中 国 科 学
1984 年 5 月　　B 辑　　第 5 期

构造叠加与成矿叠加

曾庆丰　　李东旭　吴淦国
（中国科学院地质研究所，北京）（武汉地质学院北京研究生部）

摘　要

本文运用所提出的“构造矿床学”的观点，对构造叠加与成矿叠加的关系问题进行了初步阐述，把成矿的内在因素和外部条件结合起来，以期阐明矿产的形成机制和赋存规律.

一、引　言

固体矿产可分为内生、外生和复生三大类. 对那些经历了几次不同成矿作用而形成的矿床归入复生一大类，其中可分出（1）矿化经古地下热水溶液改造、再造形成的矿床（再造矿床）；（2）矿化经变质或混合岩化形成的矿床（变质和混合岩化矿床）；（3）矿化经后期岩浆气液叠加形成的矿床（叠加矿床）；（4）上述矿床经表生地质作用形成的矿床. 由此可见，复生类矿床的形成，在时间上是多期次的、种属是多类型的、模式是多成因的、矿质是多来源的、成矿构造是多种类的，即具有“五多性”的特征. 上述一、二、四类矿床，在广义上也是一种成矿作用的叠加，但它们主要是改造和再造的过程，成矿物质总量没有变化，只引起它们的活化、转移和再沉淀而成矿. 第三类，岩浆热能和气液作用除了对原矿床的改造外，往往有若干新的组分带入（来自岩浆或来自围岩），结果出现一些新的矿物和共生组合.

七十年代初，涂光炽提出叠加成矿说，丰富了矿床学的理论[1]，开阔了人们的眼界，引起了广大地质工作者的兴趣和重视，这一理论已为人们所接受. 然而，对叠加矿床与构造叠加的关系，如何把构造与成矿有机地结合起来进行研究，目前尚无阐述和报道.

众所周知，构造是成矿的先决条件之一. 矿田在漫长的历史长河中经历了多期构造运动，后生者叠加在老的构造之上. 构造运动是多期次的，成矿作用也常表现出多期次性[1)].

矿产是一定时期或几个时期构造运动地质作用的特殊产物，它的形成一方面取决于内在因素，如成矿物质的来源和存在、物理化学条件；另一方面取决于外在因素，即构造条件，两个因素相互依存、相互统一，二者缺一不可，所以必须把两者结合起来进行研究，才能更全面地认识矿产的形成机制和赋存规律. 这就是本文所提出的“构造矿床学”的基本含义. 本文从这一观点出发，拟就构造叠加与成矿叠加的关系作一初步论述.

本文 1983 年 1 月 24 日收到，1983 年 6 月 28 日收到修改稿.

1) 多期性指的是地质史上大的时期，时距从一个纪到代或更长，而不是指在相对短的同一时期内构造和成矿的脉动性[2].

二、实例分析

1. 北部铜矿带

该矿带位于古老地台北缘外的古生代断褶带内. 区域南北两侧以两条东西向的岩石圈断裂为界，东西向构造带构成本区最主要的构造格架，不但控制了古生代的沉积建造和变质带，也控制了岩浆活动和成矿作用. 它具有多期次活动的特点，从而也决定了成矿的多期次和叠加. 由北向南有与加里东早期有关的铁、锰矿；中部为重要的海西期铜矿及铅锌矿；西部则多为燕山期金矿.

在古生代早期，该区域是一东西向的活动带(相当冒地槽)，发育着寒武纪或更老的碎屑岩及碳酸盐等沉积岩层. 沿着这活动带发生裂隙型带状海底火山喷发，形成一套安山玄武岩系，以普遍含铜(含铜黄铁矿)、镍为其特征，含铜值高出同类岩石平均值 2—3 倍. 所以，安山玄武岩为铜的矿源层，属火山沉积成因. 其同位素年龄为 5.81 亿年，相当于下寒武纪. 由上可见，矿源层受区域构造、地层层位和岩性的控制.

加里东运动的南北向挤压应力使岩层产生变形和变质. 一方面形成东西向复式褶皱、东西向逆冲断层和片理化带. 褶皱与断裂呈等距性相间出现. 另一方面，变质作用使原来的沉积岩层变质，安山玄武岩变成绿片岩相-角闪岩相，变质温度分别为 420℃ 及 590℃，变质年龄为 4.34—4.58 亿年(氩法). 在变质过程中，矿源层中的铜及微量元素发生活化，并通过变质热水溶液沿褶皱轴面面理和层间裂隙进行运移和沉淀，造成局部富化，形成火山沉积-变质类型层控矿床.

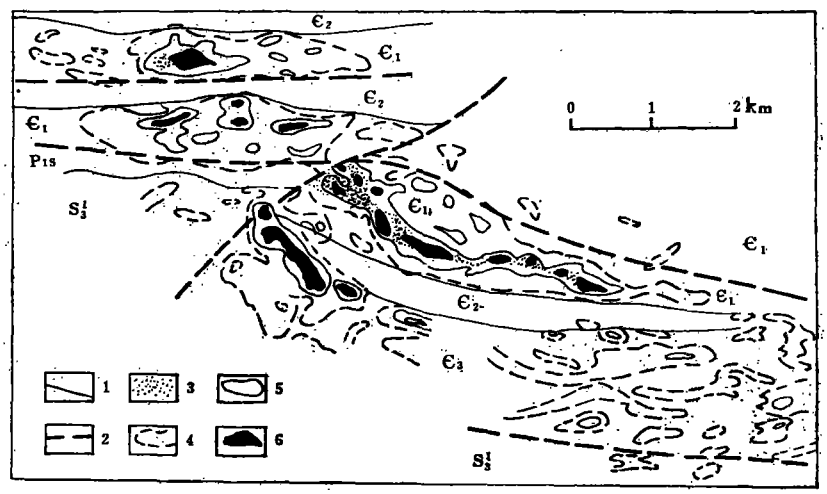


图 1 矿田铜原生晕等值线图

ϵ_1——下寒武统下绿片岩；ϵ_2——下寒武统长英片岩夹石英岩；ϵ_3——下寒武统上绿片岩；
1——地层界线；2——断裂带；3——花岗闪长斑岩；含铜量 (ppm)：4—100；5—300；6—1,000
(图中下部中央地段含铜量本是高值，但因建筑物关系而使此处出现空白)

绿片岩系是含矿岩层，所有矿化都赋存于绿片岩中，而在变质砂、砾岩层、大理岩层中则含量极微. 含铜等值线(图 1) 清楚地显示了铜的含量和展布受绿片岩系的制约. 在绿片岩系中铜的含量在 300—1,000 以至 10,000 ppm，而在长英片岩夹石英岩层地段则出现空白区. 矿化带与岩层走向(东西向)一致，呈整合关系，延长甚远；与顶、底板围岩呈渐变过渡关系；化学

成分相同；矿体具层状、似层状和透镜状；矿石具条带状、条纹状构造．由此可见，加里东运动对褶皱、断裂的形成，变质及矿化改造起着重要作用，它是成矿物质活化、转移和再沉淀的先决条件．这表明该沉积变质层控矿床的形成发展与构造运动的关系是密切不可分割的．

在加里东期褶皱构造基础上，海西晚期(同位素年龄为 2.85 亿年)再次受南北向强烈挤压作用，在原东西向构造带上发生一次构造叠加，使基础褶皱进一步加强、更趋紧闭，并由于上隆作用诱生出南北向张应力，使断裂张开加大，伴随而来的是岩浆侵位及热液成矿作用的叠加．花岗闪长斑岩沿背斜轴部被动侵位，作东西向延伸，向南倾斜，在平面上形成宽窄相间的贯肠状，剖面上呈漏斗状，在空间上构成头西尾东的火炬状，在西部随背斜南北展宽而岩体出露宽度也加大．岩性属钙碱系列偏钙性，为浅成-超浅成侵入岩，其中斑晶多为斜长石、石英，次为钾长石（占 5—20％），基质为斜长石、石英、黑云母、绿泥石、绢云母等．斑岩体及含矿层在同期构造应力场持续作用下经细颈化作用形成透镜状构造，同时发育片理和裂隙，为岩浆期后热液成矿创造了运移通道和沉淀场所．细颈部由于应力集中，裂隙更发育，蚀变强烈，铜、钼矿化较富．海西期是最主要的成矿时期，岩浆期后热液是 Cu，Mo，Pb，Zn 等成矿物质最主要来源，它们叠加于绿片岩系含铜岩层之上，形成富矿地段．海西期热液成矿受斑岩岩体及岩体构造的控制．岩体含铜量较平均值高出 12 倍、钼高出 29—37 倍．可见斑岩体与铜、钼的关系十分密切．分别对铜和钼作五次趋势面等值线图表明，二者形态相似，都围绕斑岩体而圈闭，在细颈部和东部尖灭端有较高值．等值线略向南偏移，这是因为矿液大体上是沿着向南倾斜的片理和贯通片理的裂隙运移沉淀结果的反映．富矿体多产于斑岩与绿片岩的接触带附近，特别是外接触带．围岩蚀变明显，以岩体为中心蚀变与矿化呈带状分布，说明热液渗滤作用是沿片理和构造裂隙由里向外进行的．在平面上岩体内 Cu，Mo，Ag 渗滤效应系数较小的元素沉淀较早，外部则为 Co，Pb，Zn 等系数较大的元素．上述特征，除了与渗滤系数、元素活泼性有关外，也与元素迁移和沉淀时的构造作用有关．

加里东期含矿岩层中的铜主要存在于黄铁矿中，微量元素以含镍为特征．绿片岩中含铜 54—144 ppm、镍 40—59ppm，黄铁矿含铜 3593.4 ppm、镍 210 ppm、钴 735.5 ppm．黄铁矿因受海西晚期构造作用而出现压扁、拉长和碎裂，由立方体变成扁平状的透镜状，ab 面平行片理作定向排列．X 射线岩组分析表明，黄铁矿具优选方位，在平行片理内大致呈东西方向排列，与宏观构造特征相一致．

海西晚期的斑岩体含铜 243.5 ppm、钼 57.1 ppm，主要形成黄铜矿，微量元素以钼为特征．其中的黄铁矿含铜量较上述绿片岩者显著为低（937ppm），而含钼（191 ppm）、铅（117 ppm）、锌（153 ppm）则较高．海西期的黄铁矿未见显著的变形和破裂现象．与海西期斑岩有关的矿化硫同位素组成 δS^{34} 值为 +1.9——5.3‰，变化范围小，接近陨石硫，表明源于地壳下部岩浆．

绿片岩中的硫化物沿层理排列，并随岩层形变而变形，如拉长、弯曲、小褶皱、透镜体等．而海西期叠加的硫化物则呈浸染状或细脉状，后者可见平行片理，也有切穿片理者．根据含铜量的对数值的混合总体筛分结果，表明存在着两次不同成矿期的矿化作用，加里东期矿化较贫（含铜平均值 0.1％），海西期则为主要的成矿期，矿化较富（含铜平均值 0.9％）．

在海西期末，斑岩成矿晚期，矿田发生过东西向挤压作用，形成南北向构造，它穿过了东西向构造，表现为南北向逆冲断裂、劈理、片理、小褶皱、构造透镜体等压性构造结构面，其中矿物颗粒压扁拉长、石英光轴具定向排列．南北向构造叠加于老的构造之上，强度虽弱，但对铅锌

矿化有一定控制作用. 那些渗滤效应系数较大、沉淀较晚的元素，除在东西向片理化带、裂隙带中运移和沉淀外，还另辟新蹊，向形成稍晚的南北向构造带转移富集，从而形成南北与东西向交叉的异常带.

构造运动在中生代燕山期又趋剧烈，表现为一系列北东向的压性及压剪性断裂及小褶皱，它们切穿了东西向和南北向构造. 北东向断裂最早发生于海西晚期，它是迁就东西和南北向构造体系的配套剪性断裂而发展起来的，最初为左型，后转化为右型，而在燕山期反时针力偶

构造期	时代	构造线及应力	剖面示意图	构造作用	成矿作用
燕山期	J_2		Au	在反时针力偶作用下，北东向断裂发育	成矿又一次叠加，北东向断裂控制热液金矿床展布
海西期	P_2			东西向挤压形成南北向构造，弱	对形成稍晚的Pb，Zn矿质的运移和沉淀有一定作用
	2.58亿年		Cu (Mo)	南北向挤压使东西向褶皱进一步紧闭，断裂进一步发展·沿背斜轴部有花岗闪长斑岩侵位	与斑岩有关的岩浆期后热液Cu(Mo, Pb, Zn)叠加于绿片岩含Cu层之上，形成沉积—变质—叠加矿床
加里东期	ϵ_3 4.46亿年		Cu(Ni)	南北向挤压使岩层变形、变质，形成东西向褶皱及断裂系统，火山沉积岩变为绿片岩系	矿源层(绿片岩系) 变质过程中，Cu活化转移，沿片理及层间裂隙再沉淀，形成沉积—变质层控矿床
	ϵ_1 5.81亿年		Cu (Ni)	东西向构造带控制海相碎屑岩、碳酸盐岩和海相火山喷发岩沉积	火山沉积岩富含成矿元素Cu (Ni)，形成矿源层

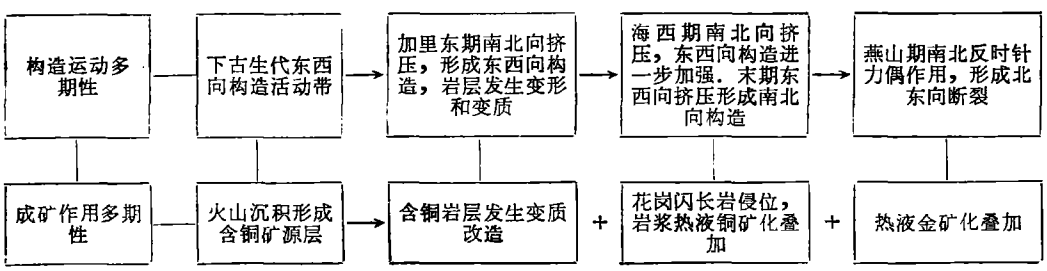
图 2 构造运动与成矿作用发展演化图

作用下发展为压性、压剪性断裂(斜冲)，走向北东 40—50°，倾向北西、倾角 50°．带内发育着硅化、糜棱岩化破碎带．该方向断裂带对中低温热液金矿起控制作用，所有金矿床(点)都分布在断裂带的附近，并沿走向展布，可见主干断裂为导矿构造，而近旁的次级构造则是直接的储矿构造．这些事实表明，燕山期又有一次构造叠加于老构造之上，并有一次热液金矿化叠加于矿田铜矿之上．在矿田外围可见燕山期花岗岩体出露地表．

综合所述，构造运动具多期性，加里东期和海西晚期为东西向构造体系强烈活动的两个时期．海西期末发生东西向挤压，形成较弱的南北向构造．燕山早期出现北东向断裂．与多期构造运动相应，成矿作用也具多期性，下古生代形成火山沉积含铜矿源层．加里东期发生变质改造．海西期有岩浆期后热液铜矿化的叠加．燕山期又有另一次热液金矿化的叠加．如此，构造的多期性与成矿的多期性相对应，构造叠加与成矿叠加密切配合，从而形成现在所见的火山沉积-变质-热液叠加矿床，它是长期多次构造运动和长期多次成矿作用综合发展的结果．矿床是多成因的，成矿物质是多来源的．

纵观区域构造、岩浆、成矿的发展过程表明，东西向构造生成最早(至少是早古生代初期)．古生代早期，深达地壳下部或上地幔的基性岩浆及矿质沿深断裂涌上地表，随着海相沉积形成矿源层．古生代后，由于地壳加厚和岩浆岩对断裂的愈合作用，断裂一般发生在地壳层内部，因此，海西和燕山期分别以中酸性岩浆活动为主，形成铜多金属及金矿床．

我们简单地分析了主要构造运动的发展历史及其与成矿的关系（图 2），可归纳如下：



基于上述分析，加里东期东西向构造带绿片岩系是沉积-变质铜矿床最有远景的地区，其中小构造是矿体的控制条件．查明海西期构造及其岩浆活动是寻找多金属叠加成矿的基本要素．加强对燕山期构造的认识，有助于发现中生代成矿期矿产的分布规律．

2. 白云矿田

该区是一个独特的稀土-铁矿田，其北的东西向岩石圈深断裂带是大地构造的分界线，南为古老的地台区，北为地槽区，南北两侧地质发育历史截然不同[3,4]．矿田所在的南侧在元古代为一东西向断陷槽(相当于冒地槽或过渡带)，东浅西深、东窄西宽，呈一箕状沉积盆地，形成一套浅海相碳酸盐-碎屑岩沉积建造及酸性、中基性火山岩系，主要由石英岩、千枚岩、板岩、白云岩、灰岩组成，厚度近万米，是本区含矿的主要地层层位．

东西向断陷槽有海槽和水下隆起，这种构造圈闭，控制着含矿卤水的富集和沉淀，使其中的钙、镁等盐类含量增高，形成了以白云岩为主的半封闭海湾含盐建造．陆源及古火山是铁、稀土等成矿物质的来源，陆源物质看来是南部太古代片麻岩(最老年龄为 16.67—23.52 亿年)大陆型地壳长期风化的结果．上述成矿物质被碳酸钙溶液溶解，并析出而沉淀形成具有沉积结构

的铁及稀土含矿岩层. 它们具有构造分区控制的特点.

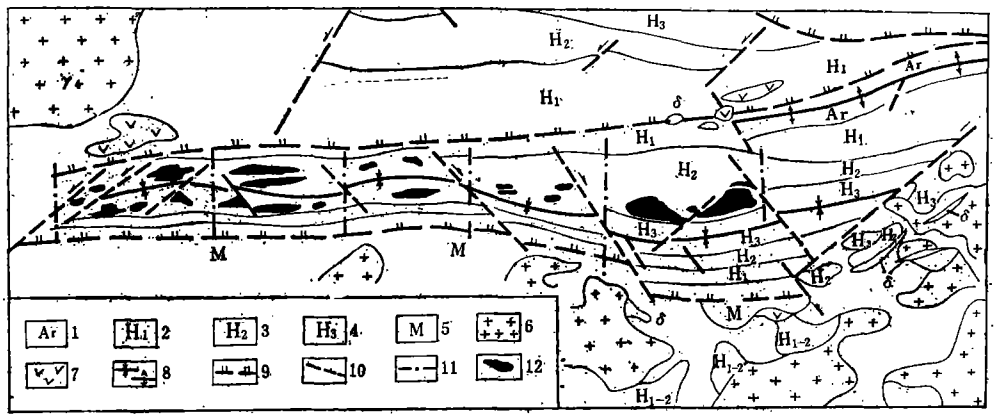


图 3 矿田地质构造略图

(综合生产单位及天津地调所材料)

太古代: 1——片岩、片麻岩;元古代: 2——石英岩板岩互层; 3——白云岩;4——板岩夹石英岩; 5——混合岩; 海西期: 6——黑云母花岗岩; 7——闪长岩; 8——向斜、背斜; 9——压性构造带及断裂带; 10——剪性断裂; 11——南北向构造;12——铁矿体.

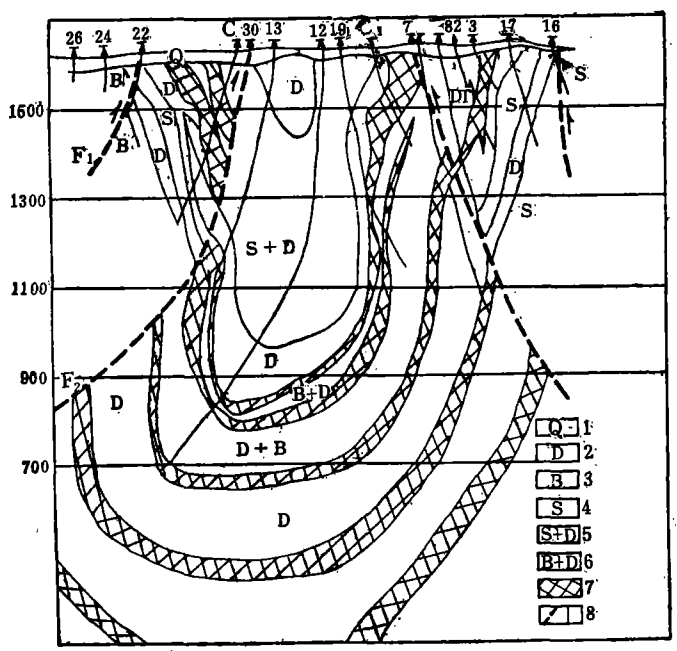


图 4 矿区剖面图

(生产单位)

1——第四系; 2——白云岩 ;3——云母岩 ;4——板岩; 5——板岩夹白云岩; 6——黑云母岩夹白云岩; 7——铁矿体; 8——断裂.

早元古界白云鄂博群的白云岩是主要的含矿岩层，即从富于有机质的细碎屑岩向上向碳酸盐过渡时即出现铁矿．(1)铁矿体呈似层状和透镜状，产状与围岩基本一致，呈东西向展布；(2) 矿体内常见单一致密细粒磁铁矿石夹少量赤铁矿薄层，而赤铁矿被平行的细脉浸染状磁铁矿交代；(3) 白云石型磁铁矿内常见斑状菱铁矿；(4) 矿石具条带状构造、层纹状、鲕状构造，有明显的沉积韵律性和沉积旋回性．局部见块状和角砾状构造．含矿各层序元素、矿物组合具明显的层次性和演化方向性 (Ca→Mg→Fe→Na→Si)．铁矿石内 TFe 品位与 Ca/Mg 比值具有相关关系，当 Mg^{+2}、Na^{+1} 离子增高时，Fe^{+2} 离子富集．由上足证，铁(主要部分)和一部分稀土及 Cu、Pb、Zn、Mo、V、Ni、Zr、Ca、Be 等元素是沉积成因的．测定含矿地层同位素年龄为 14—18 亿年，它与元古代年龄相当，所以独居石年龄代表了含矿 (铁) 层和沉积变质岩的沉积年龄．

吕梁期(有人认为晋宁期)受南北向挤压而产生强烈的褶皱运动，形成东西向、向西倾伏的紧密线状复式褶皱，并上升隆起，南北两翼有同向的次级向斜和背斜 (图 3)．铁矿层严格受向斜的控制，矿体产于向斜轴部和两翼，而且基本对称．由于褶皱过程中的塑性流动，铁矿体在向斜核部变厚变富，翼部变薄并呈斜列状 (图 4)．伴随褶皱运动，沿背斜发生一系列东西向逆断层(压性)及北东和北西向剪性断裂，它们把连续的褶皱构造切割成一系列菱形块体．在后期构造作用下出现东西向锯齿状断裂．在某些矿床中，穹窿构造及东西向断裂也是直接的控矿构造．吕梁期的构造体系对后期构造运动、变质作用、岩浆活动和成矿的改造和叠加起重要作用．

海西期构造线仍是东西方向，反映了该期挤压作用发生于南北方向，即同向再生复合性，它叠加于老的构造之上．海西期构造运动使岩层变形、变质进一步加强，一方面由于构造上同向再生，所以使原来的褶皱、断裂进一步发展和加强．另一方面，泥质岩变为板岩和云母片岩，局部产生闪石化白云岩、石英闪石岩等，白云岩发生重结晶；有一部分成矿物质被改造，在褶皱强烈地段密集成条带．同时，海西期岩浆活动强烈，并受东西向断裂及背斜轴部的控制，中期以黑云母花岗岩为主，次为花岗闪长岩(同位素年龄为 3.06—3.11 亿年)，晚期以似斑状黑云母花岗岩为主 (2.60—2.80 亿年)，同时有东西方向的伟晶岩脉，富含绿柱石、铌钽钶铁矿、锂云母和水晶等．与海西晚期偏碱性富含钾钠的中粒黑云母花岗岩有关的气液，使元古代沉积形成的铁矿遭受一次强烈的叠加成矿作用．

由于海西期岩浆活动热能和气液的影响，并有一部分成矿元素的带入，使原来沉积变质铁矿中某些元素活化并重新组合，结果形成新的矿物和共生组合，从而出现一系列铁矿物和铌、稀土矿物；并见钠化、氟化等蚀变现象[5,6]．主要热液阶段的成矿温度约为 300—250℃．硫同位素组成约为 $\delta S^{34}+2$——4‰，范围较窄，具塔式效应，表明硫来源于地壳深部．

一部分矿体略呈 X 形透镜状，显示了铁矿受到海西期构造运动的改造作用，铁矿在挤压作用下变形拉断，加之北东、北西向两组剪性断裂的制约，使矿体的形状和走向有所改变[7]．同时，由于这套应力网格的存在，发展为垂直上下的相对升降运动，致使沿东西方向的块体呈一凸一凹的地垒地堑式构造特征，向下凹的块体，矿体保存完好，向上凸的块体则把矿体抬高，上部被剥蚀．

有迹象表明，矿田存在南北向构造，它叠加于含矿向斜之上，形成横跨褶皱，表现为含矿向斜的枢纽呈波浪起伏、轴向南北的小褶皱及其配套构造．岩组分析和航磁异常也有南北向构造显示．看来，矿体主要受东西、南北两组构造格架的制约．

综上所述，海西期构造叠加于老的基底构造之上，而该期的岩浆气液成矿作用则叠加于沉积变质矿床之上．海西期岩浆气液给老矿加入了铌和一部分铁和稀土等元素．由此可见，铁和稀土既有同生沉积的，也有岩浆带入的，后来者叠加于先成者之上，所以它们是多来源的、多成因的．成矿的叠加与构造的叠加是紧密不可分割的，后者是前者的先决条件之一．

板岩中云母的同位素年龄为 2 亿多年至 3 亿多年，这代表了变质年龄或构造断裂年龄．花岗岩成岩年龄为 2.7 亿年，与变质年龄相当．岩浆期后热液成矿年龄为 2.5—2.6 亿年(易解石年龄)，较同期花岗岩稍晚．所有这些数字是相互吻合和一致的，证明它们同是海西期构造运动的产物．

中生代时，由于燕山运动而形成北东、北北东向断裂，花岗岩沿断裂带侵入，并出现陆相酸性火山碎屑岩建造．岩体为肉红色粗粒似斑状黑云母花岗岩、红色中细粒黑云钾长花岗岩，同位素年龄为 1.99 亿年．它们对矿床有一定影响，可能存在又一次成矿的叠加作用．只是目前工作不够，今后应加强研究．

综合所述，白云矿田是长期发展演化的结果，受多期构造运动、多期成矿作用的叠加．构造与成矿的发展过程是：从太古代开始、而元古代发展到鼎盛的始生代冒地槽，发育着一套巨厚的浅海相碎屑岩、碳酸岩及火山岩建造，富含铁及稀土元素．事实表明，铁和稀土的主要部分是同生沉积形成的．

吕梁运动在南北向挤压应力作用下，岩层褶皱及隆起，形成东西向断裂带，结束了地槽发展阶段，而转化为古老的地块(地台区)．这时，含矿层也随之发生变形和变质作用．

古生代海西期构造运动仍受南北向挤压作用，使上述褶皱，断裂进一步加强，矿体遭受改造．海西期富含钠、氟、铁、铌、稀土等元素的岩浆气液，沿断裂裂隙进入矿田，叠加于沉积变质矿床之上，出现热液矿脉、蚀变和交代现象，矿物组合多样，形成温度较高，具有内生热液成矿特征．如此，使原来矿床的面貌复杂化了．叠加成矿对于稀土和铁的富集起了矿上加矿的作用[7]．

在中生代燕山期又有一次构造运动和岩浆侵入，对矿田又叠加一次影响．

纵观整个成矿发展过程，经历了几个时期的构造运动，经历了几个成矿作用时期，结果形成目前所见的沉积—变质—气液叠加矿床．

三、结 语

除上述实例外，我们还分析了陇东多金属矿田、闽西铁矿田、海南铁矿田和中南若干金属矿田，均发现构造叠加与成矿叠加的相依关系，可见这不是个别现象．在漫长的地质历史过程中，无疑，构造运动是多期次的，成矿作用也常有多期次性，后者必然叠加于先成者之上．在幅员广阔、地质构造多样复杂的祖国大地上，特别在我国东部，古老的基础地质体受到后来各期构造运动的影响而发生活化、尤其是中生代达到了高潮，断裂构造发育、岩浆活动频繁．中生代是我国一个十分重要的成矿时期，发育着一系列内生及与此有关的各种矿床．构造-岩浆-成矿作用一方面对包括原来矿床在内的老地质体进行改造，同时，又必然有新的矿化叠加在老的矿田、矿床之上，即新的成矿作用叠加在老的成矿基础上．因此，构造叠加与成矿叠加是密切相依的，先有构造的叠加，随之才有成矿的叠加，后者发生的次数一般小于、最多等于前者的次数．由此足见，论述构造叠加与成矿叠加问题，不单在理论上可以加深对复杂矿床成因的认

识，区分哪些成矿物质是先成的，哪些是后来加入的，以及它们各自形成条件的异同．在实际工作中，可以根据上述观点，从更广更深的角度去研究成矿规律问题，开阔我们的眼界，打开找矿勘探的新途径．

本文承蒙涂光炽教授审阅和指正，在此表示感谢．

参　考　文　献

[1] 涂光炽，地质与勘探，1979，6：1—5．
[2] 曾庆丰，地质科学，1978，2：149—162．
[3] 李四光，地质力学概论，科学出版社，1973．
[4] 张文佑等，华北断块的形成与发展，科学出版社，1980．
[5] 涂光炽，中国科学，1980，10：983—989．
[6] 王中刚等，地球化学，1973，1：5—11．
[7] 杨开庆，地质力学论丛，1982，6：9—18．