

目 录

序言

一、板块构造的基本概念.....	1
二、大洋中脊与转换断层.....	11
三、用板块构造观点分析前寒武纪的构造演变.....	21
四、板块构造与地槽演变.....	29
五、岛弧和边缘海(盆)的特征与发展.....	37
六、板块构造与石油聚集.....	53
结语.....	66
参考资料.....	67

一、板块构造的基本概念

根据地质和地球物理研究，地球表层可分为三个层圈，即由地壳和地幔的最上部所组成的刚性岩石圈（深可达 100 公里左右），地幔中部所组成的软流圈（深可达数百公里），以及由地幔下部所组成的刚性中圈^①。软流圈是刚性岩石圈的基础，它具有较弱的弹性和略低的地震波速，属地球物理的低速带。很多人认为，这里是导致地壳运动和变化的根源。

至于刚性中圈，部分具有弹性而且也有比较高的地震波速，这可能是因为它们居于那个控制或引起构造变动的软流圈的下面，存在着物质的阶段转换，从而引起地震波速的变化。关于岩石圈、软流圈的分层情况可参见图 1-1。

通常认为地球是原始星云物质通过收缩、凝聚而成。有人估计，大约距今 50~40 亿年前，这种收缩和凝聚作用达到了一个新的阶段，正是在这个时候，才产生了最初的地球。在地球的形成过程中，通过了由于微星物质的碰撞以及由于重力收缩所产生的热能，导致了地球本身在当时有着大约 1000°C 左右的最初温度。由于温度较低，所以没有使地球内部的铁、镍等物质发生大规模的熔融作用，还未产生层圈（即地核、地

① 应该说，刚性岩石圈、软流圈并不等同于地壳、地幔。但它们的具体涵义至今未能统一。有人将刚性岩石圈称做构造圈（Tectosphere），而把余下来的地幔部分叫做软流圈（Asthenosphere）。但也有人将刚性岩石圈及其下的软流圈（相当于低速层部分）合称为构造圈。

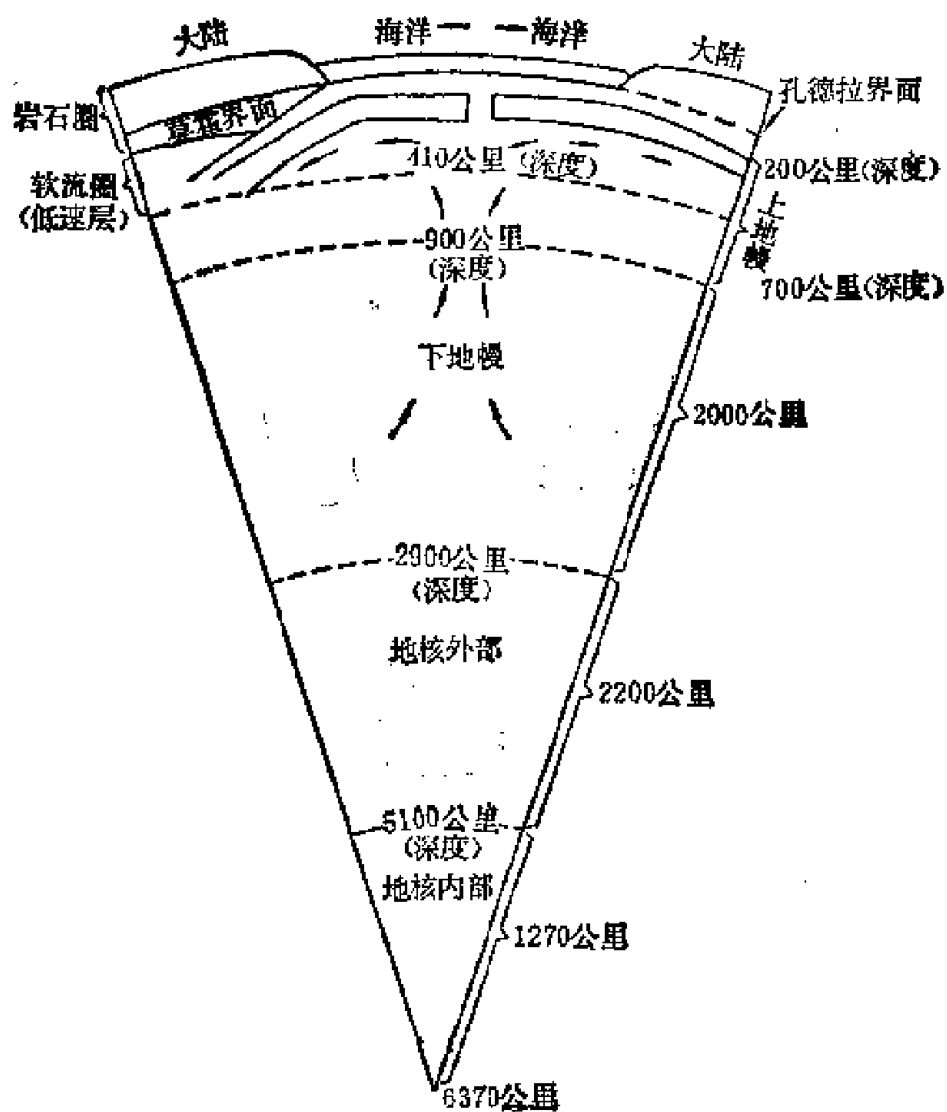


图 1-1 地球分层示意图 (表示板块构造与地幔对流的关系。转引自张文佑, 1974 年, 图经简化)

幔①、地壳三大层)状态, 大约当时内部和外部具有基本相同的成分。自此以后, 由于继续存在着诸如重力收缩的加强、吸收陨星的碰撞能以及地球内部由于放射性元素衰变而产生的能量, 于是, 地球内部的温度便会逐渐升高起来。有人估计, 大约在距今 40 亿年前, 在地表下的 400~800 公里深处的地温业已升高到足以熔化铁、镍等物质的程度, 于是它们便开始大规模的熔融; 再加上重力的影响, 很容易产生重物质的向下聚集与流动。这一系列过程所释放出来的能量, 可以转变为热能, 从而提高了地球内部的温度, 大约可达到 2000°C 左右的程度(已经属于铁和镍等重质物质熔融的范畴)。这种作用的继续, 势必导致它们不断地移入地核, 并使较轻的氧、硅、铝向上运移, 最后形成以硅铝质为主的外壳(即地壳)。留在中间的那种仍处于分异状态的物质, 则构成地幔。显然, 这种分异作用至今仍未停止。上面提到的这个演变过程, 可以通过变质岩石学、地球化学和同位素地质学的研究得到一些证明。根据这些资料所推定的地球的热力学变迁史可以看出, 在整个地史期间热能量是有变化的。在最古老的岩石形成期间②, 有人估计放

① 地幔系由具高密度和高地震波速的岩浆岩所构成, 其密度与波速度一般随深度的增加而增加。在化学成分上, 可能属于超铁镁物质, 横向上成分也比较均匀。但据目前资料可知, 除地幔上部的低速带业已证实外, 还看到上地幔中速度分布是相当复杂的, 其间存在着几个间断面。另外, 还发现地震波速度分布有若区域性的差异, 从而表明上地幔的构造在横向上也有某些变化, 但并不影响宏观上比较均匀这一特征。至于上地幔下部, 地震波速度增加很快(在大约 400~600 公里深处), 地震波速度随深度的增加而加大。其物质组分可能已有改变。由下地幔中地震波速度呈现平缓增加情况看, 又可用物质的压缩来进行解释, 估计该处可能含有较多的铁, 所以密度较大。

② 利用变质岩再结晶时的压力和温度的推测值, 再加上上复层的密度值, 通过计算, 不仅可以推算出古地热梯度和古热流, 而且可以用来计算古重力值(将压力换算成上复岩层的厚度, 再利用压力、深度和密度三者来进行计算)。

放射性元素衰变作用产生的热量要比现代高 4 倍，甚至在寒武纪时的热能也要较现在高得多。地球热力历史表明：大约距今 6 亿年左右是一个大的突变时期（地壳受热最高时期是距今 36~24 亿年间，从那时形成的岩层来看，显然都经历了再次遭到热作用的影响）。

有人提出，与海洋地壳有着明显区别的大陆地壳（主要是以花岗岩为主）上部的 10 公里左右是具脆性的，在这个深度以下则是塑性的^①。在大陆地壳内，重力所产生的应力，在远离大陆边缘处并未减小。通过实验室内不同的压力、温度条件，对矿物和岩石的地球物理性能变化的研究，可以推测，岩石圈^②是处于异常缓慢的形变过程中，可以引起塑性形变，那些较深和较热的地区，于极端缓慢的形变过程中开始活动^③。另外，根据地磁学研究成果获知，在岩石圈范围内确实存在着相对的水平移动，同时也可看到不同地带的磁异常存在着很大差异，各处的岩浆岩的富集程度也有所不同。当然，地壳本身和上地幔之间从内部组成来讲也有某些差别，这是因为地震波通过莫霍界面的速度变化是由于组成地壳的沉积岩和岩浆岩在持久的静压力下而引起的变化。有人曾指出大陆地区地壳下部和上部地幔是由非均匀的变质岩所组成的。

岩石圈的厚度，各处有所不同，在地盾区可达 190 公里（其中属于地壳的约 40 公里，其余属上地幔的橄榄岩层），在大洋区——例如太平洋仅有 100 公里（其中属于地壳的约 5 公

① 有人提出在主应力差值超过强度时，由热蠕变可以引起形变。大陆地壳的中、下部应力差所产生的热蠕变，能向大洋地壳下的地幔流动，致使地壳变薄。同时，更由于上复掩埋层中的正断层作用，则可能产生局部下沉，这也可能是产生沉积盆地的原因。

② 一般人们对“岩石圈”这个概念，限定为 50~70 公里厚的地壳表层。

③ 这里有人证明，对流现象不是与普遍的热量有关，而是与引力变异有关。

里，其余属上地幔的橄榄岩层)。整个岩石圈包括了现今所看到的大陆和海洋在内，由于它们所具有的高弹性和高地震速度，而且遭到多次断裂的作用，因而能凝固成若干块体，这些块体即是通称的板块。有人提出，在地球自转运动以及重力作用、热力作用的影响下，岩石圈形成后，即遭到破坏，形成了许多板块(断块)，它们彼此之间存在着相对运动，而且其内部必然存在着剪切、拉伸和挤压应力。

目前，通常将全球的岩石圈划分为六大板块(太平洋、欧亚、印度洋、非洲、美洲、南极洲)，每个板块基本上包括一个大陆及其相邻的海底(图1-2)。当然，还有其他划分板块的意见，例如美洲板块分为南美和北美两个板块，或者再多划

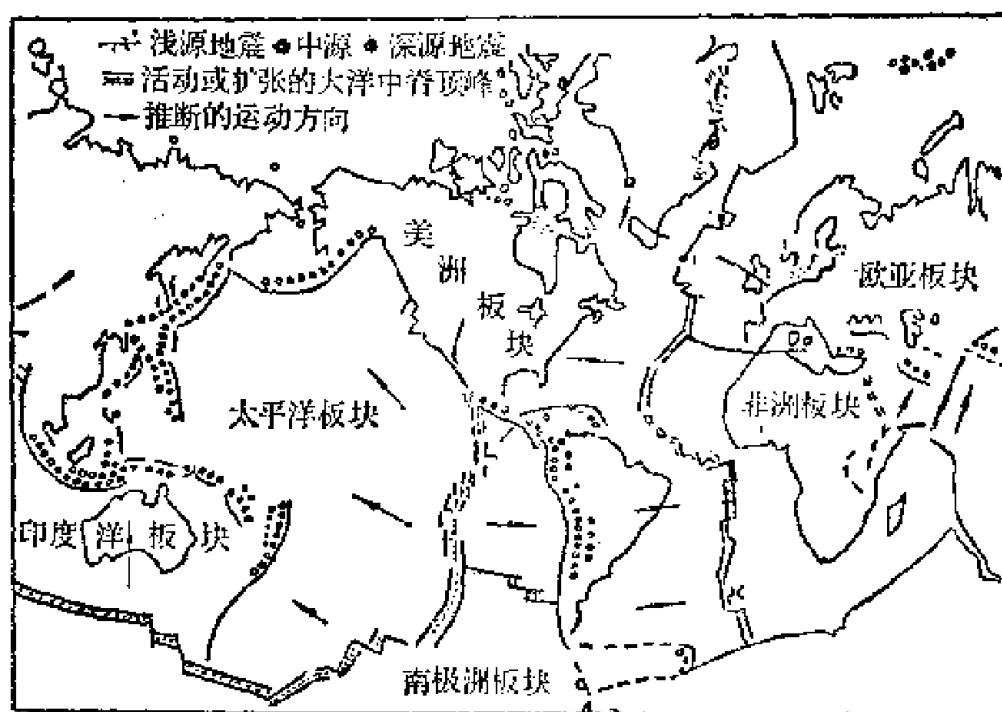


图 1-2 岩石圈六大板块分布示意图

(转引自 F. P. Shepard, 1973)

出一些小的板块。至于板块的分界，可以沿着现代的海岸线，也可以沿着其他构造分界线。通常板块界面有三种型式：（1）张性界面——它是海底扩张形成的或属于扩张的中心地带，例如许多大洋中脊（即中央海岭）、洋隆和东非大裂谷等都是这种张性界面的实例；（2）剪切界面（或走向滑动的界面）——例如转换断层便是这类界面的代表；（3）压性界面——包括深海沟-火山岛弧界面，如阿留申群岛；海沟-火山弧大陆边缘界面，如智利安第斯山脉与邻近的海沟；大陆与大陆碰撞的界面，也称为接合带，例如喜马拉雅山以北的接合带。

显然，这些岩石圈板块界面地带，其活动性最大，不仅有强烈的深成作用、沉积作用、变质作用、造山作用、地震现象、火山活动，而且也是有利的成矿地带。

有人认为，板块构造的作用可追溯到距今 20 亿年前，它是随着当时这些大规模的地壳物质运动而产生的，由于当时地壳物质运动相当剧烈，才分裂成板块。例如在距今 27 亿年前的第一个阶段，是最活动的阶段，那时候发生着极强烈的岩浆活动；至于距今 27~20 亿年间的第二个阶段，则表现为岩石圈的厚度增加，开始形成了克拉通（大陆地台），同时还有沉积层和火山岩的存在；到距今 20 亿年左右时，由于岩石圈基本上已经变硬，导致了分裂成具镶嵌状的板块。

有人提出，板块构造的特征可以表现在板块的三个级别上：第一级板块（包括与其邻近的大陆边缘、地槽和造山带）可延伸达几千公里，延续时间可长达 1 亿年；第二级板块（包括与其毗邻的大陆边缘和盆地）也可延伸达几百公里，通常延续时间亦可长达 1~2 千万年；第三级板块则是范围更小的断块（包括小盆地在内），一般小于 100 公里，甚至它们属于大板块的一部分。考虑到上面提到的各级板块的基本特征而将板

块的边缘再次划分为重叠、破坏、敛合、连续等四种类型^②。在两个板块之间，由各板块的边缘来区分接合带是非常重要的。例如，一个板块是俯冲板块，由于俯冲到另一板块的下面，正趋于消亡；与之相对的那一个仰冲板块，由于受到下伏的岩浆活动和构造运动的影响，把那些来自俯冲板块的大洋型沉积物堆积起来，从而产生了增长。至于属于走向滑动的接合带，其板块边缘是既未扩大岩石圈，也未破坏岩石圈。这里应当说明的是，板块接合带或其附近的大陆边缘是具有活动性的，而那些处于岩石圈板块之中的大陆边缘则不具有活动性。

通常认为：板块是沿着大洋中脊，从地幔中来的岩浆增生而成，由于它们有时在大洋的海沟中消亡，也即在那里又返回（流入）地幔中，正是由于岩石圈板块的增长，导致使大洋盆地裂开，并且发育有地堑和大陆台地，这可以归入板块的扩张阶段；其后由于板块进入海沟中消亡，于是便归入板块的扩散-压缩阶段（见图 1-3）；再后由于岩石圈板块上的热作用，导致海沟的大陆一侧的板块前缘上部的形变，从而产生了造山带。换言之，这种增长了了的板块，最终要潜入海沟中，最后产生了大陆和岛弧或大陆与大陆间的碰撞。

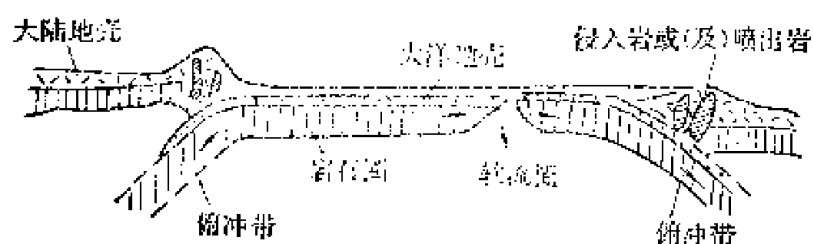


图 1-3 板块的形成与消失示意图

② 有人还提出了建设的、破坏的、保留的、废弃的四种板块边缘类型。

应当说，一个板块的成因还是不清楚的，而且板块活动的结果，目前所知者也少。譬如，板块活动的动力是来自地球冷却的原因，还是其他的原因？以及整个地壳是包括在一个大的板块中，然后再破裂分为几个板块？还是岩石圈开始形成后便有几个板块同时并存。所有这些，都未能得到明确的答案。此外，其中涉及到板块的驱动力问题，这是目前尚未能解决的。图 1-4 是用板块构造学说解释地壳基本特征的示意图。

如果从两个板块之间的关系来看，可以分为三种类型：(1) 敛合型：两个相邻板块互相靠近，并且产生碰撞，其中一个板块显然潜伏^①于另一板块之下，最后进入地幔之中被吸收；(2) 分离型：两个板块互相分离；(3) 平行型：相邻的板块沿同一方向漂移。

根据上面简单的说明可知：岩石圈的板块的基本运动（分散、聚敛和走向滑动）以及这些运动的产生的结果，必然会得出对有关海洋、大陆边缘、裂谷、中脊、海沟、岛弧、褶皱山系、转换断层等许多重要地质现象的解释。在解释过程中，由于选用资料方面存在着一些偏向，以及有一些论据目前看来尚不那么令人信服（如自然地理，生物地层，特别是古地磁方面），显然需要进行更全面和更细致的工作。但板块构造对地震、火山现象满意的解释，却足以弥补上述缺陷，因而有着广

① 两个板块相接，其中一个板块沿接触带俯冲到另一板块之下，这个板块的俯冲部分叫做俯冲带(Subduction zone)，有人也称做下降带(Descending plate 或 Underthrusting plate 或 slab)。由于俯冲进入地幔，其前缘便逐渐消失，也有人称它为消亡带、消滅带或消失带。这里需要提出的是：在俯冲带上面的那一部分，则通称贝尼奥夫带(Benioff zone)。根据目前所掌握的震源深度资料可知，一般的俯冲带要俯冲到海面以下 300 公里，少数地区最深可达 700 公里，但也有不到 200 公里便消失的。有人统计过俯冲的角度，开始约 30° ，到深处渐变为 $50^\circ \sim 60^\circ$ ，一般为 45° ，个别地区最小仅 7° ，最大则近于直立。

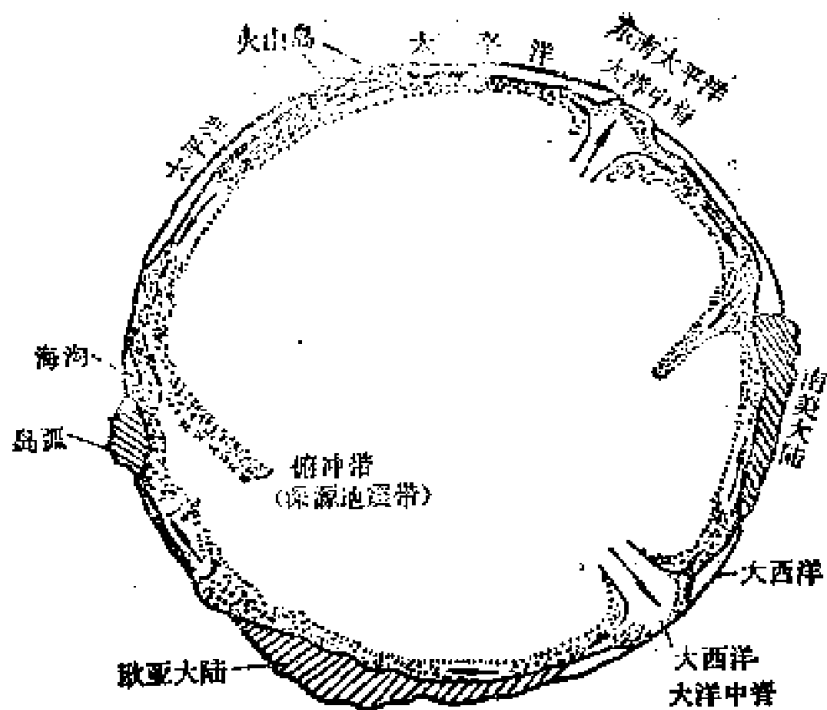


图 1-4 用板块构造学说解释地壳基本特征的示意图
(垂直比例放大)

阔的前景。

必须指出，在研究板块运动和构造的基本方法中，有些是利用分析地震的活动性和有关的大地震的断面图解进行的，因为地震带往往标志着板块的边缘^①。另外，为了了解板块运动的动力和板块构造产生的各种必然的结果，因此，全面探索板块演化在结构上和运动方式上的特征是非常重要的。在这方

① 不少人认为板块构造可用来解释地震现象。岩石圈中各板块由于存在着不同的位移方式，也会产生不同类型和程度的地震，这是值得注意的。至于板块边界应当是地壳表层——甚至也可说是地壳深部的主要构造活动带。这种边界有的是属于增生性质——即板块彼此分开后，形成新的地壳(例如大洋中脊)，有的则具消亡性质——即一个板块俯冲到另一个板块下面，在分界处形成岛弧。还有的则以转换断层相接触，表现为沿着转换断层走向发生滑动。

面，必须研究有关大陆漂移、山脉形成、海底扩张、地震（各种震源的）、板块镶嵌情况以及板块本身厚度、板块运动的驱动力和控制作用等方面的资料，只有这样才能提出对板块构造的更全面的分析。

二、大洋中脊与转换断层

目前持板块构造论点的大部分人认为，地壳板块是沿着大洋中脊(Mid-ocean ridge)^①，由地幔中侵出的岩浆增生而成。而且它们又在大洋海沟中消亡，即在那里沿着贝尼奥夫带返流而进入地幔。因此，对于大洋中脊有必要进行较详细的说明。

本世纪五十年代的工作成果，认识了在洋底总共有 72000 公里（另说为 40000 海里）狭长的呈现弯曲的山脊存在，这就是大洋中脊（或叫中央海岭）。它的总长度几乎相当环绕地球赤道两周，同时还发现了大洋中脊上有巨大的断裂谷存在。观察表明，在那里与断裂相伴生的来自地球内部的熔融岩流喷发和地震是频繁的。特别是 1963 年由于北大西洋中的断裂作用，在冰岛附近的海底喷发，产生了色特塞岛，是和冰岛^②一样的属于大西洋中的大洋中脊位置上的火山岛。值得注意的是，目前冰岛正在扩展变宽，这一切都表明人们有机会直接对大洋中脊进行观察和研究。

① 大洋中脊有人也称之为中央海岭，并认为它与转换断层及岛弧共同组成了板块之间的活动带；而将岛弧与伴生的海沟以及一些活动的陆缘带（岩石圈向下倾伏进入地幔的地带）称之为俯冲带或消亡带（或消减带）。大洋中脊可蜿蜒通过许多洋盆，其上有一深沟或轴部洼陷。

② 冰岛作为大西洋大洋中脊的一部分，高出海面之上，具体表现为中央冰岛地堑，那里多为基性火山岩和伸张的所谓超壳深大断裂。目前看来，冰岛的地质构造及其与大洋中脊之间的关系较过去设想的更为复杂。1971 年召开的国际测地与地球物理协会第十五次大会上讨论结果表明，冰岛与大洋中脊之间有为转换断层所隔的情况。

大洋中脊不仅突出于大洋洋底上，而且也伸展到地幔区（至少是上地幔内），由于这里莫霍界面较深，所以在有些地带，大洋中脊下的莫霍界面难以测出，因而那里的地壳与上地幔之间就确定不出明确的界线。

大洋中脊一般高出于附近的深海盆地约两公里左右，这里地形起伏是比较大的，但其两侧洋底反较为平坦，那里的海洋沉积物也稍厚些。一般讲来，邻近大洋中脊的顶部有边坡陡峻的海底中央深谷的存在。在这个中央深谷（地塹形裂谷）内，存在着由于海底扩张而引起的岩浆喷出与侵入活动。从地貌上看，中央深谷与大陆上的东非裂谷比较近似；仅仅是在喷出岩的化学成分上有些不同。前者碱金属含量比较正常或偏低，而后者则富含钾和钠。

早在六十年代初期就有人提出：由于地壳产生张性裂缝，该处有来自上地幔的岩流溢出。由于裂缝的加宽，所侵入的物质势必使两侧岩石圈推移。靠近扩张轴处，地壳是热的，其他部分则因逐渐远离扩张中心而变冷，这一概念直到现在仍被人们所接受。图 2-1 就是导致大陆移动的基本机制示意图。

从深海测量及有关的地磁测量表明，扩张着的大洋中脊两侧（包括着许多彼此平直的条带），必然地与它们相垂直的断层面密切地连系在一起^①。这种断层便是一种特殊的转换断层。

① 1957 年初步确定下来的世界断裂体系中的重要组成部分便是大洋中脊和转换断层。因此，世界大洋中脊体系是非常重要的地壳表层的构造特征。有的资料认为大洋中脊是有 84700 公里的长度和 1250~1600 公里的宽度，如果是这样，则大洋中脊占了地球表面的 23% 面积或洋底的 33% 的面积。这种大洋中脊体系存在的时间肯定要比大陆上的第三纪时形成的山脉更为久远些，而且显得更为扩展一些。值得令人注意的是：曾有人报导过在大西洋的大洋中脊上，那里曾发现存在着距今 30 亿年前的岩石，这对于海底扩张论点的解释带来了困难，但大洋中脊有可能在很早的地史期中即已存在。

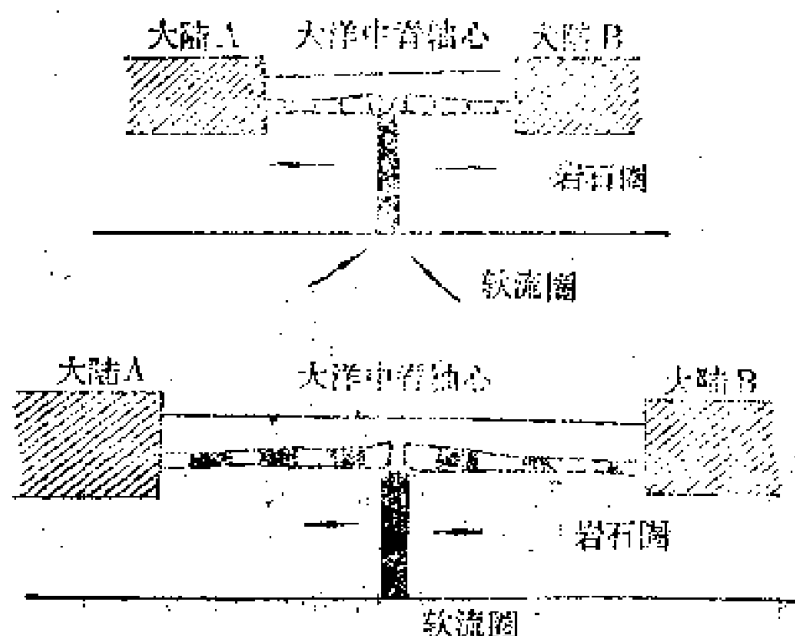


图 2-1 大陆移动的基本机制示意图

大洋中脊的轴，目前看来，曾经通过赤道大西洋、印度洋和东北太平洋上的断裂带发生过移动，这些断裂带往往是根据推论而求得的。以大洋中脊为主的世界断裂体系，可以认为是地壳各个凝固的板块之间的活动边界地带，其间被许多转换断层所切断。图 2-2 是关于转换断层的简单示意图，图 2-3 则是转换断层立体示意图。

有人指出，大洋中脊是与海底扩张的轴线有关的海脊和海隆系统（它们延伸于现代的大西洋中部，并且继续绕过太平洋和印

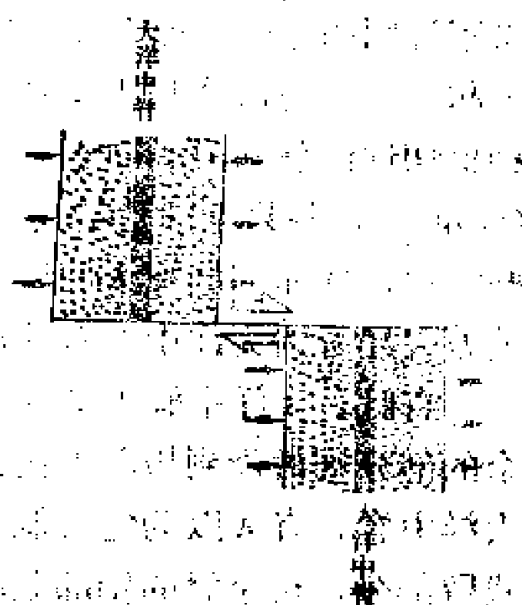


图 2-2 转换断层示意图

（图中阴影区为增生海底，系由大洋中脊向两侧扩展而成，转换断层受力性质与一般水平滑动断层相反）

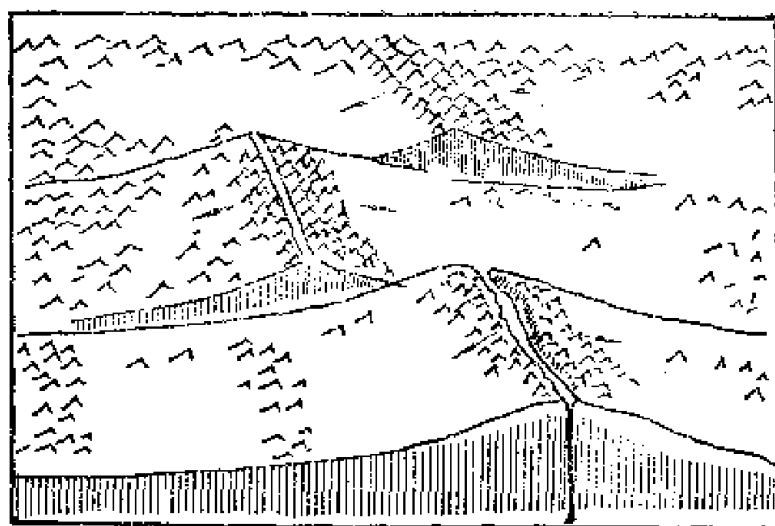


图 2-3 转换断层使大洋中脊错位立体示意图

度洋，且在这两个洋内发生分支）。上面所提到的海脊（Ridge）系指深海底部的长条形地带，它们具有比较陡的边坡与不规则的地形。而海隆（Rise）则是位于海洋底部的长条形突起，它们与海脊相比则具有较缓和转为平滑的边坡。至于那种横切过海脊和海隆而边坡陡峭的沟道，则又称之为山口（Gop）。这些只不过是把大洋中脊进一步加以说明而引用的一些术语，并非都已被人们所接受。有人也曾指出：在有的个别地方曾经看到大洋中脊有伸展到海岸内的情况。

有时，大洋中脊大部分已经消失，仅仅残存了一部分，其余的部分则潜没到板块下面去了（例如菲律宾海盆最近发现的大洋中脊，有人以为它可能是原来的库拉-太平洋大洋中脊的残留部分，这个脊的轴部业已倾没到日本列岛的下面。图2-4表示从距今1.2亿年到7千万年库拉-太平洋大洋中脊潜冲过程示意图。图2-5则表示距今1.1亿年时太平洋板块分布的可能样式的示意图（图中特别标出了库拉-太平洋大洋中脊的位置）。

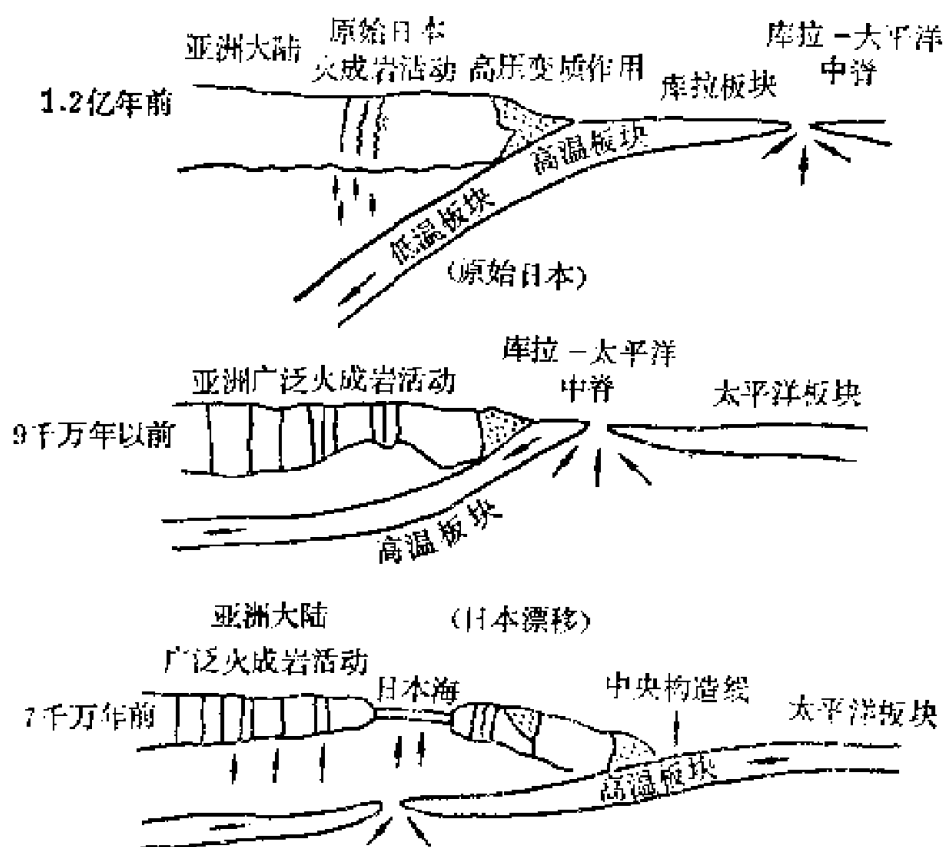


图 2-4 与库拉-太平洋大洋中脊活动相伴的事件链理想图

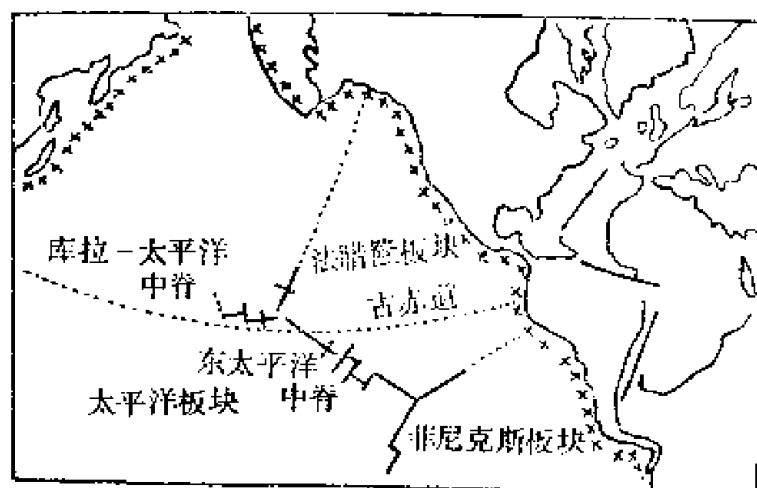


图 2-5 距今 1.1 亿年时太平洋板块的分布的可能样式的示意图

目前已查明大洋中脊处普遍有浅震存在，而且在靠近脊峰或脊轴处的热流也较正常海底要高一些，其平均热流值为2.5~3.0热流单位(H. F. U.)，甚至有的可达8个热流单位的。这比一般的大陆和海底平均为1.3热流单位的均匀分布情况，有着明显的差别。另外，大洋地壳离开大洋中脊处产生的扩张速度，曾有人估算过，基本上认为各处也都达到每年6厘米左右。

通过对大洋中脊的简单说明，势必联想到与它们有着密切关系的转换断层的性质问题。一般讲来，任何一种构造可以在它们的终端变换为另外的构造型式。例如一个大洋中脊，沿断层的水平剪切运动突然停止，转变成为横越大洋中脊(或裂谷)的扩张型的张性运动。因此，可以把从一种构造变为另一种构造的交接处称为转换(处)。如果那里是断层，则称之为转换断层，它是一种特殊类型的断层^①，而不是一般的横推断层，在该处表现为大洋中脊的突然移位或改变形式和方向。由于它们常常成带存在，因而把这种断层带叫做转换断层带(Transform fault zone)。它们与大洋中脊相直交，导致了大洋中脊的顶部发生位移，也使那些平行于大洋中脊的地磁条带也发生位移。例如北美大陆上的圣·安德列斯大断层，就是转换断层^②。这

① 有人认为转换断层与横推断层没有本质上的差别，它们都以构造的表面积的增加或减少而告终，可能这是由于在这些断层上发生走向错动的直接结果。但是大洋中脊上的转换断层与大陆上的横推断层还是有差别的，主要是前者系嵌入在年轻的洋壳中(受到断裂作用的结果)，所以有人建议用水平断层来表示上述的转换断层和横推断层，这个广泛涵义的断层可用位移大小，断裂长度，被断层限定的断块大小^③与其他构造的关系，以及与断层或断裂段所侵入的岩石之间的年代关系来区分。但这个看法尚未被大多数人所接受。

② 有人指出，圣·安德列斯断层做为太平洋板块和北美板块的分界断层，其南北西端均终止于太平洋大洋中脊，而且还估算出来太平洋板块相对于北美板块以每年6厘米的速度向北移动。