

一级化学反应速率及地应力场对新城金矿 I 号矿体富矿矿柱的控制

李俊英¹, 李培良², 宛小光³

- 5 (1. 山东黄金矿业股份有限公司新城金矿 莱州市 261438;
2. 国家安全生产监督管理总局信息研究院 北京 100029;
3. 北京科技大学土木与环境工程学院 北京 100083)

10 **摘要:** 焦家金矿带内金矿体具有共同的倾伏、侧伏、存在富矿矿柱等几何特征。认识它们的
这些规律是成矿预测及布置探矿设计的基础。该文重点剖析了新城金矿 I 号主矿体的几何特
征和金矿化空间展布的特征, 认识到主成矿期成矿地应力场和含金成矿流体的一级化学反应
15 速率是这些特征的主要控制因素。该矿主容矿构造是受 NNW 向缓倾拉张主应力、NE 向陡
倾主压应力, 焦家构造带平面呈右行扭动下形成的。NNW 向中间主应力控制新城 I 号主矿
体在 NW 向倾斜面上延深的长轴方向, 该轴在水平面上投影的倾伏向 281°, 与水平面的夹
角——倾伏角 26°; 在 N40°E 纵投影面上向 SW 侧伏、侧伏角 45°。中间主应力轴方向是优
先发生剪张破裂的部位; 由于成矿流体中金的浓度变化遵循一级化学反应速率, 故在优先张
20 开的中间主应力轴向部位形成高品位的富矿矿柱。

关键词: 焦家金矿带;新城金矿;地应力场;一级化学反应速率;矿体倾伏、侧伏;富矿矿柱
中图分类号: P54

The rate of preceding chemical reaction of first-order and in situ stress field control on Xincheng Gold mine 1# orebody rich ore pillar

Li Junying¹, Li Peiliang², Wan Xiaoguang³

- 25 (1. Shandong Gold Group Co.Ltd.Xincheng Gold main,Laizhou 261438 China;
2. Information Institute of State Administration of Work Safety,Beijing 100029 China;
3. School of Civil and Environmental Engineering,University of Science and Technology
Beijing,Beijing 10083,China)

30 **Abstract:** Gold ore-bodies in Jiaojia gold belt shared the same geometric features like plunging,
lateral trending and rich ore pillar existence. Understanding of these regularities is the foundation
to ore-body prognosis and prospecting design layout. This paper deeply discussed Xincheng Gold
Mine 1# ore-body's geometric features and gold mineralization spatial distributions, and
35 recognized that main ore-body stage ore forming in-situ stress field and hydrothermal ore fluid
were main control factors of these characteristics. This main ore-containing structure formed
under NNW sustained normal stretching principal stress, NE steep normal principal compressive
stress, Jiaojia gold belt plane normal practice wrench movement. NNW intermediate principal
stress controlled Xincheng Gold Mine 1# orebody's long axis direction extended in NW inclined
40 plane. This axis horizontal projection pitch direction 281°, dipping angle 26°, N40°E vertical
longitudinal profile SW lateral trending, angle 45°. Intermediate principal stress axis direction
preferentially occurred in shear fracture part. Because of gold concentration variation in
ore-forming fluid followed the rate of preceding chemical reaction of first-order, high grade rich
ore pillar formed at intermediate principal stress axis part of priority opening.

Key words: Belt of Jiaojia gold deposit; Xincheng Gold Mine; Crustal stress; The rate of chemical
45 reaction of first-order; Ore-body trend and pitch; Pillar of rich ore

作者简介: 李俊英(1942-), 男, 高级工程师, 矿山地质、矿产经济、矿山工程地质. E-mail: li.jy158@aliyun.com

0. 引言

应用共轭节理、断层擦痕、地震机制等反演地应力场是广泛用来进行构造地质、地震地质等的基础研究的工作。为提高金矿产地地质、探矿增储,以焦家式新城金矿为例,应用羽列、雁列与剪切带关系的模拟研究成果^[1],有关共轭剪切角的脆性小变形的库仑——莫尔准则,及剪切带大变形流变学理论^[2,3],反演了容矿构造成生时的地应力场。在为解决金矿“块金效应”、“品位负变”等储量计算问题过程中,不在局限于应用数学探索焦家式金矿矿化的数理分布特征,进一步探索了金矿矿化沿着不同方向的时空变化的几何及函数特征。发现金矿化强度为非线性函数,而是遵从一级化学反应速率^[4,5]的负指数函数变化。地应力场的中间主应力轴及金沉淀过程的一级化学反应速率共同控制着富矿矿柱的产状。

1. 区域构造及矿产背景

新城金矿床赋存于胶东西北部黄(黄县)——掖(掖县,现称莱州)断裂带(前称黄——掖弧形断裂带)的南段,由其产状大体相近,走向 NE30°~40°、倾向 NW、倾角 30°~45°左右的焦家主构造带、侯家、河西及望儿山等次级构造带共同组成的焦家构造带中。因焦家金矿、新城金矿、河西金矿、马塘金矿、望儿山金矿、河东金矿、上庄金矿、界河金矿等多处典型焦家式金矿床产于此段,故又称焦家金矿带。

2. 新城金矿矿床及矿体空间展布及形态等地质特征

(1) 容矿构造与焦家构造带有一夹角

新城的 I 号矿体的主容矿为 NE70°~80°,倾向 NNW∠48°±的羽列状张剪性微裂隙群组成,与 NE40°走向,倾向 NW∠29°的焦家构造带有 28°左右真夹角。NE10°左右走向剪裂隙是其次的容矿构造(参见图 1)。矿体与围岩无肉眼可见界面,须靠连续刻槽、取样的化验结果,按工业指标圈定。

(2) 矿体及控制矿体的构造带均缓倾斜

焦家构造带产状除近南北走向局部段落陡倾外,大多较缓,一般在 25°~45°之间变化。新城 I 号焦家式矿体严格局限在缓倾焦家带内,亦缓倾斜。

(3) 延深大于延长

由于焦家构造带带宽远小于延深,斜列的张剪性容矿破裂受到焦家构造带宽度所限,一般不超出构造带的范围,故延深大于走向延长。

新城金矿 1#矿体:走向长 200~300m、勘探工程控制标高从+10 米至-630 米,倾斜长 1200 余米。倾斜长是走向长的 4 倍以上。

(4) 矿体具有规则的倾伏、侧伏特征

新城金矿 1#矿体倾斜面上纵向延伸的轴线投影到水平面的方位——**倾伏向** 281°,轴线与水平面的夹角——**倾伏角** 26°(见图 1)。倾伏方向直观理解就是矿体轴线的水平投影方向;

该矿体在 NE40°~SW220°纵投影面上,向 SW 侧伏、侧伏角 45°±(图 2);倾伏角是矿体倾伏方向上的“假倾角”;侧伏角是倾伏角在纵投影面上的“假倾角”。

矿山和矿产地地质勘探实际使用的主要是平面、剖面和垂直纵投影三面图;基本不绘制矿体斜面图件。因此在实际使用“侧伏角”概念描述矿体产状时,不是“矿体斜面上轴线与走向线之间的夹角”^[1]。而是矿体在垂直纵投影图上的轴线与水平线之间的夹角。本文使用的侧伏概念亦如此。

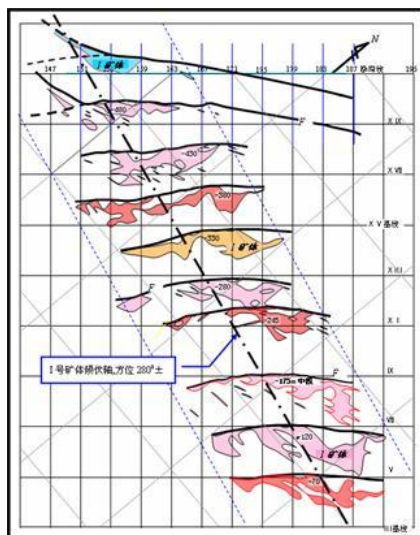


图 1.I 号矿体平面复合(倾伏)示意图

Fig. 1 I# ore body plane plunge view

倾伏向 281⁰、倾伏角 26⁰

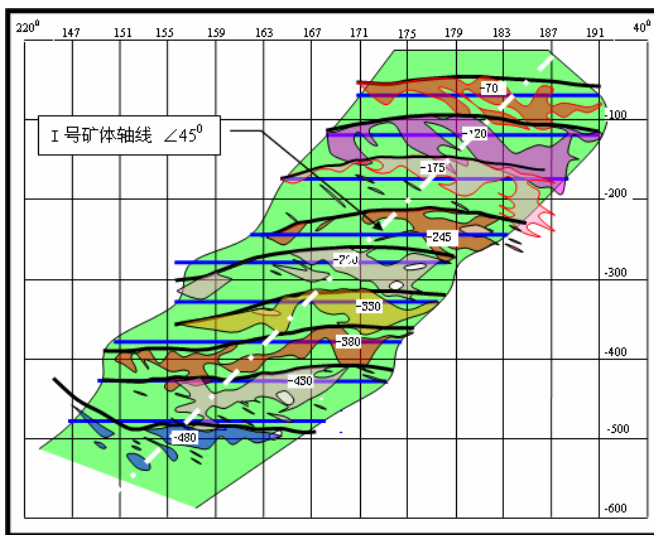


图 2. I 号矿体纵投影（侧伏）示意图

Fig. 2I# ore body plane lateral trending view

纵投影面 N40⁰E-S220⁰W 侧伏向 SW、侧伏角 45⁰

90

侧伏向及侧伏角：在纵投影图上矿体具有朝向一个方向延深，且延深大于延长；或两侧矿体边线朝向一个方向倾斜时；矿体朝纵深方向延伸轴线的投影线夹角成锐角的方向，称侧伏向；该锐角称侧伏角。为描述简便侧伏方向一般使用所在的方位象限（NE 或 SW、NW 或 SE、N 或 S、E 或 W）。

95

(4) 矿化不均匀，富矿矿柱产状与矿体倾伏、侧伏一致

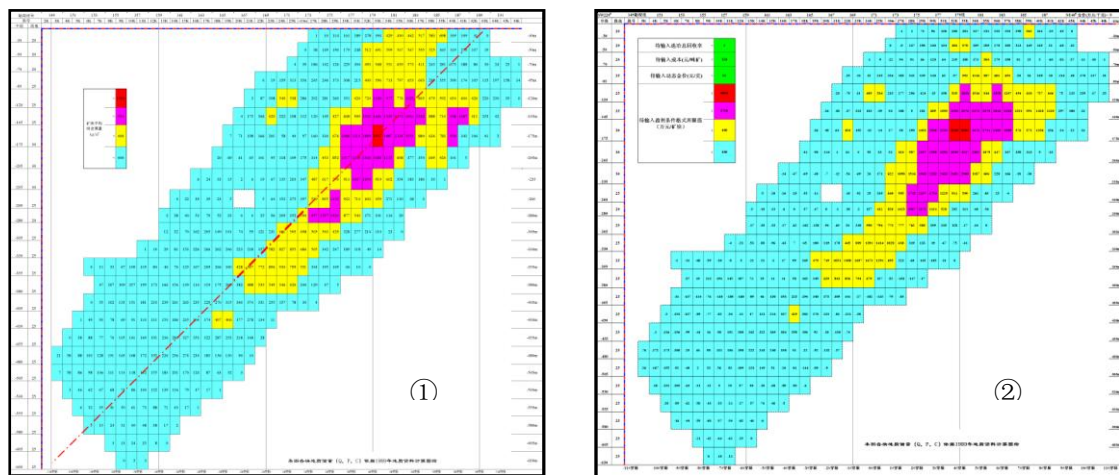
品位变化极不均匀是岩金矿床的普遍特征。在矿体的一处取样与稍微离开该处再行取样；或改变取样长度；往往会得到不同，甚至相差很大的品位结果，直接用品位或平均品位描述矿化强度会发生偏差。为正确认识金的矿化强弱，避免人为取样因素的影响，一般使用品位（或平均品位）与样长（或矿体线厚度）之积——线金属量（又有称‘米·克/吨值’）表达矿化强度，尤其是在穿脉坑道及钻孔圈矿时。

100

这种矿化强度的不均匀，沿着矿体厚度、走向及纵深取样方向的波动起伏，一般都会出现一个极大值或几个峰值。在矿体纵向延展的平面上，亦会呈现矿化强度分布方向性；在某方向上由于矿化强度较高，可以获得相对较高的潜在利润，通常称富矿矿柱。新城金矿床 I#矿体富矿矿柱的存在尤为明显，且与前述矿体倾伏、侧伏产状一致（图 3）。

105

110



115

图 3. I 号矿体矿化强度（线金属量及富矿分布）纵投影图

Fig. 3 I# ore body mineralization intensity vertical projection

图 3-①. I 号矿体矿化强度（线金属量）纵投影. 红色矿块>1900, 紫色>95, 黄色>400, 兰色<400 kg/m².

图 3-②. I 号矿体富矿矿块分级纵投影. 储量依据 1989 年地质资料, 矿块尺寸: 15m 走向长×25m±段高.

120

金价 300 元/克, 选冶回收 91%, 吨矿成本 320 元/吨,

矿块潜在利润: 红色>¥5000, 紫色>¥1700, 黄色>¥400, 兰色<¥400 万元.

(6) 金矿化强度的空间分布

新城金矿金品位的统计分布, 同业已对热液成因金矿的金品位符合对数正态律的认识一致 (详情此略)。在考察统计分布的同时, 对其不同方向的空间分布状态考察发现:

125

品位 PPM

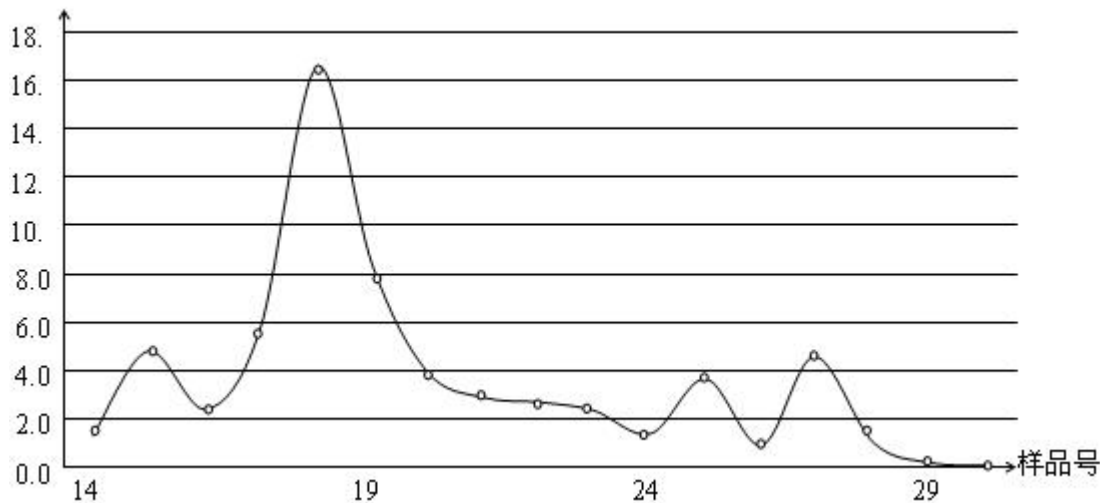


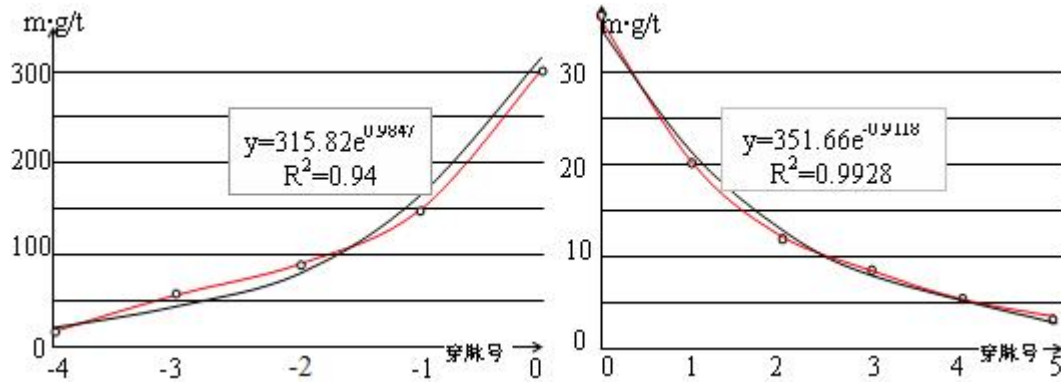
图 4. -280m 中段 173 线穿脉金品位 C 沿样线(样长 1m) 的波动曲线

Fig.4 wave curve of -280m middle piece 173 line vein gold grade in the sampling line

表 1. -280m 中段 173 线-4 号~5 号样品品位、累进 ‘线金属量’ 数据表

Table 1-280m middle piece 173 line #4~5 sample grade, progressive ‘linear productivity’ table

横轴坐标 m	-4	-3	-2	-1	0	0	1	2	3	4	5
样号	14	15	16	17	18	18	19	20	21	22	23
品位 g/t	14.8	46.7	24.8	56.1	156.0	156.0	79.9	39.6	30.5	26.3	24.5
样长 m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
累进线金属量	14.8	61.5	86.3	142.4	298.4	356.8	200.8	120.9	81.3	50.8	24.5



130

图 5. -280m 中段 173 线累进 ‘线金属量 (m×g/t 值)’ 指数函数变化拟合曲线

Fig.5. -280m middle piece 173 line progressive ‘linear productivity’ exponential function fitting curve
数据见表 1.

图中：红色点线为由谷底向峰值方向各样品线金属量累加值($\Sigma M \cdot C$)；黑色线为负指数拟合曲线
y 轴线金属量，x 轴样品对应峰值点的位置、样长 1m 连续刻槽，R 为相关系数(以后各表全)。

135

①、穿脉品位及线金属量变化及拟合曲线

在绘制穿脉连续刻槽样品金品位曲线中、发现新城金矿金品位有多峰波动变化，但存在由峰值向两侧段落呈“负指数函数”变化规律（见图 4、5）。

图 5 显示：在 173 勘探线 14~23 号样品区间的 18 号样处有一个累进线金属量峰值，向两侧与下凹型指数函数拟合曲线相关系数分别达 0.97、0.99 的吻合良好状态。

140

②、走向品位、及线金属量变化曲线

将中段穿脉圈定的矿体平均品位，及平均品位与圈定矿体的厚度之积 ($M \times C$) ——线金属量绘制成的变化曲线后，亦呈负指数函数变化趋势（见图 6、7）

145

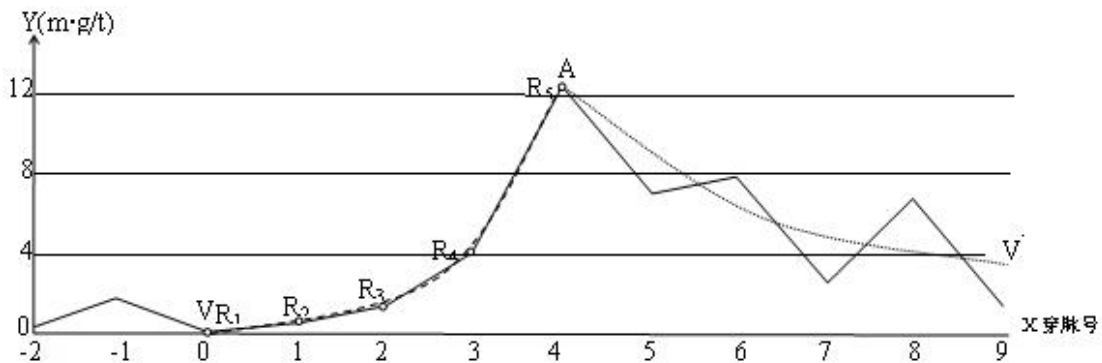


图 6. -145m 中段金线金属量沿走向变化曲线

Fig.6 -145m middle piece gold linear productivity lateral variation curve
(数据见表 2.)

表 2. -145m 中段金线金属量 0 号~4 号穿脉数据
Table 2 -145m middle piece gold linear productivity #0~4 vein data

穿脉号	0	+0	1	+1	2	+2	3	+3	4	
平均品位 g/t	C	1.88	1.80	5.28	2.72	6.07	8.70	14.52	21.79	29.97
矿体厚度 m	M	3	2	11	19	22	28	27	45	41
线金属量 (m·c)	Y	5.65	3.60	58.05	51.60	133.43	243.55	392.11	980.50	1230

150

③、勘探线剖面上穿脉品位、及线金属量变化曲线

将勘探线剖面上各中段穿脉圈定的矿体平均品位，或平均品位与圈定矿体的厚度之积——线金属量绘制成的变化曲线后，总体亦围绕峰值向两侧呈负指数函数变化趋势（见图 7）

表 3. 179 勘探线延深方向数据表

Table3 179 exploration line extending direction table

中段或高程	m	-10	-30	-50	-70	-95	-120	-145	-175	-205	-222	-260	-287	-313
水平厚度	M	3.10	26.30	47.20	42.10	37.20	30.00	42.26	29.36	48.00	31.15	20.71	13.27	5.56
平均品位	C	10.14	8.61	8.18	3.37	5.75	15.10	29.11	28.42	11.50	12.03	6.45	6.23	2.49
线金属量	$\Sigma M \times C$	31	226	386	142	214	453	1230	834	552	375	134	83	14

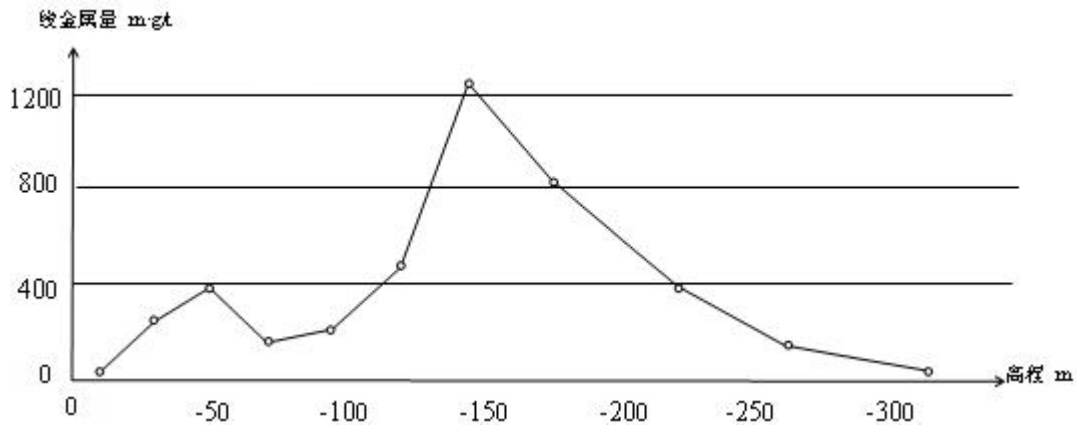


图 7. 179 勘探线延深方向线金属量变化曲线

Fig.7 179 exploration line extending direction linear productivity variation curve

(数据见表 3)

3. 矿体倾伏（侧伏）、富矿矿柱产状的控制因素

3.1 控制金成矿空间产状的物理因素

3.1.1 主成矿构造生成时的地应力场产状

依据新城金矿焦家构造带走向 $N40^{\circ}E$ 、倾向 $NW \angle 29^{\circ}$ ，容矿羽列走向 $N70 \sim 80^{\circ}E$ 、倾向 $NNW \angle 48^{\circ} \pm$ ，反演得到形成主容矿剪切破裂面的地应力场产状：

σ_1 倾伏向 53° 、倾伏角 54° ， σ_2 倾伏向 281° 、倾伏角 26° ， σ_3 倾伏向 179° 、倾伏角 23° 。

3.1.2 中间主应力轴对矿体倾伏、侧伏的控制

σ_2 轴倾伏向 281° ，与矿体倾伏轴线在水平面上的投影方向一致（见图 1），倾伏角 26° 。与矿体倾伏轴方向假倾角一致。 σ_2 轴换算至 $N40^{\circ}E$ 纵投影图上向 SW 侧伏，侧伏角 45° ，与矿体侧伏产状一致（见图 2）。

矿体的倾伏与侧伏是矿体向下延伸轴方向的两种表达方式，它们之间可以互相换算的。

3.1.3 中间主应力轴对富矿矿柱的控制

σ_2 轴的产状与其矿体的富矿矿柱产状一致（见图 3）。

可见主成矿期成矿应力场中间主应力轴的产状是控制着矿体空间展布形态和产状的主要因素之一。

3.2 控制金成矿空间产状的物理化学因素

3.2.1 金沉淀的物理化学过程

焦家式金矿同通常的热液矿床一样，是富金成矿流体从较高压力区域流入低压部位后，在温度、压力发生变化的过程中，溶质金沉淀后形成的。毫无疑问、这是一个化学反应过程。由物理化学反应实验得到，由于温度、压力等条件的变化，随着溶液内的溶质的沉淀，“反

180 应速率与反应物浓度之间有着定量的关系式。”^[4,5]。对前述新城金矿 I 号矿体沿穿脉、走向及纵向金矿化（品位、线金属量）强度——工程位置变化曲线与“负指数函数曲线”吻合，可作如下推理：

其一、在应力作用下岩石剪切破裂——容矿空间首先从一点开始，然后向周围扩展的。扩展到到达的位置是时间的函数。故矿化强度——工程位置变化曲线，也就是矿化强度——时间变化曲线。

185 其二、由于金在成矿流体中的含量低微，金在沉淀完成成矿的全过程中，可认为流体总量(U)不变；矿体的总金属量 P 与其成矿流体的比值，即可视为进入该空间成矿流体的初始浓度 $a_0 \approx P/U$ 。

各工程圈矿的线金属量(P_i)与流体总量(U)之比 $a_i \approx P_i / U$ ，可视为流体进入为各工程位置时刻金的浓度。

190 当控矿工程密度达到足够密，各工程圈矿的线金属量 (P_i)与其控制范围 (S_i)乘积之和即为总金属量

$$P \approx \sum P_i S_i$$

于是进入容矿空间时成矿流体金的初始浓度

$$a_0 \approx \sum P_i S_i / U$$

195 上式中 U 为一常数；在控矿工程大体等距分布，控制范围大体相同， S_i 亦可视为常数。故 U/S 为一常数，于是成矿流体的初始浓度 (a_0) 与累计线金属量 ($\sum P_i$) 成正比。其线金属量的负指数函数变化（见图 8），反映其成矿流体化学反应浓度变化也符合负指数函数变化。该类型函数曲线在物理化学中称之为“一级化学反应速率曲线”。各取样段的矿化强度变化亦如此（参见图 9~12）。一级化学反应速率的函数式

200

$$V = -\frac{dC_A}{dt} = k a_A$$

$$a_A = a_{A,0} e^{-kt}$$

式中：

V —— 化学反应速率；

a_A —— 反应物浓度（亦可理解为生成物的浓度——矿化强度，以下全）；

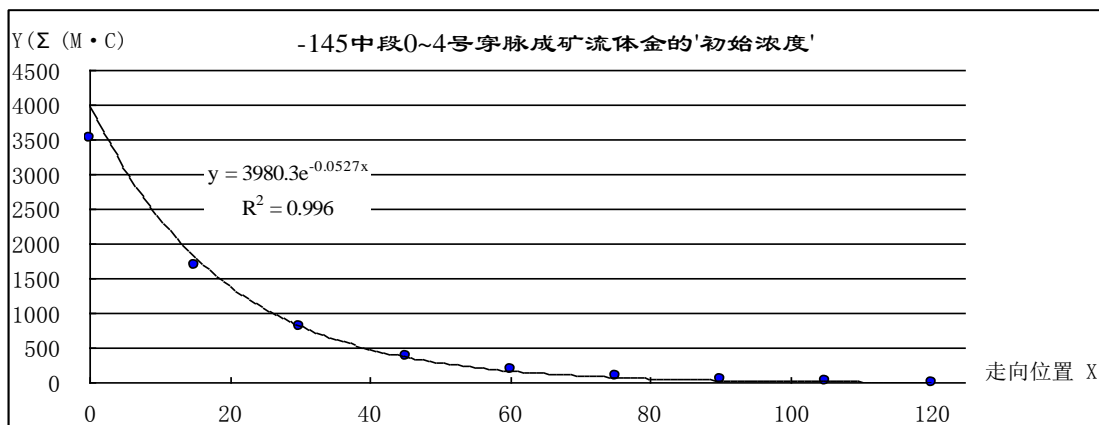
205 $a_{A,0}$ —— 初始反应物浓度；

e —— 自然对数的底；

k —— 反应速率常数；

t —— 时间，在金矿品位（线金属量）曲线图中它对应与样品相对于曲线峰值距离。

穿脉号		0	+0	1	+1	2	+2	3	+3	4
坐标(m)	X	120	105	90	75	60	45	30	15	0
矿体厚度ΣM	M	3	2	11	19	22	28	27	45	41
平均品位	C	1.88	1.80	5.28	2.72	6.07	8.70	14.52	21.79	29.97
线金属量(M·C)	a	5.65	3.60	58.05	51.60	133.43	243.55	392.11	980.50	1228.89
线金属量回归斜率	k	0.26	0.54	1.12	2.32	4.82	9.99	20.71	42.92	88.98
反应级数	n	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
初始浓度Σ(M·C)	Y	5.37	16.50	39.57	87.39	186.54	392.06	818.11	1701.32	3532.22

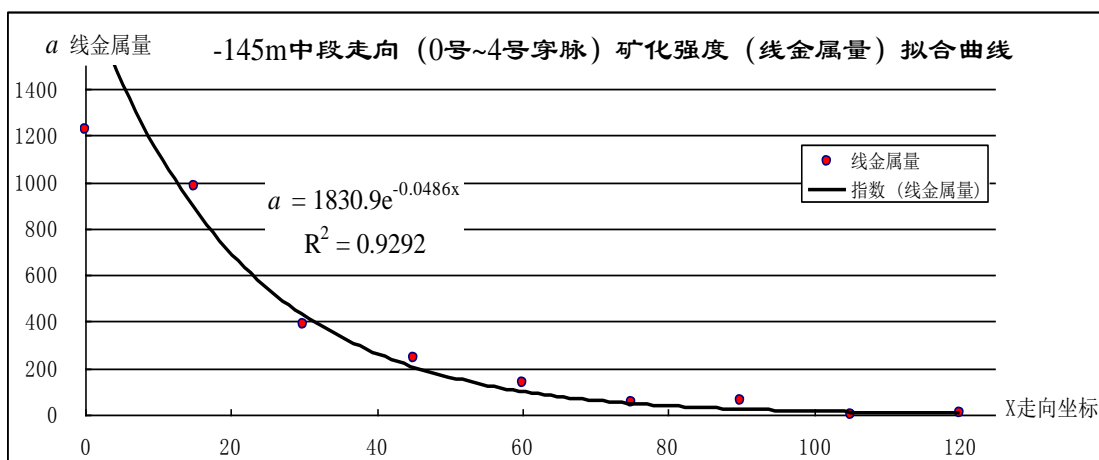


210

图 8.1 号主矿体初始浓度——走向变化拟合曲线

Fig.8 1# ore body initial concentration-trend variation fitting curve

(数据见表 4)

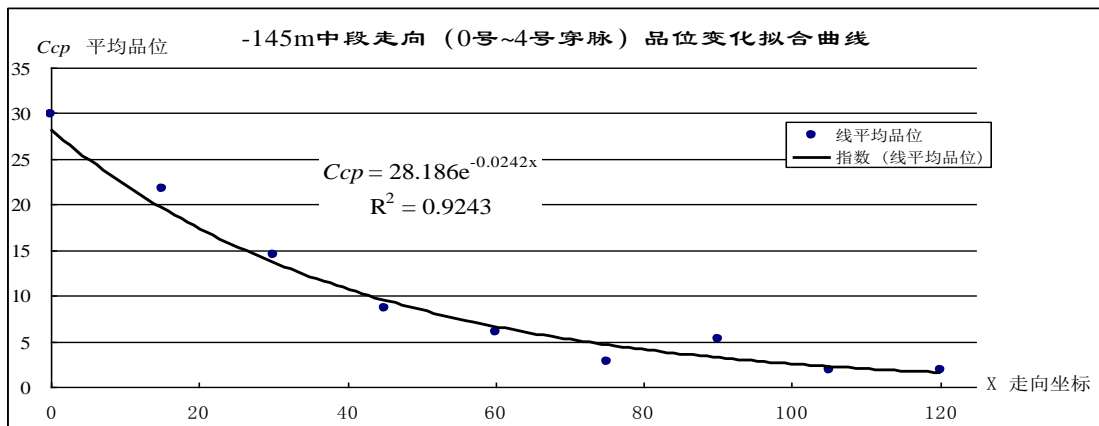


215

图 9.1 号主矿体线金属量——走向变化拟合曲线

Fig.9 1# ore body linear productivity-trend variation fitting curve

(数据见表 4)



220

图 10.1 号主矿体金品位——走向变化拟合曲线

Fig.10 1# ore body gold grade-trend variation fitting curve

(数据见表 4)

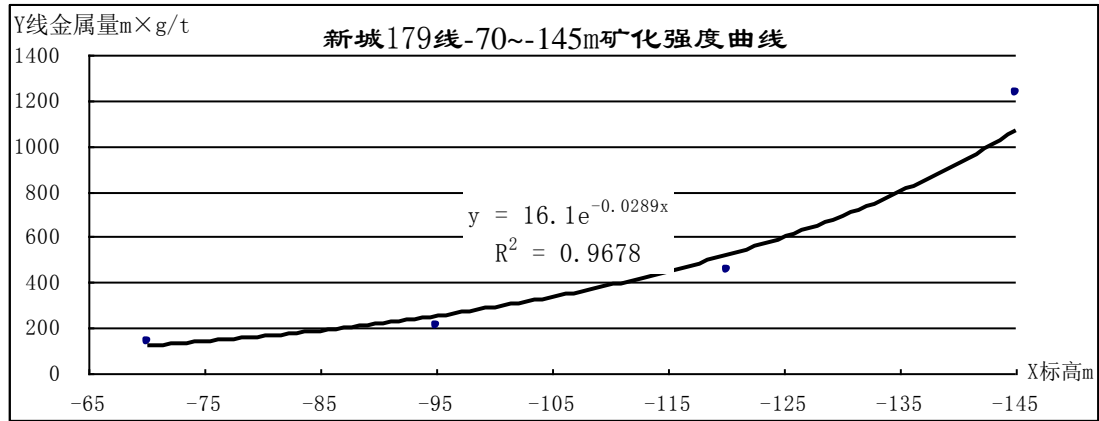


图 11. 179 勘探线-70m~-145m 线金属量拟合曲线

Fig.11 179 exploration line -70m~-145m linear productivity fitting curve

(数据见表 3)

225

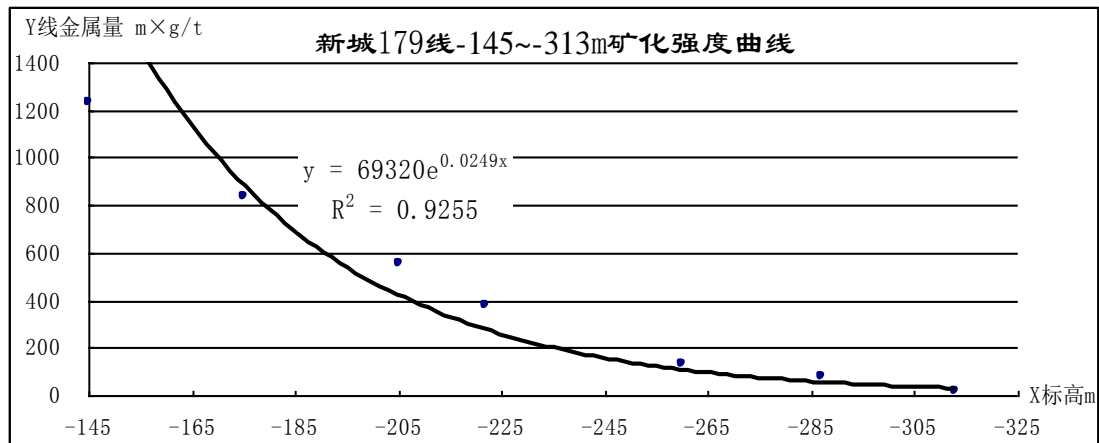


图 12. 179 勘探线-145m~-313m 线金属量拟合曲线

Fig.12 179 exploration line -145m~-313m linear productivity fitting curve

(数据见表 3)

230

上列 7~12 各图中的 R^2 为拟合曲线的相关系数的平方值。该组数据显示其矿化强度的空间分布与指数函数具有良好的相关性。

3.2.2 化学因素对富矿矿柱形成的控制作用

通过对新城金矿 I 号矿体空间几何特征，及其与控制矿体两大因素的联系，可以对其成矿的物理及化学机理描述如下：

235

在一定地应力场作用下，地下岩石的脆性剪切破裂面遵从库仑——莫尔准则，当主拉应力升到一定程度时，便从一点（在新城 I 号矿体-175m 上下，179 勘探线左右）起始，在其周围形成以一组羽列为主的张剪破裂面（参见图 13、14）。由于在岩石破裂面的张开产生一个负压，成矿流体被泵入，加之进入容矿空间后的温度、压力等发生变化，金发生沉淀。起始点处的破裂早，也是起始发生沉淀的位置，故金沉淀的多而且品位高，离开起始点流体内金浓度呈负指数函数下降，沉淀金的矿化强度会快速下降。在走向方向的平面上亦如此，从而靠近起始点形成一个“富矿”段落。随着主拉应力加强，在纵投影面的延深上，剪破裂沿着中间应力主轴向深部扩展，地应力场和一级化学反应速率联合控制矿柱富矿的形成。

240

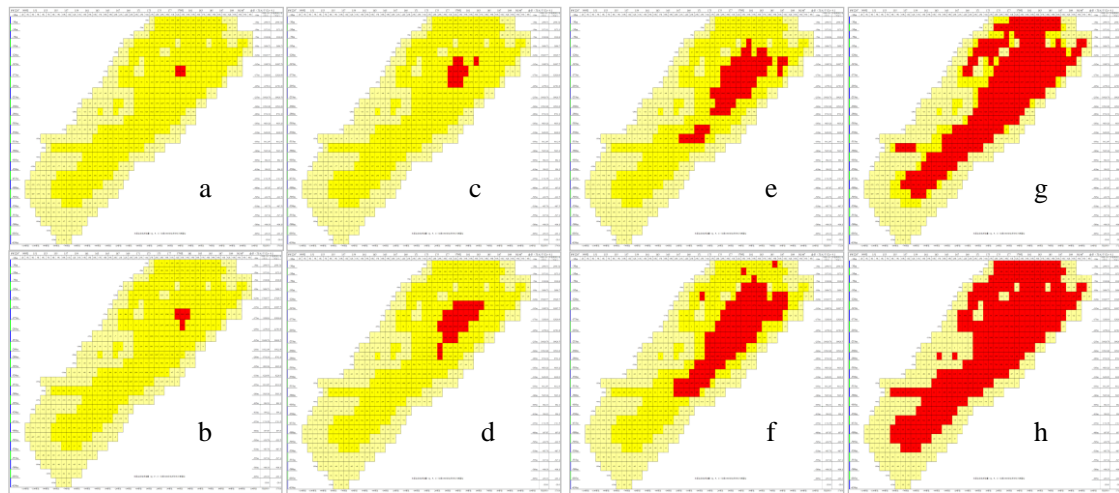


图 13. I 号矿体富矿矿柱分级纵投影图

Fig. 13 I# ore body rich ore pillar classification vertical projection

本图：计算依据地质储量是 1989 年资料。红色是富矿矿块，

金价 91 元/克，选冶回收 91%，吨矿成本 320 元/吨。¥ 表示 15m 走向长×25m±段高矿块潜在利润级别
 a. ¥ > 5000 万, b. ¥ > 4000 万, c. ¥ > 3000 万, d. ¥ > 2000 万, e. ¥ > 1000 万, f. ¥ > 500 万, g. ¥ > 100 万, h. ¥ > 0 万

$$\begin{aligned}
 & \text{矿块的潜在利润} \approx \text{金价} \times \text{矿石量} \times \text{平均品位} - \text{吨矿成本} \times \text{矿石量} \\
 & = (\text{金价} \times \text{平均品位} - \text{吨矿成本}) \times \text{平均厚度} \times \text{体重} \times \text{矿块纵断面面积} \\
 & = (\text{平均品位} - \text{吨矿成本}/\text{金价}) \times \text{金价} \times \text{平均厚度} \times \text{体重} \times \text{矿块纵断面面积} \\
 & = (\text{平均品位} - \text{盈亏平衡品位}) \times \text{平均厚度} \times \text{金价} \times \text{体重} \times \text{矿块纵断面面积} \\
 & = \text{获利平均品位} \times \text{平均厚度} \times \text{金价} \times \text{体重} \times \text{矿块纵断面面积}
 \end{aligned}$$

上式显示：体重为常数，当金价、吨矿成本给定，矿块纵断面接近时，矿块潜在利润与平均品位及平均厚度皆为正相关；或可将“获利平均品位×平均厚度”理解为获利线金属量。可见由矿块的潜在利润所划分的富矿亦是反映矿化强度的一种指标。

因为金在成矿流体中的宏观分布是均匀的，但金的沉淀就位并非一定与人为机械取样部位相吻合。于是取样品位曲线也就不再是严格归一的函数曲线，而表现出某种波动。这不能否定金矿化强度符合指数函数变化趋势。再者成矿部位岩石并非是理想的均质体，其破裂可先后在多个力学强度薄弱处发生。即在应力作用下产生的容矿裂隙（及沿着容矿裂隙向两侧浸染）往往不止一处。人为圈定的一个矿体，可以由多个，甚至是多组容矿构造群体组成。各个半封闭的独立容矿构造之间在某些方向上还可叠加，组成一个更大尺度的容矿空间；它们各自独立的矿化曲线，能够较严格地遵守负指数函数变化。但它们组成的群体不可避免的出现多个“峰谷”，及多期次成矿叠加的复杂景象。我们布置不同网度的探矿工程，可能得到不完全相同的品位变化曲线，这也是高精度的探矿成果，需要有高密度的探矿网度的原因。当然、在一个成矿期、一个容矿群体组成的大尺度空间矿体上、矿化强度仍会具有更大尺度的峰谷变化趋势。

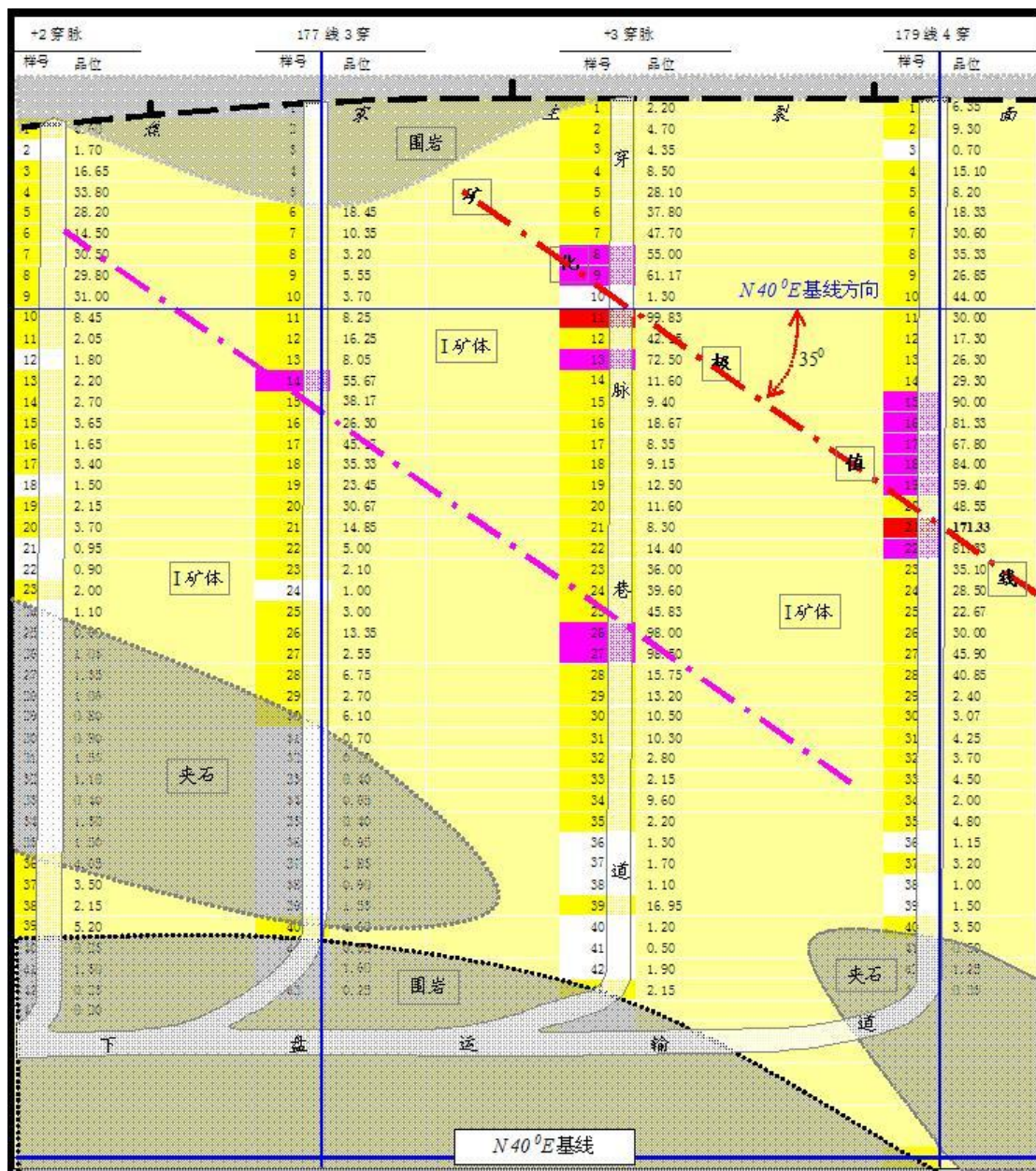


图 14. -145m 中段+2 号~4 号(179 线) 穿脉矿体局域平面图

Fig. 14 -145 metre level,+2#~ 4# Transverse drift (179exporatory) ore body local planar map

280

4. 结语

新城主成矿期成矿应力场是矿体缓倾斜、侧伏及倾伏等的物理控制因素；金沉淀服从一级化学反应速率的负指数变化曲线是矿化强度急剧变化，形成富矿矿柱的另一化学控制因素。

285

通过新城主矿体矿化强度（富矿）空间变化特征的分析，新城主矿体的容矿构造是在水平构造应力主导下形成的。

新城金矿主矿体的上述倾伏、侧伏等特征，亦是焦家构造带内焦家、马塘、东季、界河、上庄、河东、望儿山等的各焦家式金矿所共有的特征。故可称为焦家构造带内金矿矿体空间展布和形态的“规律”。当然、它们是否受同一区域应力场，同在一级化学反应速率控制下的产物，有待进行深入探索。

290

[参考文献] (References)

- 295
- [1] 邓起东, 钟嘉猷, 马宗晋. 剪切破裂带的特征及其形成条件[J]. 地质科学, 1966年, 第3期: 227-234
 - [2] 郑亚东, 王涛, 王新社. 最大有效力矩准则及相关地质构造[J]. 地学前缘, 2007, 14(4): 49-61
 - [3] 张逸昆. 共轭剪切角的流变学意义. 地质力学学报[J]. 2007, 13(3): 212-219
 - [4] 丁培墉等. 物理化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979
 - [5] 王正烈. 物理化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006