

找矿勘探



某岩体含铂矿石钨铌钼品位预报方程的建立

四川省地质局 彭玉璋 姜显超 甘伟贤

中国科学院地球化学研究所 战新志

硫化铜镍矿床中伴生的铂族元素以Pt、Pd为主，Os、Ru、Ir、Rh含量通常较低，但价格比Pt、Pd昂贵得多。如何综合评价这些含量较低的伴生铂族元素是普查勘探工作应解决的问题之一。一种作法是将主金属Ni、Cu及6种铂族元素一并列入样品的基本分析项目，这样做便于储量计算，但将增加试金分析工作量，影响矿床勘探速度；另一种作法是只将Ni、Cu、Pt、Pd列入基本分析项目，其余4种伴生铂族元素仅在组合分析样品中进行测定，这样虽节省大量试金分析，却又给储量计算带来困难。本文应用一元线性回归分析方法，尝试依据若干代表性钻孔含铂矿石的基本分析数据，利用Os、Ru、Ir、Rh含量的密切相关关系建立预报方程，以期在只测定矿石中Ru含量的前提下，对Os、Ir、Rh品位进行预报，并讨论了预报的精确度和实际应用的可能性。

含铂岩体地质简述

含铂岩体群位于青藏滇“歹”字型构造头部和金汤弧型构造的复合部位，处于四级倒转背斜的近轴部地段，呈北北西—南南东向展布。

含铂岩体均呈岩床状，顺层侵位于石炭纪绢云母石英片岩、大理岩、炭质石英岩和硅质板岩中，与地层同步褶皱。岩体规模不一，以I、II号岩体最大，走向长1.5~2.4公里，倾斜延深0.3~0.5公里，厚0.1~0.3公里（图1、2）。

岩体的自变质作用强烈，原岩已完全蛇纹石化、滑石化、次闪石化、滑石菱镁岩化和钠黧帘石化。但仍可根据残留构造恢复部

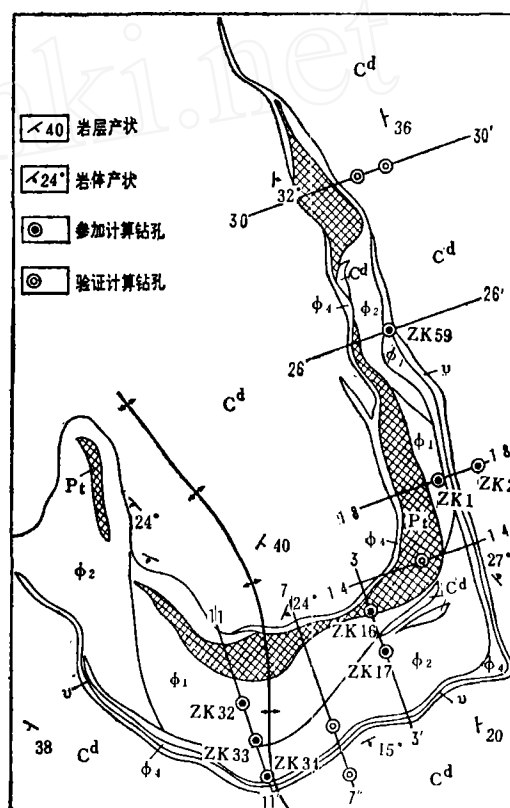


图1 I号岩体地质图

C^d—绢云英片岩、大理岩、炭质石英岩； ϕ_1 —全蛇纹石、滑石化辉（二辉）橄辉岩； ϕ_2 —全滑石化二辉 橄辉岩； ϕ_4 —全次闪石化单辉（二辉）辉石岩；u—蚀变辉长岩；Pt—铂矿体

分原岩名称。

规模较大的岩体都具有垂直分异特征，显示了平行带状分布特点。岩体下盘基性程度高，自底盘至上部基性程度递减。岩体底盘接触带为薄层状蛇纹石化、次闪石化辉石岩及橄辉岩，向上部依次为全蛇纹石化、滑

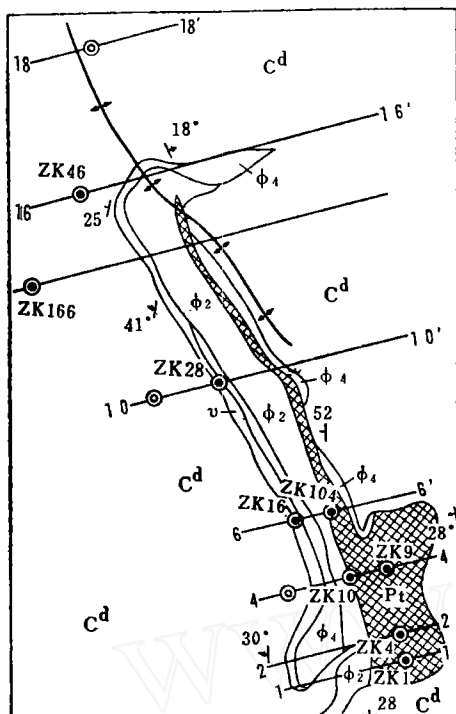


图2 II号岩体地质图
(图例同图1)

石化方辉橄榄岩及二辉橄榄岩；次闪石化单辉辉石岩；岩体最上部为变质辉长岩，其中以二辉橄榄岩和方辉橄榄岩为主。除变质辉长岩外，各岩相间呈渐变过渡关系。

上述岩相除变质辉长岩不含矿外，其他各岩相均具有不同程度的铂镍矿化，尤以分布在岩体下部或近底盘的二辉橄榄岩相含矿性最好，主要矿体一般都产于该岩相内。

岩石的化学成分特点是富铁、贫镁。 $m/f=2.6\sim4.9$ ，属铁质超基性岩—基性岩杂岩。岩体类型相当于橄榄岩—辉石岩—辉长岩型。

含铂镍矿体可分为岩浆熔离型、接触交代(?)型、热液细脉浸染型及熔离—贯入型四种。岩浆熔离型含铂矿体多呈规模较大的似层状，与所处岩体产状吻合。它是由浸染状、海绵陨铁状和致密块状矿石组成。

铂族元素矿化以Pd为主，Pd:Pt约为2:1。各类矿石内已发现的金属矿物和铂族元素矿物40余种，以硫化物为主，次为砷化物、氧化物、氢氧化物，再次为碲化物、碲砷化物、碲化物、铋化物、砷化物、自然元素及金属互化物。主要金属矿物是磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、紫硫镍矿、磁

铁矿、铬铁矿、钛铁矿、辉砷钴矿、硫钴矿。主要铂族矿物有等轴碲铋矿、六方碲铋矿、砷铂矿等10余种。

铂族元素和Cu、Co、Au、Ag、Se、Te等伴生元素赋存于镍矿体内。Ni与铂族元素呈正相关，与其他伴生有益组分也多呈正相关。

矿体成因类型的多样性反映了铂族元素成矿作用期长，具有多阶段成矿的特点。岩浆熔离阶段和熔离—贯入阶段无疑是本区铂族元素矿化的主要阶段，岩浆期后作用对铂族元素的富集起到了局部的叠加作用。

I号岩体钨铀铋品位预报方程及其方差分析

I号岩体参加计算的矿石和含矿岩石有464组基本分析数据，包括4个钻孔剖面、8个钻孔中Ni>0.2%的所有样品在内，它们基本上能代表该岩体沿走向和倾斜方向的矿石品位变化情况(见图1)。对于参加计算样品的取舍避免了任何人为的选择性。

上述样品经过电算处理得到矿石多元素相关系数矩阵(表1)。

I号岩体含铂矿石多元素相关系数矩阵 表1

	Ni	Pt	Pd	Os	Ru	Ir	Rh
Ni	1						
Pt	0.82	1					
Pd	0.67	0.85	1				
Os	0.88	0.67	0.47	1			
Ru	0.87	0.66	0.49	0.992	1		
Ir	0.89	0.67	0.48	0.994	0.993	1	
Rh	0.91	0.72	0.54	0.987	0.991	0.991	1

样品数N=464；相关系数显著最低值 $r<0.18$ ，显著性水平 $\alpha=0.01$ 。

数理统计表明，该岩体含铂矿石中Os、Ru、Ir、Rh四个元素之间均呈高度显著的正相关，这就为建立预报方程提供了必要的前提条件。

将464个样品按自变量Ru品位的高低分成两组，一组样品 $Ru<0.1$ 克/吨，另一组样品 $Ru\geq 0.1$ 克/吨，按公式

$$t_f = \frac{|b_1 - b_2|}{\sqrt{\frac{Q_1 + Q_2}{N_1 + N_2 - 4} \left(\frac{1}{l_{x_1 x_1}} + \frac{1}{l_{x_2 x_2}} \right)}}$$

进行t分布检验,分别得到: $t_{480} = 1.677$ (Os—Ru)、 $t_{480} = 0.080$ (Ir—Ru) 和 $t_{480} = 1.821$ (Rh—Ru)。查t分布表,只有 $t_{480}(\text{Ir—Ru}) < t_{0.10}^{\infty}(1.645)$, 说明两组样品的Ir对Ru的回归系数无显著差异,故无论高品位矿石与低品位含矿岩石皆可应用统一的回归直线方程式进行计算;而Os对Ru和Rh对Ru的t值界于 $t_{0.01}^{\infty}$ 与 $t_{0.05}^{\infty}$ 之间,表明两组数据的回归系数 b_1 与 b_2 有相当程度的差异,应分别计算其回归直线方程式。

兹以Ru为自变量,Os、Ir、Rh为因变量,计算各元素对的回归直线方程如下:

$$\hat{Y}_{\text{Ir}} = 0.001868 + 0.627534X_{\text{Ru}} \quad (1)$$

$$\hat{Y}_{\text{Os}} = 0.001692 + 0.793628X_{\text{Ru}} \quad (\text{Ru} < 0.1 \text{克/吨}) \quad (2)$$

$$\hat{Y}_{\text{Os}} = 0.003383 + 0.837141X_{\text{Ru}} \quad (\text{Ru} \geq 0.1 \text{克/吨}) \quad (3)$$

$$\hat{Y}_{\text{Rh}} = -0.002294 + 0.578316X_{\text{Ru}} \quad (\text{Ru} < 0.1 \text{克/吨}) \quad (4)$$

$$\hat{Y}_{\text{Rh}} = 0.010677 + 0.54541X_{\text{Ru}} \quad (\text{Ru} \geq 0.1 \text{克/吨}) \quad (5)$$

应该指出,因变量的回归值 ($\hat{Y}_0$) 与实测值 (Y) 之差随自变量 (X) 的变化而变化,在低品位含矿岩石部分,它们的绝对误差 $|Y - \hat{Y}_0|$ 较小,相对误差 $\frac{|Y - \hat{Y}_0|}{Y}$ 较大,对于高品位矿石来说则恰好相反。为了

求出因变量的实测值 (Y) 与回归值 ($\hat{Y}$)

的平均变差的大小,按公式 $s = \sqrt{\frac{Q}{N-2}}$ 计

算了它们的剩余标准差,分别得到: $s_1 = 0.0042$ (Ir—Ru)、 $s_2 = 0.0026$ (Os—Ru, $\text{Ru} < 0.1 \text{克/吨}$)、 $s_3 = 0.0407$ (Os—Ru, $\text{Ru} \geq 0.1 \text{克/吨}$)、 $s_4 = 0.0027$ (Rh—Ru, $\text{Ru} < 0.1 \text{克/吨}$)、 $s_5 = 0.0243$ (Rh—Ru, $\text{Ru} \geq 0.1 \text{克/吨}$)。

于是,我们以95%的概率作下述预报:

$$Y'_{\text{Ir}} = a - 2s + bX_{\text{Ru}} = -0.006473 + 0.627534X_{\text{Ru}} \quad (6)$$

$$Y''_{\text{Ir}} = a + 2s + bX_{\text{Ru}} = 0.010209 + 0.627534X_{\text{Ru}} \quad (7)$$

第一组 ($\text{Ru} < 0.1 \text{克/吨}$)

$$Y'_{\text{Os}} = -0.003586 + 0.793628X_{\text{Ru}} \quad (8)$$

$$Y''_{\text{Os}} = 0.00697 + 0.793628X_{\text{Ru}} \quad (9)$$

$$Y'_{\text{Rh}} = -0.007628 + 0.578316X_{\text{Ru}} \quad (10)$$

$$Y''_{\text{Rh}} = 0.00304 + 0.578316X_{\text{Ru}} \quad (11)$$

第二组 ($\text{Ru} \geq 0.1 \text{克/吨}$)

$$Y'_{\text{Os}} = -0.07802 + 0.837141X_{\text{Ru}} \quad (12)$$

$$Y''_{\text{Os}} = 0.084786 + 0.837141X_{\text{Ru}} \quad (13)$$

$$Y'_{\text{Rh}} = -0.03799 + 0.54541X_{\text{Ru}} \quad (14)$$

$$Y''_{\text{Rh}} = 0.059344 + 0.54541X_{\text{Ru}} \quad (15)$$

可以预料,在全部可能出现的Y值中,大约有95%的点落在Y'和与其相对应的Y''这两条直线所夹的范围内(图3)。

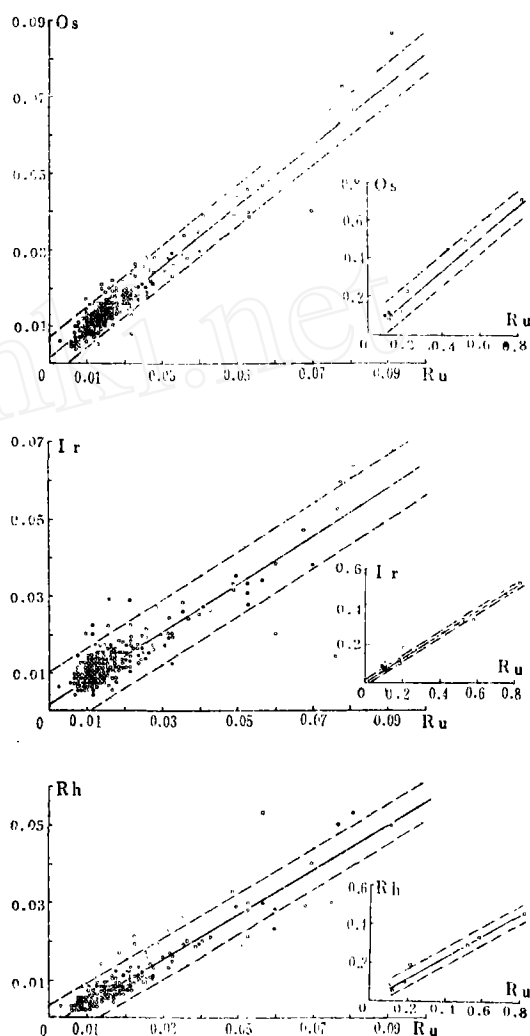


图3 I号岩体含铂矿石Os、Ir、Rh对Ru (品位)的回归直线

II号岩体钨铋铈品位预报方程及其方差分析

II号岩体参加计算的矿石和含矿岩石有921组基本分析数据,包括7个钻孔剖面、9个钻孔中Ni>0.2%的所有样品在内(其中ZK—9全部样品参加了计算)。它们大体上能代表该岩体沿走向和倾斜方向的矿石品位变化情况(见图2)。

将921个样品分成两组进行t分布检验, 分别得到: $t_{0.17} = 6.482$ (Os—Ru)、 $t_{0.17} = 3.119$ (Ir—Ru)、 $t_{0.17} = 5.135$ (Rh—Ru)。它们皆大于 $t_{\infty}^{0.01} = 2.576$, 说明两组样品的回归系数在0.01水平上有显著差异。

兹分别计算两组数据Os、Ir、Rh对Ru的回归直线方程:

第一组 ($Ru < 0.1$ 克/吨)

$$\hat{Y}_{Os} = 0.002046 + 0.822318X_{Ru} \quad (16)$$

$$\hat{Y}_{Ir} = 0.002663 + 0.598296X_{Ru} \quad (17)$$

$$\hat{Y}_{Rh} = -0.001629 + 0.625282X_{Ru} \quad (18)$$

第二组 ($Ru \geq 0.1$ 克/吨)

$$\hat{Y}_{Os} = 0.009036 + 0.713445X_{Ru} \quad (19)$$

$$\hat{Y}_{Ir} = 0.003876 + 0.646357X_{Ru} \quad (20)$$

$$\hat{Y}_{Rh} = 0.035293 + 0.473156X_{Ru} \quad (21)$$

经计算, 回归直线方程 (10) — (15) 的剩余标准差 (s) 分别为: 第一组 ($Ru < 0.1$ 克/吨) $s_6 = 0.0033$ (Os—Ru)、 $s_7 = 0.0032$ (Ir—Ru)、 $s_8 = 0.0040$ (Rh—Ru); 第二组 ($Ru \geq 0.1$ 克/吨) $s_9 = 0.027$ (Os—Ru)、 $s_{10} = 0.023$ (Ir—Ru)、 $s_{11} = 0.067$ (Rh—Ru)。

于是, 我们以95%的概率作下述预报:

第一组 ($Ru < 0.1$ 克/吨)

$$Y'_{Os} = -0.004557 + 0.822318X_{Ru} \quad (22)$$

$$Y''_{Os} = 0.008649 + 0.822318X_{Ru} \quad (23)$$

$$Y'_{Ir} = -0.00369 + 0.598296X_{Ru} \quad (24)$$

$$Y''_{Ir} = 0.009016 + 0.598296X_{Ru} \quad (25)$$

$$Y'_{Rh} = -0.009714 + 0.625282X_{Ru} \quad (26)$$

$$Y''_{Rh} = 0.006476 + 0.625282X_{Ru} \quad (27)$$

$$Y'_{Rh} = 0.006476 + 0.625282X_{Ru} \quad (27)$$

第二组 ($Ru \geq 0.1$ 克/吨)

$$Y'_{Os} = -0.044582 + 0.713445X_{Ru} \quad (28)$$

$$Y''_{Os} = 0.062654 + 0.713445X_{Ru} \quad (29)$$

$$Y'_{Ir} = -0.042171 + 0.646357X_{Ru} \quad (30)$$

$$Y''_{Ir} = 0.049923 + 0.646357X_{Ru} \quad (31)$$

$$Y'_{Rh} = -0.085978 + 0.473156X_{Ru} \quad (32)$$

$$Y''_{Rh} = 0.156564 + 0.473156X_{Ru} \quad (33)$$

可以预料, 在全部可能出现的Y值中, 大约有95%的点落在Y'和与其相对应的Y''这两条直线所夹的范围内 (图4)。

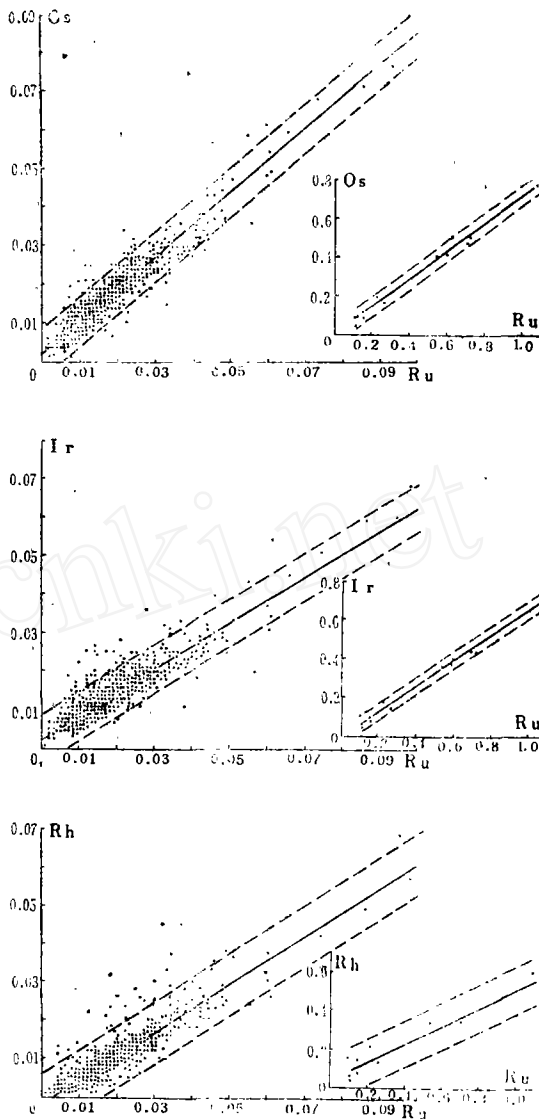


图4 II号岩体含铂矿石Os、Ir、Rh对Ru (品位)的回归直线

验证计算

为了验证预报方程 (1) — (5) 和 (16) — (21) 的准确性, 我们在I号岩体选了5个钻孔, 在II号岩体选了3个钻孔分别进行了验证计算。验证方法是: 将矿石Ru的分析品位分别代入有关预报方程中, 求出Os、Ir、Rh的预报值, 然后与它们的实测值逐个地加以比较, 并计算其剩余标准差 (s), 此值即为预报精度的平均值。

计算结果如下。I号岩体: $s_{12} = 0.0025$ (Os—Ru)、 $s_{13} = 0.0027$ (Ir—Ru)、 $s_{14} = 0.0024$ (Rh—Ru); II号岩体:

含铂矿石Os、Ir、Rh品位的预报值与实测值对比表

表 2

钻孔号	样号	Ru	Os			Ir			Rh		
		实测值 (X)	实测值 (Y)	预报值 ($\hat{Y}_0$)	$Y - \hat{Y}_0$	实测值 (Y)	预报值 ($\hat{Y}_0$)	$Y - \hat{Y}_0$	实测值 (Y)	预报值 ($\hat{Y}_0$)	$Y - \hat{Y}_0$
ZK—167	B 484	0.017	0.013	0.016	-0.003	0.011	0.013	-0.002	0.007	0.009	-0.002
"	486	0.013	0.010	0.013	-0.003	0.009	0.010	-0.001	0.007	0.006	+0.001
"	489	0.010	0.011	0.010	+0.001	0.008	0.009	-0.001	0.006	0.005	-0.001
"	491	0.010	0.010	0.010	0	0.008	0.009	-0.001	0.004	0.005	-0.001
"	492	0.012	0.010	0.012	-0.002	0.009	0.010	-0.001	0.006	0.006	0
"	493	0.021	0.023	0.019	+0.004	0.015	0.015	0	0.008	0.012	-0.004
"	494	0.019	0.018	0.018	0	0.012	0.014	-0.002	0.008	0.010	-0.002
"	495	0.017	0.015	0.016	-0.001	0.013	0.013	0	0.008	0.009	-0.001
"	496	0.024	0.023	0.022	+0.001	0.015	0.017	-0.002	0.016	0.013	+0.003
"	497	0.019	0.018	0.018	0	0.013	0.014	-0.001	0.010	0.010	0
"	498	0.010	0.010	0.010	0	0.008	0.009	-0.001	0.004	0.005	-0.001
"	499	0.017	0.016	0.016	0	0.015	0.013	+0.002	0.011	0.009	+0.002
"	500	0.085	0.075	0.072	+0.003	0.059	0.054	+0.005	0.045	0.052	-0.007
"	501	0.11	0.085	0.087	-0.002	0.075	0.075	0	0.080	0.056	+0.024
"	502	0.011	0.010	0.011	-0.001	0.010	0.009	+0.001	0.004	0.005	-0.001
"	503	0.023	0.018	0.021	-0.003	0.014	0.016	-0.002	0.014	0.013	+0.001
"	504	0.012	0.014	0.012	+0.002	0.012	0.010	+0.002	0.006	0.006	0
"	505	0.013	0.013	0.013	0	0.010	0.010	0	0.005	0.006	-0.001
"	506	0.032	0.021	0.028	-0.007	0.014	0.022	-0.008	0.014	0.018	-0.004
"	507	0.014	0.013	0.014	-0.001	0.010	0.011	-0.001	0.006	0.007	-0.001
"	509	0.013	0.010	0.013	-0.003	0.008	0.010	-0.002	0.007	0.006	+0.001
"	510	0.008	0.010	0.009	+0.001	0.008	0.007	+0.001	0.005	0.003	+0.002
ZK—12	Z 4569	0.020	0.018	0.018	0	0.012	0.015	-0.003	0.007	0.011	-0.004
"	4570	0.032	0.043	0.028	+0.015	0.037	0.022	+0.015	0.014	0.018	-0.004
"	4571	0.025	0.023	0.023	0	0.015	0.018	-0.003	0.009	0.014	-0.005
"	4572	0.015	0.015	0.014	+0.001	0.010	0.012	-0.002	0.006	0.008	-0.002
"	4573	0.044	0.041	0.038	+0.003	0.030	0.029	+0.001	0.021	0.026	-0.005
"	4574	0.032	0.029	0.028	+0.001	0.019	0.022	-0.003	0.016	0.018	-0.002
"	4575	0.016	0.019	0.015	+0.004	0.016	0.012	+0.004	0.007	0.008	-0.001
"	4577	0.014	0.017	0.014	+0.003	0.014	0.011	+0.003	0.005	0.007	-0.002
"	Z 4578	0.012	0.015	0.012	+0.003	0.010	0.010	0	0.004	0.006	-0.002
"	4580	0.020	0.020	0.018	+0.002	0.015	0.015	0	0.008	0.011	-0.003
"	4581	0.011	0.012	0.011	+0.001	0.008	0.009	-0.001	0.005	0.005	0
"	4582	0.008	0.006	0.009	-0.003	0.007	0.007	0	0.002	0.003	-0.001
ZK—30	Z 2837	0.013	0.013	0.013	0	0.007	0.010	-0.003	0.005	0.006	-0.001
"	2838	0.013	0.012	0.013	-0.001	0.007	0.010	-0.003	0.004	0.006	-0.002
"	2839	0.015	0.015	0.014	+0.001	0.009	0.012	-0.003	0.006	0.008	-0.002
"	2840	0.015	0.013	0.014	-0.001	0.010	0.012	-0.002	0.006	0.008	-0.002
"	2841	0.011	0.010	0.011	-0.001	0.013	0.009	+0.004	0.005	0.005	0
"	2846	0.013	0.012	0.013	-0.001	0.008	0.010	-0.002	0.005	0.006	-0.001
"	2848	0.015	0.011	0.014	-0.003	0.007	0.012	-0.005	0.006	0.008	-0.002
"	2849	0.013	0.014	0.013	+0.001	0.013	0.010	+0.003	0.007	0.006	+0.001
"	2850	0.020	0.019	0.018	+0.001	0.013	0.015	-0.002	0.011	0.011	0
"	2851	0.013	0.013	0.013	0	0.009	0.010	-0.001	0.006	0.006	0
"	2858	0.013	0.013	0.013	0	0.008	0.010	-0.002	0.006	0.006	0
"	2859	0.050	0.045	0.043	+0.002	0.028	0.033	-0.005	0.021	0.030	-0.009
"	2860	0.016	0.014	0.015	-0.001	0.008	0.012	-0.004	0.005	0.008	-0.003
"	2861	0.012	0.010	0.012	-0.002	0.009	0.010	-0.001	0.005	0.006	-0.001

续表 2

钻孔号	样号	Ru	Os			Ir			Rh		
		实测值 (X)	实测值 (Y)	预报值 ($\hat{Y}_0$)	$Y - \hat{Y}_0$	实测值 (Y)	预报值 ($\hat{Y}_0$)	$Y - \hat{Y}_0$	实测值 (Y)	预报值 ($\hat{Y}_0$)	$Y - \hat{Y}_0$
ZK—30	2862	0.025	0.023	0.023	0	0.015	0.018	-0.003	0.008	0.014	-0.006
"	2863	0.015	0.013	0.014	-0.001	0.008	0.012	-0.004	0.006	0.008	-0.002
"	2864	0.012	0.011	0.012	-0.001	0.007	0.010	-0.003	0.005	0.006	-0.001
"	2865	0.014	0.013	0.014	-0.001	0.011	0.011	0	0.007	0.007	0
"	2866	0.018	0.013	0.017	-0.004	0.009	0.013	-0.004	0.007	0.010	-0.003
"	2867	0.017	0.013	0.016	-0.003	0.009	0.013	-0.004	0.006	0.009	-0.003
"	2868	0.013	0.011	0.013	-0.002	0.008	0.010	-0.002	0.006	0.008	0
"	2870	0.012	0.009	0.012	-0.003	0.008	0.010	-0.002	0.005	0.006	-0.001
"	2871	0.011	0.008	0.011	-0.003	0.007	0.009	-0.002	0.004	0.005	-0.001
"	2874	0.012	0.009	0.012	-0.003	0.008	0.010	-0.002	0.005	0.008	-0.001
"	2875	0.009	0.008	0.009	-0.001	0.006	0.008	-0.002	0.005	0.004	+0.001
"	2876	0.015	0.011	0.014	-0.003	0.009	0.012	-0.003	0.007	0.008	-0.001
KZ—30	Z 2882	0.010	0.010	0.010	0	0.009	0.009	0	0.007	0.005	+0.002
"	2883	0.020	0.014	0.018	-0.004	0.016	0.015	+0.001	0.011	0.011	0
"	2884	0.019	0.015	0.018	-0.003	0.013	0.014	-0.001	0.009	0.010	-0.001
"	2885	0.016	0.011	0.015	-0.004	0.008	0.012	-0.004	0.008	0.008	0
"	2886	0.010	0.007	0.010	-0.003	0.006	0.009	-0.003	0.004	0.005	-0.001
"	2887	0.014	0.012	0.014	-0.002	0.009	0.011	-0.002	0.007	0.007	0
"	2888	0.018	0.016	0.017	-0.001	0.012	0.013	-0.001	0.010	0.010	0
"	2889	0.026	0.020	0.023	-0.003	0.012	0.018	-0.006	0.011	0.015	-0.004
"	2890	0.029	0.024	0.026	-0.002	0.015	0.020	-0.005	0.014	0.017	-0.003
"	2891	0.028	0.020	0.025	-0.005	0.014	0.019	-0.005	0.012	0.016	-0.004
"	2892	0.016	0.013	0.015	0	0.009	0.012	-0.003	0.006	0.008	-0.002
"	2893	0.016	0.013	0.015	-0.002	0.008	0.012	-0.004	0.007	0.008	-0.001
"	2894	0.016	0.015	0.015	0	0.009	0.012	-0.003	0.006	0.008	-0.002
"	2897	0.013	0.015	0.017	-0.002	0.008	0.013	-0.005	0.006	0.010	-0.004
"	2898	0.020	0.016	0.018	-0.002	0.011	0.015	-0.004	0.008	0.011	-0.003
"	2903	0.013	0.013	0.013	0	0.006	0.010	-0.004	0.004	0.006	-0.002
"	2904	0.016	0.014	0.015	-0.001	0.006	0.012	-0.006	0.004	0.008	-0.004
"	2905	0.020	0.016	0.018	-0.002	0.009	0.015	-0.006	0.007	0.011	-0.004
"	2906	0.014	0.014	0.014	0	0.008	0.011	-0.003	0.005	0.007	-0.002
"	2907	0.014	0.014	0.014	0	0.008	0.011	-0.003	0.005	0.007	-0.002
"	2908	0.014	0.013	0.014	-0.001	0.006	0.011	-0.005	0.005	0.007	-0.002
"	2909	0.014	0.014	0.014	0	0.008	0.011	-0.003	0.005	0.007	-0.002
"	2916	0.015	0.013	0.014	-0.001	0.007	0.012	-0.005	0.005	0.008	-0.003
"	2917	0.011	0.011	0.011	0	0.006	0.009	-0.003	0.003	0.005	-0.002
"	2918	0.012	0.013	0.012	+0.001	0.006	0.010	-0.004	0.003	0.006	-0.003
"	2919	0.010	0.010	0.010	0	0.005	0.009	-0.004	0.002	0.005	-0.003
"	2920	0.017	0.013	0.016	-0.003	0.009	0.013	-0.004	0.006	0.009	-0.003
"	2921	0.018	0.014	0.017	-0.003	0.010	0.013	-0.003	0.008	0.010	-0.002
"	2922	0.013	0.010	0.013	-0.003	0.007	0.010	-0.003	0.005	0.006	-0.001
"	2923	0.010	0.012	0.010	+0.002	0.006	0.009	-0.003	0.003	0.005	-0.002
ZK—20	Z 2924	0.010	0.013	0.015	-0.002	0.007	0.012	-0.005	0.006	0.008	-0.002
"	2925	0.019	0.019	0.018	+0.001	0.012	0.014	-0.002	0.009	0.010	-0.001
"	2926	0.019	0.018	0.018	0	0.010	0.014	-0.004	0.008	0.010	-0.002
"	2927	0.012	0.015	0.012	+0.003	0.008	0.010	-0.002	0.004	0.006	-0.002
"	2928	0.020	0.019	0.018	+0.001	0.012	0.015	-0.003	0.012	0.011	+0.001
"	2929	0.012	0.013	0.012	+0.001	0.007	0.010	-0.003	0.003	0.006	-0.003

续表 2

钻孔号	样 号	Ru	Os			Ir			Rh		
		实测值 (X)	实测值 (Y)	预报值 ($\hat{Y}_0$)	$Y - \hat{Y}_0$	实测值 (Y)	预报值 ($\hat{Y}_0$)	$Y - \hat{Y}_0$	实测值 (Y)	预报值 ($\hat{Y}_0$)	$Y - \hat{Y}_0$
ZK—30	2935	0.013	0.012	0.013	-0.001	0.008	0.010	-0.002	0.005	0.006	-0.001
"	2936	0.013	0.013	0.013	0	0.008	0.010	-0.002	0.003	0.006	-0.003
"	2937	0.012	0.012	0.012	0	0.006	0.010	-0.004	0.001	0.006	-0.005
"	2941	0.019	0.016	0.018	-0.002	0.012	0.014	-0.002	0.009	0.013	-0.001
"	2942	0.015	0.014	0.014	0	0.009	0.012	-0.003	0.006	0.008	-0.002
"	2943	0.011	0.012	0.011	+0.001	0.005	0.009	-0.004	0.001	0.005	-0.004
"	2945	0.012	0.010	0.012	-0.002	0.006	0.010	-0.004	0.001	0.006	-0.005
"	2946	0.024	0.023	0.022	+0.001	0.015	0.017	-0.002	0.008	0.013	-0.005
"	2947	0.017	0.014	0.016	-0.002	0.009	0.013	-0.004	0.006	0.009	-0.003
"	2948	0.014	0.014	0.014	0	0.010	0.011	-0.001	0.006	0.007	-0.001
"	2949	0.016	0.012	0.015	-0.003	0.009	0.012	-0.003	0.006	0.008	-0.002
"	2950	0.012	0.010	0.012	-0.002	0.006	0.010	-0.004	0.004	0.006	-0.002
"	2953	0.017	0.016	0.016	0	0.011	0.013	-0.002	0.012	0.009	+0.003
"	2954	0.010	0.012	0.010	+0.002	0.008	0.009	-0.001	0.003	0.005	-0.002
"	2962	0.010	0.009	0.010	-0.001	0.007	0.009	-0.002	0.004	0.005	-0.001
"	2963	0.011	0.010	0.011	-0.001	0.005	0.009	-0.004	0.003	0.005	-0.002
"	2964	0.010	0.010	0.010	0	0.007	0.009	-0.002	0.006	0.005	+0.001
"	2991	0.016	0.013	0.015	-0.002	0.010	0.012	-0.002	0.006	0.008	-0.002
"	2992	0.012	0.012	0.012	0	0.008	0.010	-0.002	0.005	0.006	-0.001
"	2993	0.16	0.013	0.015	-0.002	0.009	0.012	-0.003	0.007	0.008	-0.001
"	2994	0.017	0.014	0.016	-0.002	0.009	0.013	-0.004	0.007	0.009	-0.002
"	2995	0.012	0.010	0.012	-0.002	0.007	0.010	-0.003	0.005	0.006	-0.001
"	2997	0.009	0.009	0.009	0	0.006	0.008	-0.002	0.004	0.004	0
"	2999	0.011	0.009	0.011	-0.002	0.006	0.009	-0.003	0.005	0.005	0

$s_{15} = 0.0024(\text{Os}-\text{Ru})$, $s_{16} = 0.0028(\text{Ir}-\text{Ru})$, $s_{17} = 0.0016(\text{Rh}-\text{Ru})$ 。

II号岩体含铂矿石 Os、Ir、Rh品位的预报值与实测值的对比结果列于表 2。

讨 论

地质勘探工作中,目前通常采用湿法分析测量样品中的Os、Ru含量;Ir、Rh则采用火法试金。其分析灵敏度均为0.001克/吨。

考虑到Ir、Rh的分析测试方法较为复杂和费时,故本文采用以Ru为自变量来预报Os、Ir、Rh的品位,这对实际应用较为方便。同时,在本矿区矿石中Ru的含量一般大于Os、Ir、Rh,用Ru作自变量可以提高预报的精确度。当然,只要稍加换算采用Os作自变量进行预报也可以。

8个钻孔资料的验证计算表明,本文所建立的预报方程(1)~(5)和(16)~(21)具有相当的稳定性,对于Os、Ir、Rh中任何一个元素来说,其预报的平均误

差均不超过0.003克/吨。如果这一误差冶金、地质部门认为是允许的话,则不需要再做很多类似的数理统计工作。

应该说明,本矿区富镍矿石中Os、Ru、Ir、Rh四个元素品位较高,本文在建立高品位矿石的预报方程时所依据的原始分析数据尚显不足,尽管对高品位矿石预报的相对误差较小,但其绝对误差较大,为慎重起见,建议对富镍矿石(Ni>1%)最好查明全部的铂族元素,而不要省略分析项目。

最后,本文所倡导的方法是建立在矿石中Os、Ru、Ir、Rh四个元素含量之间密切的相关关系的客观事实基础之上的,至于含铂硫化铜镍矿床中Os、Ru、Ir、Rh四个元素为什么呈现如此高度显著的正相关关系并非偶然,有其地质因素所制约。

工作中得到肖顺模、李其昌的帮助,赵正泉、赖淑玉协助清绘图件。文内引用的测试数据均为峨眉矿产综合利用研究所和四川省地质局中心分析室提供,谨致以谢意。