



区域成矿与矿田构造研究 ——构建成矿构造体系

陈宣华^{1,2}, 陈正乐^{1,2}, 杨 农^{1,2}

(1. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要: 构造与成矿具有密不可分的动态耦合关系。构造应力场和构造运动控制了成矿作用。不同形式的构造, 如断裂、褶皱、韧性剪切带和壳幔构造等, 对成矿作用具有不同的控制作用。构造体系具有多级控矿的规律。构造体系与成矿系统的有机结合, 构成了成矿构造体系。全球具有多个巨型成矿构造体系, 包括环太平洋、特提斯-喜马拉雅、古亚洲、大洋脊-大陆裂谷和克拉通等巨型成矿构造体系。成矿构造体系的构建, 是区域成矿规律与矿田构造研究的重要发展方向。

关键词: 构造; 成矿; 成矿构造体系; 地质力学

中图分类号: P613, P617

文献标识码: A

地质力学工作者历来重视构造体系对矿产资源形成与分布的控制作用的研究。他们采用地质力学理论、区域成矿与矿田构造研究方法, 厘定与成矿作用有关的构造型式, 研究各种地质构造和变形作用构成的构造体系对成矿带、矿集区、矿田、矿床、矿体的形成和分布的控制和改造作用, 包括控制矿床和矿体形态、产状、结构、规模的各种地质构造因素, 重点研究成矿诸因素中的构造作用与成矿物质积聚的相互关系, 深入认识成矿作用过程中的构造作用机理, 分析构造体系的联合与复合关系及其对成矿作用的影响, 解剖典型矿床矿田构造, 从而形成了多种矿床类型的构造-矿化模式, 将矿田构造研究由侧重几何分析发展为研究构造与成矿的动态耦合关系, 建立了以构造研究与矿床成因研究相结合、单个构造研究与构造体系研究相结合、矿田构造研究与区域构造研究相结合、构造发展阶段与空间分带研究相结合、成矿构造环境与成矿物理-化学场相结合为特色的矿田构造学科体系框架。

在此基础上, 中国的区域成矿与矿田构造工作者正在对中国重要危机矿山外围与深部找矿过程中的矿田构造研究进行系统分析和全面总结, 发展地质力学理论指导下的区域成矿与矿田构造研究的学科体系, 构建全球与区域成矿构造体系, 从而进一步指导中国矿产资源勘查与危机矿山外围及深部的找矿工作。

收稿日期: 2008-11-17

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目 (2007BAB25B02); 国土资源大调查项目 (200413000034); 中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费项目 (DZLXJK200703)。

作者简介: 陈宣华 (1967-), 男, 浙江乐清人, 博士, 研究员, 主要从事构造地质学 (地质力学) 和矿产资源科学研究工作。E-mail: xhchen@cags.net.cn

1 构造与成矿的关系

矿床的形成,是在一定地质条件下有用物质的迁移和富集过程,即成矿作用。作为一种特殊成岩过程,成矿作用常常与区域性构造应力场及构造组合具有密切的成因联系^[1]。矿田构造学和区域成矿学是研究构造与成矿关系的两门地学分支学科^[1-3]。

构造与成矿是地球物质运动统一体的两个相关联方面^[4]。成矿作为地球物理运动的一种形式离不开构造和形成构造的应力作用。地质构造背景决定成矿作用及成矿类型^[5]。构造一方面提供成矿物质运移的通道和停积就位的空间,对矿床就位与改造具有控制意义;另一方面可提供物质交换和运动的能量。因此,构造是控制成矿的基本因素之一^[4,6]。构造动力体制转换更是引发成矿作用的一种重要机制^[6]。在研究矿床学和成矿规律时,构造研究是基础;在进行成矿预测时,控矿构造是预测的基本地质准则^[4]。

1.1 构造与成矿的时序关系

根据构造与成矿的时序关系,可以将地质构造划分为成矿构造、成矿前构造与成矿后构造。根据地质构造在矿液流动与堆积中所起的作用,可以将地质构造划分为导矿构造、布矿构造与容矿构造。

成矿构造、成矿前构造与成矿后构造,或者导矿构造、布矿构造和容矿构造,它们并不是彼此孤立、互不联系的,而是同属于一个构造体系或分别属于几个构造体系,是一定的构造应力场作用下的产物。

1.2 构造对成矿的控制作用

各种不同类型的地质构造,都不同程度地对某些矿床的就位、富集与分布有着直接或间接的控制作用。尤其成矿期构造,它们直接为成矿物质的迁移与富集提供了通道与成矿空间。不同力学性质的构造形迹具有不同的形态特征,构成不同的形状空间,反映不同的受力状态,对矿体的产状、形态,延长、延深及空间分布,对矿石的结构、构造,对成矿过程中矿液、矿浆乃至元素的迁移富集,对成矿过程中的物理化学环境条件都有重要的影响。

成矿过程中构造对成矿的控制作用可以概括为以下几个方面^[1,3,7]:

①作为矿床形成的地质构造环境,如各种类型的构造盆地常是形成沉积矿床的有利环境,而断裂构造-岩浆活动带则是多种内生矿床的产出地带。

②构造动力是成矿流体运移的重要驱动力,构造活动中释放的能量为成矿作用提供能源。地质观测资料和实验模拟均表明,热液、石油、天然气等在岩石中的赋存是受构造因素控制的。例如,在挤压区的岩石中,热液因受挤压而向毗邻的拉张区运移;在其它有利条件的配合下,热液中的矿质可在拉张区的一定部位聚集成矿。

③构造常成为成矿流体的主要通道,也常是矿床(体)就位的主要场所。

④不同类型的构造发生不同的成矿方式,从而形成不同的矿床(体)类型。

⑤构造活动的多期次、多阶段是热液矿床成矿的多期、多阶段的重要原因。

⑥成矿流体的状态及其物理化学条件常因构造状态的改变而发生变化。

⑦构造分带性是形成各种规模矿化分带(矿体垂直分带、矿床分带及区域分带)和矿床(体)等间(深)距分布的重要控制因素。例如,对预测隐伏矿床(体)有重要意义的矿化垂直分带(如赣南粤北地区钨矿脉“五层楼”构造和“多位一体”模式^[8])在很大程度上受构造垂直分带性(如构造断裂性质、构造岩和孔洞发育程度等随深度而变化)的制约。

⑧构造在改造型矿床的形成过程中具有双重作用：一方面，古构造控制了矿源层的形成；另一方面，构造作用改造矿源层和矿源岩，使成矿物质活化迁移、富集形成矿床。

⑨成矿后的构造对成矿也有双重作用：它既可以破坏已成矿体的连续性与稳定性，也可以使一些类型的矿体变富、变厚。

⑩有些金属与非金属矿床的形成就是构造动力作用的直接结果，如黏土、滑石、石棉、蓝晶石等。

1.3 断裂构造与成矿作用

断裂构造的控矿作用主要包括两个方面的含义：①断裂构造控制沉积盆地的形成与演化；②断裂构造作为含矿热液上升和运移通道，并为矿质沉淀提供有利的成矿空间。断裂构造控制着矿床的产出、矿体特征和矿床类型以及矿床的丛聚性、似等距性和矿体的侧伏、水平分带^[9]。根据断裂的性质，可以分为逆冲断裂作用、走滑断裂作用、正断层与拆离断层作用（包括变质核杂岩构造与裂谷系）对成矿作用的控制作用。

规模巨大的区域性断裂或地壳尺度的断裂，在成矿作用过程中常常作为导矿构造出现，为含矿岩浆或含矿热液由深部矿源向上运移提供了重要的通道，从而常常控制着矿田的分布。区域上或矿田内的次级断裂构造，及其与不同规模或级次构造的交汇部位，常直接控制着矿体的形态与分布。其中，断裂旁侧次级破裂构造、断裂旁侧的岩性界面以及成矿断裂与早期断裂的叠加（切割）部位，都是矿体赋存的有利场所。当含矿断裂切过化学性质不同的岩石时，在不同岩层中成矿作用方式也可以有很大的差异。含矿流体对于化学性质活泼的岩石发生交代，而在化学性质稳定的岩层中表现为以裂隙充填式为主。

断裂构造的控矿作用以及断裂带中矿床或矿体的分布，主要受成矿期断裂形成与演化过程中的区域构造应力场的方向与大小制约。一般情况下，在应力集中的挤压带上，矿化规模较小，而在低应力区或张应力区，往往是矿化的有利地段，易于工业矿体的形成。以一条规模巨大的含矿逆断层为例，虽然断层面紧闭，总体上含矿性较低，但是由于断层沿走向或倾向常常为舒缓波状，所以在相同的应力场中断层的不同部位所受应力状态有一定的差异。在断裂的转弯处，断裂面张开，为矿质富集提供了有利的空间。如早古生代末板块构造碰撞后的岩浆活动和偏脆性断裂构造活动时期，阿尔金山地区形成以索尔库里北山和拉配泉为代表的受裂隙控制的岩浆热液型铜多金属矿床^[10]。

断裂构造的控矿作用还表现在它对矿液的遮挡作用^[11]：①断裂本身具有大量的断层泥，阻止了矿液的上升；②断裂中充填有不透水的岩墙；③由于断裂作用而使不透水层覆盖于断层上盘而阻挡了矿液的逃逸，这样使得含矿热液聚集于断层下盘，并于有利构造—岩性段形成矿化或矿体。

逆冲断层主要通过断层相关褶皱及断层的封闭性控制油气的成藏。对于内生矿产而言，也可能具有相类似的控矿作用。近些年云南兰坪盆地及胶东、粤西等地区的部分研究成果显示，前陆盆地中的逆冲推覆构造具有重要的控矿意义^[12]。滇西兰坪盆地白秧坪地区东矿带（铅锌矿）的推覆构造为与金沙江—哀牢山造山带有关的前陆盆地逆冲推覆构造系统的前锋，属叠瓦扇式显露类前锋，构成冲起构造，既是主要的导矿构造，也是主要的容矿构造，深部循环热卤水溶液以此为通道上升，而后成矿定位于其内和其上盘不同级别的次级断层或层间破碎带中^[12]。云南会泽铅锌矿田控矿构造体系研究表明，矿山厂、麒麟厂矿区构造为一双重逆冲推覆构造体系，由顶板逆冲断层与底板逆冲断层和夹于其间的一套叠瓦式逆冲断层和断层夹块组合而成；逆冲推覆断层引起的褶皱是控矿的主要构造^[13]。

走滑断裂不仅控制盆地与油气的分布,也控制金属矿产的形成与分布。例如,左行走滑的阿尔金断裂作用是甘肃寒山金矿流体的主要动力^[5]。玲珑-焦家地区金矿受长期活动的郯庐左旋平移剪切带及中生代地幔热隆伸展构造的双重控制,两种相互独立的动力学体系叠加后构成举世罕见的正滑-走滑复合型成矿构造体制^[14]。

拆离构造对内生金属矿产如 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、U、Mn、Fe 和重晶石等均有明显的控制作用,如美国盆岭区的布拉德贱金属贵金属矿床和锰矿床、西班牙延德思西区的银-贱金属(Pb-Zn-Cu)矿床^[15]。胶东地区拆离断层与金矿的关系研究表明,拆离断层下部的糜棱岩带主要形成蚀变岩型金矿床;拆离断层上盘的脆性断裂中主要形成由充填而成的玲珑式含金石英脉型金矿床。

逆冲、走滑与拆离断层可出现在一个统一的构造体系之中,对成矿作用产生不同的影响。例如,秦岭造山带西成铅锌矿田的构造控矿研究表明,逆冲断层作用形成逆冲岩片内部的中深层次矿床,如厂坝-李家沟矿床;逆冲断层两侧侧向(或斜)断坡的走滑剪切作用形成中浅层次矿床,如毕家山矿床;逆冲断层上盘的伸展拆离、滑脱作用形成浅层次矿床,如尖涯沟、花轿子等矿床^[16]。

1.4 褶皱构造与成矿作用

在褶皱构造的不同部位(包括背斜和向斜的转折端、背斜的脊线、褶皱翼部)以及褶皱内部的薄弱部位(能干层间的非能干层内、褶皱岩层层间、褶皱伴生的破裂等),都可以赋有矿床或矿体。背斜或复背斜的转折端及轴部往往是成矿、控矿的最佳构造部位。根据褶皱的成因机制及其力学性质的不同,褶皱作用的控矿特点也具有一定的差异^[1]。

纵弯褶皱因弯滑作用过程而导致转折端出现虚脱、层间滑动形成层间剥离,同时,转折端的纵张破裂,层间的次级剪切破裂等都是热液矿床有利的成矿空间。弯流褶皱作用及揉流褶皱作用引起软弱岩层由翼部向转折端塑性流动,从而使得褶皱转折端的岩层或矿层明显加厚或富集。尤其对沉积矿床与变质沉积矿床,这种褶皱控矿作用非常重要。中国华北重要的铁矿基地——迁安铁矿是一个典型例子^[1]。

横弯褶皱作用主要表现为由下部岩块或岩体的隆升以及盐岩体的底辟上升导致的岩层弯曲,并伴随着层间破裂。由下伏构造断块上隆形成的断块褶皱中,上覆岩层受拉伸而发生弯曲,形成挠曲褶皱,并伴生层间破裂带或破碎带;侵入岩体上隆引起的同步褶皱主要由于岩浆的冷凝与收缩而致使褶皱岩层发生层间剥离;塑性盐丘的底辟隆升产生底辟褶皱。在塑性岩石的上升过程中,底辟岩体与围岩之间常形成不同规模的断裂带,底辟体顶部形成角砾岩带。上述三种横弯褶皱作用过程,分别在不同的构造部位形成有利的构造空间,控制着成矿作用的规模与矿床的分布^[1]。

叠加褶皱作用 also 具有重要的控矿意义。首先,叠加褶皱对变形前形成的矿床,尤其那些沉积矿床和变质沉积矿床具有显著的改造作用。其次,叠加褶皱又直接控制着某些热液矿床的产出。例如黔西南地区,多数金矿田受叠加褶皱形成的穹隆控制,大致按 15~20 km 的等间距排列^[17]。

1.5 韧性剪切带与成矿作用

韧性剪切带与成矿作用的关系是 20 世纪 80 年代初以来备受人们关注的论题之一。与剪切带相关的金矿床在全球范围内普遍发育,并往往形成大型、超大型金矿床^[18]。澳大利亚 Yilgarn 地块卡尔古利金矿区,金矿化与蚀变作用受韧性剪切带控制^[19]。加拿大魁北克 Abitibi 绿岩带 Sigma 金矿区,金矿(尤其是富矿体)几乎都集中在韧性剪切变质带中^[20,21]。加拿大

北部 Ontario 地区 Red 湖大多数金矿床以及相伴生的强烈蚀变作用都位于韧性剪切带中^[22]。韧性剪切带中金矿化带不断发现及储量的明显增加,促使矿床学家们对该类金矿床的地质特点、矿化特点、成矿物质来源及地球化学特点等方面展开了研究工作。印度的 Kolar 金矿,不论是石英脉型还是硫化物型,都分布在两条主要韧性剪切带中。“断层阀”模式^[23]和三阶段模式^[24]是目前理解该类金矿床成矿机制的重要认识。

国内有关研究者对韧性剪切带型金矿床开展了大量研究^[25-30]。刘俊来提出韧性剪切带成矿的液压扩容机制^[25]。大型韧性剪切带型金矿一般就位于剪切带的脆-韧性转换位置,成矿作用一般不受围岩性质和变质程度的控制;剪切带既是成矿流体的通道,又是金的沉淀场所^[29]。如在早古生代晚期板块构造聚合碰撞作用时期,阿尔金山地区形成以大平沟和红柳沟为代表的韧性剪切带型(动力变质热液型)(铜)金矿床^[10]。

白墩子-小西弓韧性剪切带位于甘肃北山南带,以近水平右行剪切为特点,具有压扭性韧性剪切变形特征。韧性剪切带控制了该地区金矿床(点)的分布以及金矿化带、矿体形态、产状和规模,决定了金矿化类型以蚀变糜棱岩型为主,蚀变以交代作用为特色,金矿化稍晚于韧性变形^[30]。

广东河台大型金矿位于南岭 EW 向复杂构造带中段的南侧,也是纬向构造、华夏系构造与新华夏系构造叠加复合的部位,金矿床严格受河台韧性剪切带控制,矿体主要产在糜棱岩带内,是典型的糜棱岩型金矿^[31]。金主要来源于震旦纪、寒武纪变质地层,金的活化、迁移受区域变质作用、混合岩化(花岗岩化)作用及动力变质作用因素控制。韧性剪切带中千糜岩带是金运移、沉淀及富集的有利空间,韧性剪切带构造变形的多期活动和多期次热液蚀变作用导致金成矿作用多次发生^[31]。

在华北陆台南缘的小秦岭金矿区,含金石英脉多产于糜棱岩带中,因而糜棱岩带为矿化提供了空间,而且是矿田内最主要的储矿构造。小秦岭蚀变千糜岩型金矿受退化变质糜棱岩带(120~106 Ma)控制,为典型的伸展控矿机制;石英脉型金矿产于内部逆冲断层,与小秦岭变质核杂岩垮塌伸展过程中的构造反转相关^[32]。

韧性剪切带也影响了铜的成矿作用。阿尔泰成矿带南缘东段卡拉先格尔铜矿构造变形与矿化关系的分析表明,脆韧性剪切带对矿化、围岩蚀变的形成和空间展布具有一定的控制作用,在剪切带内的斑岩岩体与围岩的接触带附近,岩体微裂隙发育,易形成矿体的富集^[33]。

1.6 壳幔相互作用与成矿作用

壳幔相互作用过程表现为岩浆的侵入与喷发过程,其中形成的侵入体构造、火山机构与火山构造对成矿作用具有重要的控制作用。

在内生矿床中,岩浆矿床、岩浆热液矿床与岩浆侵入作用过程具有密切的成因联系,表现为它们在时间上和空间上密切相关,同时,岩浆岩体构造对矿床规模、产状与分布等具有直接控制作用。

结晶重力分异成矿作用是镁铁质-超镁铁质岩体成矿作用的重要型式。矿石矿物在岩浆结晶作用过程中受重力影响而具有较高的沉淀速率,率先堆积于岩体底部的有利构造部位(如岩盆底部)。同时,不同成分的矿物有规律地依次晶出并沉淀,常常形成具韵律层的条带状构造。

岩浆期后热液在岩浆结晶作用的晚期从结晶岩体中析出,并聚集成一定规模。这些富含成矿物质的流体相在岩体与围岩的接触带附近表现得最为活跃。它们在内接触带附近的岩体裂隙内(可以是原生破裂构造或流体相聚集过程中形成的液压破裂),沉淀出成矿物质并充

填于裂隙中。在外接触带附近的围岩中,它们或充填于围岩裂隙中,形成规模不等的矿脉或矿脉群;或与围岩发生交代,形成含矿热液蚀变带(包括矽卡岩化、绢英岩化),同时伴随成矿物质的富集。

无论热液充填型矿脉,还是热液蚀变型矿带,其产状、规模及含矿性除与活动岩浆的成分、冷凝过程密切相关以外,岩体构造特点往往具有控制意义。岩体的规模及空间产状、岩体与围岩接触带的产状、接触带的复杂性等都不同程度地起着直接或间接作用。

火山机构与火山构造对于某些特殊类型矿床的控制意义是显而易见的。爆破角砾岩筒内的金刚石矿床、火山穹隆构造控制的铅锌矿床及锡、银、金矿床等都是火山构造控矿作用的例证。例如,西天山地区早石炭世古火山机构是形成金矿床(如阿希金矿等)的重要构造^[34]。

1.7 动力成岩成矿作用

杨开庆将由于构造动力作用引起的岩石、矿物物质调整或重新调整并产生新的矿物或岩相的过程称为动力成岩成矿^{〔35-37〕}。构造状态的改变可以产生温度、压力、 E_h 和 pH 值等条件的改变^[1]。因此,岩块、地块在外力(构造动力)作用下产生变形,不但遗留下构造形迹,还可能促使岩石全部或部分发生岩石相变和矿物相变。岩石在变形的同时,还可以引起它的质变,产生新的岩石和矿物,即动力成岩成矿作用。构造动力是完成某些地球化学作用过程的驱动力。吕古贤等将动力成岩成矿发展为构造物理化学理论^[38]。

2 构造体系多级控矿理论

构造体系是许多不同形态、不同性质、不同等级和不同序次,但具有成生联系的各项结构要素所组成的构造带以及它们之间所夹的岩块或地块组合而成的总体^[39]。构造体系中包含的成生联系,包括了一切地质作用的过程,如构造运动、岩浆活动与成矿作用等。

矿产的形成与分布受成矿物质条件和成矿构造条件的双重制约。构造体系控矿和构造动力成岩成矿的观点认为,由于成矿物质的迁移、聚集和分布受构造地质条件的制约,矿产的形成与分布规律实际上主要是受构造体系控制的^[40,41]。不同规模、不同等级和不同序次的构造体系或构造形迹之间彼此具有一定的成生联系和挨次控制关系,它们对矿产的形成与分布也就起到了多级控制的作用^[9,42,43]。

2.1 构造体系对内生矿产资源的分布和成矿作用的控制

构造体系对内生矿产资源的分布和成矿作用的控制,具有以下规律^[40-42]:

2.1.1 构造体系多级控矿的规律

成矿系统是指在一定地质时-空域中,控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用过程,以及所形成的矿床系列和异常系列构成的整体,是具有成矿功能的一个自然系统^[3,44]。成矿系统中一定区域有成因联系的多种矿床类型构成了矿床成矿系列(或矿床系列)^[45-47]。

全球性的构造体系控制全球性的成矿系统如跨洲际的全球性成矿域的形成。全球三大成矿域中,环太平洋成矿域与全球性的环太平洋构造体系相对应,古亚洲成矿域与中亚的纬向构造带及弧形构造体系密切相关,特提斯-喜马拉雅成矿域与亚洲南部的纬向构造带及弧形构造体系密切相关。

在一个巨型构造体系内,一般说来一级构造(多为深部构造)控制成矿区;二级构造控

制成矿带或矿田;三、四级构造控制矿床或矿体。在岩性条件相似的情况下,属于同一构造体系的序次、级别、性质相同的平行结构面,彼此之间常有大致相等的间隔,致使所控制的矿产具有等间距排列的规律。

超大型矿床的形成与大型构造有密切联系。大型构造贯通不同的地质单元,释放大量能量,沟通深部和地幔,具有长期的活动性,因此,不但是变形和流体运移的动力,更是控制区域构造的决定性因素。尽管大型构造的形成和演化对超大型矿床有控制作用,但不是所有的大型构造都形成超大型矿床,也不是大型构造的所有阶段、所有部位都会形成超大型矿床。恰恰相反,超大型矿床的形成需要苛刻的条件,大型构造的时空配置十分重要,同生构造和聚矿构造往往起着关键作用。

深大断裂的动力学状况,如切割深度、拉伸速度、活动时间等都与超大型矿床的形成有密切关系。超大型矿床的形成过程中,深部物质来源和流体具有很重要的作用,其成矿作用具多期多阶段性。某些特殊的成矿作用,如个别超大型矿床的形成可能与天体撞击成矿有关。

2.1.2 构造体系复合控矿的规律

两个或两个以上构造体系复合处是应力集中的地方,岩石破碎、岩浆活动频繁,有利于内生矿产的聚集。

2.1.3 构造体系不同部位控矿的规律

构造体系中应力相对集中部位,往往是内生矿产聚集处。

板块构造环境与特定矿床类型之间具有密切的联系。例如:安第斯型斑岩铜矿、黑矿型块状硫化物矿床和火山喷气-沉积型层状硫化物矿床大多与汇聚板块构造的俯冲消减带有关;而产于碳酸盐岩层和黑色岩系中的层控多金属矿床则多产在被动大陆边缘的伸展构造环境;蛇绿岩套有关的铬-铂等矿床则与大洋中脊伸展构造有关。

2.1.4 扭动构造影响流体矿产迁移集中的规律

扭动构造提供了成矿的空间条件和驱使矿液迁移、聚集的动力条件,因而有时具有极为重要的控矿意义。例如,长江中下游铁铜成矿带中段北侧沙溪斑岩铜矿田的铜矿化受沙溪帚状构造型式的控制,其中,压扭性旋扭阶段控制了浸染状矿床的产出,张扭性旋扭阶段叠加了脉型矿床^[48]。

2.1.5 构造体系演化控制成矿系统演化和区域成矿谱系的规律

在地质历史上,由于构造体系不是一成不变的,其作用和演化的结果之一是形成了一些古构造体系控制的成矿区带,在后来的构造体系作用下,又形成了现今矿产资源的分布格局。因此,构造体系的演化和转变过程决定了成矿系统与成矿作用类型的演化和转变过程,形成了现今金属矿床的分布格局。一定区域内构造体系的演化历史控制了区域成矿系统的相互关联(继承、转化及其他形式),即区域成矿谱系的发育和展布^[3,49]。

澳大利亚东南部古生代 Lachlan 造山带的研究表明,不同的矿床成因组合反映了大洋弧后背景下几个微板块和三个增生杂岩的相互作用过程^[50]。奥陶纪沿冈瓦纳(Gondwana)的太平洋边缘分布的增生楔体系形成造山带型金矿;同时,进化的岩浆弧外侧大洋岛弧中形成大型斑岩 Cu-Au 成矿系统;接着,在志留纪早期产生与花岗岩有关的 Sn-W 矿床成矿系统;志留纪晚期至泥盆纪早期,在短时期内存在的弧内盆地中形成沉积型 Cu-Au 和 Pb-Zn 矿床成矿系统,而前弧系统的发育提供了火山块状硫化物矿床形成的条件;泥盆纪中晚期造山带最后固结阶段,澳大利亚大陆边缘的盆地反转及增生,激发了造山带型金矿成矿作用的再次大规

模发生。

2.2 构造体系对外生矿产资源的分布和成矿作用的控制

对于外生矿产,构造地质条件在控矿方面的作用主要为:①构造体系控制沉积盆地的分布;②构造体系复合处常形成有利于外生矿产聚集的环境;③由于构造体系的复合,沉积矿产的分布方向与原来的沉积盆地方向不一定一致;④同沉积构造活动和晚期构造活动常影响到外生矿产的富集程度^[40]。

同板块碰撞有关的前陆盆地是油气聚集的有利地区^[51]。两个板块的相互碰撞形成一系列的造山带,而在相对稳定板块的前缘常常形成前陆盆地。前陆盆地对油气的生成、运移、聚集和保存都十分有利,世界上前陆盆地是油气最富集的一类盆地。前陆盆地的油气潜力主要取决于早期被动边缘发育程度和保存条件,薄皮逆掩断层带具一定油气潜力,具有多种类型油气圈闭,盆地晚期的前缘沉积有利于早期沉积的埋藏、成熟和保存^[51]。

3 成矿构造体系

3.1 成矿构造体系的一般概念

成矿构造体系即控制成矿作用的构造体系,是统一的地质作用过程中形成的构造体系与成矿系统的有机结合体。周大鹏将成矿构造体系定义为控制岩浆活动、矿床分布及矿体产状型态和组合特征的各种具有成生联系的构造因素的总和^[52]。构造与成矿之间的紧密联系构成了成矿构造体系,具体表现为同一区域内一套具有成因联系与时空演化序列的构造体系与矿床系列的组合。成矿构造体系中的构造主要包括与体系中主要成矿作用和矿床分布有关的成矿前构造、同成矿构造与成矿后构造。正如单个矿床或矿床系列的形成都需要一定的时间与空间过程一样,构造体系的形成与演化也是地质作用过程的产物,并促使成矿作用发生时间和空间上的演化而形成成矿系统。因此,构造体系与成矿系统的有机结合,形成了成矿构造体系。借鉴陈毓川等提出的中国成矿体系的概念^[53],成矿构造体系可以理解为各个地质历史时期所形成的矿床及其与成矿作用密切相关的构造要素所共同构成的整体,主要包含了构造体系与成矿系列,并强调构造体系对矿床形成与分布的控制作用。

成矿构造体系的概念与成矿构造域^[54]和构造-成矿域^[2]以及构造成矿体系、构造-流体-成矿系统(或体系)等概念大致相当,并且更具有地质力学研究的特色。

成矿构造体系可以分为全球的、区域的、矿田(床)的和微观的等不同尺度。下面简要讨论全球巨型成矿构造体系。

3.2 全球巨型成矿构造体系

王功恪等从地质力学地球观出发,将全球巨型构造体系-成矿域划分为纬向成矿域、经向成矿域、斜向成矿域和岛弧型成矿域^[55]。翟裕生按地球动力演化、全球构造体系与矿床分布特征,划分出5个全球性构造-成矿域^[2]:环太平洋构造-成矿域、特提斯-喜马拉雅构造-成矿域、中亚-蒙古-东亚构造-成矿域(古生代)、克拉通构造-成矿域、大洋构造-成矿域(包括大洋中脊、洋岛、大洋平台等区域)。全球巨型成矿构造体系的形成无一不叠合着多期成矿事件的烙印,但主要受到某一时期地球动力学成矿事件的影响^[56]。

本文根据近年来国际超大型矿床研究的成果,结合板块构造分析,划分出5个全球巨型成矿构造体系:环太平洋成矿构造体系、特提斯-喜马拉雅成矿构造体系、古亚洲成矿构造体系、克拉通成矿构造体系、大洋脊和大陆裂谷成矿构造体系。以下简述其中的4个成矿构

造体系（见图1）。

3.2.1 环太平洋成矿构造体系

环太平洋成矿构造体系包含了环太平洋成矿域，可分为东、西两个带：东带包括阿拉斯加、北美西部（北美科迪勒拉成矿带）向南经墨西哥、巴拿马、厄瓜多尔、玻利维亚到秘鲁、智利和阿根廷（南美安第斯成矿带），以及环加勒比海成矿带。西带又分为内带和外带。内带从日本列岛经中国台湾、菲律宾、加里曼丹岛、巴布亚新几内、亚所罗门群岛，又称为西南太平洋成矿带；外带从俄罗斯鄂霍茨克北缘，经中国东北东部、长江中下游及华南地区，又称为东亚大陆边缘成矿带。环太平洋成矿构造体系的范围与马宗晋、杜品仁提出的环太平洋构造系^[57]的位置大致相当，是一个向南开口的马蹄形似环状的全球一级构造-成矿系统。

环太平洋成矿构造体系中美国西部科迪勒拉成矿带以斑岩铜矿、斑岩钼矿、卡林型金矿和陆相火山岩型金矿为特色，包括南、北美洲大陆边缘狭长的斑岩铜矿带，如加拿大的洛涅克斯、伐利科帕，美国的宾厄姆、比尤特、莫伦锡、伊利、圣里塔，墨西哥的卡纳内阿、拉卡里达德拉，巴拿马的塞罗科罗拉多，秘鲁的米契基累、塞罗佛尔迪·夸霍内，智利的埃尔阿布拉、丘基卡马塔、拉埃斯康迪达、埃尔萨尔瓦多和埃尔特恩特等斑岩铜矿。在中国有南岭、长江中下游、胶东、大兴安岭等成矿带^[58]，是环太平洋成矿构造体系的典型组成部分，包含有如广东富湾银矿、大厂锡多金属矿、柿竹园多金属矿、大宝山铜多金属矿、凡口铅锌（银）矿床、江西冷水坑银矿、德兴斑岩铜矿田、相山铀矿^[59,60]、龙南稀土矿、黄沙坪铅锌矿、香花岭锡矿、湖南锡矿山锑矿床、瑶岗仙钨矿、新田岭钨矿、行洛坑钨矿、铜陵铜矿、罗河铁矿、紫金山铜（金银）矿^[61]、山东邢家山钼矿、胶东焦家和玲珑金矿^[9]、吉林大黑山钼矿等矿床。板块碰撞、俯冲与造山作用是环太平洋成矿构造体系形成的主要机制。

中新世南美安第斯中央矿带形成的3个主要控制因素是水化作用、地壳增厚和俯冲系统几何形态的改变^[62]。南美板块与Nazca板块的会聚导致地壳增厚与缩短以及地壳中岩浆的聚积。岩浆和成矿的主要物质来自在逐渐变浅和冷却的俯冲洋片之上的地幔和下地壳水化作用释放的流体。成矿前与同成矿期岩浆的微量元素特征显示了由中压含角闪石残余矿物组合向更高的含石榴子石矿物组合的变化，说明地壳增厚早期阶段稳定的下地壳含水的含角闪石矿物组合向干的、含更多石榴子石矿物组合的转变过程中释放了成矿流体。

由于环太平洋成矿域具有独特的岛弧构造，发育有高钾双峰式火山岩，存在大量的热液磁铁矿，含矿岩系中产出不透水岩石（如石灰岩）等，因此，环太平洋成矿域具有产出超大型富金斑岩矿床的重要地质背景^[63]。

环太平洋成矿域在世界矿产资源中所占比例为：铜40%、锌21%、铅14%、银44%、金15%、锡59%、钨59%、镍30%、硬煤19%和铀16%（澳大利亚矿产资源局^[64]）。

3.2.2 古亚洲成矿构造体系

古亚洲成矿构造体系，西起欧亚交界的乌拉尔山脉，向东经哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦（部分）、新疆、青海和甘肃北部、内蒙西部、蒙古国西部，至包括贝加尔湖东部在内的南西伯利亚地区，包括萨彦-额尔古纳-萨拉伊尔（兴凯）造山带、天山-兴安华力西造山带、乌拉尔-南天山华力西造山带、塔里木准台地和部分亚洲东缘燕山造山带。古亚洲成矿构造体系的范围相当于古亚洲构造域和古亚洲成矿域（又称中亚成矿域），也称之为古亚洲成矿构造域^[54]。区内分布多期次、多类型的火山岩、花岗岩、基性岩、超基性岩、蛇绿岩带及变质岩带。在地质历史上经受了大陆基底形成、古亚洲洋陆缘增生和滨

西太平洋大陆边缘活动及陆内断块升降等多个阶段,造就了多种有利的成矿环境。该成矿构造体系以加里东期、海西期构造-成矿作用为主,主要出现有块状硫化物型、氧化物型、碳酸盐型及与基性、中酸性、酸性侵入岩类有关的岩控矿床;另外,该成矿构造体系的西段发育有晚元古代-古生代(以寒武-石炭纪为主,尤其是志留-泥盆纪)黑色岩系矿床^[65],东段叠加有燕山期成矿作用。

黑色岩系中的大型-超大型矿床有乌兹别克斯坦南天山成矿带穆龙套(Muruntau, 资源量 5400 t, 成矿时代为 280~250 Ma)、塔姆德布拉克(金储量 55 t, 资源量 350 t)、道吉兹套(达乌及斯套, 金储量 180 t, 资源量 540 t, 成矿时代为 270~260 Ma)、阿曼泰套(金储量 120 t, 资源量 180 t, 成矿时代为 270~260 Ma)、巴尔潘套(金储量 70 t)、阿里斯坦套(金储量 36 t)等金矿床(可回收金含量达 8000 t 以上),哈萨克斯坦的巴克尔奇克(金储量 80~100 t, 矿田资源量 1200 t)、查尔库拉(金储量 100 t, 距中国边界 40 km)、巴勒德扎尔等金矿床,西伯利亚南缘的干谷铂-金矿、欧林匹亚达和苏维埃金矿,吉尔吉斯斯坦库姆多尔(库姆托尔, 金储量 360 t, 资源量 590 t, 成矿时代为 $(288.4 \pm 0.6) \sim (284.3 \pm 3.0)$ Ma)、伊什坦贝尔格(金储量 35 t)、萨瓦亚尔顿(金储量 40 t)等金矿床,中国西南天山的萨瓦亚尔顿(成矿时代为 231 Ma)和大山口(成矿时代为晚三叠世)等金矿^[66,67]。黑色岩系中还经常有一些银矿、钨矿或者铋矿^[66]。陆相火山岩型(低温)金矿床有乌兹别克的可奇布拉克、伊犁阿希等金矿^[66]。中元古代与富碱侵入岩有关矿床的实例是白云鄂博 REE-Fe-Nb 矿床,可能为沉积喷流型^[66]。

古亚洲成矿构造体系内的大型-超大型块状硫化物矿床有内蒙狼山东升庙等多金属矿床,西伯利亚贝加尔湖北侧的霍洛德宁和戈瑞夫斯克铅锌矿床,哈萨克斯坦阿尔泰列宁诺哥尔斯克、兹痕诺夫斯克等铅锌矿床,中国境内有大型阿舍勒矿床^[66]。斑岩型矿床有蒙古查干苏布尔加和欧玉陶勒盖等铜矿、哈萨克斯坦孔拉德(科翁腊德)、阿克图盖(阿克斗卡)、科克赛和博尔雷等铜矿、乌兹别克斯坦卡马基尔-达尔涅(卡耳马克尔)等铜矿、东天山土屋-延东铜矿等,它们多形成于石炭-二叠纪,个别为早古生代产物^[66]。矽卡岩型矿床有哈萨克斯坦的萨亚克铜矿等。砂岩铜矿有贝加尔褶皱带中、上元古界中产出的乌多堪铜矿(含铜 2000×10^4 t)等,在世界同类型矿床中居首位;哈萨克斯坦杰兹卡兹干砂岩铜矿也具有超大型规模^[66]。

哈萨克斯坦中部的矿床系列反映了受多旋回地球动力学控制的活动大陆边缘岩石圈岩浆活动的演化过程和中亚古生代地壳增生和造山历史,从弧后洋的构造背景(火山块状硫化物 Cu-Au 矿床)发展到受俯冲控制的钙碱性岩浆活动(斑岩铜矿),随后进入低程度部分熔融的地壳分异作用和广义的岩浆内部分离作用阶段(斑岩钼矿),最后形成非造山的二叠纪大陆裂谷(过碱性钠闪石花岗岩 REE-Zr-Nb 富集系统)^[67]。

穆龙套(Muruntau)金矿产在一个大型裂谷的附近。金高品位石英大脉成矿时代为 279 ± 18 Ma(白钨矿 Sm-Nd 等时线年龄)^[69,70],代表穆龙套金矿主成矿阶段年龄,含金石英脉中绢云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄为 245~220 Ma^[71],代表晚期成矿时代。该裂谷在泥盆纪至新近纪之间的周期性活动,堆积了巨厚的化学、火山碎屑和碎屑沉积物,包括红层和蒸发岩等^[71]。蒸发岩中大量还原硫的存在,可能是穆龙套金矿如此巨大的原因。晚期含金石英脉中含 H_2S 流体包裹体的存在,支持这一观点。

3.2.3 特提斯-喜马拉雅成矿构造体系

特提斯-喜马拉雅成矿构造体系包含了特提斯-喜马拉雅成矿域,分布于罗马尼亚、南

斯拉夫、保加利亚、亚美尼亚、伊朗、巴基斯坦和中国西藏,可分为地中海成矿带(西段)、西亚成矿带(中段)和喜马拉雅—三江成矿带(东段)。该成矿构造体系的北界与秦岭—祁连—昆仑造山带相邻,东界沿龙门山断裂和金沙江—红河断裂延入越南,向西经中东进入阿尔卑斯和北非阿特拉斯。成矿域经历了古大洋、古大洋闭合、萌特提斯、古特提斯和新特提斯洋发展演化的5个阶段^[53]。中生代盆地发育,构造岩浆活动强烈,造就了全区性的区域成矿作用,形成了重要的油气田和金属矿床。金属成矿作用主要有与中—中酸性、基性—超基性岩有关的岩控型,与海底火山喷发有关的块状硫化物型,与沉积作用有关的层控型(包括黑色岩系)及块状氧化物型,以及斑岩型矿床等。

特提斯—喜马拉雅成矿构造体系中的斑岩铜矿带,包括匈牙利的雷克斯克、南斯拉夫的麦丹佩克、伊朗的萨尔切什梅黑、巴基斯坦的查盖地区及中国川西玉龙和西藏冈底斯等。斑岩铜矿(如玉龙和冈底斯铜矿带)和与碱性岩浆杂岩有关的金矿很有特点,具有重要的前景。冈底斯弧是一个侵入岩和火山岩组成的杂岩,形成于晚侏罗世—早白垩世和晚白垩世—新近纪两个阶段,与特提斯洋岩石圈向下俯冲到拉萨地块、增生到亚洲板块有关。冈底斯弧中部(拉萨南)含有几个斑岩型 Cu—Mo 和 Cu (Zn—Pb) 矽卡岩矿床,可能属于安第斯型大陆弧。玉龙斑岩铜矿带可能是青藏高原东部大型走滑断裂作用的产物,其斑岩岩浆活动的峰期时间分为 52, 41, 33 Ma 三个阶段^[72];而冈底斯斑岩铜矿带岩浆—热液系统出现于印度—亚洲大陆碰撞造山带的碰撞后伸展环境(14 Ma 左右)^[73]。

三江特提斯成矿构造体系中,可能存在幔柱构造成矿体系^[74]。在幔柱构造制约下,一系列形成于不同构造背景、产出于不同地质环境、具有不同成矿体制、不同序次组合和不同成矿类型的矿床成矿系列组合和矿床成矿谱系,共同构成统一的成矿体系。

藏东地区构造应力场自印支—燕山期的 NE—SW 向挤压向喜马拉雅期的 NNE—SSW 向压扭性转变,造成大规模成矿流体的运移与富集,使新生代成为藏东地区最重要的成矿时期,而澜沧江、妥坝、温泉断裂带及车所乡断裂带北段是该期矿产最有利的富集部位^[75]。

3.2.4 大洋脊和大陆裂谷成矿构造体系

大西洋、太平洋和印度洋中存在的大洋中脊和洋隆,构成了全球灯笼骨架似的海底山系系统,是全球巨型一级构造,马宗晋、杜品仁称之为大洋脊构造系^[57]。大洋脊被认为是地壳增生的地方,是发散型板块边界。

现代海底具有广阔的矿产资源勘查前景。现代海底成矿作用,主要与大洋脊构造系有关,也与一些次生性主动式大陆裂谷作用形成的弧后伸展盆地有关,主要处在伸展环境下,形成独特的海洋成矿系统。大陆上一些大型的主动式大陆裂谷,如近 SN 向延伸的东非裂谷(发育在古老克拉通上)和莱茵河谷(发育在年轻造山带上),以及红海向北延伸的约旦河谷和美国西部的死谷等,也是伸展环境下的产物,具有与大洋中脊相同的成因,是海底扩张在大陆上的雏形。在全球尺度下,受大洋脊构造系伸展作用的控制,形成与大洋脊和大陆裂谷作用有关的成矿系统,统称为大洋脊和大陆裂谷成矿构造体系。

20 世纪 60 年代中期以来,由于洋底探测技术的进步,人们开始研究海底热液成矿作用,在红海拉张海底发现了含金属热卤水和沉积物^[76];几乎同时在南太平洋海隆的沉积物中,识别出热液成因的金属组分;1972—1973 年在 N26°附近缓慢扩张的大西洋中发现了温泉和低温热液矿床;1978 年在 N21°东太平洋海隆发现了由高温热泉形成的块状硫化物矿床;1985—1986 年,又分别在 N26°和 N23°22′缓慢扩张的大西洋中脊发现了高温黑烟囱、块状硫化物和喷口生物群^[77]。目前,在大洋中脊部位发现的多金属硫化物矿床有 11 个以上^[78]。

从海底“黑烟囱”冒出来的流体（及固体结晶物）有3种：比海水密度小而向上冒；与海水密度相同；比海水密度大而不断与海水混合。海底硫化矿床黑烟囱直径在60~70 cm，大多处在转换断层位置上。经海底钻观察，流体主要从钻孔壁的微裂隙中流出，应是海水循环来源的。

除大洋中脊外，在许多弧后盆地也发现了热液成矿活动，如冲绳海沟JADE热液田中的现代矿化，被认为是第一个类似于日本北鹿地区黑矿型块状硫化物矿床的海底矿床。

斯科特等（2000）收集到150处海底现代热液活动的资料，包括热液的性质、携带金属、挥发份与形成的矿物组合等^[49]。海底形成的“黑烟囱”、“白烟囱”等，是沉积喷流作用或热水沉积作用的产物。除了沉积喷流作用之外，现代海底还有深水铁锰结核和结壳等，以及高硅质酸性火山岩破火山口的黑矿型多金属硫化物矿床^[69,78]。

除了现代大洋脊成矿作用，古板块缝合线附近经常残余有海底成矿作用形成的矿床。如在阿尔金山地区，早古生代早中期板块构造海底扩张作用时期，形成以喀腊大湾为代表的海相火山沉积型铜多金属矿床^[10]。

裂谷是地壳上最显著的大型或巨型伸展构造，是重要的成矿场所^[79]。规模巨大、长期活动的裂谷带，不仅在平面上延伸甚远，而且具有深切地壳和岩石圈的垂向分带^[44]。裂谷上部广泛发育以正断层为主的巨型地堑系，多表现为断陷盆地，沉积巨厚的碎屑岩建造，常伴有蒸发岩和火山岩。裂谷上部盆地中伴随有生长断层活动，常形成VMS型和Sedex型成矿系统，如狼山-渣尔泰山中元古代裂谷中的Sedex型矿床，以及广东长坑金银矿、广西大厂锡多金属矿、云南白牛厂银多金属矿、广西下雷锰矿等超大型热水成因矿床的形成，也可能与裂谷作用有一定关系。白银矿田形成于陆缘弧裂解（岛弧裂谷）阶段^[5]。裂谷中深部产出拉张环境下侵位的基性、碱性和超基性岩带，某些地区表现为岩盆（如南非布什维尔德岩盆）或岩墙（如津巴布韦“大岩墙”），有关的成矿系统为镁铁质-超镁铁质岩类成矿系统（Cr, Cu, Ni, Σ Pt, V, Ti, Fe等），如形成于古大陆边缘的裂谷环境早期的金川镍铜矿床^[5]。

世界上许多砂页岩型铜矿形成于裂谷环境，如中非铜矿带形成于中非新元古代裂谷中，中欧二叠纪含铜砂岩形成于断裂拗陷带中，怀特潘矿床产于新元古代裂谷中，北非摩洛哥铜矿带产于中、新生代裂谷区，中国东川铜矿形成于昆阳裂谷中，滇中砂岩铜矿形成于攀西裂谷的外延部分，乌多坎铜矿形成于元古宙裂谷中，乌拉尔二叠系含铜页岩形成于乌拉尔裂谷中^[80]。

由于组成裂谷的大断裂的贯通性，裂谷成为幔源成矿物质到达地表成矿的有利构造条件，如白云鄂博超大型稀土矿的形成与裂谷有关。南澳大利亚奥林匹克坝（Olympic Dam）超大型（Cu-U-Au-Ag-REE）矿床，其中Cu、Au、U、Ag、Co、REE和Fe等金属量都达到超大型规模，是元古宙裂谷环境下由爆发角砾岩化和热液蚀变及交代作用联合形成的。

某些现代陆内裂谷（如贝加尔湖）中也发现有强烈的热液成矿活动。

4 结论

构造与成矿具有密不可分的关系。构造体系与成矿系统是地球物质运动形成的两个方面的结果。地质力学矿田构造研究的实践表明，构造体系具有多级控矿作用，构造体系演化控制了区域成矿谱系的发育和成矿系统的演化。

构造体系与成矿系统的紧密结合, 构成了成矿构造体系。具有全球规模的成矿构造体系, 包括环太平洋成矿构造体系、古亚洲成矿构造体系、特提斯-喜马拉雅成矿构造体系和大洋脊和大陆裂谷成矿构造体系等。

承蒙陈毓川院士在百忙中审阅并提出宝贵的修改意见, 在此表示衷心的感谢。邓乃恭教授对本文的编写提出了很好的建议, 苗培实、周显强研究员提供了全球构造体系底图, 尚玲清绘了本文插图, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 翟裕生, 林新多. 矿田构造学 [M]. 北京: 地质出版社, 1993. 1~214.
ZHAI Yu-sheng, LIN Xin-duo. Ore field tectonics [M]. Beijing: Geologic Publishing House, 1993. 1~214.
- [2] 翟裕生. 成矿构造研究的回顾和展望 [J]. 地质论评, 2002, 48 (2): 140~146.
ZHAI Yu-sheng. A brief retrospect and prospect of study on ore-forming structures [J]. Geological Review, 2002, 48 (2): 140~146.
- [3] 翟裕生, 彭润民, 向运川, 等. 区域成矿研究法 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2004. 1~183.
ZHAI Yu-sheng, PENG Run-min, XIANG Yun-chuan, et al. Study methods of regional metallogenesis [M]. Beijing: China Land Press, 2004. 1~183.
- [4] 吴淦国. 矿田构造与成矿预测 [J]. 地质力学学报, 1998, 4 (2): 1~4.
WU Gan-guo. The orefield structures and metallogenetic prediction [J]. Journal of Geomechanics, 1998, 4 (2): 1~4.
- [5] 汤中立, 白云来. 华北板块西南边缘大型、超大型矿床的地质构造背景 [J]. 甘肃地质学报, 2000, 9 (1): 1~15.
TANG Zhong-li, BAI Yun-lai. The geotectonic setting of the large and super-large mineral deposits in the southwest margin of North China Paleoplate [J]. Acta Geologica Gansu, 2000, 9 (1): 1~15.
- [6] 翟裕生. 区域构造、地球化学与成矿 [J]. 地质调查与研究, 2003, 26 (1): 1~7.
ZHAI Yu-sheng. Regional structure and regional geochemistry and metallogeny [J]. Geological Survey and Research, 2003, 26 (1): 1~7.
- [7] 韩润生. 初论构造成矿动力学及其隐伏矿定位预测研究内容和方法 [J]. 地质与勘探, 2003, 39 (1): 5~9.
HAN Run-sheng. Preliminary discussion on research contents and methods of tectono-metallogenic dynamics and concealed ore orientation prognosis [J]. Geology and Prospecting, 2003, 39 (1): 5~9.
- [8] 杨明桂, 曾载淋, 赖志坚, 等. 江西钨矿床“多位一体”模式与成矿热动力过程 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (3): 241~250.
YANG Ming-gui, ZENG Zai-lin, LAI Zhi-jian, et al. The “multi-position in one” mode and dynamic mechanism of mineralization of tungsten deposits in Jiangxi [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (3): 241~250.
- [9] 郭涛, 吕古贤. 胶东西北部金成矿带控矿构造系统分析 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (2): 119~130.
GUO Tao, Lü Gu-xian. System analysis of ore-controlling structure in the northwestern Jiaodong gold belt [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13 (2): 119~130.
- [10] 李月臣, 陈柏林, 陈正乐, 等. 阿尔金北缘红柳沟-拉配泉一带铜金矿床硫同位素特征及其意义 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (2): 131~140.
LI Yue-chen, CHEN Bai-lin, CHEN Zheng-le, et al. Sulfur isotope features of Cu-Au polymetallic deposits in the Hongliugou-Lapeiquan area on the northern margin of the Altyn Tagh Mountains and their relation to the tectonic evolution [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13 (2): 131~140.
- [11] 翟裕生, 姚书振, 林新多, 等. 长江中下游地区铁、铜等成矿规律研究 [J]. 矿床地质, 1992, 11 (1): 1~12.
ZHAI Yu-sheng, YAO Shu-zhen, LIN Xin-duo, et al. Metallogenic regularity of iron and copper deposits in the middle and lower

- valley of the Yangtze River [J]. *Mineral Deposits*, 1992, 11 (1): 1~12.
- [12] 何龙清, 季玮, 陈开旭, 等. 滇西兰坪盆地白秧坪地区东矿带推覆构造的控矿作用 [J]. *地质力学学报*, 2007, 13 (2): 110~118.
- HE Long-qing, JI Wei, CHEN Kai-xu, et al. Ore-controlling effect of nappe structure in the east ore zone of the Baiyangping area, Lanping Basin, Yunnan [J]. *Journal of Geomechanics*, 2007, 13 (2): 110~118.
- [13] 刘淑文, 魏宽义, 许拉平. 云南会泽铅锌矿田控矿构造体系及成矿预测 [J]. *西北地质*, 2002, 35 (3): 84~89.
- LIU Shu-wen, WEI Kuan-yi, XU La-ping. The thrust nappe tectonics system and the metallogenic prediction of the Pb-Zn deposit in Huize, Yunnan [J]. *Northwestern Geology*, 2002, 35 (3): 84~89.
- [14] 汪劲草, 王国富, 汤静如. 玲珑-焦家地区金矿成矿构造体制的新认识 [J]. *桂林工学院学报*, 2002, 22 (1): 1~4.
- WANG Jin-cai, WANG Guo-fu, TANG Jing-ru. New realization on metallo-tectonic reging of the gold deposits in Linglong-Jiaojia district of Shandong [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2002, 22 (1): 1~4.
- [15] 童航寿. 拆离构造与成矿作用 [J]. *铀矿地质*, 1993, 9 (2): 76~82.
- TONG Hang-shou. Decoupling structure and metallogenesis [J]. *Uranium Geology*, 1993, 9 (2): 76~82.
- [16] 张传林, 朱立华, 金章东, 等. 抽拉-逆冲岩片控矿研究 [J]. *矿产与地质*, 1997, 11 (6): 381~387.
- ZHANG Chuan-lin, ZHU Li-hua, JIN Zhang-dong, et al. A mineralization controlled by draw-thrust sheet tectonics [J]. *Mineral Resources and Geology*, 1997, 11 (6): 381~387.
- [17] 吴德超, 刘家铎, 刘显凡, 等. 黔西南地区叠加褶皱及其对金矿成矿的意义 [J]. *地质与勘探*, 2003, 39 (2): 16~20.
- WU De-chao, LIU Jia-duo, LIU Xian-fan, et al. The superposed folds and the importance of mine field tectonic in southwestern Guizhou [J]. *Geology and Prospecting*, 2003, 39 (2): 16~20.
- [18] 王义天, 毛景文, 李晓峰, 等. 与剪切带相关的金成矿作用 [J]. *地学前缘*, 2004, 11 (2): 393~400.
- WANG Yi-tian, MAO Jing-wen, LI Xiao-feng, et al. Gold mineralization related to the shear zone [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11 (2): 393~400.
- [19] Phillips G N. Geology and alteration in the Golden Mile, Kalgoorlie [J]. *Economic Geology*, 1986, 81 (4): 779~808.
- [20] Robert F, Brown A C. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec: Part I, geologic relations and formation of the vein system [J]. *Economic Geology*, 1986, 81 (3): 578~592.
- [21] Robert F, Brown A C. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec: Part II, vein paragenesis and hydrothermal alteration [J]. *Economic Geology*, 1986, 81 (3): 593~616.
- [22] Andrews A J, Hugon H, Durocher M E, et al. The anatomy of a gold-bearing greenstone belt: Red Lake, northwestern Ontario, Canada [A]. In: Macdonald A J (ed.). *Proceedings of Gold '86: An international symposium on the geology of gold deposits* [C]. Toronto: Geological Association of Canada, 1986. 3~22.
- [23] Sibson R H, Robert F, Poulsen K H. High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits [J]. *Geology*, 1988, 16 (6): 551~555.
- [24] Bonnemaison M, Marcoax M. Auriferous mineralization in some shear-zones: A three-stage model of metallogenesis [J]. *Mineralium Deposita*, 1990, 25 (2): 96~104.
- [25] 刘俊来. 韧性剪切带中含金石英脉的就位机制 [J]. *吉林地质*, 1993, 12 (3): 16~23.
- LIU Jun-lai. The emplacement mechanism of auriferous quarts in the ductile shear-zones [J]. *Jilin Geology*, 1993, 12 (3): 16~23.
- [26] 刘忠明, 杨巍然. 剪切带中流体与金矿成矿作用的关系综述 [J]. *地质科技情报*, 1997, 16 (4): 69~73.
- LIU Zhong-ming, YANG Wei-ran. Fluid and gold mineralization in shear zone [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1997, 16 (4): 69~73.
- [27] 卢焕章, Guy Arcambault, 李院生, 等. 山东玲珑-焦家地区形变类型与金矿的关系 [J]. *地质学报*, 1999, 73 (2): 174~188.
- LU Huan-zhang, Guy Arcambault, LI Yuan-sheng, et al. The relation between deformation types and gold mineralization in the

Linglong-Jiaojia district, Shandong Province, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73 (2): 174 ~ 188.

[28] 庞庆邦. 糜棱岩型金矿床地质特征 [J]. *贵金属地质*, 1999, 8 (1): 21 ~ 25.

PANG Qing-bang. Geological characteristics of mylonite type of gold deposits [J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 1999, 8 (1): 21 ~ 25.

[29] 朱永峰. 克拉通和古生代造山带中的韧性剪切带型金矿: 金矿成矿条件与成矿环境分析 [J]. *矿床地质*, 2004, 23 (4): 509 ~ 519.

ZHU Yong-feng. Ductile-shear zone related gold deposits in Craton and Paleozoic orogenic belt: An analysis of their ore-forming processes and environments [J]. *Mineral Deposits*, 2004, 23 (4): 509 ~ 519.

[30] 陈柏林, 吴淦国, 杨农, 等. 甘肃北山白墩子-小西弓韧性剪切带及其控矿作用 [J]. *地质力学学报*, 2007, 13 (2): 99 ~ 109.

CHEN Bai-lin, WU Gan-guo, Yang Nong, et al. Baidunzi-Xiaoxigong ductile shear zone and its ore-controlling effect in the southern Beishan area, Gansu [J]. *Journal of Geomechanics*, 2007, 13 (2): 99 ~ 109.

[31] 欧阳玉飞, 刘继顺, 黄满湘, 等. 广东河台金矿田控矿构造研究 [J]. *矿产与地质*, 2007, 21 (1): 27 ~ 30.

OUYANG Yu-fei, LIU Ji-shun, HUANG Man-xiang, et al. Study on gold ore structure controlling and genesis of the Hetai ore deposit in Guangdong Province [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2007, 21 (1): 27 ~ 30.

[32] 张进江, 郑亚东, 刘树文. 小秦岭金矿田中生代构造演化与矿床形成 [J]. *地质科学*, 2003, 38 (1): 74 ~ 84.

ZHANG Jin-jiang, ZHENG Ya-dong, LIU Shu-wen. Mesozoic tectonic evolution and ore-deposits formation in the gold mine field of Xiaolinling [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2003, 38 (1): 74 ~ 84.

[33] 李好斌, 温长顺, 王志平. 新疆卡拉先格尔铜矿韧性剪切变形与铜矿化的关系 [J]. *地质力学学报*, 2007, 13 (2): 141 ~ 149.

LI Hao-bin, WEN Chang-shun, WANG Zhi-ping. Relationship between copper mineralization and the ductile shear zone in the Kalaxiangeer Halasu copper deposit in the Altay area, Xinjiang [J]. *Journal of Geomechanics*, 2007, 13 (2): 141 ~ 149.

[34] 曾小平, 孟红, 曹生秀. 新疆西天山果子沟地区开亚他斯火山机构及成矿潜力浅析 [J]. *地质力学学报*, 2008, 14 (3): 251 ~ 262.

ZENG Xiao-ping, MENG Hong, CAO Sheng-xiu. Analysis on the Kaiyatasi volcanic apparatus and its metallogenetic potentiality in Guozigou area of the western Tianshan, Xinjiang of China [J]. *Journal of Geomechanics*, 2008, 14 (3): 251 ~ 262.

[35] 杨开庆. 动力成岩成矿理论的研究内容和方向 [A]. *地质力学研究所所刊* (7) [C]. 北京: 地质出版社, 1986.

YANG Kai-qing. Theory of dynamo-petrogenesis and dynamo-metallogenesis [A]. In: *Bulletin of the Institute of Geomechanics* (7) [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1986.

[36] 杨开庆. 构造动力作用中地球化学作用 [J]. *大地构造与成矿学*, 1984, 8 (4): 327 ~ 336.

YANG Kai-qing. Geochemical actions in tectono-dynamics [J]. *Geotectonica Et Metallogenia*, 1984, 8 (4): 327 ~ 336.

[37] 杨开庆. 构造控岩控矿与构造成岩成矿 [A]. *地质力学论丛* (第6号) [C]. 北京: 科学出版社, 1982. 9 ~ 18.

YANG Kai-qing. Rock-controlling and ore-controlling structures vs rock-forming and ore-forming structures [A]. In: *Symposium of geomechanics* (6) [C]. Beijing: Science Press, 1982. 9 ~ 18.

[38] 吕古贤, 林文蔚, 罗元华, 等. 构造物理化学与金矿成矿预测 [M]. 北京: 地质出版社, 1999. 1 ~ 458.

Lü Gu-xian, LIN Wen-wei, LUO Yuan-hua, et al. Tectono-physicochemistry and forecasting of gold mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 1 ~ 458.

[39] 李四光. *地质力学概论* [M]. 北京: 科学出版社, 1973. 1 ~ 136.

LI Si-guang. *On geological mechanics* [M]. Beijing: Science Press, 1973. 1 ~ 136.

[40] 中国地质科学院地质力学研究所. 论构造体系 [A]. 见: *国际交流地质学学术论文集 (一) 区域构造、地质力学* [C]. 北京: 地质出版社, 1978. 57 ~ 68.

Institute of Geomechanics of Chinese Academy of Geoscience. On the tectonic system [A]. In: *International Geological Symposium I: Regional tectonics and geomechanics* [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1978. 57 ~ 68.

[41] 孙殿卿, 高庆华. 隐伏矿床预测 [M]. 北京: 地质出版社, 1987. 1 ~ 166.

SUN Dian-qing, GAO Qing-hua. *Hidden ore-deposit prediction* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. 1 ~ 166.

- [42] 刘迅. 地质力学在矿产资源勘查中的应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1998. 1~194.
LIU Xun. Application of geomchanics to mineral resources survey [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 1~194.
- [43] 吕古贤, 郭涛, 舒斌, 等. 胶东金矿集中区构造体系多层次控矿规律研究 [J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31 (2): 193~204.
Lü Gu-xian, GUO Tao, SHU Bin, et al. Study on the multi-level controlling rule for tectonic system in Jiaodong gold-centralized area [J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2007, 31 (2): 193~204.
- [44] 翟裕生. 论成矿系统 [J]. 地学前缘, 1999, 6 (1): 13~27.
ZHAI Yu-sheng. On the metallogenic system [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6 (1): 13~27.
- [45] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等. 初论矿床的成矿系列问题 [J]. 中国地质科学院院报, 1979, 1 (1): 33~58.
CHENG Yu-qi, CHEN Yu-chuan, ZHAO Yi-ming, et al. Preliminary discussion on minerogenetic (metallogenetic) series [J]. Bulletin of Chinese Academy of Geoscience, 1979, 1 (1): 33~58.
- [46] 翟裕生, 林新多, 池三川, 等. 长江中下游内生铁矿床成因类型及成矿系列探讨 [J]. 地质与勘探, 1980, 16 (3): 9~13.
ZHAI Yu-sheng, LIN Xin-duo, CHI San-chuan, et al. Genetic type of endogenetic iron deposits and metallogenetic series in the middle and lower reaches of Yangtze River [J]. Geology and Prospecting, 1980, 16 (3): 9~13.
- [47] 陈毓川. 矿床的成矿系列 [J]. 地学前缘, 1994, 1 (3~4): 90~94.
CHEN Yu-chuan. Metallogenetic series of ore deposits [J]. Earth Science Frontiers, 1994, 1 (3~4): 90~94.
- [48] 董树文. 沙溪帚状构造型式的厘定及其控岩控矿作用研究 [J]. 地质学报, 1984, (4): 304~315.
DONG Shu-wen. Identification of a brush structure and it's role in rock- and ore-controlling at Shaxi [J]. Acta Geological Sinica, 1984, (4): 304~315.
- [49] 翟裕生. 矿床学的百年回顾与发展趋势 [J]. 地球科学进展, 2001, 16 (5): 719~725.
ZHAI Yu-sheng. Hundred years' retrospect and developing trend of mineral deposit geology [J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16 (5): 719~725.
- [50] Bierlein F P, Gray D R, Foster D A. Metallogenetic relationships to tectonic evolution: the Lachlan Orogen, Australia [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 202 (1): 1~13.
- [51] 刘刚, 董树文. 前陆盆地层序地层与油气聚集 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (1): 51~59.
LIU Gang, DONG Shu-wen. Sequence stratigraphy and petroleum accumulation in foreland basins [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13 (1): 51~59.
- [52] 周大鹏. 个旧马矿构造体系成生发展及其成矿构造体系 [J]. 昆明工学院学报, 1989, 14 (1): 1~11.
ZHOU Da-peng. Identification on generation and evolution of structural systems and structural systems of metallogenesis in Malage Orefield of Geju tin mine area [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology, 1989, 14 (1): 1~11.
- [53] 陈毓川, 王登红, 朱裕生, 等. 中国成矿体系与区域成矿评价 [M]. 北京: 地质出版社, 2007. 1~1005.
CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, ZHU Yu-sheng, et al. Chinese mineralization system and evaluation of regional metallogenetic potentials [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007. 1~1005.
- [54] 裴荣富, 吴良士, 熊群尧. 中国特大型矿床成矿偏在性与异常成矿构造聚敛场 [M]. 北京: 地质出版社, 1998. 1~418.
PEI Rong-fu, WU Liang-shi, XIONG Qun-yao. Metallogenetic preferentiality and metallotect convergence of giant ore deposits in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 1~418.
- [55] 王功格, 曾亚参, 宫继平. 全球巨型构造体系与成矿域的划分 [J]. 地球科学—武汉地质学院学报, 1984, (4): 11~24.
WANG Gong-ke, ZENG Ya-shen, GONG Ji-ping. The division of global gigantic tectonic system and minerogenetic province [J]. Earth Science-Journal of Wuhan College of Geology, 1984, (4): 11~24.
- [56] 李晓波. 地球动力学演化与巨型矿集区的形成 [J]. 地学前缘, 1998, 5 (增刊): 103~108.
LI Xiao-bo. Geodynamics and the formation of giant deposit clusters [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5 (Supp.): 103~108.
- [57] 马宗晋, 杜品仁. 现今地壳运动问题 [M]. 北京: 地质出版社, 1995. 1~151.

- MA Zong-jin, DU Pin-ren. Present-day crustal movement [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995. 1 ~ 151.
- [58] 申维. 中国白垩纪矿床时空分布的分形分析 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (1): 57 ~ 64.
- SHEN Wei. Fractal analysis of the temporal-spatial distribution of cretaceous mineral deposits in China [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (1): 57 ~ 64.
- [59] 邵飞, 陈晓明, 徐恒力, 等. 江西省相山铀矿田成矿模式探讨 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (1): 65 ~ 73.
- SHAO Fei, CHEN Xiao-ming, XU Heng-li, et al. Metallogenic model of the Xiangshan ore field, Jiangxi Province [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (1): 65 ~ 73.
- [60] 黄锡强, 陈正乐, 王平安, 等. 江西相山铀矿田沙洲矿床流体包裹体研究 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (2): 176 ~ 185.
- HUANG Xi-qiang, CHEN Zheng-le, WANG Ping-an, et al. Fluid inclusion study of the Shazhou uranium orefield in the Xiangshan deposit, Jiangxi [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (2): 176 ~ 185.
- [61] 黄仁生. 福建紫金山矿田火成岩系列与浅成低温热液-斑岩铜金银成矿系统 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (1): 74 ~ 86.
- HUANG Ren-sheng. Igneous series and epithermal porphyry Cu-Au-Ag mineralization system in the Zijinshan ore field, Fujian Province [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (1): 74 ~ 86.
- [62] Kay S M, Mpodozis C. Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust [J]. GSA Today, 2001, 11 (3): 4 ~ 9.
- [63] Sillitoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1997, 44 (3): 373 ~ 388.
- [64] 戴自希, 王家枢. 矿产勘查百年 [M]. 北京: 地震出版社, 2004. 1 ~ 241.
- DAI Zi-xi, WANG Jia-shu. A hundred years of ore-deposit survey [M]. Beijing: Seismological Press, 2004. 1 ~ 241.
- [65] 刘春涌, 王永江. 初论中亚黑色岩系型金矿床的基本特征——兼论新疆黑色岩系型金矿找矿方向 [J]. 新疆地质, 2007, 25 (1): 34 ~ 39.
- LIU Chun-yong, WANG Yong-jiang. Primary discussion on the characteristics of the gold deposit in black shale series in central Asian-and the prospecting target of black shale series in Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2007, 25 (1): 34 ~ 39.
- [66] 涂光炽. 初议中亚成矿域 [J]. 地质科学, 1999, 34 (4): 397 ~ 404.
- TU Guang-zhi. On the central Asian metallogenic province [J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34 (4): 397 ~ 404.
- [67] 杨富全, 王义天, 李蒙文, 等. 新疆天山黑色岩系型矿床的地质特征及找矿方向 [J]. 地质通报, 2005, 24 (5): 462 ~ 469.
- YANG Fu-quan, WANG Yi-tian, LI Meng-wen, et al. Geological characteristics of black shale-hosted ore deposits and their prospecting in the Tianshan [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24 (5): 462 ~ 469.
- [68] Heinhorst J, Lehmann B, Ermolov P, et al. Paleozoic crustal growth and metallogeny of Central Asia: Evidence from magmatic-hydrothermal ore systems of Central Kazakhstan [J]. Tectonophysics, 2000, 328 (1 ~ 2): 69 ~ 87.
- [69] Lizasa K, Fiske R S, Ishizaka O, et al. A Kuroko-type poly-metallic sulfide deposit in a submarine silicic caldera [J]. Science, 1999, 283 (5404): 975 ~ 977.
- [70] Kempe U, Belyatsky B V, Krymsky R S, et al. Sm-Nd and Sr isotope systematics of scheelite from the giant Au (-W) deposit Muruntau (Uzbekistan): Implications for the age and sources of Au mineralization [J]. Mineralium Deposita, 2001, 36: 379 ~ 392.
- [71] Wilde A R, Leyer P, Memagh T, et al. The giant Muruntau gold deposit: geologic, geochronologic, and fluid inclusion constraints on ore genesis [J]. Economic Geology, 2001, 96 (3): 633 ~ 644.
- [72] Hou Zengqian, Ma Hongwen, Khin Zaw, et al. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet [J]. Economic Geology, 2003, 98 (1): 125 ~ 145.
- [73] 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 等. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33 (7): 609 ~ 618.
- HOU Zeng-qian, QU Xiao-ming, WANG Shu-xian, et al. Molybdenite Re-Os dating in Gangdese porphyry copper belt in the

- Tibetan Plateau: Metallogenic ages and dynamic background [J]. *Science in China (series D)*, 2003, 33 (7): 609 ~ 618.
- [74] 侯增谦, 李红阳. 试论幔柱构造与成矿系统——以三江特提斯成矿域为例 [J]. *矿床地质*, 1998, 17 (2): 97 ~ 113.
- HOU Zeng-qian, LI Hong-yang. A tentative discussion on the mantle plume tectonics and metallogenic system as exemplified by the Sanjiang Tethyan metallogenic domain [J]. *Mineral Deposits*, 1998, 17 (2): 97 ~ 113.
- [75] 谭富文, 王高明, 惠兰, 等. 藏东地区新生代构造体系与成矿的关系 [J]. *地球学报*, 2001, 22 (2): 123 ~ 128.
- TAN Fu-wen, WANG Gao-ming, HUI Lan, et al. The relationship between Cenozoic tectonic regime and mineralization in eastern Tibet [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 22 (2): 123 ~ 128.
- [76] Miller A R, Densmore C D, Degens E T, et al. Hot brines and recent iron deposits in deeps of the Red Sea [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1966, 30 (3): 341 ~ 350.
- [77] 夏建新, 李畅, 马彦芳. 深海底热液活动研究热点 [J]. *地质力学学报*, 2007, 13 (2): 179 ~ 191, 118.
- XIA Jian-xin, LI Chang, MA Yan-fang. Deep-sea hydrothermal activity: A hot research topic [J]. *Journal of Geomechanics*, 2007, 13 (2): 179 ~ 191, 118.
- [78] Rona P A. Resources of the sea floor [J]. *Science*, 2003, 299 (5607): 673 ~ 674.
- [79] 涂光炽. 中国超大型矿床 (I) [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1 ~ 584.
- TU Guang-zhi. The super-large mineral deposits in China (I) [M]. Beijing: Science Press, 2000. 1 ~ 584.
- [80] 赵振华, 涂光炽. 中国超大型矿床 (II) [M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1 ~ 631.
- ZHAO Zhen-hua, TU Guang-zhi. The super-large mineral deposits in China (II) [M]. Beijing: Science Press, 2003. 1 ~ 631.

STUDY ON REGIONAL MINERALIZATIONS AND ORE-FIELD STRUCTURES: BUILDING OF MINERALIZING TECTONIC SYSTEMS

CHEN Xuan-hua^{1,2}, CHEN Zheng-le^{1,2}, YANG Nong^{1,2}

(1. *Key Laboratory of Neotectonic Movement & Geohazard, Ministry of Land and Resources, Beijing 100081, China;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: Geological structures have a close dynamic coupling relationship with regional mineralization under the control of tectonic stress fields and tectonic movements. Different kinds of structures, such as faults, folds, ductile shear zones, and crust-mantle coupling structures, exert control of mineralization in different ways. The distribution of mineral resources is controlled by tectonic systems at multiple levels. The organic combination of tectonic systems with mineralization systems brings on the building of mineralizing tectonic systems (MTSs). Globally several mineralizing tectonic systems have been recognized, including the Circum-Pacific MTS, the Tethys-Himalaya MTS, the Paleo-Asia MTS, the Oceanic Ridge-Continental Rift MTS, and craton MTSs. The building of mineralizing tectonic systems will prove to be important for study of regional mineralization and ore-field structural geology.

Key words: geological structure; mineralization; mineralizing tectonic system; geomechanics