

1.4 北亚(古地台)主板块

北亚古板块与西伯利亚地台大致相当，据原苏联的古地磁资料，西伯利亚在元古代由阿纳巴尔、阿尔丹、北贝加尔和西贝加尔四个分离的最古老的小板块组成，经中寒武纪的萨拉伊尔运动之后拼合为统一的西伯利亚板块，从位于南半球低纬度带一直北移，三叠纪时到达北极地区(Helemon, 1981)。不过在迁移的过程中它不断增生，包括再与另邻区微古陆拼贴，形成褶皱系包围主地台的古板块，特别是在晚古生代，北欧板块与西伯利亚板块和中亚(哈萨克斯坦)板块沿乌拉尔相碰撞，最后于晚二叠纪在北部古亚洲形成统一大陆(张正坤, 1982)。但是，随着北美与北亚的碰撞及北冰洋新老洋脊的先后扩张，使主地台边缘(如东北亚的新西伯利亚与西西伯利亚)发生扭裂而中部主地台则转化为现代大型亚板块的核心。因此，本研究把主地台称为中西伯利亚地台或简称为北亚地台，以有别于西伯利亚大地台的一般名称。从目前资料看，它不仅是北亚板块增长的古老核心，而且也是整个亚欧最古老的陆核。如北亚(阿尔丹地盾)的钾-氩法断代为 $3400 \sim 4550\text{ Ma}$ ，而所谓的原始欧洲(西北欧地盾)最古老的“萨姆群”，目前测得同位素的最大年龄数据为 3500 Ma (李廷栋等, 1997)，中国最古老(中-朝地台)的“迁西群”，铷-锶等时线断代介于 $(3515 \pm 115)\text{ Ma}$ (江博明, 1983)与 $(3670 \pm 23)\text{ Ma}$ (中国科学院, 1978)之间。北亚主地台的周边都被老褶皱系所包围，即西北部为泰梅尔(来自北乌拉尔的晚古生代—三叠纪褶皱系)；西部有西西伯利亚台坪(微古陆增生的古生代褶皱系，于海西期固化而后沉降的台坪)；南部为蒙古褶皱-岩浆弧，它大体包括内山弧(叶尼塞与东萨岭—外贝加尔)新元古代末贝加尔褶皱带、中山弧(西萨彦岭—杭爱山—雅布洛诺夫山)早古生代中间地块和加里东褶皱带、外山弧(阿尔泰—戈壁阿尔泰与外兴安岭)晚古生代海西褶皱带；东北亚为上扬—柴尔斯基冒地斜的晚海西—早印支褶皱系。由此可见，北亚板块在晚古生代就基本形成大型古板块。但是在大板块形成的同时，地台对邻区板块的旋转碰撞并没有停止，使板内古老缝合带在较浅的层次活化，并且板缘的环洋地带发生解体，从而形成规模和层次与古板块有所不同的现代板块。如据李春昱等(1982)亚洲构造图所称的西伯利亚古板块把整个环太平洋的黑龙江、远东与东北亚都包括在内，但本书作者与俄罗斯学者合作于2011年研制的以现代动力区系为划分基础的亚洲与邻区陆海造貌构造图，把环洋活动带作为海陆互动区系而独立出来。值得注意的是，上述构造单元之间普遍存在断裂带。有资料表明，西萨彦与杭爱山之间的近东

仅供个人科研教学使用！

西向断裂（即蒙古弧北带与中带之间的断裂）在早古生代为左行走滑性质（Tomurtogoo, 1996），这是北亚古地台早古生代右旋运动的反映。另据原苏联 Yanshin 等（1984）编制的亚洲克拉通与蛇绿岩带略图（详见图 6.2），在核心地台和外围褶皱系的两个周边，除喀尔齐斯下游与大兴安岭西侧外，其他主要地段都有连续的蛇绿岩带分布。这些古缝合带与古老断裂（特别是主地台周边和大板块外围的边界断裂）尤其从新生代以来多数在板内不同层次上都有所活化，为亚板块形成提供了基础。现在已有不少信息显示，作为增生核心的古地台，在显生宙经历着正 – 反时针旋转 – 碰撞的复杂过程，虽然其形成历史久远，造貌过程变动较大，但它们活动的主要形迹仍然可从区域文献与地质图件跟踪到。

1.4.1 北亚板块演化及其古地磁信息

北亚板块是本书对西伯利亚板块的简称，它在元古代时期由阿纳巴尔、阿巴丹、北贝加尔与西贝加尔四个独立的古微板块组成，经历中寒武纪的萨拉伊尔运动之后才形成西伯利亚的岩石圈板块。它从中寒武纪在南半球的低纬度开始一直向北漂移，到三叠纪通过北极直到现代（Helamov, 1981）。但是在晚古生代初，它先后与中亚、塔里木—中朝和东欧，以及北美洲等邻区板块碰撞缝合，特别是在北冰洋形成扩张之后，转化为超地壳为主的一个大型亚板块。现代亚板块以中西伯利亚地台为主体，而边缘被宽阔的活动带包围，即以顺时针方向，北部为泰梅尔褶皱带，东北有维尔霍扬带，东南、南部与西南被蒙古褶皱岩浆弧所环绕，西部边缘被西西伯利亚台坪占据。从现代亚板块的边界看，西界以乌拉尔东侧山前断裂—鄂毕—北泰梅尔断裂与巴伦支和东亚欧板块为邻，东北边界以姆莫斯基裂谷为界与隶属于北美板块边缘的东北亚洲亚板块为邻，东南大致以外兴安—蒙古戈壁断裂与黑龙江亚板块为邻（前者外兴安岭断裂相当于任纪舜在中国断裂系中的德尔干深断裂），而西南大致以额尔齐斯断裂为界（任纪舜在中国断裂系中认为它曾是超岩石圈的压扭性大断裂），并与中亚（哈萨克斯坦）亚板块为邻。北亚板块不论从过去的岩石圈板块还是大陆碰撞后的现代超地壳亚板块考虑，都是亚洲大陆和亚欧板块的主体。在古今海底扩张的驱动下，它作为北亚洲古陆与南亚次大陆，与两个南北对峙的板块、亚板块之间的相对运动，在亚洲构造形成演化与现代地壳变形中具有重要意义。

1.4.1.1 北亚大陆演化的构造基础

北亚大陆的构造演化主要围绕北亚（西伯利亚）古地台与南部卡拉库姆—塔里木—中朝古地轴之间前蒙古大洋的闭合历史而展开。别洛乌索夫等（1984）曾对前蒙古洋（古亚洲洋）做过详细的描述。他们认为，这个古海洋界于北亚（西伯利亚）、东欧（俄罗斯）

与塔里木—中朝三大古陆块之间，从中—新元古代到早古生代，洋盆逐步闭合。在新元古代—早寒武纪，深海盆局限于北蒙古至鄂霍次克海的一个狭窄的地带内，其余地区主要是面积广泛的边缘海，即海西褶皱带所占据的地区。从天山—兴安褶皱带看来，这一以边缘海为主的构造带在晚古生代为岛海地区，近似于现代东南亚（印尼—菲律宾）的多岛海地区，而岛海封闭后成为联合板块（车自成等，2001），在大陆后碰撞期又转化为现代的联合亚板块区。中国学者任纪舜等（1983）研究认为，北亚地区包括北部萨彦—额尔古纳地槽褶皱系和南部天山—兴安地槽褶皱系。这里的地槽褶皱系实际上就是前蒙古大洋闭合海底沉积层的褶皱造山带。萨彦—额尔古纳褶皱造山带主要沿北亚古陆南侧（蒙古大洋北侧）发生，而天山—兴安地槽褶皱系主要在中亚古地轴的北侧（蒙古大洋南侧）形成。任纪舜等研究认为，前者从元古代至晚古生代末长期都属蒙古大洋的一部分。大洋的闭合是以从北向南“离陆向洋”的迁移为主，而以从南北向北迁移为辅，从而呈现偏对称迁移（图 1.27）。靠近西伯利亚地台的萨彦—额尔古纳主要从中寒武纪开始闭合而延续到早古生代，其南部从早古生代闭合而延续到晚古生代；中朝地台以北在加里东期闭合，再向北在海西期闭合。古大洋最后封闭于天山—兴安海西褶皱带的北天山、内蒙古二连与西拉木伦河一带。在纵向上，晚元古代—早古生代早期古海洋的闭合为由东向西展开的。如其北带，东段从佳木斯、额尔古纳、外贝加尔与北蒙一直到萨彦一带的古海洋从震旦纪（新元古代）到早寒—中寒武纪末褶皱闭合；而早古生代晚期—晚古生代，古海洋的闭合是以反方向由西向东展开的。如其南带，西从阿尔泰、北蒙古西段与萨拉伊尔的古海洋从中奥陶纪末到泥盆纪褶皱闭合，最东段在蒙古与吉黑地区则延迟到二叠纪闭合。这是传统地质学中北亚大地构造研究的主要基础，虽然成果发表已有 30 余年，但是它们仍是现在进一步研究的主要基础。

1.4.1.2 北亚古地磁及其板块运动学解析

众所周知，古纬度与古地磁可为研究板块构造运动提供最先进的科学信息。本区现有原苏联著名学者 Helamov (1980) 的古纬度和 Van der Voo (1993) 发表的古地磁，它们为本区板块运动学分析研究提供了重要基础。

(1) 古纬度及其板块运动学解析：根据 Helamov 从岩石剩余磁性厘定的古纬度显示，北亚主地台最迟在中寒武纪时还位于南半球 $10^{\circ} \sim 38^{\circ}$ 地区，到志留纪地台向北漂移开始进入北半球的低纬度，此间共北移了近 30 个纬度，并兼有大致 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 的右旋（图 1.27）。本书经全球分析认为，这种右旋主要是在南半球引发的，因为地球自转的地表线速度在赤道最快，而后随纬度增加到极地，其地表线速度趋近于零。这样，接近圆形的古地台直径跨越 30 个纬度左右，其高纬一侧比低纬一侧的自转线速度快得很多，因此在南半球

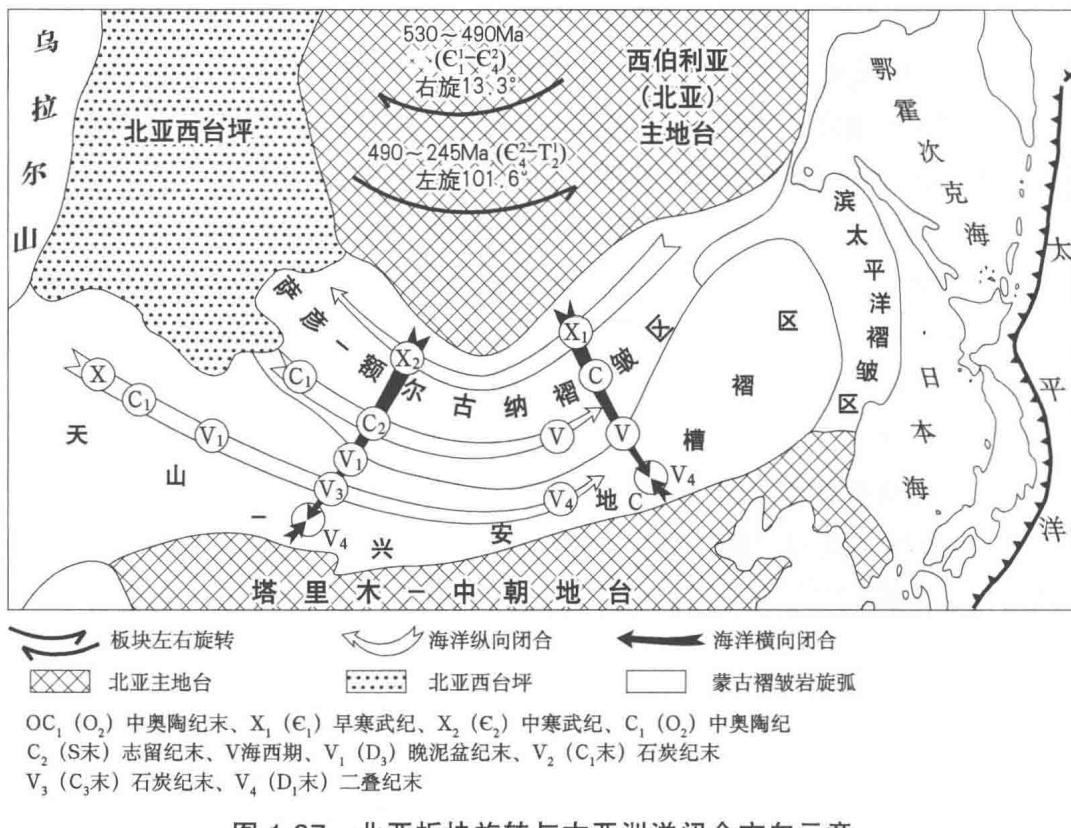


图 1.27 北亚板块旋转与古亚洲洋闭合方向示意

据任纪舜 (1983) 补充板块运动学

Figure 1.27 Schema of North Asia Plate Rotation and Paleo-Asia Ocean
Closure Direction

必发生右旋，而在北半球则发生左旋。此后古纬度证实，从志留纪到早三叠纪继续北移了约 60 个纬度，并兼有约 $40^\circ \sim 45^\circ$ 的左旋（图 1.28 右）。这便生动地证实了上述南北半球的板块旋转可作为一般规律。只是从早三叠纪至侏罗纪，它除反常地南移（后退）约 5 ~ 8 个纬度外，同时也左旋了近 45° 。本书认为，这与以东欧为代表的北欧板块此时以左旋为主一致（表 1.1），因为此时两者已碰撞拼合为一。

(2) 古地磁及其板块运动学解析：Van der Voo (1993) 发表了北亚地台显生宙的古地磁数据，为研究北部亚洲板块的造貌构造作用提供了重要基础。为分析研究方便，本书同样把它的运动学数据图形化（表 1.5），显示四个基本阶段，有关动力成因解析如下。

① $530 \sim 490\text{Ma} (\epsilon^1 - \epsilon^2_4)$ ：右旋了 13.3° ，这与上述 Helamov 的古纬度相差无几，而此时它应该在南半球，因而自由漂移的北亚地台发生右旋。

② $490 \sim 195\text{Ma} (\epsilon^2_4 - J^2_1)$ ：除两次短期分别有 0.6° 与 0.4° 的右旋外，共有两次长期分别为 95.8° 与 40° 的左旋，共左旋了 135.8° ，这是它完全进入北半球的自然反应。此外，

值得注意的是，在这一漫长时间内北亚都是北移的，但是在 $390 \sim 288\text{Ma}$ ($D_1^2-P_1^3$) 它反常地南移了 3.5° (表 1.5)。为何在漫长北移的过程中突然南移？这是很值得研究的板块运动学问题。分析发现，这是欧美巨板块右旋推挤北亚南移的一种结果。得出这种结论的根据首先是此时现代的大西洋尚未形成，北美与欧洲仍然是统一的巨板块。另外，乌拉尔形成历史表明，晚古生代的中-后期正是北亚与东欧碰撞会聚的时期。除这些古地理背景外，在板块旋转方面，据 Seyfert 等 (1979) 晚古生代的大陆复原图判断，北美从泥盆纪到二叠纪右旋 $30^\circ \sim 40^\circ$ 。同时东欧地台在 $C_1^1-P_1^4$ 也右旋 18° (表 1.1)。这些事实都说明在大西洋未形成前欧美大板块在右旋，因而它拖曳北亚在总体北移和大左旋中反常南移了 3.5° ，这是板块旋转碰撞运动学的自然规律。虽然这仅仅是北亚板块晚古生代主流运动中的一个小插曲，但是仍然将全球板块相互作用的微妙关系表现得淋漓尽致。

③ $195 \sim 45\text{Ma}$ ($J_1^2-E_2^2$) 南移和两次“先右后左”的旋转：北亚反常地南移了 24.7° ，同时有“两左两右”的奇特旋转。从表面看，这似乎不可思议，但是板块没有无缘无故的运动。有意思的是，从邻区板块的古地磁跟踪中，我们惊奇地发现这都是受到邻区板块碰撞引起的。正如上面所说，在早三叠纪的古纬度，北亚的最东缘已深入北极地圈内的 $82^\circ \sim 83^\circ$ (图 1.28 右)，而据 Seyfert 等 (1979) 的北半球大陆复原图，在侏罗纪时北美大陆的最北端（阿拉斯加部分）已北移超过极地进入北亚高纬 10° 以上。因此不难判断，北美与亚欧大陆已开始局部碰撞，从而驱动北亚地台反常南移了 24.7° 。此外，北亚侏罗纪始最北端到达 78° 左右，而现在北亚地台的最北端在 $73^\circ \sim 74^\circ$ 。这说明侏罗纪以

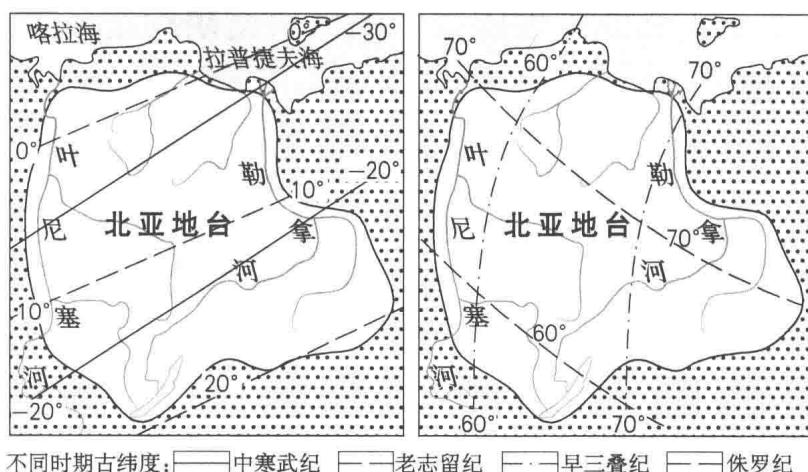


图 1.28 北亚地台中寒武纪—侏罗纪纬度变化

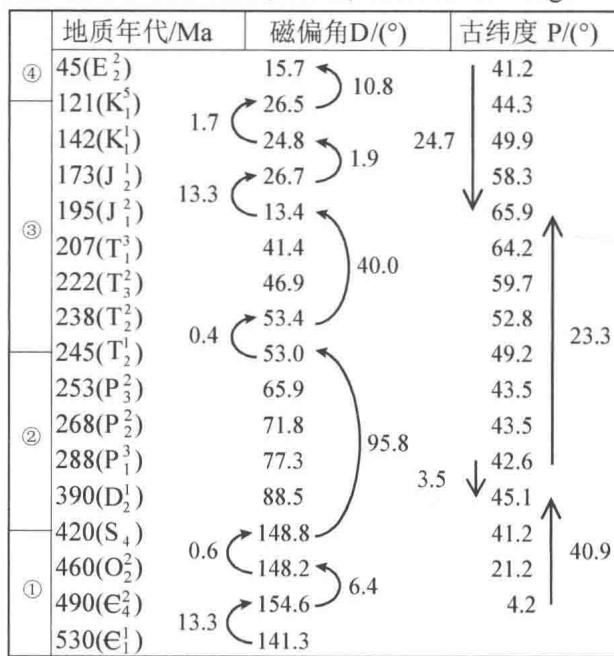
Figure 1.28 Latitude Variation of the Middle Cambrian-Jurassic Period of North Asia Platform

仅供个人科研教学使用！

表1.5 北亚(西伯利亚)地台古地磁

据Van der Voo (1993) 古地磁补充运动学

Table 1.5 Northern Asia (Siberia) Platform Paleomagnetism



据Van der Voo (1993)。运动学说明：左侧弧线为右旋，右侧弧线为左旋。(Kinematic note: Arc-lines in left-side is right-rotation, in right-side, left-rotation.)

来它还继续南移，这是北冰洋扩张的自然结果。另外从旋转来看，两次顺时针旋转在 195 ~ 173Ma (J₂—J₁) 与 142 ~ 121Ma (K₁⁵) 分别右旋了 13.3° 与 1.7°。前者是北美巨板块上述大左旋拖曳的结果，而后者是亚欧完全拼合之后北欧板块大右旋（表 1.1）的部分反应。因为据 Seyfert 等 (1979) 古地理图，此时北美已经反转为右旋，因此它与北美分属两个板块，两者右旋不存在互相驱动问题。但是，东欧板块此时都在右旋中，因而北亚右旋应该是欧洲板块的一部分；而其中有两次左旋，即在 173 ~ 142Ma (J₂—K₁¹) 与 121 ~ 45Ma (K₁⁵—E₂) 分别左旋了 1.9° 与 9.2°，前者可能是北半球阿尔法洋脊“西快东慢”不对称扩张驱动的结果，后者可能是上述北美从晚侏罗纪以来右旋拖曳的结果。

1.4.2 北亚古地磁显示的板块造貌构造形迹

有学者指出，古地磁对确定板块的空间位置和年代学研究有重要作用，除了与古纬度有关的磁偏角资料外，剩余磁化作用也可以保存剩余罗盘方向（磁偏角）。如果一个磁偏角方位明显偏离了北极或南极，那就表明有构造的旋转作用 (Howell, 1991)。下面将据上述古地磁所显示的板块运动学，按照板块旋转碰撞的基本规律来跟踪板块旋转碰撞的造貌构造形迹。

1.4.2.1 北亚早古生代右旋与邻区碰撞形迹

上述北亚板块在 530 ~ 490Ma (E₁¹—E₄²) 与邻区碰撞。虽然古纬度、古地磁所记录的板块运动历史久远，但历史变形是不可逆性，板块一旦运动就必在表壳引发造貌构造变形。这种可视地貌变形不但可在实地观察到，而且也不违背经典的区域地学研究结果，

因而可从有代表性的区域地质图文成果中跟踪到。上述北亚板块旋转与邻区碰撞的造貌构造形迹显示如下。

(1) 地台南部蒙古弧斜碰撞形迹：本书认为，这时北亚主板块右旋对邻区的碰撞主要是对中亚（哈萨克斯坦）板块和塔里木—中朝板块的斜碰撞，因为此时北亚与东欧之间有前乌拉尔洋分隔着，而与中亚板块和塔里木—中朝地台则进入碰撞拼合阶段，所以此时北亚的右旋碰撞前锋必在它们的陆间地带。区域跟踪证实，北亚地台右旋对它们的斜碰撞则把有关陆间带的古岩席向西和西北方向推挤的现象。例如，别洛乌索夫（1978）研究显示，北从泰梅尔与西西伯利亚台坪，南到西蒙古弧内，也存在与叶尼塞山地相似的新元古代褶皱基底（如图 1.29 的图例 4），其内侧（现代与西西伯利亚台坪与蒙古西南部）为加里东造山带（同图 1.29 的图例 5）。这同样是上述北亚主板块在前寒武纪—早奥陶纪对中亚（哈萨克斯坦）右旋斜碰撞挤出的结果。此外，在北亚地台西北部的极地乌拉尔（可能包括巴伦支台坪区）可能有大量亚欧陆间碰撞带的岩席挤入，即北乌拉尔和北极西部岛屿（如派霍伊、瓦加奇岛、新地岛和北地岛等山区）的前寒武纪和早古生代地层曾被强烈褶皱与变质，并有古老花岗岩侵入，而其后中—新生界则是地台型盖层沉积，受褶

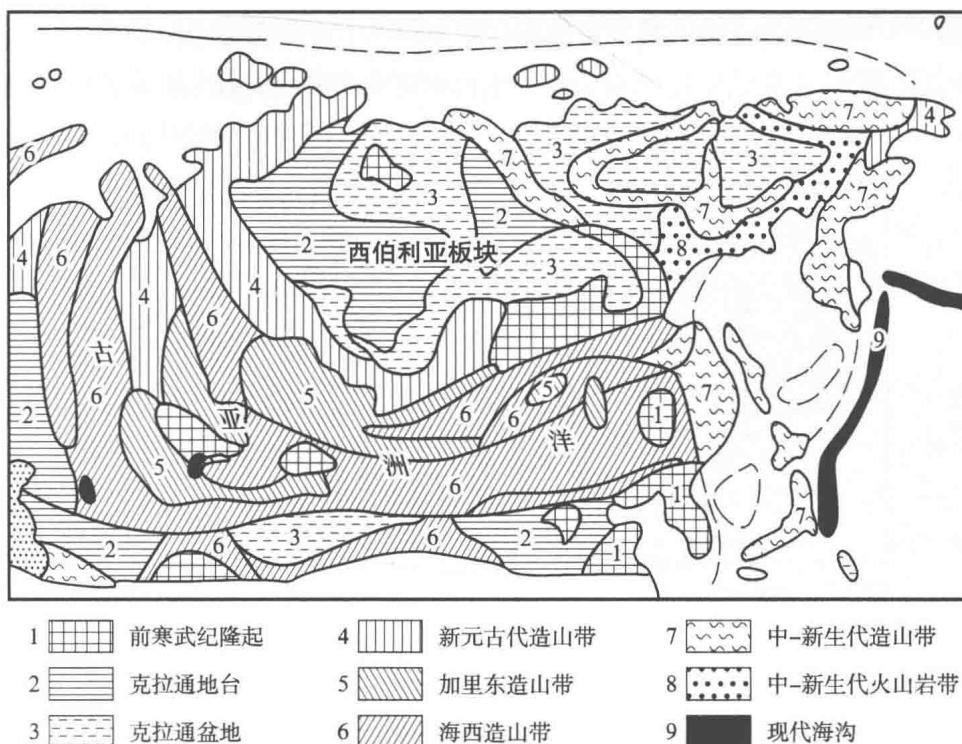


图 1.29 西伯利亚板块构造简图

车自成等（2001）据别洛乌索夫（1978）资料编

Figure 1.29 Tectonic Map of Siberia Plate

皱十分微弱（纳利夫金，1987）。此外，古地磁研究认为，在泥盆纪之前，西西伯利亚台坪与东欧地台的纬度线几乎是互相垂直的，直到三叠纪初两者的古纬度才渐趋于一致（纳利夫金，1987）。这就说明现在与东欧相同纬度的西西伯利亚，当时应该直接面对着现在西北部的巴伦支台坪。Hamilton (1970) 研究认为，现在北亚地台西缘的图鲁汉斯克是古生代的造山带，它可能是西西伯利亚古造山区的一部分；而在北亚地台南缘的陆间带是北亚右旋与增生而先后形成的上述蒙古弧的北带——萨彦—额尔古纳褶皱系的北带，如俄罗斯学者提供的贝加尔—蒙古—鄂霍次克地区的构造纲要图（1977）：① 北带（叶尼塞、东萨彦岭与外贝加尔）为新元古代的褶皱山系，但是在叶尼塞与东萨彦之间存在完全相同的元古代基底和贝加尔期冒地斜裂谷带物质。这似乎显示在新元古代北亚位于南半球可能就开始右旋，因而使边缘同一构造岩相带发生左行错断，形成叶尼塞与东萨彦两个山地。② 中带（西萨彦—雅布洛诺夫）与北带之间也存在左剪切而向西挤出的构造形迹。如以中间地块为主体的西萨彦山地，其西部边缘存在比外围更老的加里东褶皱岩席，边缘还卷入了早—中古生代的古老岩片，这可能显示向西挤出时前沿卷入的古老基底。据该图构造形迹推测，北亚早古生代的右旋，西萨彦岭的中间地块可能是从东萨彦岭分裂出来，而后向西南亚挤出与西萨彦古地块碰撞增生，从而在西萨彦岭前沿卷入古老基底。③ 南带为以中间地块为主体的杭爱山同样存在与西侧和南侧基本不同的构造岩相，显示西萨彦形成的同时（或稍后），可能也是向西挤出而受改造。据图 1.30 分析，大致在东萨

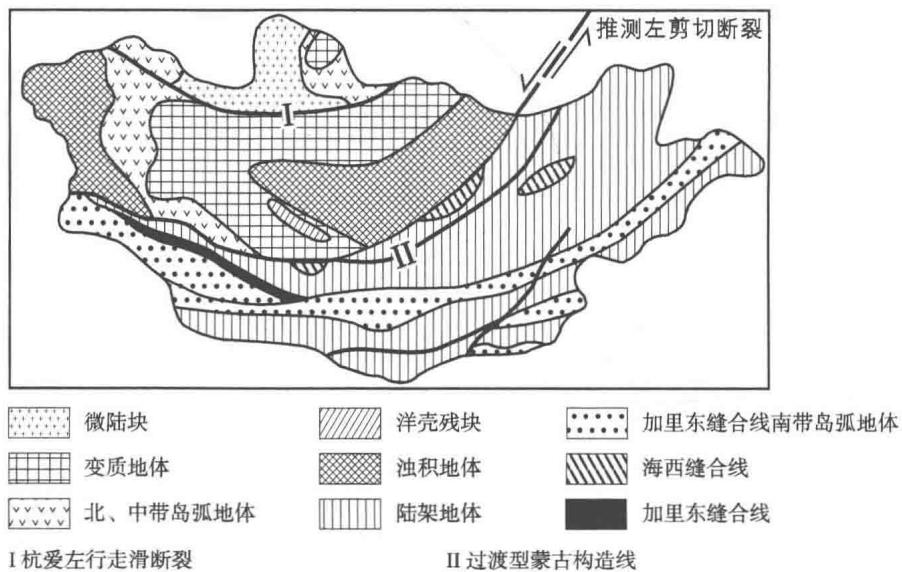


图 1.30 蒙古国古生代地体构造图

据 Tomurtogoo (1996)

仅供个人科研教学使用!

彦岭与杭爱山为“变质地体”，即蒙古弧中 – 北带的西半段与东南部蒙古弧的“陆架地体”之间有向东南突出的弧形边界。本书据区域动力推测，这可能是上述北亚主地台右旋碰撞前锋从东向西挤出的直接证据，否则如果是左旋应该从西北或西部朝东南或东部挤出才对。据早古生代北亚板块构造背景分析，北亚那时右旋的驱动源可能来自其东北部泛古大洋的差异性扩张（因当时现代北冰洋与东北亚皆为古大洋所占据）。现在地台东北缘在柴尔斯基山与科雷马台块之间发现的早 – 中古生代蛇绿岩带（Syanshin et al., 1984），即是当时古海洋的有力证据。

任纪舜等（1983）的研究更证实这种旋转碰撞的挤出规律。例如他们认为，地处蒙古褶皱 – 岩浆弧现代西北侧，即早 – 中寒武纪萨彦 – 额尔古纳褶皱带北侧的古海洋，闭合方向是“自东向西”展开的，这与北亚板块对中亚右旋斜碰撞的运动学完全一致（图 1.27）。亦即，南北板块之间的会聚如果是北方主动板块以右旋形式与南方板块斜碰撞的话，那么其间古海洋的闭合一般都先从东部开始，而后随着右旋会聚向西逐步闭合，反之两者左旋碰撞，其间古海洋的闭合是从西向东随着左旋会聚而逐步闭合的，这是南北板块旋转碰撞的运动规律决定的。又如第二阶段，北亚在 490 ~ 245Ma ($\text{E}_4^2 - \text{T}_2^1$) 大左旋 100.2°，与中亚板块和塔里木 – 中朝地台斜碰撞，此时萨彦 – 额尔古纳南带的古海洋是“自西向东”从 O_1 末到海西期 (D–P) 的闭合方向的（图 1.27）。这说明代表性好的区域地学研究与古地磁所显示的运动特征必然具有一致性。

(2) 地台西南边缘的扭裂形迹：上述北亚板块最迟在 530 ~ 490Ma ($\text{E}_1^1 - \text{E}_4^2$) 右旋了 13.3°，实际上在更早的晚前寒武纪，北亚在南半球必然开始发生右旋。纳利夫金（1987）的北亚地台中寒武纪构造图显示，在地台南缘被一窄条的前寒武纪剥蚀山链包围，外侧又是中寒武纪之前的剥蚀山脉。但是到中寒武纪之后，以前包围地台南缘的古老山链在伊尔库茨克突出部西侧的坎斯克一带出现拉断而形成缺口，导致从泥盆 – 石炭纪开始，这里的缺口引发外侧前蒙古洋海水的入侵。如纳利夫金认为，这里泥盆系与石炭系关系密切。它们常常在同一地区组成一个剖面，形成稳定型海生碳酸盐 – 黏土相和滨海平原红层相沉积（其泥盆系与石炭系地层分布详见图 1.31）。本书分析认为，这一缺口的开裂与古地磁（表 1.5）显示的上述北亚早古生代至少右旋 13.3° 密切有关，亦即右旋在伊尔库茨克突出部一带受阻，但整个地台的旋转因惯性而继续右旋，引发缺口处的拉裂。图 1.31 还显示这一缺口经过微弱抬升而保留到侏罗纪，从而引发外侧的海水越过狭窄“水坝”侵入地台的西南部，包括同时拉开东侧伊尔库茨克突出部的另一个更小的缺口，使那里在地台边缘也被海水浸入。值得注意的是，台缘缺口和沉积盆地的周围都是古老地层的剥蚀山区，唯独缺口盆地保存了晚古生代和中生代的一些沉积地层。其中，有两次变动在北亚古地磁（表 1.5）中也有反映，如泥盆与石炭纪的微弱抬升。这与北亚在长期

仅供个人科研教学使用！

北移和左旋中突然在早泥盆纪—早二叠纪反常南移了 3.5° 密切有关。此外，侏罗纪缺口的进一步开裂与北亚经历晚古生代和三叠纪的长期左旋、从早侏罗纪以来出现反常南移并分别发生 13.3° 和 1.7° 的两次右旋密切有关。从此再一次证实，古地磁所显示的板块旋转在当时必有相应的造貌构造响应，虽然有时板块旋转的幅度并不大，但是仍然可从有代表性的地学研究成果中跟踪到。

有意思的是，这种地台旋转拉断边缘山地古海盆地发生缺口的现象，在华北与华南板块之间于三叠纪也曾有发生，即在祁连山与西秦岭之间出现三叠纪的共和缺口，这里在扬子地台与南移的华北地台碰撞后，扬子地台在T₁³又突然北进，特别在T₂²反转为右旋，从而拖曳前沿的中秦岭向东运动，使它与西部的柴达木地块及其南北山地完全分离，导致青藏地区松潘—甘孜三叠纪海盆在T₂²出现共和缺口，使山北的共和地区孤立地出现类似海相沉积，最后也因地台反转而使缺口闭合，山北海相沉积也随之结束（详见3.3.4.3小节（3）条）。

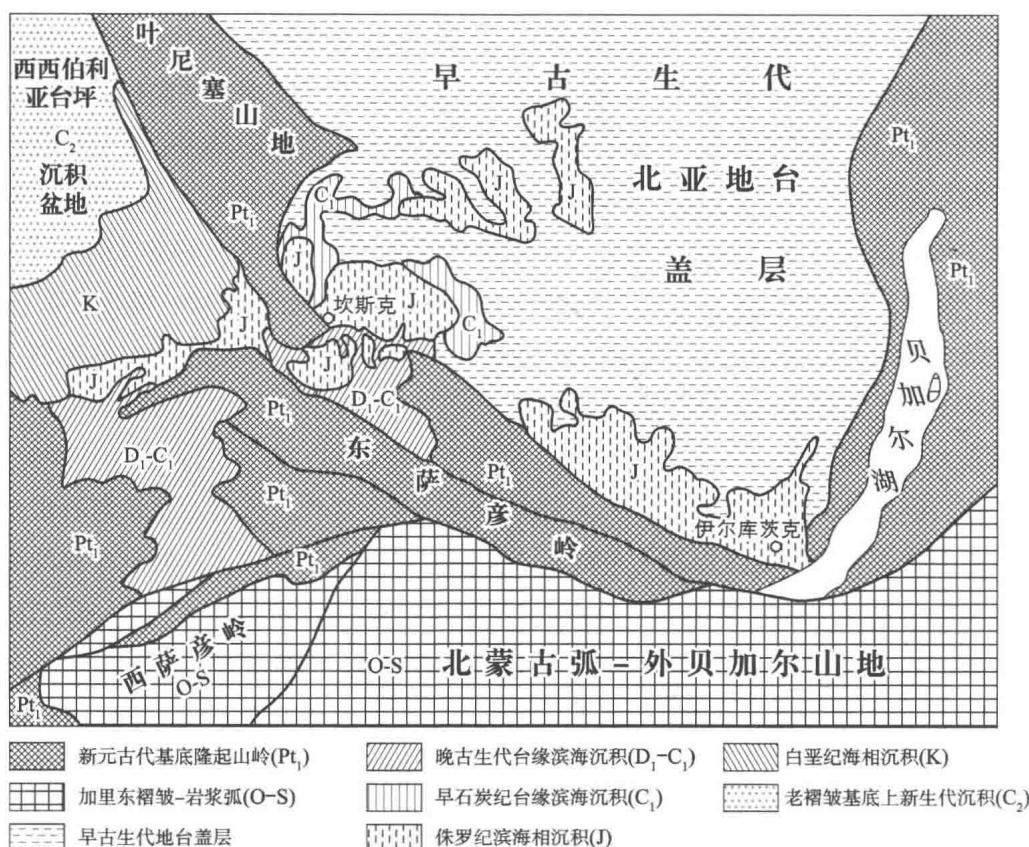


图 1.31 北亚板块扭裂在西南裂口所显示的地层分布

Figure 1.31 Southwest Split Stratum Distribution Displayed by Shear and Extension Fault of North Asia Plate

仅供个人科研教学使用！

1.4.2.2 北亚早奥陶—中侏罗纪左旋与邻区斜碰撞形迹

如上所说，此间北亚两次右旋分别仅为 0.6° 与 0.4° ，而两次长期左旋共 135.8° 。前者短时极弱旋转可以忽略不计（表1.5），而从早奥陶纪末至早侏罗纪持续三百多万年的大左旋是在北半球旋转规律的自然反应，它必然产生最明显的造貌构造形迹。有关形迹按碰撞前锋挤出山弧和碰撞后方扭裂盆地介绍如下。

（1）左旋碰撞前锋（蒙古弧）挤出山弧：如上所说，东欧与北亚在晚二叠纪已基本碰撞缝合，而北欧板块此时以左旋为主，如东欧主地台古地磁（表1.1）显示，在 $281 \sim 196\text{Ma}$ ($P_1^4-J_1^2$) 两次左旋共 59° ，扣除其间夹右旋 14° ，还有左旋 45° 。这样北欧与北亚在此阶段基本上是同向左旋，但是北亚左旋明显快于北欧，这样必然拖曳其陆间带物质朝北亚南部陆间带（蒙古弧）挤入。区域跟踪已查明，当时北亚的左旋碰撞前锋挤出了巨大山弧链，如上述从加里东期至海西期，远离西伯利亚地台的萨彦—额尔古纳的中—南带是自西向东褶皱隆起的造山带。本书认为，这是北亚板块左旋首先与西南部的中亚板块斜碰撞，其后继续左旋与南部的华北板块斜碰撞的产物。形成于海西运动的阿尔泰山系也存在主地台左旋的证据。如有学者研究认为，该山系存在一系列右压扭雁行排列的短轴复背斜与复向斜褶皱和右行走滑的巨断裂带（覃俭，1987）。显然这与北亚早古生代末左旋占绝对优势密切相关。此外，地质、地貌图件都显示：西南从阿尔泰、戈壁阿尔泰，经杭爱山向东到东南蒙古弧的褶皱造山带有变年轻的明显趋势；再向东北至朱格朱尔—科里西克与环太平洋火山弧相连，包括在鄂霍次克台坪的北缘存在向外突出的水下弧形隆起（图1.32）。过去用固定论观点对其成因分析是不可思议的，而现在从北亚地台左旋碰撞向东北挤出分析则很好理解，如俄罗斯海底拖网调查证实，鄂霍次克台坪的北缘突出部的水下降起为火山—岩浆弧岩石构成，其岩石学包括晚三叠纪弱变质泥岩夹中性和基性的喷出岩、侏罗—早白垩纪的喷出岩、 138Ma 前晚侏罗纪末的花岗岩，以及晚白垩纪至古近纪的火山沉积岩（Khramov et al., 1981, 李乃胜等, 2000）。除后者与太平洋板块作用有关外，早—中期构造活动显然与北亚左旋推挤蒙古弧物质向东挤入鄂霍次克海有关。此外，沿阿穆尔河与大、小兴安岭北缘断裂也有大量从东北蒙古向东挤入远东中生代盆地的古生代褶皱岩系，如现代的图库林格拉—贾格德—特尔山和阿利斯基山以及图拉纳等山弧。另据俄罗斯研制的构造略图，在杭爱山西南缘的蛇绿岩带、火山磨拉石岩带和早—古生等不同相带之间，存在右剪切的“多”字形构造形迹。从此推断，在蒙古弧中带与外带之间，包括戈壁阿尔泰的东北边缘与东南蒙古弧之间可能也存在右剪切断裂。这与主板块左旋而在边缘产生右剪切的模式一致。

（2）左旋碰撞后方（西西伯利亚）扭裂断陷台坪：据旋转碰撞的造貌构造模式，此

仅供个人科研教学使用！

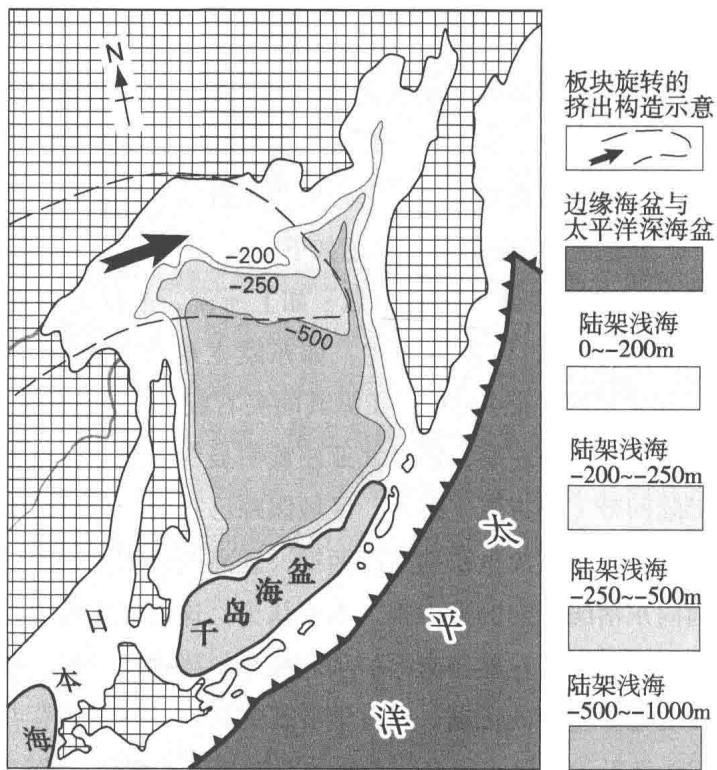


图 1.32 鄂霍次克海北缘水下环形隆起

Figure 1.32 Underwater Ring Uplift of North Margin of the Okhotsk Sea

时北亚与邻区的碰撞后方位于板块另一端的西西伯利亚平原，即左旋后方先后经历裂谷作用和拆离断陷。例如，纳利夫金（1987）研究认为，西西伯利亚台坪的基底都由贝加尔和加里东的褶皱地段和一些大中型古老地块构成。古地磁资料证实，基底最终在海西期固结。古老基底之上还有中间层和盖层。中间层岩石时代是三叠纪，可能包括晚二叠纪；而台坪盖层从侏罗纪开始，且北部从三叠纪开始。本书认为，这种从西西伯利亚台坪的西部先断陷而后向南与东南延伸，符合主板块左旋碰撞后方的扭裂程序。据车自成等（2001）对俄罗斯资料的总结，在新一轮的三叠纪沿台坪轴部的开裂（图 1.33b），形成的从北向南伸入的科克托戈斯克—乌连戈伊裂谷系，充填了陆相碎屑岩和火山沉积。有意思的是，原苏联学者（1982）绘制的三叠纪裂谷平面图，其中三列南北向的主裂谷带生动地显示了东欧与北亚两个左旋地台各自在陆间带的右行扭裂形迹，如上述北亚地台在 $T_2^2-J_1^2$ 左旋了 40° ，而东欧板块在 $T_3^2-J_1^2$ 左旋了 33° （表 1.1）。因此，陆间带西侧的两列主裂谷呈向东弧形微弱突出，且有北宽南窄的形态；而东侧（叶尼塞河西缘）裂谷则反向朝西弧形突出，其宽度也反向为北窄南宽（图 1.33）。可见，在大陆裂谷的研究中，了解有关板块的旋转碰撞背景具有重要意义。

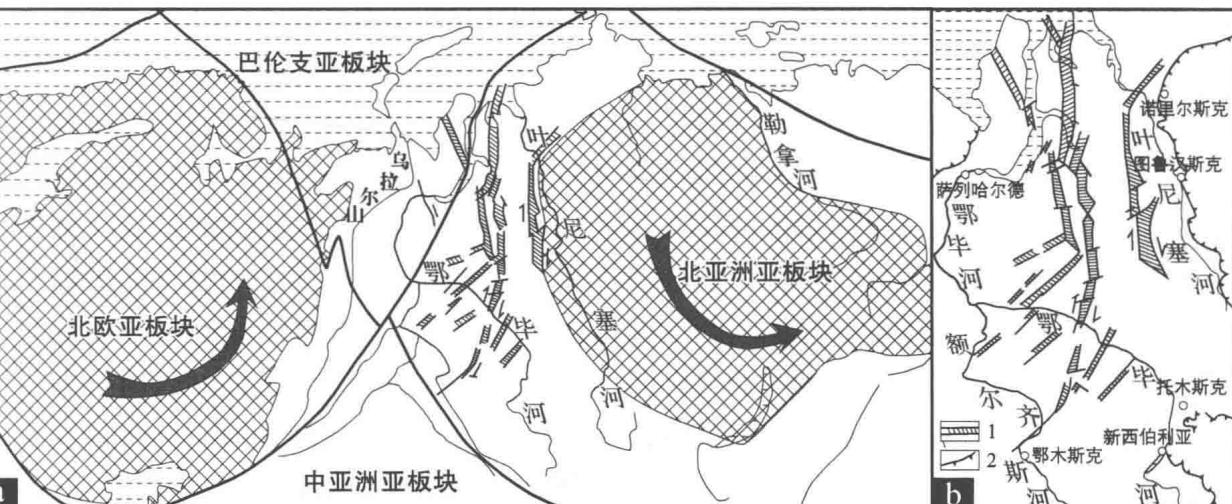


图 1.33a 北欧与北亚中生代早中期双左旋碰撞板间裂谷形态

Figure 1.33a Double Sinistral Collision Interplate Rift Form of Northern Europe and Northern Asia during the Early-Middle Mesozoic

图 1.33b 西西伯利亚三叠纪裂谷平面分布图

据 Сурков и Трофщук (1982) 补充板块旋转

Figure 1.33b Planar Distribution Map of Western Siberia Triassic Rift during the Triassic Period

1.4.2.3 侏罗纪后“两右两左”先后旋转碰撞形迹

在最后阶段，虽然主地台的旋转幅度不大，但变得更复杂。尽管如此，很微妙的是，主地台复杂的旋转与西西伯利亚台坪的海陆相反复变化都能一一对应。例如，纳利夫金(1980)在《苏联地质概论》一书中总结认为，西西伯利亚台坪沉积从早侏罗纪以陆相开始，经陆海交替相，至晚侏罗纪转为含油气的海相沉积，最后至早白垩纪地壳有所回升而海水变浅。很有意思的是，前者与北亚地台在195~173Ma右旋13.3°完全一致，因为右旋时，西西伯利亚台坪作为碰撞前锋必将受到挤压而产生隆起，而后者在晚侏罗纪再转为海相，与北亚地台在173~142Ma($J_2^1-K_1^1$)再次左旋1.9°也一致，最后到早白垩纪地壳有所回升而海水变浅，与北亚地台在121~45Ma($K_1^5-E_2^2$)最后再反转为左旋9.2°也完全一致。此外，在沉积时空的差异方面，纳利夫金还认为，白垩纪陆相地层在东部发育最好，而台坪西部海相由于持续时间较长而沉积了海相黏土，其下白垩统厚度达1000~3000m(这与上述平原东南部受推挤的动力解析一致)，但是到晚白垩纪整个台坪又继续断陷，使平原出现海相黏土沉积，其厚度也大于1000m，甚至到早第三纪，其沉积又以海相黏土和硅质层为主，其厚度在1000m以上，与北亚地台在上述($K_1^5-E_2^2$)再次左旋9.2°一致(表1.5)。据北部亚新构造图，第四纪西西伯利亚台坪总体上处于微弱回升状态，这与

现代北冰洋扩张驱动台坪向南，而南亚大陆碰撞应力向北转递导致台坪处于南北会聚有关。因此再一次说明，了解板块旋转碰撞背景对于研究板缘沉积环境的变化具有重要意义。

关于北亚洲亚板块的现代运动问题，上面古地磁部分已经论及，45Ma (E_2^2) 之后缺乏古地磁数据，但是我们可从北冰洋现代扩张脊的活动情况来判断。例如，据上田诚也等 (1986) 在研讨北冰洋时说的，北极中央海岭（或南森海岭）被认为从 63Ma (E_1^1) 开始至今仍然继续在扩张，特别发现在南森海岭残留着可逆溯到 10Ma (N_1^5) 前后的磁异常，从而判定， N_1^5 以来的扩张速度约为 1.1cm/a (Demenitskaya et al,1970)。俄罗斯学者在亚洲岩石圈动力学活动略图 (图 5.9) 中，对现代北冰洋的扩张速率也采用此数据 (Logachev et al,1991)。而与南森海岭相对应的较宽的阿尔法海岭上覆着数百米的沉积物，该海岭没有地震，地热流也低，故被认为它是现在已不活动的扩张脊，但它残留着过去扩张的异常带，因而被认为是过去的扩张脊。从上初步研究的结果看，北冰洋新生代以来，特别 N_1^5 以来，扩张一直在进行着。而在旋转方面，完全可从新生代活动洋脊的“西宽东窄”判断，其南侧的北亚主板块则可能继续在左旋。因此，如果没有新的不同研究结果，我们就可以判定最迟从 45Ma (E_2^2) 以来北亚一级亚板块在继续南移和左旋着 (对此，4.1.1.4 小节有较为详细的图文说明)。获得这种认识对研究北部亚欧大陆的造貌构造变形具有重要意义。

1.4.3 亚板块划分及其现代运动

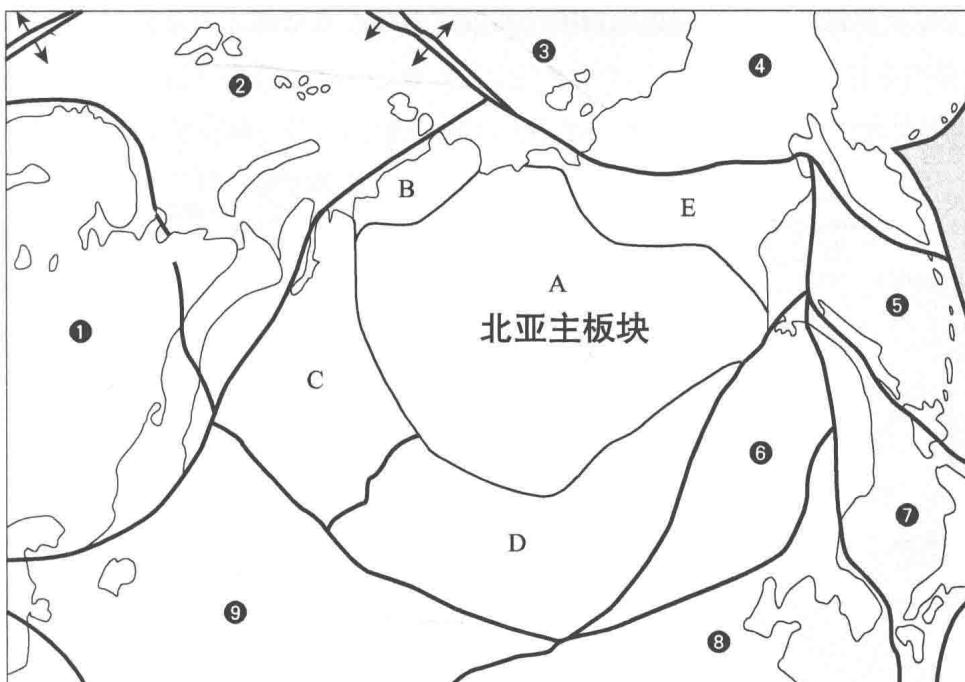
北亚主板块指由主体西伯利亚地台及其增生 - 褶皱而形成的岩石圈中板块，主要是二叠纪末东欧地台、中亚与中朝地台分别与之碰撞、拼贴及其后增生褶皱的产物，近代总体呈圆形外貌。这与核心古陆在古生代反复旋转的动力成因有关。图 1.34 显示，北亚板内除 A 中部地台的主体板块外，还包括下列增生 - 褶皱型亚板块 (自西北向东北反时针)：B 泰梅尔 (增生拼贴式) 亚板块、C 西西伯利亚 (台坪) 亚板块、D 蒙古弧 (微古陆增生 - 扭裂) 亚板块、E 上扬斯克亚板块。有关亚板块及其大地貌组合特征简介如下。

1.4.3.1 (A) 西伯利亚 (古老地台) 主板块

西伯利亚板块 (本书简称北亚板块) 在构造上具有与东欧地台类似的古 - 中生界盖层，为没有褶皱的广阔古老地台。不过，它的形成年代比东欧地台古老得多，特别从现代北欧板块的形成而言，它的形成还是近代大西洋形成之后的事。因此，西伯利亚地台不仅是现代亚欧板块形成的主体，而且也是现代亚欧复合大陆的最古老核心。

(1) 主地台及其边缘构造：据俄罗斯学者对北亚大陆的构造研究，北亚主地台的四周被不同时代的褶皱山地包围；西部 (外围) 西西伯利亚台坪的主体是前寒武纪与加里

东褶皱造山带（别洛乌索夫，1978），西缘（内侧）的台缘有古生代褶皱山地（如西北缘的图鲁汉斯克山脊和西南缘的叶尼塞山脉）；北部是前寒武纪基底上的晚古生代泰梅尔褶皱山系（其南与主地台之间还有台缘的叶尼塞—哈坦加拗陷带；东北台缘有勒拿—阿纳巴尔与前维尔霍扬的两个拗陷带，外围即维尔霍扬（上扬斯克）褶皱系；地台的东南部（内侧）有一个复杂的褶皱—断块构造——雅布洛诺夫山构造体系，它近东西延伸1300km，总体由线性褶皱和短轴褶皱组合而成，具有不同时代和类型的岩浆体，到中生代还有大量花岗岩类侵入，外侧为蒙古—鄂霍次克褶皱系；西南部即中亚褶皱区。地台本部有两大地盾区（图1.35），即东北部的阿纳巴尔地盾与东南部的阿尔丹地盾：A）阿纳巴尔地盾——在太古代结晶基底之上，几乎都是新元古代碳酸盐岩，而其上又被寒武系覆盖。从亚欧地质图可见，地盾区在中部偏西北的地盾核心外，周围都覆盖着广泛的古生代平缓背斜地层。俄罗斯学者称它为台背斜。纳利夫金认为在这些古老沉积物上有在断裂带上形成与基底构造走向一致的NW向挠曲构造。B）阿尔丹地盾——基底在南部出露，地盾大部分为向北微倾的单斜层，但单斜实由十分微缓的拱起和凹陷及其挠曲组成。两大



北亚岩石圈板内亚板块名称：A 北亚主板块 B 泰梅尔全壳块 C 西西伯利亚超壳块
D 蒙古弧全壳块 E 上扬斯克全壳块

邻区亚板块名称：①东欧地台 ②巴伦支台坪 ③北冰洋陆间海 ④东北亚 ⑤鄂霍次克海
⑥黑龙江 ⑦远东—日本 ⑧华北 ⑨中亚

图 1.34 北亚主板块及其板内亚板块分异

Figure 1.34 Differentiation of Northern Asia Major Plate and Its Intraplate Subplates

仅供个人科研教学使用！

台坳（台向斜）即西半部的通古斯台坳与萨彦岭—叶尼塞台坳，其中，C) 通古斯台坳——地台上最大的负向构造，几乎占据主地台的整个西半部（其西南包括部分高地——巴伊基特台原），最大特征是：被很厚的三叠纪火山岩所覆盖，并被河流切割后形成陡峭的河谷滨岸；其次有强烈的暗色岩岩浆作用，包括与地台拉张有关的玄武熔岩的喷发和火山活动。熔岩除喷发外，还形成厚度超过 1km 的熔岩被，岩被侵入古生代岩层之间形成层状的岩床。台坳形成时代值得注意，纳利夫金研究认为，古生代的早 - 中期台坳并不明显，拗陷最快的不是中部，而是台向斜的西翼与南翼。从石炭纪末开始，台坳初具形态，而二叠 - 三叠纪发展到最大规模，最后拗陷结束于侏罗 - 白垩纪。东北部的另一台坳即位于两大地盾之间的 D) 维柳伊台坳——边缘出露宽广的侏罗 - 白垩系，中部中生界厚达 3km，包括近河谷低凹地还有新近系沉积。此外，还有两个台隆（台背斜），即位于中南部的 E) 涅帕—博图奥宾台隆和 F) 帕托姆台隆，后者即现代贝加尔湖北部的博代博高原所在地，两者之间有另一拗陷——G) 滨贝加尔台坳。

(2) 地台盖层变形所显示的板块旋转碰撞意义：有趣的是，上述北亚地台本部的造陆构造可用地台古地磁所反映的旋转碰撞来解析，即除板块碰撞前锋形成造山带之外，在靠近古碰撞前锋的台内前沿也出现隆起而形成台隆或台背斜，而旋转时地台突出部受

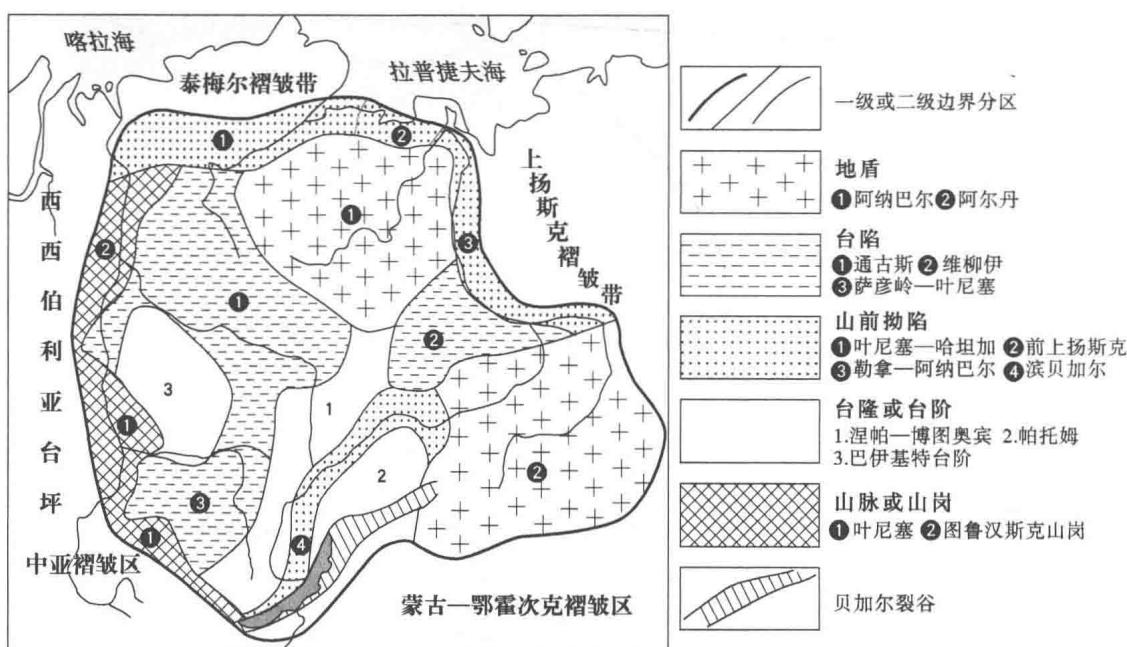


图 1.35 北亚（西伯利亚）地台构造划分

据纳利夫金 (1987)

Figure 1.35 Northern Asia (Siberia) Platform Tectonic Division

阻，在其后方则拆离拗陷而成台向斜。如上已论及，据 Helamov 从岩石剩余磁性所厘定的古纬度，北亚主地台从中寒武纪到志留纪，共北移了近 30 个纬度，并兼约 $15^\circ \sim 20^\circ$ 的右旋。而区域信息跟踪发现，此时右旋地台的碰撞前锋就在地台的现代西 - 西南和南缘一带，即在地台南部与蒙古弧内的一些微陆块碰撞，接着西部与左旋的哈萨克斯坦克拉通碰撞。此外，表 1.5 的古地磁也基本证实，北亚地台这一阶段也明显以右旋为主。同时，从叶尼塞与东萨彦之间的构造显示，北亚地台可能从新元古代就开始右旋对其西南邻区发生斜碰撞，因而从新元古代到早古生代其边缘则发生左行剪切大断裂。当时右旋地台的碰撞前锋就在现代北亚地台的西缘和西南缘一带，即形成上述地台西北缘的图鲁汉斯克山岗和西南缘的叶尼塞山脉（图 1.35）。接着，在 $420 \sim 195\text{Ma}$ ($S_4-J_1^2$) 间除一次小右旋 (0.4°) 外，主地台则反转为总共 135.4° 的大左旋。对此，为了跟踪古今板块旋转碰撞方位的变化，我们可按古板块旋转的实际数据进行反方向的旋转，便可复原到当时的方位，即北亚板块从中寒武纪到早侏罗纪总体还左旋了 135° ($135.4^\circ \sim 0.4^\circ$)，即北亚板块右旋 135° 把阿尔丹地盾复原到早侏罗纪对邻区的碰撞。这样，阿尔丹地盾即在西南与中亚古陆碰撞，因此阿尔丹地区发生隆起，原来阿尔丹的褶皱盖层受剥蚀，因而形成阿尔丹地盾。接着，在 $420 \sim 195\text{Ma}$ ($S_4-J_1^2$) 间北亚地台两次左旋共 135.4° ，我们同样按此数据对地台进行右旋的复原，那么阿纳巴尔的第二个地盾大致面对东部蒙古山弧，于是靠近当时的碰撞前峰，因此阿纳巴尔地区隆起处盖层受剥蚀，最后基底裸露而成地盾，正如纳利夫金对该地盾的隆起所说，因挤压作用在断裂带上使古老沉积物产生与基底构造走向一致的 NW 向挠曲构造，即在志留纪开始出现大片的剥蚀高地。此外，在现代泰梅尔山地的西部，又有另一个突出部直指叶尼塞河口。那么它此时左旋与西西伯利亚台坪碰撞时必然受阻，而地台因巨大惯性继续左旋，这样在地台突出部的西南后方则发生地壳拆离拗陷，形成通古斯台向斜。纳利夫金认为，该台向斜在志留纪出现海相碳酸盐和泥灰岩，二叠 - 早三叠纪被暗色岩切割和沉积为陆相含煤地层，最后在侏罗纪继续为以海相为主的黏土层。有意思的是，这与北亚地台在 $490 \sim 195\text{Ma}$ ($E_4^2-S_4$) 共左旋 142° 而右旋仅 1° 完全一致（表 1.1）。此外，维尔霍扬（或上扬斯克）东南部另一突出部的西侧正对图 1.35 中台陷 ② 维柳伊台向斜（B）。纳利夫金认为，该台向斜在志留纪出现海相碳酸盐和陆相灰色砂页岩，在二叠纪 - 早三叠纪继续沉积陆相砂页岩与黏土。这地台 ($S_4-J_1^2$) 大左旋共 135.4° ，东侧突出部受阻，而主地台会继续左旋，与边缘出现台向斜的拗陷一致。最后从 45Ma (E_2^2) 以来，虽然缺乏古地磁数据，但据北冰洋南森洋脊的不对称扩张，已判定北亚板块不仅范围有所扩大，而且整体继续发生左旋（详见 1.4.1.2 小节）。这一左旋使维柳伊台坳继续扭裂拗陷而接受新生代与第四纪沉积。由于维柳伊台坳沉积中没有岩浆活动，因而被推断在中 - 上层地壳的层次上发生拆离。而通古斯台坳

仅供个人科研教学使用！

因地台拉张有广泛的玄武熔岩的喷发和火山活动。因此，上述通古斯台向斜因左旋在中 - 下地壳发生拆离破裂。另外，在现在南端（伊尔库茨克处）的另一突出部，它的东北侧在二叠纪 - 早三叠纪单独形成高地。本书认为，这与上述地台 ($S_4-J_1^2$) 大左旋共 135.4° 密切有关，即大左旋在伊尔库茨克的突出部受阻，因而首先形成凹陷盆地，导致当时南北大陆正处在南北大陆的会聚时期，其南部蒙古弧正处在褶皱造山时期，年轻造山板片从高山向北部盆地重力滑动，从而形成帕托姆台背斜。可见，这种主地台与邻区板块的旋转碰撞及其突出部受阻，除了直接控制地台边缘的造山成盆外，还可对地台内部的造陆运动产生重要影响。这还说明，板块的水平旋转碰撞还可引发板内不同地台区的垂直升降运动。

1.4.3.2 (B) 泰梅尔 (外来拼贴式) 全板块

如上所述，本板块是乌拉尔古褶皱系的裂离体，因东欧地台晚古生代左旋，最后与西伯利亚地台斜碰撞而拼贴在北亚主地台的西北边缘。它以前寒武纪变质岩系为主体构成现代泰梅尔山地。其中，北部包括布尔什维克岛等地台，其古老基底直接出露，而南部为巨大的南泰梅尔侏罗 - 白垩纪扭裂的山前断陷平原，两侧即叶尼塞河（扭裂）河谷与拉普捷夫海裂陷谷，从而构成独立亚板块。

值得注意的是，泰梅尔半岛的南部存在与半岛平行的巨大长形山前凹陷盆地，俄罗斯学者称其为叶尼塞 - 哈坦加凹陷（图 1.35）。即盆地东部的哈坦加河与盆地西部的下叶尼塞河连通的中 - 新生代断陷盆地，它向西与下鄂毕河平原连接，向东沿哈坦加河及其河口海湾与极地区的拉普捷夫陆架海连通。凹陷填充侏罗系、白垩系与新生界。前者主要是沉积海相的灰色和淡绿色砂岩，富含海洋动物群化石的黏土和很厚的泥灰岩，后者在白垩纪转化为巨厚（ $3 \sim 5\text{ km}$ ）海陆交互相与陆相的含煤沉积（纳利夫金，1980）。亚欧地质图显示，侏罗系与白垩系都出露在盆地的两侧（特别南侧），以及近南北向的叶尼塞河下游东侧的老河谷。有趣的是，侏罗系出露狭窄，主要分布在下叶尼塞河的东侧和哈坦加上游赫塔河的南侧，以及奥列尼奥克河下游沿海的勒拿 - 阿纳巴尔凹陷的南缘（图 1.35）；而白垩系出露广泛，主要分布在盆地东部的哈坦加下游及其河口的南侧，以及勒拿 - 阿纳巴尔凹陷内。盆地主体则是最广泛并向西开口的第四纪松散沉积。本研究认为，上述侏罗系、白垩系与新生界的分布形态与北亚地台古地磁所显示的旋转运动密切相关。例如，侏罗系主要出露在西部下叶尼塞河的东侧和赫塔河的南侧，这与 $195 \sim 121\text{ Ma}$ ($J_1^2-K_1^5$) 共左旋 13.1° （见表 1.5）一致，即反时针左旋使盆地朝西大开口所致。白垩系大面积出露在盆地东部的南侧，这与 $121 \sim 45\text{ Ma}$ ($K_1^5-E_2^2$) 主地台反转为顺时针右旋一致，导致盆地白垩纪在现代东部和东北部大开口。此外，据北冰洋现代西北快而东南慢的不对称扩张可推断，约

渐新世以来北亚一级亚板块又发生左旋，导致盆地的第四系主要都朝西开口，从而生动地显示主地台的旋转完全控制着边缘盆地的构造并影响沉积物的分布。

1.4.3.3 (C) 西西伯利亚(断陷台坪)超壳块

它在新元古代—早古生代是主地台西侧的褶皱造山带，后经历克拉通化并因主地台左旋在后方扭裂而断陷成现在的台坪小板块。主地台近代旋转尚未止息，这不仅使它沿额尔齐斯主边界与中亚板块在地壳层次上分裂，而且在西北大致沿乌拉尔古缝合带与东侧叶尼塞河谷复活了古断裂。虽然西北乌拉尔缝合带（或下鄂毕河断裂）在第四纪已停止活动而被现代乌拉尔山前断裂所取代，但这并没有使它失去作为古板块边界的性质。本板块始新世后仍在南移，因而在阿尔泰山的西北山前形成最新的薄皮线形褶皱系，呈现 NE-SW 向梳状地形，即水系与龙岗平行相间。值得注意的是，据俄罗斯特制的原苏联领土的分层设色的地形图，在阿尔泰山前，存在梳状平行分布的水系与剥蚀龙岗，一些龙岗范围正被 200m 等高线穿过，而一些更低的龙岗在制图时没有选取等高线来显示（图 1.36）。本书认为，这是在亚洲南北会聚作用下，西西伯利亚台坪与阿尔泰地块之间盖层缩短而发生最新褶皱的表现，而萨彦岭山前基岩地块则表现为岭前隆起。因此，西西伯利亚超壳块除台坪主体外，东西两边有复活古断裂，而南缘有褶皱—隆起带，从而显示台坪具有某些独立活动特征，因而被确定为次级亚板块。

此亚板块的形成涉及一个重要现象，即所谓板块旋转碰撞山系的后造山裂陷。如上所说，西西伯利亚在新元古代—早古生代是主地台西侧的褶皱造山带。当时这里是高山峻岭，但是据纳利夫金研究，经晚古生代固化之后，从志留纪开始，在最外侧的乌拉尔山附近有沉积与火山作用，南部乌拉尔山前现灰岩沉积。泥盆系和志留系及其上的石炭系一样，它们都以火山岩互层的陆缘沉积和碳酸盐岩为代表。其中 D—J 地层的沉积范围扩展到乌拉尔山系的东部，至石炭纪沉积进一步扩展到整个西西伯利亚台坪。其西部由碳酸盐—陆源岩层组成，而东部发展被海相陆源岩层取代。有意思的是，上述沉积的扩展与北亚地台在 420 ~ 195Ma ($S_4-J_1^2$) 间左旋共 135.4° 完全一致，即左旋时这里作为后方发生扭裂与断陷，而且地层分布从最外侧的乌拉尔山附近逐步向乌拉尔东部以及太平洋西部发展。到三叠纪沉积仅在海西褶皱系内的地堑出现。这与地台 245 ~ 238Ma ($T_2^1-T_2^2$) 反转为右旋 0.4° 一致，说明微弱右旋使这里受到微弱的挤压而使沉积收缩到地堑内。此外，北欧克拉通在二叠—三叠纪以左旋为主对北亚地台的碰撞造山产生推挤而最终使它形成宽阔的乌拉尔山系，但是北亚地台在 195 ~ 173Ma ($J_1^2-J_2^1$) 间反转为右旋 13.3°（表 1.5），使乌拉尔山系的东半部断陷为西西伯利亚平原的一部分。这种情况在亚欧大陆十分常见，而在乌拉尔山系最为典型，包括东欧地台在 P—T 左旋主

动对北亚地台碰撞，使西部乌拉尔部分山系朝北推挤。而在 $J_3^2-J_1^2$ 东欧再次左旋 33° ，这时有部分乌拉尔山系朝东北挤入泰梅尔半岛，形成贝兰加山地。而北亚在上述 $J_1^1-J_2^1$ 右旋 13.3° 阶段，可能又把部分乌拉尔山系朝西北推挤，形成向西北弧形突出的现代新地岛。其岛前隆起的水下高地证明它是朝西北推覆而在岛前隆起的。到 $173 \sim 45\text{Ma}$ ($J_2^1-E_2^2$)，由于北冰洋阿尔法与南森两洋脊的先后扩张，北亚板块再次出现两次左旋（共 11.1° ），这导致乌拉尔山系东北部 $1/3$ 以上的山区发生右行扭裂，并断陷成西西伯利亚盆地的西北部（下鄂毕河平原），包括泰梅尔半岛—贝兰加山系的南部也右扭裂断陷成哈坦加河—郝塔河断陷平原。

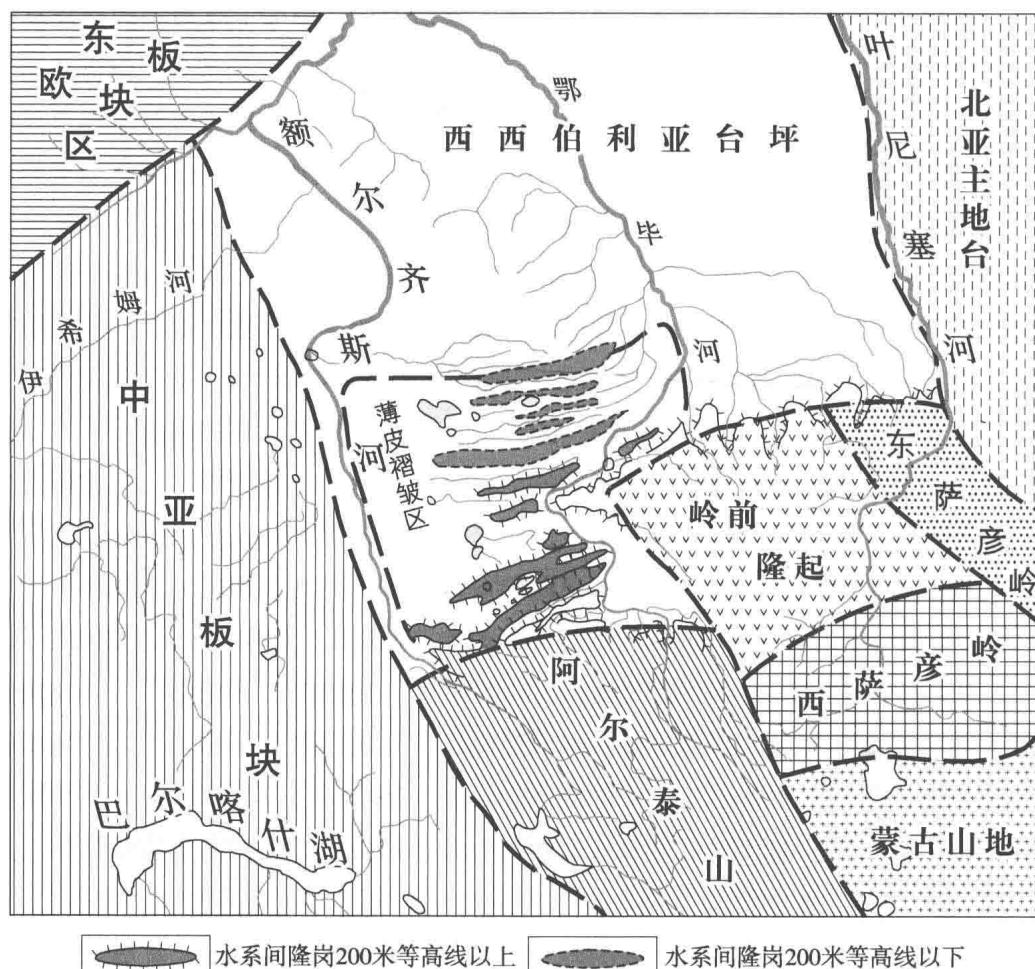


图 1.36 西西伯利亚台坪南缘薄皮褶皱显示的水系与岗地平行相间地形

Figure 1.36 Drainage and Mound Parallel Alternate Landform Displayed by Thin-Skin Fold in South Margin Rise Region of West Siberia Platform

1.4.3.4 (D) 蒙古弧(微陆块增生)全壳块

它指蒙古显生宙古海洋闭合的台缘褶皱系所在的小板块，即北亚主地台及其南部中亚（哈萨克斯坦）板块和华北板块之间的古大洋，以及因北亚主地台的反复旋转及其与南方古板块的斜碰撞而褶皱造山的联合板块区。据俄罗斯学者研究，褶皱造山系至少先后卷入唐努—西北蒙古与北蒙古两大中间地块（Тухонов, 1997；Yanshin et al, 1984），即以此为核心在早—晚古生代增生与褶皱，并在中—新生代扭裂变形而成亚板块。其古生代板块演化历史甚为复杂，至今知之甚少。但据上述作者所制的构造略图分析，整个古褶皱系包括三个地带：内带即前寒武纪褶皱带构成以外贝加尔山系（西萨彦—北蒙古）山地的主体；中带同上的构造仅呈现一些碎块，其主体以加里东—早海西褶皱系为主；外带则以晚海西增生褶皱系为主，构成阿尔泰、戈壁阿尔泰和外兴安岭山地。其中，外带都含有一些地台碎块，在地表出露中生代稳定型盖层沉积。据该构造图分析，内带、中带在北亚早古生代右旋时有向西推挤的造貌构造特征，即两带的古老褶皱及中间地块的刚性主体都呈 NE-SW 向排列，且西端（前锋）都被加里东—晚海西褶皱系及其最外缘冲断构造所包围。亚欧地质图也显示，在西萨彦岭与杭爱山的西部边缘都有古老基底的冲断构造，反映两带向西挤入时前锋都有基底卷入与增生褶皱现象，这与古地磁显示的北亚主地台在中寒武纪—早志留纪 300° 以上的大右旋有关（Helamov, 1980），从而逼使其前锋古褶皱系向西挤出。其后在晚古生代—早中生代共左旋 130° 以上，使其前锋（东蒙古弧，包括大兴安岭）在燕山期发生大陆火山喷发，包括主地台左旋在其南端（伊尔库茨克）突出部的拖曳，使内带从中部而中带从西部发生右扭裂，导致现在西蒙古出现断陷湖泊带，从而形成 SN 向的库苏古尔湖、EW 向的乌布苏湖，以及 NW 向的哈尔岛苏湖。而最外侧即是晚海西增生褶皱系的阿尔泰—外兴安山地，是早侏罗纪以来主地台南移的前锋现代变形带，包括东北台缘的上扬斯基中生代褶皱系和现代契尔斯基裂谷活动带，从而构成现在北美板块斜碰撞的扭裂边界，显示近代北亚大板块不仅具有统一的整体运动，而且有板内差异运动的造貌构造特征。

1.4.3.5 (E) 上扬斯克(冒地斜)全壳块

上扬斯克构造域是中西伯利亚台缘的冒地斜，这与青藏高原北部松潘—甘孜地块是扬子地台的冒地斜一样，但是它与主地台之间仅有裂陷而没有断离，因此不是一个亚板块；而松潘—甘孜地块与扬子地台在显生宙几经裂离，因而成为亚板块。上扬斯克由于主地台的旋转并经历扭裂凹陷而接受海洋沉积，最后海盆闭合、褶皱成山系。现在各种地质图都显示，该褶皱系呈现可分内外带。内带即上扬斯克冒地斜的晚古生代至三叠纪褶皱

仅供个人科研教学使用！

系，它总体略呈西北宽而东南窄形态，这符合表 1.5 所显示的北亚主地台在 420 ~ 195Ma 并左旋在边缘左旋扭的形态特征。外带即契尔斯基陆间褶皱系，其中早 - 中侏罗纪褶皱带呈现明显的西北窄而东南宽的形态特征，这与表 1.5 主地台在 195 ~ 173Ma ($J_1^2—J_2^1$) 大右旋 13.3° 并在边缘左扭裂的特征一致。晚侏罗纪褶皱带呈现明显的西北宽而东南窄的形态，这与表 1.5 主地台在 173 ~ 142Ma ($J_2^1—K_1^1$) 左旋 1.9° 有关。值得注意的是，纳利夫金（1980）在《苏联地质概论》中多次提到上扬斯克的一个大谜团，即该区 C_2 陆相沉积从西南边缘开始，P 沉积中心迁移到东北部的契尔斯基一带，其海相沉积厚 7000m。T 时上扬斯克与契尔斯基总体海相（局部陆相）沉积厚度达 9000m，J 沉积厚度达 5000m，K 系为 3000m。这样，从二叠系到白垩系的总厚度 24000m，形成长 2000km、宽 200 ~ 300km、平均厚度 5000m、总沉积量 $2 \times 10^6 \text{ km}^3$ 的砂、粉砂与黏土的上古生代沉积。这一难以置信的巨量陆源碎屑沉积从何而来？如果考虑盖层具有复理石和磨拉石的韵律结构，那么它应该形成于正在上升的山脉附近，但是这样的山脉在哪里？西部为西伯利亚地台，而北部与东部当时皆为海洋，因此这的确是一个值得研究的谜团。对此，可据上述北美与北亚局部碰撞前后的古地理环境得到合理解析。例如，除在北美与北亚未碰撞前，上扬古海洋可接受西伯利亚地台的大量剥蚀物质，而碰撞后美亚大陆在北极圈合而为一，使北极圈大陆的面积猛增，于是来自北方的大量剥蚀物质即可被排入上扬古海盆，特别是表 1.5 显示的北亚地台在 195 ~ 173Ma 和 142 ~ 121Ma 两次共右旋 15°，进一步拉开了上扬地斜海，导致该海盆从二叠纪到早白垩纪出现 24000m 的以陆源碎屑为主的海相、陆海交替相的空前巨厚沉积，从而使这一长期不可思议的超量沉积来源找到了新解析。最后表 1.5 还显示， $K_1^5—E_2^2$ 地台再次左旋了 9.2°，这主要是北冰洋阿尔法脊快速扩张所驱动（详见 4.1.1.2 小节），导致上扬斯克冒地斜海在晚白垩纪最终闭合。可以认为，上扬斯克地斜海的开合历史，实际上是北美板块对北亚地台旋转碰撞史的一种响应。上述地斜海超量沉积的谜团也因此迎刃而解。地斜海褶皱造山后形成叠覆于北亚主地台之上，但又有相对独立运动特征的现代台缘板片。板片呈现三角形外貌，其东北侧姆莫斯基裂谷与隶属于北美板块的东北亚微板块相邻，东界以环洋断裂为界与鄂霍次克亚板块相邻，而西南以勒拿河断裂与北亚主地台板块相隔。在亚洲统一大陆形成与进入向腹地会聚阶段之后，这些边界都不是岩石圈层次的断裂，而是转化为地壳，甚至中 - 上地壳的断裂，形成一种所谓的薄壳板片。

1.4.4 北亚板块现代造貌构造与运动问题

除主地台制约整个亚欧岩石圈板块的统一上地幔活动底板外，还包括下列边缘的全

仅供个人科研教学使用！

壳中 - 小板块（按逆时针顺序排列），即泰梅尔全壳小板块，以及西西伯利亚、西蒙古弧与东蒙古弧、上扬 - 柴尔斯基 4 个全壳中板块。其中，主地台中板块的板内在局部边缘还形成 2 个卫星式的中壳微板块；而边缘带 4 个中板块则各自包括 2 ~ 3 个地壳或中壳小板块。这样，主地台板块的上地幔活动底板可能在壳下延伸到边缘的地壳亚板块之下，从而通过统一活动底板从深层控制边缘亚板块的某些总体运动，但是边缘各个浅层亚板块又有自身的相对独立运动。此外，凡称板块与亚板块者（不论大小），板内都有响应其运动学的地貌组合。北亚板内亚板块的等级划分及其地貌组合，包括它们的现代运动状态都已表示在亚洲 1:1400 万的造貌构造图上，在此仅简要说明。

1.4.4.1 北亚板块与亚板块层块结构问题

北亚板块指以北亚地台为主体而增生的岩石圈板块，相当于李春昱等（1982）亚洲大地构造图中的西伯利亚板块，但是当它与邻区大陆碰撞之后，由于壳下塑性上地幔的黏合作用，它在近代已转化为亚欧板内的一级亚板块，并成为制约亚欧巨板块的主体亚板块。此外，北亚一级板块的内部在主地台和边缘褶皱区之间，由于壳幔结构属性的差异，在现代北冰洋“西快东慢”差异扩张下，又在全地壳或中 - 上地壳的层次上分裂出几个二级亚板块。据层块结构分析认为，现在北亚地台二级主板块的边界断裂（图 1.34），在下插到下地壳之后并没有继续下延与穿透整个岩石圈（因为地表没有任何岩石圈破裂的表现），而是沿着莫霍面以低倾角向外伸展到整个北亚一级亚板块的边界。这样，它们的运动在受邻区板块运动的影响之后，除具有某些独立运动能力外，还会受到北亚主地台运动的制约。亚欧岩石圈板块和其他板块一样，所有北亚板内的二级亚板块（如上述泰梅尔与西西伯利亚等）都形成既有独立运动能力，又有以主地台为核心的统一运动特征。据板块学说的基本概念，甚至在邻区同级亚板块的推挤与会聚下，如北大西洋与北冰洋，两者扩张脊近 90° 相交，它们同时或先后扩张都会引发被动边缘亚板块向亚欧板内会聚，从而通过板内塑性上地幔的黏合作用，形成亚欧巨板块壳下的统一活动底板。这样，北亚一级板块及其后期的亚板块则形成中部最厚而边缘薄的层块结构。如俄罗斯学者对亚洲岩石圈厚度的研究显示，北亚中部主地台在 150 ~ 200km 及以上，而西西伯利亚台坪和南部蒙古弧在 100 ~ 150km，泰梅尔与维尔霍扬在 100km 以下。这就为厚层主地台在壳下形成向外延伸的上地幔活动底板，并制约边缘褶皱系亚板块活动提供了条件。此外，邻区的巴伦支、北欧、中亚与东北亚（科雷马），甚至中 - 西欧等超地壳或地壳亚板块，也可以通过它们的统一活动底板与北亚主板块发生运动学的联系，而它们在上述北大西洋与北冰洋差异扩张下，各自具有某些独立运动能力。这应该不是人为的结构设计，而是符合全球岩石圈分异的

仅供个人教学使用

地球物理基础。可以想象，如果北亚主板块的边界断裂向下穿透了整个岩石圈，不仅在北亚主板块的边界会找不到没有任何岩石圈断裂的活动形迹，而且违背全球岩石圈板块的总体格局。或者本书据地块之间差异运动及其不同的内部结构分析，亚欧板内所划分的各个亚板块彼此没有运动学的运动联系，而是各自分立的亚板块，这同样会否定亚欧岩石圈板块的存在意义。总之，在最古老的北亚主地台统一运动制约下，各自在外围海底扩张的驱动下，既具有分立的运动特征，又有亚欧板块统一的总体运动，这才符合现代板块构造学说的层块观。

过去许多学者都把北部亚欧大陆列入稳定区（森格，1991；Yin et al, 1996），但所谓稳定完全是相对的，因为从中生代末以来，北冰洋新老洋脊的差异性扩张都相继推动着亚欧板内亚板块向南产生差异运动。值得提出的是，北亚现代三大水系，即鄂毕河（包括上源额尔齐斯河）、叶尼塞河和勒拿河，三者在总体上都呈现从极地向南辐射，并向西南略为突出的弧环形态。三大河流源头（蒙古高原）大致向北扩散，中游分别朝北，下流又各自略偏东地流入北冰洋。这种总趋势与主地台中-新生代以左旋为主的动态有关。显生宙以来的长期旋转与后碰撞变形，最终使现代主地台及大板块都形成近圆形的几何形态，即主地台中部地形平坦，板块活动厚度最大，而边缘亚板块地形起伏大，活动层次较浅。因为显生宙长期顺、逆时针的旋转，必然磨掉古地台原有的棱角（这些磨掉的棱角都成为后期褶皱系内的中间地块）。如黄汲清早就指出：稳定地台为“薄壳厚幔”，且壳幔之间相对均一，两者物质运动缓慢；反之，相对活动的边缘褶皱带为“厚壳薄幔”，其壳幔分层性较明显。本书据这一规律大致判定：主地台为岩石圈层次的中板块，边缘内带为全壳（局部超壳）的中-小板块，而外带为中壳（局部全壳）的小-微板块，形成中部地台为岩石圈，内部边缘阿尔丹与外贝加尔为超壳，一般山盆为全壳块，而前沿阿尔泰与外兴安岭为中壳块，总体为“蝶形”层块结构。这是显生宙以来长期旋转和侏罗纪后北冰洋扩张驱动板块与亚板块差异南移的最佳适应结果。另外，由于地台的增生与旋转，主地台边界和外环大板块边界在平面上皆呈近似圆形。如果具有最古老核心的北亚主地台都不是岩石圈层次的板块，那么周围年龄相对较新和体积相对较小的北欧、中亚与东北亚等邻区亚板块就更不可能是岩石圈板块，这样整个亚欧板块就不是以岩石圈为主体的板块构造，这同样违背全球岩石圈板块分异的基本规律。

在北亚板块的旋转过程中，旋转速度是内环快还是外环快，这在耦合板块运动时是值得考虑的。据北欧与北亚板内克拉通与褶皱系同类亚板块的结构分析（包括某些实际资料显示），两者转速皆为外环亚板块快于内环主地台，这是因为旋转的驱动源来自邻区海底的差异性扩张，即边缘旋转带动中心地台旋转，而非中心驱动边缘旋转。虽然主地台与边缘带同是左旋，但如外环快于内环，其内外环边界应左剪切，反之（内环快于外环），

其边界则是右剪切。实际分析证实，前者符合北欧、北亚的自然现象，况且目前大陆内部尚没有旋转热柱驱动主地台并带动增生边缘差异旋转的任何报道。

1.4.4.2 北亚板块范围扩大与现代左旋判定

古新世以来，由于北冰洋南森洋脊的扩张北部亚欧大陆的构造活动有所复活，主地台板块进一步增生扩展。例如，据北亚邻区现代板块构造活动的初步分析，首先是巴伦支板块的东南部边界，如 1.2.2.2 小节（C）条和图 1.20 所示，下鄂毕河断裂从早白垩纪开始，由于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，但新近纪以来可能由于南森洋脊明显的“西快东慢”的差异扩张，巴伦支台坪的左旋增强，导致东南部边界 ❸ 北乌拉尔与 ❹ 北泰梅尔断裂在第四纪停止活动。这一右剪切活动的停止，以及季曼岭山前断裂的复活并向 SE 延伸而斜切中乌拉尔山系，都从侧面证实巴伦支板块在第四纪已并入北亚一级亚板块。同时，正是南森洋脊古新世以来发生西北快而东南慢，甚至向东北亚陆缘尖灭的不对称扩张，因此可判定包括巴伦支在内的北亚大板块继续左旋至今。而在北亚板块的东南侧，黑龙江联合亚板块也曾作为北亚地台古陆缘的增生拼贴体，例如，据环洋带海陆板块的互动分析，在晚侏罗纪，西太平洋朝 NW 运动，从而推挤一些微古陆块（或地体）拼贴于北亚地台的古陆缘，其后太平洋继续俯冲消减，于是在北亚主地台的外侧形成台缘新生了拼贴式的黑龙江板块。亦即，此时的黑龙江板块在下地壳与上地幔层次上都受北亚地台运动的控制，但由于北亚主地台存在往返旋转，其边线几经扭裂，如据古地磁信息（表 1.5），北亚主地台在 $J_1^2-J_2^1$ 大右旋（ 13.3° ）曾带动东南侧的呼伦—二连微板块南移，这不仅使其北部拉开呼伦—贝尔湖盆，而且拖曳大兴安主板块南移，导致其北部结雅河流域断陷形成盆地。例如，据 Tuxonov (1977) 研究，结雅盆地与呼伦—贝尔湖盆都由地台裂块组成，而后在 $J_2^1-K_1^1$ 北亚主板块左旋，虽然仅有 1.9° ，但也拖曳大兴安小板块北移，使其南缘拉开了二连盆地，至 $J_3^3-K_1^5$ 间北亚地台又右旋 1.7° 。这种以右旋为主的左右旋转是拉开呼伦—贝尔湖盆的主要原因。亚欧 1:500 万地质图显示，东蒙古外贝加尔山地扭裂出一系列 NE-SW 向的地堑谷盆地，这种中—上地壳的扭裂可能暗示北亚主板块在下地壳和上地幔层次仍然制约着黑龙江板块的运动。但是，大陆边缘有自身的运动，特别到新近纪由于南亚的大陆碰撞，其应力通过青藏高原的隆起向北部高原外围扩散，其中，部分再通过华北板块的推挤，使黑龙江联合板块在地壳的层次上脱离北亚主板块。虽然它在壳下可能仍然受北亚主体亚板块运动的制约，但在地壳的层次上已转入南亚印度洋扩张所控制的板块动力区系（详见 4.2.2.2 小节（B）条）。

仅供个人科研教学使用！

1.4.4.3 关于贝加尔湖成因问题

贝加尔湖的成因一直是国际关注的热点，它涉及北亚主板块南缘的两个重要地貌问题。其形成原因目前仍然众说纷纭：①异常上地幔及其穹状隆起的主动成因说（Logatchev et al, 1983）；②南亚大陆碰撞远程作用，导致裂谷形成的被动成因说（Molnar et al, 1979）；③上述主被动结合的复合成因说（Zonenshan et al, 1981）。地质地貌图件显示，在贝加尔东北侧的博代博高原，以近3000m的海拔屹立于数百米的北亚低平地台之上，高原东南后缘山地的海拔为2841~2999m，向北逐步降低到高原北部的1340m，北方外周则是400~600m的广阔台原，而高原后缘（东南部）地形急降到河谷盆地带。值得注意的是，贝加尔湖长约700km，湖面高程为455m，水深为1740m，湖盆总体略呈向东突出的新月形。它地处西伯利亚地台向南突出的岬角之东缘（岬角位于东萨彦岭东端与贝加尔湖南端之间），东北即博代博高原，山湖高差4500m以上。据区域信息与有关地学图件，我们认为贝加尔湖形成主因在于主地台的现代南移与左旋，即北冰洋古新世南森洋脊的差异性扩张（包括可能进一步诱发主地台的离极运动）。要解释此因，首先要明确本区中生代末以来，地处两种动力环境之中：①北亚南移与左旋力，如中生代末北美对北亚的左旋碰撞诱发了北冰洋开裂和可能的离极运动，从而使主地台产生南移和左旋。特别是中新世以来，北冰洋南森洋脊可能加速扩张，使巴伦支板块左旋南移动力增强，其作用力沿季曼岭—波利乌多夫岭断裂，并横穿中乌拉尔断裂发生消减作用，导致巴伦支板块拼入北亚主板块，于是北亚板块面积与左旋力猛增（参见1.2.1.3小节）。②南亚印度与亚洲全面碰撞，特别是中新世后印—澳两大板块合二为一北移，形成岩石圈超级大板块而使其向北推力大增（参见2.3.4.2小节）。因此，在南亚印—澳巨板块的向北推挤力和北亚主地台南移左旋力的共同作用下，北亚主地台岬角与博代博高原之间发生强烈扭裂，从而引发贝加尔湖形成。其形成的动力机制在于南移左旋力和向北推挤力的共同作用。主地台左旋时岬角处的中—上地壳受阻，而整个地台的下地壳与上地幔以较大的惯性继续左旋而向东运动，使岬角东区的基底撕裂，并可能产生片状拆离。这一方面导致岬角东缘的贝加尔湖扭裂形成，另一方面则使岬角与高原区产生薄皮构造，因而在南北强烈的会聚作用下，诱发岬角东北凹处的前陆地带和部分蒙古弧造山带岩席，大致沿康氏面向NNE产生重力滑动，最终形成现代的博代博高原。据Logtchev（1982）主编的湖区新构造图（1:250万），高原酷似向北滑动的板舌，其后缘为拉伸与左扭裂河谷带，而板舌主体皆为向北逆掩—冲断构造，这正是重力滑动作用的生动表现。推测高原与阿尔丹前陆同一构造岩相带的物质向北滑动了400km左右。Molnar等（1983）也认为该湖盆是受一种向东北挤压的力作用而形成的。本研究认为，这实际上也是上述中—上地壳向

仅供个人科研教学使用！

北北东重力滑动产生薄皮构造的挤压力。上述异常上地幔及其穹状隆起的湖泊主动成因说中，所谓异常上地幔隆起实际上应是主地台扭裂诱发的后果，而非主动成因；贝加尔湖的形成演化证实， E_3-N_1 是以左行张扭为主的早期裂谷活动期，而 N_2 以来才是以东西扩张为特征的裂谷主要活动期 (Kimura, 1987)。沉积学响应在渐新世为含褐煤的浅湖沉积，到中新世才是典型的深湖沉积。有资料表明，贝加尔湖盆及其毗邻（贝加尔湖的西南方）的巴尔古津盆地和通古斯盆地，其中 – 上第三系和第四系的厚度达 1.5 ~ 2.2km (纳利夫金, 1987)。联系前一信息可推测，其沉积厚度最大的应该是中新世，其次可能是第四系。这可能说明湖盆扭裂的高峰期在新近纪，而第四系次之。

仅供个人科研教学使用！