

文章编号: 1001-1412(1999) 03-0042-08

阿尔泰山南缘与韧性剪切带 有关金矿床成矿特征浅析

刘悟辉, 廖启林, 戴塔根, 赵晓霞

(中南工业大学 地质研究所, 湖南 长沙 410083)

摘要: 与韧性剪切带有关的金矿床是阿尔泰山南缘原生金矿的主要成矿类型之一, 通过对科克萨依、赛都、多拉纳萨依等三处与韧性剪切带有关之典型金矿床的研究对比, 总结了区内与韧性剪切带有关金矿的基本成矿特征与找矿标志, 探讨了成矿物质来源, 认为韧性剪切带是成矿的前提, 晚古生代岛弧区挤压环境下形成的正常碎屑岩-浅变质火山碎屑岩含金建造是成矿的有利环境。

关键词: 韧性剪切带; 金矿床; 成矿特征; 阿尔泰山南缘; 新疆

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

韧性剪切带是一种在地下深处普遍存在的, 促使物质塑变的强构造应力作用带^[1]。与韧性剪切带有关的金矿床是阿尔泰山南缘原生金矿的重要成矿类型, 现已在本区发现了科克萨依、赛都与多拉纳萨依三处与韧性剪切带有关的金矿床及一系列金矿(化)点。本文拟以上述三处金矿床为实例, 探讨或总结本区与韧性剪切带有关金矿的基本成矿特征, 不当之处敬请批评指正。

1 典型矿床的基本特征

本区与韧性剪切带有关的典型金矿床是科克萨依、赛都、多拉纳萨依金矿, 各矿床的基本特征见表1。赛都、多拉纳萨依金矿均产于阿尔泰山南缘多金属-贵金属成矿带西段之“哈巴河矿化集中段”内, 位于玛尔卡库里巨型剪切构造带北西部, 玛尔卡库里剪切带长大于100 km, 宽1~3 km^[2]。赛都金矿田的主矿段产于玛尔卡库里巨型剪切带与其衍生的托库孜巴依次级韧性剪切带之分叉处; 多拉纳萨依金矿则产在额尔齐斯挤压断裂带旁侧的阿克萨依-多拉纳萨依反“S”型次级韧性剪切带上, 该韧性剪切带在我国境内长约60 km, 宽2~5 km, 向东延至蒙古国境内, 除科克萨依金矿外, 该韧性剪切带上还发现了红山金矿点、苏鲁巴依金矿点等一系列

收稿日期: 1999-01-25; 修订日期: 1999-05-25

第一作者简介: 刘悟辉(1968-), 男, 硕士, 讲师, 环境地质与应用地球化学专业。

金矿化线索。

表 1 本区与韧性剪切带有关金矿床的基本特征

Table. 1 The characteristics of typical gold deposits related to ductile shear zone in southern margin of Altay

金矿名称	科克萨依金矿 ^[4,5]	多拉纳萨依金矿 ^[3]	赛都金矿 ^[2]
产地	青河县	哈巴河县	哈巴河县
规模	中型	中型	中型以上
大地构造背景	位于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块之缝合带部位靠近准噶尔板块一侧的加波萨尔岛弧区。	位于西伯利亚板块南端靠近两大板块缝合带的“矿区阿尔泰”岛弧构造区。	位于西伯利亚板块南端靠近两大板块缝合带的“矿区阿尔泰”岛弧构造区。
含矿建造及其赋矿岩性	下泥盆统托让格库都克组 (D _{1t}) 中基性浅变质火山碎屑岩。	含金建造为中泥盆统托克萨雷组 (D _{2t}) 滨浅海相陆缘碎屑-碳酸盐岩, 赋矿围岩为英闪岩脉及蚀变围岩。	含金建造为中泥盆统托克萨雷组 (D _{2t}) 杂砂岩建造, 赋矿围岩为蚀变糜棱岩及闪长岩脉。
控矿构造	布尔根大型逆冲推覆韧性剪切带加科克萨依紧闭背斜。	阿克萨依-多拉纳萨依反“S”型构造挤压带即韧性剪切带。	玛尔卡库里大型韧性剪切带及其派生的托库孜巴依次级韧性剪切带。
矿体形态与产状	脉状、条带状、透镜状, 由三个主要矿体组成。近 EW 走向, 总体上向 N 陡倾。	不规则脉状, 由多个矿体组成, 大致沿层理及构造线方向展布, 倾角一般 60~80°。	主要由四个矿体组成, SE—NW 走向, 呈雁型近似等距分布, 单个矿体多呈脉状, 产状 210~230°∠85°~89°。
矿石变形	极强变形, 具糜棱结构, 糜棱片理极为发育。	极强变形, 金矿体位于糜棱岩化最强的中心部位。	极强变形, 片理化强烈, 矿石具交代结构、压碎结构等。
矿物组合	石英-绢云母-自然金-黄铜矿-黄铁矿-方铅矿-闪锌矿-毒砂-方解石-绿泥石	石英-绢云母-方解石-(黄铁矿, 自然金, 黄铜矿, 方铅矿, 毒砂, 蓝辉铜矿, 赤铁矿, 金红石, 白钨矿等)	石英-绢云母-绿泥石-碳酸盐-自然金-碲化物-硫化物-白云母
围岩蚀变	由内向外形成一定的蚀变分带, 主要围岩蚀变是: 硅化、绢云母化, 黄铁矿化, 绿泥石化, 方解石化。	围岩蚀变强度与糜棱岩化程度对应, 主要蚀变有: 硅化、绢云母化, 黄铁矿化, 绿泥石绿帘石化, 碳酸盐化。次为角岩与矽卡岩化。	剪切变形愈强、围岩蚀变程度愈高, 自内至外渐次形成: 石英-绢云母-硫化物→硅化-硫化物-绢云母化→弱硅化-弱黄铁矿化-绢云母绿泥石化→绿泥石-碳酸盐化。
成矿物理化学条件	中高温, 中深成。	成矿温度: 140~310℃, 成矿深度: 中-深成。	成矿温度: 200~320℃, 成矿深度: 中深成。

2 成矿环境

2.1 大地构造背景

成矿作用全部发生在晚古生代板块俯冲及碰撞造山作用所形成的岛弧区,集中分布于阿尔泰南缘西段的“矿区阿尔泰”岛弧区及阿尔泰南缘东段的加波萨尔岛弧区。板块俯冲早期以挤压作用为主,与深成岩浆活动有关的成矿流体容易沿着含金剪切带活动,形成了强片理化的滑石菱镁片岩及黄铁绢英岩化糜棱岩,是本区与韧性剪切带有关金矿床的集中成矿时期。伴随岛弧区的形成所产生的一系列次级构造(如次级断裂,岩体接触带等)与韧性剪切带相配合,提供了金矿体较理想的就位空间。

2.2 韧性剪切带

本区与韧性剪切带有关的金矿床十分明显地受控于韧性剪切带,韧性剪切带是这些矿床产出的前提。从时间、空间、成因等各个方面控制着这些金矿床的形成过程与具体分布。在时间上,这些金矿(化)的主成矿期或矿化高峰期与其所赋存的韧性剪切带中的变形变质作用的最高阶段相吻合,金矿化多伴随着在韧性剪切作用下形成的一套片岩-千糜岩-糜棱岩这套岩石组合一道产出,一般是绢云母石英片岩-绿泥石片岩-千糜岩中出现一些金矿化或较贫金矿体,糜棱岩至超糜棱岩阶段是富金矿体或主矿体的形成阶段,构造变形愈强,金矿化相对更富或成矿更好。比如科克萨依金矿虽在绢云母石英片岩、绿泥石片岩中也局部形成了一些金矿(化)体,但真正的好矿(主矿体及一些富矿体)全部形成于变形强烈的强硅化的浅灰色糜棱岩-超糜棱岩中,金矿石中品位的高低不完全取决于硫化物的多少,而主要取决于矿石的构造变形强度,变形愈强,金品位愈高($w(\text{Au})$ 最高可达 100×10^{-6} 以上);在空间上,这些金矿(化)在宏观上产在规模较大的韧性剪切带中,在具体的就位上又常伴随韧性剪切作用比较集中的部位(如裂隙交汇处)同地产出,按照里德尔剪切构造原理,主剪切断裂(D)常是金矿主矿脉或富矿脉的产出部位,而次要矿脉(体)或金矿化体则分布于与主剪切断裂(D)相交的反剪切断裂(P)或里德尔剪切断裂(R)上,如科克萨依金矿中两组矿脉的分布就如此:主矿脉沿 D 分布,次小一级的矿脉沿 P 分布, R 上发育一些细小含金石英脉或无金石英脉,见图 1^[5]。在成因上,韧性剪切带既可为这些金矿(化)提供成矿物质来源,又是使处于分散或贫化的金足以富集成工业矿体的重要动力基础或保证。

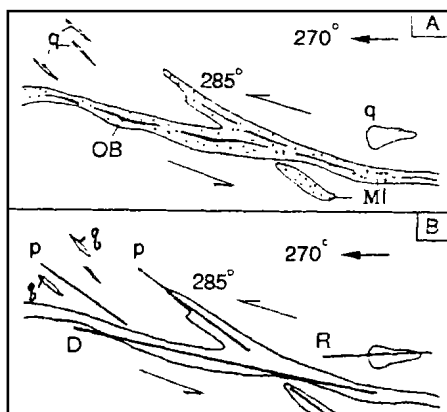


图 1 科克萨依金矿两组矿脉分布(A)及其里德尔剪切构造分析(B)图

Fig. 1 The diagram of distribution of two groups of gold veins (A) and analyses of Riddle shear structure

(B) in Kekesayi gold deposit

q. 石英脉 MI. 高应变带 OB. 金矿脉

D. 主剪切断裂 R. 里德尔剪切断裂

P. 反剪切裂隙(倒转断裂)

2.3 含矿建造

本区与韧性剪切带有关的金矿床主要形成于下—中泥盆统正常碎屑岩—浅变质火山碎屑岩富金建造中,以下泥盆统托让格库都克组(D_{1t})及中泥盆统托克萨雷组(D_{2t})为代表,火山岩以中偏基性为主,碎屑岩以杂砂岩为主。含金建造中的金平均含量相对较高,具良好的初始富集基础,如 D_{1t} 的 $w(\text{Au})$ 平均含量为 1.06×10^{-9} ,是本区金区域丰度 0.53×10^{-9} 的2倍, D_{2t} 的 $w(\text{Au})$ 平均含量为 $1.51 \times 10^{-9} \sim 2.52 \times 10^{-9}$,是其区域丰度的3~5倍。

2.4 侵入岩的作用

侵入岩对金的成矿具有明显影响,这是本区与韧性剪切带有关金矿床的又一重要特征,大致可分两种情形:

(1) 侵入岩体侵入于韧性剪切带的旁侧,二者近于同期形成,金矿化多集中分布于岩体所能影响到的韧性剪切带中。此时岩体规模相对较大,岩体对金矿化的作用主要是提供热源,促进金的迁移富集(也可能提供部分成矿物质)。如多拉纳萨依金矿所产出的反“S”型韧性剪切带之两侧均有华力西期黑云母石英闪长岩的出露,金矿化在黑云母闪长岩体所毗邻的那一段韧性剪切带中成矿最好。又如赛都金矿即产于某一斜长花岗岩体西北侧的韧性剪切带中,金矿化多集中在离斜长花岗岩体不远的剪切带内,离岩体愈近,矿化相对更好一些(图2)。

(2) 在韧性剪切带旁侧伴有较大规模侵入岩产出的同时,在韧性剪切带中侵入了晚期的小岩体或岩脉。此时侵入岩除提供部分热源与成矿物质外,韧性剪切带中小岩体(脉)还是金矿化富矿体的控矿标志,小岩体(脉)为金矿化晚期阶段所浓集的矿液提供了有效的淀积场所,或许这些小岩体本身即为富矿液的携带者与提供者。例如科克萨依金矿,一方面金矿所赋存的剪切带中有花岗闪长岩、石英闪长岩等晚期小岩体(脉)的侵入,主矿体的富矿段即产于小岩体的旁侧,某些特富的小矿脉本身就是小岩脉,小岩脉偶尔也切割矿体(但此时小岩体本身不含矿);另一方面在该金矿所赋存的韧性剪切带附近出露了规模较大的布尔根岩体,岩体沿深断裂上侵,发育有花岗闪长岩、钾长花岗岩及钠长花岗岩等岩相,通过对金矿床及布尔根岩体部分岩相稀土元素的对比研究(表2,图3)发现:该金矿中含金黄铁矿与布尔根岩体中的花岗闪长岩及钾长花岗岩的稀土配分曲线形态很相近(尤以矿石与花岗闪长岩二者更为接近),说明了布尔根岩体与该金矿的形成具有某种成因上的联系。

2.5 表生蚀变

本区与韧性剪切带有关的金矿床在地表常沿着剪切带形成片理化,并产生以绢云母化、片理化为主的灰色褪色蚀变,宏观上常呈一些“灰色化带”,多由一些中偏基性的硅酸盐矿物脱水而成。在矿体附近,常形成大量的褐铁矿化、粘土化,地表金矿品位多趋于贫化。

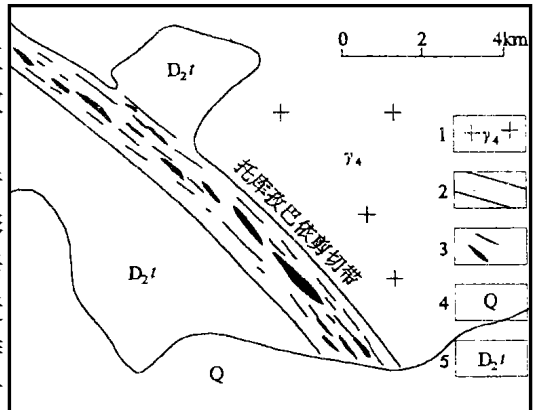


图2 赛都金矿地质略图

Fig. 2 Sketched geological map of Saidu gold deposit

1. 斜长花岗岩 2. 韧性剪切带 3. 金矿体
4. 第四系 5. 托克萨雷组

表 2 科克萨依金矿及其有关岩体的稀土元素含量

Table.2 The REE contents of Kekesayi gold deposit and intrusive bodies $w_B/10^{-6}$

产地	科克萨依金矿床	金矿床附近沿深大断裂上侵的布尔根岩体		球粒陨石 ⁷¹
	金矿石(浸染状黄铁矿)	钾长花岗岩 ^[6]	花岗闪长岩 ^[6]	
La	10.27	29.63	21.75	0.32
Ce	27.34	75.22	41.34	0.94
Pr	2.93	10.10	4.65	0.12
Nd	12.00	38.37	20.03	0.60
Sm	2.48	7.58	4.35	0.20
Eu	0.550	1.22	1.22	0.073
Gd	2.154	7.80	3.42	0.31
Tb	0.309	1.22	0.52	0.05
Dy	2.010	5.52	2.86	0.31
Ho	0.418	1.15	0.56	0.073
Er	1.20	3.14	1.53	0.21
Tm	0.196	0.80	0.21	0.033
Yb	1.32	3.00	1.32	0.19
Lu	0.212	0.56	0.18	0.031

3 成矿物质来源

成矿物质来源包括矿源、水源及热源三方面。本区与韧性剪切带有关金矿的成矿热源主要来自两方面，其一是韧性剪切带本身的变形变质作用，其二是与含金剪切带相伴产生的侵入体。下面侧重探讨一下其水源与矿源。

3.1 水源

从所收集到的科克萨依、赛都、多拉纳萨依等金矿的氢、氧同位素测定结果(表 3)来看,发现本区与韧性剪切带有关之金矿床的 δD 值(SMOW)变化于-126.3‰~-66‰之间, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值(SMOW)变化于-1.78‰~6.27‰之间,将这些数据投影到 δD - $\delta^{18}O_{H_2O}$ 图解(图 4)上,可发现:所有样品均落入大气降水线以下之靠近岩浆水与变质水相交的混合流体一侧,说明这些金矿的成矿水源有相当部分大气降水的参与,为一种大气降水加岩浆水与变质水的混合水。

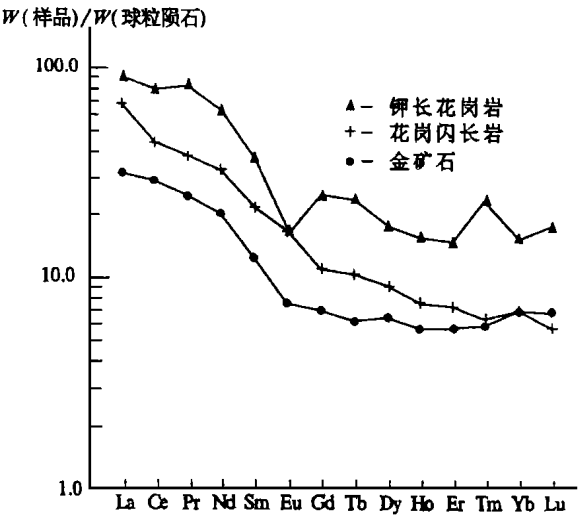


图 3 科克萨依金矿床及其有关岩体的稀土配分模式

Fig.3 Chondrite-normalized REE partition patterns of Kekesayi gold deposit and intrusive bodies

表 3 典型金矿床的氢、氧同位素组成

Table. 3 Hydrogen and oxygen isotopic composition of some typical gold deposits

矿床	测定矿物	样品号	$\delta D / ‰$	$\delta^{18}O_{\text{石英}} / ‰$	$\delta^{18}O_{\text{水}} / ‰$
科克萨依金矿	石英	KK30	- 101. 48	10. 48	- 1. 74
多拉纳萨依金矿 ^[8]	石英	SA- 154- 1	- 67	16	0. 9
		SA- 154- 3	- 66	12. 7	3. 5
赛都金矿	石英	SD- 1	- 105. 4	10. 71	- 0. 22
		SD- 2	- 126. 3	17. 01	6. 27

注: 赛都资料引自芮行健(1995), 科克萨依资料据新疆有色地勘局内部资料—淮北区带项目, 测试单位: 地矿部矿床地质研究所

3. 2 矿源

本区与韧性剪切带有关金矿的矿源主要来自三方面。其一是这些含金建造(如 D1t、D2t 地层)本身具有金的良好初始富集特征, 是这些金矿成矿的有利矿源层。其二是侵入岩, 赛都金矿田内与含金韧性剪切带相伴产出的闪长岩 $w(\text{Au})$ 平均含量^[2]为 7.75×10^{-9} 、花岗斑岩 $w(\text{Au})$ 的平均含量^[2]高达 194.08×10^{-9} , 这些岩体大约形成于 280 Ma^[2], 与赛都金矿床晚期矿化时间基本一致, 可断定这些岩体是赛都金矿成矿的重要矿源。又如科克萨依金矿与多拉纳萨依金矿, 其黄铁矿矿石中明显富含 Co, Ni, As, 其 $\text{Co}/\text{Ni} > 1$, $(\text{Cu} + \text{Pb} + \text{Zn})/(\text{Co} + \text{Ni} + \text{As})$ 值与岩浆热液金矿床相近(表 4), 这可从另一角度证实这些黄铁矿的形成与岩浆热液有较密切的关系, 侵入岩在这些

金矿的形成中提供了部分热源。其三是深部来源, 最直接的证据是硫同位素分析结果, 从上述三典型金矿床的含金黄铁矿矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 测定结果来看: 科克萨依金矿的 $\delta^{34}\text{S}(\text{CDT})$ 值为 $-0.60‰$ (仅一个样), 赛都金矿的 $\delta^{34}\text{S}(\text{CDT})$ 值为 $3.11‰ \sim 5.26‰$ (芮行健, 1995), 多拉纳萨依金矿的 $\delta^{34}\text{S}(\text{CDT})$ 值为 $-3.3‰ \sim 0.3‰$ ^[3], 可发现这些矿床的黄铁矿矿石中的硫同位素组成较一致, 其 $\delta^{34}\text{S}(\text{CDT})$ 值总体上变化于 $-5.0‰ \sim +5.0‰$ 之间, 说明其硫来源相对较单一, 以深部岩浆硫、上地幔或深部地壳硫源为主, 总之可判定其成矿的硫源主要来自深部。另外, 从韧性剪切带切穿深度较大, 容易致使深部物质向浅表迁移而在韧性剪切带所控制的区间内形成一些亲铁元素组合, 也能帮助判定这些金矿的成矿中有某些深源矿质的参与。例如科克萨依金矿所赋存的布尔根韧性剪切带, 在区域地球化学场中表现为明显地富 Au, Co, Ni, Mn, Ti 等

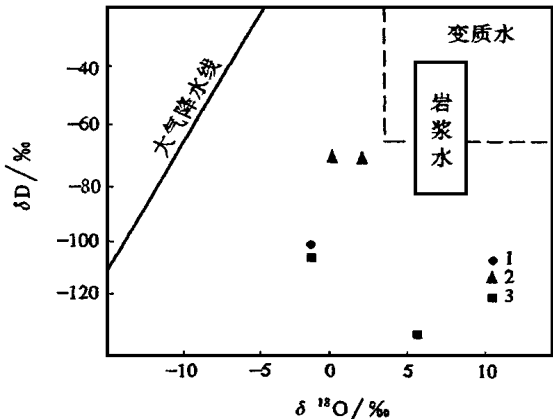


图 4 典型金矿之 $\delta D - \delta^{18}O_{H_2O}$ 图

Fig. 4 The isotopic chart of $\delta D - \delta^{18}O_{H_2O}$ of some typical gold deposits
1. 科克萨依金矿 2. 多拉纳萨依金矿 3. 赛都金矿

亲铁元素, 金与铁族元素具明显的共消长关系, 这些铁族元素多为深断裂活动产物, 主要来自下地壳或上地幔, 由此可类推科克萨依金矿的成矿过程中具有深源金的参与。

表 4 金矿床黄铁矿中部分微量元素参数表

Table. 4 The parameters of some trace element in pyrites in some gold deposits $w_B/10^{-6}$

矿 床	Co	Ni	As	Co+ Ni+ As	Cu+ Pb+ Zn	Co/ Ni	(Cu+ Pb+ Zn) /(Co+ Ni+ As)
科克萨依金矿	200	31. 4	218. 6	450	1385	6. 40	3. 08
多拉纳萨依金矿 ^[3]	181. 70	107. 0	144. 3	433. 0	2592. 9	1. 70	5. 99
岩浆热液型金矿 ^[3]	104. 5	67. 9	664. 6	837. 0	4532. 0	1. 54	5. 41

4 找矿标志

本区与韧性剪切带有关金矿的主要找矿标志是:

- (1) 晚古生代岛弧区及其挤压环境下形成的正常碎屑岩-浅变质火山碎屑岩含金建造是成矿的大环境;
- (2) 金矿化严格受控于某一韧性剪切带, 其邻侧常伴有中酸性侵入岩的产出;
- (3) Au-As-Sb-Hg-Ag-(Pb, Zn, Ni, Co, V, Cu) 等组合异常可指示矿化的大致部位;
- (4) 从矿体中心向外, 一般形成(石英, 绢云母, 硫化物) 化→(强硅化, 硫化物, 绢云母) 化→(弱硅化, 弱黄铁矿, 绢云母, 绿泥石) 化→(弱黄铁矿, 绿泥石, 碳酸盐) 化等蚀变分带, 分别对应于超糜棱岩→糜棱岩→初糜棱岩→糜棱岩化带, 金矿主要产于超糜棱岩→糜棱岩带;
- (5) 小构造(S-C 面理, 揉皱, 拖拉褶曲等) 发育并伴有小岩体(脉) 的产出, 是富矿体出现的前兆;
- (6) 激电异常能帮助有效地圈定韧性剪切带中的深部富硫化物金矿体。

参考文献:

[1] 苗昌德. 国内外金银矿床图册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 6- 8.

[2] 程忠富, 芮行健. 哈巴河县赛都金矿成矿特征探讨[J]. 新疆地质, 1996, 14(3): 247- 254.

[3] 汪玉珍, 刘玉林. 新疆多拉金矿床成因探讨[J]. 新疆地质, 1992, 10(2): 101- 109.

[4] 周志坚. 青河县科克萨依金矿成矿地质特征的研究[J]. 矿产地质, 1994, 8(5): 398- 400.

[5] 王军升, 邓吉牛, 廖启林. 新疆科克萨依金矿控矿构造特征及找矿评价标志[J]. 有色金属矿产与勘查, 1998, 7(5): 283- 288.

[6] 涂光炽. 新疆北部固体地质科学新进展[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 247.

[7] 戴塔根, 刘汉元. 微量元素地球化学及应用[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1992: 53.

[8] 胡霁琴, 王中刚, 涂光炽. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 231.

PRELIMINARY ANALYSES ON MINEROGENETIC CHARACTERISTICS OF GOLD DEPOSITS RELATED TO DUCTILE SHEAR ZONE IN SOUTHERN MARGIN-AREA OF ALTAY

LIU Wu-hui, LIAO Qi-lin, DAI Ta-gen, ZHAO Xiao-xia

(*Institute of Geology, CSUT, Changsha 410083, China*)

Abstract: The Au deposit related to ductile shear zone is one of the main types of primary Au deposit in the south margin area of Altay. The authors make a correlative study on Keke-sayi, Saidu and Dolanasayi which are typical Au deposits related to ductile shear zone in the area and generalize the characteristics and prospecting criteria of such type of Au deposit. The sources of ore are discussed and it is considered that ductile shear zone is the prerequisite and sedimentary clastic rock and Au-bearing low metamorphic volcanic clastic rock formations are the favourable setting in late palaeozoic arcs for formation of such Au deposit.

Key Words: ductile shear zone; gold deposit; mineralogical characteristics; southern margin of Altay; Xinjiang

(上接第 16 页)

THE METAMORPHIC CORE COMPLEXES IN HEBEI, CHINA

FU Chao-yi

(*The Central-South university of Technology, Changsha 410083, China*)

Abstract: The metamorphic core complexes in Hebei were formed during Mesozoic-Cenozoic Period occurring as belts in Taihang, Yanshan mountain areas etc, in the surroundings of the North China Depression. They are formed by magma diapirism, continental extension and mantle plume. However the huge ductile shear zones in Cordilleran metamorphic core complex are absent here.

Key words: metamorphic core complexes; diapir of magma; continental extension; mantle-plume; Hebei.