

# 湘西沃溪金矿床矿石矿物学特征及深部找矿意义

彭 渤<sup>1</sup> 刘升友<sup>2</sup> Piestrzynski Adam<sup>3</sup>  
Jadwiga Pieczonka<sup>3</sup> 唐晓燕<sup>1</sup> 余昌训<sup>1</sup> 谢淑容<sup>4</sup>

(1. 湖南师范大学资源与环境学院, 湖南 长沙 410081; 2. 湖南辰州矿业有限责任公司, 湖南 沅陵 416907;

3. Ore Geology Department, AGH University of Science and Technology, 30-059 Cracow, Poland;

4. 东华理工大学地球科学与测绘工程学院, 江西 抚州 344000)

**摘要:**借助电子探针分析技术,对沃溪矿床 V3 矿脉深部(29 中段)矿体进行了矿石矿物学观察和分析,发现深部矿体自然金中 Ag、Sb、Pb、Bi 等杂质元素的含量明显比浅部(24 中段以上)自然金相应组分的含量偏高,深部自然金的成色( $\leq 995$ )比浅部自然金的成色( $\geq 999$ )明显偏低;深部矿体矿石中发育辉锑矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿、硫锑矿、车轮矿等矿物,形成明显比浅部矿体组成复杂的矿物组合,显示矿床深部发育 Au-Pb-Zn-Bi±Cu 的矿化作用。上述表明:沃溪矿床深部可能发育具 Au-Pb-Zn-Bi±Cu 等元素组合的新矿体。它不同于浅部的 W-Sb-Au 元素组合的特征。因而深部找矿工作应多注重 Au-Pb-Zn-Bi±Cu 多元素矿床。

**关键词:**矿石矿物; Au-Pb-Zn-Bi±Cu 矿化; 沃溪金矿床; 湘西

**中图分类号:** P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)06-1286-05

湘西沃溪矿床是一典型的钨锑金型矿床<sup>[1]</sup>。矿床自 1875 年发现以来,已有漫长的开发利用历史。不但其矿床成因问题受到国内外很多学者的广泛关注,而且其找矿前景预测也一直是科研和生产部门最为关心的问题之一。已有研究从构造控矿等方面对矿床的找矿前景进行了探讨<sup>[2-4]</sup>。笔者试图根据矿床 V3 矿脉矿石矿物的观察研究结果,从矿石矿物学的角度,探讨其深部找矿前景问题。

## 1 矿脉地质特征

矿床产于板溪群马底驿组紫红色板岩中。已有大量文献<sup>[1-3]</sup>对该矿床的地质特征进行了描述和概括,本文不重述。矿床 V3 脉是主要的工业矿脉之一。V3 矿脉为似层状,由 6 个扁豆状或透镜状矿体组成。矿体/脉沿层间断层产出,且总体与地层产状一致。在矿区西部,矿体走向近 EW,倾向 N;矿区东部矿体走向变为 SEE 向,倾向呈 NNE 向。矿体倾角

较缓,在 25~30°。浅部(24 中段以上)矿体均沿倾向向 NE 侧伏,呈舒缓波状延伸。深部矿体发生褶皱,多沿倾向向 NEE 方向侧伏。矿体地表延伸在 1 km 以上,单个矿体长度为 75~190 m、倾向延伸为 550~1975 m、平均厚度约为 0.52 m。矿脉发育含金石英脉、块状辉锑矿-白钨矿矿脉、块状白钨矿-含金石英脉、块状辉锑矿含金石英脉等主要矿化类型。浅部矿体自东而西,依次发育锑-金、锑-金-钨、金-钨等矿化类型。总体上,自东向西,锑矿化趋于减弱,而钨矿化趋于加强。

## 2 研究方法

已有研究对该矿脉浅部矿体(24 中段及以上)进行了较多的矿石矿物学观察和分析<sup>[5-9]</sup>。

本次野外工作对 V3 矿脉深部(29 平以下)矿体进行考察,并主要对该矿脉发育的块状白钨矿-含金石英脉、块状辉锑矿-含金石英脉等矿化类型进

行采样。室内切制矿石光片,并利用显微镜进行矿物学鉴定和观察。然后借助扫描电镜、电子探针等手段对光片上的目标矿物进行矿物学分析研究。电子探针分析 (EMPA-EDS) 在波兰亚盖隆大学 (Jagiellonian University) 地质研究所的 Tracor TN-2000 型电子探针分析仪上进行。电子探针分析工作条件是:加速电压为 20 kV,通过样品的电流为 15 nA、电压为 20.0 kV。所用标准和谱线为:CaK  $\alpha$  (CaCO<sub>3</sub>)、WL  $\alpha$  (100%)、MoL  $\alpha$  (100%)、FeK  $\alpha$  (Fe)、SK  $\alpha$  (100%)、AuL  $\alpha$  (100)、SbL  $\alpha$  (100%)。

### 3 研究结果

显微镜下见 V3 矿脉深部块状辉锑矿含金石英脉、块状白钨矿含金石英脉等矿石的矿石矿物组成主要为:白钨矿、辉锑矿、自然金、黄铁矿、闪锌矿等,次有黄铜矿、锑铅矿物相等。黄铜矿与闪锌矿、辉锑矿、黄铁矿等共生关系明显(图 1)。

从自然金的电子探针分析结果(表 1)可看出,V3 矿脉自然金中含 Au 为 78.78%~94.64%,平均为 88.27%(N=19,下同)。自然金普遍富含 Ag、Sb、Pb、Bi 等杂质组分,且杂质组分含量依次为 0.00~1.27%、0.66%~2.53%、1.98%~8.43%、0.96%~11.33%,平均分别为 0.52%、1.42%、4.48%、5.65%。自然金中杂质组分含量总和平均在 11%以上,自然金的成色偏低,多在 995 以下。

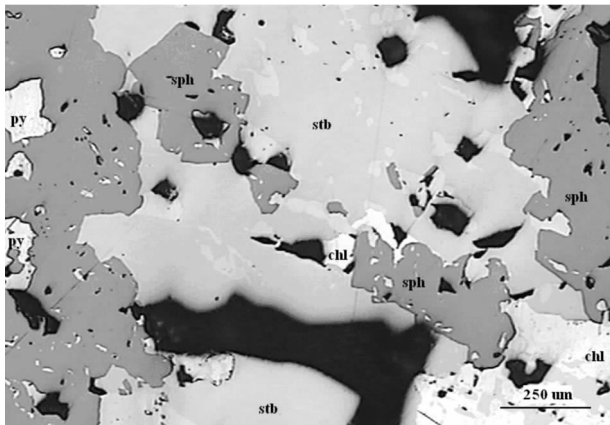


图 1 V3 矿脉中黄铜矿(chl)、辉锑矿(stb)、闪锌矿(sph)、黄铁矿(py)共生关系

Fig.1 Photography showing the paragenetic association of chalcopyrite (chl), stibnite(stb), sphalerite(sph), and pyrite (py) in V3 ore vein

与浅部矿体不同,深部矿体普遍可见辉锑矿、闪锌矿共生现象(图 1),辉锑矿、闪锌矿电子探针分析(表 2)结果可见,辉锑矿中含 Ag、Au、Pb、Bi 等微量杂质元素,与自然金所含杂质组分类似。辉锑矿与自然金的微量元素含量特征显示:矿石中具有 Ag、Au、Sb、Pb、Bi 等多元素共生的特征。另外,辉锑矿中还发育硫锑铅矿和车轮矿(图 2),电子探针分析(表 3)结果和 EDS 能谱线(图 3-a, 3-b)显示其分子式分别为(Pb<sub>7</sub>Sb<sub>5.53</sub>)S<sub>14</sub>、(Cu<sub>0.945</sub>Pb<sub>1.2</sub>Sb<sub>1.065</sub>)S<sub>3</sub>。

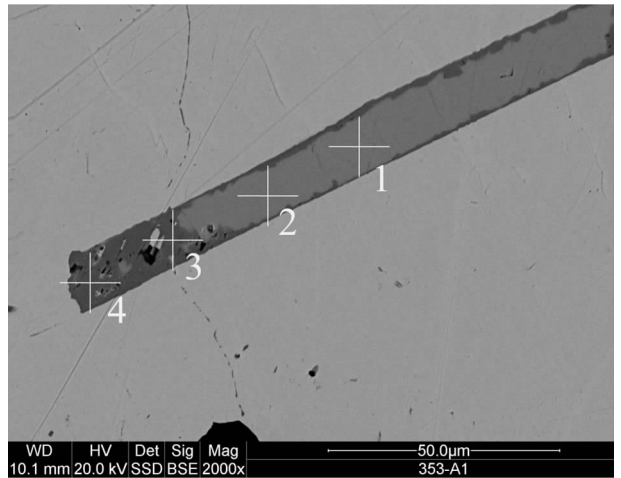


图 2 V3 矿脉中的硫锑铅矿(1,2)和车轮矿(3,4)矿物  
Fig.2 SEM image showing the occurrence of boulangerite (1,2) and bourmonite(3,4) observed in V3 ore vein

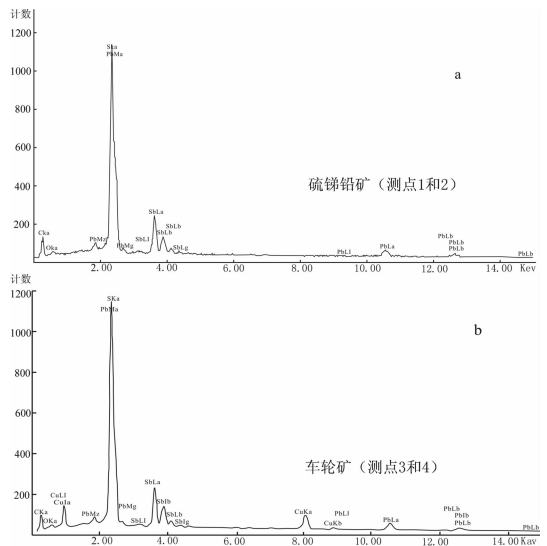


图 3 硫锑铅矿和车轮矿能谱曲线  
Fig.3 EDS spectra patterns of boulangerite and bourmonite

表1 自然金电子探针分析结果

Table 1 Microprobe analyzing results of native gold of the V3 ore vein of the Woxi deposit

样号	测点	元素	含量 (%)	误差 (±2σ)	成色	样号	测点	元素	含量 (%)	误差 (±2σ)	成色	样号	测点	元素	含量 (%)	误差 (±2σ)	成色
V3-5	A1	Ag	0.449	1.58	995.1	V3-4	B1	Ag	0.000	0	1000	V3-4	E5	Ag	0.434	1.77	995.2
		Sb	1.558	1.92				Sb	2.083	1.80				Sb	0.754	1.73	
		Au	90.229	1.60				Au	89.385	1.70				Au	90.853	2.07	
		Pb	4.654	1.08				Pb	3.946	1.10				Pb	3.681	1.03	
		Bi	3.111	1.02				Bi	4.586	0.60				Bi	4.278	1.03	
	A2	Ag	0.222	1.60	997.6	V3-5	D1	Ag	0.537	1.50	994.0	V3-1	F1-1	Ag	0.351	1.47	996.0
		Sb	0.693	1.76				Sb	1.530	1.60				Sb	1.716	1.53	
		Au	93.126	1.80				Au	88.561	2.43				Au	87.618	1.70	
		Pb	3.008	1.08				Pb	4.578	1.20				Pb	3.553	0.63	
		Bi	2.951	1.08				Bi	4.794	0.90				Bi	6.762	0.77	
	A3	Ag	0.243	2.02	997.4	V3-5	D2	Ag	0.636	1.47	992.5	V3-1	F1-2	Ag	1.260	1.47	986.4
		Sb	0.662	1.82				Sb	2.170	1.67				Sb	0.805	1.60	
		Au	94.635	2.00				Au	84.243	2.00				Au	91.68	1.70	
		Pb	3.499	1.08				Pb	4.325	0.73				Pb	2.486	1.20	
		Bi	0.962	1.02				Bi	8.626	0.63				Bi	3.769	1.20	
	A4	Ag	0.644	1.67	992.6	V3-4	E1	Ag	0.713	1.83	992.0	V3-1	F2-1	Ag	1.270	1.50	985.1
		Sb	1.200	1.90				Sb	1.791	2.43				Sb	1.638	1.60	
		Au	86.608	2.20				Au	88.645	1.7				Au	83.697	1.90	
		Pb	4.123	0.97				Pb	3.379	1.13				Pb	7.618	0.60	
		Bi	7.424	0.83				Bi	5.472	0.60				Bi	5.776	0.70	
	A5	Ag	0.448	1.63	995.2	V3-4	E2	Ag	0.000	0	1000	V3-1	F2-2	Ag	0.367	1.50	995.8
Sb		1.404	1.83		Sb			1.369	1.63		Sb			0.775	1.63		
Au		93.099	1.70		Au			86.502	1.87		Au			86.504	2.27		
Pb		2.336	0.97		Pb			1.980	0.93		Pb			5.243	0.83		
Bi		2.714	1.13		Bi			10.148	0.60		Bi			7.111	0.80		
A6	Ag	1.167	1.47	987.1	V3-4	E3	Ag	0.793	1.50	990.8	V3-1	F2-2	Ag	0.141		998.7	
	Sb	0.691	1.87				Sb	2.526	2.17				Sb	0.053			
	Au	89.000	2.10				Au	85.282	1.70				Au	99.25			
	Pb	3.386	1.20				Pb	8.434	0.97				Pb	0.073			
	Bi	5.756	0.83				Bi	5.964	0.60				Bi	0.225			
A7	Ag	0.061	2.00	999.3	V3-4	E4	Ag	0.305	1.27	996.1	V3-1	F2-2	Ag	0.141		998.7	
	Sb	1.480	2.00				Sb	2.080	1.60				Sb	0.053			
	Au	88.715	2.47				Au	78.778	1.70				Au	99.25			
	Pb	7.386	1.20				Pb	7.509	0.63				Pb	0.073			
	Bi	2.358	1.07				Bi	11.327	0.60				Bi	0.225			

注:分析结果为 ZAF 校正;成色=1000×Au/(Au +Ag)。

表2 辉锑矿、闪锌矿电子探针分析结果

Table 2 Microprobe analyzing results of stibnite and sphalerite of V3 ore vein of the Woxi deposit

样号	测点	元素	含量 (%)	误差(±2σ)	分子式
V3-5	B2	S	22.784	2.17	Sb <sub>2.18</sub> S <sub>3</sub>
		Ag	0.444	1.47	
		Sb	62.705	4.40	
		Au	2.626	0.57	
		Pb	4.352	0.60	
	D3	Bi	7.088	0.27	Sb <sub>2.02</sub> S <sub>3.00</sub>
		S	24.097	2.83	
		Sb	61.081	4.10	
		Au	2.484	0.47	
		Pb	5.913	0.60	
	C1	Bi	6.424	0.27	Zn <sub>0.86</sub> S
		S	35.841	1.93	
		Fe	0.907	0.60	
		Zn	62.903	1.13	
	C2	Cd	0.348	1.20	Zn <sub>0.94</sub> S
S		33.886	1.67		
Fe		0.590	0.47		
Zn		64.936	1.13		
		Cd	0.588	0.93	

注:分析结果为 ZAF 校正;测点编号对应于图 2 的编号。

表3 Sb-Pb-Cu 矿物相电子探针分析结果

Table 3 Microprobe analyzing results of Sb-Pb-Cu mineral phases of V3 ore vein of the Woxi deposit

测点	元素	质量百分数(%)	原子百分数(%)	误差(±1σ)	矿物及计算分子式
1	S	17.61	53.00	0.59	硫锑铅矿 (Pb <sub>6.86</sub> Sb <sub>5.46</sub> )S <sub>14</sub>
	Pb	56.04	26.11	0.59	
	Sb	26.35	20.89	1.12	
	总量	100	100		
2	S	17.26	52.49	0.59	硫锑铅矿 (Pb <sub>7.14</sub> Sb <sub>5.60</sub> )S <sub>14</sub>
	Pb	56.75	26.70	0.58	
	Sb	25.98	20.81	1.12	
	总量	100	100		
3	S	17.64	47.86	0.61	车轮矿 (Cu <sub>0.93</sub> Pb <sub>1.23</sub> Sb <sub>1.08</sub> )S <sub>3</sub>
	Pb	47.21	19.83	0.67	
	Sb	24.17	17.28	1.17	
	Cu	10.98	15.03	1.82	
	总量	100	100		
4	S	18.19	48.49	0.59	车轮矿 (Cu <sub>0.96</sub> Pb <sub>1.17</sub> Sb <sub>1.05</sub> )S <sub>3</sub>
	Pb	46.02	18.99	0.68	
	Sb	24.27	17.04	1.15	
	Cu	11.51	15.48	1.73	
	总量	100	100		

注:分析结果为 ZAF 校正,测点编号对应与图 2 的编号。

## 4 讨论与结论

本次研究结果与以往的分析结果<sup>[5-9]</sup>对比显示:  
(1)深部矿体自然金之杂质元素含量明显升高,金的成色明显降低。深部矿体之自然金中 Ag、Sb、Pb、Bi 4种杂质元素含量之和平均在 11%以上,而浅部矿体杂质元素含量(表 2)之和多低于 2%<sup>[6,8]</sup>。而且深部矿体自然金的成色多低于 995,而浅部矿体自然金的成色(表 2)多在 999 以上<sup>[5,6,8]</sup>,平均为 998.7(N=15),为超纯自然金<sup>[8]</sup>;(2)深部矿体闪锌矿、黄铜矿、硫锑铅矿、黝铜矿等硫化物矿物种类及其含量明显增多,而浅部矿体主要发育黄铁矿、辉锑矿等硫化物矿物<sup>[5,6,8]</sup>,矿石矿物组成相对简单;(3)与浅部主要发育 W-Sb-Au 成矿<sup>[5-9]</sup>的特征不同,深部成矿元素及其组合趋于复杂,明显呈现 Ag、Au、Sb、Pb、Bi 等多元素成矿的特征,即可能发育 Ag、Au、Sb、Pb、Bi 等有色多金属成矿。因此,依据本次矿石矿物的观察研究结果、热液矿床成矿特征<sup>[10]</sup>和脉状矿床或造山型矿床的成矿元素空间结构模式<sup>[11]</sup>,推断沃溪矿床深部可能不再属于 W-Sb-Au 型矿床,而可能发育有 Au-Ag-Sb-Pb-Zn-Cu-Bi 多元素聚集成矿的矿床。

如果考虑矿床成矿与区域花岗岩浆作用的成因联系<sup>[5,12]</sup>,可以认为沃溪矿床深部可能存在寻找大型多金属矿床的找矿前景。因此,沃溪矿床深部找矿工作不应受传统的 W-Sb-Au 矿床观点局限,而应注重包括金在内的多元素成矿的特征,寻找大型多金属矿床。

**致谢:** 本研究 2004 年和 2007 年得到波兰克拉科夫科技大学国际合作研究基金项目的资助,合作期间该校地质系电子探针实验室给与了大力支持,在此深表感谢。陈衍景教授审阅文稿特此致谢。

## 参考文献(References):

[1] 彭渤, Frei Robert, 涂湘林. 湘西沃溪 W-Sb-Au 矿床白钨矿 Nd-Sr-Pb 同位素对成矿流体的示踪[J]. 地质学报, 2006, 80(4): 561-570.  
Peng Bo, Frei Robert, Tu Xianglin. Nd-Sr-Pb isotopes of scheelite from the Woxi W-Sb-Au deposit, Western Hunan: Implications for sources and evolution of ore-forming fluids [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(4):561-570(in Chinese with English abstract).

[2] 黄瑞华, 谭碧富, 刘正庚, 等. 沃溪断层的特征及其找矿意义[J]. 地质找矿论丛, 1998, 13(2):39-46.

Huang Ruihua, Tan Bifu, Liu Zhenggen, et al. Geological features of the Woxi fault and its significance on ore prospecting [J]. Geology and Ore Prospecting, 1998, 13(2):39-46(in Chinese with English abstract).

[3] 彭渤. 湘西沃溪金矿田断层构造成因机理初探[J]. 黄金, 1992, 13(11):11-16.  
Peng Bo. Fault structures and their relation to the ore formational processes for Woxi gold ore deposit in western Hunan, China [J]. Gold Bulletin, 1992, 13(11):11-16(in Chinese with English abstract).

[4] 汪劲草, 夏斌, 雷鸣波, 等. 伸展型脆-韧性剪切带对沃溪钨锡金矿床的构造控制[J]. 吉林大学学报, 2003, 33(2):135-140.  
Wang Jincuo, Xia Bin, Lei Mingbo, et al. Structural control of Extensional brittle-ductile-shear zone on Woxi W-Sb-Au deposit in western Hunan province [J]. Journal of Jilin University ( Earth science edition), 2003, 33(2):135-140(in Chinese with English abstract).

[5] 彭渤, 陈广浩, Piestrzynski Adam. 湘西沃溪钨锡金矿床辉锑矿脉矿物学特征及其矿床成因指示[J]. 矿物学报, 2003, 23(1):82-90.  
Peng Bo, Chen Guanghao, Piestrzynski Adam. Ore mineralogy of stibnite ore veins and its genetic implications for the W-Sb-Au ore deposit at Woxi, western Hunan, China [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2003, 23(1):82-90(in Chinese with English abstract).

[6] Peng Bo, Piestrzynski Aadam. W-Sb-Au mineralization at Woxi deposit in western Hunan, China [J]. Mineralogia Polonica, 1999, 30(1):33-47.

[7] 彭渤, Piestrzynski A, 刘升友, 等. 湘西沃溪钨锡金矿床黄铁矿中发现 Au-Sb 矿物相[J]. 地质通报, 2007, 26(5):553-559.  
Peng Bo, Piestrzynski A, Liu Shengyou, et al. Gold-antimony mineral phases observed in pyrite grains in the Woxi W-Sb-Au deposit, western Hunan, China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(5):553-559(in Chinese with English abstract).

[8] 彭渤, Piestrzynski A. 湘西沃溪钨锡金矿床中的超纯自然金[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(1):51-56.  
Peng Bo, Piestrzynski A. Super pure native gold identified in W-Sb-Au deposit at Woxi, western Hunan (China) [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2000, 24(1):51-56(in Chinese with English abstract).

[9] Peng B, Piestrzynski A, Pieczonka J. New observations on W-Sb-Au mineralization at Woxi, western Hunan, China [C]//. Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Berlin: Springer, 2005, 1:569-572.

[10] 胡受奚(主编). 矿床学(上)[M]. 北京:地质出版社, 1982:1-200.  
Hu Shouxi (ed). Mineral Deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982:1-200(in Chinese).

[11] 陈衍景. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力[J]. 中国地质, 2006, 33:1181-1196.  
Chen Yanjing. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential [J]. Geology in China, 2006, 33:1181-1196(in Chinese with English abstract).

[12] Peng Bo, Frei Robert. Nd-Sr-Pb isotopic constrains on metal and fluid sources in W-Sb-Au mineralization at Woxi and Liaojaping, western Hunan, China [J]. Mineralium Deposita, 2004, 39(3):313-327.

## Mineralogical characteristics and their implications for deep prospecting of the Woxi gold deposit in western Hunan, China

PENG Bo<sup>1</sup>, LIU Sheng-you<sup>2</sup>, Piestrzynski Adam<sup>3</sup>, Jadwiga Pieczonka<sup>3</sup>,  
TANG Xiao-yan<sup>1</sup>, YU Chang-xun<sup>1</sup>, XIE Shu-rong<sup>4</sup>

(1. Faculty of Resource and Environment Science, Hunan Normal University, 410081 Changsha, China;

2. Chenzhou Ore Mine Company, Yuanlin 416907, Hunan, China; 3. Ore Geology Department, AGH University of Science and Technology,

30-059 Cracow, Poland; 4. College of Geoscience, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, Jiangxi, China)

**Abstract:** Using electronic microprobe, the mineralogical study of samples from level 29 of V3 vein of the Woxi deposit in western Hunan province shows that the ore minerals include major native gold, stibnite, sphalerite and Sb-Pb mineral phase. The mineralogical assemblage of the deep ore is more complicated than those of the shallow levels. The native gold from level 29 contains 0.52% Ag, 1.42% Sb, 4.48% Pb and 5.65% Bi in average, respectively, much higher than those from shallow places (above 24 flat). The gold fineness is <995 at deep, but >999 at shallow. All the facts above show that the position beneath the present mining levels is potential for Au-Pb-Zn-Bi±Cu poly-metallic orebodies; and that future deep prospecting should pay attention to poly-metallic mineralization.

**Key words:** ore mineral; Au-Pb-Zn-Bi±Cu mineralization; Woxi gold deposit; western Hunan

---

**About the first author:** PENG Bo, male, born in 1965, PhD and professor of ore geology and environmental geochemistry; E-mail: pengbo@hunnu.edu.cn.