

中国特大型金属矿床成矿偏在性与 成矿构造聚敛(场)*

裴荣富 熊群尧

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要: 中国特大型金属矿床成矿偏在性主要表现为对矿种、矿床类型、成矿时间和成矿背景的特殊选择, 而且主要取决于地质、地球化学和地球物理多种成矿控制因素非常罕见的耦合汇聚, 称之为异常成矿构造聚敛场。据国内主要特大型矿床的研究, 随地质历史演化初步可划分: 太古宙—古元古代同剪切异常成矿构造聚敛场、元古宙—古生代三同一体异常成矿构造聚敛场、中生代“行”、“列”、“汇”构造-岩浆异常成矿构造聚敛场、新生代多阶湖汇流异常成矿构造聚敛场。

关键词: 特大型矿床 成矿偏在性 异常成矿构造聚敛场

80年代末期, 国际上开始注意研究和寻找特大型矿床, 并逐渐形成潮流, 先后开展了一系列研究工作^[1~7, 22]。该项研究的学术思维已开始进入国际氛围。本文仅对异常成矿构造聚敛(场)及其与特大型矿床成矿偏在性的成因联系进行论述, 以阐明异常成矿构造聚敛场是导致特大型矿床偏在产出的重要原因, 以及其作为找寻特大型矿床的最佳途径^[8, 9, 22]。

1 特大型矿床成矿偏在性

在考查了国内已探明的208个大型矿床及48个特大型金属矿床并与国外108个特大型金属矿床综合对比之后, 作者将特大型矿床的成矿偏在性归纳为以下几个方面。

1.1 成矿金属元素的偏在

资料表明, 不是所有金属元素, 通过地质作用都可形成特大型矿床, 即使形成特大型矿床其数量也各不相同。据Laznicka(1994)对全球260个特大型矿床按不同金属矿床数量排序(图1)①, 可以看到排在前面的Cu、Au、Fe、Ag、Cr、Mn、Pb、Zn、Sb、Hg等, 较易出现巨量堆积, 排在后面的Li、Cs、Tl、Ti、Th、Y等则形成特大型矿床的几率要小得多, 从而反映了特大型矿床对金属元素的偏爱性。然而, 我国特大型矿床成矿金属元素的排序则位于图1的中段, 主要是W、Sn、Sb、REE、Pb、Zn、Mo、Bi、Ni等, 而且其中W、Sn、Sb、REE位居世界前列。因而成矿金属元素也因不同国家和地区的地质环境特殊而有不同区域性的偏在性。

1.2 成矿类型的偏在

每一矿种, 其矿床成因类型是多种多样的, 特大型矿床对矿床类型则表现出明显的选择性。例如全球已知铜矿床类型多达十余种, 但据22个储量大于1000万吨的铜矿床统计, 其中斑岩型12个, 占54%; 黄铁矿型1个, 占5%; 砂页岩型6个, 占27%; 铜镍硫化物型2个, 占9%。显而易见只有2~4种类型可形成特大型矿床, 其中又特别集中于斑岩型和砂页岩型。又如储量大于1000万吨的21个铅锌矿床中, Sedex型9个(占43%), MVT型4个(占19%), VMS型和脉型各2个(占9%), 近一半的铅锌矿床是以Sedex类

* 本文为国家自然科学基金资助项目(49572097)和地质矿产部“八五”基础研究资助(9501118)项目
第一作者简介: 裴荣富, 男, 1928年生, 研究员, 博士生导师, 长期从事区域成矿规律和矿床学研究。邮政编码: 100037
1998-12-01收稿, 1998-12-31修改回

① Laznicka P. 1994, The setting and affiliation of giant ore deposits, 1994, ABSTRACTS, 9th IACOD (2)

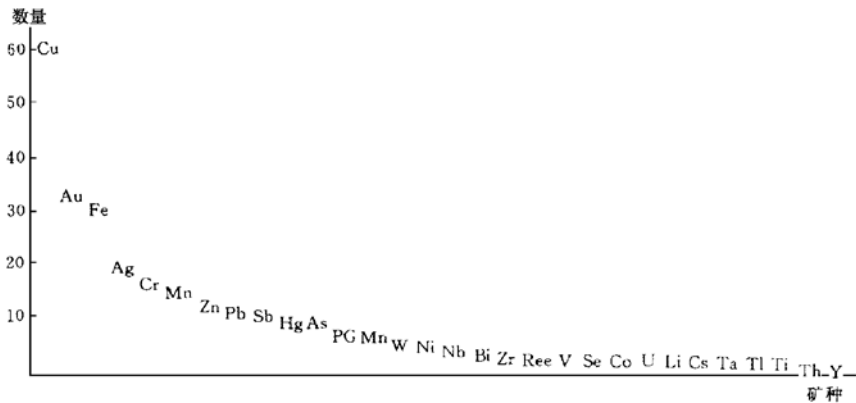


图1 不同矿种超大型矿床数目排序
(据 Laznicha, 1994)

Fig. 1. Sequence of number of superlarge ore deposits with different ore species.

型出现；还有一些金属元素的特大型矿床其产出类型更为局限，如Al为红土型，Ni为铜镍硫化物型，Ag多为火山岩型，Sn、W为夕卡岩型，Mo为斑岩型。

1.3 成矿时代偏在

据特大型矿床主成矿期的分析，它们也不均衡地偏爱产在地质历史时期的某一阶段。例如铁在各地质时期都有成矿作用，但大部分特大型铁矿床形成于新太古代—古元古代；特大型铅锌矿床中的Sedex型形成于中元古代和古生代，MVT型形成于古生代；特大斑岩型铜矿和钼矿形成于中—新生代；特大浅成低温热液和火山岩型金矿形成于新生代；特大岩浆热液型钨、锡、铋等矿床形成于中生代；盐湖型锂矿床形成于新生代—近代。这种在某一时期偏爱产出一定矿种的明显趋势，具有全球一致性。

1.4 成矿背景偏在

特大型矿床产出的地质部位也不是在任何地质环境中均可见及。据全球200多个特大型矿床资料，它们主要依赖于如下地质环境：①大陆边缘增生带或板块汇聚带；②克拉通内或陆缘裂谷系；③陆内构造-岩浆杂岩带；④前寒武纪花岗-绿岩带；⑤大型韧性剪切带。根据近期研究，上述这些背景中均可能与深部构造（过程）作用有关，而且往往位于两个构造单元的结合部位。

2 异常成矿构造聚敛(场)

成矿流体包裹体研究表明，无论是金矿、铋矿还是铜、镍矿种，不管它们的规模是特大型，还是中小型，其成矿流体并无本质差别（何知礼，1994）^①。说明特大型矿床不是有赖于其独立存在的流体才能形成，而是在矿源充足的前提下，促使成矿物质超巨量堆积的最佳有利控制因素及其在时空上的耦合。也就是说成矿组分的巨量堆积不是一时一事促成的，而是按不同成矿级次发展演化形成的。笔者称之为等级体制成矿^[9]：第一级次是控制地壳形成及演化过程的全球地质-热事件以及发生这些地质-热事件的成矿构造背景；第二级次是地质构造-热事件产生的地质、地球化学、地球物理等特殊有利的控制因素，发生异常聚敛构成的异常成矿构造“场”；第三级次是异常成矿构造场中由矿物共生及矿物共生组合达到物、化条件的一定平衡态时所表现的金属成矿“相”；第四级次是不同成矿相中形成不同类型的矿“床”，即“景”、“场”、“相”、“床”4个等级体制的成矿过程，才能作为全面评定一个成矿区带中特大型矿床的成矿远景^[8]。

① He Zhili, 1994, Characteristics and prospecting problems of ore-forming fluid of superlarge gold deposits, ABSTRACTS, 9th IAGOD (2)

较之一般规模矿床，特大型矿床则多产于罕见的异常成矿构造聚敛场中。“成矿构造场”的概念早在本世纪 60 年代 P Laffitte 研究法国成矿图时就已提出^[23]。80 年代末 J M Guilbert 将其发展为有利控矿因素的组合物体^①。然而，“异常成矿构造聚敛场”不是简单的空间场所或地域概念，而是各自异向的各种控矿因素的异常汇聚。这和板块聚敛带，在整体上有利控矿的效应是相似的。它是在有利成矿地质构造背景上发生成矿环境的突变，从而导致特大型矿床形成和产出偏在的重要原因。

从成矿“时间维”造就“空间维”的地质历史演化动态成矿概念出发(裴荣富, 1998)，现将我国特大型金属矿床划分为四个异常成矿构造聚敛场^[8]：

2.1 太古宙—古元古代同剪切形变异常成矿构造聚敛(场)

太古宙—古元古代是前寒武纪成矿构造域中特大型矿床偏爱产出的重要时、空域。近期研究认为太古宙陆块在新太古代时期经过分裂—聚合形成中国“原地台”^[10]，在聚合的结合部位的花岗-绿岩带中，由于各种有利成矿构造的汇聚，常形成沉积变质型和绿岩型铁、金等矿床。但是，只有当这些有利成矿控制因素与韧-脆性剪切带形成一种罕见的同剪切形变异常成矿构造聚敛场时，才能产生特大型矿床。

同剪切形变控制金矿的异常成矿构造聚敛主要有两种类型：

第一类是不同步褶皱同剪切形变控矿：即成矿作用是在含矿建造与共生围岩之间，因岩性韧度不同而出现的不协调褶皱与剪切形变为同一连续时间发生，并且在空间上也是连续的。富大矿(体)脉主要受控于韧-脆性和脆性剪切部位，脉体多穿切剪切理，似为后生脉产出。实际上，它们都是受同剪切驱动而使之在脆性断裂裂隙中形成，其特点是不切穿含金建造。如夹皮沟金矿为产于三道沟组与老牛沟组不同岩性组合结合带的含金建造发生不同步褶皱，并在其韧-脆性剪切扩容带中形成的含金石英脉。脉体虽显示为后生脉，但不切穿含金建造，仍属于同剪切脉(图 2)。当然，显生宙花岗岩浆成矿作用的后期叠加矿化除外。

上述同成矿剪切控矿的特大型矿床实例是与应力-应变-时间曲线或称“ $\epsilon\sigma T$ 轨迹”相合的(邱小平, 1995)。该轨迹表示三种形变：①为脆性低能形变，Au 元素不被活化，难以成矿；②为韧性高能形变，Au 元素被活化，但未有就位空间；③韧-脆性高能—低能形变，Au 元素活化并有就位空间而成矿。据之可以看出，必须是时、空连续发生同剪切的控矿空间，才能有利成矿。

第二类是共轭同剪切形变控矿：即在复式剪切形变构造聚敛带中，当其第一带顺时

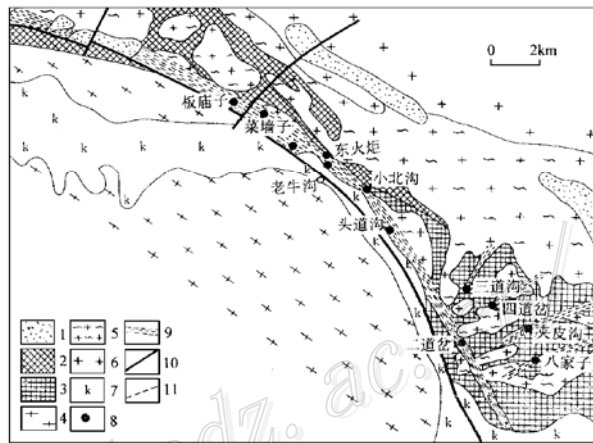


图 2 夹皮沟花岗-绿岩型金矿同剪切形变控矿平面图
1—呼兰群；2—夹皮沟岩群三道沟组；3—夹皮沟岩群老牛沟组；4—片麻岩-麻粒岩区；5—太古宙英云闪长质-奥长花岗岩质片麻岩；6—华力西期花岗岩；7—钾质花岗岩；8—金矿床；9—韧-脆性剪切带及含金石英脉；10—地质界线；11—推断地质界线

Fig. 2. Geological map of the Jiapigou granite-greenstone gold deposit, showing syn-shearing deformation ore-controlling role.

1—Hulan Group; 2—Sandaogou Formation of Jiapigou Group Complex; 3—Laoniugou Formation of Jiapigou Group Complex; 4—Gneiss-granulite area; 5—Archean tonalitic-trondhjemitic gneiss; 6—Variscan granite; 7—Kaligranite; 8—gold deposit; 9—Ductile-brittle shear zone and auriferous quartz vein; 10—Geological boundary; 11—Inferred geological boundary.

① Guilbert, J. M. and Charles F. Park, Jr., The geology of ore deposits, W. H. 1986, Freeman and company, p. 935~946

针和第二带逆时针向深部呈雁行斜列延伸剪切时,可能会在一定深度部位相交,并形成类似共轭状结合在一起的复合剪切带(图3)。根据椭球应变理论将剪切热应力作用分为压热主剪切(sd)和顺时针、逆时针张热剪切(sb)。如果其中张热剪切异常地顺向和逆向斜列延深至一定深度相互交汇形成共轭剪切(csb)时将是最大控矿空间。这一模式在华北地块北缘中段分布的剪切带内均有可能形成。例如金厂峪金矿床即为产在剪切带的韧-脆性张裂中的大型石英脉体,但明显地受控在共轭剪切部位形成的复式大脉中(图4)。共轭剪切形成含金石英脉的时代应是多期的,包括显生宙。

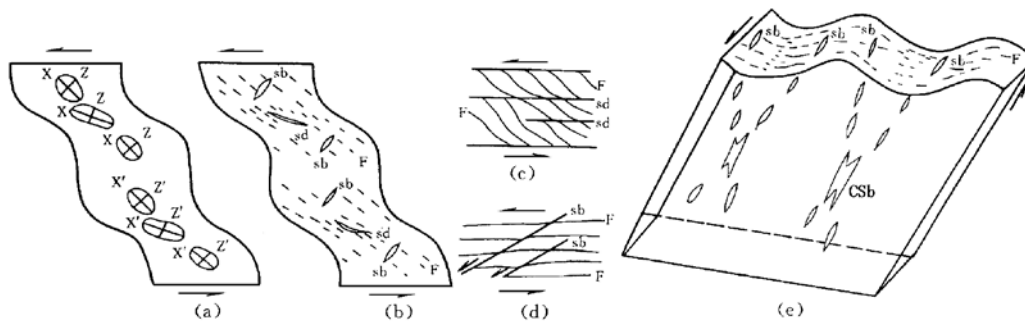


图3 复式剪切构造带共轭剪切形成演化模式

(a) 一剪切复合带内有限应变椭球体; (b) 一剪切复合带内有限应变的剪切叶理F、压扭性主剪切Sd、张扭性顺向和逆向剪切Sb; (c)、(d) 一剪切叶理F与Sd、Sb的演化关系; (e) 一顺向和逆向剪切向深部斜列延深形成共轭剪切(CSb)

Fig. 3. Formation and evolution model of conjugate shear in the composite shear structural zone.

(a) —Finite strain ellipsoid within shear compound zone; (b) —Shear foliation F of finite strain, compresso-shearing principal shear Sd and tenso-shearing consequent and reverse shear Sb within the shear compound zone; (c), (d) —Evolutionary relationship between shear foliation F and Sd, Sb; (e) —The en echelon extension of consequent and reverse shear toward the depth, forming conjugate shear (Csb).

2.2 元古宙—古生代三同一异常成矿构造聚敛(场)

元古宙—古生代是中国“原地台”分解和古亚洲构造域形成时期。在这个时期,中朝地台、扬子地台发育陆缘—陆内裂谷和拗拉槽构造环境。三同一异常成矿构造聚敛场是这种环境中特大型矿床的最佳成矿场地。三同一是指同成矿生长断裂、同成矿不同步褶皱和同成矿角砾岩三种控矿因素在时间和空间上的最佳异常耦合。元古宙—古生代的特大型铅、锌、铜矿床多为以碳、泥、硅质碎屑岩(含火山岩)和碳酸盐岩为容矿岩石的层状和似层状矿床。如白云鄂博铁-铌-稀土矿床、东升庙硫、铅锌矿床、陕西厂坝—李家沟铅锌矿床、凡口铅锌矿床、锡矿山锑矿床等^[11,12]。

显然,这些矿床的成因尚存在很多不同看法,但当代矿床学家的一般共识是其成矿为处于盆地不断沉降,并能接受巨厚含矿物质堆积环境的补偿和伴有有利喷流通道传输大量物源补给,特别是它们都与同成矿生长断裂的补给密切相关。如果被补给的成矿物质按在一定层位空间堆积的同时或稍后,又因堆积矿层为弱韧性,受同构造作用与围岩间发生不同步褶皱,其中强揉皱矿层层位之间相对未或弱揉皱围岩的空间容积将会增大数倍至几十倍,矿物质继续堆积量也将随之扩大。据此可以认为同成矿生长断裂和继而发生的不协调褶皱耦合聚敛对喷流沉积矿床起到特殊的控矿作用。这一作用在M Person (1997)研究大陆裂谷盆地热流模式时已有表达^①。他提出张性盆地、消减带、扩张脊和碰撞带不同环境热流体的不同驱动形式。其中张性盆地

① Mark Person. 1997, Mathematical models of transient hydrothermal flow within continental rift basin. Extended Abstracts, International Field Conference on Carbonate-Hosted Lead-Zinc Deposits, SGA, AEG & USGS, 234~236

构造驱动将受同成矿断裂不断供应成矿物质。Grant Garven (1997) 在研究层控矿床成因时提出同水动力和反应流 (reactive flow) 在盆地中驱动成矿物质传输到矿区,再到矿床,如果先前堆积的矿层受反应流作用发生揉皱,将增大成矿物质不断补给的空间容积,从而有可能堆积成特大型矿床。应该指出,这种同成矿不同步褶皱不同于成矿后的变形、变质重就位。重就位只是使初始矿层形变增厚和加富,其规模不会有很大变化。

另据我们研究特大型锡矿山锑矿床时,不仅发现同沉积和不同步褶皱成矿(图 5),还发现同成矿层状角砾岩成矿。层状角砾岩在矿区分布广泛,多集中于不同步褶皱的背斜及翼部的倾伏端。角砾成“石堆”产出,貌似“活化层”,实为同成矿的锑矿化不断补给堆积而成。层状角砾岩中矿石类型样式很多,角砾结构碎裂而不紊乱,去掉矿化部分可重嵌于一体,反映其矿化在同角砾破碎空间堆积。同不同步褶皱和同角砾岩成矿是同构造开拓物源堆积空间而成矿,类似 M Sass-Gustkiewica (1997) ① 提出的溶洞内沉积。它们都不同于开放沉积。锡矿山飞水岩地区这种同成矿角砾岩长达 3000~4000 m,垂向延伸达 4000 m,其规模不同一般。

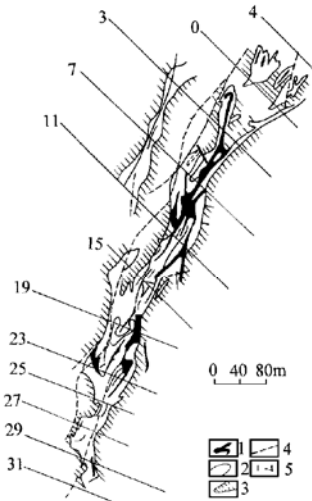


图 4 金厂峪金矿复式共轭同剪切形变控矿图
(中段平面图)

1—复式共轭含金石英脉;2—共轭同剪切构造带;3—含矿绿岩岩系;4—断裂带;5—勘探线

Fig. 4. Composite conjugate syn-shearing deformation ore-controlling action in the Jinchangyu

gold deposit (plan at the middle level).

1—Compound conjugate gold-quartz veins; 2—Conjugate syn-shearing structural zone; 3—Ore-bearing greenstone; 4—Fault zone; 5—Exploration line.

这一异常成矿构造聚敛控矿模式,在中国东部地区十分发育。主要是环太平洋成矿构造域叠覆在前中生

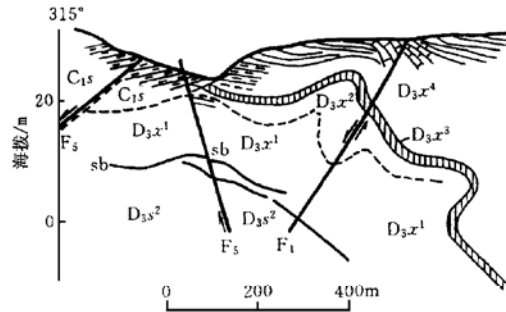


图 5 锡矿山锑矿 8.37 号断面的不协调褶皱
(据冶金 246 队 1995 资料修改)

泥盆系不同层间发生褶皱,其中 D_{3s^2} 与 D_{3x^1} 间为同不协调褶皱制约 Sb (矿层)

Fig. 5. Discordant fold along No. 8.37 geological section of the Xikuangshan antimony deposit.

三同一体异常成矿构造聚敛最有利于沉积岩容矿的特大型层控矿床。三同一体最佳耦合必竟是少见的,常见的是“一同”、“二同”,但也都形成特大型矿床。如白云鄂博特大型铁-铌-稀土矿床、东升庙硫铁铅锌矿床和凡口铅锌矿床等。锡矿山特大型锑矿床则在“二同”的基础上又叠置同角砾成矿。然而这种同生长构造成矿仅是形成特大型矿床的一种主要控制因素,其他因素,诸如充分物源补给、显生宙构造-岩浆作用的成矿叠加和改造等等也不容忽视。

2.3 中生代“行”、“列”、“汇”构造-岩浆异常成矿构造聚敛(场)

① Maric Sass-Gustkiewica, 1997, Internal sediments as a key to understanding the ore-forming processes in the upper Silesia Zn-Pb ore deposits, Extended Abstracts, International Field Conference on Carbonate-hosted lead-zinc deposits, SGA, USGA, AEG, 264~966

代成矿构造域之上。如华北地台北缘地区,由于存在前寒武纪地块、古亚洲造山带和滨西太平洋构造带三个全球性构造叠加,从而体现了“行”、“列”、“汇”构造样式,作者称为“L”(Lines)、“R”(Rows)、“C”(Clusler)模式^[24]。这里的“行”指前中生代近东西向构造带方向,“列”指中生代矿床在中国东部表现的NNE—NE以及NW构造带方向,上述构造带交叉处则称“汇”。在“汇”附近出现中生代构造岩浆的耦合将形成异常成矿构造聚敛场。例如在华北地台北缘及其邻区的网格状线性构造十分发育,其中EW向基本是前中生代超壳深大断裂带的反映,具有承前启后的导岩导矿作用;NE向是中生代发动前中生代导岩导矿构造活化的引擎,也是形成中生代构造岩浆成矿作用的主导。但是,构造方向交叉的哪一结点能成为异常成矿构造聚敛场?还要取决于结点的构造-岩浆是否具备共(源)岩浆补余分异效应。

共源岩浆补余分异作用是指岩浆在共源岩浆库的特定地质环境(如多期、多阶段、脉动的张性断裂构造环境)或特定的物理、化学条件下(如逸度和电位势能等的韵律性变化),方可发生补余分异效应^[13]。补余分异效应是指一个熔体(流体)的总组分,在多期(次)分异过程中,第一期(次)分异体的组分相对总组分的不足由第二期(次)分异体予以补余,第二期(次)由第三期(次)补余,依期(次)补余直至分异过程达到平衡态而停止。多期分异补余组分的总和与岩浆库总组分相同。据大量地质调查发现复式岩体的不同期次定位出现补余分异的现象屡见不鲜。其中与柿竹园特大型钨多金属矿床成矿有关的多阶段花岗岩晚期阶段的补充岩体就是共(源)岩浆补余分异的结果。最具代表的应属著称于世的西华山黑钨矿石英脉型矿床^[14,15]。该矿床产于华南加里东碰撞造山的赣南后造山隆起区,与成矿有关的复式花岗岩呈岩株状定位于寒武系浅变质的板岩、千枚岩、变余粉砂岩中,出露面积为19.12 km²。主要由4个阶段的黑云母花岗岩体组成:第一期为燕山早期第一阶段侵入的斑状中粒黑云母花岗岩(γ_5^1);第二期为燕山早期第二阶段侵入的中粒黑云母(含斑细粒二云母)花岗岩(γ_5^2);第三期为燕山早期第三阶段侵入的斑状中细粒黑云母花岗岩(γ_5^3);第四期为燕山晚期第二阶段侵入的斑状细粒花岗岩(γ_5^4)。四期岩体基本上是先后穿切的。四期岩体总组分和各期次的分组分见表1。各期次岩体SiO₂和其他Al、K、Na、Fe、Ca、Mg、Mn、Ti的氧化物依次出现一高一低的振荡现象(图6)。该振荡现象正是共岩浆补余分异效应的表现。西华山岩体主侵位年代为163×10⁶~140×10⁶ a,可以推断本区的共源岩浆补余分异作用可能持续约达23×10⁶ a。赣南后加里东隆起区的共岩浆补余分异作用与该区表壳的“行”、“列”、“汇”构造耦合是西华山—大吉山特大型矿床成矿偏在的异常控制条件。

表1 西华山不同期次岩体平均化学成分(%)

Table 1. Average chemical composition of intrusives of various stages in Xihuashan

岩体	样数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	灼失	总计
γ_5^1	3	76.37	0.04	12.09	0.18	1.22	0.11	0.20	0.75	3.73	4.46	0.05	0.66	99.86
γ_5^3	14	75.47	0.05	12.69	0.34	1.25	0.10	0.27	0.68	3.83	4.52	0.07	0.65	99.92
γ_5^2	39	75.84	0.03	12.64	0.22	1.18	0.11	0.17	0.57	4.16	4.29	0.05	0.62	99.87
γ_5^4	9	74.61	0.10	12.60	0.35	1.73	0.07	0.45	1.19	3.39	4.71	0.05	0.70	100.04
平均值		75.57	0.06	12.51	0.27	1.35	0.10	0.27	0.80	3.78	4.50	0.06	0.66	99.95

另外,共源岩浆补余分异与行、列、汇构造样式的耦合,还可以从地球物理研究得到进一步解释。华南一带软流圈为剪切波速度高值薄层区,岩石圈地幔为高值厚幔区,其上部的岩石圈厚度大,软流质向上运移受阻,地幔物质不易到达地表,只有当太平洋板块俯冲时,发生陆缘—陆内造山,软流层才有机会沿地壳拆离断层上升,形成同熔-重熔型岩浆和与之有关的特大型矿床。在中国华南南部陆内出现地震波垂向低速带与行、列、汇耦合部位,也是评估该“行”、“列”、“汇”具成矿远景的地球物理标志^[24]①。

共源岩浆补余分异效应形成特大型矿床,同样可以出现在共源基性-超基性岩浆矿床中。如与基性岩有关

① Pei Rongfu, Peng Chueng and Xun Qun Yao, 1998, Deep tectonic processes and superaccumulation of metals in Mesozoic intracontinental orogenic belt of Nanling metallogenic province, Abstract of 4th IGCP-354

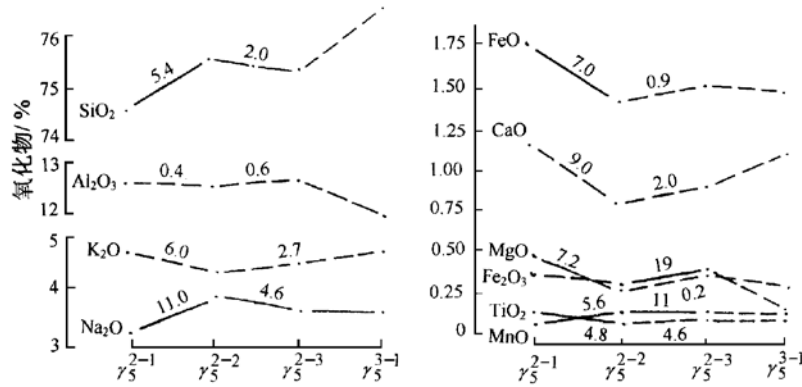


图 6 西华山不同期次岩体补余分异岩浆成分振荡曲线

Fig. 6. Compositional oscillatory curves of supplementary differentiated magma in Xihuashan intrusives of various stages.

的特大型攀枝花钒钛磁铁矿床，其成岩成矿地质背景属扬子板块的西缘裂谷带，赋矿岩体为偏碱性辉长岩为主的层状岩体，间夹辉石岩和辉石橄榄岩。岩石类型、组成和岩石基性度由下向上呈韵律式变化，为多期次侵入的复式岩体。据岩体的 Sm-Nd 年龄值为 $(283 \pm 38) \times 10^6 \sim (197 \pm 60) \times 10^6$ a^[16]，它是经历了二叠纪早期至三叠纪末—侏罗纪初漫长的岩浆补余分异作用的结果。又如特大型金川铜镍硫化物矿床，是小岩体 (1.13 km²) 形成特大型矿床的特殊实例。小岩体受控于中朝地台西南缘阿拉善边缘隆起区的超壳深断裂。成岩成矿年代为 1508×10^6 a (Sm-Nd 法)，小岩体形成特大型矿床的主要原因不是其本身的分异，而是由深部同源岩浆库发生四期先后补余分异上侵而成矿的^[17]。其补余韵律第一期以最上部的硅酸盐岩浆上侵为主，仅伴有少量金属硫化物析出；第二期以含矿岩浆上侵为主，熔离出巨大的似层状矿体；第三期为富矿岩浆上侵，在岩体上部和根部形成巨大的透镜状矿体；第四期以矿浆贯入为主，在岩体底部或根部裂隙中形成富矿。四期补余的方式是由硅酸盐岩浆到富矿浆逐次补余的，不同于上述长英质岩浆的一高一低的振荡式补余。但是，如果这种逐次补余方式在特殊构造条件下重复出现旋回时，则同样是振荡式补余。据此，我们可以预测，如果金川矿区出现旋回振荡补余分异作用，将是成矿作用的特大异常，其成矿远景将会更大^[18]。

2.4 新生代多阶湖汇流异常成矿构造聚敛(场)

新生代在我国西部，由于印度板块向北漂移与西伯利亚板块碰撞、挤压，出现大量逆冲断裂和作为调整的断块差异升降运动。仰冲侧的藏滇板片发生了强烈火山-岩浆活动并造山隆起，地壳加厚，随着板块俯冲后期应力松弛，高原地区出现了星罗棋布的第四纪内陆盆地。这就是多阶湖汇流异常成矿构造聚敛场发

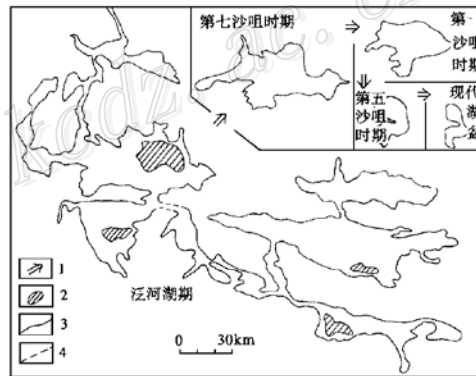


图 7 距今 30000×10^6 a 以来扎布耶湖水分布范围变化 (据郑绵平, 1995)

1—方向；2—岛屿；3—泛河湖界线；4—推测界线

Fig. 7. Variation of lake-water distribution of Zhabuya Lake since 30000×10^6 a.

1—Direction; 2—Island; 3—Boundary of pan-lake; 4—Inferred boundary.

生的主要地质环境^[19]。大面积分布的泛河湖区经区域构造变动后形成不同高差的阶梯状多阶湖盆,致使初始泛河湖中的含矿物质向最低阶湖盆中汇流,从而使超巨量成矿物质集中堆积形成特大型矿床。这种高原盐湖多阶汇流异常成矿构造聚敛控矿的代表性矿床主要是中国西藏特大型扎布耶盐湖矿床。

扎布耶盐湖初始泛河湖面积 9780 km², 形状不规则, 湖水横溢, 矿化分散, 自 30000~25000 a 以来, 新构造运动不均衡隆升, 泛河湖解体并经 8 次沙咀时期, 最后进入现代湖盆, 形成 8 阶梯以上的不同高差的多阶湖, 最低一阶则为扎布耶(图 7)。与最高湖面相比, 其高差大于 179 m, 湖水面积由 9780 km² 缩小为 242 km², 湖水体积由 11700×10⁸m³ 缩小为 1.7×10⁸m³, 现代湖比溢流面积缩小 6882 倍(表 2)。据此, 可以看出, 多阶湖落差大, 湖水的地貌驱动力大, 流体有力携带成矿物质迁移, 又因泛河湖体积缩小达 400 余倍, 使成矿物质发生特殊的浓缩富集, 这就是泛河湖分散的成矿物质在异常驱动汇流下的富集成矿作用。

表 2 扎布耶湖盆湖水体积收缩估算

Table 2. Estimated reduction of water volume of Zhabuya lake basin

阶 段	面积/km ²	体积/(10 ⁸ m ³)	收缩倍数	计算体积时 采用的平均 深度/m	湖 水 体 积	
					累进缩小/%	上下阶段 相比缩小/%
溢流面	9880	11700	0	120	0	0
第 8 沙嘴	1381	665	17.6	48.2	94.32	94.32
第 7 沙嘴	1350	576	20.3	42.7	95.08	13.38
第 6 沙嘴	1150	451	25.9	39.2	96.15	21.7
第 5 沙嘴	810	267	43.8	33	97.72	40.80
第 4 沙嘴	720	199	58.8	27.6	98.30	25.47
第 3 沙嘴	550	101	115.8	18.3	99.14	49.25
第 2 沙嘴	480	68.6	170.6	14.3	99.41	32.08
第 1 沙嘴	350	24.5	477.6	7	99.79	64.29
现代盐湖	242	1.7	6882.4	0.7	99.985	93.06

3 结 论

(1) 特大型矿床的定量概念是特别大之意, 未采用现通用的超大型、巨型、超巨型等词语, 原因是这些词语虽然都给予了不同内涵而作了定量概念, 但都不能概括不同矿种、不同国家或地区的超大型、巨型等矿床储量概念之全^[20,25]①。为此, 本文暂以特大型矿床来概括超大型、巨型和超巨型全部矿床在内, 意指这一类矿床具有特殊成矿性, 是一般成矿作用发生异常的产物。我们把它比作是大、中、小矿床中的“癌”。这和人类一般寿命为 70~80 岁, 少数长寿老人活到 130~150 岁一样, 他们是当代人类寿命中的异常。异常的“基因”是什么? 应是研究特大型矿床特殊成矿的基础问题。

(2) 通过大量资料统计特大型矿床具有成矿偏在性, 并受控于“异常成矿构造聚敛场”。这里要讨论的是偏在性虽然是客观存在的, 但在不同国家或地区的不同成矿环境下, 还存在区域的特殊性。因而成矿偏在性作为探讨特大型矿床成矿理论意义时, 必须根据其区域成矿特殊性予以辩证认识。

(3) “异常成矿构造聚敛场”是指多种有利控矿因素, 包括地质的、地球物理的和地球化学的全部控矿因素都能有机地汇合, 并发挥最大的综合控矿作用而形成特大型矿床。实际上, 能够满足形成这种聚敛场的机率是很小的, 聚敛场的形成无疑是异常的。但是, 异常成矿构造聚敛场即使形成也仅是控矿因素, 如果没有

① Laznick P., Derivation of giant ore deposits, Abstracts, 28th IGC, 1989, Vol. 2 of 3, 2—268—269

足够的物源补给，巧妇也难作“无米之炊”。所以，异常成矿构造聚敛场必须发生在金属地球化学高背景场上。但是，如果仅有高背景场，没有异常成矿构造聚敛场控矿，也不能形成特大型矿床。物源场和控矿场是相辅相成的，实际上金属地球化学场出现的异常场多是异常成矿构造聚敛作用促成的。所以，本文重点研究的异常成矿构造聚敛场，实质上也已反映了物源问题。

(4) 特大型矿床受控异常成矿构造聚敛场，但聚敛场仅仅是一个金属成矿省或成矿区(带)中，4个等级体制成矿的(背)“景”、聚敛“场”、(成矿)“相”、(矿)“床”中的一个中观序次^[20,21]。因而，它必须与宏观的成矿背“景”和微观的金属成矿“相”，在成矿的地质历史演化过程中达到耦合才有可能形成特大型矿床。所以，从地质历史演化的动态观点，在一个金属成矿省内有序次地深化研究4个成矿等级体制的耦合成矿规律是研究特大型矿床成矿的新发展方向，也是变革以往仅仅依靠建立模型对比试图发现第二个该特大型矿床而不能成功的新进展。因为特大型矿床成矿是偏在的，成矿作用是异常的，类比标志复杂，仅凭外貌特征对比难于识别其真伪。这和饰国家领导人的演员一样，它们外貌酷似，但历史大相径庭。

参 考 文 献

- 1 涂光炽. 关于超大型矿床的寻找和理论研究. 矿物岩石地球化学研究, 1989, (3): 163~168.
- 2 裴荣富, 吴良士. 在我国开展寻找超大型矿床的若干基础研究问题讨论. 矿床地质, 1990, 9 (3).
- 3 裴荣富, 吴良士. 中国东部区域成矿研究述评. 矿床地质, 1990, 9 (1).
- 4 裴荣富, 吴良士. 找寻特大型隐伏矿床的衍生矿床导向和成矿轨迹追踪研究. 矿床地质, 1994, 13 (3).
- 5 裴荣富. 姻袭成矿与特大型矿床. 矿床地质, 1997, 16 (1): 93~96
- 6 裴荣富, 吴良士. 金属成矿省演化与成矿. 地学前缘, 1994, (3~4): 95~99.
- 7 裴荣富, 吴良士. 特大型矿床成矿偏在性研究的新进展. 矿床地质, 1994, 13 (2).
- 8 裴荣富, 吴良士. 特大型矿床与成矿环境和成矿作用异常. 见: 中国地质学会矿床地质专业委员会编: 第五届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 1993, 127~129.
- 9 裴荣富, 熊群尧. 成矿学和成矿年代学研究的新进展. 中国地质科学院矿床地质研究所刊, 1998, 第1号.
- 10 伍家善. 华北地台早寒武纪重大地质事件. 北京: 地质出版社, 1991.
- 11 白鸽, 袁忠信. 白云鄂博矿床地质特征和成因论证. 北京: 地质出版社, 1996.
- 12 裴荣富主编. 中国矿床模式. 北京: 地质出版社, 1995.
- 13 裴荣富. 共(源)岩浆补余分异作用与成矿. 矿床地质, 1995, 14 (4): 376~379.
- 14 陈毓川, 裴荣富等. 南岭地区与中生代花岗岩有关的有色及稀有金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 1989.
- 15 毛景文, 裴荣富, 李红艳. 柿竹园超大型钨多金属矿床形成的几个异常因素争议. 矿物岩石地球化学通讯, 1994 (2).
- 16 卢纪仁. 峨嵋地幔柱的动力学特征. 地球学报, 1996, 17 (4).
- 17 汤中立, 李文渊. 金川超大型硫化镍矿床成矿地质背景. 见: 中国地质学会矿床地质专业委员会编: 第五届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 1993.
- 18 裴荣富. 特大型矿床成矿偏在性研究—成矿物质巨量堆积动力学系统. 中国学术期刊, 1998, 1~2.
- 19 郑绵平, 向军等. 青藏高原盐湖. 北京: 北京科学技术出版社, 1989.
- 20 裴荣富. 金属成矿省演化与特大型矿床. 矿床地质, 1997, 16 (2): 169~170.
- 21 裴荣富. 金属成矿省的地质历史演化和成矿年代学研究新进展. 矿床地质, 1997, 16 (3).
- 22 Pei Rongfu, Wu Liangshi, Xiong Qunyao. Metallogenic preferentiality and exceptional metallogenetic convergence (site) of giant ore deposits. Global Tectonics and Metallogeny, 1997, 6 (2).
- 23 Lafitte Permingeat P F, Routhies P. Cartographic metallogenigul, metalloctect at geochimie regionale. Soc. Frane. Mines. Bull. 1965, 88: 3~6
- 24 Rongfu FEI, Xiaoping QIU, Cong PENG. Tectonic settings and minerogenetic series in north China. Resource Geology Special Issue, 1995, (18): 171~178

25 Guangzhi Tu. Some problems pertaining to superlarge ore deposits of China. *Episodes*, 1955, 18, (1 & 2): 83~86

METALLOGENIC PREFERENTIALITY AND METALLOTECT CONVERGENCE OF UNIQUE ORE DEPOSITS IN CHINA

Pei Rongfu and Xiong Qunyao

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences)

Key words: unique ore deposit, metallogenic preferentiality, exceptional metallotect convergence

Abstract

Metallogenic preferentiality of giant metallic deposits of China mainly finds expression in their special selectivity towards specific ore-forming metals, deposit type, and ore-forming time and background, and depends chiefly upon coincident associations or couplings of geological, geochemical and geophysical ore-controlling factors. Such associations or couplings are called exceptional metallotect convergences, which can be divided into Archean-Paleoproterozoic syn-shearing exceptional metallotect convergence site, Proterozoic-paleozoic trinity exceptional metallotect convergence site, Mesozoic "row-line-cluster"-magmatic exceptional metallotect convergence site and Cenozoic multi-level lake confluence exceptional metallotect convergence site. Each "convergence site" corresponds in time domain to an superlarge deposit whose ore-forming metals and deposit type are typically controlled by the convergence site.

<http://www.kcdz.ac.cn/>