跨采软岩巷道分类及支护对策分析

顾 秀 根
（华北科技学院，北京 101601）

摘 要：对跨采岩巷可采用模糊聚类分析方法进行分类，针对各类巷道的特点，提出相应的支护措施，改善巷道支护状况，并以皖北任楼煤矿Ⅱ$_1$回风下山为试验巷道，取得良好的效果。

关键词：跨采；软岩；模糊；聚类分析
中图分类号：TD322.4　　**文献标志码**：B　　**文章编号**：0253－2336（2007）08－0096－06

Analysis on soft rock roadway classification and support countermeasures for mining over roadway

GU Xiu-gen
(*North China University of Science and Technology, Beijing* 101601, *China*)

煤矿井下跨采巷道种类很多，其层位、围岩强度、变形破坏的主要原因等不尽相同，在对巷道进行支护设计时，很难确定其支护重点和难点。因此，有必要对跨采巷道进行分类分析，针对各类的主要特点，提出有效的支护对策。

皖北任楼煤矿的跨采岩巷失修严重，巷道最大变形移近量达 2 m，所以对跨采巷道制定出有效的支护对策，有其重要性和迫切性。

1 跨采巷道模糊聚类分析

巷道围岩的稳定性是一个复杂的问题，受多种因素的影响，本例选取模糊聚类分析做为巷道围岩稳定性分类方法。分类指标主要选取：采动影响指数 N；围岩完整性指数 D；顶板单轴抗压强度 σ_1；底板单轴抗压强度 σ_2；围岩单轴抗压强度 σ；岩柱高 h；埋深 H；支护系数 P。

1.1 分类指标的确定[1]

（1）采动影响指数 N。按以下式计算为

$$N = 2 - 3Z/h_0 \quad (B > 2L_0)$$

$$N = 7 - \frac{2B}{L_0} - \left(6 - \frac{2B}{L_0}\right)\frac{2BZ}{h_0(B + 2L_0)} \quad (2L_0 > B > L_0)$$

$$N = 5 - \frac{4Z}{1.5h_0} \quad (B < L_0)$$

式中 N——采动影响指数，若计算值小于 1，则取 $N=1$；

B——巷道上方的保护煤柱宽度，m；

L_0——巷道一侧保护煤柱的合理宽度（表 1），m；

Z——巷道与开采煤层的法线距离，m；

h_0——巷道上方被采动时的安全高度（表 2），m。

表 1 巷道一侧保护煤柱合理宽度　　m

H/m	围岩强度*/MPa			围岩强度**/MPa		
	<30	30～60	>60	<30	30～60	>60
<300	40～50	30～40	20～30	50～60	40～50	25～40
<600	50～60	40～50	30～40	60～75	50～60	30～50
>600	—	50～60	40～50	—	60～75	40～50

注：* 巷道服务年限小于 10 a；** 巷道服务年限大于 10 a。

表 2 巷道上方被采动时岩柱的安全高度 h_0　　m

H/m	σ/MPa							
	<20	30	40	50	60	80	100	>100
<200	50	50	50	45	40	40	35	30
<300	65	65	60	55	50	45	40	35
<400	—	75	70	65	60	55	45	40
<500	—	—	80	75	65	55	50	40
<600	—	—	90	80	70	60	50	45
<800	—	—	—	95	75	65	60	50
<900	—	—	—	—	90	70	65	55

注：① 当煤层和巷道之间存在厚砂岩层时，h_0 值可减少 20%；② 巷道使用可缩性支架时，h_0 值可减少 30%。

万方数据

（2）围岩完整性指数 D。根据现场实际情况由煤层底板等高线的曲率半径确定围岩完整性指数 D，参见表3。

表3　围岩完整性指数确定

围岩强度	曲率半径/m				
σ/MPa	>650	650～500	500～350	350～200	<200
松软<30	1	0.80	0.55	0.35	0.30
中等30～60	1	0.65	0.35	0.20	0.15
坚硬>60	1	0.60	0.30	0.15	0.10

（3）巷道埋深 H。根据实际测量数值选取。

（4）围岩单轴抗压强度 σ，σ_1，σ_2。取实际测定数值。

（5）支护系数 P。根据实际情况，采取专家打分（表4）。

表4　支护系数影响因素

项目	双层支护	砌碹	锚索网梁喷	锚索网梁	锚索网喷	锚梁网	绳网喷	锚喷	U棚支护
系数	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2

1.2　聚类分析过程[1-3]

根据聚类分析的基本原理，依据各指标与巷道围岩稳定性的函数关系，通过变量代换，将分类指标原始数据化为线性结构。

（1）原始数据的线性结构处理。在聚类过程中，所研究的各指标变量的量纲和量级可能不同，直接用原始数据进行计算就会突出那些绝对值大的变量而压低了那些绝对值小的变量的作用，特别是在模糊聚类运算时，要求必须将数据压缩在［0，1］之间。

标准差标准化：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \tag{1}$$

式中　x'_{ij}——第 i 个样本的第 j 个指标值的标准差；

x_{ij}——第 i 个样本的第 j 个指标值；

$\bar{x}_j$——所有样本的第 j 个指标的平均值；

s_j——第 j 个指标的数据标准方差。

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \tag{2}$$

式中，m 为样本容量。

极差正规化：

$$x''_{ij} = \frac{x'_{ij} - \{x'_{ij}\}_{\min}}{\{x'_{ij}\}_{\max} - \{x'_{ij}\}_{\min}} \tag{3}$$

式中　x''_{ij}——第 i 个样本的第 j 个指标的极差正规化值；

$\{x'_{ij}\}_{\min}$——同一个指标实测值的标准差值中的最小值；

$\{x'_{ij}\}_{\max}$——同一个指标实测值的标准差值中的最大值。

（2）分类指标加权处理。在巷道围岩稳定性分类时，参与决定巷道围岩稳定性的各个指标对围岩稳定性的影响有主次、轻重的区别，因此，须对每一个指标确定一个权植（表示参与分类的指标的相对重要程度的一个实数 k_i，对于每一个指标规定，$0 \leqslant k_i \leqslant 1$，且满足归一化要求）来表达该指标的相对重要程度，以区别对待这些分类指标的贡献。各指标的数据经过标准化处理后，乘以相应的权值，使各指标以与在分类中所起作用相符的地位参加分类。

岩石巷道各指标的权值选取参见表5。

表5　岩层巷道各指标权值

项目	顶板强度	底板强度	岩柱高 h	采动影响系数 N	岩体完整性指数 D	巷道埋深 H	支护系数 P
权值	0.115	0.185	0.20	0.13	0.108	0.112	0.15

（3）数据的标准化处理。实测跨采巷道数据标准化处理见表6、表7。

（4）标定。计算相似系数 γ_{ab}（衡量2个变量相关的密切程度的数量性指标）以确定模糊相似关系矩阵 $\boldsymbol{R}$。

$$\gamma_{ab} = \frac{\sum_{j=1}^{n}(x''_{aj} - \bar{x}_a)(x''_{bj} - \bar{x}_b)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(x''_{aj} - \bar{x}_a)^2}\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(x''_{bj} - \bar{x}_b)^2}} \tag{4}$$

式中　$\bar{x}_a$——第 a 个样本各指标标准化后的平均值；

$\bar{x}_b$——第 b 个样本各指标标准化后的平均值；

n——指标个数。

依据上述表格的有关数据和标定公式计算得到模糊关系矩阵 $\boldsymbol{R} = [\gamma_{ab}]$。

万方数据

表6　跨采岩巷数据标准化处理结果（x'_{ij}）

指标样本	H ($j=1$)	σ_1 ($j=2$)	σ_2 ($j=3$)	N ($j=4$)	D ($j=5$)	h ($j=6$)	P ($j=7$)
A_1	0.063	0.028	0.051	0.084	1.000	0.097	0.022
A_2	0.063	0.015	0.051	0.106	0.556	0.038	0.022
A_3	0.010	0.015	0.051	0.103	1.000	0.040	0.043
A_4	0	0.030	0.047	0.124	0.778	0.007	0.022
A_5	0	0.030	0.047	0.114	0.556	0.026	0.022
A_6	0.046	0.002	0.105	0.055	1.000	0.083	0.086
A_7	0.063	0.057	0.073	0.109	0.444	0.059	0.022
A_8	0.033	0.014	0.184	0.051	1.000	0.200	0.023
A_9	0.063	0.030	0.123	0.128	0.333	0.000	0.022
A_{10}	0.066	0.005	0.073	0.106	0.222	0.023	0.022
A_{11}	0.062	0.067	0.031	0.105	0.000	0.051	0.022
A_{12}	0.062	0	0	0.093	0.500	0.042	0.022
A_{13}	0.040	0.031	0.058	0.109	0.222	0.041	0.022
A_{14}	0.033	0.031	0.058	0.109	0.111	0.041	0.022
A_{15}	0.062	0.050	0.093	0.124	0.056	0.014	0

注：表中 $A_1 \sim A_{15}$ 为第1至第15个样本（即15条巷道），即 $i=1 \sim 15$。

表7　跨采岩巷数据正规化处理结果（x''_{ij}）

指标样本	H ($j=1$)	σ_1 ($j=2$)	σ_2 ($j=3$)	N ($j=4$)	D ($j=5$)	h ($j=6$)	P ($j=7$)
A_1	-0.129	-0.164	-0.141	-0.108	0.808	-0.095	-0.171
A_2	-0.059	-0.107	-0.070	-0.015	0.434	-0.083	-0.100
A_3	-0.170	-0.165	-0.129	-0.078	0.820	-0.141	-0.137
A_4	-0.144	-0.114	-0.097	-0.020	0.634	-0.137	-0.122
A_5	-0.114	-0.084	-0.066	0.001	0.442	-0.088	-0.092
A_6	-0.151	-0.195	-0.092	-0.141	0.803	-0.113	-0.111
A_7	-0.055	-0.061	-0.045	-0.009	0.326	-0.059	-0.097
A_8	-0.182	-0.201	-0.031	-0.164	0.785	-0.015	-0.192
A_9	-0.037	-0.070	0.024	0.028	0.233	-0.100	-0.078
A_{10}	-0.008	-0.069	-0.001	0.032	0.148	-0.051	-0.053
A_{11}	0.014	0.019	-0.017	0.057	-0.048	0.002	-0.027
A_{12}	-0.041	-0.103	-0.103	-0.010	0.397	-0.060	-0.081
A_{13}	-0.034	-0.043	-0.017	0.035	0.147	-0.034	-0.053
A_{14}	-0.025	-0.026	0	0.051	0.053	-0.017	-0.036
A_{15}	0.005	-0.007	0.036	0.067	-0.001	-0.043	-0.057

（5）跨采巷道聚类。聚类是在已建立的模糊关系矩阵 $\boldsymbol{R}$ 上，给出不同的阀值 $\lambda \in [0, 1]$ 水平进行截取，得到不同分类。λ 值取得越大，分的类越细，反之分的类越少。通过 λ 值的递增（减），总

万方数据

能得出符合实际要求的分类结果[1]。

根据该矿井的实际需要，在本例中选取 $\lambda =$ 0.7（矩阵 R 中的值大于0.7者取1，小于0.7者取0），则有 $R_{0.70}$ 为：

$$R = \begin{bmatrix}
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.89 & 0.59 & 1.00 & 1.00 & 0.66 & 0.02 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.52 & 1.00 & 1.00 & 0.72 & 0.12 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.59 & 1.00 & 1.00 & 0.68 & 0.04 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.54 & 1.00 & 1.00 & 0.72 & 0.11 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.51 & 1.00 & 1.00 & 0.75 & 0.12 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.89 & 0.66 & 1.00 & 1.00 & 0.63 & 0.02 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.50 & 1.00 & 1.00 & 0.74 & 0.15 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.87 & 0.65 & 1.00 & 1.00 & 0.63 & 0.01 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.43 & 1.00 & 1.00 & 0.82 & 0.40 \\
0.89 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.89 & 1.00 & 0.87 & 1.00 & 1.00 & 0.35 & 1.00 & 1.00 & 0.86 & 0.40 \\
0.59 & 0.52 & 0.59 & 0.54 & 0.51 & 0.66 & 0.50 & 0.65 & 0.43 & 0.35 & 1.00 & 0.50 & 0.33 & 0.06 & 0.52 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.50 & 1.00 & 1.00 & 0.71 & 0.07 \\
1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.33 & 1.00 & 1.00 & 0.89 & 0.34 \\
0.66 & 0.72 & 0.68 & 0.72 & 0.75 & 0.63 & 0.74 & 0.63 & 0.82 & 0.86 & 0.06 & 0.71 & 0.89 & 1.00 & 0.65 \\
0.02 & 0.12 & 0.04 & 0.11 & 0.13 & 0.02 & 0.15 & 0.01 & 0.40 & 0.40 & 0.52 & 0.07 & 0.34 & 0.65 & 1.00
\end{bmatrix}$$

$$R_{0.70} = \begin{bmatrix}
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
\end{bmatrix}$$

分为以下3类：

Ⅰ：{A_2，A_4，A_5，A_7，A_9，A_{10}}；

Ⅱ：{A_1，A_3，A_6，A_8，A_{12}，A_{13}}；

Ⅲ：{A_{11}，A_{14}，A_{15}}。

各类巷道的主要特点参见表8。

表8　各类巷道主要特点

类别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
岩柱安全高度 h_0/m	67	68	73
岩柱高 h/m	18.7	31.5	20.3
围岩强度/MPa	64	63.7	43.8
围岩移近量/mm	600	500	450
代表性巷道	中一运输上山	Ⅱ$_2$轨道上山	中四变电所

Ⅰ类：支护形式基本相似，其他指标对巷道位移量的影响按大小次序：顶板强度＞埋深＞岩体完整性＞底板强度＞岩柱尺寸＞采动影响。

Ⅱ类：各指标对巷道位移量的影响按大小次序：岩体完整性＞埋深＞顶板强度＞支护形式＞采动影响＞底板强度＞岩柱尺寸。

Ⅲ类：岩体完整性基本相似，其他指标对巷道位移量的影响按大小次序：采动影响＞岩柱尺寸＞

万方数据

支护形式 > 埋深 > 顶板强度 > 底板强度。

2 支护对策

基于上述分类分析，同时考虑其围岩的应力条件、围岩强度条件和支护方式等因素，确定各分类巷道的通用的支护对策如下[4,5]：

（1）选择合理的巷道围岩层位。

（2）保证巷道与开采煤层的合理空间关系。

（3）避免或减少相邻巷道之间的互相影响。

（4）保证合理的煤层及工作面开采顺序。① 合理的煤层开采顺序，一般采用下行开采方式，且少留或尽量不留煤柱。② 各区段的回采顺序，尽可能自上而下进行，避免形成孤岛工作面。③ 避免巷道两侧同时相对开采，终采位置要合理。

（5）所使用的金属网和喷层设计要合理。

另外，由于引起各类巷道变形的因素侧重点有所不同，故对各分类巷道选用不同的侧重点支护对策：

Ⅰ类跨采岩巷，岩柱较小，采用锚杆支护＋卸压技术处理。

Ⅱ类跨采岩巷，采用锚杆支护＋关键部位加强支护＋注浆技术处理。

Ⅲ类跨采岩巷，采用锚杆支护＋注浆综合治理技术＋卸压技术处理。

3 实例分析

以任楼煤矿Ⅱ$_1$回风下山为例，制定巷道的支护对策，优化支护方式。

3.1 概况

该矿采区下山顺岩层在8_2煤层底板中掘进，倾角为17°，距8_2煤底板约15～20 m。其顶板依次为铝质泥岩（3～8 m）、粉砂岩（4.8～6.3 m）、中砂岩（2.0 m）。该下山位于鲕状泥岩中，坡度为15°。巷道附近的围岩柱状如图1所示。

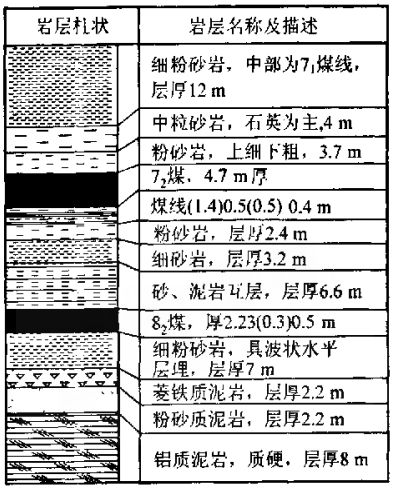


图1 巷道围岩柱状

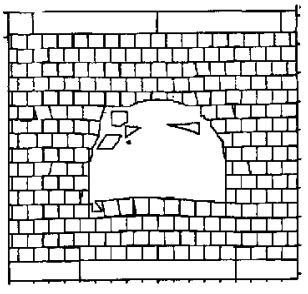


图2 巷道围岩变形特点模拟

3.2 支护方案

该下山属跨采岩巷Ⅱ类。现场和数值计算[6]研究表明（图2），该类巷道变形特点为：① 巷道顶部变形以两顶角的变形为剧烈；② 巷道底鼓严重[7]。

根据下山巷道的基本条件分类分析，确定采用锚杆支护＋关键部位加强支护＋注浆技术处理的支护对策：

（1）锚杆支护方案。巷道断面为半圆拱形，净断面尺寸为4.2 m×3.6 m。全断面使用13根左旋无纵筋螺纹钢锚杆进行支护，锚杆规格均为φ20 mm×2 400 mm，其间距分为2种，如图3所示，两顶角锚杆间距为650 mm，其余均为800 mm，锚杆均对称布置。除底角锚杆外，其余锚杆均垂直于巷道岩面布置。锚杆排距为800 mm。

（2）加强支护方案。① 加强巷道两顶角的支护强度：在巷道两顶肩部采用小孔径锚索进行加强支护，其排距为2.4 m，布置在锚杆排中间，锚索垂直岩面布置。② 采用底角锚杆，角度为30°，距底板高度约为300 mm，以减少底鼓变形。

（3）锚注加固技术方案。围岩注浆加固的目的是提高围岩整体性和承载能力、提高围岩裂隙面的变形刚度和抗剪强度、转变围岩破坏机制、减小巷道围岩松动圈、封闭水源和提高锚杆锚固力。

注浆孔布置如图4所示。注浆锚杆间距为1.5 m，除底角注浆孔外，其余孔均垂直巷道岩面布置，注浆孔深度2.0 m。锚杆排距为800 mm，注

万方数据

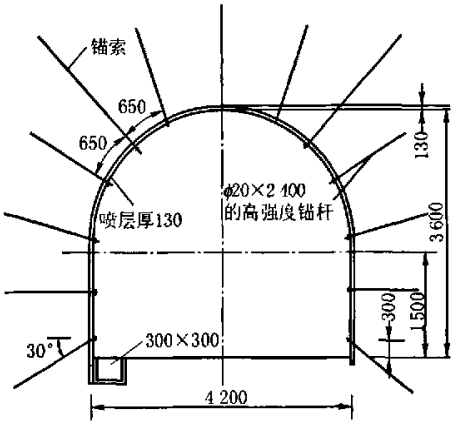


图3　锚杆+关键部位加强支护技术方案

浆锚杆排距为1.6 m，即2排锚杆布置1排注浆孔。

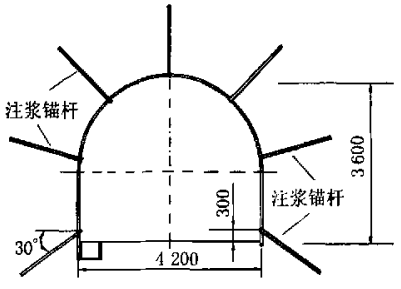


图4　基本注浆技术方案

3.3　工艺要求

（1）采用光面爆破技术，严格控制巷道成型，保护围岩的强度和整体性，提高围岩的稳定性和自承能力。

（2）围岩在饱水状态下较天然状态下强度显著降低、且易分化，所以在巷道掘进完成后应及时全断面喷浆以封闭围岩。

（3）每根锚杆均采用2卷Z2340中速树脂药卷加长锚固。为使锚杆达到“主动”支护的目的，要求其预紧力达到1.5 t左右。

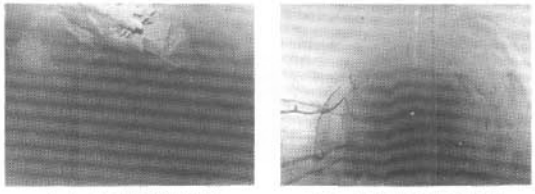
（4）锚索长度为5.3 m，用3卷Z2340的中速树脂药卷锚固。锚索预拉力要求达到100 kN。

（5）全断面铺设钢筋梯子梁（φ14 mm的圆钢焊接，其规格与锚杆相适应）、金属网。

（6）在巷道注浆时，需要根据相应的条件确定相应的注浆参数（注浆时机、注浆压力、注浆量、注浆孔位置和长度等）和注浆材料。

3.4　实施效果

在Ⅱ1回风下山的150 m试验段，经改善支护对策采用优化锚杆支护参数、关键部位加强支护、破碎区域锚注处理等，巷道支护状况明显改善，如图5所示。



（a）原支护形式效果　　（b）改支护参数后效果

图5　巷道不同支护形式效果

4　结　论

（1）经现场和数值模拟计算，结果表明，跨采岩巷变形特点为：其一，巷道顶部变形以两顶角的变形最为严重；其二，巷道底鼓严重。

（2）根据模糊聚类分析方法分析的结果和每类巷道的具体特点，确定出合理的锚杆支护对策，和有效的侧重点加强支护对策。

（3）基于现有的分析和试验结果，在以后的巷道布置中，必须考虑地应力的分布、巷道布置层位、合理的支护形式等因素。

参考文献：

[1]　邹喜正. 煤矿巷道围岩稳定性分类［M］. 徐州：中国矿业大学出版社，1995.

[2]　李洪兴. 模糊数学及其应用［M］. 北京：国防工业出版社，1994.

[3]　张东升，张吉雄，张先尘. 工作面煤层地质条件开采工艺性的模糊综合评价［J］. 系统工程学报，2002（3）.

[4]　徐金海，石炳华，王云海. 锚固体强度与组合拱承载能力的研究与应用［J］. 中国矿业大学学报，1999（5）.

[5]　陈炎光，钱鸣高. 中国煤矿采场围岩控制［M］. 徐州：中国矿业大学出版社，1994.

[6]　黄明利，唐春安，朱万成. 岩石破裂过程的数值模拟研究［J］. 岩石力学与工程学报，2000（4）.

[7]　滕永海，阎振斌. 采动过程中覆岩离层发育规律的研究［J］. 煤炭学报，1999（1）.

作者简介：顾秀根（1967－），男，江苏昆山人，副教授，博士研究生，一直从事煤矿安全生产技术的教学和科研工作。Tel：010－61590333，E－mail：quxiugen@ncist.edu.cn

收稿日期：2007－03－10；责任编辑：曾康生

万方数据