



蒙古-鄂霍次克褶皱系地质特征及构造属性讨论

张允平, 宋维民, 那福超, 刘英才, 赵雪娟

中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

摘要: 将蒙古-鄂霍次克褶皱系的地质构造特征及其演化进程, 置于古亚洲洋和滨太平洋构造域的宏观格架中加以对比研究, 可以看出, 蒙古-鄂霍次克构造带属于复合褶皱系。依据其主体特征, 可以分为西、东两部分。西部地区, 杭盖-肯特-达斡尔褶皱带的晚新元古代—晚古生代地质特征, 与古亚洲洋构造域演化进程的特征类同, 早中生代构造演化与古亚洲洋构造域板块汇聚后的大陆裂解有关, 晚中生代叠加了大规模走滑和逆冲作用。东部地区, 褶皱系的主体属于滨太平洋活动大陆边缘中生代构造演化的一部分, 西段的中生代陆缘弧盆系和大型走滑断裂带叠加在古欧亚大陆板块及古生代褶皱带之上, 东段的中晚侏罗—早白垩世乌达-穆尔加陆缘褶皱-逆冲带被晚白垩世的锡霍特-阿林-鄂霍次克-楚科奇大陆边缘火山岩带斜截并覆盖。

关键词: 蒙古-鄂霍次克; 褶皱系; 构造演化; 古亚洲洋; 东北亚

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND TECTONIC ATTRIBUTE OF MONGOLIA-OKHOTSKM FOLD SYSTEM

ZHANG Yun-ping, SONG Wei-min, NA Fu-chao, LIU Ying-cai, ZHAO Xue-juan
Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: The comparative study places the geological characteristics and evolution of Mongolia-Okhotsk fold system into the macroscopic framework of Paleo-Asian Ocean and peri-Pacific tectonic domains. It shows that the Mongolia-Okhotsk tectonic belt belongs to composite fold system. According to the main characteristics, the fold system can be divided into two parts. In the western part, the geological characteristics of Hangay-Kent-Daur fold belt in Late Neoproterozoic-Late Paleozoic are similar to the evolution characteristics of Paleo-Asian Ocean tectonic domain, with its tectonic evolution in Early Mesozoic related to the continental disintegration after the plate convergence of Paleo-Asian Ocean tectonic domain and large-scale strike slip and thrust superimposed in Late Mesozoic. While in the east, the main fold system is part of the Mesozoic tectonic evolution of peri-Pacific active continental margin, with the Mesozoic continental arc basin system and large strike-slip fault zone in its western section superimposed on the paleo-Eurasia Plate and Paleozoic fold belt and the Middle Late Jurassic-Early Cretaceous Uda-Murga continental margin fold-thrust belt in its eastern section cut obliquely and covered by Late Cretaceous Sikhotealin and Okhotsk-Chukchi continental margin volcanic belt.

Key words: Mongolia-Okhotsk; fold system; tectonic evolution; Paleo-Asian Ocean; Northeast Asia

收稿日期: 2022-03-24; 修回日期: 2022-04-19. 编辑: 黄欣.

基金项目: 中国地质调查局项目“中国大地构造演化和国际亚洲大地构造图编制”(DD20190360), “东北地区自然资源动态监测与风险评估”(DD20211389).

作者简介: 张允平(1951—), 男, 研究员, 主要从事大地构造、区域地质与区域成矿规律研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail//syzhyp@qq.com

通信作者: 宋维民(1983—), 男, 博士, 正高级工程师, 主要是从事区域地质与大地构造研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail//swmws@126.com

0 引言

蒙古-鄂霍次克褶皱系的主体,位于萨彦-外贝加尔褶皱区和阿尔丹-斯塔诺夫花岗绿岩区南部,及其与图瓦-蒙古古陆、东部蒙古-额尔古纳-玛门(Mamyn)地块和佳木斯-兴凯地块群之间.有关蒙古-鄂霍次克褶皱带的研究及讨论,主要见诸20世纪70年代以来的一些国际地学合作项目(IGCP224、283、248等)研究成果和文献中^[1-6].在程裕淇和王鸿祯教授主编的《地球科学大辞典(基础学科卷)》中,将蒙古-鄂霍次克褶皱带定义为:“沿西伯利亚地台东南缘延展,是一条形成于三叠纪和侏罗纪的褶皱带.与该带相联系的是蒙古-鄂霍次克缝合带,它标志着古生代晚期西伯利亚古陆与属于黑龙江古陆的一系列微陆块或地体碰撞而形成的缝合带”^[7].有学者将自蒙古中部,向东到鄂霍次克海口的晚古生代—早中生代构造带称为蒙古-鄂霍次克褶皱带^[6].《北、中、东亚及邻区1:250万构造图》将前述的蒙古-鄂霍次克褶皱带的西段表示为杭盖-肯特-达斡尔(Hangay-Khentey-Daur)褶皱带,东段为蒙古-鄂霍次克褶皱带^[8].

显然,学者们对蒙古-鄂霍次克褶皱带的构造、演化历史和属性的认识一直存在不同看法.如:蒙古-鄂霍次克褶皱带属于突厥型造山带,其构造发展始于文德纪—寒武纪^[4];蒙古-鄂霍次克洋盆形成于加里东期(前奥陶纪)褶皱带的裂解,并将西伯利亚古陆南缘和中国北部的前奥陶纪褶皱带分隔开^[6];蒙古-鄂霍次克洋属于分割西伯利亚与中国北部大陆地块的“红海型”(Krasnomorsk type)次级洋盆的链状裂陷槽^[9];等等.在构造演化进程、闭合过程和时间等方面存在的争议则更多.中国地质学者有关蒙古-鄂霍次克褶皱系的研究文献较少,对其结构特征及构造属性的认识多种多样.随着中国北方区域地质、区域成矿规律与成矿地质背景等方面研究工作的深入,亟需深化对蒙古-鄂霍次克褶皱系的研究.

在完成中国地质调查局“古亚洲洋构造域东段构造格局、演化历史研究和1:250万构造图编制”和“太平洋构造域北段构造格局、演化历史研究和1:250万构造图编制”研究项目工作后,笔者感到有可能根据收集到的大量文献资料,结合多年对东北亚地区有关大地构造问题的思考,对蒙古-鄂霍次克褶皱系的地质特征和构造属性进行一次综合讨论.

笔者认为,蒙古-鄂霍次克构造带是一条复合型褶皱系,其地质结构、演化进程及后期构造-岩浆作用的叠加,与古亚洲洋及太平洋构造域的演化有关.从蒙古-鄂霍次克褶皱系各区段的地质特点、主要构造单元特征及其与毗邻构造单元之间关联分析入手,对地质组成、构造演化进程及属性进行研究,可能是一种深入认识蒙古-鄂霍次克复合褶皱系的有效途径.考虑到蒙古-鄂霍次克褶皱带中生代期间的构造-岩浆演化与叠加,及其与东北亚活动大陆边缘构造格架之间的整体关联,本文将乌达(Uda)-穆尔加(Murgal)-科利亚克(Koryak)褶皱-逆冲带作为蒙古-鄂霍次克复合造山带的东延部分一并论述.

1 蒙古-鄂霍次克褶皱系及毗邻区构造单元主要特征

蒙古-鄂霍次克褶皱系属于复合型褶皱系,在前里菲和里菲期褶皱区基础上,经历了晚新元古代—早古生代、晚古生代—中生代多期构造岩浆演化.该复合褶皱系从西部的巴彦洪戈尔蛇绿岩带始,向东延伸大于3500 km.西段的晚古生代褶皱系分布范围南北宽达350 km以上,叠加在古欧亚大陆上的中生代构造-岩浆活化区及影响范围则更宽.为了叙述方便,根据蒙古-鄂霍次克褶皱带各区、段的地质构造特点,本文大致以东经120°为界限,将其划分为西、东两部分,分别称为西部地区 and 东部地区.各区段的出露宽度、构造单元结构特点和演化特征,及其与毗邻地区构造单元之间的关联均不相同(见图1).

1.1 西部地区构造单元

蒙古-鄂霍次克褶皱带的西部地区,依据地质特征可进一步划分为东、西两段.西段的杭盖-肯特-达斡尔褶皱带,叠加在东萨彦-外贝加尔褶皱区之上.褶皱带毗邻的构造单元主要有北侧的色楞格-斯塔诺夫加里东褶皱带,西侧的拜德拉格(Baydrag)地块和东南侧的艾伦达瓦(Ereendavaa)地块(东蒙古陆的一部分).褶皱带内的主要构造单元包括:巴彦洪戈尔(Bayankhongor)蛇绿混杂岩、褶皱逆冲带,杭盖-肯特-达斡尔浊积盆地,以及南部边缘的阿达察格(Adaatsag)蛇绿混杂岩带.褶皱带东段为鄂嫩(Onon)地体和乌尔坎(Urkan)-额尔古纳陆-陆碰撞带.

1.1.1 西部地区西段毗邻构造单元

东萨彦-外贝加尔褶皱区,主要由早前寒武系,中

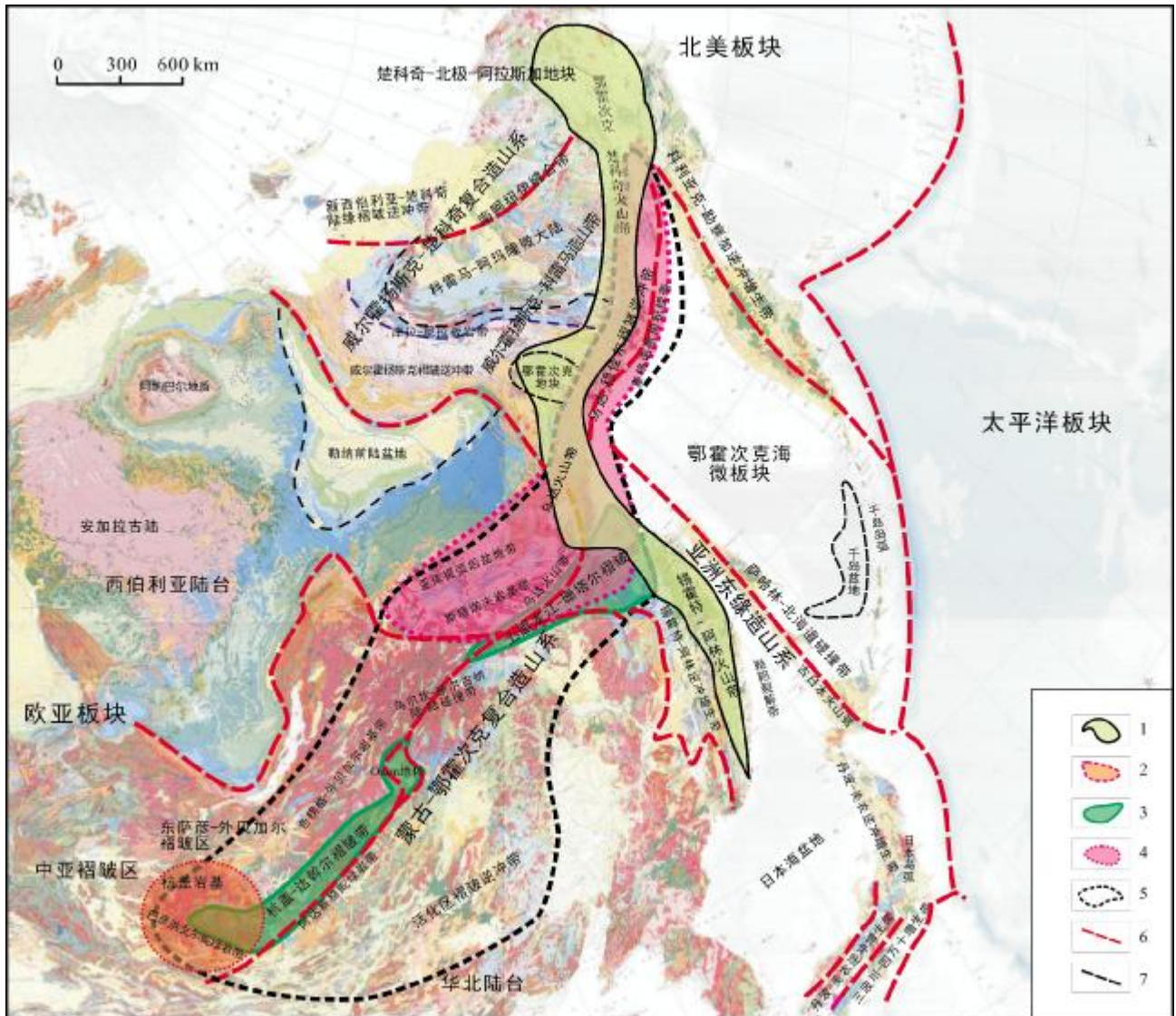


图1 蒙古-鄂霍次克复合造山系构造格架略图

(据文献[10]修改)

Fig. 1 Tectonic framework sketch map of Mongolia-Okhotsk composite orogenic system

(Modified from Reference [10])

- 1—鄂霍次克-楚科奇陆缘火山带 (Okhotsk-Chukotka continental margin volcanic belt);
- 2—杭盖岩基 (Hangay batholith);
- 3—杭盖-达斡尔褶皱带 (Hangay-Daur fold belt)/阿穆尔-珊塔尔褶皱带 (Amur-Shantar fold belt);
- 4—乌达-斯塔诺夫-穆尔加褶皱逆冲带 (Uda-Stanov-Murgal fold thrust belt);
- 5—蒙古-鄂霍次克复合造山系 (Mongolia-Okhotsk composite orogenic system);
- 6—推测深断裂 (inferred deep fault);
- 7—构造单元边界 (boundary of tectonic unit)

新元古代—早古生代变质地块、蛇绿岩、岩浆弧和浊积岩系构成。经历了晚里菲期—早寒武世（贝加尔期）、中寒武世—早奥陶世（萨拉伊尔期）和晚寒武世—中奥陶世（早加里东期）多期构造-岩浆事件。前寒武纪变质地块，中—晚里菲期的蛇绿岩、加积楔、岩浆弧、浊积岩系和磨拉石沉积，与文德纪—早、中寒武世的沉积盖层、蛇绿岩、岩浆弧、浊积岩系和混杂岩带，在前文德

纪—早古生代初期相继汇聚，碰撞拼合，形成该时段的西伯利亚板块南缘。其上普遍叠加了晚古生代—中生代的构造岩浆作用^[11-13]。加里东期陆缘增生作用使西伯利亚古陆的南缘形成帕托姆逆冲-褶皱带，并导致东萨彦-外贝加尔褶皱区的大范围隆升，晚奥陶世—早泥盆世地层普遍缺失。

在中国境内额尔古纳地块南侧的头道桥地区也发

现了晚新元古代—早古生代初期的蛇绿混杂岩和蓝片岩^[14]；在南部的伊尔施蛇绿岩残片中，同样含有萨彦大区寒武纪勒拿期古杯和三叶虫化石，陆源碎屑—碳酸盐岩沉积相伴产出^[15-16]。在兴凯地块北缘，出露的晚新元古代和早—中寒武世的蛇绿岩被含勒拿期古杯和西伯利亚型三叶虫化石的底砾岩不整合覆盖^[16-17]。东蒙古—额尔古纳—玛门地块的上奥陶统与下伏地层之间不整合，广泛发育构造—岩浆作用。因此，加里东褶皱区的范围，可能从外贝加尔向南至少包括图瓦—蒙古地块、东蒙古—额尔古纳—玛门地块、东乌旗—北兴安地块和佳木斯—兴凯地块。晚志留世含图瓦贝生物群化石的陆源碎屑沉积区，覆盖在卡拉麦里断裂带南侧的东准噶尔北缘，东乌旗—伊尔施—黑河—一线以北，及中蒙古—额尔古纳—结雅地块区，标志着早古生代晚期的西伯利亚板块南部被动大陆边缘的范围^[16]。中朝板块之上晚奥陶纪—泥盆纪地层的缺失，揭示了古亚洲洋的加里东期构造作用的强度和波及范围更大。

外贝加尔褶皱区的晚古生代局部裂解，发育中晚泥盆世 Tocher 裂隙槽沉积和早石炭世磨拉石，形成同期的萨彦—外贝加尔火山—深成岩带^[12]。晚石炭世—早三叠世主要形成由双峰式粗面流纹岩、粗面玄武岩、碱性和亚碱性花岗岩、霞石白榴石正长岩以及超镁铁—碱性岩构成的色楞格—维季姆火山—深成岩带^[12-14]。其上叠加发育中生代裂谷系统。

拜德拉格地块位于巴彦洪戈尔蛇绿岩带西侧，属图瓦—蒙古古陆西部的一部分。地块主要由拜德拉格和巴姆布格(Bumbuger)两个变质杂岩系构成^[17]。前者含太古宙英云闪长片麻岩(锆石 U-Pb 年龄 $2\ 650\pm 30$ Ma)、麻粒岩、角闪岩和少量石英岩；后者由片岩、片麻岩、大理岩、石英岩和紫苏花岗岩组成，被 U-Pb 年龄 $2\ 364\pm 6$ Ma、 $1\ 854\pm 5$ Ma 的花岗岩和闪长岩脉侵入。麻粒岩相包裹体的变质锆石年龄为 $1\ 839\pm 0.6$ Ma。两个杂岩被可能为新元古代(白云母 K-Ar 年龄为 699 ± 35 Ma)的含砾砂岩、石英岩和白云岩不整合覆盖^[17]。

地块北缘被布尔德高勒(Burd Gol)混杂岩南部的厚层石英岩和砂岩不整合覆盖，侵入的花岗岩获得云母 K-Ar 测年为 551~467 Ma。在布尔德高勒混杂岩原北部和东北部，其与石炭纪沉积层之间为逆冲断层接触，石炭系为绿色海相泥岩和灰岩互层，含大量保存完好的腕足、苔藓虫和珊瑚化石。地块的北侧为巴彦洪

戈尔蛇绿混杂带、逆冲带，上覆岩层包括含晚奥陶世珊瑚化石的灰岩、砂岩和底砾岩，志留纪笔石页岩，泥盆纪—二叠纪火山岩和火山碎屑岩(含海相化石)，侏罗纪—白垩纪碎屑岩，以及增生后侵入的奥陶纪花岗岩，二叠纪闪长岩和花岗岩。巴彦洪戈尔蛇绿岩带与拜德拉格地块之间接触带的南东，出露有 540 Ma 的红色二长花岗岩^[18]。

艾伦达瓦地块位于巴彦洪戈尔蛇绿混杂岩带和阿达察格蛇绿岩带东南侧，属于东蒙古—额尔古纳地块的一部分。地块基底由古元古代片麻岩、角闪岩、片岩和大理岩组成，被新元古代黑色片岩、变质砂岩、硅质岩、灰岩，少量底砾岩和火山岩覆盖，又被晚前寒武纪、泥盆纪花岗岩和浅色花岗岩侵入(在俄罗斯境内，黑云母花岗岩和浅色花岗岩锆石 U-Pb 同位素测年为 740 ± 20 Ma，Rb-Sr 测年 850 Ma)。新元古代片岩被含晚志留世图瓦贝化石的碎屑岩、浅海相灰岩，以及泥盆纪安山岩、流纹岩、凝灰岩、火山碎屑岩、砂岩和底砾岩不整合覆盖。增生后的侵入杂岩包括石炭纪—二叠纪中戈壁火山—深成岩带和晚三叠纪—侏罗纪花岗岩基^[17]。

1.1.2 西部地区西段褶皱带内构造单元

巴彦洪戈尔蛇绿混杂岩带位于蒙古—鄂霍次克褶皱带最西端，由德比海尔汗(Delb Khairkhan)混杂岩带、蛇绿混杂岩带、哈鲁特布拉格(Haluut Bulag)混杂岩带及德扎哥(Dzag)变质岩带 4 个次级构造单元构成^[19-20]。

其中，南部的德比海尔汗混杂岩带泥质基质中含中新元古代—奥陶纪的沉积岩和火山岩，灰岩块中含丰富的叠层石。中部的蛇绿混杂岩带层序较完整，包括超镁铁质堆积岩、辉长岩、席状岩墙、枕状熔岩、燧石和灰岩岩片或岩块被包裹在剪切的蛇纹岩基质中；辉长岩测年为 648.5 ± 7 Ma (全岩 Sm-Nd 569 ± 2 Ma)，英云闪长岩测年 636.2 ± 6 Ma，枕状熔岩的变质角闪石 Ar-Ar 测年 484.5 ± 5.9 Ma。北部的哈鲁特布拉格混杂岩带的泥质片岩基质中，含灰岩、砂岩和粉砂岩透镜体，局部夹气孔状玄武岩块。位于巴彦洪戈尔蛇绿岩带与北侧的杭盖—肯特浊积岩系之间的德扎哥变质岩带，主要由高度变形的泥质片岩和低绿片岩相的绿泥绢云片岩、变质砂岩和变质粉砂岩组成，局部含 0.5 m 厚灰岩层(不同地区组成略有差异)。南部，其与哈鲁

特布拉格混杂岩接触的逆冲带下方的白云母 K-Ar 测年为 453.9 ± 9.1 Ma、 395 ± 2 Ma; 靠近德扎哥变质带与混杂岩接触带的测年数据为 447.4 ± 9 Ma. 说明该混杂岩时代形成于杭盖-肯特浊积岩之前, 参与了晚奥陶世—早志留世的强烈构造变形.

作为文德系—下寒武统的盖层, 上奥陶统碎屑岩中几乎包含了构成巴彦洪戈尔蛇绿岩的所有岩石碎屑和砾石(包括糜棱岩), 如粗砂岩中含有来自红色二长花岗岩(540 Ma)的粉红色钾长石碎屑^[18]. 这些特征揭示了上奥陶统与下伏蛇绿岩带之间应为角度不整合关系; 证明巴彦洪戈尔蛇绿岩形成于 570 Ma, 并在 550~440 Ma 期间, 由于北部的杭盖大陆(浊积岩盆地之下的陆壳)与南部的拜德拉格陆块碰撞, 致使蛇绿岩带仰冲到拜德拉格地块北部的被动陆缘之上, 被晚奥陶世地层不整合覆盖. 其构造演化进程与东萨彦-外贝加尔褶皱区的演化进程一致, 属于外贝加尔褶皱区早加里东褶皱系的组成部分.

杭盖-肯特-达斡尔浊积岩系的研究较早. IGCP248 野外指导书介绍, 色格楞组(Sergelen Formation)由石英岩、燧石、硅质板岩、中基性凝灰岩、灰岩透镜体、云母片岩和砂岩组成, 根据岩貌假定时代为泥盆纪. 戈尔基组(Gorkhi Formation)由砂岩、泥岩、泥质-硅质页岩组成, 含放射虫燧石, 含玄武岩、橄榄岩、镁铁质凝灰岩、辉长岩和大理岩; 灰岩含泥盆纪海百合茎和早泥盆世中期的放射虫化石. 阿尔坦-奥夫组(Altan-Ovoo Formation)为复理石砂岩、泥岩、粉砂岩和浅色砂岩, 含早石炭世维宪期的苔藓虫和腕足, 泥岩含蕨类植物化石. 奥交慈-乌勒组(Orgioch-Uul Formation)由绿色砂岩和泥岩构成, 整合覆盖在下石炭统阿尔坦-奥夫组之上. 日本名古屋大学与蒙古科技大学开展合作研究(2002—2005年), 在乌兰巴托附近的戈尔基组红色燧石中发现了早泥盆世放射虫, 认为乌兰巴托附近的所谓3个地层单元实为同一个构造地层单元. 同时, 认为红色燧石岩片与砂岩之间为整合接触, 确认了砂岩基质中含燧石巨块^[21].

Dorjsuren 等人在此基础上, 对杭盖-肯特带的泥盆纪增生杂岩的地质背景进行了讨论, 给乌兰巴托浊积岩地体赋予新的定义^[22], 认为该地体包括了南肯特、乌兰巴托和阿达特萨格(Adaatsag)3个地体. 新划分的乌兰巴托地体由泥盆纪增生杂岩构成, 包含6个

独立单元: Gorkhi, Dov, Sergelen, Unegt, Bumbagar 和 Adaatsag 组. 其中, 前4个组的组分相似, 变质程度不同. Bumbagar 组为海沟增生杂岩, Adaatsag 组为洋壳增生杂岩. Gorkhi 组含中—早泥盆世放射虫和晚志留世—中晚泥盆世牙形石化石. 6个组包括大洋板块地层(OPS), 志留—泥盆纪海洋微体化石, 海山灰岩、混杂岩、蛇绿岩的岩块, 各单元之间均为逆冲断层接触关系, 沿逆冲断层发育碎裂岩和构造角砾岩. 据此认为乌兰巴托地体属于杭盖-肯特增生杂岩的一部分, 石炭纪浊积岩系不整合覆盖在泥盆纪增生杂岩之上.

杭盖-肯特浊积岩系的年代学研究表明, 南部浊积岩样品组的碎屑锆石沉积于早石炭世(354~339 Ma)之后; 北部浊积岩样品组的碎屑锆石沉积于新元古代—寒武纪(605~504 Ma)之后. 杭盖-肯特盆地的石炭纪浊积岩系形成时, 其南部是具有新元古代基底早石炭世火山岛弧, 北部为太古宙基底的大陆边缘弧^[23].

阿达察格蛇绿混杂岩带位于杭盖-肯特浊积岩盆地东南缘^[24]. 蛇绿岩层序主要有蛇纹岩、蛇纹石化纯橄岩和方辉橄橄榄岩, 向上过渡为层状辉长岩(含浅色辉长岩、伟晶岩岩脉)、异剥橄橄榄岩和单斜辉石岩、辉长岩、浅色辉长岩、镁铁质岩墙和玄武岩熔岩, 其上覆盖红色燧石和碎屑沉积物. 伴生火山岩的岩石化学特征为 MORB 和 OIB 型. 玄武岩之上的大洋沉积物被解释为深海燧石沉积, 被钙碱系列玄武岩、安山岩和英安岩覆盖, 表明阿达察格洋壳之上发育岛弧. 岛弧火山岩又被 20 m 厚的富含苔藓虫化石的中石炭世沉积岩所覆盖, 阿达察格蛇绿岩被推覆到中石炭世砂岩和粉砂岩之上.

Tomurtoogo 等^[24]在浅色辉长岩、伟晶岩脉获得单颗粒锆石年龄 325.4 ± 1.1 Ma, 认为该数据记录了蒙古-鄂霍次克洋壳形成时间, 蛇绿岩带附近的木伦(Muron)左行剪切带糜棱岩化花岗岩锆石年龄, 限定蒙古-鄂霍次克带碰撞和缝合发生于 172 Ma 前^[24].

另据 Badarch 等文献^[17], 阿达察格蛇绿混杂岩带的西段为奥陶纪(?)片岩、石英岩、变质砂岩、千枚岩、燧石和变质火山岩, 含志留纪珊瑚的灰岩, 包含由层状辉长岩、变质玄武岩和超镁铁岩碎块构成的蛇绿混杂岩. 向北东延伸到俄罗斯境内的火山岩也具有 MORB 和 OIB 玄武岩特点. 蛇纹岩、辉长岩、玄武岩、灰岩和

石英岩,以及含志留纪珊瑚的灰岩和砂岩,一起逆冲到石炭纪浅海相沉积岩之上,在北部又被中一晚三叠世砂岩和含菊石粉砂岩覆盖,并被三叠纪一早侏罗世花岗岩侵入。

在肯特-达斡尔浊积岩区出露的库琳达(Kulinda)蛇绿岩^[25],说明在浊积盆地范围内存在里菲纪一晚新元古代的洋壳碎块基底,早泥盆世大洋板块地层被石炭纪浅海浊积岩系不整合覆盖。浊积岩系的碎屑锆石测年数据说明,物源区岛弧火山岩形成于早石炭世。作为岛弧的基底,阿达察格蛇绿岩的时代在逻辑上应该早于354~339 Ma。这与蛇绿岩之上的岛弧火山岩被含中石炭世化石灰岩覆盖的信息是一致的。由于阿达察格蛇绿岩带西段和东北段的混杂岩含志留纪珊瑚化石灰岩和砂岩岩片,且与早石炭世浅海沉积岩岩片之间呈逆冲叠瓦构造^[17],说明阿达察格蛇绿岩的形成时代可能更早,并具有晚古生代“活化缝合带”混杂岩的特点。

将阿达察格蛇绿混杂岩带作为“缝合带”,沿杭盖-肯特浊积岩分布区南侧向西南延伸的划分^[19],在怀疑图瓦-蒙古地块的统一性的同时,暗示蒙古-鄂霍次克洋可能具有更大的长度。但该断裂带东、西两侧,发育同样含晚志留世图瓦贝生物群的陆源碎屑沉积地层。杭盖-肯特-达斡尔褶皱系的晚古生代“活化缝合带”属性与中亚褶皱区类同,志留纪一二叠纪“活化缝合带”的岩石组合常与中一晚里菲期、文德-寒武纪早期的蛇绿岩碎块或古老变质岩块相伴,且构造岩片的产状与主要断裂系统的构造线一致^[26]。

1.1.3 西部地区东段毗邻区构造单元

西部地区东段的北侧为色楞格-斯塔诺夫加里东褶皱带,由南部的乌尔坎地块和北部的莫戈恰(Mogocha)地块构成^[25]。莫戈恰地块由同名岩系(复合体)麻粒岩组合构成,含有石榴石结晶片岩、斜长角闪岩、角闪岩、黑云角闪片岩、夕线石堇青石片麻岩和片岩、斜长岩、大理岩、石榴石片岩、石榴石透辉石片岩和含石墨的磁铁石英岩(厚度 $\leq 3\ 500\text{ m}$)。相关的变质岩浆岩组合通常以古太古代阿尔丹群为基础。乌尔坎地块东部的下部以黑云母角闪石结晶片岩、片麻岩、石榴石二云母片岩和片麻岩为代表,中、上部为片麻岩、大理岩和石英岩。地块西部为结晶片岩,黑云角闪片岩与片麻岩交替产出、含基性结晶片岩透镜体及石榴夕

线片岩夹层。堇青石夕线石红柱石片岩、片麻岩组合属斯塔诺夫深成岩带的正片麻岩。色楞格-斯塔诺夫加里东褶皱带以上述变质地块为基础。其主要特征是在前寒武纪变质岩,里菲纪和早古生代火山-沉积地层中发育酸性火山岩和奥陶纪深成岩组合,及晚二叠世、早三叠世、中一晚侏罗世火山-深成岩组合。奥廖克马(Olekma)花岗岩、索朗索夫(Solontsov)岩套和克里斯托弗(Krestovy)杂岩之间为侵入关系,3个杂岩体的年龄都被确定为早古生代。辉长岩的K-Ar、Pb-Pb和Sm-Nd测年为462~360 Ma;奥廖克马花岗岩测年为488~361 Ma^[25]。

东段南侧为额尔古纳-玛门地块。晚前寒武纪和寒武纪沉积物经常形成古生代和中生代侵入体的顶部残留物,或呈现为夹在年轻沉积组合之间的岩块。晚前寒武纪一早古生代岩石组合由白云岩和含镁碳酸盐岩构成,高碳岩石以石墨为代表。在黑龙江上游,兴华和塔西地区出露新太古代角闪岩相的变质岩和含铁石英岩。在兴华渡口地区出露石榴石夕线石黑云母片麻岩和含铁石英岩。该地块发育中晚寒武世-奥陶纪花岗岩,其上的中、晚志留统含图瓦贝生物群化石,泥盆系主要为陆源碎屑-碳酸盐岩沉积,中生代地层主要是粗碎屑陆相杂砂岩。

1.1.4 西部地区东段褶皱带内构造单元

鄂嫩地体呈巨大的雪球状产出,属大规模左行走滑断裂带内的构造形体。鄂嫩地体内的文德纪一早寒武世库琳达蛇绿岩片和加积楔(O-S?),出露于泥盆纪一早三叠世浊积岩之中^[27]。鄂嫩地区的大比例尺地质调查,证实了鄂嫩岩套可能为里菲期变质岩,其上不整合覆盖着含化石的中上泥盆统。鄂嫩地区的泥盆系以深水弧后盆地的碳酸盐岩、火山-陆源碎屑岩为主。下中石炭统的浅海沉积由砂岩、粉砂岩、砾岩和底砾岩以及少量流纹岩、英安岩和凝灰岩组成,不整合覆盖在鄂嫩岩套和中泥盆统的下部岩层之上,这一特点与杭盖-肯特-达斡尔浊积岩盆地的情况类同。下二叠统的浅海沉积不整合覆盖在鄂嫩岩套和石炭系之上。上三叠统海相粗碎屑沉积不整合在下石炭统之上^[7]。

乌尔坎-额尔古纳陆-陆碰撞带位于鄂嫩地体东侧,沿鄂嫩地体北缘断裂带向东延伸。中生代强烈的构造作用使增生楔状体和里菲纪蛇绿岩组成的石勒喀(Shilka)蛇绿岩带与较年轻的岩块拼合在一起,构成

“活化缝合带”。混杂岩带由蛇纹岩、变质辉长岩、绿片岩和碳酸盐岩、绿泥石绢云母硅质片岩、夹砂岩和粉砂岩的碧玉岩构成,包括含蛇纹岩和蓝片岩的混杂岩。早前寒武纪变质岩和花岗岩块也出现在石勒喀蛇绿混杂岩带内。石勒喀蛇绿岩带向东,与土库林格勒(Tukuringra)-德扎哥丁(Dzhagdin)蛇绿岩带相连。值得注意的是,上覆的下二叠统海相地层中发现过特提斯生物群的蠕类化石 *Fusulina*,说明这里的石炭—二叠纪浅海向东也与特提斯海域相通。这与南部的内蒙古草原-吉林磐石褶皱系的特征类似。

碰撞带北侧,毗邻的色楞格-斯塔诺夫加里东褶皱带上叠加了中生代纽克扎(Nyukzha)、屯古(Tungur)、霍劳德尼坎(Kholodnikan)、斯特列卡(Strelka)和滕达(Tynda)断陷盆地。其中纽克扎断陷盆地最大,断陷盆地南北边界一般为断裂。断陷盆地由早白垩世陆相含煤沉积充填,厚度为600 m(砾岩、含泥岩夹层的砂岩)。白垩纪含煤地层不整合覆盖在被侵蚀的新太古界黑云母片麻岩、黑云母绿泥石绢云母片岩、石英岩及碎裂的黑云母花岗岩之上^[25]。

碰撞带南侧,沿额尔古纳地块北缘和上黑龙江流域分布泥盆系,主要为碳酸盐岩-陆源碎屑沉积岩系。以陆架沉积的灰岩、砂岩和粉砂岩为主,含丰富的海百合与腕足化石。额尔古纳地块南缘泥盆系的岩相特征与其类似。

1.1.5 西部地区及毗邻区火山-深成岩带

西部及毗邻区的火山-深成岩带主要有:安加拉-维季姆深成岩带(C—P₂),杭盖岩基(P₂—T₁),肯特岩基(T₃),叠加于安加拉-维季姆带之上的蒙古-外贝加尔深成岩带(T₃),及同期叠加于杭盖岩基之上的北蒙古岩基带和南部的戈壁-阿尔泰岩基带^[12-13, 28]。

安哥拉-维季姆岩基带位于东萨彦-贝加尔褶皱区,南邻杭盖-肯特-达斡尔浊积岩系,侵入西伯利亚克拉通及早古生代拼贴于克拉通的构造单元。该带的花岗岩基主要由花岗闪长岩、黑云母花岗岩、浅色花岗岩、二长花岗岩、石英正长岩和正长岩组成。花岗岩锆石 U-Pb 年龄为(333~278.5)±2.4 Ma,全岩 Rb-Sr 同位素年龄为(345~284)±21 Ma。ε_{Nd}(t)值 1.7~17.0。

安哥拉-维季姆岩基带南部的晚石炭—早二叠世火山-深成岩带组成与安哥拉-维季姆岩基类似,大部分岩浆岩属于碱性系列,其中双峰式碱性岩由正长岩、

碱性和过碱性花岗岩与长英质火山岩构成,双峰式岩墙群由粗面玄武岩、煌斑岩、正长斑岩、安山岩、粗面安山岩、粗面流纹岩和碱流岩构成。K 和 Zr 含量高, Hf 特征与板内玄武岩一致。长英质和镁铁质岩浆岩的 ε_{Nd}(t)值 0.1~4.9。苏努尔(Synnyr)裂谷的碱性岩 Rb-Sr 同位素年龄为(292~288)±5 Ma,赛镇(Saizhen)裂谷的碱性岩 U-Pb 锆石年龄(294.5~306)±4 Ma。

杭盖岩基带位于蒙古-鄂霍次克褶皱带西段,侵入杭盖-肯特-达斡尔褶皱系的泥盆纪和石炭纪浊积岩系、扎布汗-蒙古微大陆的前寒武系,以及增生于西伯利亚克拉通南缘的新元古代—早古生代地质体。杭盖岩基包含英云闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩,少量辉长岩和辉长闪长岩。由于杭盖岩基的花岗岩属于钙碱性系列,具有 I 型花岗岩地球化学属性特点,近于含角闪石钙碱性花岗岩,常被认为形成于俯冲带上方的活动大陆边缘。杭盖岩基的花岗岩 U-Pb 锆石年龄为(261~241.3)±1.5 Ma。矿物和全岩 Rb-Sr 同位素年龄及 Ar⁴⁰/Ar³⁹ 年龄为(241~234)±5 Ma^[29]。杭盖岩基的外围被北蒙古和戈壁-阿尔泰深成岩带环绕,由双峰式火山岩系(玄武岩、碱流岩、碱性流纹岩、粗面安山岩和粗面流纹岩)和碱性侵入岩组成。汗(Khan)-胡亥(Khuhey)碱流岩和粗面安山岩位于北蒙古带,全岩 Rb-Sr 同位素年龄为 264±4 Ma。

Jahn 等^[30]对此岩浆活动时间和岩基的体量认为,像杭盖岩基这样的花岗岩基是不可能仅通过俯冲过程形成的。因此,提出蒙古地壳的玄武岩底侵模式,认为碰撞后的地壳伸展是该花岗岩浆形成的主要机制,并将杭盖岩基作为造山后的板内岩浆作用实例进行描述^[30]。Landman 等^[31]的研究结果与 Jahn 等^[30]对杭盖岩基的解释一致,认为杭盖岩基形成于板内环境,属俯冲完成后的地壳伸展产物。晚二叠世—早三叠世岩基带与早期构造单元之间的相互关系,揭示了侵入岩基具有拼合后的构造属性(图 2)。

肯特岩基带是北-中蒙古晚三叠世最大的侵入岩单元。肯特岩基与杭盖岩基一样,也侵入了杭盖-肯特盆地的浊积岩系及早古生代增生于西伯利亚克拉通的晚新元古代—寒武纪杂岩。肯特岩基以含钙碱性花岗闪长岩和花岗岩为主,辉长岩、闪长岩、斜长花岗岩、英云闪长岩、奥长花岗岩和浅色花岗岩次之。花岗岩的锆石 U-Pb 年龄范围在(207.0~227)±8 Ma,全岩 Rb-Sr

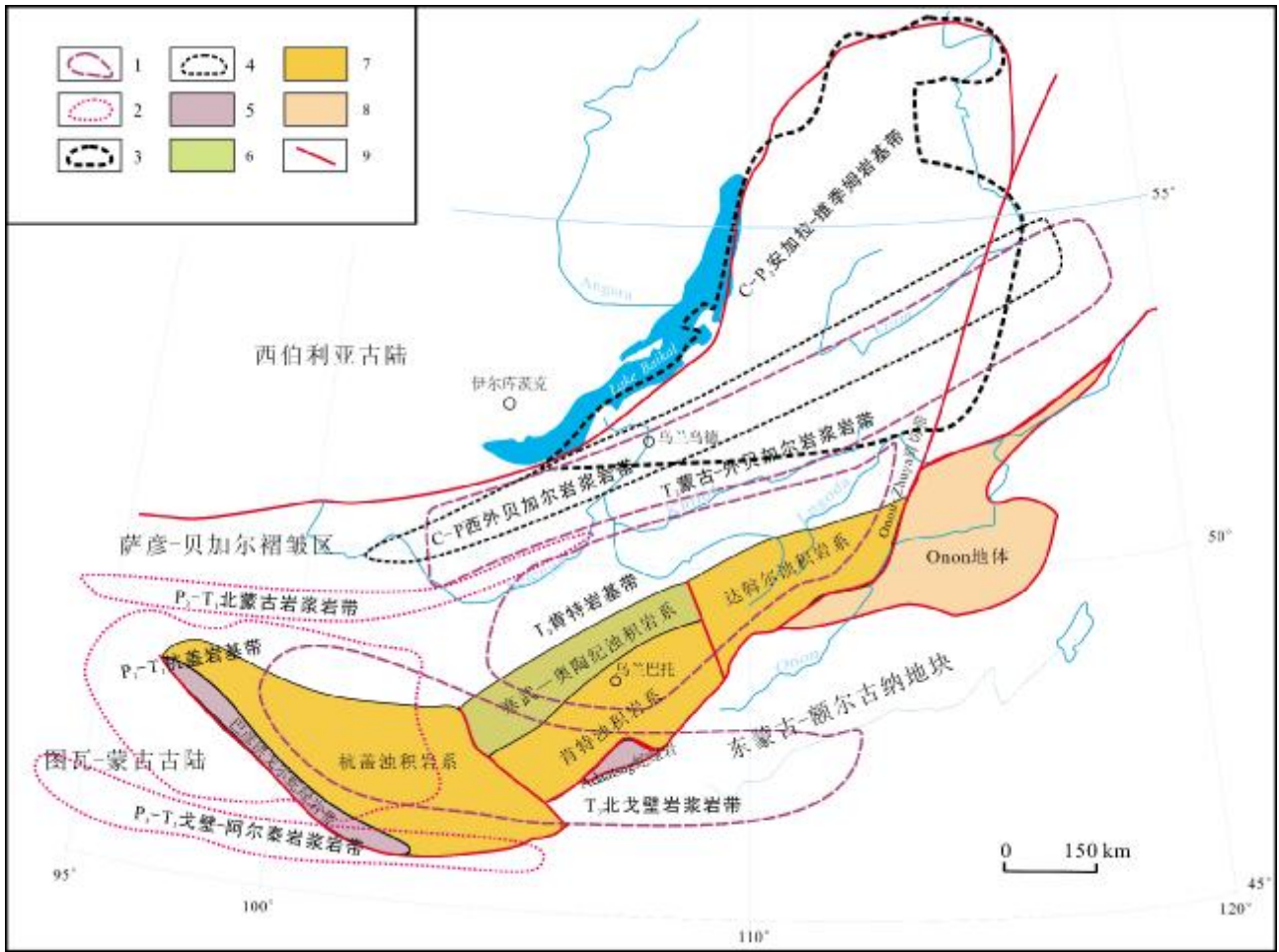


图2 萨彦-外贝加尔褶皱区晚古生代—中生代构造岩浆带分布略图
(据文献[29]修改)

Fig. 2 Distribution of the Late Paleozoic-Mesozoic tectonomagmatic belt in Sayan-Transbaikalian fold zone
(Modified from Reference [29])

- 1—晚三叠世岩浆岩带(Late Triassic magmatite belt); 2—晚二叠世—早三叠世岩浆岩带(Late Permian-Early Triassic magmatite belt); 3—石炭纪—中二叠世岩浆岩带(Carboniferous-Middle Permian magmatite belt); 4—石炭—二叠纪未分岩浆岩带(Carboniferous-Permian undifferentiated magmatite belt); 5—蛇绿岩带(ophiolite belt); 6—泥盆—石炭纪浊积岩系(Devonian-Carboniferous turbidite series); 7—寒武—奥陶纪浊积岩系(Cambrian-Ordovician turbidite series); 8—鄂嫩地体(Onon terrain); 9—深断裂(deep fault)

同位素年龄(206.2~210.7)±0.3 Ma. 西部和南部北戈壁带碱性岩和闪长岩的闪石 Ar-Ar 年龄为(208~221)±5 Ma, 锆石年龄为(228~229)±6 Ma^[30]. 双峰式火山岩系列(玄武岩、粗面玄武岩、流纹岩、粗面英安岩、粗面流纹岩和碱性流纹岩)和碱性侵入岩中所有花岗岩、正长岩和长英质火山岩均表现为 A 型花岗岩地球化学特征^[30]. 粗面玄武岩和玄武质粗面安山岩的特征接近板内玄武岩的化学成分.

杭盖-肯特-达斡尔褶皱带附近发育的晚二叠世—中三叠世钙碱性花岗岩、碱性花岗岩和双峰式火山岩带, 围绕杭盖岩基产出. 晚侏罗世双峰式火山岩

的发育, 伴随半地堑和变质核杂岩的形成. 双峰式伊策图(Ичетуй)杂岩包括玄武岩、粗面玄武岩、玄武粗面安山岩、粗面流纹岩和碱性流纹岩^[29], 与西西伯利亚加里东—海西期褶皱基底之上的巨大裂谷系发展同步^[32].

1.2 东部地区构造单元

东部地区, 根据地质结构特点依然可分为东、西两段, 即古生代和中生代两个时段. 西段指乌尔坎-额尔古纳陆-陆碰撞带以东, 到鄂霍次克海口的上黑龙江-珊塔尔岛地区. 古生代褶皱系的构成, 北部为阿尔丹-斯塔诺夫地盾, 中部为上黑龙江-珊塔尔海西褶皱带,

南部为额尔古纳-玛门和佳木斯-兴凯陆块群。在中生代褶皱带之上,由北向南叠加发育了中晚侏罗世一早白垩世的阿尔丹断陷盆地、斯塔诺夫岩浆弧、乌达火山岩带、上黑龙江前陆盆地逆冲褶皱带。东段为鄂霍次克海微板块与威尔霍扬斯克褶皱区南部陆块群之间的中生代乌达-穆尔加-科利亚克陆缘逆冲褶皱带。

东部地区西段的中生代褶皱带地质特点和演化进程与西部地区类似,且发育二叠纪磨拉石。其上叠加的中生代构造格架的形成,与东段的乌达-穆尔加-科利亚克陆缘褶皱逆冲带构造发展基本同步,反映了大陆板块与库拉、法拉隆洋和伊泽纳奇洋盆及鄂霍次克海微板块之间的相互作用过程。

1.2.1 东部地区西段毗邻构造单元

东部地区西段毗邻区构造单元,包括北部的阿尔丹-斯塔诺夫花岗绿岩区,南部的额尔古纳-玛门和布列亚-佳木斯地块群。由于经历了晚新元古代-奥陶纪、志留纪-二叠纪和中生代多期构造演化的叠加,其大地构造单元的结构复杂。

北部的阿尔丹地盾主体为花岗绿岩区^[25],变质杂岩主要为麻粒岩和斜长角闪岩,其次为绿片岩相。通常认为麻粒岩相变质作用主要发生在古元古代,最古老的复合体(2.6 Ga)为花岗岩-绿岩组合。由于深部逆冲断裂,构造推覆体与不同时代的大型走滑断层切割,地盾被分为奥廖克马、巴托姆加(Batomga)和斯塔诺夫花岗岩-绿岩区,以及阿尔丹麻粒岩-片麻岩区。

南部的陆块群主要由额尔古纳-玛门、布列亚-佳木斯-兴凯地块构成。在陆块的结合带,常见含可与萨彦-阿尔泰大区对比的早中寒武世古杯和西伯利亚型三叶虫化石的灰岩块体。额尔古纳-玛门地块发育晚前寒武系-下寒武统。晚前寒武系由白云岩和碳酸镁岩石(如菱镁矿)构成,高碳质岩石以石墨为代表,玛门地区发育文德纪沉积。上寒武统沉积物常形成中生代或中生代侵入体的残余部分,或夹在年轻沉积组合之间,或与逆冲断裂带一起产出。

边缘拗陷沉积的志留系、泥盆系和下石炭统由陆源碎屑岩碳酸盐岩地层组成,以石英砂岩、粉砂岩、黏土页岩和含腕足动物(图瓦贝)、三叶虫、珊瑚为主的灰岩占优势,与下伏地层之间普遍存在角度不整合。志留纪缺少火山活动产物,显示早古生代晚期为被动大陆边缘环境。奥乐道(Oldoy)和嘎戈(Gag)-萨嘎言

(Sagayan)边缘拗陷,最完整的组合为志留、泥盆系和下石炭统。早一晚二叠世沉积陆相地层及晚二叠或早三叠世陆相火山活动与构造活化有关^[25]。

1.2.2 北部上叠的中晚侏罗世一早白垩世陆缘活动带

叠加在阿尔丹-斯塔诺夫花岗绿岩带之上的中生代陆缘活动带,属乌达-穆尔加陆缘活动带的一部分。由北向南分别为阿尔丹断陷盆地、斯塔诺夫深成岩带和乌达火山岩带^[25]。

阿尔丹弧后盆地带位于阿尔丹-斯坦诺夫地盾的阿尔丹麻粒岩-片麻岩地区,占地 25 000 km²,包括丘利曼(Chulman)、伊图姆德扎(Ytymdzha)和土克(Toko) 3 个断陷盆地,主要发育侏罗纪一早白垩世初的陆源含煤建造,厚度 3 500~4 500 m。所有的断陷盆地都具箕状结构,南部为陡峭的近断层边缘,北部则为平缓的沉积边缘。在断陷盆地南缘,可观察到中生代含煤沉积的最大厚度,且不整合在太古宇-元古宇结晶基底和里菲纪-寒武纪地层之上。

斯塔诺夫深成岩带,出露宽度 100~200 km,长 1 000 km,包括图库林格瑞(Tukuringry)花岗岩、斯塔诺夫杂岩(142~138 Ma)、塔克萨坎丁(Taksakandin)的 S 型二云母花岗岩(133 Ma)、浅色花岗岩-花岗闪长岩基(127 Ma)和钙碱系列火山岩。总体包含英云闪长岩-斜长花岗岩、闪长岩-花岗闪长岩、二长岩-花岗岩-花岗闪长岩和二长岩-正长岩-花岗岩组合序列。深成岩带形成的最后阶段,伴随花岗正长岩-斑岩侵入体(101 Ma)和钾玄岩等小脉岩群的产出。

乌达-斯塔诺夫火山岩带宽 100~120 km,沿北东方向可追踪 1 000 km,主要由熔岩、凝灰岩、玄武岩和安山岩构成,与陆相碎屑岩交替发育。剖面上部以熔岩和英安质凝灰岩、流纹岩和凝灰岩为代表,并被含贝里阿斯-瓦兰今期植物化石的粗碎屑岩不整合覆盖。这个火山岩带的年龄一般确定为晚侏罗纪或晚侏罗纪一早白垩世,可能包含早、中侏罗世。火山岩的 K-Ar 年龄为 118~176 Ma。侵入岩以花岗闪长岩为代表,闪长岩、花岗岩、辉长闪长岩和辉长岩的 K-Ar 年龄为 150~190 Ma。

斯塔诺夫南、北的两个火山带,一般下部为熔岩、火山碎屑岩和安山凝灰岩,上部为流纹英安岩-流纹岩,顶部为安山岩-玄武岩和安山岩属钙碱系列,形成时代为早白垩世阿普特期。

1.2.3 南部上叠的上黑龙江中晚侏罗世—早白垩世前陆盆地

上黑龙江前陆盆地主体由前中生代变质岩基底、中—晚侏罗世浅海—陆相沉积岩和早白垩世火山—火山碎屑岩3部分组成。中、上侏罗统沉积岩和下白垩统火山—沉积岩为两套盖层。盆地内,早期沉积了上侏罗统绣峰组、二十二站组、额木尔河组和开库康组陆源碎屑岩,各期地层间未见大规模的不整合。在盆地中南部,被早白垩世火山岩角度不整合覆盖。晚侏罗世,盆地的主体构造格局呈近东西向展布,具有南北高、中部低的分带构造特征。这一时期形成了近东西向的基底断裂和局部地区北东向断裂,控制了晚侏罗世—早白垩世初前陆盆地沉积。漠河西部见下泥盆统霍龙门组变质长石英砂岩、绢云母板岩夹泥灰岩、千枚状细砂粉砂岩、泥灰岩,及泥鳅河组浅海相粉砂岩夹生物碎屑灰岩、结晶灰岩,呈“飞来峰”逆掩于中侏罗统之上。发育额木尔河群冲积扇相、河—湖相沉积。晚侏罗世—早白垩世期间,发生了由北向南的逆冲推覆作用,并形成大型走滑断裂。

在俄罗斯境内,中、上侏罗统为陆相含煤沉积,上侏罗—下白垩统以杂砂岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、煤质泥岩和煤层为代表,总厚度从3 500~5 700 m不等。中生代沉积盖层与古生代和古陆块基底之间为角度不整合。

1.2.4 东部地区褶皱带内构造单元

东部地区,蒙古—鄂霍次克褶皱系由西段的上黑龙江—珊塔尔晚古生代—中生代褶皱带和东段的乌达—马佳尔中生代褶皱带两部分构成。

上黑龙江—珊塔尔褶皱带也是一个多期叠加属性的褶皱带。褶皱带在俄罗斯远东地区被划分为:西部的土库林格勒—彦坎(Yankan)、温雅(Unya)—包姆(Bom)、图克斯(Tuksii)、兰(Lan)、色楞德扎(Selendzha)—科比(Kerbi)带,东部的乌尔班(Ulban)、尼兰(Nilan)、欧米尔丁(Omeldin)带,及珊塔尔海西褶皱带的嘎拉姆(Galam)、图古尔(Tugur)和图依(Tuy)亚带^[25]。

土库林格勒—彦坎带由蓝闪石片岩带和绿片岩相变质的火山—硅质—陆源碎屑建造构成。根据灰岩所含海百合及珊瑚化石,地层时代被确定为志留和泥盆纪。还发现含典型的晚前寒武纪—早寒武世的微体古植物

化石的岩片。蛇绿岩由蛇纹岩、变质辉长岩、绿片岩、绿泥绢云石英片岩,夹砂岩和粉砂岩的碧玉组成。由于含中泥盆世早期的珊瑚,将该变质岩整体作为志留系—泥盆系。下部火山硅质页岩组合与鄂嫩地体的同期地层组合特征类似。北部碳酸盐岩沉积中,含早二叠世蜓类和珊瑚。温雅—包姆带由上二叠统,上三叠统和下、上侏罗统组成。上二叠统岩性包括杂砂岩、复成分砂岩、粉砂岩和黏土板岩,夹底砾岩透镜体。上三叠统发育厚层砂岩、粉砂岩、黏土页岩,少量底砾岩、基性火山岩、硅质页岩夹层和滑塌砾岩透镜体。下侏罗统为砂岩夹粉砂岩和凝灰岩,上侏罗统为复理石沉积含少量底砾岩。图克斯带由上石炭统不均匀变质粉砂岩、泥质页岩和含少量微晶石英的砂岩、灰岩和粗碎屑岩夹层构成。中部为千枚岩、绿片岩、硅质黏土岩和硅质页岩,偶尔夹赤铁矿、磁铁矿和石灰岩。上二叠统为粉砂岩、砂岩和夹少量基性火山岩、硅质凝灰岩和粗碎屑夹层的泥质页岩。兰带的中泥盆统发育含腕足、珊瑚和海百合化石的陆缘碎屑沉积,包括粉砂岩、砂岩夹少量沉积砾岩、基性火山岩、碧玉、石灰岩和赤铁矿,及灰岩滑塌堆积和水下滑动角砾岩。石炭系由粉砂岩,含苔藓虫、腕足和海百合化石的砂岩,玄武岩和玄武凝灰岩,底砾岩和水下滑动砾岩构成。中石炭统广泛分布砂岩和灰岩块,灰岩块中发现早寒武世古杯类和志留纪珊瑚化石。上二叠统由流纹岩、玄武岩、玄武凝灰岩、杂砂岩、底砾岩和夹少量玄武岩的粉砂岩构成。上三叠统由砂岩、粉砂岩、黏土页岩夹少量底砾岩、基性火山岩、硅质页岩夹层和水下滑动砾岩的透镜体组成。下侏罗统为砂岩和夹粉砂岩的凝灰岩,上侏罗统为含少量底砾岩的复理石沉积。色楞德扎—科比带由不同时代、不同变形风格和变质程度的构造杂岩构成。最老的变质建造出露于布列亚河右岸,为著名的索菲亚穹隆。从穹隆顶部到边缘,变质程度逐渐降低。顶部的黑色泥质和凝灰质岩层含微体古生物化石,具有早寒武世底部生物带的特点,下部变质岩系可能属于晚前寒武纪(文德纪和上里菲期)。在尼兰河盆地的科比东部地区,出露含晚二叠世微体古生物化石的灰岩,并发育少量基性火山岩和硅泥质页岩夹层,大的透镜状岩片长6.6 km,宽1.2 km,保存古生物化石和混杂堆积。

乌尔班、尼兰和欧米尔丁带,乌尔班剖面的上三叠统和侏罗系主要为砂岩和粉砂岩,少量韵律层硅质岩

和黏土岩。尼兰带南侧为帕乌坎(Paukan)断裂带,北部与色楞德扎-科比带和梅瓦尚(Mevachan)带邻接。剖面底部由下泥盆统沉积岩组成,发育石英岩、长石砂岩和复成分砂岩,偶夹凝灰质黏土岩、钠长石石英片岩和灰岩。色楞德扎-科比带断裂带内形成页岩和构造块体带。灰岩和陆源碎屑岩层中获得大量泥盆纪埃姆斯期的珊瑚、腕足和海百合化石。底砾岩、粉砂岩、砂岩含少量晚二叠世腕足。在孤立的块状砂岩透镜体中,鉴定出石炭纪腕足化石。底砾岩中发现来自布列亚杂岩和花岗斑岩、流纹岩的碎屑。欧米尔丁带发育的晚三叠纪沉积层与色楞德扎-科比带古生代的变形风格不协调,证明中生代地层叠加在古生代褶皱基底之上。

海西褶皱带的嘎拉姆亚带沿乌达-珊塔尔带北西边界分布,从舍夫利河(Shevli)流域到大珊塔尔群岛北部,剖面下部由寒武系组成,含丰富的古杯类、藻类、微古植物、无绞腕足和三叶虫化石。上、下寒武统剖面以硅质和硅质-黏土质岩石占主导,含丰富放射虫化石,碳酸盐岩透镜体有的长9 km。最大岩块为碧玉和基性火山岩夹层,出露长达14 km。在Ir和Nimi地区的中-上寒武统被描述为生物礁,磷块岩矿床的成因类似海山。寒武系露头的西北部,志留系火山岩、硅质-黏土岩和陆源碎屑岩厚达6 000 m,含少量腕足、海百合茎、珊瑚等动物化石。二叠系海相和近岸相沉积大约3 400 m,不整合在寒武系之上,泥盆系逆冲在二叠系之上。含晚二叠世植物化石的两个大的沉积韵律都以粗碎屑岩开始,以云母砂岩和粉砂岩结束,其中含寒武纪碧玉及少量藻类和微体古植物化石的石灰岩碎块非常普遍,整体沉积特征为磨拉石建造。图古尔亚带的泥盆系为滑塌堆积,发育“块状角砾岩”,在砂岩和凝灰岩基质中,含灰岩、硅质岩以及粉砂质、凝灰质砂岩岩块,个别灰岩块含早寒武世古杯和三叶虫化石。下石炭统为基性火山岩、碧玉、砂岩和粉砂岩。图依亚带,下部为含早中寒武世古杯类、藻类、微体植物化石、少量三叶虫和无绞腕足的灰岩、白云岩、碧玉和基性火山岩,厚约3 500 m。志留系由黏土页岩、硅质黏土页岩和硅质岩、砂岩、粉砂岩、粗碎屑夹层和石灰岩滑塌沉积组成,约2 600 m厚。下泥盆统由砂岩、粉砂岩、硅质和硅质黏土岩,含黏土锰铁矿、锰矿夹层及基性火山岩组成,约4 300 m厚,形成一个紧密褶皱的构造推覆

体。大约9 000 m厚的剖面上部,由中-上泥盆统和下石炭统的砂岩和粉砂岩组成,含少量硅质和硅质黏土岩层。中泥盆统含珊瑚和海百合化石,上泥盆统和下石炭统含印痕和炭化的植物化石。

古生代构造杂岩复合体在兰带、图克斯带、彦坎-土库力格勒带、色楞德扎-科比带和尼兰带,以及乌达-珊塔尔海西褶皱带广泛分布。这个构造带被解释为分隔西伯利亚与中国北部陆块群的红海型海底裂陷槽链。最完整的古生代剖面,下部是厚层火山硅质岩-碳酸盐岩和标志着地壳伸展阶段的火山硅质岩-陆源碎屑岩交替出现,碎屑来源于古大陆边缘。剖面的上部,通常由厚层复理石型砂岩和硅质岩构成。在乌达-珊塔尔群岛和兰带,古生代剖面发育有完整的二叠纪典型磨拉石沉积。

褶皱带内上叠的中生代构造单元主要有乌达拗陷、陶鲁姆(Torum)拗陷和乌达-上结雅(Verkhnezeya)拗陷。其中,陶鲁姆和乌达拗陷不整合在褶皱的晚古生代乌达-珊塔尔和兰带之上,属西伯利亚古陆南缘的浅水陆架沉积。陶鲁姆拗陷沉积从早三叠世卡尼期开始,上叠在蒙古-鄂霍次克构造带和早期固结地质体上。盆地演化分为晚三叠-中侏罗世和晚侏罗世-新生代两个构造阶段。盖层(不包括火山岩)的总厚度为3 200~3 400 m。拗陷中心的交叉断层和北东走向的左旋断裂控制上白垩统火山岩盖层和花岗岩侵入。乌达拗陷的覆盖层厚度约为500 m,局部1 000 m。泽龙(Zhelon)岩套(J_3-K_1)和包空(Bokon)岩套(K_1)为含煤沉积。

乌达-上结雅中新代沉积盆地位于西伯利亚陆台东南边缘的斯塔诺夫花岗绿岩区与蒙古-鄂霍次克褶皱带的交界处。乌达和上结雅裂谷盆地被所谓的杜鲁金(Durugin)单元隔开,其基底埋深大约500 m。该盆地沿纬向延伸至乌达湾,大约500 km。根据其构造演化进程,可以划分为乌达-上结雅中生代裂谷和上结雅新生代沉积拗陷两个发展阶段。

1.2.5 乌达-穆尔加-科利亚克褶皱逆冲带

根据俄罗斯学者对乌达-穆尔加-科利亚克褶皱逆冲带和鄂霍次克-楚科奇大陆边缘火山岩带重建的研究成果^[25-26, 33],该褶皱带北侧为北亚克拉通(由柯西金1964年提出,特指包括西伯利亚克拉通东部至威尔霍扬斯克冒地槽褶皱带和斯塔诺夫地块区域),南侧为

鄂霍次克海微板块。

该褶皱逆冲带的结构构造, 从下向上大体由 3 部分组成。底部为变形的晚古生代—早中生代的火山沉积岩和海相沉积, 不整合在北亚克拉通基底之上; 中部为中侏罗—早白垩世变形洋壳和沉积物构成的加积楔、弧火山岩(陆缘弧或岛弧)、火山碎屑岩及浊积岩系; 顶部被早白垩世末—晚白垩世鄂霍次克—楚科奇大陆边缘火山岩带不整合覆盖。横向上, 构造单元由北向南, 分别为侏罗纪—早白垩世乌达—穆尔加火山—深成岩带, 晚侏罗世—早白垩世乌达—穆尔加弧前沉积和增生楔, 早白垩世—晚白垩世增生楔和叠加的晚白垩世鄂霍次克—楚科奇大陆边缘火山—深成岩带。乌达—穆尔加—科利亚克陆缘褶皱逆冲带, 属东北亚活动大陆边缘构造格架的一部分。根据各段的地层结构和主要地质构造特点, 可以将乌达—马佳尔褶皱—逆冲带分为乌达—皮亚金(Piyagin)、泰格诺斯(Taigonos)和彭支纳(Penzhina)—阿纳杜尔(Anadyr) 3 段。

乌达—皮亚金段下部的晚侏罗世—早白垩世酸性火山—沉积岩夹凝灰岩(含植物化石)层(500~570 m), 不整合在北亚克拉通盖层(古生代—早中生代的变形火山沉积岩)之上。其上, 不整合沉积了含早白垩世阿普特期—阿尔布期早期动、植物化石的酸性—中性火山岩、凝灰岩、碎屑岩和浊积岩(850~1 050 m)。顶部被晚阿尔布期—晚白垩世的鄂霍次克—楚科奇陆缘火山带不整合覆盖。

泰格诺斯段的底部为晚古生代—早中生代岛弧火山—碎屑岩沉积。下部不整合沉积着晚侏罗世—早白垩世(贝里阿斯—瓦兰今期)的酸性—中性火山岩、凝灰岩(300~4 500 m, 含动物和植物化石)以及早白垩世欧特里夫期碎屑岩夹凝灰岩。上部为早白垩世巴雷姆—阿普特—阿尔布期碎屑沉积(含植物化石)。顶部被晚阿尔布期—晚白垩世的鄂霍次克—楚科奇陆缘火山岩带不整合覆盖。弧前盆地为浊积岩、砾岩和碎屑岩夹灰岩(800~2 000 m); 下部为变形蛇绿岩, 增生楔以滑塌堆积、浊积岩夹凝灰岩(400~1 200 m)、玄武岩和远洋燧石(20~60 m)为主。

彭支纳—阿纳杜尔段由北、中、南部 3 个亚带构成。北亚带, 下部为瓦兰今—巴雷姆期酸性—基性火山岩夹凝灰岩(2 000~2 500 m), 上部为早白垩世阿普特—阿尔布期碎屑岩夹凝灰岩(1 500~2 000 m), 与下伏地

层之间为不整合接触。中亚带, 底部为晚古生代的岛弧杂岩与增生楔杂岩, 中部为贝里阿斯—瓦兰今期火山岩(600~1 200 m)、欧特里夫—巴雷姆期酸性火山—沉积岩(1 000~1 600 m), 上部为阿普特期—阿尔布期细碎屑岩(含动、植物化石)和砾岩沉积, 与下伏地层之间为不整合接触。南亚带, 底部为变形洋壳, 其上为瓦兰今期—贝里阿斯期浊积岩夹碎屑岩和凝灰岩(500~700 m); 中部为欧特里夫期—巴雷姆期浊积岩夹凝灰岩(900~1 400 m); 上部为早白垩世阿普特—阿尔布期浊积岩(2 000~2 500 m, 含动物化石)。上述 3 个带的顶部, 均被鄂霍次克—楚科奇陆缘火山岩带不整合覆盖。

2 鄂霍次克—楚科奇、锡霍特—阿林大陆边缘火山岩带

鄂霍次克—楚科奇火山带: 晚白垩世的陆缘火山岩带覆盖在平缓的、未变质的下白垩统砾岩和砂岩(含煤层)之上。煤层中富含植物化石和孢粉组合, 给出的火山活动时段从早白垩世(裸子植物和蕨类植物)晚期到晚白垩世(被子植物和花粉)。

根据鄂霍次克—楚科奇火山带活动时段特征^[33], 弧火山—深成岩带前锋, 从阿尔布期—塞诺曼期的内带(向海侧的泰格诺斯岩基带和马加丹岩基带), 向西北方向(向陆侧)的康尼亚克期—圣通期—坎潘期阿尔曼火山和马尔他—奥拉火山区的外带迁移。泰格诺斯段未变形花岗岩带的锆石 U—Pb 年龄为(106.5±1.6)~(97.0±1.1) Ma 之间^[33]。马加丹岩基中最年轻的侵入单元锆石 U—Pb 年龄分别为 97.4±1.0 Ma 和 96.8±1.2 Ma^[34]。下部火山岩 Ar—Ar 同位素测年结果为(85.5±1.3)~(80.7±0.8) Ma, 该年龄比生物地层、K—Ar 和 Rb—Sr 测年给出的时代年轻。顶部玄武岩具有板内玄武岩地球化学属性特点, 测年为(77.5±11)~(74.0±1.2) Ma^[33]。这些测年数据表明, 鄂霍次克—楚科奇火山带内部的岩浆活动始于阿尔布期, 持续到塞诺曼期; 顶盖玄武岩喷发活动为坎潘期—马斯特里赫特期。海上地震反射剖面数据还显示了古近纪和新近纪的伸展历史^[33]。

锡霍特—阿林火山岩带: 晚白垩纪—古近纪的锡霍特—阿林陆缘火山岩, 覆盖在东亚大陆边缘中、晚侏罗世和晚侏罗—早白垩世初期加积楔和弧碰撞花岗岩带(132~100 Ma)之上。火山岩和侵入岩被划分为 4 个岩浆演化阶段^[35-36]: 1) 阿尔布期—塞诺曼期, 近断裂

盆地玄武安山质火山岩喷发;2)土伦期(—圣通期,斑岩-流纹岩-英安岩喷发;3)马斯特里赫特—丹麦期,中酸性-中性火山岩和火山口相熔岩;4)古近纪,双峰式火山岩。

3 蒙古-鄂霍次克褶皱带的深部构造主要特征

佐林^[37]对布拉茨克—伊尔库茨克—乌兰巴托—温都尔希勒(Undurshil)剖面的地震和重力数据进行了详细的分析,通过数值模型检验了低速层认知的可靠性。该剖面显示,地壳中的低速层不仅存在于贝加尔湖裂谷带之下,也存在于早古生代的萨彦-贝加尔湖,蒙古的古生代褶皱带,早中生代的蒙古-鄂霍次克褶皱带和西伯利亚地台之下。通过建模分析,认为低速层反映了地壳演化过程中形成的不均匀性。低速层所标志的向南低角度逆冲与重力数据和地质现象是一致的。根据地震、重力和地质数据的综合分析,推测这些低速层中的大多数对应于新生代大型逆冲断裂,证明其形成与地壳的逆冲作用有关。大型逆冲断裂估计长达数百千米。同时证明,多通道地震剖面可以用来验证逆冲断层的存在和确定深断裂的几何形状^[33]。这与我们对蒙古-鄂霍次克褶皱带及其以南地区的中生代构造背景认识也是一致的。

4 蒙古-鄂霍次克褶皱带大地构造演化进程及属性分析

通过蒙古-鄂霍次克褶皱带与古亚洲洋和古太平洋构造域构造演化进程的特征对比,蒙古-鄂霍次克褶皱带的演化进程与大地构造属性具有如下特征(图3)。

4.1 古亚洲洋构造域大地构造演化特点

根据20世纪80年代以来的相关研究成果,可以概略地认为,古亚洲洋构造域新元古代—古生代的大地构造演化进程经历了晚前寒武纪的克拉通分裂和前寒武纪变质地块的汇聚,中间地块的聚合,及其与西伯利亚等克拉通的增生和拼合历史。晚前寒武纪,在西伯利亚古大陆南缘的萨彦-外贝加尔地区,形成中新元古代里菲纪褶皱带和里菲纪晚期同造山期磨拉石。新元古代—寒武纪(1 000~500 Ma)是古亚洲洋域扩张和地幔均一化的主要时段^[36]。早—中奥陶世的伸展和洋盆收缩,形成由蛇绿岩、OPS、浊积岩系和火山—深成

岩带构成的弧-沟系统,以及由新元古代晚期—早古生代初期蛇绿岩及岩块为主体构成的混杂岩^[27]。早加里东期,中间地块与北部大陆边缘增生拼合的构造-岩浆事件,致使晚奥陶世—早泥盆世地层与下伏地质体之间的广泛角度不整合。

中晚志留—早泥盆世时期,西部从东准噶尔北缘的克拉麦里断裂以南地区向北,到阿尔泰、蒙古-图瓦地区,东部从东乌珠穆沁旗-伊尔施、黑河地区向东北,包括额尔古纳-结雅地块的广大地区,广泛发育含图瓦贝生物群化石组合的陆源碎屑沉积,揭示了这一时期西伯利亚南部被动陆缘的巨大范围。志留纪—泥盆纪的板块汇聚-挤压,形成碰撞带和大型走滑断裂。古缝合带“活化”形成晚古生代的乌拉尔、奥博-斋桑、南蒙古-克鲁伦^[27]和南兴安等分支洋盆,形成由古生代洋壳残片和OPS,常伴随晚新元古代—早古生代初期的蛇绿岩块或古老变质岩块一起构成的混杂岩。

晚古生代时期,古亚洲洋构造域的持续汇聚,伴随复合造山区的大型走滑断裂活动,形成早石炭世的深水沉积拗陷(如南蒙古带的索郎克尔、中蒙古带东端的莫尔根拗陷,发育早中石炭世细碧岩和深水放射虫硅质岩)。陆块之间的碰撞拼合,导致北部安哥拉植物群为主的晚石炭—早二叠世沉积区,出现了华夏植物群脉羊齿分子。洋盆的闭合为含华夏植物群的华北型沉积地层在南兴安“缝合带”以北的发育创造了充分必要条件。晚二叠世,古亚洲洋构造域的大面积隆升成陆,致使安哥拉植物群和华夏植物群在东部地区大范围混生。频繁的海陆变迁,致使晚石炭世—二叠纪残余海盆(多为陆表海盆地)中出现冷-暖水动物群的混生(如皱纹珊瑚和蛭等)。晚古生代(超碰撞时期),造山区以陆表海和大陆地壳的垂向增生和隆起环境为主,大范围发育以杂砂岩为代表的陆源碎屑沉积,并在俄罗斯地台和中朝-塔里木地台之上形成与巨型复合造山区对应的巨型前陆盆地和晚二叠世磨拉石沉积^[37-39]。

4.2 滨太平洋构造域大地构造演化特点

Parfenov认为^[40],中—晚泥盆世大陆裂解,导致威尔霍扬斯克-科雷马造山带的一些大型地块裂离于北亚克拉通,这些地块构成了奥姆勒夫(Omulevka)和阿玛隆(Omolon)复合地体,在晚古生代期间向外移动。在晚三叠世,它们又开始朝西伯利亚克拉通方向运动,同时,形成阿拉泽雅(Alazeya)-赫塔昌(Khetachan)、考

尼(Koni)-穆尔加及其他一些岛弧,说明古太平洋在东北亚地区的洋盆扩张,主要发生于中—晚泥盆、三叠纪和早侏罗世,这时间段与古亚洲构造域的晚古生代古陆间碰撞-超碰撞演化的时段大体同步。东北亚威尔霍扬斯克-楚科奇造山系的威尔霍扬斯克-科雷马陆缘增生造山始于中—晚侏罗世,北美与欧亚大陆之间的碰撞造山完成于晚侏罗世—早白垩世初^[25,41]。

中、晚侏罗世—早白垩世初,由于库拉-伊泽纳奇洋壳的向北俯冲,在西伯利亚古陆东部的阿尔丹-斯塔诺夫地盾和陆缘晚古生代褶皱带基础上,活动大陆边缘发育了晚侏罗—早白垩世阿尔丹-亚库提弧后断陷盆地和乌达-斯塔诺夫陆缘火山-深成岩带。巨大的南北挤压汇聚,导致蒙古-鄂霍次克褶皱系、蒙古-兴安褶皱区上地壳的大范围向南逆冲^[33],在额尔古纳-玛门地块的北缘,形成上黑龙江-漠河前陆盆地^[18,42],在中国的冀北-辽西形成挤压型沉积盆地^[36],沿蒙古-鄂霍次克褶皱带形成大型走滑断裂带和鄂嫩构造地体。

早白垩世中晚期,沿萨哈林—北海道—三波川一线发育的大陆边缘俯冲带的高压变质带发生构造折返^[43-44],锡霍特-阿林中央断裂伴随花岗岩形成,且花岗岩类型由S型逐渐转为I型,显示了岩浆源逐渐变深的过程^[45]。在大陆边缘地壳蠕散区,形成变质核杂岩、断陷盆地群、双峰式火山岩、A型花岗岩、断块活动和大型左行走滑断层^[36,41,46]。这些现象的同期出现,说明欧亚大陆与太平洋板块之间的动力学系统发生了改变,这一改变极有可能与蒙古-鄂霍次克褶皱带的闭合有关。

晚白垩世—新生代初期,是东亚陆缘造山系发展的重要阶段。太平洋板块动力学系统的转变,太平洋板块(包括鄂霍次克海微板块)的向西俯冲,形成巨大的北东走向的锡霍特-阿林、鄂霍次克-楚科奇火山岩带斜截,并叠加在蒙古-鄂霍次克褶皱带之上,标志着蒙古-鄂霍次克褶皱系发展历史的结束。随后,鄂霍次克微板块与欧亚大陆之间的碰撞,形成萨哈林-北海道碰撞造山带。

4.3 对蒙古-鄂霍次克褶皱带的结构特征、属性和构造带划分的讨论

将蒙古-鄂霍次克褶皱系置于古亚洲洋和滨太平洋构造域演化进程的对比分析(图3),可以看出,该褶皱系属于复合褶皱系,经历了晚新元古代—奥陶纪、志

留纪—二叠纪和中生代多期构造演化的叠加。褶皱系西部区和东部区(珊瑚群岛以西)的古生代构造演化进程,与古亚洲洋构造域的古生代构造演化进程基本一致。伴随西西伯利亚巨型裂谷系的发展,叠加发育了晚三叠世—早侏罗世的大陆地壳裂解过程,形成一条向东断续延伸的裂陷槽(或向东开口的海湾),外贝加尔巨型碱性岩带和面向中生代太平洋的被动大陆边缘。晚中生代的板块汇聚,在亚洲东部边缘形成以加积楔、混杂岩带、滑塌堆积、火山-深成岩带和弧后盆地为组合特征的活动大陆边缘构造格架。

中晚侏罗—早白垩世期间,北美板块与欧亚板块之间的持续挤压,伴随着大陆内部的大型走滑断裂活动,形成巨型眼球状构造地体(鄂嫩地体)。晚白垩世欧亚古大陆板块东部陆缘区地壳向东蠕散,形成以变质核杂岩、断陷盆地群、A型花岗岩、双峰式火山岩、大型走滑断裂和断块活动为组合特征的构造-岩浆活化。

根据蒙古-鄂霍次克褶皱带西部区和东部区的结构特征、构造-岩浆演化和属性特征,笔者建议将经历了晚新元古代—奥陶纪、志留纪—二叠纪和中生代多期构造演化叠加的构造带,统称为蒙古-鄂霍次克复合褶皱系。将以古亚洲洋构造演化进程为主体特征的东西、东两个区段,分别称为杭盖-肯特-达斡尔褶皱系和上黑龙江-珊瑚褶皱系。将中生代时段发育的大型走滑断裂系统、鄂嫩构造地体、亚库提中晚侏罗—早白垩世弧后盆地、斯塔诺夫岩基带和乌达火山-深成岩带,以及继续向东延伸的乌达-穆尔加-科利亚克褶皱逆冲带,统称为蒙古-鄂霍次克褶皱系。后者属于复合褶皱系的中生代部分,其地质构造演化历史与东亚滨太平洋活动大陆边缘演化进程相关。

早白垩世晚期—晚白垩世早期,由于鄂霍次克海微板块、菲律宾海板块及太平洋板块向欧亚大陆板块之下的斜俯冲作用,蒙古-鄂霍次克复合褶皱系闭合,伴随亚洲东缘大陆边缘的隆升、走滑系统发育和俯冲带的折返。晚白垩世,锡霍特-阿林、鄂霍次克-楚科奇大陆边缘火山岩带斜截,并叠加在蒙古-鄂霍次克复合褶皱系之上,标志着蒙古-鄂霍次克复合褶皱系构造演化的结束。

5 结论

综上所述,蒙古-鄂霍次克构造带是一条多期复

合型褶皱系,其形成于晚新元古代—中生代早白垩世初期。晚新元古代—古生代时期的构造演化特点与古亚洲洋构造域的演化进程基本同步,揭示了西伯利亚古板块在晚新元古代—早古生代的向南增生,以及古缝合带在晚古生代期间的活化和闭合过程。在此基础上,叠加了早中生代的大陆裂解、东北亚活动大陆边缘中生代构造演化进程的影响以及早白垩世晚期的构造-岩浆活化,致使蒙古-鄂霍次克褶皱带形成南北分带、东西分段,以及构造-岩浆活动由西向东逐渐变新的宏观格架与地质结构特点。

参考文献(References):

- [1] Zonenshain L P, Kuzmin M I, Natapov L M, et al. Mongol-Okhotsk foldbelt [C]//Zonenshain L P, Kuzmin M I, Natapov L M, et al. Geology of the USSR: A plate-tectonic synthesis. Washington D C: American Geophysical Union, 1990, 21: 97-120.
- [2] Zonenshain L P, Kuzmin M I, Moralev V M. Global tectonics, magmatism, and metallogeny[M]. Moscow: Nedra, 1976. (in Russian)
- [3] Natal'in B A. Mesozoic accretion and collision tectonics of the USSR southern Far East[J]. Tikhookeanskaya Geologiya, 1991 (5): 3-23.
- [4] Şengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. Nature, 1993, 364(6435): 299-307.
- [5] Zorin Y A. Geodynamics of the western part of the Mongolia: Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal Region (Russia) and Mongolia [J]. Tectonophysics, 1999, 306(1): 33-56.
- [6] Parfenov L M, Popeko L I, Tomurtogoo O. Problems of tectonics of the Mongol-Okhotsk orogenic belt [J]. Geology of the Pacific Ocean, 2001, 16(5): 797-830.
- [7] 黄宗理, 张良弼. 地球科学大辞典: 基础学科卷[M]. 地质出版社, 2006: 901.
- Huang Z L, Zhang L B. A dictionary of earth sciences: Basic science [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 901.
- [8] Yu G, Leonov O V, Petrov I I, et al. Tectonics of Northern, Central and Eastern Asia. 1:2 500 000[M]. St. Petersburg: VSEGEI Printing House, 2014: 184. (in Russian)
- [9] Roganov G V. Tectonics of the eastern part of the Mongol-Okhotsk fold geosynclinal area: Synopsis of cand. thesis (geol. & miner.) [C]. Khabarovsk of Russian, 1976. (in Russian)
- [10] 李廷栋. 1:5 000 000 亚欧地质图[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- Li T D. Geological map of Eurasia (1:5 000 000) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. (in Chinese)
- [11] Bulgatov A N, Gordienko I V. Terranes, synaccretionary, and post-accretionary complexes of the Transbaikalia and southeastern part of Eastern Sayn Regions, Siberia[R]//Nokleberg W J, Naumova V V, Kuzmin M I, eds. Preliminary Publications Book 1 from Project on Mineral Resources, Metallogeneses, and Tectonics of Northeast Asia. U.S. Geological Survey Open-File Report, 1999.
- [12] Gordienko I V. Paleozoic magmatism and geodynamics of the Central Asian fold belt[M]. Moscow: Nauka, 1987: 240. (in Russian)
- [13] Gordienko I V, Bayanov V D, Zhamoitsina L G, et al. Late Paleozoic bimodal volcano plutonic associations of Transbaikalia and geodynamic conditions of their formation[J]. Russian Geology and Geophysics, 1998, 39(2): 190-203.
- [14] Zhou J B, Wang B, Wilde S A, et al. Geochemistry and U-Pb zircon dating of the Toudaoqiao blueschists in the great Xing'an Range, Northeast China, and tectonic implications[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 97: 197-210.
- [15] 郭胜哲. 大兴安岭中部下寒武统古杯类[J]. 古生物学报, 1981, 20(1): 60-63.
- Guo S Z. Lower Cambrian archaeocyathids from the central part of Da Hinggan Ling[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1981, 20(1): 60-63.
- [16] 张允平, 那福超, 宋维民, 等. 对东北地区古生代几个重要时段地层古生物信息的区域构造学思考[J]. 地质与资源, 2021, 30(1): 1-13.
- Zhang Y P, Na F C, Song W M, et al. Regional tectonic implication of the Paleozoic stratigraphic paleontology information in Northeast China[J]. Geology and Resources, 2021, 30(1): 1-13.
- [17] Badarch G, Cunningham W D, Windley B F. A new terrane subdivision for Mongolia: Implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 21(1): 87-110.
- [18] Natal'in B. A. Tectonic of Mongolia [C]//2nd Symposium of IGCP-480 Project, Ulaanbaatar, Mongolia. 2006.
- [19] Buchan C, Cunningham D, Windley B F, et al. Structural and lithological characteristics of the Bayankhongor ophiolite zone, Central Mongolia[J]. Journal of the Geological Society, 2001, 158(3): 445-460.
- [20] Buchan C, Pfänder J, Kröner A, et al. Timing of accretion and collisional deformation in the Central Asian orogenic belt: Implications of granite geochronology in the Bayankhongor ophiolite zone[J]. Chemical Geology, 2002, 192(1/2): 23-45.
- [21] Nakane Y, Kurihara T, Nuramkhaan B, et al. Geological division of the rocks at southeast of Ulaanbaatar (Gachuurt-Nalaikh), central Mongolia [J]. Bull Nagoya Univ Museum, 2012(28): 19-26.
- [22] Dorjsuren B, Bujinlkham B, Minjin C, et al. Geological settings of the Ulaanbaatar terrane in the Hangay-Hentey zone of the Devonian accretionary complex, Central Asian orogenic belt[M]. IGCP, 2006: 248.
- [23] Kelty T K, Yin A, Dash B, et al. Detrital-zircon geochronology of Paleozoic sedimentary rocks in the Hangay-Hentey basin, north-central

- Mongolia: Implications for the tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean in Central Asia[J]. *Tectonophysics*, 2008, 451(1/4): 290–311.
- [24] Tomurtogoo O, Windley B F, Kröner A, et al. Zircon age and occurrence of the Adaatsag ophiolite and Muron shear zone, central Mongolia: Constraints on the evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean, suture and orogen[J]. *Journal of the Geological Society*, 2005, 162(1): 125–134.
- [25] Karsakov L P, Zhao C J, Malyshev Y F, et al. Tectonics, deep structure, metallogeny of the Central Asian-Pacific belts junction area [M]//Karsakov L P, Zhao C J. Explanatory Notes to the Tectonic Map Scale of 1:1 500 000. Beijing: Geological Publishing House China, 2008.
- [26] Sokolov S D, Bondarenko G Y, Khudoley A K, et al. Tectonic reconstruction of Uda-Murgal arc and the Late Jurassic and Early Cretaceous convergent margin of Northeast Asia-Northwest Pacific[J]. *Stephan Mueller Special Publication Series*, 2009, 4: 273–288.
- [27] Buslov M M, Saphonova I Y, Watanabe T, et al. Evolution of the Paleo-Asian Ocean (Altai-Sayan Region, Central Asia) and collision of possible Gondwana-derived terranes with the southern marginal part of the Siberian continent [J]. *Geosciences Journal*, 2001, 5(3): 203–224.
- [28] Mineral Resources Authority of Mongolia Geological Survey. Geological map of Mongolia (Scale 1:1 000 000) [M]. Ulaanbaatar: Institute of Geology and Mineral Resources, Mongolian Academy of Sciences, 1998.
- [29] Donskaya T V, Gladkochub D P, Mazukabzov A M, et al. Late Paleozoic-Mesozoic subduction-related magmatism at the southern margin of the Siberian continent and the 150 million-year history of the Mongol-Okhotsk Ocean [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 62: 79–97.
- [30] Jahn B M, Litvinovsky B A, Zandvilevich A N, et al. Peralkaline granitoid magmatism in the Mongolian-Transbaikalian belt: Evolution, petrogenesis and tectonic significance [J]. *Lithos*, 2009, 113(3/4): 521–539.
- [31] Landman R, Tumenjargal D. Petrologic constraints on the sources of granites from the Hangay Mountains, central Mongolia [C]//20th Annual Keck Symposium, 2007.
- [32] Ulmishkek G F. Petroleum geology and resources of the west Siberian Basin, Russia [R]. Reston: USGS, 2003.
- [33] Hourigan J K, Akinin V V. Tectonic and chronostratigraphic implications of new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and geochemistry of the Arman and Maltan-Ola volcanic fields, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, northeastern Russia [J]. *GSA Bulletin*, 2004, 116(5/6): 637–654.
- [34] Andreeva N V, Izokh A P. Intrusive series of the Magadan massif and criteria of their identification [M]. Magadan: North East Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, 1990: 83. (in Russian).
- [35] 张允平, 宋维民, 那福超. 对冀北-辽西-大兴安岭地区晚中生代地层划分、对比的区域构造学思考 [J]. *地质与资源*, 2018, (27): 307–316.
- Zhang Y P, Song W M, Na F C. Late Mesozoic stratigraphic division and correlation in Northern Hebei-Western Liaoning-Daxinganling area: From the view of regional tectonics [J]. *Geology and Resources*, 2018, 27(4): 307–316.
- [36] 宋维民, 那福超, 刘英才, 等. 蒙古-鄂霍次克褶皱带研究新进展 [J]. *地质与资源*, 2021, 30(1): 101.
- Song W M, Na F C, Liu Y C, et al. Research progress of the Mongolia-Okhotsk fold belt [J]. *Geology and Resources*, 2021, 30(1): 101.
- [37] 马俊孝, 李之彤, 张允平, 等. 吉林中部古生代构造-岩浆活动与金银成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1998: 168.
- Ma J X, Li Z T, Zhang Y P, et al. Paleozoic tectono-magmatic activity and gold-silver mineralization of central Jilin Province, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 168.
- [38] 孟祥化, 葛铭. 中国华北地台二叠纪前陆盆地的发现及其证据 [J]. *地质科技情报*, 2001, 20(1): 8–14.
- Meng X H, Ge M. Discovery and evidence of the foreland basin in the North China platform in the Permian period [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(1): 8–14.
- [39] 张允平, 李景春. 华北及其以北地区晚古生代一早中生代构造格架主体特点 [J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 916–930.
- Zhang Y P, Li J C. Tectonic framework and main characteristics of North China and its northward areas in Late Paleozoic-Early Mesozoic period [J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 916–930.
- [40] 张允平. 东北亚地区晚侏罗-白垩纪构造格架主体特点 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2011, 41(5): 1067–1084.
- Zhang Y P. Main characteristics of Late Jurassic-Cretaceous tectonic framework in Northeast Asia [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2011, 41(5): 1267–1284.
- [41] 张顺, 林春明, 吴朝东, 等. 黑龙江漠河盆地构造特征与成盆演化 [J]. *高校地质学报*, 2003, 9(3): 411–419.
- Zhang S, Lin C M, Wu C D, et al. Tectonic characteristics and basin evolution of the Mohe basin, Heilongjiang Province [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(3): 411–419.
- [42] Yoshida K, Iba Y, Taki S, et al. Deposition of serpentine-bearing conglomerate and its implications for Early Cretaceous tectonics in northern Japan [J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 232(1/2): 1–14.

- 568–569: 74–85.
- [22] Sano H, Kanmera K. Collapse of ancient oceanic reef complex — What happened during collision of Akiyoshi reef complex? Sequence of collisional collapse and generation of collapse products[J]. *Journal-Geological Society of Japan*, 1991, 97(8): 631–644.
- [23] 张克信, 何卫红, 徐亚东, 等. 中国洋板块地层分布及构造演化[J]. *地学前缘*, 2016, 23(6): 24–30.
Zhang K X, He W H, Xu Y D, et al. Palaeogeographic distribution and tectonic evolution of OPS in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2016, 23(6): 24–30.
- [24] 中华人民共和国国土资源部. GB/T958—2015 区域地质图图例[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. GB/T958—2015 Geological legends used for regional geological maps [S]. Beijing: China Standards Press, 2015.
- [25] 全国地层委员会《中国地层表》编委会. 中国地层表(2014版)[M]. 北京: 地质出版社, 2014.
The Editorial Committee of National Commission Stratigraphy of China (The Stratigraphic Chart of China). The stratigraphic chart of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014. (in Chinese)
- [26] 樊隽轩, 李超, 侯旭东. 国际年代地层表(2018/08版)[J]. *地层学杂志*, 2018, 42(4): 365–370.
Fan J X, Li C, Hou X D. International chronostratigraphic chart (v 2018/08) [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2018, 42(4): 365–370.
- [27] Maxwell J C. Anatomy of an orogen[J]. *GSA Bulletin*, 1974, 85(8): 1195–1204.
- [28] Blake M C Jr, Jayko A S, McLaughlin R J, et al. Metamorphic and tectonic evolution of the Franciscan complex, northern California[C] //Ernst W G. *Metamorphism and crustal evolution of the western United States: Rubey Volume VII*: Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice-Hall, 1988: 1035–1060.
- [29] Wakabayashi J. Nappes, tectonics of oblique plate convergence, and metamorphic evolution related to 140 million years of continuous subduction, Franciscan complex, California [J]. *The Journal of Geology*, 1992, 100(1): 19–40.
- [30] Wakabayashi J. Subduction and the rock record: Concepts developed in the Franciscan complex, California [C] //Moore E M, Sloan D, Stout D L. *Classic cordilleran concepts: A view from California*. Boulder: Geological Society of America, 1999: 123–133.
- [31] Wakabayashi J, Dilek Y. *Mélanges: Processes of formation and societal significance*[M]. Geological Society of America, 2011.
- [32] 张进, 曲军峰, 赵衡, 等. 俯冲增生杂岩带变形特征、成因机制及与后期变形的区别[J]. *地学前缘*, 2022, 29(2): 56–78, doi: 10.13745/j.esf.sf.2022.2.4.
Zhang J, Qu J F, Zhao H, et al. Deformation in subduction-accretionary complex belts: Characteristics, mechanism and differentiation from late-stage event [J]. *Earth Science Frontiers*, 2022, 29(2): 56–78.
- [33] 殷鸿福, 张克信. 中华人民共和国区域地质调查报告——冬给措纳湖幅(147C001002)[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2003.
Yin H F, Zhang K X. The People's Republic of China regional geological report: Donggi Conag Hu Sheet (147C001002) [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2003. (in Chinese)
- [43] Ueda H, Kawamura M, Moriya A. Mode of exhumation of the Kamukotan high-P/T metamorphics recorded by unconformity of the Middle Yezo Group, Hokkaido, Japan[C] //Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting 2005, 2005: G015–P004.
- [44] Kruk N N, Simanenkov V P, Gvozdev V I, et al. Early Cretaceous granitoids of the Samarka terrane (Sikhote-Alin'): Geochemistry and sources of melts[J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, 55(2): 216–236.
- [45] 张允平, 宋维民, 那福超, 等. 东北亚活动大陆边缘中生代构造格架主体特点[J]. *地质与资源*, 2016, 25(5): 407–423.
Zhang Y P, Song W M, Na F C, et al. Characteristics of the tectonic framework of Northeast Asian Mesozoic active continental margin[J]. *Geology and Resources*, 2016, 25(5): 407–423.

(上接第 274 页/Continued from Page 274)