

铜山铜硫矿床隐伏矿体的汞、铜后生地球化学异常特征

顾祖伟 栾继深 赵友芳 姚锦琪

(有色金属工业总公司矿产地质研究院)

铜山矿区隐伏铜硫矿体上方,发育有清晰的汞、铜特征组合后生地球化学异常,与矿体具有成因联系。据其原生、后生地球化学异常及地电化学异常特征,对汞、铜在后生条件下的转化、迁移及富集机理进行了探讨,归纳出该区隐伏铜硫矿体的汞、铜后生地球化学异常模式。

关键词: 铜硫矿床; 隐伏矿体; 汞、铜后生地球化学异常模式

矿区地质概况

安徽宣城铜山铜硫矿床位于敬亭山—狸头桥复背斜北段次一级养茶倒转背斜的南西倾没端,铜硫矿体主要产于花岗闪长岩与灰岩接触带、五通组石英砂岩与黄龙一穿山群大理岩化灰岩及栖霞灰岩之间的层间破碎带中。隐伏矿体主要分布在北矿段,矿石矿物主要为含铜黄铁矿、含铜磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿等。矿体被厚度不等的冲积层或基岩覆盖,22线的掩埋矿体上覆20多米厚的冲坡积层;26线的盲矿体被300多米厚的基岩及10多米冲坡积层覆盖。

笔者根据区内22及26线已知隐伏铜硫矿体所进行的岩石及土壤的热释汞测量、汞气测量、偏提取铜及全铜测量、氢离子浓度及电导率测量等资料,归纳出汞、铜后生地球化学异常模式。其测量方法的主要工作条件及参数特点列于表1。

汞、铜地球化学异常特征

(一) 矿体围岩中汞、铜地球化学异常特征 26线的钻孔原生晕资料表明, ΔHg 、 THg 、 TCu 及 Zn 、 Mn 、 Ag 、 W 全量均有

异常显示,各元素的异常形态、规模和强度有明显差异。

1. Zn 、 Mn 、 Ag 、 W 等元素异常相对窄小,仅有中、外浓度带,与矿体呈同心分布型式且局限于矿体周围。

2. 隐伏矿体周围 THg 、 TCu 异常发育完好,从矿体中心向围岩依次为内、中、外浓度带,其规模较其他元素大些(图1)。

3. ΔHg 异常发育在铜硫矿体上盘围岩中,具有特殊的浓度分带,即矿体及其附近为外浓度带,再向上盘围岩直至近地表岩石逐步变为中、内浓度带,形成在空间上与矿体呈间接对应的离心晕分布型式(见图1)。

以上特征表明:与隐伏铜硫矿体直接对应的 THg 、 TCu 及 Zn 、 Mn 、 Ag 、 W 全量异常的同心晕分布型式,无疑是铜硫矿体周围原生晕的反映;原生晕中 THg 、 TCu 异常相对发育完全,反映汞、铜两元素是指示铜硫矿体赋存部位的特征组合;隐伏铜硫矿体是汞、铜的异常源;与隐伏铜硫矿体间接对应的 ΔHg 离心晕分布型式,应是作为汞源的矿体在后生作用中所形成的汞的后生地球化学异常。很显然,隐伏铜硫矿体的原生晕未能到达地表,而与矿体间接对应的 ΔHg 异常已

各种测量方法的主要工作条件及参数特征

表 1

方法参数	测试方法及条件	参数性质特点	参考文献
全量汞 (THg)	热释法, 800℃ 炉温	样品中各种相态汞的总量	[1]
吸附态汞 (ΔHg)	热释法, 230℃ 炉温	样品中粘土矿物颗粒或胶团表面吸附态汞	[1]
气态汞 (Hg^0)	热释法, 常温捕集壤中气	土壤中气态汞的分量	[1]
全铜 (TCu) 及有关元素全量	原子发射光谱法	样品中铜的总量及有关微量元素的总量	略
偏提取铜 (ΔCu)	EDTA容量法	样品中可溶性铜或表面吸附铜的含量	[2]
有机炭 (ΔC)	重铬酸钾法	样品中有机质总量	[2]
氢离子浓度 (H^+)	H_2O 溶, pH计测定	样品土浆的pH值	[3]
电导率 (K_s)	H_2O 溶, 电导率仪测定	样品土浆的电导率值	[3]

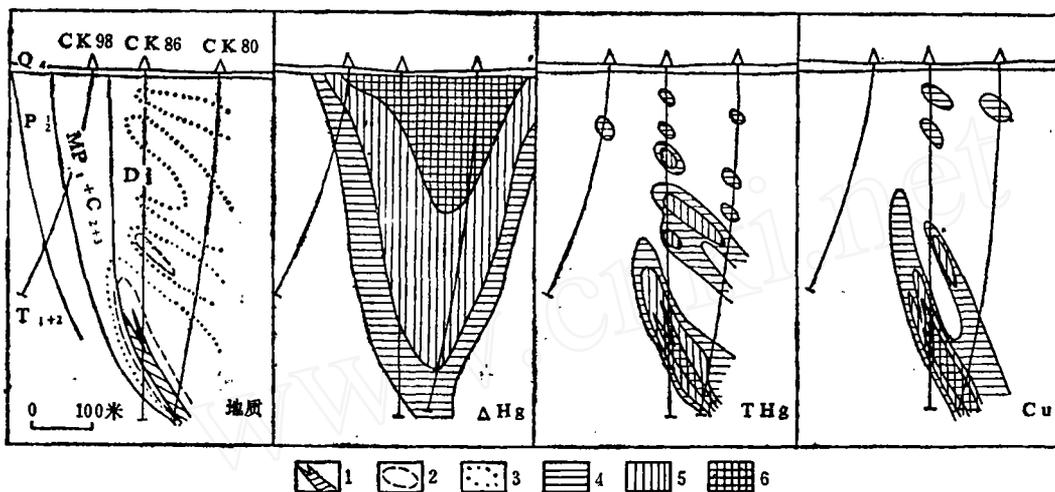


图 1 铜山26线汞、铜钻孔原生晕综合剖面图

Q_4 —第四系冲坡积层; T_{1+2} —青龙群灰岩夹薄层泥灰岩; P_2 —龙潭组砂页岩夹煤线; $MP_1 + C_{2+3}$ —下二叠统及石炭系黄龙、船山群大理岩化灰岩; D_3^5 —五通组石英砂岩; 1—含铜黄铁矿体; 2—强黄铁矿化带; 3—弱黄铁矿化带; 4—异常外带 (ΔHg_{1-2} 、 $THg_{10-20ppb}$ 、 $Cu_{50-200ppm}$); 5—异常中带 (ΔHg_{2-4} 、 $THg_{20-40ppb}$ 、 $Cu_{200-800ppm}$); 6—异常内带 ($\Delta Hg > 4$ 、 $THg > 40ppb$ 、 $Cu > 800ppm$)

到达地表, 因此, ΔHg 异常用于化探寻找隐伏铜硫矿体赋存部位具有实际价值。

(二) 汞、铜土壤地球化学异常特征

1. 汞的土壤地球化学异常特征: 由图2、图3中发现, 在22线的掩埋铜硫矿体上方有清晰的土壤 ΔHg 和 Hg^0 异常显示; 在26线的隐伏铜硫矿体上方也有清晰的 ΔHg 异常显示, 但土壤 THg 未显示异常。 ΔHg 和 Hg^0 异常峰在空间上与隐伏矿体头部垂直对应, 低缓异常出现在隐伏矿体的倾斜方向上。当为浅埋藏掩埋矿体时, 异常峰区较窄, 当矿体埋藏较深, 则异常峰区较宽。显

然土壤 ΔHg 及 Hg^0 异常形态与隐伏矿体的赋存部位及产状有内在联系。此外, 在26线上土壤 ΔHg 异常恰与隐伏矿体上方的未封闭的岩石 ΔHg 异常对应, 这反映了前者是后者在地表土壤层中的延续。

为了进一步研究 ΔHg 异常向土壤层中的延续, 对26线土壤剖面加深取样, 并分别测定 ΔHg 和有机炭(ΔC), 发现有如下特点:

(1) 不同深度土壤的 ΔHg 量仅在隐伏铜硫矿体上方出现中、内浓度带异常(图4)。无矿地段多是背景含量。

(2) 随着采样深度加大, ΔHg 量呈下

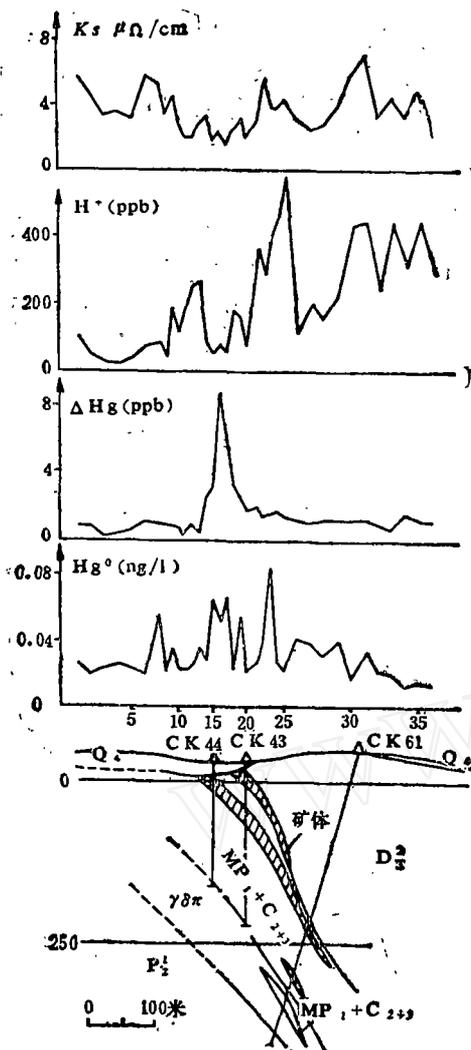


图2 铜山22线土壤汞及地电化学异常剖面
(地层符号同图1)

降趋势，但在隐伏矿体上方的局部地段却呈增高趋势(表2)。

(3) ΔHg 与 ΔC 在隐伏矿体上方 h_1 、 h_2 深度为正相关(表2)，在 h_3 深度则为负相关，而在无矿地段上方，则一般不相关。

(4) $\Delta Hg/\Delta C$ 值在有矿地段一般 $\geq 3 \times 10^{-7}$ ，而在无矿地段则一般 $< 2 \times 10^{-7}$ 。

从以上特点不难看出：在隐伏矿体上方土壤层一定深度范围内， ΔHg 异常连续发育，这就进一步证明在一定空间范围内土壤 ΔHg 异常不仅与其异常源——隐伏矿体密切对应，而且是岩石 ΔHg 异常在土壤

层中的延续。另外，从有矿地段和无矿地段的 ΔHg 与 ΔC 的相互关系可知，在有矿地段，由于汞源的客观存在，土壤中的有机质才对汞的吸附富集起到一定作用。

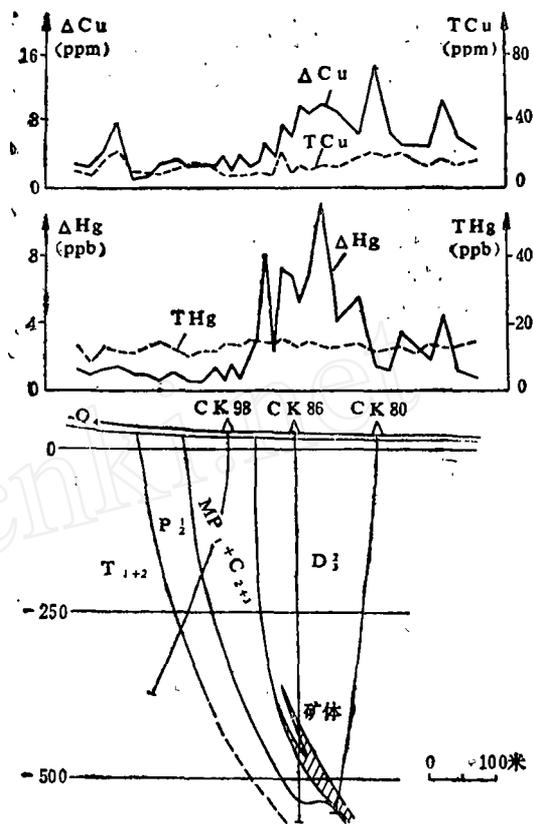


图3 铜山26线土壤汞、铜异常剖面
(地层符号同图1)

ΔHg 、 ΔC 量随采样深度增加的变化趋势

表2

地段	样号	深度	ΔHg 含量 (ppb)	ΔC 含量 (%)	$\Delta Hg - \Delta C$ 相关系数 ($\times 10^{-7}$)	$\Delta Hg/\Delta C$
无矿地段	4点 15点	h_1	0.42	0.53	-0.189	0.79
		h_2	0.45	0.26	-0.415	1.70
		h_3	0.15	0.22	0.189	0.66
有矿地段	16点 29点	h_1	3.77	0.53	0.615	7.10
		h_2	0.77	0.26	0.837	2.90
		h_3	0.42	0.11	-0.364	3.80
有矿地段	30点 32点	h_1	2.15	0.63	0.226	3.40
		h_2	3.67	0.40	0.933	9.10
		h_3	4.23	0.40	-0.969	11.1

注： $h_1 = 30\text{cm}$ ； $h_2 = 60\text{cm}$ ； $h_3 = 100\text{cm}$

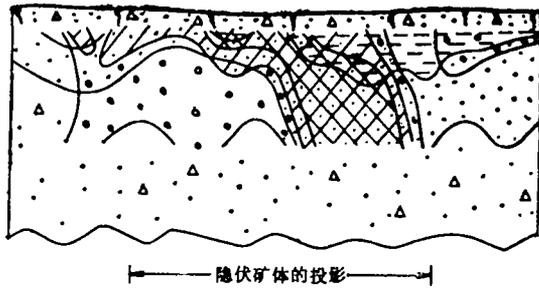


图 4 铜山26线不同深度土壤层 ΔHg 、 ΔC 异常剖面图

1—第四系冲积层；2— ΔHg 异常外带(0.3~0.9ppb)；3— ΔHg 异常中带(0.9~2.0ppb)；4— ΔHg 异常内带(>2ppb)；5— ΔC 异常外带(0.25~0.5%)；6— ΔC 异常中带(>0.5%)

2. 铜的土壤地球化学异常特征：据26线土壤 ΔCu 、 TCu 的测量(见图3)发现，在隐伏矿体上方有 ΔCu 异常显示，而 TCu 却未出现异常。 ΔCu 从隐伏矿体头部上方梯度开始增大，向矿体倾斜方向，形成了较宽的异常峰区，并逐步变为低缓异常，显然， ΔCu 异常的分布与形态在空间上与隐伏矿体的赋存部位及产状对应关系密切，两者具有成因联系。

(三) 矿体周围电化学异常特征 隐伏陡倾斜金属硫化物矿体，在表生条件下能够自发地在其周围岩石和土壤中产生“天然地电池效应”已被证实^[3]。为了验证该区隐伏铜硫矿体上是否存在天然地电池效应，对22及26线的土壤和岩石样品的氢离子浓度(H^+)和电导率(K_s)两参数进行了研究。

1. 26线钻孔岩石 H^+ 和 K_s 异常特征：图5示出不同地质体上 H^+ 和 K_s 有不同的表现：在隐伏铜硫矿体上 K_s 均为高值(100~400 $\mu\Omega/cm$)； H^+ 在矿体上部为极低值(0.010~0.083ppb)，在矿体下部 H^+ 略有增高(0.10ppb \pm)。上述 K_s 和 H^+ 异常特征与理论上关于硫化物矿体在天然地电池效应下，矿体上或矿体附近围岩介质中离子浓度

增高(造成 K_s 增高)，而 H^+ 在矿体下部(阳极)浓度增高、在矿体上部(阴极)浓度降低的电化学模式相似。说明26线隐伏铜硫矿体的天然地电池效应是客观存在的。与以上特征相反，在隐伏铜硫矿体上盘围岩的弱黄铁矿化带中， K_s 一般为低值(10~50 $\mu\Omega/cm$)，局部为较高值(50~150 $\mu\Omega/cm$)而 H^+ 则一般为高值(50~8500ppb)， H^+ 在矿化带侧上方相对增高，而矿化带下方则相对降低。这显然反映弱黄铁矿化带上不具有天然地电池效应所产生的 K_s 和 H^+ 的电化学模式。该特征恰好反映弱黄铁矿化带中的硫化物受氧化作用所产生的局部 H^+ 分散模式。至于矿化带侧上方 H^+ 相对增高的现象，则很可能是反映在下部隐伏铜硫矿体的天然地电池效应下，分散在矿化带中的 H^+ 趋向侧上方——隐伏铜硫矿体头部(阴极)迁移富集的结果。

2. 土壤的 H^+ 和 K_s 异常特征：22线土壤剖面上(见图2)， H^+ 在掩埋矿体头部显

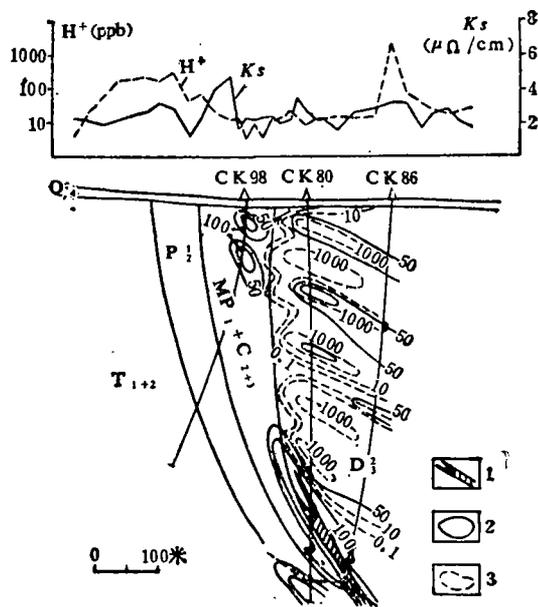


图 5 26线钻孔岩石及土壤地电化学异常剖面

1—矿体；2— K_s 异常等值线，3— H^+ 异常等值线

示了三个异常峰区，正对掩埋矿体头部为一低峰区，向两侧分别出现较高峰区；K，异常正对矿体头部为一窄的凹槽向两侧出现“兔耳状”双峰。上述22线的土壤H⁺和K，异常特征恰与理论上关于埋藏较浅的盲矿体上方土壤H⁺、K，异常模式(图6b)相吻合。

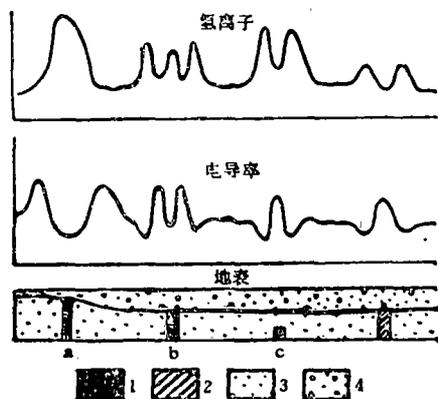


图6 不同埋深硫化物和石墨导体上方土壤中H⁺和电导率(用H⁺校正)理想分布示意图

1—硫化物，2—石墨，3—基岩，4—覆盖物

在26线土壤剖面上(图5)，H⁺正对深部盲矿体头部为一较宽的“凹槽”，向两侧出现了“兔耳状”双峰异常；K，则相反，而是在H⁺“凹槽”区显示了一定的峰值。因此，26线上的土壤H⁺、K，异常特征又恰与理论上关于埋藏较深的硫化物盲矿体上方土壤H⁺、K，异常模式相吻合(图6c)。

综上所述，22线和26线隐伏矿体周围岩石或上方土壤H⁺、K，异常特征均在不同空间及场合反映了隐伏铜硫矿体的“天然地电池”效应的客观存在。

模式的讨论

汞、铜两元素作为特征元素组合以及它们的土壤ΔHg、ΔCu异常均能清晰地指示隐伏铜硫矿体的赋存部位，下面分别从汞、铜的物质来源及异常形成机理来讨论隐伏铜硫矿体的汞、铜后生地球化学异常模式。

(一) 汞、铜物质来源 汞、铜都是典

型的亲硫元素，在内生成矿作用中，汞、铜除了生成独立硫化物或自然元素外，还常在多种金属硫化物中以伴生组份形式存在，通常在硫化物矿床中，汞、铜的含量高于非硫化物矿床。在铜山矿区，汞、铜在铜硫矿体中的高含量分配特征，以及围绕矿体呈同心晕分布形式，正是汞、铜的内生成矿地球化学性质的反映。无疑，隐伏铜硫矿体应是汞、铜的最主要的物质来源。

(二) 汞、铜的表生转化迁移及分散、富集机理 众所周知，在表生条件下，出露和近地表矿体中的金属硫化物矿物，在水、氧或者细菌和有机酸作用下易发生氧化和分解；深埋的陡倾斜硫化物盲矿体，可由其产生的“天然地电池”效应，而使矿体中的硫化物不断地发生电化学溶解。铜山矿区22和26线上的H⁺、K，异常均反映了隐伏铜硫矿体“天然地电池”效应。因此，可以推测，铜硫矿体中的汞、铜可随地电池阳极的电化学氧化反应而分解，并即转入地下水。汞、铜在地下水中的搬运形式一般为可溶性的硫酸盐或氯化物络合物CuSO₄、[CuCl₄]²⁻、[HgCl₂]⁻、[HgCl₄]²⁻、[HgCl]⁺等；当地下水中含有有机酸时，汞、铜还能以有机酸络合物[Cu—有机酸]⁺、[Hg—有机酸]⁺形式搬运；另外气态汞在水中也有溶解度，故能以气态汞在地下水中搬运。搬运的动力一方面可来自地下水的蒸发系流作用^[4]，在此作用力下，从深部矿体转入地下水的汞、铜可溶性物质便逐步垂直向上迁移；另一方面，搬运动力还可来自硫化物盲矿体的“天然地电池”效应，这一效应可使被溶解于地下水中的汞、铜阳离子或络合物阳离子在电场力的作用下与H⁺一道朝近地表的硫化物矿体(阴极)逐步迁移^[3]。迁移上来的汞、铜，除部分以阳离子形式与H⁺在地电池阴极参加反应外，其余部分则被矿体上方近地表岩石所含粘土矿物、土壤中的大量粘土矿物颗粒及粘土矿

物和腐植质组成的胶团吸附、富集，在矿体上方形成离心晕分布型式的岩石 ΔHg 后生异常及土壤的 ΔHg 、 Hg^0 、 ΔCu 后生地球化学

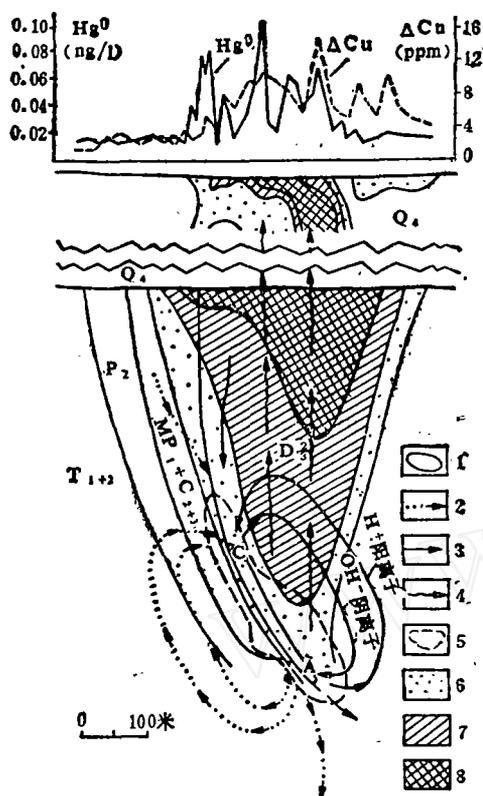


图7 铜山矿区隐伏铜硫矿体的汞铜后生地球化学异常模式

1—铜矿体形成地电池；2—电流方向；3—离子运动方向；4—地下水蒸发泵流；5—汞、铜原生晕；6— ΔHg 外带（土壤0.3~0.9，岩石1~2ppb）；7— ΔHg 中带（土壤0.9~2，岩石2~4ppb）；8— ΔHg 内带（土壤>2，岩石>4ppb）

异常。

（三）隐伏铜硫矿体的汞、铜后生地球化学异常模式 根据已知隐伏矿体上方土壤及岩石的汞、铜、 H^+ 和 K 异常特征，结合汞、铜的后生转化、迁移和富集机理，综合出铜山矿区隐伏铜硫矿体的汞、铜后生地球化学异常模式(图7)。

综上所述，隐伏铜硫矿体中汞、铜的高含量及其在矿体周围形成的同心分布型式的原生晕异常，是矿体上方离心晕分布型式的岩石 ΔHg 后生异常和土壤 ΔHg 、 Hg^0 、 ΔCu 后生地球化学异常的最主要物质来源；铜硫矿体受氧化作用、矿体自身的“天然地电池”效应(电化学溶解作用和电场力作用)以及地下水的蒸发泵流作用是汞、铜元素转化、迁移的营力；粘土矿物和腐植质对汞、铜(离子或络合物)的吸附作用使其在后生作用过程中富集，形成汞、铜的后生地球化学异常，与隐伏铜硫矿体在空间上对应关系密切，可作为寻找隐伏矿体的标志。但汞、铜的后生地球化学异常模式仅通过22、26线的化探资料所归纳，是否具有普遍意义有待今后找矿实践检验。

参考文献

- [1] 栾继深等：地质与勘探，1984，第1期。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所：《土壤理化分析》，上海科学技术出版社，1978，第136、227页。
- [3] Govett, G.J.S.: J. Geochem. Explor., 1976, Vol.6, №3, p.359~382.
- [4] 李正根《水文地质学》，地质出版社，1930年。

Characteristics of Epigenetic Geochemical Hg-Cu Anomalies of Concealed Orebodies in the Tongshan Copper Sulphide Deposit

Gu Zuwei Luan Jishen Zhao Youfang Yao Jinqi

Distinct composite characteristic Cu-Hg epigenetic geochemical anomalies were observed over the concealed copper sulphide bodies in Tongshan mining district, Xuancheng. These anomalies have a genetic connection with the ore bodies. Based upon the characteristics of the primary and epigenetic geochemical anomalies and electrochemical anomalies, the mechanisms of transformation, migration and enrichment of mercury and copper under the epigenetic condition are discussed. A geochemical anomaly model for such type gold deposit is also suggested in this paper.