

# 矿井开采条件的模糊综合评价研究

张绍文 李祥仪 李仲学

(北京科技大学资源工程学院, 北京 100083)

**摘要** 矿井开采条件是影响煤矿设计和生产的重要因素, 它是一个由多个子因素组成的综合指标。本文在对开采条件评判指标体系进行了分析的基础上, 应用模糊综合评判的理论建立了开采条件的综合评判模型, 并在实际矿井中进行了应用。

**关键词** 开采条件 模糊评判 评判指标

## The Study of Fuzzy Comprehensive Judgment about Mining Condition in Underground Mine

Zhang Shaowen Li Xiangyi Li Zhongxue

(Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083)

**Abstract** The mining condition in underground mine is an important factor to design and produce. It is a synthetic index that includes many sub-indexes. The judgment index system was analyzed in the paper. By means of fuzzy comprehensive judgment theory, the comprehensive judgment model was set up and used in real mine.

**Keywords** mining condition; fuzzy judgment; index

### 1 前言

矿井生产与一般工业企业生产的最大区别是: 矿井生产是开采地下赋存的矿产资源, 资源的赋存状态、伴生的地质构造是客观存在的, 不可改变的, 因此形成了不可改变的生产条件。对不同的矿井而言, 由于地质作用的影响不同, 所形成的生产条件也不尽相同, 有时甚至相差甚远。矿井生产条件的好坏, 直接关系到矿井的开采方式和开采规模的确定、技术装备的选择和矿井生产成本的大小。因此, 若要保证矿井生产合理、经济, 对矿井生产条件进行评价是非常必要的。

矿井生产条件是一个综合性指标, 它受众多因素影响。在这些众多因素中, 绝大多数是模糊变量, 无法寻求到它们与开采条件之间的精确数学关系式来衡量它们对矿井开采条件的影响程度。因此, 若想评价矿井生产条件的好坏, 模糊数学提供了有效的工具。本文应用模糊综合评判原理建立了矿井开采条件综合评价模型, 并在实际矿井中进行了应用。

### 2 模糊综合评判的基本方法

模糊评判是根据给出的评价标准和实测值, 经过模糊变换后对事物作出评价的一种方法; 综合评价是对多种因素所影响的事物或现象作出总的评价。模糊综合评价的基本方法和步骤如下:

#### 1) 寻找评价因素集

$$U = [u_1, u_2, \dots, u_n]$$

因素集是以影响评判对象的各种因素为元素的一个普通集合。

### 2) 对各个影响因素赋权值

各个影响因素对评价对象的影响程度是不一样的。因此在进行评价时, 每个因素的重要性程度也不同。为了使评价更具科学性, 对各个因素应分别赋予不同值——权值。组成权重集:

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$$

### 3) 建立备择集

备择集是评判者对评判对象可能作出的各种评价的评判结果所组成的集合:

$$V = [v_1, v_2, \dots, v_m]$$

### 4) 确定隶属关系, 建立评判矩阵

根据实际生产现状, 寻找因素集中各个元素对备择集中各个元素的隶属关系, 建立隶属函数, 确定隶属度。单个因素构成一个模糊评判向量:  $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ ; 所有单因素的模糊评判向量构成因素模糊评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

### 5) 模糊综合评判

把单因素模糊评判矩阵与各个因素的权重集进行模糊运算, 可得到模糊综合评判指标。

$$B = A \circ R = [a_1, a_2, \dots, a_n] \circ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} = [b_1, b_2, \dots, b_m]$$

其中:  $b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij})$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ )

### 6) 进行归一化处理

首先计算各评价指标之和:  $b = \sum_{i=1}^m b_i$ , 再用  $b$  除各个评判指标, 即:

$$B = \left( \frac{b_1}{b}, \frac{b_2}{b}, \dots, \frac{b_m}{b} \right)$$

得到归一化的模糊综合评判指标。

## 3 矿井开采条件影响因素分析及评价因素集建立

### 3.1 评价体系的确定

影响矿井开采条件的因素众多, 文献[2]从评价矿井级差收益的角度出发, 提出了反应矿井生产成本的技术指标体系。文献[2]中提出的评价指标是比较系统全面的, 是值得借鉴的。本文在此基础上, 针对矿井开采条件的评价特点, 确定其评价指标体系如图1所示。并建立矿井开采条件因素集  $A$ , 即:

$$A = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}), \quad X_i \subset A$$

其中:  $A$  为评价因素集合;  $X_1$  为断层;  $X_2$  为褶皱;  $X_3$  为火成岩侵入;  $X_4$  为顶底板条件;  $X_5$  为煤层稳定性;  $X_6$  为煤层倾角;  $X_7$  为煤层厚度;  $X_8$  为煤层埋藏深度;  $X_9$  为“三下”压煤比例;  $X_{10}$  为瓦斯事故危险程度;  $X_{11}$  为水灾危险程度;  $X_{12}$  为火灾危险程度。

### 3.2 各个评价因素权值确定

各个影响因素权重的确定在模糊综合评判中占有非常重要的位置, 权重确定的合理与否将直接影响评判结果。确定权重的有效方法很多, 如多元统计分析法、模糊方程求解法、层次分析法、专家咨询法等。根据该

问题影响因素多、因素间相互关系复杂等特点, 本文采用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process 简称 AHP 法) 确定各因素的权重。在确定权重时评判矩阵是通过咨询一定数量有经验的专家并通过计算而得到。层次分析法计算各个因素权重的计算框图如图 2 所示。程序用 BASIC 语言编写, 通过上机计算可得出各个影响因素的权值。计算结果见图 1 中的数字。

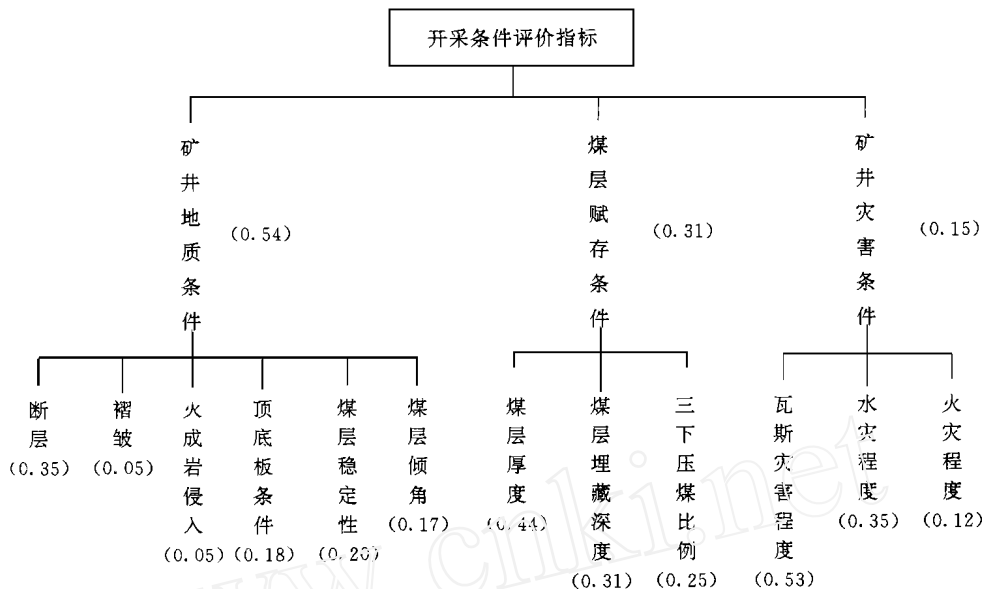


图 1 矿井开采条件评价指标体系

## 4 矿井开采条件模糊评判模型的建立

### 4.1 矿井开采条件备择集的建立

矿井开采条件本身就是一个模糊的概念, 它的评价不能用一个精确的数学量来度量, 只能用模糊语言来描述。其评价标准用一个模糊集合  $B$  表述:  $B = \{好, 较好, 一般, 差\}$ 。

### 4.2 各个影响因素隶属关系函数及单因素评价集的建立

#### 1) 地质条件

地质条件的主要影响因素是断层、褶皱、火成岩侵入、煤层稳定性、顶底板条件和煤层倾角等六项指标。1991 年原中国统配煤矿总公司生产局曾根据这六项指标建立了矿井地质条件分类标准。在分类中, 上述六项指标均分为 I、II、III、IV 四类, 其中 I 类条件为最好。依此分类标准建立各项地质因素的单因素评价集 (表 1)。

表 1

各项地质因素类别	I	II	III	IV
单因素评价集	{0.8, 0.2, 0, 0}	{0.2, 0.6, 0.2, 0}	{0, 0.2, 0.6, 0.2}	{0, 0, 0.2, 0.8}

#### 2) 煤层赋存条件

##### (a) 可采煤层厚度

以最适合综合采设备的煤层厚度 2.5~4.0m 为标准样本, 并规定 0.6 米以下煤层为不可采煤层。建立其单因素评价集。

当可采煤层厚度  $m = 2.5 \sim 4.0$  (米), 设定评价集为 {1, 0, 0, 0}。

当可采煤层厚度  $m > 4.0$  (米), 采煤机难于一次采全高, 易产生丢煤皮的现象; 用分层开采会使开采成本上升; 用放顶煤方法开采, 回采率相对较低。但这样的煤层生产能力大。设定评价集为 {0.7, 0.3, 0, 0}。

当可采煤层厚度  $m = 1.8 \sim 2.5$  (米), 可以采用综采设备开采, 但综采设备不能发挥其最大的效率, 设定评价集为

$$\left\{ \frac{5m-5.5}{7}, 1 - \frac{5m-5.5}{7}, 0, 0 \right\}$$

当可采煤层厚度  $m = 1.2 \sim 1.7$  (米), 一般不用综采设备开采, 故设定评价集为

$$\left\{ 0, \frac{10m-12}{5}, 1 - \frac{10m-12}{5}, 0 \right\}$$

当可采煤层厚度  $m < 1.1$  (米), 属于薄煤层, 不能用综合设备开采, 故设定评价集为:

$$\left\{ 0, 0, \frac{10m-6}{5}, 1 - \frac{10m-6}{5} \right\}$$

(b) 煤层埋藏深度

矿井开采深度越浅越好, 以能够采用露天开采的最大深度为标准样本, 其露天开采的最大深度需根据剥采比确定, 根据生产实际经验一般取50米。据此建立单因素评价集

当  $H < 50$  (米), 设定评价集为  $\{1, 0, 0, 0, 0\}$ ;

当  $H = 50 \sim 200$  (米), 设定评价集为  $\left\{ 1 - \frac{H-50}{150}, \frac{H-50}{150}, 0, 0 \right\}$ ;

当  $H = 200 \sim 500$  (米), 设定评价集为  $\left\{ 0, 1 - \frac{H-200}{300}, \frac{H-200}{300}, 0 \right\}$ ;

当  $H = 500 \sim 800$  (米), 设定评价集为  $\left\{ 0, 0, 1 - \frac{H-500}{300}, \frac{H-500}{300} \right\}$ ;

当  $H > 800$  (米), 设定评价集为  $\{0, 0, 0, 1, 0\}$ 。

(c) “三下”压煤比例

“三下”压煤的比例越小越好。由于矿井设计

的需要, 当生产矿井的“三下”压煤量占可采储量的比例小于10%时, 可认为该因素对开采条件影响最小; 当矿井“三下”压煤量占可采储量的比例大于70%时, 认为该因素对开采条件影响严重。据此建立单因素评价集。设“三下”压煤量为  $Q$ : 当  $Q < 10\%$  时, 评价集为  $\{1, 0, 0, 0, 0\}$ ;

当  $Q = 10\% \sim 30\%$  时, 评价集为  $\left\{ 1 - \frac{Q-10}{20}, \frac{Q-10}{20}, 0, 0 \right\}$ ;

当  $Q = 30\% \sim 50\%$  时, 评价集为  $\left\{ 0, 1 - \frac{Q-30}{20}, \frac{Q-30}{20}, 0 \right\}$ ;

当  $Q = 50\% \sim 70\%$  时, 评价集为  $\left\{ 0, 0, 1 - \frac{Q-50}{20}, \frac{Q-50}{20} \right\}$ ;

当  $Q > 70\%$ , 评价集为  $\{0, 0, 0, 1, 0\}$ 。

3) 自然灾害程度

(a) 矿井瓦斯灾害程度

《煤炭安全规程》规定: 当矿井瓦斯相对涌出量大10% ( $m^2/t$ ) 时, 确定该矿井为高瓦斯矿井。据实际生产可知, 当瓦斯相对涌出量大于15% ( $m^2/t$ ) 时, 瓦斯对矿井生产的影响是非常严重的。据此建立单因素评价集。设瓦斯相对涌出量为  $q$ :

当  $q < 1$  ( $m^2/t$ ), 评价集为  $\{1, 0, 0, 0, 0\}$ ;

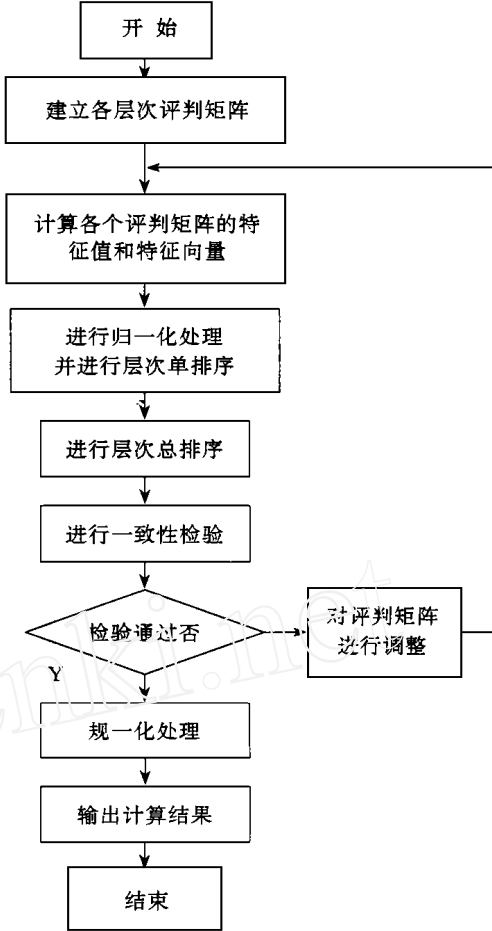


图2 权重计算框图

当  $q = 1 \sim 6(\text{m}^2/\text{t})$  时, 评价集为  $\left\{ 1 - \frac{q-1}{5}, \frac{q-1}{5}, 0, 0 \right\}$ ;  
 当  $q = 6 \sim 10(\text{m}^2/\text{t})$  时, 评价集为  $\left\{ 0, 1 - \frac{q-6}{4}, \frac{q-6}{4}, 0 \right\}$ ;  
 当  $q = 10 \sim 15(\text{m}^2/\text{t})$  时, 评价集为  $\left\{ 0, 0, 1 - \frac{q-10}{5}, \frac{q-10}{5} \right\}$ ;  
 当  $q > 15(\text{m}^2/\text{t})$  时, 评价集为  $\{0, 0, 0, 1.0\}$ 。

(b) 矿井水灾程度

原中国统配煤矿总公司生产局地测处制定了矿井水文地质条件分类标准。在分类中, 按矿井水文地质情况, 把矿井水文地质条件分为 I、II、III、IV 四类, 其中 I 类条件为最好。依此分类标准建立各项地质因素的单因素评价集。(表 2)

表 2

水文地质条件类别	I	II	III	IV
单因素评价集	{0.8, 0.2, 0, 0}	{0.2, 0.6, 0.2, 0}	{0, 0.2, 0.6, 0.2}	{0, 0, 0.2, 0.8}

(c) 矿井火灾程度

原中国统配煤矿总公司安全局制订了煤层自燃性分类标准。在分类中, 把矿井煤层按自燃倾向分为 I、II、III、IV 四类, 其中 I 类为最好, 煤层基本无自燃倾向。依此分类标准建立各项地质因素的单因素评价集(表 3)。

表 3

煤层自燃倾向类别	I	II	III	IV
单因素评价集	{0.8, 0.2, 0, 0}	{0.2, 0.6, 0.2, 0}	{0, 0.2, 0.6, 0.2}	{0, 0, 0.2, 0.8}

4.3 矿井开采条件二级模糊综合评价模型

在矿井开采条件评价中, 把 12 个影响因素划分成两个层次如图 1 所示。

1) 矿井开采条件一级模糊综合评价模型

12 项因素对开采条件备择集中各个元素的隶属度及评价集合 ( $r_x$ ) 均已确定, 组成模糊评价矩阵。故一级模糊评价模型为:

地质因素模糊评价:

$$R_{地} = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6) \circ [r_{断}, r_{褶}, r_{火}, r_{顶板}, r_{稳}, r_{倾角}]^{-1} = (d_1, d_2, d_3, d_4)$$

煤层赋存条件模糊评价:

$$R_{煤层} = (a_1, a_2, a_3) \circ [r_{厚}, r_{深}, r_{压}]^{-1} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$$

矿井灾害程度模糊评价:

$$R_{灾害} = (a_1, a_2, a_3) \circ [r_{瓦}, r_{水}, r_{火}]^{-1} = (z_1, z_2, z_3, z_4)$$

2) 矿井开采条件二级模糊综合评价模型

矿井开采条件一级模糊评判结束后, 其各个评判指标  $R_{地}$ ,  $R_{煤层}$ ,  $R_{灾害}$  构成二级模糊评判矩阵:

$$\begin{bmatrix} R_{地} \\ R_{煤层} \\ R_{灾害} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 & d_3 & d_4 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 \\ z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \end{bmatrix}。 \text{矿井开采条件的模糊二级评价模型为:}$$

$$R = (w_1, w_2, w_3) \circ [R_{地质}, R_{煤层}, R_{灾害}]^{-1} = (v_1, v_2, v_3, v_4)$$

3) 确定评判对象结果

通过计算得到评判指标 ( $v_1, v_2, v_3, v_4$ ) 后, 可根据最大隶属度法则确定评判对象的结果。即取最大评判指标  $v_{\max} = \max(v_1, v_2, v_3, v_4)$  相对应的备择元素为评判结果。

5 实例

### 5.1 各个待评价矿井的开采条件指标

有五个生产矿井(五矿为理想矿井),各个生产矿井的评价指标值见表4。

表4 各生产矿井开采条件指标评价价值表

评价指标	一矿	二矿	三矿	四矿	五矿
断层	I	II	I	III	I
褶皱	I	II	II	III	I
火成岩侵入	I	II	I	I	I
煤层稳定性	II	II	II	III	I
顶底板条件	II	II	III	II	I
倾角	I	I	II	III	I
煤层平均厚度(米)	3.3	1.4	6	1.5	4.6
开采深度(米)	78	183	296	477	92
三下压煤比例	24%	33%	40%	48%	21%
瓦斯相对涌出量(m <sup>2</sup> /t)	0.3	3	10	16	0.3
水文地质条件	I	I	II	III	I
火患等级	III	II	II	III	I

### 5.2 各生产矿井开采条件模糊评判

根据表4中开采条件指标评价价值各因素的模糊隶属关系和单因素评价向量、矩阵的建立方法可得到一矿开采条件单因素评价矩阵为:

$$R_{11} = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad R_{12} = \begin{pmatrix} 1.0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad R_{13} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \end{pmatrix};$$

进行模糊综合评价:

一级模糊综合评价:

地质条件的单因素评价:

$$(0.35, 0.05, 0.05, 0.18, 0.20, 0.17) \circ \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \end{pmatrix} = (0.35, 0.2, 0.2, 0)$$

进行规范化处理得到其单因素评价集: (0.46, 0.27, 0.27, 0)

同理可计算出: 煤层赋存条件单因素评价集: (0.64, 0.36, 0, 0)

矿井自然灾害单因素评价集: (0.55, 0.21, 0.12, 0.12)

二级模糊综合评价:

由图1可知,第一层三个因素的权系数为: (0.44, 0.31, 0.25)

故一矿地质条件的评价集为:

$$Y_1 = (0.44, 0.31, 0.25) \circ \begin{bmatrix} 0.46, & 0.27, & 0.27, & 0.00 \\ 0.64, & 0.36, & 0.00, & 0.00 \\ 0.55, & 0.21, & 0.12, & 0.12 \end{bmatrix} = (0.44, 0.31, 0.27, 0.12)$$

规一化  $Y_1 = (0.39, 0.27, 0.24, 0.10)$ 。

计算结果表明,一矿开采条件属于“好”、“较好”、“一般”、“差”的隶属度分别为 39%、27%、24%、10%。按最大隶属度原则,该矿井的开采条件均属于“好”的类别。

同理,可计算出其它四个矿井的模糊评判指标如下:

$$Y_2 = (0.32, 0.36, 0.32, 0)$$

$$Y_3 = (0.31, 0.31, 0.35, 0.03)$$

$$Y_4 = (0.19, 0.29, 0.33, 0.19)$$

$$Y_5 = (0.54, 0.46, 0.0, 0.0)$$

各个矿井模糊评价结果见表 5:

表 5 各生产矿井模糊评判结果一览表

矿井名称	一矿	二矿	三矿	四矿	五矿
评判结果	好	较好	一般	一般	好

## 6 结论

清楚地了解矿井开采条件的好坏,对矿井安全、有效、经济地开采有着极其重要的意义。本文针对矿井开采条件具有多因素影响性和模糊性的特点,提出的评判指标体系、建立的模糊隶属关系及模糊综合评判模型,并把该模型应用于实际矿井开采条件的评价中,其评价结果与实际生产相吻合。因此本文提出的方法对评价矿井开采条件指导煤矿生产具有较大的参考价值。

### 参考文献

- 1 冯德益,楼世博. 模糊数学方法与应用. 北京:地震出版社,1983
- 2 煤炭工业技术咨询委员会. 矿井综合评价及分类(研究报告),1992
- 3 刘永尊,车永才,张绍文. 模糊数学在回采工作面分类中的应用. 阜新矿业学院学报,1991(4)
- 4 赵黎明等. 灾害综合评估研究. 系统工程理论与实践,1997,17(3)

(上接第 64 页)

### 参考文献

- 1 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉:华中理工大学出版社,1985
- 2 Bunn, Derk W. Applied Decision Analysis Library of congress cataloging in publication data, 1984
- 3 樊治平. 有时序多指标决策理想矩阵法. 系统工程,1993(1)
- 4 何勇. 相对关联综合评判模型及应用. 系统工程理论方法应用,1996,5(2)
- 5 邓聚龙. 灰色预测与决策. 武汉:华中理工大学出版社,1986
- 6 陈进. C 语言程序设计技巧及应用. 上海:上海科学普及出版社,1992