

文章编号: 1006-544X (2006) 03-0305-05

矿体的侧伏规律及其地质意义

汪劲草^{1,2}, 王蓉嵘¹, 周瑶¹, 万方良¹, 陈彬彬¹

(1. 桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004; 2. 中国科学院 边缘海地质重点实验室, 广州 510640)

摘要: 断裂控制的二维板式矿体中, 矿体赋存空间的最小单位为透镜状裂隙, 或称为一个成矿构造单元, 第一世代的透镜状裂隙群呈雁列状排列, 经递进变形逐渐为第二世代的桥构造连接, 形成一条完整的成矿波形断裂。提出了单侧伏和复侧伏的概念, 认为雁列成矿透镜状裂隙群彼此平行, 其侧伏为单侧伏; 雁列成矿裂隙群通过桥构造连通成一条波形控矿断裂, 其侧伏为复侧伏。提出了主动侧伏和被动侧伏的概念, 认为矿体的倾伏方向与破裂面上主剪应力的方向一致为主动侧伏, 否则为被动侧伏。实例研究表明矿体的侧伏向与成矿期的动力学之间具有密切的成因联系。强调解析成矿构造形成时的动力学过程, 对确定隐伏矿体的侧伏规律具有十分重要的地质意义。

关键词: 侧伏; 成矿构造单元; 动力学; 桥构造; 矿体

中图分类号: P613

文献标志码: A

矿体产状在成矿预测中是十分重要的地质参数。它包括倾向及其倾角、侧伏向及其侧伏角。对绝大多数由断裂控制的矿床而言, 矿体的倾向及倾角往往在矿体发现的初期就会认识, 而侧伏向及侧伏角通常在矿体经过详查或开采到一定程度后才会知道。因此, 尽快掌握矿体的侧伏向及侧伏角, 就会在成矿预测中, 特别是隐伏矿体预测中少走弯路、节省资金。近年来, 笔者在数十个生产矿山工作时发现, 受断裂控制的脉型和蚀变岩型矿体, 其侧伏向及其侧伏角与成矿时的主构造应力 (σ_1) 密切相关^[1-3]。因此, 解析成矿构造形成时的动力学过程, 对确定隐伏矿体的侧伏规律具有十分重要的地质意义。

1 几个概念

侧伏角: 倾斜断裂面上, 矿体最大截面 AB 面长轴, 与该断裂面走向线所夹之锐角, 即为此矿体在该断裂面上的侧伏角 (图 1a)。

侧伏向: 倾斜断裂面走向线构成侧伏锐角那一端的方位 (图 1a)。

成矿构造单元: 一条断裂构造或一群小断裂构造所围限的、为矿质直接充填或交代的、具有透镜状或类似于透镜状结构的、不可再分的、具有实际储矿空间的成矿地质构造单元。

单侧伏与复侧伏: 断裂形成时一般具有多个呈雁列状平行排布的破裂中心, 每个破裂中心皆可以扩展成为一个互不连通的成矿构造单元, 其侧伏叫单侧伏; 如果经过递进变形, 多个扩展中心通过第二世代的张性桥或压性桥连通, 形成一条由多个成矿构造单元组成的波形控矿断裂, 其侧伏叫复侧伏。自然界中, 绝大多数矿体为复侧伏, 只有极少数矿体为单侧伏。

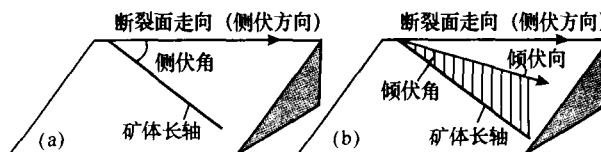


图1 矿体的侧伏向、侧伏角 (a) 与倾伏向、倾伏角 (b) 示意图

Fig. 1 Diagram showing the lateral trending and lateral angle of orebodies, and its pitching trending and pitching angle

收稿日期: 2005-09-13

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (200333419); 中国科学院边缘海地质重点实验室基金项目 (MSGLO4-5)

作者简介: 汪劲草 (1963-), 男, 博士, 研究员, 区域构造与成矿构造专业。E-mail: wangjc@glite.edu.cn

主动侧伏与被动侧伏：如果矿体的倾伏方向（图1b）与破裂面上主剪应力的方向一致，则为主动侧伏，否则为被动侧伏。自然界中，绝大多数矿体为主动侧伏，只有极少数矿体为被动侧伏。

2 几个实例

2.1 实例1

玲珑-焦家地区金矿床经过近20年的勘探与开采，已知矿床中矿体的侧伏规律已十分清楚^[4-7]。即：在玲珑金矿区，玲珑断裂两侧的石英脉型金矿体皆向北东方向侧伏，破头青断裂下盘的蚀变岩型金矿体皆向北北东方向侧伏。在焦家金矿区，焦家断裂带和望儿山断裂带中的蚀变岩型金矿体皆向南西方向侧伏。上述侧伏皆为主动侧伏。

图2示玲珑-焦家地区的构造成矿系统。它的构造格架由两类断裂组成：一类是低角度断裂（ $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ），另一类是高角度断裂（ $65^{\circ} \sim 85^{\circ}$ ）。低角度断裂包括焦家低角度主边界断裂，望儿山低角度次边界断裂及破头青低角度主边界断裂。主低角度断裂分别倾向两侧，共同组成“八字”形。高角度断裂包括玲珑断裂、玉皇顶断裂及金牛山断裂等，位于低角度断裂所夹的花岗岩块体中，呈近等距分布，靠东侧则向东陡倾，靠西侧则向西陡倾，走向与低角度断裂近于一致。研究表明^[8,9]：这些低角度断裂早期为韧性断裂，晚期为脆性断裂。高角度断裂早期为脆-韧性断层，晚期为脆性断层。低角度断裂的韧性动力变质带发育于其下盘，且愈往下变形愈弱，故其符合拆离断层-低角度正断层的地质特征^[10-13]。高角度断层为具有压性桥的张剪性断裂，部分压性桥在脆性变形阶段破碎，形成碎裂岩透镜体。对韧性构造岩中a线理（石英棒）的产状、脆性构造岩中b线理（石英棒）的产状、花岗岩块体中小尺度剪切断裂系的构造解析，并结合本地区中生代成矿期成矿地质背景的综合分析，认为该区受长期活动的郯庐左行平移剪切带^[14,15]与中生代地幔热隆伸展构造^[16]的双重控制，两种相互独立的动力学体系在本区叠加后构成了罕见的正滑-走滑复合型成矿构造体制。因此，在玲珑金矿区，早期韧性阶段伸展动力分量（南东东）大于左行走滑动力分量（北北东），故韧性阶段破头青断裂上

盘向北东方向斜滑；晚期脆性阶段左行走滑动力分量（北北东）则大于伸展动力分量（南东东），故脆性阶段破头青断裂上盘向北北东方向斜滑；而在焦家金矿区，早期韧性阶段伸展动力分量（北西西）也大于左行走滑动力分量（南南西），故韧性阶段焦家断裂和望儿山断裂上盘则向南西方向斜滑，晚期脆性阶段左行走滑动力分量（南南西）则略大于伸展动力分量（北西西），故脆性阶段焦家断裂和望儿山断裂上盘向南西方向斜滑。上述成矿构造的动力学特征与该区已知矿床中脉型和蚀变岩型矿体的侧伏规律完全吻合^[17]。值得一提的是：焦家低角度主断裂与望儿山低角度次断裂组成双重滑覆构造，两断裂所夹的块体为一巨型构造透镜体。尽管发育于构造透镜体中的脉型金矿体如焦家金矿床下盘的Ⅲ号矿体与该矿田中其它蚀变岩型金矿体的倾向相反且侧伏向也不一致，但按照定义其矿体侧伏仍为主动侧伏，构造分析表明这些雁列状矿脉受控于剪切带中的R型裂隙。

2.2 实例2

锡铁山铅锌矿床经过20余年勘探与开采，已经揭示出其矿体侧伏规律：单个脉状铅锌矿体向

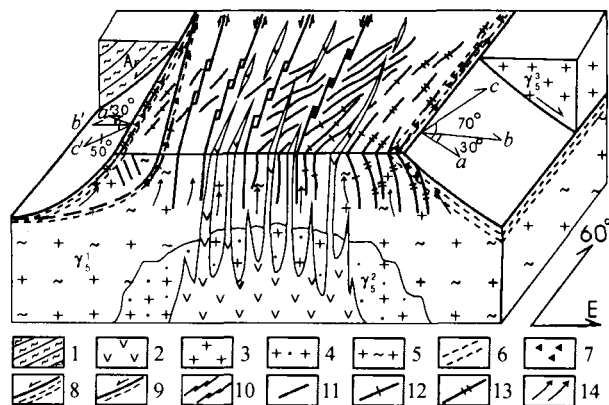


图2 玲珑-焦家地区金矿构造成矿系统

Fig. 2 Structural metallogenic system of the gold deposits in Linglong - Jiaojia district of Shandong

- 1—太古宙片麻岩；2—中基性岩脉；3—漆家河花岗岩；4—郭家岭花岗闪长岩；5—玲珑混合花岗岩；6—韧性构造岩；7—脆性构造岩；8—低角度主边界断层；9—低角度次边界断层；10—“桥”破裂和未破裂的高角度次边界断裂；11—石英脉型金矿；12—过渡型金矿；13—蚀变岩型金矿；14—矿液运移方向；a(a')—正滑方向；b(b')—韧性与脆-韧性成矿阶段破头青与焦家断裂上盘运动方向；c(c')—脆性成矿阶段破头青与焦家断裂上盘运动方向

北西方向侧伏，属主动侧伏；而矿脉群则向南东方向侧伏，属被动侧伏。

图3为锡铁山铅锌矿床的构造地质图(a)和矿体纵投影图(b)。构造解析表明^[2]：矿区早期为伸展构造体制，形成加里东期变质核杂岩体；晚期为挤压构造体制，形成海西期褶皱冲断构造。赋矿地层——上奥陶统滩间山群(O₃tn^{a-b})夹于上、下拆离断层之间，为一套已糜棱岩化的中基性海相火山-沉积岩系。脉状铅锌矿体为喷流沉积形成的矿质，经构造再造从强变形的糜棱岩带中迁出，再沉淀于弱变形的大理岩构造透镜体域中形成的。因此，只要知道了大理岩构造透镜体的几何结构，也就掌握了矿体的侧伏规律。通过拆离断层下盘韧性动力变质带中发育的大量剪切褶皱的倒向及拉伸线理指向判断，拆离断层上盘的伸展方向为南西向(225°±)，这说明层控的大理岩构造透镜体的侧伏方向为南东向(135°±)。显然，大理岩构造透镜体的几何特征客观上限制了矿体主动侧伏的空间，致使脉状铅锌矿体顺大理岩构造透镜体的延长方向雁行斜列，因而最终导致矿脉群的被动侧伏。

2.3 实例3

湘中新化铋金矿床位于湘中东西向金铋成矿带的西部，龙山-白马山东西向隆起与雪峰弧形隆起的复合处^[3]。I号石英脉型金铋矿体发育于

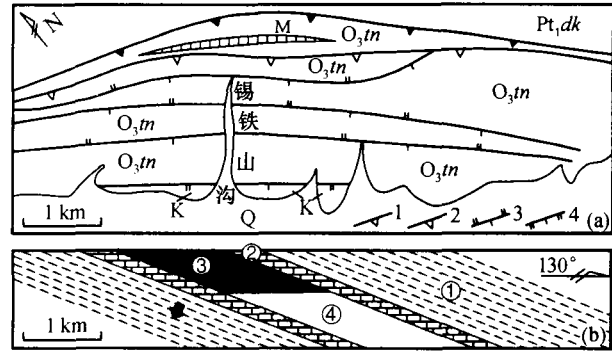


图3 青海锡铁山铅锌矿床地质构造简图(a)与矿体纵剖面投影图(b)

Fig.3 Simplified geological-structural map (a) and straight-cut section projection map of the ore-bodies (b) of the Pb-Zn deposit in Xitieshan of Qinghai

Q—第四系；K—白垩系；O₃tn—上奥陶统滩间山群；Pt,dk—早元古宙达肯大坂群；M—大理岩构造透镜体；1—下拆离断层；2—上拆离断层；3—逆断层；4—正断层；①—强变形带中的糜棱岩；②—弱变形域中的大理岩；③—已知矿体纵剖面投影；④—预测矿体纵剖面投影；➔—主剪应力方向在纵剖面上投影

下震旦统江口组含砾砂质板岩中。矿脉走向310°，倾向南西，倾角55°~65°，南东端出露地表，北西端向深部倾伏(图4)。即使不考虑地表剥蚀和深部延伸，已探获矿体的倾伏延长就远大于其地表出露长度。根据矿化强度^[17]

$$I_m = \sum_{j=1}^n L_j \times G_j$$

(其中，n为各中段掌子面上取样总数，L为每一样

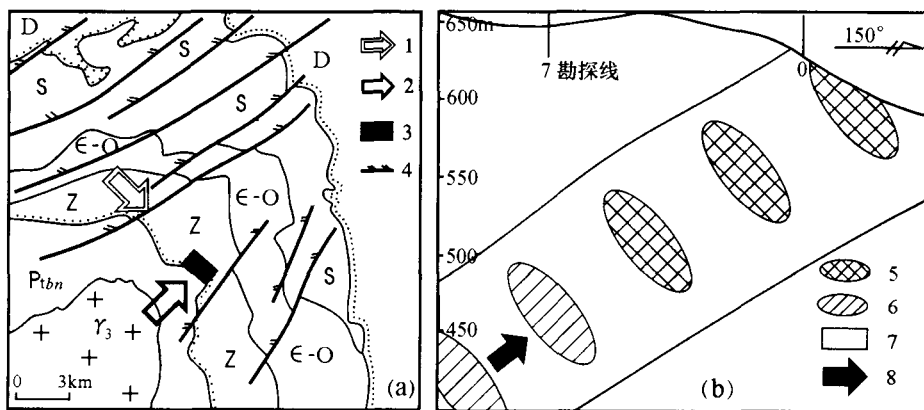


图4 新化铋金矿床区域构造地质简图(a)与I号石英脉型铋金矿体纵剖面投影图(b)

Fig.4 Regional structural-geological sketch map(a) and the straight-cut section projection map of No. I quartz-vein type Sb-Au ore-bodies(b) of the Xinhua Sb-Au deposit, Hunan province

D—泥盆系；S—志留系；E-O—寒武系至奥陶系；Z—震旦系；Ptbn—元古宙板溪群；γ₃—加里东期白马山花岗岩体；1—加里东期区域挤压力方向；2—白马山花岗岩体侵入时作用于矿区的挤压力方向；3—矿区范围；4—压扭性断层；5—已知矿化强度最大的成矿构造单元；6—预测矿化强度最大的成矿构造单元；7—成矿构造单元之间矿化强度相对较弱的构造域；8—主剪应力方向在纵剖面上的投影

品的长度即矿体的厚度, G 为每一样品品位) 可得到如图 4b 所示的矿化强度最大的透镜状构造域, 又称一个成矿构造单元, 其结果与实际开采情况完全吻合, 表明 I 号矿脉由雁列的透镜状张裂隙通过压性桥构造连接构成的. 构造解析表明^[1]: I 号脉受控于一北西向的脆-韧性剪切带, 矿脉产状与剪切带一致, 说明 I 号脉为剪切带中的 D 型张剪脉. 结合同构造小石英分泌脉褶皱的剪切倒向、剪切面理与矿脉的构造关系及区域主干褶皱与附近岩浆侵位动力学 (4a) 等分析, 认为该脆-韧性剪切带具左行斜冲性质, 斜冲仰角约 30° . 因此, I 号矿脉的侧伏性质为复侧伏, 属主动侧伏.

3 成因分析

前已述及, 自然界中矿体的侧伏绝大多数为复侧伏, 复侧伏的矿体皆由一系列单侧伏的矿体复合而成. 复侧伏的矿体绝大多数又为主动侧伏, 而控制复侧伏矿体的断裂通常发育比较成熟. 因此, 研究矿体的侧伏规律, 实际上是研究剪切作用下断裂的多世代破裂及其演化. Gamond (1987) 根据野外实例^[18,19], 结合其他作者的理论模型^[20], 借助于泥巴试验研究了水平应力对断裂带的影响, 发现桥构造不仅是一种常见的用以确定位移指向的标志, 而且是连接第一世代雁列破裂的“构造桥”, 他将走滑断裂带内雁列破裂的排列方式与剪应力方向的组合分成 4 种类型, 即右步/左行 (RS/LL)、左步/左行 (LS/LL)、左步/右行 (LS/RL) 及右步/右行 (RS/RL). 桥构造类型则分为压性桥和张性桥. 实际上, 上述分类可推广到逆向剪切 (正逆剪切、左行逆剪切及右行逆剪切) 和下滑剪切 (正下滑剪切、左行下滑剪切及右行下滑剪切) 破裂系中. 笔者根据野外大量实际观测, 结合前人实验成果, 给出如图 5 所示的矿体主动侧伏的形成示意图.

4 研究意义

研究矿体的侧伏规律实际上是研究岩石的破裂机制及其破裂构式的组合规律. 从单侧伏与复侧伏, 主动侧伏与被动侧伏的概念可以得出: 要研究矿体的侧伏规律, 就必须把着眼点放在解决实际容矿空间的形成机制上, 尽力排除成矿前与成矿后的构造干扰, 而且, 还有必要对传统认识

上的成矿构造定义域的外延进行适当限定, 即要把成矿构造定义为: 控制矿体几何形态的具有独立自然边界、为矿质直接充填或交代的地质构造单元^[17]. 只有这样定义, 才能保证矿体侧伏规律研究的针对性与准确性. 同时, 研究矿体的侧伏规律还需要考虑分解变形构造透镜体对矿脉构式的影响.

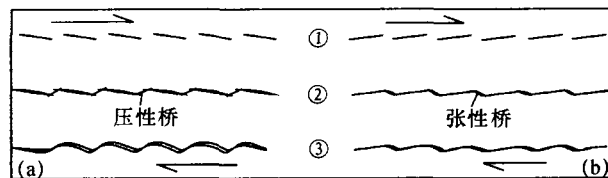


图 5 矿体主动侧伏形成示意图

Fig. 5 Sketch map showing the formation of active lateral trending of ore-bodies

a—具压性桥的成矿构造形成过程; b—具张性桥的成矿构造形成过程; ①—第一世代的雁行状破裂形成阶段; ②—第二世代的雁行状破裂形成阶段; ③—波曲成矿断裂形成阶段

总之, 将矿体分为单侧伏与复侧伏, 主动侧伏与被动侧伏, 有助于把矿体形成的几何学与动力学紧密结合起来, 有助于把时间、空间、物质、运动与动力在成矿构造研究中统一起来, 从而为成矿构造的进一步研究与隐伏矿体的定位预测创造条件.

致谢: 野外工作过程中, 曾得到汤静如、王步清、王国富博士的协助, 特此致谢.

参考文献:

- [1] 汪劲草, 彭恩生, 孙振家. 青海锡铁山铅锌矿床喷流沉积后的构造再造过程 [J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24 (2): 163-169.
- [2] 汪劲草, 王国富, 汤静如. 玲珑-焦家地区金矿成矿构造体制的新认识 [J]. 桂林工学院学报, 2002 (1): 1-4.
- [3] 汪劲草, 夏斌. 湘中新化铋金矿床成矿构造系列及其找矿预测 [J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26 (3): 171-175.
- [4] 邓军, 徐守礼, 方云, 等. 胶东西北部构造体系及金成矿动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [5] 范永香, 高秋斌. 山东招远-掖县金矿带构造控矿规律研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.
- [6] 吕古贤, 孔庆存. 胶东玲珑-焦家式金矿地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [7] 汪劲草, 夏斌, 嵇少丞. 论构造透镜体控矿 [J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33 (8): 745-750.
- [8] 卢焕章, Guy Archambaut, 李院生, 等. 山东玲珑-焦家

- 地区形变类型与金矿的关系 [J]. 地质学报, 1999, 73 (2): 174 - 187.
- [9] 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 胶东大型黄金矿集区及大规模成矿作用 [J]. 中国科学: D 辑, 2001, 31 (7): 545 - 552.
- [10] 宋鸿林. 北京房山变质核杂岩的基本特征及其成因探讨 [J]. 现代地质, 1996, 10 (2): 149 - 158.
- [11] Wang Jincao, Wang Zenren, Geng Wenhui, et al. Discovery and significance of large detachment faults in the western margin of Yunkai Uplift [J]. Chinese Science Bulletin, 1994, 40 (16): 1369 - 1373.
- [12] Davis G A, Lister G S, Reynolds S J. Structural evolution of the Whipple and south mountain shear zone, Southwest U. S [J]. Geology, 1986, 14: 7 - 10.
- [13] Lister G S, Etheridge M A, Symonds P A. Detachment models for the formation of passive continental margins [J]. Tectonics, 1991, 10 (5): 1038 - 1064.
- [14] 徐嘉炜, 马国锋. 郯庐断裂带研究的十年回顾 [J]. 地质论评, 1992, 38 (4): 316 - 324.
- [15] 张家声. 郯庐剪切带的性质和意义 [J]. 地球科学, 1992, 17 (4): 363 - 372.
- [16] 凌贤长, 董永胜, 刘春华, 等. 初论胶北隆起地壳伸展作用 [J]. 长春地质学院学报, 1997, 27 (1): 31 - 35.
- [17] 汪劲草. 成矿构造系列的类型划分与应用研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2001.
- [18] Gammond J F. Displacement features associated with fault zones: a comparison between observed examples and experimental models [J]. J. Struct. Geol., 1983, 5: 33 - 45.
- [19] Gammond J F. Bridge structures as sense of displacement criteria in brittle fault zones [J]. J. Struct. Geol., 1987, 9 (5/6): 609 - 620.
- [20] Woodcock N H. Kinematics of strike-slip faulting, Builth Ilier, Mid-Wales [J]. J. Struct. Geol., 1987, 9 (3): 353 - 363.

Regularity and geological significance for lateral trending of orebodies

WANG Jin-cao^{1,2}, WANG Rong-rong¹, ZHOU Yao¹, WAN Fang-liang¹, CHEN Bin-bin¹

(1. Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In the two-dimensional tabular orebodies controlled by fractures, the smallest unit for ore-controlling space is lens-like fractures, or a metallotectonic unit. The first generations of lens-like fractures, at an echelon arrangement, are linked up through the second generations of bridge structures to form gradually a comprehensive wavy fracture by progressive deformation. From the concepts of single lateral-trending and composite lateral-trending, the single lateral-trending shows the lateral trending of series of echelon lenticular fractures paralleled reciprocally. The composite lateral-trending indicates the lateral trending of an ore-controlling wavy the fracture, which consists of echelon fracture groups connected by bridge structures. Furthermore, based on above concepts, the concepts of the active lateral trending and passive lateral trending are suggested in this paper. The former implies that the plunging trending is identical with the direction of main shear stress on the fracture plane, but the latter is not. Some case studies indicate that the lateral trending of orebodies has close relation to the dynamics during mineralization epoch. Further study on the dynamic process for the formation of metallostructures is very significant in confirming the lateral trending of buried orebodies.

Key words: lateral trending; metallotectonic unite; dynamics; bridge structure; orebody