

文章编号: 1006-6616(2001)03-0208-09

萨瓦亚尔顿金矿床磁组构特征 及与金矿化关系

陈宣华¹, 马天林¹, 孙立倩¹, 周建海², 张新利²

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 新疆地勘局第二地质大队, 新疆 喀什 844000.)

摘要: 利用萨瓦亚尔顿金矿区岩石磁化率各向异性参数和金含量数据, 研究了磁组构与金矿化的关系, 结果表明强变形带内的弱应变域是金矿化的有利部位。本文把该金矿区韧性变形带内金的成矿作用归纳为3个阶段:(1) 金矿化的物质准备阶段, 形成富金地层或母岩;(2) 矿化流体的萃取阶段, 韧性变形作用可能是其主要动力;(3) 金矿体的形成阶段, 处在韧性变形之后的弛豫阶段(相对张性环境)。在这里, 韧性变形被看作是金成矿作用的一个必不可少的动力机制和中间环节。

关键词: 萨瓦亚尔顿金矿; 磁组构; 金矿化

中图分类号: P313, P618.51

文献标识码: A

1 地质概况

我国新疆萨瓦亚尔顿金矿床位于西南天山腹地。郑明华等^[1]、李新生等^[2]认为该金矿床属于典型的穆龙套型, 矿区主体为一套浅变质碎屑岩夹碳酸盐岩建造。刘家军等^[3]测得 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 $304.7\text{Ma} \pm 11.6\text{Ma}$, 结合化石和同位素年龄, 认为赋矿地层应属晚石炭世。

萨瓦亚尔顿金矿床位于南天山褶皱系东阿赖复背斜东端阿赖褶皱束内, 金矿床位于东部向斜的东翼。矿区地层呈 NW 向倾斜的单斜构造(图1), 岩浆活动微弱。

区内 A 型小褶皱十分发育, 多为紧密尖棱状 S 形褶皱。A 型褶皱一般为片理的褶曲, 近似于层理的褶曲变形, 平行于 A 型褶皱枢纽发育一组拉伸线理, 褶皱顶部多有变厚并形成矿囊。

2 磁组构特征

2.1 样品采集

收稿日期: 2001-05-10

基金项目: 原地质矿产部定向项目(地科定 98-20)

作者简介: 陈宣华(1967—), 男, 副研究员, 理学博士, 主要从事构造地质学、岩矿及地球化学专业的研究工作。

岩石样品采自横切萨瓦亚尔顿矿区的 3 个地质剖面，即由 SW—NE 的硝尔布拉克剖面、萨瓦亚尔顿剖面和玉奇坎盆剖面，大致每隔 100m 采集一个磁组构样品（图 1）。同时，横切主要矿带采集了 3 个短剖面样品，样品间距大约为 15m。岩样大部分为变余砂岩、千枚岩、大理岩和石英脉。

2.2 分析方法

磁组构样品的制作和测试由中国地质大学（北京）古地磁实验室完成。采用磁化率电桥即 KLY-1 型卡帕桥测定样品的磁化率及各向异性。为提高测量精度减少误差，取 15 个测量位置即 15 个方向磁化率，利用最小二乘法得到 6 个独立分量的统计平均值，进而求得主磁化率及主方向等量值（包括最大、中间和最小磁化率 K_1 、 K_2 、 K_3 及其方向）。由磁化率张量的主值计算了磁化率各向异性度（ P ）、磁面理（ F ）、磁线理（ L ）、磁化率数值椭球的扁率（ E ）和形状因子（ T ）^[4]，其中 $P = K_1/K_3$ ， $F = K_2/K_3$ ， $L = K_1/K_2$ 。每个采样点上钻取两个定向岩心样品分别进行测量。

2.3 测试结果

2.3.1 磁化率张量的主方向 矿区内磁化率张量的主方向显得杂乱无章（图 2D 仅给出最小磁化率方向），略具 NW—SE 向挤压性质。说明是强烈褶皱作用的结果。图中金矿脉附近的最小磁化率 K_3 （虚线部分）具有一定的定向性。不过，强烈变形的磁化率椭球各向异性度较高（ $P > 1.1$ ）的磁面理产状具有一定的方向性（图 1），磁面理大都与当地片理产状一致。

大量研究表明，磁化率椭球与应变椭球的作用是等价的，应变椭球 3 个主轴与磁化率椭球的 3 个主轴相互平行，并具有一定的共轴关系^[4~10]。在岩石应变机制中，最小磁化率轴反映最大压缩方向。由此，可以根据最小磁化率轴的方位角变化来判断剪切带水平和垂直方向上的剪切运动。对萨瓦亚尔顿金矿区磁组构样品进行剪切指向的判别结果说明，在水平方向上，左旋剪切占据一定的优势，这与矿区内金矿脉代表的张裂脉的雁形分布相一致；在垂直方向上，上盘上升的逆断层作用占绝对优势，与矿区内发育的一系列逆断层相一致（图 1）。

2.3.2 磁组构参数及相互关系 萨瓦亚尔顿金矿区岩石样品的平均磁化率（ K ）集中在 $0 \sim 750 \times 10^{-6} \text{SI}$ ，处在沉积岩磁化率范围之内，这说明了该地区变质程度较低。部分含石英脉的样品平均磁化率很低，有的为负值，这可能与石英作为反磁性物质有关。少量样品由于含有较多磁性物质，如黄铁矿等，而具有较高的平均磁化率，最大值为 $3668 \times 10^{-6} \text{SI}$ 。磁化率

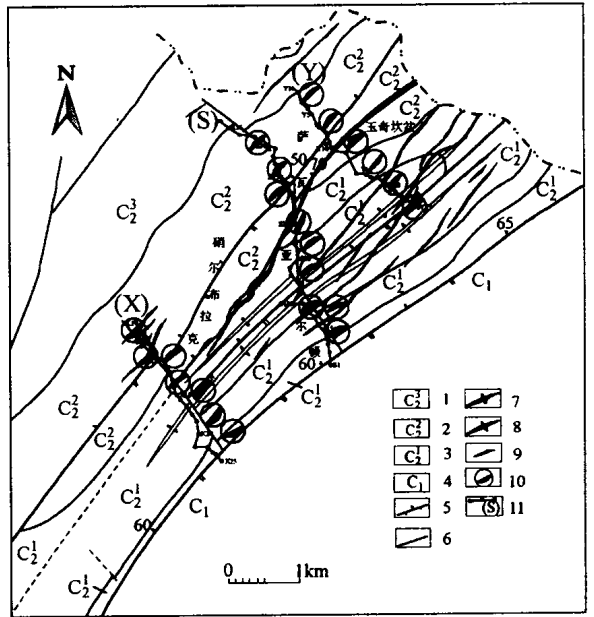


图 1 萨瓦亚尔顿金矿床矿田构造简图

Fig.1 Simplified geologic map for Sawayaerdun gold deposit

1. 石炭系上统上岩段；2. 石炭系上统中岩段；3. 石炭系上统下岩段；4. 石炭系下统；5. 逆断层；6. 性质不明断层；7. 背斜；8. 向斜；9. 金矿脉；10. 磁面理；11. 剖面线：(X) . 硝尔布拉克剖面；(Y) . 玉奇坎盆剖面；(S) . 萨瓦亚尔顿剖面。图中给出 3 个地质剖面的采样位置

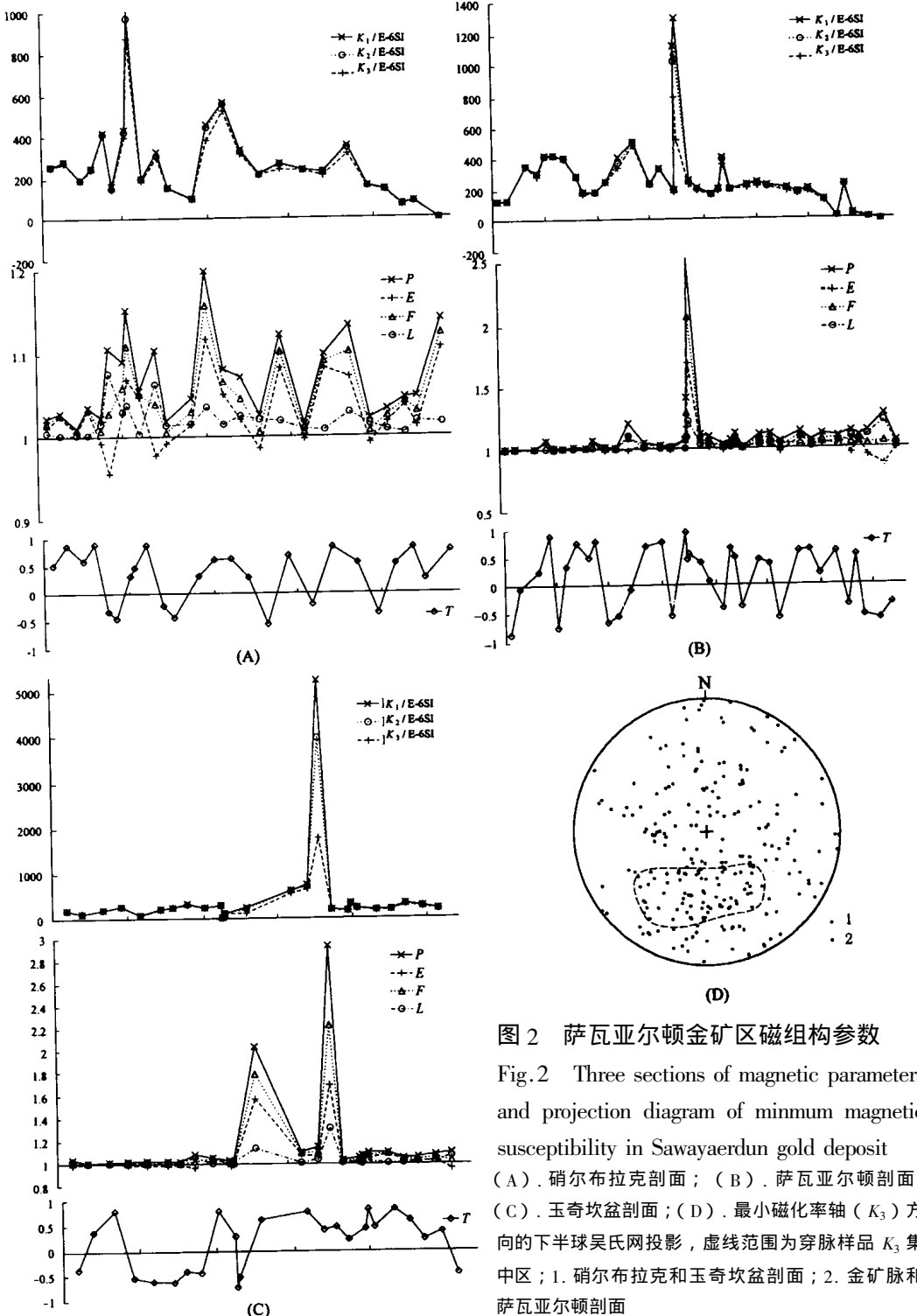


图2 萨瓦亚尔顿金矿区磁组构参数

Fig.2 Three sections of magnetic parameters and projection diagram of minnum magnetic susceptibility in Sawayaerdun gold deposit (A). 确尔布拉克剖面; (B). 萨瓦亚尔顿剖面; (C). 玉奇坎盆剖面; (D). 最小磁化率轴 (K_3) 方向的下半球吴氏网投影, 虚线范围为穿脉样品 K_3 集中区; 1. 确尔布拉克和玉奇坎盆剖面; 2. 金矿脉和萨瓦亚尔顿剖面

各向异性度 (P) 处在 1~4 之间, 并集中在 1~1.2 之间。磁面理 (F) 和磁线理 (L) 也多集中在 1~1.2 之间。扁率 E 值变化范围为 0.6~2.2 之间, 常见值在 0.9~1.2 之间。形状因子 T 在 -0.8~1 之间呈弥散状连续分布, $T > 0$ 者相对较多。

为了反映矿区磁组构的变化特征，绘制了 3 个剖面，自 SW 往 NE 依次为硝尔布拉克、萨瓦亚尔顿、玉奇坎盆剖面（图 2A ~ C）。图中每个采样点（图 1）上的数据大多为两套，在绘制剖面和分析磁组构与金矿化之间关系时，均选用其中 P 值较大的一组数据。由于岩样在手标本尺度上的不均一性，同一块标本上钻的两个样磁化率数据的平均是没有任何物理意义的，而选取 P 值最大者，大致代表了该岩石变形的最大值。

依据形状因子 (T) 可以区分磁化率数值椭球的形状。 $T > 0$ 时为压扁椭球， $T < 0$ 时为拉长椭球；由于磁化率数值椭球与岩石应变椭球之间的相似关系^[4~10]，它们分别代表了岩石的压扁应变和收缩应变。从图 2 中 T 值的波状变化可以看出，萨瓦亚尔顿金矿区从 NW 到 SE 方向上存在压扁应变与收缩应变交替出现的规律性。从 E 值的分布和大小来看，压扁应变相对较为发育；收缩应变只有微弱显示，强度不大。

磁组构各参数 (P 、 E 、 F 、 L) 之间有良好的对应性，它们与磁化率数值 (K_1 、 K_2 、 K_3) 在剖面上的分布形态较为相似。根据磁化率参数在剖面上的分布，可以划分出应变相对较强的强变形带。在强应变带内，岩石磁化率相对较高。矿区内较为发育的两个收缩应变带分布在萨瓦亚尔顿剖面的南东侧和硝尔布拉克剖面的北西侧。

矿区内最主要的金矿脉 (IV 号矿脉) 处在强烈变形带内。硝尔布拉克剖面应变相对较不发育，因此以往发现的矿化强度不大。本次工作在其北西侧发现了具有很好前景的较强矿化的金矿脉，它正处在一个应变较强的收缩应变带附近。

岩石磁化率各向异性 F - L 图解 (图 3) 反映了磁化率数值椭球的形状变化和磁线理、磁面理的发育情况。萨瓦亚尔顿金矿区磁面理和磁线理都比较发育，其中磁面理更为发育，反映了该区压扁应变和收缩应变共存的事实。岩石磁化率各向异性 P - T 图解 (图 4) 也反映了该区存在压扁应变和收缩应变，其中压扁应变的强度较强，收缩应变相对较不发育。

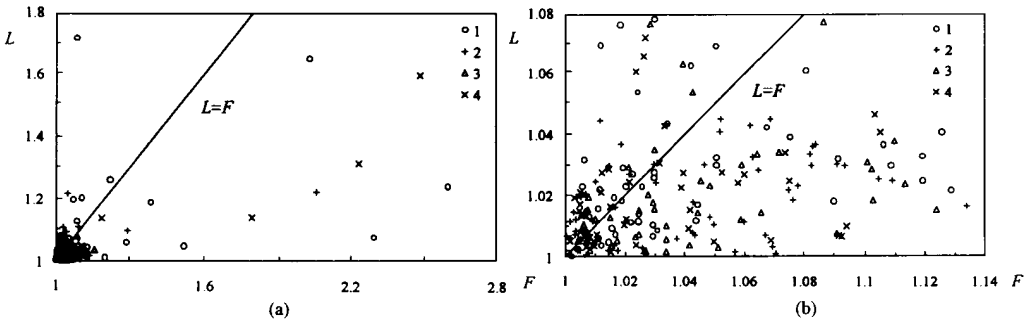


图 3 磁化率各向异性 F - L 图解

Fig.3 Diagram of magnetic schistosity (F) to lineation (L) for susceptibility anisotropy

(a). 总样品；(b). 数据集中区的局部放大；

1. 4 号金矿脉及其附近岩石；2. 萨瓦亚尔顿剖面；3. 硝尔布拉克剖面；4. 玉奇坎盆剖面

磁化率各向异性度 P 、数值椭球扁率 E 和形状因子 T 之间存在本构关系，三者关系为： $E = P^T$ 。磁化率数值椭球在 $E > 1$ 时为压扁椭球， $E < 1$ 时为拉长椭球，分别代表了压扁应变和收缩应变。萨瓦亚尔顿金矿区磁化率数据的分析结果表明，在压扁应变区 ($E > 1$)， $E = 0.996P^{0.5398}$ ；在收缩应变区 ($E < 1$)， $E = 1.0084P^{-0.4843}$ 。这说明了在萨瓦亚尔顿金矿区，压扁应变区的 T 值平均大约为 0.54，收缩应变区 T 值平均大约为 -0.48。

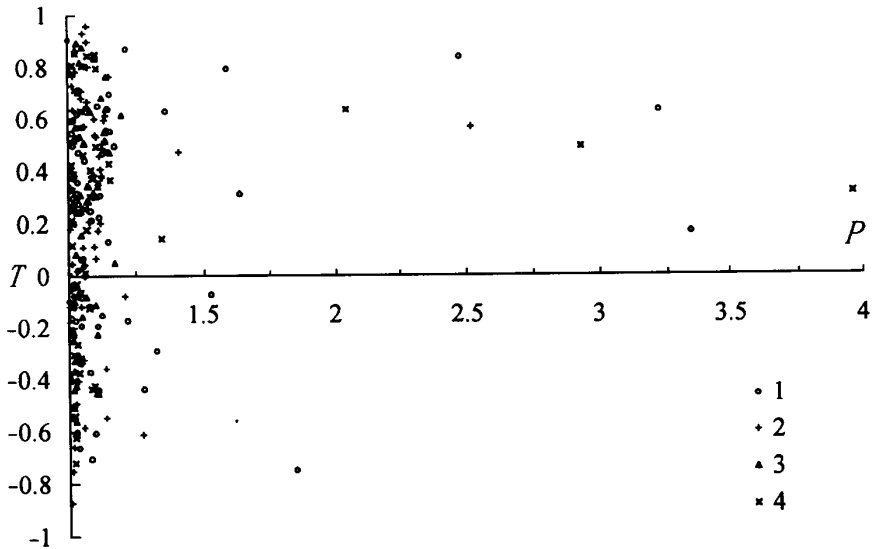


图4 磁化率各向异性 P-T 图解 (图例同图3)

Fig.4 P-T diagram of susceptibility anisotropy

3 磁组构与金矿化的关系

3.1 金含量测定

为了研究磁组构与金矿化之间的相互关系，对进行磁组构分析的大部分岩石样品进行了金元素含量的测定。测试工作由国家地质实验测试中心完成。金含量最小值为 2.5×10^{-9} ，最大值为 1.76×10^{-6} ，其中金含量在 $0 \sim 10 \times 10^{-9}$ (含 10×10^{-9}) 者占 60% 左右， $10 \times 10^{-9} \sim 100 \times 10^{-9}$ 者占 33% 左右，大于 100×10^{-9} 者占 7% 左右。

3.2 岩石磁组构与金含量之间的关系

萨瓦亚尔顿地区岩石磁组构与金矿化之间有很好的相关性。从金含量与 P 、 F 、 L 的关系来看 (图 6a、b；图 7a)，金矿化集中在应变较弱的区域内，强应变岩石中金含量一般较低。金矿化表现出两个阶段的演化趋势。

图 6a、b 和图 7a 中趋势 1 代表了初期的金矿化，随

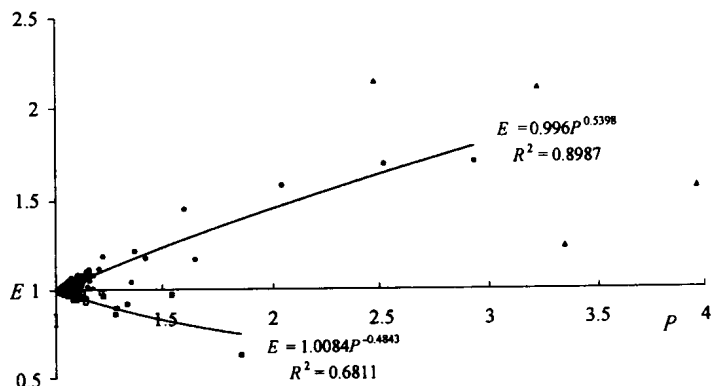


图5 磁化率各向异性 P-E 图解

Fig.5 P-E diagram of susceptibility anisotropy

着变形作用的加强金含量有增加的趋势，说明了韧性变形对金元素的萃取作用。根据强应变岩石的镜下观察，认为其可能主要是通过压溶作用来实现的，这一阶段为金的成矿准备了物质条件。趋势 2 代表了金矿化的后期阶段，金元素含量随着应变的减弱而增加，代表了韧性变形的弛豫阶段，是金矿体形成的阶段。具有开采价值的金矿体基本上表现为非常弱的应变。

岩石中金含量与形状因子 T 之间 (图 7b) 具有二次多项式关系，而金矿化主要分布在压扁椭球区，在拉长椭球区也有分布。从图中可以看出，形状因子与金矿化关系不是非常密切。

平均磁化率最高的岩石样品中金含量较低 (图 8a)。金矿化随着岩石磁性的变化而具有两个变化趋势，在金矿化的初期阶段 (趋势 1)，金元素含量随着岩石磁性的加强而增加。一般来说，磁

化率 (K 值) 说明了样品中磁性矿物的含量，而磁性矿物主要为黄铁矿类等，因此，岩石中金元素最初是与磁性矿物有关的。但是，在成矿的后期 (趋势 2)，金元素含量随着岩石磁性的减弱而增加，特别是在石英脉 (磁化率有时为负值) 中金含量最高。由此可知，该金矿床中金矿体的分布与磁性矿物无关，而与石英的关系非常密切。根据显微镜下观察，石英脉多为细脉状，为强应变后弛豫阶段矿液充填的结果，形成于相对张性环境。

从金含量与扁率 (E) 之间的关系 (图 8b) 中可以看出，金矿化在磁面理发育为主的岩石中较为发育，金的成矿作用主要集中在 E 值接近 1 的平面应变域附近的压扁和收缩应变域内。图中给出了一个趋势 (趋势 1)，说明应变减弱时金矿化和成矿作用会加强。

剖析一个穿脉剖面的结果说明，金矿脉处在强应变的收缩应变带的旁侧，矿脉内部应变极不发育。这也说明了成矿物质的沉淀是在强烈的变形作用之后发生的。

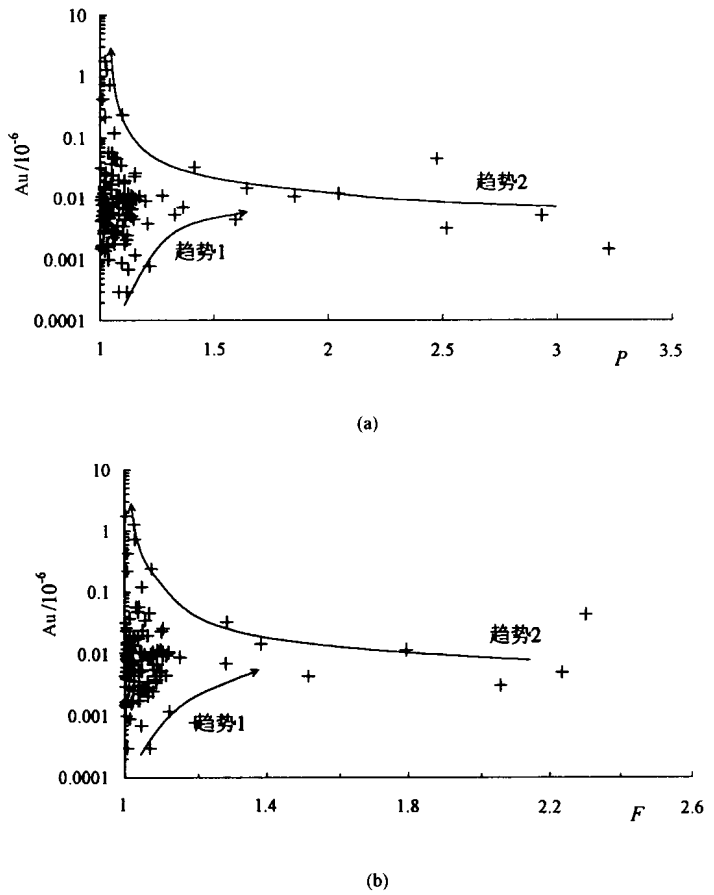


图 6 岩石金含量与各向异性度 (a) 和磁面理 (b) 之间关系

Fig.6 Au-P (a) and Au-F (b) diagrams for susceptibility anisotropy

4 结论与讨论

萨瓦亚尔顿金矿区含矿地层卷入了韧性变形,形成一系列韧性断裂带。它们控制本区金矿带的产出,构造变形与成矿作用同步进行,韧性变形带同时是重要的成矿构造带。

萨瓦亚尔顿金矿区岩石磁组构特征及其与金矿化的关系研究表明,该金矿区普遍发育压扁应变,局部发育收缩应变。该金矿区整体处在一个强应变带内,其中又包含了强应变域和弱应变域。强应变域内岩石金含量普遍较低,弱应变域内金含量较高,形成金矿化。这说明金元素在强应变域内亏损,在弱应变域内富集。偏光显微镜下观察,萨瓦亚尔顿金矿区浅变质的碎屑岩—复理石建造中普遍发育压溶作用,应变越强压溶作用越发育。而弱应变域内岩石多具有较多石英脉,其中的石英多为细粒,变形不发育。因此,弱应变域内岩石(主要为石英脉)是强应变域内岩石受压溶作用后形成的压泌产物(主要为硅质流体)充填的结果,交代作用并不发育。金含量较高而形成矿化的弱应变域即是这些岩石,说明了强变形带内的弱应变域是金矿化有利的区域,金矿化来源于压溶作用。

强应变域和弱应变域在强应变带中的分布是在同一个变形历史下表现出的不均匀变形产物,而成矿流体在强变形域内的形成和在弱变形域内的石英脉中富集不是孤立的事件,是金的成矿作用的两个方面。含金石英脉和矿化蚀变岩的磁各向异性程度低,说明金矿化形成以及矿化后的韧性变形比较弱,因而改造也较弱。显然,就该金矿床来说,如果没有变形作用也就没有金的成矿作用。因此,含金石英脉的形成是该地区与金矿化有关的变形作用的最后阶段。

韧性变形与金矿成因之间的关系一直是一个讨论很热烈的问题。本文的研究表明,金矿虽然产出在变形强烈的区域构造—蚀变岩带内,但是金矿脉却是赋存在强变形带的弱变形域内,而金矿的物质来源则

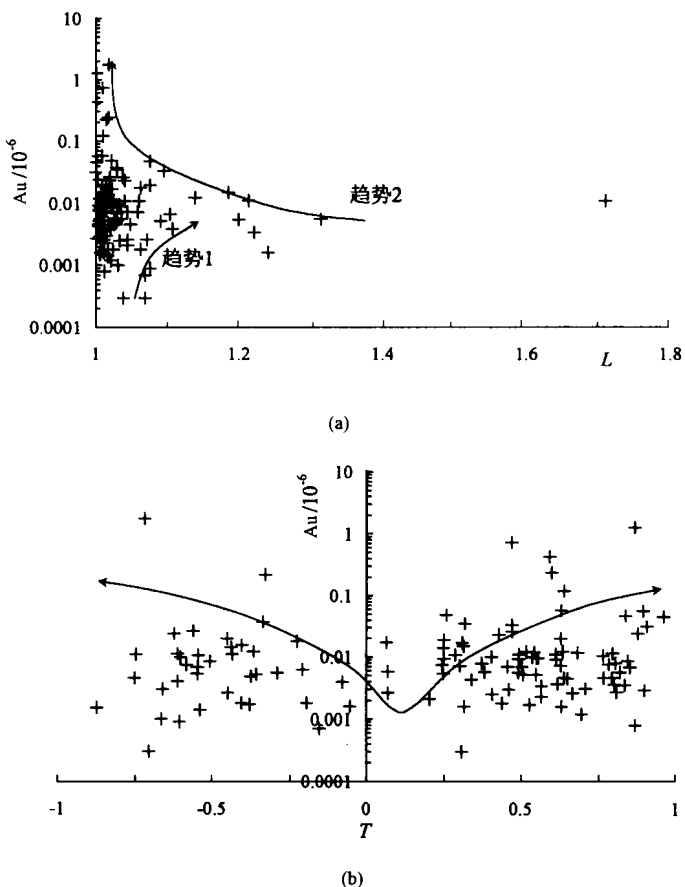
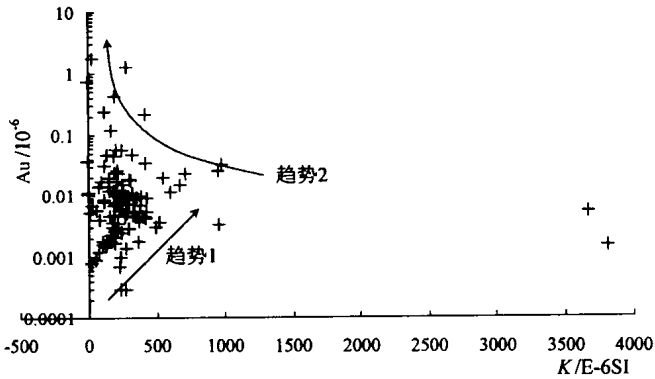
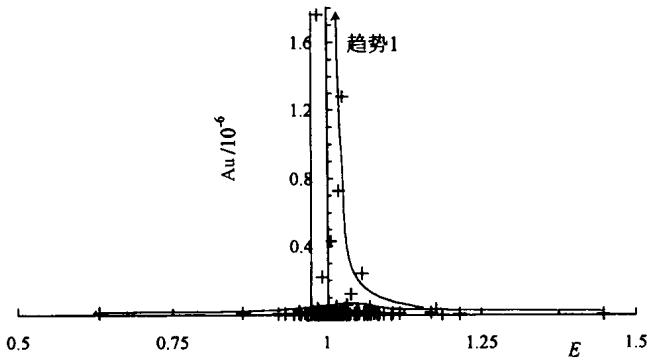


图7 岩石金含量与磁线理 (a) 和形状因子 (b) 之间关系

Fig.7 Au-L (a) and Au-T (b) diagrams for susceptibility anisotropy



(a)



(b)

图 8 岩石金含量与磁化率 (a) 和磁化率
椭圆扁率 (b) 之间关系

Fig.8 Au-K (a) and Au-E (b) diagrams for
susceptibility anisotropy

可能是韧性变形带内强烈变形的矿化围岩。这说明韧性变形与金矿化的关系可以归结为韧性变形带内金的成矿作用的 3 个阶段：(1) 金矿化的物质准备——富金地层或母岩；(2) 矿化流体的萃取——韧性变形作用；(3) 金矿体的形成——韧性变形之后的弛豫阶段（相对张性环境）。在这里，韧性变形只是金成矿作用的一个必不可少的中间环节。

参 考 文 献

- [1] 郑明华, 刘家军, 龙训荣, 等. 新疆南天山穆龙套型金矿成矿地质条件及找矿靶区预测 [M]. 成都: 成都理工学院出版社, 1996. 3~7.
- [2] 李新生, 罗卫东. 中国首例穆龙套型金矿——新疆萨瓦亚尔顿金矿地质特征 [J]. 甘肃地质, 1997, 6 (1): 62~66.
- [3] 刘家军, 郑明华, 龙训荣, 等. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床赋矿地层时代的重新厘定及其意义 [J]. 科学通报, 1999, 44 (6): 653~656.

- [4] 余钦范, 郑敏. 岩石磁组构分析及其在地学中的应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [5] 阎桂林. 岩石磁化率各向异性在地学中的应用 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.
- [6] 陈柏林, 李中坚, 谢艳霞. 北京怀柔崎峰茶—琉璃庙地区岩石磁组构特征及其构造意义 [J]. 地球学报, 1997, 18 (2): 134 ~ 141.
- [7] Kligfield R, Lowrie W and Dalziel I W D. Magnetic susceptibility anisotropy as a strain indicator in the subbury basin Ontrario [J]. *Tectonophysics*, 1977, 40 : 287 ~ 305.
- [8] Borradaile G J, Tartning D H. The influence of deformations on magnetic fabric in weakly deformed rocks [J]. *Tectonophysics*, 1981, 77 : 151 ~ 168.
- [9] Kligfield R, Lowrie W, Priffner O A. Magnetic properties of deformed oolitic limestones from the Swiss Alps : the correlation of magnetic anisotropy and strain [J]. *Ecolgae Geol.*, 1982, 75 : 127 ~ 157.
- [10] Rathore J S. The magnetic fabrics of some slates from the Borrow dale volcanic group in the English Lake district and their correlation with strains [J]. *Tectonophysics*, 1980, 67 : 207 ~ 220.

THE CHARACTERISTICS OF ROCK MAGNETIC FABRIC AND ITS RELATIONSHIP TO GOLD MINERALIZATION IN SAWAYAERDUN GOLD DEPOSIT , XINJIANG

CHEN Xuan-hua¹ , MA Tian-lin¹ , SUN Li-qian¹ , ZHOU Jian-hai² , ZHANG Xin-li²

(1. *Institute of Geomechanics , CAGS , Beijing 100081 , China ;*

2. *No.2 Geologic Party , XBGE , Kashi 844000 , China .)*

Abstract : The magnetic fabric characteristics and its relationship to the gold mineralization in Sawayaerdun gold deposit , Xinjiang , China , are reported here. The data given here show compression in NW-SE direction and sinistral shearing vertical to this direction. There are contraction-type and flaser-type strains occurring alternatively in NW-SE , where flaser-type strains are much more developed. Gold-bearing veins occur in en echelon , which are products of sinistral shearing. The ore vein IV , the most important gold-bearing vein , occurs in the weakly strained area close to the most strongly strained belt. Gold mineralization exists in weakly deformed rocks closely related to quartz vein , showing post-tectonic filling and crystallizing of the gold-bearing fluid. Combined with the microtexture analysis of rocks in this area , Sawayaerdun gold deposit is proposed to be a shearing zone-type gold deposit , where gold-bearing fluid coming from rocks in this area through pressure solution during ductile deformation , filled fractures due to tectonic compresso-shearing.

Key words : Sawayaerdun gold deposit ; magnetic fabric ; gold mineralization