

# 基于群灰色关联度分析方法的宝石计算机辅助 鉴定教学信息系统

张丽<sup>1,2</sup>, 郭艳军<sup>3</sup>

(1. 上海市机械工业学校, 上海 200237; 2. 上海新侨职业技术学院, 上海 201806;  
3. 北京大学地球科学国家级实验教学示范中心, 北京 100871)

**摘要:** 基于群灰色关联度分析方法的宝石计算机辅助鉴定教学信息系统以课堂教学改革和培养实践能力为设计理念, 实现了宝石鉴定中的多品种、多参量的综合判断。与传统的灰色关联分析方法相比, 群灰色关联度分析方法增加了灰色的准确性和可靠性, 减少标准状态模式的数据精度的要求, 具有较好的宝石鉴定能力和可靠性。在宝石鉴定教学应用中, 该系统突破了传统的教育模式, 提供了一个方便的资源共享和辅助鉴定平台, 具有推广价值。

**关键词:** 宝石; 辅助鉴定; 信息系统; 群灰色关联分析

中图分类号: G254.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)S2-0193-06

## The computer-aided gem identification information system for teaching based on the group grey relational grade analysis method

ZHANG Li<sup>1,2</sup> and GUO Yan-jun<sup>3</sup>

(1. Shanghai Machinery Industry School, Shanghai 200237, China; 2. Shanghai Xinqiao Polytechnic College, Shanghai 201806, China; 3. National Experimental Teaching Demonstration Center of Earth Science, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** The computer-aided gem identification information system for teaching based on group grey relational grade analysis is designed for teaching reform and cultivating innovative practice ability. Computer-aided identification for gem testing is realized in judging by multispecies and multiparameters. The group grey relational analysis method improves the accuracy and reliability of the grey and reduces the required data precision in the standard state model compared with the traditional grey relation analysis method, thus achieving better gem identification capability and reliability. With popularization value, the system breaks through the traditional mode of education and provides a convenient platform for resources sharing and supplementary identification.

**Key words:** gem; computer-aided identification; information system; group grey relational grade analysis

宝石鉴定专业的学生主要通过教师的课堂授课获取相关知识, 需要记忆大量的宝石特征、鉴定参数和较多繁杂的知识点, 是一个相对枯燥的过程。为了提高学生学习的主动性和有效性, 促进理论与实

践相结合, 在教学过程中将宝石计算机辅助鉴定与教学信息化紧密结合起来, 将抽象、深奥、难解、枯燥的知识与内容表现出来, 是该专业教学改革中的迫切需求。

收稿日期: 2014-09-02; 修订日期: 2014-09-26

基金项目: 上海市教委教育信息技术应用研究重点项目

作者简介: 张丽(1980-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事宝石鉴定、评估、教学与研究工作; 通讯作者: 郭艳军(1980-), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向信息地质研究、教学信息化研究, E-mail: yanjunguo@pku.edu.cn。

当前,宝石计算机辅助鉴定的实现是学者们研究的热点问题。曹维宇、郭昀等学者将线性分类器模式识别数学方法应用于宝石计算机辅助鉴定,实现了利用计算机进行辅助判断多种宝石鉴定仪器的数据和参量(曹维宇等,2005;曹维宇,2007)。该方法鉴定是否准确需要取决于权向量等参数的求取是否最优,计算最优解的时间代价昂贵。随后,宝石的计算机辅助鉴定引入灰色关联分析方法。该方法是灰色系统理论处理随机量的一种系统分析方法,根据待鉴定的宝石品种鉴定参数与标准状态模式[根据一组典型宝石品种鉴定参数,求得标准状态模式(品种特征向量矩阵)]进行数学分析——灰色关联度分析,得到一组关联度,根据关联度的大小即可确定待鉴定的宝石品种(张丽,2012)。如果标准状态模式分得越细,矩阵中的因素越精确,鉴定的准确率就越高,但计算时间代价较大。针对这些问题,本文提出改善传统灰色关联分析方法进行宝石的计算机辅助鉴定——基于群灰色关联度分析方法进行宝石的计算机辅助鉴定,与传统的灰色关联分析方法相比,增加了灰色的准确性和可靠性,并减少标准状态模式的数据精度的要求,具有较好的宝石鉴定能力和可靠性。

本文在基于群灰色关联度分析方法的宝石计算机辅助鉴定的基础上,以鉴定工作的实际步骤和要求为导向,实现了该专业的教学信息系统,为学习宝石鉴定知识提供一个在线的教学平台,对宝石鉴定专业学生的学习具有较强的指导意义,并可以通过网络进行资源共享。

## 1 系统设计

系统以课堂教学改革和培养实践能力为设计理念,以宝石鉴定的教学要求和学生的实际学习需求作为设计主要依据,进行架构。本文将重点对系统架构和基于群灰色关联度分析方法的宝石计算机辅助鉴定模块进行阐述。

### 1.1 系统架构

该信息系统的体系架构分为3层:数据层(包括数据库和数据接口)、业务层和表现层,如图1所示。数据层包含的主要数据库:① 练习题数据库:为一开放式数据库,汇集了涉及宝石地质基础、宝石物理性质、宝石鉴定仪器、常见宝石、常见玉石、常见有机宝石、宝石的合成与优化等内容的相关题目,题型主

要为选择题和判断题。② 基本性质数据库:包含以GB/T 16553-2010《珠宝玉石鉴定》为基础的各种宝石的基本性质。③ 相关信息数据库:为一开放式数据库,汇集了不同品种宝石的重要鉴定特征、优化处理、相似品等大量信息资料(陈钟惠等,1992)。④ 鉴定指导数据库:内容主要是鉴定工作中所需使用的各种仪器的操作指导、现象解释、注意事项等(陈钟惠等,1992)。业务层主要完成计算机辅助鉴定和教学功能,包括在线学习、宝石计算机辅助鉴定、视频点播和在线评测模块。表现层是系统的门户,主要负责人机交互。用户进入系统门户后根据需要选择相应服务模块获取相应服务。

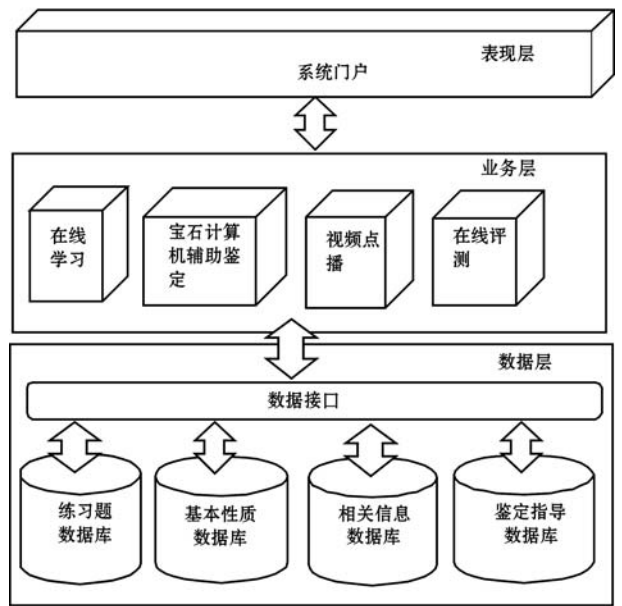


图1 信息系统架构图

Fig. 1 The structure of the information system

### 1.2 宝石计算机辅助鉴定模块

该模块主要基于群灰色关联度分析方法实现宝石的计算机辅助鉴定流程(图2)如下:

#### 1.2.1 参数信息处理

宝石的许多数据是语言描述性的,如光性特点等,为了使计算机对这些参量能进行群灰色关联度分析,需要通过对检测数据进行预处理(曹维宇,2007)。

#### 1.2.2 群灰色关联度分析方法原理

##### (1) 构造参考数列及比较数列

假设有两个数列,一是参考数列,另一个是比较数列。参考数列记为:  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_m$ ; 比较数列记为:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 。其中,

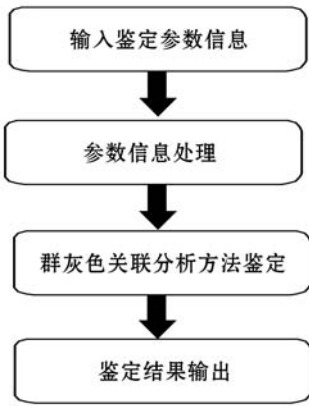


图 2 宝石群灰色关联度分析鉴定流程图

Fig. 2 Flow chart of group grey relational grade analysis

$$\begin{aligned}
 x_i &= \{x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(N)\} \\
 (i &= 1, 2, 3, \dots, n) \\
 y_j &= \{y_j(1), y_j(2), y_j(3), \dots, y_j(N)\} \\
 (j &= 1, 2, 3, \dots, m)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$x_i(k)$ 和  $y_j(k)$ 分别为  $x_i$  和  $y_j$  第  $k$  个特征分量,  $N$  表示数列元素的个数(邓聚龙, 2002)。

(2) 群灰色关联度和群关联矩阵

灰色参考数列群的灰色关联度和关联矩阵称为群灰色关联度和群关联矩阵(朱少平, 2001; 董立新等, 2005)。

假设有  $m \times b$  个参考数列, 如下:

$$\begin{bmatrix}
 y_1^1, & y_1^2, & y_1^3, & \dots, & y_1^b \\
 y_2^1, & y_2^2, & y_2^3, & \dots, & y_2^b \\
 y_3^1, & y_3^2, & y_3^3, & \dots, & y_3^b \\
 \dots, & \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\
 y_m^1, & y_m^2, & y_m^3, & \dots, & y_m^b
 \end{bmatrix}
 \tag{3}$$

其中,  $\{y_1^w, y_2^w, \dots, y_m^w\} w=1, 2, \dots, b$  是第  $w$  组参考数列, 记为  $y^w$ ,  $b$  表示参考数列组的数目,  $m$  表示每组参考数列的数目。每组参考数列的形式如:  $y_i^w = \{y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(N)\} (i=1, 2, \dots, m)$ ,  $y_i(k)$  是  $y_i^w$  的第  $k$  个元素,  $N$  表示参考数列的元素个数,  $m$  表示第  $w$  组参考数列的参考数列数目。  $\{y_j^1, y_j^2, y_j^3, \dots, y_j^b\} (j=1, 2, 3, \dots, m)$  是同一族参考数列, 记为  $y_j$ ,  $y_j$  中的每个元素是相同类型的参考数列。它的各个分量之间既具有较强关联性, 同时在某种程度上又有一定的独立性。

在上面假设的基础上, 定义一个关联度体:

$$V_r = \begin{bmatrix}
 & & & & r_{11}^b & r_{12}^b & \dots & r_{1m}^b \\
 & & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & r_{2m}^b \\
 & r_{11}^2 & r_{12}^2 & \dots & r_{1m}^2 & \ddots & \ddots & \vdots \\
 r_{21}^1 & r_{22}^1 & \dots & r_{2m}^1 & r_{2m}^2 & \ddots & \ddots & r_{nm}^b \\
 \dots & \dots & r_{ij}^1 & \dots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\
 r_{n1}^1 & r_{n2}^1 & \dots & r_{nm}^1 & r_{nm}^2 & \dots & \dots & \vdots
 \end{bmatrix}
 \tag{4}$$

其中,  $r_{ij}^w$  是个体关联度, 表示第  $w$  组参考数列中的个体参考数列  $y_j^w$  和比较数列  $x_i$  的个体关联程度, 可由下式得到:

$$r_{ij}^w = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_{ij}^w(k)
 \tag{5}$$

其中,  $\xi_{ij}^w(k)$  是个体关联系数, 这里给出一种新的计算方法, 定义如下:

$$\xi_{ij}^w(k) = \frac{\min_w \min_j \min_i \min_k |y_j^w(k) - x_i(k)| + 0.5 \max_w \max_j \max_i \max_k |y_j^w(k) - x_i(k)|}{|y_j^w(k) - x_i(k)| + 0.5 \max_w \max_j \max_i \max_k |y_j^w(k) - x_i(k)|}
 \tag{6}$$

这里,  $\xi_{ij}^w(k)$  是  $x_i(k)$  和  $y_j^w(k)$  在第  $k$  个元素处的关联系数;  $|y_j^w(k) - x_i(k)|$  是  $x_i(k)$  和  $y_j^w(k)$  在第  $k$  个元素处的绝对差值。  $\min_w \min_j \min_i \min_k |y_j^w(k) - x_i(k)|$  是 4 层最小距离,  $\max_w \max_j \max_i \min_k |y_j^w(k) - x_i(k)|$  是 4 层最大距离。

这样, 在关联度体的基础上, 可以得到一个群关联度矩阵  $R_{group}$ , 它的定义如下:

$$R_{group} = \begin{bmatrix}
 \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \dots & \tilde{r}_{1m} \\
 \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \dots & \tilde{r}_{2m} \\
 \dots & \dots & \tilde{r}_{ij} & \dots \\
 \tilde{r}_{n1} & \tilde{r}_{n2} & \dots & \tilde{r}_{nm}
 \end{bmatrix}
 \tag{7}$$

其中, 群关联度  $\tilde{r}_{ij}$  定义如下:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{1}{b} \left( \sum_{w=1}^b (r_{ij}^w)^p \right)^{1/p} \quad p=1, 2, \dots, \infty
 \tag{8}$$

群关联度  $\tilde{r}_{ij}$  表示第  $i$  个比较数列和第  $j$  族参考数列的整体关联程度。而群关联度矩阵  $R_{group}$  则代表比较数列和这些族参考数列总体上的相互关联关系。

(3) 根据关联序鉴定宝石

将群关联度矩阵(式 7) 中每行群关联度  $\tilde{r}_{ij}$  按大

小顺序排列起来,即可得到关联序,在进行宝石鉴定时,将关联系数矩阵数列从大到小依次排列,即  $\tilde{r}_s > \tilde{r}_h > \tilde{r}_p$ ,式中  $s, h, p$  分别为  $\{1, \dots, m\}$  中某个自然数。然后用优势分析的思想,认为待检模式与标准模式族  $s$  相似的可能性最大,则认为待检模式属于相应的标准模式族  $s$ ,从而实现鉴定宝石。

1.2.3 实例分析

(1) 构建灰色参考数列群

实例分析采用两个参考数列组构成一个灰色参考数列群(图3)用于研究。每个参考数列组依次包含刚玉、祖母绿、橄榄石、石英和碧玺5个参考数列。对于非均质体宝石鉴定进行群灰色关联度分析,其参考数列的元素依次包括折射率1、折射率2、双折射率、相对密度(SG)和光性。对于光性的量化方式为:一轴负0.75,一轴正1.25,二轴正1.5,二轴负0.5。现有宝石鉴定数据(表1)。

1.762	1.770	0.008	4.00	0.75
1.577	1.583	0.005	2.72	0.75
1.654	1.690	0.036	3.33	1.50
1.544	1.553	0.009	2.65	1.25
1.624	1.644	0.020	3.06	0.75
1.763	1.771	0.008	3.98	0.75
1.579	1.586	0.007	2.70	0.75
1.655	1.693	0.038	3.35	1.50
1.545	1.554	0.009	2.66	1.25
1.620	1.638	0.018	3.05	0.75

图3 灰色参考数列群

Fig. 3 Group of grey reference sequence

表1 鉴定历史数据  
Table 1 Data of identification

	折射率	双折射率	SG	光性
红宝石	1.761~1.769	0.008	4.00	一轴负
橄榄石	1.655~1.691	0.036	3.33	二轴正
水晶	1.544~1.553	0.009	2.65	一轴正

(2) 按式(6)计算个体关联系数时,经计算

$$\min_w \min_j \min_i \min_k |y_j^{(w)}(k) - x_i(k)|$$

4层最小距离为0,

$$\max_w \max_j \max_i \min_k |y_j^{(w)}(k) - x_i(k)|$$

4层最大距离为0.9350。

(3) 根据式(8)求取宝石鉴定数据(表1)群关联

度矩阵,求取时  $p=2, b=2$ ,得到宝石鉴定数据的群灰色关联度分析结果(表2)。

表2 群灰色关联度分析结果

Table 2 Results of group grey relational grade analysis

待测宝石	与刚玉的 关联程度	与祖母 绿的关 联程度	与橄榄 石的关 联程度	与石英 的关联 程度	与碧玺 的关联 程度
红宝石	0.533	0.425	0.393	0.294	0.433
橄榄石	0.310	0.390	0.609	0.324	0.425
水晶	0.297	0.489	0.411	0.534	0.406

表2中第2列表示待测宝石与刚玉的关联程度,3到6列依次是与祖母绿、橄榄石、石英、碧玺的关联程度。由于第2行中第1个数据最大,根据群灰色关联度分析得到待鉴定宝石为刚玉,灰色关联分析正确。同样第3行第3个最大,得到待鉴定宝石为橄榄石,第4行第4个最大,得到待鉴定宝石为石英,分析均正确。

当采用参考序列群中的第2个参考序列,进行传统灰色关联分析,结果见表3。

表3 传统灰色关联分析结果

Table 3 Results of traditional grey relational analysis

待测宝石	与刚玉 的关联 程度	与祖母 绿的关 联程度	与橄榄 石的关 联程度	与石英 的关联 程度	与碧玺 的关联 程度
红宝石	0.667	0.552	0.573	0.148	0.578
橄榄石	0.081	0.483	0.890	0.043	0.561
水晶	0.171	0.653	0.591	0.666	0.531

虽然传统灰色关联分析结果也正确,但对于水晶的判别时,水晶与祖母绿的关联程度和水晶与石英的关联程度相近,当测试数据较多时,容易造成误判,而群灰色关联度分析能将各灰色关联程度区分的比较开,不会造成误判。并且当传统灰色关联分析实例出现错误时,群灰色关联度分析能够鉴定正确。与传统的灰色关联分析方法相比,提高了灰色的准确性和可靠性,并减少标准状态模式的数据精度的要求,具有较好的宝石鉴定能力和可靠性。

2 系统的实现

2.1 在线学习

在线学习功能主要给学习者提供宝石鉴定的相关知识(图4)。

### 2.2 在线评测

在线评测功能给学习者提供一个自我测试的机会,题型丰富,涉及面广,并按照内容划分模块。为了突出辅助学习的特点,系统提供了不同测试模式,提高学习趣味性(图 5)。

### 2.3 视频点播

视频点播功能主要通过视频直观得为使用者提供实验室常规检测仪器的正确使用方法、操作步骤、

观察现象及结果解释及主要用途和注意事项等,以折射仪为例(图 6)。

### 2.4 计算机辅助鉴定

系统根据已输入宝石的鉴定数据,以国家标准 GB/T16553-2010《珠宝玉石鉴定》数据为基础,进行识别和判断,确定符合条件的宝石品种,并将与条件相匹配的宝石名称显示在“辅助鉴定结果”界面中,完成辅助鉴定,以红宝石为例(图 7)。



图 4 在线学习操作实例  
Fig. 4 Example of online learning

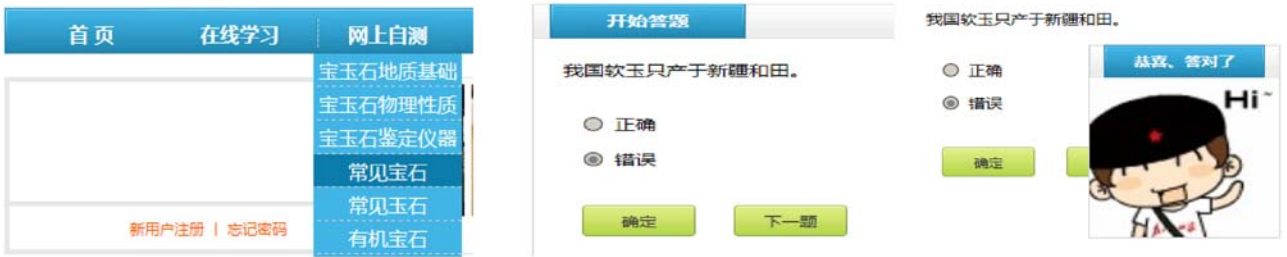


图 5 在线评测操作实例  
Fig. 5 Example of online evaluation



图 6 视频点播操作实例  
Fig. 6 Example of video on demand



图7 辅助鉴定操作实例

Fig. 7 Example of aided identification

### 3 结论

基于群灰色关联度分析的宝石计算机辅助鉴定教学信息系统是一款集宝石计算机辅助鉴定和教学为一体的计算机系统软件。学生可以方便快捷地获取、交流和共享宝石鉴定信息,为自主学习宝石鉴定知识提供一个方便的信息与经验共享、交流以及合作平台;可根据测试数据和自身经验,并结合基于群灰色关联度分析的计算机辅助鉴定方法完成鉴定,实现了宝石多品种、多个不同性质参量的综合判断,对宝石辅助鉴定教学有较好的应用推广价值。其中,在辅助鉴定模块中,使用者从经济角度看,师生可以突破时间和空间的界限,大大节省教育资源,实现了无纸化、跨地域化的学习新机制,让学生能方便、有针对性的进行学习与随机测试,提高教学效果;从教学角度看,课后自主学习系统突破了教育的传统模式,学生由以前单一的、被动的接受学习变成自我探索、发现、协作学习等多种形式的组合学习,提高学习效率,充分发挥其主观能动性去寻找和探索相关的知识和资源,培养了他们良好的学习习惯,提高学习质量。

### References

Cao Weiyu. 2007. Application of pattern recognition in gems testing[J]. China Measurement Technology, 33(2): 130~132(in Chinese).  
 Cao Weiyu, Zhao Hechun, et al. 2005. Introduction of computer aided identification and information system for gem testing[J]. Journal of Gems and Gemmology, 7(4): 30~32(in Chinese).  
 Chen Zhonghui, et al. 1992. FGA Gemological Tutorial[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).

Deng Julong. 2002. Grey Theory[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press(in Chinese).

Dong Lixin and Xiao Dengming. 2005. Insulation fault diagnosis based on group grey relational grade analysis method for power transformer[J]. The Journal of Southeast University, 21(2): 175~179(in Chinese).

GB/T16553-2010. Jewelry Identification[S]. Beijing: China Standard Press(in Chinese).

Zhang Li and Zhang Yiyao. 2012. Gem identification of basing on grey relation analysis[J]. China Measurement, 38(Z): 39~41(in Chinese).

Zhao Hongwei and Qin Changming. 2011. Research design on software based on B/S 3-tier structure[J]. Research and Exploration in Laboratory, 7: 64~66(in Chinese).

Zhu Shaoping. 2001. The application of grey relation analysis in the process of problem recognition[J]. Journal of Shanxi Economics & Trade Institute, 14(5): 52~54(in Chinese).

### 附中文参考文献

曹维宇. 2007. 模式识别在珠宝玉石鉴定中的应用[J]. 中国测试技术, 33(2): 130~132.

曹维宇, 赵贺春, 等. 2005. 珠宝玉石计算机辅助鉴定及信息系统[J]. 宝石和宝石学杂志, 7(4): 30~32.

陈钟惠等译. 1992. FGA 宝石学教程[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.

邓聚龙. 2002. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中理工大学出版社.

董立新, 肖登明. 2005. 基于群灰色关联度分析方法的电力变压器绝缘故障诊断[J]. 东南大学学报(英文版), 21(2): 175~179.

GB/T16553-2010. 珠宝玉石鉴定[S]. 北京: 中国标准出版社.

张丽, 张义耀. 2012. 基于灰色关联分析的珠宝玉石鉴定[J]. 中国测试, 38(z): 39~41.

赵宏伟, 秦昌明. 2011. 基于B/S 3层体系结构的软件设计方法研究[J]. 实验室研究与探索, 7: 64~66.

朱少平. 2001. 灰色关联分析在决策问题识别中的应用[J]. 陕西经贸学院学报, 14(5): 52~54.