

# 东天山觉罗塔格金矿带构造变形与成矿预测

弓小平<sup>1,3</sup>, 杨兴科<sup>2</sup>, 陈强<sup>2</sup>, 李佐臣<sup>2</sup>

(1. 吉林大学 综合信息矿产预测研究所, 吉林 长春 130026; 2. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 3. 新疆维吾尔自治区国土资源信息中心, 新疆 乌鲁木齐 830000)

[摘要] 东天山觉罗塔格金矿带构造变形特征明显, 横向分带可分为3个变形子带, 组构差异显示走向分段韧性剪切带发展演化过程中相伴的脆-韧性变形转换带较为普遍。脆-韧性变形转换过程受多种动力作用方式控制, 造成多种变形方式共存互竞, 常见微破裂、碎裂流和晶内滑移。有两种转换过程, 宏观上各圈层的变形连通和微观上主要地质体内的变形开合使脆-韧性变形转换带内流体强烈对流, 并富集成矿。近年来在该区带发现的一系列金矿床(点), 约85%都分布于脆-韧性变形转换带中, 数值模拟显示脆-韧性变形带控制金矿床, 其中的张性扩容构造控制金矿体。此已成为该区剪切变形带内控矿的重要特征和普遍规律。

[关键词] 东天山; 康古尔塔格; 脆-韧性变形转换; 韧性剪切带; 成矿预测; 新疆

[中图分类号] P613; P618.51 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)02-0006-05

[作者简介] 弓小平(1963—), 男, 河南中牟人, 高级工程师, 长安大学博士研究生, 现从事地质矿产预测与信息化研究工作。

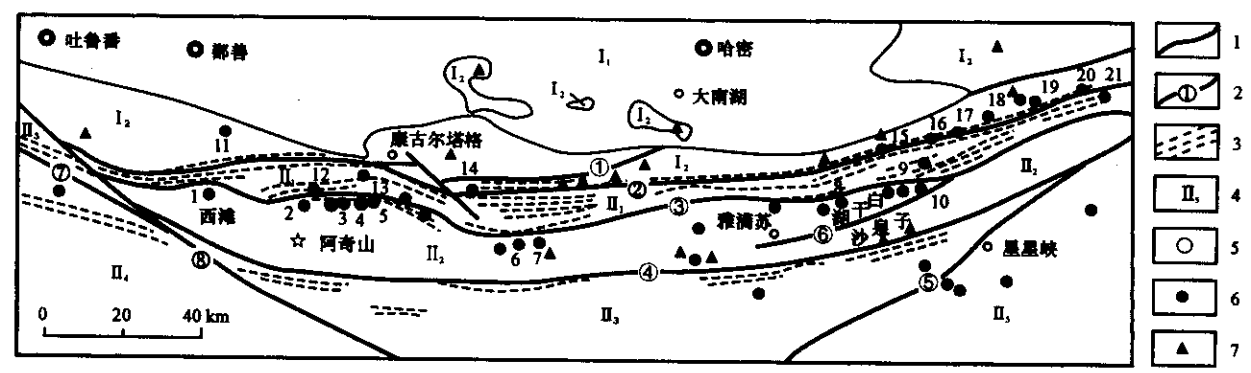
东天山铜金成矿带位于塔里木板块北缘与哈萨克斯坦-准噶尔板块南缘交会部位, 为多陆块、多阶段、多期次古陆和洋壳的较长期形成与发展演化的产物, 经历了洋陆裂解-陆缘俯冲、洋陆-弧陆碰撞、陆内伸展、叠覆走滑-挤压造山、盆地叠置等复杂的区域构造演化过程, 并形成了铜、金、银、铁、铜镍、锌、钨、锰、硫、硅灰石等一系列有重大工业价值的矿床, 吐哈盆地还赋存有丰富而重要的油气、煤炭、可底浸砂岩铀矿等重要能源矿产。可称为中国西部重要的矿产聚集区带。秋格明塔什-黄山韧性剪切带(简称秋-黄韧性剪切带)<sup>[1,2]</sup>及其两侧的脆-韧性变形转换带<sup>[3,4]</sup>组成的东天山觉罗塔格大型剪切变形带, 是该区极其醒目的构造变形带, 同时也是重要的金矿聚集带或含金剪切带<sup>[5,6]</sup>。该带近东西向波状延伸, 长600 km, 宽10~40 km, 这一独特的构造背景, 使其成为该金铜成矿带的主体。

根据主要矿床的形成条件及其分布, 可将东天山铜金成矿带划分为5个成矿亚带: ①康古尔塔格-哈尔里克岛弧北缘铜矿亚带; ②康古尔塔格-哈

尔里克岛弧南缘铜钼成矿亚带; ③康古尔塔格-黄山俯冲碰撞带铜镍金成矿亚带; ④阿齐山-雅满苏岛弧北缘金银成矿亚带; ⑤阿齐山-雅满苏岛弧铁铜多金属成矿亚带。

## 1 地质构造背景

东天山觉罗塔格变形带作为天山造山带的组成部分, 位于塔里木板块和准噶尔板块的交汇部位<sup>[7,8]</sup>, 是两大板块碰撞的结果(图1)。它是一个晚古生代遭受强烈变形、经历了多阶段陆内变形演化和造山成盆改造等地质作用, 于中生代定型的一个巨型构造带<sup>[9]</sup>。因此该变形带动力演化过程与碰撞造山作用过程相一致, 大致经历了伸展拉张→收敛挤压→走滑剪切→持续挤压的动力环境变化过程。构造变形的演化发展与造山作用阶段相适应, 具有时空有序的演化特点。欧亚板块内部的活动块体(塔里木板块与准噶尔板块)间的动力作用以及印度板块与欧亚板块的相互动力作用, 是天山地区长期以来发生造山隆升、变质变形的主要原因之一。正是在这样的动力学背景下, 形成了东天山变形带复杂的构造变形类型和多期构造叠加复合



1—吐-哈盆地边界线;2—主要断裂及其编号:①大草滩断裂;②康古尔塔格-黄山深大断裂;③苦水断裂;④阿奇克库都克-沙泉子断裂;⑤星星峡断裂;⑥托克逊-干沟断裂;⑦中天山南缘断裂;⑧雅满苏-白干湖断裂;3—韧性剪切带(强变形带);4—构造单元代号:Ⅰ—哈萨克斯坦板块:Ⅰ<sub>1</sub>—吐-哈地块;Ⅰ<sub>2</sub>—康古尔塔格-哈尔里克岛弧系;Ⅱ—塔里木板块;Ⅱ<sub>1</sub>—秋格明塔什-黄山韧性剪切带;Ⅱ<sub>2</sub>—阿奇山-雅满苏岛弧系;Ⅱ<sub>3</sub>—中天山地块;Ⅱ<sub>4</sub>—南天山晚古生代弧后盆地;Ⅱ<sub>5</sub>—北山裂谷;5—主要地名;6—主要金矿床(点)[1—西滩(石英滩);2—麻黄沟;3—康西-回归;4—康古尔西;5—马头滩;6—西凤山;7—红石岗、红西;8—翠岭;9—白干湖;10—胡杨沟;11—哈尔拉;12—环耳山;13—元宝山;14—企鹤山;15—金山;16—148金矿;17—梧桐窝子南;18—镜儿泉;19—老金碛;20—胡芦北1号;21—白山东];7—主要铜矿床(名称略);(据杨兴科等,1999年,略有修改)

图 1 东天山觉罗塔格金矿带主要矿床(点)分布

Fig. 1 Major gold ore deposit (ore point) distribution of Jueltotage gold ore zone in Eastern Tianshan 的特征。

## 2 构造变形特征

脆-韧性变形转换带作为剪切带发展演化过程中特定时空域内的产物,它与韧性剪切带是在统一的动力学背景下形成的形变时空域,是地壳岩石圈内普遍存在的一类地质现象,但二者在动力学环境、构造变形特征、构造演化序次上存在着一定的差异。在区域韧性剪切带两侧的变形转换带中,变形转换程度由近到远在背离韧性剪切带的方向上逐渐弱化到纯脆性变形为止。带内变形的岩石以局部应变集中与弱应变域相间交织格局和应变转换为特征,与韧性剪切带较为均一的变形特征形成对照。转换带内常见由糜棱岩、千糜岩、S-L 构造岩构成强应变域,而由碎裂岩、初糜棱岩、构造透镜体、弱片理化带构成弱应变域,强、弱应变域具有相间分布特征,在横向上呈现分带特点<sup>[4]</sup>。

根据变形带的总体特征及其相对地理位置,大致划分为北、中、南 3 个子带。北带称大草滩-镜儿泉变形转换带,南带称西滩-白干湖变转换形带,中带是秋格明塔什-黄山韧性剪切带(图 1 中Ⅱ<sub>1</sub>)。变形带的子带南宽北窄,特征稍有一定的差异,其中南带的脆-韧性变形转换特征较为显著,变形转换界面由北向南密集程度逐渐减弱,连通性也相应降低;而北带内其变形转换界面由北向南密集程度

逐渐增强,连通性也相应提高。脆-韧性变形转换带内变形组构具有塑性流动和脆性破裂的双重特征,但南带内各类张剪裂隙、破碎滑动极其发育,以脆性位错变形稍占优势;而北带内则以各类揉皱发育为特点,以塑性流变特征稍占优势。各子域间及各子域内部的转换界面发育程度虽然不同,但其细微结构基本一致。在走向上,转换带各段也有一定的差异,基本上是西段变形转换程度较低,各域变形组构突变明显,变形组构较为复杂,而东段变形转换程度较高,各域变形组构呈渐变,总体变形较强,抬升剥蚀程度较大,从而在整体上呈现走向分段特征。

本带内的动力条件由韧性剪切带向两侧的脆-韧性变形转换带逐渐减弱,与之相应的构造变形也呈现出规律性变化,以韧性剪切带为中心在构造形迹、变形特征甚至是岩石组合等方面具有一定的相似性、对称性,反映了其在变形演化过程中可能以共轴挤压为主,变形演化晚期叠加有以右行剪切为主的不对称剪切变形组构。

## 3 脆-韧性变形转换的动力机制

由于地壳岩石圈自下而上划分为完全韧性域、脆-韧性过渡域、脆性域 3 个构造层次<sup>[10]</sup>,因此剪切带由深部向浅部演化的过程中岩石圈的构造变形也由高温高压下韧性、超韧性的塑性流变向常温常

压下脆性破裂转换,该过程的核心是脆-韧性变形转换的动力作用<sup>[11]</sup>。地壳物质(包括岩石、矿物及呈现晶质塑性的物质等)的脆-韧性变形转换的动力学过程是壳内物质在动力作用系统下发生的自我调整和自我适应,是对动力作用系统的有序响应。该过程中,不同流变状态的物质,其物理、化学等特性不同,因此对动力作用系统的响应也有差异,脆性的物质对于动力作用的响应较慢,表现了较低的自适应、自组织能力;韧性的物质对于动力作用的响应较快,表现了较高的自适应、自组织能力。但是,脆-韧性变形转换域内,物质呈现何种流变状态,表现何种物理化学特性,受到许多因素的影响,如应力状态、温度、压力及流体参与情况等。不同的影响因素,造成了不同的响应,因此也表现出不同的变形机制。脆-韧性变形转换的微观机制主要有微破裂、摩擦滑动、碎裂流、双晶滑移和位错滑移、动态重结晶和位错滑移、压溶及其扩散作用等<sup>[12]</sup>。在脆-韧性变形场以多种变形机制同时存在且相互竞争为特色,其中最常见的是微破裂、碎裂流和晶内滑移。

## 4 脆-韧性变形转换成矿机理

脆-韧性变形转换的过程是多种动力作用方式相互竞争的双向转化过程,不同的动力作用方式既相互制约又相互促进,造成了形变响应的反复叠加与耦合。在脆-韧性变形转换的时空域内脆性破裂机制与塑性滑移机制共存,同时存在由塑性向脆性和由脆性向塑性两个转化过程,对应于两种动力学效应:循环硬化与软化<sup>[13,14]</sup>。由于脆-韧性转换动力作用的持续进行,地壳岩石圈的剪切变形不断向地表推进,构造变形的递进连通最终沟通了地壳乃至地幔的不同圈层,引发了各圈层内的流体<sup>[15]</sup>大规模、跨层次的流通循环,称之为“断层-阀门”式成矿机制<sup>[16]</sup>。同时在脆-韧性变形转换过程中挤压与拉张两种对立的动力作用方式,引起了岩石圈在微观领域内强烈的开合响应,流体受开合的驱动在变形体系内发生着广泛的对流循环,称之为“心脏脉动式抽吸挤出”成矿机制。这两种成矿机制从宏观与微观领域内控制着变形体系内流体的输运迁移,引发了强烈地水岩反应,促进了成矿作用的有序进行。因此,脆-韧性变形转换过程中的一系列动力学行为,是带内成矿流体活动的主导因素。而流体

的强烈活动又影响脆-韧性变形转换的动力过程,流体的大量存在,有助于岩石、矿物由脆性向韧性的转化。

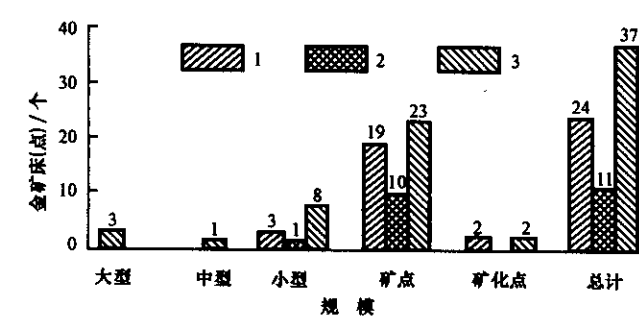
脆-韧性变形转换的不同变形域内成矿物质的动力学行为不同,韧性域主要是成矿元素的迁出区,脆性域则是成矿元素的迁入区<sup>[17,18]</sup>,脆-韧性转换域内,成矿元素的迁入与迁出强烈竞争,成为流体和矿质活动最为活跃的时空域。因此,脆-韧性变形转换形成的扩容空间,成为矿液、矿质充填沉淀乃至富集成矿的有利场所。这正是脆-韧性变形转换带要比韧性剪切带更易赋存金矿床的关键所在。因此,金矿带与剪切变形带在时空上的耦合,实质上是脆-韧性转换过程中的动力作用与流体活动在特定的演化阶段、特定的变形空间内相互作用的结果。

## 5 剪切带成矿特征和成矿预测

### 5.1 剪切带储矿功能

该区活跃的构造动力学背景,为成矿作用的发生创造了有利的动力条件。变形带内富集了大量的金矿床,从而成为康古尔塔格金矿带的重要组成部分。近年来在东天山地区发现的一系列金矿床(点)中,有很大一部分都分布于该带中,按统计值约 85% 的金矿床产在南北两个子带中(图 1),但不同的构造变形环境内分布的金矿床在数量、规模、类型等方面是不同的。在大草滩-镜儿泉变形转换子带内(简称北带),从西向东主要有哈尔拉、企鹅山、赤湖西、148 号金矿、老金硐、葫芦北 1 号等。在秋格明塔什-黄山韧性剪切带内(简称中带),从西向东主要有黑山、康西、元宝山、小尖山、南北大沟、东锦山、白山东等。在西滩-白干湖变形转换子带内(简称南带),从西向东主要有西滩(石英滩)、麻黄沟、康古尔、马头滩、盐碱坡、大东沟、骆驼峰、西凤山、红石岗、长城山、翠岭、苦水、白干湖、胡扬沟、旱草湖等。对各子带内金矿的分布情况及类型作系统的分析(图 2)<sup>[22]</sup>,可以发现绝大多数金矿分布于南北两个子带中:在已知的 72 个金矿床(点)中,有 24 个分布于北带中,37 个分布于南带中,占整个金矿带内金矿床(点)数量的 84.7%,中带内仅有 11 个,占整个金矿带内金矿数量的 15.3%;不同规模的金矿在各子带内的比例有一定的差别,大中型金矿主要分布于南带中,中小型金矿分布于北带中,中带内仅见一些金矿点和矿化点。





1—东天山地区变形子带北带金矿床规模统计;  
2—东天山地区变形子带中带金矿床规模统计;  
3—东天山地区变形子带南带金矿床规模统计

图 2 东天山地区变形子带内不同规模金矿床对比

Fig. 2 Gold ore deposit of distinct dimensions comparison in deformation daughter-zone of Eastern Tianshan

尽管这些金矿类型不尽相同,规模大小不一,但其空间分布明显受控于韧性剪切带及其脆-韧性变形转换带,尤其是脆-韧性变形转换带内几乎富集了所有的大中型金矿床,体现了脆-韧性变形转换带对金矿床(点)的域控特征。

事实上金矿床(点)导矿构造、容矿构造、控矿构造及矿化蚀变等都或多或少与脆-韧性变形转换有关。金矿体产出部位往往是脆-韧性变形转换过程中形成的各类张性、张剪性裂隙或强弱变形过渡地段的扩容空间。因此,脆-韧性变形带控制金矿床,脆-韧性变形环境中的张性扩容构造控制金矿体已成为剪切变形带内控矿的重要特征和普遍规律。

5.2 剪切带成矿特征信息和成矿预测

剪切带体系内,宏观与微观的统一、应力与应变的协调、脆性破裂与韧性滑移的竞争、矿化类型对构造变形的依存等,都充分表明了剪切带体系是复杂的构造变形体系,同时也是重要地成矿系统。剪切带在物质组成、结构构造、变形特征、储矿功能、成矿信息等多方面的统一协调,正是复杂地质

现象呈现出分形特征<sup>[16]</sup>的表现,因此,可以说剪切带构造变形体系是分形体系<sup>[17]</sup>。东天山觉罗塔格剪切变形带作为分形体系,体系内局部与局部、局部与整体在结构、信息、功能、时间、空间上所具有的相似性是进行成矿预测的重要理论依据。而金矿床作为自相似体系内的组成部分,其时空分布、储量分布等也是具有分形特征的。根据分形体系对称有序的特征以及局部与局部在功能、信息等方面的相似性原理,认为大草滩-镜儿泉变形带应该具有与西滩-白干湖变形带相同的储矿功能和成矿信息,是又一个重要的金矿赋存带。因此,该带应是今后寻找金矿床的重点地带之一。

根据国内的一般经验,按照其储量金矿床可依次划分为小型(1~5 t)、中型(5~20 t)、大型(>20 t)、特大型(>100 t),而不足 1 t 的一般称为矿点(包括矿化点)。东天山觉罗塔格变形带现有地质矿产调研评价程度等显示,本区具有优良的成矿条件和巨大的成矿潜力,但限于现有的勘探手段和技术方法,还未发现特大型金矿床,还有待于进一步研究、评价和预测。对金矿床的储量分形分布研究还未开展。本次只采用数理统计的方法,对不同规模的金矿床进行量化赋值,以 50,40,30,20,10 t 分别对应于大型、中型、小型、矿点、矿化点,从总体上来研究金矿床的群集分布特征。

东天山觉罗塔格变形带内的金矿带具有 4 个主密集中心,大致对应于西滩(石英滩)、康古尔、西凤山、白干湖四个矿集区(图 3),金矿群集分布特征呈现出不均匀性,由西向东密集度降低,指示了东西两段成矿条件的差异。某种程度上也可能是对本区东西两段成矿条件研究、矿床评价预测程度不一的反映。在西凤山与白干湖两个密集中心之间(大致介于 92°20′~94°45′,41°30′~42°30′之间),图 3 中的阴影部分可能会出现次密集中心,是今后金矿找矿的突破区之一。

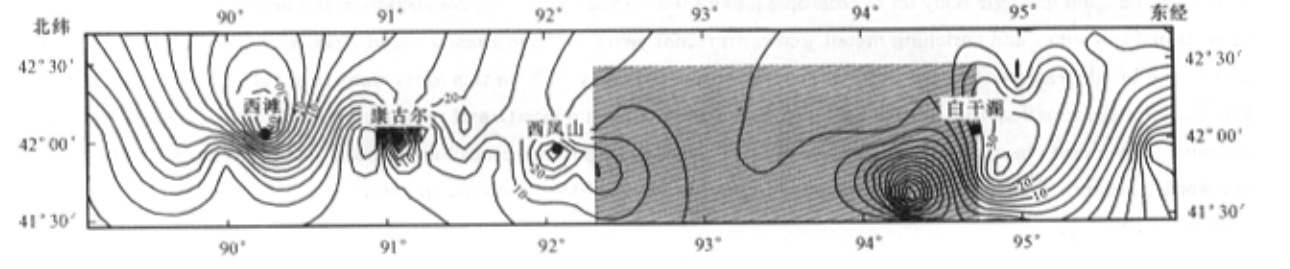


图 3 东天山觉罗塔格变形带内金矿密集等值线

Deformation zone of gold ore concentrated isopleth in Jueluotage of Eastern Tianshan

万方数据

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 杨兴科, 张连昌, 姬金生, 等. 东天山秋格明塔什-黄山韧性剪切带变形特征分析[J]. 西安工程学院学报, 1998, 20(3): 11~18.

[ 2 ] 杨兴科, 姬金生, 陈强, 等. 东天山区域韧性剪切带特征[J]. 新疆地质, 1999, 17(1): 55~63.

[ 3 ] 杨兴科. 脆-韧性变形转换与动力成金[J]. 地质构造学刊, 1997, 7(1): 30~34.

[ 4 ] 杨兴科, 陈强, 张连昌. 脆-韧性变形转换与动力成矿过程分析[J]. 地球学报, 1999, 20(增): 26~31.

[ 5 ] 杨兴科, 姬金生, 张连昌, 等. 东天山金矿带区域成矿规律解析[J]. 矿床地质, 1998, 17(增): 131~134.

[ 6 ] 杨兴科, 陈强, 姬金生, 等. 康古尔塔格含金剪切带的厘定及其地质找矿意义[J]. 西安工程学院学报, 2000, 22(3): 1~4.

[ 7 ] 杨兴科, 程宏宾, 姬金生, 等. 东天山碰撞造山与金铜成矿系统分析[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(4): 315~322.

[ 8 ] 杨兴科. 东天山板块构造基本特征[J]. 新疆地质, 1996, 14(3): 221~227.

[ 9 ] 姬金生, 陶洪祥, 曾章仁, 等. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1994.

[ 10 ] 刘俊来, 岛田充彦. 大陆地壳多震层成因与一个新的地壳断层带模式[J]. 科学通报, 2000, 45(10): 1085~1091.

[ 11 ] 邓军, 杨立强, 孙忠实, 等. 构造体制转换与流体多层循环成

矿动力学[J]. 地球科学, 2000, 25(4): 397~403.

[ 12 ] 吴树仁, 石玲. 断层的脆-韧性转换研究综述[J]. 世界地质, 1993, 12(4): 1~7.

[ 13 ] J Lemaitre, J L Chaboche. 固体材料力学[M]. 余天庆, 吴玉树译. 北京: 国防工业出版社, 1997.

[ 14 ] H. 米格兰. 材料的塑性变形与断裂[A]. 颜鸣皋译. 材料科学与技术丛书(第 6 卷)[C]: 北京: 科学出版社, 1998.

[ 15 ] 韦昌山, 翟裕生. 脆-韧性变形时空转换区段的岩石构造破裂、流体流动和矿质聚集机制综述[J]. 世界地质, 1996, 15(3): 1~6.

[ 16 ] 孙忠实, 邓军, 翟裕生, 等. 大型金矿构造-成矿系统及幔-壳多层循环体成因模式[J]. 地质科学, 2000, 35(3): 267~271.

[ 17 ] 何绍勋, 段嘉瑞, 刘继顺, 等. 韧性剪切带与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1996.

[ 18 ] 陈柏林. 构造变形类型与金矿化类型的关系[J]. 世界地质, 2000, 19(3): 217~223.

[ 19 ] 张济忠. 分形[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.

[ 20 ] 邓军, 翟裕生, 杨立强, 等. 论剪切带构造成矿系统[J]. 现代地质, 1998, 12(4): 493~500.

[ 21 ] 陈强, 杨兴科, 张连昌, 等. 东天山脆-韧性变形转换带与金矿带[J]. 新疆地质, 2001, 19(2): 115~118.

[ 22 ] 陈强. 东天山觉罗塔格变形带脆-韧性变形转换分析及其动力成矿作用探讨[D]. 西安: 长安大学, 2001.

# Structure deformation and metallogenic prognosis of gold ore zone in Jueluotage of Eastern Tianshan

GONG Xiao-ping<sup>1,3</sup>, YANG Xing-ke<sup>2</sup>, CHEN Qiang<sup>2</sup>, LI Zuo-chen<sup>2</sup>

(1. Institute of the Integrated Information Minerals Predict, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 3. Information center of Land Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Regions, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** Feature of structure deformation is obvious in Jueluotage gold ore zone of Eastern Tianshan, its transverse belting divides into three deformation daughterbelts. Difference of fabric pattern show strike segmenting. Brittleness-ductility deformational transform zone is a widely spread during development and evolution of ductile shear zone. Brittle-ductile deformation transfer process is controlled by many kinds of dynamics function, which make the multi-deformation pattern coexistence, that there are microbreak, cataclastic flow and intracrystal slip. There are two kinds of transformation processes, which one is deformation connecting on macroscopic during the various sphere and another one is deformation opening and closure in the main geologic body on microscopic make fluid strong circulation convection in the brittleness-ductility deformational transform zone, and enriching metallogenic. In recent years we have already found a series of gold ore deposits distributed at the brittleness-ductility deformational transform zone nearly 85% in this area, numerical simulation show the brittleness-ductility deformational transform zone controlled the gold ore deposit, and tensional dilatancy structure controlled gold orebody. This already became an important feature and universal laws of ore-control in the shear deformation zone in the area.

**Key words:** Eastern Tianshan; Kangguertage; brittleness-ductility deformational transform; ductile shear zone; metallogenic prognosis; Xinjiang

[英文审定: 杨家喜]