

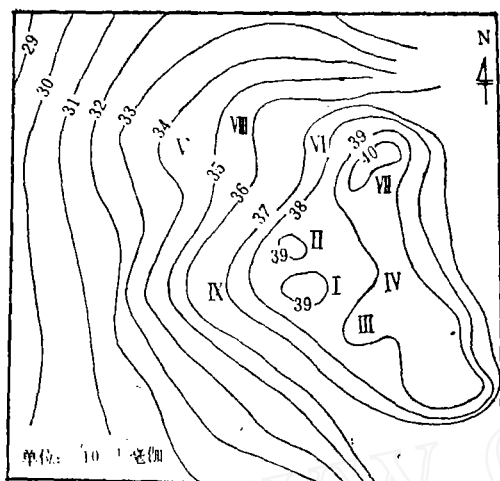


图 5

只相差450 γ 左右,和趋势分析结果基本吻合。我们还做过一条长的精测磁剖面,即图1中的11号剖面,以及通过航空磁测所确定

的区域背景值,基本上都一致。

确定了区域背景值后,我们对I号异常的中心剖面进行了正演计算,还有近400 γ 的剩余异常,对剩余异常进行反演后,推断该异常的深部有较大的矿体存在。

结论和几点体会

通过对晋南某磁异常的电算数据处理,以及对地质物探资料的综合分析,使我们对矿体的空间位置、形态、规模以及异常之间矿体的连续,均有了新的认识。看来I、VII、IX号异常并非像目前所验证的规模,它们所反映的矿体规模,应该至少和II号异常所反映的矿体的规模相同。

在解释电算成果时,要对物探和地质资料作综合分析,注意方法的应用条件。只有这样才能取得较好的地质效果。

吴努克头山铜钼矿区自然电流法的找矿效果

黑龙江省冶金地质勘探公司物探队 王大威

矿区地质概况

吴努克头山位于呼伦贝尔草原西部,1978年发现有较好的物化探异常,经钻探见铜钼矿体。矿区为丘陵地形,海拔700~900米,地面坡度10~15°,山形浑圆,地形切割较轻,植被不发育,山顶常有基岩裸露,谷地疏松盖层厚达20米以上。水系极不发育,没有河流。大陆性气候,年平均温度-2.6°C,最低-38°C,每年冰冻期6个月,年平均降水量300毫米,年蒸发量1282毫米,平均相对湿度69%,夏季常有大雨。

本区地质情况研究较差。矿区位于北东向深大断裂的北西侧,周围广泛分布着侏罗系中酸性火山岩和煤系地层,中间为一条北东向的隆起,由石炭系灰岩、砂板岩构成了倾没背斜的核部。有花岗岩、花岗斑岩侵入和火山岩的喷发。矿区位于一个花岗岩侵入体的东侧。岩体为中粒黑云母花岗岩,面积约100平方公里,在矿区周围强烈蚀变,主要有硅化、绢云母化和钾长石化,范围达10

平方公里,呈北东向延伸,由于强烈硅化作用,蚀变岩体皆成正地形。

地表矿化很弱,未见明显的铁帽,局部有孔雀石、铜华等次生矿物。氧化带深达50米左右,深部见黄铜矿、黝铜矿、斑铜矿、铜蓝、黄铁矿、辉钼矿等金属矿物。矿体含铜0.4~1%,含钼0.03~0.2%,矿化比较均匀,硫化物总含量一般为1~5%,最高可达10%以上。

自电异常和其它物化探异常特征

自然电流异常是在比例尺1:2万和1:5千的物化探测量过程中发现的。自电测量采用电位法工作,网度为50×20米。工作结果发现,在蚀变岩体范围内,有一连续而宽缓的自然电流异常带(图1),呈北东向延伸,连续延长5500米,宽1500~2000米,最大异常值一般-150至-200毫伏,最高-500毫伏。整个异常可分为两部分。北东部的异常为一环形异常,外环直径约2公里,环形异常的宽度为400~700米,中心是

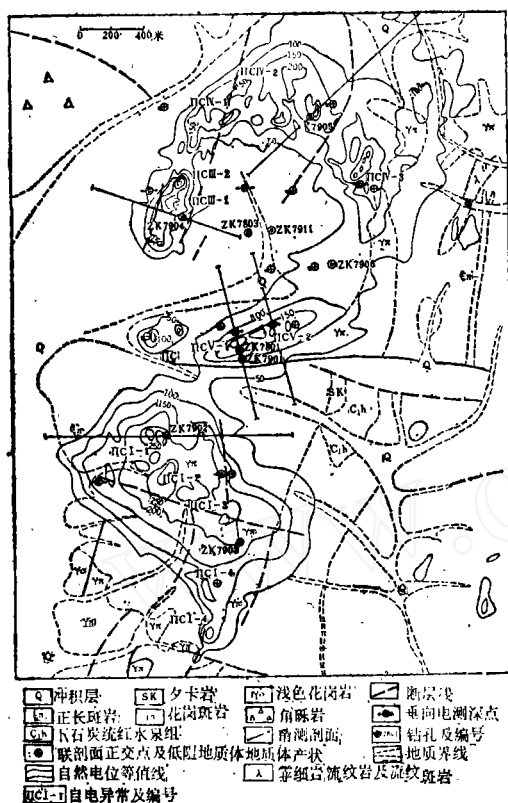


图 1

一面积为 0.5 平方公里的无异常区。整个异常由 II、III、IV、V 四段异常组成，其中 IV 号异常规模较大，呈弧形向北突出，长 2500 米，宽 700 米，最大异常值 -150 至 -330 毫伏，在宽缓的异常背景上，还叠加了一些局部异常，呈条带状，走向北东，宽 100 余米，长 200~300 米，梯度较大。各个异常的形态一般均不对称，环形外侧的异常梯度较缓，内侧较陡。I 号异常在环形异常之西南部，呈北西向延展，长 2000 米，宽 1200 米，异常值 -200 至 -500 毫伏，在宽缓的背景上也叠加了一些北东走向的异常。

自电异常几乎都分布在山脊部位, 异常轴线基本与山脊走向一致, 沿这些山脊分布着强蚀变的绢英岩及硅质岩, 外观呈灰色、灰褐色, 由物理风化崩塌成块状。根据电参数测定结果及电测深资料, 在自电异常中心, 岩石电性向下明显地分为两层, 从地表至50米左右深处为高电阻层, 电阻率 $1700 \sim 3600$ 欧姆·米, 由此向下为低阻层, 电阻率 $150 \sim 400$ 欧姆·米, 两者相差10倍左右。

在水平方向上，也看到这种电性的变

化。当用极距1000米作梯度测量时，在自电异常部位为一低阻带，视电阻率在数百欧姆·米以下，而在外侧一般可达1000欧姆·米以上，说明本区引起自电异常的地质体，在电性上和围岩有明显的电性差异。用 m 、 Q 法确定场源深度均在低阻体范围之内，说明自电异常和低阻体有密切的关系。

本区所有自电异常都和激发极化异常重叠出现,两者中心位置相近,激电异常的范围比自电异常的范围宽,视极化率异常值一般为10~12%,背景值为2~4%,按定量解释,激化体呈陡倾斜的厚板状,宽200~600米,顶部埋深40~60米。

自电异常和化探次生晕异常关系更为密切。沿环形异常内侧分布着一个铜钼化探异常带,两者中心位移80~200米,因而自电异常中心化探异常反而微弱。本区铜异常为100~2000Y/g,钼异常为10~300Y/g,沿铜钼异常的外侧分布着铅银铜异常和铅锌铜异常,异常断续出现,长达10公里以上。

· 为了验证物化探异常的性质, 布置钻孔 9 个, 有 4 个钻孔直接验证自电异常。验证结果良好, IV 号异常中心的 ZK 5 孔从 20 米至 240 米连续 219 米均见矿, 铜品位 0.46%; V 号异常上的 ZK 1 孔从 50 米向下, 累计见矿厚度为 120 米, 铜品位 0.4%; III 号异常的 ZK 4 孔目的在于验证次一级的自电异常和化探异常, 从 16 米至 264 米连续见钼矿 214 米, 平均钼含量 0.068%, 其他各孔也都见矿。布在环形异常中心的 ZK 11 孔, 孔深 400 余米, 但未见矿, 也未见蚀变岩石。由此证实了自电异常和铜钼矿的密切联系, 说明本区自然电流法是有效的找矿方法。

自电异常生成机制的讨论

本区的自电异常和地形呈倒象关系，异常是否属于山地电场有必要查明其来源。为此我们选择了附近的896、840两个高地（地形地质条件和矿区的相似），在大雨后的第二天和第五天，分别进行了自然电流剖面测量，剖面全长4500米（图2）。可以看出，整条剖面的自然电位值仅在±10毫伏间变化，并未发现任何与地形有联系的自电异常。

现在试从理论上来模拟这种过滤电场。假定渗透的地下水沿地形坡度向下流动时，

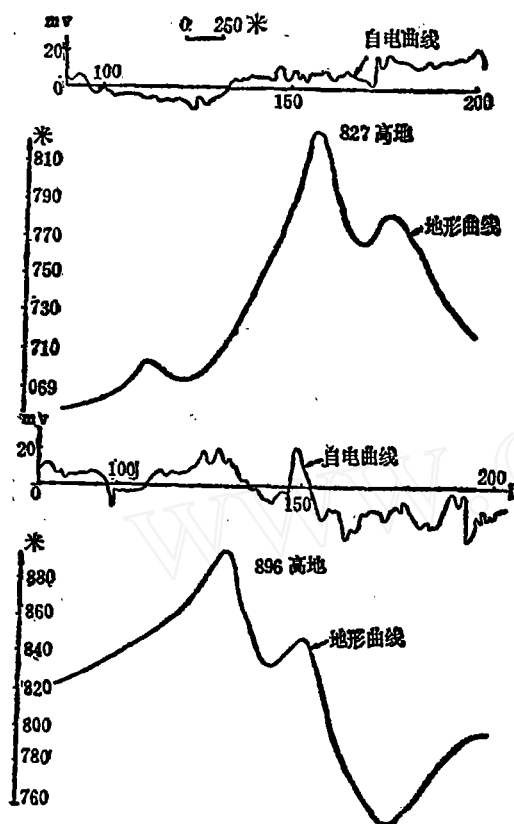


图 2

引起过滤方向上的电位增加,以V号自电异常为例,异常峰值-182毫伏,相对值-140毫伏,极值点正在山脊部位,地形起伏高差50米,按电位值和高度呈线性关系计算,每米电位梯度值为-2.8毫伏/米,由此得到一条过滤电位曲线(图3),可以看到两者完全不拟合,实测电位曲线显示出高频组分增强。实际上由于本区气候干燥,地下水位很深,无近地表潜水流,缺少形成山地电场的条件。

下面再从矿的因素来考虑自电异常的形成。假定自电异常在宏观上是由矿体的物质成分、结构、构造等综合因素产生的。根据钻孔的实测水位,地下水面深度在36~160米左右,扣除地形起伏的影响,各孔几乎保持同一水面标高,说明本区矿体有良好的地下水通道。假定

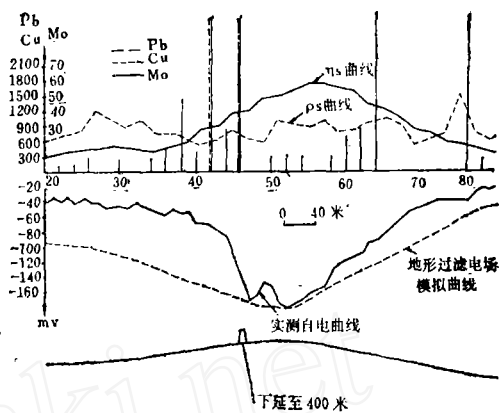


图 3

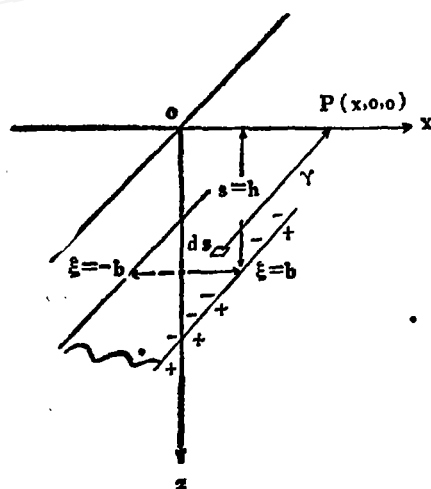


图 4

矿体呈均匀直立厚板状,由于氧化还原作用,潜水面上部介质将正电荷交给矿体形成负电性层,潜水面下部则形成正电性层,当水平宽度很大时,它们可看成一个水平的电偶层。设矿体走向长度为无限大,宽度为 $2b$,潜水面深度为 h ,电偶层矩为 τ ,按位场的偶层势理论,电偶层在空间的电位应满足下面的关系:

$$\begin{aligned}
 u &= \int_s \tau \operatorname{grad} \left(\frac{1}{r} \right) dS \\
 &= -\tau \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-b}^b \frac{h \, d\xi \, d\eta}{[(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\xi)^2]^{3/2}} \\
 &= \tau h \int_{-b}^b d\xi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d(y-\eta)}{[(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + h^2]^{3/2}} \\
 &= -2\tau h \int_{-b}^b \frac{d\xi}{(x-\xi)^2 + h^2} \\
 &= 2\tau \left(\operatorname{arctg} \frac{x-b}{h} - \operatorname{arctg} \frac{x+b}{h} \right)
 \end{aligned}$$

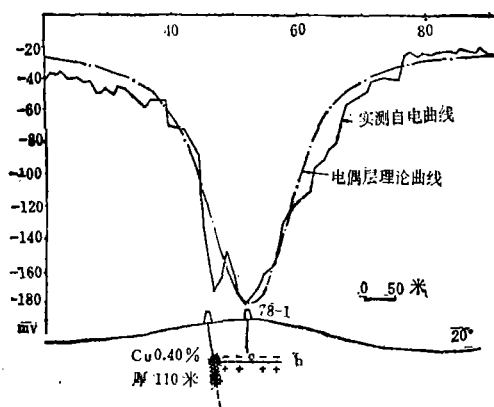


图 5

式中 x, y, z 为依附于观测空间的座标系, ξ, η, ζ 为依附于矿体的座标系(图4)。

为求得偶层矩 τ , 根据电位 u 经过偶层面产生 $4\pi\tau$ 突变, 可得:

$$u_+ - u_- = 4\pi\tau$$

$$\tau = \frac{u_+ - u_-}{4\pi} = \frac{\Delta u_0}{4\pi}$$

式中 Δu_0 为偶层电势差, 它应当等于矿体在氧化还原界面上的电位跳跃。由此得走向无限延长的水平电偶层的地面电位表达式:

$$u = \frac{\Delta u_0}{2\pi} \left(\arctg \frac{x-b}{h} - \arctg \frac{x+b}{h} \right)$$

选择本区有代表性的II号、V号剖面进行理论计算。II号剖面施工的ZK1孔, 水位深60米, 自电异常极值为-180毫伏, 异常宽约300米, 根据见矿厚度及电阻率剖面的低阻带宽度, 取 $2b=100$ 米, 按上式计算求得理论电位曲线(图5), 可以看出它和实测异常比较拟合, 根据拟合曲线求得矿体的电位跳跃 $\Delta u_0=720$ 毫伏。

V号剖面施工ZK5孔, 水位深160米, 自电异常呈宽缓形态。电位极值-160毫伏, 异常宽度1100米, 如按 Q, m 参数解释, 场源中心埋深达300余米。仍用上述关于水平电偶层的讨论, 按电阻率剖面低阻层的宽度, 取 $2b=500$ 米, $h=160$ 米, 得到理论电位曲线(图6), 可以看出它和实测曲

线相当拟合; 根据拟合曲线得到偶层电位跳跃 $\Delta u_0=470$ 毫伏。

为了检验上述结果, 从ZK5, ZK1等孔采取矿心, 将其半浸没在 $pH=6$ 的水槽中, 用甘汞双参比电极代用不极化电极作为一个极, 放在水槽中, 另一极为铜电极直接和矿石表面接触, 用直流电位差计测定电位差, 考虑到参比电位, 每次测定均减去底数, 其结果列如下表:

标本所在位置 (米)	Δu_0 毫 伏	标本所在位置 (米)	Δu_0 毫 伏
ZK 5 24	50	ZK-1 77	110
" 30.5	10	" 303	110
" 97.5	600	ZK-2 450	150
" 149	650	ZK-11 296	0
" 160	180	(正常岩石)	
" 187	220		
" 200	210		
" 231	260		

从上表可以看出, 本区矿石有电位跳跃存在, 其值与理论值接近。

按电偶层求得的理论曲线比较对称, 而实测曲线都稍有不对称, 如VI号剖面, 异常极值为-172毫伏, 北西翼缓, 南东翼陡, 极值位于山脊以西80米处, 用地形不对称解释不了。从 ρ_s 剖面曲线可以看出, 自电异常处于低阻 ρ_1 的围岩上, 其东南侧与高阻 ρ_2 围岩相邻, 在地质上恰好是强硅化带的核心。 ρ_1 约100~200欧姆·米, ρ_2 大于1500欧姆·米, $\rho_1 \ll \rho_2$ 。由于电阻分界面的反射, 使异常中心向界面处位移, 从而使南东翼的梯度变陡。

仍用电偶层模型来分析, 设界面位于偶层右边界点 b 处(图7), 在 ρ_2 介质中存在偶层的电象, 其边界为 b 和 $3b$ 点。在 ρ_1 介质中, 电位 u_1 为:

$$u_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-b}^b \frac{-\tau h d\xi d\eta}{[(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + h^2]^{3/2}}$$

$$+ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-b}^b \frac{-K_{12} \tau h d\xi d\eta}{[(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + h^2]^{3/2}}$$

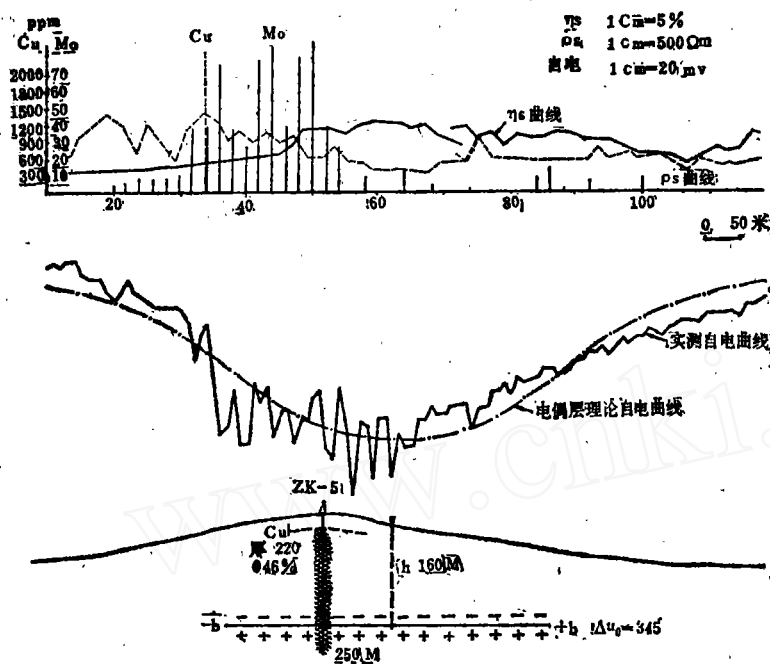


图 6

$$= 2\tau \left(\arctg \frac{x-b}{h} - \arctg \frac{x+b}{h} \right) + 2K_{12} \left(\arctg \frac{x-3b}{h} - \arctg \frac{x-b}{h} \right)$$

在 ρ_2 介质中

$$u_2 = 2(1-K_{12})\tau \left(\arctg \frac{x-b}{h} - \arctg \frac{x+b}{h} \right)$$

式中 $K_{12} = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$ 为反射系数;

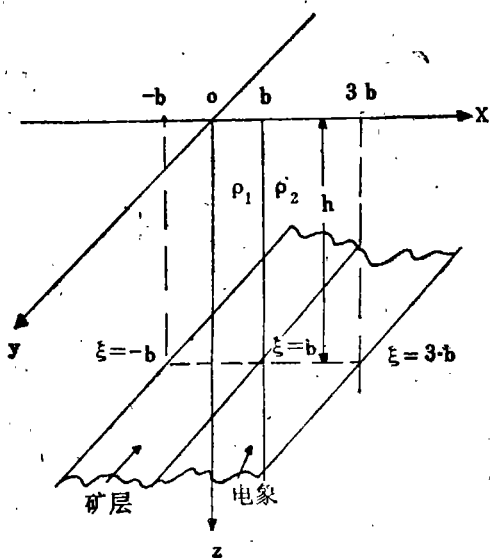


图 7

h 为偶层深度,
 τ 为偶层矩。
 取 $\rho_1 = 200$ 欧姆
 米,
 $\rho_2 = 2000$ 欧姆
 米,
 $h = 80$ 米,
 $2b = 100$ 米,
 $2\tau = 90$ 米, 代入上
 式得 IV 号剖面的理论曲
 线 (图 8), 可以看出
 和实测曲线比较拟合。
 围岩介质的电性不均匀
 是影响曲线形态的重要
 因素。

结 语

吴努克头山斑岩型
 铜钼矿床的发现, 物化

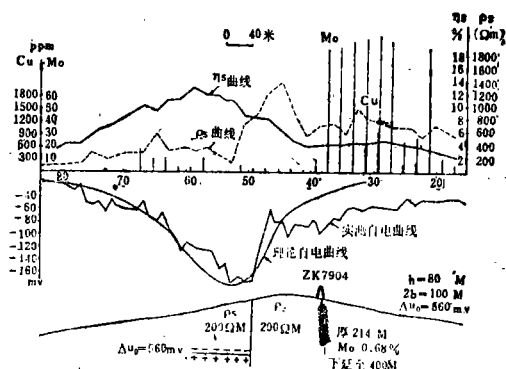


图 8

探工作起了关键作用。特别是在本区发现了
 很明显的自电异常, 根据异常所圈定的矿体
 都得到了见矿的验证, 因此认为自电异常是
 矿体的直接反映。

与其他方法相比, 自然电流法的特点
 是: 轻便, 效率高, 成本低。通过对自电异
 常的数学物理解释, 适当配合其他方法, 对
 矿体的形态和产状能得到一个比较完整的概
 念。初步认为本区的斑岩铜钼矿床是一个向

四周倾斜的圆筒状矿体，直径2~3公里。南部 I 号异常可能是另一个含矿体。

形成本区自电异常的主要因素，是地下

水和矿体的物理化学过程。地下水的深度和矿体与斑岩电性的差异，控制了自电异常的形态。

汞的迁移转化和壤中汞气异常的形成

胡国廉 田俊杰 赖文明 常凤池 李德亮

实践证明，壤中汞气地球化学找矿方法，在我国铜、铅、锌、钨、锡、钼、汞、锑、金以及铁矿上都有一定的效果。由于在厚层运积物覆盖区它比次生晕等方法的效果好，故其试验和应用正不断扩大。但在工作方法、数据质量、应用条件和异常评价方面尚存在许多问题。我们认为，这些问题涉及到壤中汞气异常的形成机理和影响因素两个方面，而这两方面的深入研究又都必须先搞清汞的迁移和转化。本文就是试图从深部汞源中的汞和土壤中的汞之迁移、转化，探讨汞气异常形成等问题。

深部汞源的转化和迁移

前面提到的若干种金属矿床，在其矿石矿物和脉石矿物中含汞（表1），是大家知道的。矿体周围发育着汞的原生晕，也屡见报道。但在盲矿体中，这些固体矿物中的汞，是怎样与土壤中的汞气相联系，其发育

又受哪些因素控制，都还没有充足的材料说明。一般认为是成矿过程残留的汞气，或含汞矿物气化解造成的，即认为汞是自深部以气态向上迁移。那么，渗透着地下水的岩层和断裂，对气态汞的迁移必然是一种障碍。我们在凡口铅锌矿，在地表有壤中汞气异常地段之下部坑道，从控矿断裂破碎带（含水）里所测游离气态汞的含量，一般确实很低（表2）。因此汞以气态从深部穿透渗水的岩层（或断层）向地表迁移的假说，很难解释埋藏深、在潜水面下的盲矿体可以产生壤中汞气异常的事实。这便给我们提出一个新问题：汞是否还有另外的迁移形式？Leckie等对三种价态的汞在pH—Eh坐标系

坑道断裂破碎带中汞气含量(ng/m³) 表2

深度 (米)	F3		F4		F101		F102	
	样品数	平均	样品数	平均	样品数	平均	样品数	平均
-120	8	16			2	25		
-160	8	6.8	1	2	2	4	1	1
-200	8	18	1	1	8	11	2	2

若干矿物中汞的含量(ppm)范围 表1

铜矿	10~1000	自然金	1~100
锑矿	5~500	自然银	1~100
闪锌矿	0.1~200	重晶石	0.2~200
辉锑矿	0.1~150	白铅矿	0.1~200
雄黄	0.2~150	白云石	0.1~50
黄铁矿	0.1~100	萤石	0.01~50
方铅矿	0.04~70	方解石	0.01~20
黄铜矿	0.1~40	菱铁矿*	0.02~30
斑铜矿	0.1~30	石英	0.01~2
车轮矿	0.1~25	软锰矿	1~1000
辉铜矿	0.1~25	褐铁矿	0.1~500
白铁矿	0.1~20	赤铁矿*	0.02~0.05
磁黄铁矿	0.1~5	磁铁矿*	0.1~0.5
辉钼矿	0.1~5	锡石**	0.1~450
毒砂	0.1~3	黑钨矿**	0.1
雄黄	0.1~3	镓黄铁矿**	46

注：*为作者所在单位资料；**引自《汞的原生分散》，其他引自Jonasson和Boyle。

中稳定场的研究成果（图1），对我们有很大启示。若将硫化矿床酸性矿体水的范围投影于其中，则可以发现此位置并非气态汞的稳定场。这是否可以认为，含汞矿物甚至包括由它们分解的游离汞，能转化为更稳定的HgCl₂形式呢？为此，我们首先分析HgS在这条件下溶解的可能性。在溶液中存在Cl⁻浓度为3.5ppm时，HgS溶解度增加408倍，而Pb、Zn、Cd的硫化物只增加8~39倍，Cl⁻浓度为350ppm时，HgS溶解度增加44230倍（据Hahne等）。为进一步证实汞的可溶性，我们用5%Fe₂(SO₄)₃-1%NaCl溶液，在13℃时冷浸各种矿石。从16个矿区9种矿石的49个样品实验结果，证实了汞明显