

建筑企业环境表现评价系统 (C-EPSS)层套 AHP 计算模型

申立银, 吴德华

(香港理工大学建筑及房地产学系)

【摘要】 建筑施工活动一般被认为是环境污染的重要来源,随着人们对环境问题的日益关注,正确评价建筑承包企业环境表现从而采取合理的管理措施,已经成为重要的研究课题。本文旨在研究如何评价建筑承包企业在建筑施工过程中的环境表现,并对其表现出具诊断意见。为此通过对香港和内地建筑承包商的重点考察,采用调查问卷对承包商、业主、研究人员和相关从业者收集的意見的基础上,甄选了环境指标和环境要素,设计了层套 AHP 计算模型。

【关键词】 指标;要素;权重值;层套 AHP 计算模型

【中图分类号】X

【文献标识码】A

【文章编号】1005-2909(2002)04-0065-09

Multi-hierarchy AHP Calculation Model for contractor's environmental performance

SHEN Li-yin, WU De-hua

(Department of Building & Real Estate, Hong Kong Polytechnic University)

Abstract Contractor's environmental performance is increasingly seen as one of the primary environment research objectives, which can be regarded as the results of the human being's activities in construction. This paper introduces a Multi-hierarchy AHP Calculation Model(MHAHP CM) for contractor's environmental performance and this MHAHP CM is consisted with calculating processes, which can be expressed with the specific calculation formulas and forms. In order to determine the weighting coefficients of indicators and factors, the data had been conducted just after hundreds of responses of questionnaires had been collected. This paper is just based on the initial research of Construction Environmental Performance Scoring System, so some initial research results shall be cited directly and it supplies the strong basis for future research work, too.

Keywords Indicator; factor; weighting coefficient; multi-hierarchy AHP Calculation Model

一、前言

众多的研究资料表明,越来越多的研究工作开始探索建筑活动与自然环境的相互影响。在讨论发展中国家被免除承担全球变暖所应承担的新义务时,BaBa(1998)年研究了亚洲地区的发展中国家随着建筑业的蓬勃发展而带来的相关环境问题。他认为目前存在的严重的问题之一是,在发达国家和发展中国家中,人们对于在建设活动中推动环境保护存在着观念上的差别。来自发达国家的观点认为环境友好的建设活动,其功用是在能源和资源消耗的基础上提供给人类舒适的居住和生活环境,而发

展中国家更多关注是尽可能少的占用和消耗能源和自然资源而提供给人们基本的居住和生活条件。Govorushko(1996)讨论了环境评价在项目前期研究工作中的重要性,并且具体甄别了在设计阶段所需考虑的一些重要的对自然环境会有影响的要素。其他的研究表明建筑施工活动对环境有着广泛的影响(Bourdeau et al., 1998; Treloar 1996; Ofori and Chan, 1998),特别是对土壤流失,耕地破坏,森林原野的损毁以及对不可更新资源和能源的消耗等。针对建筑活动对自然环境的影响,许多政府都颁布有法律法规以保护环境。但仅立法活动本身对环境保护的作

【收稿日期】 2002-09-10

【作者简介】 申立银(1956-),男,香港理工大学副教授,博士,从事建筑与房地产教学研究。

用有一定的局限性,还需要诸多因素和措施的配合,比如对各种建筑活动的监督控制等(Chan, 2000),以使工程建设项目对环境的负面影响最小。

针对环境保护在各行业的重要性,ISO14000 系列标准作为保护环境的最新标准在各行业都在逐步推行,它的核心内容就是在企业内部建立一套完善的环境管理体系 ISO14001(ISO, 1998)。ISO14001 建立的是一种市场驱动机制,但同时考虑了平衡环境保护和社会经济发展的需要,因而体现了可持续发展发展的原则(Ofori, 1998)。对于那些有效实施并建立了 ISO14001 环境保护体系的企业,将颁发给 ISO14000 证书。但 ISO14000 证书本身并不表示企业其产品或生产过程对环境保护的实际价值,作为一种指导性的标准,ISO14000 系列标准也不能帮助企业诊断出造成环境表现不佳的具体原因(HKPC, 1998; Lp, 2000)。目前在推行 ISO14000 系统应用于建筑活动中有一个典型的局限,即是系统对建筑承包商的实际环境表现不能作出全面的评价,难于在施工过程中采取针对性措施,也导致了公众与项目业主监控的有限性(Shen and Zhang, 1999)。

本文的研究旨在探索开发一套评价系统(C-EPSS)去衡量承包商的环境表现,它通过建立评价环境表现的指标,以及辨别影响承包商环境表现的要素,利用调查问卷确定各评价指标和评价要素的权重,再利用层套 AHP 模型计算出承包商在环境表现各指标方面的具体分值作为评价和衡量其环境表现的依据。通过该系统的应用不仅可以客观有效地反应承包商的环境表现,还能帮助承包商诊断出其在环境方面表现欠佳的原因并采取改进措施。

二、环境评价要素的选择

在建立环境评价要素体系之前,我们可以参考一下在香港公共房屋建设项目实施过程中采用的质量评价系统。香港房屋署采用 PASS 系统作为评价承包商质量表现的最主要的工具。目前 PASS 在香港得到了广泛的实施。PASS 的整个评价体系是由众多的分项组成的,它们都有相应的评判标准。然而由于评判过程依赖于具体评判人员的专业判断,所以判断的主观性是不可避免。而评判工作本身是由项目成员承担的,他们可能同承包商有着一定的关系,因此使评判工作的客观性更难以得到保证(Lai, 1999)。关于 PASS 争论较多的一个问题是它评价的目的是注重用来予以惩罚或奖励,而不是重在提供给承包商怎么改进表现不佳之处的信息。PASS 评价工具是以监测为主的(主要用来监测承包

商是否和所设定的标准表现一致)而不是以预防为主的(Milliman, 1997)。PASS 系统本身着重于质量评价,对项目环境方面的表现虽然有所涉及,但仅作为质量范畴内的一个因素予以考虑。而 PASS 系统对 C-EPSS 系统开发中要素的选择确有重要的参考价值。

许多文献资料和研究鉴别出了众多的与建筑活动密切相关的环境要素,这些要素均对环境有一定的影响。它们具体包括材料的选择,建筑技术的应用,有毒化学物质的控制,有毒废弃物的处置,建筑废料的回收,配件的重复利用和环境立法和教育等(Augenbroe 和 Pearce, 1998; Chan, 2000; Ip 和 Shen, 2000; Ofori, 1998; CIB, 1998)。这些环境要素被分为四类:工程类要素、现场管理类要素、项目管理类要素和技术类要素。具体分类见表 1。

表 1 环境要素

第一级要素	第二级要素	第三级要素
工程类	结构性工作	土方开挖 模板工程 钢筋工程 混凝土工程 废物处理
	建筑性工作	墙体、屋顶及隔断 配件安装 管线及给排水 装饰及油漆 环境整饰 废物处理
现场管理类	现场表现	现场安全 材料保管及安全 卫生及防护
	员工健康及 社区安全	保健及疾病预防 社区安全
项目管理类	管理及组织结构	管理组织结构 现场规划
	人力资源	劳动力 设备 材料
	分工合作及监控	分工 监控 合作
	文件工作	文件的分发 环境报告
技术类	程序及过程	程序 过程 里程碑
	信息技术 建筑技术 劳动技能	

三、环境评价指标的选择

以往的研究识别出了一些典型的环境评价指标比如:水污染、噪音、空气污染、污水排放、土壤破坏、固体废物堆放、森林和沃土流失、不可再生能源的消耗、不可再生材料的消耗、健康危害、物种多样性减少等(Core, 1998; Treloar, 1996; Ofori, 1998)。在此基础上本研究通过向项目业主、设计师、项目经理、承包商和分包商具体调查和收集他们对众多环境评价指标的意见,以期建立完备的指标体系。根据HK-BEAM(Hong Kong Building's Environmental Assessment Method)中所阐释的环境观点,应该从三个层次即全球观点和资源使用,地方观点和室内观点分别考虑这些指标的设置(CETL, 1999)。

1. 全球观点和资源使用。此观点重视建筑活动对整个地球的影响包括对大气层的影响和能源利用在内,此类观点包括几个具体指标比如,由于温室气体的排放导致气候的变化;臭氧层的破坏;森林砍伐和生物多样性的减少;自然资源的破坏;水资源的退化和食物生产能力的衰退等。

2. 地方观点。此观点注重建筑活动对一个地区比如香港的整体环境影响,或者建筑物周边的环境,其具体指标包括生态影响;减轻环境影响的措施;建筑施工噪音污染;建筑设备噪音污染;空气污染;废弃物保存;水污染和污水排放等。

3. 室内观点。此观点包括建筑设计,安装,装修和使用各方面。在诸多方面中有众多指标可以影响居住者健康和舒适。这些具体的指标包括:热力学舒适性;室内空气质量;照明质量;噪音;振动和有毒材料等。

为了区别建筑活动对环境整体影响,Wolley (1997)建立了一些指标用来衡量建筑活动在环境方面的表现。这些指标能够从不同的角度测量建筑物对环境的影响。如果把这些指标通过分类处理,它们将能更有效和合理地用来评估环境的影响。这些指标的分类为本文研究的承包商在建筑过程中环境表现提供了重要的参考依据和基础。选择用于研究的环境指标将根据以下几个原则进行:指标特征简单易明;指标内容尽可能地不重叠;便于评估;变化具有敏感性等。挑选的指标被分为五类,包括生态环境类、能源及资源影响类、可持续性发展影响类、公众影响类和人员影响类(WU Dehua, 2000; SHEN Liyin, 2001; Dehua WU, 2001)。具体内容见表2 环境评价指标列表。

表2 环境评价指标

第一级指标	第二级指标
生态环境类	酸雨
	微粒
	温室效应
	臭氧消耗
	有毒物质
	废物
	空气污染
	土壤污染
	水体污染
	噪音污染
能源及资源影响类	光化学污染
	能源消耗
	热力学性能
	生物资源消耗
可持续性发展影响类	非生物资源消耗
	回收物资的利用
	材料的重复使用
	材料的保养
公众影响类	可更新材料的使用
	可再生能源的使用
	公众健康
	公众安全
	工地文明施工
人员影响类	社区交流
	当地经济发展
	公共关系
	环境工程师职位设置
	职业健康保障
	职业安全措施
	工作条件

四、因素的权重

在评估系统中,需要甄别出的要素和指标具有不同的重要性,为了较为准确地反应出因素间的重要性差别,需要确定各因素的权重值。权重值的确定是通过调查问卷进行。调查问卷中对因素的重要程度设定了十个等级,从没有影响的1到最重要的10,具体分类见表3。如果根据收集数据处理后,指标因素的重要程度小于4,则该因素将从系统中被剔除出去。

表3 不同类别的分值

分值	等级	缩略词	分值	等级	缩略词
10	最重要	FI	5	一般重要	CmI
9	极其重要	MI	4	不太重要	LI
8	很重要	VI	3	有些影响	SI
7	比较重要	CpI	2	很小影响	HI
6	有些重要	PI	1	没有影响	N

研究过程中分发了超过 2000 份调查问卷, 这些问卷分别收集了来自业主、承包商、设计师、材料供应商、咨询人员、政府官员、研究人员和其他专业人士的意见。共收回超过 500 份调查问卷。不同类别反馈回来的调查问卷在整个收集回来的问卷中分占的比例见图 1。

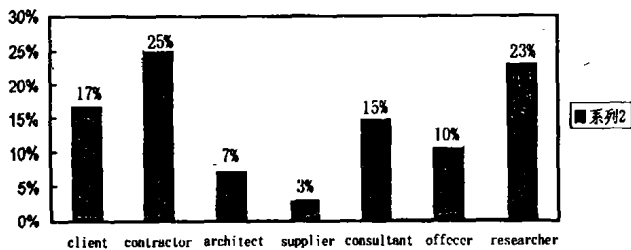


图 1 反馈者比例

根据收集的调查问卷的数据, 通过下面公式(1)计算各因素的重要分值(S_{xyz}), 各因素的相对权重值(W_{xyz})计算见公式(2), (3), (4)。

$$S_{xyz} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (1)$$

R_i ——反馈回单个调查问卷中因素具体得分

n ——回收的调查问卷份数

S_{xyz} ——环境因素(环境要素或环境指标)的重要分值, 当 $z=0, y=0$ 且 $x \neq 0$ 时, 简记为 S_x 表示第一级环境因素的重要分值; 当 $z=0$, 且 $y, x \neq 0$ 时, 简记为 S_{xy} , 表示第二级环境因素的重要分值; 当 $z, y, x \neq 0$ 时, 简记为 S_{xyz} , 表示第三级环境要素的重要分值。

$$W_{xyz} = \frac{S_{xyz}}{\sum_x S_{xyz}} \quad (2)$$

S_{xyz} ——第三级环境要素的重要分值

W_{xyz} ——第三级环境要素的相对权重值。当 $z=0, y=0$ 且 $x \neq 0$ 时, 简记为 W_x 表示第一级环境因素的相对权重值; 当 $z=0$, 且 $y, x \neq 0$ 时, 简记为 W_{xy} , 表示第二级环境因素的相对权重值, 当 $z, y, x \neq 0$ 时, 简记为 W_{xyz} , 表示第三级环境要素的相对权重值。

$$W_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sum_y S_{xy}} \quad (3)$$

S_{xy} ——第二级环境因素(环境指标或环境要素)的重要分值

W_{xy} ——第二级环境因素的相对权重值

$$W_x = \frac{S_x}{\sum_x S_x} \quad (4)$$

S_x ——第一级环境因素(环境指标或环境要素)的重要分值

W_x ——第一级环境因素的相对权重值

反馈回来的数据经处理后各因素的重要分值和各自权重值见表 4 和表 5。

表 4 环境评价要素的重要分值和权重值列表

环境要素	重要分值 (S_{xyz})	权重值 (W_{xyz})
工程类(F_1)	7.64	0.25
现场管理类(F_2)	7.55	0.25
项目管理类(F_3)	7.84	0.26
技术类(F_4)	6.95	0.23
结构性工作(F_{1-1})	7.74	0.50
建筑性工作(F_{1-2})	7.86	0.50
现场管理(F_{2-1})	8.07	0.51
员工健康及社区安全(F_{2-2})	7.69	0.49
管理及组织结构(F_{3-1})	8.06	0.22
人力资源(F_{3-2})	7.50	0.21
分工合作及监控(F_{3-3})	7.45	0.21
文件工作(F_{3-4})	6.29	0.17
程序及过程(F_{3-5})	6.82	0.19
信息技术(F_{4-1})	6.21	0.30
建筑技术(F_{4-2})	7.74	0.37
劳动技能(F_{4-3})	6.89	0.33
土方开挖(F_{1-1-1})	7.71	0.21
模板工程(F_{1-1-2})	6.88	0.19
钢筋工程(F_{1-1-3})	6.62	0.18
混凝土工程(F_{1-1-4})	7.42	0.20
废物处理(F_{1-1-5})	7.84	0.21
墙体、屋顶及隔断(F_{1-2-1})	7.18	0.16
配件安装(F_{1-2-2})	6.59	0.15
管线及给排水(F_{1-2-3})	7.27	0.16
装饰及油漆(F_{1-2-4})	7.67	0.17
环境整饰(F_{1-2-5})	7.81	0.18
废物处理(F_{1-2-6})	8.05	0.18
现场安全(F_{2-1-1})	7.68	0.34
材料保管及安全(F_{2-1-2})	7.29	0.32
卫生及防护(F_{2-1-3})	7.75	0.34
保健及疾病预防(F_{2-2-1})	7.78	0.51
社区安全(F_{2-2-2})	7.48	0.49
管理组织结构(F_{3-1-1})	7.65	0.50
现场规划(F_{3-1-2})	7.73	0.50
劳动力(F_{3-2-1})	7.45	0.33
设备(F_{3-2-2})	7.40	0.33
材料(F_{3-2-3})	7.44	0.33
分工(F_{3-3-1})	7.30	0.33
监控(F_{3-3-2})	7.69	0.34
合作(F_{3-3-3})	7.44	0.33
文件的分发(F_{3-4-1})	6.41	0.48
环境报告(F_{3-4-2})	6.95	0.52
程序(F_{3-5-1})	7.16	0.35
过程(F_{3-5-2})	7.12	0.35
里程碑(F_{3-5-3})	6.30	0.31

表 5 环境评价指标的重要分值和权重值

环境指标	重要分值 (S_{ys})	权重值 (W_{y_j})
生态环境类(I_1)	8.60	0.21
能源资源影响(I_2)	7.80	0.20
可持续发展影响类(I_3)	8.05	0.21
社会影响类(I_4)	7.28	0.19
人员影响类(I_5)	7.20	0.19
酸雨($I_{1.1}$)	7.20	0.09
微粒($I_{1.2}$)	6.74	0.08
温室效应($I_{1.3}$)	6.52	0.08
臭氧消耗($I_{1.4}$)	6.20	0.08
有毒物质($I_{1.5}$)	7.88	0.10
废物($I_{1.6}$)	7.48	0.09
空气污染($I_{1.7}$)	8.26	0.10
土壤污染($I_{1.8}$)	7.32	0.09
水体污染($I_{1.9}$)	8.17	0.10
噪音污染($I_{1.10}$)	7.65	0.09
光化学污染($I_{1.11}$)	6.94	0.09
能源消耗($I_{2.1}$)	8.21	0.28
热力学性能($I_{2.2}$)	6.82	0.23
生物资源消耗($I_{2.3}$)	7.39	0.25
非生物资源消耗($I_{2.4}$)	6.69	0.23
回收物资的利用($I_{3.1}$)	8.03	0.21
材料的重复使用($I_{3.2}$)	7.76	0.20
材料的保养($I_{3.3}$)	6.99	0.18
可更新材料的使用($I_{3.4}$)	7.42	0.20
可再生能源的使用($I_{3.5}$)	7.66	0.20
公众健康($I_{4.1}$)	7.32	0.17
公众安全($I_{4.2}$)	8.05	0.19
工地文明施工($I_{4.3}$)	7.87	0.18
社区交流($I_{4.4}$)	7.46	0.17
当地经济发展($I_{4.5}$)	6.37	0.15
公共关系($I_{4.6}$)	5.95	0.14
环境工程师职位设置($I_{5.1}$)	6.84	0.24
职业健康保障($I_{5.2}$)	7.26	0.25
职业安全措施($I_{5.3}$)	7.89	0.27
工作条件($I_{5.4}$)	7.05	0.24

从表 4 和表 5 得知,所有的因素的重要分值都大于 4,所以这些假设性因素全部保留作为评估系统中正式的要索和指标。

五、C-EPSS 系统

1. C-EPSS 系统结构。本模型将采用 AHP 方法计算待评价承包商建筑施工过程中的环境表现分值(EPS)。如果该承包商的 EPS 达到或者超过某个基准,可以考虑授予绿色施工奖(GCA)。该基准将设定在一个合理的标准上,比如只有表现最好的前 10%的承包商才能获得此奖项,以此激励承包商更积极地追求在环境方面的更佳表现。通过依照评判标准,对比承包商在环境方面的表现,并就表现较差的方面提供建设性意见供承包商参考以进一步改善其表现。对承包商在环境方面表现进行评分,对其表现进行诊断并提出修改意见将推动整个建筑业向采用有利于环境保护的技术和建立环境管理系统的

方向发展。整个承包商建筑施工过程环境表现评分系统(C-EPSS)的结构见下图 2。

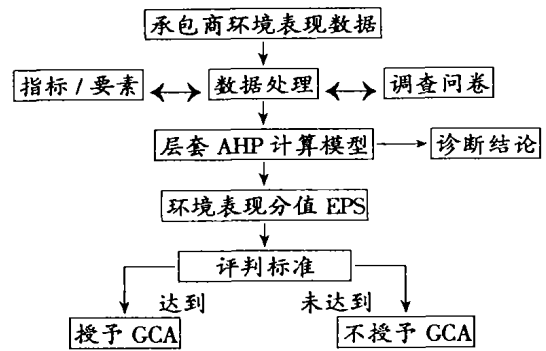


图 2 C-EPSS 结构图

2. 层套 AHP 计算模型。为了阐述该模型的计算过程和方法,以该模型在实际应用中所需收集的第一手资料入手,逐步描述数据在模型中流动的过程来解释该模型的运算原理及方法。现在假设有专家评判团对具体某承包商在某项目的建设过程的环境表现予以评价,我们选择第二级第三个指标 $I_{2.3}$ 进行描述。专家们将根据评判标准对该要素在该指标下的表现做出优秀、良好、一般、较差或者不合格的判断,并将该判断标示在表 6 中。

表 6 第三级环境要素在指标 $I_{2.3}$ 下的表现判断表

第三级环境要素	判断评价				
	优秀	良好	一般	较差	不合格
土方开挖($F_{1.1.1}$)					
评判标准 1:					
评判标准 2:					
.....					
模板工程($F_{1.1.2}$)					
评判标准 1:					
评判标准 2:					
.....					
钢筋工程($F_{1.1.3}$)					
评判标准 1:					
评判标准 2:					
.....					
混凝土工程($F_{1.1.4}$)					
评判标准 1:					
评判标准 2:					
.....					
废物处理($F_{1.1.5}$)					
评判标准 1:					
评判标准 2:					
.....					
项目名称 _____					
签字 _____					
日期: _____					

将评判团专家意见汇总后,将判断的等级频率(概率)填入表 7,于是我们就得到全部第三级环境要素在某一个第二级指标比如指标 $I_{2.3}$ 下表现情况的专家判断矩阵。

表 7 第三级环境要素在指标 $I_{2.3}$ 下表现情况的专家判断矩阵

第三级环境要素	权重	专家判断矩阵(Rf_3)
土方开挖($F_{1.1.1}$)	0.21	
模板工程($F_{1.1.2}$)	0.19	
钢筋工程($F_{1.1.3}$)	0.18	
混凝土工程($F_{1.1.4}$)	0.20	
废物处理($F_{1.1.5}$)	0.21	
墙体、屋顶及隔断($F_{1.2.1}$)	0.16	
配件安装($F_{1.2.2}$)	0.15	
管线及给排水($F_{1.2.3}$)	0.16	
装饰及油漆($F_{1.2.4}$)	0.17	
环境整饰($F_{1.2.5}$)	0.18	
废物处理($F_{1.2.6}$)	0.18	
现场安全($F_{2.1.1}$)	0.34	
材料保管及安全($F_{2.1.2}$)	0.32	
卫生及防护($F_{2.1.3}$)	0.34	
保健及疾病预防($F_{2.2.1}$)	0.51	
社区安全($F_{2.2.2}$)	0.49	
管理组织结构($F_{3.1.1}$)	0.50	
现场规划($F_{3.1.2}$)	0.50	
劳动力($F_{3.2.1}$)	0.33	
设备($F_{3.2.2}$)	0.33	
材料($F_{3.2.3}$)	0.33	
分工($F_{3.3.1}$)	0.33	
监控($F_{3.3.2}$)	0.34	
合作($F_{3.3.3}$)	0.33	
文件的分发($F_{3.4.1}$)	0.48	
环境报告($F_{3.4.2}$)	0.52	
程序($F_{3.5.1}$)	0.35	
过程($F_{3.5.2}$)	0.35	
里程碑($F_{3.5.3}$)	0.31	

对表 7 的数学描述如下

$$Rf_3 = \begin{bmatrix} r_{311} & r_{312} & \cdots & r_{315} \\ r_{321} & r_{322} & \cdots & r_{325} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{3m1} & r_{3m2} & \cdots & r_{3m5} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Rf_3 ——第三级环境要素在第二级环境指标 $I_{2.3}$ 下的专家判断概率矩阵

m ——第三级环境要素中待判断类要素数量

r_{3m5} ——第三级环境要素在第二级环境指标 $I_{2.3}$ 下的专家判断概率值

则第三级环境要素在指标 $I_{2.3}$ 下的评判结果 Bf_3 可表示为

$$Bf_3 = Af_3 \cdot Rf_3 = (r_{2m1}, r_{2m2}, \cdots, r_{2m5}) \quad (6)$$

Af_3 ——第三级环境要素权重矩阵

Bf_3 ——第三级环境要素评判结果

将 Bf_3 汇总填入表 8,得到第二级环境要素在第二级环境指标 $I_{2.3}$ 下的专家判断矩阵。

表 8 第二级环境要素在第二级环境指标 $I_{2.3}$ 下的专家判断矩阵

第二级环境要素	权重	专家判断矩阵(Rf_2)
结构性工作($F_{1.1}$)	0.50	
建筑性工作($F_{1.2}$)	0.50	
现场管理($F_{2.1}$)	0.51	
员工健康及社区安全($F_{2.2}$)	0.49	
管理及组织结构($F_{3.1}$)	0.22	
人力资源($F_{3.2}$)	0.21	
分工合作及监控($F_{3.3}$)	0.21	
文件工作($F_{3.4}$)	0.17	
程序及过程($F_{3.5}$)	0.19	
信息技术($F_{4.1}$)	0.30	
建筑技术($F_{4.2}$)	0.37	
劳动技能($F_{4.3}$)	0.33	

对表 8 的数学描述如下

$$Rf_2 = \begin{bmatrix} r_{211} & r_{211} & \cdots & r_{215} \\ r_{221} & r_{222} & \cdots & r_{225} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{2m1} & r_{2m2} & \cdots & r_{2m5} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Rf_2 ——第二级环境要素在第二级环境指标 $I_{2.3}$ 下的专家判断矩阵

则第一级环境要素在第二级环境指标 $I_{2.3}$ 下的评判结果 Bf_2 可表示为

$$Bf_2 = Af_2 \cdot Rf_2 = (r_{1m1}, r_{1m2}, \cdots, r_{1m5}) \quad (8)$$

Af_2 ——第二级环境要素权重矩阵

Bf_2 ——第二级环境要素在第二级环境指标 $I_{2.3}$ 下评判结果

将 Bf_2 汇总填入表 9,得到第一级环境要素在第二级环境指标 $I_{2.3}$ 下的专家判断矩阵。

表 9 第一级环境要素在第二级环境指标 $I_{2.3}$ 下的专家判断矩阵

第一级环境要素	权重	专家判断矩阵(Rf_1)
具体工作类(F_1)	0.25	
工地管理类(F_2)	0.25	
项目管理类(F_3)	0.26	
技术类(F_4)	0.23	

对表 9 的数学描述如下

$$Rf_1 = \begin{bmatrix} r_{111} & r_{111} & \cdots & r_{115} \\ r_{121} & r_{122} & \cdots & r_{125} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{1m1} & r_{1m2} & \cdots & r_{1m5} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Rf_1 ——第一级环境要素在第二级环境指标 $I_{2,3}$ 下的专家判断矩阵

则第二级环境要素的评判结果 Bf_1 可表示为

$$Bf_1 = Af_1 \cdot Rf_1 = (r_{m1}, r_{m2}, \dots, r_{m5}) \quad (10)$$

Af_1 ——第一级环境要素权重矩阵

Bf_1 ——第一级环境要素在第二级环境指标 $I_{2,3}$ 下的评判结果

由此获得第一级环境要素在具体第二级环境指标 $I_{2,3}$ 下的评判结果, 同样操作依次得到其他第二级环境指标的评判结果, 汇总后填入表 10。

表 10 第二级环境评价指标专家判断矩阵

第二级环境指标	权重	专家判断矩阵(R_i)
酸雨($I_{1,1}$)	0.09	
微粒($I_{1,2}$)	0.08	
温室效应($I_{1,3}$)	0.08	
臭氧消耗($I_{1,4}$)	0.08	
有毒物质($I_{1,5}$)	0.10	
废物($I_{1,6}$)	0.09	
空气污染($I_{1,7}$)	0.10	
土壤污染($I_{1,8}$)	0.09	
水体污染($I_{1,9}$)	0.10	
噪音污染($I_{1,10}$)	0.09	
光化学污染($I_{1,11}$)	0.09	
能源消耗($I_{2,1}$)	0.28	
热力学性能($I_{2,2}$)	0.23	
生物资源消耗($I_{2,3}$)	0.25	
非生物资源消耗($I_{2,4}$)	0.23	
回收物资的利用($I_{3,1}$)	0.21	
材料的重复使用($I_{3,2}$)	0.20	
材料的保养($I_{3,3}$)	0.18	
可更新材料的使用($I_{3,4}$)	0.20	
可再生能源的使用($I_{3,5}$)	0.20	
公众健康($I_{4,1}$)	0.17	
公众安全($I_{4,2}$)	0.19	
工地文明施工($I_{4,3}$)	0.18	
社区交流($I_{4,4}$)	0.17	
当地经济发展($I_{4,5}$)	0.15	
公共关系($I_{4,6}$)	0.14	
环境工程师职位设置($I_{5,1}$)	0.24	
职业健康保障($I_{5,2}$)	0.25	
职业安全措施($I_{5,3}$)	0.27	
工作条件($I_{5,4}$)	0.24	

对表 10 的数学描述如下

$$Ri_2 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{n5} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Ri_2 ——第二级环境指标专家判断矩阵

n ——待判断第二级环境指标数量

则第二级环境指标的评判结果 Bi_2 可表示为

$$Bi_2 = Ai_2 \cdot Ri_2 (R_{n1}, R_{n2}, \dots, R_{n5}) \quad (12)$$

Ai_1 ——第二级环境指标权重矩阵

Bi_2 ——第二级环境指标的评判结果

将 Bi_2 汇总填入表 11, 得到第一级环境指标的专家判断矩阵。

表 11 第一级环境指标的专家判断矩阵

第一级环境指标	权重	专家判断矩阵(R_i)
生态环境类(I_1)	0.21	
能源及资源影响类(I_2)	0.20	
可持续性发展影响类(I_3)	0.21	
社会影响类(I_4)	0.19	
人员影响类(I_5)	0.19	

对表 11 的数学描述如下

$$Ri_1 = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{15} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{n5} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Ri_1 ——第一级环境指标专家判断矩阵

则第一级环境指标的评判结果 Bi_1 可表示为

$$Bi_1 = Ai_1 \cdot Ri_1 = (R_1, R_2, \dots, R_5) \quad (14)$$

Ai_1 ——第一级环境指标权重矩阵

Bi_1 ——第一级环境指标的评判结果

设定优秀为 9 分, 良好为 7 分, 一般为 5 分, 较差为 3 分, 不合格为 1 分, 则

$$J = (9, 7, 5, 3, 1)$$

$$EPS = Bi_1^* J^T = 9^* R_1 + 7^* R_2 + 5^* R_3 + 3^* R_4 + 1^* R_5 \quad (15)$$

J ——判断语气矩阵

J^T ——判断语气矩阵的转置矩阵

EPS——环境表现分值

如果 $EPS \in (7, 9)$ 则认为承包商在施工过程中的环境表现相当好; 若 $EPS \in (5, 7)$ 则认为承包商整体表现较好但还有少数地方需要进一步改进; 若 $EPS \in (3, 5)$ 则认为表现较差有较多地方需要改进; 若 $EPS \in (1, 3)$, 则该承包商的环境表现差, 可能需要提醒业主及承包商要对环境问题予以特别的注意, 部分工作可能需要返工。整个计算过程在图 2 中予以阐述。

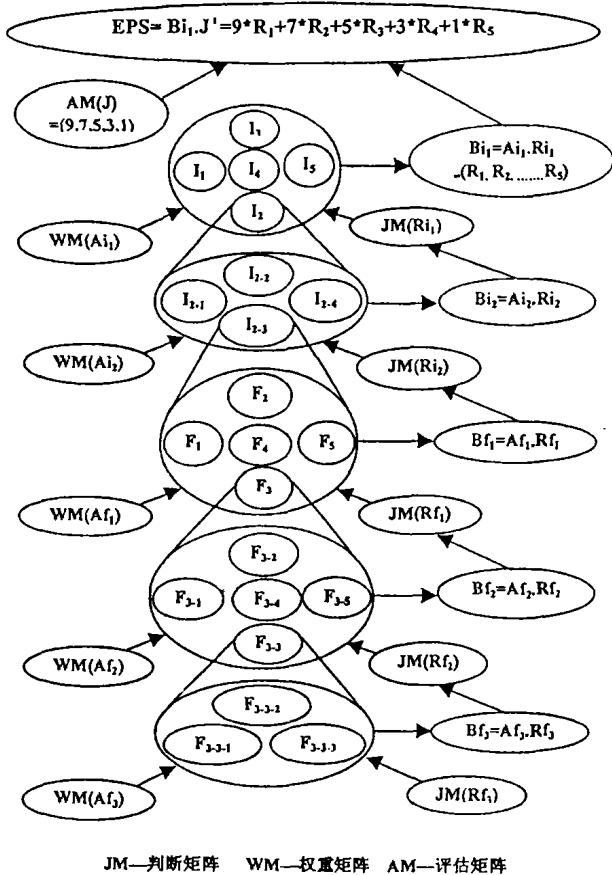


图2 C-EPSS层套AHP计算模型

六、结论

在建筑施工中,承包商对环境的影响不仅直接表现在施工活动中,而且也表现在它的管理体系和其他间接的方面。因此分析和描述承包商的环境表现本身就是一个复杂而具体的工作。再加上学者对本领域问题的研究还需进一步深入,对问题的认识有许多没有定论的地方,更加大了研究的难度。本文提出以层套 AHP 计算模型为核心来综合衡量和评估承包商在建筑施工过程中的环境表现,甄选了模型中的环境要素和环境指标,通过调查问卷对相关要素和指标进行了筛选,进而确定了各因素的权重值,为后续进一步的研究奠定了基础,待进一步完善评判的标准后,该 C-EPSS 模型将对实际的环境保护工作发挥更大作用。

【参考文献】

[1] Baba, K., (1998), 'Necessity of common understanding of sustainability in construction in Asia', *Proceedings of CIB World Building Congress 1998*,

Gavle, Sweden, 7-12 June 1998.

[2] Govorushko, S. M., (1996) 'Environmental assessment of a site for civil construction' *Journal of Urban Planning and Development*, ASCE, Vol. 122, No. 1, 18-31.

[3] Bourdeau, L., Huovila, P., Lanting, R., and Gilham, A. (1998). *Sustainable Development and the Future of Construction: A Comparison of Visions from Various Countries*. CIB Report 225, Rotterdam, The Netherlands.

[4] Treloar, G. (1996) *The Environmental Impact of Construction-a Case Study*, Australia and New Zealand Architectural Science Association (ANZA-ScA), Sydney, Australia, pp.1-95.

[5] Ofori, G. and Chan P. (1998): Procurement Methods and Contractual Provisions for Sustainability in Construction, *Construction and the Environment*, CIB World Building Congress, Gavle, Sweden, June 7th-12th, C296.

[6] Chan E. H. (2000) 'Impact of Major Environmental Legislation on Property Development in Hong Kong', *Building Hong Kong: Environmental Considerations*, Wong & Chan (Ed.) Hong Kong University Press, Hong Kong. P. 273-295

[7] ISO (1998): *ISO 14000-Meet the whole family!* 1998, International Organization for Standards, pp. 2-3.

[8] HKPC (1998), *ECO-LABELLING-A Hong Kong Manufacturers and Exporters Guide: How to Benefit from Eco-labeling your Products*, Hong Kong Productivity Council, Hong Kong, pp. 34-35.

[9] Ip, S. L. and Shen, L. Y., (2000) 'New directions of environmental management in construction', *Journal of the Hong Kong Surveyor*, Vol. 12, September.

[10] Shen, L. Y., Zhang, Z. H., (1999) 'Sustainable development challenges to urbanization in China', *Proceedings of COBRA 1999. The Challenge of Change: Construction and Building for the New Millennium*, 1-2 Sept. 1999, University of Sal-

- ford, UK.
- [11] Lai, W. Y, Anthony, (1999), 'An Investigation of The Effectiveness on Performance Assessment Scoring System', (MSc Dissertation, The Hong Kong Polytechnic University), p.22.
- [12] Milliman, J. F., and Mcfadden, F. F., 'Toward Changing Performance Appraisal To Address TQM Concerns: The 360-Degree Feedback Process', *Quality Management Journal*, 1997, 4 (3), 44-64.
- [13] Augenbroe, G. and Pearce, A. R., (1998) *Sustainable construction in the United States of America*, Construction Research Center, College of Architecture, Georgia Institute of Technology.
- [14] *CIB World Building Congress 1998*. Gavle, Sweden, 7-12 June 1998.
- [15] Cole, R. (1998) Emerging trends in building environmental assessment methods, *Building Research and Information*, Vol.26, No.1, pp.3-16.
- [16] Treloar, G. (1996) *The Environmental Impact of Construction - a Case Study*, Australia and New Zealand Architectural Science Association (ANZAScA), Sydney, Australia, pp.1-95.
- [17] Center of Environmental Technology Limited (1999), The Hong Kong Building Environmental Assessment Method for New Residential Buildings, Version 3/99, pp.3-4.
- [18] Centre of Environmental Technology. Limited (1999), *HK-BEAM (Existing Offices)-An environmental assessment for existing office buildings*.
- [19] Centre of Environmental Technology, Limited (1999), *HK-BEAM (New Offices)-An environmental assessment for existing office buildings*.
- [20] Centre of Environmental Technology, Limited (1999), *HK-BEAM (Residential)-An environmental assessment for existing office buildings*.
- [21] Woolley, T., Kimmins, S. Harrison, P. and Harrison, R. (1997), *Green building Handbook*, E & FN SPON, pp.43 ~ 185.
- [22] WU Dehua, SHEN Liyin and TAM W Y Vivian (2000) "Investigation to An Alternative for Measuring Contractor's Environmental performance", presented on Proceedings of the International Symposium on Construction Management and Economic Development, Tianjin P. R. China.
- [23] SHEN Liyin and WU Dehua (2001), "Structured analysis to environmental impacts of Construction", 2001 International Conference on Project Cost Management Beijing, P. R. China
- [24] Dehua WU, Edwin H W CHAN and Liyin SHEN (2001), Scoring System for Measuring Contractor's Environmental Performance, *Journal of International Construction Management*, (Accepted).

(责任编辑:周虹冰)