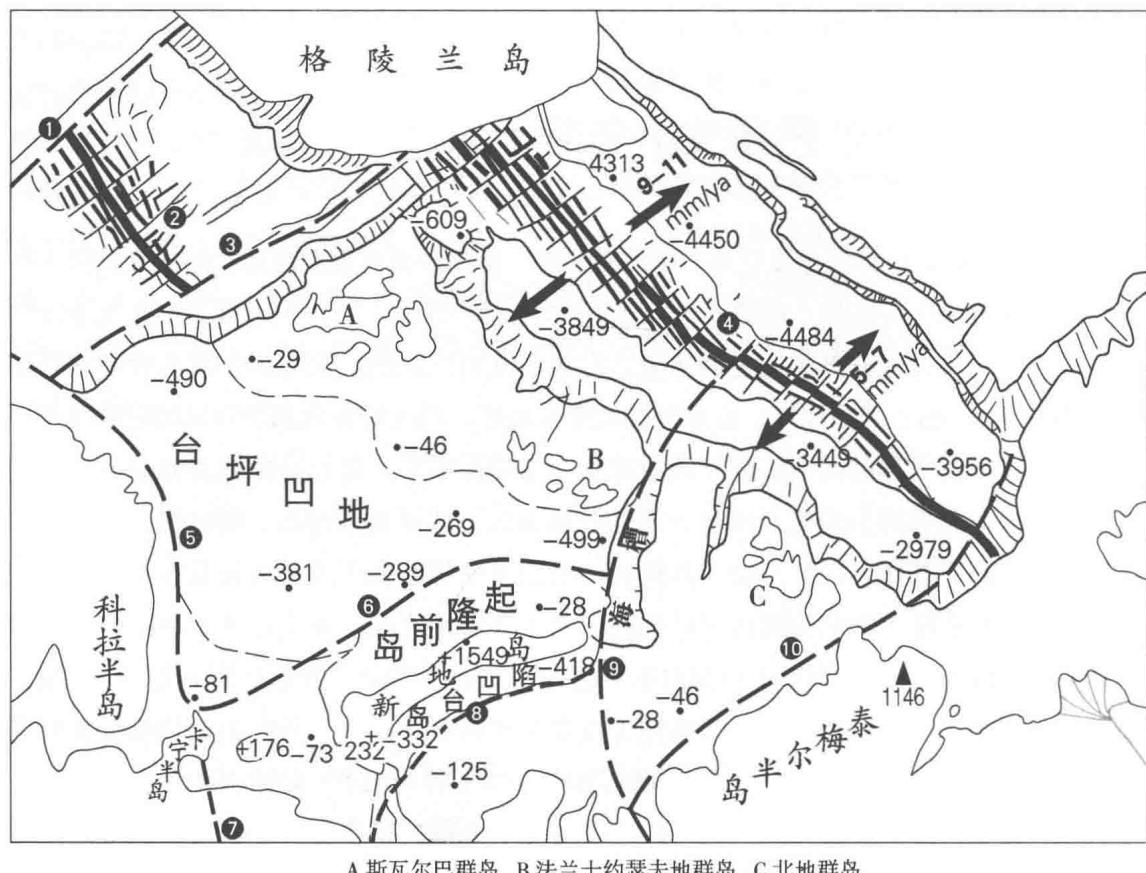


1.2 巴伦支(年轻台坪)中板块

巴伦支海有时也称巴伦支台坪，现代地学界一般都认为它是东欧地台的向北延伸（中国地矿部地质词典编辑部，1983）。这个台坪以北部的西斯匹次卑尔根群岛、斯瓦尔巴群岛、法兰士约瑟夫地群岛和北地群岛为边缘置于欧洲以北的极地圈内。现在台坪都是较深（-200 ~ 400m）的陆棚海，且处于极地寒冻地区，因此调查困难而对其构造演化至今知之甚少。本书所称的现代巴伦支板块除北部主陆棚海外，还包括挪威海盆及其南部原属东欧地台东北部的伯朝拉台坪和北部乌拉尔山区，即涵盖新地岛、喀拉海与北部乌拉尔及其山前的下鄂毕河凹陷平原。具体说，巴伦支亚板块位于北美大板块（格陵兰与加拿大海盆）和亚欧大板块所属的北欧与北亚两个亚板块之间。板块总体呈不规则的梯形外形（图 1.19），其曲折北界（自西向东）由①扬马延破裂带、②北大西洋北端莫恩斯扩张脊轴、③北冰洋北界断裂、④北冰洋（南森）扩张脊轴构成，西南边界包括⑤北欧陆坡断裂—伊谢季河断裂，东南边界为⑩北泰梅尔一下鄂毕河 NE 向断裂带，其他断裂见图 1.20。显然，板块形成与现代运动的驱动力在于北部的扩张脊，它推动以台坪为主体的巴伦支板块南移并产生板内差异运动，使西南边界在原北欧板块北移右旋时形成古老前锋山链（季曼岭）。在经历准平原化后，再次南移与左旋，导致古老山链回春成为复活山岭。西季曼岭环绕科拉半岛，因现代北欧板块的南移与右旋沉降成为水下的季曼岭，而东南段（伯朝盆地西南缘）即成为海拔三四百米（最高 463m）的东季曼岭。据本研究推测，北泰梅尔一下鄂毕主剪切带从早白垩纪以来，北冰洋阿尔法老洋脊和现代南森洋脊的先后扩张而形成右剪切，特别是新近纪以来可能由于南森洋脊“西快东慢”的差异扩张，巴伦支台坪的左旋增强，东南边界（北泰梅尔断裂）最迟在第四纪停止活动。停止活动的依据在于，下鄂毕河平原上广布的中更新世大陆冰川沉积在断裂两侧没有任何变动（各种比尺地貌图都这样显示），因此本计划的 Timofeyer 等（1995, 2011）两位俄罗斯合作者都认定该断裂最晚从中更新世停止活动。本研究认为这一右剪切停止活动可从一个侧面证实，由于巴伦支板块近代左旋的增强，巴伦支板块约在第四纪并入北亚洲的一级亚板块之中（详见 1.2.1.3 小节）。但是，北乌拉尔山前断裂仍然有左剪切的回春活动，使下鄂毕河平原继续断陷。现代在北冰洋扩张的驱动下，巴伦支板块西南与东南边界分别形成北欧东北边缘的 NW 向逆冲断层（即台坪南移与下冲）和北乌拉尔山前的 NE 向左压扭断裂。

仅供个人科研教学使用！



断裂带（部分推测）名称：

- ① 扬马延 ② 北大西洋北段莫恩斯脊轴 ③ 北冰洋北界 ④ 南森扩张脊轴 ⑤ 北欧陆坡 ⑥ 白海—北新地岛
- ⑦ 季曼岭山前—伊谢河 ⑧ 北乌拉尔山前 (⑦⑧断裂在图外) ⑨ 斯维雅塔亚安纳海 ⑩ 北泰梅尔

图 1.19 北冰洋扩张在巴伦支海的造貌构造显示

Figure 1.19 Barents's Morphotectonic Demonstrate of Arctic Ocean Spreading

1.2.1 巴伦支板块形成演化问题

巴伦支板块的构造演化是亚欧板块中了解最少的极地陆棚海，但是由于北冰洋的新老扩张脊直接构成板块的北部边界，北冰洋的扩张历史不仅对了解巴伦支板块运动有意义，而且对研究整个亚欧板块的新构造运动和现代地貌变形都有重要意义。亦即，从北冰洋形成以来，巴伦支板块的各种运动都直接为北部亚欧大陆的变形提供驱动力。为此研究目的和亚洲陆海地貌图及其板块造貌构造图的需要，本研究在已有分散信息的基础上

上，根据板块学说的基本原理，结合台坪及其邻区古地磁重新演绎了板块的形成历史及其现代板块、亚板块分异。研究结果初步分析简介如下。

1.2.1.1 巴伦支构造基础及其板块形成演化问题

原苏联的地质研究发现，在上述西斯匹次卑尔根和法兰士约瑟夫地等群岛存在缓倾斜的中生代与古生代沉积层，但是巴伦支台坪的基底也许和季曼—伯朝拉台向斜一样都是贝加尔期（新元古代末）的构造。据《欧洲地质》一书介绍，北部的北地群岛出露古老的片岩与花岗岩系，其同位素年龄为新元古代末（600Ma），包括年龄为430~390Ma（ S_2^1 — D_2^1 ）的变质岩等，因此，它被认为是分别代表巴伦支克拉通小板块的主体及其后受加里东运动影响的变质作用。寒武纪地层从北欧爱沙尼亚的芬兰湾南岸向北一直伸向巴伦支海（Ager, 1980；盖宝民, 1990）。据世界古地理图修改者Scoteseetal等（1990）推断，巴伦支海陆块（包括斯瓦尔巴群岛）约在早奥陶纪之前与劳亚古陆拼贴（可能指微古陆增生—拼接于北欧克拉通的边缘），并在其后与格陵兰的东北部发生碰撞（即上述北美在古生代强烈右旋，使其东北部的格陵兰与西北欧—巴伦支碰撞，形成两者之间近南北向的加里东褶皱带），后在晚奥陶纪—早志留纪再从劳亚古陆裂离（可能指拼贴后再与北美、格陵兰和北欧断离而形成近代格局）。斯匹次卑尔根岛有许多粗玄武岩床切穿中生代地层，该岛西海岸有第三纪的强烈褶皱存在，这都是大西洋近代扩张的结果（Ager, 1980）。原苏联地质学家从台坪北方诸岛出露的地层推测，台坪古—中生代地层为缓微倾斜产状，台坪南部为季曼—伯朝拉台向斜。这里与俄罗斯地台的主要差别在于，伯朝拉台向斜基底的时代为贝加尔期广泛的线性（断裂）构造。台向斜的沉积盖层从奥陶纪开始，沉积盖层的厚度为5~6km，有的地方达8km。西北部沉积盖层还包括1~2km厚的近水平的古—中生界地层，其下皆为晚元古代贝加尔期的古老褶皱基底。在季曼岭—伯朝拉台向斜的西北部，在伯朝拉海的水下，它与分布在巴伦支海大陆架内很深的南部巴伦支台向斜连成一片。正如俄罗斯北极地质科学院的海底采挖证明的那样，这里的海底之上发育着中生代和二叠纪的地层。地球物理勘测揭示，地层是几乎水平的产状。再向西北是挪威以北，填充着中—新生代与古生代岩石的诺尔德卡普盆地。据海洋地震勘察推断，这里的盐丘构造可能是二叠纪的（纳利夫金, 1980, 1987）。关于它邻区板块的关系，据Helamov（1991）古地磁信息可知，东欧地台从早奥陶纪到它与北亚地台在早二叠纪碰撞之前，东欧地台共左旋了126°，此间东欧地台有两次右旋，合计右旋了34°（表1.1），如果扣除其右旋还有92°的左旋量。据此可以推断，东欧与北亚在未拼合之前，两个地台相距较远。但是如果把巴伦支台坪围绕东欧地台右旋92°回到原来区位，那么它此时就大致位于古乌拉尔海的区域。于是从此可以推断，除巴伦支西南部的季曼

仅供个人科研教学使用。

岭—伯朝拉台坪为东欧地台的直接延伸之外，其北部的巴伦支主台坪在早古生代都是与西西伯利亚台坪一样同属一个加里东与早海西的褶皱造山带，而到晚海西期，它则被克拉通化与准平原化成年轻地台（参见 1.4.3.3 小节）。此外，表 1.1 与表 1.3 的古地磁还表明，东欧地台与西北欧地盾分别在 D₁ 与 P₂ 之后都以北移为主，这也将推挤巴伦支引起褶皱、隆起。如《欧洲地质》一书认为，在北方的斯匹次卑尔根岛一带泥盆纪的扭裂地堑发生隆起（这不仅说明此前存在扭裂作用，而且反映其后的构造隆起），早石炭纪沉积有植物化石出现，其底部砂岩以明显的不整合面沉积在下伏的岩系之上。至二叠纪末地壳开始出现阶段性沉降，整个中生代—古近纪的沉积史显示着巴伦支海水的进退过程。其中，J₂³⁻⁴ 在北方诸岛都表现为较大的海侵，如法兰士约瑟夫地岛中侏罗纪的巴柔阶（J₂²）有浅海相动物群发现（Ager, 1980）。我们认为这应该是对上述北美 J₁₋₂ 与北部亚欧斜碰撞引发巴伦支沉降认识的一种证实。

至于它为何沉降成台坪，据广泛地震探测获得的晚新生代构造演化及其与油田的关系认为，西南巴伦支海有一个大型盆地，它由几个次级的垒堑构造组成，下伏着变薄的陆壳。盆地的西界是大陆边缘，它形成于盆地区的陆壳和格陵兰洋壳之间的过渡带，最老的磁条带为 56Ma（E₁³）。一些盆地（如索尔维斯特纳吉特盆地）就是古新世大陆开裂形成的，但最老的构造（如位于大盆地西南的北角盆地与芬马克海台）都是古生代产物。此外，偏西部还有中生代构造，如熊岛盆地，而最年轻的即毗邻的挪威—格陵兰海盆。沿巴伦支海三条地震长测线的三条横剖面显示了局部厚度达 12km 以上的巨大沉积厚度，据此确定盆地形成于 400Ma，经历了几个裂谷时期。对巴伦支海构造历史，他们认为存在四个拉伸期：① 375 ~ 325Ma（D₂¹—C₁³）、② 245 ~ 241Ma（T₂¹—T₂²）、③ 157 ~ 97Ma（J₃²—K₂¹）和④ 60 ~ 50Ma（E₁²—E₂¹）。其中，除③为广泛的区域沉降期外，其他三次皆为裂谷期，这些裂谷—断陷期的最大拉伸中心有从 SE 向 NW 迁移的趋势，从而形成巴伦支台坪的垒堑构造（Reemst et al, 1995）。据毗邻板块古地磁所显示的板块运动判断，第①裂谷期可能与北美—欧洲共同大右旋拖曳台坪发生左扭裂有关，因为此时北大西洋尚未形成，欧洲与美洲连成一体，如表 1.1 所示，东欧在 392 ~ 373Ma（D₂¹—D₃¹）大右旋 16°，北美的晚古生代大陆复原图也显示在大右旋之中（Seyfert et al, 1979）。第②裂谷期可能与东欧地台当时的左旋有关。第④裂谷期，据 Pitman (1974) 海底磁年代，可能与挪威海盆外侧的老大西洋在 58 ~ 36Ma 扩张有关，即那里洋脊的扩张将驱动巴伦支台坪发生左旋。上述裂谷从 SE 向 NW 的迁移方向与这种左旋运动的推断完全一致。第③的广泛区域沉降期可能与北美板块左旋对北部古亚欧大陆碰撞，使北亚地台与巴伦支发生右旋而南移有关。如北亚地台 J₁²—J₂¹ 南移 7.6° 和右旋 13.3°（表 1.5），东欧在 156 ~ 139Ma（J₃²—K₁²）也南移 6° 和右旋 16°（表 1.1）。值得注意的是，巴伦支板块的南移紧跟在北亚与东欧两

大主地台的超壳厚板块南移的后方进行，而厚板块的南移将在后方留下物质亏损的空间，从而导致巴伦支地台沉降为现代的台坪。4.1.1.2 小节和 4.1.1.3 小节将有特别说明，随着亚欧大陆在中生代末以来的离极运动，其后南森洋脊的扩张，巴伦支北缘大陆坡发生差异升降运动，即台坪朝北欧主地台推挤，因受巨大地台厚板块阻挡，导致台坪向南微弱倾斜；同时新海盆接受厚层沉积，因海盆负荷沉降而盆缘翘升，即出现被动边缘最常见的向陆掀升现象。于是，北部台坪隆起形成现代的斯瓦尔巴、斯匹次卑尔根、法兰士约瑟夫地与北地群岛等一系列隆起岛块，而台坪南部则相对沉降，形成现代 -381 ~ -490m 的最深陆棚海。

1.2.1.2 巴伦支与邻区古地磁对比及其板块运动学

如本章开始所说，原始大西洋从奥陶纪开始出现重要的闭合事件，即在北美与欧洲拼合形成加里东褶皱造山带。于是，从奥陶纪到晚三叠纪末或早侏罗纪初，在近代大西洋开裂之前，北美与欧洲（包括巴伦支）成为北半球一个复合大陆型的巨板块。但是据现代板块学说的岩石圈可分层性概念，复合大陆组成的巨板块在板内可以出现差异运动。如果巴伦支台坪古地磁的标准序列（表 1.2）与邻区板块的古地磁进行对比，对研究巴伦支板块的形成与演化有重要意义。为此目的，首先本书将它与东欧对比，发现：大致从早奥陶纪到晚泥盆纪，两者的古地磁（表 1.1 和表 1.2）虽然都是“一左两右”的旋转，但是两者旋转的发生时间差异极大。例如，第一次左旋，巴伦支在 489 ~ 460Ma 发生左旋仅 1°，而东欧在 497 ~ 392Ma 发生大左旋 119°；第二次左旋，巴伦支在 443 ~ 371Ma 发生左旋 30°，而东欧在 373 ~ 357Ma 发生左旋仅 7°；其间的右旋，巴伦支与东欧的比是 1:16。有意思的是，两者的右旋都可能发生在南半球，如前者在 460Ma 与 443Ma 时分别位于 -14° 与 -8°，两者的两次左旋除前者一次左旋分别发生在 -5° 与 -14° 之间，其他三次左旋都发生在北半球（表 1.1 和表 1.2）。这基本上证实本书所总结的一个基本规律，即除板块边缘直接受扩张脊控制外，板块旋转的一般规律都是南半球右旋而北半球左旋，因为地球旋转时的地表线速度在赤道为 464m/s，而在极地趋于 0m/s（参见引言第三部分的板块旋转碰撞概念）。早 - 中奥陶纪时，巴伦支的部分板缘直接由泛古大洋或古太平洋的扩张脊组成，使它的旋转出现例外，而其他的旋转都受全球总规律的控制。这种对比还发现，巴伦支与东欧至少从早奥陶纪到晚泥盆纪都在全球板块旋转规律控制下，分属两个不同的亚板块。此外，本书对巴伦支与北亚的古地磁对比结果显示，从整个早古生代的长阶段看，巴伦支与北亚的旋转虽然不同，但是两者也存在一定关系。例如，北亚板块在 530 ~ 420Ma 有“一左两右”的旋转（530 ~ 480Ma 和 460 ~ 420Ma 先后右旋 13.3° 和 0.6°，而其间为左旋一次 6.4°）；而巴伦支在 489 ~ 374Ma 有方向相反的“一右两左”

仅供个人科研教学使用。

的旋转（489～460Ma 和 386～374Ma 先后左旋 1° 和 30°，而其间右旋 1°）。值得注意的是，早古生代北美板块与巴伦支拼合为一，即两者沿加里东褶皱带碰撞缝合，据 Serfter (1979) 古纬度估算，北美板块从 O₁—D₃¹（约 425～382Ma），右旋了 30°～40°，而巴伦支在 460～443Ma 右旋仅 1°，这可能是它靠近北美右旋的旋转轴附近的原因；而巴伦支先后两次左旋 1° 与 30°，这可能是北亚板块先后两次右旋 13.3° 与 0.6° 拖曳反转的结果，因为大板块的旋转往往拖曳小板块产生反转。这说明巴伦支台坪在早古生代的旋转运动主要受北亚板块旋转运动的制约，而与北欧板块基本上没有关系。但是如上所说，从晚泥盆纪开始巴伦支的运动与北欧板块基本一致，说明此后它与北欧克拉通在岩石圈的层次上拼合为一，但在地壳层次可以出现板内较小的差异运动。到 120Ma (K₁⁵) 之后，巴伦支（乃至整个亚欧现代板块）的运动在总体上都受北冰洋扩张的制约。例如，Helamov (1991) 古地磁显示，巴伦支海板块在燕山期大右旋之后，在 120～105Ma (K₁⁵⁻⁶) 反转为左旋，虽然仅有 1°，但此后从南森洋脊在 E₁¹ 开始“西快东慢”的扩张，可判断巴伦支板块在 105Ma 以来主要都在左旋之中。这可从巴伦支左旋把中乌拉尔山梁截断得到证实。如俄罗斯著名地质学家纳利夫金(1980)认为，乌拉尔分水岭已被许多断裂所切穿(图 1.21)。本书依据苏制详细水系图跟踪，沿断裂发育的水系以 NW-SE 走向已穿越乌拉尔山脊。其中较明显的穿山断裂简称为岭南断裂，它大致沿季曼岭—车尔尼雪夫山梁的山前断裂（或丘索瓦亚河）向东南延伸，穿过乌拉尔脊后又经斯维尔德洛夫斯基城向 SEE 与伊谢季河断裂相接。从切穿山系的岩层看，山岭南北断裂可能都属全壳与中壳之间的活动层次（参见 1.2.2.1 小节的⑦号断裂）。过去，这种 SN 向山系被拦腰折断的现象令人费解，但是现代与板块旋转联系起来就迎刃而解了，即巴伦支板块左旋沿其边界——季曼岭—波利乌多夫岭山前断裂发生右剪切，从而穿越中乌拉尔山地。如果这种分析正确，NW-SE 走向的中乌拉尔断裂应具有右剪切性质，并可能与北亚板块南缘右剪切的主边界大断裂——额尔齐斯—中蒙古—德尔布干断裂相连。上述现代板块运动学的分析已得到古地磁标准系列近代运动的证实。因此可初步判定，白垩纪以来特别是新生代，巴伦支板块已并入北亚主地台亚板块，导致扩大后的现代北亚洲大板块发生整体性左旋运动，而北欧板块的现代右旋在 1.1.1.3 小节 (4) ⑤ 条与 1.1.3.1 小节 (2) 条已有详细说明。总之，北亚欧板块现代右旋的动力源与巴伦支和中—西欧两个亚板块的合力左旋拖曳，以及亚得里亚海和黑海等微板块向西北推挤都有密切关系。至于北欧新近纪以来的南北运动问题，虽然没有古地磁的直接证据，但是从北冰洋的现代扩张可以推断是南偏东方向移动的，这与威尔逊 (Wilson) 在 1965 据现代海底扩张绘出的当代大陆运动图基本一致，即该图显示在北大西洋和北冰洋扩张力的驱动下，现代亚欧大陆总体而略有差异地朝 SSE 运动。

仅供个人科研教学使用！

1.2.1.3 巴伦支与东欧壳层分离和可能拼入北亚问题

现代巴伦支台坪与俄罗斯地台都已发表古地磁标准系列，通过两者的比较可获得巴伦支与东欧两板块离合历史的有关信息。表 1.2 的采样地点，巴伦支与伯朝拉分别是水下与陆上的台坪，同属巴伦支一个构造单元。据纳利夫金（1980）《苏联地质概论》中的构造分区，巴伦支属俄罗斯（东欧）台坪的延伸。本研究的亚板块分析，现代巴伦支亚板块不仅包括伯朝拉、新地岛，而且包括北乌拉尔山系及其东部的下鄂毕平原。虽然巴伦支亚板块曾是东欧地台的延伸，但据本研究初步的层块构造分析，现在两者又似乎在地壳的层次上分裂，从而拼入北亚洲（西伯利亚）大型一级亚板块。这种认识已得到它与东欧地台古地磁序列对比的支持。表 1.2 与表 1.1 对比显示，从晚二叠纪—中三叠纪，巴伦支板块拼合于主板块东欧地台，两者古地磁标准序列基本一致，即两者都是“先左后右”的类似旋转。如东欧地台在 $281 \sim 232\text{Ma}$ 左旋 26° ，巴伦支在 $252 \sim 244\text{Ma}$ 左旋 11° ，而此后前者在 $232 \sim 216\text{Ma}$ 右旋 14° ，后者在 $244 \sim 194\text{Ma}$ 右旋 4° 。这样，除后者略超前于前者外，两者基本同步。这可能与两者合一时期其旋转极较接近东欧地台有关。因此不论左旋或右旋，作为突出部的巴伦支都有所超前。这是两者合一时期，后者 $T_3^2-J_2^1$ 之后巴伦支继续右旋，而东欧地台在 $216 \sim 196\text{Ma}$ ($J_3^2-J_1^2$) 则左旋 33° 。对此本书认为，此时正处中大西洋开裂而使泛非洲发生右旋时期（在第 2 章进一步说明）。泛非洲在晚古生代与西欧大陆拼合为泛古陆，但此时前者泛古陆巨板块的右旋完全可能拖曳东欧地台发生明显的左旋，而北亚地台则不受影响继续它的右旋，到 $196 \sim 97\text{Ma}$ ($J_1^2-K_2^1$)，东欧地台反转为大右旋 113° ，这时正是泛非洲左旋反转对中—西欧（海西地台）板块沿阿尔卑斯山系斜碰撞的重要时期，因而对东欧地台产生反拖曳，使之出现大右旋；而巴伦支亚板块保持右旋，其动力则来自北大西洋南部（伊比利亚半岛外侧）的海底开始扩张。如 Pitman (1974) 世界海底磁条带显示，这里最早磁条带为 M_0 (120Ma)，表明最晚在 K_1^5 导致中—西欧板块出现左旋，从而拖曳东欧地台包括巴伦支发生右旋。虽然 K_1^{5-6} 巴伦支板块左旋仅有 1° ，但据北冰洋扩张史重建得知，这仅是在北冰洋阿尔法老洋脊扩张的开始阶段，而其后因缺古地磁数据没有反映。接着，现代南森洋脊最晚在古新世开始扩张（在第 4 章有详细说明），从其西宽东窄的洋脊（海岭）判定，它是扩张速度西快东慢的证据，因此它将进一步驱动巴伦支板块发生左旋，而此左旋则沿季曼岭山前断裂发生右剪切，即季曼岭—伊谢季河断裂以右剪切横穿北部中乌拉尔（图 1.21）。南部乌拉尔还有卡拉套—塔拉斯—费尔干纳大断裂（它穿过乌拉尔南端山麓，大致沿咸海北部的图尔盖河的近东西河段向东南一直延伸，再沿卡拉套山北麓，经塔拉斯—费尔干纳斜切西天山，最后伸入塔里木盆地的西缘）。上述季曼岭—塔夫达断裂的右剪切可能导致现代巴伦支亚板块在壳下拼入北亚洲一级大板块。

仅供个人科研教学使用！

1.2.2 巴伦支现代断裂与亚板块分异

巴伦支台坪经历与邻区大陆的复杂开合历史之后，除作为亚欧巨板块的一个一级亚板块之外，在内部一些主要是地壳层次的断裂带分割下，又演化出二级的几个亚板块。本小节将在分析板内断裂带的基础上，展示它的二级亚板块。

1.2.2.1 巴伦支现代断裂及其动力特征

据美制的北冰洋详细海底地貌形态图和某些古地磁与构造文献分析，现已初步制作了巴伦支及其邻区断裂带。这对研究资料较缺乏的地区，可为现代板块与亚板块的划分提供基础。北冰洋与北大西洋的差异性扩张是巴伦支板内产生次级亚板块的主要原因，两者先后扩张导致陆架内部产生一系列断裂（图 1.20）。



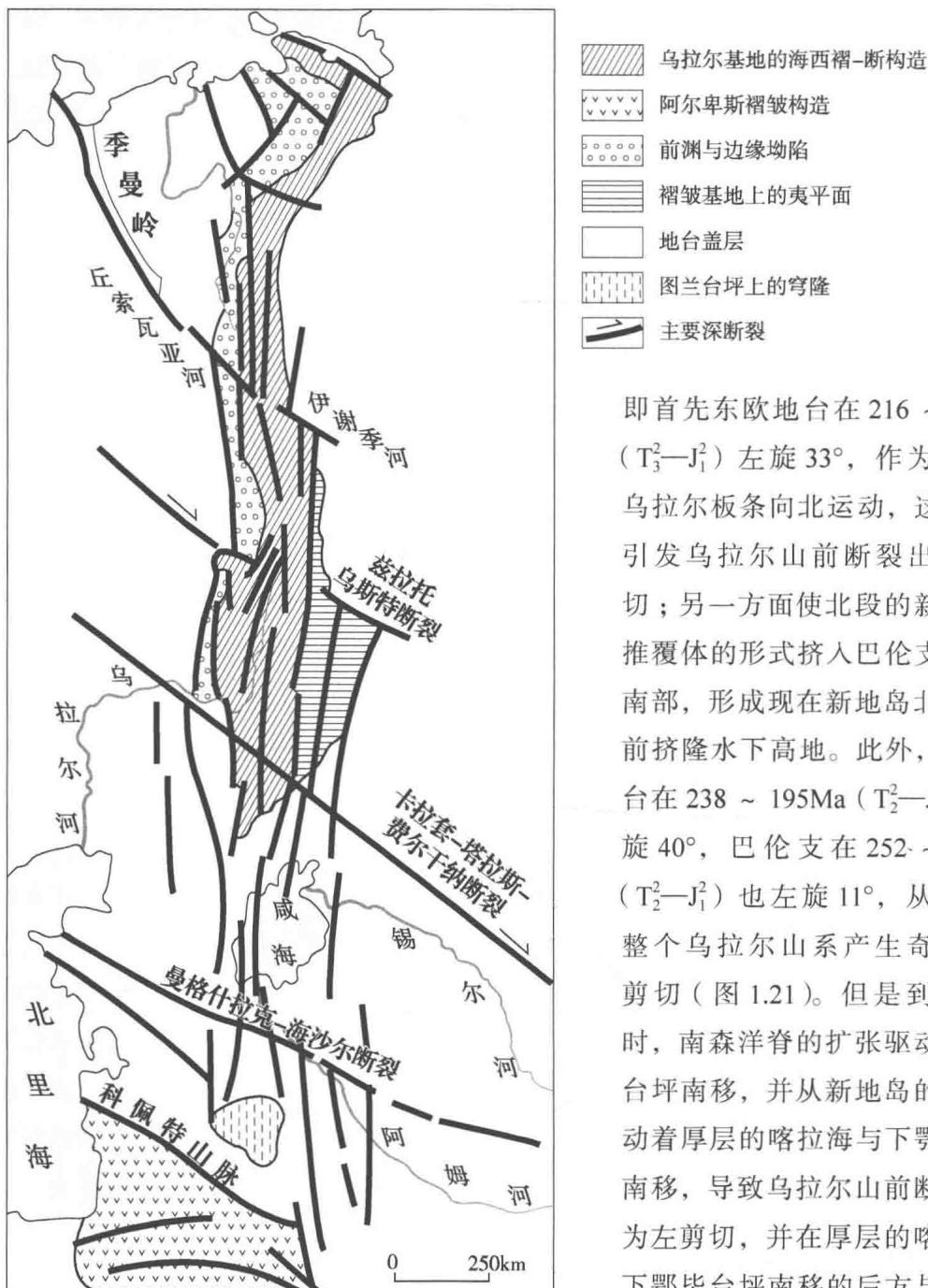
图 1.20 巴伦支板块与邻区断裂带

Figure 1.20 Faults Zones of Barents Sea and Its Surroundings

(1) 北部边界断裂系(从西向东): ① 扬马延转换-平移断裂, 即早期右剪切错断冰岛以北的北大西洋扩张脊的转换-平移断裂, 但现代北大西洋“南快北慢”的扩张, 分别引发欧洲与中-西亚欧板块出现左旋运动, 导致该断裂现代转化为左剪切。② 北大西洋北段莫恩斯扩张脊轴, 即位于挪威海盆外侧的扩张脊, 据皮特曼(Pitman)海底磁年代图, 它是M₂₄条带57Ma(E₁³)以来扩张形成的, 但由于扩张速率不及南部的北大西洋的扩张速率, 西侧扬马延转换-平移断裂的现代右剪切与此有关。③ 北大西洋北界转换-平移断裂, 即早期左剪切错断北大西洋与北冰洋之间扩张脊的断裂, 但现在可能由于南森洋脊北段扩张速度快于北大西洋北段的扩张速度, 故引发断裂带转化为右剪切。④ 北冰洋(南森)扩张脊轴, 它是古新世初开始不对称(北快南慢)扩张的断裂。

(2) 西南断裂系: ⑤ 北欧陆坡断裂, 即环绕斯堪的纳维亚半岛-科拉半岛与北欧季曼岭的断裂。如俄罗斯研究认为, 科拉半岛海岸以北的海底有明显的陡坎, 表明断裂带的存在。它很可能是控制摩尔曼斯克-卡宁隆起的后生断裂。该断裂始于雷巴奇半岛之后, 一直向东南延伸到卡宁半岛。在这条断裂的两端已发现晚元古代的褶皱岩体。海底采挖发现, 这些岩体曾隆起在海面以上, 但是现代被沉降成季曼山岭的水下延伸部分(纳利夫金, 1980)。本书认为, 进入新生代后, 由于巴伦支台坪的左旋, 该断裂可能为右压扭性质。该边界上的季曼岭山链年代古老, 经历准平原化后, 由于巴伦支台坪的南移而演化成回春山岭。⑥ 白海-北新地断裂, 据俄制的欧洲地形分层设色图, 新地岛以北大致沿200m等深线存在一个较陡的岛坡, 岛坡以北为-300m以下的巴伦支海, 而岛坡以南为-28~-200m的岛架。为此, 可判定岛坡为可能属中-上地壳的断裂, 即东欧主地台左旋带动乌拉尔山系(包括新地岛)朝北挤入本区时, 使新地岛块朝北推覆在巴伦支海之上, 从而在推挤体前沿形成岛坡处的中-上地壳断裂。特别在近代北冰洋的扩张下, 巴伦支主台坪可能沿该断裂朝南下冲在北欧板块之下, 使主台坪的南部形成深海拗地。同时主台坪朝西南与下面⑦断裂正交后, 可能又伸入白海湾内, 与北欧板内在西北欧地盾与东欧地台之间一条中-上地壳断裂相连接。据北欧演化历史分析, 该断裂可能形成于晚古生代至古近纪, 而新近纪以来活动明显减弱。⑦ 季曼-伊谢季河断裂, 该断裂向西北与上述北欧陆坡断裂再向东南连接, 而向东南沿丘索瓦亚河切穿北乌拉尔山系, 而后在乌拉尔东坡与SEE方向的伊谢季河连接。纳利夫金(1980)研究也认为, 乌拉尔分水岭已被许多断裂所切穿, 导致变质作用。本书认为, 错断这些NW-SE向断裂的动力主要来自现代北冰洋扩张, 使巴伦支台坪南移与左旋。这除在地壳的层次上沿巴伦支的西南边界产生右剪切外, 还可通过塑性的板内上地幔作用于东欧板块的壳下, 使它拖曳乌拉尔上系的地壳产生横向差异运动, 从而横向错断乌拉尔山系。⑧ 北乌拉尔山前断裂, 即与乌拉尔山平行的地壳断裂, 从区域发展史看, 此山前断裂可能形成于中-新生代。

仅供个人科研教学使用!



即首先东欧地台在 $216 \sim 196\text{Ma}$ ($T_3^2-J_1^2$) 左旋 33° ，作为板缘的乌拉尔板条向北运动，这一方面引发乌拉尔山前断裂出现右剪切；另一方面使北段的新地岛以推覆体的形式挤入巴伦支台坪的南部，形成现在新地岛北侧的岛前挤隆水下高地。此外，北亚地台在 $238 \sim 195\text{Ma}$ ($T_2^2-J_1^2$) 大左旋 40° ，巴伦支在 $252 \sim 244\text{Ma}$ ($T_2^2-J_1^2$) 也左旋 11° ，从而导致整个乌拉尔山系产生奇特的右剪切（图 1.21）。但是到古新世时，南森洋脊的扩张驱动巴伦支台坪南移，并从新地岛的壳下推动着厚层的喀拉海与下鄂毕台坪南移，导致乌拉尔山前断裂转化为左剪切，并在厚层的喀拉海与下鄂毕台坪南移的后方与新地岛之间形成新地岛的岛后，在喀拉海 -200m 以上陆棚海形成新地岛的岛后 -418m 的深海槽（图 1.19）。

⑨ 斯维雅塔亚安纳断裂，它北始于南森洋脊的转换断裂，向西南

图 1.21 乌拉尔山系构造略图
据 Bashenina 等 (1980) 简化加剪切应力

Figure 1.21 Tectonic Scheme of the Ural Mountain System

仅供个人科研教学使用！

经新地岛东侧，再向南止于叶尼塞河口，总体近南北向。在北部台坪内沿断裂出现明显的槽谷地形（海槽水深 600 ~ 499m，与边缘陆架高差约 600m）。《欧洲地质》一书作者引述 Hamilton (1970) 的资料，也认为槽谷存在推测断裂。本书据区域动力背景判断，它可能是一条“先右后左”的往返剪切断裂。^⑩ 北泰梅尔断裂，该断裂在晚古生代—中生代因为泰梅尔半岛从南部乌拉尔挤入现代位置，因此该断裂当时应是左剪切，最晚从早白垩纪开始，因北冰洋老阿尔法脊的扩张转化为右剪切。但是如上所说，因现代巴伦支台坪的左旋，使下鄂毕河区成为挤压前锋，导致沿河断裂停止活动，其活动性朝内转移到上述⑧ 北乌拉尔山前断裂。

值得注意的是，亚欧大陆两图研制表明，在亚欧复合大陆的后碰撞会聚期，板内断裂的活动可在壳 - 帘之间产生明显的差异。由于壳 - 帘不同的地球物理特性，某些剪切断裂在地壳的层次上活动，而在壳下附着上地幔不活动；反之，另一些剪切断裂在地壳的层次上不活动，而在壳下附着上地幔则是活动的。例如，我国不少地台古板块现代构成菱角状的亚板块，如华北板块与北亚（西伯利亚）亚板块。但是从地表的边界断裂看，它们都组成近似三角形的形态，显然这些断裂至少从形成以来，亚板块是不可能再发生旋转运动的，但是古地磁数据则显示新生代仍然继续旋转。此现象开始令人困惑不解，但是据岩石圈可分层性概念及其壳 - 帛的不同地球物理特性分析，则是可以理解的，因为菱角状板块的中 - 上地壳在旋转时必受到不可抗拒的巨大阻力，因而不旋转性运动，但是壳下附着的上地幔，由于塑性特征则可能继续缓慢的旋转，从而在一二级华北亚板块的板内再跟踪到次级的鄂尔多斯二级微板块。还可能有这样的现象，坚硬的脆性地表断裂已停止活动，但是板内的壳下上地幔，百万年级的持续缓慢应力作用使塑性层发生流变而在壳下继续活动。这种表壳平静而壳下活动的现象都出现在壳 - 帛间莫霍面含有异常低速层的活动地区，因此壳下的活动可在莫霍面里消减而不引发地壳的破裂（详见引言第一部分中岩石圈可分层性概念）。因此上述巴伦支亚板块的少数断裂虽然与断裂有关的地表水系不完全连续，但是它在壳下仍然可能产生旋转而在边界继续出现剪切活动；反之，一些地壳断裂在地表是活动的，但是其壳下则是不活动的。最有代表性的是，低喜马拉雅的山前逆冲断裂，它在中 - 上地壳的层次上有强烈活动，但是由于没有延伸到板内的上地幔，则壳下都属统一的印度板块。这种现象在大陆内部大量出现，如陆内没有深源地震，表明没有岩石圈层次的活动断裂，但是实际上却有大量的地壳活动断裂而频繁发生地震。

1.2.2.2 巴伦支板内亚板块分异

经初步分析，作为被动陆缘形成的巴伦支台坪超壳中板块包括四个板内二级亚板块，

它们都是一级超壳亚板块内部的二级地壳亚板块或微板块，有关亚板块分异及其现代运动特征与地貌组合如下。

(A) 巴伦支(台坪海)超壳块：它作为被动陆缘后面陆架海的主台坪已形成独立的次级小板块，小板块呈不对称梯形的形态(图1.20)：梯形短斜边(西北边界)为③北冰洋北段破裂带，梯形北侧边界为④北冰洋(南森)扩张脊轴，梯形长边(东南边界)包括⑨圣安娜海槽断裂和⑥白海—北新地断裂，梯形西南侧以⑤白海—北新地断裂与北欧板块为邻。其中，梯形的短斜边(东北界)为③北冰洋北段破裂带。它是北大西洋与北冰洋两个扩张脊之间以及格陵兰与巴伦支之间的“先左后右”的走滑—转换断裂，构成现代巴伦支陆棚海的西北侧大陆坡断裂，斯瓦尔巴群岛的斯匹次卑尔根岛的近南北断裂属其组成部分，由于断裂带的地貌主要是大陆坡，因此推测它为地壳层次的正断层兼平移断裂。梯形北侧边界为④北冰洋(南森)扩张脊轴。它是现代北冰洋扩张的产物。北冰洋现代(南森)扩张脊，据板块学说的传统概念，洋中脊被定为岩石圈或超岩石圈活动断裂；而梯形的底板(东南界)包括图中⑨圣安娜海槽断裂，它向西南与⑥白海—北新地断裂连接。前者海槽水深-600m(比周围陆架低200~300m)，海槽走向大致垂直于扩张脊，据此判断它的形成与南森洋脊的差异扩张有关。而白海—北新地断裂是新地岛朝北推覆的前锋边界，南森的扩张使它兼有左剪切性质。亚板块的前锋即⑤北欧陆坡断裂和⑦东季曼岭山前与伊谢季河断裂，是南森洋脊始新世扩张以来，驱动台坪下冲在克拉通地盾之下的前锋断裂，导致在后方(台坪南部)形成比高200~300m的拗陷盆地，而台坪北侧相对掀升，从而形成一些群岛与岛屿。不过台坪的掀升主要是洋脊扩张后，边缘的巴伦支(-3849m)深海盆的巨大沉积负荷沉降而使外侧台坪掀升所致。关于断裂带的深度层次，除后方扩张脊及其转换—平移断裂分别为岩石圈与超地壳断裂外，其他都被判定为全地壳至中—上地壳的断裂。从总体看，由于仅有梯形一侧为扩张脊的岩石圈或更深的断裂，而其他边界都是板内的地壳上甚至更浅的中—上地壳内断裂，因此主亚板块总体被定为超壳块。⑥白海—北新地断裂以南为新地岛的岛前隆起带，即比高300~400m水下高地。隆起带前缘为水深300~400m的拗陷盆地。主台坪板块南移的北部(后方)则是拉裂断陷的深海盆，即南森洋脊的中央裂谷水深(从西到东)为5122~3871m，而巴伦支深主海盆最大水深为3849m。有学者据磁异常图判定，海盆形成于50Ma前的始新世早期，是北冰洋中最年轻的海盆(盖保民，1991)。另有学者据新海盆24号磁异常带判定，南森洋脊扩张在57Ma前(Ollier, 1981)。因此，目前可判定于57~50Ma前(古新世中—始新世初)——这也代表南森洋脊扩张的时间，也是巴伦支主台坪亚板块的形成时间。虽然台坪的古地磁(表1.2)仅显示120~105Ma间左旋特征(其后缺乏数据)，但从北冰洋白垩纪及以来新老扩张脊的“西宽东窄”及其最后向东

尖灭于大陆边缘（图 1.19），是洋脊不对称扩张的典型特征，证实现代台坪总体有左旋与南移的运动特征。

(B) 东巴伦支(台坪海)全壳块：其运动特征与地貌组合有相似之处，如后方同样有巴伦支（最大 -3449m）的深海盆、其南缘有掀升的北地群岛。如上所说，台坪的掀升主要是洋脊扩张后，边缘的巴伦支次深海盆沉积负荷的沉降而使外侧台坪掀升所致。但由于后方海底扩张速率（5 ~ 7mm/a）不及西段主要扩张脊的速率（9 ~ 11mm/a），板片的南部没有凹陷盆地，表明它没有向西南邻区下冲的特性。同时，据后方不宽和向大陆尖灭的洋脊特征判断，扩张脊的断裂可能是非岩石圈的拉张，因此也作为地壳板片处理。其西南边界有⑨圣安娜海槽断裂走滑，东南部有对⑩北泰梅尔断裂产生推挤为主而兼有斜滑的应力。前者走滑有左行特征，因为西部主台坪南移的速率快于东部小台坪。不过其北缘同样有北地岛块为代表的翘升特征。该岛岩石由古老的片岩与花岗岩系构成(Ager, 1980)，这可能代表巴伦支克拉通古板块主体的岩石组合。

(C) 挪威海盆(年轻洋壳)板条：位于上述图 1.19 中的①扬马延断裂、②北大西洋北段莫恩斯脊轴、③北冰洋北界断裂和⑤北欧陆坡断裂包围的微板块，主体为挪威海盆的刚性洋壳块，在后方现代北大西洋的扩张下，海盆整体朝东推移，即如所有被动边缘的动力学。这里海盆老洋壳的薄层壳幔结构朝东推挤斯堪的纳维亚半岛的厚层大陆壳幔结构，使大陆亚板块朝外分离，因而沿大陆坡形成正断层，而后部挪威海域则发生沉降而成深海盆。

(D) 新地岛一下鄂毕(海陆兼备)全壳块：图 1.20 中的⑥白海—北新地、⑦季曼—伊谢季河、⑧北乌拉尔山前和⑨圣安娜海槽四断裂包围的近三角形地区。其北部（前锋）为新地岛及其岛前隆起和岛后拗陷，西南部以伯朝拉台向斜的沉积平原，南部与喀拉海大陆架和下鄂毕河冲积平原为邻。有意思的是，新地岛的南缘与喀拉海大陆架之间存在 -390m 的深海槽，它比喀拉海大陆架深 200 ~ 300m。这显示喀拉海大陆架与下鄂毕平原在近代有整体南移的运动特征，导致本中壳块在北部⑨断裂的西侧陆架上拉开了狭长的斯维雅塔亚安纳海槽（图 1.20），但第四纪可能由于巴伦支一级亚板块左旋的增强，其东南边界的⑧北乌拉尔与⑩北泰梅尔断裂停止活动，因而使亚板块在第四纪转化为断块。新地岛的中部与南部有两次 7 ~ 7.9 级地震（1965 年 10 月 27 日和 1973 年 10 月 27 日），显示了微壳块的现代活动性。

(E) 伯朝拉(台向斜)全壳块：伯朝拉在俄罗斯地质称台向斜或季曼—伯朝拉台向斜。据纳利夫金（1981）总结研究，它与俄罗斯台坪（东欧地台）的主要差别是，基底的时代为贝加尔期，以及广泛分布的线性构造。它们是由于沿着断裂的运动和凹陷被隆起代替的运动而产生。台向斜的沉积盖层从奥陶系开始，沉积盖层的厚度 5 ~ 6 公里，

有的地方达到 8 公里。在西北部，盖层还包括有 1 ~ 1.5 公里厚的中生代地层。在台向斜的中部，有一条大型的伯朝拉—斜尔瓦古生代拗拉槽穿过，其宽度 80 公里，长度达 500 公里。拗拉槽的西南部在早古生代时开始沉陷，东北部则于中泥盆世开始下沉。在早二叠世，沉陷被隆起取代，在凹陷之上出现了正向线性构造。此外，平行于乌拉尔有一个强烈挤压的微弱隆起的构造——车尔尼雪夫山岭。在台向斜的北部还有三条山岭，它们与车尔尼雪夫山岭不同的是规模较小和构造不那么复杂。在这些构造中。除车尔尼雪夫山岭外，均赋存有油气田。该台向斜在北西方向，即伯朝拉海的水下部分，它与很深的南巴伦支台向斜连成一片。北极地质科学研究所进行的海底采掘结果认为：这里在海底之上发育中生界和二叠系，地球物理资料揭示沉积物的产状几乎是水平的。再向西北是挪威以北的另一盆地，即充填中 - 新生代和古生代岩石的诺尔德卡普盆地。海洋地震勘探查明盆地的盐丘构造时代可能为二叠纪。

科拉半岛海岸以北的海底有一个陡坎，表明有较新断裂的存在，断裂始于雷巴奇半岛，一直延伸到卡宁半岛。特别在这条断裂的两端发现了晚古代的褶皱岩石，海底采样证实其岩石曾被隆起，是季曼山岭的水下延伸部分。伯朝拉台向斜的基底年代与北部巴伦支海(台坪)基底一样可能都是贝加尔期(相当于新元古代末的埃迪卡拉纪——本书注)。本书还认为，由于 Helamov (1991) 古地磁显示，巴伦支—伯朝拉在 $489 \sim 460\text{Ma}$ ($\text{C}_2^4-\text{O}_2^2$) 南移了 9° ，而此后的古生代至白垩纪都是北移的。从此看来，伯朝拉台向斜西南侧的季曼岭，在晚前寒武纪早奥陶纪曾是伯朝拉台板块向南与东欧地台碰撞的前锋，但此后都是东欧板块北移与伯朝拉板块的后碰撞前锋——追趕山地。

上述亚板块分异在本书作者主编的《亚洲与邻区陆海地貌全图》(1:800 万) 及《亚洲与邻区板块造貌构造图》(1:1400 万) 中也有明确显示。

仅供个人科研教学使用!