

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

# 热液矿床的负晕和地球化学场系

季克俭 王立本 吕凤翔 王五一 张建华

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)



热液矿床原生晕以往都被视为正晕。近年来虽已提出原生晕包括正晕和负晕,但由于多种原因,到目前为止,原生晕的研究几乎仍局限于正晕。作者为研究矿质来源,对一批与岩浆活动有关的斑岩型、夕卡岩型和脉型等大型热液矿床进行了研究,发现在矿床的正晕外围都有成矿元素负晕。根据研究结果还提出了热液矿床成矿元素地球化学场系,即以矿体为中心,向外依次为矿化场、正晕场、降低场和背景场。

**关键词** 热液矿床 负晕 地球化学场系

## 1 热液矿床原生晕研究概况

原生晕通常都被认为是正晕, E. M. 克维亚脱科夫斯基<sup>[1]</sup>认为金属矿体(矿床)的原生晕是矿体周围成矿元素或伴生元素含量增高的围岩带。谢学锦<sup>[2]</sup>认为,热液渗滤晕是包裹在热液矿床四周的一个高含量带。80年代原生晕的概念发生了深刻的变化, B. Л. 巴尔苏科夫等<sup>[3]</sup>提出,矿床的原生地球化学异常是容矿岩石中该类型矿化所特有的化学元素含量异常(与背景值相比偏高或偏低)的地段,或是由于成矿过程中的元素带入或再分布(带出),使该元素发生了富集和贫化的近矿空间。我国的研究人员也在实践中通过对比矿田内与区域相应地层组、段的成矿元素的平均含量,发现浓集比率  $K$  (矿田地层元素平均含量  $\bar{X}$  / 区域地层元素平均含量)并不都大于1,也有小于1的。大于1的为带入元素,小于1的为带出元素。如河南南泥湖钼矿田中,部分地层中铅、银、砷、锰都有贫化、或从地层中带出<sup>[4,5]</sup>。安基山铜矿田中象山群砂岩在轻微蚀变时,铅为带出物质<sup>[6]</sup>。

虽然国内外研究人员在理论上对原生晕有新的认识,区分带入晕和带出晕,或正晕和负晕,在实践中发现有些地层的某些元素在成矿蚀变过程中有贫化,但没有足够的资料圈出带出晕。在岩石地球化学异常图上所使用的异常下限值大多高于它们的地壳克拉克值(图1),带出晕往往被认为是正常场,都没有反映出来。虽然运用负晕找矿可明显提高效

注:国家自然科学基金(49070172)和地质矿产部行业基金联合资助项目。  
本文 1991 年 6 月收到, 1992 年 4 月改回, 季国容编辑。

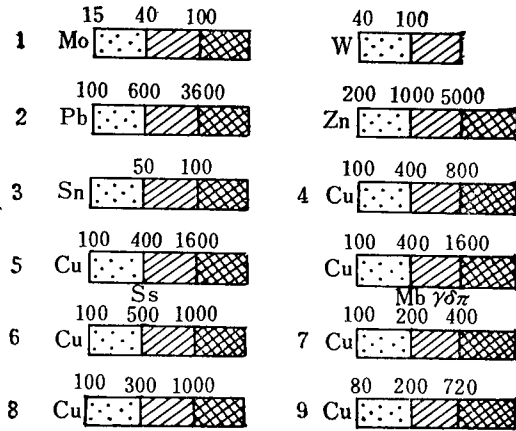


图1 热液矿床原生晕地球化学异常图图标<sup>[7]</sup>( $\times 10^{-6}$ )

Fig. 1 Anomalous scale ( $\times 10^{-6}$ ) of geochemical primary haloes of hydrothermal deposits

1.南泥湖钼-钨矿<sup>[4]</sup>; 2.冷水坑铅-锌矿(邓尚明等, 1985); 3.岔河锡矿(刘炳章, 1985); 4.富家坞铜矿(朱炳球等, 1985); 5.武山铜矿(许绍文等, 1985); 6.城门山铜矿(朱炳球等, 1985); 7.铜绿山铜矿(周亚特, 1985); 8.白乃庙铜矿(赵仑山等, 1985); 9.安基山铜矿<sup>[6]</sup>

1. Nanihu molybdenum-tungsten deposits; 2. Lengshuikeng lead-zinc deposits (Deng Shang ming et al., 1985); 3. Chahe tin deposits (Liu Bingzhang, 1985); 4. Fujiawu copper deposits (Zhu Bingqiu et al., 1985); 5. Wushan copper deposits (Xu Shaowen et al., 1985); 6. Chengmenshan copper deposits (Zhu Bingqiu et al., 1985); 7. Tonglushan copper deposits (Zhou Yate, 1985); 8. Bainaimiao copper deposits (Zhao Lunshan et al., 1985); 9. Anjishan copper deposits

果<sup>[8]</sup>,然而至今在金属矿床的找矿中,极少使用负晕。

## 2 热液矿床的负晕

### 2.1 成矿理论与原生晕

热液矿床的原生晕是在成矿、蚀变过程中形成的。然而,对原生晕的认识各有不同。火成论者认为含矿热液来源于岩浆,该热液沿裂隙上升至地壳浅部,其中的金属发生沉淀并向围岩扩散,形成矿体和原生晕。水成论者认为热液是由地表水直接从裂隙附近的围岩中获得矿质而成,并将矿质富集于裂隙中。因此,矿体附近应存在原生负晕(图2)<sup>[9]</sup>。R. W. 鲍依尔研究了加拿大叶洛那艾夫(Yellowknife)金矿后,据矿脉附近  $\text{SiO}_2$  和铁等含量明显降低(图3)得出了矿脉中的  $\text{SiO}_2$  与硫化物中的铁直接来自围岩的结论<sup>[10]</sup>。

### 2.2 有关铁矿床的原生负晕的研究

原生晕与蚀变有密切的关系,所以,从矿床蚀变资料中能得到原生晕的信息。在70年代或以前,由于微量金属高精度分析成本高,技术复杂或快速和高精度分析技术没有

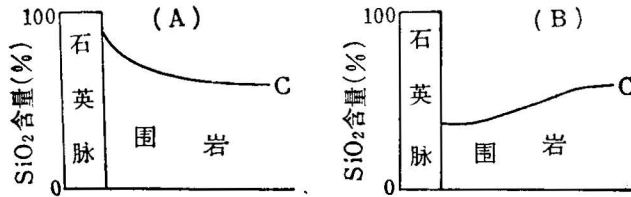


图 2 假想的 SiO<sub>2</sub> 含量变化的比较

Fig. 2 Comparison of hydrothermal profiles of silica

(A) 围岩中增加的 SiO<sub>2</sub> 来自沉淀出脉中石英的热液; (B) 从围岩中提取了 SiO<sub>2</sub>, 石英沉淀于脉中; C 表示围岩中的正常含量 (据 A. Evans)

In case (A) silica is added to the wall rocks from the hydrothermal solution which deposits quartz in the vein; (B) silica is abstracted from the wall rocks and deposited as quartz in the vein. C. indicates the normal level of silica in the country rocks (after A. Evans)

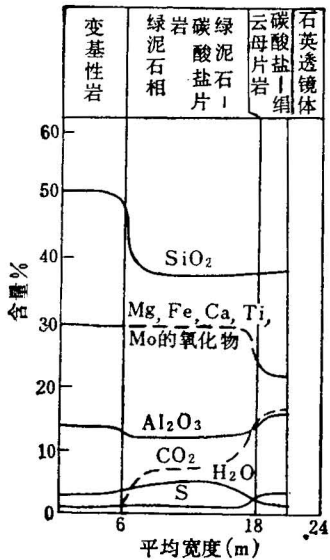


图 3 加拿大叶洛那艾夫金矿变基性岩蚀变过程中的化学变化 (据 Boyle R. W., 1959)

Fig. 3 Chemical changes produced by alteration of metabasites, Yellowknife gold deposits, Canada (after Boyle, R. W.)

解决, 因此, 无法发现这类金属元素的负晕。幸好, 造岩元素中的铁也是特征的热液成矿元素。铁的克拉克值为 5.1%, 地壳主要岩石铁含量值为 0.4%—10%。铁含量较高的硅酸盐矿物颜色较深, 而含量较低或不含铁的硅酸盐矿物颜色较浅, 故在热液型铁矿体周围的蚀变, 根据颜色就可大致了解铁含量的变化。我国许多热液型铁矿床, 如宁芜和庐枞玢岩铁矿床, 邯邢夕卡岩铁矿床, 闽西南夕卡岩铁矿床, 鄂东南夕卡岩铁矿床等, 都伴有明显的退色蚀变, 这类退色蚀变使岩石中全铁量减少 2%—5% (表 1)。退色蚀变通常发育在矿体的周围或一侧, 退色蚀变与矿体之间常常夹深色蚀变 (图 4)。浅色蚀变的规模远大于矿体, 为矿体的几倍至几十倍。若浅色蚀变岩的体积为矿体的 10 倍到 20 倍, 蚀变所释放的铁都集中于矿体, 则铁矿石品位为 30%—60% 或更高。由此可见, 浅色蚀变析出的铁量超过了铁矿床的储量。因此, 矿床中的铁主要来自围岩。若按浅色蚀变岩的体积和析出铁的百分含量计算, 也可获得同样的结论。浅色蚀变岩的面积为 6—7km<sup>2</sup><sup>[4]</sup>, 厚度为 700m, 体积约为 4km<sup>3</sup>, 按 3% 的铁的析出量计算, 共析出铁 3.12 亿吨 (4km<sup>3</sup> × 3% × 2.6), 大于梅山、罗河等矿床的储量。

美国和原苏联热液型铁矿床也有类似的特征, J. H. Mackin 的研究证明, 美国犹他州 Iron Springs 地区铁矿床中的铁恰恰与邻近围岩中淋滤出来的铁的量相等<sup>[15]</sup>。根据 Л. Н. Овчинников<sup>[16]</sup> 的介绍, 有大量夕卡岩型磁铁矿床和变质岩系中的交代铁矿床的铁从围岩中活化的实际材料和计算的著作。在原苏联乌拉尔、哈萨克斯坦、阿尔泰-萨彦

表 1 热液铁矿床围岩蚀变过程中铁含量变化表  
Table 1 The variation of iron contents in wall rock alteration processes of hydrothermal iron deposits

矿区	岩石	TFe (%)			析出量 原岩含量	资料来源
		未蚀变	蚀变	析出量		
梅山	辉石闪长玢岩	5.77	2.52	3.25	0.56	宁芜研究项目编写小组 <sup>[11]</sup> , 1978
	安山岩	5.44	2.61	2.83	0.52	
	辉石闪长玢岩	6.96	2.52	4.44	0.64	
	闪长岩	5.66	2.32	3.34	0.59	
	辉石闪长玢岩	5.40	3.83	1.57	0.29	
白象山	页岩	5.61	3.49	2.12	0.38	
马坑	辉绿岩	9.71	4.89	4.82	0.50	赵一鸣等 <sup>[12]</sup> , 1980
挂山	辉绿岩	8.68	4.52	4.16	0.48	
汤泉	花岗闪长岩	4.79	1.93	2.86	0.60	
北洛峡	闪长岩	5.03	1.74	3.29	0.65	沈保丰等 <sup>[13]</sup> , 1977

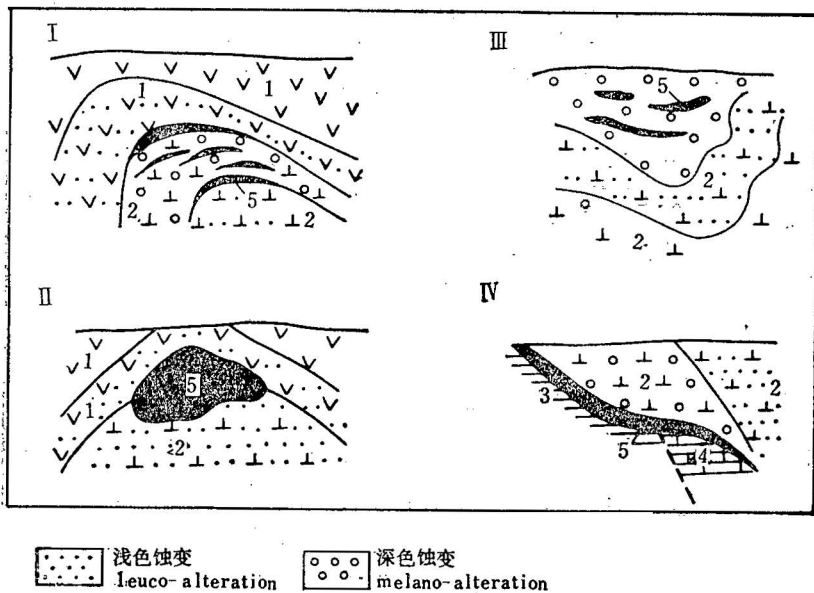


图 4 玢岩铁矿与退色蚀变关系示意图  
(据《宁芜玢岩铁矿》资料修改)

Fig. 4 Sketch showing the relationship between porphyrite iron deposits and decoloring alteration

(modified after "Ningwu porphyrite iron deposit")

- I. 梅山、陶村-南山、罗河; II. 凹山; III. 太山; IV. 钟九; 1. 安山质火山岩;  
2. 辉长闪长玢岩; 3. 砂页岩; 4. 灰岩; 5. 矿体  
1. Meishan, Taocun-Nanshan, Luohe; II. Washan; III. Taishan; IV.  
Zhongjiu; 1. andesitic volcanic rocks; 2. gabbro-diorite porphyrite;  
3. sandstone and shale; 4. limestone; 5. ore body

和其它地区的夕卡岩矿田内广泛发育具典型退色晕的交代蚀变岩。玢岩退色时大约失去 3%—6% 的铁, 1m<sup>3</sup> 释放铁 0.1—0.15t。一个矿床的浅色蚀变岩释放出 4 亿吨铁。这些现象和资料与我国宁芜和庐枞的玢岩铁矿非常相似。

综上所述, 相当一部分热液型铁矿床是伴有原生负晕, 其范围远比矿体的范围大得多, 常表现为退色蚀变。因此, 铁的原生负晕或退色蚀变可作为找矿标志。

### 2.3 是否存在微量元素的原始负晕

地壳克拉克值较低 (< 0.01%) 的微量元素, 如铜、铅、锌、钨、锡、钼、银、金等在形成热液矿床时, 是否伴生原生负晕? 这方面虽有人开展研究, 但由于以往常规分析方法的检出限常高于它们的克拉克值, 因此, 无法确定负晕的存在<sup>[15]</sup>。近年来出现了许多快速和精度很高的微量元素分析方法, 为查明成矿蚀变过程中微量元素的变化提供了技术条件。

我们选择了一批铜和钨-锡等矿床, 对较大范围内围岩中的成矿元素作了分析对比。除在近矿围岩中有成矿元素的原生正晕外, 在远矿围岩中均出现较大范围的, 成矿元素含量低于背景的原生负晕<sup>[17,18]</sup>。

### 2.4 原生负晕的特征及其意义

原岩中的元素含量是确定原生晕的标尺。热液成矿和蚀变作用的空间范围是有一定限度的, 原生晕只能形成于这一范围内。所以, 离矿体较远距离, 未受热液作用影响的岩石为原始岩石, 其元素的含量即可用作判别原生晕的标准。如德兴斑岩铜矿和柿竹园夕卡岩钨等矿床其围岩成矿元素的含量与离矿体远近有关, 离矿体近者均明显低于离矿体远者, 即有原生负晕(表 2)<sup>[19]</sup>。

#### 2.4.1 原生负晕特征

由表 2 可见, 原生负晕区岩石的成矿元素(钨、锡、钼、铜、铁)含量很低, 为原始岩石含

表 2 热液矿床的原生负晕和背景区成矿元素含量( $\times 10^{-6}$ )对比表

Table 2 Comparison of the contents ( $\times 10^{-6}$ ) of ore-forming elements of primary negative haloes and background fields

矿床名称	岩 石	元素	含 量			$\frac{(2)-(1)}{(2)}$
			负晕(1)	背景(2)	(2)-(1)	
柿竹园	砂 岩	W	2.55	4.92	2.37	0.48
		Sn	3.38	7.76	4.38	0.56
		Mo	0.27	0.63	0.36	0.57
西华山-源塘	砂 岩	W	2.20	6.70	4.50	0.67
		Sn	2.70	4.70	2.00	0.43
		Mo	0.40	1.20	0.80	0.67
德 兴	千 枚 岩	Cu	43.00	78.00	35.00	0.45
武 山	砂 页 岩	Cu	39.00	57.00	18.00	0.32
		Fe(%)	1.53	3.81	2.28	0.60
多宝山	安 山 岩	Cu	49.00	128.00	79.00	0.62

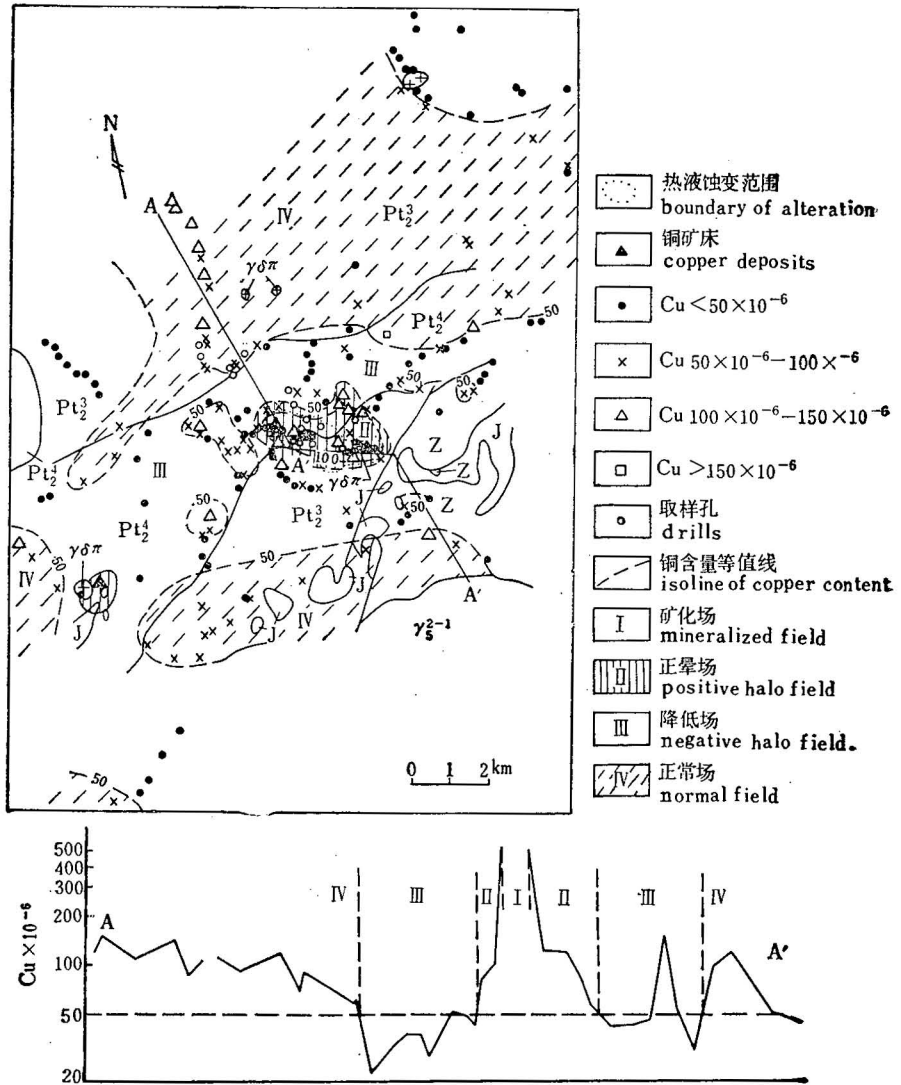


图5 德兴矿田铜矿地质和铜的地球化学场图<sup>[19]</sup>

Fig. 5 Map showing the copper mineralization and geochemical fields of copper of the Dexing ore field<sup>[19]</sup>

Pt<sub>2</sub>, Pt<sub>3</sub> 上元古界二、三组; Z 震旦系; J 侏罗系;  $r\delta\pi$  燕山期花岗闪长斑岩,  $\gamma_2^{-1}$  燕山期花岗岩

Pt<sub>2</sub>, Pt<sub>3</sub> Second and third groups of Upper Proterozoic; Z Sinian; J Jurassic;  $r\delta\pi$  Yanshanian granodiorite porphyry;  $\gamma_2^{-1}$  Yanshanian granite

量的 33%—68%，平均约为 46%。与原始岩石含量相比，负晕区成矿元素含量较高的样品数量明显减少，达背景值的样品数通常小于 30%，多数矿床小于 10%。负晕的位置大多在离矿体数百米至数公里。负晕区内岩石通常无明显蚀变或仅有微弱的蚀变。

#### 2.4.2 原生负晕的意义

热液矿床的成矿元素原生负晕的确定具有极其重要的成因意义。负晕表明矿床围岩

为成矿提供了物质,经估算,负晕区所释放的金属量通常都超过矿床的储量(图5和表3)。据此可得出热液矿床成矿金属主要来自围岩的结论<sup>[20]</sup>。既然负晕区是矿床成矿金属的源区,因此,它也是重要的找矿标志。同时,它的规模和成矿元素下降幅度等可做为评价成矿远景或预测矿床规模的重要参数。此外,负晕的确定对原生晕的认识也会发生影响。原生晕不能都视为正晕,应包括正晕和负晕。通常把负晕视为背景,这必然导致成矿元素背景值的偏低,以致也影响到异常下限值等。

表3 德兴矿田成矿过程中各地球化学场铜量变化表<sup>[19]</sup>

Table 3 The variation of copper contents among various geochemical fields in the ore-forming process of Dexing ore field, Jiangxi province

	增高场		降低场 (负晕场)	原始场
	矿化场	正晕场		
$\bar{X} (\times 10^{-6})$	6186.00	126.00	42.78	78.54
$\bar{X}_{(异常场)} \times 10^{-6} - \bar{X}_{(正常场)} \times 10^{-6}$	6107.50	47.46	-35.76	
S(面积, km <sup>2</sup> )	1.32	22.90	115.00	
H(深度, km)	0.50	1.50	1.50	
V(体积 km <sup>3</sup> )	0.66	34.35	112.50	
D(比重)	2.79	2.68	2.72	
总重量 (t)	$1.84 \times 10^9$	$92.06 \times 10^9$	$469.2 \times 10^9$	
Q(铜的变化量, Mt)	+11.24	+4.37	-16.78	
		-1.17		

### 3 成矿元素地球化学场系

#### 3.1 热液矿床成矿元素地球化学场系的提出

为了查明热液矿床的成矿元素来源,我们对一些矿床开展了专项研究,对同一层位、同种岩石按离矿体的不同距离进行取样和分析对比。获得的结果是很有趣的:成矿元素含量变化大,高含量与低含量之比为数百,甚至数千,不同级别的含量大多呈片、带分布;含量在空间上的变化是有规律的,与离矿体的距离有关,由矿体向外,成矿元素的含量由特高→较高→低→中等。虽然不同矿种和不同类型的矿床,这种不同含量围岩的范围及含量值有差别,但这种含量变化趋势和低值区的范围远大于偏高值区与特高值区是一致的。矿区内同一岩石成矿元素含量有规律变化是由热液成矿作用引起的。远离矿体(离矿体的距离一般  $> 3-5\text{km}$ )的围岩未受热液作用的影响,其含量相对较稳定,属中等值场,该场代表未蚀变的原始岩石,可称为原始的成矿元素地球化学场,或背景场或正常场等。在矿体周围受热液作用影响的岩石可统称为成矿元素地球化学异常场,其内圈为增高场,外圈为降低场,增高场中特高值部分或相当于矿体部分可称为矿化场,偏高值部分相当于原生正晕,称正晕场,降低场也可称负晕场。各场的含量特征和范围见图5,6。

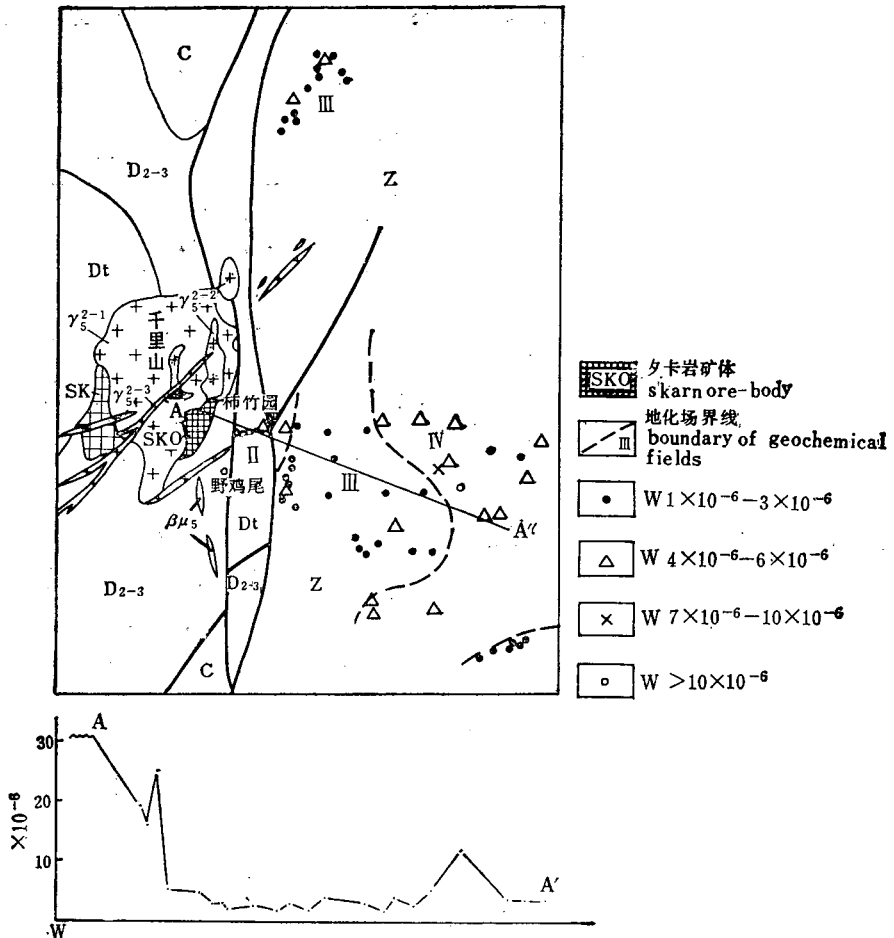


图 6 柿竹园矿床钨的基岩地球化学场图<sup>[19]</sup>

Fig. 6 The geochemical field of tungsten of the bedrocks in the Shizhuyuan ore deposits, Hunan<sup>[19]</sup>

Z 震旦纪砂岩; Dt 泥盆纪砂岩; D<sub>2-3</sub> 泥盆纪碳酸盐岩; C 石炭纪碳酸盐岩;  
 $\gamma_2^{2-1} - \gamma_3^{2-3}$  燕山期花岗岩 1—3 期;  $\beta\mu$  辉绿玢岩  
 Z Sinian sandstone; Dt Devonian sandstone; D<sub>2-3</sub> Devonian carbonate;  
 C Carboniferous carbonate;  $\gamma_2^{2-1} - \gamma_3^{2-3}$  1—3 phases of Yanshanian granite;  
 $\beta\mu$  Diabase porphyrite

### 3.2 各地球化学场的关系

异常场又分正和负,根据成矿元素的含量正异常场可分为矿化场和正晕场。这样,负晕场中释放的与正晕场中增加的金属量大体相等。经计算,各矿床的实际资料基本如此(表 4),如德兴斑岩铜矿和多宝山斑岩铜矿释放的成矿金属量与储量两者相近;武山铜矿床、柿竹园钨-锡矿床降低场释放的成矿金属量与储量相当,大余-上犹地区释放的成矿金属量远大于已查明矿床的储量。



表 4 热液矿床成矿过程中各地化场成矿元素量(t)变化表

Table 4 The quantitative estimation (t) of ore-forming elements of various geochemical fields in ore-forming processes of hydrothermal deposits

矿床名称	成矿元素	增高场		降低场	异常场
		矿化场	正晕场		
德兴 多宝山 武山	Cu	+11.20×10 <sup>6</sup>	+4.37×10 <sup>6</sup>	-16.78×10 <sup>6</sup>	-1.21×10 <sup>6</sup> +0.38×10 <sup>6</sup>
	Cu	+2.76×10 <sup>6</sup>	+1.31×10 <sup>6</sup>	-3.69×10 <sup>6</sup>	
	Cu			-1.50×10 <sup>6</sup>	
柿竹园	W			0.60×10 <sup>6</sup>	
	Sn			0.50×10 <sup>6</sup>	
大余-上犹	W			4.45×10 <sup>6</sup>	
	Sn			1.61×10 <sup>6</sup>	

### 3.3 热液矿床成矿元素地球化学场系的类型

热液矿床成矿元素负晕的发现及其在许多矿床中的存在是全面认识成矿元素地球化学场系的关键。由于负晕既可以在矿床周围的全部岩石中存在,也可只在部分岩石中存在。因此,成矿元素地球化学场系可分成完整的和不完整的两类。从矿体向外依次为矿化场、正晕场、降低场和正常场。正晕场和降低场呈环状套于矿化场之外。完整的成矿元素地球化学场系,异常场的环都是连续的、完整的;不完整的场系,降低场仅在局部地区出现,呈断续的环、半环或环的一小部分等(图7)。此外,有些易挥发、较活泼的成矿元素,如汞、铋、砷等,供源区可能离矿体较远,或主要从矿体的下部萃取等,因此,在矿体同一水平面的周围负晕可能不明显或无显示。

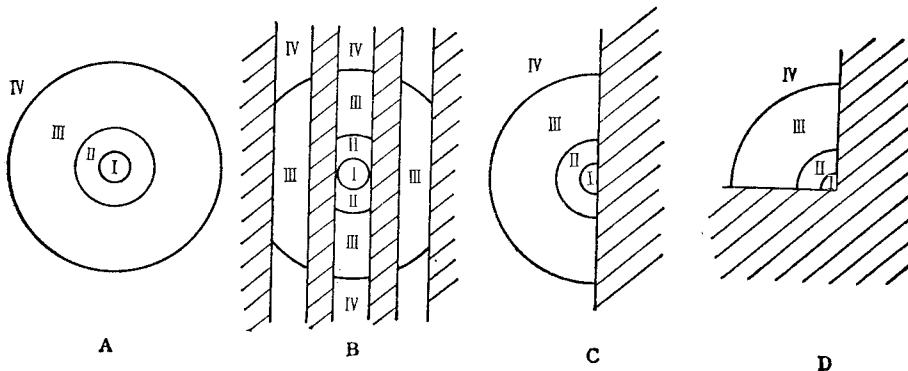


图 7 热液矿床成矿元素地球化学场系类型示意图

Fig. 7 Sketch of various types of geochemical fields of ore-forming elements of hydrothermal deposits

- A. 完整环状场系; B—D. 不完整环状场系: B. 断续环状场系; C. 半环状场系; D. 局部环状场系; I. 矿化场; II. 正晕场; III. 降低场; IV. 背景值; 斜线部分为非矿源岩  
A. complete ring field system; B—D. incomplete ring field system: B. discontinuous ring field system; C. hemiring field system; D. part of the ring field system; I. mineralization field; II. positive halo field; III. negative halo field; IV. normal field; the part with oblique lines shows barren country rock

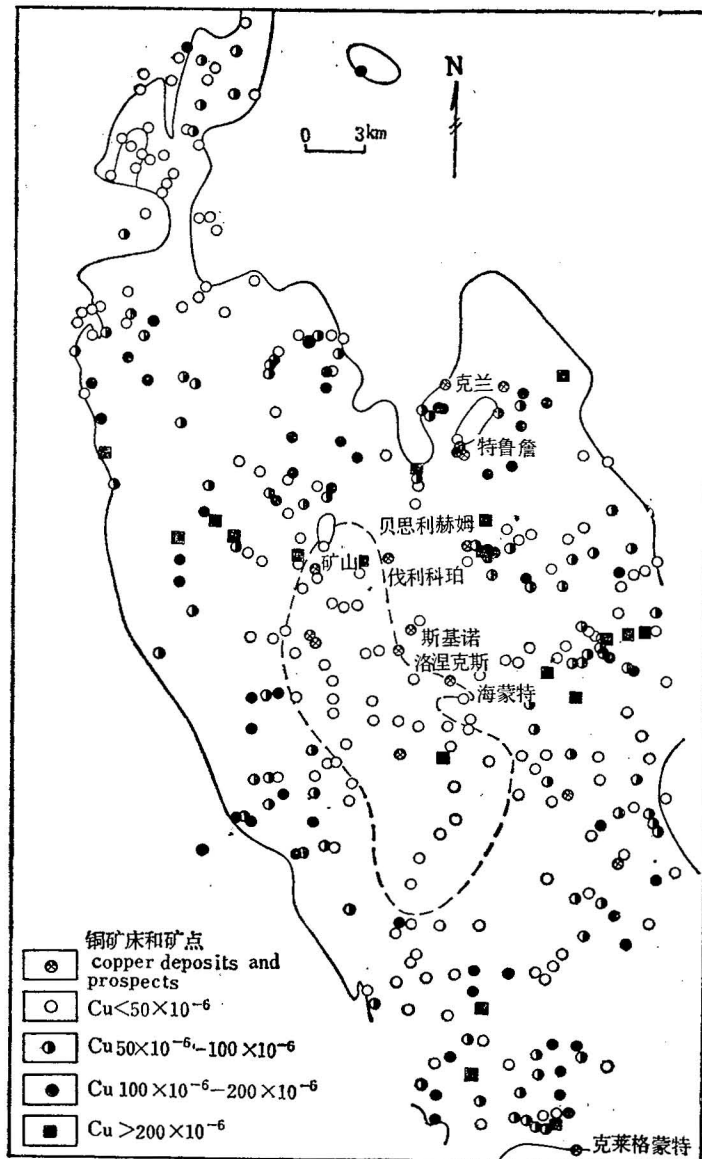


图 8 不列颠哥伦比亚吉昌岩基岩石样品中铜的区域分布<sup>[18]</sup>

Fig. 8 Regional distribution of copper in rock samples, Guichon Batholith, British Columbia, Canada

(Reproduced from Brabec D. and White W. H., 1971)

## 4 讨论和结论

由于认识的局限及分析技术限制，以往大多数人忽视了对矿质的非岩浆热液来源的研究。或发现了铁矿等与围岩退色释铁蚀变有关，但对其普遍性及成因的重要性认识不足。因此，缺乏对低克拉克值金属热液矿床开展针对性的研究，或偶有类似研究，也未

从理论的高度去认识获得的资料, 没有把矿床周围存在的成矿元素低值区视为负晕(图8)<sup>[1]</sup>。

热液矿床成矿元素负晕和地球化学场系是查明矿质来源的关键。它不仅对热液矿床成因理论有重要影响, 而且对总结成矿规律和确定预测准则和预测方法都有重大意义。综上所述, 可以得出如下结论:

1. 热液矿床成矿元素原生地球化学负晕在我们已开展研究的矿床中都存在, 看来这种负晕具有相当的普遍性, 值得注意。

2. 热液矿床具有成矿元素地球化学场系, 以矿体为中心向外依次为: 特高值场、偏高值场、低值场和中等值场, 或相应地称为矿化场、正晕场、负晕场(降低场、淋滤场、亏损场、带出场)和正常场(背景场、原始场)。前三种场组成异常场, 前二种场构成增高场, 增高场与降低场有相互制约关系, 经初步计算, 增高场中成矿金属增加量与降低场中的减少量大致相当。

3. 根据负晕的存在及降低场中释放的成矿金属量大于或接近于增高场(矿化场和正晕场)中增加量, 表明成矿金属主要来自围岩, 是岩石源, 而不是岩浆派生来源。

4. 负晕是热液成矿蚀变过程中的产物, 是成矿元素活化再分配的结果, 因此, 不仅可以作为找矿的标志, 而且, 还可作为预测或评估成矿远景的一个重要参数。

### 参 考 文 献

- 1 Квятковский Е М. Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. Ленинград: Недра, 1977. 57—62.
- 2 谢学锦、区域化探, 北京: 地质出版社, 1979. 18—25 页。
- 3 巴尔苏科夫 В Л. 金属矿床地球化学普查方法. 吴传壁等译. 北京: 冶金工业出版社, 1988. 4—5 页。
- 4 王忠虎, 崔燮祥, 岳金寿, 张本仁, 马振东, 韩吟文. 河南省南泥湖钼矿田地球化学特征及原生地球化学异常的探讨. 见: 张本仁主编, 勘查地球物理勘查地球化学文集. 第 2 辑. 北京: 地质出版社. 1985, 1—25 页。
- 5 张本仁, 韩吟文, 马振东, 王忠虎, 崔燮祥, 岳金寿. 河南省南泥湖钼矿田成矿物质来源及成晕机理的探讨. 见: 张本仁主编, 勘查地球物理勘查地球化学文集. 第 2 辑, 北京: 地质出版社, 1985, 27—50 页。
- 6 冯学敏, 安基山铜矿原生地球化学异常特征及其形成因素的探讨. 见: 张本仁主编. 勘查地球物理勘查地球化学文集, 第 2 辑, 北京: 地质出版社. 1985, 271—285 页。
- 7 张本仁主编, 勘查地球物理勘查地球化学文集, 第 2 辑. 北京: 地质出版社. 1985, 1—285 页。
- 8 Алексеев В. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Москва: Высш. шк. 1989. 56—57.
- 9 Evans A. An introduction to ore geology. sec. ed. Oxford Blackwell Scientific Pub. 1987. 56—59.
- 10 Boyle R W. The geochemistry, origin and role of carbon dioxide, sulfur and boron in the Yellowknife gold deposits Northwest territories. Canada. Econ. Geol. 1959. 54: 1506—1524.
- 11 宁芜项目编写小组, 宁芜矽岩铁矿. 北京: 地质出版社. 1978, 131—150 页。
- 12 赵一鸣, 谭惠静, 许振南, 袁润广, 郑人杰, 林峰雪. 闽西南地区钙夕卡岩型铁矿的生成条件和交代矿化特征. 中国地质科学院院报矿床地质研究所分刊, 1980, 1(1): 21—48 页。
- 13 沈保丰, 陆松年, 于恩泽, 单莲芳, 郁建华. 某磁铁矿床中钠质交代作用的特征及其找矿意义. 地质科学, 1977, 3: 263—274 页。
- 14 张荣华, 盛继福, 陆成庆. 庐枞火山岩盆地的矿化蚀变与矿质来源. 矿床地质研究所所刊, 1982, 2: 51—64 页。
- 15 Skinner B J. Origins of hydrothermal mineral deposits. In: Barnes H L. ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits. sec. ed. New York. 1979. 1—21.
- 16 Овчинников Л. Н. Образование рудных месторождений. Москва: Недра. 1988. 51—56.
- 17 季克俭, 吴学汉, 张国柄. 热液矿床的三源表成热液成矿模式. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 1982, 3: 35—46 页。
- 18 季克俭, 吴学汉, 张国柄. 热液矿床成矿元素降低场及其意义. 见: 国际交流地质学术论文集(4). 北京: 地质出版社. 1985, 205—215 页。

- 19 季克俭, 吴学汉, 张国柄. 热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律. 北京: 北京科学技术出版社. 1989, 19—49.
- 20 季克俭, 吴学汉, 张国柄, 关于德兴斑岩铜矿铜源的初步研究. 矿床地质, 1984, 3(2): 39—48 页.
- 21 Coope J A. Geochemical prospecting for porphyry copper-Type mineralization. *J. of geochemical exploration*, 1973, 2 (2): 81—89.

## THE NEGATIVE HALOES AND GEOCHEMICAL FIELD SYSTEM OF HYDROTHERMAL DEPOSITS

Ji Kejian, Wang Liben, Lu Fengxiang, Wang Wuyi,  
Dong Jianhua and Zhang Jianhua

*(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)*

### Abstract

Primary haloes of hydrothermal deposits were considered as positive haloes before. Although it has been recently suggested that the primary haloes could be positive and negative, almost all the research work on primary haloes has still focused on positive haloes for various reasons. In order to understand the source of ore-forming elements several large hydrothermal deposits related to magmatism including porphyry-, skarn- and vein-type deposits have been studied. It has been found that negative haloes exist on the peripheries of the positive haloes of the deposit. Their scopes are much larger than those of the orebodies and the positive haloes and the average contents of ore-forming elements therein are notably less than the background values. Study shows that the negative haloes of ore-forming elements of hydrothermal deposits are rather common. The authors propose the concept of the geochemical field system of ore-forming elements of hydrothermal deposits, i.e. the contents of ore-forming elements in the same horizon or the same kind of rock of the deposit have large variation, which is related to the distance from orebodies. The contents of ore-forming metals from the orebody outwards are extremely high, relatively high, low and medium successively. In the ore-forming alteration process, the rocks that are far away from the orebody and not affected by hydrothermal activity have an original medium value. The elements adjacent to the orebody were remobilized and redistributed, resulting in an increase of ore-forming elements in the central part and a decrease on the peripheries. With the orebody as the centre outwards the mineralization field, positive halo field, depleted field and background field can be recognized.

**Key words:** Hydrothermal deposits, negative halo, system of geochemical fields

### 作者简介

季克俭, 生于 1934 年 2 月。1961 年毕业于原苏联列宁格勒大学地质系。现任中国地质科学院矿床地质研究所研究员, 从事矿床地质、地球化学等研究。通讯处: 北京阜外百万庄路 26 号矿床地质研究所, 邮政编码: 100037, 传真 (Fax) 0086-1-8310894。