

# 黄土高原地区可持续发展指标体系与评价方法设计

崔灵周<sup>1</sup>, 曹明明<sup>2</sup>, 李占斌<sup>1</sup>, 李勉<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北大学 城市与资源学系, 西安 710069)

**摘 要:** 黄土高原地区在我国经济发展总体布局中居于承东启西、协调东西关系的重要战略地位, 实现其可持续发展对于西部大开发具有较强的示范和带动作用。在全面分析黄土高原可持续发展态势的基础上, 对本区可持续发展指标体系的结构框架和可持续发展评价方法进行了初步研究, 设计出了包括高级综合指标、基本指标和元素指标 3 个类型的层次性可持续发展指标体系结构框架。熵技术支持下确定可持续发展指标权重的层次分析法以及用于黄土高原地区可持续发展全面综合评价的集成评价模型, 为规范和引导该区的可持续发展进程提供了科学依据。

**关键词:** 黄土高原地区 可持续发展 指标体系 评价方法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2000)03-0015-05

中图分类号: F323, S157

## Design on Index System and Evaluation Method of Sustainable Development in Loess Plateau Region

CUI Ling-zhou<sup>1</sup>, CAO Ming-ming<sup>2</sup>, LI Zhan-bin<sup>1</sup>, LI Mian<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling District 712100, Shaanxi Province, PRC; 2. Department of Urban and Resources Sciences, Northwest University, Xi'an 710069 PRC)

**Abstract** In the whole arrangement of our nation economy development, the loess plateau region acts as an important strategic position which connects the east and west of China. The sustainable development of the loess plateau can set an example to the development of the west China. Based on analysing the state of sustainable development of the loess plateau, the structure frame of sustainable development index system and sustainable development evaluation method are studied, the structure frame of sustainable development index system including three types of index such as advanced comprehensive index, basic index and element index has been designed, the AHP which can be used to calculate the sustainable development index weight supported by entropy technology, and composite evaluation model that can evaluate the sustainable development of the loess plateau comprehensively. The scientific theory of regulating and inducing the sustainable development of loess plateau region is provided.

**Keywords** loess plateau region; sustainable development; the index system; evaluation method

随着国家西部大开发战略的启动和实施, 黄土高原地区这块在中国经济发展格局中历来扮演着“偏远贫困, 环境恶劣, 经济落后”角色的独特地域也迎来了新的发展机遇。如何以此为契机, 切实推动全区经济的快速增长, 优势资源的合理开发利用, 人口增长的有效控制, 生态环境的良性循环及社会的全面进步, 最终实现可持续发展, 不仅成为本区当前及今后亟待解决的首要问题, 而且对于我国整个西部发展具有较强的示范和带动作用。为此, 本文在广泛调研的基础之上, 依据可持续发展基本理论, 从定量角度对黄土

高原地区可持续发展指标体系与评价方法进行了初步研究, 为进一步规范、引导、推进本区的可持续发展进程提供有力的理论依据。

### 1 黄土高原地区可持续发展态势分析

#### 1.1 黄土高原地区可持续发展面临的主要挑战

1.1.1 经济发展缓慢 改革开放以来, 由于受特定自然环境及国家发展战略的影响, 黄土高原地区经济发展速度明显低于全国平均水平及东部沿海地区<sup>[1]</sup>。

1978—1995 年, 黄土高原地区国内生产总值按可比

价计算年均增长率 9.3%, 分别低于同期全国和沿海地区年均增长率 (9.75% 和 11.2%) 0.45% 和 1.9%, 同东南沿海地区经济发展较快的粤、闽、苏、浙、琼 5 省相比则低 3%~6%。与此同时, 黄土高原地区在基础设施建设、投资环境、乡镇企业、三资企业、民营企业以及金融、贸易等方面的发展远落后于东南沿海地区。经济发展的相对滞后使黄土高原地区实现可持续发展缺少足够的物质保障。

1.1.2 以土壤侵蚀为特征的生态环境恶化加剧 由于黄土高原地区本身固有的脆弱自然环境, 加之长期以来土地利用很不合理, 植被遭受破坏, 土壤侵蚀极为严重<sup>[2]</sup>。全区土壤侵蚀模数大于  $500 \text{ t/km}^2$  的面积约  $3.39 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 大于  $1000 \text{ t/km}^2$  的约  $2.92 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 大于  $5000 \text{ t/km}^2$  的严重侵蚀面积  $1.66 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 为世界严重土壤侵蚀地区之一。黄土高原地区严重的水土流失不仅影响当地的可持续发展, 而且导致黄河下游干流河床逐年淤高, 洪水危害严重威胁着黄淮海平原千百万人民生命财产安全和广大地区的经济建设。

1.1.3 人口超速增长 据中国科学院黄土高原综合科学考察队人口组的研究<sup>[3]</sup>, 1949 年黄土高原地区人口为  $3.64 \times 10^7$  人, 占全国人口 6.72%, 密度为  $58 \text{ 人/km}^2$ ; 到 1990 年, 全区人口达  $9.03 \times 10^7$  人<sup>[2]</sup>。40a 来人口总量增长 1.48 倍, 净增人口  $5.3 \times 10^7$  人, 为自西汉到 1949 年净增人口  $1.8 \times 10^7$  的 2.94 倍, 年均增长率为 2.29%, 高于全国同期总量增长的 90% 和年均增长率 1.86% 的速度。人口剧增加重了土地的负担, 使以开荒、毁坏植被为特征的人类活动加剧, 造成了黄土高原地区生态环境的进一步恶化。

1.1.4 观念陈旧, 思想意识落后 尽管市场经济大潮早已席卷全国, 但由于“低层次”平面垦殖和传统经济行为与封闭自然经济系统的影响<sup>[3]</sup>, 黄土高原地区人们思想意识依旧落后, 同深化改革、加快经济发展、实现可持续发展很不适应, 突出反映在自给自足的封闭意识较强, 市场观念、开放意识、竞争意识和效益意识淡薄, 企业改革和政府职能转换进展较慢。

## 1.2 黄土高原地区实现可持续发展的独特优势

1.2.1 重要的战略地位 从我国国土整治和经济发展的总体布局看, 黄土高原地区居于承东启西、协调东西关系的重要战略地位<sup>[2]</sup>。一方面, 黄土高原地区的能源、原材料产品是东部地区进一步发展的可靠物质基础; 另一方面, 黄土高原地区又是进入大西北、大西南的天然通道, 是我国实施西部大开发的重要阵地。因此, 黄土高原地区在全国经济发展格局中架起

了由西向东循序推进的桥梁, 对于我国西部大开发战略的实施具有不可替代的重要作用。

1.2.2 良好的农林牧综合发展条件 黄土高原地区深厚沉积的黄土具有疏松多孔的优良物理性状, 其降水入渗能力强, 为植物生长创造了优越条件; 土地类型复杂多样, 面积广阔。全区现有耕地  $1.69 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 牧草地  $2.39 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 人均分别达到  $240 \text{ m}^2$  和  $340 \text{ m}^2$ , 均高于全国平均水平; 加之本区光热资源丰富, 名优特产及植物种类繁多, 人口密度低, 污染较小, 是天然绿色食品生产基地<sup>[4]</sup>。

1.2.3 巨大的工业发展潜力 黄土高原地区分布有丰富的煤炭、石油、天然气、铝土矿、有色金属等。就主要矿产在全国的地位看, 煤炭储量占全国的 70% 以上, 铝土矿储量占全国的 58%, 钼矿储量占全国的 36%, 稀土矿占全国的 93%, 铌矿占全国的 1/2 以上。特别是能源和矿产资源的组合良好, 多数有色、黑色金属等矿产资源富集区靠煤近水, 开发条件好, 黄河又有丰富的水能资源, 从而为黄土高原地区能源重化工基地建设提供了非常有利的条件<sup>[2]</sup>。

## 2 黄土高原地区可持续发展指标体系

可持续发展是一个多层次、多领域的决策问题, 为增强可持续发展思想在研究和制定黄土高原地区发展战略中的指导作用, 就必须将可持续发展目标具体化, 即用一些可测量的定量指标将其明确表达出来, 构成有序指标集合, 即指标体系。再结合一套科学的评价方法, 可对黄土高原地区不同时段内的可持续发展状态进行定量分析与评价, 对其所处状态与发展趋势进行科学界定。

### 2.1 黄土高原地区可持续发展指标体系设计原则

2.1.1 反映可持续发展思想的主要内涵 发展的可持续性、环境的限制性、社会的公平性以及发展的协调性被认为是可持续发展思想的主要内涵<sup>[5]</sup>。为使这些内涵在指标体系中得以体现, 必须考虑设置用于测度黄土高原地区资源、环境、经济、社会、人口 5 大子系统可持续发展状态指标、相互协调指标、环境发展指标及社会进步指标。

2.1.2 体现黄土高原地区的地域特征 黄土高原地区实现可持续发展所面临的严峻挑战及所具有的独特优势是指标体系设计的现实依据。应着重设置经济增长、经济效益、经济结构等经济发展指标, 生态环境治理力度等环境指标, 资源承载力、资源利用效益等资源性指标, 人口自然增长率、人口文化素质等人口发展指标以及生活质量指标、科技教育指标等。

2.1.3 注重单项指标在指标体系中的指示作用 某些单项指标类似于生态系统或生物群落的指示植物一样的功能,它能反映可持续发展系统的某些实质性变化,具有阶段性指示作用<sup>[5]</sup>。因而,指标体系的设计应注重确定对黄土高原地区可持续发展具有长期性或阶段性指示作用的指标,如生物的多样性、资源的保有量、贫困人口数量、人均基本生活收入等,这类指标可对黄土高原地区可持续发展所处状态及发展趋势首先做出判断。

2.1.4 提高指标选取的科学性、可操作性及相对完备性 科学性是指所选指标物理意义明确,测定、统计及计算方法规范,数据来源可靠,能够准确度和反映黄土高原地区可持续发展系统的现状特征和发展趋势<sup>[6]</sup>。可操作性是指指标的设置要尽量利用现有资料、有关规程及标准,使其具有可测性、可比性,易于量化,利于实际推广应用。相对完备性是指所设置的指标应比较全面反映和测度黄土高原地区的主要发展特性、发展状况及发展趋势。

2.2 可持续发展指标体系的结构框架设计  
黄土高原地区是一个包括人口、资源、环境、经济和社会的复杂巨系统(见图 1)。

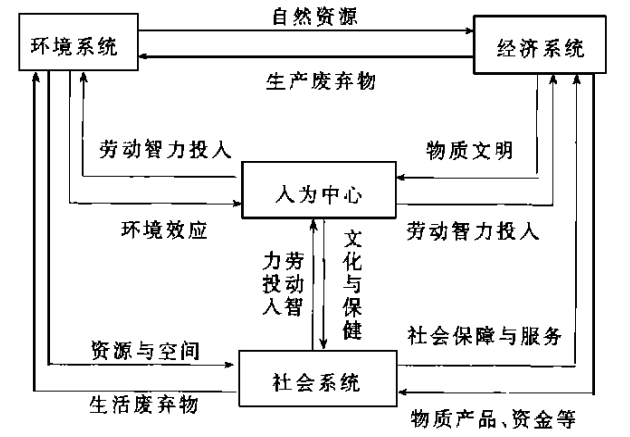


图 1 黄土高原地区可持续发展复合系统示意图

可持续发展指标体系要准确反映本地区可持续发展水平,各子系统间的协调发展状况及其相互作用的结果信息,就必须在透彻了解此地区可持续发展系统的结构、功能、特点以及可持续发展目标的基础上,选取一组相互关联且能够表征各子系统特征的典型敏感指标,组建黄土高原地区可持续发展指标体系的结构框架,作为评价黄土高原地区人口、资源、环境、经济和社会可持续发展水平及协调发展程度的科学依据。本文依此设计出了包括高级综合指标、基本指标和元素指标 3 个类型的层次性结构框架(见图 2)。

可  
持  
续  
发  
展  
综  
合  
指  
数  
 $X$

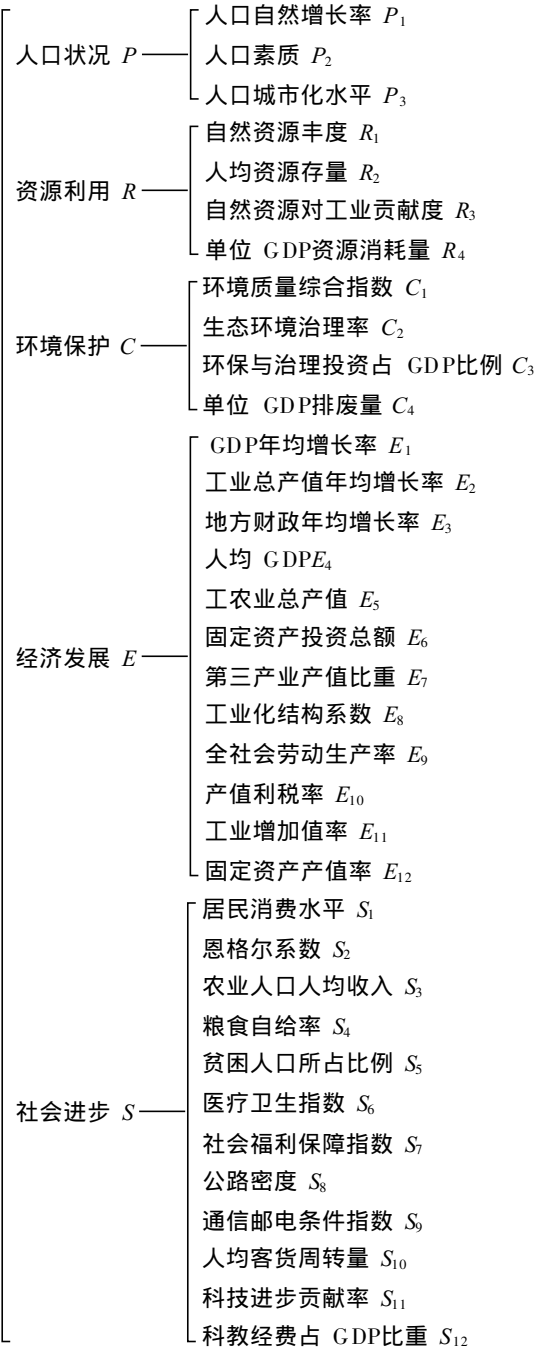


图 2 黄土高原地区可持续发展指标体系结构框架

2.2.1 高级综合指标 为了从宏观层次刻画黄土高原地区可持续发展系统作用规律,反映黄土高原地区可持续发展整体态势,本文设计出了高级综合指标——可持续发展综合指数( $X$ )。该指标是黄土高原地区可持续发展系统总体运行效果,黄土高原地区经济发展与人口增长、资源利用、生态环境治理、社会进步之间相互协调程度,及此地区可持续发展系统的发展潜力与人为调控可持续发展能力的综合体现。它由人口状况( $P$ )、资源利用( $S$ )、环境治理( $C$ )、经济发展( $E$ )和社会进步( $S$ ) 5 个基本指标进一步描述。

2.2.2 基本指标 为了进一步刻画黄土高原地区可持续发展系统中人口、资源、环境、经济和社会各子系统对高级综合指标——可持续发展综合指数 ( $X$ ) 的作用和影响,本文设计出了人口状况 ( $P$ )、资源利用 ( $S$ )、环境治理 ( $C$ )、经济发展 ( $E$ ) 和社会进步 ( $S$ ) 5 个基本指标。这些基本指标是依据上述各子系统的发展特征与发展目标而设置的,是各子系统可持续发展水平的集中表现。其中人口状况基本指标 ( $P$ ) 由人口自然增长率等 3 个元素指标具体描述;资源利用基本指标 ( $S$ ) 由自然资源丰度等 4 个元素指标描述;环境治理基本指标 ( $C$ ) 由环境质量综合指数等 4 个元素指标具体描述;经济发展基本指标 ( $E$ ) 由 GDP 年均增长率等 12 个元素指标描述;社会进步基本指标 ( $S$ ) 由居民消费水平等 12 个元素指标描述。

2.2.3 元素指标 该指标是描述黄土高原地区可持续状态的基础指标,是黄土高原地区可持续发展指标体系的最小组成单位。本文采用频度统计法,即对目前有关可持续发展指标体系研究的报告、论文进行频度统计,选择那些频度较高的指标;理论分析法,即对区域可持续发展的内涵、特征进行分析综合,选择那些能表征黄土高原地区可持续发展的重要特征指标;专家咨询法,即在初步提出的元素指标的基础之上,征询有关专家的意见,并以此对现有元素指标进行调整,如此建立一般元素指标。在此基础之上,依据黄土高原地区自然环境特点和社会经济发展状况,以及指标数据的可得性,最后得出人口自然增长率等 35 个元素指标。

### 3 黄土高原地区可持续发展评价方法

可持续发展评价方法设计涉及评价标准的选择、指标权重的确定、评价模型的建立等<sup>[6]</sup>。在具体方法设计时,既要注重方法的科学性,又要考虑不同类型指标对于方法的具体要求,从而提高可持续发展评价结果的准确性、可靠性及应用性。

#### 3.1 评价标准的选择

3.1.1 依据评价目的选择评价标准 对于以建立黄土高原地区不同地域可持续发展序列谱为评价目的项目,则可选择参考时间断面不同地域相同指标的平均值作为评价标准;而对于评价目的在于要了解黄土高原地区可持续发展的动态变化,以发现问题,为可持续发展的规划、管理服务的项目,则可选择本地区参考年的指标数据为评价标准。

3.1.2 依据指标类型选择评价标准 对于发展型指标如 GDP 基尼系数、恩格尔系数等以及协调型指标如环境治理力度、人口自然增长率、科技贡献率等,可

选择参考年全国相应指标的平均值;对于限制型指标如环境承载力、资源回收率、环境质量指数等,可采用通过综合研究和科学实验所测的反映自然系统承受能力的底线值或警戒值作为评价标准。

#### 3.2 指标权重的确定

指标权重的合理与否在很大程度上影响可持续发展综合评价的正确性和科学性。近年来,利用层次分析法 (AHP) 确定权重越来越受到研究人员的重视,并取得了多方面的应用,该方法识别问题的系统性强,可靠性高,可大力提高评价的简便性和准确性,但该方法在采用专家咨询方式时,容易产生循环而不满足传递性公理,导致标度把握不准并丢失部分信息。为此,本文设计出了熵技术支持下可持续发展指标权重确定的层次分析法。

该方法首先建立递阶层次结构,将评价指标层次化;其次由专家和决策者对所列指标通过两两比较重要性程度而逐层进行判断评分,利用判断矩阵的特征向量确定下层指标对上层指标的贡献程度;最后利用熵技术对所得指标权重进行修正,具体方法如下:

(1) 对已构造的判断矩阵  $R = \{r_{ij}\}_{n \times n}$ ,按公式  $\bar{r}_{ij} = r_{ij} \sum_{k=1}^n r_{kj}$  做归一化处理,得到标准矩阵

$$\bar{R} = \{\bar{r}_{ij}\}_{n \times n},$$

则指标  $f_j$  输出的熵

$$E_j = -(\ln n)^{-1} \sum_{i=1}^n \bar{r}_{ij} \ln \bar{r}_{ij}, \text{可推知 } 0 \leq E_j \leq 1;$$

(2) 求指标  $f_j$  的偏差度  $d_j$ :

$$d_j = 1 - E_j;$$

(3) 确定指标  $f_j$  的信息权重  $w_j$ :

$$w_j = d_j \sum_{j=1}^n d_j;$$

(4) 利用信息权重  $w_j$  修正由 AHP 得出的可持续发展指标权重系数  $w_{\text{总}} = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ ,得到修正后的指标权系数  $\lambda_j$ :

$$\lambda_j = w_j w_j \sum_{j=1}^n w_j$$

从而得到各指标较合理的权系数向量  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ 。

#### 3.3 评价模型的建立

本文应用数理统计方法及熵技术支持下的层次分析法 (AHP),设计出了一种既能反映黄土高原地区特定时刻可持续发展水平,又能判断本地区可持续发展协调发展趋势,从而可对黄土高原地区可持续发展作出全面综合评价的集成评价模型<sup>[7]</sup>。这里所谓的“集成”,是指各种数学方法的综合应用。

3.3.1 计算可持续发展水平 首先根据上文所设计的反映黄土高原地区可持续发展系统及其人口 ( $P$ )、资源 ( $R$ )、环境 ( $C$ )、经济 ( $E$ ) 和社会 ( $S$ ) 各子系统的指标体系结构框架,利用熵技术支持下的层次分析法求得各类指标权重;再依据所确定的评价标准,将指标进行量化处理,其值与相应权重的乘积,即为该指标的评价值

然后运用主成分分析法确定黄土高原地区可持续发展系统及其各子系统的可持续发展水平,具体方法如下:若某系统的  $P$  各指标  $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)$  可采用线性组合方式表示为另一组随机变量

$$y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_r),$$

$$\text{即 } y_j = \sum_{i=1}^p l_{ij} x_i, \quad j = 1, 2, 3, \dots, r \quad (1)$$

设主成分  $y_i$  的方差  $V(y_i) = \lambda_i, i = 1, 2, 3, \dots, r$

$$\text{令 } g_i = \lambda_i \sum_{j=1}^r \lambda_j \quad (2)$$

式中:  $g_i$ ——第  $i$  个主成分的贡献率,该指标越大,则

表明指标概括  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$  的能力越强  $\sum_{j=1}^i g_j$  则

为前  $i$  个主成分的累积贡献率,若  $\sum_{i=1}^k g_i \geq 90\%$ , 则  $F = g_1 y_1 + g_2 y_2 + \dots + g_k y_k$ ,  $F$  即为某系统的持续发展水平。

3.3.2 确定可持续发展协调系数 首先依据所得可持续发展水平,利用计量经济学中回归分析法,确定各系统可持续发展协调比例关系<sup>[8]</sup>。其原理为:假定变量  $P, R, C, E, S$  之间的关系可表示为回归方程  $S = b_0 + b_1 P + b_2 R + b_3 C + b_4 E$ , 即表明要做到  $P, R, C, E, S$  之间的协调,就要在  $P, R, C$  不变的情况下,  $E$  每变化一个单位要求  $S$  同方向变化  $b_4$  个单位

然后依据所计算出的系统比例关系,将黄土高原地区各子系统的协调值与实际发展水平值进行对比,计算出可持续发展协调系数,以说明系统间的协调状况,进而表明本区域可持续发展协调程度 本文采用模糊数学中的相对 Hamming 距离来计算可持续发展协调系数,即:

$$w(c_1, c_2) = 1 - b [W(c_1, c_2)] \quad (3)$$

式中,  $a, b$  是适当选取的参数

$$W(c_1, c_2) = \frac{1}{n} d(c_1, c_2) \quad (4)$$

$$\text{则: } W(c_1, c_2) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_2(x_i) - u_1(x_i)|$$

式中:  $c_1, c_2$ ——论域  $u$  上的 2 个模糊子集;  $w(c_1, c_2)$ ——论域  $u$  上的 2 个模糊子集  $c_1, c_2$  的协调系数;  $n$ ——论域  $u$  中元素的个数。

## 参 考 文 献

- [1] 毛汉英.西北地区可持续发展的问题与对策 [J].地理研究, 1997, 16(3): 13- 22
- [2] 张天曾.黄土高原论纲 [M].中国环境科学出版社, 1993.
- [3] 张有实.黄土高原地区综合治理与开发——宏观战略与总体方案 [M].中国科学技术出版社, 1991.
- [4] 孙俊杰,等.黄土高原水土流失综合治理与开发的途径与前景 [J].水土保持通报, 1998, 18(6): 58- 62.
- [5] 周海林.可持续发展评价(指标)体系及其确定方法的探讨 [J].中国环境科学, 1999, 19(4): 12- 15.
- [6] 曹利军,等.可持续发展评价指标体系建立原理与方法研究 [J].环境科学学报, 1998, 19(4): 526- 532.
- [7] 王慧敏,等.都江堰灌区可持续发展评价体系 [J].水利学报, 1999(5): 13- 18.
- [8] 于瑞峰.区域可持续发展状况的评估方法研究及应用 [J].系统工程理论与实践, 1998(5): 1- 6.