

壳幔不谐调（同步）运动和构造圈热侵蚀与成矿*

Disharmonic movement of crust-mantle and tectonosphere thermal erosion with metallogeny

裴荣富¹, 梅燕雄¹, 李进文¹, 孟贵祥¹, 王少怀^{1,2}王永磊¹, 李 莉¹, 黄修保¹, 王浩琳¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国冶金地质总局第二地质勘查院, 福建 莆田 351111)

PEI RongFu¹, MEI YanXiong¹, LI JinWen¹, MENG GuiXiang¹, WANG ShaoHui^{1,2}WANG YongLei¹, LI Li¹, HUANG XiuBao¹ and WANG HaoLin¹

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 No. 2 Geological Exploration Institute of CEEB, Putian 351111, Fujian, China)

摘 要 文章提出成矿学中壳幔不谐调（同步）运动和构造圈热侵蚀的事件激发正常成矿作用异常，形成超巨量金属工业堆积和特大型矿床。重点内容为探讨跨区域壳幔结构不连续性、幔根构造的形成和构造圈热侵蚀事件与成矿，并列举中国南岭锡钨多金属矿集区陆缘与陆内异曲同工成矿形成不同成矿系列的实例。

关键词 壳幔不谐调运动；构造圈热侵蚀

1 壳幔不谐调（同步）运动

壳幔不谐调（同步）运动首先表现在地球圈层结构最活跃的构造圈（Tectonosphere）。地球圈层实质上是一巨大同心分层结构的球体。这个球体是在气圈和水圈之下的、固相的、半径达 6 400 km 的椭球形自重体。球体从外层至中心的分层是岩石圈，软流圈+构造圈，中间圈，外核和内核（图 1）。

岩石圈是固相体盖在下部为高密度、高温的上地幔之上，并充当着绝缘或低热导体作用。其本身也具有分层和较大的热以及组份的变化梯度，但其厚度仅为地球总厚的 1/100，类似一张薄皮铺盖在地球的表壳上，相对地易于与其下部圈层发生不谐调运动，并承受构造变形。

软流圈是上地幔上半部，部分熔融的具有一定物质分馏和低粘滞度的低速活动体。它是岩石圈下部底板垫托的软垫，具有较大固熔温度变化梯度，易于部分熔融。

构造圈位于陆内岩石圈和软流圈之间的软流圈中，

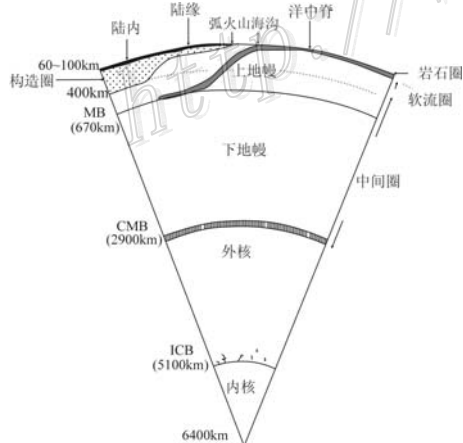


图 1 地球分层结构图

从顶部向中心：岩石圈，软流圈+构造圈，中间圈和外核、内核。另外，从界线层可划分为：岩石圈作为地球表层的界线层（SBL），围绕地幔界线（MB）的 670 km 的地幔界线层（MBL），并划分上地幔（UM）和下地幔（LM），在核-幔界线（CMB）2 900 km 处为核-幔界线层（CMBL），5 100 km 为内外核界线层（ICB），并划分为外核（OC）和内核（IC）

*本文得到国家自然科学基金项目（编号：40572061）和 1：2500 万世界大-超大型矿床成矿图项目（编号：1212010511504）的资助成果
第一作者简介 裴荣富，男，中国工程院院士研究员，长期从事成矿学和矿产勘查地质学研究。E-mail: peirf@sohoo.com

特殊的构造圈层。这仅是沿一定纬度局部出现的、绝大部分是由强亏损方辉橄榄岩质组成的、类似漂浮的大木筏体,是地球圈层中岩石圈板片插入软流圈中的构造活动体,是根据 Jordan (1977) 研究鄂霍次克海壳幔结构提出的。实际上,这一术语早在 20 世纪中期即已提出,主要指壳幔不谐调所体现的均衡补偿效应(地球科学大辞典)。补偿效应的具体表现为岩石圈部分拆离板片根(植)入地幔,称之为幔根(Mantle rooted)构造,并易发生热幔环流作用。澳大利亚 Macquarie 大学在“大陆地球化学与成矿”研究中称之为构造圈热侵蚀(Oreilly, 1977),也是形成大规模构造岩浆热事件,起到发动成矿作用异常的“引擎”作用,促使超巨量金属工业堆积,形成特大型矿床的主要圈层(裴荣富, 2002)。

中间圈,包含地球上地幔下半部和下地幔全部,它是地球中间层部分,具有对核和壳之间温、压和动力传导的承下起上作用。地震圈定的上、下地幔界线层(MBL)是形成高温组份的变化梯度带,对传输下地幔物质和能量具有过渡的重要意义。中间圈的底部有 200~300 km 厚的“D”层,称之为核-幔界线层(CMBL),是热和物质组份传导的重要界线层,是地幔形成各种规模地幔柱的上升源,也是核幔之间物质和热交换的重要界面。

地核是由核-幔界线层以强对流的液相外核和其下的固相内核组成。液相外核主要是为地幔加热和保持核幔界线层温度的均衡。固相内核是由于外核冷流形成的对流的 Fe-Ni 结晶堆积体,多集中在赤道形成高陆,从而起到减压和调正地球均匀生长的平衡性。

从上述地球圈层结构,可知幔根构造仅是陆内岩石圈板片插入软流圈的构造圈内的活动体,是地球圈层不谐调(同步)运动的产物。它将在深部构造作用(过程)的地质演化进程中发生构造圈热侵蚀,并导致壳幔混同形成与成矿作用有关的构造岩浆热事件,为激发岩石圈超巨量金属富集起到重要作用,而且是与中生代一定时限内爆发异常作用有关。

2 构造圈热侵蚀与成矿

从上述地球圈层结构可知幔根源于构造圈,并受陆内岩石圈和软流圈之间不同步运动和强亏损的基性超基性浮动体所制约,并起到发动构造圈热侵蚀与成矿的重要“引擎”作用。然而是什么动力驱动其发生和发展呢?

2.1 构造圈与地动力

根据幔根在全球和区域上多沿 E-W 纬向构造带呈传导不连续分布的特征,首先应考虑的是地球自转的动力作用,造成纬向构造带而促成幔根构造的形成。根据李四光地质力学的大量研究成果(1959; 1972; 1973; 1979)提出纬向构造带主要是由于地球自转,促使地球两极向赤道压缩,当压应力强度达到一定极限时,除在赤道形成高陆,发生应力释放外,而且沿不同纬度带也伴随有隆升的应力释放。首先是低粘滞度的软流圈随自转向地球外抛,上地幔隆升,同时形成破裂性的引张,引张分力促成构造圈基性-超基性浮动体和幔根的发生和发展。由于纬向构造带在全球是断续分布的,幔根也随之呈传导不连续的产出。从全球磁异常图所见 E-W 向线性界线带以及推定的南北中三条幔根构造不连续分布的特征和中国主要构造体系中断续分布的东西纬向构造带可以鉴证地球自转因素应是形成幔根构造的重要地动力。

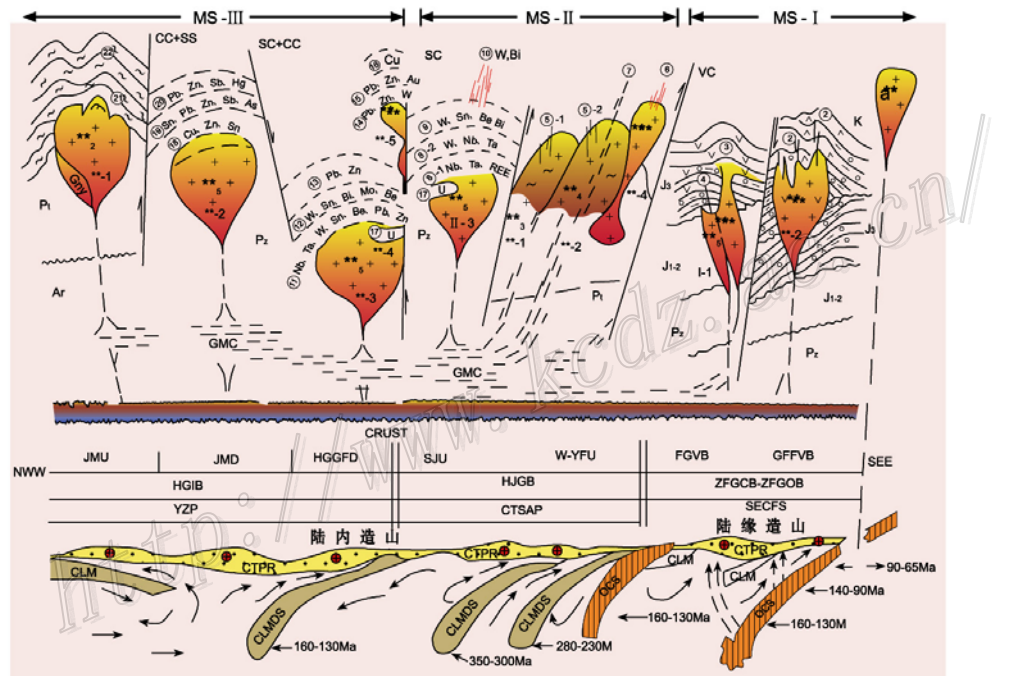
此外,还应指出的是由于地球各圈层自身的结构、组份和物性的各异性及其相互之间连境界线层的明显差异。地球自转动力作用(过程)中,各圈层之间的行为也肯定是不谐调(同步)运动的,尤其是仅占地球总厚 1/100 的固相岩石圈与低粘滞度的软流圈之间更易受不同步运动的动力作用而发生不谐调的形变和错移。位居岩石圈和软流圈之间的构造圈在形变和错移构造动力作用下,其构造变动更是首当其冲。因而,幔根构造无疑也应是受地球圈层不谐调运动动力作用的产物,当然地球圈层不谐调动力是包涵在全球纬向构造运动的局部现象,也是幔根构造在全球呈传导不连续分布的原因。

还有,在应用地震层析反馈地球内部物质密度不均匀性,以及按不同深度地幔密度的分布的研究(傅容珊等, 1993),认为地球内部不同深度存在高低密度和不同的波速的不均匀分布,从而推断有强烈物质对流,对流的效应也将是决定构造圈物质上升的动力作用。总之,幔根构造是多种地动力作用下形成的,

虽然它在区域上有纬向构造带的控制,但是它是否发生和形成的具体部位又取决于圈层不协调运动和对流强度的耦合。

2.2 成矿范例

南岭属中国南部纬向构造带的陆内加里东造山带隆拗构造发育区。按深层构造的莫霍面等深线反映在崇义有明显的陆壳深插地幔的现象,在全南、赣州相对有幔隆,并在表壳的隆拗造陆发展过程中受北东、北西向与东西向交切而形成“行、列、汇”线性和环形构造样式的基础上,结合地震波速、地电和地温测量提供的低速、低阻和岩石圈增厚为山根的信息,可判定南岭地区在深部断裂与表壳构造交切围限部位可能有岩石圈板片根(植)入地幔,通过构造圈热环流形成规模达 $180\ 000\text{ km}^2$ 的、以壳源重熔型为主的大花岗岩省。这样大规模的构造岩浆热事件,无疑将是形成南岭钨锡多金属著称于世的最有利矿集区。现举中国南岭金属成矿省陆内深部造山过程的成矿演化与成矿系列概念模式(图 2)作为构造圈热侵蚀与成矿的典型范例,图 2 中的 CLMDS-CLM 为大陆岩石圈拆离板片根(植)入地幔现象,经热幔环流在陆内形成构造岩浆带,并形成 MS II 和 MS III 成矿系列。图中 OCS 为洋壳叠接消减带,经深熔后在陆缘形成构造岩浆带,并形成 MS I 成矿系列。据此可认为陆内与陆缘成矿具有异曲(不同环境)同工(构造岩浆)的成矿意义。



南岭金属成矿省陆内造山深部构造过程的成矿演化与矿床成矿系列概念模式

- | | | |
|---|---------------------------------|-----------------------|
| Ar—太古宙高级变质岩系 | ④ 钠长石化花岗岩型Nb-Ta矿床(博罗) | ⑲ 热液交代型锡硫化物矿床(大厂) |
| Pt—元古宙低—中变质岩系 | ⑤ 1~2伟晶岩型Nb-Ta矿床(南平、西坑) | ⑳ 热液交代型Pb-Zn-Hg矿床(芒场) |
| Pi—古生代钙质沉积岩系 | ⑥ 斑岩Sn矿床(银岩) | ㉑ 云英岩型Sn-Cu矿床(宝坑) |
| J ₁₋₂ —下中侏罗统石英砂岩和凝灰质千枚岩系 | ⑦ 剪切蚀变岩型Au矿床(河台) | ㉒ 热液交代型Sn-Cu-Zn矿床(九毛) |
| J ₃ —上侏罗统英安流纹质和凝灰质砂岩系 | ⑧ 1~2钠长石化花岗岩型W-Nb-Ta-REE矿床(大吉山) | CLM—大陆岩石圈地幔 |
| K—白垩系凝灰质砂岩系 | ⑨ 云英-夕卡岩型W-Sn-Bi-Mo矿床(瑶岗仙) | CLMDS—CLM的拆离层 |
| γ—黑云母(白云母)花岗岩或富Al白岗岩或Li | ⑩ 高温热液黑钨石英脉型矿床(西华山) | OCS—洋壳消减 |
| 钠长花岗岩 | ⑪ 钠长石化花岗岩-夕卡岩-高温热液交代型Nb-Ta | CTRR—陆壳增厚部分熔融 |
| γ ₂ —四堡花岗岩 | -W-Sn-Bi-Pb-Zn矿床(香花岭) | GMC—花岗质岩浆 |
| γ ₃ —加里东花岗岩 | ⑫ 云英岩-夕卡岩型W-Sn-Mo-Bi矿床(棒竹园) | JMU—江南古陆隆起 |
| γ ₄ —华力西花岗岩 | ⑬ 热液交代型Pb-Zn-Ag矿床(东坡) | JMD—江南古陆边缘陷 |
| γ ₅ —燕山花岗岩, 花岗闪长岩, 花岗斑岩 | ⑭ 夕卡岩型Pb-Zn-W矿床(黄沙坪) | HGGFD—湘-桂-粤断陷区 |
| αγ—碱性花岗岩 | ⑮ 夕卡岩型Pb-Zn-Au矿床(水口山) | SJU—赣南隆起区 |
| MS I, II和III矿床成矿系列 | ⑯ 热液交代型Cu矿床(铜山) | JMD—江南古陆边缘陷 |
| SS I-1, II-1, II-2, II-3, II-4, III-1, III-2, III-3, III-4矿床或 | ⑰ 蚀变花岗岩型U矿床(212) | W-YFU—武夷-云开断陷区 |
| 矿床系列 | ⑱ 夕卡岩型Cu-Zn-(Sn)矿床(拉么) | FGVB—闽-赣-粤断陷区 |
| CC, SC, VC分别为钙质、硅质、火山质围岩 | | CFFVB—粤-闽断陷火山盆地 |
| ① 火山成因脉型Au和斑岩Cu矿床(紫金山) | | YZP—扬子板块及前陆 |
| ② 浅交代-充填型Ag-Pb-Zn-Au矿床(银坑, 五步) | | CTSAP—华夏板及前陆 |
| ③ 火山岩成因脉型Sn矿床(长埔) | | SECFs—东南沿海褶皱系 |

图 2 中国南岭金属成矿省陆内深部造山过程的成矿演化与成矿系列概念模式

3 结 语

(1) 壳幔不协调(同步)运动一定时限和一定构造部位发生的地质事件: 构造圈热侵蚀是激发成矿作用的物“源”、流体载“运”和矿质堆“储”, 即“源”、“运”、“储”三部曲达到最佳耦合的重要成矿因素;

(2) 地球圈层, 特别是构造圈的不协调运动是最易于沿纬向构造系统形成传导不连续分布的壳幔结构和混同变革及发生幔根构造和构造圈热环流, 形成与超巨量金属工业堆积有关的大规模构造岩浆事件;

(3) 深部构造过程(作用)是成矿发动的“引擎”, 地壳表壳有利控矿场地是成矿“温床”, 两者的最佳耦合以及事件地质激发成矿异常是超巨量金属工业堆积的总成。

参 考 文 献

- 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 1999. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境. 矿床地质, 18(4): 309~315.
- 裴荣富, 梅燕雄. 2002. 论异常成矿作用. 矿床地质, 21(增刊): 48~51.
- 裴荣富, 梅燕雄, 李进文. 2004. 特大型矿床与异常成矿作用. 地学前缘, 11(2): 323~331.
- 裴荣富, 熊群尧. 1997. 中国特大型矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛场. 矿床地质, 18(1): 37~46.
- 裴荣富, 等. 1990. 我国开展寻找超大型矿床的若干基础问题的讨论. 矿床地质, 9(3): 284~289.
- Kutina J, Pei R F and Heyl A V. 2003. The role of deep lithospheric structure in the genesis and distribution of giant and supergiant concentration of metals in the crust, *Glob. Tect. & Metal*, 8(3): 1~4.
- Jordan J. 1997. Lithosphere slab penetration into the lower mantle beneath the sea of Okhotsk. *J. Geophys. Res.*, 102: 473~504.
- Kutina J and Taylor P T. 2003. Satellite altitude magnetic anomalies—Implication for mineral exploration: A review *Global Tect. & Metall.*, 8: 1~4.
- Kutina J. 1995. Regional mantle rooted discontinuities and adjacent mobile belts, metallogenic implications. *Global Tect. & Metall.*, 5(1&2): 7~18.
- Maruyama R. 1999. Worfiay hypothesis of global material concentration. abstracts of International Workshop on the Superplume, Waco, Japan. 1~2.
- Oreilly S Y. 1977. Directors preface and introducing GEMOC. Annual Report of ARC National Key Centre for the Geochemical Evolution and Metallogeny of Continents, 1~2.
- Pei R F, Wu L S and Xiong Q Y. 1996. Metallogenic preferentiality and exceptional metallogenetic convergence of giant ore deposits. *Global. Tect. & Metall.*, 6(2): 103~105.
- Pei R F, et al. 1995. Tectonic settings and mineralization series in northeast china. *Resource Geology Special Issue*, 18: 171~178.
- Pei R F. 2003. Deep tectonic processes and super-accumulation of metals. *Glob. Tect. Metal.*, 8(1~4): 67~69.
- Pei R F, Peng C and Xiong Q Y. 2001. Deep tectonic processes and super-accumulations of metals in Mesozoic intracontinental orogenic belt of Nanling metallogenic province, China. *Global Tectonics and Metallogeny*, 7(3&4): 183~193.
- Shcheglov A D. 1991. Tin deposits and the mantle. *Global Tectonics and Metallogeny*, 4(1&2): 69~74.