

平行矿体投影方法在矿体空间特征研究中的应用

——以小秦岭地区 60 号金矿脉为例

马文征¹, 张永超², 郑汝华¹, 王铁军¹, 祖宗虎³

(1. 中钢集团 天津地质研究院, 天津 300181;

2. 成都市国土规划地籍事务中心, 成都 610074;

3. 灵宝黄金股份有限公司, 河南 灵宝 472500)

摘要: 脉状金矿为非水平或非垂直(即倾斜, 尤其是中度倾斜)状态时, 垂直或水平投影均会产生较大的投影畸变, 导致矿体的几何形态失真和矿体间的展布规律不明显。对产状相对稳定的脉状金矿建立以平均倾向和平均倾角为参数的平行矿体的投影面, 借助这个投影面研究金矿体的空间特征和矿脉顶板构造面的起伏规律, 实例说明平行矿体的投影方法与常规投影方法比较, 能更多地显示矿体的空间特征与赋存规律。

关键词: 平行矿体投影; 脉状金矿; 矿体空间特征; 构造面; 小秦岭地区

中图分类号: P623.6; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2011)03-0295-05

0 引言

人们在进行矿床地质特征研究时, 需要对矿体的数量、产状、形态、厚度、沿倾向及走向的变化进行详尽的统计, 并分别计算各要素的变化系数, 区分主矿体、次要矿体、小矿体及矿体群, 确定矿体的稳定程度。在资源勘查和矿产地质科研工作中经常用平面地质图、中段地质图、横剖面图、纵剖面图、纵投影图、矿体等厚图和顶(底)板等深线图反映的变化特征来研究矿体的三维空间变化规律。这些图件均需要将三维数据点投影到某一个平面中, 如, 矿体纵投影图^[1]是将各种探矿工程的点位、各种分析数据的采样点位及不同地质体的分界(分层)点位全部投影到一个与矿体延长方向(走向)平行的一个平面上, 用以显示矿体的形态、各矿块的品级及分布、工程的控制程度, 为储量计算提供基础图件。

在地质勘探和采矿生产中经常采用的是垂直投影图和水平投影图, 然而作者在脉状金矿研究中发现, 当矿脉为非水平和非垂直(即倾斜, 尤其是中度

倾斜)状态时, 一些规模较小的矿体经垂直或水平投影呈现出的形态产生几何畸变, 造成矿体的空间形态特征部分失真, 展布规律不明显或发生扭曲。在构造控矿的研究中, 断裂构造面的形态特征与金矿体赋存状态的关系是一项重要的研究内容, 工作中常采用矿体顶(底)板等深线图来显示构造结构面的变化规律^[2], 当主构造面为倾斜状态时, 垂直或水平投影获得的矿脉顶(底)板等深线图具有一定程度的几何变形, 并不能准确地表达矿脉顶(底)板的变化规律。因此, 针对倾斜产状的矿脉, 建立一种能客观、真实地反映构造结构面或金矿体空间形态特征的投影面是很有必要的。

在小秦岭 60 号金矿脉的研究中发现, 当矿脉倾向和倾角相对稳定的情况下, 以该脉的平均倾向和平均倾角为参数, 建立与矿脉顶面平行的面作为投影面(即矿脉的正射投影面), 借助该面研究分析金矿体的空间形态特征、金矿体的赋存规律和矿脉顶(底)板变化的规律。可以丰富人们对金矿研究的工作手段, 更为客观、准确地总结矿床地质规律, 有助于地质找矿和矿山生产工作的开展。

收稿日期: 2011-05-10; 修回日期: 2011-08-13

作者简介: 马文征(1982-), 男, 甘肃渭源县人, 助理工程师, 2006年毕业于中南大学, 从事遥感技术与GIS技术在矿产勘查中的应用研究。
通信地址: 天津市河东区友爱东道平房4号, 中钢地质院矿产地质研究所; 邮政编码 300181; E-mail: ma_wenzheng@163.com

1 投影面的建立

设投影面 π 的平面方程为:

$$AX+BY+CZ+D=0 (A, B, C, D \text{ 均为实数})$$

1.1 基于实测产状的投影面建立^[3]

脉状矿体一般平均产状比较稳定, 令走向平均值为 $\alpha (0^\circ < \alpha < 180^\circ)$ 和倾角平均值为 β 。设 π 与 π_0 (水平面, 平面方程: $Z=0$) 交线为 $l, ax+y+d=0$ 。

由直线 l 的斜率与走向关系可得:

$$a = -\tan(90-\alpha)$$

再由直线 l 平行于面 π_0 知:

$$a = A, 1 = B$$

由空间解析几何两平面夹角公式:

$$\cos \theta = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2 + C_1 C_2}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2} \cdot \sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}}$$

式中, A_i, B_i, C_i 为平面方程 X, Y, Z 的系数; $i=1, 2$ 。

π 面与水平面夹角等于 π 面的倾角 β 。将 $\beta, A_1 = -\tan(90-\alpha), B_1 = 1, A_2 = 0, B_2 = 0, C_2 = 1$ 代入上式:

$$C_1 = \pm \sqrt{\frac{((- \tan(90-\alpha))^2 + 1) \times \cos^2 \beta}{1 - \cos^2 \beta}}$$

($0^\circ < \beta < 180^\circ, C$ 取正值, 反则取负值)

则过点 (X_0, Y_0, H_0) 的基准面平面方程为:

$$- \tan(90-\alpha)X + Y \pm \sqrt{\frac{((- \tan(90-\alpha))^2 + 1) \times \cos^2 \beta}{1 - \cos^2 \beta}}Z - \left[- \tan(90-\alpha)X_0 + Y_0 \pm \sqrt{\frac{((- \tan(90-\alpha))^2 + 1) \times \cos^2 \beta}{1 - \cos^2 \beta}}H_0 \right] = 0$$

1.2 基于实测三位坐标的投影面建立^[4]

Gauss 最小二乘是一种数学优化技术, 它通过最小化误差的平方和寻找数据得最佳匹配函数。

由平面方程性质知, A, B, C 不同时为 0, 以 B 不等于 0 为例。 $B \neq 0$, 参考面平面方程为:

$$\frac{A}{B}X + Y + \frac{C}{B}Z + \frac{D}{B} = 0$$

假设投影面附近有 n 个点, 坐标值为: $(X_i, Y_i, Z_i), i=1, 2, \dots, n$ 。将 n 个点坐标值代入投影面方程则有:

$$\begin{cases} \frac{A}{B}X_1 + Y_1 + \frac{C}{B}Z_1 + \frac{D}{B} = \Delta_1 \\ \frac{A}{B}X_2 + Y_2 + \frac{C}{B}Z_2 + \frac{D}{B} = \Delta_2 \\ \vdots \\ \frac{A}{B}X_n + Y_n + \frac{C}{B}Z_n + \frac{D}{B} = \Delta_n \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2 (i=1, 2, \dots, n)$$

由最小二乘原理知, $\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 (i=1, 2, \dots, n)$ 最小

时, n 点拟合的平面就是所求投影面。令 $\frac{A}{B} = E, \frac{C}{B} = F, \frac{D}{B} = G$; 对该式分别求 E, F, G 的偏导数, 则有

$$\begin{cases} \frac{\partial \sum \Delta_i^2}{\partial E} = 2 \sum (EX_i + Y_i + FZ_i + G) \times X_i = 0 \\ \frac{\partial \sum \Delta_i^2}{\partial F} = 2 \sum (EX_i + Y_i + FZ_i + G) \times Z_i = 0 \\ \frac{\partial \sum \Delta_i^2}{\partial G} = 2 \sum (EX_i + Y_i + FZ_i + G) \times 1 = 0 \end{cases}$$

求解线性方程得

$$\begin{bmatrix} E \\ F \\ G \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum Y_i X_i \\ \sum Y_i Z_i \\ \sum Y_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i & \sum X_i \\ \sum X_i Z_i & \sum Z_i^2 & \sum Z_i \\ \sum X_i & \sum Z_i & n \end{bmatrix}$$

则投影面平面方程为: $EX+Y+FZ+G=0$ 。

2 三维大地平面坐标和投影面的转换

投影点就是过该点且和投影面垂直的直线与该投影面的交点。令平面方程 $AX+BY+CZ+D=0$ 所在平面二维坐标系的 X 轴为 x' , 原点和大地平面坐标系原点 O 重合, Y 轴为 y' (图 1)。

点 P (坑道测量点) 在 $x'oy'$ 的投影点为 P_0 , 点 P 在大地平面坐标系的坐标值为 (X_P, Y_P, H_P) 。由空间几何关系知, 坐标系 $x'oy'$ 中点 P_0 的坐标值为:

$$x' = \frac{Y_P}{\cos \alpha}$$

$$y' = \frac{H_P}{\sin \alpha} - \frac{|A \times X_0 + B \times Y_0 + C \times Z_0 + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \cdot \tan \alpha$$

3 应用实例

小秦岭金矿床的围岩为太古界太华群变质岩, 含金石英脉的分布受 EW 向复背斜及其南北两侧近 EW 向脆韧性大断裂的控制^[5]; 与金矿化有关的围岩蚀变为硅化和绢云母化, 矿脉内石英脉、含金石英脉和构造岩相间出现, 工业金矿体一般赋存于构造产状发生转折或变化的部位。枪马金矿 60 号脉的开采资料显示, 矿化带沿走向长 3 000 多 m, 沿倾向延长 800 多 m, 矿化带内大小矿体零散或相邻展布。

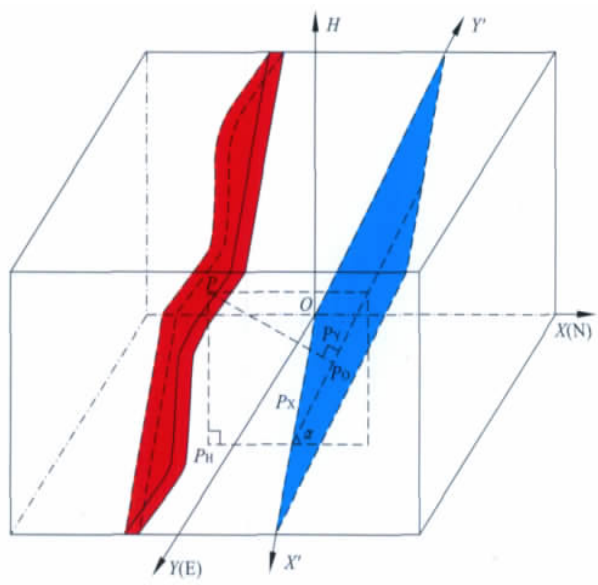


图 1 坑道测量点和投影面的关系图

Fig.1 Points surveyed in drift vs reference surface

为了研究金在 60 号金矿脉中的空间分布特征、金矿脉顶板波状起伏的规律,建立了平行矿体的投影面,即平行矿体顶板的投影面(图 2)。

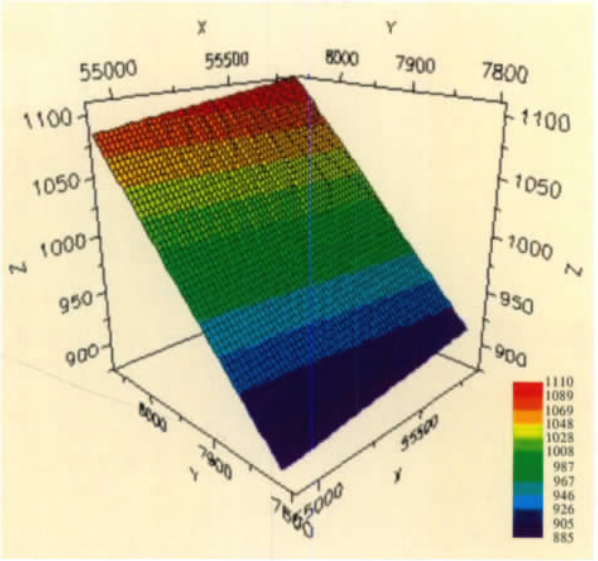


图 2 平行矿体顶板的投影面空间三维图

Fig.2 3D diagram of the projection in plane paralell to vein 60

按照基于实测产状建立参考面方法,计算得 60 号脉走向平均值 $\alpha=92^\circ$, 倾角平均值 $\beta=51^\circ$ 。为使坑道测量点全部落在投影面上方,令投影面过该点 ($X_0=55099.82, Y_0=8145.773, H_0=1147$), 得到投影面的空间方程为:

$$0.027121X+0.776673Y-Z-6673.933=0$$

将采样点的三位坐标按照三维大地平面坐标和投影面的转换关系投影到平行矿体的投影面中,并生成 Au 元素品位等值线图(图 3a),为了定量分析平行矿体的投影对矿化富集形态特征的显示效果,对平行矿体投影和垂直投影所生成的金元素浓集区 ($w(\text{Au})>3\times 10^{-6}$, 图 3 中的粉色区域)进行的统计对比(表 1)表明,平行矿体的投影图中金元素浓集区的总面积比垂直投影图增加了 52.34%,金元素浓集区的个数也比垂直投影图增加了 26.76%。

将平行矿体投影与垂直投影两种方法获得的 Au 品位等值线图(图 3a,图 3b)进行比较后发现:①在不同方法的投影图中都显示出金元素的浓集呈 EW 向带状展布,是金富集的主体延展方向;②在平行矿体的投影图中,金元素的浓集除了主要呈 EW 向延展外,还显示出呈 NW 向延展的趋势,部分浓集中心的长轴方向即为 NW 向,金的浓集带向深部有呈 SE 方向侧伏的现象,这些规律性特点在垂直投影图中均没有显示;③在平行矿体的投影图中,金的浓集中心还呈现等距带状分布的特点,在 EW 向矿化带中以 140~220 m 的距离间隔出现 NW 方向的金元素带状浓集趋势。这一规律在垂直投影图中表现得不明显。

不同投影方法的对比说明平行矿体的投影方法比传统投影方法能更真实地反映金矿化的形态特征,有效地克服传统投影方法中对于矿化范围、矿体形态造成的畸变、压缩和叠合等缺点,这种直观的投影方法对矿床地质研究和找矿勘查工作具有指导意义。

对热液充填型金矿床来说,在相对均匀和稳定的围岩中,含金热液温度、压力、沿裂隙迁移速度等的变化,取决于断裂(裂隙)扩容的程度、岩石的静压力及构造应力的因素;热液转移到减压空间时,将导致热液迁移速度的改变,压力和温度的降低也将导致热液物理状态和化学状态的改变,导致矿物从热液中沉淀^[2-3,6-7]。通过野外和室内研究发现,小秦岭 60 号脉中糜棱岩普遍存在,矿脉顶板构造面呈舒缓波状,波状矿脉的波谷和波峰部位往往是含矿流体的方向改变、分支汇合的位置,这些部位利于成矿物质的沉淀和富集,是形成金矿体的理想空间。

为了研究小秦岭 60 号矿脉的顶板与金元素浓集的关系,作者用平行矿体投影方式绘制了矿脉顶板等值线与金元素浓集关系图(图 4a),同时用水平投影方法绘制了矿脉顶板等深线与 Au 元素浓集关

表 1 垂直投影和平行矿体投影效果比较表($w(\text{Au}) > 3 \times 10^{-6}$ 区域)
Table 1 Comparison of Au grade Psrojection in plane paralell and vertical

项目	垂直投影	平行矿体投影	两种投影的差值	增减比率
区域个数	15	19	+4	+26.67%
总面积/m ²	19615.13	29882.01	+10266.88	+52.34%
矿化规律	EW 向成带特点	明显	明显	—
	SE 向侧伏特点	一般	明显	↑
	等距性分布特点	不明显	明显	↑

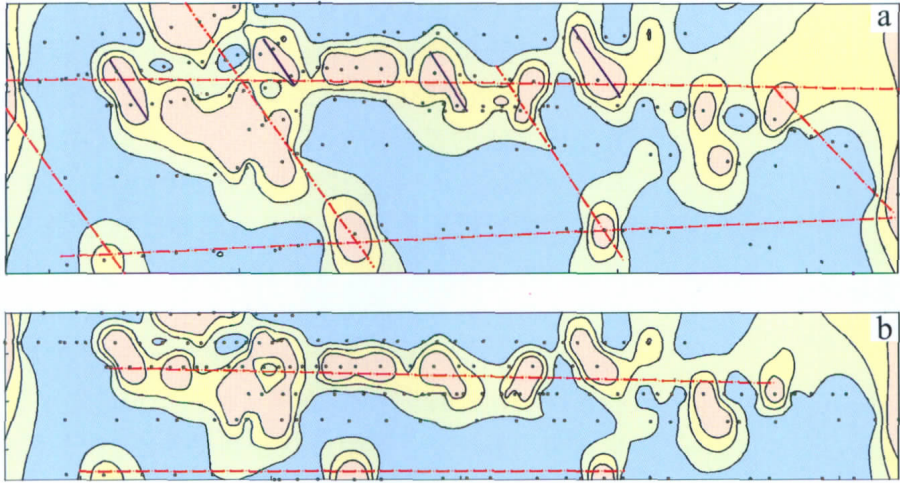


图 3 用不同投影方法绘制的金品位等值线图

Fig. 3 Au grade contours resulted from projection in plane parallel to ore body and vertical projection

a. 平行矿体投影 b. 垂直投影
等值线间距为 1×10^{-6} , 粉色区域为 $w(\text{Au}) > 3 \times 10^{-6}$

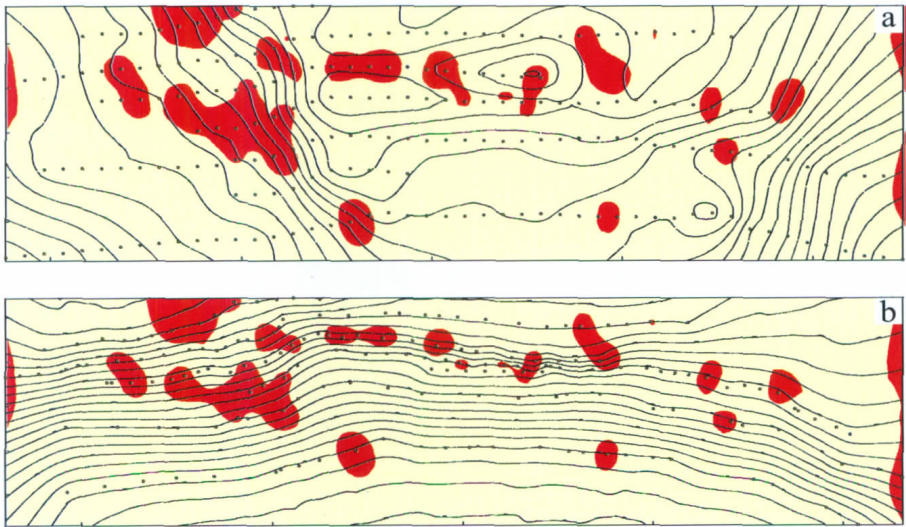


图 4 不同投影方法获得的顶板形态与金的浓集关系图

Fig. 4 Morphology of the ore bodys top surface vs Au concentration resulted from projection in plance parallel to ore body and vertical projection

a. 用平行矿脉投影方法获得的矿体顶板等值线与金的浓集区关系图
b. 用水平投影方法得到的矿脉顶板等深线与金的浓集区关系图

系图(图 4b)。通过对比看出:①金元素的浓集区(红色部分)主要沿着矿脉顶板产状陡、缓变化部位(图 4b)和形态发生改变的地段(图 4a 中部)分布,有部分浓集区沿着顶板等值线转向的陡坡地段展布,形成不同走向浓集带交汇点附近的膨大现象(图 4a);②在图 4a,矿脉顶板形态在其东、西两端急剧凸起转向,形成一个略向 SE 侧向倾伏的“U”形“凹兜”,在“凹兜”中叠加着 EW 向“凹槽”;③在图 4a 中,金元素的浓集区与“凹兜”、“凹槽”具有对应关系,而这个现象在图 4b 中却未能体现出来,由此认为,平行矿脉投影方法获得的矿脉顶板等值线与 Au 元素富集关系图能够更直观地显示出矿体顶板与金元素浓集区之间的关系,对金矿化的空间分布规律反映得更为明显。

当脉状金矿体的倾向和倾角基本稳定,倾角非近似水平和垂直时,利用平行矿体投影方法研究该类金矿的矿化区域形态特征和矿化区域空间分布规律最接近实际情况;矿脉顶板构造面的起伏和金元素浓集区之间的规律更容易被发现。

4 结论

(1)对于倾向和倾角基本稳定的中等倾斜矿体,平行矿体的投影方法能更直观、准确地显示矿化体的形态特征和展布规律。

(2)平行矿体的投影方法在研究脉状金矿顶(底)板结构面时,能直观地显示结构面的形态细节,使其规律性特点更加明显;利用平行矿体的投影方法,顶(底)板面的形态与矿化的空间关系对应性更强,对认识矿化的赋存规律具有指导意义。

(3)平行矿体的投影反映出:小秦岭 60 号脉中的金矿化以 EW 向为主呈带状展布,同时具有等距性向 SE 方向侧伏的特点;金的矿化富集受含矿断裂波状曲面(即断裂结构面)的控制。在矿山生产中,除了沿相似水平标高进行追索式探矿外,当矿化变富、规模变大时,就按其侧伏规律和等距性规律向矿体的上、下方向探寻侧伏的盲矿体;当探到另一个

水平标高的金的浓集中心时,则应当沿水平方向展开,寻找 EW 向延展的金矿富集带,并按照侧伏规律和等距性规律寻找金的富集部位。

参考文献:

- [1] 侯德义. 找矿勘探地质学[M]. 北京:地质出版社,1984:309-315.
- [2] 刘如琦. 一个 S-C 构造控制金矿化的实例[J]. 地质科学, 2005,40(1):105-113.
- [3] 郭光裕. 脉状金矿床深部大比例尺统计预测初探[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1989:10-17.
- [4] 张亮. 运用最小二乘拟合法求矿层位态要素[J]. 矿产与地质, 2001,15(5):374-377.
- [5] 冯建之. 小秦岭深部金矿成矿规律与成矿研究[M]. 北京:地质出版社,2009:44-66.
- [6] Hodgson C J. The structure of shear-related, vein-type gold deposits:A review[J]. Ore Geology Reviews, 1989(4):231-273.
- [7] 陈柏林. 构造形变类型与金矿化类型的关系[J]. 世界地质, 2000,19(3):217-224.

Application of projection onto a established plane paralell to ore body to study on spatial characteristics of gold ore body —A case of No. 60 gold lode in Xiaoqinling area

MA Wen-zheng¹, ZHANG Yong-chao², ZHENG Ru-hua¹,
WANG Tie-jun¹, ZU Zong-hu³

(1. Sinosteel Tianjin Geological Academy Co. Ltd, tianjin 300181, China;

2. Chengdu Centre for Cadastral Land Planning, Chengdu 610074, China;

3. Lingbao Gold Co. Ltd, Lingbao 472500, Henan, China)

Abstract: Projection of non-horizontal and non-vertical gold lodes is subject to geometric distortion and obscurity of distribution pattern of gold ore bodies, especially for the medium oblique ore bodies. On basis of parameters of average dip and dip angle for gold lodes with relatively stable occurrence is established a projection plane parallel to the gold ore body. By means of the plane are researched spatial characteristics and relief patrtern of the top structural plane of the ore body. The case study shows that projection onto the established plane is superior over the tradional horizontal or vertical projection in reflection of spatial characteristics and occrrence of gold ore bodies.

Key Words: Projection onto a plane paralell to ore body; gold lode; spatial characteristics of ore body; structural plane; Xiaoqinling area