

(21) 76-79

# 陕西驾鹿金矿床发现 40 种含氧金矿物

## ——物性、X 射线衍射及晶体结构初步分析\*

刘良<sup>1)</sup> 周新春<sup>2)</sup> 王焰<sup>1)</sup> 王世忠<sup>2)</sup>  
炎金才<sup>1)</sup> 杨建琨<sup>3)</sup> 王观礼<sup>2)</sup> 胡建民<sup>2)</sup>P618.510.4  
P575.5(1)西北大学地质学系,710069,西安;2)武警黄金第十四支队,710100,陕西长安县;3)黄金指挥部,100012,北京;  
第一作者 41 岁,副教授)

**摘要** 指出驾鹿金矿床发现的 40 种含氧金矿物呈不同色调的褐、紫、黑等色,多为不规则粒状微细晶集合体,粒径在 0.01 mm~0.5 mm 之间;条痕紫、黑色,半金属光泽,不透明;反射多色性显著;摩氏硬度为 2~3。X 射线衍射分析表明,大部分的晶体结构可能是由 Au, Ag, Cu, Fe 或 Pb 等金属互化物组成的假立方晶格与一个由  $\beta\text{-TeO}_2$  (可能包括 PbO 或 CaO) 组成的斜方晶格的混晶,但不排除它们是含金氧化物的可能性;还有些可能是玻璃质或纳米级矿物,少部分则呈现了准晶态物质的特征。

**关键词** 驾鹿金矿床;含氧金矿物;物性与 X 射线衍射数据;晶体结构

**分类号** P575.1

在陕西省洛南县驾鹿金矿床的找矿、勘探、系统岩矿鉴定及金的赋存状态研究过程中,笔者陆续发现了 16 个类型 40 种成分极其特殊的含氧金矿物。

这些矿物的成分特征及初步分类已有文章报道<sup>[1]</sup>,本文重点介绍物性、X 射线衍射数据及其对这些矿物晶体结构的初步认识。

## 1 物理及光学性质概述

肉眼观察 16 个类型 40 种含氧金矿物呈褐黄、棕褐、深褐、褐紫、褐黑、淡紫、紫红、深紫、紫黑及黑等色调。

显微镜下观察多为不规则粒状微细晶集合体,粒径在 0.01 mm~0.5 mm 之间,其延展性普遍比自然金差,易磨光;条痕见有紫、紫黑、黑色;半金属光泽,显微镜下不透明;摩氏硬度普遍在 2~3 之间变化,一般比自然金略低。其反射多色性分别有:玫瑰黄—淡玫瑰红(见于 A 类矿物)、玫瑰红—橙黄(B 类矿物)、玫瑰红—玫瑰紫(C 类矿物)、橙黄—棕红(D 类矿物)、棕黄—棕褐(E 类矿物)、褐黄—橙黄(F 类矿物)、亮橙黄—橙黄(G 类矿物)、橙黄—橙红(H 类矿物)、蓝灰—紫灰(I 类矿物)、玫瑰红—浓黄—棕黄(J 类矿物)、亮玫瑰黄—棕红—棕褐(K 类矿物)、橙黄—淡玫瑰红—黄褐(L 类矿物)、橙黄—深黄—黄棕(M 类矿物)、蓝灰—蓝紫—紫褐(N 类矿物)、灰紫—蓝灰—深褐(O 类矿物)、棕褐—褐红—棕黄(P 类矿物)。大部分矿物的偏光色为色彩鲜艳的玫瑰黄—玫瑰红、橙红—火焰红,有的偏光色为蓝灰—暗褐或紫灰—褐紫或橙黄—橙红。

部分类型和种属含氧金矿物的 4 个 COM(即  $\lambda$  分别为 470 nm, 546 nm, 589 nm 和 650 nm 时)反射率的测定结果见表 1。

\* 陕西省教委科研基金和武警黄金指挥部专项基金资助课题

① 收稿日期:1997-03-20

表 1 部分类型(种)含氧金矿物 4 个 COM 反射率  
Tab. 1 Four COM Reflectancy of some Oxygen-bearing Gold Minerals %

	A(1)		A(2)		A(3)		A(4)		A(5)		B		C(1)		C(2)		D(1)		D(2)		E(1)	
	Rg'	Rp'																				
470 nm	14.4	14.1	12.6	12.4	14.5	13.8	17.7	16.8	11.2	11.4	12.5	12.6	15.5	14.2	13.5	13.3	13.4	13.4	10.3	10.2	15.3	14.2
546 nm	20.4	19.7	19.0	17.4	20.7	16.1	21.3	15.6	19.9	19.0	17.0	17.3	15.8	14.7	16.2	15.3	16.9	17.2	17.4	15.7	14.9	14.5
589 nm	23.2	22.6	23.6	21.6	25.7	20.1	26.7	16.4	25.0	23.3	20.2	19.7	19.2	18.6	18.7	16.9	27.6	23.0	22.5	20.4	18.7	17.8
650 nm	24.8	24.1	27.7	24.1	27.5	24.1	28.8	15.7	27.0	26.3	22.4	21.3	23.7	22.5	21.6	19.5	25.8	25.5	28.9	25.7	22.8	21.6

  

	E(2)		F(1)		F(2)		F(3)		F(4)		F(5)		F(6)		G(1)		G(2)		G(3)		I(1)	
	Rg'	Rp'																				
470 nm	11.1	10.5	16.4	9.2	16.0	10.6	16.7	13.2	9.3	8.7	8.1	8.4	16.2	16.0	13.6	5.0	14.1	5.7	10.3	9.6	3.6	3.4
546 nm	15.2	14.4	23.6	12.5	28.1	7.0	24.6	10.2	17.2	15.4	14.6	14.5	21.5	14.4	20.6	4.4	19.3	3.8	15.1	16.9	15.9	15.2
589 nm	19.7	18.9	31.5	19.5	31.9	9.6	29.2	9.8	23.8	21.2	18.7	18.2	27.3	15.6	24.3	14.3	26.9	11.5	22.4	19.1	21.0	20.1
650 nm	24.7	24.4	37.9	20.5	32.9	24.0	30.4	15.5	23.0	24.6	22.0	22.3	30.0	18.1	24.8	32.4	30.3	28.7	23.7	20.1	24.4	24.4

## 2 X 射线衍射分析数据

表 2 列出了区内 31 种含氧金矿物的 X 射线衍射分析数据,为了分析对比还列出了前苏联 1979 年发现的新矿物别斯麦特矿、毕利宾矿和博格丹诺夫矿以及自然金的 X 射线粉晶数据<sup>[2-7]</sup>。其中 A(1),A(4),A(5),B,E(1),E(2),F(1),F(2)和 H 9 种是通过 X 射线粉晶照像分析获得的,实验条件为:FeK<sub>α</sub>(λ=0.193 728 nm),德拜相机直径=57.3 mm;其他 22 种是采用 X 射线微区衍射分析获得的,分析仪器为日本理学微区 X 射线装置,弯曲 PSP/MDG 系统,实际条件为:CuK<sub>α</sub>(λ=0.154 184 nm),管压 20 kV,管流 15 nA。另外,还有 G(2),K(1),K(2),L(1),L(2),L(3),M(1),M(2),N(1)9 种含氧金矿物因衍射线条稀少或衍射质量较差而未列入表 2。

## 3 晶体结构初步分析

从表 2 可看出,区内不同类型和不同种属含氧金矿物的衍射数据尽管存在各种各样的差异,但大部分出现的主要衍射谱线为:0.234 1~0.237 5,0.202 4~0.206 1,0.143 2~0.145 0,0.122 0~0.122 8,0.116 9~0.117 5。这与自然金的特征衍射谱线非常接近或相似<sup>[2]</sup>,并可与前苏联发现的别斯麦特矿和毕利宾矿或博格丹诺夫矿的衍射数据进行对比;而大多数其余的弱线可能属于斜方变体 TeO<sub>2</sub> 的反射线<sup>[3]</sup>,但 3.020 0~3.090 0 之间的衍射线也可能是自然金结构衍生出的超结构。另外,区内其他少部分含氧金矿物,如 C(1),C(2),F(3),F(4),J(2)和 J(3)6 个种属,虽然出现了 0.253 1~0.261 0 的最强衍射线而不同于自然金等,但却都包含了或 0.204 0±或 0.144 0±或 0.117 0±几个稍强的衍射线条,说明它们在结构上与其他含氧金矿物或自然金有某些共同之处。

另外,笔者还采用同步辐射光源 X 射线粉晶衍射方法(北京国家重点实验室),对 40 种含氧金矿物的结构进行了分析探索,进一步发现 K(1),K(2)两种矿物不产生衍射,L(1),L(2)和 L(3)3 种矿物的衍射峰出现大鼓凸。据此分析,K(1)和 K(2)两种矿物(甚至包括 G(2),N(1),M(1),M(2)4 种矿物)可能是玻璃质或纳米级矿物;L(1),L(2)和 L(3)3 种矿物则呈现了准晶态物质的特征<sup>[8,9]</sup>。对此,有待进一步深入研究证实。

根据上述资料,特别是区内含氧金矿物衍射谱线与自然金类似的事实,以及前苏联学者 Спиридонов 等(1979)和 Бочек 等(1982)对别斯麦特矿和毕利宾矿结构研究的认识,笔者初步认为驾鹿含氧金矿物大部分的结构为假立方晶格(由 Au,Ag,Cu,Fe 或 Pb 等金属互化物组成)与斜方晶格(可能为 β-TeO<sub>2</sub>,甚至包括 PbO 或 CaO)的混晶,但不排除这些矿物是含金氧化物的可能性。但 K(1)和 K(2)甚至包括 G(2),N(1),M(1),M(2)可能是玻璃质或纳米级矿物;L(1),L(2)和 L(3)则呈现了准晶态物质的特征。

表 2 含氧金矿物 X 射线衍射分析数据  
Tab. 2 The X-ray Powder Diffraction Data of Oxygen-bearing Gold Minerals

A(1)		A(2)		A(3)		A(4)		A(5)		B		C(1)		C(2)		D(1)		D(2)		E(1)		E(2)	
d(nm)	I																						
0.333 0	5	0.329 0	5	0.344 0	5	0.331 0	5	0.333 0	5	0.339 0	15	0.347 0	5	0.350 0	5	0.332 0	5	0.351 0	5	0.340 0	35	0.331 0	50
0.309 0	10	0.304 0	10	0.307 0	10	0.302 0	10	0.234 5	100	0.235 0	100	0.331 0	5	0.238 0	5	0.234 1	100	0.335 0	30	0.255 0	10	0.234 8	80
0.234 7	100	0.234 1	100	0.234 3	100	0.235 0	100	0.202 8	40	0.202 8	40	0.202 7	40	0.202 8	40	0.212 4	80	0.305 0	30	0.234 8	100	0.202 0	100
0.202 6	45	0.202 4	40	0.202 8	40	0.202 7	40	0.143 7	35	0.203 5	50	0.253 0	100	0.213 3	60	0.144 1	80	0.271 0	10	0.203 3	50		
0.184 1	15	0.184 3	15	0.184 2	15	0.143 8	35	0.122 7	45	0.183 5	15	0.213 6	60	0.143 1	35	0.143 6	35	0.235 7	100	0.184 0	10		
0.144 1	35	0.144 3	35	0.144 5	35	0.122 6	45	0.117 4	15	0.143 9	35	0.143 3	35	0.122 1	40	0.122 5	45	0.203 4	50	0.143 8	45		
0.122 3	40	0.122 5	40	0.122 1	40	0.117 4	10			0.122 7	45	0.122 8	45	0.117 1	15	0.117 3	20	0.117 5	20	0.123 6	50		
0.117 1	10	0.116 9	10	0.117 1	10					0.117 4	20	0.117 3	15	0.102 2	4	0.101 4	8	0.102 9	5	0.117 4	25		
F(1)		F(2)		F(3)		F(4)		F(5)		F(6)		G(1)		G(3)		H		I(1)		I(2)		J(1)	
d(nm)	I																						
0.425 0	5	0.334 0	5	0.349 0	5	0.344 0	5	0.346 0	5	0.334 0	5	0.405 0	5	0.405 0	5	0.235 4	100	0.402 0	5	0.356 0	5	0.453 0	5
0.360 0	5	0.303 0	6	0.337 0	5	0.334 0	5	0.312 0	15	0.236 7	100	0.297 0	20	0.391 0	5	0.202 8	40	0.358 0	5	0.346 0	5	0.363 0	5
0.349 0	5	0.234 5	100	0.306 0	30	0.326 0	5	0.237 5	100	0.295 1	60	0.245 0	15	0.319 0	15	0.143 7	35	0.349 0	5	0.304 0	5	0.332 0	5
0.334 0	30	0.202 8	40	0.258 0	100	0.203 4	40	0.182 1	20	0.235 6	100	0.304 0	30	0.302 0	30	0.369 0	80	0.302 0	30	0.359 0	80	0.235 1	100
0.303 0	6	0.143 7	35	0.203 3	50	0.208 0	80	0.182 1	20	0.144 2	40	0.203 1	50	0.236 1	100	0.117 4	20	0.268 0	80	0.236 1	100	0.222 1	80
0.235 0	100	0.122 6	45	0.174 8	20	0.141 1	60	0.164 2	15	0.130 2	20	0.204 3	20	0.204 3	70	0.102 8	2	0.235 8	100	0.144 4	60	0.202 7	65
0.203 4	40	0.117 4	20	0.172 8	20	0.143 1	40	0.144 1	40	0.115 6	20	0.143 2	40	0.172 2	10	0.101 7	3	0.201 0	40	0.130 4	20	0.177 3	20
0.144 0	35			0.117 9	10	0.130 1	20	0.125 6	15	0.102 9	5	0.117 4	25	0.145 0	60	0.100 6	2	0.144 6	60	0.128 8	10	0.131 3	15
0.122 3	45			0.102 8	8	0.116 0	15	0.122 5	50	0.101 6	8	0.102 1	10	0.130 2	20			0.130 2	20	0.101 6	8	0.117 4	20
0.117 5	20			0.101 6	5	0.101 4	8	0.101 9	10			0.101 2	8	0.124 0	20			0.128 6	10	0.101 0	5	0.101 2	40
J(2)		J(3)		N(2)		O(1)		O(2)		P(1)		P(2)		自然金(1)		自然金(2)		别斯麦特矿		单利宾矿		博格丹诺夫矿	
d(nm)	I																						
0.420 0	5	0.419 0	5	0.531 2	5	0.569 1	3	0.568 7	3	0.566 1	3	0.567 3	3	0.235 0	100	0.236 0	100	0.330 0	7	0.501 0	15	0.406 0	5
0.350 0	5	0.352 0	5	0.438 0	5	0.560 8	3	0.566 8	3	0.559 8	3	0.560 7	3	0.203 0	90	0.203 9	90	0.303 0	10	0.416 0	5	0.290 0	10
0.330 0	5	0.331 0	5	0.351 0	5	0.556 7	5	0.557 6	5	0.556 9	5	0.555 7	5	0.144 2	80	0.144 1	80	0.261 0	80	0.347 0	5	0.236 0	100
0.304 0	5	0.302 0	10	0.266 0	10	0.479 6	5	0.478 1	5	0.478 3	5	0.478 3	8	0.123 0	90	0.122 9	90	0.233 5	100	0.306 0	30	0.215 0	10
0.263 0	80	0.265 0	80	0.252 1	80	0.352 8	5	0.349 9	5	0.349 3	5	0.349 0	8	0.117 4	50	0.117 7	50	0.202 0	10	0.273 0	5	0.204 5	60
0.261 0	100	0.259 1	100	0.236 1	100	0.264 1	10	0.259 7	15	0.259 8	15	0.258 0	15	0.101 9	30	0.101 8	30	0.174 4	90	0.237 0	100	0.144 7	60
0.206 0	70	0.208 0	72	0.205 9	65	0.236 6	100	0.236 1	100	0.236 3	100	0.234 8	100	0.093 6	70			0.165 8	10	0.205 0	70	0.129 3	60
0.131 0	20	0.131 2	22	0.183 3	10	0.206 1	70	0.205 8	70	0.205 5	70	0.205 7	75					0.142 7	30	0.175 2	5	0.123 0	80
0.122 0	20	0.122 1	20	0.131 1	20	0.183 1	15	0.182 7	15	0.183 3	15	0.182 9	15					0.140 5	40	0.172 4	10	0.118 0	30
0.114 3	40	0.114 1	35	0.114 5	20	0.143 6	60	0.131 8	20	0.131 7	20	0.132 7	25					0.130 7	20	0.144 8	60	0.109 2	30
0.102 0	10	0.102 2	10	0.102 4	10	0.132 2	20	0.122 0	15	0.119 3	20	0.118 7	20					0.128 6	10	0.130 1	20	0.099 2	20
0.101 6	8	0.101 4	8	0.101 8	8	0.122 3	15	0.113 3	15	0.111 3	10	0.111 8	10					0.120 0	20	0.123 2	80		
				0.100 0	2	0.113 8	15	0.111 8	10	0.101 8	10	0.101 6	8					0.122 0	30	0.118 4	20		

该研究始终得到了黄金指挥部蒋志、姜大明等有关领导的关心和支持,中国科学院广州地球化学研究所王冠鑫、申家贵、中国科学院物理研究所陈红等,分别协助进行了物性及 X 射线衍射分析,特此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 周新春,刘良,王世忠等.陕西驾鹿金矿床发现 40 种含氧金矿物——成分特征及其初步分类.西北大学学报(自然科学版),1997,27(4):331~336
- 2 Спиридонов Э М. Новые минералы золота-платоботеллуриды золота, меди, железа, серебра (группа билибинскита). Новые Данные о Минералах, 1982(30):140~147
- 3 Бочек Л И. Билибинскит и Безмертновит — не интерметаллиды золота, а новые сибирские минералы типа интерметаллид + оксид. Докл. АН СССР, 1982, 226(5):1 255~1 259
- 4 Спиридонов Э М., Безмертновит  $Au_4Cu(Te, Pb)$  — Новый минерал из зоны окисления месторождения дальнего Востока. Докл. АН СССР, 1979(1):185~189
- 5 Спиридонов Э М., Богдановит  $Au_3(Cu, Fe)_2(Te, Pb)_2$  — Новый минерал из группы интерметаллических соединений золота. Бестн. Моск. Университета. сер. Геология, 1979(1):44~52
- 6 Spiridonov E M. Bilibinskite  $Au_3Cu_2PbTe_2$ , a new mineral of gold-telluride deposits. Inter. Geo. Rev., 1979, 21(12):1 411~1 415
- 7 Спиридонов Э М. С урьмянемтый Билибинскит (вторая находка билибинскита). Докл. АН СССР, 1982, 265(5):1 243~1 247
- 8 彭志忠.五次对称轴和准晶态的发现在结晶学、矿物学和地质学中的意义.地质科技情报, 1985, 4(3):1~20
- 9 彭志忠.准晶体的构筑原理及分数维结构模型.地球科学, 1985, 10(4):159~174

责任编辑 张银珍

## 40 Kinds of Oxygen-bearing Gold Minerals Discovered in Jialu Gold Mine, Shaanxi Province

— A Preliminary Analysis on Their Properties, X-ray Powder Diffraction and Crystal Structure

Liu Liang<sup>1)</sup> Zhou Xinchun<sup>2)</sup> Wang Yan<sup>1)</sup> Wang Shizhong<sup>2)</sup>  
Yan Jincai<sup>1)</sup> Yang Jiankun<sup>2)</sup> Wang Guanli<sup>2)</sup> Hu Jianmin<sup>2)</sup>

(1) Department of Geology, Northwest University, 710069, Xi'an; 2) The 14th Branch Team of Gold Exploration, 710100, Chang'an; 3) Gold Headquarters of MMI, 100012, Beijing)

**Abstract** The 40 kinds of oxygen-bearing gold minerals discovered in Jialu gold mine show brown, purple and black in different tones. They often appear as irregularly fine crystalline grained aggregates ranging from 0.01 mm to 0.50 mm in diameter. They show a purplish black streak and a submetallic luster, with opaque and apparent pleochroism. The HM is 2~3. A analysis from X-ray powder diffraction indicates that most of the minerals are mix-crystal composed of Au, Ag, Cu, Fe or Pb with pseudocubic and a  $\beta$ - $TeO_2$  (probably also including PbO or CaO) with orthorhombic, but possibly are gold-bearing oxides also, and some of vitreous or millimicronic minerals, and that a few are quasicrystal.

**Key words** Jialu gold mine; oxygen-bearing gold mineral; property and X-ray powder diffraction data; on the crystal structure