

生态效益审计评价指标体系的构建

——基于模糊数学视角

郭阳生

(湖北第二师范学院 数学与数量经济学院, 湖北 武汉 430205)

摘要:生态效益审计是环境绩效审计的一个重要组成部分。从经济、效益、效果3个方面构建的生态效益评价指标体系包括3个一级指标、13项二级指标。结合模糊数学的原理,运用该评价指标体系对实例进行分析,发现该审计模式具有较强适用性和可操作性,能够较好地实现对城市或地区进行生态效益审计的目标。

关键词:模糊数学;生态效益审计;评价指标

中图分类号:F239.42 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-8750(2010)03-0037-06 **收稿日期:**2010-02-20

作者简介:郭阳生(1980—),男,湖南郴州人,湖北第二师范学院数学与数量经济学院教师,主要研究方向为审计理论。

一、研究背景与文献综述

环境绩效审计是环境审计的重要方面和发展趋势。环境绩效审计的重点不仅在于钱是怎么花的、是否符合规范(即传统财务审计的查错纠弊),更在于花钱的效果如何,效益性怎样,是否改善了人们的生活环境质量。

我国的环境审计大多局限于财务审计和合规性审计,绩效审计相对较少。国内一些学者对环境绩效审计的研究主要分为四大类。一类是对于环境绩效审计定义的研究。如陈正兴2001年在其主编的《环境审计》中提出,环境绩效审计是通过检查被审单位和项目的环境经济活动,依照一定标准,评价资源开发利用、环境保护、生态循环状况和发展潜力的合理性、有效性,并对其效果与效率表示意见的行为^[1];吴立群、王恩山2005年指出环境绩效审计是由独立的审计机构或审计人员对被审单位或项目的环境管理活动进行综合系统的审查、分析,并对照一定标准评定环境管理的现状和潜力,提出促进其改善环境管理、提高环境管理绩效的建议

的一种审计活动^[2]。一类是对于环境绩效审计的内容研究。如李学柔和秦荣生2002年提出环境绩效审计包括环境政策绩效审计、环境项目效益审计和企业环境绩效审计三部分^[3];陈希晖和邢祥娟2005年从宏观和微观两个层次阐述了环境绩效审计的对象及范围,并指明了环境绩效审计的工作重点应该为环保专项资金效益审计和环境项目效益审计^[4]。一类是对环境绩效审计方法的研究。如浙江省审计学会课题组2004年在开展我国环境审计的构想中提到了开展环境审计的方法,认为常规的审计方法同样适用于环境绩效审计,包括审阅、核对、查询、观察、鉴定、分析性复核等^[5];西南科技大学课题组在我国环境审计运行模式中提出除了运用一般的审计方法外,在以项目为导向的环境绩效审计中还必须运用一些专业性的技术方法,如环境费用效益分析法、环境费用效果分析法、环境决策分析法、风险分析法等^[6]。还有一类是关于环境绩效审计评价指标体系的研究。如加拿大特许会计师协会(CICA)在《环境绩效报告》中列出了不同行业环境绩效指标的例子,包括资源、公用事业、大小型制造业、零售业、交

通业和其他服务业共 7 种行业 15 个方面的环境绩效指标^[7]。国际标准化组织(ISO)1994 年后陆续制订了一些有关环境绩效评价的国际标准,并于 1999 年 11 月完成了 ISO14031(环境绩效评价标准)正式公告,该标准为组织内部设计和实施环境绩效审核提供了指南。ISO14031 标准充分考虑到组织的地域、环境和技术条件等不同,它没有设立具体环境绩效指标,而是提供一个“环境绩效指标库”。根据该标准,环境绩效评价指标(Environmental Performance Indicators,EPIs)可分为组织周边的环境状态指标和组织内部的 EPIs,后者可再细分为管理绩效指标和操作绩效指标^[8]。

环境绩效主要包括经济效益、生态效益和社会效益三大类别,生态效益审计是环境绩效审计的一个重要组成部分。遗憾的是,在所有关于环境绩效审计的研究成果里面,笔者还没发现专门研究生态效益审计的文献。综上所述,我国的环境绩效审计研究刚刚起步,虽然已取得了一些研究成果,但理论探讨的深度不够,研究手段相对滞后,关于生态效益审计指标体系的研究成果更是相当匮乏。本文基于模糊数学方法构建了生态效益审计评价指标体系,并结合具体案例对这些审计指标进行了分析,试图为生态效益审计评价提供一个定量化评价的工具。

二、基于模糊数学思想的生态效益审计评价指标体系的构建

(一) 生态效益审计评价指标体系框架的构建

生态效益多数具有难以用货币计量价值的特点,因此生态效益审计评价多以实物或劳动量指标为主。由于生态效益不一定会增加社会总产品数量,所以生态效益往往表现为服务范围的扩大、环境质量的提高或恢复。我国生态效益审计评价指标体系的建立应当本着“科学合理、简便易行、方便操作”的原则,不宜照搬国外的现成模式。借鉴现有研究成果^[9],结合我们具体国情,笔者认为我国生态效益审计评价指标体系应包括经济性、效率性和效果性 3 个大类的 13 项具体指标,指标体系框架见表 1。

表 1 生态效益审计评价指标体系框架

总目标层	子目标	具体指标
生态效益评价 U	经济性 U ₁	计划投资资金节约率 U ₁₁
		投资回收期 U ₁₂
		环境污染治理投资占 GDP 比重 U ₁₃
	效率性 U ₂	光能利用率 U ₂₁
		森林覆盖率 U ₂₂
		能量投入产出率 U ₂₃
	效果性 U ₃	土壤有机质含量率 U ₃₁
		水土保持率 U ₃₂
		土壤沙化治理率 U ₃₃
		工业固体废物处置量 U ₃₄
		自然灾害抗御能力系数 U ₃₅
		环境污染治理率 U ₃₆
		酸性气体排放量 U ₃₇

1. 计划投资资金节约率。它是反映生态效益项目投资经济性的指标。计划投资资金节约率为负且绝对值越大,说明项目投资的经济性越好。计算方法是:

$$\text{计划投资资金节约率} = \frac{\text{某项生态效益项目的实际投资额}}{\text{该项生态效益项目的计划投资额}} \times 100\% - 1$$

应当指出的是,这里所指的计划投资额应当是具有科学依据并经过充分论证的。

2. 投资回收期。它是反映生态效益项目投资经济性的指标。投资回收期越短,说明项目投资的经济性越好。计算方法是:

$$\text{投资回收期} = \frac{\text{某项目的全部投资额}}{\text{该项目预计的年现金净流入量}} \times 100\%$$

3. 环境污染治理投资占 GDP 比重。该指标比重越大,说明项目投资的经济性越好。计算方法是:

$$\text{环境污染治理投资占 GDP 比重} = \frac{\text{环境污染治理投资额}}{\text{当年的 GDP}} \times 100\%$$

4. 光能利用率。它是指一定时期内单位土地面积上作物积累的化学潜能与同期投入该面积上的太阳辐射能之间的比例,是反映生态效益效率性的指标。光能利用率越高,说明生态效益越好。计算方法是:

$$\begin{aligned} \text{光能利用率} &= \frac{\text{单位面积作物光合作用积累的有机物}}{\text{所含能量单位面积的太阳辐射能}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{作物的产量(克/厘米)} \times 1 \text{ 克作物干物质完全燃烧所释放的热量(焦耳/厘米)}}{\text{单位面积的太阳辐射能}} \end{aligned}$$

5. 森林覆盖率。它指绿色植被(森林、草地、农田作物等)的覆盖状况。森林覆盖率越高,说明生态效益越好。计算方法是:

$$\text{森林覆盖率} = \text{成林面积} / \text{土地总面积} \times 100\%$$

6. 能量投入产出率。能量投入产出率越高,说明生态效益越好。计算方法是:

$$\text{能量投入产出率} = \text{总产出能量} / \text{人工投入总能量} \times 100\%$$

$$\text{投入(或产出)能量} = \text{投入(或产出)的能量(焦耳)} \times f(\text{能量折算系数})$$

7. 土壤有机质含量率。土壤有机质含量率越高,说明生态效益越好。计算方法是:

$$\text{土壤有机质含量率} = \text{一定厚度体积中土壤内有机质的含量} / \text{同一厚度体积土壤的总重量} \times 100\%$$

8. 水土保持率。它有水土流失率和水土流失治理率两个具体指标。水土流失率越低、治理率越高,说明生态效益越好。计算方法是:

$$\text{水土流失率} = \text{一定时期水土流失面积} / \text{同期土地总面积} \times 100\%$$

$$\text{水土治理率} = \text{已经得到治理的水土面积} / \text{水土流失总面积} \times 100\%$$

9. 土壤沙化治理率。土壤沙化治理率越高,说明生态效益越好。计算方法是:

$$\text{土壤沙化治理率} = \text{已经得到治理的沙化面积} / \text{沙化总面积} \times 100\%$$

10. 工业固体废物处置量。该指标是指将固体废物焚烧或者最终置于符合环境保护规定要求的场所,并不再回取的工业固体废物量(包括当年处置往年的工业固体废物累计贮存量)。工业固体废物处置量越大,说明生态效益越好。

处置方法有填埋(其中危险废物应安全填埋)、焚烧、专业贮存场封场处理、深层灌注、回填矿井等。

11. 自然灾害抗御能力系数。自然灾害抗御能力系数越高,表明良性循环能力越强,生态效益的效果越明显。计算方法是:

$$\text{自然灾害抗御能力系数} = (\text{农作物受灾面积} - \text{农作物成灾面积}) / \text{农作物受灾面积}$$

其中,农作物成灾面积是指农作物产量比常年减产30%以上的耕地面积。

12. 环境污染治理率。治理情况指标数值越高,说明环境治理的效果越好。它由“污染物排

放达标率”、“废水处率”、“废气处理达标率”和“废渣处理达标率”等4个具体指标构成,它们从不同的侧面共同反映生态环境污染治理的情况。具体计算方法是:

$$\text{污染物排放达标率} = \text{某地区企业排放污染物达到国家(地方)标准的项目数(个)} / \text{同一地区考核的全部项目数(个)} \times 100\%$$

$$\text{废水处理达标率} = \text{一定时期已经处理达标(或利用)的废水数量(吨)} / \text{同期废水总量(吨)} \times 100\%$$

$$\text{废气处理达标率} = \text{一定时期已经处理达标(或利用)的废气数量(吨)} / \text{同期废气总量(立方米)} \times 100\%$$

$$\text{废渣处理达标率} = \text{一定时期已经处理达标(或利用)的废渣数量(吨)} / \text{同期废渣总量(吨)} \times 100\%$$

13. 酸性气体排放量。它主要是指温室气体SO₂和CO₂排放量,计算方法是:

$$\text{CO}_2 \text{ 当量} = \text{报告年 GDP 总额} / \text{报告年排放到空气中的 CO}_2 \times 100\%$$

需要说明的是,本文所设置的生态效益审计各个指标只是一种基本的设想,它还需要通过实践不断的补充、修改和调整才能最终得到完善。

(二) 基于模糊数学思想的生态效益审计评价模式

1. 模糊数学思想的基本原理

模糊数学就是对一些难以准确描述的系统进行分析,揭示系统中各因素的相互关系。模糊集是一种数学工具,可以将表示差异的定性化的形容词(严重、中等、轻微等)转换成一种定量化的隶属度函数,然后用逻辑运算去解决从简单到复杂的各种问题。对现有结构可靠性进行鉴定时,如果遇到影响因素很多且十分复杂导致难以确切定义的情况,模糊数学是一种有力的工具。模糊集是模糊综合评判涉及的最基本概念。

“给定了领域U上的一个模糊集A”是指“对任何 $u \in U$,都指定了一个数 $uA(u) \in [0,1]$ 与之对应。 $uA(u)$ 称为 u 对A的隶属度, uA 称为A的隶属函数,当 $uA(u)$ 只取0和1两个值时,模糊集A就蜕化为经典集”^[10]。

例如,令U表示某一地区的森林覆盖率,A表示该指标的优劣程度,假定 $U < 10\%$ 不属于“好”,而 $U > 30\%$ 则属于“好”,介于两者之间再

找到一个关系即隶属函数,构成一个模糊集为:

$$U_A(U) = \begin{cases} 0 < U < 10\% \\ 10\% \leq U \leq 30\% \\ 30\% < U < 1 \end{cases}$$

2. 基于模糊数学思想的生态效益审计评价步骤
根据模糊数学的基本思想,本文认为生态效益审计评价模式应该包括以下步骤:

第一步,建立模糊综合评判因素集 U 和评价集 V 。 $U = \{u_1, u_2, u_3\}$,代表影响城市生态效益的各种影响因素,其中 u_1 代表经济性指标, u_2 代表效率性指标, u_3 代表效果性指标。 $V = \{v_1, v_2, v_3\}$ 代表各种可能的评判结果,城市生态效益的评价集 V (好,中,差)。

第二步,确定评价因素的权重 A 。一般采用专家咨询法(Delphi)确定各因素的权重。

第三步,通过专家打分等方法获得模糊评价矩阵 R 。

第四步,根据模糊数学中的运算方法,可得到综合评价结果 $B = A \circ R$,这是模糊层次分析评价模型的核心。

第五步,将评价结果进行归一化处理,得出城市生态效益评价的最终结论。

第六步,对城市生态效益评价指标进行分析,发现存在的问题和并找到问题的根源,在审计报告给出改进的意见和建议。

三、对 X 市 2008 年生态效益审计的实例分析

(一) 基本情况

X 市位于长江流域,是我国中部崛起的一个重要城市。该市是全省政治、经济、文化、交通中心,是以机械、纺织和食品加工工业为主的综合性工业城市。市区面积 500 多平方公里,属于亚热带季风性湿润气候,生态环境良好。近年来,在中部崛起的大好形势下,城市经济保持平稳、较快的增长势头,该市及周边地区的生态效益指标相关数据详见表 2。

(二) 生态效益审计的具体过程

根据模糊数学的基本思想,结合本研究收集到的数据,本文运用生态效益审计评价指标体系

对 X 市 2008 年生态效益进行了审计。

第一步,建立模糊综合评判因素集 U 和评价集 V 。 $U = \{u_1, u_2, u_3\}$,代表影响 X 城市生态效益的各种影响因素。 $V = \{v_1, v_2, v_3\}$ 代表各种可能的评判结果,X 城市生态效益的评价集 V (好,中,差)。

表 2 X 市 2008 年生态效益评价指标基础数据

	指 标	数值
经济性 指标	计划投资资金节约率	100.00%
	投资回收期	3.5 年
	环境污染治理投资占 GDP 比重	1.07%
效率性 指标	光能利用率	2.00%
	森林覆盖率	40.63%
	能量投入产出率	48.50%
效果性 指标	土壤有机质含量率	30.47%
	水土保持率	95.00%
	土壤沙化治理率	28.40%
	工业固体废物处置量	31.26 万吨
	自然灾害抗御能力系数	71.80%
	环境污染治理率	4.05%
	酸性气体排放量	224.88 元/吨

资料来源:数据出自《2008 年中国环境年鉴》,部分数据通过计算得来。

第二步,确定评价因素的权重 A 。本文采用专家咨询法确定各因素的权重。笔者利用假期走访了 X 市 30 位(随机选取的样本)长期工作在环境部门的专家,并听取了以前进行过环境审计的专家们的意见。根据专家评估,本文得到各评价因素的权重。经济性指标、效率性指标、效果性指标对 X 市生态效益的权重为 U_i 对 U 的权重 $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ 为 $\{0.3, 0.3, 0.4\}$ 。计划投资资金节约率、投资回收期、环境污染治理投资占 GDP 比重对经济性的权重 $A_1 = \{a_{11}, a_{12}, a_{13}\} = \{0.3, 0.2, 0.5\}$;光能利用率、森林覆盖率、能量投入产出率对效率性的权重 $A_2 = \{a_{21}, a_{22}, a_{23}\} = \{0.3, 0.5, 0.2\}$;土壤有机质含量率、水土保持率、土壤沙化治理率、工业固体废物处置量、自然灾害抗御能力系数、环境污染治理率、酸性气体排放量对效果性的权重 $A_3 = \{a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}, a_{35}, a_{36}, a_{37}\} = \{0.11, 0.12, 0.10, 0.11, 0.13, 0.25, 0.18\}$ 。

第三步,通过专家打分等方法获得模糊评价矩阵 R ,相关数据详见表 3。

表 3 生态效益评价指标的专家打分表

总目标层	子目标层	具体指标	专家打分情况		
			好	中	差
生态效益评价 U	经济性 U ₁ (0.3)	计划投资资金节约率 U ₁₁ (0.3)	0.3	0.5	0.2
		投资回收期 U ₁₂ (0.2)	0.4	0.3	0.3
		环境污染治理投资占 GDP 比重 U ₁₃ (0.5)	0.3	0.3	0.4
	经济性 U ₂ (0.3)	光能利用率 U ₂₁ (0.3)	0.4	0.3	0.3
		森林覆盖率 U ₂₂ (0.5)	0.4	0.4	0.2
		能量投入产出率 U ₂₃ (0.2)	0.2	0.3	0.5
	经济性 U ₃ (0.4)	土壤有机质含量率 U ₃₁ (0.11)	0.0	0.6	0.4
		水土保持率 U ₃₂ (0.12)	0.6	0.2	0.2
		土壤沙化治理率 U ₃₃ (0.10)	0.1	0.5	0.4
		工业固体废物处置量 U ₃₄ (0.11)	0.3	0.2	0.5
		自然灾害抗御能力系数 U ₃₅ (0.13)	0.2	0.4	0.4
		环境污染治理率 U ₃₆ (0.25)	0.4	0.6	0.0
		酸性气体排放量 U ₃₇ (0.18)	0.1	0.2	0.7

由专家打分表的统计数据可以得出 3 个模糊评价矩阵。

$$R_1 = \begin{Bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.4 \end{Bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{Bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.3 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 \end{Bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{Bmatrix} 0 & 0.6 & 0.4 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 \\ 0.3 & 0.2 & 0.5 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.7 \end{Bmatrix}$$

第四步,根据模糊数学中的运算方法,可得到综合评价结果 $B = AoR$,这是模糊层次分析评价模型的核心。其中,o 为运算符号——Zadeh 算子 $(\bullet, \oplus)$ 。

先对第三层各指标的评判矩阵做运算。

$$B_1 = A_1 o R_1 = (0.33, 0.4, 0.24)$$

$$B_2 = A_2 o R_2 = (0.34, 0.34, 0.32)$$

$$B_3 = A_3 o R_3 = (0.36, 0.4, 0.23)$$

根据一级模糊综合评判,可得评判隶属矩阵 $R = (B_1, B_2, B_3)$,由以上得出的 $B_1、B_2、B_3$ 为元素即可得出评判隶属矩阵 R,B 为 U 对 V 的隶属向量,可得总评判结果:

$$B = AoR = (0.35, 0.38, 0.26)$$

第五步,将评价结果进行归一化处理。经归一

化处理后得到: $B = (0.354, 0.383, 0.263)$ 。X 市生态效益评价为“中”的程度最大,为 38.3%,根据最大隶属原则,该城市生态效益评价为“中”。通过模型评价出来的生态效益等级为“中”,而该市 2008 年环境检测中心的法律、法规评定结果为蓝色^①,可以看出利用该模型的评价结果和有关环境部门的评估结果是非常接近的。

第六步,对生态效益评价结果进行分析,撰写审计报告。生态效益审计的最终目的不是评价,而是分析评价结果,找到存在的问题,并提出可操作的改进建议。本文以最大隶属度评判法的结果 $B = (0.354, 0.383, 0.263)$ 为例,对 X 市的生态效益审计结果进行分析。

从总评结果来看,隶属于“好”的度和隶属于“中”的度分别为 35.4% 和 38.3%,相差并不是很大。U₃ 效果性指标的权重最大为 0.4,是决定最终结果 B 的最大影响因素,U₃ 的高低是生态效益优劣的关键,而在影响 U₃ 的多项因素中,环境污染治理率 U₃₆ 的影响能力最强,U₃₆ 的权重为 0.25,X 市 U₃₆ 环境污染治理率的评价结果为 (0.4,0.6,0),即隶属于“好”的度为 0.4,隶属于“中”的度为 0.6,所以这个指标的高低直接影响了生态效益评价结果。又如 U₃₇ 酸性气体排放量的评分较差,U₃₇ 为 (0.1,0.2,0.7),而权重则达到了 0.18,进而影响到了效果性指标的评价结果。

①一般环保局对环境的评价分为绿色(环境行为优秀)、蓝色(环境行为较好)、黄色(基本达到环境管理要求)、红色(环境违法)、黑色(严重违法)五个等级。

所以 X 市在酸性气体排放量的控制与治理方面投入还不足,需要加大力度。依此类推,可以找出每个指标对生态效益的影响程度,并提出相应的改进绩效的措施。

从对 X 市生态效益审计的分析结果来看,该市工业废物污染严重,酸性气体排放量大,而且水资源处理利用率低,建议该城市应从以下几个方面采取措施:

第一,为了减少企业活动所产生的温室气体的排放,X 市应通过引进节能设备、改良发电系统和发展自然能源等,来控制二氧化碳的排放。

第二,关于水的循环利用,X 市应鼓励企业回收用过的水,改良净化排水技术等,促进水资源循环利用。

第三,加强排污治理。应增加资金和技术投入、更新、改造治理设备,提高废水回收利用率。

第四,运用经济手段,让污染者对其造成的环境损失进行补偿。

总之,通过实例分析发现,本文基于模糊数学方法构建的生态效益审计评价指标体系简明清晰、切实可行,具有较强适用性和可操作性,能够较好地实现对城市或地区进行生态效益审计的目标。

参考文献:

[1]陈正兴. 环境审计[M]. 北京:中国审计出版社,2001: 25-29.

[2]吴立群,王恩山. 生态效益审计有关问题初探[J]. 济南职业学院学报,2005(1):37.

[3]李学柔,秦荣生. 国际审计[M]. 北京:中国时代经济出版社,2002:154-156.

[4]陈希晖,邢祥娟. 论生态效益审计[J]. 生态经济,2004(12):87-90.

[5]浙江省审计学会课题组. 开展我国环境审计的构想[C]. 审计论文选. 北京:中国时代经济出版社,2004:270.

[6]西南科技大学课题组. 我国环境审计运行的模式[J]. 上海会计,2001(7):17-21.

[7]CICA. Reporting on environmental performance[R]. Toronto,1994.

[8]International Standard Organization. Environmental Performance E-evaluation[S]. ISO/DIS14031,1998.

[9]广西审计厅科研所与广西财经学院研究所联合课题组. 中国效益审计的评价指标体系[J]. 财务与会计,2004(4):40-42.

[10]谢季坚. 模糊数学方法及其运用[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2007:20-30.

(责任编辑:杨凤春)

Assessment of the Environmental Performance
Audit:A Perspective from Fuzzy Mathematics

GUO Yang-sheng

(School of Mathematics and Quantitative Economics, Hubei University of Education, Wuhan 430205, China)

Abstract: The environmental performance of eco-efficiency audit is an important part of the audit. The eco-efficiency evaluation index system, constructed on the economy, effectiveness and effects, consists of three primary index and 13 secondary index. Based on the principle of fuzzy mathematics, using evaluation index system for the analysis, I found that the audit model has a better applicability and operability to achieve the objectives of eco-efficiency audit.

Key words: fuzzy mathematics; eco-efficiency audit; evaluation index