



40 ~ 50 年代	地槽区成矿	各类矿床的构造特征
	地台区成矿	显微构造、岩组分析不同
	活化区成矿	导矿、配矿储矿构造(网络) 矿田构造课程
60 ~ 70 年代	区域构造与成矿	构造 - 岩浆 - 成矿带
	板块构造与成矿	动力成岩成矿
	构造体系控矿	构造地球化学
	多旋回构造与成矿	
80 ~ 90 年代	地体构造与成矿	构造研究与矿床成因研究相结合
	大陆构造动力学与成矿	构造 - 流体 - 成矿系统
	深部构造与成矿	遥感、GIS、分形、实验模拟等
	深浅构造立交模型	矿田构造三维制图
	大型构造与超大型矿床	新的构造类型研究
	地幔柱构造与成矿	成矿系统中的构造作用

## 1.2 大型构造与成矿

大型构造是相对小型构造、微型构造而言的,它通常是指规模达数百千米级( $10^6 \sim 10^8$  cm)的地质构造<sup>[2]</sup>。一般而言,大型构造不是一个单一的构造形迹,而是由与其伴生的或派生的一系列构造要素组合成的。常见的大型构造可按其所反映的地壳变形场分为五大类端元:即反映地壳水平运动的伸展、收缩和走滑,反映垂向调整的隆升和沉降,其间可以有各种过渡或转化型式。与同类型的小型构造相比,大型构造不仅是地壳或岩石圈受力变形的产物,而且它的形成和演化控制着与其有关的沉积、岩浆、变质等作用。

大型构造如裂谷、推覆构造、剪切带构造等都是岩石圈动力作用的产物,有以下特征:

大型构造是多种低次序构造的有机组合,是一套构造体系,而不是单一的构造形迹;大型构造具有贯通性,它贯通不同的地质体和不同构造单元,并能汇总不同时代、不同性质的构造于自身;大型构造具有长期活动历史,在其发展演化过程中,构造运动的性质、强度、方向等常有变化,造成内部结构的复杂性;在大型构造的运动过程中,释放出大量能量,为其它的地质作用提供能源和动力;大型构造能较大程度地改变地壳物质的状态(如重熔岩浆),并驱动物质作长距离的搬运;大型构造能控制有关岩石建造的形成和分布。

大型构造的控矿作用主要表现在:大型构造可为矿源场、中介场和储矿场的有机联通提供有利条件。例如,深源的含矿流体可以大断裂为

通道而到达地壳浅表,并在该大断裂的次级断裂裂隙中堆积成矿;大型构造的长期性、脉动性和继承性,有利于成矿物质的反复叠加富集,使它们汇聚在同一有限空间,这种多重富集作用有利于形成超大型矿床;一些矿床尤其是大型矿床,其形成需要巨大、稳定的热液对流系统,支持这种系统正常运转的巨大岩石裂隙网络带,只有在大型构造的热动力作用下才能形成,如超大型斑岩铜、钼矿床;大型构造因其贯通性而能连通位于不同深度和不同地质体内的不同类型的流体,并导致它们的混合,这有利于汇集成矿所需的矿质、挥发分和形成必要的地球化学障,因而有利于矿床的形成。

可见,大型构造在源(控制岩石建造的形成的分布)、运(连通、驱动含矿流体)、储(提供多样的成矿环境)等方面控制了矿床的产生。另外,其控矿作用还可表现为一些超大型矿床主要分布于一定的成矿构造环境中(表 2),而同一构造环境对不同类型成矿系统的作用不同(表 3)。

近年来,由于深部探测技术的发展,主要是地球物理探测、地幔岩包体研究和区域地球化学以及一些碰撞造山带的研究,提供了有关壳幔组成和结构的丰富信息,相应地促进了对深部构造、深部作用与成矿关系的研究,提出了地幔柱与成矿,岩石圈中地质、地球物理,地球化学突变带对成矿区带的制约等观点,并有将岩石圈演化、构造—岩浆活动、元素转移与成矿作用从宏观上与动力学过程联接起来的研究趋势。

表 2 中国及世界主要矿床的构造成矿环境

中国主要矿床的成矿构造类型				全球超大型矿床的成矿构造类型			
序号	成矿构造环境	矿床数	百分比	序号	成矿构造环境	矿床数	百分比
1	裂谷、裂陷槽	21	28.8	1	活动陆缘构造 - 岩浆带	21	19.6
2	古陆内部及边缘深断裂	8	11	2	裂谷类构造及同生断层	19	17.8
3	古陆绿岩系韧性剪切带	8	11	3	大陆内部及边缘的深断裂	10	9.4
4	陆内断褶—岩浆复合构造带	8	11	4	大陆边缘海盆及陆架斜坡带	10	9.4
5	活动陆缘构造—岩浆带	7	9.6	5	大陆内部及边缘沉积盆地	9	8.4
6	大陆边缘海域及陆架斜坡带	6	8.2	6	稳定古陆上风化壳构造	9	8.4
7	陆壳花岗岩穹窿	5	6.8	7	陆相火山岩带的火山机构	9	8.4
8	陆相火山岩带的火山机构	5	6.8	8	陆内花岗岩穹窿	7	6.5
9	陆内和陆缘沉积盆地	3	4.1	9	前寒武纪古陆不整合面	5	4.7
10	陆壳浅层脆性变形构造带	2	2.7	10	古陆绿岩带韧性剪切带	4	3.7
				11	稳定海岸带	4	3.7
总计		73 个		总计		108 个	100 %

表 3 主要控矿构造类型的成矿控制

序号	控矿构造类型	1	2	3
1	裂谷类伸展构造及同生断裂			
2	活动陆缘构造—岩浆带(含火山岛弧带)		-	
3	大陆内部及边缘有岩浆活动的深断裂		-	
4	大陆边缘海盆及陆架斜坡带	?		?
5	大陆及边缘的大型沉积盆地	?		?
6	陆相火山岩带的大型火山(次火山)机构		-	
7	古陆绿岩带的韧性剪切带	-	-	
8	陆壳花岗岩穹窿构造		-	
9	陆内断褶 - 岩浆复合构造带		-	
10	陆壳浅层脆性变形构造带	?		
11	变质核杂岩及剥离断层	-		-
12	稳定古陆上风化壳构造	?	-	

1. 岩浆成矿系统; 2. 流体聚敛成矿系统; 3. 改造成矿系统; . 主要; - . 次要; ? 情况不明或不起作用

1.3 构造体动力学体制转换与成矿

不同环境、不同尺度、不同形式的成矿参数的临界转换,常是很多矿床形成的基本条件,对很多矿床的成矿条件和作用过程的研究<sup>[2,3]</sup>显示,在制约成矿临界转换的多种参数中,构造应力场的转换可能起着根本的作用。这是因为,构造不仅仅是局部的控矿因素,它还能从大区域上控制或影响各类地质作用(岩浆活动、沉积作用、流体作用、变质作用……)。构造动力转换也常能诱发突发地质事件(火山爆发、构造地震、流体沸腾与喷溢、流体混合等突(灾)变作用、能量释放、矿质与流体非常规运动、多组分和多过程耦合等),而这些突发事件又能构成有利成矿的环境和条件。

构造动力体制转换是自然界的普遍现象,表

现为不同环境和不同尺度,显示出自相似性。  
全球尺度的构造体制转换:古陆开合 - 散聚是构造体制转换的一种形式,据 M. E. Barley 统计<sup>[4]</sup>,古大陆汇合的末期到裂解初期这个转换时期(距今 2 000 Ma ~ 1 800 Ma、1 000 Ma ~ 800 Ma、400 Ma ~ 300 Ma)是大陆上成矿的高峰期。区域尺度的构造体制转换:典型的例子如侏罗纪与白垩纪时华北陆块发生构造体制转换,即由 NWW ~ SEE 挤压转为 NE ~ SW 向挤压,并随之产生岩浆活动并伴随大规模的成矿作用(如胶东地区金矿)。矿田 - 矿床尺度的构造转换:如含矿剪切带中张剪断裂发生时的矿石堆积,含矿褶皱,如背斜脊部由挤压向拉张的转换时段,因虹吸作用导致的矿液注入与矿质堆积等。露头尺度的构造转换:

岩层内部的引张裂隙发生时,溶有岩层自身物质的流体迅速进入裂隙中,并沉淀出过饱和物质形成小型脉体(阿尔卑斯型脉)。例如石英砂岩层中的水晶脉,碳酸盐岩层中的冰洲石脉。较大尺度的构造体系中包含有多种次一级的构造。在构造动力体制的临界转换过程中,有时大尺度构造的整体动力性质与次级构造的局部动力性质不一致,这种局部的异常经常能构成矿床形成的有利条件。

在拉张构造场如裂谷中,其内封闭或半封闭的次级盆地可构成有利的成矿场所,形成 SEDEX

(沉积喷流)型矿床或 VMS(火山岩型块状硫化物)型矿床的堆积,例如,南秦岭中泥盆世西成碳酸盐岩台地中的厂坝—李家沟铅—锌矿床就位于该盆地西侧的次级洼地中<sup>[5]</sup>。

再从更大尺度看,在大洋板块向大陆俯冲带的挤压构造动力环境下,由于局部应力场转换,由陡倾斜板片和缓平板片间裂开造成的板片窗(slab window),是一种局部的剪张构造,沿此断裂通道有深部岩浆向上侵位,并可能构成相应的岩浆—热液成矿系统(图 1)<sup>[6]</sup>。

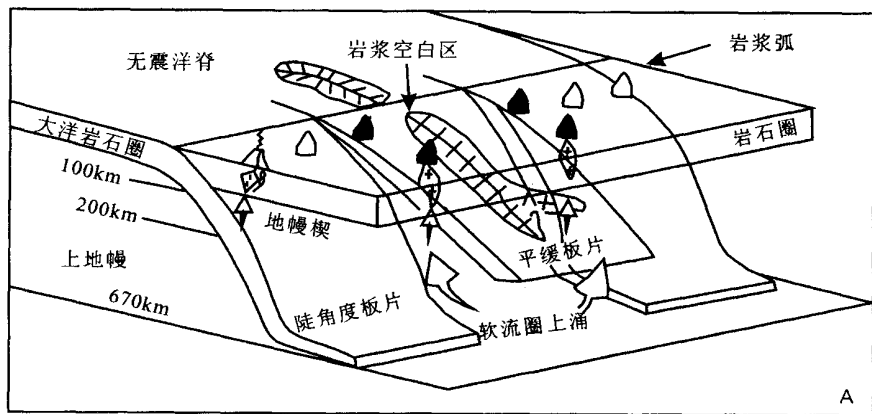


图 1 板块俯冲挤压中局部引张部位与岩浆热液成矿系统(据 Kerrich R 2000)

Fig. 1 The local extension parts in the plate subduction and magmatic hydrothermal ore-forming system

#### 1.4 我国的矿田构造研究

矿田构造是指在矿田范围内,控制各矿床的形成、改造和空间分布的地质构造因素的总和。矿田构造是矿床形成、分布、改造、破坏、保存的一个基本要素,是矿山环境质量评价的一个重要指标。矿田构造研究是找矿勘探和矿山地质的关键问题之一,是濒危矿山探边摸底扩大储量的一线希望,也是构造地质学和矿床学发展的一个源泉。

我国的矿田构造研究开展较晚。解放前,老一辈地质学家曾对赣南钨矿、东川铜矿、贵州汞矿、招远金矿等做过构造方面研究,而专门矿田构造研究,则是从 50~60 年代开始起步,逐步积累资料,探索研究方法;60~80 年代,广泛展开研究,初建矿田构造学科,近 10 多年来则采用多学科综合手段,拓宽研究广度和深度,并逐步形成了一些研究特色<sup>[7]</sup>。在运用矿田构造学指导找矿方面,60~70 年代间在南岭钨锡矿、湘西黔东汞矿、豫西多金属矿、粤北铀矿等方面都有良好效果;80~90 年代,在发现山东焦家金矿属于构造蚀变岩型以后,明确认识到韧性剪切带与金矿的密切关系,结合

化探成果,又在广东河台、海南戈枕、礼白金山、辽宁排山楼等多处发现受剪切带控制的金矿床<sup>[8]</sup>,促进了我国金矿找矿工作的发展。

#### 1.5 成矿构造研究思路

由矿床矿田构造 区域构造大型构造 全球成矿构造,是一个由小到大,由局部到整体、由整体到局部的逐步实践和反复认识过程。矿床、矿田构造研究以具体事物为主,大地构造控矿和全球构造控矿研究的综合性和复杂性更明显。两方面的研究是互为补充,相互渗透的。从研究内容看,由单个构造控矿 综合构造控矿 构造成矿研究(构造地球化学为基础) 成矿构造动力学研究,应处理好物质与运动的关系。矿床常出现在几种基本控矿因素耦合(一起出现)的部位: 矿源区(成矿物质基础); 构造、流体、热能及物理化学空间等促成矿质汇聚的多种要素。因此,成矿构造与区域地球化学、地质流体研究相结合将是正确的方向。

从构造成矿作用看,边缘成矿、界面成矿、交会成矿、转变成矿是几种基本的成矿机制<sup>[9]</sup>。之

所以在这些局部的时空域中有利于成矿,原因是:在这些特定构造部位,有利于基本控矿因素的同时出现和耦合作用;有利于实现各种控矿参量由渐变到突变的转换,从而导致原有物理化学平衡态的失稳,促使成矿物质的大量堆积。

将构造成矿与构造破矿研究相结合。矿床形成后,在以后的地质演化中能否保存以及保存在何处,取决于多种因素,但主要是受构造运动控制的。从历史演化观出发,将矿床的形成、变化、破坏或保存、产出现状作为“一条龙”来综合研究,有利于建立起对矿床“来龙去脉”的历史性认识,以具体帮助预测和勘查工作。

2 区域地球化学与成矿

区域地球化学专门研究一个区域中化学元素的丰度、分布和分配状态,该区域地质演化过程中元素的迁移活动历史以及区域地球化学系统的成分、作用与演化。区域地球化学研究涉及成矿的根本前提——物质基础,即成矿物质的来源、输运和浓集机制以及成矿环境等问题。因此,区域地球化学是区域成矿学研究的基础内容。

2.1 地球化学块体与成矿

地球化学块体的概念是由地球化学省发展而

来的。地球化学省被定义为在地壳的一个较大片段内,化学组分与地壳的平均值有显著的不同<sup>[10]</sup>。可以认为地球化学省是地壳中的地球化学异常区,而这种异常区有大有小,从局部异常到区域异常直至地球化学洲,可以构成一个套合的地球化学模式(表 4)。为了表述这种具有立体结构和多层套合的大规模地球化学模式,谢学锦院士提出了地球化学块体(Geochemical blocks)的概念<sup>[11]</sup>,用以概括地球化学省以上规模的所有地球化学模式。地球化学块体是指地壳上具有元素高含量的巨大异常体。

表 4 地球化学模式分类

Table 4 Types of the geochemical patterns	
规模(km <sup>2</sup> )	地球化学模式 Geochemical patterns
< 100	局部异常 local anomaly
100 ~ 1 000	区域异常 Regional anomaly
1 000 ~ 10 000	地球化学省 Geochemical province
10 000 ~ 100 000	地球化学块体 Geochemical block
100 000 ~ 1 000 000	地球化学巨省 Geochemical magaprovince
> 1 000 000	地球化学域 Geochemical domain

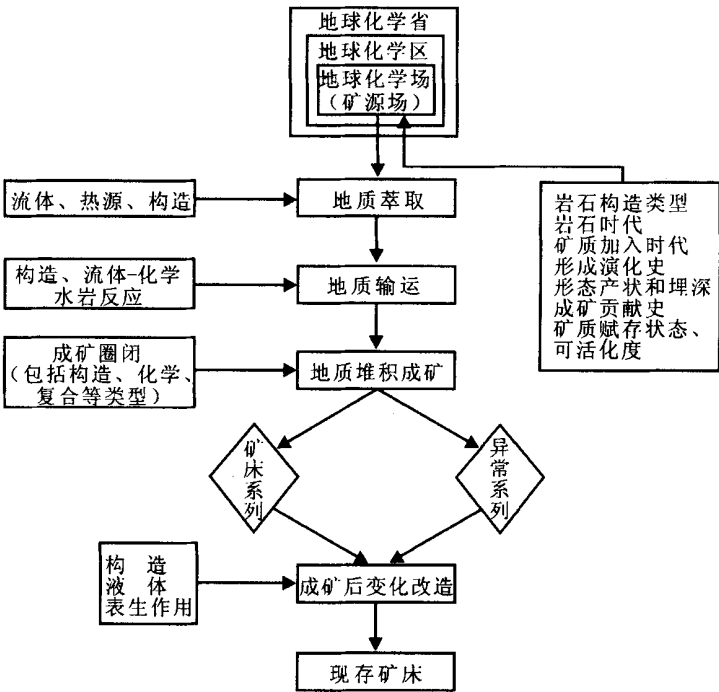


图 2 从地球化学场到成矿的过程

Fig. 2 The process from the geochemical background to the ore formation

地球化学块体对成矿作用的控制是很明显的,如华南地区的钨锡矿与胶东地区的金矿。地

球化学块体可为成矿作用提供丰富的成矿物质，但物源只是成矿的一个基础，矿床的形成往往是一个非常复杂的地质过程。像胶东金矿富集区的形成就经历了四个主要的阶段<sup>[12]</sup>：太古宙—元古宙绿岩带产生、形成——金的矿源系统雏形；古生代陆核隆升，构造环境稳定——金成矿作用间歇；中生代绿岩带强烈活化—改造——构造成岩成矿；新生代构造继承性活动——后期构造破矿作用。从地球化学块体到矿床的一般演变路径如图 2 所示。

2.2 上地幔元素丰度与成矿

研究表明，上地幔元素丰度对成矿有一定的

专属性。张本仁等<sup>[13]</sup>对东秦岭范围内的华北地台南缘和扬子地台北缘地壳及上地幔元素丰度(表 5)研究表明：华北地台南缘幔壳相对富 Mb、Pb、Zn、Au 而贫 Cu。该区正是超大型的斑岩型 Mb 矿带和我国的重要 Au 矿带之一，但具有规模的 Cu 矿迄今尚无发现。扬子地台北缘上地幔以明显富 Cu、Pb，略富 Zn 和 Mb 为特征，应为 Cu、Pb、(Zn)、(Mb) 地球化学省，在基本上属于扬子地台大陆边缘的南秦岭就成为重要的海底热卤水同生沉积—变质成因层控型 Pb、Zn 矿带，同时在长江中、下游扬子地台北缘也形成我国重要的 Cu 矿带。湘南的壳、幔均富 W，而湘南正是华南重要的 W、Sn 成矿省的组成部分。

表 5 中国某些区域地壳上地幔某些元素丰度(10<sup>-6</sup>)

Table 5 Some element abundance of the upper mantle in some places of china

构造单元	结构层	Cu	Pb	Zn	Mb	W	Au *	Ag	As	Sb
华南北苑	上地壳	16	24	58	1.3	0.57	0.6	0.07	0.82	0.43
	下地壳	20	16	55	1.7	0.47	0.4	0.08	0.35	0.4
	上地幔	12	7	79	1.3	0.3	2.6	-	-	-
北秦岭	上地壳	25	39	61	0.6	0.7	0.8	0.10	2.3	0.6
	地壳	30	30	64	0.6	0.6	1.0	0.09	4.1	0.7
南秦岭	上地壳	23	20	62	0.7	0.8	1.3	0.08	5.6	0.9
	地壳	31	18	63	0.7	0.6	1.1	0.07	4.7	0.7
扬子北缘	上地壳	21	20	56	0.58	0.58	0.7	0.07	1.5	0.12
	下地壳	7	16	60	0.68	0.34	0.7	0.07	1.5	0.12
	上地幔	60	15	66	1.10	0.06	0.72	-	-	-
湘南	地壳	33	26	75	1.18	1.43	-	0.06	-	1.18
	上地幔	27	3.5	44	0.107	0.82	-	-	-	-
全球	地壳	75	80	80	1.00	1.0	3.0	0.08	1.0	0.2
	上地幔	40	21	60	0.6	0.3	5.0	0.06	0.9	0.1

注：Au 的单位为 10<sup>-9</sup>；据张本仁等，1994<sup>[13]</sup>

2.3 地球化学急变带与成矿

铅同位素在不同块体的地壳与地幔间的差异较大，朱炳泉等通过铅同位素填图，应用三个铅同位素<sup>206</sup>Pb、<sup>207</sup>Pb、<sup>208</sup>Pb 与<sup>204</sup>Pb 的比值，将其综合矢量反映在三维空间，以此区分出不同块体间的地球化学边界<sup>[14]</sup>。地球化学边界对超大型矿床与矿床密集区起着十分重要的控制作用，特别是地球化学急变带的转折端一般都有超大型矿床出现。华北块体与扬子南缘地球化学边界分布了多个超大型矿床(包括金川铜镍矿、小秦岭金矿、金堆城—栾川钼矿、西和—成县矿带的厂坝铅锌矿、长江中下游多金属矿带等大型—超大型矿床)。因此，地球化学急变带位置的详细确定对寻找超大型矿床的战略预测具有十分重要的意义。

2.4 区域地质—地球化学作用的成矿能力

成矿的基本因素有二：金属元素在岩石圈和含矿地质体(岩浆、热液、矿源层等)中的原始浓度；各种地质作用及富于其中的化学、物理和生物化学过程浓集金属元素的能力和效率。其中为必要条件，为充分条件。

主要成矿机制：多期地质、地球化学作用，造成成矿元素的多次浓集；成矿参量耦合很好，有很强的成矿能力。

元素丰度制约：高丰度元素如 Si、Al、Fe、Mg 等只需 1~2 个地质—地球化学过程；低丰度元素如贵金属、稀有、有色金属等则需要多个地质—地球化学过程反复浓集。

元素丰度、成矿强度、成矿期次三者耦合的区域应是大矿富矿形成的理想地区。

区域成矿是一个复杂的过程，涉及因素较多，

除以上介绍的区域地质构造、区域地球化学外,还包括区域岩石圈结构和演化、区域岩石建造、区域地质流体等诸多因素,详细内容请参阅《区域成矿学》<sup>[9]</sup>有关内容。

## 参考文献

- [1] 宋鸿林. 五十年来中国小型构造研究的回顾与展望[J]. 地质论评, 2002, 48 (2): 158 - 167.
- [2] 翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 等. 大型构造与超大型矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1997, 1 - 180.
- [3] 翟裕生, 林新多. 矿田构造学[M]. 北京: 地质出版社, 1993, 1 - 214.
- [4] Barley M E, Groves D L. Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time[J]. Geology, 1992, 20: 291 - 294.
- [5] 王集磊, 何伯西, 李健中, 等. 中国秦岭型 Pb - Zn 矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996, 69 - 77.
- [6] Kerrick R. The characteristics origins and dynamic setting of supergiant gold metallogenic provinces [J]. Science in China (series D) supplement, 2000, (4): 1 - 81.
- [7] 翟裕生. 成矿构造研究的回顾与展望[J]. 地质论评, 2002, 48 (2): 140 - 146.
- [8] 韦永福, 吕英杰. 中国金矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1994.
- [9] 翟裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [10] Rose A W, Hawkes H E, Webb J S. Geochemistry in Mineral Exploration [M]. New York: Academic Press, 1979, 657.
- [11] 谢学锦, 向运川. 巨型矿床的地球化学预测方法[A]. 谢学锦, 邵跃, 王学求. 走向 21 世纪矿产勘查地球化学[C]. 北京: 地质出版社, 1999, 61 - 91.
- [12] 邓军, 翟裕生, 杨立强. 构造演化与成矿系统动力学——以胶东盐矿集中区为例[J]. 地学前缘, 1999, 6(2): 315 - 323.
- [13] 张本仁, 骆庭川, 高山. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994, 1 - 446.
- [14] 朱炳泉. 地球化学省与地球化学急变带[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

# Resional Structure and Regional Geochemistry and Metallogeny

ZHAI Yu - sheng

( School of Earth Sciences and Resources , China University of Geoscience , Beijing , 100083 )

**Abstract :** Ore formation is one of complex geological processes. Regional structure and regional geochemistry are two basic ore - controlling factors. In the paper , a brief history of structural ore - formation is reviewed ; the relationship between microscopic structures and metallogeny is discussed. The author put forward that transformation of structural tectonic systems is one of the most important mechanism , which can induce the occurrence of ore - formation. Also the relationships between regional geochemical blocks and metallogeny , and between abundant of elements in upper mantle and metallogeny , and between geochemical steep zone and metallogeny are curtly discussed. The metallic elements with certain abundance in lithosphere and geological bodies are the precondition of ore - formation , while metallogeny need some special geological processes to concentrate the metallic elements further.

**Key words :** regional structure ; regional geochemistry ; ore - forming process