

文章编号:1000-582X(2008)02-0197-05

# 煤矿本质安全管理综合评价体系模型与应用

杜春宇<sup>1,2</sup>, 陈东科<sup>1</sup>, 杜翠凤<sup>1</sup>, 宋存义<sup>1</sup>

(1. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083; 2. 平顶山工学院 管理工程系, 河南 平顶山 467001)

**摘要:**为了减少和控制煤矿事故的发生, 建立健全一套动态的人、机、环境、信息、管理、文化和谐统一的管理体系, 实现其本质安全化的目标。根据煤矿安全管理的基本原理, 设计了用于评价煤矿本质安全管理的指标体系, 并利用模糊层次分析法建立了三级综合评价模型, 对神东补连塔煤矿和平煤天安十二矿进行了本质安全管理进行了综合评价, 评价结果与煤矿企业实际基本吻合, 此方法比较好的解决了系统多指标的综合问题。可广泛应用在对煤矿本质安全管理的综合评价。

中图分类号: TD82-9

文献标志码: A

## Application and Model of Comprehensive Evaluation of Coal Mine Inherent Safety Management System

DU Chun-yu<sup>1,2</sup>, CHEN Dong-ke<sup>1</sup>, DU Cui-feng<sup>1</sup>, SONG Cun-yi<sup>1</sup>

(1. Civil and Environment Engineering School, University of Science and Technology Beijing 100083, P. R. China; 2. Management Project Department, Pingdingshan Institute of Technology, Pingdingshan, Henan 467001, P. R. China)

**Abstract:** To reduce and controlling coal mine disaster occurrence, a set of sound dynamic safety management system of person, machine, environment, information, management, and culture, with harmony and unification, was built up for achievement of its inherent safety goals. According to the basic principle of safety management in coal mines, an index system was designed for inherent safety management evaluation of coal mines, and 3 grade comprehensive evaluation model with fuzzy AHP (analytical hierarchy process) was set up, for Shandong Bulianta and Pingmei Tianan 12 coal mine in comprehensive evaluation of coal mine inherent safety management. Evaluation results and the actual coal mine enterprises basic anatomists, this method is effective and reliable in dealing with complicated problems of multi-index and can be applied to comprehensive evaluation of inherent safety management evaluation of coal mines.

**Key words:** fuzzy AHP method; coal mine; inherent safety management; comprehensive evaluation

煤炭是中国的基础能源,也是国家能源安全的基石。《国务院关于促进煤炭工业健康发展的若干意见》中进一步强调了煤炭工业在国民经济中的重要战略地位,指出了煤炭将长期是我国的主要能源。煤炭工业的持续、稳定、健康发展直接关系到中国能源安全和建设全面小康社会目标的实现。预防和控制煤矿重特大事故的发生,促进煤矿安全生产形势

的根本好转已成为国家和政府层面上急需解决的重大问题,是中国安全生产工作的核心任务。

对于煤矿这样复杂的人—机—环境系统,完全依靠过去注重的安全技术系统的可靠性,还不足以完全杜绝事故。只有构建煤矿本质安全管理体系,才能减少和控制煤矿灾害的发生。实现零事故的目标。

收稿日期: 2007-10-08

作者简介: 杜春宇(1967-),女,北京科技大学土木与环境工程学院博士研究生,平顶山工学院管理工程系教授,研究方向为安全工程, (E-mail) cyd67@163.com。

# 1 确定煤矿企业本质安全管理体系的评价指标

## 1.1 评价指标的确定原则<sup>[1-2]</sup>

1) 评价指标应能体现煤矿企业本质安全管理水平的任务、目的和要求。

2) 评价指标应以横向比较为主,把横向比较和纵向比较结合起来。通过横向对比,可以了解煤矿企业在同行业中的位置和竞争能力,而纵向比较则可以揭示煤矿企业发展变化的趋势。

3) 评价指标中定量指标与定性指标相结合。对于那些能够通过统计或会计资料计算的管理效果,应尽可能采取定量方法得出精确、肯定的分析,而对于那些难于定量表示的效果,则应作较详细的定性说明,以便对煤矿企业管理水平做出全面客观的评价。

4) 评价指标应作到现实能力评价与潜在能力评价相结合。一个本质安全管理方案实施后,不仅要在近期见效,而且也要在若干年后见到成效。

5) 评价指标应作到过程评价与结果评价相结合。过程评价是指对各项基础管理和专业管理等的评价。煤矿企业本质安全管理是一个有目的的由一系列活动所组成的过程,且过程与结果的关系是复杂的,不总是表现为正相关关系。所以,在评价时,应以结果为主,同时兼顾过程的评价。

6) 评价指标应遵循不相容原则。

煤矿企业是一个系统,其本质安全管理水平的好坏可以从多方面反映出来,而且这些因素又是相互交叉、相互联系的。如果过分强调评价指标的独立性,就会增加评价模型的复杂程度,势必违背可操作性原则。因此,将每一个指标看成是一独立的、确定的集合,不同方面的内容分别纳入不同的指标中,同层次中的不同指标在内容上互不重复或相容。

## 1.2 评价指标的内容

根据上述原则和我国煤矿企业本质安全管理目标与定位,把煤矿企业本质安全管理体系划分为 6 类(含 25 个指标和 44 个分指标)如表 1 所示。

表 1 煤矿本质安全管理综合评价指标体系及其权重

二级系统指标	综合权重	二级系统指标	综合权重	二级系统指标	三级系统指标	综合权重
煤矿从业人员的本质安全化 C <sub>1</sub>	0.266	安全心理 u <sub>1</sub>	0.326	安全心理 u <sub>1</sub>	急躁心理 t <sub>1</sub>	0.229
		安全生理 u <sub>2</sub>	0.226		省能心理 t <sub>2</sub>	0.109
		安全技术素质 u <sub>3</sub>	0.245		侥幸心理 t <sub>3</sub>	0.121
		安全教育状况 u <sub>4</sub>	0.205		盲动心理 t <sub>4</sub>	0.128
煤矿机械设备的本质安全化 C <sub>2</sub>	0.222	矿用防爆电气设备 u <sub>5</sub>	0.311	安全生理 u <sub>2</sub>	麻痹心理 t <sub>5</sub>	0.115
		矿用一般电气设备 u <sub>6</sub>	0.151		逆反心理 t <sub>6</sub>	0.298
		矿用设备的定期检测 u <sub>7</sub>	0.110		视觉 t <sub>7</sub>	0.319
		日常检查维修 u <sub>8</sub>	0.429		听觉 t <sub>8</sub>	0.269
煤矿工作环境的本质安全化 C <sub>3</sub>	0.083	井下自然环境因素 u <sub>9</sub>	0.365		嗅觉 t <sub>9</sub>	0.169
		井下作业环境因素 u <sub>10</sub>	0.635		味觉 t <sub>10</sub>	0.074
煤矿组织管理的本质安全化 C <sub>4</sub>	0.229	安全性评价 u <sub>11</sub>	0.158	井下安全静态信息	知觉 t <sub>11</sub>	0.169
		安全生产责任制 u <sub>12</sub>	0.140		矿井瓦斯等级鉴定报告 t <sub>28</sub>	0.147
		安全措施 u <sub>13</sub>	0.134		矿井煤尘爆炸性鉴定报告 t <sub>29</sub>	0.147
		危险源检查、监控与应急救援体系 u <sub>14</sub>	0.106		矿井主要通风机性能测试报告 t <sub>30</sub>	0.147
		安全生产管理机构和管理人员 u <sub>15</sub>	0.087		矿井主要排水泵性能测试报告 t <sub>31</sub>	0.147
		注册安全工程师数量 u <sub>16</sub>	0.087		矿井主要提升机性能测试报告 t <sub>32</sub>	0.147
		安全资金的投入 u <sub>17</sub>	0.087		安全生产许可证 t <sub>33</sub>	0.089
		事故统计和处理制度 u <sub>18</sub>	0.067		矿长安全培训合格证 t <sub>34</sub>	0.061
		井下安全动态信息 u <sub>20</sub>	0.635		管理人员安全培训合格证 t <sub>35</sub>	0.061
		法律、法规、标准、规范的执行 u <sub>21</sub>	0.283		特殊工种安全培训合格证 t <sub>36</sub>	0.061
煤矿企业本质安全文化 C <sub>6</sub>	0.121	井上、井下环境保护管理 u <sub>22</sub>	0.178	井下安全动态信息	矿井安全监测表 t <sub>37</sub>	0.160
		自愿规范安全行为 u <sub>23</sub>	0.283		矿井通风监测表 t <sub>38</sub>	0.160
		安全标识 u <sub>24</sub>	0.123		矿井瓦斯检查表 t <sub>39</sub>	0.160
		作业人员准入管理 u <sub>25</sub>	0.133		矿井粉尘浓度检查表 t <sub>40</sub>	0.160
					矿井主要设备完好率 t <sub>41</sub>	0.091
					矿井电气设备失爆率 t <sub>42</sub>	0.091
					矿井主要安全设施检查表 t <sub>43</sub>	0.091
					矿井主要安全装置检查表 t <sub>44</sub>	0.091
					井下自然环境因素 u <sub>9</sub>	0.122
					围岩岩性因素 t <sub>12</sub>	0.172
					地质构造因素 t <sub>13</sub>	0.222
					开采深度因素 t <sub>14</sub>	0.147
					围岩含水性因素 t <sub>15</sub>	0.147
					煤层瓦斯含量因素 t <sub>16</sub>	0.122
					煤层自然发火因素 t <sub>17</sub>	0.172
					煤尘爆炸性因素 t <sub>18</sub>	0.145
					井下作业环境因素 u <sub>10</sub>	0.138
		环境支护因素 t <sub>19</sub>	0.092			
		环境通风因素 t <sub>20</sub>	0.092			
		作业空间因素 t <sub>21</sub>	0.092			
		环境温度因素 t <sub>22</sub>	0.062			
		环境湿度因素 t <sub>23</sub>	0.118			
		作业光度因素 t <sub>24</sub>	0.118			
		环境噪声因素 t <sub>25</sub>	0.118			
		环境粉尘因素 t <sub>26</sub>	0.118			
		环境气体成分因素 t <sub>27</sub>	0.118			

### 1.3 评价指标的关联性

煤矿本质安全管理是指在一定经济技术条件下,在煤矿全生命周期过程中对系统中已知规律的危险源进行预先辨识、评价、分级,进而对其进行消除、减小、控制,实现煤矿人·机·环系统的最佳匹配,使事故降低到人们期望值和社会可接受水平的风险管理过程。

依据煤矿本质安全管理的目标、定位和 Trevor Kletz 等提出的本质安全原理和设计方法(表2),设计了煤矿企业本质安全管理评价体系关系(图1)。

表2 常用本质安全原理和关键词

原理	解释
最小化	减少危险物质的数量
替代	使用安全的物质或工艺
稀释或缓和	在安全的条件下操作,例如常温、常压和液态
损坏最小化	改进设计和操作使损失最小化,例如装置隔离等
简化	简化工艺、设备具有容错功能
容错	使工艺、设备具有容错功能
避免碰撞	设备、设施有充足的间隔布局,或使用开放结构
避免组装	使用特定的阀门或管线系统避免人为失误
错误	
状况清楚	避免复杂设备和信息过载
容易控制	减少手动装置和附加的控制装置

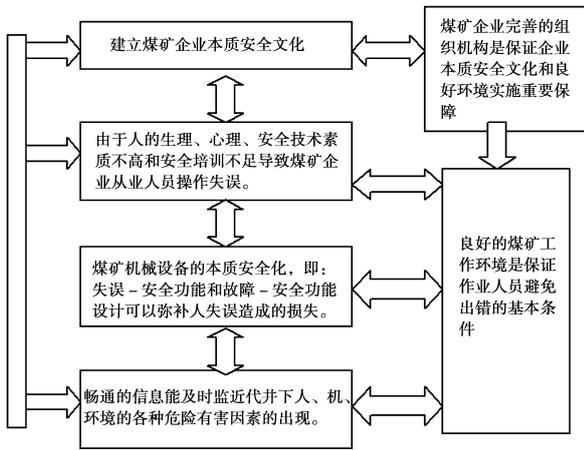


图1 煤矿企业本质安全管理评价体系指标关联图

## 2 建立多级模糊层次综合评价模型

模糊层次综合评价法是将模糊数学与层次分析法相结合的一种系统评价方法。它比较好的解决了系统多指标的综合问题,是迄今为止较为先进的评价方法。笔者所建立的煤矿本质安全管理综合评价体系是一个多级的模糊层次综合评价模型,其框图

如图2所示。现分述

### 2.1 确定评价因素集U与评语集V<sup>[3]</sup>

1)确定评价因素集。在表1层次中,分别用  $u_1, u_2, \dots, u_{25}$  来表示煤矿职工安全心理,职工安全生理,……,煤矿作业人员准入管理,则得评价因素集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{25}\}$ 。类似地,在分指标层中分别用  $t_1, t_2, \dots, t_{44}$  来表示急躁心理,省能心理……,矿井主要安全装置检查表,则得评价因素集  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{44}\}$ 。其余类推。

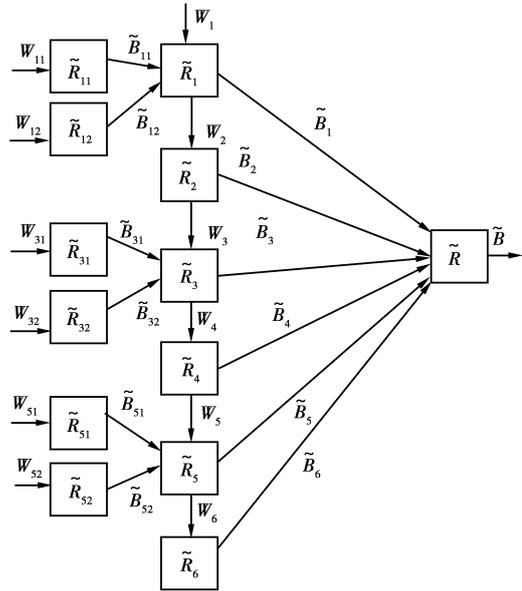


图2 煤矿企业本质安全管理多级模糊层次综合评价模型框图

2)确定评语集。对指标的评语目前有几种类型:三级评语集、五级评语集、七级评语集和九级评语集。其中三级评语集过于粗略,七级、九级评语集又过于详细、繁琐。从评价的简便出发,将评价结果分为:煤矿本质安全管理I( $V_1$ )、煤矿本质安全管理II( $V_2$ )、煤矿本质安全管理III( $V_3$ )、煤矿本质安全管理IV( $V_4$ )和非煤矿本质安全管理( $V_5$ )五个档次,并用评语集  $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$  表示。

### 2.2 计算单因素评价矩阵 $\tilde{R}$

#### 2.2.1 定量指标的单因素评价<sup>[4]</sup>

1)根据先进性、动态性和可比性确定定量指标(因素)的合理取值范围。煤矿本质安全管理I级:95分以上、煤矿本质安全管理II级:85~95分、煤矿本质安全管理III级:75~85分、煤矿本质安全管理IV级:65~75分和非煤矿本质安全管理:65分以下。而对一些不宜统一的定量指标,仅给出它们的大致范围,以便使所建模型具有较强的通用性。

2)建立隶属函数,确定隶属度<sup>[5]</sup>。确定了各定量指标的合理取值范围后,就可以建立每个指标(因

素)的隶属函数了。 $u_i$  的取值范围与评语集  $V$  相对应的五个区间  $(-\infty, a], (a, b], (b, c], (c, d], (d, \infty]$ 。若将  $u_i$  看成是某个区间上的普通集合, 则会造成两个区间边缘点数值相差不大, 而评语相差一个级别的不合理现象, 为了消除这种不合理现象需作模糊化处理。具体做法是: 设在中间区间的中点其隶属函数取最大值 1.0, 而在相邻两区间的中点其隶属函数取最小值 0, 连结 1.0 与 0, 即得  $u_i$  对评语等级  $V_j$  的隶属函数。

根据各指标的特性, 拟定其隶属函数为线性函数, 并且满足, 若  $\mu_{V_j}(u_i) = 1$ , 则  $\mu_{V_{j-1}}(u_i) = \mu_{V_{j+1}}(u_i) = 0$ 。如  $u_4$  - 职工安全培训状况, 通过作图 (如图 3-2-1) 和计算求出其隶属函数表达式。

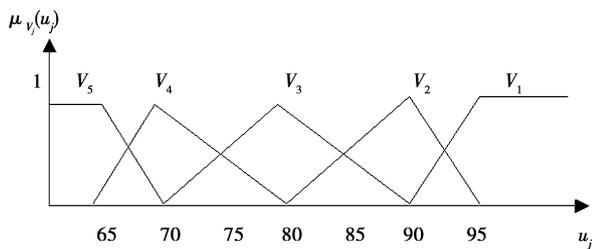


图 3  $u_i$  对  $V_j$  的线性隶属函数  
其隶属函数的数学表达式:

$$\mu_{V_5}(u_4) = \begin{cases} 1.0, & u_4 \geq 95 \\ 0, & u_4 < 95 \end{cases}$$

$$\mu_{V_4}(u_4) = \begin{cases} \frac{(u_4 - 90)}{5}, & 90 \leq u_4 < 95 \\ 0, & u_4 < 90 \end{cases}$$

$$\mu_{V_3}(u_4) = \begin{cases} \frac{(95 - u_4)}{5}, & 90 \leq u_4 < 95 \\ \frac{(u_4 - 80)}{10}, & 80 \leq u_4 < 90 \\ 0, & u_4 < 80 \\ 0, & u_4 \geq 95 \end{cases}$$

$$\mu_{V_2}(u_4) = \begin{cases} \frac{(90 - u_4)}{10}, & 80 \leq u_4 < 90 \\ \frac{(u_4 - 70)}{10}, & 70 \leq u_4 < 80 \\ 0, & u_4 < 70 \\ 0, & u_4 \geq 90 \end{cases}$$

$$\mu_{V_1}(u_4) = \begin{cases} \frac{(80 - u_4)}{10}, & 70 \leq u_4 < 80 \\ \frac{(u_4 - 65)}{5}, & 65 \leq u_4 < 70 \\ 0, & u_4 < 65 \\ 0, & u_4 \geq 80 \end{cases}$$

$$\mu_V(u_4) = \begin{cases} \frac{(70 - u_4)}{5}, & 65 \leq u_4 < 70 \\ 1, & u_4 < 65 \\ 0, & u_4 > 70 \end{cases}$$

根据上述隶属函数即可求得对  $u_4$  的评价结果:

$$\tilde{R}_{u_4} = (r_{41}, r_{42}, r_{43}, r_{44}, r_{45})$$

### 2.2.2 定性指标的单因素评价<sup>[6]</sup>

建立隶属函数。对于定性指标的单因素评价较难给以量化, 通常都是采用模糊统计的方法。模糊统计量让参与评价的各位专家, 按预先划定的评价标准给各评价因素划分等级, 然后依次统计各评价因素属于等级  $V_j$  的频数  $M_{ij}$ , 并进一步求得

$$\mu_{V_j}(u_i) = \frac{M_{ij}}{n}$$

式中:  $M_{ij}$  -  $u_i \in V_j$  的次数;

$n$  - 参与评价的专家人数;

$\mu_{V_j}(u_i)$  -  $u_i \in V_j$  的隶属度即隶属函数。

且称

$$\tilde{R}_{u_i} = \frac{\mu_{V_1}(u_i)}{V_1} + \frac{\mu_{V_2}(u_i)}{V_2} + \frac{\mu_{V_3}(u_i)}{V_3} + \frac{\mu_{V_4}(u_i)}{V_4} + \frac{\mu_{V_5}(u_i)}{V_5}$$

为指标  $u_i$  的单因素评价, 它是评语集  $V$  上的模糊子集。

### 2.2.3 计算单因素评价矩阵

综合上述定性指标与定量指标的评价结果, 即可求得单因素评价矩阵。如煤矿从业人员本质安全化共包括 4 个指标: 职工安全心理  $u_1$ , 职工安全生理  $u_2$ , 职工安全技术素质  $u_3$ , 职工安全教育状况  $u_4$ 。设其单因素评价结果分别为:

$$\tilde{R}_{u_1} = (r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{14}, r_{15}); \tilde{R}_{u_2} = (r_{21}, r_{22}, r_{23}, r_{24}, r_{25});$$

$$\tilde{R}_{u_3} = (r_{31}, r_{32}, r_{33}, r_{34}, r_{35}); \tilde{R}_{u_4} = (r_{41}, r_{42}, r_{43}, r_{44}, r_{45})$$

将上述评价结果作适当排列, 即得单因素评价矩阵

$$\tilde{R}_1 = \begin{bmatrix} \tilde{R}_{u_1} \\ \tilde{R}_{u_2} \\ \tilde{R}_{u_3} \\ \tilde{R}_{u_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \end{bmatrix}$$

依次类推, 可求得其它单因素评价矩阵。

## 3 用层次分析法确定指标权重

按照层次分析法和 BP 网络法, 求得了各指标和分指标的权重。再求其平均值, 就得到各指标和分指标的综合权重, 如表 1 所示。

## 4 综合评价

本计算过程是按照表1的层次结构由右而左进行的。

设右层中同隶属于左层某个元素或指标的  $n$  个元素或分成指标的单因素评价矩阵为  $\tilde{R} = (r_{ij})_{n \times 5}$ , 又知该  $n$  个元素的权重向量  $R = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ , 则该左层元素或指标的单因素评价为

$$\tilde{B} = W \circ \tilde{R} = (w_1, w_2, \dots, w_n) \circ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & r_{n4} & r_{n5} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5)。$$

将总评判指标  $b_j (j = 1, 2, \dots, q)$ , 按加权平均法确定参数的具体值。

$$\text{按加权平均法得 } V = \frac{\sum_{j=1}^q b_j v_j}{\sum_{j=1}^q b_j}, \text{ 若总评判指标}$$

$$b_j (j = 1, 2, \dots, q) \text{ 已归一化, 则 } V = \sum_{j=1}^q b_j v_j。$$

设预先给定的与  $V$  对应的分数集为  $(100, 90, 80, 70, 60)$ , 则评价结果也可表示为

$$D = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) (100, 90, 80, 70, 60)^T。$$

$D$  表示被煤矿企业本质安全管理水平的得分。

## 5 实例分析

为了检验所建煤矿企业本质安全管理水平评价模型的科学性和实用性, 选择了中国神华能源股份有限公司神东煤炭公司神东补连塔煤矿和平煤天安十二矿, 其两个公司规模、效益和管理水平各不相同的煤矿企业进行了试评。经过数次反复和上机运算, 最终得出二个煤矿企业本质管理水平的评分: 中国神华能源股份有限公司神东煤炭公司神东补连塔煤矿 98 分, 平煤天安十二矿 82 分。评价结果与煤矿企业实际基本吻合。

神东煤炭分公司 1998 年至 2005 年实现了连续 7 年产量千万吨增长, 开创了世界煤炭史上的奇迹。在全国率先建成了国内亿吨级特大型煤炭生产基地, 生产能力居国内第一, 世界第三。实现了生产规模化、技术装备现代化、队伍专业化和手段信息化, 成为世界生产规模最大、现代化程度最高的井工开采煤炭企业。主要经济技术指标均达到了世界同行业领先水平。试点单位神东补连塔煤矿没有发生

重伤以上事故, 2005 年百万吨死亡率为 0.02, 大大低于国有重点煤矿 0.958 和全国煤矿 2.811 的平均水平。与其他采矿业安全水平较高的国家相比, 如美国 2000 年到 2005 年百万吨死亡率为 0.03, 南非 2004 年为 0.13, 波兰为 0.26, 印度为 0.42。

平煤天安十二矿, 是平煤高突矿井中首家由中国煤炭工业协会命名的行业级双高矿井。十二矿始建于 1958 年, 初设能力年产 30 万吨, 后经技改和扩建, 提高到 90 万吨。1999 年矿井首次实现达产; 2000 年突破 100 万吨大关; 2001 年产量 112.69 万吨; 2002 年 130 万吨; 2003 年 141.6 万吨, 10 项指标创历史最好水平, 并跻身于全煤行业文明矿、河南省安全生产先进煤矿、全国行业级双高矿井行列, 矿井步入新的发展时期。

## 6 结论

应用多级模糊层次方法进行煤矿本质安全管理评价体系进行综合安全性评价, 可以将定性的问题进行定量评价, 合理地反映煤矿本质安全管理的现状, 便于各个煤矿根据评价结果采取相应的措施, 提高煤矿本质安全管理的水平。

通过对煤矿本质安全管理综合评价, 可以确定煤矿企业某一时期的本质安全管理状况, 用于指导下一时期的安全管理工作, 其结果可作为矿与矿之间进行本质安全管理评价的依据, 可以改善目前的安全管理状况。

### 参考文献:

- [1] 刘增良主编. 模糊技术与应用选编[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997.
- [2] 张延欣, 王翠云. 多级模糊层次综合评价方法在企业评价中的应用[J]. 郑州工学院学报, 1995, (4): 26-31. ZHANG YANXIN, WANG CUIYAN. The application of Fuzzy AH P Integrating Evaluation in the evaluation of business enterprise [J]. Journal of Zhengzhou Institute of Technology, 1995, (4): 26-31.
- [3] 白思俊. 系统工程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [4] 肖辞源. 工程模糊系统[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 郭齐胜, 杨秀月, 王杏林, 等. 系统建模[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [6] 叶义成, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.

(编辑 张小强)