

全球构造、板块构造、地体

大陆漂移理论考证：20年代的漂移机制

N. Oreskes

胡克 译 刘光文 校

大多数地质学家听说过阿尔弗雷德·魏格纳和大陆漂移理论。地质学家和历史学家一般认为大陆漂移没有被普遍接受的主要原因是：该理论缺乏恰当的成因机制。然而历史的证据表明，当时曾有好几个很有力的成因解释，尽管如此，大陆漂移仍遭到反对。

魏氏理论的成因机制建立在地壳均衡论的推论上。早在19世纪50年代，地壳均衡已被用来解释喜马拉雅山的重力差异；到20世纪初，更扩展应用于多种地质现象的解释，包括Fennoscandian地区的抬升。均衡补偿，以及Fennoscandian地区的隆起的理论解释是：基底的密度较高、活动性大，陆壳物质能够在其上漂浮。魏格纳认为，如果陆壳能够在这样的活动基底上垂直运动，那么它就同样能够做水平运动。因此，魏格纳面临的问题不是基底是否如所假设的状态，而是什么样的力足以推动陆壳移动。魏格纳尝试性地提出，地球的扁球形状引起的差异性重力作用和潮汐摩擦力可以导致陆壳的运动。但当时的地球物理学家们认为这些力太微弱，要求得到更好的解释。Reginald Daly、John Joly 和 Arthur Holmes 承担了这一任务。

Daly 在对美国的阿帕契亚山做了大量工作后论述了这一问题。他提出，在重力作用下区域抬升的陆壳可以“滑动”（Daly, 1926）。陆块和邻近的沉降区的抬升差可以导致水平应力，这个力足以使地壳破裂。受抬升的部位将在重力作用下向下滑——如同巨大的滑坡，而邻近的沉积物就在下滑体的作用下形成褶皱。除了导致漂移的作用力之外，这一观点也可以解释洋壳沉积物如何拼合成山链的。该观点中的地壳消亡作用与现代俯冲作用思想惊人地相似。

同时，John Joly 和 Arthur Holmes 一直在研究放射性热量作为地质营力的效能。Joly 计算得出，地壳岩石是热的不良导体，因而可使放射性热在地壳下积累起来，从而导致基底岩石的周期性熔融（Joly, 1925）。熔融过程形成了岩浆侵入和陆上的玄武岩流。同时，Joly 的模式也提供了大陆漂移机制的一种可能；基底的周期性熔融将使大陆块体很容易地周期性移动。既然 Daly 已阐明了可以产生很大的推力，Joly 又提出了很小的力就可以非常有效的构想，所以 Holmes 形成了包括前二者在内的第三种解释。Holmes 从 Joly 的观点继续深入：既然放射性热量最终必须要消耗掉，那么熔融基底中就要形成对流，这些对流将推动陆壳运动。这样，到1929年时，至少有三种很好的

理论来解释大陆漂移的运动学，它们均符合已知的地球的物理性质。其中的两种理论也提供了动力学的解释。魏氏假说完全能适用于这些理论。大陆漂移理论的失败不是因为缺乏成因机制解释。

板块构造理论的现状及发展趋势

Khain, V. E

杨永强 译 刘正宏 校

板块构造理论在最近20年发展迅速，动摇了传统的地质理论。最初的简单但严格的假设是：刚性和弹性岩石圈之下均是塑性软流圈；将岩石圈分为少数几个大板状，严格按 Euler 定理运动着的这些板块间有三种相互作用，板块俯冲和扩张是完全一致的相互补偿，以使地球体积保持不变；板块运动的直接条件是软流圈中的对流作用。现在以上所有假设都需修正，它们只有在小尺度地球重新构造才可接受。软流圈表面深度和粘度变化非常大，岩石圈下部的高塑性的出现引起了上部岩石圈沿康德面和莫霍面的分层，而且下部岩石圈或地壳挤紧或挤出的可能性增大。在巨大岩石圈板块间，常有宽的扩散地震带，其中具有相应的小岩石圈和地壳板块的集块岩，在欧亚、非洲、印度和太平洋大板块相互作用的地区，这种地震带有20多个。环太平洋地体的镶嵌便是一类类似的例子。板块的扩散速度随时间变化，而它的轴向也在空间上转换，扩张常沿线性出现。板块俯冲不总是导致板块的增加，但经常引起构造侵蚀，同时它也不是唯一的扩张补偿过程，其它的有仰冲，转换断层，翘起超出板块边缘的岩石圈（地壳）。沿着转换断层常出现压缩或扩张，转换压缩和转换扩张也是常出现的。地球体积不变是值得怀疑的，它的脉动在有限范围内（如百分之几）是可能的，这由地球自转速度的改变而证明。在地球历史中地球体积稳定减少是可能的。地幔（软流圈）对流不是直接引起岩石圈板块运动的原因，从而产生在扩展带的分离，在俯冲带由负浮力的影响而下沉。虽然地幔对流的证据不可怀疑，但这个现象的形成有疑异的。对流是否是由纯热作用或重力作用引起的，是否有闭合对流元，对流是在整个地幔中同时发生，还是只在上地幔和下地幔中分别进行，这些问题还未解决。很多的类似问题可能用地震层析射法和化学地球动力学来解答。

除此之外，还有一些地质构造过程不能用传统的板块构造理论解释，其中之一是板内构造（和内陆板块）。热点甚至热片假说还没有证明是普遍实用的。这种构造学是多解的，例如，内陆或边缘陆地褶皱造山带的形成，可由共振的双层板块构造理论解释，也就是，在大的板块碰撞过程中下地壳（下岩石圈）物质流出和被挤出。

构造运动中另一个特征是旋回性。尽管 H. Stille 的“造山相”概念证明是太教条，但构造变形年龄的确定和关于岩浆作用变质作用放射性资料证据显示出，在全球尺度上，特别是地球内生构造活动性呈现间隙性变化，由此可以解释出现的高潮期和低潮期。其中最明显例子之一是有地球内生热间隙性地积累和释放，并伴随地幔中的相转变，同时其体积也脉动变化。地球轴向自转速度也随地球形态而变化。同时可能会出现

地幔分异速度的变化，特别是铁质流入地核引起地球磁场的反转，很可能，这些过程与地球空间位置的变化和地球自转轴的倾斜相一致。板块运动与地球的“宇宙生命”的可能联系，传统的板块构造理论也没有问津。

板块构造理论也没有解决了与地球自转轴方向一致的深断裂存在这一现象。深断裂系的出现与间歇性地回春的唯一可能原因是应变，应变是由与地球自转速度的改变相联系的地球形态的改变而产生的。

一个更重要的问题是确定在地球历史上，板块构造运动从何时开始。目前，板块构造在晚元古代已存在是没有争议了的，而越来越多的新资料证明板块构造在早元古代甚至太古代就活动了。据此，早前寒武纪板块构造实质上明显不同于现代的、显生宙和晚元古代板块构造的特点。太古代板块构造认为可能还是雏形的，早元古代形成了一定规模的小板块了，到了晚元古代形成了大规模的板块构造。

除了这些重要的问题外，还有一些第二位的，但也很重要的问题。例如，弧后边缘海的成因。目前板块构造与地槽理论的联系还是问题。

总的来看，在板块构造概念发展中，有三个主要的趋势，概括为：（1）使它的初始相对严格的假设变得灵活些；（2）越来越变得复杂；和（3）曾是板块构造不接受的某些构造运动变成了现在研究的主题了。后来，早期的构造假说也开始使用了，特别如，地球的脉动、收缩和自转假说。事实上，这也许是任何新事物发展的必经之路：从最初的全盘否定原来的概念，到逐渐同化原来的概念。因此，板块构造理论将会明显地变为一个新的核心，成为更普遍更常用的地球科学的理论。

新世界构造演化模式

Wilson, K 等

杨永强 译 刘先文 校

在北部和中部美国山脉及加勒比海和南美安第斯山脉间目前已发现了至少70个构造地层地体。这些地体的构造演化和在时空上的成因已引起了争论（例Howell等，1985；Debiche等，1987；Wilson等，即出版）。这个争论是在用古地磁和古生物地层资料企图来确定这些地体的构造演化时的产生。区域地体研究者根据不同的地体的演化史已提出了不同的观点，而且都是根据亲自实践的各种准确资料。

在解译“交通塞”构造时就产生了一些争议，其中一些地体肯定在运动方向上产生过间歇性的反转，在同一板块上，其它的地体也跟着反转。其中一些资料明显可见是不可靠的，但我们解决这些争论必须依据一些必不可少的可靠资料。我们已形成了一个体系并把它应用到从三叠纪到现在的可疑的70个地体的构造解译上。我们根据全球资料的考查和解译使这个体系增大了可靠性。下面是资料可靠性的相对分级：

1. 最可靠和有用的资料是“开离”（裂开）和“到达”（碰撞）时间。
2. 可以推测大地构造环境的走向滑移运动的周期也是至关重要的，例如确定俯冲。

3. 高精度(可靠性为优)的古地磁资料。**Wilson**等1988已详细列出。
4. 脊椎动物地理学包含保存很好的大四足动物形式或简单的浅水形式。
5. 良好的古地磁资料(即可靠性为良),也就是基本上满足资料的可靠性要求,但还有一些疑问。
6. 无脊椎动物古生物地理学利用保存很好的底栖海洋动物群被认为曾有很差的分散能力。
7. 中级的古地磁资料(即可靠性为中),如果不想产生争论的话,可用这些资料。
8. 植物群古生物地理学确定门类是容易的,而且其分散能力差。
9. 无脊椎动物生物地理学利用自游生物形式。
10. 差的古地磁资料(即可靠性差的),假如没有其它资料可用的话用它。

这种分析的核心是全部古地磁资料的相对可靠性标准评价。的确,很多地体的最新定位是由古地磁资料来确定的。在北美的一些例子中,这些资料是相对丰富的,但资料的可靠性不近相同。在我们的古地磁系统中,用22个可靠的因子来评估每一地体的资料,划分为从“1类(优的)到“5类”(差的)五个级别。这个体系被用于美国140多个不同的独立地体中;可惜的是,这些地体中45%均属“3类”以下,因此,不能用这个体系来解释当前的地体演化问题。

剩余古地磁和海相生物地理资料(有显见的无用的脊椎动物资料和这些地体中有限的植物群资料),以及控制“到达”和“开离”时间的地质资料,已被用来形成一个新世界构造演化新模式。这个模式将以计算机投点制图反映大陆和地体的区域古地理,以及从三叠到现在10Ma期间的推测的板块边界。

很多地体被显示已横向运移了很大距离,但没有迹象显示纵向运移了很大距离。因此,沿太平洋的美洲边缘的走向滑移运动和倾斜收敛的重要性在这个研究中进行了调强。这可能强调了由**Silver**和**Smith**(1983)和**Sarewitz**和**Karig**(1986)提出的认为接近重新构造地体历史的模式。在任何情况,这里提出的模式是内在的一致,而且已解决了所有主要资料的争论。虽然由模型提供的答案很多并不是夸张的,但它们具有可实验性,也将帮助解决未来研究中的焦点问题。

旋 回 构 造 学

F.C. Wezel

杨永强 译 刘正宏 校

大地构造现象包含一系列在时、空上有旋回韵律的自身重复事件,而这些旋回或多或少有些规律,同时有各度空间维数的变化。在空间上暂时旋回引起各种构造形态,这些构造形态反映了在地壳不同单元构造和岩浆演化的不同带状阶段。这种带状构造引起了一系列的平行构造带,这些平行构造带显示了一个区域序列,在这个序列中,每一外带都比与它紧邻的内带构造发展阶段年轻。在每一大地构造体系中,越靠近体系的外凸边,构造带越年轻。

在一个旋回内出现的地壳变形是由三个重要的大地构造体系引起的，即裂谷，岛弧，和阿尔卑斯型褶皱山系。裂谷系带，从最年轻到最老的，顺序如下：（1）大陆裂谷，（2）台地盆地，和（3）被动边缘。这些裂谷系带进入带状阶段显示了旋回的初始相（Krikogenetic 和早期地槽发展），其中大陆壳被剪切而破碎，破碎也进入基性熔岩的溢出物中。认为裂谷期后的区域下沉是由挤压活动引起的。主要的收缩相产生在晚侏罗世、中白垩世和晚白垩世。它们对应于海侵的高峰期。

岛弧系构造带是：（1）扩张，（2）前弧，和（3）弧后边缘。这是剪切为主的变形体系，并以大多数深达岩石圈根部的高温演化相（软灰岩型）为特征。在整个弧后带阶段，可发现在地槽下沉区有反时针方向的快速旋转（旋转型涡旋）。弧后带阶段代表了（与蛇绿岩有关的）大构造旋回的优地槽相。

地槽的弱活动带遭受了引起褶皱带的构造活动挤压。水平相挤压的主要动力一部分实质上是来自行星间的作用力，如晚中新世和中中新世时的挤压。在开阔地区迅速隆起的地貌相的晚期，褶皱和逆冲带变形了地貌上的高山，酸性火成论者认为褶皱和逆冲带更早。

阿尔卑斯型褶皱山系中：

不同带的发展可以被区别出来：（1）前陆，（2）外构造带，（3）内构造带，和（4）后陆。在内构造带中极高压矿物的出现反映了需超常的垂直运动分量，据一些人所研究，它得超过 100km。从水平挤压运动到重要的垂直隆起运动的巨大变化揭示了其中包括一个从水平挤压（大约为 $4 \sim 8\text{cm/A}$ ）到辐向扩张（大约为 $0.1 \sim 0.5\text{cm/A}$ ）的过程。压缩半旋回主要以海侵和下沉相为特征，与此同时，扩张半旋回显示上升海退相。

所有的构造循环相对应于精确的沉积序列。Krikogenetic 阶段是以充填地槽式沉降的陆源碎屑和圈闭玄武岩为特征，地槽阶段代表了蒸发岩和黑色页岩，硅质燧石岩，灰岩和厚层碎屑岩（深海和浊积沉积）形成。相比，构造形态阶段是在前渊海槽中的磨拉石型碎屑岩为特征。另外，间隙性变化的地球磁场，火山活动，气候，生物演化都存在着联系。如果在地幔中没有全球范围的根本变化，就不会出现与地质韵律的一致性。

因此，所有的地质现象和事件初始是相互联系的，以致形成一个以动态平衡为特征的不可分开的整体。地球无休止地收缩和扩张循环。每一个旋回相不再是发生在地壳中连续变化和转换过程中的一部分了。正如一个全球概念是不容易与简单对流地球动力学机制相对比。事实上，上述在空间和地质构造上的规律性证明了某一单向模式，而这一单向模式按现代地球动力学模式是不允许的，现在模式在构造现象演化中不把无规律性和变化性作为基本因素。

构造旋回与南北向收缩相的联系是由地球自转过程中加速阶段所产生的，这种联系在造山干扰相中达到最大自旋。然后由于地球自转速率的减慢的结果，在地壳的应力场中出现了基本变化，此间，它以最小的自转，达到最大的扩张。

全球应力场的规律性

N. Pavoni

杨永强 译 刘先文 校

对全球应力场的规律性研究是建立在以下的基础上:

(1) 全球应力场图数据库项目 (WSM);

(2) 新构造运动构造分析的成果, 即上新统和第四纪的构造运动或构造形变。其中, 只考虑水平方向上的应力和应变分量。假定在构造活动区, 如由构造变形导致的地壳最大水平缩短方向 (MHS), 局部地震的溶解断层面的轴方向, 和最大水平挤压的方向均相互一致。

应力场在空间上和时间上的连续性: 在许多构造活动区, 目前的主应力方向与引起上新世第四纪形变的主应力大致一致。进一步深入观察研究可知, 水平应力方向从一个地区到另一个地区是逐渐变化的。在构造活动区, 从上新世到第四纪期间, 主应力方向在时空上的连续性逐渐被认为是标准或工作的前提。由于全球应力图资料是不均匀的, 因此采用主应力方向连续性原则对描述和解释应力场规律显得非常重要。

板块的变形: 内陆变形一般是可观察的现象。在整个板块区域内, “板块边缘”代表着强烈的变形宽广带, 而这些构造变形带与内陆板块变形带不可分割。由于这些原因, 在板块构造学中两个重要的假设, 也就是板块内部是刚性的及将岩石圈再细分成一系列独立的刚性板块, 是不被认同的。所以板块这一概念已不再是原先的定义了, 而只作为描述岩石圈单元的一个常用术语了。

大陆岩石圈的区域应力规律: 现在的大部分应力信息是来自大陆地区的。观察中尤为有意义的是在构造活动区里允许将现代应力规律与新构造变形进行比较, 因此, 可以提供一些局部和区域的应力连续性信息。

在大陆岩石圈与太平洋地区西北部、东部、北部接触带内, 经研究得到大量有关应力场的基本规律: 在南美板块, SH_{max} 的方向主要是东西向的。在 Nazca 板块内, SH_{max} 方向也是东西向的。北美板块的整个西部区, SH_{max} 的方向主要是北东—南西向的。在美国中部和东部, SH_{max} 的主方向趋势是从东—南东—西—南西至东西向。在阿拉斯加和阿留申群岛, SH_{max} 的主方向为东南到西北—南北—南东, 在堪察加为西北—南东方向, 在日本和中国东北部为西—北西—东—南东到东西向。因此由 WSM 应力规律图 (即全球应力图) 显示出南美、北美、东亚的 SH_{max} 方向发生了 180° 大规模的顺时针旋转。在年轻的环太平洋造山带中 SH_{max} 规律与 MHS 规律非常吻合。观察到的环太平洋 SH_{max} 旋转是由于在环太平洋造山带中岩石圈板块正在进行着会聚。在阿尔卑斯—地中海造山带的许多地区和邻近的褶皱造山带内, 证实了应力在时间和空间上的连续性。

全球应力场构造地质学的关系: 在环太平洋造山带内, 现在的应力场也证实了岩石圈板块正在进行会聚。换句话说, 太平洋岩石圈经历了重要的扩张。古太平洋岩石圈的破裂和 Kula、Farallon 及环太平洋造山带的 Phoenix 板块的后生俯冲, 证实了洋壳从太

平洋中心向太平洋边缘大规模的背离运动。

在与太平洋对称的那半球，泛大陆的破碎也证实了存在与太平洋同时和可对比的背离运动。现在非洲主要部分还在扩张。

总体来说，全球应力场规律与 Pavoni (1969, 1981, 1985a, b) 曾提出的构造双极对偶模型相吻合。这个模型提出在地质构造作用中，太平洋壳岩石圈或与太平洋对称那半球是对称的或双极对偶的基本理论。这个造山带代表位于两个主要岩石圈分离的构造单元间的岩石圈对流带。太平洋单元以 $170^{\circ}\text{W}/0^{\circ}\text{N}$ 的P极为中心集中，冈瓦纳单元以 $10^{\circ}\text{E}/0^{\circ}\text{N}$ 的A极为中心集中。假定在双室地幔范围的对流形成两个膨胀单元，即A极和P极之下的上升流，在岩石圈背离带之下的下降流。我们可将P极和A极定为球面坐标，并称之为构造地质参考系(GRS)，在这个坐标系内，大圆表示水平方向的运动。人们最关注的是在地下幔中存在大范围的地震速度不均匀面(Dziewonski, 1984)，这正如Chase等人(Chase, 1979; Crough和Juray, 1980; Hager, 1984)提出的认为太平洋对称的那半球的双极对称并限定了P极与A极的构造模式。

对于全球规模的地球构造我们知道多少？

Tanimoto, T

刘俊来 译 刘先文 校

最近5-6年主要由于高质数字地震资料而使得对地球内部构造的了解有了很大的进展。应用地球体波、面波及自由振荡的各种研究阐明了不同深度上的三维构造。然而，任何构造研究都受到对用于探测构造的波长分辨力问题的限制。在这方面，比如由体波得到的模式代表着由面波或自由振荡获得的那些不同尺度的平均值，它应包括了更详细的结果。不过我们经常发现对于各种结果的解释就象它们给出的是对三维地球中地震速度进行的点估计。本文中我们回顾每种类型资料是如何提供给我们有关地球构造的信息以及如何依据其分辨力与误差进行解释。

三维构造研究中出现的最明显的特点之一即为与地表地质相对应的近地表速度的变化。快速的横波见于古老大陆中，象加拿大、欧亚、非洲、南极及西澳的地盾区以及古老大洋区象西太平洋。分辨力分析证实它们代表着一千多公里范围的平均值且仅仅给出地球构造非常大的波长特征。结果中的横波波速的变化约为 $\pm 4\%$ ，估计误差(1 σ)为 $\pm 1\%$ 。因而可以说我们刚刚开始研究三维构造，但获得的图象尚不够突出。

对于全球规模构造得出的上述结果难以获得，因为地震发生在有限地区而且地震仪也并非均匀分布。注意对于海域我们并没有许多地震仪。然而，如果我们限定研究地区，那么将得到较好的覆盖面，并有助于分析速率图。这样的一个地区即为太平洋。到目前为止还没有许多太平洋区的地震图，但在周围区域内却有许多地震发生，也有许多地震仪。为此，对于太平洋我们能够获得比全球规模构造更好的结果。图1示出这项研究中的kuril区分辨力图。一般来说在太平洋现我们得到了约1000km宽的分辨核心(resolving kernel)，也即是说我们可以获得在1000km范围内均匀的构造。这些结果用于Rayleigh

波的相波速 (Phase velocity), 其速率范围为 $\pm 3\%$, 误差 $\pm 0.5\%$ 。

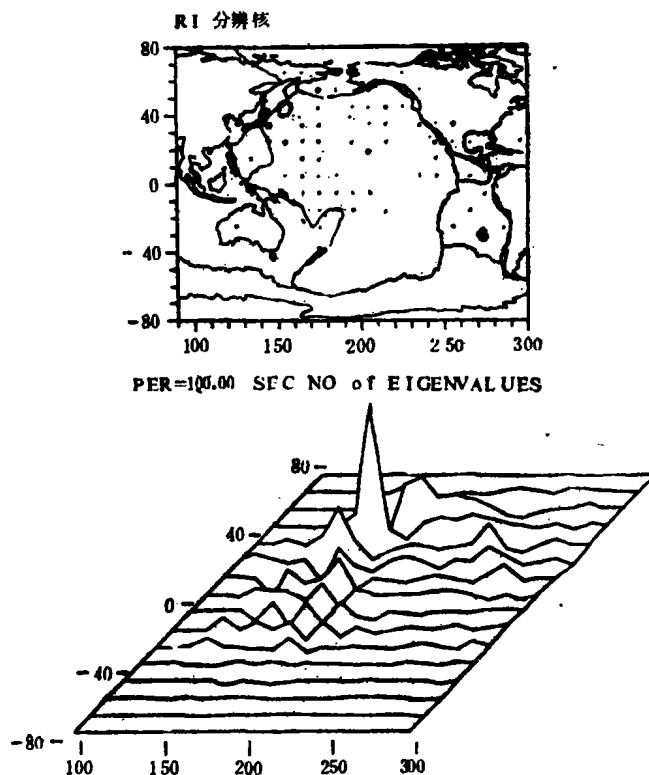


图 1 Kuril 区分辨力图

在 1000km 以下, 面波并不能提供更多的信息。下地幔与地核构造方面已从体波和自由振动获得。在体波研究中, 以 ISC (国际地震中心) 分类为基础的研究难以判断, 因为我们不能研究其原始资料, 因而不可能获得有意义的分辨力与误差。我们将进行体波的长周期波形研究与自由振动研究以讨论我们目前获得的分解极限。一般来说, 体波给出几百公里的均匀域而自由振动给出几千公里的均匀域。显然, 我们可以把它看作未来高分辨力研究中对地球构造的一个大波长约束。鉴于其大的均匀域特征, 自由振动在准确度与精度方面提供高质结果。

地壳的构造演化: 由早太古宙至晚显生宙

Khain, V.E

刘俊来 译 刘先文 校

新资料的大量累积使得有可能对地壳的演化及地史时期决定其构造的作用有一个更清楚的认识。地壳的演化受下列因素制约: 由于天然放射性元素源的减少而引起热流的逐渐降低、深部重力分异速度的降低、随地球-月球距离的增加而引起地球潮汐规模

的减小、陨石撞击密度的降低与相伴剥蚀和沉积速度的同时增加，后者并非与地球上有机生物发育有关。叠加在这些表示构造演化总体方向的单向趋势上的是使总趋势复杂化并诱发周期性具波动特点发育的构造与一般深成作用的内部热量周期性累积与释放的效应。

地球历史的最早阶段（4.6~4.0Ga）并无岩石记录，这并非偶然，而是由不利于它们保存的条件引起的。诱发地幔对流紊乱的高热流以及强烈的陨石撞击及剧烈的地球潮汐可以认为引起近地幔表面的高能重熔与其产物的混合，它们并不能导致任何稳定地壳的形成；后者只有在这一阶段的末期才能形成，且应由玄武岩组成。很有可能月球就是在这—阶段由剧烈的陨石撞击及其后地幔物质喷发的结果而形成的，地球的基本不对称从其出现保持到现在。

其后的早太古代阶段或原太古代阶段（4.0~3.5Ga）是初始尚未成熟陆壳的形成阶段，它可能是由原始玄武质壳的重熔或交代转化而成的，而这些作用可能是由陨石冲击激发的。在后一种情况下，原硅铝壳呈独立的岛状型式出现，它们后来变成空间图片中显示出的地盾环形构造的核。地幔对流尚未成为多单元，也未经适当的调整。在这一阶段结束时期大陆岩石圈外圈包上一层连续的原硅铝壳不是不可能的。

中太古代阶段（3.5~3.0Ga）形成了花岗-绿岩区、麻粒岩-片麻岩带及已经广泛分布的成熟陆壳（原克拉通），陆壳的厚度已趋正常且花岗岩-片麻岩和麻粒岩-基性岩能够区分开。对流更规则，但仍为多元对流，属Raleigh-Benard型。在这一阶段的末期出现了以花岗岩-绿岩为核，以麻粒岩-片麻岩带为骨架的多边形环形构造。花岗-绿岩区继承了前一阶段初始原硅铝壳的加厚作用，它出露于由上升对流引发的向各方向移动的塑性复裂谷中。这一过程致使形成绿岩带，其原蛇绿岩壳因含有科马提岩而变得较重并经受了迅速的俯冲。上升对流向下降对流的变化以及花岗岩-片麻岩的挤压与逆冲作用引起了它们的闭合并伴有复杂的褶皱推覆变形。可以说太古代时期是板块构造的雏形。

结果一些重要地区在这一阶段被完全克拉通化。它们构成苏联文献中所称的原地台，这是根据Pavlovsky的定义而来的。很有可能Pangea O超级大陆出现在太古代末期并在元古代初期受到裂解。到此时，岩石圈达到了这于它今天所应有的厚度与脆性，这已由广泛分布的岩墙群证实。太古代末-元古代初这段时间也是全球区域性走向平移断裂系统出现并在后期由于地球旋转的周期性速度变化引起的应变而复活。

早元古代时期的大地构造（2.5~1.9Ga）可以解释为微板块构造。在元古代初期，Pangea O超级大陆演化成多个相对小的（直径达1000km）大陆块-古克拉通-原地台——它们主要是太古代花岗-绿岩区，并被具有过渡型地壳或洋壳的狭窄盆地（原地槽所分隔），同时被与后者共轭的裂陷槽（原拗拉槽）复杂化。在这一阶段末期，原大洋盆地闭合，古克拉通联合形成Pangea I联合超级大陆。在中元古代它几乎不活动（1.9~1.3或1.0Ga），然后解体。这种解体的初期阶段（1.0~0.6Ga）出现的是同样影响未来劳亚大陆和冈瓦纳大陆的大陆裂谷作用，同时形成了具有过渡型或洋壳型且类似于早元古代活动带的一系列相对狭窄的活动带。然而，在文德晚期至寒武纪，冈瓦纳大陆内的活动带闭合。到奥陶纪冈瓦纳超级大陆出现以早前寒武纪为Baikalian-Brazilian-Panafrican核为褶皱系及同时代常见的构局所联合。相反，未来劳亚大陆上的Baikalan克拉通化区却

表现出不稳定性,在太古代初期,Japetus海、古特提斯海、古亚洲海分别在各自位置上张开,把具有早前寒武纪地壳的东欧、西伯利亚、中朝大陆及一些具晚前寒武纪地壳的年轻微大陆分隔开来(后者有塔里木、扬子微古陆等)。

古生代时期的演化造成除太平洋以外的古大洋消失,同时各大陆归并成劳亚超级大陆。同时,随着古特提斯海东部的闭合,在晚古生代出现了中特提斯海及新特提斯海,它们位于早期冈瓦纳陆内裂谷系的位置上。在晚古生代与早中生代,冈瓦纳的主体部分受到越来越强烈的裂谷作用所破坏。不过,在晚古生代出现了劳亚大陆与冈瓦纳大陆联合形成 **Pangea II** 超级大陆,它几乎延续到中侏罗世末期(0.16Ga)。

自那时起,地球历史中最后一个重要时期出现了,**Pangea II** 解体、大西洋、印度洋与北冰洋张开,太平洋地壳活化,太平洋与地中海活动带开始发育,形成了地球的现代构造格局。

尽管在地质历史中地壳的构造受到了很大程度的复杂化,但值得注意的是 **Pangea** 超级大陆在一个半球上周期性形成与解体的总趋势,这与 **Pantalassa** 稳定存在的观点相反(后者的残体是现代太平洋)。你也可以认为较年轻构造对较老的构造具有继承性。就太平洋而言,虽然可以利用的资料证实它的开始存在不早于元古代末期-古生代初期,但有些间接证据说明它的形成如果不是在太古代,至少是在元古代初期。

也应注意构造变形的样式有一定的变化。早前寒武纪时期的特征是变质岩系中的小规模复杂的叠加褶皱与晚元古代甚至古生代少见而在中生代完全消失了的花岗片麻岩穹窿。盐岩与粘土底辟出现在晚元古代、显生宙广泛出现。泥质火山主要是新生代的典型特征。

前寒武纪的板块构造和热作用方式

Burke, K 和 Ashwal, L.D

高嘉瑞 译 刘先文 校

自从威尔逊首次发现岩石圈的板块构造以来,前寒武纪地质工作者慢慢地但基本上都认识到,没有必要考虑现在和显生宙期间发生活动的与从地球上保存得最老岩石(约3.8Ga)形成以来曾经活动的构造样式差别,这一认识对前寒武纪地质的研究产生了释放性影响。因为已经停止用“硅铝壳造山运动”之类的 *ad hoc* 作用解释前寒武纪岩石和构造这一似乎有道理的企图,鉴定前寒武纪岩石中表现的现代环境的试图就变得十分重要,进行这些鉴定有助于揭示地球历史中的细微变化,尤其是与热状态有关的变化,例如,(1)太古宙绿岩带中巨大的枕状玄武岩层代表的是弧岛和海盆的环境,这是很清楚的,但是,与这些玄武岩普遍伴生的体积在10%之上的超基性科马提岩却可能归结为较热的太古宙普通地幔(约100°~300℃)。(2)从现代洋底热液脉型矿床和以阿尔戈马型铁矿体为代表的太古宙矿床的对比可以推断,太古宙洋底水温比现代洋底水温高。(3)太古代铁矿床的幔源同位素标志(丰度高于以后的铁矿床)也解释为太古宙强烈热液活动(4)的指示剂。

从显生宙大陆的演化来看,大陆的前寒武基底部分代表的大型构造环境数量似乎很可能较少,其原因为:(1)大陆极可能由岛弧的碰撞拼接而成。虽然绿岩带中有碰撞的证据,但岛弧的总成分显得比大陆的总成分更偏基性些,对这一差别的可能解释是,岛弧深部的更基性部分在岛弧碰撞(5)过程中俯冲到地幔内,一旦大陆由这种方式组合而成,就可能通过在其边缘建立安第斯型岛弧系统和通过附加岛弧或微小大陆块的碰撞而更改(“地体拼接”)。(4)喜马拉雅山—西藏型大陆碰撞对拼接大陆的合成演化有很重要的意义,因为正是这些地方有巨大的高原和巨厚的地壳形成,并留下拉张型的浅层部分熔融花岗岩地区和深层麻粒岩地区。在麻粒岩地区,重新计时的同位素钟在剥蚀和崩塌之后出露出来。在这些碰撞带中地幔岩石圈的剥露也许是普遍的。(5)裂谷作用很可能发生在岛弧和安第斯型弧中,也可能与大陆的碰撞相伴生。这样的裂谷可能发展成广阔的海洋(海洋后来也可能闭合),也可能逐渐衰退并保存在大陆内,陆内热点火山作用普遍与裂谷作用有关。(6)拼合的大陆很可能短期被海水淹没,由此形成地台沉积尤其是碳酸盐层。(7)大陆偶尔也会受到外部空间的冲击,所形成的冲击坑可能被保存下来。

通过对前寒武纪大陆演化的进一步了解,我们试图描述这七种环境的特征。在北美,元古宙的历史已经过很好地总结(6),很显然,有些过程很难描述,例如,虽然有很多岩墙群,但仅有一个主要的陆内裂谷作用在 Keweenaw 大陆中部被保存下来(或被发现)。在 2.0~1.8Ga 期间,只有安第斯型弧很明显,到了 1.7Ga,北美(包括波罗的海?)表现为保存最好的拼接大陆。冈瓦纳大陆是 0.6Ga 前拼接而成的,其内部纳入了很多前寒武纪大陆物质的残余,这些残余的前寒武纪大陆物质现在分布在冈瓦纳大陆中和亚洲内部,正如北美一样,有些环境也明显保存下来,例如,在亚马逊盆地之下有一个大型陆内裂谷体系,在澳大利亚的 Amadeus 盆地之下也可能有类似的裂谷,但是,保存下来的陆内裂谷很稀少。1.0~0.6Ga 之间的岛弧组合在北非和阿拉伯保存得较好,但不论在何处都很少见,而在非洲表现最明显的晚元古宙泛非事件中发生的大规模的喜马拉雅山—西藏型大陆碰撞则比较普遍。在冈瓦纳大陆上,太古宙之后的新地壳形成幕只是零星表露(例如在 Birrimian, 约 2.0Ga),并且没有被广泛发现。

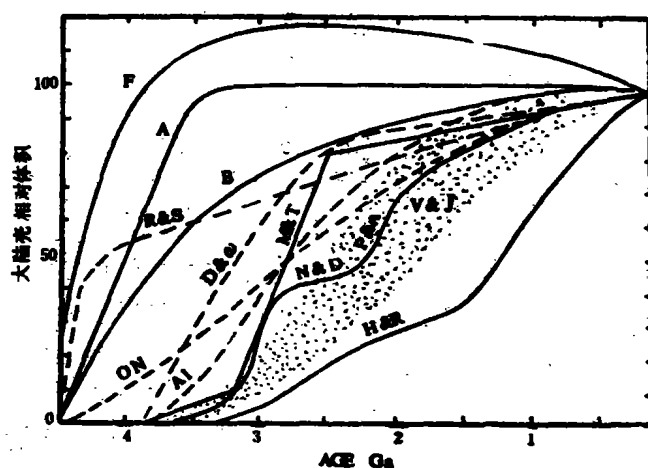


图 1 不同时代陆壳的相对体积

经过对北美和冈瓦纳大陆裂谷中由于板块构造作用并必定以散热的方式形成的构造形迹的辨别,我们推断出,有些(也许很多)形成于 6 亿年之前的岛弧和大陆物质没有保存下来,而是重新循环到地幔中。这一重循环可能包括两个微大陆碎片的剥蚀、俯冲和各种环境下地幔岩石圈和深部地壳的剥离。Margan (7) 曾指出,古代壳型地体具有高浓度生热元素 (K, O, Th), 因

而极易重新活动。以前曾认为,同位素研究可以指明物质没有发生以地壳到地幔的重循环,就从他们物质运移诉诸于仅发生于地壳和上地幔之间这一角度上看,这是错误的。如果很多地幔卷入到物质运移过程中(即使局部和星点地),那么,对重循环的地球化学异议就不可能那么强烈。很多大陆很早就已形成且陆壳的重循环是客观实在的观点在近25年来已经不流行了。但是,作为一种可能性,它们曾被两个前寒武纪地质学的英雄强调过,(图1)对这两位英雄来说,我们希望在介绍时给予赞扬。

芬诺斯堪的亚(波罗的)地盾的大地构造演化——太古宙与元古宙的地质对比——兼论花岗-绿岩地体

G. Gaal

吴福元 译 刘俊来 校

芬诺斯堪的亚(波罗的)地盾的前寒武纪历史可以追溯到3.1Ga以前。按照Gaal and Gorbotslev (1987)的意见,其主要的构造单元可划分如下:太古域(3.1—2.5Ga),位于地盾的东部,由Karelian(卡累利阿)省的花岗绿岩地体和Belonorian与Kola(科拉)半岛省的中高级变质岩所组成;地盾西部由元古宙所组成,由东向西年龄逐渐变新,即Svecofennian(瑞芬系)域(2.0—1.75Ga)、Transscandinavian花岗绿岩带(1.78—1.6Ga)和西南部的Scandinavian域(1.75—9Ga)。

早元古宙岩石以太古宙陆壳盖层(2.5—2.1Ga)或克拉通间活动带(2.2—1.9Ga)的形式存在,构成Pechenga-Tmaolre-Varzuga带、Ioplandi麻粒岩带和Kainuu片岩带。北部的部分绿岩带即Viruna绿岩带和Karasjok-Kittila绿岩也通常被认为属于早元古代的盖层或活动带(>2.1Ga)。

太古宙花岗-绿岩地体:Karelian省的太古宙沉积火山岩形成于2.9—2.7Ga以前,并遭受了2.7—2.5Ga间的变质作用与花岗质深成岩的侵入。目前在花岗质岩石中已获得了31—29亿年的年龄,因此,至少有一部分绿岩带当时是沉积在太古代的陆壳上。Karelian省的某些表壳岩带与经典描述的太古代绿岩带十分相似。如Kuhmo-Suome-sseimi绿岩带,其80%由火山岩所组成,火山岩的主要岩石类型是拉斑玄武岩,同时存在少量有意义的长英质火山岩或科马提岩(Piirainen, 1988)。有些绿岩带主要由云母片麻岩和云母片岩所组成,而有的则主要由中性-长英质的钙碱性火山岩所组成。上述各种组合的存在反映本区是一个经历过火山作用发育的裂谷带、浊积盆地和岛弧区。按照太古代板块构造观点已经合理地解释了这种古环境的特征以及以早期倾伏褶皱和高压变质作用为特征的Karelian省与Belomorian省的并置(Gaal and Gorbatschev, 1987)。有人指出,环绕这些绿岩带的英云闪长岩、奥长花岗岩和花岗闪长岩来自于洋壳的部分熔融作用(Martin, 1987; Piirainen, 1988)。

早-中元古宙历史:2.5Ga大陆壳固结不久,本区就经历了强烈的构造岩浆活化,造成陆壳的分裂与肢解,这种作用在21亿年时达到顶峰。这次事件的第一个作用就是

24.5亿年前沿东-北东方向张性带展布的层状基性-超基性杂岩体的侵入。2.25~2.0Ga年时,北西向展布的粗玄质岩脉群的侵入引起海洋扩张及被动型大陆边缘的形成,这个大陆边缘就是 Svecofennian 岩系的主要沉积场所,1.96Ga 的古老蛇绿岩是大陆裂开的有力证据 (Kontinen, 1987)。在后继的压缩阶段 (1.93~1.8Ga), 洋壳的俯冲促成先原始拉斑玄武质 (Gall, 1985) 而后钙碱性岛弧的形成 (Kahkonen, 1987; Vivilo, 1987; Boker, et al, 1988)。幔源的花岗岩-花岗闪长岩将元古代地壳与太古代地壳连结起来 (Huhtma, 1986)。

向西地盾的增生一直延续到 0.9Ga, 它以岩浆作用为主, 其中有意义的是 1.75~1.6Ga 的 Transcandinavian 花岗斑岩和环斑花岗岩的形成 (Lindh, 1987)。

比较: 晚太古与早-中元古代的地壳演化都引起了含大量花岗岩的幔源地壳的形成。在太古宙区, 英云闪长岩、奥长花岗岩、花岗闪长岩占优势地位, 而元古代则以花岗闪长岩和花岗岩为主。无论是太古还是元古, 岩系的产生均可用俯冲模式加以解释。太古代的高热流使得洋壳在较浅部位发生部分熔融, 形成英云闪长岩和奥长花岗岩; 而在早-中元古代, 热流值有所降低, 但仍能引起俯冲带之上的地幔楔形巨大面积异常区的部分熔融。

太古宙地壳在元古代时经历了强烈的构造-岩浆活化, 而早元古代地壳在 1.75Ga 固结以后就一直保持其稳定状态。这种差别可能来自于 1.75Ga 以后, 由于地球的冷却而导致的陆壳韧性的降低。

芬诺斯堪的亚 (波罗的) 地盾的上述纪录表明, 太古代-元古代分界时地质条件是变化的。这个结论支持了板块构造活动性在地球发展历史中具有演化性的观点, 并进一步强调在地球的演化过程中, 岩浆的形成也是变化的; 由于地球的冷却, 陆壳的韧性在前后也是有差异的。

元古代碰撞的太古代硅铝质板块: 西伯利亚北部阿那巴尔地盾的地球化学效应

Rosin, O.M.

徐学纯 译 刘喜山 校

近于东经71°和北纬110°, 分布范围为 500,000km² 的阿那巴尔地盾是西伯利亚地台结晶基底的北部窗口。地盾被缓倾斜的晚前寒武纪和早古生代的陆源岩石所包围。其最下部分层序标志着结晶杂岩的构造活动结束。由海绿石的 K-Ar 法测定其年龄为 1.6Ga 以前。

地盾由两套变质杂岩组成, 太古代麻粒岩相变质的阿那巴尔杂岩占 4/5 的面积, 而元古代角闪岩相的 Iamujka 杂岩仅占 1/5。对于阿那巴尔杂岩的时代确定, 锆石 U-Pb 不一致曲线指示其母岩形成于 3.2Ga 以前, 麻粒岩的变质作用发生在 2.7Ga, 而 Iamujka 杂岩产生, 角闪岩的变质作用发生在 1.9Ga 以前 (Bibikova et al., 1987)。

阿那巴尔杂岩主要为紫苏斜长片麻岩 (紫苏花岗闪长岩), 其次为二辉石片岩 (变

质基性岩)，而某些地方为石榴石片麻岩，钙硅酸盐岩石、大理岩以及石英岩。它们构成 1~5km 宽，10~20km 长，北北西向展布的紧闭线状褶皱群。

在岩石化学上这种变质基性岩-斜长片麻岩组合未遭受到破坏， SiO_2 含量从 45% 到 74%，通常属于钙碱性岩系。推测为与岛弧火山活动有关的火山成因 (Rosen, 1986)。石榴石片麻岩的岩石化学成分类似于硬砂岩 (Rosen, Dimroth, 1982)。依据同位素数据 ($\delta^{13}\text{C} = \dots - 4\%$, $\delta^{18}\text{O} = +18 \dots 24\%$)，大理岩被推测为海相沉积变质产物。原始硅铝质地壳似乎是 2.7Ga，在这套火山-沉积建造强烈褶皱和麻粒岩相变质之后产生的。

Iamujka 杂岩位于 10~30km 宽，大于 200 公里长的三个断裂带内。它是由构造岩 (糜棱岩) 及其后产生的变斑状钾质片麻岩)，混合岩和由硅-钾交代作用和部分熔融形成的原地花岗岩的脉体组成。太古代阿那巴尔杂岩以基底形式存在之后，它含有大的基底构造岩块 (麻粒岩建造、斜长岩)。这些岩块有不同的规模，有的大于 10km。近代的侵蚀面重新恢复了这种在 10~20km 深度角闪岩相条件下形成的深部断层带。这些断裂地体在 1.9Ga 以前从北东向南西方向逆冲。看来在那时地壳被加厚了一倍。

现代的这种情况在喜马拉雅山脉得到了研究 (Molnar et al., 1983)。地质和热流分析表明，在大的逆冲断层带上部形成了作为大陆地壳部分熔融结果的花岗岩。正如模拟计算所显示的那样 (England, Bickle, 1984)，在中等热流值条件的地壳加厚过程中，这种逆冲断层带的深部层次的 P-T 参数可能达到麻粒岩相。阿那巴尔地盾元古代的地壳演化被推测是与此相同的。

在阿那巴尔太古代杂岩中具有中性和酸性化学成分的紫苏花岗闪长岩分布最广泛。对于上部地壳，元素的平均丰度已被标准化了 (Taylor, McLennan, 1985)。这些太古代岩石富集 FeO 、 MgO 、 Ni 、 Co 、 Cr 、 V 、 S_2 ，而亏损 K_2O 、 Nb 、 Rb 、 U 、 Th 、 Ba 的

表 1 阿那巴尔地盾分布广泛岩石的平均成分

	太古代 >2.7Ga		元古代 1.9Ga	
	紫苏花岗闪长岩		混合岩	花岗岩
	中性成分	酸性成分		
百分含量				
SiO_2	58.97	68.90	67.18	73.88
K_2O	1.60	1.59	4.35	5.14
PPm				
Ni	42	20	10	4
Cr	60	51	37	10
Rb	26	18	120	15
Ba	562	549	1540	820
n_1	32	25	19	11
U	0.4	0.3	0.9	1.7
Th	1.0	1.2	8.9	8.2
Th/U	2.3	4.2	9.7	4.8
n_2	10	13	7	3

上硅铝质物质附加的结果而产生的。它们富集 H_2O 、 SiO_2 、 K_2O 和不相容元素 (见表 1)。

浓度是在水平线上，这个事实和低的 $\text{Th}/\text{U} = 2.3 - 4.2$ 比值也允许设想以上所给的元素浓度没有因为变质事件而变化。因此，原始的火山熔融体似乎是在象显生宙洋壳那样的硅镁质环境中产生的。整个阿那巴尔地盾的太古代硅铝壳是近似于安山质成分，具有 $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$ ，高含量的铁族微量元素和正锶异常。

含黑云母和角闪石的混合岩和花岗岩是元古代 Iamujka 杂岩的典型岩石。这些岩石是作为在先前的太古代基底

总的来说,这套杂岩有花岗闪长质成分, $K_2O > Na_2O$, $Tn/U = 5 \sim 10$ 和典型的负锆异常 (Rosen, 1986)。这种成分似乎完全接近于显生宙的上部地壳。

可以得出的结论是在岛弧形成过程的条件下,形成太古代的微板块。它们堆叠和增生的时代是未知的,但似乎是太古代。在中元古代这些硅铝质块发生碰撞。现在这种碰撞带(缝合带)作为由 Iamujka 杂岩组成的断层带出现。这种显生宙类型的花岗闪长质地壳的地球化学效应沿着断层带分布。这样的局部作用似乎是在大陆上部地壳中花岗岩基形成之前的初始阶段。

波罗的地盾太古宙、元古宙地体的特征与演化

R. Gortashev

戴文志 译 刘俊来 校

波罗的地盾大陆壳的形成经历了 2.0Ga 的时间,它向我们提供了各种不同类型的造山运动的例子,且这些造山运动或多或少都与板块构造作用密切相联。

最近同位素与岩石学的研究表明,造山运动的发展与地壳形成的时期并不能分成几个互不相干的旋回。造山运动的类型及其产生与特定时期由于俯冲作用而导致的板块组合密切相关。

波罗的地盾早-中元古代以格林维尔和 Svecofennian (瑞芬) 造山运动为特征。其中格林维尔造山运动经历了大约 300Ma 时间,是一系列碰撞、旋转、碰撞造山事件的产物;而发生 Svecofennian 造山运动时,大面积新生成的陆壳几乎占据了波罗的地盾的中心区域,其形成经历了 30Ma 的时间,它是一个非碰撞事件的产物,以大量英云闪长岩、奥长花岗岩深成岩体的发育为特征,并伴有低 P/T 比值的变质作用,由此阻止了新生成的地壳的叠置。几乎与此同时,沿地盾的北缘发生另外一起不同类型的碰撞造山运动,其特点是火成活动较弱,变质作用具有高的 P/T 值,并造成逆冲岩片的迭厚。

早元古宙的 Svecofennian 与 Gothian 造山运动形成地盾的西部与中部主体。两者在早期都经历了造山型“1”型花岗岩深成作用,其时间相差约 100Ma。Gothian 期形成的地壳沿地盾西部分布,它强烈影响了地盾中部新生成的 Svecofennian 期地壳,地盾中部 Svecofennian 期晚造山花岗岩与 Gothian 造山运动早期的深成岩体具有相一致的形成年龄,均在 1.8~1.75Ga 左右。

如果考虑元古宙与太古宙地壳形成上的区别,发生于 2.9~2.7Ga 年间的晚太古代造山运动与波罗的地盾的早元古代造山运动并无显著差别,两者都以克拉通的裂开和线性活动带的发育为特点。俯冲控制的板块构造是解释太古代地质的最好假说。它们的差别只表现在过程的速度与地球化学特征上,而这些可能是由于地球的不可逆冷却和地幔分异作用所造成的。

Saskatchewan省1.9Ga沉积岩中锆石 U-Pb的离子探针分析:

加拿大地盾的地壳生长和增生

Arndt, N.T.

高嘉瑞 译 刘先文 校

Anv 的 Shrimp 离子探针分析用来测量加拿大 Saskatchewan trors-Hudson 造山带驯鹿湖带哈得孙沉积岩中碎屑锆石的 U-Pb 同位素年龄。在该区,好几个岩性构造带由镁铁质到长英质变质火山岩、变质沉积岩组成,花岗质岩体成线状平行于北西侧的 churchiu 陆台分布 (Van Schumus 等人 1987)。驯鹿湖带内的锆石 U-Pb 同位素年龄处于 1.84~1.89Ga 之间,而 Churchiu 陆台的同位素年龄在 2.5~3.0Ga 之上。对驯鹿湖带的火山岩、沉积岩和花岗质岩石的 Nd 同位素分析得出, ϵ_{Nd} (时间为 1.9Ga) 在 +5 到 -8 之间,其中较高的值来自于远离 churchiu 陆台以变质火山岩为主的带中,较低的值来自于与 Churchiu 陆台相邻的片麻岩和混合岩带内 (Chaurvell 等人, 1987), 从三个带用的变质沉积岩中新测定的 Nd 同位素得出 ϵ_{Nd} 值在 +4 到 -2 之间,而 Nd 的模式年龄为 1.9~2.2。

锆石是从 La Ronfe 带西部的 Moloman 群变质砂岩、Glenie 地区的变质泥岩和云英闪长岩-混合岩杂岩体内的变质砂屑岩中提取的,其离子探针分析结果如下。

1. 大多数锆石年龄在 1.9~1.75Ga 之间,但在每个样品中,总有个别颗粒和一个复合颗粒的核部年龄较高,达 2.4~2.6Ga。在这些同位素年龄数据中,较低的年龄范围与驯鹿湖带内的岩浆年龄重合 (见下文),较高的数据组与 Churchiu 陆台的太古宙岩石的年龄相吻合,只有五个颗粒 (72 个分析颗粒中) 年龄在 1.95~2.5Ga 之间。相当多的颗粒年龄大于 2.5Ga, 显示出与 ϵ_{Nd} 有一个大致的反比关系,这些颗粒多富集 (约 30%) 在云英闪长岩-混合岩杂岩体内的样品中,最低的 ϵ_{Nd} 值为 -2,其次在 La Ronfe 带西部的变质砂屑岩石中常见 (约 10%), ϵ_{Nd} 值为 +2 (在 $\epsilon_{Nd} = +4$ 的样品中没有提取出锆石来)。这些结果明显证明变质沉积岩中的 ϵ_{Nd} 变化范围和 T_{DM} 值是中元古宙岩石 (鹿驯带的岩浆岩) 和太古宙岩石 (来自 Charchiu 克拉通) 这两种组分混合的结果,花岗质岩石中的 ϵ_{Nd} 和 T_{DM} 值也是如此。因此,没有发生于 2.5 到 1.9Ga 期间的重要的地壳形成事件的证据。

2. 根据光性和形态特征不能把不同时期的锆石颗粒区分开,同样,也不能找到区分复合颗粒老核 (约 2.5Ga) 和新核 (约 1.85Ga) 的标准。如果根据光性、磁性或形态特征对锆石进行分类,对经分类后的锆石进行传统的 U-Pb 分析就可能得出混合年龄和无意义的结果。

3. 较新的年龄组 (1.9~1.75Ga) 包括一个明显的由净干的、未分带的、分离的颗粒组成群体和一些有分带颗粒的干净边,这些颗粒年龄在 1.75 到 1.8Ga 之间,我们认为这些颗粒是在变质过程中形成的,其中有些是变质地区的碎屑颗粒,但多

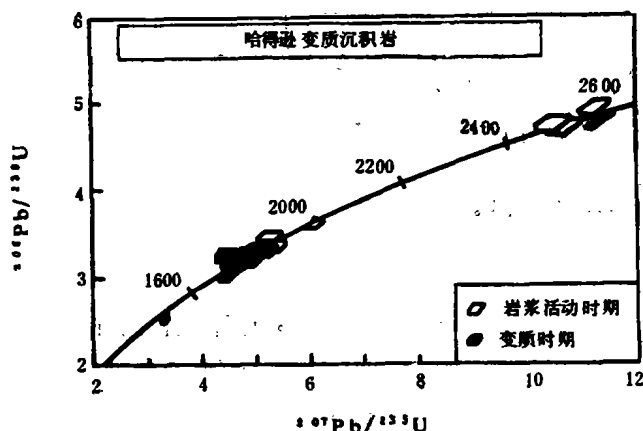


图 1 加拿大北 Saskatchewan 地区 Trans-Hudson 造山带的 U-Pb 地质年代

湖带内没有留下记录,而是来自于 Thompson 带,这个带现在处于驯鹿湖带南西侧的苏必利尔省北西边缘。这一结果说明苏必利尔克拉通为驯鹿湖带的变质沉积岩提供过碎屑物质,这样就意味着这两个大陆地区在中元古宙时期是相邻的。

数可能形成于沉积岩石的沉积后变质过程中。另一组锆石年龄在 1.8~1.84Ga 之间,它们呈拉长的、自形和强烈分带的特点,因而具有岩浆锆石的特征,它们的存在明显把沉积岩的沉积时期限制在 1.9Ga 之下,所以驯鹿湖带的造山运动可以从 1.9Ga 左右 (Van Schmus 等人, 1987) 延续到 1.75Ga 左右 (最新变质锆石的年龄)。

年龄在 1.8 到 1.84Ga 之间的火山岩和长英质深成岩在驯鹿

阿拉伯地盾在晚元古代增生过程中侧向板块运动的证据

J. E. Quick

胡克译 刘先文校

阿拉伯地盾被一些地壳缝合线所切割,这些缝合线以超镁铁质岩带为标志,常代表着闭合的弧后盆地,或者直接是碰撞前锋的边界。但是,有关北阿拉伯地质构造方面的新资料表明,最长的缝合带即 Nabitah 断裂实际上是一个古老的弧间或近弧断裂,沿该断裂曾发生过较大的平移运动。

图 1 说明了 Nabitah 造山带 (1)、Murdama 盆地 (2)、Altt 片岩 (3) 和前寒武纪未分岩石 (4) 的出露区域,标明了 Nabitah (N)、Yanbu (Y)、Al Amar (A) 和 Bi'r Umq (B) 这些缝合线的位置。Nabitah 断裂主要出露于阿拉伯地盾的轴部,切断了 Bi'r Umq 缝合线,与 Nabitah 造山带走向一致,沿南北向可进行追索。该造山带发育了一些同造山的钙碱性侵入岩,年龄在 700~640Ma 之间 (Stoessert 和 Stacey, 1988)。Nabitah 断裂平行于 Al Amar 缝合线、Murdama 盆地和片岩的走向。在地盾之北部, Nabitah 断裂是一套 1~5km 宽、陡倾的糜棱岩。没有发现蓝片岩变质作用或增生柱的残余,表明它不是碰撞前锋边界断裂。相反,断裂作用可能发生于 Nabitah 造山带的岩浆活动中心,并与之同时。岩墙和石英脉中的陡倾伏线理和拖褶皱表明该断层以左行平移运动为主。下盘为 800~900Ma 的岛弧组合及 Bi'r Umq 缝合线,这意味着 Nabitah 断裂的左行位移要大于 250km。

Nabitah 断裂明显平移的证据提供该地盾元古代构造演化的新解释,即斜向碰撞构

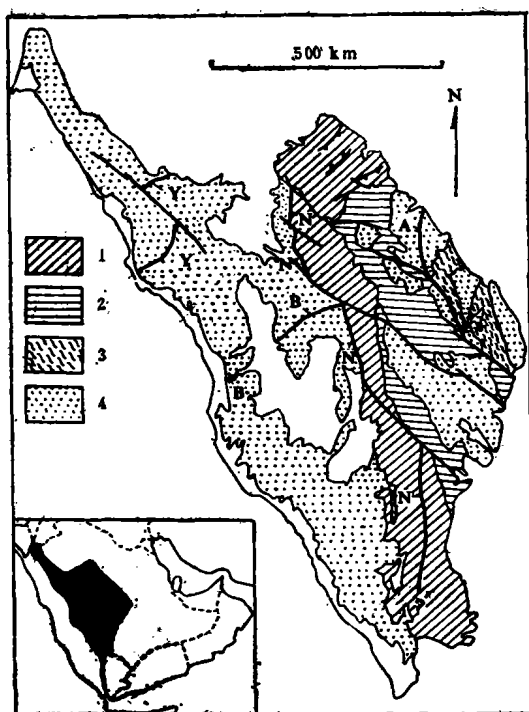


图 1 Nabitah造山带

1-Murdama盆地; 2-Abt片岩; 3-和前寒武纪未分岩石;
4-的出露区域

造。由此推断, Nabitah 断裂、Nabitah 造山带、Murdama 盆地和 Aat 片岩是同一碰撞边界-岛弧系的不同组成部分。该构造体系活跃在700~640Ma, Nabitah造山带的钙碱性岩浆活动、Murdama 盆地里浊积岩的沉积、Abt (片岩的变形几乎同时发生 (Sto:ser 和 Stacey, 1988)。与现代和显生宙岛弧体系比较来看, Nabitah 断裂应为一平移断裂, 位于 Nabitah 造山带即晚元古代岛弧内。Murdama 盆地和 Abt 片岩为与之同时代的弧前盆地和增生柱的残余。北西向的斜向俯冲发生在 A(Amar 缝合线)之东, 推动了断裂的平移并在地盾北部形成走向北东的逆冲断裂。

由于强调了阿拉伯盾晚元古代组合的侧向板块运动, 本文的再造工作不同于已有的模式。

南非 Namaqua 活动带内 Aggeneys 元古宙地体的构造演化和构造作用——一个渐进的韧性剪切模式

Colliston, W.P., Praekelt, H.E, Schach, A.E.

高嘉瑞 译 刘先文 校

通过对 Namaqua 活动带的构造和地层背景的重新评价, 我们把该活动带再分成 (图 1) 不同的岩性和构造地体 (根据 Coney 等人的概念, 1981)

该活动带的东部向北东方向延伸, 它也可以再分。在所划分的地体中, 大多数都以大型剪切带为界, 并且经测定, 一些地体甚至有 100km 长的位移。在此提出的 Aggeneys 地体的构造演化就卷入了巨大的水平滑移 (与垂向构造运动相反), 而这一运动主宰着南非 Namaqua 活动带的元古宙构造演化。非洲在元古宙时期也肯定有板块构造作用在活动。在角闪岩相的 Aggeneys 地体 (图 1) 中, 主要构造为向南倒转的褶

皱和向南的逆冲推覆体 (Coliston 等人, 1989), 地体内部变形不均匀, 主叶理面发生褶皱, 褶皱轴近平行于延伸方向, 构造岩中具极发育的 L—S 型组构。

Aggenys 地体中部的变形有如下特点: (i) 与逆冲的 Pofodder 地体相接触的北部边界是一条十分明显的剪切带 (Groothoek 逆冲带), 该带走向长度最小为 350km, 左旋斜滑移, 并通过构造的旋转反映出来; (ii) 面状组构是复合面状组构, 由几种相互平行的层状构造、剪切逆冲面和与平卧褶皱有关的叶理组成; (iii) 线状组构也为复合线状组构, 由近平行的矿物拉长线理、不同期次的褶皱枢纽、中大型鞘褶皱组成, 它与地体的边界斜交; (iv) 可区分出两个应变域, 在 I 带中(应变较低), 地层层序十分完整, 其面向恒定朝向北东, 褶皱产状恒定, 有些具蘑菇状形态。在 II 带中(应变较高), 地层残破不全, 面向变化不定, 主要构造为鞘褶皱和褶皱推覆体。

构造证据证实了渐进的变形有一定的差异性简单剪切组分, 剪切面平行于复合面状构造和体应变椭球体的 X-Y 面, 剪切方向也平行线状构造和拉伸主应变轴。

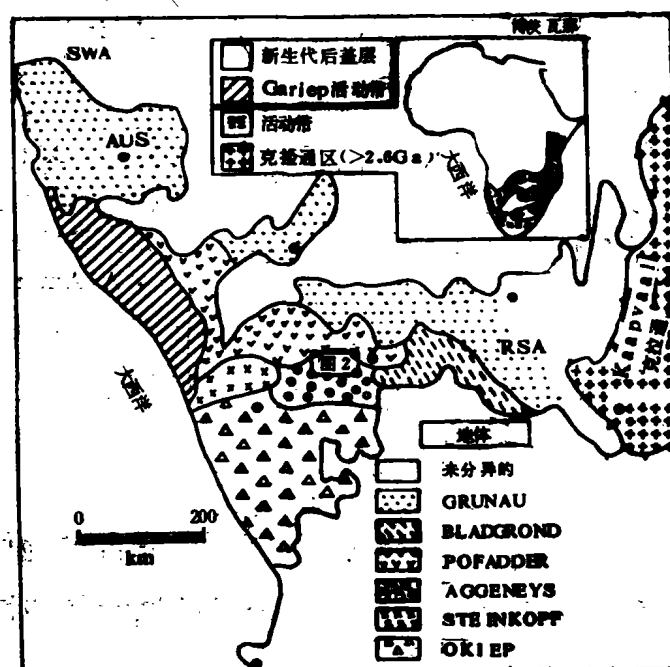


图 1 Namaqua 活动带西部的主要构造地体

印度中部的Satpura山脉——一个元古代板块碰撞的例证

M. N. Qureshy Iqbaluddin

胡克译 刘先文校

碰撞山带比比皆是, 如喜山-青藏高原、Zagros-伊朗高原、安第斯山、欧洲古生代华力西带、阿帕拉契亚山和加拿大地盾上的晚元古代哈德逊运动等等, 指示着常见的构造作用。元古代也存在着现代的板块构造运动 (Dewey 和 Burke, 1973; Wilks, 1988

等)，但由于侵蚀较深、时代古老，诸如板块边界、贝尼奥夫带、缝合带和其它板块构造标志不易解译。由此而常对某些元古代造山带产生错误认识，认为是原地的和硅铝质的。就印度中部元古代的 **Satpura** 带，我们认为它就是晚元古代碰撞构造作用的结果。

Satpura 地带为北西西-南东东向，从西海岸的 **Broach** ($21^{\circ}40'N$, $73^{\circ}00'E$) 附近直至东印度的 **Ranchi** ($23^{\circ}20'N$, $85^{\circ}30'E$) 以东地区，横穿印度，是南印度地盾 (**Dharwar-Singhbhum**) 和北印度地质 (**Vindhyan-Bundelkhand**) 的分界。这是一条元古代的碰撞带，是一级地质界限。该带以北地区磁场、重力场走向为北东东，而南部为北西向，并有近椭圆形的异常区。卫星重力和磁场异常图象显示该带南北地区有着明显的差异。南印度和北印度地盾的古地磁和其它地球物理特征以及地质状况表明它们分属不同的岩石圈板块。根据古地磁资料，南印度的 **Cuddapah** 盆地和北印度的 **Vindhyan** 盆地在约1400Ma 时在南半球和北半球同时发育的盆地 (**Reddey** 和 **Prasad**, 1979)。

在元古代 **Satpura** 带，印度地质 **Dharwar-Singhbhum** 与 **Vindhyan-Bundelkhand** 岩石圈板块之间的地质组成均呈带状分布，构造线方向以北西西-南东东为特征，这就是 **Satpura** 地带的构造图象。我们在横穿 **Mirzapur** 和 **Sidhi** 地区 ($82^{\circ}30'E-83^{\circ}00':24^{\circ}15'N-24^{\circ}30'$) 的 **Bijawars** 做了综合地质调查，该处为元古代碰撞带的典型地带。

Bijawar 群是一套弧后沉积岩系，包括基性火山岩组合的三位一体 **CJunge** (火山岩)、层状硅质岩、硬砂岩、共生的细碎屑岩和火山碎屑岩 (**Iqbaluddin** 和 **Moghni**, 1981)，砂屑岩的 **QFL** 富集区表明 **Bijawar** 群为一岛弧环境。在 **Son** 谷地，**Bijawar** 岩石中富含绿泥石，为绿片岩相的低级区域变质作用。而南部的 **Dudhi** 杂岩 ($20^{\circ}10'N$, $83^{\circ}10'E$) 则相反，多为花岗岩、片麻岩、混合岩和共生的变沉积岩，为角闪岩相的高级变质作用。构造上，**Bijawar** 群表现为上凹的逆冲带，与 **Dudhi** 花岗岩的接触是区域构造的必然趋势。花岗岩富钾，所含的各种包裹体和透镜体是一些高级变基性岩和片岩的构岩造片。**Dudhi** 杂岩的花岗岩中的年轻组成含有 **Bijawar** 群的低级变质岩残块。

Vindhyan 与 **Jungel** 火山岩和硅质岩之间的构造是一条缝合带，北印度岩石圈板块。

在此处与岛弧碰撞，然后又与被动的南印度大陆板块碰撞

(图1)。含有镁铁质和超镁铁质岩块的 **Junge** (火山岩是仰冲上来的洋壳 (参见 **Shyok** 缝合带) (**Thakur**, 1987)。

形成 **Bijawar** 浊积岩的岛弧可能发育在安第斯型的边界上

(图1)。**Bijawar** 群的上凹状逆冲标志着碰撞后的地壳增厚作用，含有钾质花岗岩的 **Dudhi** 杂岩的角闪岩相代表着南印度大陆板块的被动边缘。

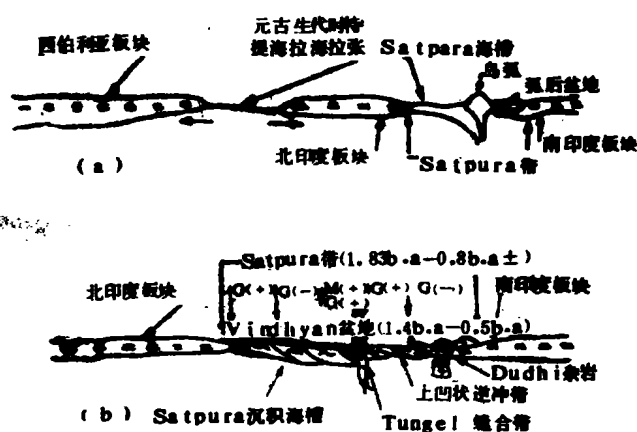


图1 **Satpura** 带类似安第斯型碰撞的构造演化示意图

(a) 各构造单元在碰撞前的位置； (b) 碰撞后各构造单元的位置；
G (-) 重力低；G (+) 重力高；M (+) 磁场高

Jungel 缝合带以北地区被 Vindhyan 陆相碎屑岩所覆盖。重力资料表明：紧靠着缝合带的北侧为低密度区，而在 Bundelkhand 克拉通的南缘是一条线性的高密度带 (Qureshy 和 Warsi, 1975)。Jungel 缝合带北侧的重力低标志着一个沉积海槽，Son 谷地及邻近地区的重力高则反映了 Vindhyan 之下的洋壳物质。Son 河以南的缝合带 ($24^{\circ}30'N$, $82^{\circ}45'E$) 也伴随着一个由密度引起的磁场异常。现有资料虽不很多，但可以证明 Satpura 带是板块碰撞带。

世界范围的蓝片岩

S. Maruyama, R. G. Coleman, J. G. Liou

胡克译 刘俊来校

我们编制了世界上蓝片岩的时空分布图。蓝片岩或者分布在大陆边缘，如日本和加里弗尼亚，或者分布在大陆内，如亚洲的一些陆内蓝片岩。

从晚元古代、早古生代、晚古生代、中生代至新生代，大约已发现了 150 个蓝片岩带或地块，其中约 120 处在欧亚大陆。老于 300Ma 的蓝片岩常分布于陆内，而中新生代的则沿大陆边缘分布。陆内蓝片岩出现在陆-陆碰撞的造山带内，其放射性年龄总是比大陆碰撞时代年轻，这意味着陆间洋壳最终消亡之前，蓝片岩就已经形成并被抬升至陆缘浅部了。最老的蓝片岩位于非洲的泛非造山带和中国的塔里木克拉通西北缘，年龄均为 800~850Ma，这表明，当时的岩石圈俯冲能够使俯冲杂岩的上盘冷却至足够的低温条件，使之可能转变为蓝片岩。在中国和苏联还报道过一些更老的年龄，1700~1900Ma，1560Ma，1100Ma 以及 760Ma，这些被称为前寒武纪蓝片岩的年龄没有得地质年代学和地质上的验证。

我们做出了任一地质时代的蓝片岩带总长的图，结果表明，蓝片岩的形成有三个峰期：80-130Ma、400-500Ma 和 800-850Ma，峰期之间为蓝片岩形成较少的时期。三个峰值的高度随着时间的增长而呈指数降低，说明地球是在不断变冷，如同 De Roever (1959) 最早指出的那样。但是硬玉-蓝闪石类型的相系不象 Ernst (1972) 所说的那样仅限于白垩纪，它甚至出现在晚元古代（如非洲）。

蓝片岩形成年代——总长度的关系与海平面变化的时代吻合得很好，至少在显生宙是这样。世界范围内的海退期相当于蓝片岩相变质高峰期，反之亦然，海进期就不发生蓝片岩相变质。这种相关关系意味着：洋底扩张速度越快，即俯冲速度越快，就越有利于蓝片岩的形成和抬升。300~200Ma 期间没有大规模的蓝片岩，这相当于联合古陆的拼合期。此期内八个大陆块碰撞、拼合形成欧亚大陆。这样大规模的陆-陆碰撞可能减弱了世界范围的洋底扩张活动，正象印度大陆在 40Ma 以前的碰撞作用所显示的那样。另一个蓝片岩不发育时期为 800 至 600Ma，这与泛非造山运动中冈瓦纳大陆的形成期相吻合。

形成超大陆的陆-陆碰撞造山运动与喜马拉雅、阿尔卑斯和阿帕拉契亚造山运动极不相同。前者没有区域性蓝晶石-矽线石型变质带（缺少根带），没有推覆地体，缺乏

同构造 S 型花岗岩, 同时也没有高山的形成。相反, 可见有 A 型花岗岩, 它们与张扭至压扭的构造机制有关。这种类型的造山作用被称为“被动碰撞”造山运动 (Coleman 和 Maruyama, 1988)。

蓝片岩相变质作用存在着 400Ma 的周期性看来这与威尔逊旋回有关。大规模蓝片岩的形成发生在飘移的大陆散布在大洋中的时期; 蓝片岩不发育时期是超大陆形成和随后开始飘移的阶段。在前者情况下, 洋底扩张可能较快, 而在后者情况下则相当慢, 此时多为“被动碰撞”造山运动。

早太古代以来的板块运动、地壳增生及超大陆组合

Kroner, A

刘晓春 译 刘先文 校

几个太古代至元古代克拉通内可利用的古地磁资料揭示了早太古代以来的大陆板块运动, 其最小平均速度可与现代板块相类比。这说明地球历史上很早就存在板块构造作用, 并且, 地壳岩石中年龄达 3.9Ga 的高级片麻岩组合的保存也需要有一个较厚的壳下岩石圈“根”存在于早期大陆之下, 它在早太古时期把下地壳从较高的地幔热流中保护起来。上地幔不相容稀有元素在世界范围内的明显亏损表明, 至少在 38 亿年以前就存在刚性的, 并很可能是巨大的岩石圈板块, 但目前的资料还不能识别这一巨型地壳的成分。早太古代片麻岩-绿岩-花岗岩地体中的构造型式主要是类似于现代碰撞带中所发现的那种早期水平构造, 并且, 上壳岩石组合与英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩 (TTG) 成分的正片麻岩呈构造互层, 从而导致了地壳的明显增厚和麻粒岩的形成。许多 TTG 岩套可能是与俯冲作用有关的岩浆弧建造, 某些太古代绿岩带已被认为是蛇绿岩。但仍缺少有关太古代真正洋壳的确切证据, 许多 TTG 组合的同位素分馏系列揭示了这些岩石的漫长地壳史和复杂岩浆作用过程, 不同于简单的岛弧形成模式。由于岩浆的侧向增生, 许多太古代地壳生成的平均速度很高, 且差别较大。所以, 与热柱或俯冲作用有关的岩浆板底垫托作用已变成解释许多早期大陆增长的流行模式。

如果绿岩带象多数现代资料所揭示的那样形成于大陆附近或其上, 则其构造环境可以裂谷带直至存活短暂的边缘盆地。在后一种情况下, 镁铁质-超镁铁质热地壳的高浮力使其向上仰冲, 而不是俯冲, 很可能这就是许多绿岩保存完好的原因所在。太古代大多数(如果不是全部的话), 真正洋壳可能被俯冲掉而失去了地质记录, 这是从早太古代以来几个板块独立运动的证据中得出的结论。

早期地壳碎片通过连续侧向增生和碰撞生长拼接成一个巨型的超大陆, 这是板块构造的必然结果。但目前的资料还不能确定其发生的确切时代。以前认为在太古代末期存在一个由所有大陆组合成的巨型大陆板块, 新的古地磁资料证明并非如此, 但约 2.25~2.22Ga 以前几乎完全缺乏大陆边缘型岩浆弧活动, 并且这一时期形成了巨型陆内盆地, 这实际上已表明那时可能存在一个非常巨大的大陆。

如果太古代地壳的拼接象显生宙已确立的那样沿相似的宽阔构造线发生, 那么可以

假设出这一增生历史中的微型陆块, 外来地体以及可能的海洋台地, 但是现代古地磁学和地质年代学资料还不能充分地证实这一作用过程。

在接近于早元古代末期约 2.1Ga 以前出现了相当长的活动带(特别是在冈瓦那大陆), 可以推测, 假设的超大陆又一次解体成较小的碎片, 这些碎片通过碰撞形成了现今所见到的活动带。尽管多数活动带(特别是在澳大利亚的那些, 具有不同于简单海洋裂开和闭合模式的特征, 但现已获得来自非洲一些活动带的令人信服的证据, 即伴有大规模推覆体迁移的水平变形支配了构造历史, 碰撞模式是其最好的解释。

地壳增长与壳—幔再循环

Kay, R. W. Kay, S. M

曲 燕 译 刘晓春 校

在会聚边缘的地壳增长目前是由地壳从地幔中的萃取作用所支配的, 这是一个只能间接观察到的过程。在现代的会聚边缘, 常见于地壳最上部的玄武岩和安山岩(及相应的侵入岩)并非直接源于地幔(如它们不是地幔的初始成分)。例如, 在阿留申岛弧, 橄榄拉斑玄武岩已被认作是初始岩浆, 它与普通高铝玄武岩有关, 而后者是由积聚在莫霍面深处的橄榄石和辉石的分离作用所形成的, 并代表一个新生的上地幔, 更常见的浅部富铝质火山岩及深成岩可以由高铝玄武岩的壳内组分分异、岛弧地壳低熔组分的同化、地壳熔融所形成, 或者是诸过程结合的产物。每个岛弧真正的地壳剖面取决于岛弧岩浆中心的先存地壳(洋壳和克拉通代表两个极端)以及岛弧的构造情况。然而, 在所有情况下, 新增长地壳的成分, 特别是新增长的下地壳的成分被认为是玄武质的。

这样就产生了一个问题(Kay和Kay, 1985, 1986, Ellam和Hawkesworth, 1988), 因为如果地球陆壳的组成成分是“安山质的”, 那么陆壳的形成过程与现代岛弧的形成过程并不一致, 对此有两种解释。其一, 新地壳(从地幔到地壳的不循环增长)在过去更偏安山质, 特别是在约 2.5Ga 地壳大规模形成的时候。其二, 玄武质的下部陆壳曾一度形成, 后来在地壳巨厚的会聚边缘通过地壳的剥离作用与一些地幔岩石圈一起返回地幔。这两种机制并非互相对立, 但剥离作用显得更为重要, 现代聚敛带的多样性允许我们对这两种机制进行验证。

源于地幔的非玄武质熔体的萃取作用最可能发生在消减带, 在那里, 消减的地壳或上覆的地幔(或两者)均较热, 尽管这里从地幔上部派生出来的含水熔体被称为 Mg-安山岩及玻(质)古(铜)安山岩, 以便使人们注意到它们的化学成分不同于普通的钙质碱性岩及拉斑玄武质安山岩, 但从广义上它们都是“安山质的”。所需的热力条件在较年青(20My)的消减大洋板块或在上部地幔中受到强烈加热的消减大洋板块中均可达到。目前, 这两种伴随有 My-安山岩火山作用的构造条件发现于南美的最南端(Storn • 等, 1984) 以及加利福尼亚(Saunders 等, 1985), 第三纪的玻古安山质岩浆表明在西南太平洋一些岛弧的弧前具备了其中的一种或另一种构造条件(Meljer, 1980)。在

太古代，尽管类似的 Mg-安山岩和玻古安山岩很少，至少作为火山岩产出的很少，但这些构造条件可能是普遍的。

在包括镁铁质下地壳的岩石圈上部，岩石圈剥离作用最可能发生在由构造加厚的地壳基底，那里的地壳已重结晶形成致密的含石榴石矿物组合（石榴石麻粒岩、榴辉岩）。这种加厚作用发生于地体缝合带或碰撞带（如喜马拉雅）以及碰撞活动边缘（如安第斯），经历了剥离作用之后，残留的地壳具有安山质岩成分。

某些地壳熔体稠密的含有石榴石本源的最直接证据是由稀土元素（REE）提供的。一些酸性熔体中重稀土含量很低，而 La/Yb 比值较高，这可以解释为玄武质成分的地壳岩石在较高的压力下发生熔融时，并且石榴石和熔体处于稳定的平衡状态。例如，在安第斯，La/Yb 比值较高，Yb 含量较低的熔体与地壳加厚作用同时发生的。在太古代高级地体中，La/Yb 比值较高的岩石可能具有相似的形成机制。

随着下地壳的剥离作用，返回到地幔的那部分地壳的平均成分是在消减带循环过程中保留下来的地壳成分（推测相对富硅质）与镁铁质到超镁铁质下地壳的加权和，加权和与在会聚边缘由地幔添加到地壳的玄武质成分相当，或略少硅质。

大陆壳的生长：一个机械模式

Warren, P.H.

刘俊来 译 刘先文 校

随着时间演化大陆壳（CC）的总量与体积的净生长量是地质学中尚未解决的最大难点之一。在这里不要把净生长量与单一大陆块的局部生长量混为一谈，后者（比如岛弧增生）是一种未必需有净生长量的过程。地球化学家愿意强调CC与洋壳（OC）之间的差异，但从星体-地幔角度考虑，CC与OC在成分上亦或密度上都是很相似的。二者之分布显然是由海拔高度所限定的。然而，地球的双峰海拔型式明确地反映了成因区别。CC是参与地幔对流的那部分地壳，而OC是保持相对稳定的那部分地壳。地球的平流冷却机制要求岩石物质俯冲，由于地壳固有的浮力，这就需要地壳/岩石圈总厚度比值很低。假定岩石圈厚度相对一定（热上浮的洋中脊除外），那么地球就会将其大部分地壳堆叠成少数厚大的大陆，从而容许俯冲作用自如地在大范围薄壳上作用。这种地壳厚度的双峰态也就造成了双峰态海拔型式。

现行理论认为CC生长速率缓慢而且不断发展，典型的模式说明CC体积大致与 $1/h$ 成正比，其中大的地球中K、Th和u的生热总量。然而，对于可能阻碍生长的机制（即使在4.5Ga以后），这种模式一般是含糊的。地幔流变学与温度的高度相关性可以确证，尽管地幔初始温度极高，但仅有几My它就能够冷却到它现在温度的几百度范围内。由一种可能的地壳初始成分（玄武质、斜长岩质）的逐渐演化可能略微地降低了地壳的平均密度，但是与地幔的短期冷却引起的地壳/岩石圈总厚度比值（对任意给定的地壳厚度）的总体增加相比较，这种效应的重要性还属第二位的。强烈的火山作用与早期强烈的地壳/地幔循环同时出现，可能在 $\sim 3.9\text{Ga}$ 之前就使CC全部遭到了再造。但

返回地幔的速度并不比其再生速度快。

月球岩样、陨石及火星、水星与月球的航摄地质资料提供了有利的背景证据,即在原始时期,所有天外体的几百公里外壳主要是熔体。象总量与核/硅酸盐岩比值这样的因素可能使得强烈的初始加热成为必然,对于地球而言这种可能性比其他天外星体要大。初始分异过程的结果明显依赖于星体内部的压力体制。一般来说,硅酸盐熔融线-硅酸盐绝热线极大的 dT/dP 有利于促进形成层状岩浆球,它具有一个部分熔融或准堆积层,该层受 dT/dP 关系限制至 P 达 3SPa , 其外覆有完全熔融的“岩浆海”层,其厚度也受迅速对流的有效冷却限制。在地球中, P 稳定的石榴石与富 $A1$ 辉石是限定地壳中长石最终含量的关键性因素。近代的实验岩石学研究提供了高压熔体-固相平衡的条件资料。比如Takahashi (1986) 对成分KLB-1 (与估计的地球酸盐岩部分的总成分类似的橄榄岩) 的研究结果表明随着 P 由 1GPa 增加到 14GPa , KLB-1的部分熔体成分趋于接近KLB-1本身的总成分,即在高压下用于构成地壳长石的 $A1$ 在熔体中并无明显的富集。对于地壳生长模式的意义用高压分离结晶定量模式 (包括在某些模式中由下面向岩浆海的周期性补给 (Warren, 1988), 进行了验证。原始岩浆海成分假定与所估计的地幔成分 ($\sim\text{KLB-1}$), 或者 (对相对“浅的”模式) 同种成分的部分熔体 (Takasi, 1986) 类似。模拟结果表明一个相当深 ($\sim 300\sim 400\text{Km}$) 的岩浆海将产生成分和厚度可与现代地球类比的一个地壳。有些令人厌烦的偏差包括 CaO (对它而言高压辉石成分难以限定) 与 SiO_2 。地壳演化至今天的富 SiO_2 成分是通过由 H_2O 催化的分异过程完成的, 而 H_2O 在岩浆海中的含量可能不如其后的地壳中含量高。对平均地壳厚度最令人满意的模拟结果是现代地球平均值 $X\sim 1.2-1.3$, 为此, 设计的模式需给出高值, 从而这种偏差可能并不很明显。我认为, 在太阳系前几百万复杂历史之后, 星体的大小与成分控制着地壳的体积 (远比时间显著)。

大陆增生: 以欧亚大陆为例

Zonenshain, L.P.

刘俊来 译 刘先文 校

欧亚大陆具有镶嵌状构造型式, 它由无数稳定地块被造山带环绕所构成。显然, 欧亚大陆是由无数个具有不同特点和成因的小地块并接而成的一个复合大陆。这些小地块彼此接近并最终碰撞到一起形成这一较大型的大陆。造山带是将这些较小地块焊接起来的缝合线。主要的碰撞事件发生在晚前寒武纪和显生宙。欧亚大陆内最大的稳定地块是克拉通或先前的大陆: 东欧、西伯利亚、印度、华北和扬子克拉通。它们构成了欧亚大陆的骨架。此外, 许多小地块或微大陆包括在造山带内的生长大陆中, 象塔里木、卡萨克斯坦、印度支那、Tuva-Mongolian, 中蒙、Khangai-Byreya, Kankay, Okhotsk, Omoloag等。

尤如欧亚大陆一样, 克拉通也是在元古宙时期由几个较小地块增生而成的。比如, 东欧克拉通的伯罗的地盾和乌克兰地盾所包括的绿岩-花岗岩域 (Murmansk, Kola,

Belomorian, Karelian, Dneprovsky, Kirovograd 及其他地块等) 都被早元古宙逆冲-推覆带所分割。这些可以很容易地解释为古老地块碰撞并结合于一起的地缝合线。也有一些关于中晚元古宙时期的碰撞事件(相应地有 Svekofennian 带及 Sueko-Norwegian 对带)。西伯利亚克拉通可以恢复出相同的归并过程。

较年轻时代的欧亚大陆增生史可以归结为:

1. 前寒武纪末期与寒武纪: 所有大陆多散布出现在南半球。Barenfsia 与东欧碰撞增生了东欧大陆, 阿尔丹地盾与 Ahgaria 碰撞形成西伯利亚大陆。

2. 奥陶纪与志留纪: 东欧与北美碰撞产生了欧美大陆。西伯利亚由于与 Tuva-蒙古和 Tomshy 及阿尔泰微大陆的碰撞而加大。在东欧与西伯利亚大陆之间, Karakhsfan 微大陆是以增生方式形成的, 它是由于大量弧/弧及弧/可疑地体碰撞的结果。

3. 泥盆纪: 多数时间为大陆离散。

4. 晚古生界: 几乎所有大陆地块汇聚并碰撞、东欧、西伯利亚、Karakhsfan: 塔里木及其他大陆块连接在一起形成一个劳亚巨陆。华北大陆因蒙古地块的贴附而加大, 它可能与扬子大陆碰撞。它们均位居劳亚古陆与冈瓦纳古陆以外孤立存在, 座落在古地中海内。

5. 三叠纪与侏罗纪: 西伯利亚(东劳亚)与中国大陆及插入 Kbirgan-Bureya 的微大陆发生碰撞。此外, 印度支那地块联并到劳亚大陆上。

6. 白垩纪: Okhotsk、Omolon 及 Chukotka 大陆块迁移到欧亚大陆东北缘并使之增生。

7. 三叠纪: 主要事件是印度-欧亚、阿拉伯-欧亚间的碰撞, 同时, 许多可疑地体由太平洋移到欧亚东缘并贴附于其上。

8. 最近一段时间及不久的将来, 澳大利亚将与欧亚东南缘相碰。

欧亚并非复合大陆的唯一实例。冈瓦纳也是由无数较小地块增生而成的, 但这种增生发生在晚前寒武纪。由大陆的增生特点可以预测深部地壳构造中肯定有早期碰撞缝合带残存而致的缓倾不连续面。

板块构造与地球膨胀概念的评论分析

Sen, S.

陈 华 译 李 哲 校

为解释地块裂开与分离而提出的各种理论都有一个严重的缺陷, 即地幔的刚性条件将阻碍广泛的活动现象出现。不过在板块构造模式中, 就假定地幔在很长的时间尺度上表现为流体。

近来的研究结果 (Sen, 1986) 认为原始地球的地幔确实呈活动状态, 因为它与超高压条件下的造洋(形成大洋的)水结合于一体。这可以由无大洋的浓缩地球模式推演, Hilgenberg (1933) 就是通过把地球半径减少至其目前的 $2/3$ 进行这种构想的。这种观点是基于有热液存在的高压条件下对硅酸盐岩石的实验研究的, 证实这种岩石因

熔点的变化活性明显增加 (Roy and Tuttle, 1961), 这在很大程度上模拟了浓缩无洋地球的原始地幔岩石条件。与板块构造假设相反, 这种富有生命力的推论是以实验证据为基础的, 并且肯定了广泛活动性现象, 就象地球的膨胀。

进一步可以推断, 星体的膨胀引起硅铝壳上裂隙的发育, 随着膨胀的持续, 大量的熔融地幔岩通过这些裂隙溢出形成大洋盆地, 并由地幔中释放出大量的水, 它们形成大洋。是地幔中水的释放产生了大洋并逐渐使地幔物质成为刚体。一个稳定的、空间尺度上并无变化的地球, 其大洋水已经从原始地球中的地幔分离出来, 象板块构造的概念中所构想的那样, 这种地球并不允许有地幔充分流动或活动的条件 (是在这种条件下板块构造得以成熟)。

地球膨胀理论认为在原始地幔上有一均匀的硅铝壳, 这对于星体早期阶段是一种合理的条件, 它与多数其它星体最外壳条件恰恰吻合。另一方面, 大陆漂移与板块构造认为, 在最初阶段硅铝质陆地呈统一的大陆存在, 其周围环绕着一个大洋, 这是一种难以接受的条件, 尤其是在星体的初始阶段与成长阶段。认为具有硬壳的地球形成后被一个相当均一的壳层所覆盖, 比起分隔成两个邻接的单元体—大陆和大洋似乎更合理一些。

地球膨胀理论进一步指出, 如果地球的半径可以减少至其目前的 $2/3$, 那么所有大陆块将以完全协调的方式自身调整, 覆盖无洋地球的全部区域。这一点很有意义, 因为在收缩的地球中, 大陆不仅作适当调整以解决地壳的拼接问题, 而且它们还要覆盖整个收缩的地球。为此, 收缩地球的总面积应该与分离的大陆块及陆上海洋的总面积严格地平衡。这样大规模的显著吻合并不能解释为偶然事件, 而是对地球的空间尺度方面有一定的意义, 显然说明了地球的膨胀。

洋中脊环绕某些大陆平行式出现并不能用大陆板块的海侵很贴切地解释, 相反, 后者正好掩盖了这种显著的平行性。在地球膨胀裂隙或洋中脊的出现正好是玄武岩浆喷出向两侧扩展的作用, 它们与膨胀过程及大洋的发育保持着严格的平衡。

另一点有利于膨胀理论而不益于板块海侵的确切证据, 即为分离开的大陆块在现存地壳表面并非完好地吻合。很有意义的是注意所有这些拼贴都不可避免地产生间隙或重叠。这一条件可以用分离单体的微弱弯曲满足, 这显然是说, 这些裂块原先是排布在一个收缩的地球上的。

大洋盆地相对新的年龄及洋中脊附近出现最新的岩石可以用地球膨胀理论进行合理的解释。

考虑到一个球体内部运动的几何问题, Rajarajan (1977) 已经提出板块构造假说并不与运动速度的数学概念及曲面结构分析的数学概念吻合一致。根据他的认识, 缓慢的三维膨胀及其后地球表面的径向增加可以充分解释许多地壳特征。在最近的一篇论著中, Weijermarr (1986) 也指出, 缓慢的地球膨胀可以恰当地解释地球表面特征的发展。

断层与板块边界模式

Shimamoto, T.

刘俊来 译 刘先文 校

实际断层与板块边界模式的确立不仅对模拟大裂度地震有重要意义,而且对定量估计作用于板块边缘的力,进而估价板块驱动力具有重要性。本文将对现有的断层模式并提出所谓 S-C 糜棱岩是确定中部体制变形机制的关键性岩石类型,而其中介于脆-韧(塑)之间的体制目前为人了解得较少。

Sibson(1977, 1982)提出一种简单模式,它将一条断层划分成脆性体制与准脆性体制与准塑性体制(分别为图 1a 的 AB 与 BC)。Strehlau 的模式实际上是一个二元模式,其中将 Sibson 的强度剖面应用到每一端元上(图 1b)。在他的过渡体制中(图 1b 中的 EF),一种端元(石英)表现出完全塑性变形,而另一端元(即斜长石)却完全以脆性变形方式变形。这种简单模式与近来对石盐的剪切实验结果不符,这些实验揭示出存在有一个宽阔的中部体制。

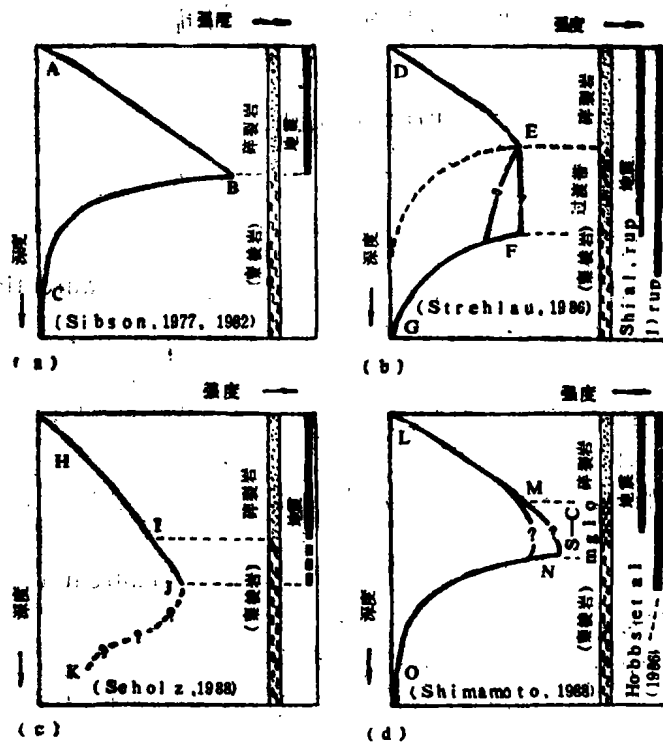


图 1 不同的断层带模式图

给定应力场中的强度剖面由固体线与对应的主要断层岩以及假想地震深度来表示

Scholz (1988) 与 Shimamoto (1988, 在印刷) 的模式 意 欲 纳入这一中部体制 (图 1c 和图 1d 中的 IJ 和 MN)。他们都提出塑性 (但非完全塑性) 变形在中部体制中就已出现而形成糜棱岩。Scholz 认为潜在的不稳定断层运动的消失出现在塑性变形开始发生。因而, 地震的深度并不延伸到中部体制中, 不过他提出在大规模地震出现时断裂可以进一步向下延伸 (图 1c 中的粗实线)。不过在石盐实验中, 在变形主要为塑性的中部体制内识别出了发育很好的粘滑。因此, 地震深度延伸到 Shimamoto 模式的这种体制内 (图 1d 粗实线)。

S-C 糜棱岩的特点是发育糜棱叶理、随应变集中粒度变细、剪切面切过糜棱叶理。石盐实验揭示出, 所有这些特点也是中部体制变形的特点。特别是粘滑只有在变形发生在薄而且近为平面状连续带上时才能识别出来, 因而 S-C 糜棱岩中, 剪切面的发育应该具有特定的力学意义。中部体制中强度接近最高, 它是 S-C 糜棱岩成因最主要的体制。

石盐实验揭示出的地震深度 (图 1d 粗实线) 似乎与沿俯冲板块边界的地震活动性一致 (Shimamoto, 1985)。然而, Hobbs 等 1985 从理论上提出它应该延伸的更深 (图 1d 实线), 而地震深度的确切界线仍有争议。将图 1d 单端元表现也是未来的一项任务。

地体分析的古生物证据

Bruton, D.L.

高嘉瑞 译 刘先文 校

早奥陶世三叶虫、腕足动物、笔石和牙形石基本上分布在 Laurentian、波罗的海和冈瓦纳大陆周围三个大的生物地理区内 (生物省)。

生物省的边界随着时间发生变化, 到奥陶纪末期完全瓦解, 又形成全球性志留纪生物群。生物省的鉴别和地理位置反映了生物群的不同和温度的差异, 这样就在一定程度上控制了古地磁和沉积模式。各种生态控制因素如环境的稳定性和食物的供给也可能影响到生物群的区域特征, 并且, 这些控制因素和海退过程中海平面的变化有明显的关系。

奥陶纪生物省的瓦解之初, 伴随着大陆斜坡生物群从 Laurentia 穿越古亚皮特斯海 (古大西洋) 向波罗的海和这些地点到冈瓦纳大陆之间的斜坡外迁移, 这和海洋的闭合相吻合。由于海洋的闭合, 造成气候带的相对聚合和大陆架环境向与古皮特斯海两侧环境相应的纬度上移动。卷入这次闭合的是微大陆、洋壳岩片, 同时形成有边缘生物群的隔绝环境。这些生物群整体上表现为明显的异常, 每个生物群都有自己的发源地和自己的鼻祖, 这说明它们原先是生活在相互分离的大陆上的, 现在, 它们通过远距离漂飘的可能地体混合在一起了。

环太平洋带和条状板块构造的分区

马宗晋

孙中实 译 刘俊来 校

环太平洋带的明显分区可由火山、地震、山系、盆地、岩浆和矿物表示出来。所获得的大尺度分区相当于4个象限区：南东区、北东区、北西区和南西区。在一定经纬度上，尤其在中低纬度（ $60^{\circ}\sim 0^{\circ}$ ）带上，宽度具百公里的中尺度分区表示出等距和交替重复性发现的分区特征。在东太平洋底部中的一系列转换断层不断地把大洋板块切割成一系列条状断块，条状断块相应显示出独立运动称之为“条状板块构造”。部分条状板块有关不同类型板块舌状构造在大陆显示形状变化底部下倾，使板块舌状构造的不同类型决定了环太平洋构造带的分区。亚洲东部大陆板块也被分离成东西扩张构造带。这些大陆板条向东运移，相当于西太平洋岛分区。舌状板块变形机制（包括弹性弯曲，弹塑性弯曲）和承受洋脊压力和舌状板块弯曲将被分析，同时对分区的起因也进行讨论。

北大西洋的演化：变位（Jumping）板块边界与微板块研究

Srivastava, S.P. and Roset, W.R.

刘俊来 译 刘先文 校

本文用北大西洋、拉布拉多海、挪威-格陵兰海及欧亚盆地的海底扩张磁异常与断裂带描述了北大西洋的演化。由这些资料确定的一系列旋转极点表明在北大西洋的总体演化中，有几条板块边界发生了由一个地区向另一个地区的移动，从而表明有几个微板块存在。这里对于Lomonosov岭曾作为北美板块的一部分而运动的想法作了评价，表明如果考虑到其他可能性时，将会出现很严重的问题。自洋底扩张开始至磁异常 10^* ，也即直至随欧亚板块一起运动。在此期间，欧亚板块与Iberia板块间的板块边界持续地向不同的位置上运动，从而造成北大西洋的这一区段具有复杂的磁异常型式。对加拿大Grand Banks区的详细磁测量用于解释这一板边界上的移动。Procupine板块是欧亚板块的一部分，它位于Biscay海湾以北磁异常以东并包括了不列颠岛的陆架，它在始新世期受到了变形改造。这期变形在该区下伏沉积盆地及洋底中都能见到。

北大西洋的演化是早白垩世始于Iberia和Barks扩张作用由南向北扩展的结果。继Iberia由Grand Banks及欧亚分离后，扩张作用首先开始于Newfoundland盆地和Biscay海湾，然后向北扩展，将Procupine Bank由Orphan Knoll分离出来，并将格陵兰由北美分离开来。直至磁异常 13^* 时期拉布拉多海的扩张停止之前，格陵兰持续地运动，但与欧亚和北美无关。挪威-格陵兰欧亚盆地的扩张开始于磁异常 24^* 时期，现仍在持续进行。在格陵兰与欧亚间活跃的海底扩张之前，这种分离过程是由Rockall海槽及其以北地区（More盆地和Voring盆地）的地壳伸展作用完成的。此时，Rockall高原作为格

陵兰板块的一部分发生运动，而在异常至异常 24° 至异常 21° 时期却作为独立的板块运动。自此以后，它就作为欧亚板块的一部分运动。

挪威-格陵兰海的演化十分复杂。在这些地区洋脊轴有几次变位，从而在挪威海保留下古残洋中脊，并使 Jan Mayen 岛由格陵兰东部分离出来，形成一个大陆块。北美板块与欧亚板块间 Azores-Gibraltar 破裂带与西伯利亚地台一带的扩张自异常 7° 以来一直在持续进行。

环大西洋显生宙造山带中的前中生代地体

Keppie, J.D. and Dallmeyer, R.D.

何 葵 译 刘俊来 校

环大西洋显生宙造山带内前中生代地体已经由 IGCP 第 233 项工作组成员收集了一张二叠纪复原再造图上，即一个封闭的大西洋。最初提出在环太平洋造山带应用地体概念需要对环大西洋造山带的概念作某些修改。因而，地体重新定义为这样的一种地区，其内部地质特点具有连续性（包括地层、生物群、构造、变质作用、火成岩、成矿作用、地球物理特点及古地磁记录），它被断层或代表海沟杂岩的混杂岩，或一条隐地缝合线所圈定，穿过这种界限，相邻地体（1）具有用相变不能解释的一些截然不同的地质记录（外来地体），或（2）可以具有类似的地质记录（近源地体），只有根据代表增生大洋岩石圈的地体边界的存在才能识别它们。地体可以依据年龄和构造背景划分：原地叠瓦状基底/冒地斜、陆隆、大洋岩石圈、大洋岩系、岩浆弧杂岩、弧缘盆地、海沟杂岩、断裂（disruptes）地体（构造混杂岩）、原岩不明的变质岩、源地不明的大陆岩石和源地不明的大陆岩石和源地不明的大陆裂谷岩石。多数大洋地体似乎是一些小的洋盆而非主大洋的片段。此外，文中还展示了造山带各种剖面上的增生后就位侵入体、超覆岩系与增生图。

环大西洋古生代造山带边缘附近的主要克拉通地体及其冒地斜被构造分为岩浆弧和大洋地体，它们出现在各种造山带构造位置上的内部与最上部。断裂地体主要由冒地斜与陆隆源叶理化基质中的蛇绿岩块、大洋与弧缘岩石组成，它们一般沿主克拉通地体边缘出现。主克拉通地体为环大西洋显生宙造山带环绕，其中的前寒武纪岩石具有各种年龄：太古代、早元古代和中元古代（格林威尔）出现在波罗的、劳亚和南美，而在西北非却没有格林威尔事件，具有太古宙-元古宙基底的大陆地体散布在整个环太平洋显生宙造山带，然而，周围主克拉通内这种岩石的广泛分布表明基底的年龄本身并非区别岩石关系的唯一特征。晚前寒武纪地体限于图的东南部：中西欧、布列颠岛南部、阿帕拉契亚东南部，西北非和南美北部，它们是在晚前寒武纪-寒武纪造山带增生的后面。这些造山带形成于太古代至中元古代的前寒武纪岩石中，它们的增生活动与 Iapetus 张开的间隔有重叠，这表明它们形成于不同的大洋。与古生代造山带的表现情况不同，岩浆弧与弧缘地体在某些晚前寒武纪至寒武纪造山带中保存的很好。由于岩浆弧位于上部板块，它们可能受到大陆碰撞后的剥蚀作用改造。因而它们在晚前寒武纪-寒武纪造

山带中得以保存表明这种碰撞并未出现。晚前寒武纪地体上的超覆岩系变成显生宙造山带的冒地斜。

在环大西洋显生宙造山带中, 鉴别出的多数古生代蛇绿岩地体、岩浆岩弧和大洋地体似乎都形成于寒武-奥陶纪, 只有少数形成于志留-石炭纪, 主要出现在中西欧。这说明 *Iapetus* 实际上是在早古生代未闭合的。这与寒武-奥陶纪特征动物群的存在及其后志留-泥盆纪世界动物群的存在相吻合。晚古生代造山活动推断主要是沿 *Iapetus* 的残迹出现的压扭性活动。而在华力西造山带汇聚作用仍在发生。晚古生代走向平推与旋转运动的规模目前尚未确定, 以古地磁资料为基础的几个离散模式仍在盛行。在建立环大西洋显生宙造山带的早古生代发展的复原再造模式之前, 必须解决这些晚古生代运动问题。许多现行模式包括了垂直张开与闭合, 而忽视了大规模水平推移运动的可能性。环大西洋前寒武纪-古生代地体图为这种模式提供了一种资料来源。这张地体图是其他专题图的基础, 比如它是变质图与构造图的基础。

环大西洋显生宙造山带前中生代地体的增生史

Keppie, J.D., R.D. Dallmeyer

李晓华 译 姜开君 校

环大西洋显生宙造山带前中生代地体的增生历史可以大致分成:

(1) 位于非洲北部、中欧或西欧、不列颠岛南部、阿帕拉契亚山脉东南及南美北部的地体, 是在泛非-卡多姆造山作用期间, 在晚元古代-寒武纪增生而成的。

(2) 位于阿帕拉契亚山脉、格陵兰、Svalbard、斯堪的纳维亚(半岛), 以及不列颠群岛的加里东造山带和中欧或西欧及非洲北部的华力西构造带的地体, 主要是在早古生代形成的, 在泥盆-石炭纪(主要是华力西构造带)也有几次增生事件。

(3) 位于阿尔卑斯及安第斯山造山带的地体, 许多仍然保留晚古生代叠覆层序的证据。

有些地体经历了多次造山作用的历史, 导致交替增生和分离。泛非地体聚敛和古大西洋张开的同时性, 表明这些事件普遍发在不同地区。前寒武纪-早古生代地体的再造模式, 目前很难得到古地磁资料的支持。

然而, 将环大西洋显生宙造山带的前中生代地体的古地磁资料与古生物和构造资料综合分析, 可以提出下列试验性模式:

(1) 晚元古代-寒武纪南美和波罗的与劳伦古陆分离是受同期被动边界系列控制的, 并与非洲和南美北部界线、泛非造山带中洋-陆(岛弧)边界收敛同时发生。

(2) 奥陶-志留纪波罗的和冈瓦纳古陆(? 南美)与劳伦古陆的左旋收敛结束于古大西洋的真正消减时期, 并受波罗的和劳伦古陆上的相似的晚志留纪淡水脊椎动物及劳伦古陆和南美北部早泥盆纪美州东部腕足类动物群的限制。

(3) 泥盆纪-石炭纪横跨华力西构造带和阿巴拉契亚造山带的右旋收敛可能与冈

瓦纳古陆相对劳伦古陆的逆时针旋转有关。

在这个总体方案中,个别地体的地质记录提供了有关它们成因的某些证据。

北阿帕拉契亚地体: 其特征与增生历史

Keppie, J.D.

陈 华 译 刘俊来 校

最近在北阿帕拉契亚区的地质填图为确定地体并提供对其增生历史的较好约束条件给出了完善的数据库。本文展示了北阿帕拉契亚的一幅修订的地体图与数张图件说明其增生历史。由西北向东南地体划归成下述几种:

(1) 北美地体, 以其东侧的格林威尔基底连续上覆晚前寒武纪-奥陶纪冒地斜(含有裂谷拉玄火山岩中的 Cu-Zn-Ag 与密西西比河谷型 Zn 矿床) 和奥陶纪外地槽。

(2) 断裂 (*disrupted*) 地体由大陆裂谷-陆隆基体中的蛇绿岩、大洋岩石与弧缘岩地块的构造混杂堆积组成 (含有活化的沉积成因 Cu), 它沿着被断大陆-大洋过渡带分布。

(3) 由晚前寒武纪陆隆与晚寒武世-早奥陶世大洋岩石圈组成的地体 (典型情况含有铬铁矿与石棉 (超镁铁质岩), $\text{Cu} \pm \text{Zn} (\pm \text{Ag} \pm \text{Pb} \pm \text{Au})$ 矿脉与块状硫化物矿床 (上覆拉斑玄武质火山岩) 与区域变质作用期间形成的变质热液 $\text{Sb} \pm \text{Mo} \pm \text{Au} \pm \text{Cu} \pm \text{Pb} \pm \text{Zn}$ 石英脉) 逆冲到北美地体之上。

(4) 各种寒武-奥陶纪地体由岩浆弧和裂谷化的岩浆弧、弧缘盆地 (含有 $\text{Cu-Zn-Pb} \pm \text{Au} \pm \text{Ag} \pm \text{Sb}$ 块状硫化物矿床)、不连续陆隆沉积与微陆及前寒武纪基底组成, 这种前寒武纪基底是 *Japetus* 的残余。

(5) 各种前寒武纪岩石以变质的中元古宙岩石 (含 Pb-Zn-Cu-W 矽卡岩)、晚前寒武纪大陆裂谷火山岩与克拉通岩浆弧-内裂谷火山岩 (含 $\text{Zn-Cu-Pb} \pm \text{Au} \pm \text{Ag}$ 块状硫化物及 Cu-Mo 斑岩) 为特征, 其中许多上覆有类似的寒武-奥陶纪地层, 它含有大西洋动物群并解释为古老单元上超覆岩系的残余, 它限定了 *Avalon* 复合地体。

(6) *Meguma* 地体由寒武-奥陶纪浊积岩构成。

这些地体为志留-泥盆浅海-陆相地层及裂谷拉玄质火山岩 (含 $\text{Cu} \pm \text{Pb} \pm \text{Zn} \pm \text{Ag}$) 及一般为陆相的泥盆-石炭纪岩系 (含以灰岩为主岩的 Cu-Zn-Ba , 以砂岩的主岩的 Pb-Cu-u 和砂金矿化与蒸发岩和煤)。在寒武-奥陶纪显著发育的动物群分区在志留-泥盆纪世界种, 泥盆纪 (石炭纪) 就位的侵入体在北阿帕拉契亚山脉广泛分布 (*Newfoundland* 的 *Avalon* 带除外) 并与仰冲引起的岩石圈构造负载之后等热线的逐渐升高有关。这些深成体与多金属矿化有关, 包括东南部的 Sn-u 至西北部的 Cu-Mo , 这可能与深部地壳特点的变化有关。

北阿帕拉契亚的构造几何表现为褶皱与冲断构造面向背向于中部活动带的轴。沿 *Avalon* 复合地体西北界出现的断层之特点年龄变化由 *Newfoundland* 的晚志留-早

泥盆直立断层, 经 **New Brunswick** 的早中泥盆纪西倾冲断层至 **New England** 的晚泥盆-石炭-早二叠世的东倾冲断层。**Meguma** 地体似乎是向西北逆冲到 **Avalon** 复合地体之上。这些地体的增生历史可以广义地划分出如下事件序列:

(1) **Cadomian** 造山运动时期 **Avalon** 复合地体的晚前寒武纪归并受寒武-奥陶外露层的相似性限制, 后者代表一套先前连续的超覆岩系;

(2) **Iapetus** 西北部北美与一个火山弧 (**Ascot-Weedon-Notre-Dame**) 在奥陶纪的递进斜向右行汇聚终止于陆-弧碰撞与交生 (**intervening**) 地体的增生;

(3) **Iapetus** 东南部一个火山弧杂岩 (**Bronson Hill-Mirimichi-Iapoile**) 下的递进左行斜向汇聚作用发生在奥陶纪、志留纪与早泥盆纪, 它造成 **Iapetus** 的闭合与插入地体的归并及 **Avalon** 复合地体沿深部直立断层 (**Dover-Turtle** 主断层) 的左行就位;

(4) **Avalonia** 与冈瓦纳间 **Theic** 洋的递进右行斜向闭合造成 **Meguma** 地体的增生直至泥盆纪初期, 它终止于泥盆、石炭与早二叠世时期的递进陆陆碰撞过程。

西北非地体的增生历史

Lecorche, J.P.

曲 玮 译 刘晓春 校

西非克拉通因其地体增生始于晚元古代直至晚古生代而引人注目。克拉通可能形成于约 3000Ma, 是太古代时期发育的一个相当宽广、古老地盾的一部分。**Eburnean (Birrimian)** 构造热事件 (约 2200~1800Ma) 形成了新的增生地体, 大陆序列的沉积与含叠层石碳酸盐岩的发育在约 1000至700Ma 交替进行。在约 800~700Ma 原始地盾解体过程中, 西非克拉通以案时方式完全个体化 (包括南美 **San Luis** 地盾), 其残留部分被大洋域所围绕。它的裂开边缘的行为相当于一个威尔逊型旋回的被动边缘, 这一旋回在约 680~600Ma 之间通过与其它解体碎片的连续碰撞而结束, 从而产生了克拉通周围的大洋、岛弧和陆缘地体的增生。这些碰撞和增生非常明显: (1) 在北部 (摩洛哥的 **Anti-Atlas**) 约 680Ma (**Leblanc**, 1980), 呈东西走向; (2) 在东部约 600Ma 沿南北走向的 **Pharusian** 和 **Dahomeyan** 造山带 (向南延伸至 **San Luis** 克拉通周围的巴西造山带, **Caby**, 1987); (3) 在西部约 650Ma 沿南北走向的 **Maunitanide** 和 **Bassaride** 造山带 (**Lecorche** 等, 1988)。这一主要泛非事件在撒哈拉沙漠西部、**Reguibat** 地盾西北部和 **Rokelide** 造山带尚未发现。

第二次明显的构造热事件 (泛非 II) 局部影响了新的增生克拉通的西缘。在 **Mauritanides** 中心和南部记载了泛非期后 (寒武纪) 约 550Ma 所形成的超覆序列的轻微变质和变形作用 (**Dallmeyer** 和 **Lecorche**, 1987)。这一事件在 **Bassarides** 有所加强, 从而成为一次伴有外来大陆物质增生的主要构造热事件, 它可能是与圭亚那克拉通碰撞的残余物 (**Villeneuve** 和 **Dallmeyer**, 1987)。

在克拉通表面 Taoudeni 盆地和 Tindouf 盆地北部发生的直至石炭纪的古生代沉积覆盖了克拉通的绝大部分，局部不整合暗示了相当微弱的变质作用，然而，在西部变质序列中未发现这些事件的地质年代证据。

最后一、二次重要的构造热事件发生在晚古生代。从摩洛哥的 Anti-Atlas 向南至 Ougarta，这一事件明显表现为一次陆内构造热事件，它主要影响了克拉通的西缘。从 Agadir 南部（摩洛哥西部）至 Zemmour 西南部（毛里塔尼亚北部）存在一条褶皱构造带，现今它已被中生代-新生代的沿岸沉积盆地所掩盖。沿 Reguibat 地盾的西北缘首次形成了一条巨型构造带，它呈一个推覆序列出现，Bronner 等（1983）认为它是一个巨大的飞来峰。Reguibat 地盾西南部的另一个推覆序列逆掩了克拉通以及泛非造山带的西北缘。这些形成于约 300~310Ma (Iecorehe 和 Daclmeyer, 1987) 的推覆单元被认为

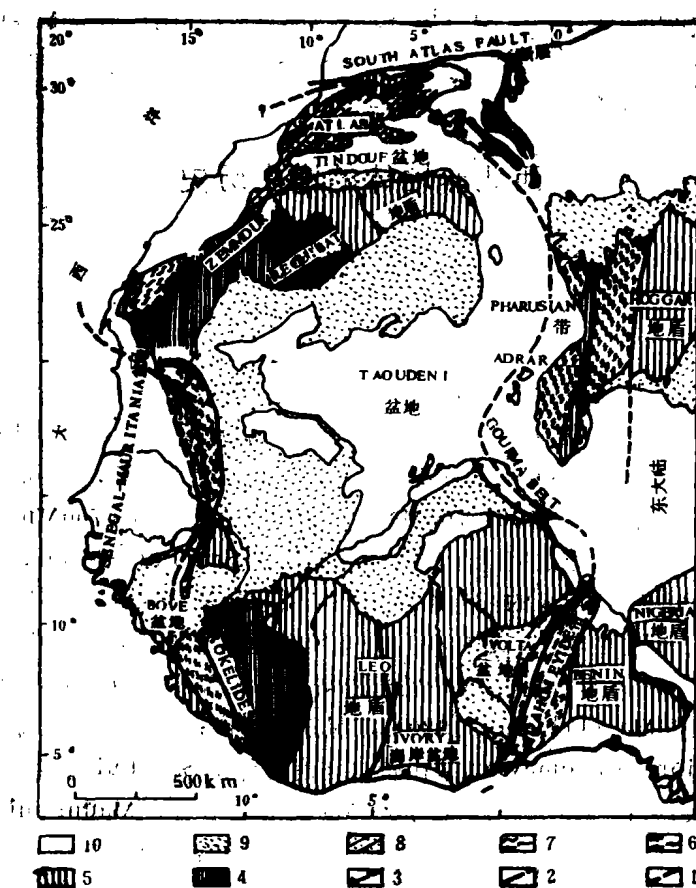


图 1 西北非地质图

(1) 西非克拉通界线；(2) 主高角度断层；(3) 主冲断层；(4) 晚太古宙基底；(5) 早中元古宙基底；(6) 晚元古宙造山带；(7) 就位于晚元古宙的构造单元；(8) 记载晚元古宙内应变及/或变质作用的建造；(9) 晚元古宙到早古生代的盖层建造；(10) 后古生代盖层建造。

是无法恢复同源关系的外来物质，他们代表晚石炭纪的变质作用，并对元古代的基底岩石产生了影响。最近的研究工作表明，向南至 *Seuegul* 河的 *Mauritaniale* 多期造山带的现今西缘，已被成因不明的外来钙碱性和沉积变质地体所逆掩，其变质年龄为 260~310Ma。

东南亚碰撞边界的标志

Filatova, N.I.

高嘉瑞 译 刘先文 校

对地质资料的分析表明，前震旦纪中期板块存在明显的不均匀性。这一板块包括一系列陆块和陆块之间的碰撞带。在朝鲜半岛，有三条缝合线：*Zmjigan*、*Okchon* 和 *Tumargan*、*Imjigan* 缝合线处于半岛的中部，向北东方向延伸，由一组面向大陆的构造岩片组成。该缝合带的外来岩块 12~17km 宽，也由几个岩片组成。这些岩片内含有不同变质相的岩石：石灰岩、页岩、绿泥片岩和石英绿泥和绢云绿泥片岩片岩、安山岩和斜长角闪岩（变质玄武岩和变质基性岩）。在陆源和碳酸盐岩石中，正发现泥盆纪化石的残余。中-晚古生代岛弧和边缘盆地的残片可能存在于 *Injigan* 外来岩块中。*Nannim* 大陆块是原地岩块，它具有震旦-奥陶和石炭-二叠系沉积盖层。在该准原地岩块中，由于逆冲和盖层在基底上的滑移形成了 *Phennam* 向斜。沿逆冲带有磨拉石近造的形成，它们在北部和西部与 *Phennam* 向斜相接壤。在这一准原地岩块内，沿着 *Zmjigan* 缝合线的前缘正有一条变质带（绿片岩相和角闪岩相），并伴有一个三叠纪的（196~224Ma）花岗岩和正长岩体链。*Kengg* 岩块的太古宙和元古宙岩石从南逆冲到这一准原地岩块之上。形成于逆冲作用过程中的重熔花岗岩（7）和磨拉石（ T_3-J_1 ）的年龄证明，*Zimigan* 缝合线的形成时间最早与印支构造带有关。*Okchon* 缝合带约 50km 宽，位于半岛的南部，走向北东。在该带中，一系列强烈变形的构造岩向南东倾斜或排列成一紧闭向形。这些岩片由强烈变质（绿片岩相和角闪岩相）的岩石组成，复理石建造，石灰岩、碎屑岩、基性岩、基性熔岩和凝灰岩，这些岩石的年代时期不明，可能表现为二叠纪岛弧和边缘盆地的复合体。*Sobesan* 陆块从南东逆冲到 *Okchon* 外来岩块之上，然后被震旦-奥陶纪和石炭-二叠纪的沉积岩所超覆。另外，这带南朝鲜带的火山岩是非原地的。含磨拉石建造的狭窄沉降带沿该逆冲带分布，它在北西侧和南东侧限定了 *Okchon* 缝合带。*Tanchon* 杂岩体与绿片岩相和角闪岩相相关，其宽阔的侏罗纪 180~155Ma 重熔花岗岩带是 *Okchon* 缝合带燕山构造幕所特有的特征，在这一构造带中，*Kengy* 和 *Sobesan* 陆块发生碰撞，*Okchon* 缝合线形成。侏罗纪花岗岩化作用在朝鲜普遍发育，但有一条侏罗纪重熔花岗岩带穿切了 *Zimigan* 缝合带和侏罗纪花岗岩。滑塌沉积以前被看作冰碛岩，它也与 *Zmjigan* 和 *Okchon* 缝合线有关。最复杂的 *Hesan-Tumangan* 带位于日本海海岸上，在该带中，印支期缝合线和燕山期缝合线发生叠加，出现一系列构造推覆体残片，这些残片由含有二叠纪化石陆源复理石，凝灰岩和凝灰砂岩，晚古生代和可能的早生代熔岩、凝灰岩和凝灰质岩石，无明确年龄的页岩、石灰岩、碧玉、辉长岩、辉长闪

长岩；超基性岩；三叠纪和侏罗纪的重熔花岗岩组成，在这些外来岩块中，不同时期的岛弧、边缘海和海洋复合体在构造上结合在一起，并发生了角闪岩相和绿片岩相的变质，这就是它们的年龄被认为比元古宙老的原因。在该半岛上，逆冲的 **Hesan-Taman-gan** 缝合带的前缘是以充填着早中生代磨拉石建造的沉降带为标志。上述缝合带都可以看作陆壳岩块的碰撞边界，这些边界的标志是：由岛弧、边缘海（有时还有蛇绿岩杂岩体）、绿片岩相和角闪岩相变质带、重熔花岗岩体链、滑塌沉积、被磨抗石充填并与逆冲有关的碰撞沉降带。因此，所研究的东南亚地区在中生代是以强烈的碰撞作用为特征，这些作用在缝合带内部留下痕迹；它们的年龄从大陆向海洋逐渐变新。在印支和燕山构造活动期间，由于古太平洋板块和欧亚板块相互作用的结果，这些显微陆壳板块依次拼贴到该大陆之上。同时，显微板块之间边缘海与古生代（和可能的早中生代）岛弧闭合。从海洋向大陆的整体运动是缝合带中面向若大陆的原因。

从海洋到大陆：加拿大西部的增生

J. W. H. Monger

胡克译 刘先文校

很显然，北美板块的西部位于太平洋壳-包括古生代以来的古太平洋壳的侧翼。从晚古生代至今，洋壳碎块伴随着洋壳的俯冲和钙碱性岩浆岩的形成而增生到北美板块西沿。增生物质构成了“可疑地体”，它们占加拿大科迪勒拉西部的 $2/3$ ，这里海拔高度 $2000\sim 5000\text{m}$ ，地壳厚度 $32\sim 25\text{km}$ ，是由硅镁质和幔源岩浆岩组成的新陆壳。

构造研究和深部地震反射研究表明，形成科迪勒拉地壳的基础构造是由逆冲断层限定的岩片的堆砌作用。愈靠近堆砌岩片的底部，其断裂的时代愈新。这种现象与众所周知的东科迪勒拉的落基山褶皱和推覆带（大陆岩石圈俯冲其下）一致，也与参与洋壳岩石圈俯冲作用的西科迪勒拉一些增生杂岩一致。

所有这些可疑地体都可能是增生杂岩的组成部分。现代的增生杂岩以局部含蓝片岩的地体、破碎的洋壳为主，如加拿大科迪勒拉轴部的 **Cache Creek** 地体。较大的、连贯的地体主要来自洋内岛弧，也是增生杂岩的组成部分。穿过温哥华岛的深部反射和折射剖面研究表明，**Wrangellia** 的泥盆系至侏罗系构成一个推覆岩片，地表出露 $400\times 100\text{km}^2$ ，深度超过 10km 。**Wrangellia** 地区的下地壳和地幔受底垫岩石的作用发生了位移，底垫岩石被下冲的年轻逆冲断层限制，依次为白垩系、三叠系和现代地层，愈向底部愈新。

上部板块的相对运动方向是远离俯冲带还是朝向俯冲带，这也许是形成科迪勒拉地壳的决定性因素。人们很早就认识到，科迪勒拉造山是与北大西洋裂开和北美板块先向东北后向西移动的同期产物。北美板块向西朝向俯冲带的移动，覆盖在不同的俯冲洋壳板块之上。大多数组成科迪勒拉的地体就是在这种构造背景下增生的。在上部板块为静止状态或不断后退之处也有增生作用，但形成不了较厚的和大范围的地壳，晚古生代至中生代最早期时可能就是这种状况。

晚侏罗纪以前,还不很清楚俯冲带是远离还是靠近北美板块,但前者可能性较大。从晚侏罗纪至今,洋壳岩石圈的俯冲发生在北美板块之下,至少在加拿大南科迪勒拉是这样的。至少可鉴别出四个增生杂岩体,由新到老依次为:

1. 保存很差的上泥盆系至中(?)三叠系增生杂岩,位于科迪勒拉东部和轴部的下层位置。这些杂岩包括 Slide 山地体的洋壳或边缘盆地岩石、Quesnel 地体较老部分的岛弧岩石和 Kootenay 和 Yuko-Tanana 地体的岩石(多数可能是古陆边缘附近的沉积物)。在这些岩石中,侏罗纪的老构造和晚期新构造不易区分。

2. 上三叠至中侏罗系的增生杂岩,包括 Cache Creek 地体,含有晚侏罗的蓝片岩和二叠纪动物群,它明显不同于其东部和西部同期的动物群。该杂岩位于由东向西逐渐变新的晚三叠至早侏罗岛弧以西,该岛弧属杂岩 1。在英属哥伦比亚南部,Cache Creek 地体甚至含有中侏罗的化石,在其西北部、Cache Creek 地体之西,这类杂岩含有大量泥盆-侏罗系。

3. 中侏罗纪至古新世是加拿大科迪勒拉地壳增厚或造山作用的主期,科迪勒拉“两面增生”,东部和西部两翼杂岩的增生方向相反。

a. 晚侏罗至第三纪最早期,西部的增生包括:晚侏罗和/或早白垩的 Wrangellia 地体(在温哥华和夏洛蒂女王岛之下)、Alexander 地体(在阿拉斯加东南部之下)的俯冲和华盛顿西北部 Cascade 山的一些小地体(其中有的含有侏罗-白垩过渡期的蓝片岩)的增生或俯冲作用。

b. 中侏罗至第三纪时,科迪勒拉东部的褶皱和推覆带自西向东,自顶至底由 Slide 山地体的晚古生界、中元古至侏罗纪裂谷和冒地槽地层和前寒武基底岩片,以及上侏罗至古新世造山碎屑岩。其底部为一逆冲断层,断层之下为前寒武结晶基底和一层薄薄的显生宙盖层。

a 的东部和 b 的西部含有大量巴洛式高级变质岩系。b 在侏罗纪时的变质作用和 a 在白垩纪时的变质作用是这些杂岩相互堆切有关的变质事件。在晚白垩至现代期间,太平洋板块向北移动引起的右行滑移断裂导致科迪勒拉多数地体解体,使之更加复杂化了。

4. 第三纪和现代增生杂岩位于温哥华岛之南部和西部,大陆基和海山的岩石被推移至 Wrangellia 之下。科迪勒拉东部的推覆作用在第三纪早期停止,南科迪勒拉轴部开始拉张和减薄,但科迪勒拉西南部的推覆作用一直持续至今。

东 Sulu 和 Celebes 海的增生构造、地体碰撞和蛇绿岩就位

K. Hinz

刘永江 译 刘先文 校

Sulu 海和 Celebes 海是了解东南亚群岛(菲律宾、印度尼西亚、马来西亚)新生代地质演化的关键地区,由晚中生代和新生代岛弧系统杂岩、蛇绿岩、大陆碎块和太洋盆地组成。为了解其新生代板块构造的演化,必须确定 Sulu 和 Celebes 海之下推断洋壳的

性质和年龄。

穿过 Cotabato 海沟-Celebes 海和 Sulu 海沟-Sulu 海的地震线说明了 Celebes 海和沿海沟分布的东南 Sulu 盆地中成层沉积物的活动变形作用，并且阐明了增生楔形体前缘叠瓦状逆冲岩片的活动演化过程和俯冲洋壳之上楔形体中同时代的双型缩短作用。俯冲洋壳基底表面形成一个主要的拆离面或基底冲断层。通过这些过程，物块被添加给增生楔形体，从而导致楔形体的加厚和增生。楔形体之上的沉积盖层在这些过程中仅受到微弱的影响，因为增生楔形体的表面形成一个顶部冲断层。

收集的地球物理资料表明 Sulu 东南大洋盆地原先向北扩展到 Panay 岛，后来由于黑人岛下部洋壳的向东俯冲和上冲/上穹 Cagayan 洋脊下部洋壳向西北的俯冲而封闭。黑大海沟为 4000 到 5000m 深的海底沟谷，代表了反向俯冲系统的碰撞缝合线。Cagayan 洋脊将 Sulu 海划分为西北 Sulu 盆地和东南 Sulu 盆地，而且连续延伸与 Panay 古洋脊相接。

东南 Sulu 盆地的洋壳向东在 Sulu 海沟处下沉。增生楔形体位于俯冲洋壳之上，其厚度从 Sulu 海沟的大约 1s (tw) 到离 Zamboanga 半岛和黑人岛大约 1km 水深处的 4s (tw) 稳定地增加。

在增生楔形体叠瓦状冲断岩片系统朝陆的部分之上，我们观测了三角形断面地体，其地震特征与通常的楔形体沉积物明显不同。因此，推断这一块体应代表活动俯冲东南 Sulu 盆地洋壳的最古老部分。当挤压作用开始时，我们假设洋壳在向海方向距洋陆边界大约 20km 的距离内，沿着平行于洋陆边界的方向发生剪切作用，则俯冲作用仅仅影响到剪切面向海一侧的洋壳。

这样就给出了一个蛇绿岩是如何被卷入到增生楔形体中去的可能机制，而且也支持了蛇绿岩可能不代表“典型”洋壳的假设，因为在这一机制中只有在漂移阶段开始时形成的洋壳才能就位于楔形体沉积物中。

1988 年底，在 124 航程期间，JOIDES RESOLUTION 号在 Celebes 和 Sulu 海上的几个位置进行了钻探，目的是解决下列问题：① Celebes 海洋壳的年龄；② 东南 Sulu 盆地洋壳的年龄；③ 增生楔形体上部洋壳的推测块体的性质。钻探计划的第一批结果即将被展示。

美国南阿帕拉契亚晚古生代上冲地体的复原再造

JR., R.D. Hatcher 等

刘永江 译 刘先文 校

阿帕拉契亚造山带经历了早中古生代期间的增生历史，并伴有变形作用、变质作用和深成岩浆侵入作用。早中古生代期间形成的构造在二叠纪与非洲大陆碰撞期间，被阿勒格尼逆冲断层所切割。该逆冲断层从碰撞带下部的韧-脆性过渡带依次进入晚元古代和古生代裂谷边缘和地台，其上的构造迁移主要向北美内陆，但阿勒格尼走向滑移构造域也在包括主要为右行运动的内构造带中形成。有些地区（东部山麓）的右行位移

显晚于逆冲作用，而另一些地区（Brevard 断裂带）的右行位移则被逆冲作用叠加。

根据高质量的地质、位场和地震反射资料，在三个横剖面上对阿勒格尼逆冲作用进行了线、面平衡补偿分析，在阿拉巴拉（A-A'）、新泽亚-卡罗来纳-佐治亚（B-B'）和西弗吉尼亚-弗吉尼亚-北卡罗来纳（D-D'）剖面上分别产生 37%、54%、47% 的缩短作用。兰岭山麓逆冲岩片的最大位移是 350~400km；沿着这一剖面的总缩短量为 600~700km。向 B-B' 剖面的东北和西南部，位移量都迅速地减小。最大位移出现在新泽西地槽晚元古代裂谷相沉积岩地层厚度最大的地区。阿帕拉契亚超深取心井井位调查地震反射资料为构造的解释提供了答案，这是首次在结晶上冲地体中达到这一成果。利用这一成果可以解释 B-B' 剖面中结晶岩片之下地台岩石复杂的双层结构，并且表明沿这一剖面发生的缩短量大于只由地表地质观察确定的缩短量。根据由这些资料提供的构造模式，可以将这种几何学特征应用于其它剖面和其它上冲地体中的类似构造。根据阿巴契亚主要地区的三个平衡剖面，并结合北弗吉尼亚兰岭山麓逆冲岩片（被遮掩）的精确定点，可以对造山带的这部分地区进行复原再造。

增生构造和地壳加厚作用：

来自科迪勒拉和特提斯造山带的实例

D. G. Howell

刘永江 译 李志超 校

正如倾向克拉通的逆冲断层的系统演化所反映的那样，增生构造通常被大陆-地壳的加厚作用所取代。由于大陆地壳的漂浮作用，在陆内部逆冲作用的驱动力不可能是板块拉力，而洋脊的推力倒是产生这一逆冲作用的可能机制。

阿拉斯加的 Brooks 山脉和意大利亚平宁的大地构造环境和构造样式非常相似，对于它们的了解有助于我们更好地理解增生构造和地壳加厚作用过程。这两个造山系统所共有的特征包括：（1）大致 1000km 长的线性逆冲带，它们是相当大的会聚系统的一个部分；（2）包含整个造山带在内的大约 60° 的构造旋转；（3）由洋盆封闭产生的逆冲构造导致蛇绿岩推覆体形成上部构造逆冲岩片；（4）地壳加厚作用主要表现为大陆内部双层结构的形成作用-在每种情况下都包含两套准原地碳酸盐岩地台序列；（5）大陆内部地壳缩短 200-500km；（6）逆冲断层系统或者位于老的会聚造山系统之上，或者包括老的会聚造山系统（Brooks 山脉的 Innuitian 和“Antler”造山系统，亚平宁的 Tyrrhennian 海），Brooks 山脉的地壳拉张作用似乎晚于主期逆冲作用，而亚平宁的地壳拉张作用则与主期逆冲作用同时。

随着构造地层地体和板块构造过程方面知识的不断增加，使我们了解了有关地壳是如何加厚形成造山带和大陆是如何增生的下列基本概念：由于浮力作用，大陆地壳仍具有持久的弹性特征；俯冲火山作用产生了新的大陆地壳；随着大陆的前移，沿大洋-陆

地界面的剪切导致了断层作用,因此,板块构造的连续过程就是将大陆碎块从一个地方移至另一个地方。另外,在具有 B 型俯冲过程的碰撞带中,增生棱柱体向海洋一侧会聚,这种情况下地壳可以加厚,但依赖于临界锥度的大小;包含有残余岛弧的海洋台地也可以沿大陆边缘增生,而且还能促进大陆地壳加厚作用。洋盆封闭后,大陆地壳就开始沿着向克拉通一侧会聚的低角度冲断层面增生。这一地壳加厚过程被称为 A 型俯冲,其会聚作用似乎由洋脊推力产生。

新英格兰东南部阿帕拉契亚山脉东部边缘

构造地体及其增生时代的确定

J.C. Hepburn

刘永江 译 刘先文 校

新英格兰东南部阿帕拉契亚造山带的东部边缘至少包含有两个,可能为三个不同的地体,它们均以断裂为边界,各自具有其独特的地质和岩浆演化历史。最东部的波士顿-阿瓦龙地体与阿帕拉契亚北部的另一个阿瓦龙地体具有许多相同的特征,与阿瓦龙造山作用相伴生的广泛的晚元古代(580~650Ma)钙碱性花岗岩深成作用和火山作用,构成了波士顿-阿瓦龙地体的主要地质特征。在这一岩浆作用之前,来自基性火山岩的地质证据和钙碱性地球化学特征表明,这一地体曾经历过一个大陆裂谷阶段。阿瓦龙岩浆作用之后,在弧后环境或者是山间环境中形成沉积盆地(波士顿盆地),同时伴有砾岩和细粒碎屑岩的沉积以及少量高铝玄武岩和中性火山岩的喷发。碎屑沉积岩中可能包含有晚前寒武纪的冰碛岩。早古生代期间,该区变为稳定的陆架,接受了较薄的地台型沉积序列。古生代中期,当地体内发生特征的过碱性岩浆系列侵入时,则出现另一种岩浆作用形式。石炭纪期间形成转换拉张盆地,并被河流相沉积物充填。在古生代末期的阿勒格尼造山运动期间,地体遭受了变形作用、岩浆侵入和变质作用(大部分不高于绿片岩相)的改造。这些作用叠加在伴有低级变质作用的晚元古宙变形作用之上。波士顿-阿瓦龙地体本身可能是一个复合地体。

向西部穿过 Bloody Bluff 带,则为完全不同的 Nashoba 地体。这一地体下伏于晚元古代到早古生代的具有压缩型地球化学特征的基性火山岩和火山沉积岩,它们现今已变质达矽线石和亚矽线石带。奥陶纪-志留纪期间,该地体内发生广泛的过铝花岗岩和钙碱质中性闪长岩到英云闪长岩深成岩体的侵入。最年轻的花岗岩(400~450Ma)大部分没有发生变形,并可给出主期变质和变形作用的上限年龄。

向西部穿过 Clinton-Newbury 断裂带,位于 Nashoba 地体和阿卡德期变形的 Keeganrsarge-中部缅因复向斜之间的,则是第三个可能的地体,即 Merrimack 地槽。这一地体包括晚元古宙基底和前中奥陶纪的厚层复理石序列,该序列的形成时代和变质及变形作用时代至少一部分为晚前寒武纪。该地体与 Nashoba 地体一样,也遭受了奥陶-志留纪的基性岩和花岗岩的岩浆作用改造。

波士顿-阿瓦龙地体在晚元古代经历了大陆边缘构造的演化,早古生代变为稳定的陆架。Nashoba 地体在晚元古代-早古生代处于岛弧或弧后环境。早至中古生代期间,它们各自具有不同的岩浆、变形和变质演化历史环境的同时,也使它们在中古生代之前的拼接变得非常困难。例如,当 Nashoba 地体经历变形作用、高级变质作用和过铝花岗岩及钙碱质中性岩浆侵入时,波士顿-阿瓦龙地体则经历了过碱性岩浆作用。这两个地体都不具有遭受阿卡德拉期变质或变形作用影响的地质证据。波士顿-阿瓦龙地体和 Merrimack 地槽内都发育有石炭纪大陆沉积岩,这套岩石可能代表了超覆地层组合,并且表明了新英格兰东南部地体合并的时间。最近来自 Nashoba 地体早石炭纪 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 普通角闪石的年龄(354~325Ma)进一步证实了这一地体合并时间。这些普通角闪石的冷却年龄与同一样品中黑云母年龄的比较可以表明,这一地体在这个时间经历了相当迅速的冷却过程。冷却作用是与碰撞有关的隆起和阿勒格尼造山运动之前这些地体发生并置所引起的顶蚀作用的结果。新英格兰南部海岸地区经历了阿勒格尼造山运动期间的高级变质作用,其普通角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 75~100Ma,比 Nashoba 地体年轻。所以,波士顿-阿瓦龙地体和 Nashoba 地体的增生时代为泥盆纪或早石炭纪这一时代同阿瓦龙地体与西部纽芬兰地体的拼接时间相一致。至于 Merrimack 地槽和 Nashoba 地体是代表一个被 Clinton-Newbury 断裂断开的单独地体,还是两个在晚元古代或早至中古生代连接起来的分离地体的问题,还有待于回答。

增生地体的地貌表现: 厄勒冈州 Klamath 山脉

Short, N.M.

陈 华 译 刘俊来 校

在厄勒冈州西南部与加州西北 Klamath 山脉的地壳组成研究中,出现了有关增生地体或构造-地层地体盛行模式的几个概念。在该区识别出了三十多个地体,它们就位于晚古生界和晚白垩世。这些地体的鉴别主要是根据极为显著的岩性,构造界线特点差异。对某些地体而言,利用了古地磁特点的显著差别。尽管在那里以及在其他地体组合区工作的人们注意到了相邻地体间在地形、地貌上有截然的差别,但是对于这些组合地貌变化的系统分析且很少有报导。本文对于厄勒冈区 Klamath 地体的研究目的在于:

(1) 定性和定量地定义和描述已知(已经填出)地体的地貌特征;(2) 确定一套组合内的地体是否具有足够特征地貌标志,使得能够在航空图象和卫星图象中识别其存在,并且能更好地圈定其间的界线;(3) 对于地貌信息作为识别地体就位方式的线索进行估价,尤其是对于地貌几何与构造标志的相关性作一评价。这项研究把形态测量应用到传统地形数据库与数字地形数据库上,有时应用到 Landsat/Spot 图像上。

对厄勒冈-加州 Klamaths 大多数地区陆地卫星 Thematic Mapper 2 图像拼贴研究结果形象地显示出由河流密度差、主要山岭方向差以及高地切割程度差反映出的拼贴图案。当把一张透明薄膜黑线条图表示的地体图覆在拼贴图,不同地形单元广泛地与所填地

体吻合。从而可以定性判断,较大体地可以用其地形表现进行区别。

这里对整个地体(或其部分)内最大地形海拔与起伏的分布从两组不同的数据进行了计算。有关海拔数据是从15幅地图上获取的,数据网为 1×2 英里(剖面),然后按其现在所属各地体分类并利用实验及其他方法进行统计分析。依据最大海拔(elevation)与起伏(relief)发现许多并置的地体对之间有显著的差异。典型实例即为厄勒冈的Canyonville,在那里Yolla Bolly地体与Rogue谷地体的平均最大海拔值相差多于530英尺(在0.99高度上明显)。不过,在大的地体内部的一系列四边形上取数据点时,其变化甚至更大。一般来说利用U.S.G.S.数字海拔模式(DEM)资料可以获得说明这种明显差异的类似结果,这些资料可以划分出完整的地体,其边界分别进行了数字化并储到DEM中。相邻地体对之间的起伏差别也是很显著的,但比海拔差别反映的较差。

不过,区域地形坡度效应可在解释某些显著的差异(在厄勒冈Klamaths有两个最高区)尽管对这些地体海拔的比较是在四边形规格上完成的。为补偿坡度效应,对于DEM数据组应用了趋势面分析(数据组包括了整个厄勒冈Klamaths),对所分析的四边形图幅也进行了趋势面分析。计算了1~4级趋势面,然后对余值(局部海拔偏离主面)进行了等值线编图,包括海拔与地形起伏。将编绘的地体边界图与之对照,那么正负余值型式正好与地体吻合。一般除个别有趣情况例外,余值的分布与特定的地体之间没有极显著的相关性。

对于我们考虑的18个地体而言,地体内(大地体可以再分成2~3个亚单元)海拔频率分布等值线图构成一系列曲线。虽然分布型式复杂而解译出系统变化,但一般地体态内坚固(多数为变质)岩性具有较大的等高线整数值(表明下侵蚀较差,而其总体海拔值的大部分与较高的海拔有关。就整个厄勒冈Klamaths而言,在正海拔曲线上有一个介于1.3km和1.65km之间的峰值是很特殊的。目前正在进行海拔与坡度作为各种基线间隔(variable baseline spacings)函数的能谱分析,由此,将导出部分空间资料及对面的平滑程度的有关测量。

从地形图上测量的河流与山岭的密度与方向提供了有趣的构造信息。山岭的密度变化于 $5.4\text{km}/\text{km}^2$ (EIK地体)至 $2.7\text{km}/\text{km}^2$ (Snow Camp地体)。区域山岭的方向集中在 $\text{N}20^\circ$ 方向上,但对各地体而言有变化。最古老的台地(内陆)表现出两个极密:NNW与NE,Yolla Bolly-Rogue谷-Smith河地体山岭方向为NNE,多数沿岸地体山岭走向明显为NWW-NW向。可以推断,这些山岭的方向代表着对河流控制的反映,而河流的方向又受控于构造薄弱带,后者却又是由变位的俯冲带几何产生的。

陆地卫星图象上所进行的地貌测量显然强烈地受太阳方位角(Sun azimuth angle)投影的影响。比较对照利用不同的手段,包括陆地卫星、Spot、地形图以及各种光源方向上形成的以DEM为基础的投影地形起伏图象,确定的山岭方向可以证实,SPOT立体图象分析可以大大地消除这种影响。

有两点结论需要指出:(1)某些形态测量可以有效地划分出某些地体,(2)如果用空间图象取代地形图以及区域地貌数据库,那么必须将空间图象立体化。

斯基的那维亚和Svalbard地区加里东造山带 中的地体及其增生历史评述

Stephens, M.B.

刘先文 译 刘俊来 校

斯基的那维亚, Svalbard及东格陵兰地区加里东造山带呈正北方向构造成位, 其位置远离环大西洋地区古生代造山带之主要组合。把这些造山带组合相分开的主要原因是泥盆纪造山活动的发生。本文重点讨论斯基的那维亚和Svalbard地区加里东带的地体特征及其增生历史。

Svalbard地区, 地台型石炭纪及更年轻的岩石上覆于褶皱了的晚志留纪到中泥盆世老红色砂岩(ORS)地层之上, 老的岩石其变形则相对强一些。前ORS残余出露于Svalbard北东、北西及南西等三个彼此相分开的地区。北部地区被一条大的高角度断层及一个ORS地堑所分开, 而西部地区则被一个大断层分开。晚奥陶到志留纪重要的构造热活动被前ORS岩石所经历。近期的工作强调了这些较老的残余地层之间的不一致性, 表明它们至少代表三个不同的地体。

北东和北西地体中, 构造上向下接续的较深部分由时代不明的中等至高级变质的岩石组成。上覆的晚元古宙及早古生代地层, 包括文德期冰碛岩及一套含有北美型动物群, 并以碳酸盐岩为主的寒武纪地层。例如: 这些地体唯独在南西段识别出来, 其依据是火山岩、局部的榴辉岩及蓝片岩被中奥陶至志留纪的岩石不整合覆盖。北西地体完全由中高级变质的时代不明岩石组成, 局部含有榴辉岩。

这些地体之间的差别可以用具有争论性的尺度较大的术语来加以解释, 即晚泥盆世时期沿着地体的边界断裂发生了左旋走向滑移。这种构造模式主要依据北东地体与东格陵兰中部地体之间地层层序的相似性。关于前晚泥盆世时期的南西地体相对于Innuition山带的复原再造的争论也已提出。显然, 这些地体的最终走向滑移组合至少掩盖了一期早加里东时期的增生事件, 正如南西地体的榴辉岩和蓝片岩所证实的那样。

与Svalbard明显相区别, 斯基的那维亚加里东期造山带的构造主要由逆冲就位的构造单元组成。最近的工作强调了泥盆纪晚期拉伸构造的重要性。根据地体的概念, 斯基的那维亚加里东造山带可以划分成三个主要地体: 即构造上缩短的早古生代波罗的海大陆的Baltoscandian边缘带。位于该边缘外侧被怀疑却未能确定其性质的地体, 以及具有不同于波罗的海地盾形成历史的外来地体。请注意外来地体, 这些地体出现于构造上较高的构造地层单元中, 由于造山带中向下剥蚀强烈, 它们彼此相分离。地体的鉴别与前晚奥陶世的特征有关, 可以识别出三个主要部分, 即含有海洋沉积建造痕迹的地体, 亲缘关系难以确定的变质岩石所组成的地体以及由外来大陆岩石圈所组成的位于最高冲断片中的一个超大地体。

第一组地体中的标型特征包括蛇绿岩; 双模式变质火山岩系, 这种低K的变质火山岩系即可分布于俯冲带, 又与裂谷成分有关; 早奥陶纪动物群表明既有北美型又有北美与

波罗的海斯堪的那维亚的混合型,而且较年轻的碎屑岩来自特征的母岩区。取自蛇绿岩及双模式变质火山岩系的U-Pb(锆石)年龄显示出一个窄的年龄间断,这些岩石属于早奥陶纪。在Iapetus地区,这些地体与边缘弧盆系统的连接关系已经被提出,Laurentia及波罗的外侧系统也被正视。

含有较高级变质杂岩的那一组地体的一般特征是主要由碎屑状变沉积岩及寄生的基性变质火山岩组成,这是早加里东构造热演化存在的证据所在。这种火山沉积建造中的U-Pb(锆石)及Rb-Sr(全岩)年龄表明存在奥陶纪元素,并把早加里东构造热活动限制在早或中奥陶世。位于最高冲断片中的超大地体是海洋及大陆成分的复合体,该地体封闭于同构造花岗质岩石侵位之前。大陆成分相对于波罗的外是来的。

在斯堪的那维亚加里东造山带的大部分地区,早加里东时期的增生作用被晚志留-泥盆纪的陆-陆碰撞作用所干扰,并被后者所掩饰这一点须认识到。然而,地体增生多期复杂的历史是很明显的。波罗的斯堪的那维亚边缘带与一个外侧弧杂岩在晚寒武至早奥陶时期的初始碰撞先于奥陶纪的抬升和剥蚀,该边缘带在志留-泥盆纪期间发生构造缩短作用。与大陆岩石圈俯冲作用有关的高压变质事件与这些个别碰撞相连接。关于早加里东时期的增生作用涉及到外侧地体包括复合地体的识别,在特定碎片内一个早或中奥陶纪构造热演化的残余,并都具有碎屑沉积建造和(或)火山岩特征。在两个特征的增生模式之间存在着关键性的争论并认为沿着波罗的斯堪的那维亚边缘带,外侧地体对波罗的有掩盖作用,这种作用与早加里东构造热演化有关,模式二是本文所提倡的。强调许多外侧地体最初对Laurentia发生增生,继之成为拉伸区域,最终在志留-泥盆纪时期与波罗的发生碰撞。

特提斯的微板块:运动学及其与主板块运动的关系

Sborshchi kov, I. M.

陈 华 译 李 哲 校

特提斯海的发育过程过去曾归咎于阿尔卑斯褶皱系,在此过程中可以注意到几个微板块的位移。某些研究者认为,这些中型地块代表着冈瓦纳大陆被动边缘的断块,它们的向北运移与这一海洋北段(古特提斯)的闭合及南段(新特提斯)的张开有关。不过,实际情况比这一过程所展示的更复杂。比如,伊朗地块与阿富汗地块(有时认为是Kimmerian联合微陆的组成部分并非同时发育的。伊朗地块三叠纪末期合并到欧亚大陆上,而阿富汗中部地块却是在晚白垩时期由它分离出来的。中生代时期特提斯的闭合期间,这些微板块的表现明显不同。比如,随着非洲板块相对于欧亚板块的位移相应出现了Apoulia地块的旋转,Menderia地块与Kirshekhir地块的运动是由主板块运动产生的,而Lesser Caucasus地块、Armenian地块及Lut地块却没有这种反应。

有几个地块曾沿纬向(沿特提斯海)运动,而这种运动在古地磁测量上并无显示,另一方面,可以假定大规模平移断层运动也可以引起微板块旋转,Caucasus的Dzirula地块在晚三叠世呈反时针旋转,而在侏罗纪却发生了冈瓦纳与欧亚大陆间明显

的左行位移。运动学分析也证实 Iberia 的旋转（白垩纪）伴随北部 Biscay 的扩张与南部另一边缘的拉伸作用。这种情况用简单的“球体（ball-bearing）”效是不能解释的。

在特提斯演化期间，有大量的洋壳消失了，但同时几个地区出现了新生弧后盆地。目前，在 Gibraltar 与 Pamir 间有三个地区洋壳岩石圈正持续俯冲：Calabrian 带、Hollini 带和 Makran 带。可以认为，这一盆地起源于 Carabrian 地块的解体及由于软流圈向东而引起的贝鸟夫带的运动。

特提斯闭合过程的最后阶段是强烈挤压条件下的碰撞与再定向。对近代运动学分析的主要困难在于缺少空间而且可能有板内变形。对陆区与洋区地质资料的比较表明微板块减少了约30%。对于巨厚的大陆岩石圈而言，这种过程实际上是不可能的。有大量的地球物理资料证明岩石圈的地质成层性及壳-幔边界附近韧性层的存在。假定在碰撞期间这种层可能受到一个滑脱面的影响。上部的地壳板块不如下伏岩石圈刚性程度高，并且可以变形。

在全球规模上主板块间的作用因地而异。在进行区域性恢复时，我们必须考虑到单个地块（微板块）的独立运动，表明与大型板块的运动无关。在碰撞条件下，有可能出现薄板状地壳的“上硅铝壳构造”。

南美南部：近700Ma的活动边缘

Ramos, V. A.

陈 华 译 刘俊来 校

在南美南部（22—39°S）出露了一系列反映晚前寒武纪至近代构造事件的南北向内克拉通岩浆岩带（图1）。这些带的年龄由东而西减小，保存了不同的构造层次。

最古老的岩浆带由年龄为730~450Ma的辉长岩、英云闪长岩、花岗岩和变质火山岩组成，在东 Sierras Pampeanas 沿走向出露达1200km以上。这些岩石产于中高角闪岩相，它们正好位于一系列超镁铁质岩与构造岩的西侧。略为年轻的Puncoviscana 岩浆带由年龄为604~530Ma的奥长花岗岩、花岗闪长岩组成，保存在 Sierras Pampeanas 西北端。Puncoviscana 岩石的变质级由绿片岩相至黠帘石相。它们侵入到为大陆坡沉积物覆盖的减薄地壳中。

早古生代岩浆作用出现在两个带中，主要是寒武纪至晚奥陶世期的。第一个带沿现在的 Sierras Pampeanas 的西缘与 Puncoviscana 带部分地叠加在一起。另一个带沿着智利北部的 Arequipa-Antofalla 出现。两个带都由辉长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩组成，局部与火山岩有关，其年龄变化于550~320Ma，但最重要的火成与变质活动却是发生于晚奥陶世（440Ma）。

最主要的晚古生代岩浆活动带是迄今为止分布最广泛的带，分布于阿根廷与智利的 Frontal Cordillera，位于早古生代 Sierras Pampeanas 带以西300km处。基于岩相学与地球化学特点，可以把这些岩浆岩划为两组：石炭纪至早三叠纪组，由辉长岩、花岗闪

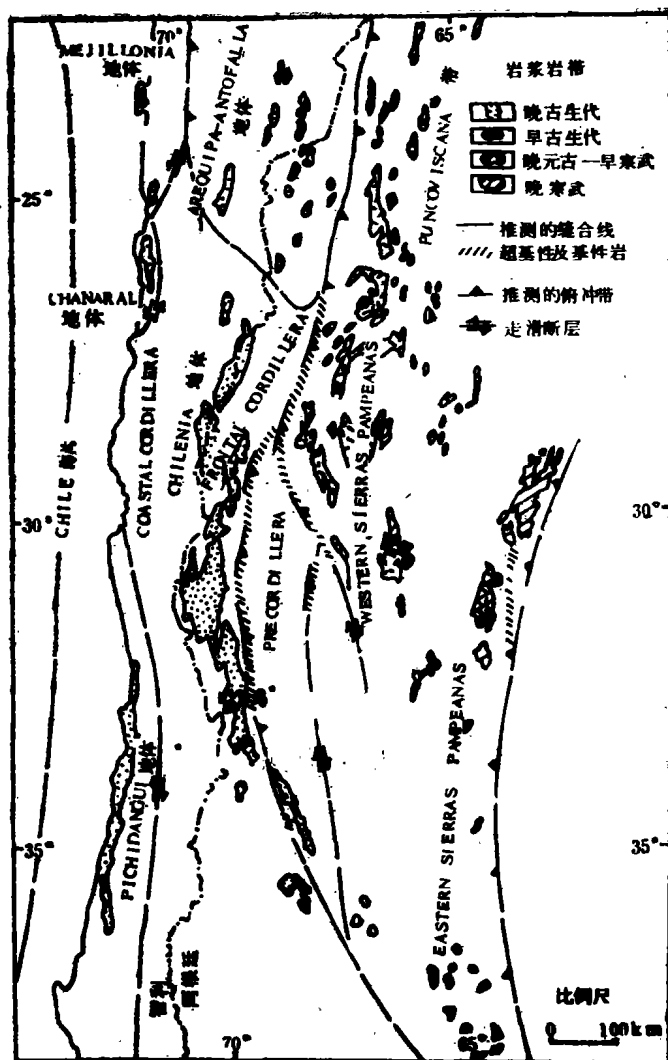


图 1 南美南部地质简图

26°S 以南的各条中生代前岩浆岩带的位置及其迁移可以用 Sierras Pampeanas 地体与克拉通在晚元古代时期的碰撞、Sierra da Pie de Palo 与前科迪勒拉在早古生代时期的向北移动以及智利地体在泥盆纪时期的增生来解释。29°S 以北地段的演化可以用 Arequipa-Antofalla 地体与原南美在早寒武世的初始碰撞，之后的裂谷作用以及最后晚奥陶世缝合线的形成进行说明。晚古生代活动可以解释为现今海沟附近的东倾俯冲带。晚二叠世至三叠纪岩浆作用与引起 Pangea 西南缘广泛地壳熔融的总体伸展构造体制有关。Coastal Cordillera 几个裂块的南北向运动是通过古地磁研究提出来的。这些位移了的裂块（即 Chiloe、Pichidangui、Chanaral 和 Mejillonia 地体）就位于早中生代，它们产生了晚古生代带的叠覆。

火山作用沿安第斯边缘的分布及其向前陆的迁移能够与俯冲带的倾斜联系起来。岩浆作用的向东迁移也与前弧区的构造剥蚀作用有关。

长岩、安山岩、英安岩组成，较年轻的二叠～三叠纪，由花岗岩和 Choiyoi 群的流纹岩组成。第二个晚古生代花岗岩带断续分布在 Coastal Cordillera 以西。

古生代岩浆岩带的总体向西移动趋势在早中侏罗世至晚新生代安第斯带却反转过来，表现出断续的向东移动。

传统上将古生代岩浆岩解释为内克拉通海西型带。近来的岩石学与地球化学资料表明这些带中大部分可以更容易地用与俯冲有关的过程解释。提出的简化模式把俯冲带置于现代海沟，并把近 700Ma 以来岩浆岩中心的迁移解释为由毕乌夫带几何特点的变化引起的，甚至把距海沟 800km 以外的岩浆岩带也作这样的解释。后来的安第斯缩短作用（240—100km）以及可能的大陆剥蚀（70～80km）将使距海沟的距离更大。这些岩浆岩带的构造环境用地体的碰撞、增生及侧向位移能更好地解释。

利用地球化学对地体的标定：以爱尔兰西部

晚前寒武纪与早古生代岩石为例

Winchesr, J. A 和 Max M. D

陈 华 译 李 哲 校

西爱尔兰 Mayo 西北部与 Ox 山脉西部内露层中晚元古宙与寒武纪达尔拉丁岩系已经证实难以划分出构造地层岩系。尽管已进行了详细的地层与构造工作，但因经常出现不明确的地层与类似的构造-热演化史，从而常常难以对重要的构造不连续面两侧进行详细的对比。虽然爱尔兰境内达尔拉丁超群内的地层对比问题在 Donegal 和东部的苏格兰大部分已经解决了，但 Mayo 西北部与 Ox 山脉西部内露层及 Clew 海湾区的一些小的内露层却沿剪切带、滑断带与冲断带受到了变动，并且地层的过渡带常常受到了扰动，且经常出现堆叠。

达尔拉丁地层序列中最易鉴别的下部在 Mayo 西北部及爱尔兰最西部的其他内露层中并不常见，不过 Connemara 的某些部分除外，在那里有重要的构造间断出现，这些间断的意义在其他地区应从地体观念出发进行全面评价；达尔拉丁地层中较不明确的上部却广泛出现。此外，达尔拉丁岩系的上部有不只一层变质火山岩层出现；在野外它们彼此难以区分。

详细的地球化学研究允许我们标定先前层位有争议的各种变质沉积岩系，从而使对比工作得以完成。详细的地球化学特征因而用作有矛盾的对比之最终判断依据。标定变质火山岩套的地球化学特征，不仅允许进行构造岩块间的对比，而且容许确定原始火山作用的构造部位。现今毗邻的变质火山岩系之构造位置的明显差异使我们能够有重新评价某些构造不连续面的意义（其重要性在先前的构造分析与变质岩分析中并没有指出）。在过去认为是单一构造地层岩系中至少一条滑断构造，我们认为是一条可能的地体边界，因为在这个边界上曾相隔很远的岩系堆叠于一起。

变质沉积岩和火山岩层和岩系的地球化学标定技术可以广泛应用于变质岩中，有助于确定顶底面、进行局部或区域对比以及确定原始构造位置。地球化学为用地体化学地体分析方法研究地体提供了有效的手段。虽然本文仅仅研究爱尔兰西北部的一个变质内露层，并进行了对比，随着地体规模上地球化学标定的广泛应用，对阿帕拉契亚加里东造山带的全面对比将对于重建下古生界活动带提供有价值的依据。

对台湾东南部的俯冲与碰撞: R/V Jean

Charcot "Pop₂" 号勘察的成果

Stephan, J. F 等

陈 华 译 刘先文 校

台湾岛是吕宋岛弧(相当于菲律宾海板块西缘)与中国大陆边缘(属于欧亚板块)强烈碰撞的结果。这一碰撞带位于马尼拉海沟俯冲带的北部延伸。沿此带,南海盆地向东-东南俯冲到吕宋岛弧之下。向北,强烈的俯冲与激烈碰撞之间的变化是递变发展的。相反,在台湾东部,碰撞带与 Ryukyu 活动边缘之界线十分清晰。后者与菲律宾西部海盆地向西北方向上的欧亚大陆边缘下的俯冲作用有关。

对于台湾东、南部这两个关键区的构造研究是1984年10月—11月R/V Jean-Charcot "Pop₂" 号勘察的主要目的。分别在 20°15'N 和 21°45'N 之间对马尼拉俯冲带的北端以及 23°N 和 24°30'N 与 121°45'E 和 122°45'E 之间对 Ryukyu 活动边缘进行了海洋探测 (Seabeaming) 填图及高分辨率单道地震反射剖面和重磁测量。主要成果有:

自台南: 在 21°15' 以南, 马尼来活动边缘的组成分别为(自西向东): 马尼拉加积柱、北吕宋弧前海槽和吕宋弧(在 20°30'N 的 Batan 岛是活动的)。加积柱本身的组成: 经受着以向西褶皱作用和逆冲作用为主变形的西部加积楔; 在中部带, 它与所谓 Hengchun 亚海岭对应, 并且在构造上不活跃(古加积柱); 在东部狭窄带, 是与加积柱向弧前海槽的反冲作用前关的变形后活动带。

大约在 21°15', 弧前海槽(俯冲带标志)消失, 在东部以较窄且渐浅的海槽型式再现, 它位居于吕宋火山弧之上。这最后一个海槽向北逐渐皱皱、断裂、最后构成台湾海岭。

活动的加积柱一直持续到台湾西南约 22°N 位置上, 仅具有微弱的弯转和起伏。马尼拉变形前缘并不直接与 50~70km 以东的台湾前缘冲断层直接相连, 表明在两个前缘之间有右行走向滑移错动。

与 Hengchun 海岭相应的不活动加积柱经过了 Hengchun 半岛至台湾中部山脉, 它是碰撞带最内部也是最高的单元, 至于马尼拉加积柱, 这一单元在遭受向东的反冲作用 (back-thrusting) 之前首先受到了向西的褶皱作用。

构造解释似乎表明, 在大陆坡南部 20°30' 至 21°30' 之间存在有薄陆壳。

所有资料都表明俯冲碰撞过渡带位于 21°30' 附近。

自台湾东部: 在台湾东部 Ryukyu 活沟边缘自南向北由下列组成: Ryukyu 海沟, Yaeyama 加积柱, Nansha 弧前海槽, Ryukyu 弧, 包括弧了 Ryukyu 列岛和向北侧错移的水下火山弧; 海洋形成早期阶段的 Okinawa 弧后盆地

加积柱与弧前海槽走向在 123°50' 均沿近东西方向展布, 在台湾附近向 W-NW 微曲, 然后在该岛的正东湾方向 122°E 位上呈明显的南北向; 那里的加积柱与北吕宋弧

的东翼接壤。

Ryukyu 变形前缘与 Nanao 弧前海槽均消失于走向 N20E 台湾径向海沟断层北端。两种体系的接壤位于台湾东海岸 Hualien 以北—东北及 Suao 以南, 即 $24^{\circ}15'$ 与 $24^{\circ}30'$ 之间。

台湾附近 W-NW-E-SE 向的 Ryukyu 加积柱不能用欧亚板块与菲律宾板块间的 NW-SE 向汇聚来解释。在这一几何形态复杂的地区里, 局部的运动学特点似乎受着台湾径向海沟断层的控制, 其他因素也可以产生影响, 比如 Ryukyu 弧南段与 Okinawa 盆地的张开相应出现弯转。

古生代和中生代科迪勒拉山脉 (加利福尼亚北部、 俄勒冈和内华达) 地球动力演化的板块构造模式

Lapierre, H. 等

曲 玮 译 刘晓春 校

北美的西缘由拼接的大陆和/或海洋碎片组成, 这些拼接碎片是在中生代与北美克拉通碰撞时所形成的。关于科迪勒拉山脉的地壳动力学模式问题的主要争论在于这些岩石圈碎片的增生时代, 岩石隐藏在加利福尼亚北部、俄勒冈和内华达构造地层区残片的内部, 这些残片至少经历了五次造山运动, 然而这些造山事件与北美克拉通的关系尚未搞清。

最古老的构造事件发生于奥陶纪和志留纪之间, 称为“Callahan”事件, 仅在 Klamath 西部有所显示。目前, 在所有的古生代和中生代外来地体内均已识别出晚泥盆纪的 Antler 造山运动和早侏罗纪的造山运动。与其对比, 晚二叠至早三叠纪的 Sonoma 造山运动仅限于塞拉内华达古生代岛弧岩石及内华达的某些山脉 (Tobin 山脉)。岩石学和地球化学研究已将各种体归属于不同的地球动力环境, 包括海山、大洋内部和具大陆基底的岛弧、弧后盆地、开阔海域以及活动大陆边缘。

对地层和构造的分析已做出各地体间的时空关系。上述造山事件发生于北美大陆的外围, 每一事件都相当于时一次岛弧碰撞、开阔海域和/或弧后盆地的闭合。

在晚奥陶至早志留纪, 沿北美克拉通西部的 Beltia 微型陆块发生了消减作用。在 Klamath 西部观察到的 Callahan 事件可能与一个微型陆块同 Beltia 微型陆块的碰撞有关。

在晚泥盆至早密西西比时期, Antler 造山运动在 Klamath 东部有所显示, 它是 Beltia 大陆与中央变质带碰撞时形成的, 这一碰撞导致了: (1) 三位一体蛇绿岩的消减作用以及奥陶至志留纪推覆体的形成; (2) 塞拉内华达北部及内华达 Shoshone 杂岩和晚古生代陆源建造 (Osgood, Prebble 和 Harmony) 在 C.M.B. 微型陆块拉张期间的逆冲。

晚二叠至早三叠的 **Sonoma** 造山运动发现于塞拉内华达北部和内华达 (**Tobin** 山脉)。它的出现与塞拉内华达古生代具大陆基底的岛弧同其东部一个微型陆块的碰撞有关, 这一运动导致了 **Harallah-Pumpeknackel** 大洋域 (内华达) 的闭合。**Koipato** (内华达) 钙碱性火山岩套形成于这次碰撞事件之后。

晚三叠至早侏罗纪发生的 **Cimmerian** 造山运动导致了: (1) **Klamath**-兰岭东部岛弧系统与 **Sonoma** 火山筑积物的碰撞 (塞拉内华达北部和 **Tobin** 山脉); (2) 开阔洋域的闭合, 其残留目前已在 **Klamath** 中部以及塞拉内华达燧石-泥质岩序列中发现。

在晚侏罗纪 (内华达造山运动), **Cimmerian** 火山筑积物与北美克拉通发生碰撞。仅在此间、北美的被动西缘才卷进了会聚地球动力环境。

喜马拉雅山的地壳堆砌和岩石圈挠曲——重力资料分析

M. N. Qureshy 等

胡克译 刘先文校

喜山地区一些垂直地层走向的重力剖面表明, 该区布格异常自南向北逐渐减外, 最北端的异常值为 -500 毫伽。不少学者研究了该陆-陆碰撞山链的布格异常与抬升、地壳厚度、俯冲作用、碰撞构造之间的关系, 但重力异常的多解性妨碍了建立起正确模式。一般说来, 建立模式时有两种做法, 一种基于地壳均衡模式 (**Quresh**, 1986), 另一种 (**Duray** 等, 1987) 是用岩石圈中地壳的负荷增加和挠曲来解释较大的负异常。根据岩石圈挠曲理论, 考虑到喜山负荷和 **Hanga** 盆地的沉积物, 我们对 **Chandigarh** 至 **Leh** 剖面做了布格异常的模式计算, 证明山势负荷足以解释布格异常连续降低的趋势。在该剖面上, 按 **Airy-Heiskanen** 模式估测的地壳厚度与负荷引起岩石圈弯曲得到的厚度相一致。但是, 整个喜山地区的 **Airy-Heiskanen** 均衡异常剖面上可见到宽广的重力高 (**Qureshy** 和 **Midha**, 1986), 这表明存在着壳内负荷。

尼泊尔至西藏地区的地震测量 (大角度反射法) 和变质岩石学模式 (**Hirn** 等, 1984; **Andrieux**, 1977) 指出了这种可能性, 喜山地区主要逆冲带内有地壳的堆砌、低密度的上地壳块中央有高密度的下地壳岩片。这一模式可以解释 **Chandigarh-Leh** 剖面的 **Airy-Heiskanen** 均衡高异常。

高喜马拉雅和特提斯喜马拉雅存在着 80~100 毫伽的正均衡异常, 可用那里有过多的壳内岩块来解释。这表明在陆-陆碰撞之前, 沿特提斯洋壳和印度陆壳板块边界发育了向南的剪切逆冲断层 (图 1)。印度板块逆冲到特提斯洋壳之上, 后者沿剪切逆冲断层向北位移。此后, 印度板块和欧亚板块相碰撞, 并发生塑性反弹作用。结果形成了印度缝合带、主要中央逆冲带 (**MCT**)、主要边界逆冲带 (**MBT**) 和主要前锋逆冲带 (**MFT**)。

该剖面资料的详细研究表明, 校正后的重力异常在地体内有变化, 在“区域背景”上有约毫伽的异常叠加。这些变化与近地表的已知地质情况有关, 如花岗质侵入体和变



图 1 喜马拉雅地质剖面示意图

代至中生代沉积岩系之下。

质岩，地表出露的有 Tso Morari 结晶岩、Sarchu 面状侵入岩、Jispa 花岗岩和 Rohtang 片麻岩杂岩等。重力相关关系表明，呈波状起伏的中央结晶基底一直向北延伸，从主要中央逆冲带 (MCT) 到 Sarchu 和 Tso Morari 直至碰撞带，该碰撞带位于特提斯喜马拉雅古生

Bohemian 地体东南部海西期的 A 型俯冲作用

J. Jaros

胡克译 刘先文校

研究区内海西期构造包括三个主要构造单元、自东向西为：Brunovistulicum (Havlena, 1979; Dúdek, 1980)，Moravicum 和 Moldanubicum (Suess, 1901)。Suess (1902, 1910, 1912) 认为该构造是海西期时 Moldanubicum 推覆在 Moravicum 之上，而 Moravian 穹窿（北为 Svatka 穹窿，南为 Dyje 穹窿）代表着从西向东逆冲的 Moldanubian 推覆体的不完整构造窗。此后的一些研究推翻了推覆体观点，但近 20 年来的工作又证实了推覆体构造，并做了一定的修改 (Jaros 和 Misar, 1968, 1974, 1976; Bosak, 1983; Jaros, 1988)。

最下部的构造单元是 Brunovistulicum，位于石炭-二叠纪 Boskovic 凹陷东部，是 Bohemian 地体的东南部。再向西，它仅露在 Svatka 穹窿的核部，即 Moravian 推覆体的不完整构造窗内，此处的叠瓦构造很复杂。依据泥盆纪盆地的古构造、古地理复原估计，该单元的水平缩短（自西向东）大约为 50km。

中间的构造单元是 Moravicum，它整体上是自西向东推覆到叠瓦状的 Brunovistulicum 之上的推覆体。依据出露的岩石单元估计，Moravian 推覆体的位移至少有 10km。若考虑下伏 Brunovistulicum 地体的水平缩短，这一位移还要大得多。

构造叠置最上部的地质单元是 Moldanubicum，含有高级变质的麻粒岩和超镁铁质岩。这里的地层划分和构造热事件年龄确定尚有问题。同位素资料 (Van Breman 等, 1982) 表明，Moldanubicum 遭受了强烈的海西期变质作用和变形作用。与 Suess 的原意相反，Moldanubian 推覆构造发育在 Moldanubicum 本身的东部边界上，Suess 错误地认为那些片岩和部分“千枚岩”是 Moldanubian 岩石退变的结果、而新的认识将其归属为 Moravicum 推覆体。在 Svatka 穹窿地区，很难证明 Moldanubian 推覆体跨过整个 Moravicum 的宽度（约 20~40km）。Moldanubian 岩石在穹窿顶部和东翼均没有出露，但却被推覆超过 Moravicum 出露宽度直达穹窿南部的转折端。Moldanubian 推覆体的前锋也可能被埋藏在 Boskovic 凹陷带之下。

Svatka 穹窿是由一些逆冲断层面和其它构造组成的穹状形态，它可能是 Bohemian

地体东南部推覆构造的一个双重构造窗。我们认为该构造是海西期的壳内和陆内A型俯冲作用的结果，**Brunovistulicum** 俯冲到 **Moravicum** 之下，后者又俯冲到 **Moldanubicum** 或其构造等同物之下。推覆体内一些构造叠置的地质单原先是并置的，它们表现不同程度的海西期（及前海西期）变质作用。这种俯冲作用的纪果之一就是变质带的反转现象。

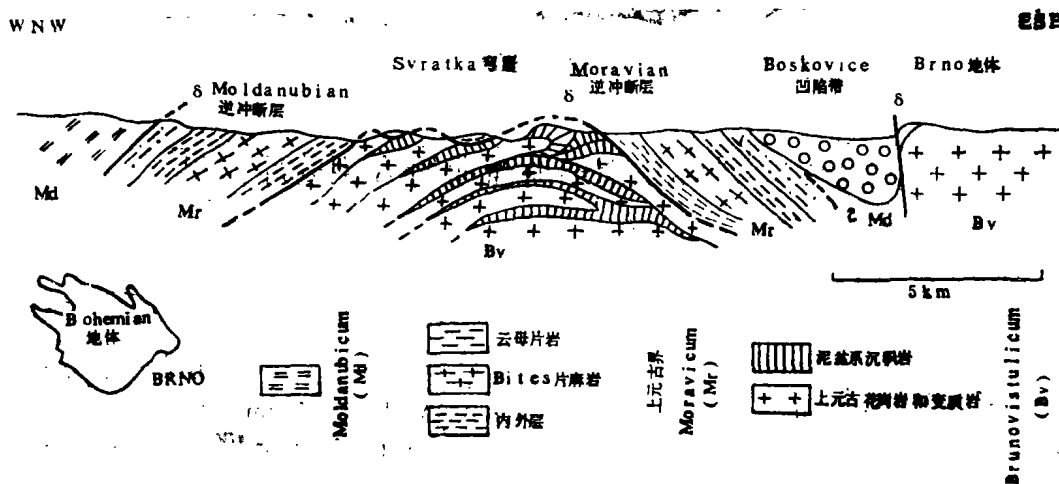


图 1' Svatka 穹隆中心部位横剖面示意图

地壳增生带内火山作用的方式与速度：以冰岛为例

Steinthrsson, S.

刘俊来 译 刘先文 校

关于近年来冰岛的火山活动历史，史料记载的十分清楚，但对于公元 900 年以来有关火山活动记载及火山灰年代学的综合资料却很不完全。近 300 年期间，每一世纪有 20 次喷发，火山灰年代记录表明自该国家的 1100 年以来具有类似的喷发速度。这一时期火山的生成率估计约为 $4.3\text{km}^2/\text{每世纪}$ ，或 $43000\text{km}^3/\text{Ma}$ 。以这样的速度考虑，具有 14.5 Ma 连续地质历史的冰岛本土约是在其 1/10 的时间内形成的，表明有具大的“下沉”及冰岛幔柱“源”。除迅速剥蚀而外，下沉还包括了火山带内岩石的再度循环。

地震研究表明，欧洲地壳板块与美洲地壳板块之间的平面状边界位于冰岛裂谷带之下，尽管它们有其各自的构造型式，但均具有特征性的火山系统组合。这样的系统在第三纪建造中表现为基性岩墙群，它们切过中心火山群，从而进一步表明火山作用过程以及推断的火山活动速率在冰岛的地质历史中具有其连续性。地壳增生作用虽然在稳定板块内相距很远的各点之间可能是连续的，但是在火山作用及地壳伸展事件的长时间内，在裂谷带中却表现为周期性突发事件，其典型实例即为 1975 年、1985 年出现的 Krafla 事件。

对于冰岛火山作用可以识别出三个不同的相。现在, 根据火山系的概念已经识别出了硅铝质中火山与伴生火山裂隙之间的成因关系。这种火山系均匀遍布于冰岛的所有地质建造内。岩熔地盾构成了第三种相, 在全新世这种相的出现主要限于更新世冰川作用末期的均衡补偿时期。目前还知道有几个间冰期熔岩地盾。不过关于这些构造是否与第三纪建造中被称为地盾玄武岩系列的熔岩系相当, 这仍然是一个悬而未决的问题。

Serbo-Macedonian地体的变质作用

D. Milovanovic

胡克译 刘光文校

Serbo-Macedonian 地体 (SMM) 代表着 Vardar 洋壳东缘的最外侧部分, 由先寒武系至下古生界不同种类的变质岩石组成。根据其成分和变质程度, 该地体可分为两杂岩 (Dimitrijevic, 1967):

(1) SMM 下部杂岩, 包括片麻岩 (主要成分)、云母片岩、斜长角闪岩、榴辉岩和石英岩;

(2) SMM 上部杂岩 (或 Vlasina 杂岩), 分布局限, 由绢云绿泥片岩、变基性和变火山碎屑岩组成。

由于 SMM 地体对南斯拉夫地质具有很重要的意义, 而关于这些岩石的变质作用近从来没有新的工作, 所以本文作者试图解决这样两个问题: (1) 下部杂岩的变质作用达到何种程度; (2) 最后一次变质作用发生在何时。

Tulare 和 Lebane 之间地段是详细工作区 (图 1), 这里可以观察到该杂岩主要岩类和它们之间的关系及变形程度。

片麻岩是下部杂岩中最常见岩类, 富含各种变质矿物, 正因为如此, 这些岩石最适合解决上述两个问题。

片麻岩呈灰色, 黑云母较多部位为暗灰至黑色。片状、条带状构造, 有时可见眼球状或杏仁构造。矿物组成为碱长石 (正长石和或微斜长石)、更长石、白云母、黑云母和石英, 偶见石榴石、蓝晶石、矽线石和十字石。角闪石、绿泥石、绿帘石、黝帘石和方解石很少。副矿物有磷灰石、电气石、锆石和榍石。基于一些共生矿物 (所谓变质矿物对) 的阳离子含量, 本文用几种方法计算了变质作用的温度和压力。

变质温度计算用 Ferry 和 Spear (1978) 的公式, 这是基于 Thomson (1976) 的方法而来, 用石榴石和黑云母矿物对的 Fe、Mg 含量计算。同时也使用了 Stormer (1975) 提出的方法, 以碱长石和斜长石中 Ab 组分含量来计算。石榴石-黑云母矿物对给出的变质温度范围为 600~670℃, 石榴石和其内部的黑云母所得温度最高 (650~670℃), 有条纹构造的岩石所得温度较低 (600~630℃)。

最低温度为 450~480℃, 是由碱长石和斜长 Ab 组分含量测得的。如果最后一期变质作用是退变过程, 那么这一温度值是否代表着该次变质事件, 这仍有很大的争议。

压力估算用 Ghent (1979) 的方法, 以 Al_2SiO_5 变体为蓝晶石的话, 所得压力为 6.5~8.1Kb, 在正常温度梯度下, 该压力值与所测温度值吻合得很好。

前述变质作用温、压条件也符合其它变质矿物(十字石、矽线石、蓝晶石等)的稳定范围(图2)。

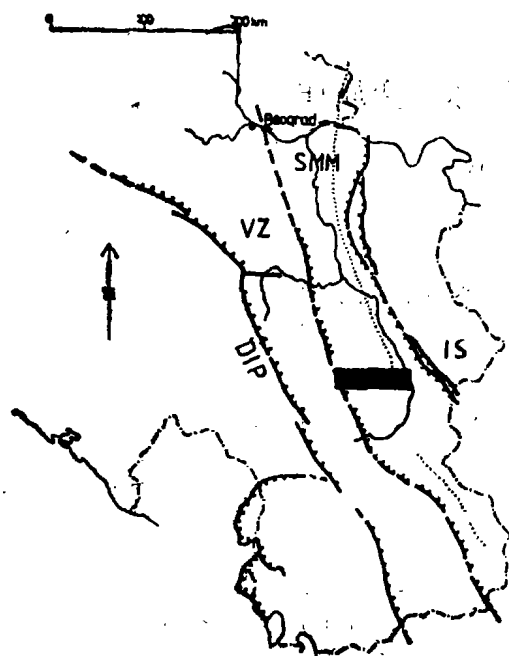


图 1 SMM 地体的构造位置图
(据Dimitjvic, 1972)

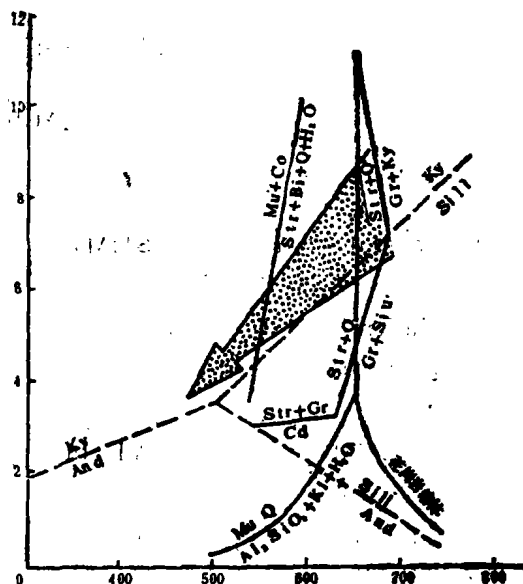


图 2 Tulare和Lebane
之间的片麻岩的变质条件

由于这些岩石含云母较多, 所以测年时以 K-Ar 法最合适。结果表明, 最后一次变质发生在 122~137Ma 之间, 相当于早白垩纪。

该年龄数据必将导致这样的结论: 最后一次变质作用强度甚弱, 因为在海西期 Bujanovac 花岗岩以南地区没有受到这次变质作用的影响。该地的变质岩石可能只“被加温”, 而结构和矿物成分没有明显变化; 云母发生再生现象(温度超过 350℃), 长石也可能发生新的平衡。这一问题尚需进一步研究。

岛-弧构造的流变学格局

Shimamoto, T.

陈 华 译 刘俊来 校

基于日本 Honshu 东北部岩石的流变学特征及估计的温度分布, 证实岛弧是地球上的一种特殊的地方, 也即: (1) 岩石圈非常薄(最多20km), 且经受强烈的变形;

(2) 刚性板块的假设在这里不适用, (3) 岛弧整体上作为调节板块相对运动的缓冲带。本文首先总结了岩石的主要流变学特征, 之后介绍了日本东北部的一条强度剖面, 并讨论了岛弧构造的特点。日本岛也许是这类研究最理想的地方, 因为对那里的构造与热状态已进行了全面研究。

穿过 Honshu 东北部的岛弧强度剖面揭示出岛弧岩石圈具有下列特点: (1) 火山前缘 (VF) 后侧的岛弧岩石圈非常薄, 仅由地壳的上部构成。那里并无地幔最上部的岩石圈, 以致岛弧岩石圈比大陆岩石圈弱得多 (见 Bird, 1978, Ranalli 和 Murphy, 1987), (2) 岛弧外侧之下的三角区强度大, 因为那里的俯冲冷岩板使得温度很低。这部分即为“弧前楔”, 岛弧受它影响而加强, (3) 日本海下的岩石圈比 Honshu 下的

岩石圈薄很多, 主要是因为那里的地壳是洋壳且很薄, (4) 在 I 点和无震前缘 (AF) 位置之下, 下壳软流圈伸展到岩石圈内。

因此, 岛弧是大陆板块最弱的部分 (见 Vink 等, 1984) 边缘海, 象日本海形成于岩石圈最弱的位置。从全日本广泛发育活动断层 (活动断层研究组, 1980) 可以清楚地看出薄的岛弧岩石圈的可变形性。在薄岩石圈处发育有众多活动断层 (由 A 点至日本海), 但在前弧楔的较厚部分却很少发育有活动断层 (即 AD 附近, 图 1)。

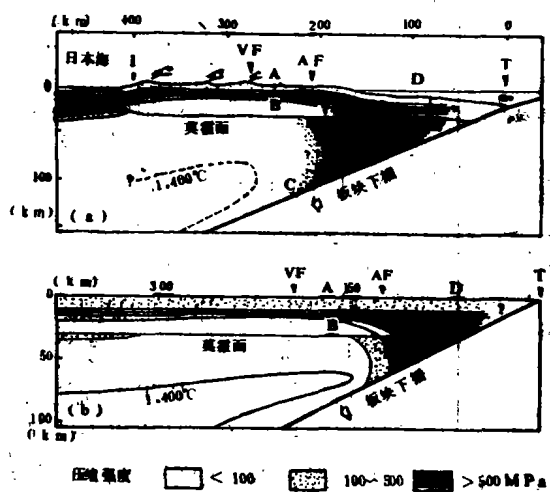


图 1 岛弧构造模式剖面

构造也支持了 Fujita (1983) 的认识, 即日本岛的山岭是由于上地壳以 80~100km 波长穹起的结果。薄的岛弧岩石圈经受了大的变形, 这一点也证实了由大地测量确定的存在有高地壳应变速率 (Saloh, 1978)。日本岛的许多部分应变速率超过 $10^{-7}/y$, 这一速率之高足以使岛弧在其自身变形的同时调节大部分板块相对运动。地震大致出现在图 1 示的岩石圈上, 因而岛弧的构造及地震的出现强烈地受岩石圈流变结构的影响。

从小构造和 P-T-t 轨迹得出的板块构造控

制因素: 西班牙东南部 Betic Cordilleras 研究实例

Bakker, H. E. K. DE Jong

赵国春 译 徐学纯 校

西班牙东南部 Betic Cordilleras 地区的内带是由几个具有不同 P-T-t 演化特征的叠加推覆体组成。基于野外和实验室的综合研究, 能够建立 Mulhacen 杂岩体和 Almanzora 岩石单元的 P-T-t 轨迹和变形模式 (图 1)。

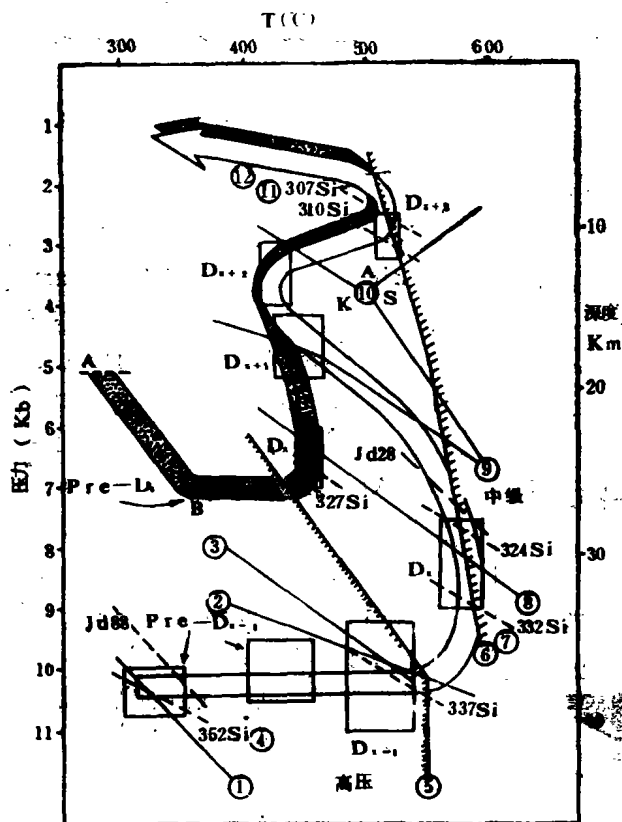


图 1 Mulhacen 杂岩 (浅影) Almanzora 及单元 (暗影) 的压力—温度—时间轨迹。

在 Mulhacen 杂岩体的 P-T-t 轨迹的早期部分, 可以划分出三个重要而清楚的阶段, 它们都与俯冲过程有关。在第一个阶段过程中, 沉积岩俯冲或下插并迅速迁移到较深的地壳层次中。P-T 条件所指示的深度大致为 37km。这个过程变形构造还没有观察到。在第二个阶段中, 透入性变形 D_{x-1} 开始形成, 可以推断, 同时会形成大规模推覆体。这期变形是在地壳深度不变、增温情况下发生的, 它表明在这个阶段中, Mulhacen 杂岩体的地壳俯冲作用已经停止。第三个阶段是以岩石降压和停止升温为特征。在这个阶段中, 主期变形 D_x 形成了。P-T-t 轨迹能够表明这些变形构造的形成。P-T-t 轨迹还表明这些变形构造是当岩石向地壳上部迁移过程中形成的。地质温压计资料表明, 地壳俯冲过程的中断是非常突然的, 因为标志间

断的温度升高是在 $7^\circ\text{C}/\text{km}$ 这样非常低的地热梯度条件下开始的, 并且在同样压力条件下继续发生。这个演化说明俯冲地块迁移到一个特殊的地壳层次。我们不妨推测, 这个地壳层次就是大陆壳的基底。在这个位置上, 形成了俯冲地块的叠瓦构造。

在第三个阶段, 地块在向地壳上部迁移过程中, 同时形成了糜棱岩, 它反映了普遍的非共轴变形和侧向构造运动的一个重要部分。在前两个阶段。当岩石大致处于同一个地壳层次, 也会出现一些向地壳上部的明显运动, 这可以用在俯冲过程中所出现的一些新的脉动或壳级规模的底盆塌落来解释。在这个过程中, HP/LT 矿物组合向中等 P/T 矿物组合的转换所引起的强度降低, 也许是一个重要因素。

与 Mulhacen 杂岩相比, Almanzora 单元的温度和压力极限值要低得多, 这表明该单元俯冲的程度要浅得多。由于较低的地热条件, 重结晶作用不普遍, 而在铁镁质岩石的矿物学上更多地反映出埋深过程的特点。Almanzora 单元初始的地热梯度大致是 Mulhacen 杂岩体的两倍。这可以说明 Almanzora 单元在地壳开始俯冲时, 处于推覆体的更高层次。在这种构形中, Almanzora 单元在 D_{x+1} 变形之前的 P-T-t 轨迹可用下伏的 Mulhacen 杂岩体的屏蔽效应和上覆推覆体的加热相结合来解释。

两套岩石在 D_x 变形之后的 P-T-t 轨迹均以在降温条件下明显减压为特征。地质温

压计资料表明地热增温率一直在增加,在这个逆时针轨迹的端点,由于不均匀的扩张和地壳变薄,此时 *Almanzora* 单元已完全处于 *Mulhacen* 岩体之上。有关变质作用资料表明,在 $D_x + 2$ 变形过程中或之后,发生了一次重要升温过程,这可能在局部导致 $D_x + 3$ 了变形的地热梯度达到 $70^\circ\text{C}/\text{km}$ 。这个 P - T - t 轨迹表明在 $D_x + 2$ 变形中出现了额外的热源。这个热源可能是在 $D_x + 12$ 和 $D_x + 3$ 变形中仰冲的热地壳。然而,在 $D_x + 2$ 变形开始之前,在内带中还没有证据表明这个热地块的存在。另一方面,这个新热源也可以通过 $D_x + 1$ 变形导致地壳变薄所诱导的上地幔相转变来提供。

堆叠冲断地体变质岩的 P - T - t 轨迹二维模拟

Shi Yaolin

陈 华 译 刘俊来 校

对瞬时就位变质岩的一维 P - T 轨迹,前人开展了广泛的研究。不过,逆冲作用的二维性及有限时间对于冲断地体的热演化却是很重要的 (Shi 和 Wang, 1987)。本文中我们把研究对象扩展到堆叠冲断地体,并且考虑了磨擦生热作用。堆叠冲断地体的等地温线明显与冲断运动学有关 (包括冲断速度、冲断时间间隔、断层几何及冲断事件序列)。

对于堆叠下冲断层系,当冷的岩板下冲到热的上盘之下时,将会出现温度-深度剖面逆转,当然,它并不象一维锯齿状剖面那样简单。较低的下冲速率与较长的冲断过程有利于热松弛,从而导致温度-深度剖面逆转的减退以及上盘温度的降低。对于多个薄岩片的堆叠,每一岩片的热松弛时间比简单的二单元冲断模式要短,但是在冲断速度相似的前提下,其堆叠时间要比简单冲断长。因此,就多层断层堆叠的情况而言,其逆转现象就不太明显甚至消失,而且其上盘将比简单冲断上盘具有较低的温度。不过,如果冲断过程进行了足够长的时间,那么可以达到准稳态等地温线。在此情形中,不论堆叠冲断薄岩片还是简单冲断的地体,只要它们具有相同的活动断层作用的大地构造参数,它们的等地温线将会一致。空间上,冲断根部带的温度要比下冲岩片前缘的温度低。

在冲断作用后的抬升和剥蚀期间,冲断地体中的岩石受到两种反向效应的影响:即下部的加热与剥蚀作用使其到达地表而产生的冷却。因而,抬升地块的温度在最后减小到地表温度之前可以有所增加。对于我们的二维堆叠冲断岩片模式可以计算其 P - T - t 轨迹。这种抬升期间温度的增加现象在二单元简单冲断模式中,比堆叠冲断模式表现得更显著。对于相同数量堆叠岩片存在着空间差异。由于随温度有所变化,所以,温度随着抬升而增加的现象下盘较深处的岩石中要比上盘较浅处的岩石表现更显著,在较浅处,温度增加现象会完全消失。侧向上,这种温度增加的现象在冲断根部比下冲岩片的前缘更为明显。在冲断根部附近侧向同一位置上,温度的增加还受冲断时间的影响。对于较长时间的冲断,下盘较深处的岩石表现出温度增加 (随抬升) 较小,而上盘较浅处的岩石却表现出更明显的温度增加。因而,正如前面对一维模式讨论的那样, P - T - t 轨迹不

仅对热参数反应敏感。而且对于剥蚀速度也是反应敏感的。它们对于冲断堆叠作用的大地构造参数以及岩石的空间位置的影响也是敏感的,下冲岩片堆叠与上冲岩片堆叠具有截然不同的特点。

摩擦生热主要取决于断层面上剪应力的量级。剪切应力足够大时可以出现分熔,不过,岩浆的产生可以减小摩擦,从而阻碍了进一步升温。从温度与摩擦表现的这种依赖关系出发,我们模拟了堆叠冲断地体的热构造。这个模式最突出的特点就是断层面上达到高温分熔,而且整个上盘的温度要比摩擦模式上盘高。温度剖面上的逆转现象依然存在,但是最低温度出现在下盘断层面之下,而不象无摩擦模式那样出现在断层面上。虽然总体温度较高,但抬升期间温度的增加在下盘深处的岩石中不很明显,而对于上盘岩石的 $P-t$ 轨迹根本就没有这种增加现象。

总之,堆叠冲断地体的 $P-t$ 轨迹是复杂的,它依赖于热参数与构造参数。掌握区域构造、综合 $P-T-t$ 轨迹资料并结合二维模拟会有助于对这一复杂问题的深刻理解。

南非 Prieska 铜矿区与碰撞有关的 $P-T-t$ 轨迹

D.H.Cornell 等,

吴福元 译 刘先文 校

本文通过对南非 Namaqua 省格林维尔年龄界线以东 Prieska 铜矿的岩相学及地质年代学的研究,建立了本区保存完好的 $P-T-t$ 轨迹。

本区的围岩为 Areachap 群的一部分,属于英安岩-玄武质火山岩及其不成熟沉积物的高级变质产物,地球化学研究表明它形成于 1300Ma 以前的弧后构造环境之中。其矿体含有 5000 万吨块状黄铁矿,并含有闪锌矿、黄铜矿。Middleton (1975) 和 Wagener (1980) 曾首先将其解释为一个几乎未遭变质的 Noranda 型火山沉积矿床,是蒸发性盆地的沉积产物。而我们的工作表明它经历过高级变质作用,是一个形成于弧后盆地与玄武质岩浆作用有关的 Besshi 型火山沉积矿床。

我们对矿山 5km 的岩芯样品进行了研究,利用建立的结构及矿物判断准则,将本区划分为四期变质作用 M_1 、 M_4 和三期变形事件 F_1 、 F_3 ,并建立了它们之间的关系。变泥质围岩和过铝质蚀变带明显反映了变质作用的条件变化,其中基性岩类多保留有角闪岩相变质的迹象。利用实验反应线和地质温压计确定的每一期变质作用的 $P-T-t$ 条件如图 1 所示。

M_1 的特征是残存十字石与矽线石的存在,其中十字石现已成为铁尖晶石、矽线石、堇青石、磁铁矿的假象,矽线石已转变成蓝晶石,其形成年龄为 1210Ma。这些转变的矿物构成由高温矽线石、堇青石和石榴石组成的 M_2 矿物组合,局部可见含有紫苏辉石的矿物组合。在大多数样品中,以 M_2 的发育程度更强。

M_3 中存在的矽线石-金云母的反应边表明在其高温变质期间有短期的流体脉动贯入, M_3 期侵入的伟晶岩年龄为 1101Ma。 M_4 的矿物为蓝晶石、十字石、黑云母、石榴

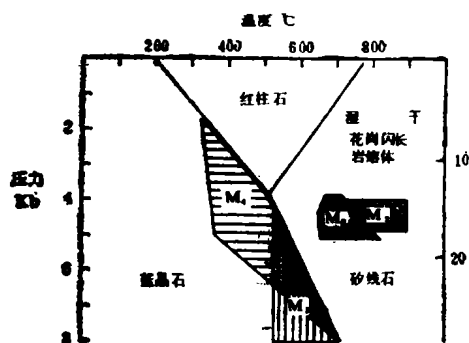


图 1 根据实验反应线及地质温压计确定的每一期变质作用的 P-T 条件

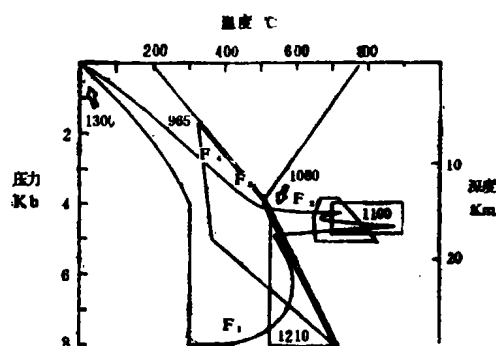


图 2 本文建议的 P-T-t 轨迹模型

石、白云母和绿泥石形成年龄为 1070~1965Ma, 形成于退变冷却过程中。

Prieska 矿区硫化物也明显显示复杂的历史。早期发生 F_2 、 M_2 的 durchbewegung, 中期发生 M_3 的氧化反应, 晚期表现为 F_3 、 M_4 过程中的裂隙浸染作用。

根据图 1 的 P-T 资料, 结合 Pb/Pb、Rb/Sr、Ar/Ar 和 Sm/Nd 地质年龄研究, 本文给出的轨迹模型如图所示, 此模式与碰撞事件模式相对应。早期压力快速增加, 继之发生曲线式热松弛, 最后上升返回地面。 M_2 、 M_3 过程中的热扰动来自下部地壳熔体的短暂上升而引起的热影响, 深熔体主要表现为 Prieska 矿区及以东的斜长岩体。在 M_2 过程中, 以 Prieska 矿区为中心的 10km 区域内, 变质程度由低角闪岩相转变至二辉麻粒岩相, 表明所谓的“区域变质”应为接触变质。

Areachap 群的碰撞观点与最近的构造学研究是吻合的。构造研究表明本区属压扭应力区, 并发现在 Namouqua 前锋地区有大型逆推断层存在。与俯冲有关的火山岩的地球化学证据也暗示本区曾存在海盆, 其在后期的碰撞中发生封闭。

本模式的建立是对本区多年工作的结果。我们收集了大量样品, 但只有少数几个样品能提供确立构造与变质事件关系的关键资料。因此, 我们认为, 如果在其它火山块状硫化物矿床区也开展此类工作时, 将会发现这些矿床很多都是在大陆碰撞的情形下沉淀形成的。

中国北部大陆边缘岩石圈构造和动力学特征

T. Jiwen

刘永江 译 刘先文 校

中国北部并不是一个独立的单元, 而是由被深大断裂分隔的鄂尔多斯、河北山东、太行、河南-安徽、东部山东和阴山地体组成。这些断裂自中生代和新生代以来开

始活动。中国北部也是一个主要地震区，具有丰富的矿产和能源资源，例如石油和煤炭。根据中国北部及其大陆边缘之下浅部和深部层位的地球深部研究计划资料可以看出，中国北部及其沿岸的结晶基底和地壳-上地幔构造是非常复杂的，构造格架和岩性学方面也应该具有其特殊的深部背景和地球物理场的基本条件。

这项研究主要基于中国北部地区爆破地震测深和地震观测资料，同时结合地热温度场、热流分布、地壳变形、重力场、大地电磁探测和大地构造方面的资料，对中国北部及其大陆边缘进行了综合分析，研究侧重于下部地壳和上地幔。研究结果表明了地壳和上地幔的成层构造，地壳厚度的变化在 30~40km，Q 值和三维速度结构反映出不均一性。地壳中低速层深度为 20~30km，而软流圈深度大约为 80km。在这一地区发育有切割地壳的深大断裂。经过渤海的郯城-庐江大断裂在地下 75km 深处表现出地震断层显示的证据，结合上地幔重力反演的结果，这不仅表明中国北部及其大陆边缘的岩石圈厚度为 70~85km，而且也表明河北北部、唐山和渤海湾一带的构造具有较薄的地壳和岩石圈、上地幔隆起和高热流的特征。这一地区是向东北部延伸的地壳隆起区，也是一个岩石圈厚度小于地球范围内的平均值 100~120km 的地区。因此，这一地区可能与软流圈热物质局部上隆有关，同时也表明很可能在渤海将出现一个未来的“热点”(?)。

最后，本文讨论了太平洋板块和欧亚板块之间的相互影响和动力学过程。

中国阿尔泰地区大陆增生与花岗岩演化

Liu Wei

赵国春 译 刘春华 校

阿尔泰地区在元古宙时，西伯利亚地台向准葛尔地台方向增生，它们最后沿着构造带拼接在一起。这个构造带称为乌伦古-几姆奈深断裂，现在位于准葛尔盆地的北部。区内在元古宙的大地构造演化分为两个阶段，即大陆壳增生阶段 (C₁) 和拼接后阶段 (P₁)。这个地质事件始终伴随着花岗岩浆作用。据皮切尔，阿尔泰地区元古宙花岗质岩石可分成三种类型：S、I 和 A 型，它们由北向南组成四个北西向花岗质岩带：阿尔泰山区加里东-海西大陆 S 型花岗质岩带，阿尔泰山前缘海西大陆 S 型花岗质岩带，鄂尔旗斯海西岛弧 I 型花岗质岩带以及乌伦古-几姆奈造山期后 (P₂) A 型花岗质岩带。

在大陆壳增生阶段，沿着乌伦古-几姆奈俯冲带，板块俯冲到大陆下面，古阿尔泰海洋由北到南渐渐封闭，因而看到由北向南加里东逐渐过渡到海西岩石，阿尔泰山区为加里东-海西冒地槽褶皱带，阿尔泰山前缘优地槽褶皱带，以及阿尔满特海西岛弧褶皱带。此外，在阿尔泰山前缘优地槽褶皱带南翼出现两个大规模的北西向韧性剪切带，命名为特斯巴汗和鄂尔旗斯断裂。以上三个地质构造环境控制了阿尔泰地区在大陆增生阶段花岗质岩石的分布。与此相应，从北到南，从加里东至海西，形成了三个花岗质岩石带：(1) 阿尔泰山区加里东-海西 S 型花岗质岩石带，(2) 阿尔泰山前缘海西 S 型花岗质岩石带，以及 (3) 鄂尔旗斯海西型花岗质岩石带。第一个花岗质岩石带

是“褶皱-变质-重熔型”成因；第二个为“褶皱和断裂-变质”复合成因，第一，第二带都形成在大陆内部，而第三花岗质岩带则形成在大陆边缘或岛弧环境。这表明在整个俯冲阶段花岗岩产出的综合模式。

西伯利亚地台和准葛尔地台在中晚石炭纪拼接在一起。至到晚二叠，在乌伦古-几姆奈深断裂一带，由于张性裂隙和一些地块分离，形成一些初期裂谷，造成应力释放和A型花岗岩侵位，同时伴生一些陆内双模式火山喷发。同时，在沿着韧性剪切带应力释放期间，形成一些高层位侵入花岗岩，它们属于断裂重熔成因。

S型花岗质岩石：S型花岗质岩石沿着韧性剪切带或褶皱的轴部分布。岩体常呈大规模岩基或岩席产出，与围岩常呈渐变过渡的空间关系，边缘混合岩带围绕岩体分布。它们具有特征的岩石成因序列：辉石闪长岩-闪长岩或石英闪长岩-英云闪长岩或花岗闪长岩-黑云母花岗岩-二云母花岗岩-白云母花岗岩。它们在组构上常为花岗变晶结构、片麻状和阴影状构造，并且具有较高的微斜长石含量。其中的黑云母主要为铁云母或铁叶云母。在岩石化学上属于过铝质，稀土配分模式向右倾斜具有低到中等铕亏损型，或大致显示以负铕异常为中心两边呈对称性折线的配分模式，这可能是岩浆后期的自变质作用促使轻稀土活化和富集所致。

I型花岗质岩石：它们沿着大陆边缘或岛弧分布，而岩体产状为小的岩株或岩基。并有同源火山作用伴生。在岩石类型上，主要为角闪石花岗岩，角闪石黑云母花岗岩，花岗闪长岩和英云闪长岩。具有花岗结构和块状构造。岩石中含有较多的正长石和条纹长石，黑云母主要为镁黑云母和铁叶云母；在岩石化学上，属于铝不饱和型。稀土分配模式为陡的右倾型。并且具有低的铕亏损，这些特征与共生的火山岩相似。

A型花岗岩：岩石呈小或中等规模的岩株或岩基，沿着乌伦古几姆奈深断裂出露。岩石类型属于碱性花岗岩或正长斑岩。以含有晶洞构造、铁钠闪石和钠铁闪石为特征。稀土配分模式呈现左高右平特征，具较高的铕负异常。