

矿床地质学研究的发展趋势: 深部构造与成矿作用*

沈远超 邹为雷 曾庆栋 刘铁兵
(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

摘要 深部构造是源于地球内部深层次的大型区域构造, 它们控制了地壳上部矿区、矿床尤其是大型、超大型矿床的物质来源、形成过程及赋存部位等成矿作用。深部构造与成矿作用关系的深入研究是矿床地质学目前研究工作的前沿课题和今后的发展趋势。

关键词 深部构造 地幔 成矿作用

长期以来, 在矿床地质学研究领域, 野外露头考察、镜下观测、岩矿测试等地质、地球化学方法始终是研究矿床地质背景、成矿条件和矿床成因等的基本方法, 虽然部分研究人员也使用了一些地球物理勘测技术和遥感技术等, 来研究岩石、构造等成矿作用的控制, 即依据地壳表层所出露的岩石、构造、地层等基本地质因素来推断地质作用过程包括成矿作用过程。但所有这些, 往往仅涉及地壳的极浅层次, 对于有出露和埋浅近地表矿床的研究是有成效的。随着现代地质工作的逐步深入, 研究程度在日益提高, 目前, 地质工作对象已由地表转入地下。相应地, 矿床地质学的研究重点也转向了地壳内部隐伏矿床的研究和大型、超大型矿床的寻找和预测。此外, 业已发现的一些超大型矿床均具有其独特的成矿地质环境和产出的唯一性, 迄今尚未发现其同类型的大型、超大型矿床, 如奥林匹克坝含金铀砾岩型矿床及穆龙套超大型金矿床等。成矿元素在局部区域如此大规模聚集的成因机理, 是地壳浅层次因素所不能控制和解释的。上述原因促使地质工作者向地球内部寻找控矿因素, 而涉及深部地壳和地幔的大规模深部构造正日益引起众多专家学者的注意。参与一九九八年八月在澳大利亚召开的关于地幔构造国际会议的专家们认为, 源于地幔等地球深层次的深部构造控制和影响了地壳上部矿床的形成和分布, 以地幔异常隆起构造为代表的深部构造与成矿作用关系的研究, 已成为当前矿床地质学研究的前沿课题和未来矿床地质研究工作的发展趋势。

* 沈远超, 男, 1943年生, 研究员, 博士生导师, 主要从事岩浆流体、金矿地质及成矿预测等方面研究。
1998年9月28日收稿, 1999年4月改回。

1 深部构造的影像特征及形成原因

所谓深部构造一般是指起源于下地壳或地幔等涉及地球较深层次的大规模区域性构造, 其中, 由于地幔上隆所造成的异常隆起构造带则是与成矿作用关系密切的深部构造的典型代表, 也是深部构造的主要组成部分。在地壳浅部和地表上, 深部构造常表现为大型断裂构造带、大型剪切带等区域性线性构造带, 少数也可形成明显的环形构造, 如广东韶关盆地的涡旋构造。在地形和遥感影像上, 深部构造具有清晰的线性或环形地貌影像特征。运用地球物理技术测量方法, 诸如航空地磁测量、地球重力测量等可以比较容易确定深部构造在地表上的位置。在这些地球物理量的等值线图上, 异常区(带)的分布、走向等均与深部构造相一致。比较典型的如澳大利亚南部 Curnamona 克拉通内的巨型环形构造, 在航磁等值线图上, 表现出强烈的环形正异常, 这与地质事实是相吻合的[1998, Tim O Driscoll *et al*]。近年来发展起来的地震层析成像技术很适合运用于热异常现象研究, 也完全可以圈定地壳深部大规模岩浆活动和上地幔隆起所造成的热异常区(带), 据此可以确定与之有关的地幔异常隆起等深部构造的平面形态、规模和准确的大地构造位置, 日本研究人员在这方面已取得了较大的成果[1996, Kravchenko *et al*]。

总结分析全球范围内深部构造的成因机制, 主要有以下几种因素影响和控制了区域性深部构造的形成和演化过程, 它们是:

1.1 地球运行异常

Kochemasov(1998)认为, 由于宇宙天体的影响, 地球在轨道的运行中发生波动异常, 造成地球内部各层圈特别是软塑性圈层的不均衡隆起拗陷、平移。在重新达到平衡的过程中, 形成了异常的地幔隆起、深大断裂等深部构造带。日本研究人员利用地震层析成像技术对全球深部大地构造的研究表明, 在非洲大陆和南太平洋地区的确有超大规模地幔热柱的隆起。

1.2 地球内部物质的不均一性

造成地球内部物质不均一性的原因是多方面的, 例如在地球演化发展过程中原始地幔组成物质的不均一、温度压力对不同部位的影响等。由于不均一性的存在, 必然导致不同物质因均衡而趋向于重新分配, 在深部地壳、地幔内及壳幔之间, 发生物质的对流迁移, 可能引发深部软流体如地幔的大规模底辟上隆, 并造成浅部地壳的褶皱或断裂, 从而形成根植于地壳深部或地幔内的深部区域构造单元。

1.3 板块构造运动因素

许多深切岩石圈的深部构造往往是板块、地体等的边界或位于其边缘的附近, 例如我国南岭地区东南沿海褶皱带内的燕山期陆内造山带, 即产出于亚洲板块和太平洋板块的会聚部位, 呈北东—北北东向延伸方向, 与太平洋板块俯冲的走向方向完全一致。裴荣富等(1998)认为这是太平洋板块与亚洲板块相对运动碰撞的结果。

2 深部构造对成矿作用的影响

Jan Kutina(1998)对全球大型矿床与区域性深部构造关系的研究结果表明,表面上,矿床的分布受地壳浅层次应力作用所形成的断裂的强烈影响,但实质上,矿床的分布受地幔隆起等深部因素的控制。姚凤良先生在总结我国东部金矿床的成矿规律时,也把深大断裂的存在列在金矿产出的三个必要条件的首位。深部构造对成矿作用的影响和控制主要表现在以下几个方面:

2.1 深断裂构造对岩浆的控制作用

深大断裂构造是控制岩浆活动的重要因素之一。它们往往是岩浆上侵的通道,并控制了火山活动与岩浆侵位。如郯庐断裂系是我国东部一条巨大的左行走滑岩石圈断裂,它基本上控制我国东部中生代时期的火山作用和岩浆侵入。

2.1.1 对火山作用的控制

深大断裂控制了火山喷发作用,形成一系列火山岩。如郯庐断裂系,其东北段在晚侏罗至早白垩世时期,形成火山沉积建造,岩石组合为安山岩-英安岩-流纹岩组合,属钙碱性岩系,火山岩同位素锶初始比值为 0.70503 ± 0.00009 ,表明火山岩岩浆来源于上地幔,在其形成过程中可能有少量地壳物质的混杂,反映断裂深切上地幔,其动力来源为库拉板块向欧亚板块的俯冲作用:在白垩世-新生代,在太平洋板块反弹作用下,断裂带地壳处于伸展状,裂谷内依次形成含石膏层和玄武岩夹层、二辉玄武岩、玄武岩等,火山岩具碱性玄武岩特征,为碱性岩系,也反映其活动深达上地幔,形成于拉张构造环境中。

2.1.2 对侵入作用的控制

侵入岩的分布和产出受断裂的控制,断裂交汇处则是岩体产出常见的构造部位。如吉林省安图县海沟岩体,其产出受郯庐断裂系中NE向两江深断裂和近EW向华北板块北缘深断裂交汇构造系统的控制,同时也控制了大型海沟金矿床的形成;鲁西地区中生代次火山侵入杂岩的分布和产出则受郯庐断裂的次级构造(NW向调整构造)和NE向、NNE向及NNW向等次级断裂交汇部位构造系统的控制,如平邑铜石闪长玢岩-正长斑岩杂岩体、苍山龙宝山闪长玢岩杂岩体、沂南铜井地区各杂岩体(图1)等。

2.2 深部构造控制的断裂系统是成矿流体运移的通道和沉积成矿场所

深部构造在形成和后期的发展演化过程中,经常伴随着断裂的发育。这些由深部因素控制的断裂系统,孔隙度高,极有利于流体的渗滤流通,因此,这些断裂成为深部成矿流体大规模向上运移的通道即导矿构造。活动性深部构造所引发的不同深度层次的地震活动更进一步促进了这种作用的发生。另一方面,开放的断裂系统也使得大气降水向下渗流,并在断裂系统上部形成氧化环境。物理化学条件快速变化,有利于成矿物质自还原性流体中沉淀析出,在次级断裂等容矿构造内富集形成矿体。因此,深部构造控制的断裂系统是金成矿集中区。比较典型的例如我国东部金矿床的分布明显受近北东走向的郯庐断裂系的控制(图2)。

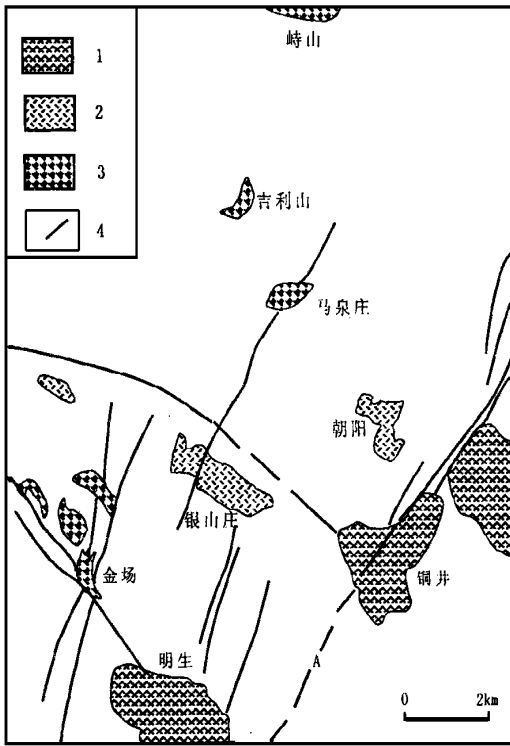


图 1 山东沂南铜井地区中生代侵入杂岩分布图
(据万天丰, 1992 略改)

1—辉长岩-闪长岩-闪长玢岩杂岩体; 2—正长闪长玢岩杂岩体; 3—花岗闪长岩-花岗斑岩杂岩体; 4—断裂; A—郯庐断裂西支-唐吾-葛沟断裂

Fig 1 Distribution map of Mesozoic intrusive complexes in the Tongjing region, Yinan, Shandong Province

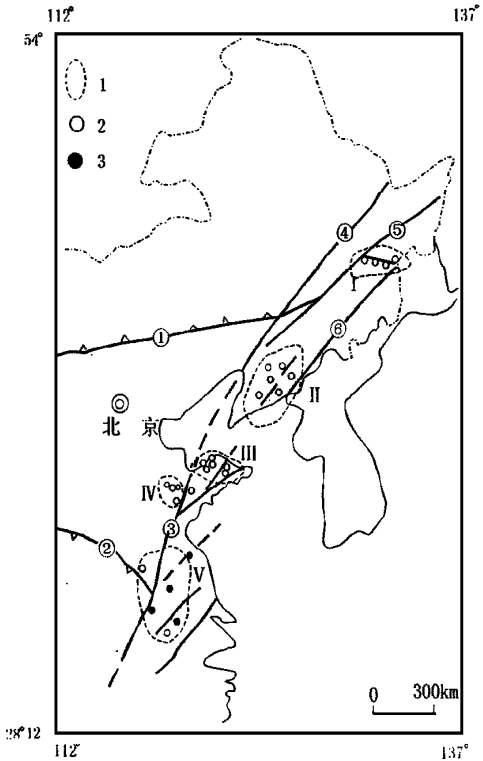


图 2 郯庐断裂及其金矿化带(区)分布图

1—金矿成矿集中区; 2—主要金矿床; 3—重要伴生金矿床; I—夹皮沟-海沟成矿带; II—丹东-营口成矿区; III—胶东成矿区; IV—临沂成矿区; V—长江下游成矿区; —华北板块北缘断裂; —华北板块南缘断裂; —郯庐断裂(中南段); —依兰-舒兰断裂; —敦化-密山断裂; —鸭绿江断裂

Fig 2 Distribution map of the Tanlu fault and gold mineralized zones (areas)

2.3 深部构造为成矿作用提供成矿物质

现代矿床及地球化学等研究工作已表明, 地壳深部与上地幔内铜、铅、锌、金等多种亲硫金属元素的含量比较高, 现已发现的产于地壳表层的大量矿床尤其是金矿床, 其成矿物质均来源于深部, 深部构造所拥有的深断裂系统为深源成矿物质向地壳浅层迁移就位提供了有利的运移条件。对于一些独一无二的超大型矿床, 只有深部的地幔物质才有能力提供其成矿所必需的大量成矿物质, 而地幔内原始物质组成成份的不均一性则导致了成矿元素在局部地段内的大规模富集及成矿作用的发生。

2.4 深部构造是成矿作用充足有效的动力来源

上隆的地幔及深部地壳内的构造岩浆活动、地震活动等均伴有大量能量的释放,这些热能不仅加热成矿流体,促使其在成矿系统内部作循环流动,更重要的是,它不断使流体流经区域内岩石中的尚处于惰性状态的成矿元素发生活化,进入流体迁移,参与成矿循环。一些与深部构造热活动有关的成矿作用之所以能够在地质历史过程中长期持续不断地进行,是与基底的构造热活动不断提供充足的热能分不开的。例如,澳大利亚南部维多利亚地区的金矿床,虽然金与流体均来源于地壳,但金矿床的形成却与地幔内的热事件分不开的[1998, Martin Hughes *et al.*]。

3 深部构造与成矿预测

深部构造的研究,使对矿床的研究不再局限于地壳表层的狭小范围内,同时也为大型、超大型矿床的成矿预测提供了新思路,幔枝构造成矿模式即是其中的一例。深部构造对矿区、矿床的影响和控制集中体现在以下几个方面:

(1) 矿化集中区及不同矿床类型的分布与深部构造所造成的地幔起伏有关。在地幔上隆区,尤其伴生有断裂系统的发育,一般均有较大规模的基性—超基性和碱性岩浆活动的发生,这对于与这些岩浆活动有关的矿床的产出是有利的,如与基性—超基性岩有关的铜镍硫化物矿床等。另外,深部地幔的上隆往往伴随有滑脱等地壳浅层次构造作用的发生,而由此造成的这些构造现已成为预测的重要研究对象。如胶东东部的层间滑动角砾岩型大业金矿,它的形成是由于地幔上隆作用,导致产生地壳的拉张,形成莱阳盆地,由于伸展作用,在盆地周边形成拆离构造,产生层间滑动,从而形成典型的层间滑动角砾岩型金矿床[1998, 沈远超等]。拉张盆地边部层间滑动断层带的存在与否,已成为目前在中国东部找寻层间滑动角砾岩型金矿床的关键所在。而另一方面,地幔拗陷区则多为地壳重熔型中酸性岩浆活动的多发部位及其专属性矿床的分布区。

(2) 深部构造控制的断裂系统,是成矿流体聚集、运移、沉淀成矿的有利场所。矿床往往赋存在规模较小的次级断裂系统内及不同构造的复合部位。如我国东部受太平洋板块俯冲影响,基本呈北东向的左行郯庐断裂系,控制了我国东部金矿化集中区的分布(图 2),我国一些特大型金矿床,如玲珑金矿、焦家金矿、三山岛金矿等众多金矿床均产于郯庐断裂系统次级断裂带内。

(3) 具深部因素影响的环形构造,其边缘或与其它线性构造的复合叠加区是寻找大型矿床的首选区。如胶东东部地区、山东临沂西部地区均是深部构造的发育区和影响区,具有巨大的找矿前景,根据这一分析,近年来我们把这两个地区作为重点预测和工作区开展金矿成矿预测工作,近期探矿验证表明取得了成功,如胶东东部大业金矿,根据层间滑动成矿理论预测金科研储量 20 吨,现已钻探验证 C+D 级金储量 19.6 吨。

参 考 文 献

- 1984 吴利仁主编 华东及邻区中、新生代火山岩 北京: 科学技术出版社, 1~ 287
- 1987 鄂莫岚, 赵大升主编 中国东部新生代玄武岩及深源岩石包体 北京: 科学技术出版社, 10~ 132
- 1987 沈远超, 郑祥身 牡丹江地区新生代火山岩初步研究 岩石学报, 3: 5~ 45
- 1998 沈远超, 曾庆栋, 刘铁兵等 山东省金矿类型及找矿方向探讨 黄金科学技术, 6(3): 1~ 5
- 1998 Tim O'Driscoll, Rodney Boucher The metal-rich west-northwesterly crustal corridor through the Curnamona, South Australia, The role of mantle-rooted structural discontinuities in the concentration of metals- a 3-dimensional approach International workshop
- 1996 Kravchenko S M, Khain V E Global lithospheric structures and mantle convection GEOLOGY, (3): 369~ 372
- 1998 Kochemasov G G Through structural discontinuities of various scales in connection with terrestrial degassing leading to crustal concentrations of metals and other deposits, The role of mantle-rooted structural discontinuities in the concentration of metals- a 3-dimensional approach International workshop
- 1998 Pei Longfu *et al* Deep Tectonic Processes and Superaccumulations of Metals in Mesozoic Intracontinental Orogenic Belt of Nanling Metallogenic Province, China, The role of mantle-rooted structural discontinuities in the concentration of metals- a 3-dimensional approach International workshop
- 1998 Jan Kutina The role of transregional mantle-rooted structural discontinuities in the concentration of metals: with examples from the United States, Uzbekistan and Buma, The role of mantle-rooted structural discontinuities in the concentration of metals- a 3-dimensional approach International workshop
- 1998 Martin Hughes, Neil Phillips The scale of ore fluid circulation in the Victorian gold province, Southeastern Australia, The role of mantle-rooted structural discontinuities in the concentration of metals- a 3-dimensional approach International workshop
- 1998 Li Xiaobo The relationship between the giant deposits clusters and mantle upwelling: from global to regional

RECENT DEVELOPMENT IN ECONOMIC GEOLOGY: DEEP-ROOTED STRUCTURAL DISCONTINUITIES AND MINERALIZATION

SHEN Yuanchao ZOU Weilei ZENG Qingdong LIU Tiebing

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing 100029, China)

ABSTRACT

Deep-rooted structural discontinuities are large transregional ones originating in the deep crust and the mantle, which result in the concentration of metals and the formation of giant mineral deposits. Research on the relationship between deep-rooted structural discontinuities and giant ore deposits is the latest development in economic geology.

KEY WORDS Deep-rooted structural discontinuities, mantle, mineralization