

编者的话

新全球大地构造,也称板块构造,自国外近十几年来提出后,已成为地质科学上的一种新思潮。它比较完善地解释了过去长期以来悬而未决的许多重大地质问题。这是国外集中各有关学科的力量经多年协作后才总结归纳出来的。它利用了最新技术的成果,如古地磁和人造地球卫星的资料。从新技术这一角度来讲,由于众多的卫星资料对全球大地构造的全貌有了新的认识,从而使得过去的大地构造理论,不得不一改旧貌。

我国地质界过去曾经在地质力学方面作出了突出的成绩,并在实际工作中,发挥了这一理论的指导作用。但受旧的固定论的束缚在国外地质科学上是普遍存在的。譬如,关于矿床分布的规律,艾孟斯分带论早已不能自圆其说,斯米尔诺夫脉动成矿论也并不能用之四海。直到六十年代,国外才认识到来自硅铝层与来自硅镁层的矿床与沉积后再改造的矿床的重要性与根本差别。在石油成因方面,国外直到六十年代后期才正式承认陆相淡水环境完全可以生油,并逐渐认识到三角洲沉积与油、气藏的密切关系。至于大地构造方面,国外视为最复杂的阿尔卑斯构造,以前对于其中上百公里的错断都长期争论不休;那么相对于近年识出的上千公里的转换断层,就显见当时眼光的局限了。

板块构造这一新说,决非大陆漂移说的简单复活,它不可避免地还有一定缺陷,但毕竟使人们对全球大地构造的认识向前推进一步,这是基于客观存在的事实。

中国地信网 <http://bbs.3s001.com/> 欢迎您!

本书从国外较新的资料中，选择了板块构造的几个论题，作了初步探讨。初稿完成后，承蒙李汉瑜同志审阅全稿，并给以各方面的帮助，特此表示感谢。

由于笔者接触的资料不够完全，对此一新说的理解也未必确切，文中内容及笔者的认识如有欠妥之处，敬希读者指正。

安延恺

一九七八年

序 言

新全球大地构造 (The New Global Tectonics) 是综合大陆漂移说、地幔对流说和洋底扩张说所构成的新的大地构造体系,有人也称做板块构造 (plate tectonics)。它是随着有关地球的各种观测技术的发展、研究和分析问题日趋现代化而兴起的。这里应当特别提到的是近 10~20 年来人们对于大洋底部和地球深部的有关知识日益增进,同时对有关地表的自然地理、地质、气象和地球化学等各种现象也有着进一步的认识。

板块构造的基本立足点是建立在承认地壳水平运动占有主导地位,因而在研究方法上则具备一种独特的模式化。

从 1960 年以来,在地质科学领域内,逐渐改变着那种长期以来对于大陆和大洋位置是固定不变的看法。根据当时所掌握的各种事实,提出了有关地壳和地幔对于地质构造演化方面具有重大意义的新解释。从而使人们重新注意大陆的位置曾经存在过变动、它们所具有的增生方式以及面积与体积的改变,特别是从距今 1 亿年到 700 万年这一段时间内更有明显的证据。有关大陆和大洋变化的图景,尽管目前尚有着不同的认识和理解,但是这种变化,必然要影响着世界上生物圈和大气圈的演变,当然更主要的是有关岩石圈的演变,这对于矿产勘探工作是非常有用的。

按照板块构造的观点,主要的构造运动是由于板块之间相对运动的结果。假如地磁场与地球的自转轴是相对固定的话,那么自转轴对于地球主体来讲也应当是固定的。因之,古地磁

纬度的变化,大致上可以表明板块的运动情况,这对于认识距今1亿年来有关岩石圈板块运动的问题是有意义的。

板块构造学说问世还不到二十余年,随着研究工作的日益深入,新资料不断出现,有些问题即使还不能得到满意的解释,但也总算是前进了一步。由于这个假说能解释若干过去长期以来不能解决的关键问题,因而具备着新的生命力,那些未能解决的问题将随着新技术、新方法的改进,而会有所进展的。

值得注意的是:板块构造与矿产资源的形成和产出有着密切关系,甚至可以认为是起着重要的控制作用,例如由于板块的扩张产生的矿带分布,对指导找矿是有意义的。

我国在七十年代初期已有过关于板块构造方面内容的介绍,为了不再重复,这里着重介绍最近几年来国外对板块构造的主要论点,作为了解目前研究板块构造现状的一点说明。由于目前国外有关板块构造方面的文章很多,不可能详尽地介绍,这里仅举笔者认为重要者,以使读者了解其梗概。

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。

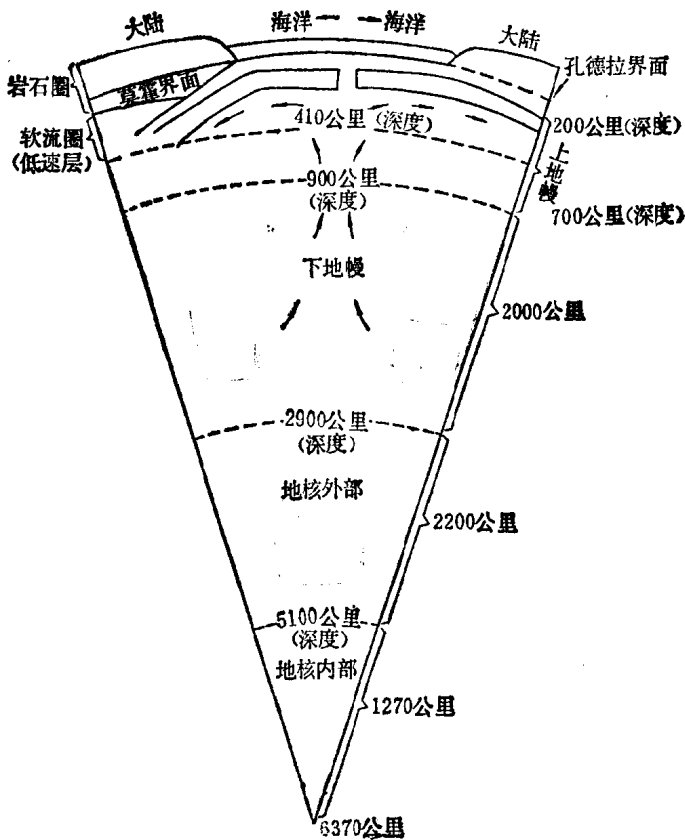


图 1-1 地球分层示意图 (表示板块构造与地幔对流的关系。转引自张文佑, 1974 年, 图经简化)

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℃ 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区域性差异,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，更由于上复脆性层中的正断层作用，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度有关，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

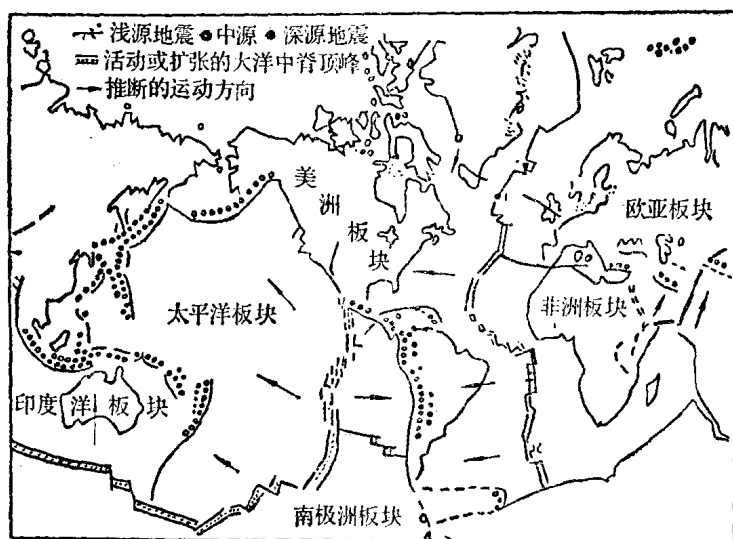


图 1-2 岩石圈六大板块分布示意图

(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^④。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，并且发育有地槽和大陆台地，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。

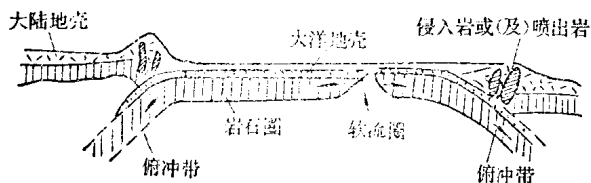


图 1-3 板块的形成与消失示意图

④ 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够知的,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 stab)。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、消减带或消失带。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 300 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 50~60°,一般为 45°,个别地区最小仅 7°,最大则近于直立。

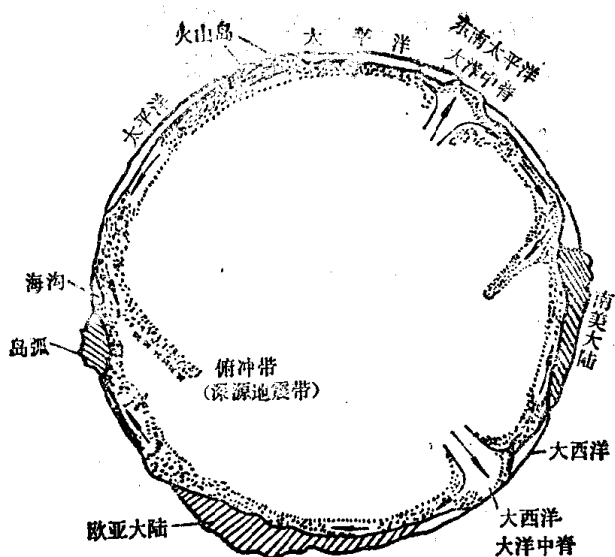


图 1-4 用板块构造学说解释地壳基本特征的示意图
(垂直比例放大)

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。

中国地信网 <http://bbs.3s001.com/> 欢迎您!

10

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多数人认为,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,但其两侧洋底区较为平坦,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(地堑形裂谷)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,新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。

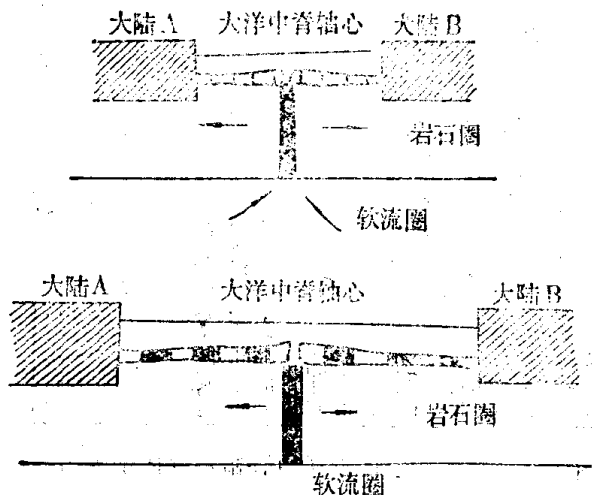


图 2-1 大陆移动的基本机制示意图

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沟系统（它们延伸于现代的大西洋中部，并且继续绕过太平洋和印

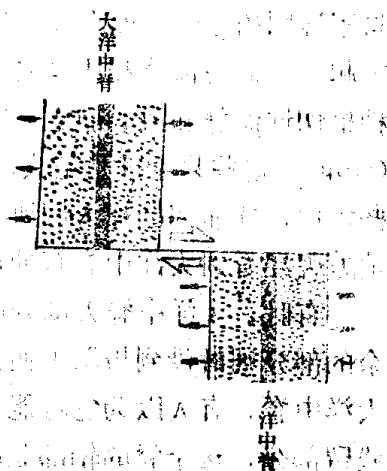


图 2-2 转换断层示意图
(图中阴影区为增生的海底，系由大洋中脊向两侧扩展而成，显然断层受万性质恰与一般水平滑动断层相反)

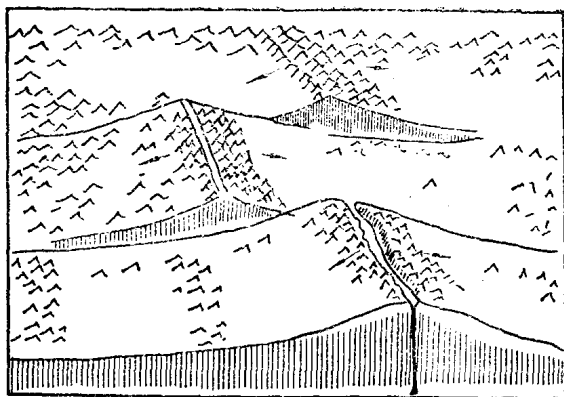


图 2-3 转换断层使大洋中脊错位立体示意图

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壁陡峭的沟道，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）。

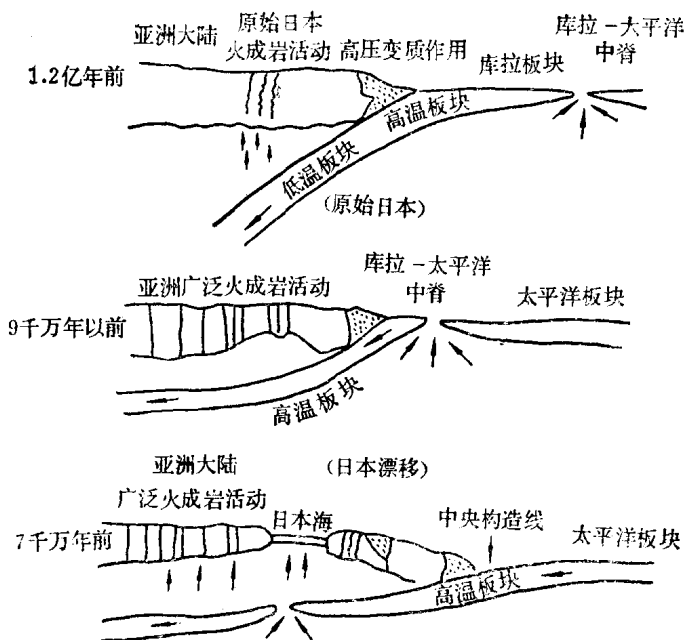


图 2-4 与库拉-太平洋大洋中脊潜冲相伴随的事件设想图

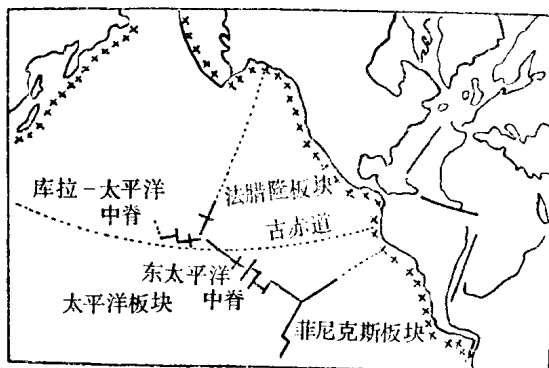


图 2-5 距今 1.1 亿年时太平洋板块的分布的可能样式的示意图

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嵌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,其南北两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,

里需要指出的是一般的走向滑动断层或水平滑动断层 (Strike-slip fault, transcurrent fault, wrench fault), 虽然它们的位移也较大, 但并不一定是转换断层。根据目前所掌握的资料至少有 20 条巨大的走向滑动断层在太平洋存在, 并且向北美西部海岸延伸 (在岸上也曾发现)。上面提到的那条圣·安德列斯大断层, 有人也认为应属于这种走向滑动过程的类型。

这里需要说明的是: 由于地壳断裂作用所形成的大陆上的狭长断陷带, 即所谓裂谷、地堑地带, 它们常常按着一定的组合构成裂谷带或裂谷系。有人也把大洋中脊处的裂谷系也归入这一广泛的构造类型中, 将其归入大洋型地壳中的大洋裂谷, 并且使之与大陆地壳上的东非裂谷系、莱茵裂谷系相比, 这种看法是值得人们注意的。有人还认为广义的裂谷系这一构造类型中, 还存在着大陆型地壳的大陆裂谷系与过渡型即陆间型裂谷系两种 (例如现代的红海、亚丁湾、加利福尼亚湾等, 都属于这种裂谷系)。甚至还把环太平洋带广泛分布的陆缘海 (鄂霍茨克海、日本海、菲律宾海等) 都归于裂谷成因, 认为这是过渡型裂谷系的进一步发展的结果。

通常认为世界范畴内大部分的裂谷系都是彼此相连接的, 仅仅有少部分是单独存在的 (例如贝加尔裂谷等), 而且它们都有类似的成因和构造意义。

一般讲来, 大陆裂谷系分布于大陆上的大型隆起区, 有的裂谷系延伸很长, 例如东非裂谷系总长达 4500~6500 公里, 贝加尔裂谷系总长 2500 公里, 在一定程度上是受古老基底岩系断裂, 尤其是剪切断裂的控制。有时它们在空间上呈雁行式排列, 两侧均由大致平行、向内倾斜的断层或由阶梯状断层所组成的断层带所控制, 一般都是高角度的正断层。其运动的方向是以倾向滑动占优势 (有时受到基底剪切断裂或者是局部应

力场的影响,甚至还可以表示出具有走向滑移的分量,同时还会伴随有一定的岩浆活动。至于上面提到的裂谷和裂谷系,到底是“挤压”作用形成的,还是由“张力”作用形成的?长期以来一直存在着较大的争论。

有人提出了从大陆裂谷发展成为过渡(或陆间)型裂谷,更进一步成为大洋裂谷的这样的一个演变过程。如果说到大洋裂谷阶段即形成大洋中脊,那么便会产生新的海洋型岩石圈。与此同时,在板块的聚敛地带,则俯冲板块的地壳遭受破坏。当然,较多的转换断层会在其间存在,沿着它,岩石圈板块在移动位置。从上面讲的情况看,有可能大致勾画出来地壳演化的轮廓。

在这里顺便提一下关于板块运动的问题。一般来讲,板块的水平运动是地球的主要运动,仅仅在板块的聚敛地区才能顺利地转变为倾斜的和垂直的运动。看来,这与通常人们所熟悉的整个或部分大陆板块的上升和下沉(可以理解为由于地幔中种种物理化学作用所直接反映的结果)的情况有矛盾。有人认为大西洋和太平洋中的一些群岛,都是由于固定在地幔深处的热对流的上升顶部,并有板块通过才产生的。这种想法的基础是认为地磁极与自转轴大致是一致的,也就是说热对流位置对于地磁极来讲也是固定的,从而说明了利用地磁学所推定的板块运动,对于地幔来讲的绝对运动是存在的(但这是指对纬度而言,而对于经度来讲,则是不固定的)。还有人提出如果把热对流看做是地幔对流的上升部分,那么,大洋中脊与热对流连系较少,可以理解为由于两个板块拉开的天窗,这样引起板块的移动和俯冲就是必然的结果。有人还提出,在大洋中脊中存在着两种类型,上述的开天窗而起海底扩张作用的即是那种与热对流不连结者(有人称之为窗口型大洋中脊),例如太平洋

中的库拉-太平洋中脊。关于与热对流起连结作用的类型（或称热点型大洋中脊），则是被固定于地幔深处的，象大西洋大洋中脊便是这种类型的例子，图 2-6 表示大洋中脊的可能模式。

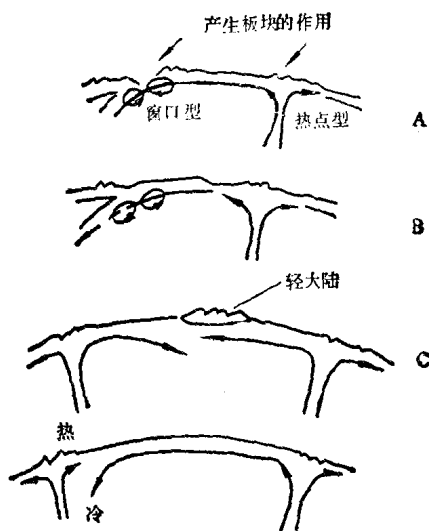


图 2-6 两类大洋中脊的可能模式图

A—热点型大洋中脊伴生的主流上的窗口型大洋中脊；B—窗口型大洋中脊最后倾没于大洋板块之下；C—两个热点型大洋中脊共存时，大洋板块的消减情况；D—两个板块均无大陆型地壳时，在一个大洋中脊附近出现俯冲带

有许多关键性的问题，迄今只能做一般的了解，有的还不能进行圆满的阐明和解释，尤其是有关板块运动的驱动力方面，研究得更差。虽然正如所指出的那样：部分熔融的地幔（软流圈）的运动是牵引刚性的岩石圈板块离开大洋中脊而缓

慢移动的基本原动力^{①②③}，但是导致地幔物质对流的原因，至今仍停留在推断阶段。有人提出系由于侧向密度的变化或导热率的变化，产生了温度的侧向变化，于是才引起地幔的侧面对流，再加上地幔本身存在着的相变，也必然会引起热膨胀和密度变化。同时，由放射性元素衰变所产生的热能，也会起一定的作用，从地质历史期间地热的变化情况（参见图 2-7），尚不能看出何者起主要作用。总的来讲，目前离全面阐明这个问题还很远。

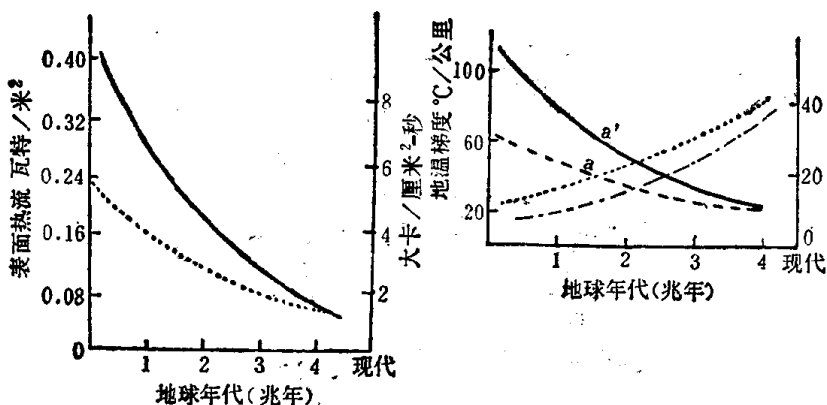


图 2-7 地热的历史变化

① 从分析人造卫星轨道扰动现象发现，自由大气重力异常有几十毫伽，可波及数千公里。如果说刚性的岩石圈板块处于这样广泛的异常条件的控制下，显然是不可能的。对位于其下的软流圈来讲则更要弱一些。因此，异常必然是地幔对流的结果，即向上对流导致了重力异常的产生和它的浅凹形式。

② 当岩石圈漂越过软流圈的上拱处时，可以产生幅度有 1 公里或更多些的垂直翘曲。这种翘曲（有人认为属造陆运动型）在大陆和大洋盆地中是经常可以看到的，它们是有重要意义的地质进程，有些持续时间较短，有些持续时间较长，可达亿年之久。在某些造陆运动型的穹起作用中，它们可能出现于软流圈的上拱处。这可能由于地幔对流的分支所引起。有人认为：岩石圈板块的裂开即发生于这样的穹起处，同时产生张性裂谷，表现为从穹起向外散开，而裂谷本身则变成了扩张中心。也有人提出：岩石圈漂移在软流圈上拱处所引起的效应，取决于漂移速度及其所处的位置显示出来的造陆运动的区域类型。

③ 有人指出，垂直运动必然要与水平运动相联系。导致垂直运动产生的因素有：1) 外层载荷和卸载；2) 板块潜入消失带（即俯冲带）的弯曲；3) 内部密度的变化；4) 地幔运动的重力效应。

三、用板块构造观点分析前寒 武纪的构造演变

根据目前所掌握的资料, 试图用板块构造观点来分析前寒武纪构造演变的基本轮廓, 这对于阐明从前寒武纪以来的地史期间岩石圈板块的发展演变过程, 有着重要意义。

前寒武纪时的地壳, 可以划分出两个不同时代的带 (或者叫做地壳单元)。一个是太古代的火山带 (距今 31~27 亿年); 另一个是早元古代条带状含铁沉积带 (距今 21~19 亿年)。对这两个带的研究, 大致可以认为: 前寒武纪地壳与板块运动模式之间, 有着一定的相似性。即可用板块构造的观点, 解释有关前寒武纪时地壳的发展、演变问题。

目前有人提出, 若干地盾区的太古代火山带与现代岛弧的火山带有着类似的特征, 可以说, 它们都位于消失着的板块边缘地带。这可以由岩浆活动、地球化学特征、地层发育顺序和年代逐渐变新的岩石成带状平行分布的情况以及沉积共生组合的特点等方面加以说明。由于太古代的火山岩带分布广泛, 由小型的几公里长的条带一直到延伸达几百公里的不规则形状的火山带。它们往往是由深成岩、火山岩以及地壳上经常存在着的多种岩石所组成。常常也可以由玄武岩-安山岩-流纹岩组合的岩流和火山碎屑组成^①。至于小型深成岩体虽有广泛的分

^① 多呈铁镁质至长英质的系列分布, 一般是火山岩与火山沉积岩相互成层, 常夹杂有杂砂岩、泥板岩、凝灰岩、砾岩以及含铁燧石沉积。另外, 花岗岩体和镁铁质至超镁铁质的侵入体, 多呈分散的岩床和岩墙存在。

布,但所占比例不太大。

值得注意的是:太古代火山岩带中出现了许多种火山岩,从拉斑玄武岩直到近似钙碱性的岩流和火山碎屑岩,有时也有一些碱性岩。由这些岩石所组成的岩层,厚度往往可达1~2千米。还有一点引人注目的是:有些由安山岩-流纹岩所组成太古代的火山岩系,从属于镁铁质到长英质的火山旋迴系列中。从它们的化学成分上来看,显然,氧化钾含量较低,因而表明与新生代期间滨太平洋的火山岩极为近似。不仅从物理、化学性质上^①,而且在火山岩组合上,太古代火山岩带也有相似之处^②。

一些人认为,在太古代火山岩带内,火山岩的集合体不仅主要包括着现代岛弧所特有的类型,而且长英质火山岩往往聚集成群,每一个群可以代表一个古火山中心。有时还可能从火山带中识别出各个火山残余体的构造变形特征,虽然目前看来太古代火山岩带的各种岩石中的组成矿物,大部分已遭到后期蚀变的影响,但仍可能查明它们原始的结构和构造。

根据从现今到前寒武纪时测定的大量古地磁方位变迁资料,可以获知古地磁方位变迁的过程,但由于资料精度不够,直到今日尚未能认清从前寒武纪到现今古地磁方位变迁的线路,而仅仅是一些推测,如图3-1及图3-2便是一些推测的结果。

① 有人认为太古代火山岩基本上都属于玄武岩、安山岩、流纹岩组合,这也是典型的大陆造山带或岛弧系中的火山岩组合。具体来讲,太古代火山岩集合体主要包括现代岛弧所特有的火成岩系列,从而可进一步推论它们可能形成在相当于岛弧的构造环境中。

② 有人根据太古代火山带内含有类似的新生代岛弧所具有的主要岩石组合,提出可能由于古太古代时,在硅铝层和大洋分界面上,通过与现代岛弧火山带基本相似的方式而形成的。

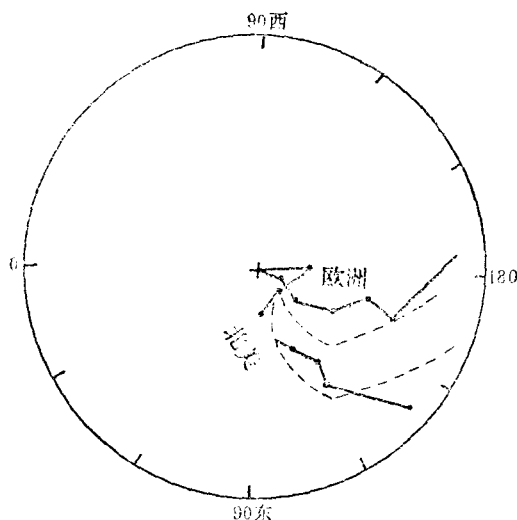


图 3-1 欧洲和北美洲古地磁投影的比较
(实线—Creer et al 1957; 虚线—McElhinny, 1973)

由于目前在太平洋中的关岛、斐济诸岛均发现了前寒武纪古老花岗岩的砾石, 至少说明其附近有做为沉积物源的大陆地壳存在, 可能是从古生代开始, 已经陷落或是遭受海洋化作用。从表面上看, 似与板块构造若干论点有矛盾, 但如果认为板块构造在前寒武纪时即具有和以后时期相似的模式, 那么, 也可以进行解释。这便是说, 应当按照经历时间相当悠久这个实际情况, 来考虑一般所说的板块模式^{①②}。

① 这里面需要重新考虑的问题相当多, 例如, 大陆地壳可视为自前寒武纪以来便具有活动性。那么, 从热流方面来看, 无疑地, 大洋地壳是不断地提供热流的来源。由于长期的输运热流, 地壳势必要较低一些。但实际上大洋地壳却与大陆地壳两者的地热流平均值是相近的, 似乎不好解释。显然需要从其他方面着手, 才能解决。

② 由目前掌握的前寒武纪铁矿分布趋向, 与现代板块的边缘相平行, 也就是与大洋中脊相平行。尤其是在冈瓦纳古陆部分(包括非洲南部)平行的程度是较高的, 这也可能证明大洋中脊在前寒武纪时即已存在。

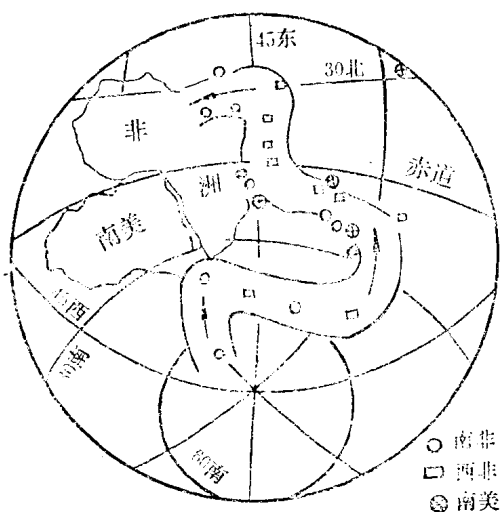


图 3-2 南美与非洲从 23 亿到 19.5 亿年前的古地磁极位置变迁图

如果从元古代的一些沉积组合，特别是早元古代时期的铁-硅质沉积物组合的分布情况做为基础，可以反推当时构造演变的基本情况。应当着重注意铁-硅质大规模沉积的时间，主要是太古代最后期及元古代早期（以早元古代为主）。这个时期，地盾区已趋稳定，从而导致了稳定的大陆棚发育。再加上全球此时转变为以氧化环境为主，不仅对以后的生物发展演化和生存创立了有利的条件，而且也可推测它标志着地核—地幔—地壳，已经完成分层演变这个重要阶段的到来。也可以说，正是由于完全具备了上述几个条件，才为广泛分布的早元古代铁-硅沉积物的形成打下了良好的基础。”由现今了解的早元古代铁矿沉积的分布趋向可知，基本上是从东南冈瓦纳古陆起穿越澳大利亚和印度，向西绕过非洲南部和南美东部，直到北

美的东北缘。另外在亚洲和欧洲则呈弧形分布，从中国东部直趋波罗的地盾。有人指出，它们并非反映漂移前的前寒武纪时的（板块）大陆边缘处，而是位于板块的内部^①。这样，便表明在早元古代时，位于板块内部，在当时基本上已经形成了克拉通——大陆坚稳地区，并具有广阔的浅海陆棚区。在这种环境和条件下，来自地球深部的铁质和其他物质一起，就会在这样的地区沉积下来。特别是当时是以氧化环境为主，再加上细菌的空前繁殖和活动这一有利条件，产生了极其丰富的铁矿层。

目前看来，前寒武纪的层状沉积铁矿床，在几个大陆范围内基本上都相似。其中具有薄条带状燧石岩，各沉积相中富含铁矿层（其中显然缺乏碎屑物质）延伸可达数公里，甚至可达数千公里。由沉积特征和分析可知，它们应当形成于当时的陆棚或陆缘的浅水地带^②。从其形成时间来看，大部分是在早元古代（距今 21~19 亿年前）沉积的。另外，还有一种条带状矿床，它们存在于许多地盾的前寒武纪火山岩和沉积岩系中，具有薄层条带或层纹状，夹有碧玉、燧石、赤铁矿和磁铁矿，个别地区夹有碳酸盐和硫化物。值得注意的是：有许多铁矿床的透镜体也将存在于火山岩中，它们主要与火山岩和碎屑岩相共生^③。从它们的形成条件来看，在时间上和空间上都是与火

① 从漂移前的古大西洋复原情况来看，前寒武纪的条带状铁矿的分布集中于非洲南部、南美北部和北美东北部，并不位于当时板块的边缘。

② 目前尚无法肯定形成这种富铁矿层中的铁质主要是来自当时的陆地，还是海洋。

③ 这种类型的铁矿，多存在于前寒武纪地层尤其是太古界的基底岩系中，上面提到的那种具薄条带状燧石岩中所含的富铁矿层，应当位于它们的上部。有人认为这种类型的富铁矿层是大湖相条件下形成的产物。

山活动有着密切的关系。在前寒武纪地层中，还有条带状鲕粒铁矿床，曾在南非发现，它们也具有一个相当稳定的层位，延伸可达数百公里。值得人们注意的是，同样或相似类型的铁矿床，也可以在欧洲的中生代和第三纪地层中找到，说明了当时已经有了稳定构造单元存在。

一般说来，在一定区域内，不同时代的铁矿床常被一些大的不整合所分隔，从而也可以说明，在漫长的前寒武纪时期内，有利于沉积或与火山喷发有关的铁矿床的形成时期也不止一次。有人认为：不同时期、不同条件的前寒武纪含铁石英岩并非是稳定构造单元（如克拉通）条件下的浅水沉积（浅海、湖泊）产物，而是活动构造单元（如地槽）条件下的产物。它们在太古代时，总是与火山活动密切相关的。从沉积组合来看，基本上是由含铁矿物与二氧化硅交互成层的细层理所构成，其原生铁矿物应当是化学与生物化学沉积物，而且常常夹杂着有碳质（如石墨）等物质，当然，在元古代时形成的含铁石英岩矿床却很少与火山活动有关系。显然，目前仍然存在着对前寒武纪时形成的各种类型的铁矿床的成因有着不同的认识。这对全面阐明前寒武纪时板块构造的基本轮廓，势将带来较大的影响。

目前也有人认为：前寒武纪尤其是早元古代的铁矿床的分布，应当受一定的板块边界模式的控制，这种板块边界应当大致平行于大洋中脊。现已查明：大西洋大洋中脊的顶部和印度洋中的一个大洋中脊都存在着前寒武纪岩石，这些都对持自前寒武纪以来板块构造即起作用的论点不十分有利。但是，目前在海洋中测定的线性磁异常带，在有的地区还插入到大陆之中，而且在太古代地盾区则呈现着同心圆状分布，它们存在于元古代和更年轻的沉积物之下。同时，也有证据表明，各大洋

的线性磁异常^⑩，并非是二叠、三叠纪以来的火成岩侵入体产生的结果，可能是原来系由太古代时火山岩所形成的，后来又遭到变化而形成的产物。这些又都支持着从太古代开始，便存在着类似以后时期的那种板块构造模式，而且可能是从那个时期以来，一直起着作用，只不过是后来的作用，在目前看来比较明显，容易查明。

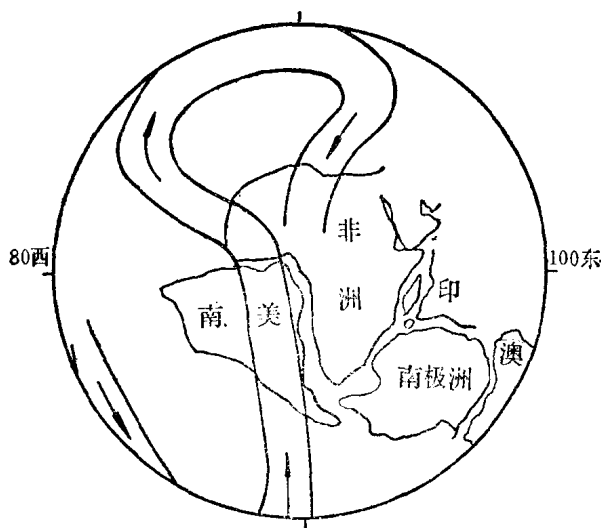


图 3-3 冈瓦纳古陆从 800~500 百万年前古地磁极移动示意图

这里需要着重说明的是：前寒武纪时的沉积条件与以后地质时期应当存在着某种差别。例如根据古老地质时期的沉积层

^⑩ 目前对来自古地磁数据证实的前寒武纪存在着超大陆（联合古陆）这一论点，它有利于说明在早元古代和晚元古代时期都存在着克拉通前缘的活动带移动的情况，具体表现有距今 1150 ± 200 百万年期间活动带沿着简单的边缘弧形地带分布的情况，以及整个元古代时期有较多的含斜长岩和硅灰岩的侵入体。

的研究,可以推测出月球、地球系统的形成时期可上溯到距今 36 亿年以前。特别是在距今 25~20 亿年间,月球、地球之间的距离,比起现代来要近得多。由于月球、地球之间距离短,潮汐的幅度大,水流的流速必定要快得多,因而能在当时已经形成的克拉通范围内,形成了广阔的陆棚区,在这个广大的陆棚区内,可以形成(由于波浪的推进)广泛分布的“披复式”的交错层沉积物和粗碎屑沉积,例如南非的元古界那样。从而说明当时的陆棚条件与以后时期的陆棚条件不完全一样,再加上当时细菌是最主要的生命活力(当然还有藻类),它们对于铁矿床的形成必然也要起着重要的作用,显然,在考虑问题时,应当注意这些情况。

应当指出:一些板块的核部,目前看来基本上都由前寒武纪火成岩、变质岩所组成。例如,印度-澳大利亚板块、欧亚板块都有由太古界和元古界组成的核部,成为刚性地块——地盾,在其周围则是不同时期的造山带,大体上呈现着同心环状排列。这种早已看到的事实,曾被认为是“大陆环圈构造”,问题是如何对这类构造进行解释。这里需要考虑的是:由于后来经历多次地壳运动、火成岩活动的影响,会在板块内部那些古老岩系内,“消失”了一些过去板块运动应当出现的产物^①,以致不能根据它们来恢复古老地质时期板块构造的演变经历。因此我们对这些内容现在了解尚少,是今后需要努力解决的问题。

^① 例如当时岩石圈板块相互作用所形成的兰片岩(高压低温变质相产物),由于后来高温、低压的变质作用的影响,必然会使兰片岩中的矿物遭到破坏。另外,古缝合带目前是否能够保存下来,也是一个问题。

四、板块构造与地槽演变

长期以来,人们对于地槽是地壳活动地带的典型代表的这个概念是相当清楚的。自从板块构造一说问世以来,有人企图将两个不同体系的构造观点,融合在一起进行解释,认为两者并无矛盾之处,是一个事物从两个方面进行认识的体现。

实际上,利用板块构造是可以阐明有关地槽理论所能解释的大部分问题。一般人们把地槽理解为延伸很远的线状活动地带,那里能够接受巨厚的沉积,其后又遭受到强烈地壳运动的作用,产生了复杂的形变、强烈的变质和剧烈的岩浆活动。五十年代,有人曾联系到沉积特征、火山活动和构造变动的基本情况,进行了地槽的分类。当时所采用的术语,直到现今尚为地质文献上所延用。一般讲来,地槽可出现在地质时期中的边缘陆棚、陆隆、深海盆地、小型海洋盆地及岛弧附近的海洋中。在地槽的深水环境中,主要由浊流^①或者是其他海流沉积下来的砂岩、砂屑灰岩、砾岩与页岩或泥岩交替成层的巨厚沉积(即复理石),但也有的地槽中却存在着大量的火山岩。

现今,可以利用板块构造来解释一般人们常见的各类地槽,不仅可以阐明地槽的基本特征以及它们在板块构造中所处的位置,而且还可能利用板块构造来阐明它们的演变问题,特

① 浊流的驱动力是由地震、飓风以及河口或海底峡谷上游过量的堆积形成的。在波浪作用、河流携带的泥质水流作用以及水下滑坡作用影响下,才会使一些松散的物质发生运动,最终形成浊流沉积。

别是水平运动占主导地位的问题^①。图 4-1 试图根据现今大西洋边缘的大陆棚、大陆坡与大陆隆起与寒武-奥陶系重塑剖面相对比,从而说明可以利用板块构造理论来阐明地槽的演变。

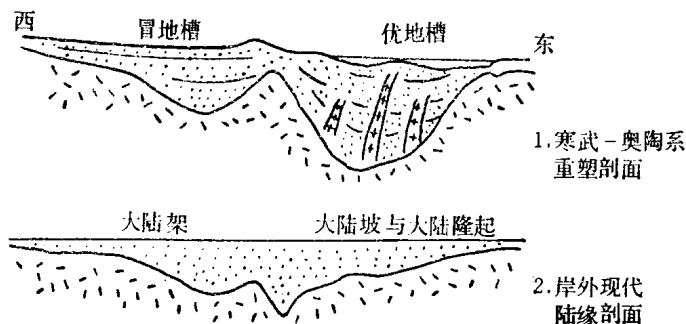


图 4-1 大西洋边缘地槽的过去和现状图

目前广泛地进行着用板块构造理论对地槽学说的各方面进行改造,即利用板块构造各方面的知识解释地槽的发展,主要是利用岩石圈板块的水平移位、扩张、收缩作用。这些作用,都能在地槽-造山带的各方面找到证据。

通常所称的优地槽,其基底并不清楚,只有少数的优地槽(乌拉尔的塔吉尔带,阿尔卑斯的亚平宁带)曾发现特殊交代的辉长岩类和辉石角闪岩类,而它们的下面,则又被超基性岩所取代。最近研究表明:上述辉长角闪岩类和辉长岩类系由超基

① 地槽-造山带内的褶皱构造以及褶皱中的断层,都说明了地壳存在着大规模的缩短。对这个问题,也有不同的看法。有人指出:伴随地壳隆起,导致地层自身的重量起作用,从而造成向侧方移动,形成了造山带。也有人认为:当地壳的各个地块做差异性升降运动时,位于中和面上部位的地层,也会大规模地褶皱起来,导致冲上而起。但是,如果把业已褶皱了的地层按照原来的式样,做水平复原时,那么恢复了的地壳宽度,就必然地等于原来的地壳的宽度,其间必然存在着水平方向上的缩短过程。

性岩和基性火山岩经交代蚀变而形成。由板块构造观点来看, 优地槽下面超基性岩的形成, 是由于在板块俯冲挤压应力下, 促使大洋地壳的底层至上地幔业已固结的富铁镁物质 (包括蛇纹岩带在内), 受到搓碎挤压作用, 带到地槽下部沉积层中, 遭到了所谓的“固体侵位”、“底辟作用”的结果。从这里可以清楚地解释熔点高达 $1600\sim 1800^{\circ}\text{C}$ 的超基性岩为什么和周围的沉积岩之间并不存在强烈的围岩蚀变的原因。从而也可以解释为什么如此多的超基性岩能出现在优地槽带中。当然, 还有另外一些解释, 例如在板块俯冲作用强烈应力条件下, 可能导致上地幔甚至其下的富铁镁质物质的温度相应地降低, 可能呈现着半流体状态而侵入。有人认为: 优地槽的基底岩石系以构成蛇纹石质的混杂岩 (主要是由蛇纹石质胶结的交代辉长岩类的岩块所组成) 为代表, 这种构造岩也曾近地表处出现过, 它可能是地球物理上泛指“玄武岩”层。而在那些与大陆地块相邻地带的优地槽中, 却有着大量的复理石发育, 它们的基底, 往往就是组成大陆壳的“花岗岩”层。

从优地槽中接受的火山岩和沉积物组成来看, 基本上是一套厚的细碧岩, 辉绿岩, 硅质岩, 硅泥质岩和碳酸盐岩-泥质岩等深水相岩石发育。它们位于“玄武岩”层之上, 这套沉积岩往往夹杂在火山岩中^①, 相当于目前大洋岛屿带中的大量礁灰岩。

典型的优地槽剖面在发展上可分为两个阶段, 即大洋阶段与过渡阶段。在大多数优地槽中, 大洋阶段的沉积物往往为厚的安山岩、安山玄武岩、安山英安岩所取代。它们与厚的杂砂岩、石灰质杂砂岩和复理石岩等层系共生, 有时则与厚的块状

① 它们的上部往往包括角闪岩和石英角闪岩。

礁灰岩相共生。至于以碧玉为主的硅质岩则并不常见。显然,这个阶段沉积物的特点是岩相和厚度变化极为迅速,在这一套杂岩系的底部和中间存在着局部的间断或不整合,同时还存在着清楚的同沉积构造,表现了具有高低差别的切割地形。至于过渡阶段,在沉积作用特征上,火山作用的性质上,则与前一阶段有所不同。有人认为,这一阶段是处于切线应变状态下,才经历着强烈的褶皱与水平运动的。它们与前一阶段相比,表现出火山岩的矿物成分和化学成分都有变化。具体特点是:从含钠高变为含钾高,而且在这一阶段的末期,形成了大规模的辉长-花岗闪长、斜长花岗岩岩体。这个阶段从发展上来看很象现代的岛弧体系^①。

优地槽发育于大陆地壳的扩张或拉伸地带,它们的发展常常伴随着新大洋地壳的产生,优地槽^②的发展过程中,可以表现出来地壳的拉伸情况,最主要的特征是具有蛇绿岩套的发育。一般讲来,蛇绿岩套是做为确定板块界面位置的主要根据^③,也可以说是鉴别古俯冲带的重要依据,它主要是由基性

① 一般讲来,在这个阶段,优地槽物质发生着强烈的构造复叠(Piling up),它往往会涉及到相邻的大陆块。在这种情况下,很明显,优地槽与现代太平洋西部的岛弧体系非常相似,因为岛弧本身,从火山-沉积组合来讲,也是以火山岩为主,主要多为安山岩组成,至于在它的后面的边缘海中,则多复理石沉积。地貌上,它们往往表现为深海沟和位于海的内侧的火山岛弧,与安山岩大量喷发的同时还有许多花岗岩-闪长岩的深成侵入体的活动,再加上岛弧的强烈剥蚀,因而为复理石沉积提供了物质来源。显然,这与优地槽是很相似的。

② 现代海洋中的大西洋型的优地槽一般系指大陆坡而言,它们与大陆架(指与其伴生的冒地槽)常常共存,它们都被理解为海底扩张的结果。

③ 榴辉岩一般也出露于板块界面上,有人认为它可以成为金伯利岩包体存在或成为超镁岩的夹层存在,于扩张性界面或在挤压界面的混合片麻岩中呈条带状或透镜体。一般讲来,榴辉岩是由于拉斑玄武岩和上复的海洋沉积物,在俯冲带处的高压条件下所产生的。在压力小的情况下,玄武岩可变为闪长石;在较深部位,因压力较高,则变为粒变岩;到更深处才能成为榴辉岩。

和超基性岩所组成的一种特殊的集合体,对其成因目前尚有争论,大致可归纳为三种看法,一是系代表地槽阶段的强烈的侵入和喷出活动,伴随着就地结晶分异而产生;二是地槽发展过程中,由于上地幔物质部分熔融而产生的底辟构造而形成的结果;还有一种是代表着地壳运动时期大洋地壳和上地幔的碎块被携带进入先前的地槽沉积中,因而显示有高压变质带的主要特征。如果从板块构造观点来考虑,则认为在俯冲带上的深海沟处的岩石圈,常因断裂的原因而被挤出,升到地表面,因而在那里的断裂带上常有蛇绿岩套发育,其火山岩的成分变化也和岛弧相当。另外,需要提出的是,有些优地槽沉积物早已遭受褶皱和侵入的影响,它们位于未受变动的盖层之下,组成了大陆的基本结构(即基底杂岩)。随着时间的进展,甚至在老的优地槽基础上发育有新的冒地槽沉积。同时,优地槽沉积又有向大陆地壳边缘逐渐发展的情况。直到晚近时期仍有一对优地槽与冒地槽处于正在发展之中。如图 4-2 即表示北美东部优地槽与冒地槽分布与发展示意图。冒地槽中浅水沉积复盖于沿海平原和大陆架上。其外侧存在着与之平行的优地槽,那里接受了越过大陆架经冲刷而来的碎屑物质。应当认为:如果有某一时期大洋地壳推向大陆地壳,必然会使这个优地槽象过去那些优地槽一样形成褶皱带,从而进入一个新的演化阶段。显然,这些是值得注意的。

有人指出:优地槽是先在拉伸条件下发展的,其后便进入挤压作用占主导的状态,于是便产生了强烈的褶皱、冲断层、逆掩断层-推复体(山系)等等。这时新兴的凹地内,则有磨拉石沉积。此时,大洋地壳的特征已经全部消失。

显然,优地槽是在先拉伸、后挤压的条件下发展的,往往在大洋地壳和大陆地壳的结合地带产生了超壳深大断裂。正是

沿着这个地带，才发生大洋地壳俯冲到大陆地壳之下，再为上地幔所吸收。

总之，优地槽常常发育于克拉通的侧缘，但其基底却是大洋地壳，它不仅包括克拉通侧缘的大陆边缘的海底高地、小型海洋盆地，也包括岛弧在内。它和冒地槽与次生优地槽^①的基底是不同的，后两者的基底乃是大陆地壳。

值得一提的是内陆地槽，通常认为它是在大陆地壳中出现的，但在它们的发展过程中，也可以分出一个大洋阶段（相当于地槽发展的早期阶段）。无论如何，它们与沿着克拉通边缘发展的地槽有所不同，后者是原生的大洋地壳发展演变为大陆地壳的。

根据目前的认识，内陆地槽的基底和早期阶段的沉积物与大洋地壳有着相似性，它们和在目前太平洋中的一些岛屿中看到的基底和早期阶段的沉积物相类似。即有拉斑玄武岩和变拉岩（它们相当于现代大洋地壳的平均剖面中的“玄武岩”层所交代的辉长岩类、辉长角闪岩类、角闪岩类和变质基性喷发岩等组成的岩石系列以上的层位）和透镜体礁灰岩相共生。位于它们的上面，则是存在于现代太平洋中的那种深海相泥质碳酸盐和其他泥质沉积物。从而可以推论内陆地槽的初期必然是大洋。

应当说，内陆地槽的发展历史是复杂的。特别值得注意的是：在最后发展阶段中，在这些内陆地槽里，形成了具有极其明显的“花岗岩”层的大陆地壳，仅仅是个别的内陆地槽（例如乌拉尔）至今尚未找到任何“花岗岩”层的残余部分，这里表现

① 有人提出“联合地槽”这一术语，系指那些由断层所环绕，位于稳定的造山带中的地槽。这和次生优地槽是处于同样的位置。它们形成于大洋扩张的开始阶段，是在张应力情况下产生的。至于冒地槽则往往是指大陆架的广大地带而言。

出“火山沉积岩系”直接复盖于“玄武岩”层基底上。当然，有一些内陆优地槽与克拉通边缘的优地槽并无根本的区别，但是考虑到内陆优地槽在其发展初期是属于相当宽广的地槽区，仅仅是后期由于大规模的构造叠复^②的存在，才导致地壳明显变厚，地槽带的宽度也显然变窄，从这里也证明大陆漂移是存在的，而且是起着作用的。这样的解释并不说明与那些现在看来是呈现着狭长延伸的地槽带相矛盾。这也说明了内陆优地槽无疑地属于大洋性质，而原始的大洋优地槽的规模可能是相当大的。

显然，有关地槽的一些概念，基本上都能在板块构造中占应有的位置，换言之，岩石圈板块在一定距离内的水平移位、扩张和收缩作用的过程，都可以对地槽进行比较，全面的解释。当然，目前对这一问题的认识，远未达到应有的深刻程度，看法也不完全一致，有关的演化，发展模式也未完全建立起来，尚有待进一步深化和发展。

② 有些人把构造叠复作用理解为优地槽受到相邻的大陆块(克拉通)的掩冲，最后这些大陆块(克拉通)掩复到优地槽区域范围内，导致整个范围内的“花岗岩”层的形成。这时优地槽便全然消失，显然为其进一步转变为大陆的发展条件打下了基础。

五、岛弧和边缘海(盆)的特征与发展

一般将大陆边缘^①划分为两大类型：即大西洋型和太平洋型。前者海岸线比较简单，很少有地震和火山活动，由于邻近的大陆长期受剥蚀，以致产生接受大量沉积的海槽；后者海岸线相当复杂，地震和火山活动相当强烈。太平洋型大陆边缘又可以再分为两种类型，一是科迪勒拉型，以南美安第斯山脉西侧最为突出，另一种则是岛弧和边缘海型，以日本列岛和日本海为代表。

上述两种类型并不是截然分开的，而是互相之间有着演变过程。例如当有下降板块形成时，则会使大西洋型转化为科迪勒拉型，它们的发展顺序是：(1) 原始大陆边缘(大西洋型)的存在；(2) 由于有海槽的发育，接受了巨厚的沉积物(其形成条件有一部分是由于沉积物的荷重而产生)；(3) 沉积海槽变得不稳定和破裂；导致海槽变成褶皱，隆起，岩浆运动，最后形成了大洋地壳；(4) 下降板块的产生；(5) 下降的板块发生部分熔融，上升的流体使上复地壳产生增温。由于伴随着加热，导致上复地壳的增温，从而产生了地壳的形变。同时还存在着火成岩活动和变质作用，从而使原来的大陆边缘转变为山系，最后形成了新的大陆地壳。

当然还有由于碰撞的原因，改变大陆边缘特征的情况，这

① 一般将大陆与大洋之间的广阔的接触带叫做大陆边缘。在地球历史上，陆壳和洋壳之间，大陆和洋盆之间的这个接触带上，曾经发生过多次变迁。

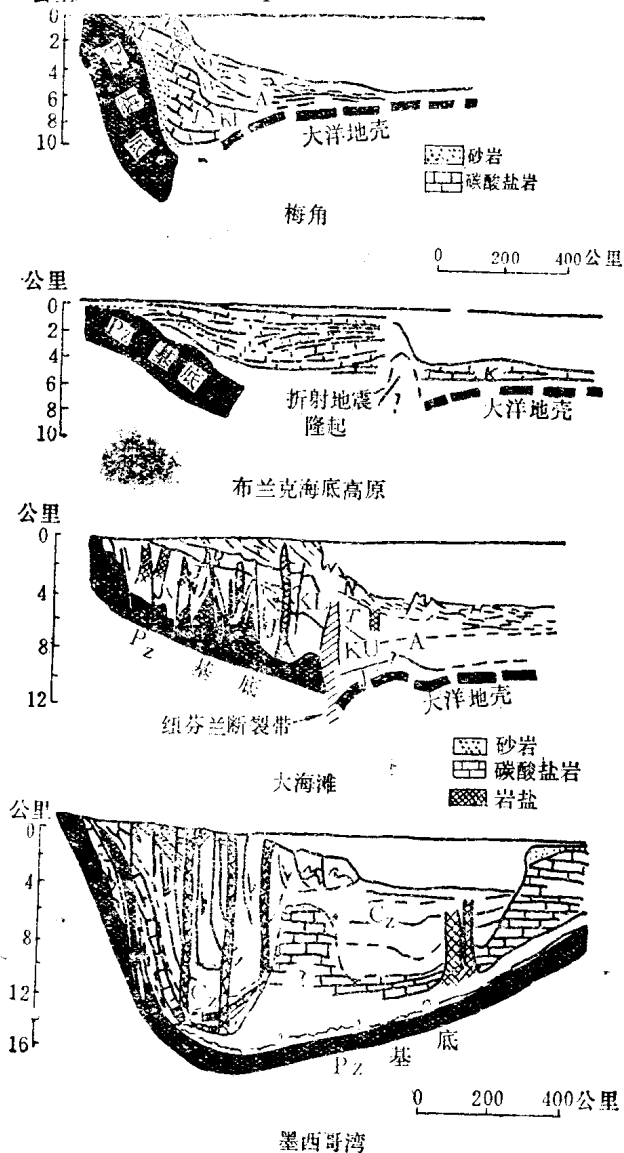


图 5-1 大西洋型被动边缘几个典型剖面示意图

方面可能分为三种情况：即大陆板块和岛弧碰撞；大洋板块与大陆板块相碰撞；大洋板块与岛弧相碰撞。由此可见，岛弧和边缘海是一种具有非常复杂的海岸线的构造型式。也可以把它们称做一种特殊类型的活动陆缘。

有人提出，当板块碰撞时，有时对大陆边缘有着极大的影响，图 5-2 为板块的碰撞与俯冲带转向的一般模式，显然是值得注意的。

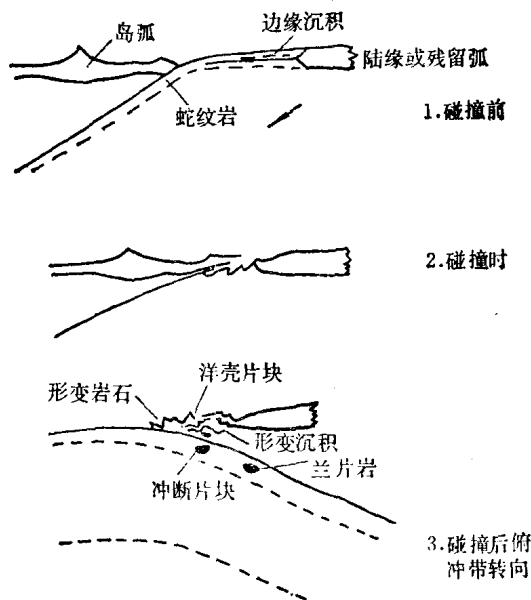


图 5-2 板块的碰撞与俯冲带的转向的一般模式

有人指出，山脉的形成有两种方式：岛弧类型和科迪勒拉型造山带，对于现代岛弧及弧形山脉的研究结果，一般都把岛弧视为地槽发育的原始阶段。从发展来看，可以再分为火山岛弧与沉积岛弧两种，由于它们的形成均与地球深部作用有关，

所以归入原生岛弧类型中,有人视为前面提到的优地槽。另外在原生岛弧交接处的后面,往往会出现盆地、凹陷和山脊凸起,它们的形成往往与地球深部作用无关,则称为次生岛弧,有人视为前述的冒地槽。

全世界的岛弧和活动陆缘具有许多共同的特点,它们通常伴有深海沟和深源地震。从其结构来看,可分单弧结构和双弧结构两种,前者系由一条海沟和一条平行延伸的火山弧所组成,但在整个岛弧伸长地带,均由单弧结构组成者较少;后者系由一条海沟、一条外弧(目前看来是非火山的)和一条内弧(火山的)共同组成,它们通常是按着这种次序离开大洋而排列。从形态上来讲,具有单弧结构的岛弧形态上更加弯曲,但它们依然与双弧结构的岛弧一样,有着相同的形成过程。^①

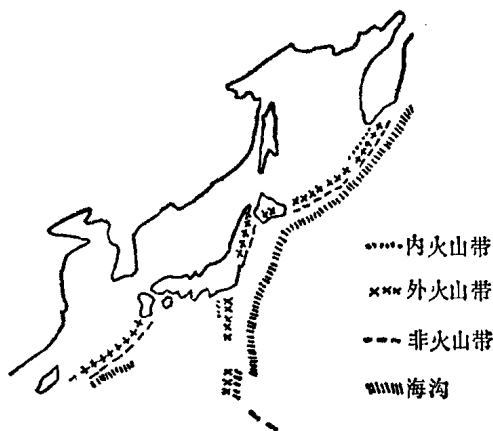


图 5-3 西北太平洋区域的岛弧

① 有人提出岛弧的形成过程是在石质软流上升期间,压缩普遍发生于凹的一侧,而伸张则发生于凸的一侧,上升时遭到压力不对称的影响而行推移,所以才形成弯曲形态。

众所周知，西北太平洋是岛弧最发育的地区，那里大多数的岛弧都是向太平洋凸出的(图 5-3)，仅我国台湾省岛弧的凸出方向正相反，即凹面朝向太平洋。

这里需要提一下沉积岛弧的问题，有人指出：地槽的形成和发展与向大陆倾斜的超壳深大断裂带，有着成因上的联系，因而能形成向内凸的海沟。上面提到的这个超壳深大断裂，向地下延展很深，甚至达到了上地幔，所以会有岩浆物质顺着派生的垂直大断裂向上活动。它们也可以在浅部侵入或地表喷发，这样便形成了由火山熔岩和火山碎屑岩组成的火山岛弧。其后，由于火山岛弧上升遭到剥蚀，并将火山碎屑物质输送到附近的深海沟中，在那里形成了杂砂岩和复理石沉积，这便构成了沉积岛弧。

有人将上述不同结构的岛弧的基本特征归纳如附表：

岛弧结构特征表

岛弧结构类型	外 带	中 带	内 带	实 例
单弧结构 岛弧Ⅰ	海沟		具有单火山带的内弧	克马德克、中 千岛群岛
单弧结构 岛弧Ⅱ	海沟		具有两个火山带的内弧	伊豆-小笠原 群岛北部
双弧结构 岛弧Ⅰ	海沟	外弧(目前 为非火山的)	具有单火山带的内弧	汤加、小安德 列斯群岛的北部
双弧结构 岛弧Ⅱ	海沟	外弧(目前 为非火山的)	具有两个火山带的内弧	日本东北部

此外，还有将现代活动岛弧自外向内可分三个构造地貌单元的意见，即：(1) 一条深海沟，以大的重力负异常和低的热流量为其特征，位于岛弧和海沟下面的则是贝尼奥夫带；(2) 一条现代活火山带和熄灭火山带，以小的重力异常和高的热流

量为其特征；(3) 边缘海，常位于岛弧和大陆之间，以具高的热流量为其特征。

这里需要提到残余岛弧，一般讲来，残余岛弧是呈现线状及弓形的海脊，其两侧存在着陡崖，且两侧沉积物分布不对称。其后侧陡崖处，沉积物多堆积于坡麓，多含安山岩屑。而其前侧的前渊处，却缺乏同时代的沉积物。有人认为残余岛弧两侧的陡崖都是扩张的边缘海盆的拉裂的结果。其后侧陡崖处的沉积物是后侧较老海盆张开后形成的，前侧的沉积物则是前渊处较年青海盆张开而形成的，所以两者沉积物的时代是不相同的。至于残余岛弧的宽度则视原先的前缘弧的被裂开的位置而定。当断裂发生在前缘弧的后方时，便根本没有消灭残余岛弧。

值得注意的是：在弧间盆地^⑨开启时期，曾经发生过垂直扩张方向的断裂，残余岛弧的断裂线可呈雁行状排列。同时，在残余岛弧处具有安山岩及酸性岩浆活动。

有关火山岛弧和大陆边缘的安山岩带的形成问题，曾有人指出，由于软流圈存在着部分熔融，因而比较软弱，岩石圈可以在其上滑动。再加上比较冷的岩石圈板块沿着俯冲带下沉到大陆岩石圈板块下面的软流圈中。它们处在高压条件下，转化为榴辉岩，同时便熔出钙-碱性安山岩岩浆。当它们上升喷发时，便形成了火山岛弧和大陆边缘的安山带。根据环太平洋安山岩带同位素数据表明(尤其是 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{88}$)安山岩浆系来自上地幔。因为玄武岩在 28000 大气压和 1150°C 条件下转变为榴辉岩，同时分熔出中性或中酸性岩浆。考虑到大洋岩石圈系由薄层的海洋沉积物、拉斑玄武岩层和橄榄岩层所组成。

⑨ 弧间盆地是目前地壳仍然继续活动着的扩张海盆，它们总是位于岛弧系安山岩链邻近的地方，它的地壳厚度和结构相当于大洋型，与不活动的边缘海盆相类似。

应当指明,变质作用发生于所有岩石圈板块的边界上,这种边界即造山带,发生在造山带中的是大规模的造山作用——区域变质作用。当然岛弧及其附近地带也要存在着明显的变质作用。其中海沟处有高压变质带,岛弧火山带相当于低压变质带;前者具有很低的热流值,后者有较高的热流值。一般讲来,区域变质作用按压力的高低可分为三种类型,分别代表着不同的地热梯度。其中高压型则以兰闪石片岩为代表,它们多分布于环太平洋带;中压型以兰晶石片岩为代表;低压型则以硅线石-红柱石片岩为代表。根据变质带的分布情况,可将它们分为成对的变质带和不成对的变质带两种。前者表现为高压低温带与低压高温带成对出现。其中高压低温带发生于深海沟地带之下,而低压高温带则生成于火山岛弧的下部;而后者则没有高压带的发育,仅仅有中压和低压带,甚至只发育低压带。这种情况的产生,可能与岩石圈板块的活动速率有关系,它能够反映海沟-岛弧的活动特征。

随着时间的进展,成对的变质带一般从大陆向海洋推进。即在大陆边缘形成成对的变质带;在岛弧以下形成成对的变质带。如果岛弧以下的俯冲带向大洋方向倾斜时,则可形成逆向的成对变质带。另外,有人认为:幼年岛弧通常由拉斑玄武岩系列的玄武岩所组成,随着大陆型地壳的演进发展或者是随着下伏上地幔的不断损耗,则会使占优势的火山岩有的变为安山岩,甚至还可能变成钙-碱性系列的英安岩和流纹岩。根据有人进行过的实验表明,在高压下,部分熔融产生的流体,则有强烈的氧化硅不饱和的趋势。所以,认为碱度的增高是由于岩浆生成的温度和压力朝着大陆方向增加而引起的。这方面势必支持着岩浆系沿着贝尼奥夫带或沿着朝向大陆倾斜的下降板块顶部产生的这一看法(图5-4)。

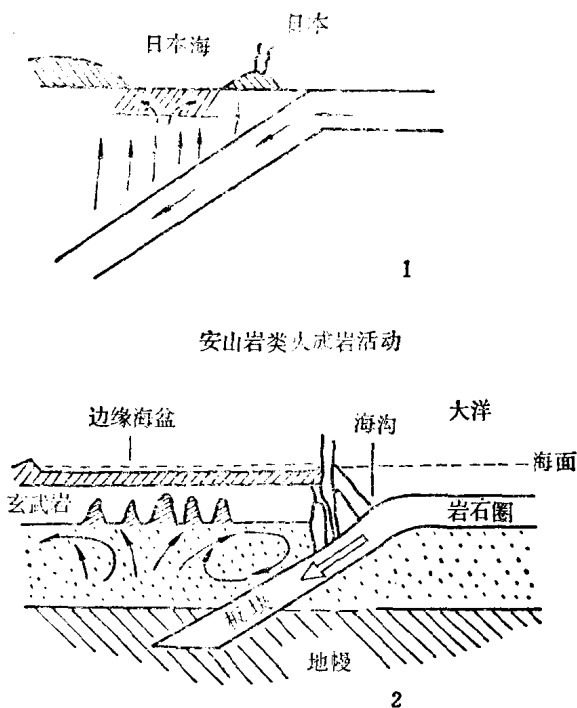


图 5-4 边缘海形成的两种意见示意图(据上田、都城,1973)

通常所指的与岛弧有密切联系的边缘海盆是以分布在太平洋西部存在着一系列的边缘海盆为代表,它们位于岛弧的后面,其深度相当于或略浅于大洋的深度。单纯从其地理位置来看,介于大陆和岛弧之间,但也有位于两列岛弧之间者。

从板块构造观点可知,海沟-岛弧体系被看成是板块消亡的地区,至少是下降岩石圈的一部分可以重新上升成为居于上地幔之上的边缘海(即板块居于岛弧的内侧部分),这个事实也应当引起注意。

一般把边缘海盆视为与边缘海相当，它们也与那种简单型和复杂型岛弧小洋盆相当。常处于大陆板块和大洋板块的聚合边缘处，它们具有相当活跃的构造作用。同时在这里也存在着相当剧烈的岩性、岩相变化。图 5-5 是边缘海盆发展臆想图。

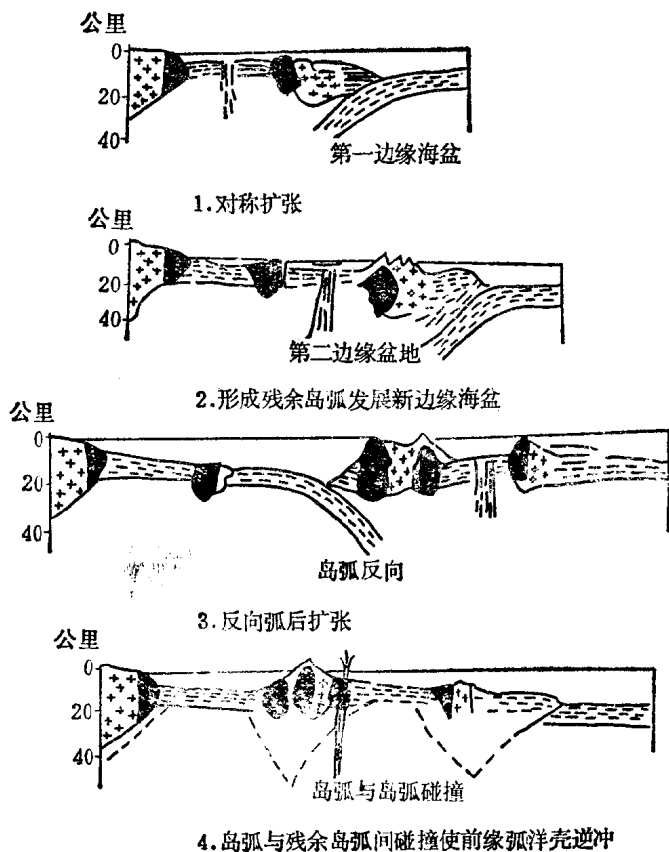


图 5-5 边缘海盆的发展臆想示意图

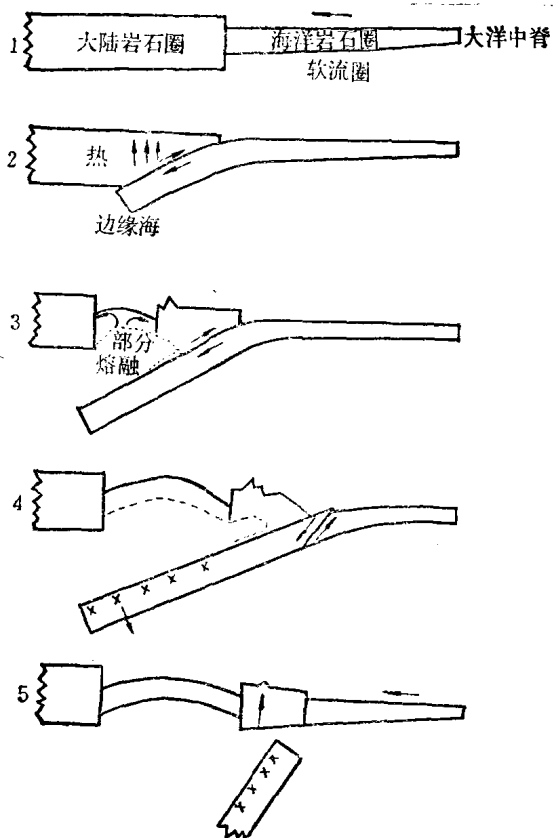


图 5-6 板块的碰撞与边缘海形成及发展示意图(据小林和男, 1974)

最初人们认为边缘海是沉陷了的大陆。直到最近, 才逐渐认识到它们可能是由于岛弧后面的地幔上涌、拉裂、扩张而形成的^①, 它们的形成过程, 必然是随着岛弧由大陆漂移开而发

^① 太平洋西部边缘的一系列边缘盆地, 与岛弧-海沟体系有着密切的共生关系, 其生成时代比较年青, 有人强调必须有一个强大的构造力才能形成岛弧-海沟以及边缘海盆地。

展(图 5-6)。

边缘海盆可以是单一的盆地,也可以是由水下海脊所分隔的一组盆地,它们的外形可以由线形至近圆形,目前有相当多的证据表明边缘海盆起因于张裂扩张,可能与洋底扩张过程有着某些相似性。因为边缘海盆所具有的显著高热流以及它们下面出现的海洋型地壳结构等事实的存在,这些都可以说明由于边缘海盆下面地幔物质的向上抬起,才逐渐产生边缘海盆的^①。当然,也有人认为大多数边缘海盆形成时间相近,可以说它们是在应力场重新调整的条件下而产生的必然结果,只有这样才能适应新的应力场。

最后,根据西太平洋岛弧的若干特征,可以使我们对岛弧有进一步理解(图 5-7)。根据这些地带的中-深源地震,可知震源在某些地区密集,而另一些地区则缺少,呈斑点状分布,这显然与岛弧的结构有密切关系。从这里的构造格局来看,可以说是由内带和外带组成的不对称的成双带。有人考虑到活动的岛弧,具有均衡作用的重力异常以及低热流值的情况,认为外带是一种区域性沉陷,并且接受沉积,而且是发生高变质的地带。至于内带(靠近大陆一侧的)则具备着众多型式的岩浆活动和强变质作用的影响。有人在研究了日本列岛的外带和内带情况后,认为外带的地热流较低,应属优地槽类型,因而具备低温型变质;而内带的绿色凝灰质砂岩等沉积物则属于冒地槽型。但有人持相反的看法,即认为内带应属优地槽型沉积,而

^① 据此,可以利用熔融岩浆的上升(侵入和喷出)以及地幔热流底辟诸假说来阐明边缘海盆的起源。显然,可以这样说,即边缘海的开放和形成,是由于岩浆上升而成的,由于大部分岩浆到达地表之前便已经凝固了。在边缘海扩展的场合下,盆地内存在着许多短暂时期的微扩展中心,因之磁异常的分布和形成也具有独特性。

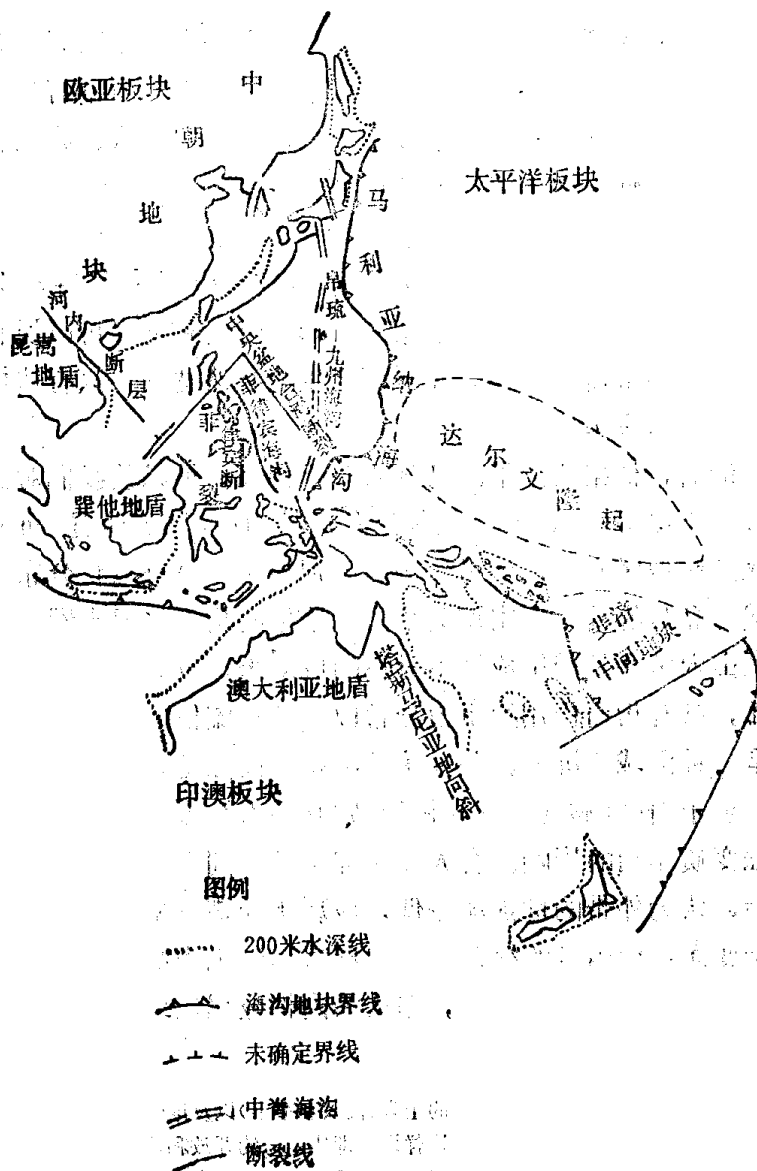


图 5-7 西太平洋地区大地构造图

外带则为冒地槽型的沉积；而且受到新第三纪时较轻的构造变动的影响。目前对这方面的问题尚无一定的看法，显然，外带表现了区域性沉降，而内带则经历着块断运动。从外带的构造变动可认为这里的重力负异常值有着重要意义。考虑到这里的地层并非太厚，有时仅发育一些火山岩和一定程度的褶皱构造，而且没有基性火山岩存在，所以有人认为不应视为优地槽。另外，从外带接受的沉积物特点来看，也很难说它们是大洋底的沉积物，即不是由靠近大洋地壳板块搬运而来的物质聚集而成。值得注意的是，位于海沟内侧也有大陆地壳存在的实例，其上接受的沉积物没有发现那种由大洋侧搬运来的深水相沉积。由于地壳的垂直分异作用，才造成盆地和山脉，接受沉积盆地即通常所称的后渊(山间盆地)。有人指出，位于岛弧下面的地幔下降部分，代表着岩石圈的一个板块，在外带海底向下拖曳形成海沟，而且在海沟中接受地槽式沉积。有人利用地震测量的结果推断靠近海的轴线的岛弧边缘被认为是下陷，而且消失于岛弧之下，象日本东北部中新世初期的火山前弧，大约位于第四纪和现代火山前弧以东的 50 公里处。再如小笠原群岛，古新世的火山岛位于现代火山前弧以东 120 公里处，如果假定火山前弧与海沟的轴线之间的距离认为是固定的，则可认为岛弧向洋侧的推移是存在的，即火山前弧后方的范围正在扩展着。

有人明确指出：大多数边缘海的形成都经历着海底扩张的过程，在岛弧从大陆向洋侧移动而形成边缘海的同时，会在岛弧上或岛弧内侧形成新的洋壳，这必然伴随着海底裂开的过程(图 5-8)。而大多数的边缘海，目前看来都是在渐新世-中新世期间形成的，澳大利亚的塔斯马尼亚边缘海是例外的情势，它是白垩纪时形成的。边缘海的生长是旧应力场重新调整的结果。

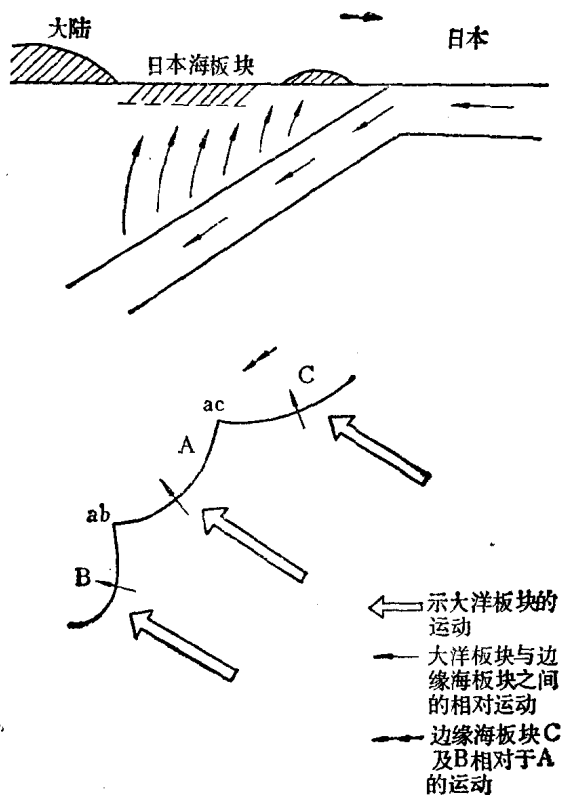


图 5-8 日本海板块形成示意图

应力场的一种途径，即由于板块的碰撞，地壳不断重新下沉而形成的。

边缘海盆作为太平洋造山运动的内侧，有中、酸性的岩浆活动，并伴随有玄武岩的活动，另外还有低压高温型变质作用。同时，有一些火山构造格架带占据了边缘海的位置，从而也可以反过来推论边缘海盆可能是裂谷成因的(图 5-9)。有人指出这种火山-构造带是比较隐蔽的扩张带，仅仅是某一些岛

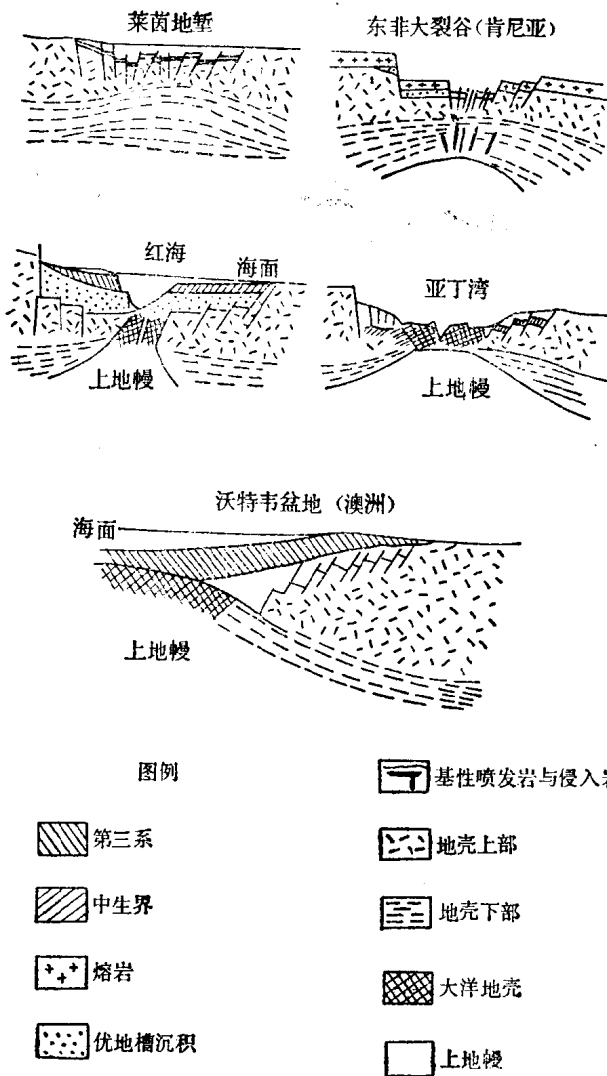
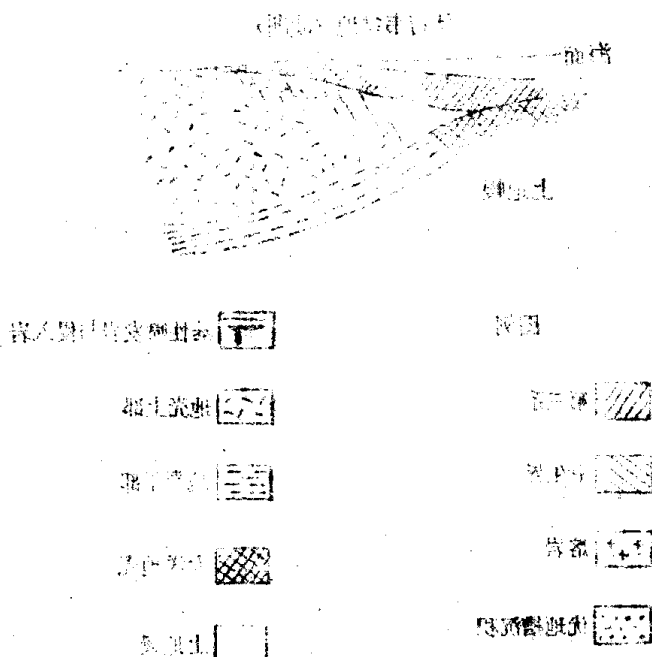


图 5-9 大陆边缘的构造发展简单类型示意图

弧系或它的某一地段,当裂谷带的规模达到相当大的程度时,才会导致岛弧系的新洋壳及边缘海盆的形成。另外,根据边缘海盆中有时被洋中条带受到转换断层及其延伸的破裂带的切截,它的走向又往往和相邻的海沟呈直交的事实,也支持着边缘海盆是由于扩张而形成的说法。至于深海钻探表明,边缘海盆也属于拉裂的成因,同时也指出了,这些边缘海盆的形成年代是相当年轻的。如菲律宾海形成时代不老于 6000 万年,日本南部和日本海西南部的钻探表明,发现来自日本的沉积物堆积于海沟的东南侧,其时代为 400 万年之前,而海沟也大致是同时形成的。



六、板块构造与石油聚集

从板块构造问世以来，人们不仅运用板块构造理论来全面解释许多地质现象，而且还用来解释成矿作用和矿藏分布规律。这是因为，板块构造理论把造山运动、岩浆活动、变质作用、成矿过程能够有机的结合起来，构成一个统一的动力模型，而这些内生作用主要表现在板块的接合带或界面上。目前在大陆范围内发现的有用金属矿床——大部分是热熔矿床（金属硫化物矿床），主要分布于集合型板块的边缘或一度是火山岛弧的下面，后者已部分地潜存于大陆架之下。造成这种情况的原因，可能是当地球内部板块熔化后，所形成的部分含矿液，再次聚集的结果，所以目前它们存在的位置与古代集合型板块的边缘有关。至于分离型板块的边缘，系由于板块在洋底中心扩张增生而成，那里也有矿藏的形成，例如塞浦路斯岛的金属硫化物矿床。那么，石油聚集是否与其他矿藏一样应当受板块构造所控制呢？根据目前所掌握的资料来看，可以做出肯定的回答。

众所周知，石油在聚集之前，首先必须具备石油生成物源的有机物，同时还要有能够储集油、气的场所，即圈闭条件。良好的有机物保存条件应当是缺氧的环境，常常富含硫化氢而不致使有机物遭到破坏而又利于碳水化合物的分解。据气候方面的资料可知，地热变化史对许多有机物，特别是微生物的繁殖和发展起着重要作用，从而能反映出对该时代生油 and 其后地层中所含油、气数量的基本情况。例如，目前已知，在中东地

区,二叠-三叠纪时热量甚大,而至侏罗纪早期时却又和全世界其他地区一样变冷,到了侏罗纪末期又变暖。这样,就有可能判断那些以微生物为主要有机物的繁殖时代,因而能圆满地解释为什么其后的地层中能够含有如此众多的油、气的基本原因。再者,目前已知的二叠-三叠系中有大量天然气存在,它们常常与分布广泛的蒸发岩和红层相伴生,从而表明当时具有较大热量,有利于母岩内油、气的生成,同时也有利于原来形成的石油发生再次运移或遭到破坏(图 6-1)。因此,这一套二

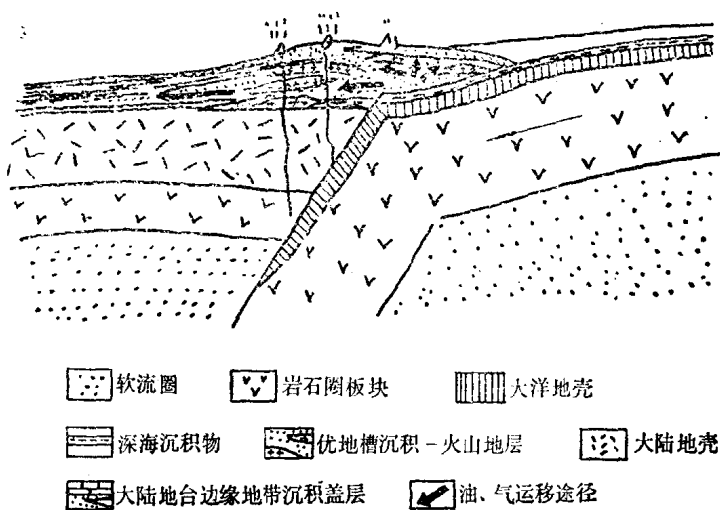


图 6-1 俯冲带附近石油形成示意图

叠-三叠系可以成为其后大量蕴藏油、气的地层(主要指侏罗-白垩系)的母岩。另外,通过古地磁方面资料估算油、气储集岩层分布的古纬度得知,约有 80% 以上的石油分布于沉积期间古纬度不到 30° 的储集层中。甚至其中大部分不到 10° ,而且对于生油层的分布也能得出大致相同的估计。

上述事实表明油、气的生成和储集与板块构造有着相当密切的关系。但具体来讲，它们之间有什么样的直接关系？是否与上面提到的那些内生矿床一样受板块构造控制？即石油聚集是否与集合型板块边缘和分离型板块边缘有着密切的关系？

集合型板块边缘，表现为大洋地壳的岩石圈板块俯冲到大陆地壳的板块边缘之下，沿着其长度方向形成了海沟和一系列的火山岛，而大陆边缘的海盆则被这些火山岛分割成更小的部分。这些海盆甚至包括海沟在内都是理想的油、气聚集的良好场所，再加上海沟和小盆地所处的自然地理条件，限制着海流的循环，特别是在海水缺氧的条件下，更有利于有机物的保存。由分离型板块的边缘发展情况来看，主要是大陆地壳岩石圈板块被扩张裂开，其间的新生的大洋以及大洋周围的大陆对海流循环起着阻碍作用，也会使埋藏于沉积物中的有机物质处于有利的生油条件。特别是与盐层一同沉积的条件下，当有机物和盐层两者均为后来的沉积物所掩埋时，更会促进其中的有机物质的转化。而岩盐又会以盐丘的型式出现，这样就更有利于石油的聚集和储存。

根据目前已知的世界许多大油、气区生油、气层系的资料可知，它们往往与那些持续下沉的和细粒沉积物快速堆积的盆地和凹地有关系。这些盆地与凹地，往往是一边与大陆板块的主体相邻接，而另一边又常（至少有少部分或断续地）以“构造堤”、“火山堤”和“礁块堤”与开阔的大洋相隔开。当生油层系剖面中夹杂着较多的蒸发岩时，则更能推断应当有上述这样的“堤”或构造隆起存在。另外，从热流的数量多少与分布情况来看，也可推断各个地带油、气的生成能力。通常在板块的边缘（边沿）部分，对油、气的生成和聚集来讲，热流是相当重要的因素。现今认为那些深埋的沉积物受到热力的影响范围

可达几百公里；至于由海底扩张而产生的边缘海盆，其中也存在有一定数量的生油岩，所以这一地带也应当是形成大量烃类的重要场所。再加上这里也具有较高的热流，所以更有利于使烃类从原始有机物中逐渐地释放出来。特别是微弱的升温，更可加速烃类的形成。从这些地带的构造成因分析，它们应与板块构造有着密切关系的。从图 6-2 东亚第三纪盆地的构造类型图中可知上述论点是有一定依据的。

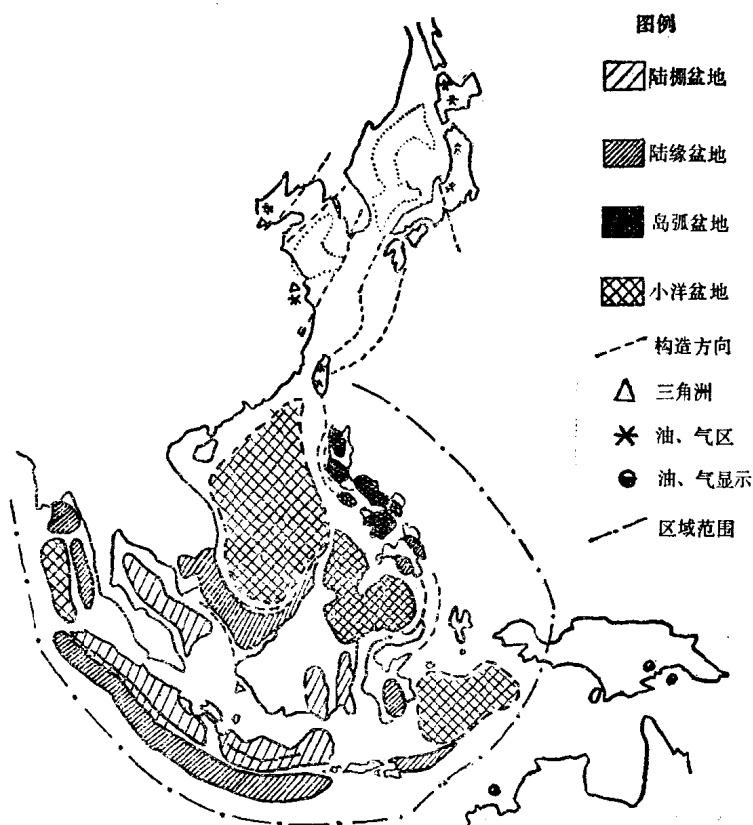


图 6-2 东亚第三纪盆地构造演化示意图

当然，在两个板块相碰撞时，也会产生一定的构造热能，而且在局部地区还会非常强烈，在这样有着异常高热能的地带，无疑地会将烃类驱散殆尽。但这种碰撞接触带，并非所有地区都具有这样高的热能，其中往往有热能较低的地区处于碰撞带的边缘，那里对于油、气的运移因温升而更会有利些，因之寻找这种热流适中的地区也十分有意义。

至于那个大洋中脊及其濒邻地带，由于存在着大量的岩浆活动，因而会产生相当高的热流，对生油看来没有多大影响，因为大洋洋底缺乏生油岩。但是当这样的大洋中脊与大陆板块相交时，就会产生很大的影响，那里岩浆活动无疑地会强烈一些。由于碰撞产生的热能要高一些，这样有可能使已经形成的油、气，甚至油、气藏遭到局部的破坏。就是在这种条件下，也会在其周围产生一些高压气藏。当然，从另外角度来看，当区域温度增高时，烃类会从深部向浅部缓慢地移动，而这种区域温度增高的条件，却往往是由于上面提到的大洋中脊向大陆板块延伸所造成的结果。西西伯利亚的北部能够有一些高产气田，就有人认为是由于北冰洋中脊伸延到那里的大陆板块的缘故。也有人认为，洛杉矶周围的高产油田是位于东太平洋海隆伸入大陆板块的地域。显然，运用板块构造知识来判断地史期间（甚至包括晚近时期）的这种交接地带，则具有重要的意义。通常利用古地磁方面的资料是可以确定这样的地域，同时还可以判断其相接的具体细节，甚至碰撞的角度。

除此之外，如果板块移动到原来产生扩展的大洋中脊的上部时，也会产生较高的热流，这里对于烃类的运移和聚集也是有利的，如加利福尼亚就可能是这样的地域。

这里需要注意另外一种情况，如果用板块构造来解释也是容易解决的。这就是尼日尔河三角洲的两翼地带目前已有不少

的油、气田，但三角洲中部尚未发现过。现已查明，那里石油生成的时代是中新世，根据对板块构造圈绘出来的古地理变化情况可知，当时南美对非洲的影响较小，这与白垩纪前后南美与非洲相邻接的情况已有较大的差别（图 6-3，6-4）。目前认为当南美与非洲开始分离的时候，巴西的圣罗基角与尼日尔河的

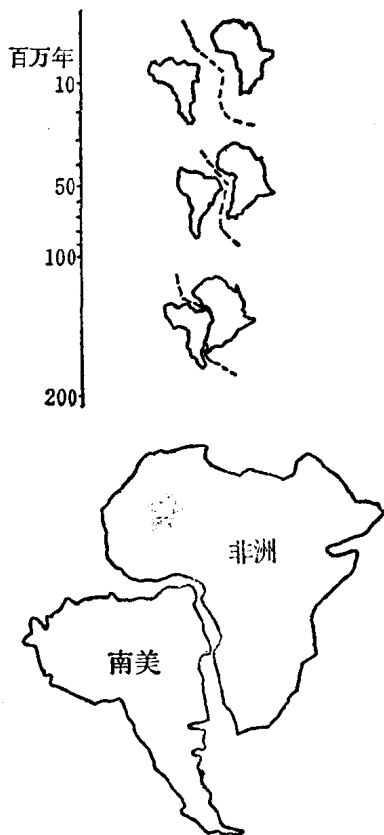


图 6-3 1 亿年前非洲和南美的相对位置

的河口是相连接的，那里一定在地形上构成了隆起部分。这样一个隆起地带形成的地形，一直到较新地质年代它仍然在起着作用。当然，河流通过这里而且构成了现代尼日尔河三角洲中部则是后来发生的事了。在当时既然没有河流通过现代的三角洲中部，所以那里就有可能缺乏生油条件，因而便失去了油、气勘探的意义，至今未发现油、气田。板块构造对现今一些油、气田位置的推断以及预计有希望的油、气分布地带，并不仅仅限于用来阐明它们的位置，而是能够通过阐明一个地区的构造发展经历，来判别它们的生油条件、运移情况及油、气聚集的圈闭类型和分布情况。显然，这与过去大

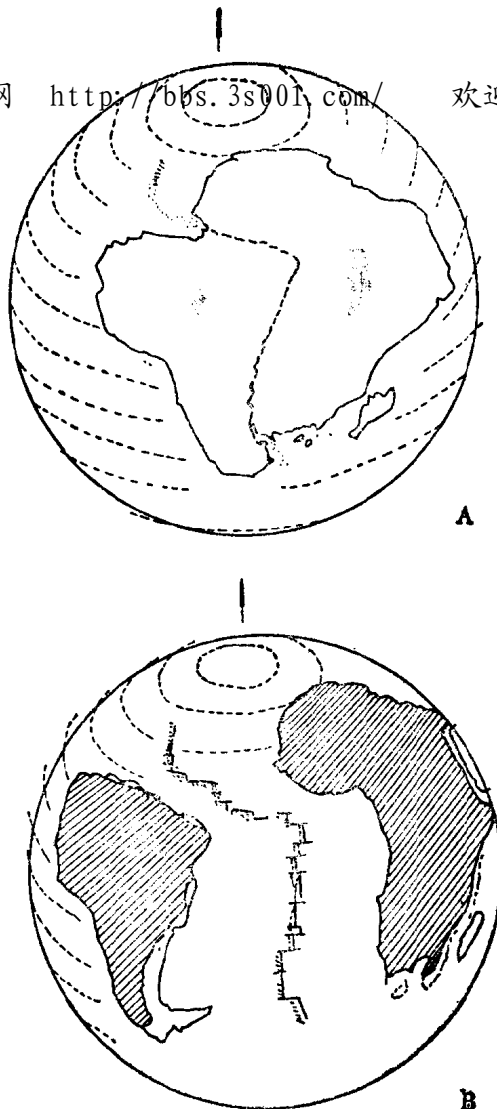


图 6-4 1.8 亿年前非洲与南美的相对位置

A—非洲大陆与南美大陆的拼合示意图
当时这两个大陆结合在一起，共同组成了原始冈瓦纳大陆的一部分。图中粗黑线（包括粗点线）表示以后分离的位置，细虚线则是转动轴四周的纬度线

B—非洲大陆与南美大陆的相对位置示意图
从现今仍活动的大西洋大洋中脊来看，两个大陆还在不断地以等距离移动着。由于从大洋中脊涌出的熔岩不断增加，致使大陆裂解

陆板块的具体分布和碰撞或扩张过程,古气候、古地理条件以及构造运动特点有着密切的关系。最近依据地热梯度的研究,也有人指出在尼日尔三角洲中部的深层是有油、气潜力的,这是注意到液态烃“窗孔”的分布所推断的。

如前所述,分离型大陆板块形成的海洋之一般情况,这里再补充一些。由于常常成为来自大陆地带的丰富有机物聚集地域,如果那里的海洋处于氧气不畅通的条件,因而能使有机物保持下来。特别是当海水处于具备着蒸发的条件时,水分可源源不断地来自外海,更能补充一些有机物质,这对于油、气生成很有利。岩盐可以在后期形成盐丘,更有利于油、气聚集。目前已知大约有90%以上的油、气田,都与蒸发岩有关系,这说明了蒸发岩的形成条件与烃类的起源、运移和保存条件有关。当然,形成蒸发岩必须具备着长期沉降的条件,这是受构造运动控制的,完全可以用板块构造来解释。当然分离型板块还会导致诸如三角洲和水系以及其他自然地理现象和构造现象加以分开的事实。此外,当大陆板块相碰撞时,也会形成新的山系,从而也能改变当时的水系流向。但目前所看到的含油、气盆地,仅仅是过去那种能够生油、储油的盆地的一部分,也就是能避免遭到由于板块相碰撞而导致油、气受到破坏的那一部分盆地。换言之,有一些盆地在目前业已消失。同时也可看到,当板块相碰撞时,还会有一些盆地可以被保留下来,例如波斯湾盆地就是由于印度板块迅速地向北移动而能保存下来的实例(参见图6-5)。

有人为了进一步说明板块构造对油、气形成、运移和聚集的控制作用,曾对盆地的类型进行重新划分,从而找出油、气分布的一般规律。注意到了沉积盆地所在的大地构造位置这个重要关键,以及它们与油、气藏、构造变动之间的密切关系,

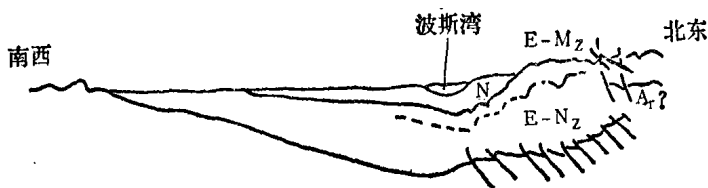


图 6-5 从阿拉伯地盾到沿扎格罗斯褶皱带西南边缘
大逆掩断层带横剖面示意图

在这个基础上，提出含油、气盆地的板块构造的新分类，是有着重要意义的。有人曾提出划分三大类（坚稳岩石圈内的盆地；在坚稳岩石圈上伴有挤压的或位于挤压巨型接合带内的环接合带盆地；位于挤压巨型接合带内的浅接合带盆地）并细分为八个亚类。值得提出的是在环接合带盆地内的中国型盆地，不仅在我国存在，而且在中亚也存在，以巨厚陆相沉积为特征。由于中-新中代时经历着明显的构造分异作用，在大陆板块范围内必然存在着大型沉积的湖盆，在长期持续性沉降后，可以堆积巨厚的中-新生代沉积，它们其中常常含重要的生油、储油岩系的，当然，由于断裂作用造成的分隔性也强，这些断块在特殊条件下也可以生成油、气并聚集起来。在板块分界面上和板块内部的垂直运动对油、气的生成、运移和聚集是有着密切关系的，关键在于如何解释这些垂直运动，特别是用板块构造理论加以解释。应当指出：这种新分类是考虑了板块与板块间的接触关系，他们将俯冲带分为两种类型，即：（1）A型俯冲带〔克拉通层序在莫霍界面上，俯冲到板块间的巨型接合带之下（比较浅，规模也小）。这种接合带实质上是新形成的大陆地壳〕。（2）B型俯冲带（这是海洋地壳俯冲到硅铝质的大陆地壳之下，或者在岛弧下倾伏，再返回到地幔上部软流圈内，因

而规模较大；海洋中半固结的沉积物可因此形成“混杂沉积”，图 6-6、图 6-7 和图 6-8 是几种类型挤压巨型接合带的示意图

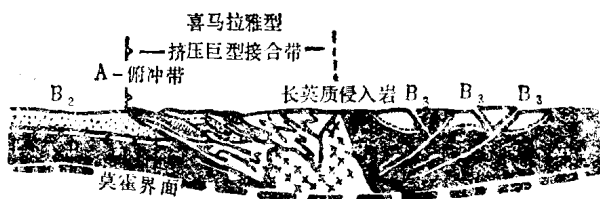


图 6-6 喜马拉雅型巨型接合带示意图
(表示各类盆地的位置)

B₂在坚硬岩石圈上伴有挤压的或位于挤压巨型接合带内的环接各带盆地大类中的前陆盆地或者是邻近 A 型俯冲带的大陆地壳上的凹地，并因块断作用形成次级凹陷，层系中存在较多的不整合，其中海侵生油岩系常为碎屑楔形体，也有以碳酸盐岩为主的。B₃即中国型盆地



图 6-7 巴尔干型挤压巨型接合带示意图
(表示各类盆地的位置)

C₂位于挤压巨型接合带内的浅接合带盆地中的旋转型盆地。长期以来，认为是褶皱区内中间地块上的盆地。从板块构造观点看，应是位于 A 型俯冲带的凹地，以高热流伴随广泛的正断层为特征，该处具备有生油及圈闭条件

目前，世界上仅有几个少数大油、气田位于大陆边缘或板块边缘。但从中-新中代含有大油、气田的沉积盆地所处的大地构造位置来看，则无疑都可以认为均位于大陆边缘或近于大陆边缘。这就是近几年来人们着重研究陆缘带的原因。有人提

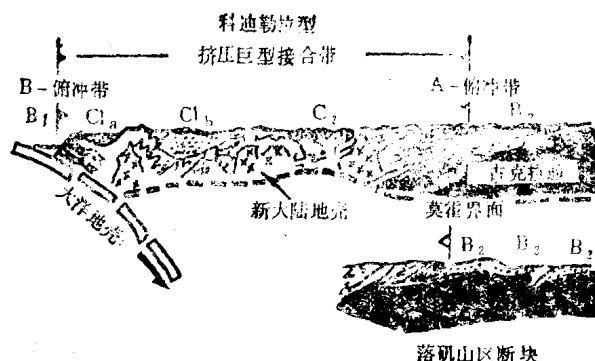


图 6-8 科迪勒拉型挤压巨型接合带及落矶山型块断作用示意图(表示各类盆地的位置)

B₁ 在坚硬岩石圈上伴有挤压的或位于挤压巨型接合带内的环接合带盆地中的深海沟

C_{1a} 与 B 型俯冲带伴生的盆地中的前弧盆地

C_{1b} 与 B 型俯冲带伴生的盆地中的环太平洋内弧盆地

出全球剪切应力系统, 并用来控制沉积盆地所处的位置, 甚至控制油、气圈闭的形成条件。图 6-9 表明板块与含大油、气田的沉积盆地的所在位置以及全球剪切应力系统的关系。有人业已明确指出: 经向和纬向的第一级剪切应力系统的水平应力场, 可以产生大型背斜构造, 而第二、第三级剪切应力系统, 则可形成拖曳褶皱。例如北美洛杉矶盆地内那些具有方向性排列的油田, 显然是在与圣安德列斯转换断层有关的各级拖曳褶皱中。再如巴西雷康卡沃盆地内油田多为北北东、北北西两组排列, 也是与水平滑动断层有关, 参见图 6-10。

以上涉及的有关内容, 都说明了板块构造对油、气生成、运移、聚集以及含油、气盆地的发展都有着重要控制作用。尽管目前仅仅停留在初步认识阶段, 随着新技术方法的广泛使用, 更多的资料一定会全面、系统地阐明板块构造对油、气田分布

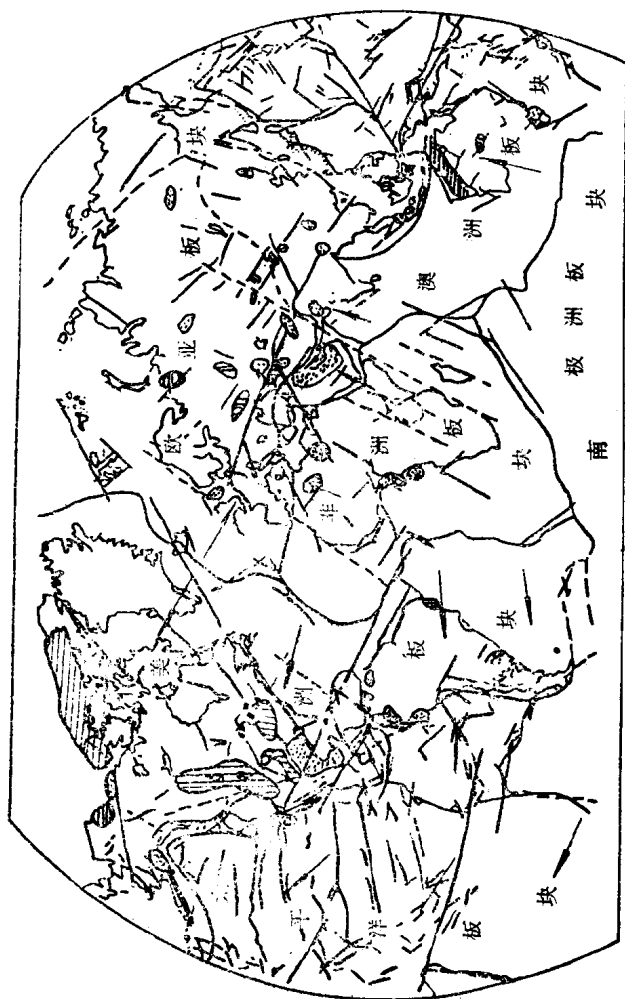


图 6-9 世界大油、气田所在的沉积盆地的构造位置
与六大板块以及全球剪切应力系统的关系
(箭头表示板块运动的方向)

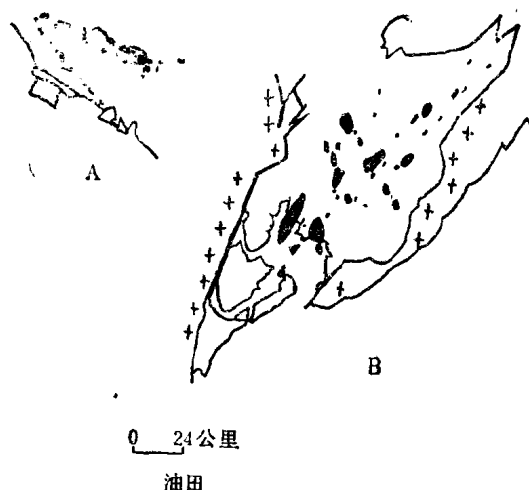


图 6-10 北美洛杉矶盆地 (A) 及巴西雷康卡沃盆地 (B) 的油田分布示意图

所起的控制作用。

必须指出：目前人们对板块构造的理解，尚存在着相当不同的认识。而且持反对态度的人，还不断地从各个方面列举事实进行非难。但板块构造是和其他新的地质假说一样，在不断增多的证据面前会逐渐趋于完善。

结 语

地质科学的特点是既要有大量的第一性资料,还要有合乎辩证唯物论的逻辑分析与推理。在科学上,地质科学曾被认为是最稳定的科学;然而近几十年来,它却有着新进展的。地质学已脱离了描述性的资料和积累阶段,进入到充分利用最新的科学成就,从而加深了与许多科学(或学科)间的关系,并发展了地球物理、地球化学之类的边缘科学。这里很重要的一点也许就是地质科学思想的进展。“固定论”曾盛行了几十年,只有在新的事实日益增多的条件下,才不得不重新考虑这种传统的地质理论,究竟能不能适应新认识到的事实,是否需要有一种新的概念。板块构造可以说是经历长期探索后应运而生的学说。它固然也可以被认为是新的“漂移论”或“活动论”,然而,它是有一定的事实作为根据的。尽量可以有不同的解释,但却并不能作出任意的抉择。岩石圈地壳本不是简单的弹性体,单纯的应力分析,可能也难以解释如印-澳板块的北移和南极板块现在所处的位置等这样的一系列问题。转换断层的提出,尤其是一种新颖的概念。在地质科学方面确实有不少要靠抽象思维才能把握住的概念。这是由于地质过程不能完全模拟地进行实验的原故。板块构造是一种新说,不免有不少缺陷,但它作为地质上的一种新的理论基础,将逐渐会对实际工作有指导意义。尽管目前探讨得还不够深入,有的问题尚有争论,但为了明了它的基本情况,我们还是将比较感兴趣的几个问题加以简单的说明,以便了解当前这些问题研究的梗概。如果说能对读者有些帮助的话,这将是我们所期望的。最后应当指出的是,我们对于板块构造的有关各方面的理论要有更全面的了解,同时还应随

时注意它的发展,以便作借鉴。

参 考 资 料

- [1] 尹赞勋:《板块构造简介》,全国地质工作会议参考文件,1972年。
- [2] 李春昱:《试谈板块构造》,西北地质科技情报,1973年,1期增刊。
- [3] 张文佑:《板块构造学说和大地构造理论的发展》,1974年,在××油田的讲话。
- [4] 李春昱:《中国若干山系的构造演变应用板块构造概念进行解释》,地球物理学报,18卷,1期,1975年。
- [5] L.L. Sloss: «Synchrong of phanerozoic sedimentary-tectonic event of the North American Craton and the Russian platform», 1972, 24 th, I.G.C. section 6, pp. 24~32.
- [6] Keene swett & David. E. Smit: «Cambra-Ordivician shelf sedimentation of western Newfoundland, Northwest scatland and Central East Greenland», 1972, 24 th, I.G.C. Section 6, pp.33~41.
- [7] N.C. Wardlaw & G.D. Nicholls: «Cretaceras Evaporites of Brazil and west Africa and their Bearing on the theory of Continent, separation», 1972, 24 th, I.G.C. Section 6, pp.43~55.
- [8] Thomas J. M. Schopt: «Permo-Triassic Extinctions, Relation to sea-floor spreading», 1974, The Journal of Geology, Vol.82, №2, pp. 129~143.
- [9] J.W. Valentine & Elaridge, M. Moores: «plate tectonics and the History of Life in the oceans», 1974, Scientific. American, Vol. 230, №.4, pp. 80~90.
- [10] A.R. Grawford: «The Indus strare Line the Himalaya, Tibet and Gondwanaland 1974 Geological Magazine», Vol.111, №. 5, pp.369~389.
- [11] W.B. Houver: «New tectonics Theory has origin in Convection Cells», 1974, world Oil, Vol.178, №. 6, pp.104~106.
- [12] J.D.A. Pipes: «Peterozoic Crustal Distribution, mobile belts and apperaent polar movenments», 1974, Nature. Vol.251, №.5474, pp.381~384.
- [13] A. Hallan: «Alfred Wegener and the hypothesis of Continental (Drift)», 1975, scientific American, Vol.232, №. 2, pp. 88~97.
- [14] David, J.J.Kinsman: «Salf floor to Geosynslines», 1975, Nature, Vol.225, №.5507, pp.375~378.
- [15] R.B. Hargraves: «Precambrian Geologic history Continents gre-vias and emeryed from beneath the primordial Sea», 1967, Science, Vol.193, №.4251, pp.3:1~636.