

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

层滑断裂与层控矿床 ——以苏皖南部上古生界的地层为例

孙岩 沈修志 黄钟瑾*

(南京大学地质系)

笔者在苏皖南部地区观察过数十处金属和非金属矿床,发现层控矿床中断裂活动异常活跃,其中对层控矿床起控制作用的是由层间滑动发育起来的层滑断裂。它受到岩层的界限制约,其构造部位、形成机制和力学性质等均具有明显的特点,并与层控矿床的发育有着内在的联系。

层滑断裂的研究,可以追溯到十九世纪中叶伊塞尔(A·Eseker, 1846)发现阿尔卑斯的推覆体^[1]和伊文思(J·Evans, 1866)发表地壳层圈滑动的理论^[1],涉及问题颇广。到本世纪七十年代乌尔夫(K·H·Wolf, 1976)和克莱姆(D·D·Klem et al, 1980)提出有关层控矿床的理论^[2,3,4],把地层和矿层融为一体,为找矿勘探扩大了思路。笔者把层滑断裂所涉及的问题集中到其定位机制和成矿作用的研究上,提出地层、断层和矿层三位一体,是把构造变动与物质组成进行统一研究的一种尝试,试图在原有层滑断裂和层控矿床的研究基础上进行新的探索。

层滑断裂同层控矿床一样,也有着一定的区域性特点,苏皖南部以至长江中下游地区从上古生界到中生界存在着三个层滑断裂的层位,分别是泥盆系上统和石炭系下统间;二叠系下统和上统间以及三叠系中统和上统之间,本文主要以第一个层位为例,从层滑断裂的定位机制、发育过程和成矿作用等三个方面叙述之。

一、定位机制

在定位机制上,具有定位、定时和定性三方面的特征。

1. 定位

(1) 首先是地层层位定位。对于泥盆系上统(D₃)和石炭系下统(C₁)间的层滑断裂(简称D₃—C₁间层滑断裂),与岩石的抗压、抗剪强度和内摩擦角有关,现将已测地层的抗压强度列于表1,其中强岩层,即骨干岩层是砂岩和灰岩,抗压强度大于1000—2000Kg/cm²;弱岩层,即非骨干岩层是页岩,泥晶灰岩和粗晶灰岩,抗压强度低于300—500Kg/cm²。非骨干岩层中的细砂岩厚度仅5—10米,不影响整体的力学表象。从表1所列,可计算出非骨干岩层厚度与骨干岩层厚度之比约为1:3—1:4。由经验数字对比看来,这个厚度比例关系,较易发生规模较大的层滑断裂。

同时,据笔者测量页岩和砂岩(宁镇地区)的内摩擦角分别为28°—35°和48°—55°,比考德赫瑞^[5]试验测量值略偏高。而且骨干与非骨干岩层两者的弹性模量相差悬殊,达4—5倍之多。都反映了骨干岩层的弹性、脆性和刚性表象,和非骨干岩层的塑性、韧性和柔性的力学表象。

(2) 其次是构造部位定位。如在宁镇地区幕府山—栖霞山沿江复背斜;汤山—仑山复背斜,

* 本文作者还有邓锡秧,刘寿和。

1) 星野一男著,徐汉臣译,构造地质学概述,地质地球化学,1980年,第1期,第47—61页。

表 1 苏南地区泥盆系下统至二叠系下统岩石单轴抗压强度试验

系	统	代 号	地 层	岩 性	厚 度 (m)	抗 压 强 度			岩层组合	
						kg/cm ²	试验 次数	取样地点	名称	厚度 (m)
二 叠 系	下 统	P ₁ g	栖霞组	灰 岩	95—144	1165.05	4	江宁湖山	骨干岩层 (上)	210
	上 统	C ₃	船山组	灰 岩	30—40	1212.96	4	南京栖霞山		274
	中 统	C ₂ h	黄龙组	质纯灰岩	85—90	1191.83	6	南京栖霞山		
				粗 晶 灰 岩	5—13	516.40	5	南京幕府山	非 骨 干 岩 层	55 120
	下 统	C ₁ ³ h	和州组	泥 晶 灰 岩	2—18	487.50	3	南京栖霞山		
		C ₁ ² g	高骊山组	细 砂 岩	5—10	702.22	3	南京栖霞山		
				页岩、粉砂质泥岩	25—40	260.40	2	南京栖霞山		
		C ₁ ¹ g	金陵组	沥青质灰岩	2—9	375.54	2	江宁湖山		
泥 盆 系	上 统	D ₃ w	五通组	页 岩	20—30	—			骨干岩	155
				砂 岩	130—170	2460.00	8	无锡石塘		205
	中下统	D ₁₋₂ m	茅山群	砂 岩	25—35	1736.00	4	无锡石塘	层(下)	

1) 因试件存在隐裂隙的缘故记录取最大值。

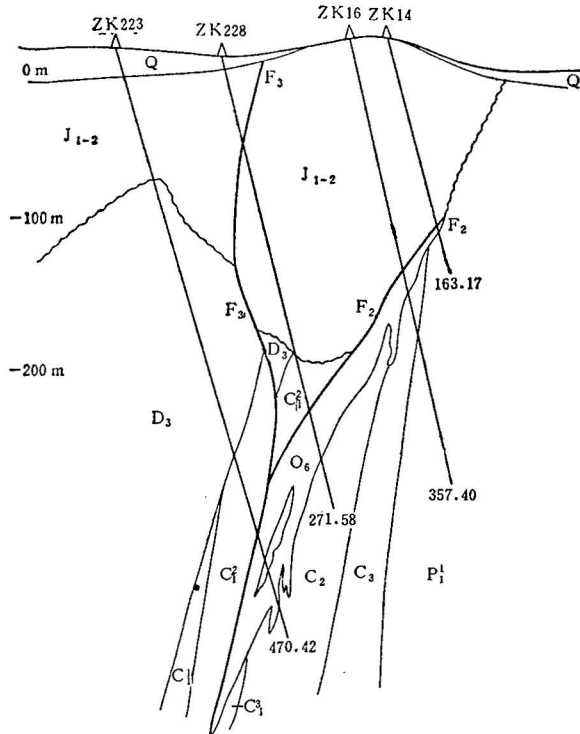


图 1. 苏南某铅锌硫矿区22勘探线示意剖面图

Q—第四系；J₁₋₂—侏罗系象山群；P₁¹—下二叠统栖霞组；C₃—上石炭统船山组；C₂—中石炭统黄龙组；C₁³—下石炭统和州组；C₁²—下石炭统高骊山组；C₁¹—下石炭统金陵组；D₃—上泥盆统五通组；O₆—断层带和矿体；zk—钻孔。

铜陵地区铜官山复背斜和挂岭脚复背斜等。凡背斜翼部,特别是倒转翼部,几乎总可以见到 D_3 — C_1 间的层滑断裂,只是发育的程度不同罢了。在苏皖南部地区,泥盆系和石炭系的地层恰处于背斜和复背斜的翼部,层间滑动,逆冲断层比起轴部更容易发育。霍布斯(B·E·Hobbs,1978)利用NaCl和KCl等材料模拟该现象^[6]得到良好的结果。

2. 定时

D_3 — C_1 间的层滑断裂,就形成时期而言是褶皱同期的产物;就褶皱构造的发育而论,定时性的另一层意思是发生于一定的地质时代,是一定的构造运动造成的。苏皖南部主要的褶皱期为印支期,主要的成矿期为燕山期(后详)。

3. 定性

系指岩层断裂的力学性质。以苏南某铅锌硫矿区 F_2 断层为例说明之^[1](图1)。

F_2 断层发生于上述矿区倒转背斜的南东翼,五通组地层逆冲到石炭系甚至二叠系之上,产状为 $N55^\circ E/NW \angle 65^\circ$ 。据勘探线20—46之间的资料,在侏罗系象山群不整合面下的 F_2 断层部位,存在一个古断裂河谷侵蚀面,谷地相对高差近百米,其底部有象山群洪积、坡积的含砾砂岩沉积。这清楚表明,压性断裂 F_2 是印支期产物,而切割象山群的 F_3 断层(部分与 F_2 重接)、实是 F_2 燕山期再活动的表现,结合地表观察, F_3 断层是压扭性的。有的地区再活动表现为扭压性的。

二、发育过程

一般可划分为三个阶段:

1. 层滑阶段

层滑断裂始于层间滑动(或称顺层滑动),导致了层间破碎,层间剥离和层间滑脱等现象。这期间还伴生、派生破劈理、流劈理和片理等构造,并且在滑面上留下了擦痕和擦脊。

层间滑动进一步发育,则形成切层滑动,据皖南铜陵地区实地测量,切层滑动面与地层交角 5° — 12° ,它促使了层间破碎带加宽,派生构造加剧。

2. 逆冲阶段

开始是低角度的逆掩,断层面沿三个破裂面发育:切层滑动面;剖面X(晚期X)裂隙和派生构造。后者主要是指非骨干岩层中的裂隙构造而言,因为在层滑过程中,切应力往往为强岩层所吸收,压应力则传到弱岩层中^[2],致使派生裂隙构造同岩层的交角变小。此间的滑动已不仅限于层面,而是由骨干岩层延伸逆掩到非骨干岩层之上的滑动,规模大者可形成推覆构造^[7]。逆掩的后期常是高角度的层滑逆冲,成为前峰翘起下延变缓,地表陡立的挤压带。

3. 再活动阶段

通常是在压性断裂的基础上再次活动,力学性质转化成压扭性或扭压性,以至扭性的,在苏皖地区,则是褶皱期间的区域应力场在褶皱期后的继续活动和发展变化。再活动的另一个迹象是由压性(压扭性)转化成张性断裂,规模不大,多次活动,显然受到局部应力场的影响,同时也要考虑到鲍辛格(Bauschinger)效应^[8]。

三、成矿作用

层滑断裂在层控矿床的成矿过程中所起的作用可从下列几方面予以阐述。

1) 江苏冶金地质勘探公司810队,1980,江苏某铅锌硫矿区详查勘探报告。

2) F.贡扎勒兹—博诺瑞诺,蔡文彦等译,1965,片理形成的机理。国外小构造研究专辑,第156—165页。

1. 岩板屏蔽滑动作用

(1) 苏皖南部的层滑断裂发育到骨干逆冲阶段时, 实际是诺布尔 (L.F.Noble, 1941) 所称的平板状 (flat) 逆断层^[9]。这种平板 (也称岩板 rocky slabs)^[10] 构成层控矿床的顶底板 (图2) 致使断裂带与成矿带具有空间上的一致性。在矿化过程中, 它的屏蔽滑动, 构成一个长条状的构造地球化学作用带^[11], 该带内外的物理化学条件是绝然不同的 (后详)。

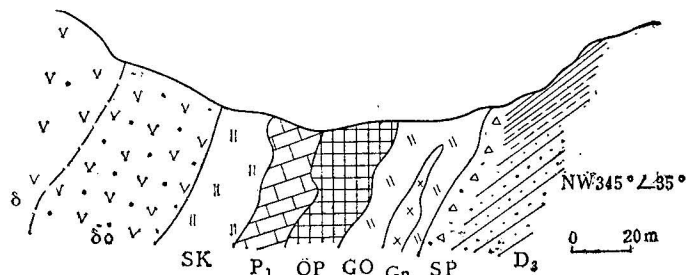


图2 皖南铜陵某矿乙矿段示意剖面图

δ—石英闪长岩; δ₁—蚀变石英闪长岩; Sk—石榴子石、透辉石砂卡岩; P₁—二叠系栖霞组灰岩; op—磁铁矿、黄铁矿; Go—褐铁矿; Gn—黄铁矿、褐铁矿; Sp—蛇纹石、滑石和断裂构造岩; D₃—泥盆系五通组砂页岩; NW345° ∠ 35°—地层产状。

(2) 滑动岩板的活动可划分为二期: 早期是稳定滑动—粘性滑动, 即层滑—逆冲阶段; 而后期则反之, 是粘性滑动—稳定滑动, 即属层滑断裂再活动阶段的几次运动。按斯提斯基 (R. M.Stesky, 1978) 的论点, 稳定滑动 (Stable Sliding) 是缓慢均匀的; 粘性滑动 (Stick Slip) 是迅速剧烈的^[12]。总的讲, 苏皖南部D₃—C₁间的层滑断裂, 第一个滑动期活动激烈, 并形成以压性为主的相对封闭系统; 第二个滑动期是较为和缓的斜列型方式的运动 (江苏某铅锌矿尤为明显), 则形成以扭压为主、部分张开的相对半开放系统。因此, 岩体 (包括部分热液) 在后一滑动期上升, 而岩板的屏蔽遮挡与断裂的导岩成矿是相辅相成的。

2. 构造混杂成岩作用

(1) 层控矿床的形成, 从矿源层—断层—矿层经历了三个不同的阶段和过程, 从岩石学的角度分析, 矿源层是沉积杂岩, 断层岩是构造杂岩^[13], 若在含矿的情况下, 即谓含矿杂岩^[2]。

苏皖南部D₃—C₁之间的矿源层, 计有泥盆系五通组 (铜含量的背景值高于相邻层), 石炭系和州组, 高骊山组 and 黄龙组下部 (都含有胶状黄铁矿, 草莓状结构黄铁矿)。这同斯克雷普琴科指出的铅锌矿的矿源层大部为泥岩、灰岩; 铜矿的矿源为砂岩的论述是一致的^[14]。

D₃—C₁间的矿源层实质上是非骨干岩层 (表1), 经层滑断裂的挤压揉搓、粉碎碾细和构造混杂形成的断裂构造岩、混杂砾岩^[11]。

(2) 在层滑断裂活动的动力变质, 分异作用中, 离子半径大、比重轻的Na、K等元素, 在围岩中集中, 从而形成围岩蚀变; 与此特征相反的Si、Fe、Mg、Mn等元素则在断裂带中心富集^[11] (表2)。

不待说, 当原生沉积的矿源层受到了改造之后, 作为构造岩、构造杂岩则成为次生的矿源层, 由于颗粒变细而增加了自由能和表面能。乌尔夫曾强调含矿杂岩 (Ore Containing Complex) 的厚度在成矿过程中的作用^[2]。事实上, 次生的含矿构造杂岩, 不论其厚度和含矿性都必然大为增加。同时由于它具有层次、层带结构的特点, 故在成矿过程中大都是层状矿化^{[2][3]} (图3)。

3. 动力热液变质作用

(1) 层滑断裂自围岩至中心, 温度明显升高, 据苏南丹徒十里长山D₃—C₁间断裂带构造岩

表 2 苏南某铅锌硫矿区泥盆系—石炭系层滑断裂构造岩化学分析数据*

断裂构造岩		矿床顶板砂岩、碎裂砂岩、长英质糜棱岩			混杂压扁磨砾岩, 部分已成矿体	
构造部位		断 裂 构 造 带			断裂中心。略偏底板灰岩一侧	
		外 带	中 带	内 带		
样品编号		80—981	80—985	80—989	80—990 ₋₁	80—990 ₋₂
百 分 含 量	SiO ₂	80.09	91.57	98.82	46.43	46.39
	TiO ₂	0.80	0.18	0.24	0.04	0.03
	Al ₂ O ₃	11.54	3.48	0.70	1.01	1.09
	Fe ₂ O ₃	2.69	2.71	0.15	21.10	21.18
	FeO	0.14	0.32	0.34	0.12	0.12
	MnO	0.03	0.01	0.00	1.05	1.06
	MgO	0.13	0.01	0.14	0.00	0.82
	CaO	0.21	0.46	0.15	4.45	4.45
	Na ₂ O	0.10	0.04	0.08	0.08	0.07
	K ₂ O	0.37	0.10	0.07	0.25	0.32
	P ₂ O ₅	0.08	0.06	0.05	0.00	0.00
	灼 失	3.68	1.39	0.37	5.99	5.92
	金属硫化物 ¹⁾				19.12	18.55
	总 含	99.86	99.93	100.01	100.00	100.00

* 分析单位: 南京大学地质系化实验室。¹⁾ 经光谱分析确定。

1) - 39

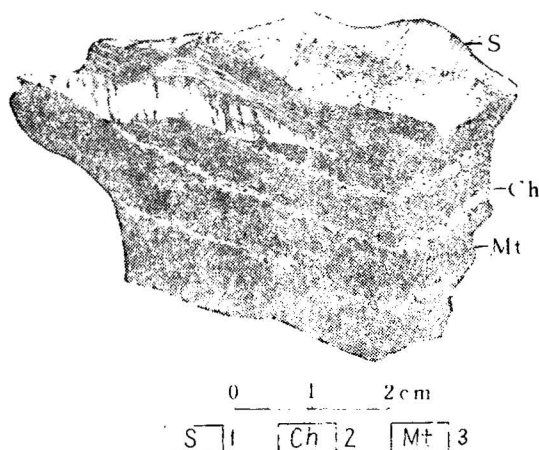


图 3 皖南铜陵某铜矿不同成矿阶段中的层状矿化

s—滑动面, Ch—黄铜矿, Mt—磁铁矿

的包体测温 (爆裂法): 围岩五通组砂岩 80°—90℃; 断裂外带碎裂岩 120°—135℃; 内带碎粉岩 395°—420℃。对成矿条件而言后者已是中温了。

动力变质过程中, 岩石构造脱水现象普遍^[11], 变质水是大量的。在 395°—420℃ 的温度下的变质水, 完全可以与成矿过程中的中温热液相当, 并非一定要外来补给。苏皖南部层滑断裂中的动热变质作用, 在一定范围内往往比接触热液变质作用强, 而后者常常仅形成角岩化。

(2) 热液活动受到构造 (构造杂岩) 本身结构特点的影响, 常形成交替变质带。对比, 普利米尔在论及澳大利亚层控矿床时曾详细讨论过这种现象^[15]。苏皖南部 D₃—C₁ 层滑断裂中动力变质程度的深浅强弱, 有序无序的变化, 也常常出现该种交替变化现象。

(3) 上面说的次生矿源层, 颗粒虽磨细, 然由于呈半开放系统, 微裂隙发育, 故其裂隙孔隙度和渗透性可按瑟爱依布 (S.M.Shuaib, 1973) 的公式计算 (裂隙孔隙度 $M_r = \frac{b \cdot L}{S} \cdot 100$;

裂隙渗透性 $K_r = \frac{A \cdot B \cdot b^3 \cdot L}{S}$ 。式中 b 以毫米计示裂隙平均宽度; L 毫米计, 裂隙总长度; S 平方

毫米计，所测地段的总面积； A 为常数，对随机性裂隙为 1.71×10^6 ； B 渗透性以毫达西计为10)^[16]。据笔者对苏南，皖南层控矿床部分地段的计算。其 Kt 和 Mt 的级别都到瑟爱依布规定的“良”级。

综上所述，苏皖南部D₃—C₁间层滑断裂与层控矿床的关系可作如下归纳（表3）：

表 3 苏皖南部泥盆系—石炭系间层滑断裂的发育与层控矿床的关系

层滑断裂		岩 板	岩石构造岩	封闭或	岩 体 和	层 控 矿 床		形 成	
活动阶段		滑动期	包体测温 ¹⁾	开放系统	岩脉活动	以同生为主，粘土矿为例	以后生为主，铜铅锌矿为例	时 期	
层滑阶段	层 间	稳定滑动——粘性滑动 (第一滑动期)	80°—90℃	封闭系统		河湖相的粘土岩和碎屑岩沉积，经层间和切层滑动，增强了成层性，铺垫了逆冲断裂滑动面。	浅海相含铁铜的矿源层沉积，形成原生含矿沉积杂岩，通过层滑运动。塑性变形，含矿物质局部集中。	褶皱发育期	印支运动期
	切 层								
逆冲阶段	岩 板	逆 掩	120°—135℃	封闭系统		①一种是经糜棱岩化，动力变质(200—300℃)成粘土矿（小型）〔图版 I—4〕。 ②一种是规模较大的逆冲断裂形成厚层磨砾岩带。	层滑逆冲构造混杂作用矿源层转化成次生含矿构造杂岩，层滑矿床顶底板初具规模，为成矿创造构造和物质上的条件。	褶皱成型期	
	骨 干		400°—420℃						
再活动阶段	压扭性 扭压性 扭 活	粘性滑动——稳定滑动 (第二滑动期)	395°—420℃	半封闭系统	中性岩体沿断裂上升	①断裂再活动，使小型的粘土矿带氧化，破坏矿床。 ②热液活动变质作用，促使磨砾岩带形成粘土矿、高岭土矿（大型）。	再次活动，促使层间、粒间活动，含矿构造杂岩渗透性增加。岩体侵位、热液活动沿主应力轴 σ_2 上升。动热变质加强，碱质交代，活化转移激化，成矿物质富集沉淀。	褶皱演变期	燕山运动期
	压性、 压扭性 转张性 活 动			部分为开放系统	岩体岩脉多次活动				

1) 爆裂法，南京大学地质系地化组测试。

本文承蒙南京大学地质系郭令智、胡受奚、施央申、刘孝善和俞鸿年教授等诸位老师的热情指导；本系化验室、地化组和水文组协助实验测试工作，谨以至谢。

参 考 文 献

[1] C.莱伊尔著，徐韦曼译，1960，地质学原理，第二册，第72—160页，科学出版社。
[2] Wolf, K. H., 1976, Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposite, I, Principles and General Studies, Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam-Oxford-New York, Vol. 3, P. 295—238.
[3] Wolf, K. H., 1976, Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposite, I, Principles and General Studies, Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam-Oxford-New York, Vol. 1, P. 1—9.
[4] Klem, D. D., et al., 1977, Time-and Strata-bound Ore Deposits. New York, P. 3—18.
[5] Chowdhury, R. N., 1978, Slope Analysis. Amsterdam, P. 47—56.
[6] Hobbs, N. E., et al., 1976, An Outline of Structural Geology. New York, P. 161—212.
[7] Mossakovskiy, A. A., et al., 1978, Nappe structure of Western and Northern Cuba and History of its Emplacement in the Light of a Study of Olistostromes and Molasse. Geotectonics, Vol¹, 12. No. 3, P. 225—236.
[8] 孙岩等，1978，破裂压性面力学性质的转化，地质科学，第三期，第265—274页。
[9] Noble, L. F., 1941, Structural Features of the Virgin Spring Area Ceath Valley. California, Bull, Geol. Soc. Am., Vol. 52, No. 7, P. 941—1000.
[10] Bruhn, R. L., et al., 1981, Mechanics of thrust faulting in crystalline basement. Sevier orogenic belt, Utah, Geology, Vol. 9, No. 5, P. 200—204.

- [11] 孙岩, 沈修志等, 1982, 江西大余压性断裂带一些化学测试数据的初步分析, 地球化学, 第4期第348—356页。
- [12] Stesky, R. M., 1978, Rock Friction-Effect of Confining Pressure, Temperature, and Pore Pressure, *Pure and Appl. Geophys.*, Vol. 116, P. 690—704.
- [13] Marjoribanks, R. W., 1976, The relation between microfabric and strain in a progressively deformed quartzite sequence from Central Australia. *Tectonophysics*, Vol. 32. No. 3/4, P. 269—293.
- [14] Skripchenko, N. S., 1981, Classification of stratiform lead-zinc deposits based on lithology and facies. *Inter. Geol. Rev.*, Vol. 23, P. 989—998.
- [15] Plimer, I. R., 1975, A metamorphogenic alteration zone around the stratiform Broken Hill ore deposit. *Australia, Geochemical Journal*, Vol. 9, No. 4, P. 211—220.
- [16] Shuaib, S. M., 1973, Subsurface Petrographic Study of Joints, in Variegated Siltstone-Sandstone and Khairabad. *Pakistan, Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, Vol. 57, No. 6, P. 1775—1778.

LAYER SLIP FRACTURES AND STRATABOUND ORDEPOSITS —— Evidence from Lower Paleozoic Strata in Southern Jiangsu and Anhui

Sun Yan, Shen Xiuzi, Huang Zhongjin, et al*

(Department of Geology, Nanjing University)

Abstract

So-called layer slip fractures refer to those interlayer sliding fractures that are bounded and controlled by strata (including layers, lithologic members and systems, and even formations) and have an internal connection with the development of stratabound ore deposits and whose structural position, time of formation and mechanical nature all exhibit certain regional features during their development.

Taking the layer slip fractures between the Devonian and Carboniferous strata in southern Jiangsu and Anhui, the following explanations are given in the paper.

1. Location mechanism. Layer slip fractures exhibit a definite structural position, time of structural movement and mechanical nature.

2. Process of development. Three stages may be distinguished, i.e. layer sliding stage (including interlayer sliding and layer cutting sliding), thrusting stage (slab overthrusting and trunk thrusting and remobilization stage (compresso-shear, shear-compressive and shear activity and activity turning from compression to tension.

3. Mineralization. It includes slab-shielded sliding, diagenesis of structural mixing and dynamohydrothermal metamorphism. Their relations with mineralizing elements—rock mass, source bed and hydrothermal liquids—are discussed respectively.

4. Coincidence relations between strata, faults and ore beds, their regional expressions and their practical significance for mineral exploration.

* The other authors are: Deng Xiyang and Liu Houhe