

湖南及邻区地壳旋转的可能成因、对大地构造演化的影响及其与大规模成矿作用关系初探

舒孝敬

(核工业 230 研究所, 湖南 长沙 410011)

[摘要] 在湖南及邻区, 无论从地表的地质构造还是地球物理场上, 都表现出明显的环状分布特征。这种特征可能是地壳的旋转运动所造成, 它对湖南及邻区大地构造的演化、大规模成矿作用等具有重大的影响。本文对这种旋转运动的可能成因, 以及所伴随的一系列地质作用、与大规模成矿作用的关系等进行了初步探讨。

[关键词] 涡旋运动; 核-幔-壳台风; 天然核爆炸; 大规模成矿作用

[文章编号] 1000-0658(2005)05-0257-11 [中图分类号] P542 [文献标识码] A

在以湘中、湘南为中心的相邻地区内, 存在一区域性的环状地质构造特征区。这一环状地质作用区的形成可能源于地球内部巨大能量的旋转作用。本文从地质、地球物理研究出发, 采用近年来大地构造演化的新理论、新观点, 对这种旋转运动的可能成因、旋转运动对湖南及邻区大地构造演化的影响, 及其有关的大规模成矿作用进行了初步探讨。笔者认为, 这对于探索中生代造成湖南相对稳定的克拉通化岩石圈受到破坏和强烈改造的机制, 以及湖南为何成为华南地区热-构造事件频繁出现, 地壳、岩石圈活化改造-再造, 造山、造盆作用强烈的区域等这些科学难题, 会起到抛砖引玉的作用。

1 湖南及邻区地表地质构造、地球物理场的环状分布特点

湖南及邻区的地球物理场、地表地质构

造呈现出明显的环状分布特点。首先, 通过对湖南及邻区航磁异常轴向特征进行提取, 并绘制正、负磁异常条带图 (图 1) 后发现, 在湖南中南部、桂北、粤北和赣西南地区, 存在一明显的环状磁条带异常。其范围西沿大致在湖南黔阳到广西的桂林一带, 北沿湖南宁乡、长沙一带, 东达江西的瑞金, 南至广西梧州和广东的增城一带。总体上呈现出等轴的圆环状, 面积约 250000 km², 为华南地区最为醒目、规模最大的磁条带环状异常。

实际上, 磁条带的特征体现了地层中磁组构的特征。所谓的磁组构就是磁性颗粒或晶格的定向, 或者是它们的组合。其物理实质是磁化率的各向异性, 它表现为磁化率椭球的形状和方向, 几乎所有岩石都可以观测到磁各向异性, 岩石的磁化率椭球可以反映岩石内部铁磁性颗粒长轴的主要分布方向, 与变质叶理及线理的方向, 与褶皱构造轴方

[收稿日期] 2004-10-11

[作者简介] 舒孝敬 (1953-), 男, 高级工程师 (研究员级), 1977 年毕业于中南矿冶学院地质系。

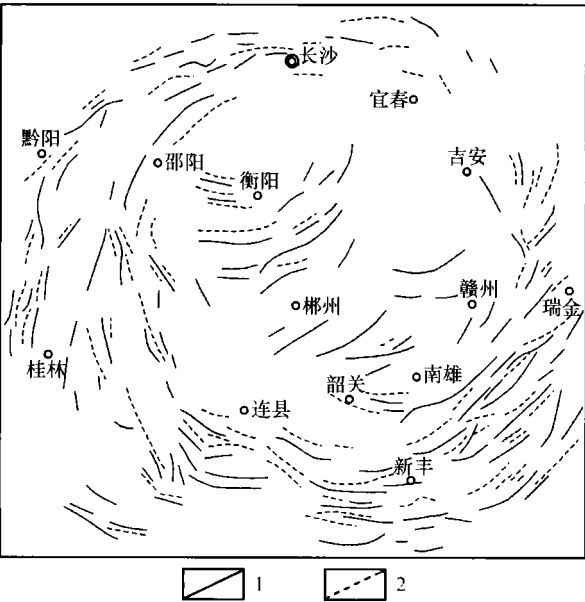


图 1 湖南及邻区环形磁条带图 (已滤去干扰异常)

Fig 1 Ring-form magnetic band map of Hunan province and adjacent regions

1——正磁异常轴线; 2——负磁异常轴线。

向的关系等存在对应现象^[1]。

在沉积岩中，磁性矿物的定向过程主要受 3 个因素影响，即重力场的作用、水流作用和地磁场的作用。大量的试验发现，沉积岩中磁性矿物颗粒的优选定向主要受水动力学因素控制，地磁场只会影响< 0.3 mm 的磁性矿物颗粒。而且，在所有的沉积方式下，最小磁化率方向都垂直于层面，磁线理通常平行于水流方向。而在岩浆岩（如花岗岩）中，磁化率椭圆的主轴与岩浆流动时形成的组构单元相一致。因此，可以说，该区磁条带的环状分布主要与沉积地层中水和花岗岩浆的环状流动有关，而沉积地层中水和花岗岩浆的环状流动则受控于地壳深处具有巨大能量的扭动涡旋作用。

为了突出浅部地质因素的影响，笔者根据湖南及周围地区的布格重力异常编制了剩余布格重力异常图（图 2）。其中，负异常是花岗岩基和褶皱隆起岩浆活动带引起，而正异常则是由中新生代盆地和沉积地层引起的。根据剩余重力异常的走向特点，可以将其分

成 4 个大的区域，即湘西北的弧形异常区，湘西南-桂东北的北东向异常区，湘南-粤北的东西向异常区（该异常区的东北部分实际上已转为北东向异常）和湘东北的北西向异常区。祁阳、祁东至邵阳一带为这 4 个大异常区的拼合部位。显然，从总体上看，剩余布格重力异常也表现出明显的环状分布特点，表明该区地壳曾发生过旋转运动，每一个异常区可能代表一个旋转块体。

地球物理异常所指示的是旋转作用中心的情况。实际上，这种旋转所涉及的范围比地球物理异常显示的范围要大得多，它影响到几乎整个华南地区，形成大区域的华南环形构造，其总面积达 110 万 km²，由内、中、外 3 圈组成，为多层环（图 3）。内环由许多二级环组成，主要有衡阳环、诸广山环、赣州环、会昌环、洞庭环、九岭山环、资溪环、从化环、七星岩环、桂中环等组成。

中环基本上与磁条带所显示的范围对应，其东翼位于清江、宁都、瑞金至河源一带，地质上主要为中生代花岗岩弧及断裂组成，如灵华山岩体。南翼由两圈向南突出的花岗岩弧组成；外圈由花山、渚岭、连阳、佛冈、新丰江、罗浮圩等岩体组成；内圈由九嶷山、西山、大东山、贵东及定南等岩体组成。西翼位于新化、洞口、城步一带，由弧形磁异常、弧形重力异常及褶皱显示出来，祁阳弧是它的重要组成部分。位于辰溪、益阳至株洲一带的北翼则与元古界隆起及断裂弧对应。

外环在地质图上显示得较清楚，其西翼由西南弧、八面山弧、黔东弧及广西弧西翼组成，主要由一系列弧形褶皱及断裂连成一个向西突出的大型弧形构造，圆弧半径达 600 km，缺少岩浆岩分布。其北由位于鄂西北并向北突出的镇坪-云梦弧形断裂及弧形褶皱组成，其南翼以马山-茂名弧形断裂及向南突出的担杆岛花岗岩弧为代表。东翼受东部环干扰，清晰度较差，但从花岗岩及断裂弧分布来看，它大致位于鹰潭、三明、彰坪、潮安至海丰一带。

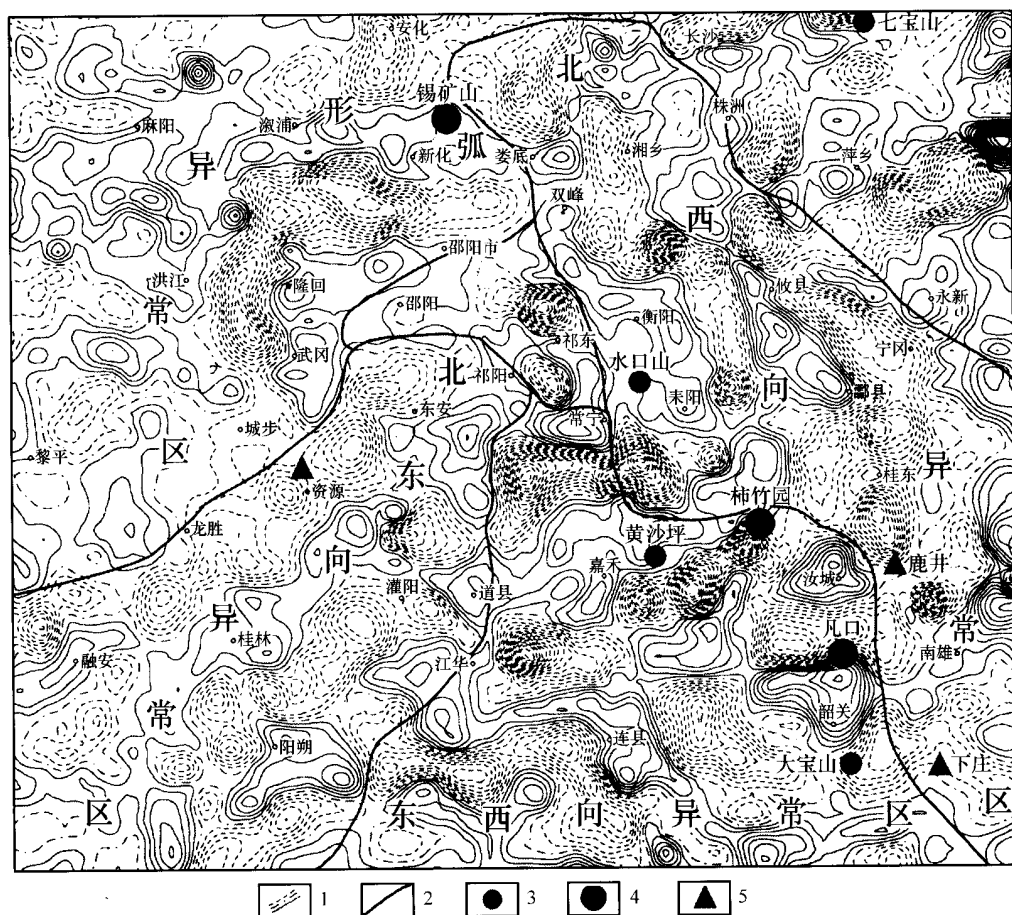


图2 湘桂粤地区剩余布格重力异常图

Fig. 2 Residual Bouguer gravity anomaly map of Hunan, Guangxi, Guangdong provinces

1——剩余布格重力异常等值线 (实线为正异常, 虚线为负异常, 10^{-5} m/s^2); 2——异常分区界线; 3——大型
有色金属矿床; 4——超大型有色金属矿床; 5——铀矿田。

2 湖南及邻区旋转运动的可能成因

2.1 地球自转引发地球内部的旋转作用

宇宙中的物质无一不在运动中，尤其是一些大型块体（如星球）都以自己特定的轨道处于旋转运动中。很多星球在形成的早期，甚至到现在都存在着类似龙卷风的涡旋运动。因此，地球上很多环形或椭圆状构造可能与地球自转造成其深部的旋转作用有关。

近年来,人们对大地构造的研究越来越深入,针对地球内部的旋转运动提出了新的一些理论、看法和认识,对于指导全球大地构造演化和成矿规律研究具有十分重要的意义。最具有代表性的是杨志华等人(2001)。

根据对秦岭造山带及西部盆-山转换的研究^[2]，提出在地球自转速度变化控制下的多层扭动涡旋甩出说，即核-幔-壳“台风”（或“风暴”）理论，作为中国大地构造形成、发展与演化的动力学理论。其基本理论是，地球自转引发地核、地幔、地壳及其内部各圈层的转速不同，当每个圈层下部的“硬层”发生旋转运动时，必然引起或带动它上面的“软层”发生规模不等的旋转运动而形成软层“台风”，就会像热带风暴那样，在垂向上由下而上产生流入层、中间层和流出层；平面上出现外圈、内圈和风眼3个区域以及规模更大的甩出臂似的线性构造带的结构样式。软层“台风”高速旋转的形成过程中使其原先

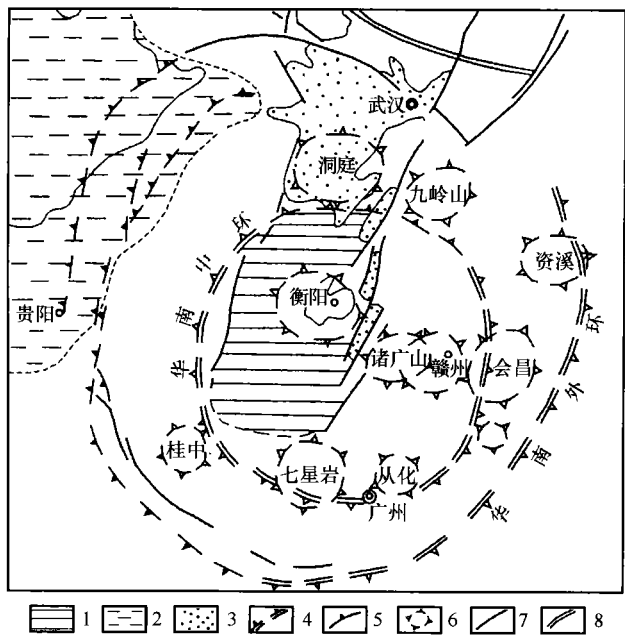


图 3 华南地区环形构造分布图

Fig 3 Map showing the distribution of ring-form structures in southern China

1——上古生界保存区或三叠系分布区；2——侏罗系分布区；3——白垩系分布区；4——一级花岗岩弧；5——一级褶皱弧；6——二级环形构造；7——断裂；8——陆壳碰撞缝合线。

无序的、分散的能量不断积累，以致产生像“高能离子加速器”那样产生出巨大的“水岩”或热核爆炸的巨大能量，推动岩石圈运动，产生新的物质组成和变形。它们是核、幔、壳物质构成的根本原因，也是成矿物质的基本来源。由于涡旋-热核反应-电出作用，把地球深部的岩片向地壳的表层、自由空间抽拉-逆冲时所发生的一系列地质构造作用，如沉积作用和沉积盆地的形成和发展，构造运动和构造变形，变质作用和变质变形，岩浆的侵入和喷发，成矿作用的发生和矿床就位等均与它密切相关。

根据杨志华等人提出的这种核-幔-壳“台风”所具有的一些特征，如平面上出现的外圈、内圈、风眼区和电出臂，涡旋作用区内沉积地层和岩石圈的明显加厚等特征在湖南及邻区均存在。这些特征及旋转运动所引发的一系列地质作用下面再作详细介绍。

2 2 古俯冲带深部的天然核爆炸引发旋转运动

导致地球内部发生旋转作用的另一种动

力源可能是发生在软流圈顶部的天然核爆炸，这种核爆炸的作用和效果与杨志华等人提出的地球自转引发的软层“台风”异曲同工。根据匡耀求等人的研究^[3]，这种天然核爆炸通常发生在古俯冲带。我们知道，在桃江、城步一带有一条古俯冲带，印支-燕山期由于菲律宾板块向西的俯冲牵动作用，诱发了华南微板块继续向扬子微板块的俯冲，这种俯冲作用主要发生在桃江-城步原来的断裂构造线。由于深部受扬子微板块（雪峰刚性地幔块体）的阻挡，壳下幔内挤压剪切作用加强，从而形成桃江-城步巨大的幔内韧性剪切带^[4]。

大洋地壳在俯冲进入地幔之前通过与海水进行长期的离子交换反应，可一定程度的富集铀，尤其在某些局部地区的地壳中会产生大量的铀富集。当这种富铀的地壳被俯冲到地幔中，可把大量的铀带入地幔。然而，在大别、胶南等一些中高级区域变质基底岩石中，发现有大量 U、Th 丢失现象。这些地区的共同特征是出露了大面积的深变质杂岩，其中发现了含柯石英和金刚石的榴辉岩，标

志着它们曾进入到 100 km 以下深处的地幔中^[5]。进入地幔的地壳物质在高温高压条件下必然发生深变质和部分熔融, 由于 K、U、Th 等组分与地幔的强不相容性, 它们会被清除出来并富集在流体或熔体相中。当俯冲消减到地幔软流圈中的陆壳物质在高温高压条件下分异到一定程度后, 富集了 U、Th 等放射性组分的不相容物相和碳酸盐岩石还原产生的石墨就有可能在软流圈顶部的某些部位形成类似石墨核反应堆的天然装置。在某次自发裂变产生的中子或其它核素 (如⁴⁰K) 衰变产生的 (β) 粒子和 (γ) 射线诱发下就可能启动反应堆运行, 其产生的热能将加热上方的岩石圈, 造成其上部地壳内的岩浆作用和岩石圈的热减薄。当反应堆运行到某个时候, 由于²³⁵U 浓度的变化或新的可裂变核 (如²³³U, ²³⁹Pu) 的产生, 反应堆的倍增因子突然增大时, 反应堆迅速进入临界状态, 大规模的深部核爆炸就可能出现, 结果使其上方的岩石圈发生破裂, 并使原来古俯冲带产生更强烈的剪切滑动, 从而形成一种楔状的岩石圈块体 (图 4)^[3]。

古俯冲带深部天然核爆炸发生后, 由于能量向四周的剧烈扩散和传播, 同时又受到不同差异特性的地壳刚性块体的阻挡 (不同刚性块体的受力作用不均匀), 造成在核爆炸区出现剧烈的涡旋运动, 它所具有的特征与杨志华等人提出的地球自转引发的软层“台风”具有十分相似的特征。

3 湖南及邻区地壳旋转作用的发生及其所伴随的一系列地质作用

在以湖南为中心的地区, 尤其是邵阳-涟源一带的深部类似龙卷风的涡旋作用发生后, 其最初的风眼区位于地壳上部各旋转块体拼合的中心部位, 即邵阳、涟源到祁东一带 (图 2)。在风眼区, 出现了沉积物的明显加厚^[2]。所以, 邵阳-涟源一带海西-印支构造层碳酸盐岩厚度达 4000 m 以上 (图 4), 比周围地区明显增厚。同时, 在旋转的中心地区

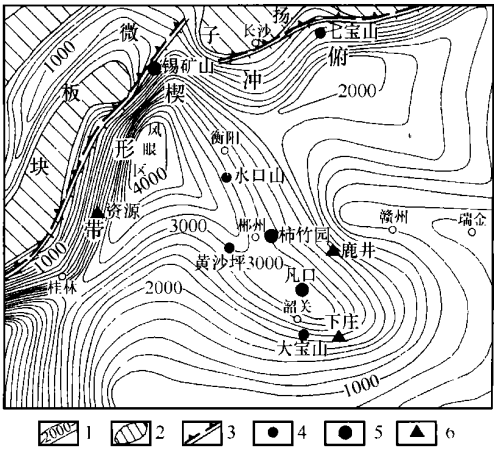


图 4 湖南及邻区海西-印支构造层碳酸盐岩厚度、金属矿床分布略图

Fig 4 Sketch map showing the isopach of carbonate rocks of Hercynian-Indosinian structural layer and metallic deposits in Hunan province and adjacent regions
1——碳酸盐岩等厚线 (m); 2——古陆; 3——岩石圈俯冲-碰撞带; 4——大型有色金属矿床; 5——超大型有色金属矿床; 6——铀矿田。

岩石圈厚度明显增大, 邵阳、涟源一带厚度增大到 300 km 以上 (图 5)。应该说, 在碳酸盐岩厚度图和岩石圈厚度图上反映俯冲带东南侧形成一北东方向拉长的增厚区, 这与旋转作用最初发生时的范围是相当的。由于风眼区碳酸盐岩和岩石圈厚度明显增大, 其大地热流值较周围地区偏低 (图 5)。另外, 在风眼区周围, 由于剧烈的旋转挤压, 在邵阳、衡阳一带出现局部的环状磁条带异常 (图 1)。

旋转作用发生后的早、中期, 涡旋作用是十分强烈的, 因此会伴随着一种电出作用, 将地幔深处的大量物质电向地表, 往往沿电出方向出现一系列的构造, 并使地壳隆起, 有大量的基性、超基性物质出现^[2]。桂东北地区一系列的北东向构造及桂北台隆可能就是这种电出作用引起的, 重力场上出现与环状异常走向截然不同的北东向异常 (图 2)。由于电出作用, 在广西龙胜地区出现了大量成群分布的基性、超基性小岩体。随着地幔物质的大量向地表电出, 抽拉作用相继发生,

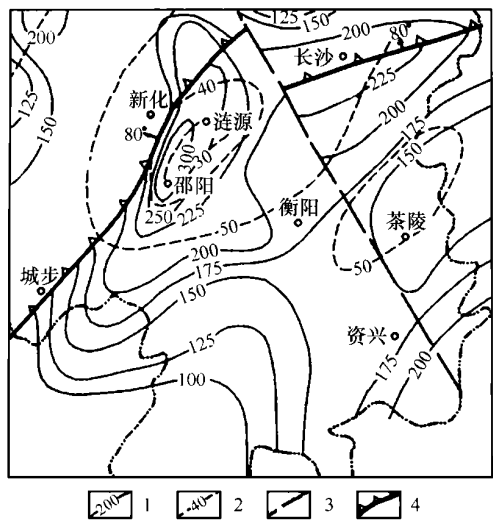


图 5 湖南中、南部岩石圈上地幔熔融层等厚度图

Fig 5 Isopach map of upper mantle melted layer of lithosphere in central and southern Hunan
1——岩石圈底板等深线 (km); 2——大地热流等值线 (mW m^{-2}); 3——推断岩石圈断裂; 4——推断壳下岩石圈碰撞断裂带。

在其后方出现张裂作用下的断陷沉降盆地, 洞庭、衡阳盆地可能就是这种作用下的产物。

旋转作用发生后, 它并不是固定在始发区或某一局部区域, 除了在横向上进行快速移动外, 纵向上主要是进行能量的传播。尽管这种能量传播向上是逐渐减弱的, 但足以推动上部地壳块体进行旋转运动, 在旋转块体的四周通常出现大量的岩浆侵入作用。由于涡旋作用在移动过程中使旋转块体各部分受力存在差异, 旋转块体出现断裂并形成更小的旋转拼合体。最后, 随着旋转的逐渐减弱而停止, 各旋转块体拼合就位, 拼合区通常位于风眼区或向旋转作用运动方向的一侧偏离。不同旋转块体的拼合部位就是深大断裂的形成部位, 沿断裂会发生岩浆的侵入作用。实际上, 旋转运动所产生的块体拼合在剩余重力异常图上十分清楚的体现出来 (图 2)。我们可以认为不同走向的剩余重力异常区是地壳上部不同旋转块体的反映。由此根据剩余重力异常的分布特点可以划分出 4 个不同的旋转构造块体, 即西北部的弧形构造块

体、西南部的北东向构造块体、南部的东西向构造块体和东北部的北西向构造块体。它们的拼合部位在祁阳、祁东到邵阳一带。从海西-印支构造层碳酸盐岩厚度变大 (图 4) 和岩石圈底板变深 (图 5) 来看, 湖南邵阳-涟源一带旋转作用发生后, 由于深部受北西部扬子微板块雪峰刚性地壳块体的阻挡, 涡旋作用主要是向南偏东方向移动的。在移动过程中, 涡旋的速度会逐渐减小直到停止, 韶关以北的碳酸盐岩增厚区可能就是其最终的衰竭停留区。桃江-安化-溆浦一带出现的明显向北西方向弯曲的弧形褶皱构造带显然不是大区域的构造作用所致, 而是与局部地区产生的巨大作用力有关, 同时说明其以东南地区为旋转作用的中心部位, 致使旋转发生的巨大能量推动古俯冲带在锡矿山东北的沅山一带呈明显的向北西向错动 (图 4)。根据花岗岩的同位素年龄, 可大致判断旋转发生的年代和其运动方向。例如从衡阳到诸广山一带花岗岩的同位素年龄显示出由老变新的趋势。在衡阳一带, 花岗岩的同位素年龄为 200~ 180 Ma, 属晚三叠世至早侏罗世。旋转作用发生的时间应在该时代之前。诸广山花岗岩的同位素年龄距今 186~ 170 Ma, 应属早侏罗世^[6]。因此, 从花岗岩的形成时代上来看, 涡旋作用也是由北北西向南偏东方向迁移的。根据安化-城步断裂和茶陵-郴州断裂两侧地质块体的错动方向 (图 6), 旋转应为逆时针方向。由于涡旋运动力主要是向南偏东作用的, 从而推动上部地壳块体向南挤压, 造成了湘南-粤北地区十分宽大的东西向构造带的形成。此外, 由于旋转, 使一些次级断裂形成, 由于挤压, 促使地下流体沿断裂流动。因此, 在湖南邵阳、衡阳到广东南雄、韶关一带, 形成了一些垂直于移动方向并向南东方向弯曲的、整体为北北西向分布的北东向弧形磁条带分布带 (图 1)。

在旋转作用发生的时段内, 也就是从晚三叠世开始, 沿新化-城步一带的上地幔俯冲作用已明显停止, 最初所引发的地壳块体旋

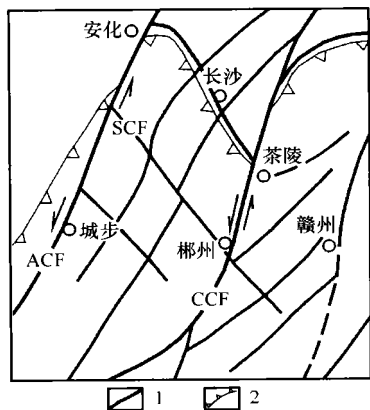


图 6 湖南中、南部地区菱形网络断裂构造系统示意图

Fig 6 Schematic map showing the rhombus net fault system in central and southern Hunan

1——深大断裂; 2——扬子地块与华夏地块的分界线;

ACF——安化-城步断裂; CCF——郴州-茶陵断裂;

SCF——邵阳-郴州断裂。

转和飘移主要转变为陆内会聚走滑造山作用^[7]。由于块体旋转和移动的速度差异, 从而形成了湖南及邻区的 NNE—NE 向和 NW 向断裂构造组成的多级剪切菱形网络构造系统 (图 6)、块体旋转构造及剪切褶皱构造、上三叠统-侏罗系会聚走滑型挤压盆地等, 并且沿走滑断裂带形成走滑型花岗岩带。特别是燕山早期花岗岩的分布, 在时间上正处于走滑断裂压剪高潮 ($J_1 \sim J_2$), 空间上完全受走滑断裂控制, 即压剪高峰与花岗岩浆活动高峰显示同步性。

菱形网络构造主要受 NE 和 NW 向走滑断裂同时控制, 菱形断块的变形和变位主要受绕直立轴旋扭机制所控制, 形成棋盘格式旋扭叠加穹-盆构造。从关帝庙、塔山-阳明山等穹隆内部构造的解析看出, 这些穹隆体四周均分别由 NE 与 NW 向两组基底走滑断裂高角度切割, 进而发生绕直立轴扭动, 结果不仅使先存裙边褶皱轴面顺时针方向偏斜, 而且使穹隆体发生错断和滞后排布, 使先存 EW 向串珠状穹隆体内原加里东褶皱方向偏转了 $30^\circ \sim 40^\circ$, 也使各穹隆体依次滞后呈 NE 50° 方向排列。同时, 穹隆体侧旁的盖层褶皱亦发生剪切弯曲, 形成诸如邵阳弧、零陵

弧、桂阳弧等褶皱弧^[8]。

在东南部地区, 出现了一系列走向 NE $30^\circ \sim 42^\circ$ 的大型走滑断裂, 包括茶彬断裂、资兴断裂、桂东断裂、遂川-热水断裂等。在构造属性上, 大体相当于左阶排列的左旋同向走滑断层, 在平面上构成雁行排列, 其长度为 170~ 400 km 不等, 一般多表现为若干次级断层顺走向叠接的直线型位移带^[8]。

北西向的走滑深断裂安化-安仁断裂、邵阳-郴州断裂 (图 6) 长期控制着花岗岩及煤盆地的构造发展。其主要表现有: 先存侏罗山式盖层褶皱带因基底走滑剪切而发生 S 形或弧形的扭曲, NW 向大义山式复合花岗岩体侵位, 以及盖层褶皱带中晚三叠世-侏罗纪小型窄长煤盆地及其一侧斜列冲断层形成等。在常宁大义山附近, 邵阳-郴州断裂的深层走滑运动, 使先存耒阳-临武近 SN 向盖层褶皱带发生了明显的弯曲, 并使之呈 S 形扭转。随着走滑断裂在深层的递进走滑, 花岗岩浆沿走滑断裂侵位, 最终构成了一个扁长花岗岩杂岩体。同时, 由于走滑断裂的影响, 在 NW 320° 左右的褶皱带中, 也相应形成了如阳路口、黄阳司、观音滩等盆地。

总之, 旋转作用对其中心地区大地构造演化的影响是非常大的, 其最终作用结果构成了这一时期湖南及其邻区大地构造的基本轮廓: 由于阻挡作用, 形成了湖南西北部的弧形构造带, 包括瓦屋塘-望云山弧形花岗岩带的形成; 由于曳出作用, 形成了湘西南-桂东北一系列的北东向构造, 包括苗儿山、越城岭、海洋山、都庞岭花岗岩体的最后归位形成; 由于抽拉作用, 洞庭盆地、衡阳盆地的形成; 由于地壳块体旋转并向南东方向挤压移动, 使湖南东北部北西向构造的形成, 留下了一条醒目的北西向低密度构造伤痕“岩浆缝合线”-转换断裂构造带^[7], 沿该转换断裂构造带, 伪山、歇马、紫云山、衡东、五峰仙、彭公庙等众多花岗岩体的形成就位; 由于地壳块体向南东方向的挤压作用, 湘南-粤北大范围纬向构造带形成, 如阳明山-塔山

纬向隆起带、铜山岭-九嶷山纬向褶皱带、姑婆山-花山纬向褶皱带、桂阳-郴州纬向坳陷带。在粤北地区,大型的花岗岩体,如诸广南体、江湾、贵东、佛冈等岩体均呈现出东西向侵位的特点。

以上所讨论的是旋转作用中心部位的情况。实际上,这种由旋转作用所引起的地壳活动波及的范围要大得多,因此形成了华南地区独有的环状地质构造。

4 旋转作用与大规模成矿作用

在以湖南为中心的旋转作用所波及的范围内,聚集了华南地区众多的大型、超大型有色金属和铀矿床,尤其在中心部位分布密度大。如锡矿山铋矿田、水口山大型金银矿床、柿竹园超大型钨多金属矿床、黄沙坪大型铅锌矿床、鹿井铀矿田,凡口超大型铅锌银矿床、下庄铀矿田、资源铀矿田等。尤其是有色金属矿床具有储量大、品位高、矿化集中、富含多种伴生元素等特点。

对湖南锡矿山铋矿床、柿竹园 W-Sn-Bi-Mo 矿床、桂湘赣粤热液铀矿床的研究表明,这些超大型或大型矿床具有深部动力作用参与成矿作用的信息^[9]。区内所形成的一系列大型、超大型有色金属和铀矿床与深部旋转运动发生后所产生的一系列地质作用是密不可分的。旋转作用对于大规模成矿的影响主要表现在以下一些方面。

在旋转作用发生前,海水蚀变的俯冲洋壳及其所携带的沉积物在俯冲过程中,随着变质程度的加深,可释放大量的水,并形成流体流。由于俯冲板块发生的脱水脱气作用而在俯冲带及其附近产生大量的地幔流体,地幔流体不仅对地幔地球化学不均一性、幔源碱性岩浆的形成、大陆地壳演化有重要意义,而且地幔流体参与了许多大型、超大型矿床的成矿作用。深部旋转作用所形成的巨大的发散力推动地幔流体向周围地区扩散并向上运移,它们进入并交代上覆楔形地幔,从而引发地幔部分熔融,形成岛弧型玄武-安

山质岩浆^[10]。地幔的岩浆生成过程是对成岩元素以及成矿元素分异作用的一级控制^[11]。

对湖南活化区花岗岩、煌斑岩、辉长岩包体及玄武岩等岩石的地球化学研究表明,224 Ma、181~172 Ma 和 140~90 Ma 产生的岩浆都具有软流圈来源特征。新田-宁远-道县分布的侏罗-白垩纪碱性玄武岩和拉斑玄武岩,表明其形成于大陆裂谷或大陆伸展环境。它与洋岛玄武岩和洋中脊玄武岩一样,是地幔热柱上升和岩石圈热减薄作用在地表的响应。它表征地幔内有一个向上的热的地幔流^[9]。

地幔流体具有充足的物质储备、庞大的流体库和稳定的热源供给,为成矿作用的持续进行和形成大型、特大型矿床提供了有利条件^[12]。首先是地幔流体本身可以成矿,金刚石可能就是地幔流体本身成矿的结果。其次是地幔流体提供成矿物质。地幔流体是一种超临界物质,具有独特的溶解和运输能力,因而可以溶解和迁移地幔中许多成矿元素。众所周知,上地幔中存在硫化物,各种资料显示硫化物与硅酸盐对铂族元素及金等具有很强的富集能力,因此地幔流体可以溶解 Au、Pt 以及性质相近的元素,可以为许多金矿床形成提供成矿物质。另外,地幔流体提供成矿流体,在旋转力的推动作用,地幔流体可以渗透到地壳,尤其是张性构造环境是地幔流体上升的有利通道。渗透到地壳中的地幔流体可以活化、迁移其中的成矿元素。此外,向上运动的地幔流体与地表水在一定深度混合,形成有利于成矿元素活化、迁移的矿化剂,交代地壳物质,活化、迁移成矿物质形成成矿流体。毛景文等(1997)估算出湖南万古金矿成矿流体中地幔流体的比例为 45%~90%^[13];地幔流体在湖南柿竹园 W-Sn-Bi-Mo 多金属矿床的形成过程中起着重要作用^[14]。华南一系列铀矿床的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值在 -6‰~-8.15‰,显示了碳主要来源于地壳深部,属幔源碳^[15];对其硫同位素的研究也表明硫属深源硫^[16]。地幔捕俘体中橄榄石、辉石气体包裹体研究表明地幔中存在大

量还原性气体, 而富铀花岗岩正是富含还原性气体的岩石^[17]。

关于地幔射气和岩浆岩的联系早为人知。射气作用从地幔中释放出氢、氯、甲烷、氩、氢、二氧化碳、烃等, 于是地幔流体中便得到了氢-烃的成分。地幔流体透过沉积层施加动力作用, 在一些情况下, 可能形成升高或冲破上覆岩石的气“垫”, 形成近水平的层状裂隙或者所谓的鳞片伸长构造。在另一些情况下, 当蒸气状射气在不透气盖层下面聚集时, 可能产生爆炸效应, 并形成爆发角砾岩筒。等轴状角砾岩构造在某些外生-后成铀矿床的矿带中也有发现, 但常常被当成古陨石坑, 或构造角砾岩^[18]。在湘南南北带, 产于二叠系当冲组并严格控制铀矿化的大规模角砾状地质体可能就属于这种情况, 前人曾认为这些角砾状地质体为隐爆角砾岩^[19]。

此外, 区内许多大型-超大型矿床普遍出现的碱交代和硅化作用, 如锡矿山铋矿田中的铋矿体赋存于硅化体内; 香花岭多金属矿田存在着钠长石化带; 诸广地区的富铀矿均产于碱交代岩发育区; 下庄铀矿田中近矿围岩蚀变主要为碱性蚀变; 九曲岭富铀矿床附近有地幔物质与上部壳层混熔(同熔)后的次火山产物, 即断块拉张作用形成的碱性小花岗岩体^[20]。铀成矿存在早碱晚硅、下碱上硅的时空分布规律^[17]。碱性流体可促使早期岩体发生大规模碱交代作用, 使早期岩体内的金属元素活化; 又由于其碱度高水分低, 在上升过程中可大量与围岩产生高温热液对流而汲取围岩中的金属元素, 提高自身金属元素含量, 为形成富大矿床提供丰富矿源。由于地幔流体相对富含碱质和硅质, 它们有很大一部分可能来源于地幔流体, 碱交代作用是地幔流体交代地壳物质的基本机制; 碱交代岩是地幔流体转变为热液的“化石”记录。

旋转作用除了推动地幔流体运移到地壳中外, 本身还产生大量的热能, 造成大陆地壳重熔, 形成高度分异的岩浆。所以, 湖南岩浆作用在物质来源上, 既存在壳源, 也存

在幔源^[9]。随着上部地壳块体的旋转、移动而出现断裂, 在旋转力的推动下, 岩浆沿断裂侵入到地表。岩浆的侵入作用为金属元素的再次选择性富集提供了机会。炽热的岩浆一方面可使地层中的金属元素活化、运移富集成矿床; 另一方面, 岩浆的流动对岩浆中金属元素的富集也有着重大的影响。笔者利用地球物理资料对该区一些主要的产铀岩体进行了反演计算, 发现这些岩体的共同特征就是岩浆侵入管道小, 而流动性非常大。岩浆流动时长期处于动态的地区, 如岩浆侵入管道的上方、岩浆流动途径的上方, 几乎没有铀矿床形成。大型铀矿田、铀矿床聚集区都产出在岩浆流动途径两侧出现的一些大型回湾内, 这些大型回湾是岩浆流动时的平静地区, 十分有利于铀元素的富集。因此我们推测, 铀主要来源于深部, 在岩浆流动时期, 铀在这些回湾内出现面积性的富集, 后期的地质作用如地壳抬升、断裂作用、热液活动使这些回湾内的部分铀迁移到近地表, 形成铀矿床。应该说, 这些面积性铀富集区上方的不同地层层位上均可发生铀矿的富集, 且越往深部, 规模可能更大、更富^[17]。实际上, 已发现很多铀矿品位向深部变富的情况。

多金属矿化几乎都与岩浆活动有关, 尤其是旋转发生后所引起的燕山期岩浆作用关系尤为密切。岩浆活动不仅为形成矿床提供成矿物质, 而且为热液流体循环提供热能, 特别是燕山期的构造热事件, 是控制区内与大规模成矿作用有关的流体运动的主要因素。多数燕山期花岗岩的($\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$)初始比值为0.71~0.72, 系属源于陆壳沉积变质岩经部分熔融形成的改造型花岗岩类。部分岩体的($\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$)初始比值介于0.703~0.707, 具有同熔型花岗岩类特征。由于各自的源岩产生于地壳的不同层次(深度), 故而在岩石特征和成矿作用上存在一定差异。陆壳改造型与稀有、钨、锡多金属矿化关系密切, 同熔型则以铅锌(铜)矿化为主^[21]。

旋转导致大量的花岗岩浆向近地表迁移,

并将亲石的 U、Th、K 元素带入到岩浆中,使花岗岩体的放射性元素含量比地层高得多。一方面,它是铀成矿的铀源体;另一方面,其释放出的衰变热能,在较长的地质时期内和特定的地质构造条件下,可不断积累并在岩体周围逐步建立一个长期稳定的平衡热场,为驱动与成矿有关的热液循环系统提供驱动力^[22]。

旋转发生后由于北部扬子刚性地块阻挡,以及旋转块体向南方向移动,对北部和南部地区形成挤压而产生大量褶皱构造。这些褶皱构造也是主要的控矿构造,如龙山金锑矿区主要控矿构造为短轴背斜和断裂^[23];锡矿山许多锑矿床(点)产于新华夏系背斜加一“刀”(纵断层)的构造形迹中^[24];水口山金银矿床^[25]、黄沙坪铅锌矿床均与倒转褶皱有关^[26];凡口超大型铅锌银矿床区发育有多组褶皱构造,其中北西向凡口倾覆向斜控制了整个矿区^[27]。

从图 4 可以看到,大型、超大型矿床大都分布在风眼区的外围及涡旋作用的主要移动区域,即郴州到韶关一带最为集中,而在风眼区内没有矿床形成。这表明由于高速旋转在风眼区内形成的强大涡旋力的下吸作用使地幔流体很难到达上部地壳中,没有深部流体的参与作用是很难形成富大矿床的。水口山金矿床、锡矿山锑矿床等主要形成在风眼区的周围,可能表明它们的成矿物质主要来自地幔流体,涡旋区周围产生的巨大向上冲击力可使地幔流体直接快速到达地壳上部。如前所述,地幔流体可以溶解 Au、Pt 以及性质相近的元素,可以为金、锑矿床形成提供成矿物质。有资料表明,地幔流体为世界上许多大型、超大型金矿和矿集区直接提供成矿物质^[12]。

大型、超大型矿床大多数分布在由旋转作用所引起的锡矿山到韶关的北西向构造带内(图 4),从剩余布格重力异常图上看(图 2),主要产于北西向旋转块体与其它块体的拼接部位,深部快速旋转所引起的上部地壳

块体的旋转、断裂,在各块体的拼接部位形成大型断裂带,深部流体沿这些断裂带上升,岩浆沿断裂侵入,给大型、超大型矿床形成提供了必需的条件。区内线性控矿构造中,以东西向和北西向构造最为重要^[28],沿北西向块体东南缘(图 2)形成的邵阳-郴州深大断裂带(SCF)(图 6)是区域性的控矿断裂,更次一级的东西向断裂(主要分布在北部和南部地区)则控制着局部地区成矿带的分布。

[参考文献]

- [1] 余钦范. 岩石磁组构分析及其地质应用 [M]. 中国地质大学, 1989
- [2] 杨志华, 等. 中国大地构造几个重大问题的探讨 [J]. 地学前缘, 2001 8 (2): 395~ 405
- [3] 匡耀求, 等. 深部天然核反应堆——一种可能的山脉隆升动力源 [J]. 地质论评, 2001 47 (2): 119~ 126
- [4] 饶家荣, 等. 桃江-城步壳下岩石圈碰撞断裂带及其地质意义 [C]. 湖南地质新进展. 湖南科学技术出版社, 1996.
- [5] 徐树桐, 等. 大别山东段高压变质岩中的金刚石 [J]. 科学通报, 1991 36 (17): 1318~ 1321
- [6] 张用夏, 等. 华南地区地质构造与古热点的关系 [C]. 勘查地球物理地球化学文集第 6 集. 地质出版社, 1987 131~ 141
- [7] 饶家荣, 等. 湖南深部构造 [J]. 湖南地质, 1993 增刊第 7 号.
- [8] 傅昭仁, 等. 湘赣边区 NNE 向走滑造山带构造发展样式 [J]. 地学前缘, 1999 6 (4): 263~ 271.
- [9] 梁新权, 等. 湖南中生代岩石圈的活化改造: 深部软流圈的作用 [C]. 湖南地质新进展 (2). 湖南科学技术出版社, 2002
- [10] 李曙光, 等. 大陆俯冲过程中的流体 [J]. 地学前缘, 2001 8 (3): 123~ 129
- [11] 岑 况. 幔-壳地球化学演化和岩浆期后金属富集成矿的历程 [J]. 地学前缘, 1999 6 (2): 376~ 382
- [12] 刘丛强, 等. 地幔流体及其成矿作用 [J]. 地学前缘, 2001 8 (4): 231~ 241.
- [13] 毛景文, 等. 湖南万古地区金矿地质与成因 [M]. 北京: 原子能出版社, 1997

- [14] 毛景文, 等. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区 [J]. 矿床地质, 1999 18 (4): 291~ 299
- [15] 余达淦. 华南中生代花岗岩型、火山岩型、外接触带型铀矿找矿思路 (I) [J]. 铀矿地质, 2001 17 (5): 257~ 265.
- [16] 艾桂根. 华南花岗岩型富大铀矿找矿新思路 [J]. 华南铀矿地质, 1997 14: 64~ 68
- [17] 舒孝敬. 重力、航磁资料在花岗岩型铀矿成矿研究中的应用 [J]. 铀矿地质, 2004 20 (2): 99~ 109
- [18] 侯惠群. 外生铀矿床勘查中地球物理方法及应用 [C]. 北京: 海洋出版社, 2002
- [19] 颜晓莲, 等. 湖南汝城县九曲岭地区铀成矿条件研究 [C]. 湖南地学新进展 (2). 湖南科学技术出版社, 2002
- [20] 杜乐天. 烃碱流体地球化学原理——重论热液作用和岩浆作用 [M]. 北京: 科学出版社, 1996
- [21] 庄锦良, 等. 略论湘南地区成矿岩体特征与隐伏矿床预测 [C]. 湖南地学新进展. 湖南科学技术出版社, 1996
- [22] 章邦桐, 等. 华南花岗岩型铀矿床成矿热源的分析及计算 [J]. 矿床地质, 1990 9 (3): 270 ~ 278.
- [23] 张术根, 等. 龙山成矿构造简析 [J]. 湖南矿物岩石地球化学论丛, 2002
- [24] 乌家达, 等. 锡矿山铋矿田成因研究新认识 [J]. 湖南地学新进展, 1996
- [25] 李能强. 水口山金矿地质特征及矿床模式 [J]. 湖南地学新进展, 1996.
- [26] 童潜明. 湘南黄沙坪铅锌矿床的成矿作用特征 [J]. 湖南地学新进展, 1996
- [27] 刘慎波, 等. 凡口铅锌矿成矿构造及其控矿型式 [J]. 湖南矿物岩石地球化学论丛, 2002
- [28] 童 震. 湖南省地球化学的控矿构造初探 [J]. 湖南地学新进展, 1996.

Preliminary discussion on possible genesis of crustal rotation, its impact on geotectonic evolution and its relation to large-scale metallogeny in Hunan province and adjacent regions

SHU Xiao-jing

(Research Institute No. 230, CNNC, Changsha, Hunan 410011, China)

Abstract: Hunan province and adjacent regions show ring-form distribution features both on surface geologic structure and geophysical field. Such features might result from the rotation movement of the earth crust and exert serious impact on the geotectonic evolution and large-scale metallogeny in Hunan province and adjacent regions. This paper makes a preliminary discussion on the possible genesis of such rotation movement, as well as the associated series of geologic processes and its relation to large-scale metallogeny in Hunan province and adjacent regions.

Key words: vortex; core-mantle-crust typhoon; natural nuclear explosion; large-scale metallogeny