

基于群组决策的 PFI 模式水电项目投资风险分析

陆路,张慢慢,程春

(淮阴工学院建筑工程学院,江苏淮安 223001)

摘要:针对 PFI 项目产生的风险具有特殊性和复杂性。首先,通过思维导图和因果分析法识别主要风险指标;然后,应用群组决策层次分析法对 3 种投资策略进行风险评价。分析结果表明:我国的风险权重和国外不同,经济风险最大,社会其次,技术风险最小;独资风险最大,控股风险略大于参股风险。最后,通过挖掘专家的隐性知识,建议国有资本应占 30%~40%,民营资本占 60%~70%,但所有股东中,无论国有还是民营,最大股东所占份额不超过 30%。

关键词:PFI 模式;水电建设项目;群组决策层次分析法;风险评估;股本

中图分类号:F407.9

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2015)03-0014-05

国发[2010]13号文《国务院关于鼓励和引导民间投资健康发展的若干意见》中,提出“支持民间资本以独资、控股或参股形式参与水电站、火电站建设”。由汉能控股集团投资建设的金安桥水电站历时 8 年,在 2011 年 3 月 27 日正式并网发电,是国家西电东送的骨干电源之一,也是我国民营资本首次进入特大型水电站建设领域,可以说金安桥水电站的并网发电正是落实这一政策的具体体现。从此大型水电建设,从过去单一的由国企投资开发转入了多种所有制企业共同参与的新阶段。国家把部分国家控制准入的垄断行业,向民营资本开放,有利于稳增长、调结构、促发展,缓解投资的资金不足,解决财政赤字,有效地控制通货膨胀。

水电项目是集经济效益、社会效益等为一体的综合性基础设施。目前,全球经济政治环境激烈动荡、汇率无规律的变化、环境问题日趋突出,风险显现出随机性特征,而在 PFI (Private-Finance-Initiation) 模式下的水利工程项目由于之前民营企业大多数不具备相关经验,所以风险分析为驱动的投资^[1]就十分重要。在国际上,英国、澳大利亚、加拿大、荷兰以及日本等发达国家早将 PFI 模式应用于交通建设、污水处理、学校、监狱等公共项目的建设。英国是最早提出 PFI 概念的国家,也是近代公共建设引入私人部门最早的国家,PFI 模式在水利项目中的应用,使有限的财政资金追求价值最大化,效果

显著^[2]。我国的经济、政治、社会和技术环境不同于英国,所以在借鉴其经验的同时,还要根据国情具体分析。Epstein 等^[3]发现许多风险事件难以用概率形式精确表达,对风险概率分析法的准确性提出了质疑。而解决这一问题最有效的分析方法是层次分析(AHP)法^[4-5]。对于水利水电基础建设项目,应当由多个专家给出多个判断矩阵,如果专家意见分歧较大时,简单的折中,难有说服力,王莲芬^[6]给出了多个矩阵相容性检查的方法。

笔者利用群组决策层次分析法把政府政策文件及没有太多客观事实依据、难以量化的 PFI 模式下的水电工程项目投资风险目标,通过水利水电工程领域中资深专家评价应用群组决策层次分析模型量化分析,挖掘了专家知识,为民营资本投入我国水利水电事业起到一定的参考作用。

1 原理与方法

1.1 AHP 法的基本原理及步骤

AHP 法,是 20 世纪 70 年代美国学者 Saaty^[7]提出的在管理学和经济学中广泛使用的方法,它是一种定量分析定性问题的多准则决策方法。AHP 法首先将各个因素划分为递阶的层次,一般递阶层次结构模型分为 3 层:目标层为最高层次(理想结果层);准则层为评估准则(衡量准则,也可称为因素层或约束层);方案层为对策层(决策问题的可行方

作者简介:陆路(1982—),男,辽宁大连人,讲师,博士,主要从事高坝大库风险控制方面研究。E-mail:llzhy@aliyun.com

案),将一层次元素通过专家评价两两比较进行定量描述,然后,通过一定的数学计算每个层次相对重要性次序的全值,综合所有层次间的排序计算所有元素相对权重进行总排序。

在 AHP 法中,一般采用因素间两两比较定量表示一个因素比另一个因素的重要程度,得到判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 的性质。

$$\begin{cases} a_{ij} > 0 \\ a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \\ a_{ii} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

为了使 2 个因素关于准则相对重要程度得到定量描述,通常采用表 1 所示的 1~9 标度法给出数量标度。

表 1 两两因素比较法标度及其意义

标度	定义	说明
1	同等重要	i 和 j 因素同样重要
3	稍微重要	i 比 j 因素稍微重要
5	明显重要	i 比 j 因素明显重要
7	重要得多	i 比 j 因素重要得多
9	极端重要	i 比 j 因素极端重要
2,4,6,8	重要性介于上述 2 个相邻判断尺度中间	

基于表 1 的标度,对各因素两两比较,则可得到互补判断矩阵。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

因为这种方法运用的主要是专家的隐性知识,所以要进行误差分析,误差主要体现为判断矩阵特性值的偏差。单层排序及对判断矩阵 A 一致性检查的计算步骤如下:

a. 计算判断矩阵每行元素之乘积,求出算术平均数:

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

b. 对 \bar{W}_i 向量进行归一化处理,得到判断矩阵 A 的特征向量:

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

c. 计算判断矩阵 A 的最大特征根 λ_{\max} :

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (5)$$

d. 计算判断矩阵一致性指标 $C. I.$:

$$C. I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

e. 计算判断矩阵的平均随机一致性比例指标 CR :

$$CR = \frac{C. I.}{C. R.} \quad (7)$$

式中: $C. R.$ 为一个随机性指标,数值参见表 2。

表 2 不同阶数随机性指标的数值

n	$C. R.$	n	$C. R.$
1	0	6	1.32
2	0	7	1.41
3	0.58	8	1.45
4	0.90	9	1.49
5	1.24	10	1.51

A 与其特征矩阵的相容性与 A 的一致性一致。当 $CR \leq 0.1$ 时,认为判断矩阵有满意的一致性,所以 A 与其特征矩阵也具有满意的相容性。

f. 计算综合重要度,设第二层为 A 层,有 n 个元素,关于系统总体重要度为 a_1, a_2, \dots, a_n 。第三层为 B 层,有 m 个元素,关于系统的总体重要度为 $b_1^i, b_2^i, \dots, b_m^i$ 。

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i b_j^i \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

1.2 群组决策原理

在重大项目中一般有多人参与决策,假设设有 N 个人参加, $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(n)}$, 各自排序向量分别为 $u^{(1)}, u^{(2)}, \dots, u^{(n)}$, 然后可以利用某种方法得到群组综合排序向量 $k = (k_1, k_2, \dots, k_n)^T$ 。群组综合排序向量要是能被接受,需要满足以下 2 个条件:①每一个判断矩阵符合自身一致性检查;②每一个判断矩阵与综合特征矩阵相容。

基于群组决策的 AHP 法分析流程如图 1 所示。

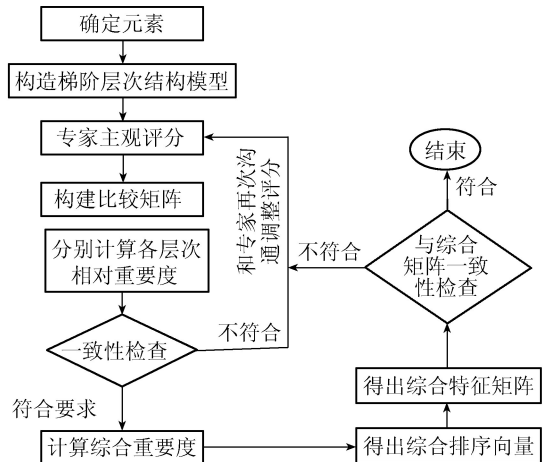


图 1 基于群组决策 AHP 法分析流程

进行群组决策计算的步骤及所用到的定理和公式如下:

a. 几何平均综合向量 k :

$$k_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_i^j}{n} \quad (9)$$

b. 计算综合特征矩阵 K :

$$K_{ij} = \frac{K_i}{K_j} \quad (10)$$

c. 检验每个判断矩阵与综合矩阵的相容性。

文献[7]给出了判断 2 个矩阵相容性的原理与方法,文献[6]对矩阵相容性判断进行了简化处理。

定义 1 设 $A=(a_{ij}), B=(b_{ij}) \in M_{R^+}$, 乘积 $e^T A \cdot B^T e$ 称为 A, B 的相容度, 记作 $C(A, B)$, $e^T=(1, 1, 1, \dots, 1)$, \circ 表示 Hadamard 乘积。

定义 2 设 $SI(A, B) = \frac{1}{n^2} C(A, B)$ 称为矩阵 A, B 的相容指标。

定理 当 $SI(A, K) \leq 0.1 \frac{n-1}{n} R. I. + 1$ 时, 矩阵 A 与 K 具有满意相容性。

设 $S. I. = 0.1 \frac{n-1}{n} R. I. + 1$, 当 n 不太大时统一取 $S. I. = 1.1$ 为临界值。

定义 3 如果满足公式 $\frac{1}{n^2} C(A^{(i)}, K) \leq S. I. = 1.1$, 则称判断矩阵 A^i 是与群组相容的, 如果群组中每个判断矩阵 $A^{(i)} (k=1, 2, 3, \dots)$ 都与综合特征矩阵 K 相容, 那么称此群组判断是相容的, 而相应的综合排序向量是可以接受的。

2 风险分析

2.1 风险递阶层次结构模型

文献[8]指出我国 PFI 水利基本建设项目中存在一个重要的问题是风险评估体系不健全。要建立风险评估体系不应该只是基于英国、日本等国家的

案例进行的总结和分析,因为这些国家某种程度上和我国的国情有些差异(政治社会环境、经济环境、技术环境均不相同),应该依据我国的政策文件结合我国水利水电工程相关领域专家的意见,使用定性和定量结合的方法进行风险评价。文献[9]给出了全生命周期的清单,思维导图见图 2。

结合文献[8-12],使用因果分析法和思维导图法(由于篇幅有限,不再对因果分析方法进行阐述),减少风险因素指标之间的交叉重叠,并结合我国的实际情况和 PFI 模式的特点筛选出主要的风险因素。PFI 模式不涉及跨国项目,我国 1 个根本 3 个基本的政治制度比较稳定,政治风险在 PFI 项目里是基本可以忽略的。党的十八大以后,对于任何工程项目而言环境评估具备一票否决权,如果环境评估存在问题,其他问题不用考虑,所以环境影响评估是要单独进行的,而且不用和其他风险因素综合考虑。笔者把市场风险和金融风险统称为经济风险。自然风险可以分别在技术风险和经济风险中体现出来,例如,地震、洪水等自然灾害风险,可以归结于设计风险;由于突发的恶劣气候,引起施工的延误可以归于施工风险。设计风险和施工风险都属于技术风险范畴;由于干旱引起蓄水量不足可以归于市场风险中的发电量下滑风险;管理和组织不当而引起的产能低下,可以归于市场风险。笔者建立的全生命周期风险评估体系的风险递阶层次结构模型准则层包括:社会风险、经济风险及技术风险。主要风险指标体系见图 3,递阶层次结构模型如图 4 所示。

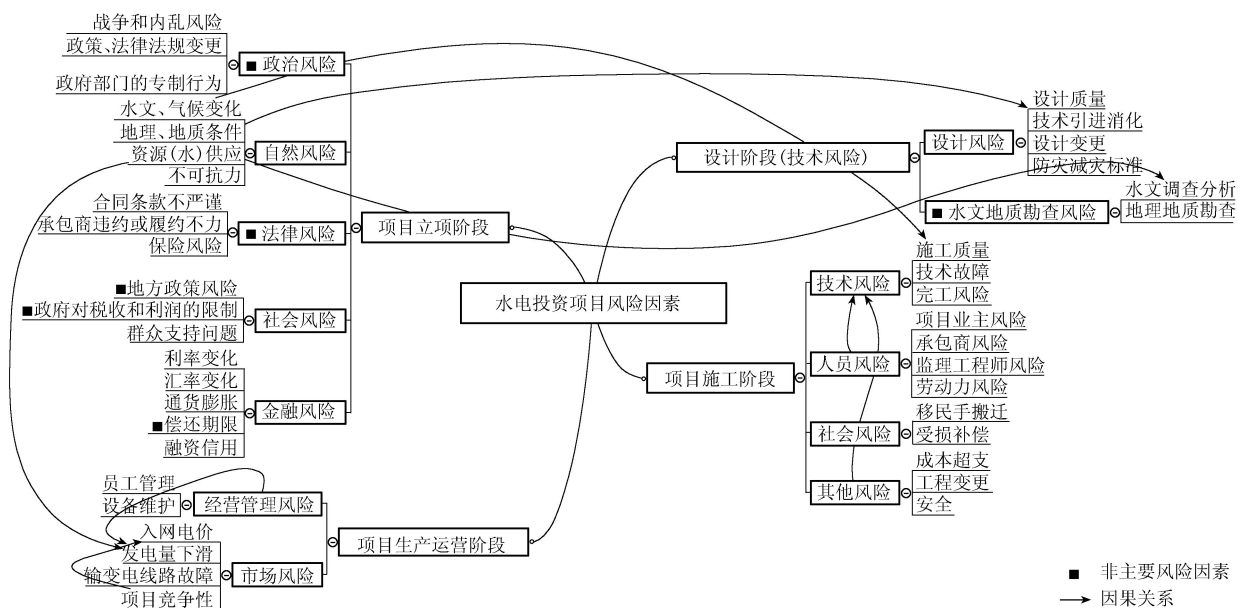


图 2 全生命周期风险因素思维导图

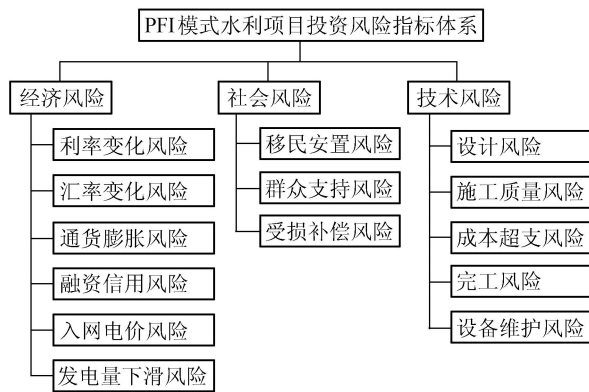


图3 主要风险指标体系

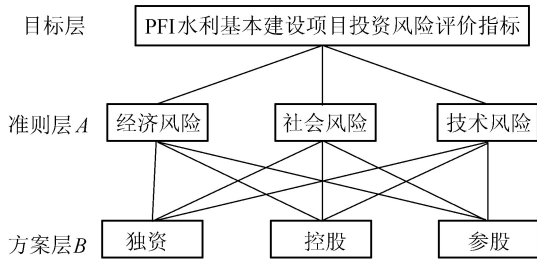


图4 投资风险评价低阶层次结构模型

2.2 各专家评价指标的权重计算及层次排序

判断矩阵 A_1 和 A_2 自身已通过一致性检查(自身相容):

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 7 \\ 1/2 & 1 & 7 \\ 1/7 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 9 \\ 1/2 & 1 & 7 \\ 1/9 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

由式(3)、式(4)得到特征排序向量:

$$w_1^A = (0.5736 \quad 0.3614 \quad 0.0650)^T \quad (13)$$

$$w_2^A = (0.5969 \quad 0.3458 \quad 0.0572)^T \quad (14)$$

w_1^A 和 w_2^A 的几何平均综合向量 $k = (0.5853 \quad 0.3536 \quad 0.0611)$ 。

根据式(10),得到相应综合特征矩阵为

$$K = \begin{bmatrix} 1.0000 & 1.6552 & 9.5725 \\ 0.6041 & 1.0000 & 5.7832 \\ 0.1045 & 0.1729 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad (15)$$

由定义3可知,只需要每个判断矩阵与综合矩阵相容即可。由定义1和定义2得到, $SI(A_1, K) = 1.0190$, $SI(A_2, K) = 1.0085$ 。

根据定理1,计算结果均小于 $S.I. = 1.1$,说明 A_1 和 A_2 是相容的,可以使用。通过几轮的交互,所有判断矩阵均通过相容性检查,专家的判断矩阵见表3~6。

2.3 结果分析

准则层形成几何平均特征向量 $u_A = (0.5853 \quad 0.3536 \quad 0.0611)$ 。在经济风险准则下的几何平均特征向量 u_{B1} ,在社会风险准则下的几何平均特征向量 u_{B2} ,在技术风险准则下的几何平均特征向量 u_{B3} 。即 $u_{B1} = (0.7335 \quad 0.1649 \quad 0.1015)$ 、 $u_{B2} = (0.7378$

表3 专家1的准则层排序

A_{ij}	$(A_1)_1$	$(A_1)_2$	$(A_1)_3$	w_1^A	$A_1 w_1^A$	λ_{max}	$C.I.$	CR
$(A_1)_1$	1	2	7	0.5736	1.7516	3.0536	0.0268	0.0462
$(A_1)_2$	1/2	1	7	0.3614	1.1034			
$(A_1)_3$	1/7	1/7	1	0.0650	0.1986			

表4 专家1在 $(A_1)_i$ 下的方案层排序

$(A_1)_i$	B_{ij}	$(B_1)_1$	$(B_1)_2$	$(B_1)_3$	$w_1^{A_j B}$	$A_1 w_1^{A_j B}$	λ_{max}	$C.I.$	CR
经济风险	$(B_1)_1$	1	6	7	0.7582	2.2993	3.0324	0.0162	0.0279
	$(B_1)_2$	1/6	1	2	0.1512	0.4586			
	$(B_1)_3$	1/7	1/2	1	0.0905	0.2745			
社会风险	$(B_1)_1$	1	6	6	0.7450	2.2750	3.0536	0.0268	0.0462
	$(B_1)_2$	1/6	1	2	0.1564	0.4777			
	$(B_1)_3$	1/6	1/2	1	0.0986	0.3009			
技术风险	$(B_1)_1$	1	2	2	0.5000	1.5000	3.0000	0	0
	$(B_1)_2$	1/2	1	1	0.2500	0.7500			
	$(B_1)_3$	1/2	1	1	0.2500	0.7500			

表5 专家2的准则层排序

A_{ij}	$(A_2)_1$	$(A_2)_2$	$(A_2)_3$	$(W_1)_i$	$A_1 W$	λ_{max}	$C.I.$	CR
$(A_2)_1$	1	2	9	0.5969	1.8038	3.0217	0.0109	0.0187
$(A_2)_2$	1/2	1	7	0.3458	1.0450			
$(A_2)_3$	1/9	1/7	1	0.0572	0.1730			

表 6 专家 2 在 $(A_2)_i$ 下的方案层排序

$(A_2)_i$	B_{ij}	$(B_2)_1$	$(B_2)_2$	$(B_2)_3$	$(W_1)_i$	$A_1 W$	λ_{\max}	$C. I.$	CR
经济风险	$(B_2)_1$	1	5	5	0.7089	2.1646	3.0536	0.0268	0.0462
	$(B_2)_2$	1/5	1	2	0.1786	0.5454			
	$(B_2)_3$	1/5	1/2	1	0.1125	0.3436			
社会风险	$(B_2)_1$	1	5	7	0.7306	2.2393	3.0649	0.0324	0.0559
	$(B_2)_2$	1/5	1	3	0.1884	0.5774			
	$(B_2)_3$	1/7	1/3	1	0.0810	0.2481			
技术风险	$(B_2)_1$	1	3	3	0.6000	1.8000	3.000	0	0
	$(B_2)_2$	1/3	1	1	0.2000	0.6000			
	$(B_2)_3$	1/3	1	1	0.2000	0.6000			

0.1724 0.0898) 及 $u_{B3} = (0.5500 \quad 0.2250 \quad 0.2250)$ 。

方案层对于目标层的综合特征向量由式(8)得:

$$U_1 = B(w_1^{A_1B} \quad w_1^{A_2B} \quad w_1^{A_3B}) w_1^A = \begin{bmatrix} 0.7410 \\ 0.1579 \\ 0.1012 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$U_2 = B(w_2^{A_1B} \quad w_2^{A_2B} \quad w_2^{A_3B}) w_2^A = \begin{bmatrix} 0.7102 \\ 0.1832 \\ 0.1066 \end{bmatrix} \quad (17)$$

群组决策综合特征向量 $U = (0.7235 \quad 0.1714 \quad 0.1052)$ 。

通过准则层特征向量 u_A 比较可以看出,经济风险综合权重略大于社会风险综合权重远大于技术风险综合权重,这和国外情况不同。国外技术风险即使较小,也不会出现如此小的权重,而国外社会风险一般会大于经济风险,说明我国水利水电建设水平处于世界领先地位,可以说没有太大的技术风险,在技术环境上不同于国外。相对而言经济风险是主要的,其次是社会风险,这是和我国政治体制有关,所以初期还是应在政府宏观调控和引导下进行投资。

群组决策综合特征向量 U 说明独资风险最大,控股风险其次,参股风险最小,而参股和控股风险权重差值不大。根据效益经济原理(效益和风险成正比关系),说明参股和控股的效益差距不应太大,意味着参股和控股股本结构不应差距太大。综上所述,笔者建议,国有资本占 30%~40%(起到引导作用),民营资本占 60%~70%;但所有股东中,无论国有还是民营,最大股东所占份额不超过 30%。

当然,风险不是决定投资的唯一因素,还需要结合相应效益,并根据决策者的偏好合理地选择投资方案。

3 结 语

PFI 模式是一种创新型的投融资模型,需要较为成熟的风险评估体系,而 PFI 模式下水利水电基

础建设项目风险评价仅依靠国外发展经验或仅从经济角度来考虑可能导致问题的失真和决策的失误。本文在对水利水电领域资深专家问卷调查的基础上,通过群组决策层次分析法对 3 种投资策略进行了风险评价,并通过挖掘专家的隐性知识,建议了投资股本比例区间。运用群组决策的关键要注意以下 3 方面:①在一些大型基础建设项目中,应该由多名专家给出多个判断矩阵,共同参与决策。②专家要具备权威性,应该聘请水利水电工程领域、水利经济、社会评价、水利金融等多方面的专家(年龄结构和知识结构的合理性)共同参与决策。③在综合决策中标度是主观确定的,不可避免地会出现误差,需要对判断矩阵进行自身相容性检查。另外如果专家意见分歧较大时,简单的折中,难有说服力,所以还需要进行判断矩阵与综合特征矩阵相容检查。

需要指出的是,在风险目标系统中一些因素是相互影响的,会给专家在给出因素标度时带来极大的困难,在下一步的研究中,需要采用新的理论和方法来研究判断矩阵的形成,例如可以考虑结合系统动力学的方法。要使用先进的方法协调各领域专家,并使其充分发挥专业优势。希望本文的研究为 PFI 水利基建项目投资提供一定参考价值。

致谢:感谢大连理工大学建设工程学部孔宪京教授和河海大学水利水电学院沈振中教授参与问卷调查及提出宝贵意见。

参考文献:

- [1] 金峰. 基于风险驱动理论的费用风险分析方法[J]. 工程管理学报, 2012, 26(1): 75-78.
- [2] 赵坤. PFI 模式在水利项目中的应用研究[D]. 大连: 东北财经大学, 2011.
- [3] EPSTEIN S, RAUZY A. Can we trust PRA[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2005, 88(3): 195-205.
- [4] 韩传峰, 陈建业. 大型基础设施项目群组决策的模糊评价[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007, 35(1): 133-137.

(下转第 36 页)