

金川镍铜矿床数学模型对深部矿化变化趋势的指示

田毓龙^{1,2}, 把多恒¹, 高志武², 洪 托², 陈兴义¹, 卢耀军¹

(1. 金川集团公司, 金昌 737102; 2. 昆明理工大学, 昆明 650093)

[摘 要] 按矿化特征将金川 X 矿区主矿体分为致密块状特富矿、海绵状富矿和浸染状贫矿。应用 MicroMine 软件对 3 类矿化体分别建立了数学模型, 并应用距离平方反比法对模型单元块进行了镍、铜品位估值。通过分析和对比矿床数学模型 900m 至 1300m 不同水平剖面上的 Ni-Cu 品位及 Ni/Cu 比值的变化, 得出在 X 矿区的中部西侧是一个 Ni 和 Cu 的矿化中心, 并且向深部 Cu 的矿化强度高于 Ni。

[关键词] 金川镍铜矿床 数学模型 矿化变化趋势

[中图分类号] P618.63; P618.41; P628 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2008)01-0082-07

0 引言

金川硫化镍铜矿床是全球最大的 3 个硫化镍矿之一, 是我国最大的镍资源和生产基地, 其镍、铜、钴保有资源量分别居国内第一、第二和第二位。自 1958 年发现至今, 经历数十年的勘探和生产, 积累了大量地质资料, 但由于计算机和相应的矿山软件的发展应用水平低, 单凭人工是难以对如此海量数据进行立体处理的。随着计算机和矿山软件的快速发展和应用, 为综合应用前期地质资料提供了条件。矿山当前正对矿床深部 (地勘深度以下) 和边部的矿体和矿化变化进行研究, 以指导深边部的找矿。首次应用 MicroMine 矿山软件, 在收集金川二矿区所有地勘和生产阶段地质资料的基础上, 将矿化体划分为特富矿、富矿和贫矿 3 类, 再按类别分块建立了该矿区的矿床数学模型, 并在模型基础上, 对矿床的镍铜含量进行了分带研究, 圈定了矿化中心, 得出了向深部矿化的变化趋势, 为在矿区深部找矿提供了科学依据。

1 金川矿区及矿床地质概况

金川含矿超基性岩体产于华北地台阿拉善地块西南缘龙首山隆起带的东南端北侧^[1,2], 总体走向 N50°W, 倾向 SW, 倾角 50°~80°, 延深数百至 1000 余米, 不整合侵入于下元古界白家嘴子组混合岩和

大理岩之间, 在走向和倾向上均与围岩地层有 10°左右夹角。岩体长约 6500m, 宽 20~527m, 平均约 300m, 金川 Ni-Cu-PGE 硫化物矿床几乎全部产于岩体内。关于岩体年龄, 文献引用较多的是 1508Ma ±31Ma (汤中立, 1992, Nd-Sm 等时线法)^[3], 近年也有 827 ±8Ma, 812 ±26Ma 的报道 (Li et al, 2004a; Li et al, 2005, SHRMP U-Pb 法)^[4,5]。

矿区内断层和节理发育, 岩、矿破碎, 主要断层有 F1、F8、F17、F23、F16 和 F16-1 等。其中 F17 为一 N50°E 走向, 倾向 SE, 倾角 70°的具有张扭性质的断层, 该断层错断二矿区的岩体和 2 号矿体, 在其东西两侧产有一定规模的块状特富矿体。

据资料 (汤中立, 1995), 金川岩体是一主要由 4 期含矿化的侵入相组成的复式侵入体, 即第 1 期中细粒含二辉橄榄岩和橄榄二辉岩, 产有就地熔离形成的星点状、局部海绵状贫矿, 规模很小; 第 2 期中粗粒含二辉橄榄岩和二辉橄榄岩, 该岩相占金川岩体体积约 67.7%, 分布于整个矿区, 产有规模较大的以星点浸染状矿石为主的透镜状、板状和似层状贫矿体; 第 3 期中粒硫化物纯橄岩相, 产有海绵陨铁状矿石为主的富矿石; 第 4 期是指晚期硫化物矿浆沿岩体原生构造裂隙和其它构造裂隙贯入形成的块状金属硫化物矿石, 即致密块状特富矿。

按矿化规模和矿化特征, 第 2、3、4 期侵入相中

[收稿日期] 2005-11-18; [修订日期] 2005-12-16。

[基金项目] 国家科技支撑计划项目 (编号: 2006BAB01B08) 资助。

[第一作者简介] 田毓龙 (1970 年—), 男, 1999 年毕业于昆明理工大学, 获博士学位, 教授级高工, 现主要从事综合信息成矿预测方面的研究工作。

产出的星点浸染状贫矿、海绵陨铁状富矿、致密块状特富矿 3 种矿化类型构成了金川的主矿体。由于 3 种主要矿化类型分别限定在不同期次的侵入相中,矿化空间各自独立,它们之间的接触界线、品位变化等皆以突变关系为主,因此,在建模估值过程中,采用对 3 类矿化体进行分块建模。

金川 X 矿区岩体西窄东宽,倾角东缓西陡,而且在西段延深较大,最大超过 1000m,赋存有规模巨大的 A[#]主富矿体;东段岩体产出较浅,剖面上呈漏斗状,矿化体主要产于漏斗底部,呈 SW 缓倾(倾角 25°~60°)的透镜状,以贫矿为主,富矿赋存于贫矿体的中下部,如 B[#]主矿体。X 矿区的岩体东段及其中的 B[#]主矿体被 NE 向的 F₁断层错断,东盘下降,多为贫矿,矿体向下延伸约 600~750m;西盘多为富矿,并在断层旁侧赋存有镍品位达 3%~7%的块状特富矿体。X 矿区查明资源储量和含镍量分别约占整个金川矿区的 63.3%和 74.3%。

2 矿床模型的建立

矿床建模范围为金川 X 矿区(表 1),建模所用的原始数据包括地勘时期的所有钻孔数据和大部分生产勘探过程中形成的地质资料,仅有部分化探数据和当前正在施工的探矿工程等少量资料没有收集到。因此,所建矿床数学模型应可以反映矿床的主体地质特征。

表 1 矿体模型范围

东起点	东终点	北起点	北终点	高程起点	高程终点	单元格数
7000	9310	6000	8010	1000	1720	15088227

2.1 建模数据库及镍铜品位统计直方图

对金川矿床勘探时的工程网度为 75~100m×100~200m,在矿山基建和生产勘探时,加密至 50m×50m。建模的原始样品数据共来自 272 个探矿工程,其中钻孔 168 个,坑道 104 个;数据库所包括的样品镍、铜品位分析数据分别为 28042 个,镍的最高品位值 8.56%,平均值 0.544%,铜 8.47%,平均值 0.309%,镍和铜的品位最小值 <0.01%,在后面的建模估值时,该数值被设为 0.005%。还有一部分组合样的伴生元素数据。数据录入后,与原始资料都进行了细致地核对和修改。

因原始单样长度长短不一,故采用 1m 为样长对所有单样进行了组合。对组合样的统计显示(图 1),镍品位总体具有双峰分布特征,对数化后略有平滑,但双峰特征仍很明显(图 1A),而贫矿内的样

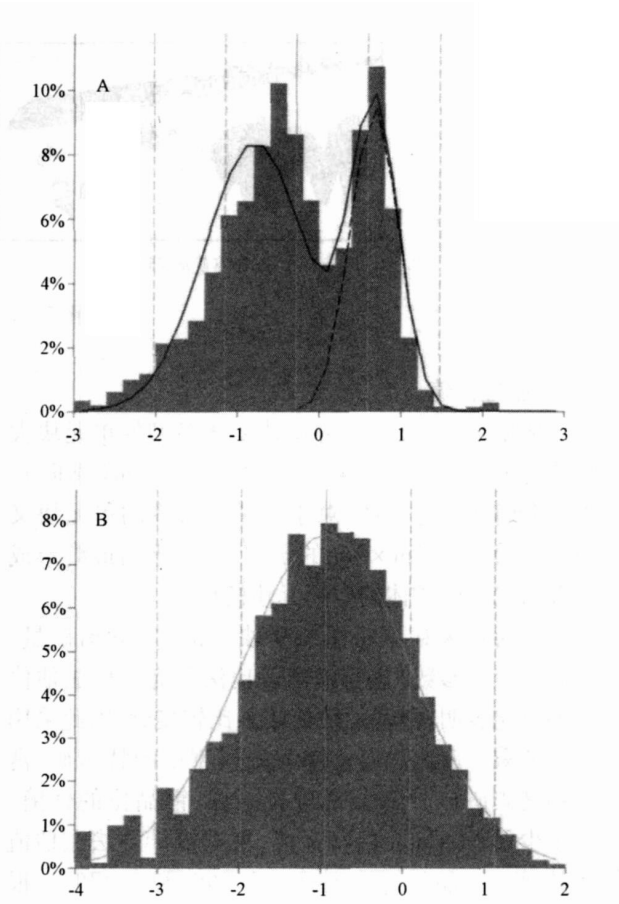


图 1 镍(A)、铜(B)品位对数分布直方图
(纵轴为样品百分数,横轴为对数化后的 Ni、Cu 品位)

品单独统计则总体呈正态分布,富矿内的样品也是如此,表明是镍品位有两个总体,因此,应该将矿化体按贫矿、富矿、特富矿分开进行建模和对镍品位估值;铜品位总体服从对数正态分布(图 1B)。

2.2 矿床分块模型的建立

根据勘探工程揭露的地质特征和镍、铜品位等数据,对各勘探线剖面上的矿体、断裂、地层等地质界线进行了圈定,主要参考了 X 矿区的自 - 4[#]线至 56[#]线等 32 条勘探线剖面地质图的地质认识。根据矿山生产规范,取矿体可采厚度为 1 米,夹石剔除厚度 1.2 米。

X 矿区矿体按矿化特征和镍品位不同,可分为特富矿(Ni>3%)、富矿(Ni 1%~3%)和贫矿(Ni 0.3%~1%)3 类,它们之间的边界有些地方呈渐变过渡关系,有些地方为截然接触关系,而且在三者中镍、铜的品位变化特点不完全相同。因此采用把矿体分为特富矿、富矿和贫矿 3 类分块进行数学建模估值较为合理。联结各剖面的矿体圈定结果,形成了矿体三维实体模型图 2a、b。

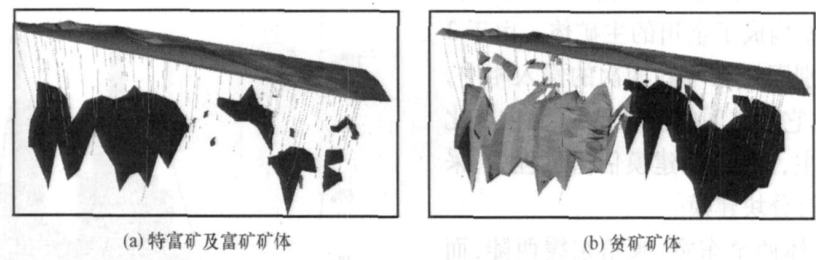


图 2 矿体实体模型

2.3 品位估值

依据采矿要求,划分矿体实体模型的单元块大小被定为 15m(走向)×15m(倾向)×8m(垂向)。为更准确地限定矿体,对于跨矿体边界的单元块又被下分为 5m×5m×4m的子单元块,进而最终形成了金川二矿区矿体的空单元块模型。

因为对 X 矿区一采空矿块(知道实际出矿量、出矿品位等参数)进行距离反比法与克立格法估值结果对比表明,两者的估值结果比较接近,因此采用了距离乘方反比法对空单元块模型中的特富矿、富矿和贫矿矿体分开分别进行了镍、铜品位的估值。对于少量 Ni-Cu 品位特高值,根据统计方法在估值时其 Ni-Cu 品位被分别赋为 3.26%和 2.47%。根据矿体产状及镍、铜品位在不同方向上的变化,估值搜索椭球体的参数为:走向方位 308°;倾角 65°(倾向 SW),倾伏角 0°;在 3 个方向的搜索半径分别为 200m、120m 和 100m;反比乘方系数为 2.5。

首先对特高品位、高品位和低品位矿体 3 个模型块分别进行品位估值计算,得到的估值结果见表 2,再将三者合并^[6,7],即得到完整的金川 X 矿区矿床品位块模型。

表 2 品位估值结果

东坐标	北坐标	相对高程	Ni /%	Cu /%	子块因子	钻孔数	样品数	标准差
...								
8645	6120	1294	0.284	0.71	1	7	80	0.15
8780	6120	1294	0.256	0.5	1	7	80	0.134
8795	6120	1294	0.261	0.507	0.97	5	80	0.148
8810	6120	1294	0.275	0.491	0.52	5	80	0.182
8690	6105	1294	0.209	0.517	1	7	80	0.129
8705	6105	1294	0.21	0.482	1	7	80	0.179
...								

3 矿床模型在矿化变化趋势研究中的应用

3.1 Ni-Cu品位和 Ni/Cu比值在矿床中的空间分布

在金川 X 矿区矿床建模和品位估值基础上,对

模型提取了 900m、1000m、1100m、1200m 和 1300m 等 5 个水平上单元块中的 Ni 品位、Cu 品位以及 Ni/Cu 比值^[8],并绘制了各水平的品位和比值平面分布图(图 3 至图 5)。

从图 3(a)至图 5(f)显示的 X 矿区 900m 至 1300m 标高之间 400 米垂深范围内的矿床 Ni-Cu 品位和 Ni/Cu 比值的空间展布情况看出,主要有两个富镍和铜的矿化块段,一段位于东坐标范围在 7000E~7500E 之间的块段,即 1#矿体的中西部,另一段是东坐标范围在 8250E~8750E 之间的块段,即为 B#矿体中部的 F_n断层西侧。其中,后者主要由块状特富矿体引起,它是岩浆深部熔离作用形成的沉于底部的硫化物矿浆,在最晚一期上侵时沿岩(矿)体内早期裂隙贯入而成,规模小,变化不稳定,而且向深部已经封口,不再讨论;而前者的镍、铜矿化富集体是矿区最主要的海绵陨铁状和半海绵陨铁状矿石类型,主要受岩相控制,没有明显的构造对这个矿段的矿化变化造成影响,延伸比较稳定,含矿岩相和矿化向深部没有封口,下面对此段矿化分布及空间变化情况归纳如下:

1) 根据图 3(b)至图 3(f)所示矿床各水平的镍品位空间展布情况看出, A#矿体中西部富矿段的镍品位大于 1%的矿体范围在 1300m 水平是:东坐标 7400E~7750E,北坐标 7200N~7400N。随着标高水平从 1300m 向 1200m、1100m、1000m、900m 下降,这部分富镍的矿体在走向上略有变大,且有轻微向 NW 侧伏的趋势。在 900m 水平时的范围变为:东坐标 7200E~7450E,北坐标 7150N~7500N。

2) 同样,从图 4(b)至图 4(f)所示的铜品位的空间展布看出,这个富矿段的铜品位大于 1%的矿体范围在 1300m 水平分布很少而且范围较小:东坐标 7500E~7600E,北坐标 7250N~7300N,随着标高水平从 1300m 向 1200m、1100m、1000m、900m 下降,这个矿段的富铜矿化和富镍矿化一样,在走向上逐渐变大,且略向 NW 侧伏。在 900m 水平时的范围

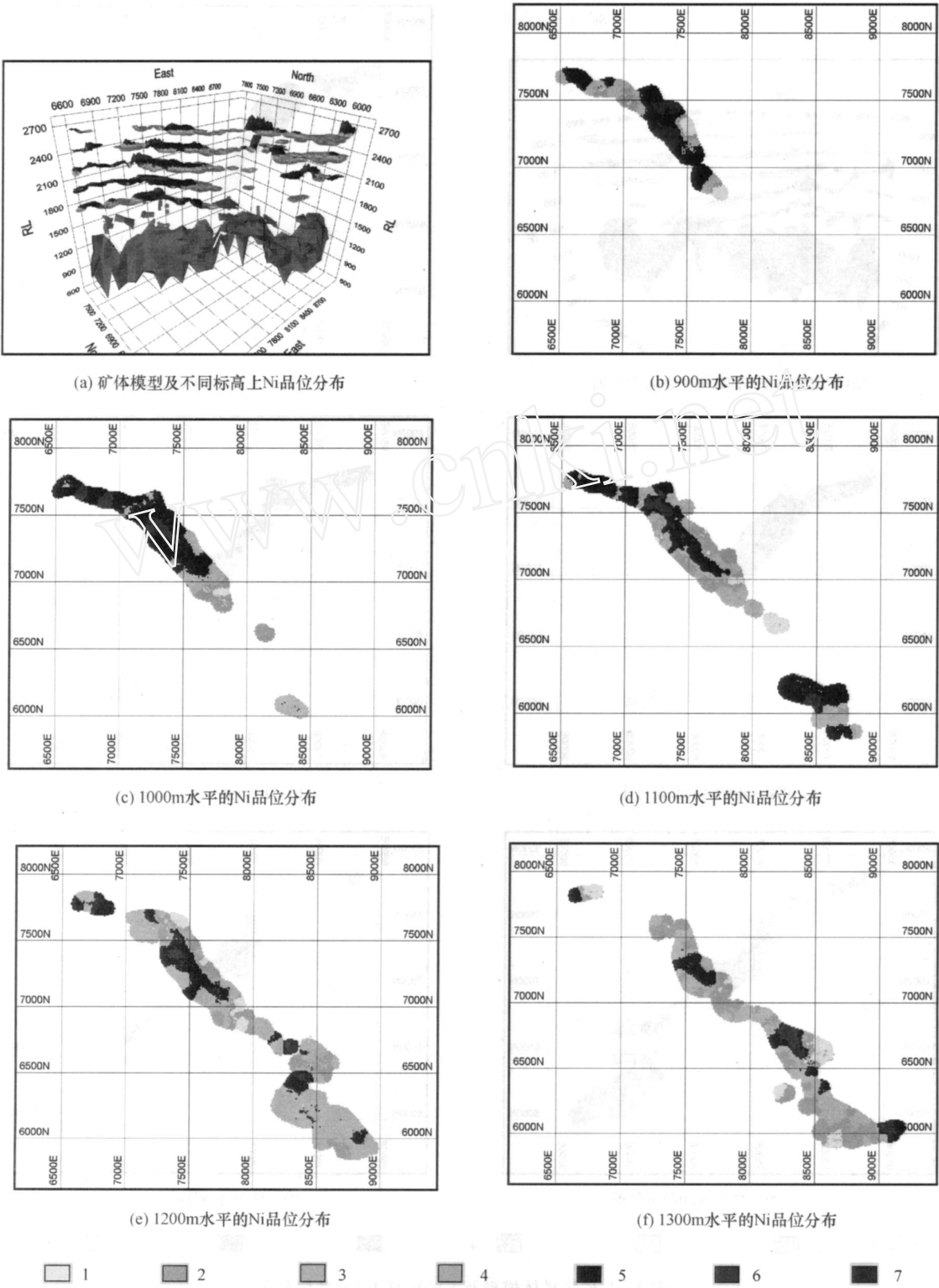
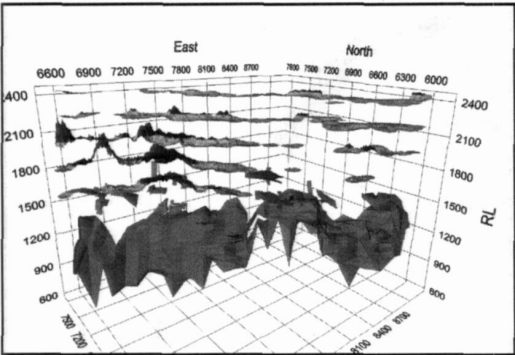


图 3 X矿区矿体模型及不同标高上 Ni品位分布

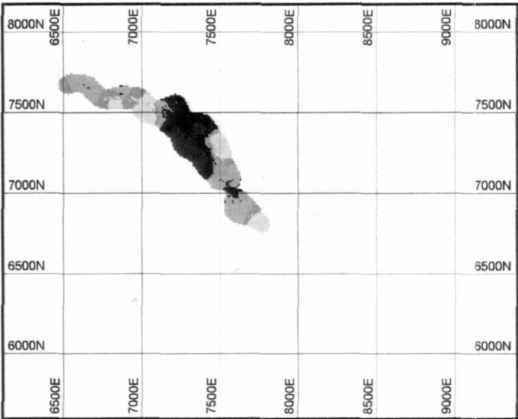
1—Ni品位 <0.3%; 2—Ni品位 0.3%~0.5%; 3—Ni品位 0.5%~0.8%; 4—Ni品位 0.8%~1.0%;
5—Ni品位 1.0%~2.0%; 6—Ni品位 2.0%~3.0%; 7—Ni品位 >3.0%

变为: 东坐标 7150E ~ 7450E, 北坐标 7150N ~ 7500N。

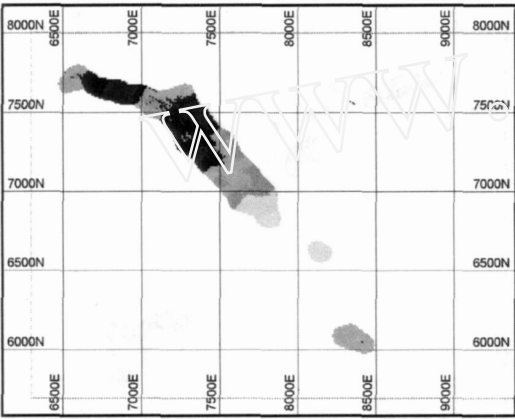
因此 A 矿体中西部这个富矿段既是一个镍矿化中心, 又是一个铜矿化中心。在倾向方向上, 其



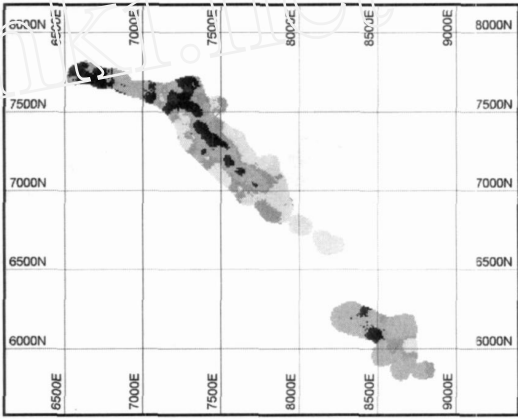
(a) 矿体模型及不同标高上Cu品位分布



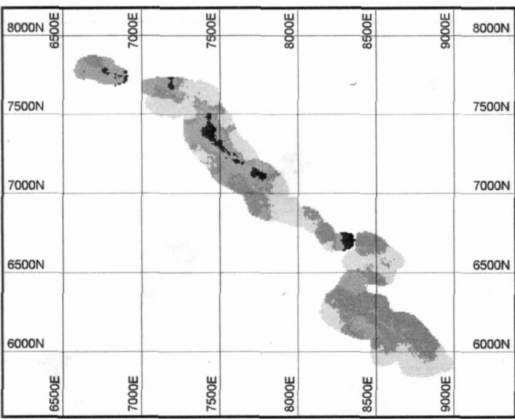
(b) 900m水平的Cu品位分布



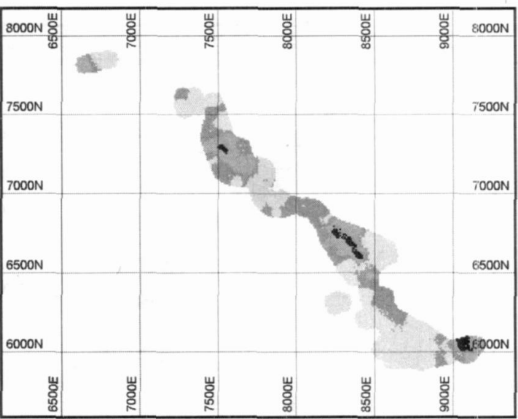
(c) 1000m水平的Cu品位分布



(d) 1100m水平的Cu品位分布



(e) 1200 m水平的Cu品位分布



(f) 1300 m水平的Cu品位分布



图 4 X矿区矿体模型及不同标高上 Cu品位分布

1—Cu品位 $< 0.3\%$; 2—Cu品位 $0.3\% \sim 0.5\%$; 3—Cu品位 $0.5\% \sim 0.8\%$; 4—Cu品位 $0.8\% \sim 1.0\%$;
5—Cu品位 $1.0\% \sim 2.0\%$; 6—Cu品位 $2.0\% \sim 3.0\%$; 7—Cu品位 $> 3.0\%$

镍、铜的高品位部分主要分布在矿体的中部,向下则移向矿体下盘;自上(1300m)向下(900m)这个矿化中心具有变大和向西侧伏的趋势。

3) 根据图 5(b)至图 5(f)所示各水平上的 Ni/Cu 比值变化看,该富镍铜矿段的 Ni/Cu 比值自上而下由 > 3 变为 < 0.5 ,逐步变小,说明矿化体在上部

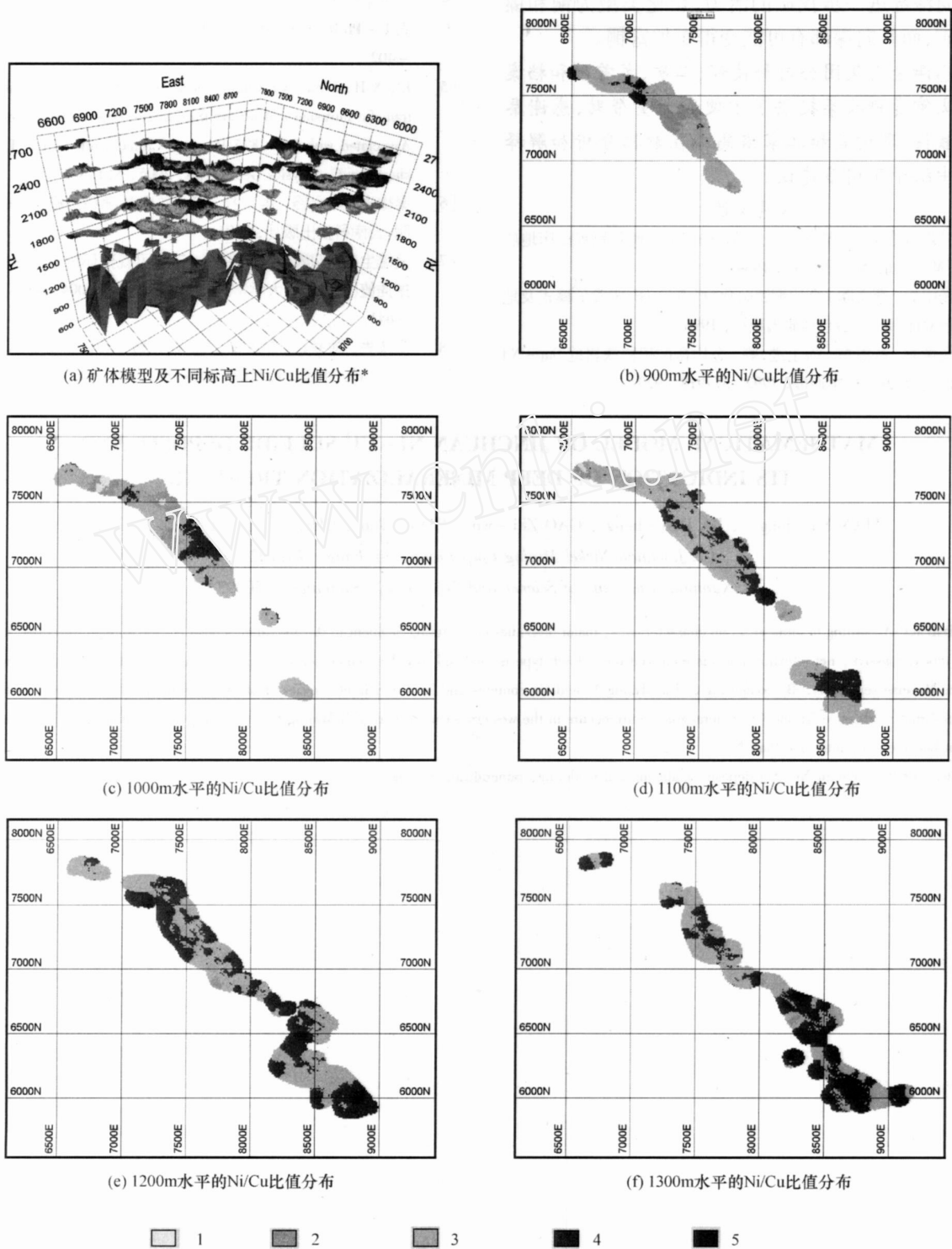


图 5 X矿区矿体模型及不同标高上 Ni/Cu比值分布
1—Ni/Cu < 0.5; 2—Ni/Cu 0.5 ~ 1.0; 3—Ni/Cu 1.0 ~ 2.0; 4—Ni/Cu 2.0 ~ 3.0; 5—Ni/Cu > 3

以富镍为主,向下铜矿化逐渐增强,变成镍、铜二者都富集的矿化体,而且具有铜矿化强度高于镍的矿化强度的趋势。

3.2 结论

根据金川 X 矿区矿床建模结果分析得出的上述变化趋势表明,在 A#矿体的中西段沿矿体和超基性岩体的倾向向下延深是一个成矿(镍、铜)中心,

具有向深部进一步找矿的潜力,矿化类型为铜和镍的富矿,而且向深部有可能变得更加富铜。

感谢金川集团公司科技部、二矿、龙首矿和档案馆为文章资料收集提供了方便和大量帮助,感谢秦德先教授、郭树高和江家谱高工在数据分析和解释过程中给予了诸多建议。

[参考文献]

- [1] 甘肃省地质矿产局第六地质队. 白家咀子硫化铜镍矿床地质 [M]. 北京:地质出版社, 1984.
- [2] 汤中立, 李文渊. 金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿模式及地质对比 [M]. 北京:地质出版社, 1995.
- [3] 汤中立, 杨杰东, 徐士进, 等. 金川含矿超镁铁岩的 Sm - Nd 法定年 [J]. 科学通报, 1992, 37: 918 - 920.
- [4] 李献华, 苏犁, 宋彪, 等. 金川超镁铁侵入岩 SHR MP 锆石 U - Pb 年龄及地质意义 [J]. 科学通报, 2004, 49 (4): 401 - 402.
- [5] Li, X H, L Su, S L Chung, et al. Formation of the Jinchuan ultramafic intrusion and world's third largest Ni - Cu sulfide deposit Associated with the ~825 Ma south China mantle plume [J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 2005, 6 (1): 1 - 16.
- [6] 秦德先, 燕永锋, 洪托, 等. 矿床数学经济模型 [M]. 昆明:云南科技出版社, 2001.
- [7] 吴健生, 王仰麟, 曾新平, 等. 三维可视化环境下矿体空间数据插值 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2004, 40 (4): 635 - 641.
- [8] 秦德先, 陈爱兵, 燕永锋, 等. 矿山数字化信息系统及其应用研究 [J]. 中国工程科学, 2005, 7 (4): 47 - 54.

MATHEMATICAL MODEL OF JINCHUAN NI- CU SULFIDE DEPOSIT AND ITS INDICATION OF DEEP MINERALIZATION TRENDING

TAN Yu - long^{1,2}, BA Duo - heng¹, GAO Zhi - wu², HONG Tuo², CHEN Xing - yi¹, LU Yao - jun¹

(1. Jinchuan Nickel Mining Corporation, Jinchang 737102;

2. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

Abstract: According to mineralization characteristics, major orebodies of X Mining Segment in the Jinchuan deposit can be divided into three mineralization types, massive, net - texture and disseminated ores. Each type is modeled with Micromine software, and Ni and Cu contents are estimated using Distance Reverse separately. By comparing and analyzing Ni and Cu contents and Ni/Cu ratio of a series of block plans from 900m to 1300m level, it is concluded that a intensive Ni and Cu mineralizing centre occurs in the western - central part of X Mining Segment, and down to the deep, Cu mineralization can become more intensive than Ni.

Key words: Jinchuan Ni - Cu deposit, mathematical modeling, mineralization trending