评价指标权系数的不确定性,根据熵理论建立数学模型为:

$$\min \mu \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_j |1 - r_{ij}| + (1 - \mu) \sum_{j=1}^m w_j \ln w_j \quad \text{s. t.} \quad \sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m$$

其中,参数 μ 为方程的平衡系数, $0 < \mu < 1$, 因此,绿色施工方案评价指标权系数模型的唯一解为:

$$w = \left[\frac{S_1}{\sum_{j=1}^m S_j}, \frac{S_2}{\sum_{j=1}^m S_j}, \dots, \frac{S_m}{\sum_{j=1}^m S_j} \right]^T$$

$$s_j = \exp \left\{ - \left[\frac{1 + \mu \sum_{i=1}^n (1 - r_{ij})}{1 - \mu} \right] \right\}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

则各方案评价值 V_n :

$$(V_1, V_2, \dots, V_n)^T = R \times w = [r_{ij}]_{n \times m} \times \left[\frac{S_1}{\sum_{j=1}^m S_j}, \frac{S_2}{\sum_{j=1}^m S_j}, \dots, \frac{S_m}{\sum_{j=1}^m S_j} \right]^T$$

$$s_j = \exp \left\{ - \left[\frac{1 + \mu \sum_{i=1}^n (1 - r_{ij})}{1 - \mu} \right] \right\}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

根据绿色施工方案综合评价值取最大的原则就可以确定各种施工方案的情况。

2.3 评价算例

以云南某公路项目为例,说明基于熵权基点理论分析法的绿色施工方案评价中的应用,并验证它的实用性。该项目为 PPP 项目,政府期望将绿色施工理念贯穿于整个项目的全生命周期,因此,在项目招标过程中对所有标的的综合考察运用了绿色施工评价指标体系,特别注意了施工中的节水、节电、节材、保质等方面,通过综合考量四个备选方案,最终确定了 4# 方案为实施方案,并达到了很好的预期效果。运用上文提出的理论方法对该项目进行论证,以验证熵权基点理论在绿色施工凭借埃中的科学有效性。具体步骤如下:

首先,对该项目的四个施工方案进行评价分析,为了便于计算和描述,将其分别记为:方案 1#、方案 2#、方案 3#和方案 4#。

其次,对四个方案的施工设计的绿色施工指标相关内容进行评分,汇总得到 4 个方案每个方案 16 个指标的评价值,构成评价矩阵,结果见表 2。

表 2 绿色施工方案评价矩阵

| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | X ₉ | X ₁₀ | X ₁₁ | X ₁₂ | X ₁₃ | X ₁₄ | X ₁₅ | X ₁₆ |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 现场 1# | 0.95 | 0.97 | 0.88 | 0.99 | 0.98 | 0.93 | 0.93 | 0.87 | 0.93 | 0.82 | 0.98 | 0.86 | 0.89 | 0.86 | 0.98 | 1 |
| 现场 2# | 0.90 | 0.95 | 0.85 | 0.85 | 0.98 | 0.89 | 0.88 | 0.84 | 0.91 | 0.83 | 1 | 0.84 | 0.88 | 0.94 | 0.92 | 0.99 |
| 现场 3# | 0.91 | 0.93 | 0.84 | 0.84 | 0.98 | 0.88 | 0.82 | 0.80 | 0.89 | 0.81 | 1 | 0.85 | 0.90 | 0.89 | 0.94 | 1 |
| 现场 4# | 0.90 | 0.92 | 0.83 | 0.83 | 0.98 | 0.88 | 0.83 | 0.83 | 0.89 | 0.84 | 0.99 | 0.84 | 0.85 | 0.85 | 0.90 | 1 |

第三,构造基点矩阵方案;聘请专家确定公路项目的绿色施工的基点方案,根据本文的指标体系基点方案的评价值为(91.5,95.0,84.5,97.0,98.0,89.0,87.0,83.0,90.0,83.5,99.0,85.0,88.0,88.0,93.0,99.0)。

第四,规范化评价矩阵,得到评价矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} 0.973 & 0.999 & 0.828 & 0.882 & 1.000 & 0.780 & 0.874 & 0.945 & 0.919 & 0.884 & 0.882 & 0.960 & 0.870 & 0.954 & 0.975 & 0.870 \\ 0.801 & 0.730 & 0.880 & 0.906 & 1.000 & 0.839 & 0.827 & 0.781 & 0.865 & 0.990 & 0.506 & 1.000 & 0.895 & 0.995 & 0.998 & 0.895 \\ 0.946 & 0.781 & 0.917 & 0.783 & 1.000 & 0.865 & 0.900 & 0.876 & 0.910 & 0.917 & 0.883 & 0.955 & 0.905 & 0.880 & 0.885 & 0.884 \\ 0.870 & 0.829 & 0.983 & 0.950 & 1.000 & 0.966 & 0.992 & 0.905 & 0.995 & 0.986 & 0.865 & 1.000 & 0.966 & 0.955 & 0.835 & 0.900 \end{bmatrix}$$

第五,计算权向量 w :

$$w = (0.075 \quad 0.080 \quad 0.054 \quad 0.062 \quad 0.062 \quad 0.066 \quad 0.054 \quad 0.051 \quad 0.065 \quad 0.060 \quad 0.061 \quad 0.067 \quad 0.061 \quad 0.059 \quad 0.062 \quad 0.061)^T$$

最后,得到4种绿色施工方案综合评价值为 V :

$$V = (0.816, \quad 0.783, \quad 0.753, \quad 0.825)^T$$

从分析结果既可以看出4个施工方案的绿色施工方案的水平(次序),依次为方案4#、方案1#、方案2#和方案3#。这对于辩证地评价和改进4个绿色施工方案,提高该公路项目绿色施工水平具有十分重要的意义。

3 结论

(1)在绿色施工评价中,建立施工方案评价的分析模型,利用熵权基点理论解决了评价指标间的信息不全、不确定性问题,能够使评价更具操作性和实用性。

(2)实例应用表明,利用熵权基点理论建立数学模型评估绿色施工方案,能够有效实施施工前期控制,为工程项目的绿色施工方案选择提供科学依据,同时,将最终方案与基点方案进行对比发现,提高该方案的绿色施工水平的关键是要进一步完善施工安全业绩考核,提高项目施工过程中的安全检查与监督及应急管理。可见,利用熵权基点理论不但能够进行绿色施工方案的选择,还能用于已选绿色施工方案的优化,能够提高施工现场安全预控有效性。

参考文献:

- [1] 王文谱,陈斌. 环境政策对绿色技术创新的影响研究[J]. 经济经纬,2013(5):13-18.
- [2] 李美云,范参良. 绿色施工评价指标体系研究[J]. 工程建设,2008,40(1):59-59.
- [3] 陈熙,骆仁俊. 基于精益建造的工程项目质量控制[J]. 工程管理学报,2010,24(2):160-163.
- [4] Li X, Zhu Y, Zhang Z. An LCA - based environmental impact assessment model for construction processes[J]. Building and Environment, 2010, 45(3): 766-775.
- [5] Tam C M, Tam V W Y, Tsui W S. Green construction assessment for environmental management in the construction industry of Hong Kong[J]. International Journal of Project Management, 2004, 22(7): 563-571.
- [6] Gangolells M, Casals M, Gassó S, et al. A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings[J]. Building and Environment, 2009, 44(3): 558-571.
- [7] Kubba S. Green construction project management and cost oversight[M]. Taylor & Francis, 2010.
- [8] Hwang B G, Ng W J. Project management knowledge and skills for green construction: Overcoming challenges[J]. International Journal of Project Management, 2013, 31(2): 272-284.
- [9] 黄喜兵,黄庆,武小菲. 绿色施工的模糊综合评价[J]. 西南交通大学学报,2008,43(2):292-296.
- [10] 申琪玉,张海燕. 绿色施工评价体系研究[J]. 科学技术与工程,2009,9(14):4063-4063.
- [11] 段志成,陈通. 工程项目管理因素识别及其关系模型研究[J]. 安徽大学学报(哲学社会科学版),2013,37(3):150-156.
- [12] 周群. 价值工程在施工管理中的应用[J]. 工业工程,2005,8(1):45-48.
- [13] 柏文杰. 成本——价值:绿色施工经济性分析[J]. 价值工程,2010,29(027):116-116.
- [14] 赵升琼,李惠强. 基于成本分析的绿色施工方案评价[J]. 华中科技大学学报(城市科学版),2006,23(2):46-48.
- [15] 朱金生. 绿色工程管理及其工程价值观研究[J]. 价值工程,2012,31(32):112-114.
- [16] 李小冬,王帅,张智慧,等. 施工阶段环境影响的定量评价[J]. 清华大学学报(自然科学版),2009,5(9):1484-1487.
- [17] 仇文革,李俊松,胡兰,等. 基于WebGIS的地下工程安全风险管理系统[J]. 西南交通大学学报,2011,46(6):953-959.
- [18] 洪锋,王东,万云华. 基于模糊综合评判的桩基础绿色施工指标体系研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版),2009,34(4):47-51.