第14卷 第1期　　郑州工学院学报　　Vol.14 No.1
1993年 3 月　　Journal of Zhengzhou Institute of Technology　　Mar. 1993

"CCF"涉外建厂投资风险分析的模糊数学模型*

李 华　陈万仁

(郑州工学院化工系)

摘 要：本文结合层次分析法(AHP)，对影响"CCF"涉外建厂的各风险因素进行了比较判断及排序的计算．在Fuzzy集合论的基础上，提出了不确定变量决策问题的数学模型．

关键词：层次分析法，风险，期望，贴近度．
中图分类号：O213

由郑州工学院磷肥研究室开发的一种新型肥料——包裹型复合肥（英文名称"Coated Compound Fertilizer，简称CCF)，是以粒状尿素或硝铵为核心，以钙镁磷肥或其它枸溶性磷肥为包裹层，在包裹层中加入适量钾肥、微肥及其螯合剂、杀虫剂等，以氮磷泥浆、无机酸复合物及缓溶剂为粘接剂，将核心包裹起来，制成的植物营养复合体．调节包裹层的厚度或组成，可制成各种专用肥．CCF及其制造法已获得中国发明专利，并引起许多外商的浓厚兴趣：纷纷索要样品，要求出售肥料和引进技术．经过协商，拟合资在泰国建立一个1.5万吨／a的CCF厂，为此，进行投资风险分析．

风险，通俗地讲，就是发生不幸事件的概率．由于项目经济评价所采用的数据多数来自预测和估算，但由于缺乏足够的信息，对有关因素和未来情况无法作出精确无误的预测．因此项目实施后实际情况难免与预测情况有所差异，这种差异有可能带来风险，因此，在项目评价和经济分析中要做不确定性分析与风险分析．

风险存在着随机性与模糊性，而传统的风险分析方法，并未完全兼顾到这种既有随机概念又有模糊概念的风险决策，因此，在传统风险分析方法基础上，本文应用模糊数学的方法，来进行投资项目的风险分析．

1 层次分析法(AHP)对"CCF"涉外建厂的风险分析

1.1CCF厂主要技术经济指标如表1：

---

* 收稿日期：1990-10-5

表1: 综合技术经济指标

序号	指标名称	计算单位	设计指标	备注
1	生产规模			
	CCF	万吨/年	1.5	
2	年工作日	日	300	
3	主要原料			
	尿素	kg/h	552	工作基物料
	氯化钾	kg/h	180	
	钙镁磷肥	kg/h	1200	
4	投资总额	万元	187.85	
5	可变成本	万元/年	573.5	
6	固定成本	万元/年	70.4	
7	产品售价	U.S.D/t	200	
8	内部收益率 (FIRR)	%	20	
9	投资回收期	年	2.5	

1.2 经预测，影响CCF厂经济效果的风险因素有如下几个:

(1) 政治稳定性

近几年来，世界形势急剧动荡，几次出现较大的风波，直接影响到工农业生产，是投资项目的一个重要风险因素。

(2) 通货膨胀率和利率

通货膨胀率主要受价格指数变化率的影响，近几年来，价格指数不断上涨，仅以我国为例，1981年物价指数为2.4%，而1988年为18.5%，1989年物价指数是11.6%。因此，考虑到价格指数的变化，通货膨胀率和利率存有较大的风险。

(3) 投资总额

据统计计算[1]，CCF厂投资总额为187.85万元，采用中外合资的经营方式。考虑到世界能源危机和物价上涨因素，投资总额可能会远远大于此值，因此，认为投资总额也是一个风险因素。

(4) 建设期

CCF厂建设期为2.5年[1]，由于建设期的快慢直接影响到投资的效果，认为建设期也是一个风险因素。

(5) 原材料、价格

生产CCF的主要原料为尿素、钙镁磷肥、氯化钾等，其主要来源见表2.

可以看出，原料大部分依赖进口，故原料供应也存在一定风险。由于基础原料化肥价格不稳定，再加上国家经济政策及通货膨胀率的影响，CCF市场价格也将随之发生波动。

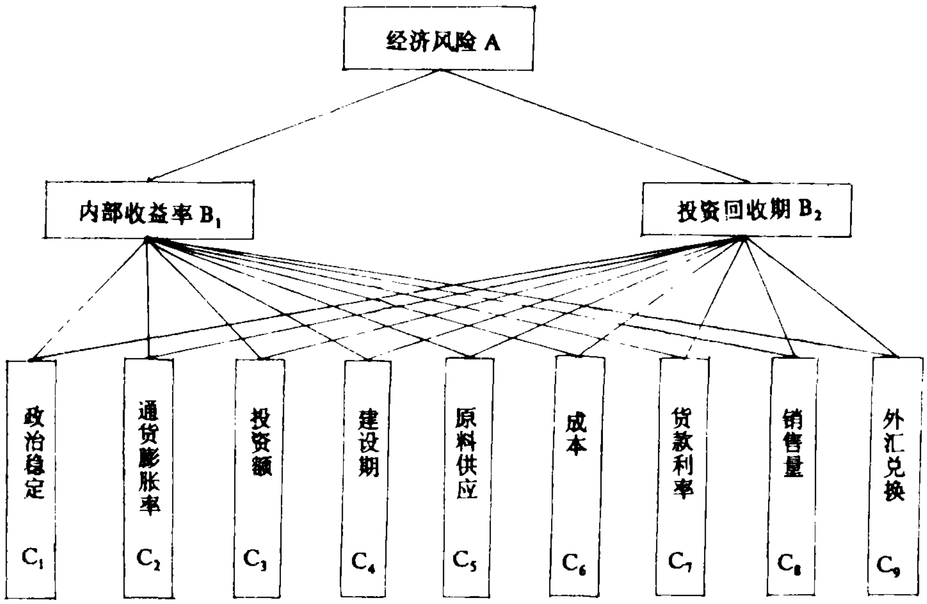
表2: 原料供应

原料	尿素	钙镁磷肥	KCl
来源	南朝鲜	中国	加拿大

(6) 销售情况

发展中国家化肥用量，2000年将从1974年的1930万吨增加到9200万吨($N+P_2O_5+K_2O$)，增加3.8倍，可以预见，在较长时间内，世界仍需要大量的肥料，市场是广阔的。

CCF含有农作物生长所需的多种营养成份，氮素适度缓效，磷素不易固定，有效成份较高，价格合理，吸湿性小，粒度均匀等优点，因此，在未来市场上有较强的竞争能力，基本上不存在销售风险，但考虑到经济形势的具体情况，CCF仍有一定的潜在风险。



A: 目标层　B: 经济评价指标层　B_1: 内部收益率 FIRR　B_2: 投资回收期

C: 风险因素层

图1　层次分析结构图

(7) 外汇兑换

国外投资需考虑外汇兑换的风险，因为一个公司在各个国家的资产、证券和收入都是用各国的货币进行衡量的，而在进行核算时，要用某一单一的货币作为基准来进行，此核算算值要受各国之间汇率涨落的影响，必然存在着汇兑风险。

另外，从技术上和环境方面来说，CCF厂采用1.5万t／a的生产装置，对于这种规

模的厂，国内已建立多套，经长周期运行考验，可以认为，在技术上能承受较大的风险。从环境方面来看，本装置产生的三废均小于国家排放标准。

1.3 用 AHP 原理，确定各因素权重分配，找出风险因素的最终排序结果。

1.3.1 层次分析结构图如图 1 所示：

1.3.2 建立两两比较的判断矩阵

采用 A. L. Seaty 的 1—9 测度方法 [2] 确定专家判断矩阵。

1—9 比例标度含义如表 3

表 3: 1—9 比例标度意义

标　度	含　　义
1	表示两因素相比具有同样重要性
3	表示两因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两因素相比，一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两因素相比，一个因素比另一个因素极端重要
2 4 6 8	上述两相邻判断中值
倒数	因素 i 与 j 比较的比较测度为 bij，因素 j 与 i 比较的比较测度为 $b_{ji}=\frac{1}{b_{ij}}$

以下是 CCF 厂风险辨识递阶层次结构的判断矩阵

(1)B 层对 A 层在 A 元素作为准则下的 B_1、B_2 的相对重要性判断矩阵 A—B

A	B_1	B_2
B_1	1	3
B_2	1/3	1

(2)C 层对于 B_1 的专家判断矩阵 B_1—C

(3)C 层相对于 B_2 的专家判断矩阵 B_2—C。

判断矩阵 B_1—C

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
C_1	1	2	1	2	5	5	3	7	2
C_2	1/2	1	1	3	6	5	6	7	2
C_3	1	1	1	4	5	5	4	5	1
C_4	1/2	1/3	1/4	1	3	3	5	3	1/3
C_5	1/5	1/6	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1	1/6
C_6	1/5	1/5	1/5	1/3	3	1	1/2	3	1/5
C_7	1/3	1/6	1/4	1/5	3	2	1	1/3	1/6
C_8	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1/3	3	1	1/7
C_9	1/2	1/2	1	3	6	5	6	7	1

判断矩阵 B_7—C

B_7	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
C_1	1	1/3	1/7	1/5	3	3	1/3	3	1/3
C_2	3	1	1/5	1/3	3	3	1	3	2
C_3	7	5	1	3	5	5	3	3	5
C_4	5	3	1/3	1	5	5	3	3	3
C_5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1	1/3	1	1/3
C_6	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1	1/3	1	1/3
C_7	3	1	1/3	1/3	3	3	1	3	1
C_8	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/3
C_9	3	1/2	1/5	1/3	3	3	1	3	1

1.3.3 层次单排序及一致性检验:

(1) 判断矩阵 A—B 的特征根、特征向量、与一致性检验。

a: 计算矩阵 A—B 各行元素的乘积

$$M_1 = 1 \times 3 = 3 \qquad M_2 = \frac{1}{3} \times 1 = \frac{1}{3}$$

b: 计算 M_i 的 n 次方根 $\overline{W}_i$

$$\overline{W}_1 = \sqrt{M_1} = 1.73$$

$$\overline{W}_2 = \sqrt{M_2} = \sqrt{\frac{1}{3}} = 0.58$$

c: 对向量 $\overline{W} = [\overline{W}_1,\ \overline{W}_2]^T = [1.73,\ 0.58]^T$ 归一化,

$$W_1 = \frac{\overline{W}_1}{\sum_{i=1}^{n} \overline{W}_i} = \frac{1.73}{2.31} = 0.75 \qquad W_2 = \frac{0.58}{2.31} = 0.25$$

所求特征向量 $W = [0.75、0.25]^T$

d. 计算判断矩阵的最大特征根 λ_{max}

$$AW = \begin{bmatrix} 3 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.75 \\ 0.25 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(AW)_i}{nW_i} = \frac{1.5}{2 \times 0.75} + \frac{0.5}{2 \times 0.25} = 2$$

e: 一致性检验:

i 计算偏离一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$

ii 查找平均随机一致性指标 RI

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

iii 计算一致性比例 CR＝CI／RI＜0.1 时，认为单排序有满意的一致性，可以接受。

A--B 阵:

$$CI=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1}=\frac{2-2}{2-1}=0 \qquad RI=0 \qquad CR=0<0.1$$

一致性检验符合要求

(2)判断矩阵 B_1--C 特征根、特征向量与一致性检验（计算过程从略)。

$$W=(0.206 \quad 0.204 \quad 0.190 \quad 0.088 \quad 0.027 \quad 0.0418 \quad 0.038 \quad 0.032 \quad 0.175)^T$$

$$\lambda_{max}=9.87 \qquad CI=0.109 \qquad RI=1.46 \qquad CR=0.074$$

(3)判断矩阵 B_2--C 特征根、特征向量与一致性检验。

$$W=(0.059 \quad 0.114 \quad 0.321 \quad 0.216 \quad 0.038 \quad 0.038 \quad 0.112 \quad 0.042 \quad 0.098)^T$$

$$\lambda_{max}=9.69 \quad CI=0.086 \quad RI=1.46 \quad CR=0.059$$

1.3.4 层次总排序及一致性检验:

(1)总排序

$$a^2=(0.75 \qquad 0.25)^T$$

$$a^3=B^3a^2=\begin{bmatrix}0.206 & 0.059\\0.204 & 0.114\\0.190 & 0.321\\0.088 & 0.216\\0.027 & 0.038\\0.042 & 0.038\\0.038 & 0.112\\0.032 & 0.042\\0.175 & 0.098\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0.75\\0.25\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.169\\0.182\\0.223\\0.120\\0.030\\0.041\\0.057\\0.035\\0.156\end{bmatrix}$$

因此，CCF 厂财务风险递阶层次结构的最终排序结果为:

$$W=(0.096 \quad 0.137 \quad 0.288 \quad 0.184 \quad 0.035 \quad 0.038 \quad 0.093 \quad 0.039 \quad 0.117)^T$$

(2)一致性检验

$$CI_2=0 \qquad RI_2=0 \qquad CR_2=0<0.1$$

$$CI_3=(CI_3^1 \quad CI_3^2)a^2=(0.109 \quad 0.086)\begin{bmatrix}0.75\\0.25\end{bmatrix}=0.103$$

$$RI_3=(RI_3^1 \quad RI_3^2)a^2=(1.46 \quad 1.46)\begin{bmatrix}0.75\\0.25\end{bmatrix}=1.46$$

$$CR_2 = CR_2 + \frac{CI_3}{RI_3} = 0 + \frac{0.103}{1.46} = 0.071 < 0.1$$

因此，该递阶层次在三层水平上整个判断有满意的一致性。

1.3.5 结论:

由 AHP 法对 CCF 厂财务风险因素辩识的结果，其风险由大到小顺序为投资额，通货膨胀率，政治稳定，外汇兑换，建设期，贷款利率，成本，销售量、原料供应。

2 风险影响下的模糊决策

由于影响未来经济效果的各风险变量的变化是随机的，因此方案实行后的结果，并不只有一种可能性，而是有多种可能性。当每种可能都有一定的概率或对于每个行动的有关自然状态无任何信息时，这种决策可用普通决策论来研究，但是，人们对自然状态的了解常介于上述两种情形之间，这种既有随机概念又有模糊概念的情形，普通决策就难以胜任，因此，在普通决策中引进模糊数学，可导出一种模糊决策的方法。

假定 CCF 厂投产以后，产品的销路分为好(Q_1)，一般(Q_2)，差(Q_3)三种可能状态，其概率分别为 $P(Q_1)=0.4$，$P(Q_2)=0.5$，$P(Q_3)=0.1$，可选择的决策方案有三种，大批量生产 A_1，中批量生产 A_2，小批量生产 A_3，如果决策为 A_i，系统状态为 Q_j 时，则系统的效益为 B_{ij}。根据产量多少和销售情况，CCF 厂盈利情况是不确定的，假定 CCF 厂某月盈利情况如表 4 所示:

表4 益损值表

自然状态	Q_1 $P_1=0.4$	Q_2 $P_2=0.5$	Q_3 $P_3=0.1$
方　案	益损值B_{ij}/ 万元		
A_1	$\frac{0.5}{2}+\frac{1}{3.0}+\frac{0.8}{4}$	$\frac{0.1}{1}+\frac{0.7}{2}+\frac{1}{2.3}+\frac{0.6}{3}$	$\frac{0.1}{0}+\frac{0.3}{-1}+\frac{1}{-1.5}+\frac{0.6}{-2}$
A_2	$\frac{1}{2.5}+\frac{0.7}{3}$	$\frac{1}{2.0}+\frac{0.5}{3}$	$\frac{0.5}{-1}+\frac{1}{0}+\frac{0.5}{1}$
A_3	$\frac{0.1}{1}+\frac{1}{1.2}+\frac{0.3}{2}$	$\frac{0.3}{1}+\frac{1}{1.2}+\frac{0.7}{1.5}$	$\frac{0.3}{1}+\frac{1}{1.2}+\frac{0.7}{1.8}$

注: 效益表达式中，分子表示可能性的大小，分母表示益损值，获利时益损值为正，亏损时益损值为负。如: 与 A_1、Q_1 对应的效益值 $B_{11}=\frac{0.5}{2}+\frac{1}{2.0}+\frac{0.8}{4}$ 表示在大批量生产，销路好的状态下，该月的盈利值可能会有 2 万元，3 万元，4 万元三种情况，其可能性的大小分别为 50%，100%和 80%。

由于期望值反映了风险变量随机变化的分布中心，因此，对于这种不确定的情况，采用模糊期望值准则进行决策。

对应于模糊数 B_{ij} 的 λ 截集上下限，得到普通决策期望值，见表5。决策者盈利的数学期望随 λ 变化而变化。

表5　普通决策期望值

策略集 \ 概率		θ_1 $P_1=0.4$	θ_2 $P_2=0.5$	θ_3 $P_3=0.1$
下限	A_1	2.0	1.0	0
	A_2	2.5	2.0	-1.0
	A_3	1.0	1.0	1.0
上限	A_1	4.0	3.0	-2.0
	A_2	3.0	3.0	1.0
	A_3	2.0	1.5	1.8

* $\lambda=0.1$

由此可得决策者盈利的数学期望值。如果决策为 A_i，系统的效益用 B_i 来表示的话，则对于下限 B_1，B_2，B_3，期望值分别为：

B_1：$2\times0.4+1\times0.5+0\times0.1=1.3$

B_2：$2.5\times0.4+2\times0.5+(-1)\times0.1=1.9$

B_3：$1\times0.4+1\times0.5+1\times0.1=1.0$

对于上限，B_1，B_2，B_3 的期望值分别为：

B_1：$4\times0.4+3\times0.5+(-2)\times0.1=2.9$

B_2：$3\times0.4+3\times0.5+1\times0.1=2.8$

B_3：$2\times0.4+1.5\times0.5+1.8\times0.1=1.73$

同理，对于 $\lambda=0.3$、0.5、0.6、0.7、0.8、1.0 进行同样计算，结果列为表6

表6：不同 λ 值的数学期望值表

λ	期望值 B	下限期望值	上限期望值	λ	期望值 B	下限期望值	上限期望值	λ	期望值 B	下限期望值	上限期望值
0.1	B_1	1.3	2.9	0.1	B_2	1.9	[illegible]	0.1	B_3	1.0	[illegible]
0.3	B_1	1.6	[illegible]	0.3	B_2	[illegible]	[illegible]	0.3	B_3	1.1	[illegible]
0.5	B_1	1.6	3.0	0.5	B_2	1.9	2.8	0.5	B_3	1.2	[illegible]
0.6	B_1	2.0	3.0	0.6	B_2	2.0	2.2	0.6	B_3	1.2	[illegible]
0.7	B_1	2.1	2.5	0.7	B_2	2.0	[illegible]	0.7	B_3	1.2	[illegible]
0.8	B_1	2.2	2.5	0.8	B_2	2.0	2.0	0.8	B_3	1.2	1.2
1.0	B_1	2.2	2.2	1.0	B_2	2.0	2.0	1.0	B_3	1.2	1.2

对于上述结果进行综合，得到一个模糊数：

$$\underset{\sim}{B_1}=\frac{0.1}{1.3}+\frac{0.5}{1.6}+\frac{0.6}{2.0}+\frac{0.7}{2.1}+\frac{1}{2.2}+\frac{0.7}{2.5}+\frac{0.8}{2.6}+\frac{0.6}{3.0}+\frac{0.1}{2.9}+\frac{0.3}{3.1}$$

$$\underset{\sim}{B_2}=\frac{0.5}{1.9}+\frac{1}{2.0}+\frac{0.7}{2.2}+\frac{0.5}{2.8}$$

$$\underset{\sim}{B_3}=\frac{0.1}{1.0}+\frac{0.3}{1.1}+\frac{1}{1.2}+\frac{0.7}{1.4}+\frac{0.6}{1.7}$$

$\underset{\sim}{B_1}$、$\underset{\sim}{B_2}$、$\underset{\sim}{B_3}$ 分别是表示决策者采取决策行动 A_1、A_2、A_3 时所得盈利的期望值模糊集表示.

下面以每一个决策的模糊期望值为基础，选择最优决策.

设决策 A_i 在各种自然状态下产生的期望值模糊集为

$$B_i=\frac{\mu_1}{b_1}+\frac{\mu_2}{b_2}+\cdots+\frac{\mu_k}{b_k}\qquad k=1,\ 2,\ \cdots n$$

决策 A_i 的最大集[3]为,

$$B_{imax}=\frac{\mu_{1m}}{b_1}+\frac{\mu_{2m}}{b_2}+\cdots+\frac{\mu_{km}}{b_k}\qquad k=1,\ 2,\ \cdots n$$

其中 $\mu_{km}=b_k/b_{max}$。

B_i 和 B_{imax} 的交集为 $B_i^*=B_{imax}\bigcap B_i$ 其隶属度为 $\mu_k^*(b_k)=\mu_k(b_k)\wedge\mu_{km}(b_k)$

A_i 属于最优决策模糊集 A 的隶属度为

$$\mu_A(A_i)=\bigvee_k\mu_k^*(b_k)$$

按最大隶属度原则，便可选出最优决策.

按照上述方法，可求出模糊最优决策 A 为,

$$A=\frac{0.8}{A_1}+\frac{0.71}{A_2}+\frac{0.71}{A_3}$$

故最优决策为 A_1

另外，引入模糊最大[4]的概念，可以对模糊数进行比较，从而选择最优决策.

定义两个模糊数的模糊最大为，$\vee Z\in R$，$\mu_{\underset{\sim}{A}\bigcap\underset{\sim}{B}}(Z)=\bigvee_{z=x\vee y}(\mu_A(x)\wedge\mu_B(y))$

计算 $\underset{\sim}{B_1}$、$\underset{\sim}{B_2}$、$\underset{\sim}{B_3}$ 的模糊最大 $\underset{\sim}{B_1}\bigcup\underset{\sim}{B_2}\bigcup\underset{\sim}{B_3}$，得 $\underset{\sim}{B_1}\bigcup\underset{\sim}{B_2}\bigcup\underset{\sim}{B_3}=\frac{0}{1.0}+\frac{0}{1.1}$

$$+\frac{0}{1.2}+\frac{0}{1.3}+\frac{0}{1.4}+\frac{0}{1.6}+\frac{0}{1.7}+\frac{0.5}{1.9}+\frac{0.6}{2.0}+\frac{0.7}{2.1}+\frac{1}{2.2}+\frac{0.7}{2.5}+\frac{0.8}{2.6}+\frac{0.5}{2.8}+\frac{0.1}{2.9}$$

$$+\frac{0.6}{3.0}+\frac{0.3}{3.1}$$

为了判别各决策方案 A_1、A_2、A_3 与最优决策接近程度，用 Hamming 贴近度 σ_H 来计算。

当 $x=\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$时

$$\sigma_H(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B})=1-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|\underset{\sim}{A}(x_i)-\underset{\sim}{B}(x_i)|$$

计算得，

$$\sigma_1=0.906 \quad \sigma_2=0.789 \quad \sigma_3=0.500$$

故此，选择行动方案 A_1，它最贴近最优决策。

3 结束语

本文用 AHP 原理，对影响 CCF 厂的风险因素进行了大小排序，克服了传统风险辩识方法的不足，更具有科学性。本文考虑到系统状态的随机性、模糊性，以每一个决策方案的模糊期望效益为基础，运用最大集及模糊最大的定义找出最优决策模糊集，用贴近度进行了模糊性度量，从而选择最优决策，这种模糊决策的数学模型兼顾了期望效益的大小及其隶属度，比较全面地揭示了不确定因素对经济效果的影响，为 CCF 厂的合理决策提供了可靠的科学依据。

作者感谢闫家杰、许秀成、张宝林老师对本文的支持和帮助。

参考文献

〔1〕 关于生产包裹型复合肥料的可行性报告．郑州工学院磷肥研究室．1990年7月．

〔2〕 赵焕臣等．层次分析法——一种简易的新决策方法．科学出版社．1985．

〔3〕 陈德行．模糊决策与模糊模拟．"模糊数学"1986年第2期．

〔4〕 耿存仁等．模糊集论与管理决策．电子工业出版社．1988．

A Fuzzy Mathematic Model Decribing Investitive Risk on Building CCF Plant in Abroad

Li Hua　Chen WanRen

(Zhengzhou Inst. of Tech.)

Abstract: By using Analystical Hierarchy Process (AHP) method, This paper indentifies main risk factors on building CCF plant in abroad. In the base of classical decision theory, A optimal method of fuzzy decision making involving the imprecise variables is presented.

Keywords: AHP method, risk, expectation, nearness for fuzzy subsets.