

大尹格庄金矿与杨砦峪金矿地球化学特征及成矿潜力对比

唐智敏

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2025年2月26日; 录用日期: 2025年4月18日; 发布日期: 2025年4月28日

摘 要

前人研究表明, 金矿床中有机质的存在对金矿的富集有很强的影响作用, 通过对矿床的烃类组分特征进行分析, 可以研究其成矿潜力。本文选取胶东矿集区中的大尹格庄金矿和小秦岭矿集区中的杨砦峪金矿为研究对象, 通过对两个金矿床基础地球化学特征、烃类组分含量特征和烃类组分结构特征的对比, 阐明各自的成矿潜力与特点, 大尹格庄金矿床烃类组分异常下限、不同地质体的标准化烃类组分均高于杨砦峪金矿, 成矿潜力更大。

关键词

地球化学特征, 金矿, 烃类组分

Comparison of Geochemical Characteristics and Mineralization Potential between Dayingezhuang Gold Deposit and Yangzhaiyu Gold Deposit

Zhimin Tang

School of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Feb. 26th, 2025; accepted: Apr. 18th, 2025; published: Apr. 28th, 2025

Abstract

Previous studies have shown that the presence of organic matter in gold deposits has a strong impact on the enrichment of gold deposits. By analyzing the hydrocarbon composition characteristics

of the deposit, its mineralization potential can be studied. This article selects the Dayingezhuang gold deposit in the Jiaodong mining area and the Yangzhaiyu gold deposit in the XiaoQinling mining area as research objects. By comparing the basic geochemical characteristics, hydrocarbon component content characteristics, and hydrocarbon component structure characteristics of the two gold deposits, the mineralization potential and characteristics of each deposit are clarified. The Dayingezhuang gold deposit has a lower limit of hydrocarbon component anomalies and standardized hydrocarbon components in different geological bodies, which are higher than those in the Yangzhaiyu gold deposit, indicating greater mineralization potential.

Keywords

Geochemical Characteristics, Gold Mine, Hydrocarbon Components

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄金在经济、工业、文化价值等方面都具有极其重要的作用与意义，但浅层矿产有限，需要对更深层的金矿进行探寻。我国在金矿资源的地质勘查方面已取得诸多成效[1]，地质工作者们逐渐将目光投向深部矿产，前人研究发现，有机质对金矿的形成有着重要的作用，因此可以通过烃类气体的特点发掘潜在的金矿，利用烃类、汞气体综合测量技术快速定位深部矿床及隐伏金属矿床。

胶东金矿和小秦岭金矿是我国在华北地区最重要的两个金矿集区，成矿带分别位于华北地台东部胶东隆起区和华北地台南缘。两地区成矿过程均与华北地台的形成有着密切的联系。本文选取胶东大尹格庄金矿及小秦岭杨砦峪金矿两个经典矿床，利用烃类、汞气体综合测量技术，对两个矿床的地球化学特性、金矿与烃类组分的相关关系、不同地质体中烃类组分的结构和含量特点进行对比，研究其成矿潜力，为未来的矿产勘察积累信息。

2. 地质特征

2.1. 区域地质背景

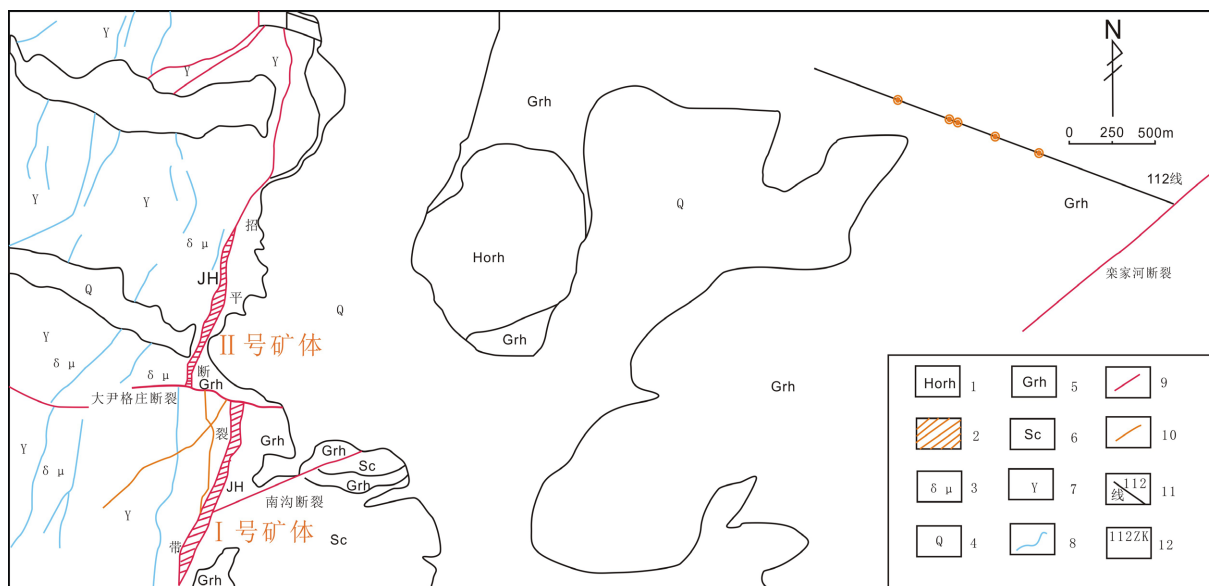
胶东地区位于华北克拉通东段，是中国著名的金矿产区，拥有胶西北、栖霞福和牟乳等(如图 1)三个主要的金矿次区域[2]。胶东地区经历了多次构造运动和岩浆活动[3]，区内岩浆岩的类型多样，从超基性到酸性均有分布，但以酸性和中酸性岩浆岩的分布最为广泛[4]，这种岩石类型的多样性为金矿的形成和富集提供了多种可能的地质背景。本文选取胶东矿集区中的大尹格庄金矿为研究对象。

小秦岭金矿区位于华北地台南缘的华熊台隆起，主要由新太古代的花岗岩和花岗质片麻岩构成。区内主要构造走向为东西向，以老鸦岔背斜为主导的褶皱构造体系，伴有五里村背斜和七树坪向斜。区内断裂自西向东主要形成文峪、桂家峪、娘娘山花岗岩岩基。本文选取小秦岭矿集区中的杨砦峪金矿为研究对象。

2.2. 不同矿床地质特征

2.2.1. 大尹格庄金矿

大尹格庄金矿处于华北地台东缘，主要受招平断裂、大尹格庄断裂和栾家河断裂控制[5]。如图 1 所示。



1. 混合斜长角闪岩; 2. 黄铁绢英岩; 3. 闪长玢岩; 4. 第四系; 5. 混合岩化黑云斜长变粒岩; 6. 黑云片岩、石榴黑云片岩; 7. 玲珑花岗岩; 8. 闪长玢岩脉; 9. 断裂带; 10. 黄铁绢英岩脉; 11. 测线及矿体; 12. 钻孔。

Figure 1. Gold mining reservoir geological summary (According to Shandong Geological Sixth Survey Institute, there have been slight modifications)

图 1. 金矿床地质简图(据山东地质第六勘察院, 略有修改)

地区主要出露的地层为太古宇胶东群和第四系, 太古宇胶东群主要的岩石类型包括混合岩化黑云斜长变粒岩、黑云片岩、混合斜长角闪岩、石榴黑云片岩、黄铁绢英岩以及少量的玲珑花岗岩分布, 胶东群地层主要分为上部和下部两部分, 上部主要由粘土和半粘土质组成, 通常是两者的沉积物组成的, 下部则主要由火山沉积物构成, 这些沉积物通常是中基性和中酸性的沉积物。矿区内主要的断裂有招平断裂、栾家河断裂、大尹格庄断裂和主要的断裂经过多次地质作用派生出来的次级断裂[5]。

2.2.2. 杨砦峪金矿

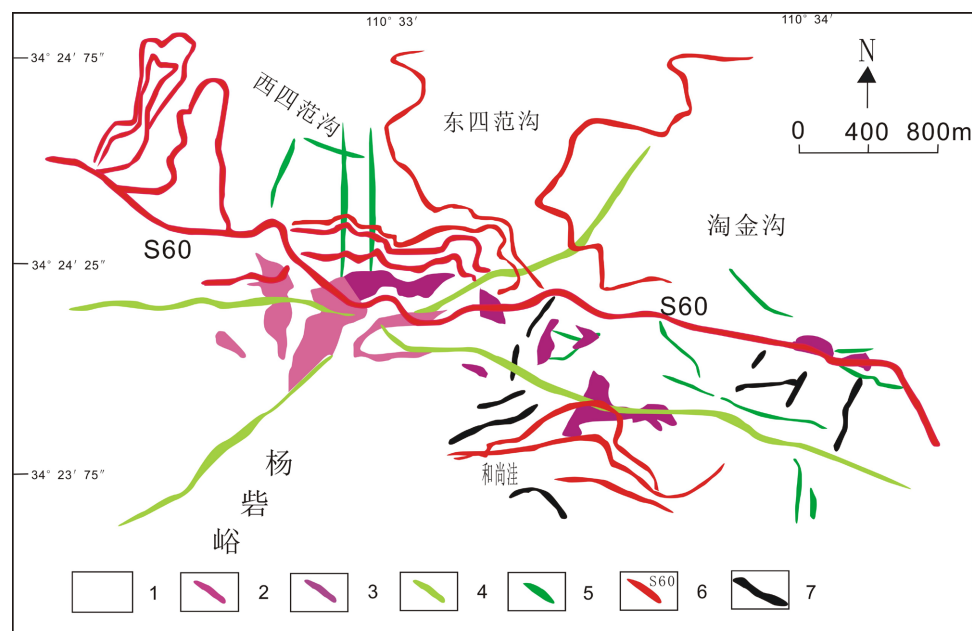
杨砦峪矿区主要出露地层有太华群[6][7], 太华群主要分布有各式各样的混合岩、构造岩及片麻岩类, 混合岩有条痕状和条带状混合岩, 构造岩有糜棱岩和碎裂岩, 片麻岩类有斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩为主, 同时还分布有黑云二长花岗岩、花岗伟晶岩、辉绿岩等(如图 2 所示) [8]。分布着较少且零散的第四系, 第四系主要分布在沟、谷、斜坡和一些比较平缓地带, 主要分布着残破堆积物和粘土质以及冲击物[9]。

区内发育断裂构造主要有褶皱构造和断裂构造, 这两类断裂构造在不同程度上影响着区内基性脉岩的分布, 同时也控制着含金石英脉的整体分布, 这是因为构造有着不同的规模和性质, 同时断裂构造的方向不同, 也对整个分布区的基性脉岩和含金石英脉的分布有着显著的影响[10]。

3. 不同矿床地球化学特征对比

3.1. 不同矿床流体包裹体特征

据刘向东等人的研究说明, 大尹格庄金矿床流体包裹体总体为中低温、中低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系。成矿主阶段 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 型包裹体呈现出同时被捕获于同一个流体包裹体组合内, 且二类包裹体均有近似的最终均一温度, 该结果指示成矿主阶段发生了流体不混溶作用, 导致流体中 CO_2 和 H_2S 等挥发分含量降低, 含金络合物分解, 引起金沉淀成矿。



1. 太华群；2. 黑云二长花岗岩；3. 花岗伟晶岩；4. 辉长辉绿岩；5. 辉绿岩；6. 含矿石英脉；7. 断层。

Figure 2. Gold mining reservoir geological summary (According to the First Geological and Mineral Survey Institute of Henan Provincial Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, 2014, with slight modifications)

图 2. 金矿床地质简图(据河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院, 2014, 略有修改)

根据熊索菲等的研究，杨砦峪矿床的流体包裹体特征表明杨砦峪金矿床的成矿流体具有中 - 高温、低盐度、富含 CO₂ 并且含有少量 CH₄ 的特征，属于 CO₂-H₂O-NaCl+CH₄ 体系，与典型的岩浆流体有一定区别。

3.2. 烃类组分对比

通过对两个研究矿床的样品原始数据进行分析研究，求出烃类组分和微量元素相关地球化学参数，求出各烃类组分和微量元素的背景值和烃类组分异常下限，进而求出各烃类组分和微量元素的变异系数。

(1) 大尹格庄金矿床部分样品地球化学参数如下表 1，表 2。

Table 1. Geochemical parameters related to the composition

表 1. 烃类组分相关地球化学参数

	背景值(Mo)	异常下限	方差(σ)	变异系数(V)
甲烷	6641	8538	1897	0.286
乙烷	1457	1719	262	0.180
丙烷	622	735	113	0.182
异丁烷	39	46	7	0.179
正丁烷	202	234	32	0.158
异戊烷	36	44	8	0.222
正戊烷	57	70	13	0.228
乙烯	1114	1283	169	0.152
丙烯	793	907	114	0.144

注：a. 单位 $\mu\text{l/kg}$ ；b. 异常下限 = $\text{Mo} + \sigma$ ；c. $V = \sigma/\text{Mo}$ 。

Table 2. Geochemical parameters of microelements
表 2. 微量元素地球化学参数表

元素	背景值(Mo)	方差(σ)	浓度克拉克值(K)	变异系数(V)	克拉克值(泰勒, 1964)	中国花岗岩类元素丰度 (史长义, 2008)
Au	1.07	0.32	0.268	0.299	4.00	0.38
As	0.87	0.43	0.483	0.494	1.80	0.90
Sb	0.12	0.04	0.600	0.333	0.20	0.13
Ag	0.09	0.03	0.714	0.600	0.07	0.05
Cu	24.74	10.97	0.450	0.443	55.00	5.00
Zn	40.01	18.03	0.572	0.451	70.00	43.00
Mo	0.46	0.25	0.307	0.543	1.50	0.49
W	9.16	1.94	6.107	0.212	1.50	0.70
Pb	8.56	2.27	0.685	0.265	12.50	26.00
Bi	0.08	0.06	0.471	0.750	0.17	0.14
Hg	1.52	0.18	0.019	0.118	80.00	5.00

注: a. Au、Hg 的单位为 10^{-9} , 其余为 10^{-6} ; b. $K = Mo/克拉克值$; c. $V = \sigma/Mo$; d. 烃类组分均由 Agilent6820 型气相色谱仪分析(下同); e. 测试单位: 桂林矿产地质研究所, 2013。

(2) 杨砦峪金矿床部分样品地球化学参数如下表 3, 表 4。

Table 3. Geochemical parameters related to the composition
表 3. 烃类组分相关地球化学参数

元素	背景值(Mo)	异常下限	方差(σ)	变异系数(V)
甲烷	5786	7572	1786	0.309
乙烷	1317	1699	382	0.290
丙烷	469	562	93	0.198
异丁烷	34	41	7	0.206
正丁烷	122	151	29	0.238
异戊烷	25	37	12	0.480
正戊烷	45	52	7	0.156
乙烯	743	875	132	0.178
丙烯	468	573	105	0.224

注: a. 单位 $\mu l/kg$; b. 异常下限 = $Mo + \sigma$; c. $V = \sigma/Mo$ 。

Table 4. Geochemical parameters of microelements
表 4. 微量元素地球化学参数表

元素	背景值(Mo)	方差(σ)	浓度克拉克值(K)	变异系数(V)	克拉克值(泰勒, 1964)	中国花岗岩类元素丰度 (史长义, 2005)
Au	24.56	29.84	6.14	1.215	4.00	0.38
As	0.68	0.14	0.38	0.206	1.80	0.90
Sb	0.27	0.04	1.35	0.148	0.20	0.13

续表

Ag	0.11	0.09	1.57	0.818	0.07	0.05
Cu	27.57	18.73	0.50	0.679	55.00	5.00
Zn	34.19	11.03	0.49	0.323	70.00	43.00
Mo	1.56	0.91	1.04	0.583	1.50	0.49
W	10.19	8.18	6.79	0.803	1.50	0.70
Pb	17.06	9.81	1.36	0.575	12.50	26.00
Ni	8.02	6.19	0.10	0.772	80.00	5.00
Sn	2.24	0.47	1.12	0.210	2.00	
Mn	426.87	267.72	0.45	0.627	950.00	
Co	6.27	3.75	0.25	0.598	25.00	

注：a. Au、Hg 的单位为 10^{-9} ，其余为 10^{-6} ；b. $K = Mo/\text{克拉克值}$ ；c. $V = \text{方差}(\sigma)/Mo$ ；d. 烃类组分均由 Agilent6820 型气相色谱仪分析；e. 测试单位：桂林矿产地质研究所，2013。

对大尹格庄金矿的分析结果如下：

- (1) 通过各烃类组分背景值可以看出，从甲烷至丙烯，随着分子量的增加，各烃类组分的背景值总体上表现出含量逐步降低的变化趋势。
- (2) 甲烷的含量保持在较高水平上，其背景值含量达到 $6641 \mu\text{l/kg}$ ，而其它烃类组分背景值含量都是相对较低的，其中异戊烷含量最低。
- (3) 从变异系数方面来看，总体上各烃类组分的变异系数之间变化波动不大，较为稳定，这表明区内烃类组分背景变化较均匀。
- (4) 从微量元素的浓度克拉克值可以看出，本区 W 的浓度克拉克值最大，该区可能有 W 的富集。
- (5) 各微量元素的变异系数均低于 1，则可以说明微量元素在该地区分布比较均匀，且其背景变化比较小。

对杨砦峪金矿床的分析结果如下：

- (1) 烃类组分的含量表现出明显的差异，甲烷保持在较高水平上，其背景值含量达到 $5786 \mu\text{l/kg}$ ，而其它烃类组分背景值含量都是相对较低的，其中异戊烷含量最低。
- (2) 通过各烃类组分背景值可以看出，从甲烷至丙烯，随着分子量的增加，各烃类组分的背景值总体上表现出含量逐步降低的变化趋势。
- (3) 从变异系数方面来看，总体上各烃类组分的变异系数之间变化波动不大，较为稳定，这表明区内烃类组分背景变化较均匀。
- (4) 从微量元素的浓度克拉克值可以看出，本区 Au 元素的浓度克拉克值大于 6，则可以说明该区有明显的 Au 元素的富集。
- (5) 除 Au 外，各微量元素的变异系数均低于 1，则可以说明微量元素在该地区分布比较均匀，且其背景变化比较小。

3.3. 烃类组分作为矿产预测指标的依据

通过对两个矿床所在区域的数据分析，可得两个区域的烃类组分均具有较高的背景含量，并且分布相对均匀。这些特性意味着烃类组分不太可能对成矿造成的异常产生显著影响。基于这一条件，烃类组分可以视为两个地区进行矿产预测的一个关键指标。而微量元素在两个区域内含量分布较为均匀，且构

成关系保持正常，它们同样可以作为该地区矿产预测的重要指标。

大尹格庄金矿在烃类组分方面显示的背景含量、异常下限高于杨砦峪金矿，说明前者可能含有更丰富的有机物质，这些物质参与了成矿过程，从而赋予了该地区形成大型金矿床的更大可能性。

4. 不同金矿床烃类组分特征比较

4.1. 烃类组分含量特征

通过对两个矿床内的金矿石、强蚀变围岩、弱蚀变围岩和未蚀变围岩进行烃类组分含量分析，查明金矿床相应的金矿石和围岩中烃类组分含量特征，分析得到两个金矿床均有较高的烃类组分参与成矿，大尹格庄金矿高于杨砦峪金矿；两个矿床均呈现弱蚀变围岩的烃类组分含量最高，未蚀变围岩含量最低的变化特点，矿体和蚀变围岩中烃类组分变化趋势具有相似性，其中甲烷含量均明显高于其他组分。大尹格庄金矿的烃类组分参与量更大，与两个地区目前发现的金矿矿化规模成正比，在一定程度上表明烃类组分含量的高低具有指示金矿成矿规模的特性，因此大尹格庄金矿的成矿潜力更大(图 3)。

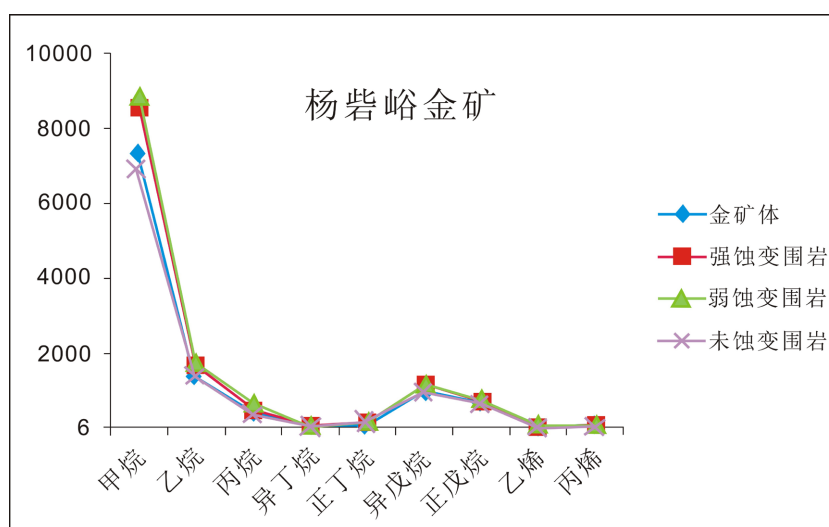


Figure 3. Variation of the composition of the molybdenum in the corrosion perimeter of various reservoirs (units: $\mu\text{L/kg}$)
图 3. 各矿床蚀变围岩中烃类组分变化关系(单位: $\mu\text{L/kg}$)

4.2. 烃类组分结构特征

从宏观角度审视各地质体中的烃类组分，我们发现它们的含量在数值上存在显著差异。这些差异可能源于不同特性和来源的成矿流体在成矿过程中的相互作用和混合，这种作用可能导致烃类组分的分散或分异。然而，这种分散或分异有时可能非常微妙，难以通过含量曲线图直观展现。为了更准确地揭示这些变化，需要对数据进行标准化处理。其处理方法类似于地球化学中球粒陨石作为稀土元素标准化背景的建立方法。

以峨眉山玄武岩的烃类组分含量作为参照标准，将 112 线标准化后的数据与广西大厂花岗岩脉、山东夏甸黑云母花岗岩、福建何宝山黑云母花岗岩的标准化值进行了比较[10] (图 4)。

分析结果如下：

该地区不同地质体的烃类组分标准化值普遍高于其他地区花岗岩的相应值。以大尹格庄金矿区为例，通过烃类组分含量的曲线图分析，我们发现区内不同蚀变岩类中烃类组分的变化趋势具有一致性，这一现象表明这些地质体中的烃类组分具有相似性，即各类蚀变地质体演化过程可能相同或者是相似的。我

们可以看出大尹格庄金矿区各类地质体烃类组分标准化值是比标准化背景值高的, 这表明该地区有丰富的成矿溶液参与整个成矿过程, 一定程度上还可以说明可能有很大的部分的烃类组分参与整个成矿过程中。地质调查表明, 中基性岩脉与其他地质体的形成有明显差异, 他们主要在矿化之后形成, 因此其烃类组分标准化曲线是不同于其他地质体的, 这就说明中基性岩脉与其他地质体在成因上并不具有关联性, 同时可以看出来烃类组分标准化曲线在识别与金矿化有成因联系的地质体方面的有效性[11][12]。

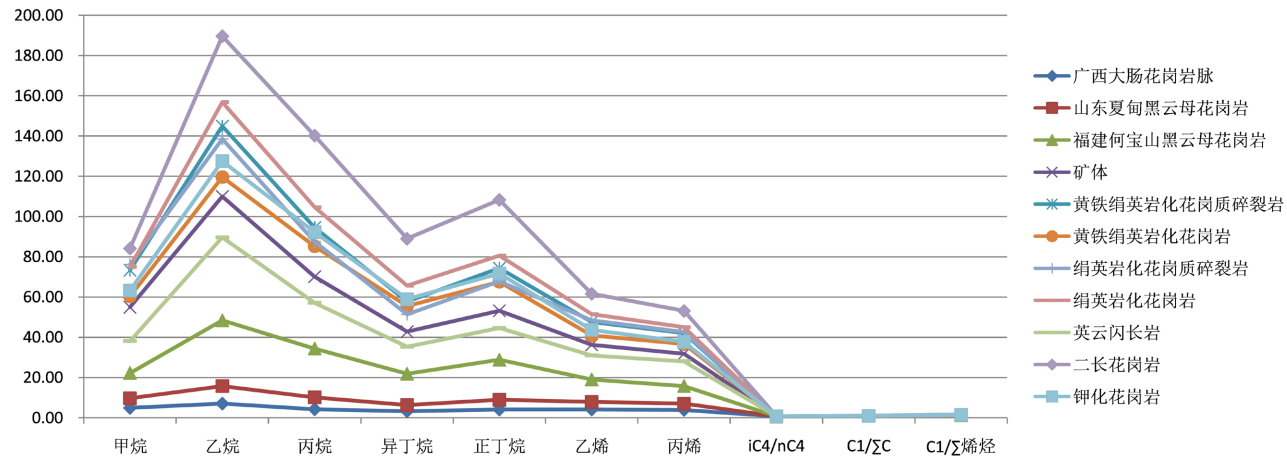


Figure 4.112 Line standardized brass component comparison graph
图 4.112 线标准化烃类组分对比图

为了便于研究烃类组分的内部结构, 就要对标准化值再进行归一化处理, 然后利用这些归一化的值重新绘制图表, 具体可见下图(图 5、图 6)。通过这一处理, 我们能够更准确地分析和比较各类地质体中烃类组分的相对丰度和变化趋势。

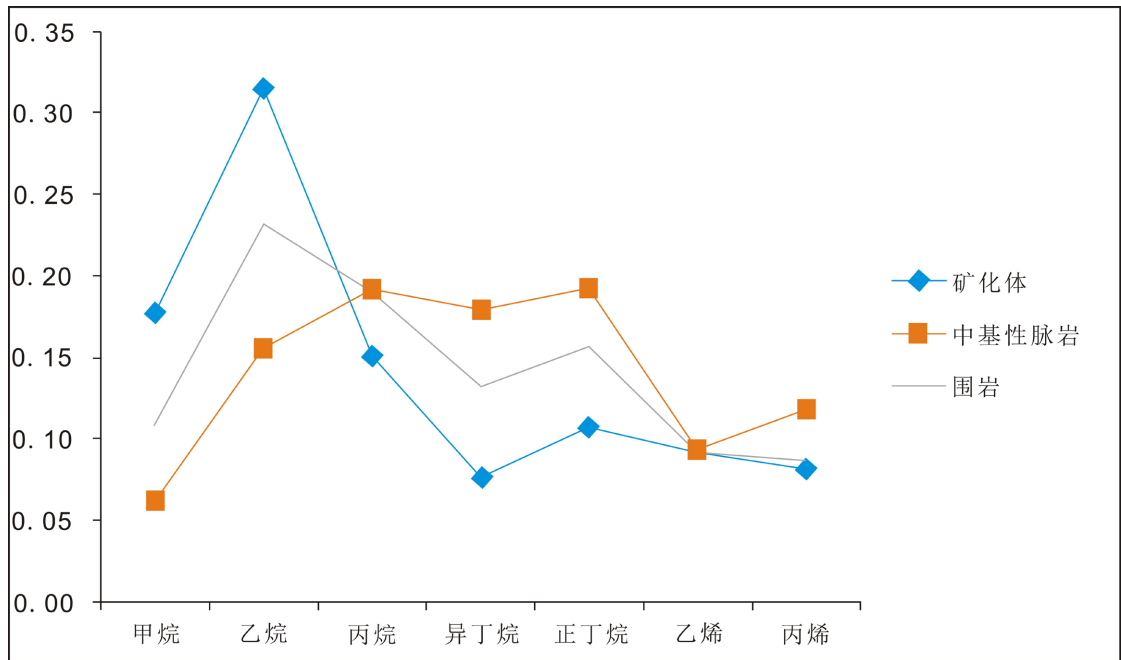


Figure 5. Classification of clusters
图 5. 大尹格庄金矿烃类组分归一化图

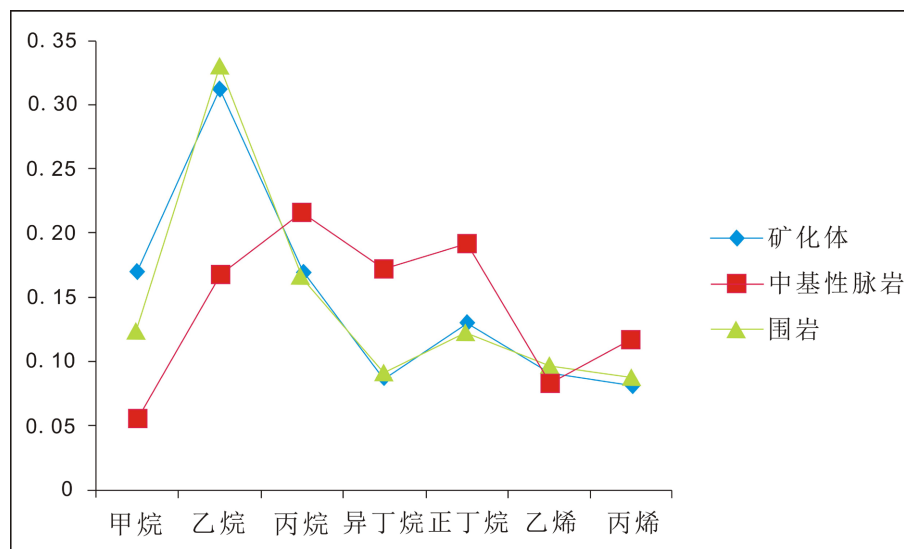


Figure 6. Classification of clusters
图 6. 杨砦峪矿床烃类组分归一化图

对两个矿床烃类组分结构特征进行比较, 可知:

(1) 两个矿床烷烃的相对含量普遍高于烯烃。乙烷的含量最为丰富, 紧随其后的是甲烷, 而在矿化体中, 甲烷的含量显著高于其他地质体。烷烃在燃气总量中占据了主导地位。地质体不同则其烃类组分表现出不同的规律, 从烷烃到烯烃分子量增大相对含量逐渐减少。

(2) 对两个金矿区各类地质体的烃类组分标准化值进行分析, 结果揭示了具有不同烃类组分特征的各类地质体表现出各自独特的变化特征。总体而言, 大尹格庄金矿的不同地质体标准化烃类组分高于杨砦峪金矿, 具有更大的成矿潜力。

(3) 通过分析两个金矿区烃类组分的归一化图表, 可以发现中基性脉岩与成矿活动之间似乎没有直接关联。推测烃类组分在成矿过程中形成的伴生组分, 烃类组分具有相似的变化规律, 则其来源可能相同, 通过这种细致的比较, 我们可以从不同地质体烃类组分结构方面更好地识别和解释地质体中烃类组分的分布特征及其对矿化作用的潜在影响。

(4) 对比两个典型的金矿床后发现, 在成矿过程中烃类组分的参与量存在差异。胶东地区的烃类组分参与量整体上最高, 而小秦岭地区的参与量相对较低。这与两个地区目前发现的金矿矿化规模成正比, 从一定程度上说明烃类组分含量的高低可能具有指示金矿成矿规模的特性。

5. 结论

通过对大尹格庄金矿与小秦岭金矿的地球化学特性、元素相关性、烃类组分含量及其结构特征进行深入分析和对比, 得出以下主要结论:

首先, 从成矿背景值看, 大尹格庄金矿的烃类组分背景值大于杨砦峪金矿, 其烃类组分异常下限也高于杨砦峪矿床, 在成矿过程中两个矿床提供的烃类组分含量不同, 这些烃类组分在矿化后期形成的矿体的规模也不同, 因此大尹格庄金矿具有较大的成矿潜力。

其次, 大尹格庄金矿的烃类组分含量也高于杨砦峪金矿, 这一结果表明前者在成矿过程中可能有更多的有机质参与, 这不仅有助于成矿物质的聚积, 还可能促进围岩中成矿元素的活化和富集, 从而有利于金矿床的形成, 因此大尹格庄金矿具有较大的成矿潜力。

最后, 从烃类组分结构看, 二者的标准化烃类组分均高于标准化背景值, 这表明成矿溶液丰富, 有

大规模的烃类组分参与，而大尹格庄金矿的不同地质体标准化烃类组分高于杨砦峪矿床，故大尹格庄金矿的成矿潜力更大。

参考文献

- [1] 张文钊, 卿敏, 牛翠祎, 王科强, 黄辉, 王美娟. 中国金矿床类型、时空分布规律及找矿方向概述[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2014, 33(5): 721-732.
- [2] 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 胶东大型黄金矿集区及大规模成矿作用[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2001, 31(7): 545-552.
- [3] 王枫. 胶东大尹格庄金矿黄铁矿成因矿物学与深部远景研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- [4] 吕承训. 胶东金矿区域构造蚀变岩带地质特征与流体成矿规律研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- [5] 王峰. 山东招远大尹格庄金矿地质特征及找矿潜力分析[J]. 世界有色金属, 2020(6): 105-106.
- [6] 薛海涛, 王天英, 冯一帆. 河南秦岭金矿杨砦峪矿区围岩蚀变及矿石矿物特征[J]. 科技资讯, 2015, 13(8): 80-81.
- [7] 王斌. 小秦岭金矿地球化学特征及矿床成因探讨[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.
- [8] 熊索菲, 丁振举, 姚书振, 熊杰, 胡新露, 何谋春, 谭满堂. 河南小秦岭杨砦峪金矿床成矿流体特征[J]. 矿床地质, 2013, 32(6): 1249-1261.
- [9] 铁健康, 董少波, 马林霄, 赵留升. 小秦岭文峪金矿床深部地质特征及成矿规律[J]. 山东国土资源, 2015, 31(3): 7-11+15.
- [10] 徐庆鸿. 流体中烃类组分与金属成矿关系研究及其在找矿勘查中的应用[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- [11] 刘草. 山东招远大尹格庄金矿烃类组分特征与异常模型研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2016.
- [12] 潘能海. 基于烃类组分结构的胶西北地区三大成矿带演化特征研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2017.