

新疆康古尔金矿床时空四维结构模型^{*}

徐兴旺 蔡新平 马天林 孙立倩 李贵书

(中国科学院地质研究所, 北京) (中国地质科学院地质力学研究所, 北京)

董连慧 王磊 蔡仲举

(新疆地质矿产局地质一大队, 鄯善)

提 要: 矿床时空四维结构模型是对矿床(体)与诸主要控矿因素时空配置关系的描述, 它基于从时间演化的角度来考察矿床(体)的三维空间分布规律及其与诸控矿因素之间的内在联系的结构关系, 它是矿床模型研究的重要前沿问题之一。本文通过对康古尔金矿床中矿体的形态空间展布及控矿构造型式、成矿阶段、成矿物质来源、成矿时代等方面的综合研究, 提出火山岩、韧性挤压变形带、同构造花岗岩体、晚期韧-脆性正断剪切带是矿床金成矿的四个重要地质条件, 这四个控矿因素同位一体是康古尔金矿床的时空四维结构模型。

关键词: 金矿床 四维结构模型 时空 新疆康古尔

自捷克(1962)提出成矿模式(metallogenic model)的名词以来, 成矿模式或矿床模式(mineral deposit model)作为描述一组类似矿床基本特征的地质概念模式, 而被广泛深入地研究^[1~5]。蔡新平(1995、1996)提出了“矿床结构模型”概念, 并成功地运用于滇西北衙子金矿和冀东金厂峪金矿的深部找矿预测^[6,8]。对新疆康古尔金矿床研究结果表明, 金矿床(体)是多次成矿作用的最终产物, 岩石地层、岩浆作用和构造一样都是成矿的必要条件, 不同成矿阶段控矿构造的力学性质是不同的。本文将在介绍新疆康古尔金矿床主要特征基础上, 尝试性地建立该矿床的时空四维结构模型, 旨在推动矿床结构模型的研究及已知矿山深部和外围找矿的研究。

1 区域地质和矿床地质概况

新疆康古尔金矿床位于觉罗塔格韧性挤压带西段巨型眼球状结构体东南侧(图1)。觉罗塔格韧性挤压带发育于吐哈地块和中天山地块之间EW向石炭系火山-沉积建造中, 成因于南北两侧地块的SN向水平共轴挤压作用, 形成于 $255 \times 10^6 \sim 280 \times 10^6$ a(早二叠世)^[7]①。觉罗塔格韧性挤压带内同构造花岗岩体发育, 该韧性挤压带上叠加发育了EW向缓倾共轭破劈理构造和EW向陡倾正断破碎带①。

康古尔金矿床矿区内出露的地层主要为下石炭统雅满苏组(C_{1y})的火山岩、火山碎屑岩

^{*} 本研究是地矿部定向基金的部分成果(直科定92-37), 并得到中科院九五黄金重大项目课题资助(编号: kz951-A₁-404-02)

徐兴旺, 男, 31岁, 博士, 助理研究员, 主要从事构造地质及构造与成矿的研究。邮政编码: 100029
1997-05-20收稿, 1997-12-24修改回

① 徐兴旺, 1996, 新疆觉罗塔格韧性挤压带形成演化及金矿成矿作用

和正常沉积碎屑岩，矿区西北角出露少量的下石炭统干墩组 (C_{1g}) 的碎屑岩。矿区内侵入岩主要为走向 EW 或 NEE 向的花岗岩体。片理构造发育，其走向 NEE—NE，倾向 NW，产状陡立；片理带内伴生有拉伸线理构造、变形砾石构造和布丁构造等韧性构造形迹，不同尺度构造形迹的组构表现出很好的对称性。矿区内东西向缓倾共轭破劈理构造发育。矿区内脆性断裂以 EW 向正断剪切带为主。康古尔金矿床是一个以金为主，伴生有铜、铅、锌的多金属矿床，金矿体产于 EW 向正断剪切带中，含矿岩性有安山岩、英安岩和凝灰岩。

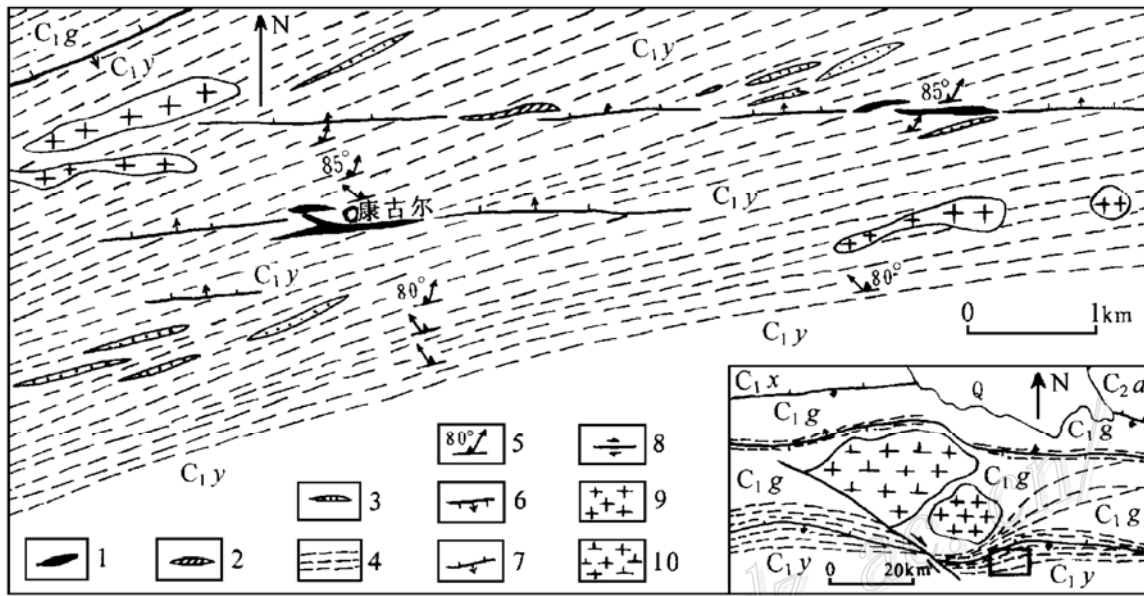


图 1 新疆康古尔金矿床地质构造简图
(据新疆地矿局地质一大队资料修编)

Q—第四系； C_{2d} —中石炭统底坎尔组； C_{1x} —下石炭统小热泉组； C_{1g} —下石炭统干墩组； C_{1y} —下石炭统雅满苏组；1—金矿体；2—矿化石英脉；3—硅化蚀变带；4—片理带；5—片理和拉伸线理产状；6—正断层；7—逆断层；8—平移断层；9—花岗岩；10—石英闪长岩

Fig. 1. Geological-structural map of the Kangguer gold deposit, Xinjiang.
Q—Quaternary; C_{2d} —Middle Carboniferous Dikaner Formation; C_{1x} —Lower Carboniferous Xiaorequan Formation; C_{1g} —Lower Carboniferous Gandun Formation; C_{1y} —Lower Carboniferous Yaman-su Formation; 1—Gold orebody; 2—Mineralized quartz vein; 3—Silicified alteration zone; 4—Schistosity zone; 5—Attitudes of schistosity and stretching lineation; 6—Normal fault; 7—Reverse fault; 8—Strike-slip fault; 9—Granite; 10—Quartz diorite.

2 金矿体形态、空间展布及构造控矿型式

2.1 金矿脉的平面展布及控矿构造

康古尔金矿床金矿体^①总体呈细脉状，厚 0.3 m 至 6 m 不等，长 100 m 至 1300 m 不等。矿脉总体走向 NEE 至 EW 向，可分为南北两带（图 2）。北带由Ⅶ号、Ⅸ号、Ⅹ号和Ⅷ号四个

① 指品位在 1 g/t 以上的金矿体

脉体群组成，它们自西而东依次侧向斜列分布，其中X号脉体群中有两条脉发育“入”字型构造，“入”字型构造分叉枝位于主脉的南侧并锐角朝西；南带仅有VI号脉体群组成，其中L₁脉和L₂脉也具有侧向斜列的特征，L₂脉发育“入”字构造，且“入”字型分叉枝位于主脉的北侧，其锐角朝东。南北两带不同级别不同序次金矿脉的平面展布和组合特征，说明控矿构造为剪切带且平面上具顺扭特征，剪切带中雁列状“多”字型压扭性结构面是金矿脉的控矿构造。

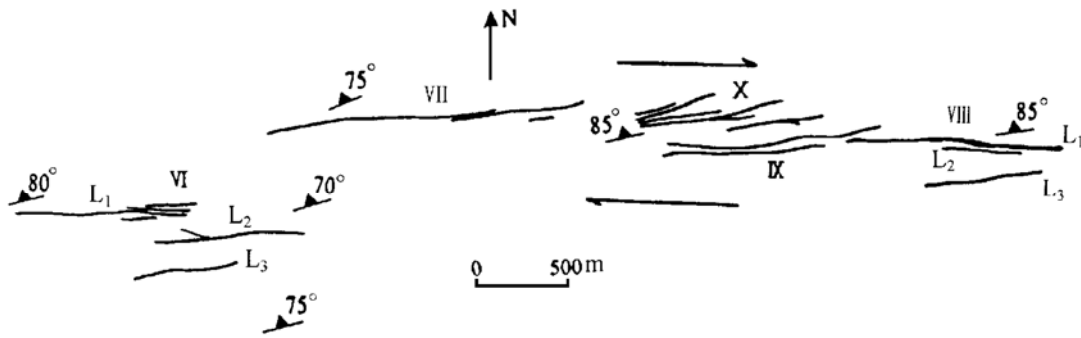


图2 康古尔金矿床金矿脉的平面分布

Fig. 2. Distribution of gold ore veins in the Kangguer gold deposit.

2.2 富矿体的产出部位及其构造定位机理

康古尔金矿床VI号脉体群中L₁号脉在平面上连续性较好，在50m间隔探槽控制下连续采样测试化验并根据品位圈出富矿体，富矿体分布于NEE 80°矿体中EW向的构造段。EW向构造段金品位（该点平均品位）最高可达13.819 g/t和13.029 g/t，矿体厚度1.2m至5.6m不等；而NEE 70°方向构造段金品位普遍低于2 g/t，矿化体的厚度也较小。

NEE 80°方向的金矿脉，作为右旋剪切带的压扭性结构面，其EW向构造段为张扭性结构面，NEE 70°方向构造段为压性结构面。因此，EW向张扭性构造是富矿体的定位构造。

2.3 金矿脉的剖面展布及控矿构造

康古尔金矿床VI号脉体群中L₂号矿脉呈板状和透镜状，在深部有三个主要矿体，产状陡北倾，在剖面上近平行侧向斜列，雁列轴线近直立，在剖面上具正断特征。剪切带中雁列状“多”字型压扭性结构面是矿体（脉）的控矿构造。矿体在剖面上具一定的分带性，上部为金矿体，中部为金铜多金属矿体，下部为铜矿体。其反应在压扭性结构面中金属矿物沉淀成矿的选择序次。

2.4 矿体内派生构造及控矿构造动力学分析

康古尔金矿床金矿体内派生构造主要有“入”字型构造、透镜状构造和擦痕构造。其中擦痕构造向东陡倾，在滑动面上侧伏角约70°，断层阶步和擦沟构造显示上盘（北盘）下掉为

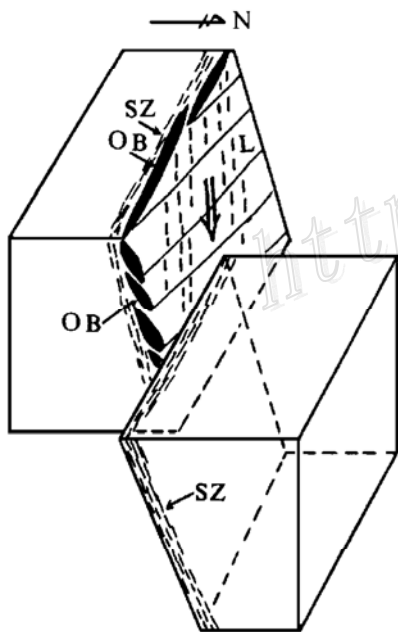


图3 康古尔金矿床控矿构造模型
SZ—剪切带；OB—金矿体；L—擦痕
Fig. 3. Ore-controlling structural model of the Kangguer gold deposit.

SZ—Shear zone; OB—Gold ore body; L—Lineation.

正断层。

综合上述，康古尔金矿床控矿构造是个走向东西、向北陡倾、往东斜向正断的韧-脆性剪切带，擦痕在断面上的侧伏角为 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，矿体和矿脉呈透镜状沿运动方向斜列，透镜状矿体长轴向西侧伏、侧伏角 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ （图 3）。

应该指出的是，控制金矿体产出和分布的东西向正断剪切带是一个自成系统的变形构造，在平面和剖面上都与早期韧性变形片理有斜交关系。矿田东西向缓倾破劈理带被透镜体化的现象说明，控矿构造的形成时期晚于东西向缓倾破劈理带的形成时期。因此，控矿的剪切带不是早期韧性变形片理面局部张开的产物，而是觉罗塔格东西复杂构造带形成演化不同阶段的变形构造。

3 成矿阶段的划分及其控矿构造的归属

根据矿床矿脉的穿插关系、矿石矿物共生组合和矿石结构构造分析的结果，康古尔金矿床的成矿作用可分为五个阶段。

(1) 黄铁绢英岩化阶段（Ⅰ成矿阶段），矿物组合为自然金+黄铁矿+石英。黄铁矿半自形、多边形，浸染状沿绢云母和石英定向排列所构成的片理分布。自然金在黄铁矿中呈包体产出。

(2) 主成矿阶段（Ⅱ成矿阶段），矿物组合为自然金+黄铁矿+绢云母+绿泥石+石英。矿体呈脉状穿插于黄铁绢云石英片岩中，或作为胶结物胶结黄铁绢云石英片岩的角砾并构成角砾状矿石。矿物组合以出现磁铁矿为特征。自然金赋存于绿泥石集合体中。

(3) 黄铁石英脉阶段（Ⅲ成矿阶段），矿物组合以黄铁矿+石英为主，见少量赤铁矿、绿泥石和白云母。其以石英脉体具梳状构造为特征。黄铁石英脉呈脉状穿插于黄铁绢云石英片岩中和穿插于黄铁石英绿泥石脉胶结的角砾岩中。金主要赋存于黄铁矿的包体中。

(4) 多金属硫化物绿泥石石英脉阶段（Ⅳ成矿阶段），矿物组合以黄铁矿+黄铜矿+方铅矿+闪锌矿+绿泥石+石英为主，并见少量斜黝帘石等岩浆热液矿物。硫化物生成顺序黄铁矿→闪锌矿→黄铜矿→方铅矿。多金属硫化物细脉大都在具梳状构造石英脉碎裂基础上贯入，这说明其与Ⅲ阶段成矿具连续性和继承性。

(5) 方解石石英脉阶段（Ⅴ成矿阶段），脉中含少量黄铁矿和黄铜矿，未见金矿化。

矿床五个成矿阶段中后四个成矿阶段所对应的矿脉、矿石只发育于矿区东西向正断剪切带内，成矿受该构造系统的控制。而黄铁绢英岩带的分布范围要宽得多，且与韧性变形带的走向吻合一致，其说明该阶段成矿作用主要受早期韧性变形带的控制。

4 韧性变形带钠长石糜棱岩化过程钾化现象的发现及其成矿动力学意义

图 4 为康古尔金矿床Ⅷ脉体群 L_1 矿脉北侧 P_{17-11} 构造点长石晶屑凝灰质片岩中一长石晶屑的变形及粒化素描图，长石晶屑呈长板状，其长轴和双晶纹方向与片理交角约 60° 。长石与片理斜交处的边界呈港湾状，而单偏光下长石的外边界相对平直，变化区内为粒化的长石细粒。在长石的外边缘矿物表面有许多细粒状云母质矿物出溶，是正在相变的微区。即，从长石

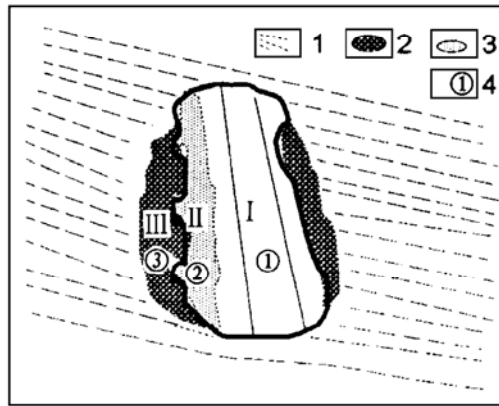


图 4 长石晶屑变形和粒化素描图

I—正常区；II—相变区；III—粒化粒区；1—片理构造；2—粒化粒区；3—相变区；4—探针测点

Fig. 4. Sketch of deformation and granulation of feldspar crystal fragments.

I—Normal area; II—Facies change area; III—Granulated area; 1—Schistosity; 2—Granulation area; 3—Facies change area; 4—Microprobe measuring point.

中心往外，可分为三个区带：正常区（I）、相变区（II）和粒化粒区（III）。三区带三个微区电子探针定量分析结果表明（表1）：随着矿物的相变和粒化，矿物中 Na₂O、CaO 减少，Al₂O₃、K₂O 增加，III 区长石粒化粒中有 MgO 加入。三测点矿物的晶体化学式分别为：

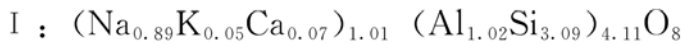


表 1 不同微区长石电子探针分析结果 (%)

Table 1. Electron microprobe analyses of feldspar in different microdomains

测点号	微区号	氧化物										Σ
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	
1	I	10.55	0.00	19.98	68.52	0.82	0.77	0.06	0.05	0.00	0.00	100.81
2	II	9.69	0.00	19.87	68.68	0.94	0.93	0.03	0.06	0.00	0.00	100.20
3	III	6.96	1.16	20.63	68.99	3.96	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	100.36

注：由中国地质科学院矿床地质研究所陈克樵研究员测试

表 2 不同区带长石端员组分 (%)

Table 2. End-member components of feldspar in different microdomains

测点号	微区号	Ab	Or	An
1	I	88.1	4.95	6.93
2	II	89.86	5.7	4.4
3	III	73	27	

三测点长石端员组分百分比如表 2 所示，分别为高 An 的钠长石、低 An 的钠长石和歪长石。即在韧性变形过程，钠长石发生糜棱岩化（粒化），并形成歪长石。其说明韧性变形过程有较多的 SiO₂、K 等组分迁移进入韧性变形带。SiO₂、K 等组分迁移进入韧性变形带的同时将伴随 Au、Ag 等元素的带入

（博伊尔，R. W.，1979），并导致韧性变形带内岩石发生金矿化和金的成矿作用。

5 成矿物质来源和成矿时代的探讨

5.1 成矿物质来源

康古尔金矿床位于火山岩分布区，主要岩性为安山岩、英安岩和安山质凝灰岩，其中 Au、

Cu 含量普遍较高（据新疆地矿局地质一大队资料），对金铜成矿有利。

矿区岩石金含量变化曲线(图 5)表明：弱变形火山岩中金含量低于 10×10^{-9} ，且远离韧性变形带不远时便快速下降达 5×10^{-9} ；片理化火山岩中金含量在 10×10^{-9} 至 20×10^{-9} 之间；而金矿床附近含矿围岩（碎裂化的火山质片岩）中金含量急剧上升，达 34×10^{-9} 。这表明未变形的火山岩向韧性变形带提供了金，即火山岩是金矿成矿的重要物质来源。该曲线的变化特征还显示，康古尔金矿床至少经过两次成矿作用：① 早期片理化过程金的初步富集成矿作用；② 晚期与断裂破碎带有关的金的再富集成矿作用。

矿床不同成矿阶段金属硫化物同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围较小，为 $-0.9\% \sim 3.3\%$ （姬金生，1992），这表明矿床硫的成因与岩浆作用有关（王义文，1983；栾世伟等，1987）。另外，康古尔金矿床中方铅矿铅同位素组成稳定，变化范围小，系单一来源，且模式年龄为 $213.9 \times 10^6 \sim 233.6 \times 10^6 \text{a}$ （姬金生，1992）。这一模式年龄明显小于火山岩的年龄（ $320 \times 10^6 \text{a}$ ），而与觉罗塔格韧性挤压变形有关的同构造重熔型花岗岩体侵位时间相近，这说明与铅有关的多金属成矿作用的矿质可能源于矿床深部的同构造花岗岩体的残余岩浆。

5.2 成矿时代

觉罗塔格韧性挤压带形成时间为 $255 \times 10^6 \text{a}$ 至 $280 \times 10^6 \text{a}$ 之间（徐兴旺，1996、1997），与韧性变形相关的金矿成矿（I 阶段成矿）时间也应为 $255 \times 10^6 \sim 280 \times 10^6 \text{a}$ （早二叠世）。

鉴于铅源年龄指的是铅的形成年龄，于岩浆中出现的年龄，而岩体上侵和成矿的年龄较之要小。为此，作者认为铅源年龄的上限年龄更接近铅的成矿年龄；铅源年龄的下限年龄代表岩体的形成年龄，即重熔型花岗岩浆侵位结晶的年龄，大致代表本地区地壳回返隆升的时间，与本地区东西向缓倾破劈理形成时间相当，这意味着与东西向正断剪切带有关的成矿应较之为晚。即，II 至 IV 阶段金成矿时间为 $213.9 \times 10^6 \sim 233.6 \times 10^6 \text{a}$ ；II 阶段金矿成矿时间大致为 $230 \times 10^6 \text{a}$ 左右；IV 阶段多金属硫化物成矿时间为 $210 \times 10^6 \text{a}$ 左右。它们对应的地质时期为晚三叠世。

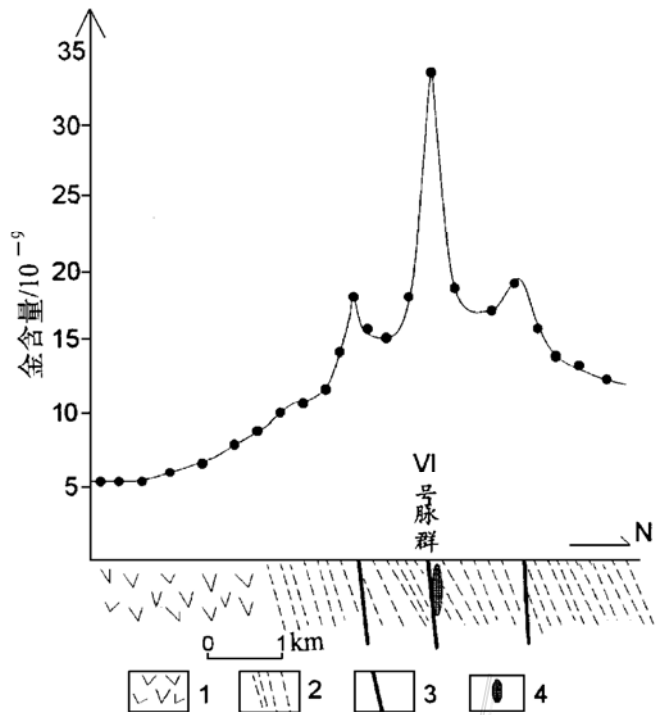


图 5 康古尔金矿区 P17 剖面岩石金含量变化曲线

1—火山岩；2—片理带；3—正断层；4—矿体

Fig. 5. Variation of gold content of rocks along P17 geological section of the Kangguer gold ore district.

1—Volcanic rock; 2—Schistosity zone; 3—Normal fault; 4—Orebody.

6 康古尔金矿床的时空四维结构模型

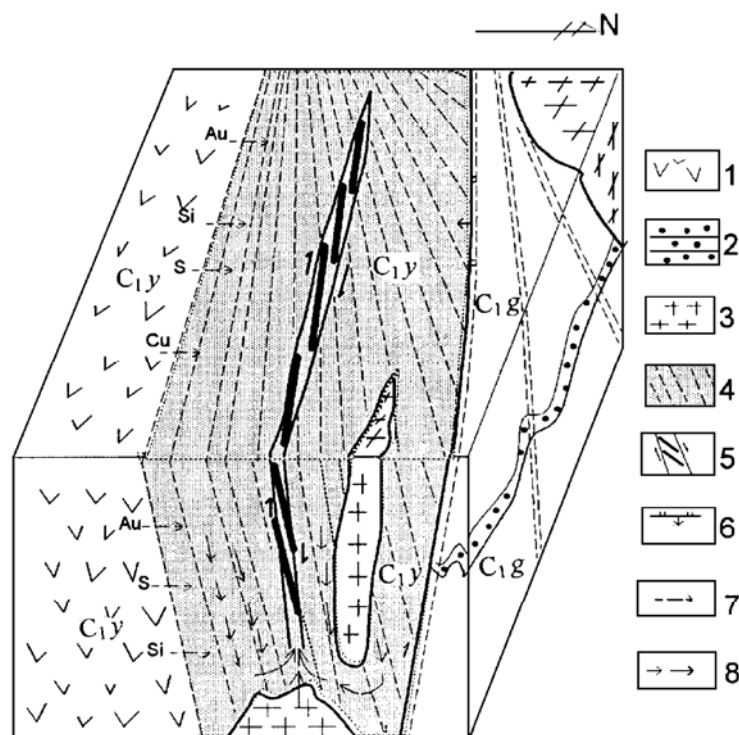


图6 康古尔金矿床时空四维结构模型

1—火山岩；2—碎屑岩；3—同构造花岗岩体；4—韧性变形带及含金黄铁绢云岩带；5—韧-脆性正断剪切带及其中的金铜矿体；6—逆断层；7—韧性变形过程含矿流体的迁移方向；8—主成矿期含矿流体的迁移方向

Fig. 6. Four-dimensional time-space model of the Kangguer gold deposit.

1—Volcanic rock; 2—Clastic rock; 3—Syntectonic granite body; 4—Ductile deformation zone and auriferous beresitization zone; 5—Ductile-brittle normal shear zone and gold-copper orebody; 6—Reverse fault; 7—Migrating direction of ore-bearing fluids in the process of ductile deformation; 8—Migrating direction of ore-bearing fluids in the principal ore-forming stage.

综合上述，火山岩、韧性挤压变形（带）、韧-脆性正断剪切带和同构造花岗岩体是康古尔金矿床金成矿的四个重要地质条件。其中火山岩是主要的矿源层。韧性挤压变形过程，火山岩中的金开始活化、迁移，进入韧性变形带并形成金初步富集的含金韧性变形带。同构造花岗岩体除直接提供成矿元素外，为成矿流体的对流提供热动力；变质流体自上而下的渗透过程不断萃取韧性变形带内已初步富集的金，在岩浆热的加热后沿剪切带上升并于适当的构造部位沉淀成矿。晚期韧-脆性正断剪切带一方面为成矿流体迁移提供通道和构造驱动力；另一方面为矿床的形成提供空间，即起到“沉淀场”的作用；剪切带中压扭性“多”字型构造是金矿床的富集定位构造。这四个地质因素同位一体是康古尔金矿床金成矿的必要条件，即火山岩、韧性变形（带）、同构造花岗岩体、晚期韧-脆性正断剪切变形（带）四要素同位一体，这就是该金矿床的时空四维结构模型（图6）。

承蒙中国地质科学院地质力学研究所吴淦国教授、张国铎研究员、王建平研究员和王小凤研究员审阅本文，成文过程得到了中国科学院地

质所张宝林博士、秦大军博士和梁光河博士的帮助和讨论，野外工作中还得到张良臣高工、王福同高工的有益讨论和建议，在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

1 陈裕淇，陈毓川，赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报, 1979, 1 (1): 32~57

- 2 陈毓川, 朱裕生. 中国矿床成矿模式. 北京: 地质出版社, 1993, 1~7
- 3 考克斯, D P, 辛格, D A. 矿床模式. 宋伯庆、李文祥等译, 北京: 地质出版社, 1990, 1~20
- 4 长江中下游火山岩区铁矿研究组. 玢岩铁矿——安山质火山岩地区铁矿床的一组成因模式. 地质学报, 1977, 1~18
- 5 翟裕生, 姚书振, 崔彬等. 成矿系列研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996, 1~8
- 6 蔡新平, 赵大升. 北衙金矿床的地质地球化学. 中国金矿研究新进展 (第一卷). 北京: 地震出版社, 1994, 223~243
- 7 徐兴旺, 马天林, 孙立倩等. 新疆东天山觉罗塔格韧性挤压带基本特征及动力学意义. 地质科学, 1998, 33 (2): 21~32
- 8 Cai Xinping, Zhang Baolin, Qin Dajun, Qi Xueyi. Regional mineralization of gold and its typical deposits in southern belt of northern margin of North China fault-block region. In: Jin Chengwei, ed. Geology of main gold metallogenic belts in northern part of China, Beijing: Seismological Press, 1996, 78~122

TIME-SPACE FOUR-DIMENSIONAL STRUCTURAL MODEL OF THE KANGUER GOLD DEPOSIT, XINJIANG

Xu Xingwang, Cai Xinping

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Ma Tianlin, Sun Liqian, Li Guishu

(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081*)

Dong Lianhui, Cai Zhongju and Wang Lei

(*No. 1 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Shanshan 730049*)

Key words: gold deposit, four-dimensional structural model, time-space Kanguer, Xinjiang

Abstract

The time-space four-dimensional structural model of a mineral deposit is a generalization of time-space disposition relationship between a mineral deposit (or orebody) and many main ore-controlling factors. It describes the spatial distribution pattern of a mineral deposit (or orebody) and the structural relationship of inner link between the pattern and many main ore-controlling factors in the light of time evolution, thus serving as one of the important forefront research subjects of the mineral deposit model. Based on synthetic analysis of many characteristics of the Kanguer gold deposit, such as its shape and spatial distribution of gold orebodies, the ore-controlling structural pattern, stages of mineralization, material sources and the metallogenic epoch, the authors have found that the volcanic rocks, the ductile compressive deformation zone, the syntectonic granite and the later ductile-brittle normal shear zone constitute four important metallogenic geological prerequisites, and the four ore-controlling factors in one body make up the time-space four-dimensional structural model of the Kanguer gold deposit.