

基于灰色聚类分析的矿山环境质量评价

焦明连

(淮海工学院 测绘工程学院, 江苏 连云港 222005)

摘要 在灰色聚类分析中,把山西省矿区环境质量作为灰色系统进行研究,利用灰色聚类分析方法对山西省矿区环境质量进行评价。为定量评估研究区矿区环境质量,以国家环境质量标准为依据,以矿山环境11个主要污染物为评价指标,对2012年12个监测点的环境质量监测数据建立了灰色聚类评价模型。在对数据样本进行预处理之前,需采用平均标准化方法对原始样本数据进行无量纲化。通过建立灰类的三角形白化权函数计算实测值的灰类隶属度,采用临界值倒数法得到不同污染因子的危害度,最后对样本数据进行灰色综合聚类评价,并基于ARCGIS平台直观地显示矿山环境质量总体情况。数值结果表明了该方法的合理性和有效性。该研究成果为矿山环境评价提供一条新途径,同时可以在非煤矿山环境评价中进行推广应用。

关键词 灰色聚类法;白化权函数;矿区环境;评价模型

中图分类号 X8 **文献标识码** B **文章编号** 1006-6225 (2016) 02-0078-05

Evaluation of Mine Environment Quality Based on Gray Cluster Analysis

煤炭是我国的重要战略资源,但在煤炭资源开采中,由于忽视了生态环境保护,水质污染、水土流失、土壤沙化、土地塌陷、空气污染等一系列问题非常突出,严重制约着人类经济社会的可持续发展。因此,正确地分析和评价煤炭开采对生态环境的影响对促进人类社会的健康可持续发展具有重要参考价值。模糊数学法^[1]、层次分析法^[2]和综合评价法^[3]是目前比较流行的矿山环境评价方法。评价结果受主观因素影响较大^[4]。矿山环境作为一个开放系统,其作用机制纷繁复杂。因此,矿山环境数据也主要在有限的时空范围内获取,从而导致数据能提供的信息不完全或不确切。为了实现高精度的矿山环境质量评价,本文将矿山环境系统看作是一个灰色系统开展相关研究。灰色聚类将灰色理论与聚类思想有机结合,依据不同灰类的白化权函数,将聚类对象归入事先定好的各个灰类中。

山西省是煤炭大省,煤炭开采对土地资源、水资源、大气环境造成严重的破坏和影响,制约着山西省经济社会的发展和人民生活的稳定。本文以国家环境质量标准为依据,以矿山环境11个主要污染物为评价指标,对2012年12个监测点的环境质量监测数据建立了灰色聚类评价模型。通过建立灰类的三角形白化权函数计算实测值的灰类隶属度,采用临界值倒数法得到不同污染因子的危害度,最后对样本数据进行灰色综合聚类评价,并基于

ARCGIS平台得出山西省大中型矿区环境影响等级。为矿山环境保护和治理提供参考。

1 灰色聚类法的评价原理

矿山环境是一个包含众多影响因素的系统,它所隐含的参数多少以及时空分布是人们无法确知的,因此矿山环境系统是一个灰色系统。灰色聚类法的评价原理和步骤如下^[5]。

1.1 建立聚类样本

灰色聚类是以生成灰数的白化函数为基础,首先需弄清聚类对象,聚类指标和聚类灰类的概念和区别,之后将聚类对象按照不同聚类指标所拥有的白化数,按照设定的灰类进行归纳,从而判断出聚类对象属于哪一类。

设有 n 个聚类对象,每个聚类对象各有 m 个聚类指标,每个聚类指标有 s 个不同的灰类(即环境质量等级),根据第 i 个聚类对象关于第 j 个聚类指标的样本值将第 i 个聚类对象归入第 k 个灰类之中。聚类样本的白化值构成矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ X_{n1} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix}$$

1.2 确定各灰类的白化权函数

记 $x_{kj}(1), x_{kj}(2), x_{kj}(3), x_{kj}(4)$ 为白化权函数的阈值, $f_{kj}(x)$ 为第 j 个指标属于第 k 个灰

收稿日期 2015-08-19

作者简介 焦明连(1963-),男,河南商丘人,教授,研究方向为空间信息处理和测绘教育。

引用格式 焦明连.基于灰色聚类分析的矿山环境质量评价[J].煤矿开采,2016,21(2):78-82.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2016.02.021

类的白化权函数，其类型分为以下 4 种：

$$f_{kj}(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [x_{kj}(1), x_{kj}(4)] \\ \frac{x - x_{kj}(1)}{x_{kj}(2) - x_{kj}(1)} & x \in [x_{kj}(1), x_{kj}(2)] \\ 1 & x \in [x_{kj}(2), x_{kj}(3)] \\ \frac{x_{kj}(1) - x}{x_{kj}(4) - x_{kj}(3)} & x \in [x_{kj}(3), x_{kj}(4)] \end{cases}$$
$$f_{kj}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [x_{kj}(1), x_{kj}(4)] \\ 1 & x \in [x_{kj}(1), x_{kj}(2)] \\ \frac{x_{kj}(4) - x}{x_{kj}(4) - x_{kj}(3)} & x \in [x_{kj}(2), x_{kj}(4)] \end{cases}$$
$$f_{kj}(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [x_{kj}(1), x_{kj}(4)] \\ \frac{x - x_{kj}(1)}{x_{kj}(2) - x_{kj}(1)} & x \in [x_{kj}(1), x_{kj}(3)] \\ \frac{x_{kj}(4) - x}{x_{kj}(4) - x_{kj}(2)} & x \in [x_{kj}(3), x_{kj}(4)] \end{cases}$$
$$f_{kj}(x) = \begin{cases} 0 & x < x_{kj}(1) \\ \frac{x - x_{kj}(1)}{x_{kj}(2) - x_{kj}(1)} & x \in [x_{kj}(1), x_{kj}(2)] \\ 1 & x \geq x_{kj}(2) \end{cases}$$

1.3 确定聚类权值 ω_{kj}

聚类权值 ω_{kj} 表示第 j 个指标属于第 k 个灰类的权重值， x_{kj} 为各级别的阈值。根据各级别的阈值采用倒数法计算聚类权，即

$$\omega_{kj} = \frac{x_{kj}}{\sum_{j=1}^m x_{kj}} \quad j (j = 1, 2, \dots, m), k (k = 1, 2, \dots, s)$$

1.4 计算聚类系数 η_{ik}

记 η_{ik} 为第 i 个评价点关于第 k 个级别的聚类系数； ω_{kj} 为第 j 个指标第 k 个灰类的权重值； $f_{kj}(x)$ 为第 i 个评价点第 j 个指标在第 k 类的白化函数中的函数值。计算聚类系数的公式为：

$$\eta_{ik} = \sum_{j=1}^m f_{kj}(x) \omega_{kj}$$

1.5 聚类分析

即判断各聚类对象所属灰类，将聚类系数按最大隶属原则找出最大值所在的类别，那么该类别就是该聚类对象所属的灰类。据此可评价各矿山所属环境质量类别。

2 基于灰色聚类分析法的矿山环境评价实例

2.1 评价样本与标准

本次对山西省矿山环境质量进行评价，在研究区共选择了 12 个环境监测点，因监测数据量较大，

选择 5 个监测点的计算过程在文中显示。监测数据见表 1。根据环境标准 GB3095-1996 和 GB3838-88，将各环境污染指标所属评价等级进行归类，归类情况见表 2。

表 1 矿山环境监测数据

监测指标	监测点号				
	1	2	3	4	5
TSP/ (mg · m ⁻³)	0.15	0.240	0.190	0.320	0.200
CO/ (mg · m ⁻³)	5.20	3.200	5.500	4.400	3.600
SO ₂ / (mg · m ⁻³)	0.08	0.050	0.100	0.130	0.110
Pb/ (mg · kg ⁻¹)	162.50	230.900	215.000	224.500	262.400
Zn/ (mg · kg ⁻¹)	368.20	880.000	2330.000	1527.000	1263.000
Cd/ (mg · kg ⁻¹)	0.30	0.100	0.400	0.500	0.700
As/ (mg · kg ⁻¹)	13.86	10.540	9.470	14.630	12.260
Pb ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	0.54	0.722	0.552	0.612	0.503
Zn ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	3.47	5.290	4.520	4.150	5.020
COD/ (mg · L ⁻¹)	3.87	14.700	15.900	20.000	22.000
BOD/ (mg · L ⁻¹)	5.70	12.500	17.800	16.070	19.200

表 2 环境质量等级标准

评价指标	质量等级				
	I 清洁	II 尚清洁	III 轻污染	IV 中污染	V 重污染
TSP/ (mg · m ⁻³)	0.12	0.20	0.30	0.50	0.60
CO/ (mg · m ⁻³)	4.00	4.50	5.00	6.00	8.00
SO ₂ / (mg · m ⁻³)	0.35	0.50	0.70	0.80	0.15
Pb/ (mg · kg ⁻¹)	35.00	250.00	350.00	500.00	700.00
Zn/ (mg · kg ⁻¹)	100.00	200.00	250.00	300.00	500.00
Cd/ (mg · kg ⁻¹)	0.20	0.25	0.30	0.60	1.00
As/ (mg · kg ⁻¹)	15.00	20.00	25.00	30.00	50.00
Pb ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10
Zn ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	0.05	1.00	1.50	2.50	3.00
COD/ (mg · L ⁻¹)	15.00	20.00	30.00	40.00	50.00
BOD/ (mg · L ⁻¹)	3.00	4.00	6.00	10.00	18.00

采用单因子指数法对比矿山环境监测数据和环境质量标准值，虽然可判断出某监测点某个植被的污染等级，但是无法给出准确的矿山环境综合污染程度。另外，由于评价过程中，考虑对象相对单一，而灰色聚类是将所有评价指标的含量均考虑在内，使评价结果更具客观性^[8]。

2.2 样本指标白化值的标准化处理

为了正确采用灰色聚类评价方法，需要对矿山环境聚类样本各个指标的白化值 X_{ij} 和灰类进行标准化处理，无量纲化处理后的指标数据才能用来综合分析，并使得聚类分析的结果更具有说服力^[7-8]。采用污染指数法对样本指标白化值进行标准化处理，不仅可以完成对矿山环境聚类样本各个指标的白化值和灰类无量纲化，而且可以反映各研究指标的相对污染状况，其计算公式为：

$$d_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_{jo}} \tag{1}$$

式中, d_{ij} 为第 i 个样本关于第 j 个指标的标准化值; C_{ij} 为第 i 个样本关于第 j 个指标的实测值; C_{jo} 为第 j 个指标的参考标准 (见表 2), 一般根据聚类对象所在区域的环境目标确定其取值。将表 1 中矿山环境监测数据以 II 级为参考标准进行数据的无量纲化处理, 结果见表 3。

表 3 各污染指标无量纲化处理结果

监测指标	监测点				
	1	2	3	4	5
TSP	0.750	1.200	0.950	1.600	1.000
CO	1.156	0.711	1.222	0.978	0.800
SO ₂	0.229	0.143	0.286	0.371	0.314
Pb	0.650	0.924	0.860	0.898	1.050
Zn	1.841	4.400	11.650	7.635	6.315
Cd	1.200	0.400	1.600	2.000	2.800
As	0.693	0.527	0.474	0.731	0.613
Pb ²⁺	27.000	36.100	27.600	30.600	25.150
Zn ²⁺	3.470	5.290	4.520	4.150	5.020
COD	0.194	0.735	0.795	1.000	1.100
BOD	1.425	3.125	4.450	4.018	4.800

在建立白化函数之前有必要进行灰类的标准化处理。为了比较分析原始白化数与灰类, 仍使用 C_{jo} 进行灰类的无量纲化处理^[8]:

$$r_{jk} = \frac{S_{jk}}{C_{jo}} \tag{2}$$

式中, r_{jk} 为第 j 个指标关于第 k 个灰类值 S_{jk} 的标准化处理值; S_{jk} 为灰类值。以 II 级为参考标准, 利用 (2) 式对 5 个灰类进行无量纲化处理, 结果见表 4。

表 4 灰类无量纲化处理结果

监测指标	灰类				
	I	II	III	IV	V
TSP	0.600	1.000	1.500	2.500	3.000
CO	0.889	1.000	1.111	1.333	1.777
SO ₂	0.429	1.000	1.429	2.000	2.286
Pb	0.140	1.000	1.400	2.000	2.800
Zn	0.500	1.000	1.250	1.500	2.500
Cd	0.800	1.000	1.200	2.400	4.000
As	0.750	1.000	1.250	1.500	2.500
Pb ²⁺	0.500	1.000	1.500	2.500	5.000
Zn ²⁺	0.050	1.000	1.500	2.500	3.000
COD	0.750	1.000	1.500	2.000	2.500
BOD	0.750	1.000	1.500	2.500	4.500

2.3 白化函数的建立

白化函数是进行灰色聚类的前提与基础, 要计算聚类系数, 必须先建立起白化函数, 它能够反映聚类指标对灰色聚类的亲疏关系^[10-11]。根据上述白化函数的建立方法, 以 TSP 为例, 其白化函数计算关系式为:

$$f_{11} = \begin{cases} 1 & [0, 0.12] \\ (0.2 - x) / 0.08 & [0.12, 0.2] \\ 0 & (0.2, \infty) \end{cases}$$
$$f_{21} = \begin{cases} (x - 0.12) / 0.08 & [0.12, 0.2] \\ (0.3 - x) / 0.1 & (0.2, 0.3] \\ 0 & (0.3, \infty) \end{cases}$$
$$f_{31} = \begin{cases} (x - 0.2) / 0.1 & (0.2, 0.3] \\ (0.5 - x) / 0.2 & (0.3, 0.5] \\ 0 & (0.5, \infty) \end{cases}$$
$$f_{41} = \begin{cases} (x - 0.3) / 0.2 & (0.3, 0.5] \\ (0.6 - x) / 0.1 & (0.5, 0.6] \\ 0 & (0.6, \infty) \end{cases}$$
$$f_{51} = \begin{cases} (x - 0.5) / 0.1 & (0.5, 0.6] \\ 1 & (0.6, \infty) \end{cases}$$

2.4 白化函数值的推求

建立白化函数关系式后, 在白化函数公式中输入各个监测站点的监测指标实测值, 就可得到各个实测值的白化函数值, 计算结果如表 5 所示。

表 5 实测值的白化函数值

监测点	灰类	TSP	CO	SO ₂	Pb	Zn	Cd	As	Pb ²⁺	Zn ²⁺	COD	BOD
1	I	0.625	0	1	0.407	0	0	1	0	0	1	0
	II	0.375	0	0	0.593	0	0	0	0	0	0	0.15
	III	0	0.8	0	0	0	1	0	0	0	0	0.85
	IV	0	0.2	0	0	0.659	0	0	0	0	0	0
	V	0	0	0	0	0.341	0	0	1	1	0	0
2	I	0	1	1	0.089	0	1	1	0	0	1	0
	II	0.6	0	0	0.911	0	0	0	0	0	0	0
	III	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.688
	V	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0.312
3	I	0.125	0	1	0.163	0	0	1	0	0	0.82	0
	II	0.875	0	0	0.837	0	0	0	0	0	0.18	0
	III	0	0.5	0	0	0	0.667	0	0	0	0	0
	IV	0	0.5	0	0	0	0.333	0	0	0	0	0.025
	V	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0.975
4	I	0	0.2	1	0.119	0	0	1	0	0	0	0
	II	0	0.8	0	0.881	0	0	0	0	0	1	0
	III	0.9	0	0	0	0	0.333	0	0	0	0	0
	IV	0.1	0	0	0	0	0.667	0	0	0	0	0.241
	V	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0.759
5	I	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	II	1	0	0	0.876	0	0	0	0	0	0.8	0
	III	0	0	0	0.124	0	0	0	0	0	0.2	0
	IV	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0
	V	0	0	0	0	1	0.25	0	1	1	0	1

2.5 聚类权的确定

聚类权是各指标对某一灰类的权重。根据表 2 采用权重计算公式计算各污染指标分别对 5 个级别灰类的权重, 结果见表 6。

表 6 聚类权计算结果

监测指标	类别				
	I	II	III	IV	V
TSP	0.0698	0.1163	0.1744	0.2907	0.3488
CO	0.1455	0.1636	0.1818	0.2182	0.2909
SO ₂	0.0600	0.1400	0.2000	0.2800	0.3200
Pb	0.0191	0.1362	0.1907	0.2725	0.3815
Zn	0.0741	0.1481	0.1852	0.2222	0.3704
Cd	0.0851	0.1064	0.1277	0.2553	0.4255
As	0.1071	0.1429	0.1786	0.2143	0.3571
Pb ²⁺	0.0476	0.0952	0.1429	0.2381	0.4762
Zn ²⁺	0.0062	0.1242	0.1863	0.3106	0.3727
COD	0.0968	0.1290	0.1935	0.2581	0.3226
BOD	0.0732	0.0976	0.1463	0.2439	0.4390

2.6 计算聚类系数

聚类系数主要反映聚类指标对灰类的亲疏程度，它可由灰数白化函数的生成而得到^[12]。采用聚类系数的计算公式得到各个监测点的聚类系数，结果见表 7。

表 7 各监测点各灰类的聚类系数

监测点	I	II	III	IV	V
1	0.3153	0.1390	0.3975	0.1900	0.9752
2	0.4962	0.1939	0.0698	0.1678	1.3563
3	0.2583	0.2390	0.1761	0.2002	1.6473
4	0.1985	0.3799	0.1995	0.2582	1.5525
5	0.3126	0.3388	0.0623	0.1915	1.7647

2.7 确定样本所属类别

样本的类别往往是通过在计算所得的聚类系数中按最大隶属度原则找到最大值所对应的类别而确定。各监测点的灰色聚类最终评价结果见表 8（其中含未显示计算过程的监测点评价结果）。

表 8 矿山环境评价结果

监测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
评价结果	V	V	V	V	V	IV	III	II	IV	IV	II	III

根据计算结果可知，采用灰色聚类法评价矿山环境时，综合考虑了评价对象的每一个监测参数，因此，评价结果与单一采用某个环境指标与标准进行比对的方法而言，环境类别的判定更具有准确性和综合性^[13]。

2.8 基于 ARCGIS 平台的矿山环境影响评价分析

在 ArcMap 中新建地图文档，命名为 Chi-naMap，加载相应的图层后，在矿区图层的属性表里面添加了评价结果和评价等级两个字段，其内容分别为以上计算结果，然后分别以评价结果和评价等级两个字段渲染图层，得到基于山西省矿区环境

评价等级的渲染图（图 1）和基于山西省矿区环境评价结果的渲染图（图 2）。从图 1 和图 2 可以直观地看出该省矿山环境质量总体情况。

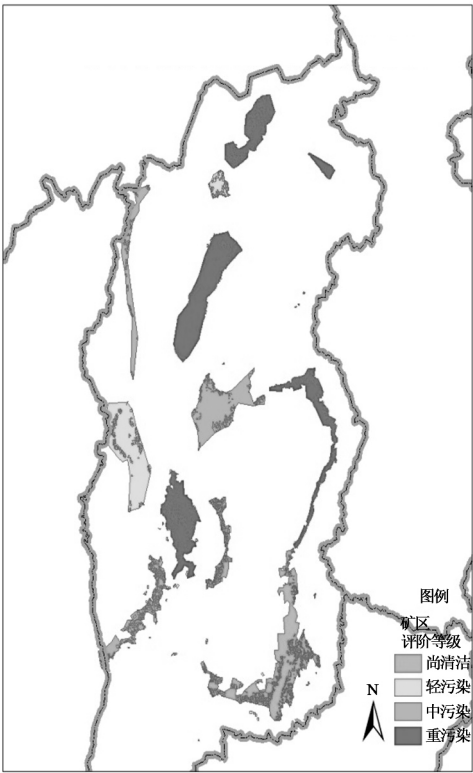


图 1 基于山西省矿区环境评价等级的渲染

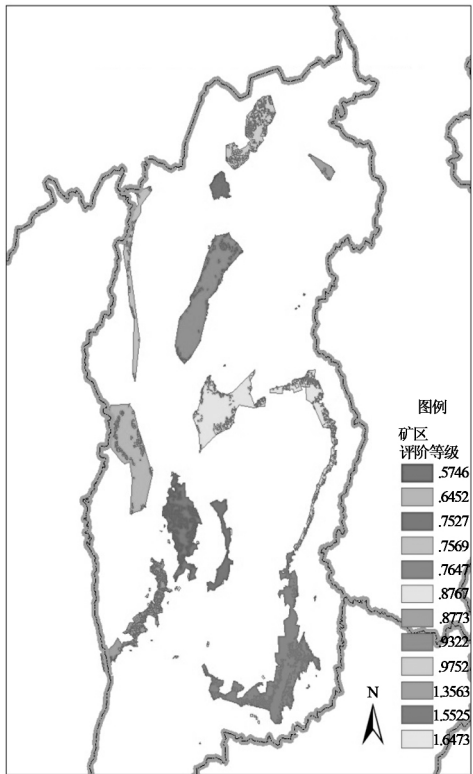


图 2 基于山西省矿区环境评价结果的渲染

3 结 论

(1) 采用灰色聚类法开展山西省矿山环境的综合评价, 结果表明: 在空间分布上各监测点状况好坏差别不大, 污染都较为严重。因此, 应通过加强环境科学研究, 发展环保产业, 对于污染较为严重的片区采取限采措施等, 减少开采对矿山环境的影响。

(2) 采用灰色聚类方法综合评价矿山环境时, 不仅考虑了矿山污染程度中系统的灰色性, 同时也考虑了系统的白化程度, 评价结果能比较客观地反映矿山环境的真实状况, 说明在矿山环境的综合评价方面, 应用灰色聚类法是科学、合理和有效的。

(3) 该方法可在煤炭矿山环境评价中推广应用, 在非煤矿山环境评价中也具有借鉴意义, 为国内外各类矿山环境的综合评价提供了新的技术与方法支持。

参考文献

- [1] 顾 平, 石昌雪, 陈冬晓. 基于模糊数学的矿山环境影响综合评价方法 [J]. 中国资源综合利用, 2014, 32 (5): 58-60.
- [2] 孔志召, 董双发, 姜 雪, 等. 基于层次分析法的矿山环境评价——以阜新矿集团为例 [J]. 世界地质, 2012, 31

(2): 420-425.

- [3] 王钧超. 矿山环境评价方法综述与治理经验探讨 [J]. 中国矿业, 2014, 23 (S): 103-105.
- [4] 邓聚龙. 灰色系统基本方法 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992.
- [5] 钱 斌, 冯启言, 李 庭, 等. 基于灰色聚类法的贾汪废弃矿区地下水水质综合评价 [J]. 节水灌溉, 2014 (6): 50-53.
- [6] 苏哲斌. 基于灰色聚类分析的西安市空气质量评价模型 [J]. 纺织高校基础科学学报, 2014, 27 (3): 404-408.
- [7] 毛新虎, 刘占魁, 李秀青. 灰色聚类法在矿山地质灾害危险性分区评价中的应用 [J]. 西南民族大学学报 (自然科学版), 2008, 34 (3): 545-551.
- [8] 谭洪涛, 黄 胜, 朱 琳. 基于灰色聚类法的安江绵阳段水环境质量评价 [J]. 西南科技大学学报, 2014, 29 (3): 33-39.
- [9] 赵光影, 华得尊. 灰色聚类法在地表水环境质量评价中的应用 [J]. 北京环境, 2005, 30 (2): 84-86.
- [10] 周 凌, 王文勇, 马晓丽. 灰色聚类对金沙江水质的综合评价 [J]. 四川建筑, 2005, 25 (6): 12-13.
- [11] 安宇翔. 灰色聚类法在水质评价中的应用 [J]. 水科学与工程, 2014 (2): 69-72.
- [12] 张 涛, 黄韶华, 朱建雯. 煤炭开采地表沉降环境影响评价分析 [J]. 能源环境保护, 2014, 26 (3): 61-64.
- [13] 张彦平. 钱家营矿业公司采煤沉降与矿山地质环境现状分析 [J]. 水力采煤与管道运输, 2014 (1): 91-94.

责任编辑: 王兴庵

(上接 63 页)

- [10] 吴基文, 沈书豪, 翟晓荣, 等. 煤层底板注浆加固效果波速探查与评价 [J]. 物探与化探, 2014, 38 (6): 1303-1306.
- [11] 黄小广. 注浆效果检测方法的评价 [J]. 煤矿安全, 2001, 32 (10): 38-39.
- [12] 李元辉, 赵兴东, 赵有国, 等. 不同条件下花岗岩中声波传播速度的规律 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2006, 27 (9): 1030-1033.
- [13] 王世广, 沈 阳, 何哈哈, 等. 不同岩石物性对超声波传播

的影响 [J]. 物理实验, 2014, 34 (8): 9-13.

- [14] 潘卫东, 张 辉, 罗 焯. 超声波检测在矿山岩石力学工程分析中的应用 [J]. 金属矿山, 2009 (S1): 633-636.
- [15] 孟召平, 刘常青, 贺小黑, 等. 煤系岩石声速及其影响因素实验分析 [J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25 (4): 389-393.
- [16] 孟召平, 张吉昌, Joachim Tiedemann. 煤系岩石物理力学参数与声速速度之间的关系 [J]. 地球物理学报, 2006, 49 (5): 1505-1510.

责任编辑: 李 甬

(上接 105 页)

对相关方案进行调整, 重新进行贯通测量误差预计, 直到满足要求为止。

(2) 投入设备满足要求, 应用陀螺定向技术投入设备要经过仪器计量检定中心鉴定, 仪器各项参数满足作业要求。同时, 使用 GAT 高精度磁悬浮陀螺全站仪进行陀螺定向测量。在贯通测量中, 由于受井下环境影响, 测角精度往往较低, 为此可以在导线中加测一定数量高精度陀螺定向边的方法来建立井下平面控制, 尤其是大型重要贯通的平面控制, 可显著减小测角误差对于导线测量点位误差的影响, 从而保证巷道正确贯通。

(3) 质量保证体系 作业过程中严格执行质

量体系流程, 认真贯彻二级检查制度, 即各个工序在作业过程中各作业小组先进行 100% 认真自查后, 交测绘中心检查员和技术负责进行检查, 最后由队组织精查。

参考文献

- [1] 张国良. 矿山测量学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [2] 煤矿测量规程 [S]. 北京: 煤炭工业出版社, 1989.
- [3] 李青岳, 陈永奇. 工程测量学 [M]. 北京: 测绘出版社, 1993.
- [4] 工程测量规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
- [5] 杨志强, 杨建华, 石 震, 等. 新型磁悬浮陀螺全站仪 [J]. 中国专利: ZL2010 2 0110125.7, 2010-10-06.

责任编辑: 王兴庵