现 代 地 质
第 12 卷 第 1 期 GEOSCIENCE Vol. 12 No. 1
1998 年 3 月 Journal of Graduate School, China University of Geosciences Mar. 1998

微细粒浸染型金矿的构造动力成矿作用研究*
——以西秦岭巴西金矿为例

杜子图 吴淦国 王义强

(地矿系 北京 100083) (长春科技大学地质系 长春 130061)

摘 要 成矿是一个复杂的过程,而构造作用及其动力条件贯通于成矿的整个过程。巴西金矿是西秦岭构造成矿带内新发现的一个发育于三叠系浊流复理石沉积建造中具有潜在工业价值的金矿床,该金矿床的形成与断裂构造系统的时空演化有紧密的成生联系。根据对巴西矿田及其外围区域构造演化和金矿化作用的多手段、多方法、多尺度的综合研究,作者认为巴西金矿属典型的构造改造型金矿,并探讨了在构造动力条件控制下矿液的运移势和矿液流向,建立了构造动力成矿模式。

关键词 微细粒浸染型金矿 巴西金矿 成矿构造 矿液运移势 构造动力条件 成矿模式
分类号 P618.51; P542.3

0 引 言

西秦岭川北—甘南一带是我国西部重要的金及有色多金属构造成矿带,迄今为止已发现并探明了大水金矿、巴西金矿、马脑壳金矿和石鸡坝金矿等一系列大中型微细粒浸染型金矿床。它们均发育于古生代—三叠纪大陆边缘裂陷槽内的类复理石沉积建造中,为浅层低温热液系列的金矿床。这些金矿床在时空分布上均受断裂构造系统的严格控制,在金成矿作用过程中表现出明显的构造专属性,它贯通于成矿的整个过程。巴西金矿在该区金矿床中具有广泛而普遍的代表性,通过对其构造成矿作用和控矿构造条件的深入研究,可以了解整个区域构造成矿带内金矿的形成和分布规律。

巴西金矿位于四川省若尔盖县阿西—团结一带,它的发现是近年来地质找矿勘探工作中的一个重要突破。其矿床类型独特,储量大、品位低,堆浸淋滤回收金已获得理想的效果。1994 年郑明华等认为其属渗流热卤水或地下热卤水成因。作者通过研究认为巴西金矿属构造改造型金矿,构造运动及动力条件是影响成矿的主要因素。

1 成矿地质背景

就区域大地构造位置而言,巴西金矿位于阿坝地块北缘,即地处西秦岭东西构造带与

收稿日期: 1997—02—18
*地质矿产部地质力学开放研究实验室项目(项目号: 95001)和地质行业科学技术发展基金项目(项目号: 959623)资助。
第一作者简介: 杜子图,男,1965 年出生,讲师,构造地质学专业。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

川滇南北构造带的交汇复合部位。该区经历了自太古宙以来的多旋回造山构造运动,具有复杂的构造演化史,呈现出复杂的构造应变图像,素以“中国地质百幕大三角”著称于世。区内不同级别的断裂构造系统极为发育,主要断裂有 EW 向雪山断裂带,SN 向岷江断裂带以及由玛曲—略阳弧形断裂带和荷叶—松柏—犁坪等一系列弧形断裂带构成的弧形构造系统。它们均具切割深度大、影响范围广和长期继承性活动的变形特征,彼此之间相互交汇复合,共同构成本区构造成矿带内的成矿构造格架。中、新生代以来(燕山—喜山期),该区处于强烈的浅层拉张—剪切和不均衡抬升的板内造山变形阶段,伴随着同构造岩浆活动,在构造动力作用下,在碳硅泥岩系沉积建造中形成一系列微细粒浸染式的蚀变破碎角砾岩型金矿床,如大水金矿、拉尔玛金矿和巴西金矿等。它们均具有大体相同的成矿地质特征、成矿作用和构造成矿时代。金矿床的形成和演化与构造有密切的成生联系,它们均分布于不同构造体系和不同级别断裂带的强烈变形地段、构造交汇复合部位及环状构造边缘。

2 成矿地质特征

巴西金矿主要赋存于中、上三叠统扎尕山群细粒碎屑岩中,岩性为长石石英砂岩夹结晶灰岩和粉砂质板岩,局部赋存于燕山期石英闪长玢岩脉中。矿体中的含金矿物呈微细粒浸染状或细脉浸染状分布于容矿岩石中,矿体、矿化体和围岩之间无截然界限,三者之间为过渡关系。容矿岩石类型主要为硅化复成分构造角砾岩。角砾成分为硅化石英砂岩、硅化灰岩、硅化矽卡岩、硅化大理岩和硅化石英闪长岩。角砾大小悬殊,呈棱角状,为硅质、钙质所胶结。金主要富集于钙质胶结物中或呈自然金与石英和黄铁矿共存,说明金的再富集与角砾岩化同时或稍晚。矿体呈似层状、透镜状、脉状分布于断裂破碎带内,沿走向常显示出分支复合、尖灭再现等特点。矿石呈碎裂结构、显微粒状镶嵌结构和显微粒状变晶结构并具角砾状、块状、条带状、不规则网脉状、浸染状及多孔状构造;矿物成分以石英为主,其次为方解石、黄铁矿、赤铁矿、辉锑矿、毒砂、孔雀石和自然金。硅化作用贯通于构造成矿的整个过程,属于与金矿化关系极为密切的低温蚀变,也是重要的找矿标志之一。蚀变作用具多阶段性,大致可分为三期[1]:早期以面状、带状渗透交代为主;中期(主矿化期)以充填交代为主;晚期以脉状充填为主。矿石中石英包裹体测温为 184 ℃(表 1)。对石英等矿物的流体包裹体进行氢、氧稳定同位素的分析表明,成矿流体主要来源于大气降水、地下水和建造水,为还原环境下的浅成低温热液金矿床。

表 1 巴西金矿成矿物理化学参数

Table 1 Physical-chemical parameters of Baxi gold deposit

测试矿物	温度/ ℃	盐度/ w_{NaCl} %	矿化度/ g t^{-1}	pH	*Eh*/ V	还原参数 (*R*)
石英	184	13.27	5.29	6	- 0.18	0.33
石英	184	4.09	2.15	6	- 0.22	0.50

注:资料据川西北地质队。

3 同成矿断裂构造系统与金矿化作用的相关性

3.1 构造控矿作用

巴西金矿受控于 EW 向弧形断裂构造系统西翼的 NWW—NW 向玛曲—荷叶大断裂,

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿体就位于逆冲断裂带前缘的次级脆性断裂破碎带内。矿化作用对岩性建造无明显的选择性，而对构造表现出成矿专属性。断裂构造对金矿化作用的控制十分显著，矿体的定位及其产状严格受控于断裂破碎带并与之保持一致。当控矿断层为层间断层时，矿体的走向、倾向和倾角与围岩一致或基本一致，并形成似层状矿体；当控矿断层复合于前期断层或被后期断层叠加时，则可出现品位较富、形态复杂的矿体。矿田内控矿断裂构造组合主要为 NWW、NE 和 NNW 向（图 1）。这些不同方向的控矿断裂在成矿构造演化过程中，受统一的区域构造应力场控制，表现出一定的成生联系和时间、空间、应力的配置规律，在成矿过程中，分别起到不同的控矿效应。其中 NWW 向断裂为主干控矿断裂，其他断裂为其伴生、派生出的次级或低序次构造。在成矿作用过程中，断裂具多阶段继承性脉动，产生多阶段成矿的叠加。在断裂的不同活动阶段，表现出不同的力学性状和断裂变形行为及矿化特征。早期为韧脆性断裂交汇与剪切带导矿；中期为叠加在剪切带上的脆性构造破碎（层间破碎带）控矿，断裂多期破碎提供了多期成矿空间，为容矿构造；后期为强烈蚀变断裂带控矿，叠加在破碎带上的硅化蚀变作用是成矿的关键，也是更直接的控矿因素。控矿断裂的多期活动在宏观上表现为容矿构造角砾岩中有二次角砾作用，控矿断裂横剖面显示，矿化蚀变断裂带由劈理化带 —碎裂岩带 —构造角砾岩带 —构造透镜体化带 —构造角砾岩带 —碎裂岩带 —劈理化带对称分布的构造岩带组成，压扭性构造透镜体化带内的透镜体由强硅化张性构造角砾岩组成。说明控矿断裂构造体系经历了由压性 —张性 —压扭性的多期转换。

3.2　深部构造控矿的地球物理特征

据区域 1∶100 万航磁资料分析，沿玛曲、降扎、迭部、舟曲一带断续分布有许多大小

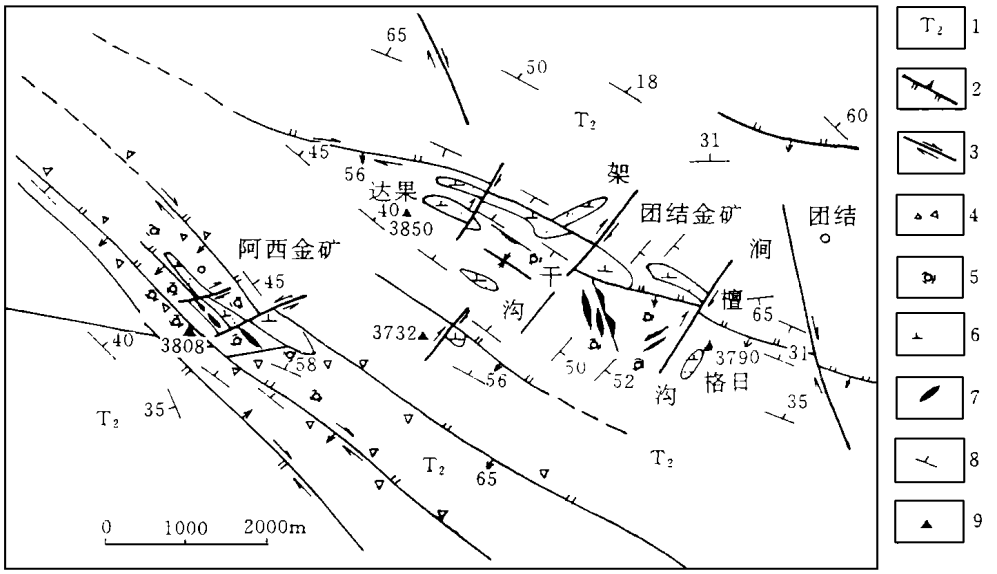


图 1　四川省若尔盖县巴西金矿田地质构造略图

Fig. 1　Geotectonic sketch map of Baxi gold ore field in Sichuan Province

1. 三叠系中统；2. 逆断层；3. 平移断层；4. 构造角砾岩；5. 硅化蚀变；6. 石英闪长玢岩；7. 金矿体；8. 地层产状；9. 制高点

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

不等的航磁异常，总体呈 NW —NWW 向延伸，与区域 NWW 向构造成矿带完全吻合。通过巴西金矿田范围内 1∶1 万高精度磁测扫面，取得如下信息：断裂构造带内的硅化角砾岩的磁性相对较高，平均磁化率 $\kappa = 46.6 \times 10^{-6}$ SI，平均剩余磁化强度 $J_r = 117.2 \times 10^{-6}$ A/m。在断裂构造破碎带上，磁性异常平面和剖面图表现为正或负的单峰，并在一定范围内呈带状出现。通过分析 ΔT 平面图、剖面图和等值线图，认为巴西矿田存在 NWW 向、NE 向和近 SN 向 3 组断裂，对其分别向上作 200 m 和 500 m 延拓后，NWW 向构造仍较为突出，而 NE 向和近 SN 向构造逐步减弱以至消失，说明 NE 向和近 SN 向构造为 NWW 向主干构造的低序次伴派生构造，同时也反映出深部有隐伏岩体存在，为成矿提供了热动力条件。

3.3 成矿构造动力条件

构造动力作用的重要贡献是对成矿元素的启动活化、驱动成矿流体运移乃至使矿体定位并成矿。按成矿流体运移势原理，流体御载成矿一般发生于应力和应变能集中、变形强烈的构造部位。因此，利用透射电镜统计位错密度，对成矿区段早期韧性断裂活动的成矿构造差异应力值的分布进行了估算（表 2）。根据声发射活动中凯瑟效应（Kaiser effect），对燕山期—喜山期成矿构造的历史最大主应力值进行了探索性研究，测试结果表明该时期成矿构造活动可划分为 5 幕，其主应力值分别为：53.7 MPa、75.3 MPa、96.8 MPa、129.7 MPa 和 153.7 MPa。对于成矿主应力的方位，利用磁化率主轴 κ_1、κ_2、κ_3 和主应力轴 σ_1、σ_2、σ_3 的对应关系，通过磁组构测试(图 2)判断成矿时的主压应力为 NE-SW 向。

表 2 巴西金矿差异应力值分布

Table 2 Values of differential stress of Baxi gold deposit

	样品编号				
	001 —9	002 —10	002 —11	004 —1	004 —2
采样地点	阿西	阿西	阿西	团结	团结
矿物	石英	石英	石英	方解石	石英
$\Delta\sigma$/MPa	73.6	75.4	61.2	79.6	81.8

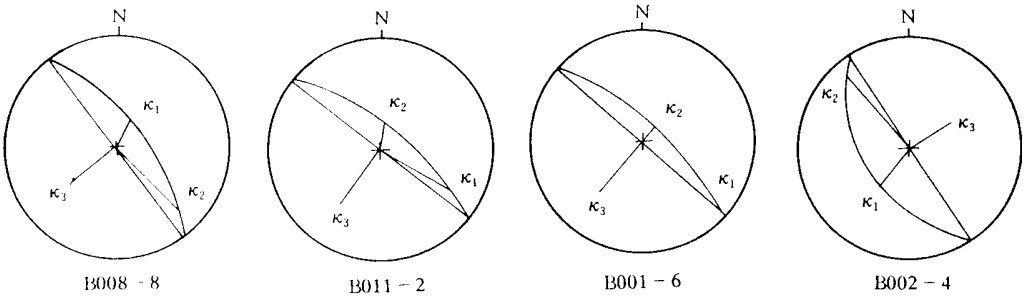


图 2 巴西金矿岩、矿石磁化率椭球主方向赤平投影

Fig. 2 Stereogram of principal axes of magnetic susceptibility of rock and ore in Baxi gold deposit

3.4 成矿构造活动与金矿化作用的时空对应关系

据区域成矿构造演化的时序分析及成矿年龄测定，巴西金矿的构造动力成矿时期为燕

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

山晚期—喜山期，主要证据有：①燕山—喜山期为区域成矿、控矿断裂构造系统主要活动时期，形成一系列弧形构造，而这些弧形构造控制着与巴西金矿有密切成生联系的一系列同类型金矿床的矿化作用，如大水弧顶的大水金矿和文县弧顶的联合村—石鸡坝金矿；②区域上 K_2—E 地层参与了成矿作用，表明成矿作用发生于白垩纪至老第三纪以后；③巴西金矿床内的浅成石英闪长玢岩脉本身发生了金矿化，岩脉的 K-Ar 同位素年龄为 137～200.7 Ma，表明矿化发生在燕山期；④与巴西金矿处于同一构造成矿带内具有相同成矿作用的拉尔玛等金矿的成矿年龄为 117.5～134 Ma。

综上所述，作者认为该区金矿化作用发生于同构造的燕山晚期—喜山期，金矿化作用与断裂构造演化二者之间具有相互吻合的时空对应关系。

4　构造动力驱动下的矿液运移势和矿液流向

在成矿作用过程中，构造和流体是相互作用的一对基本控矿因素。在断裂、裂隙介质内，构造动力是影响和驱动成矿流体运移的主要因素。即在构造应力场控制下，矿液运移服从于从压缩区向外流入到相邻的扩张区的基本规律，矿液流入的区域是构造应力场引起的局部扩容区[2]。从矿液运移势的角度分析，矿液是由运移势的高值区流向运移势低的扩容区。矿液运移势和流向及流入的区域，是由成矿构造动力条件决定的。为了解决构造动力对成矿、控矿的影响，作者采用有限元数值模拟和激光全息光弹模拟，获得了成矿流体运移势和运移方向(流向)以及流入区域(图 3、图 4)。图中所示结果表明，在巴西金矿田区域内，矿液运移势低势区的分布及矿液流入成矿的扩容区均与 NWW 向主干控矿断裂及其与 NE 向次级断层交汇复合部位相吻合，而且这些部位也均与金矿床（体）的空间分布表现出严格的耦合关系。据此充分说明在金成矿作用过程中，矿液的运移和淀积成矿受

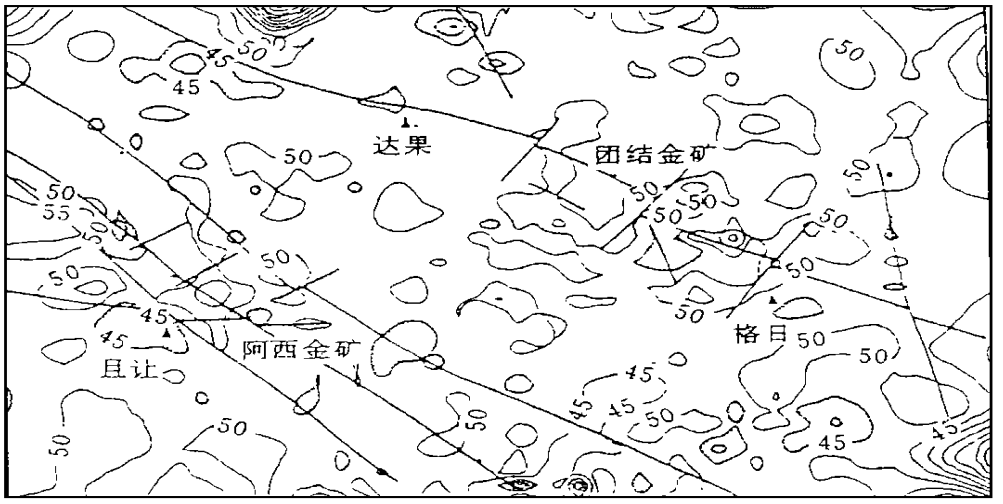


图 3　巴西金矿田成矿流体运移势相对值平面等值线图

Fig. 3　Contour map of migration potential of ore-forming fluid for Baxi gold deposit

曲线为有限单元法数值模拟计算获得的运移势等值线；曲线内凹侧带点者表示数值的突降；黑线条表示与成矿有关的断裂

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

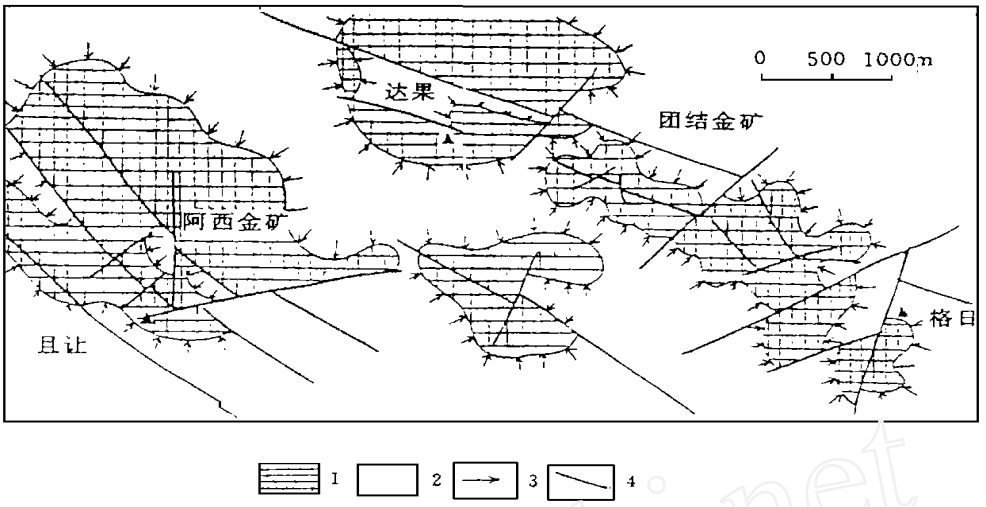


图 4 巴西金矿矿液流向和流入区域图

Fig. 4 Direction of ore-forming fluid migration and its concentration area in Baxi gold deposit

1. Δ > 0 扩容区，即矿液流入成矿的区域；2. Δ ≤0 区；3. 矿液流向；4. 与成矿有关的断裂

断裂构造及其动力条件控制。

5 构造动力成矿模式探讨

成矿是复杂的物理、化学过程，而构造动力作用是成矿的关键[3]。地壳物质的物理、化学变化和分布都与地壳运动分不开，地壳运动导致了物质调整，地应力是引起物质调整、变化的重要因素，而物质的组成和空间调整是对外力和应力响应的平衡过程。在构造动力作用下，岩石可以发生流动，与之相伴产生相变和有用元素的活化、迁移和聚散，形成元素高丰度区的初始矿化。当岩石向碎裂流动转变时，这些元素初步在其应力集中或相对扩容区成矿，岩石从塑性流动向脆性流动转变的过程即元素迁移聚集的成矿过程。

巴西金矿床的形成与演化，离不开构造动力条件。在漫长的成矿演化过程中，经过构造动力的历次改造，地壳中金元素浓度不断增加而富集成工业矿体，其成矿模式（图 5）概括如下：

(1) 寒武纪 —三叠纪时期，在伸展构造体制下，发生陆缘拉张裂陷，在 EW 向构造盆地内充填了含金矿源岩系的复理石沉积建造。

(2) 印支期，陆间俯冲褶皱造山作用阶段，在 SN 向挤压构造体制下，形成区域 NWW 向导矿、控矿断裂构造带，同时受构造断裂作用的影响，在韧性流机制下金元素发生活化、迁移并初步预富集矿化（早期硅化）。

(3) 燕山 —喜山期，板内造山改造阶段。①在 SN 向伸展引张构造动力作用下，形成了脆性破碎角砾岩带，扩容减压构造带为矿质的淀积提供了容矿空间，在构造动力驱动下，成矿流体在应力和应变能集中地段流体失稳而淀积成矿（中期硅化），形成工业矿体；②构造体制由伸展转化为 SN 向挤压，形成二次角砾的构造透镜体化带，在早期矿化带

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

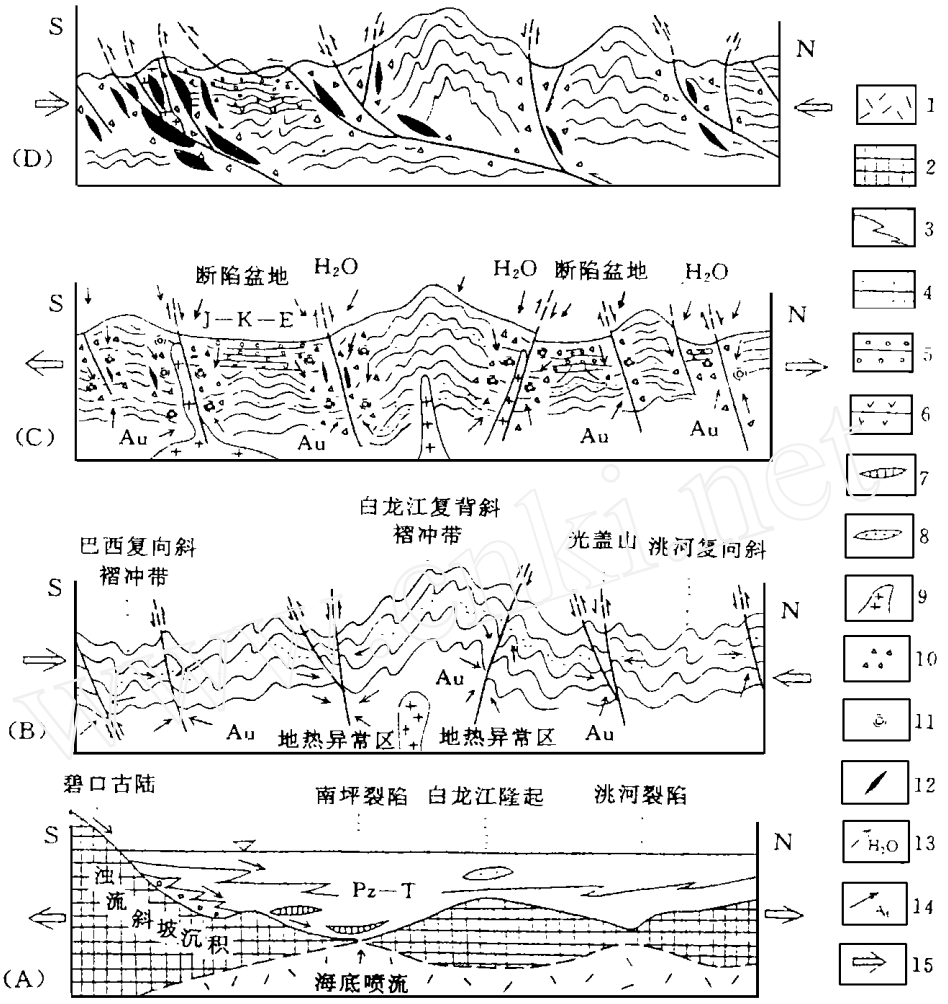


图 5　西秦岭微细粒浸染型金矿构造动力成矿演化模式图

Fig. 5　Sketch map showing the model of tectonic dynamic mineralization of fine disseminated type of gold deposit in west Qinling

1. 上地幔；2. 古陆壳；3. 相变线；4. 砂岩；5. 砾岩；6. 火山岩；7. 硅质岩透镜体；8. 砂岩透镜体；9. 中酸性侵入岩；10. 构造角砾岩破碎带；11. 硅化蚀变；12. 工业金矿体；13. 地表水渗流方向；14. 金元素迁移路径；15. 区域构造体制；A. 加里东—海西期（∈—T）拉张裂陷沉积阶段，形成初始矿源层；B. 印支期 SN 向挤压碰撞造山，Au 的初步预富集；C. 燕山早期拉张断陷，岩浆活动，地下水对流，蚀变矿化；D. 燕山晚期—喜山期逆冲推覆-走滑剪切构造作用叠加改造形成工业矿体

上叠加了后期矿化蚀变，造成矿质的进一步富集而叠加成矿（晚期硅化）。

在研究过程中，得到孙殿卿院士的指导，在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

1　李文元，姜信顺，孟繁义等．秦岭西部微细浸染金矿成矿条件．见：沈阳地质矿产研究所编．中国金矿主要类型找矿方向与找矿方法文集，第二辑．北京：地质出版社，1996

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2 王成金. 全球构造应力场理论与应用. 长春: 长春出版社, 1994
3 杨开庆. 动力成岩成矿理论的研究内容和方向. 地质力学所所刊, 1986, 7: 1～3

STUDY ON TECTONIC DYNAMIC ORE MINERALIZATION OF FINE DISSEMINATED TYPE OF GOLD DEPOSIT

——EXAMPLE AS BAXI GOLD DEPOSIT IN WEST QINLING

Du Zitu Wu Ganguo

(China University of Geosciences, Beijing, 100083)

Wang Yiqiang

(Changchun University of Science and Technology, Changchun, 130061)

Abstract

Ore mineralization is a complex process, in this process tectonic movement and tectonic dynamic conditions are the key. Baxi gold deposit, a fine disseminated type of gold deposit, was newly founded in west Qingling tectonic mineralization belt, which was formed in Triassic turbidite strata and is with potential industrial value. There is a close relationship between the formation and orientation of gold deposit and the time-space evolution of fault structural system. On the basis of studying regional tectonic evolution, ore-field structure and gold mineralizing controlled by fault zones with multiple method and multiple scale, it is suggested that Baxi gold deposit is a typical gold deposit of tectono-reformed type. Meanwhile the migration potential of ore forming fluid and its migration direction controlled by tectonic dynamic conditions are discussed, and the model of tectonic dynamic mineralizing is built.

Key words: fine disseminated type of gold deposit, Baxi gold deposit, metallotectonics, migration potential of ore-forming fluid, tectonic dynamic condition, mineralizing model

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net