

陕西铜厂矿田控矿断裂带显微构造特征^{*}

韩润生

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放室, 贵阳, 550002,
昆明理工大学, 昆明, 650093)

朱大岗

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081)

马德云 马更生 刘伟

(昆明理工大学, 昆明, 650093)

摘要 本文在研究铜厂矿田地质特征和宏观断裂构造带特征的基础上, 对矿田内不同类型断裂构造岩进行了分类和显微结构面力学性质的鉴定, 研究了岩石和矿物的形变与相变, 探讨了微观领域内的动力成岩成矿作用, 并分别估算和厘定了古应力的大小和方向, 为再现矿田构造应力场奠定了基础。

关键词 显微构造 动力成岩成矿作用 古应力值 铜厂矿田 陕西

第一作者简介 韩润生 男 1964年出生 博士后 副教授 主要从事成矿动力学方面的科研和教学工作

铜厂矿田位于陕西勉(县)—略(阳)—阳(平关)三角地区中部, 该三角区处于秦岭构造带和龙门山构造带的复合部位, 多期构造运动明显而强烈, 不同类型火山岩极为发育, 岩浆侵入活动频繁, 多期构造形迹复杂多变, 多源叠加矿化类型繁多, 素有“金三角”之美称。先后相继发现十多个大中型金、铜、镍、铁等矿床及近百个小型有色、黑色和贵金属矿床(点)。铜厂矿田包括铜厂、秦家砭—陈家坝、峡口驿和阴山沟等地区, 北接东沟坝矿田, 南至红木沟—大铁坝, 西接红土石, 东达峡口驿一带, 分布有铜厂铜铁矿床、陈家坝、秦家砭、红土石、阴山沟等铜金多金属矿床(点)^①, 它们的形成与动力改造作用密切相关。尽管构造动力作用在宏观领域表现明显, 但是在显微领域动力作用的信息更为丰富。为了再现矿田构造应力场, 深入研究构造对成矿的控矿作用, 本文拟着重讨论控矿断裂带显微构造的主要特征。

1 矿田地质构造特征

矿田出露两套火山—沉积建造, 共同组成了元古宙碧口群, 下部郭家沟组以基性细碧质火山岩为主, 上部接官亭组以中酸性角斑质火山岩为

主。火山岩类主要是一套海相喷发的火山—沉积建造, 岩石以细碧岩、角斑岩、石英角斑岩及其相对应的火山碎屑岩(凝灰岩)为主, 其中夹有硅泥质岩、碳酸盐岩和火山喷流沉积岩。矿田内侵入岩分布广泛, 岩石类型齐全, 多期性明显, 与成矿作用有着紧密的联系。超基性岩以晋宁期峡口驿岩体为代表, 它具有明显的侧向分异特征, 由南向北依次为纯橄岩—斜辉橄岩—二辉橄岩—单辉橄岩—单辉辉石岩, 北侧与加里东期辉长辉绿岩侵入接触, 南侧与菱镁岩呈断层接触; 基性岩主要有加里东期辉绿岩和辉长辉绿岩, 它们常以岩脉、岩墙和岩体产出, 并大致呈东西向展布, 以峡口驿辉长辉绿岩体和阴山沟辉绿岩脉为代表性; 中性岩以著名的铜厂闪长岩体为代表, 岩体呈一近圆形的岩株产出, 侵位于郭家沟组上段细碧岩中。由中心向外侧可划分出闪长岩、石英闪长岩和闪长玢岩三个相带, 岩体最初形成于中元古

1998年元月4日收稿, 1999年2月24日, 11月2日改回。

^{*} 由云南省中青年学术和技术带头人培养经费和中日合作项目联合资助。

① 韩润生, 1998, 陕西勉略阳区铜厂矿田成矿动力学研究及矿床预测应用(博士学位论文)

代, 主侵位于加里东期, 并被印支期中酸性岩侵入, 形成复式岩体; 酸性岩主要出露加里东期长湾花岗岩。

矿田内重要的控矿构造主要发育 EW—NEE 向、NWW 向、NW 向、NE 向断裂, 断裂面在平面和剖面上均呈舒缓波状。EW—NEE 向断裂带走向为 $N60^{\circ}\sim 90^{\circ}E$, 倾向 NW 或 SE, 倾角 $57^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。裂面发育镜面和斜冲擦痕, 裂带宽 $2\sim 10m$, 个别达数十米, 发育糜棱岩、碎粒岩、碎斑岩、构造片岩、磨砾岩和构造透镜体等构造岩, 显示多期活动的特点。两盘岩石具有黄铁矿化、硅化、碳酸盐化、绢云母化及绿泥石化等热液蚀变, 并见黄铜矿等金属矿化。这组断裂经历了压性—压扭性(左行)—压扭性(右行)—扭压性(右行)的力学性质转变, 反映了多期构造运动叠加的影响, 是多种构造体系的构造成分归并改造的结果; NWW 向断裂带走向为 EW— $N63^{\circ}W$, 倾向 NE, 倾角 $66^{\circ}\sim 87^{\circ}$ 。裂带宽 $3\sim 10m$, 最宽可达数十米, 发育糜棱岩、碎裂岩、构造片岩、构造透镜体及密集劈理, 具硅化、绢云母化、碳酸盐化等蚀变, 显示多期构造复合的特点。而且, 断裂带内多具黄铜矿化和黄铁矿化。该组断裂经历了压性—压扭性(右行)—扭(张)性(右行)—扭压性(左行)的复合转变。NWW 向断裂与 NEE 向组断裂配套, 共同组成了共轭断裂, 是矿田内重要的控矿控岩构造, 将矿田切割成若干透镜状的地块, 形成铜厂矿田的基本构造格架, 控制了矿田构造演化和发展; NE 向组断裂带走向为 $N40^{\circ}\sim 50^{\circ}E$, 倾向 SE, 倾角 $55^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 。裂带宽 $1\sim 3m$, 由片理化带、构造透镜体带、碎裂岩带及千糜岩带组成, 并发育硅化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化等动热蚀变带, 普遍具黄铜矿化及黄铁矿化。这组断裂主要经历了扭压性(左行)—压性或压扭性(左行)的力学性质转变, 表明它们早期为东西构造带的配套扭裂, 晚期为北东构造带的主压面; 近 SN 向断裂在矿田不发育, 其走向一般为 $NE15^{\circ}\sim NW15^{\circ}$, 倾向北西或北东, 倾角 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。裂面呈舒缓波状或较平直, 裂带宽 $0.5\sim 3m$ 不等, 裂带由片理化带、糜棱岩带、碎裂岩带组成, 发育褐铁矿化(黄铁矿氧化而成)、绢云母化等热液蚀变。这组断裂经历了扭压性(左行)—扭压性(右行)或压性的力学性质的转变。

铜厂矿田具有多种矿床(化)类型和“同位—

多期—多阶段”成矿的特点, 各类矿床(化)以金、银、铜多金属矿床(化)为主, 可划分为铜厂式(砂卡岩型和与闪长岩有关的动热改造热液型)、陈家坝式(火山喷流沉积—改造型)、东沟坝式(火山喷流热卤水沉积—改造型)、阴山沟式(火山喷流沉积—基性岩浆期后热液型); 峡口驿式(与超基性岩有关的岩浆型和热液改造型)。它们均与中新元古宙细碧角斑岩和火山喷流热卤水沉积作用有关, 并与后期变质作用、岩浆叠加和构造改造作用有着密切的联系。

2 主要断裂带构造岩类型的划分

笔者通过大量显微薄片的系统鉴定, 根据孙岩等(1994)^[1]和朱大岗等(1995)^[2]对构造岩分类和命名方案, 列出主要断裂带的构造岩类型特征见表 1。

(1) NEE 向主干断裂带: 以发育塑性、脆—塑性构造岩为特征, 反映了断裂多期构造活动的特征。其力学性质主要表现为从(压)压扭性(左行)—压扭性(右行)—扭压性(右行)的转变, 形成以糜棱岩、片岩为主的构造岩, 后期叠加的脆性形变相对较弱。

(2) NWW 向主干断裂带: 断裂带内塑性、脆—塑性构造岩发育, 反映出断裂带的多期活动性, 断裂的力学性质发生了(压)压扭(右行)—扭(右行)—扭压性(左行)的转变。早期形成塑—脆—塑性形变的构造岩(以糜棱岩、千糜岩为主), 后期叠加脆性形变。

(3) 含矿断裂带: 以脆—塑性和塑性构造岩为主, 可见到后期叠加的脆性形变。断裂力学性质发生了由压性—压扭性(左行)—压扭性(右行)的变化, 形成了以糜棱岩和千糜岩为主的构造岩。

(4) 不含矿断裂带: 主要以脆性形变为主, 形成碎裂和碎粒岩类构造岩, 成矿早期形成断裂的力学性质主要表现为压(压扭)性, 成矿期断裂主要表现为一定的扭(张)性, 晚期显压性特征。

(5) 断裂带的力学性质转变在宏观领域和显微领域的表现基本一致。而且, 不管是含矿断裂带, 还是不含矿断裂带, 构造岩类型均反映出从成矿前到成矿后期, 构造应力由强变弱, 显示出退化动力变质的现象。

表 1 铜厂矿田主要断裂构造岩分类特征

Table 1. Classifying features of major fault tectonites in the Tongchang Orefield

主要方向断裂	不同时期主要力学性质转变	构造岩类型	结构	构造
矿田 NWW 向 主干断裂	(压)压扭性(右)	千糜岩	糜棱	眼球状
	↓	糜棱岩化片岩	千枚	条带状
	扭性(右)	糜棱岩	碎粒	片理化
矿田 NEE 向 主干断裂带	↓	片理化碎斑岩	鳞片变晶	千枚状
	扭压性(左)	碎裂岩	碎斑	透镜状
			碎裂	压力影
矿田 NEE 向 主干断裂带	(压)压扭性(左)		擦皱	书斜
	↓	千糜岩	糜棱	透镜状
	压扭性(右)	构造片岩	鳞片变晶	皱纹
矿田 含矿断裂带	↓	二次糜棱岩	碎斑	片理化
	扭压性(右)	粗糜棱岩	粗糜棱	
	(不明显)	碎裂岩		
矿田 不含矿断裂带	↓		糜棱	片理化
	压性	糜棱岩	鳞片交晶	透镜状
	↓	千糜岩	碎斑	梳状
矿田 不含矿断裂带	压扭性(左)	粗糜棱岩	碎粒	千枚状
	↓	碎裂岩	碎裂	不完全压力影
	压扭性(右)		碎斑	
矿田 不含矿断裂带	压性(压扭性)	碎裂岩	碎斑	裂理化
	↓		糜棱(部分)	透镜状
	扭(张)性(右)			

3 矿物和岩石形变和相变及主压应力方向的厘定

在构造应力作用下,岩石和矿物的物理—化学性质发生变化,产生形变和相变,伴随着元素的迁移聚散,发生动力成岩成矿作用。主要断裂带

中矿物和岩石的形变、相变特征见表 2。矿田内主干断裂和含矿断裂均表现出从脆性—脆—塑性—塑性形变演化,而且相变发育,动热蚀变作用较强,新相矿物(构造成因矿物)较多,石英、方解石和白云石的动态重结晶作用较强,显微压力影构造发育,伴随着强烈的矿化作用。

表 2 铜厂矿田主要断裂构造岩形变和相变特征及主压应力方向变化表

Table 2. Deformation and phase transition of major fault tectonites and direction of the largest major stress (σ_1) in the Tongchang Orefield

主要断裂带	形变特征			相变特征			σ_1 方位变化 (平均)
	脆性形变	脆—塑性形变	塑性形变	新生矿物	重结晶矿物及程度	蚀变特征	
NWW 向 断 裂 带	碎裂岩化	糜棱岩化	波状滑光	石英		绢云母化	NE13° ↓ NW60° ↓ NE80°
	碎斑岩化	机械双晶	绢云母扭曲	方解石		粘土化	
	碎粒岩化	条带状构造	透镜体化	绢云母	石英(强)	褐铁矿化	
	显微裂隙	片理化	石英变形纹	梳状方解石	方解石(较强)	绿帘石化	
		粗糜棱岩化	石英压扁拉长	绿帘石		碳酸盐化	
			压力影	白云母		硅化	
			扁豆体化				
NEE 向 断 裂 带		糜棱岩化	透镜体化	石英		绢云母化	NE16° ↓ NW54° ↓ NE85°
		初糜棱岩化	波状滑光	白云石	白云石(强)	碳酸盐化	
	碎裂岩化	机械双晶	石英压扁拉长	方解石	石英(强)	粘土化	
	显微裂隙	片理化	石英变形纹	透闪石	方解石(较强)	褐铁矿化	
			绿泥石		透闪石化		
含 矿 断 裂 带	碎裂岩化	糜棱岩化	不完全压力影	石英		硅化	NE50° ↓ NW50° ↓ NW82°
	显微裂隙	机械双晶	波状滑光	绢云母		褐铁矿化	
	碎斑岩化	粗糜棱岩化	扁豆体化	方解石	石英(较强)	碳酸盐化	
		片理化	矿物压扁拉长	白云母		绢云母化	
			(方解石, 绿泥石)	透闪石	方解石(较强)	绿泥石化	
			交叉变形纹	白云石		绿帘石化	
				绿帘石		透闪石化	
不含 矿 断 裂 带	碎裂岩化	裂理化	波状消光	石英		硅化	NE15° ↓ NE80°
	显微裂隙	片理化	矿物压扁	方解石		碳酸盐化	
			透镜体化	绢云母	石英(弱)	绢云母化	
				绿帘石			

(1) NWW 向主干断裂主要表现为岩石、矿物由脆性向脆—塑性再向塑性的转化, 还可见后期脆性形变的叠加, 并发育压力影构造, 相变也较发育。糜棱岩化片岩和千糜岩的出现及热液蚀变的发育特征表明构造动力热液活动的存在, 还发育动态重结晶的石英和方解石。通过大量定向薄片的测定, 根据其形变特征, 可厘定该组断裂经历了 $NE13^{\circ} \rightarrow NW60^{\circ} \rightarrow NE80^{\circ}$ 主压应力的变化。

(2) NEE 向主干断裂主要表现为岩石、矿物由脆性—脆—塑性—塑性转变的趋势, 矿物的压扁拉长现象和透镜体化较发育, 构造片岩和二次糜棱岩出现, 也表明构造动力热液活动的存在。还发育动态重结晶的白云石、石英及石英的压力

影构造。其形变特征反映出主压应力方向的变化为: $NE16^{\circ} \rightarrow NW54^{\circ} \rightarrow NE85^{\circ}$ 。

(3) 含矿断裂主要表现为脆塑性—塑性的转变, 形成不完全压力影构造、扁豆体和交叉变形纹, 并发育较强的动态重结晶的石英和方解石。根据构造岩显微构造形变特征可厘定该组断裂一般经历了 $NE5^{\circ} \rightarrow NW55^{\circ} \rightarrow NW82^{\circ}$ 方向的主压应力的作用。

(4) 不含矿断裂主要以脆性形变为主, 相变和矿物动态重结晶常不发育。形变主要表现为裂理化, 构造动热蚀变也很弱。据其显微形变特征推断, 成矿前期断裂反映的主压应力方向为 $NE15^{\circ}$; 成矿后期的主压应力方向为 $NE85^{\circ}$ 。

表 3 铜厂矿田古应力值估算表

Table 3. Estimation of palaeo-stress value in the Tongchang Orefield

构造期次	标本号	测定矿物	测线号	统计颗粒数	粒径 $D(10^{-3}m)$	$\sigma_1 - \sigma_3 (MPa)$	平均 $(\sigma_1 - \sigma_3) (MPa)$	
晋宁—澄江期	LD-6	白云石	1	705	0.0296	163	180.4	
			2	785	0.0277	170		
			3	704	0.0259	178		
			4	706	0.0234	192		
			5	549	0.0222	199		
加里东期	LD-17	石英	1	966	0.0214	82.3	95.3	
			2	1036	0.0193	88.3		
			3	1104	0.0175	94.4		
			4	960	0.0145	107.3		
			5	1288	0.0151	104.4		
印支—燕山期	LD-170	石英	1	237	0.04160	52.4	52.5	53.7
			2	403	0.03543	58.4		
			3	279	0.03899	54.8		
			4	285	0.04653	48.6		
			5	340	0.0470	48.2		
	LD-128-1	石英	1	153	0.0400	53.8	54.6	
			2	136	0.0450	49.7		
			3	115	0.0384	55.3		
			4	129	0.0369	56.8		
			5	167	0.0366	57.2		
	LD-128-2	石英	1	250	0.0417	52.1	54.2	
			2	205	0.0382	55.5		
3			206	0.0380	56.0			
4			172	0.0405	53.4			
喜山期					3.83 ~ 12.77	8.3		

(5) 断裂构造岩的形变特征反映主压应力方向与宏观构造特征揭示的主压应力方向一致, 两者相互补充, 可以准确地厘定不同时期主压应力的方向, 即晋宁—澄江期和加里东期为近南北向; 印支—燕山期为北西—南东 $54^{\circ} \sim 60^{\circ}$; 喜山期为近东西向(表 2), 分别与不同方向组断裂力学

性质转变相对应。

4 古应力值估算

许多地质学家认为, 采用矿物动态重结晶估算古应力值的方法在一定条件下不失为一种有效的估算方法^{3,4}。Ross 等(1980)^[5]认为, 重结晶法

估计稳定态形变的构造应力值比其它方法更有价值。所以,在铜厂矿田运用石英、白云石的动态重结晶法估算古应力值是可行的,估算出的古应力值可为构造应力场数值模拟提供应力条件的依据。

Twiss(1997)^[6]在概括了大量文献的基础上指出,当样品变形时,总的位错密度随晶体颗粒内应变能的增加而增加,这种位错应变能提供了导致新生颗粒形成的驱动力。新生矿物颗粒的大小与差应力间存在如下关系:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 6.03D^{-0.68} \text{ (Twiss, 1997)}^{[6]} \quad (\text{石英})$$

$$D = 41(\sigma_1 - \sigma_3)^{-1.42} \text{ (Friedman, 1981)}^{[4]} \quad (\text{方解石})$$

笔者选择了动态重结晶发育的5件代表性样品来估算成矿前和成矿期的古应力值(表3),其值代表了古应力的下限。结合宏观构造地质特征和显微构造特征分析,结果表明:晋宁—澄江期应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)为163~199MPa;加里东期为82.3~107.3MPa(其中白云石的($\sigma_1 - \sigma_3$)计算参考方解石的估算公式);印支—燕山期为48.2~57.2MPa。喜山期古应力值可参照邻区安康上游的绢云千枚

岩中测得的现今构造应力差($\sigma_1 - \sigma_3$) = 3.83~12.77MPa^[7],估计其古应力值可能大于此值。

5 结 论

(1) 不同时期的断裂带经历了不同的力学性质转变;不同的断裂带具有不同类型的构造岩及不同的形变和相变特征,表现出微观领域内的动力成岩成矿作用。

(2) 从晋宁—澄江期,经加里东期和印支—燕山期到喜山期,铜厂矿田主压应力方向依次演化为近SN向、NW—SE54—60°和近EW向,分别与不同方向组断裂的力学转变相对应,古应力值也相应降低,反映了动力作用也随之减弱。

(3) 矿物的动态重结晶法是估算古应力值的有效方法之一,构造应力的大小和方向可为再现矿田构造应力场所需的变形边界条件奠定基础。

致谢 本文工作是在地质力学研究所王小凤研究员的指导和帮助下完成的;在野外工作期间,得到了宋建波、黄义忠等老师的帮助,在此一并致谢!

参 考 文 献

- [1] 孙岩等, 构造动力变质岩带. 北京: 科学出版社, 1994.
- [2] 朱大岗、王治顺, 构造岩的结构成因分类与命名. 见: 中国地质科学院地质力学研究所 所刊(16), 北京: 地质出版社, 1995.
- [3] Wan Tianferg, Intrapate deformation tectonic stress field and their application for Eastern China in Meso-cenozoic. Beijing: Press of China University of Geosciences, 1994.
- [4] 王小凤等, 变形显微构造古应力计及其在地质学中的应用. 见: 地质力学研究所所刊(8), 北京: 地质出版社, 1986.
- [5] Ross J. V. et. al., Stress dependence of recrystallized grain and subgrain size in olirine, *Tectonophysics*, 1980, 70(1~2): 39~61.
- [6] Twiss, R. J., Theory and applicability of a recrystallized grain size Paleopiezometer, *Pure Application Geophysics*, 1977, 115.
- [7] 水利水电科学研究院等, 岩石力学参数手册, 北京: 水利电力出版社, 1991.

MICRO-STRUCTURAL FEATURES OF ORE-CONTROLLING FAULT BELT IN TONGCHANG OREFIELD, SHAANXI

Han Runsheng¹⁾ Zhu Dagang²⁾ Ma Deyun³⁾ Ma Gengsheng³⁾ Liu Wei³⁾

1) (Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences
Guiyang 550002; Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

2) (Institute of Geomechanics CAGS, Beijing 100081)

3) (Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

Abstract

On the basis of the features of orefield geology and fault structure on a macroscopic scale, the diagenesis and mineralization have been discussed by classifying tectonites, and identifying the mechanical properties of fault plane, studying the deformation and phase change of the minerals and rocks, then estimating palaeo-stress value, and stipulating palaeo-stress direction. All this provides the basis for reconstructing the structural stress field of the Tongchang orefield.

Key words: micro-structure; dynamic diagenesis and mineralization; estimated palaeo-stress value; Tongchang orefield; Shaanxi