

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2024.03.01

滕学建,付超,李俊建,李志丹,唐文龙. 2024. 中蒙边境地区主要蛇绿岩带特征及地质意义[J]. 华北地质, 47(3):1-13.

Teng Xue-jian, Fu Chao, Li Jun-jian, Li Zhi-dan, Tang Wen-long. 2024. Characteristics and Geological Implications of the Ophiolite Belts in the Sino-Mongolian Border Region[J]. North China Geology, 47(3):1-13.

中蒙边境地区主要蛇绿岩带特征及地质意义

滕学建,付超,李俊建,李志丹,唐文龙

(中国地质调查局天津地质调查中心(华北地质科技创新中心),天津 300170)

摘要:【研究目的】中国与蒙古的交界地区构造位置上位于中亚造山带,沿边境两侧断续出露呈团块、带状分布的蛇绿(混杂)岩带。蛇绿岩作为古大洋岩石圈的残片,是研究岩石圈地幔演化、俯冲带物质循环和重建古地理格局的天然实验室。【研究方法】本文依托中蒙合作1/100万系列地质图件编制项目成果,结合前人针对该地区蛇绿(混杂)岩带的研究成果,进一步厘定中亚造山带的构造演化和恢复其构造格局。【研究结果】在研究区划分出十四条蛇绿(混杂)岩带,综合阐述了其时空分布特征,建立了蛇绿(混杂)岩带的时空分布格架。【结论】研究结果表明,中蒙边境蛇绿岩带自西向东呈年龄逐渐年轻的趋势(新元古代-早二叠世),揭示了中亚造山带西段和东段大洋岩石圈地幔演化的差异性。多数蛇绿(混杂)岩带属于与俯冲作用密切相关的SSZ(supra-subduction zone)型蛇绿岩,但弧前和弧后的构造背景的争议仍需进一步研究加以限定。

关键词:中蒙边界;中亚造山带;蛇绿岩;时空分布;构造演化

创新点:综述了中蒙边界蛇绿(混杂)岩带的时空分布特征,将其划分为14条蛇绿(混杂)岩带,为厘定中亚造山带的构造演化和恢复古亚洲洋的构造格局提供了制约。

中图分类号: P587; P597.3

文献标志码: A

文章编号: 2097-0188(2024)03-0001-13

Characteristics and geological implications of the Ophiolite Belts in the Sino-Mongolian Border Region

TENG Xuejian, FU Chao, LI Junjian, LI Zhidan, TANG Wenlong

(Tianjin Center, China Geological Survey(North China Center of Geoscience Innovation), Tianjin 300170, China)

Abstract: This paper is the research of ophiolite.

[Objective] Ophiolites, as fragments of ancient oceanic lithosphere, serve as a natural laboratory for studying the evolution of the lithospheric mantle, material cycling in subduction zones, and reconstructing paleogeographic patterns. The China-Mongolia border region is located within the Central Asian Orogenic Belt (CAOB), where ophiolite (mélange) belts intermittently crop out along both sides of the boundary, exhibiting blocky and zonal distributions. **[Methods]** To further clarify the tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt and restore its structural framework, this paper relies on the results of the China-Mongolia collaborative 1/1 000 000 geological map series compilation project, combined with previous studies on the ophiolite (mélange) belts in this region. **[Results]**

收稿日期: 2024-08-30

基金项目: 国家重点研发计划: “蒙古古生代岩浆活动与铜(金铂银)成矿作用(2022YFE0119900)”

作者简介: 滕学建(1980-),男,硕士,正高级工程师,主要从事构造地质学及区域地质调查工作, E-mail: 451405400@qq.com。

Fourteen ophiolite (mélange) belts were identified in the study area. A comprehensive explanation of their spatial-temporal distribution characteristics was provided, and a spatial-temporal framework for the distribution of the ophiolite (mélange) belts was established. [Conclusions] The results indicate that the ophiolite belts along the China-Mongolia border exhibit a trend of progressively younger ages from west to east (Neoproterozoic to Early Permian). This reveals differences in the evolution of the oceanic lithospheric mantle between the western and eastern segments of the Central Asian Orogenic Belt. Most ophiolite (mélange) belts are of the SSZ (supra-subduction zone) type, closely related to subduction processes. However, the tectonic settings of fore-arc and back-arc environments remain controversial and require further study.

Key words: China-Mongolia border; Central Asian Orogenic Belt; ophiolite; spatiotemporal distribution; tectonic evolution

Highlights: This paper summarizes the spatiotemporal distribution characteristics of ophiolite (mélange) belts along the China-Mongolia border, dividing them into 14 ophiolite (mélange) belts. This classification provides constraints for determining the tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt and reconstructing the tectonic framework of the Paleo-Asian Ocean.

About the first author: TENG Xuejian, born in 1980, senior engineer, major in structural geology and regional geological surveys, E-mail: 451405400@qq.com.

Fund support: Supported by National Key Research and Development Program(2022YFE0119900)

中蒙边界地区主体位于全球规模最大的显生宙中亚造山带,是西伯利亚克拉通与中朝、塔里木板块之间的古亚洲洋消减而形成的巨型缝合带,其演化历史以弧、增生杂岩、海山和大洋高原的增生为主(Coleman, 1989; 肖序常等, 1991; Sengör et al., 1993; Xiao et al., 2004; 韩宝福等, 2010)。作为中亚造山带的重要组成部分,中蒙边界地区的构造演化与中亚造山带的形成演化密切相关。然而,中蒙边界地区的构造演化仍存在诸多争议,而蛇绿岩作为大洋岩石圈的残片,为揭示壳幔相互作用、研究地球动力学以及恢复古洋陆格局的重要窗口(Dewey et al., 1971; 张旗, 2001; 史仁灯, 2005; Dilek and Furnes, 2011)。因此,针对中蒙边界地区蛇绿岩的时空分布特征及其形成构造背景的研究,可有效制约其构造演化,并对厘定中亚造山带的构造格局具有重要指示意义。

1 区域构造格架

中蒙边境地区发育一系列以蛇绿岩或蛇绿混杂岩为标志的构造带,沿边境两侧断续出露(图1)。由于遭受后期构造破坏,蛇绿岩一般呈团状、带状分布于构造混杂带中。本文参考了张弛(1981)、左国朝和何国琦(1990)、李锦轶(1995)、舒良树等(2001)、Tomurtogoo et al.(2005)、吴波等(2006)、Miao et al.(2008)、Xiao et al.(2008; 2010)、董连慧

等(2010)、杨合群等(2010)等的蛇绿岩连接方案,结合中蒙合作编制1/100万系列地质图件成果,由北向南、自西向东划分出十四条主要蛇绿(混杂)岩带:1)Huurai蛇绿混杂岩带;2)Ölgii蛇绿混杂岩带;3)额尔齐斯蛇绿岩带;4)阿尔曼太蛇绿混杂岩带;5)卡拉麦里蛇绿混杂岩带;6)Nemegt古生代增生楔;7)Gurvan Saihan早古生代蛇绿岩;8)红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带;9)芨芨台子-小黄山蛇绿岩带;10)红柳河-牛圈子蛇绿混杂岩带;11)恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带;12)二连-贺根山蛇绿混杂岩带;13)索伦敖包-林西蛇绿岩带;14)温都尔庙-西拉木伦河蛇绿岩带(图1)。在大量地质调查与综合研究的基础上,聚焦主要蛇绿(混杂)岩带,综述其分布及地质特征,并梳理蛇绿岩组成岩石的地球化学特征及年代学架构。本次研究通过对中蒙边境蛇绿(混杂)岩带的系统性整合和划分,建立了蛇绿(混杂)岩带的时空分布格架,填补了边境地区对比研究的缺失,也为进一步建立中蒙边境的构造演化历史提供了重要依据。

2 主要蛇绿岩带分布及地质特征

2.1 Huurai蛇绿混杂岩带

Huurai蛇绿岩地体近东西向分布于Tseel一带,沿着蒙古Altay山脉的轴向延伸,构成一个大型Delun-Sagsai叠加地槽的褶皱基底(图1)。其主要由

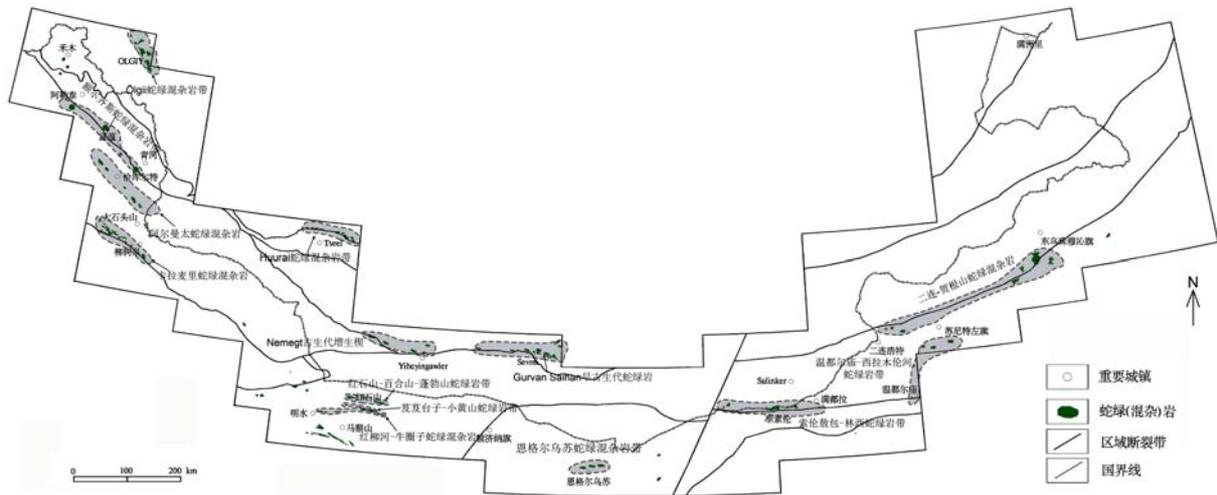


图1 中蒙边界地区主要蛇绿(混杂)岩分布图

Fig.1 Distribution map of major ophiolite (mé lange) belts in the China-Mongolia border region

经历强烈变形和裂解的蛇绿混杂岩组成,包括蛇纹岩、辉石岩、辉长岩类、橄榄岩类、绿岩相玄武岩和石英片岩。Huurai蛇绿岩杂岩的石英质片岩组和Gorny Altay山脉的Zasurin组具有相似性,根据微生物化石推断其时代为晚寒武世-早奥陶世。

2.2 Ölgii蛇绿混杂岩带

Ölgii蛇绿混杂岩带位于蒙古Har Azargyn Nuruu山脉的西部,OLGIY附近,呈北西-东南向展布,为一小型的沿亚纬度方向的蛇绿混杂岩带,其中含镁铁质火山岩和石灰岩块体,以及大量的绿紫色高压片岩岩块(图1)。

2.3 额尔齐斯蛇绿岩带

额尔齐斯构造带内的蛇绿岩由北西向南东分别出露有:布尔津县西南侧的科克森套蛇绿岩及其东部的吐尔库班套蛇绿岩、富蕴县南部的乔夏哈拉蛇绿岩带、富蕴县城以北约30 km的库尔提蛇绿岩、富蕴县城北西的玛因鄂博蛇绿岩和青河县以南的布尔根蛇绿岩带等(图1;王玉往等,2011)。由这些蛇绿岩构成的蛇绿岩带,向西与哈萨克斯坦境内的查尔斯克蛇绿岩相连,东接蒙古西南部比基蛇绿岩带,长达1 000 km以上,伴生的最新沉积岩系为石炭系。

科克森套蛇绿岩带仅见小规模超基性岩体群侵入于中泥盆统和中石炭统的沉积-火山岩中,未发现海相玄武岩和深海沉积物,曾被称为“准蛇绿岩”(曹荣龙,1994),张旗和周国庆(2001)报道科克森套地区蛇绿岩由二辉橄榄岩、基性火山岩和

放射虫硅质岩组成,并将其与乔夏哈拉蛇绿岩一起称为科克森套-乔夏哈拉蛇绿岩。

吐尔库班套蛇绿岩呈北西西向带状展布,最大宽度达4 km,蛇绿岩出露于中泥盆统蕴都喀拉组第一亚组(D_2y^a)砂板岩夹硅质岩、凝灰质粉砂岩内,主要由超镁铁岩、辉长岩、辉绿岩、玄武岩、硅质岩、复理石建造等组成(王玉往等,2011)。空间上自南向北出露辉长岩、超基性岩、含包体的片麻状花岗岩、含包体的复理石建造夹玄武岩,最北部为中泥盆统凝灰质砂岩。各岩块之间为断层接触,断层带常形成几十厘米至2 m宽的片理化、糜棱岩化带(王玉往等,2011)。

库尔提蛇绿岩位于新疆北部阿尔泰地区富蕴县城以北约30 km,南、北两个岩片侵入于早泥盆世康布铁堡组变质岩系中。其中北部岩片属于蛇绿岩的上部,主要由具枕状构造的变玄武岩及侵入其中的少量辉长岩、辉绿岩岩墙组成;南部岩片主要由变质的镁铁质侵入岩(辉长岩、辉绿岩等)组成,基性岩脉也较常见,少量的枕状玄武岩仅见于岩片的最北侧(许继峰等,2001a;张海祥等,2003)。

布尔根蛇绿岩位于清河县西南约20 km,呈北西西向延展,蛇绿混杂岩带最宽可达20 km,在清河县境内延伸70~80 km,岩块由超镁铁岩、辉长岩、玄武岩、硅质岩等组成,混杂岩带基质由糜棱岩、火山岩、凝灰岩和破碎强烈的碎屑岩等组成(吴波等,2006)。

玛因鄂博蛇绿岩带出露于玛因鄂博断裂带附近,主要呈北西向展布,宽约900~2 000 m左右,长约15~25 km,主要由蛇纹石化橄榄岩、玄武岩、辉长岩、硅质岩等组成。此带构造混杂强烈,东西延伸均被北塔山组火山岩覆盖(杨志华等,2005)。董连慧等(2010)将玛因鄂博蛇绿岩由下而上划分为:基性-超基性岩段、席状岩墙、枕状玄武岩段、泥质粉砂岩段、硅质岩段等。

2.4 阿尔曼太蛇绿混杂岩

阿尔曼太蛇绿岩带位于东准噶尔中部,呈南东-北西走向从中蒙边界附近的北塔山北坡,向北西通过阿尔曼太山北坡,沿乌伦古河向北西延伸到扎河坝地区,然后被准噶尔盆地堆积物覆盖,总计长约200 km(图1;李锦轶等,2004)。该蛇绿岩带中出露数十条蛇绿岩块体,出露于中泥盆统火山沉积岩系中,形态受断裂控制(李锦轶等,2004; Xiao et al., 2008)。除席状岩墙群外,可以见到所有组成蛇绿岩的岩石类型,包括蛇纹石化方辉橄榄岩、纯橄岩、堆晶辉长岩、辉绿岩、枕状和块状玄武岩、放射虫硅质岩等,纯橄岩中偶尔发育铬铁矿化(李锦轶, 1995)。在不同区段蛇绿岩各单元发育情况有差异,西段以变质橄榄岩为主,堆晶岩和辉绿岩较少,顶部有枕状和变形强烈的玄武岩分布,东段玄武岩及红色铁碧玉岩较为发育,辉绿岩墙侵入其中,但辉长岩和蛇纹石化方辉橄榄岩较少(黄萱等, 1997)。

2.5 卡拉麦里蛇绿混杂岩

卡拉麦里蛇绿岩带位于准噶尔盆地东北缘,呈北西西向延伸,全长约400 km,宽5~15 km(西宽东窄)。地理上西起卡拉麦里清水到南明水以东巴里坤塔克札勒、伊吾大黑山,南北两侧边界分别为北西-南东向展布的卡拉麦里深断裂和清水-苏吉泉深断裂,以构造岩片形式夹持于中泥盆统与早石炭统地层中(图1;李嵩龄等,1999;杨梅珍等,2009),并被上泥盆统克安库都克组(D₃k)不整合覆盖(董连慧等,2010)。

卡拉麦里蛇绿岩层序难识别,主要由强蛇纹石化的变质橄榄岩、辉长质堆晶岩、辉绿岩、基性熔岩和硅质岩等岩块组成。变质橄榄岩类型主要为方辉橄榄岩、纯橄岩和斜长二辉橄榄岩分布局限,多有铬尖晶石富集现象,铬铁矿矿床和矿点主要集中在

于纯橄岩中,这些岩石均发育不同程度的蛇纹石化蚀变。堆积岩以条带状辉长岩体为主,包括辉长岩和橄榄辉长岩,辉长岩由单斜辉石、斜长石及少量磁铁矿组成。辉绿岩露头较少,或呈岩块产出,或呈岩墙侵入基性熔岩、变质橄榄岩中(李锦轶等, 1990)。基性熔岩包括玄武岩、细碧岩、细碧玢岩、中长玄武岩、含霞石橄榄石中长玄武岩、霞石碱玄武岩、辉石玄武岩,岩石之间界限不清(崔日武,1988)。基性熔岩与深水沉积物伴生,主要为紫红色泥质硅质岩,次为灰色硅质粉砂岩和杂色硅质岩,紫红色硅质岩中含有铁锰结核,杂色硅质岩中富含放射虫残骸(李锦轶等,1990)。

2.6 Nemegt 古生代增生楔

Nemegt增生楔地体与西南侧的Gurvan Saihan地体毗邻,从Seruun Hairhan山脉东南部边缘开始,向东沿Ongon Ulaan山脉,穿过Nogoon Tsav荒地,继续沿Nemegt、Sevrei和Deng Nuruu山脉延伸更远。Nemegt地体是一个厚层的蛇绿混合岩体,包括超镁铁质块体、辉长岩类、玄武质枕状熔岩以及石英-碳酸盐岩(滑石菱镁片岩),也有志留纪-早泥盆世辉绿片岩和中-晚泥盆世硅酸盐质浊积岩的大块体。在Nemegt山脉,硅酸盐质浊积岩被小型的英云闪长岩侵入,其碎屑在早石炭世后混合岩化的海相火山-磨拉石杂岩底砾岩中被发现。此外在蒙古Sulinker北侧Suyihente一带,亦发育近东西向展布的小规模蛇绿岩带,推测为Nemegt增生楔一线的延伸部分。

2.7 Gurvan Saihan 早古生代蛇绿岩

该蛇绿混杂岩带位于Nemegt增生楔东侧,在Gurvan Saihan晚古生代岛弧间断续出露,以玄武岩层薄层、镁铁质基底、燧石-蛇纹大理岩层建造为特殊标志。

2.8 红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带

该蛇绿混杂带在红石山、百合山、清河口和六驼山等地断续出露(图1),整体产于下石炭统白山组和扫子山组复理石建造中,各岩石单元的原始层序均遭破坏,多呈构造混杂岩体出现。

红石山地区蛇绿岩被构造强烈肢解,多以岩片或透镜状岩块形式出露于石炭纪沉积岩中,呈近东西向延伸,长13.7 km,宽100~3 000 m不等(Xiao

et al., 2010), 出露的蛇绿岩单元主要有: 变质超镁铁杂岩, 堆晶超镁铁-镁铁岩、均质辉长岩和少量的辉绿岩墙, 与上覆火山-沉积岩系组成较为完整的蛇绿岩层序(魏志军等, 2004)。岩石组合为变质纯橄岩、方辉橄岩、单辉橄岩、二辉橄岩, 堆晶岩有辉橄岩、辉长岩、辉石岩, 浅色岩为斜长岩, 基性熔岩有玄武岩、安山玄武岩, 硅质岩有红色和黑色两类, 辉绿岩脉穿插于辉长岩、基性熔岩和硅质岩、砂岩、凝灰岩中(杨合群等, 2010)。

清河口地区的蛇绿混杂岩出露最大宽度约 25 km, 两侧均为类复理石沉积, 由大小不一的蛇纹岩、二辉橄岩、辉石岩、辉长岩、异剥钙榴岩和角闪岩等构造岩块组成(左国朝等, 1990)。

2.9 芟芟台子-小黄山蛇绿岩带

该蛇绿岩带主要出露于芟芟台子山南段和小黄山段(图 1)。芟芟台子山南段岩石组合为方辉橄岩、二辉辉石岩、金云母辉石岩、堆晶辉长岩、玄武岩、玄武安山岩、英安岩, 夹凝灰岩、杂砂岩、薄层灰岩等, 未见明显的辉绿岩墙和硅质岩(杨合群等, 2010)。小黄山蛇绿岩沿北西-南东方向展布, 东宽西窄, 宽约 1.3~4 km, 长约 15 km, 北与古元古代北山群变质岩呈断层接触, 南与晚奥陶世白云山组碎屑岩呈断层接触(图 14)。蛇绿岩由蛇纹岩、橄岩、辉石岩、辉长岩、辉绿岩及基性火山岩(阳起石片岩、辉长质、闪长质糜棱岩)等组成, 岩石变形强烈, 至少经历了 4 期以上变质作用的叠加和改造(宋泰忠等, 2008)。

2.10 红柳河-牛圈子蛇绿混杂岩

该蛇绿岩带近东西向展布, 自西向东断续分布于红柳河、玉石山、牛圈子、白云山、月牙山、洗肠井等 6 个地段(图 1; 杨合群等, 2010), 出露宽度一般为数千米, 局部可达十几千米。

红柳河段蛇绿岩主要为混杂岩残片, 但各单元出露相对齐全, 发育以方辉橄岩和尖晶石二辉橄岩为代表的变质橄岩类; 堆晶岩类丰富, 有辉橄岩、橄辉岩、辉石岩、辉长岩、斜长岩等; 基性熔岩有细碧岩、角斑岩、石英角斑岩, 以及苦橄玢岩, 均发育较好的枕状构造(郭召杰等, 1993; 杨合群等, 2010)。

玉石山蛇绿岩段层序支离破碎, 下部超基性杂

岩见变质橄岩, 变形强烈, 与堆晶辉长岩和层状辉长岩各层序间均为断层接触, 未见枕状-席状熔岩(杨合群等, 2010)。

牛圈子蛇绿岩变形变质强烈, 韧性剪切发育, 糜棱岩化普遍(任秉琛等, 2001)。超基性杂岩以尖晶石二辉橄岩为主, 伴有少量的辉橄岩、辉石岩; 辉长岩类岩石有堆晶辉长岩、伟晶辉长岩, 下部为堆晶体, 上部为层状和席状岩体, 其中有辉绿岩墙侵入; 基性熔岩有细碧岩、粗玄岩等, 夹少量凝灰岩。最上部有硅质岩, 与泥岩、灰岩互层(杨合群等, 2010)。

白云山段蛇绿岩发育蛇纹石化橄岩、辉橄岩等; 角闪辉石岩、伟晶辉石岩、辉石岩, 堆晶辉长岩; 斜长花岗岩、斜长岩, 辉绿岩; 玄武岩, 硅质岩, 凝灰质千枚岩等(杨合群等, 2010)。

月牙山段蛇绿岩出露相对较好, 自下而上依次为超镁铁质岩、堆晶辉长岩、辉绿岩、斜长花岗岩、基性熔岩和深海沉积岩(郑荣国等, 2012)。超镁铁质岩为辉橄岩、尖晶石二辉橄岩等; 堆晶岩主要有辉橄岩、橄辉石岩、辉长岩和闪长岩等, 已发生糜棱岩化、片理化, 并伴随退变质作用; 大量的辉绿岩墙密集平行产出; 斜长花岗岩为浅色岩系, 岩石类型包括辉石斜长花岗岩、角闪斜长花岗岩和斜长岩等; 枕状玄武岩, 块状玄武安山岩、安山岩组成了熔岩层, 发生了片理化, 其上为夹硅质岩的火山熔岩、火山凝灰岩(杨合群等, 2010)。

洗肠井段蛇绿岩带下部的超基性杂岩有橄岩、橄辉岩、方辉橄岩等, 其上为基性堆晶形成的辉长岩、辉石岩, 此段片理化、透镜体化强烈, 构成了超基性-基性杂岩体(杨合群等, 2010)。在杂岩体中侵入有辉绿岩-斜长花岗岩脉, 上部为辉长岩的席状岩墙, 层状玄武岩熔岩和枕状熔岩覆于其上, 见有少量的火山集块岩和角砾岩, 最上部出现有硅质岩, 又被巨厚复理石覆盖(杨合群等, 2010)。

2.11 恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带

该蛇绿混杂岩主要出露于阿拉善北部恩格尔乌苏一带, 近东西向至北东向展布, 东西向长约 20 km, 南北宽约 4 km(图 1)。本文采用王廷印等(1992)、王金荣等(1995)、谢力等(2014)研究成果, 综述如下:

蛇绿混杂岩所卷入的地层主要为上石炭统的阿木山组,地层混杂,构造高度复杂,组成岩石的原始层序完全失去了其连续性。从整体上来看,构成蛇绿混杂岩的岩石组分繁多、复杂多样,从地层和构造上均与相邻地区的截然不同。蛇绿岩杂岩带内构造主要表现为一系列向北逆冲的叠瓦状断层和南倾的劈理构造,后者倾角大于前者约 $35^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。构成恩格尔乌苏蛇绿混杂岩的岩石组分主要有(火山)碎屑浊积岩、碳酸盐岩、铁碧玉岩以及残余洋壳。其岩层的上下叠置关系和侧向连续性普遍遭到破坏,表现为杂乱无章的构造混合。在整体上可划分构造包体和基质两大部分。构造包体大小相差悬殊,小的仅数厘米,大者可达数百米。与典型的混杂岩相比,泥质基质含量相对较少。蛇绿岩杂岩体主要组分及结构特征如下:

(1)超镁铁质岩和镁质岩:此类岩石是本区蛇绿混杂岩中最为重要的构造地层单元,以带状断续分布为特征。无论其大小如何,其多以透镜状(构造包体)的形式散布在具塑性变形的基质之中。超镁铁质岩石普遍发生强烈的碳酸盐化作用,部分为蛇纹石化,具明显的网格状构造。

(2)玄武岩:玄武岩以构造包体的形式出现,按其特征大致可分为两种类型:一为枕状玄武岩,分布广,枕状构造完整;二为块状玄武岩(安山玄武岩),分布较广,大多都已发生葡萄石化作用,系热蚀变之结果。

(3)细碧角砾岩:分布较局限,角砾状结构。岩屑成分以斜长石为主,基质蚀变强烈,主要为微晶长石,以构造包体的形式出现。

(4)碎屑岩:蛇绿混杂岩重要的组分之一。主要由杂砂岩、砂质和粉砂质凝灰岩、凝灰质粉砂岩和相对含量较少的泥岩组成。

上述岩石组分主要以构造包体出现在蛇绿混杂岩中。此外,还有结晶灰岩、铁碧玉岩和局部发育的锰结核等。蛇绿混杂岩中的基质主要由砂质凝灰岩、凝灰质砂岩、粉砂岩、凝灰岩和泥岩。与典型的混杂岩相比,泥岩含量相对较少。

2.12 二连-贺根山蛇绿混杂岩

该蛇绿混杂岩带形成于晚古生代主动大陆边缘环境,主要沿二连浩特-锡林浩特的贺根山一线

分布,北东-南西向零星分布,北东向断续延伸至蒙古 Hutaguul 一带;出露岩性有泥盆纪二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、纯橄岩、含长橄橄榄岩、辉长岩、玄武岩、橄长岩、硅质岩、辉绿岩及斜长花岗岩;上部被早二叠世砾岩不整合覆盖,并分别在灰岩和硅质岩中产有中泥盆世化石及中-晚泥盆世放射虫、珊瑚化石,显示其形成于晚古生代(梁日暄,1994)。此外,蒙古 SAINSHAND 一带东北部零星分布一处蛇绿岩建造(图1),其与该蛇绿岩带的关系尚未确定。

在贺根山区域有超过30个超基性岩块被一致认为是“贺根山蛇绿岩”,其中朝根山、贺根山、崇根山、乌兹尼黑为最大的蛇绿岩块(Miao et al., 2008)。贺根山地区蛇绿岩由二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、纯橄岩、含长橄橄榄岩、辉长岩、玄武岩、橄长岩、硅质岩、辉绿岩及斜长花岗岩组成,构成一个完整的蛇绿岩剖面,可与世界上典型蛇绿岩剖面相比较(包志伟等,1994;白文吉等,1995)。其中地幔橄橄榄岩主要由方辉橄橄榄岩和少量纯橄岩构成;堆晶杂岩主要由辉长岩、橄长岩和纯橄岩组成,属于PTG型,代表洋中脊形成环境;席状岩墙少见,玄武质和辉长质岩墙近直立产出;目前尚未发现枕状熔岩,玄武岩一般呈块状产出。

2.13 索伦敖包-林西蛇绿岩带

该蛇绿岩带分布于白云鄂博以北约90 km的中蒙边境附近,西起哈布特盖,向东经索伦敖包、乌珠尔、哈尔陶勒盖至松多尔,呈东西向断续延长约160 km,宽10~20 km(图1;李钢柱等,2017)。蛇绿岩通常以构造混杂体的形式产于石炭纪本巴图组(C_2bb)砂板岩中,整个蛇绿岩带由数百个外来岩块组成。岩块规模不等,其中索伦山岩块最大,面积达 90 km^2 ,小者仅数平方米。蛇绿岩组成以变质橄橄榄岩和基性枕状熔岩为主,辉长岩和辉绿岩较少(李钢柱等,2017;薛建平等,2017)。变质橄橄榄岩主要由方辉橄橄榄岩、纯橄岩和二辉橄橄榄岩组成,其中纯橄岩中发育豆荚状铬铁矿(薛建平等,2017)。基性熔岩为拉斑玄武岩、球粒玄武岩和气孔-杏仁玄武岩等,下部为块状构造,上部发育枕状构造。与玄武岩伴生的灰岩透镜体和断层接触的复理石中含有石炭纪中期的蜓等古生物化石,下二叠统底砾岩不整合覆于蛇绿岩之上,且砾岩中含有蛇绿岩砾

石。在蒙古境内相当于 Tomurtogoo 所划分的 Sulin Heer 地体中一小部分,沿中蒙边境地区近东西向分布,零星出露于中蒙边境北侧,主要岩性建造为橄榄岩、辉石岩、辉长岩、斜长花岗岩等。

2.14 温都尔庙-西拉木伦河蛇绿岩带

该蛇绿岩带被认为是古亚洲洋缝合带的南带(图1),沿温都尔庙-西拉木伦河深断裂分布,该断裂带西起格少庙向东经温都尔庙、克什腾旗,沿西拉木伦河流域延伸,经开鲁、通辽延入吉林省。在温都尔庙和西拉木伦河北部的杏树洼、柯单山、五道石门、黄梁岗、二八地、天山、九井子发育蛇绿岩,呈北东东向延伸(王玉净,1997)。其中温都尔庙蛇绿岩和柯单山蛇绿岩研究程度相对较高。内蒙古温都尔庙地区蛇绿岩位于下古生界华北地台北缘内蒙地槽南侧,分布在苏尼特右旗南部温都尔庙、武艺台和图林凯一带,东西长百余公里,南北宽约25 km,两侧均被中、新生代地层覆盖。蛇绿岩由变质方辉橄榄岩、辉长质堆晶岩、岩床状辉绿岩、镁铁质枕状熔岩及深海沉积岩组成(王荃等,1991)。

此外,西拉木伦河北部柯单山、杏树洼、五道石门等地亦分布有蛇绿岩带。柯单山蛇绿岩带位于西拉木伦河缝合带附近,由柯单山、九井子和杏树洼等蛇绿岩块组成。蛇绿岩多呈孤立的构造块体与志留纪浅变质岩相接触(王荃等,1991)。其中柯单山岩块出露较好,呈北东走向,长约10 km,宽0.3~1.7 km,面积约8 km²。岩石类型主要有变质橄榄岩、辉长岩、纯橄岩、辉石岩、拉斑玄武岩、细碧岩以及深海沉积的硅质岩。这些岩石与围岩一起受到强烈挤压,片理化和角砾岩化发育。

3 蛇绿岩带形成时间及构造指示

整体而言,中蒙边境蛇绿岩分布较为复杂,涵盖以在蒙古境内分布为主的 Haurai 和 Ölgii 蛇绿岩混杂岩带,以及横贯阿尔泰山带东段和兴蒙造山带的诸多蛇绿(混杂)岩。由于该带蛇绿岩构造复杂,多被构造肢解,蛇绿岩层序保存并不完整,因此相关的研究整体较少。此外,上述划分的十四个蛇绿(混杂)岩带是否均代表大洋岩石圈残片,仍需进一步的研究加以厘定。本文对上述蛇绿(混杂)岩带的前人研究进行了较为系统的总结和梳理,主要

包括其年代学和地球化学特征,以期对中蒙边境蛇绿岩带的整体格架和构造演化提供制约。

3.1 Ölgii 蛇绿混杂岩带

针对该蛇绿混杂岩带的研究较少,已有研究表明,其可能形成于新元古代(571~569 Ma;表1;Kepezhinskas et al., 1991; Khain et al., 2003)。此外,Kepezhinskas et al. (1991)对基性杂岩和变质火山岩的全岩微量元素分析的结果表明,其与大洋中脊玄武岩具有成分上的相似性,并推断该蛇绿岩带的形成与古亚洲洋洋中脊拉张作用下地幔柱的活动有关。针对该蛇绿岩的综合地质和构造研究亦表明,中-新元古代及其以后该区作为西伯利亚古陆西南缘一直处于稳定沉积发展阶段,新元古代末期,札布汉地区拉张形成洋盆,该区仍处于(西南)开阔海盆的边缘。随着札布汉洋盆向北、东俯冲乃至闭合拼贴于古陆,引发一系列的构造-岩浆活动,使原来处于被动状态的西伯利亚古陆西南缘,开始向活动大陆边缘转化(新疆北部及邻区构造建造图说明书,1995),故而在新元古代至早古生代加里东晚期期间,该构造单元一直处于被动大陆边缘环境下,形成了新元古代-早古生代的一套开阔海类复理石(浊积岩)沉积和陆缘碎屑沉积建造。

3.2 额尔齐斯蛇绿岩带

额尔齐斯蛇绿岩带构造位置上位于额尔齐斯构造带内,由多个蛇绿岩地体组成,目前已有相关年龄研究的包括科克森套-乔夏哈拉蛇绿岩(陈哲夫等,1997)、库尔提蛇绿岩(许继峰等,2001a;张海祥等,2003)、布尔根蛇绿岩(吴波等,2006)、吐尔库班套蛇绿岩(王玉往等,2011)、玛因鄂博蛇绿岩(刘崴国,2011)、查尔斯克蛇绿岩(Iwata et al., 1994, 1997; Volkova and Sklyarov, 2007)。已有研究表明,该蛇绿岩带中不同蛇绿岩体的年龄差异较大,不同定年方法亦对结果有较大影响(表1)。但整体而言,多数定年结果集中在晚泥盆-早石炭世,综合硅质岩中的化石和同位素定年结果,有理由推断额尔齐斯蛇绿岩所代表的洋盆可能形成于早志留世之后,闭合时间可能在晚石炭世。

此外,前人对额尔齐斯蛇绿岩带中不同蛇绿岩地体的玄武岩进行了分析,结果表明,多数岩石样品具有洋中脊玄武岩特征,同时具有或少量显示岛

表1 中蒙边界地区主要蛇绿岩带年龄统计表
Table 1 Age statistics of major ophiolite belts in the China-Mongolia border region

蛇绿岩带	地体	定年岩石	定年方法	年龄(Ma)	误差(Ma)	参考文献	
Ölgii 蛇绿混杂岩带	Bayannur	斜长花岗岩	锆石 U-Pb	571	4	Khain et al., 2003	
	Bayan-Khongor	辉长岩	Sm-Nd	569	21	Kepezhinskas et al., 1991	
	科克森套-乔夏哈拉	硅质岩	放射虫化石	晚-中泥盆世		陈哲夫等, 1997	
	科克森套-乔夏哈拉	奥长花岗岩	锆石 U-Pb	390		陈哲夫等, 1997	
	库尔提	斜长花岗岩	锆石 U-Pb	372	19	张海洋等, 2003	
额尔齐斯蛇绿岩带	库尔提	硅质岩	放射虫化石	晚古生代		许继峰等, 2001a	
	布尔根	拉斑玄武岩	锆石 U-Pb	352		吴波等, 2006	
	吐尔库班套	辉长岩和片麻状花岗岩	锆石 U-Pb	363 ~ 355		王玉往等, 2011	
	玛因鄂博	层状辉长岩	锆石 U-Pb	403		刘崑国, 2011	
	玛因鄂博	枕状玄武岩	锆石 U-Pb	397		刘崑国, 2011	
	玛因鄂博	斜长角闪岩	锆石 U-Pb	437	12	张越等, 2012	
	查尔斯克		牙形石及放射虫	晚泥盆世-早石炭世		Iwata et al., 1994, 1997	
	查尔斯克	蓝片岩	Ar-Ar	450 ~ 449		Volkova and Sklyarov, 2007	
	阿尔曼太蛇绿混杂岩		方辉橄辉岩	Sm-Nd	479	27	刘伟等, 1993
		兔子泉一带	堆晶辉长岩、辉绿岩和安山玢岩	Sm-Nd	561	41	黄萱等, 1997
兔子泉一带		辉绿岩	Rb-Sr	392	17	黄萱等, 1997	
兔子泉一带		斜长花岗岩	锆石 U-Pb	503	7	肖文交等, 2006	
扎河坝		辉长岩	Ar-Ar	467	2	何国琦等, 2001	
扎河坝		堆晶橄辉岩	全岩、辉石和长石矿物等时线	478.9		金成伟等, 2001	
扎河坝		辉长岩	锆石 U-Pb	489	4	简平等, 2003	
扎河坝		斜长岩	锆石 U-Pb	481	5	简平等, 2003	
扎河坝		斜长花岗岩	锆石 U-Pb	495.9	5.5	张元元等, 2010	
卡拉麦里蛇绿混杂岩		卡拉麦里	硅质岩	放射虫	早石炭世		蔡文俊, 1983
	卡拉麦里	硅质岩	放射虫	早泥盆世		李锦轶等, 1990	
	卡拉麦里	硅质岩	放射虫	晚泥盆世-早石炭世		舒良树等, 2003	
	卡拉麦里	辉长质堆晶岩	K/Ar	392 ~ 388		新疆地矿局第一区域地质调查大队, 1987	
	塔克扎勒	辉长岩	Ar-Ar	737	1	何国琦等, 2001	
卡拉麦里-小黄山蛇绿岩带	卡拉麦里	斜长花岗岩	锆石 U-Pb	497	12	Jian et al., 2005	
	卡拉麦里	斜长花岗岩	锆石 U-Pb	403	9	Jian et al., 2005	
	卡拉麦里	斜长花岗岩	锆石 U-Pb	373		唐红峰等, 2007	
	卡拉麦里	辉长岩	锆石 U-Pb	329.9	1.6	汪帮耀等, 2009	
	小黄山段	辉长岩	Sm-Nd	485	76	宋泰忠等, 2008	
红柳河-牛圈子蛇绿混杂岩	牛圈子	基性熔岩	Rb-Sr	463	18	任秉琛等, 2001	
	红柳河	辉长岩	锆石 U-Pb	425.5	2.3	于福生等, 2006	
	红柳河	堆晶辉长岩	锆石 U-Pb	516.2	7.1	张元元等, 2008	
	红柳河	黑云母花岗岩侵入体	锆石 U-Pb	404.8	5.2	张元元等, 2008	
	红柳河	堆晶辉长岩、变形辉长岩、二长花岗岩、长英质糜棱岩	Ar-Ar	462 ~ 412		郭召杰等, 2006	
恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带	月牙山-洗肠井	斜长花岗岩	锆石 U-Pb	533	1.7	Ao et al., 2012	
	沙拉扎山构造带	黑云母斜长片麻岩	锆石 U-Pb	411		王金荣等, 1995	
	恩格尔乌苏	黑云母花岗闪长岩	锆石 U-Pb	352		王廷印等, 1994	
	恩格尔乌苏	辉长岩	锆石 U-Pb	380		王金荣等, 1995	
	恩格尔乌苏	玄武岩	Rb-Sr	302.2	51.5	王金荣等, 1995	
二连-贺根山蛇绿混杂岩	贺根山	镁铁质岩墙和辉长岩	锆石 U-Pb	295	15	Miao et al., 2008	
	贺根山	玄武岩	Ar-Ar	293		Miao et al., 2008	
	贺根山	镁铁质岩墙	Ar-Ar	242	2	Robinson et al., 1999	
	贺根山	镁铁质岩墙	Ar-Ar	148	2	Robinson et al., 1999	
	贺根山	橄辉岩	Sm-Nd	403	27	包志伟等, 1994	
索伦敖包-林西蛇绿岩带	满都拉	变质橄辉岩	锆石 U-Pb	433.6	3.6	陶继雄等, 2004	
	满都拉	变质橄辉岩	锆石 U-Pb	385.6	1.7	陶继雄等, 2004	
	满都拉	变质橄辉岩	锆石 U-Pb	350.7	1.3	陶继雄等, 2004	
	Solonker	辉长岩	锆石 U-Pb	299 ~ 292		Jian et al., 2008	
	巴梭山		Rb-Sr	262		Wang and Liu, 1986	
温都尔庙-西拉木伦河蛇绿岩带	图林凯蛇绿岩	石英闪长岩、奥长花岗岩、斜长岩和英安岩侵入体	锆石 U-Pb	429 ~ 467		刘敦一等, 2003	
	柯单山	单辉橄辉岩、二辉橄辉岩、辉长岩和含长二辉岩	Sm-Nd	665	46	陈森焯等, 1991	

弧火山岩特征,此类特征与不成熟弧后盆地特征相一致(许继峰等,2001b;张旗和周国庆,2001;吴波等,2006;王玉往等,2011)。因此,额尔齐斯带内蛇绿岩可能形成于弧后盆地背景。由于蛇绿岩带南侧发育泥盆-石炭纪洋岛型埃达克岩和富铌玄武岩(许继峰等,2001b;张海祥等,2003)和钾质火山岩(袁超等,2007),董连慧等(2010)提出洋盆闭合双向俯冲模式:额尔齐斯蛇绿岩所代表的洋盆在闭合过程中,往北俯冲于西伯利亚地块之下,在西伯利亚板块南缘形成阿舍勒、麦兹等弧后盆地火山沉积建造;同时在南侧发生俯冲消减,形成与板块俯冲相关的埃达克岩及钾质火山岩等。

3.3 阿尔曼太蛇绿混杂岩

该蛇绿混杂岩目前已有的年龄研究集中在兔子泉一带和扎河坝出露的岩体,由前人报道的大量年龄数据可以看出,除少数异常年龄外,大多数年龄尤其是高精度 SHRIMP 年龄多集中在 470 ~ 505 Ma 的范围内,因此可以限定阿尔曼太蛇绿岩带形成于晚寒武世-早奥陶世(表1)。关于阿尔曼太蛇绿混杂岩形成构造背景的研究,多数学者认为其形成于弧后盆地(如肖序常等,1991;黄萱等,1997;Wang et al., 2003)。

3.4 卡拉麦里蛇绿混杂岩

该蛇绿岩带形成时代争议颇多,且定年结果跨度极大,涵盖新元古代-早石炭世(表1)。尽管其年龄存在较大争议,但卡拉麦里蛇绿混杂岩形成的构造背景争议相对较少。整体而言,该蛇绿岩属于形成于超俯冲带的 SSZ 型(supra-subduction zone; SSZ)蛇绿岩,争议的主要焦点在于其形成于弧前或弧后盆地。崔日武(1988)认为卡拉麦里蛇绿岩是在洋盆底初始岛弧(不成熟弧)环境下形成的,而清水地区蛇绿岩是在近洋中脊岛屿环境下形成的;李嵩龄等(2001)认为蛇绿岩形成于岛弧-大陆边缘环境;李锦轶等认为形成于泥盆纪期间的弧后盆地(李锦轶,2004;李锦轶等,2009);有学者认为是弧前环境(Wang et al., 2003; Xiao et al., 2004);卡拉麦里东段塔克札勒蛇绿岩玄武质熔岩地球化学特征指示弧前扩张环境(卜国民等,2005),而其中安山岩地球化学特征指示弧间构造背景(吴国干等,2005);刘希军等(2007)认为蛇绿岩形成于受洋脊

俯冲影响的岛弧或弧前扩张环境;杨梅珍等(2009)认为拉卡麦里蛇绿岩显示了洋内板块俯冲作用有关的 SSZ 型蛇绿岩地球化学特征。

3.5 红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带

甘肃省地质矿产局(1989)曾在侵入于红石山变质橄榄岩中的二长花岗岩中获得 240 Ma 的 Rb-Sr 全岩等时线年龄,说明红石山蛇绿岩侵位时代应早于三叠纪。另外,红石山蛇绿岩上覆火山-沉积岩系为扫子山组,且该组碎屑岩夹层中含大量早石炭世微古植物化石,且蛇绿岩带南侧发育早石炭世晚期白山组为代表的陆缘岛弧火山-沉积岩系及石炭纪明水、跃进山岩基为代表的钙碱性花岗岩体(黄增保和金霞,2006),指示红石山洋盆的向南俯冲在早石炭晚期即已开始。因此,红石山蛇绿岩所代表的洋盆可能形成于早石炭世,闭合于早-中二叠世时期。

左国朝等(1990)曾用“构造流”机制来解释红石山带蛇绿岩侵位机制,并认为蛇绿岩带形成于存在时间不长、规模不大的小洋盆环境。黄增保和金霞(2006)认为红石山蛇绿岩早期为初始洋盆环境,晚期有洋脊扩张中心环境的玄武岩形成。由于红石山带两侧重力梯度带和局部磁力高异常、高导异常带,以及其构造特征和岩石组合均具有南北对称特点,指示洋盆闭合过程中具有双向俯冲的特征,并分别形成野马泉-雀儿山岛弧带和白山-狼娃山岛弧带(刘明强,2007)。

3.6 芨芨台子-小黄山蛇绿岩带

该蛇绿岩带的年龄和地球化学的研究均较少,目前仅有针对小黄山段蛇绿岩中辉长岩的定年结果,表明其可能形成于早奥陶世(485 ± 76 Ma; 表1; 宋泰忠等,2008)。关于其构造背景的研究,何世平等(2002)、杨合群等(2010)认为蛇绿岩带形成于早古生代弧后盆地环境。宋泰忠等(2008)对小黄山蛇绿岩进行了微量元素研究,微量元素构造环境判别图解上,基性岩多落入 MORB 及 WPB 区,显示 E-MORB 特征,并认为小黄山蛇绿岩形成于弧后盆地海底扩张环境,代表了弧后盆地扩张过程中所形成的弧后次生洋壳的残块。

3.7 红柳河-牛圈子蛇绿混杂岩

该蛇绿混杂岩的定年结果显示,其可能形成于

早寒武世,闭合于早泥盆世(表1)。其构造背景与中蒙边境的多数蛇绿岩带具有相似性,很可能形成于弧后盆地的大洋岩石圈残余(赵茹石等,1994)。郑荣国等(2012)对月牙山-洗肠井蛇绿岩带的研究也表明,辉长岩表现出轻稀土元素亏损-平坦的分配模式, $(La/Yb)_N=0.47 \sim 1.62$, 类似N-MORB; 但又具有岛弧火山岩富集大离子亲石元素, 亏损Nb、Ta等高场强元素等特征, 即基性岩类同时具有类似岛弧火山岩和洋中脊火山岩的地球化学特征, 表明其为弧后盆地火山岩。

3.8 恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带

恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带定年结果较少, 现有年龄结果表明, 其形成时间不晚于晚泥盆世(表1)。此外, 针对该混杂岩带硅质岩块中的化石研究发现, 在多数样品中发现有二叠纪阿尔拜虫目放射虫化石(谢力等, 2014), 进一步限定华北板块与塔里木板块之间的古洋盆最后的闭合时间在晚二叠世早期之后, 结合两侧晚二叠世晚期陆相地层和植物化石的存在, 有理由认为华北板块与塔里木板块的拼合时间为晚二叠世晚期。

关于该蛇绿混杂岩带的构造属性厘定, 王廷印等(1992)、王金荣等(1995)以恩格尔乌苏蛇绿岩中玄武岩为研究对象, 将其归属于两种不同的类型: 一是主要分布在主断裂之北的枕状玄武岩(Qn-42), 稀土配分模式平坦或LREE略亏损, 经Ni-Y、Ti-Cr、V-Ti/1000图解样品投点落入MORB域, 属MORB型; 分布在主断裂之南的块状玄武岩(Qn-40)为LREE富集型, 具明显的岛弧拉斑玄武岩特点。此外, 块状玄武岩普遍发生葡萄石化作用, 显示洋底热水蚀变环境, 表征该类蛇绿岩具上俯冲带型亲缘性的特点。因此, 恩格尔乌苏蛇绿岩带很可能并非为单一的蛇绿岩类型, 可能由SSZ型和MORB型两种类型混杂组成。

3.9 二连-贺根山蛇绿混杂岩

由于该蛇绿岩带的层序保存相对完整, 且赋存具有经济价值的高Al型铬铁矿床(铬铁矿 $Cr\# = Cr/(Cr+Al) < 60$), 因此该蛇绿岩带相比与中蒙边境的其他蛇绿岩, 研究程度相对较高。然而, 其形成时间和构造背景争议也较大。目前, 镁铁质岩墙和辉长岩的锆石U-Pb和角闪石Ar-Ar年龄, 以及

玄武岩的Ar-Ar年龄的定年结果较为一致, 分别为 295 ± 15 Ma、 242 ± 2 Ma 和 293 Ma, 表明其可能为早二叠世的大洋岩石圈残片(Robinson et al., 1999; Miao et al., 2008)。然而, 贺根山蛇绿岩体中的朝根山岩体中, 其伟晶辉长岩和易剥钙榴岩中岩浆锆石的年龄分别为 139 ± 2 Ma 和 132 ± 7 Ma, 表明其为早白垩世的产物(Jian et al., 2012)。包志伟等(1994)据贺根山蛇绿岩6个样品(纯橄岩、方辉橄岩、2个橄岩、辉橄岩和辉长岩)测得Sm-Nd等时线年龄为 403 ± 27 Ma。因此, 该蛇绿混杂岩带的具体形成时间, 仍需要系统采样和高精度定年结果的进一步限定。

关于该蛇绿岩带的形成构造背景, 亦有典型MORB型和SSZ型蛇绿岩之争。包志伟(1994)通过研究贺根山蛇绿岩中上部玄武岩和变火山熔岩的岩石化学特征, 认为变玄武岩的稀土元素特征与现代洋壳的“T”型玄武岩类似, 结合蛇绿岩的野外产状, 推断贺根山蛇绿岩是形成于大洋中脊环境的洋壳残片。Miao et al.(2008)则认为贺根山蛇绿岩有两种组合, 一种为变质玄武岩和镁铁质岩墙, 可能起源于在SSZ(俯冲带型)环境下被改造的N-MORB型软流圈地幔, 而块状玄武岩可能起源于OIB(洋岛玄武岩)型地幔, 这两种组合被看成是与俯冲碰撞有关。此外, 还有许多学者认为贺根山蛇绿岩属于俯冲带上的SSZ型(史仁灯, 2005; Miao et al., 2008; 刘建峰, 2009)。

3.10 索伦敖包-林西蛇绿岩带

尽管针对该蛇绿岩带满都拉地区变质橄榄辉长岩的定年结果显示, 其可能为志留世形成的产物(陶继雄等, 2004), 然而该蛇绿岩带中具E-MORB特征辉长岩的锆石SHRIMP U-Pb年龄为299~292 Ma(Jian et al., 2008)。结合该蛇绿岩带与Hutaguul-二连-贺根山蛇绿混杂岩空间位置上的相近性, 以及林西北西10 km处巴棱山蛇绿岩的Rb-Sr定年结果(262 Ma; Wang and Liu, 1986), 有理由认为早二叠世为索伦-林西蛇绿岩带形成更为准确的时间。

3.11 温都尔庙-西拉木伦河蛇绿岩带

前人研究表明, 该蛇绿岩带可能为新元古代的大洋岩石圈残片(表1), 但刘敦一等(2003)针对侵入图林凯蛇绿岩中的石英闪长岩、奥长花岗

岩、斜长岩和英安岩进行精确度 SHRIMP-U-Pb 法定年,结果表明形成时代介于 467 ± 3 Ma 和 429 ± 7 Ma 之间。尽管不同学者针对该蛇绿岩带的定年结果差异较大,但图林凯蛇绿岩中侵入体的锆石年龄限定其形成时间应不晚于早奥陶世。而关于该蛇绿岩带的地球化学研究结果显示,温都尔庙玄武岩为碱性玄武岩,微量元素和稀土元素性质介于平均 OIB 和 E-MORB 之间(黄金香,2006),与大陆裂谷型玄武岩的地球化学特征具有相似性,暗示其可能产于初始洋盆环境或者弧后盆地不成熟阶段(张旗,2002)。

4 结论

(1)中蒙边境地区蛇绿(混杂)岩分布广泛,但由于蒙古地区蛇绿(混杂)岩带的资料较少,研究程度较低,极大地限制了边境两侧蛇绿(混杂)岩带的综合对比研究。本文重点依托中蒙 1/100 万系列填图成果,结合前人研究,划分出十四条蛇绿(混杂)岩带,包括:1)Huurai 蛇绿混杂岩带;2)Ölgii 蛇绿混杂岩带;3)额尔齐斯蛇绿岩带;4)阿尔曼太蛇绿混杂岩带;5)卡拉麦里蛇绿混杂岩带;6)Nemegt 古生代增生楔;7)Gurvan Saihan 早古生代蛇绿岩带;8)红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带;9)芨芨台子-小黄山蛇绿岩带;10)红柳河-牛圈子蛇绿混杂岩带;11)恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带;12)Hutaguul-二连-贺根山蛇绿混杂岩带;13)索伦敖包-林西蛇绿岩带;14)温都尔庙-西拉木伦河蛇绿岩带。

(2)该十四条蛇绿(混杂)岩带多数遭受强烈的后期构造破坏,致使无法与经典的蛇绿岩层序对比。已有定年结果显示,蛇绿岩的形成年龄自西向东整体呈现年轻化的趋势,西段蛇绿岩带的年龄最老可追溯至新元古代(如 Ölgii 蛇绿混杂岩带),而东段的蛇绿岩则多为晚古生代的大洋岩石圈残片(如恩格尔乌苏、Hutaguul-二连-贺根山和索伦敖包-林西蛇绿岩带)。

(3)依据前人对中蒙边境蛇绿混杂岩带的地球化学特征和构造背景研究的结果,多数蛇绿岩为与俯冲作用相关的 SSZ 型蛇绿岩,但其形成于弧前或弧后盆地仍存在诸多争议,亟需进一步研究加以限定。

中文参考文献

- 白文吉,杨经绥,胡旭峰,等.1995.内蒙古贺根山蛇绿岩岩石成因和地壳增生的地球化学制约[J].岩石学报(S1):112-124.
- 包志伟,陈森煌,张桢堂.1994.内蒙古贺根山地区蛇绿岩稀土元素和 Sm-Nd 同位素研究[J].地球化学,23(4):339-349.
- 卜国民,李华启,李文铅,等.2005.新疆塔克托勒蛇绿混杂岩中玄武质熔岩地球化学特征及其成因讨论[J].大地构造与成矿学,29(2):252-261.
- 蔡文俊,李春昱.1983.新疆东准噶尔北缘板块构造初步研究[J].中国地质学会.中国地质科学院文集(1983中英文合订本),2.
- 曹荣龙.1994.新疆北部蛇绿岩及基性-超基性杂岩[J].新疆地质(1):25-31.
- 陈森煌,刘道荣,包志伟,等.1991.华北地台北缘几个超基性岩带的侵位年代及其演化[J].地球化学,(2):128-133.
- 陈哲夫,成守德,梁云海,等.1997.新疆开合构造与成矿[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社.
- 崔日武.1988.新疆克拉麦里蛇绿岩的岩石化学特征及其生成环境探讨[D].
- 董连慧,朱志新,屈迅,等.2010.新疆蛇绿岩带的分布特征及研究新进展[J].岩石学报,26(10):2894-2904.
- 郭召杰,马瑞士,郭令智,等.1993.新疆东部三条蛇绿混杂岩带的比较研究[J].地质论评,39(3):236-247.
- 郭召杰,史宏宇,张志诚,等.新疆甘肃交界红柳河蛇绿岩中伸展构造与古洋盆演化过程[J].岩石学报,2006,(01):95-102.
- 韩宝福,郭召杰,何国琦.2010.“缝合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限[J].岩石学报,26(08):2233-2246.
- 何国琦,李茂松,贾进斗,等.2001.论新疆东准噶尔蛇绿岩的时代及其意义[J].北京大学学报(自然科学版),37(6):852-858.
- 何国琦,邵济安.1983.内蒙古东南部(昭盟)西拉木伦河一带早古生代蛇绿岩建造的确证及其大地构造意义[J].中国北方板块构造文集(第一集).北京:地质出版社:243-250.
- 何世平,任秉琛,姚文光,等.2002.甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J].西北地质,35(4):30-40.
- 黄金香,赵志丹,张宏飞,等.2006.内蒙古温都尔庙和巴彦敖包-交其尔蛇绿岩的元素与同位素地球化学:对古亚洲洋东部地幔域特征的限制[J].岩石学报,(12):2889-2900.
- 黄莹,金成伟,孙宝山,等.1997.新疆阿尔曼太蛇绿岩时代的 Nd-Sr 同位素地质研究[J].岩石学报,13(1):85-91.
- 黄增保,金霞.2006.甘肃红石山蛇绿岩地球化学特征及构造环境[J].地质科学,41(4):601-611.
- 简平,刘敦一,张旗,等.2003.蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J].地学前缘,10(4):439-456.
- 金成伟,黄莹,徐永生,等.2001.洪古勒楞-阿尔曼太蛇绿岩及其与成矿关系[M].新疆金属矿产资源的基础研究.北京:科学出版社:21-57.
- 李钢柱,王玉净,李成元,等.2017.内蒙古索伦山蛇绿岩带早二叠世放射虫动物群的发现及其地质意义[J].科学通报,62(5):400-

- 406.
- 李锦轶. 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J]. 岩石学报(S1):73-84.
- 李锦轶. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. 地质论评, 50(3):304-322.
- 李锦轶, 肖序常, 汤耀庆, 等. 1990. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J]. 地质论评, 36(4): 305-316.
- 李锦轶, 杨天南, 李亚萍, 等. 2009. 东准噶尔卡拉麦里断裂带的地质特征及其对中亚地区晚古生代洋陆格局重建的约束[J]. 地质通报, 28(12):1817-1826.
- 李嵩龄, 董富荣, 冯新昌, 等. 2001. 克拉麦里—塔克札勒—大黑山超镁铁岩岩石化学特征及其形成环境[J]. 新疆地质, 19(2):155-156.
- 李嵩龄, 冯新昌, 董富荣, 等. 1999. 克拉麦里—塔克札勒—大黑山蛇绿岩建造稀土元素特征[J]. 新疆地质, (4):356-364.
- 梁日暄. 1994. 内蒙古中段蛇绿岩特征及地质意义[J]. 中国区域地质, (01):37-45.
- 刘敦一, 简平, 张旗, 等. 2003. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据[J]. 地质学报, 77(3): 317-327.
- 刘建峰. 2009. 内蒙古林西—东乌旗地区晚古生代岩浆作用及其对区域构造演化的制约[D]. 吉林大学.
- 刘明强. 2007. 甘肃北山造山带红山地区埃达克质花岗岩类的发现及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 26(3):232-238.
- 刘威国. 2011. 东准噶尔玛因鄂博蛇绿混杂岩形成时代确定[J]. 新疆地质, 29(4):385-388.
- 刘伟, 张湘炳. 1993. 乌伦古—斋桑泊构造杂岩带特征及其地质意义[C]. 新疆北部固体地球科学新进展[M]. 北京: 科学出版社, 217-228.
- 刘希军, 许继峰, 侯青叶, 等. 2007. 新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩地球化学: 洋脊俯冲的产物[J]. 岩石学报, 23(7):1591-1602.
- 任秉琛, 何世平, 姚文光, 等. 2001. 甘肃北山牛圈子蛇绿岩铷-锶同位素年龄及其大地构造意义[J]. 西北地质, 34(2): 21-27.
- 史仁灯. 2005. 蛇绿岩研究进展, 存在问题及思考[J]. 地质论评, 51(6):681-693.
- 舒良树, 卢华复, 印栋浩, 等. 2001. 新疆北部古生代大陆增生构造[J]. 新疆地质, 19(1):59-63.
- 舒良树, 王玉净. 2003. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石[J]. 地质论评, 49(4):408-412.
- 宋泰忠, 王瑾, 林海, 等. 2008. 内蒙古北山地区小黄山蛇绿岩地质特征[J]. 西北地质, 41(3):55-63.
- 唐红峰, 苏玉平, 刘丛强, 等. 2007. 新疆北部卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 31(1): 110-117.
- 陶继雄, 苏茂荣, 白立兵. 2004. 内蒙古达尔罕茂明安联合旗满都拉地区索伦山蛇绿混杂岩的特征及构造意义[J]. 地质通报, 23(12):1238-1242.
- 汪帮耀, 姜常义, 李永军, 等. 2009. 新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩的地球化学特征及大地构造意义[J]. 矿物岩石, 29(3):74-82.
- 王金荣, 宋春晖, 高军平, 等. 1995. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩的形成机制[J]. 兰州大学学报, (2):140-146.
- 王荃, 刘雪亚, 李锦轶. 1991. 中国内蒙古中部的古板块构造[J]. 中国地质科学院院报(1): 1-15.
- 王廷印, 王金荣, 王士政. 1992. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带的发现及其构造意义[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 28(2):194-196.
- 王玉净, 樊志勇. 1997. 内蒙古西拉木伦河北部蛇绿岩带中二叠纪放射虫的发现及其地质意义[J]. 古生物学报, 36(1):58-69.
- 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 2011. 新疆吐尔库班套蛇绿混杂岩的发现及其地质意义[J]. 地学前缘, 18(3):151-165.
- 魏志军, 黄增保, 金霞, 等. 2004. 甘肃红石山地区蛇绿混杂岩地质特征[J]. 西北地质, 37(2):13-18.
- 吴波, 何国琦, 吴泰然, 等. 2006. 新疆布尔根蛇绿混杂岩的发现及其大地构造意义[J]. 中国地质, 33(3):476-486.
- 吴国干, 夏斌, 李文铅, 等. 2005. 新疆塔克札勒蛇绿混杂岩中安山岩的地球化学特征及其构造环境[J]. 大地构造与成矿学, 29(2): 242-251.
- 肖文交, WINDLEY B F, 阎全人, 等. 2006. 北疆地区阿尔曼太蛇绿岩锆石 SHRIMP 年龄及其大地构造意义[J]. 地质学报, 80(1): 32-37.
- 谢力, 尹海权, 周洪瑞, 等. 2014. 内蒙古阿拉善地区恩格尔乌苏缝合带二叠纪放射虫及其地质意义[J]. 地质通报, 33(5):691-697.
- 肖序常, 汤耀庆. 1991. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化[M]. 北京: 科学出版社. 1-136.
- 许继峰, 陈繁荣, 于学元, 等. 2001a. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩: 古弧后盆地系统的产物[J]. 岩石矿物学杂志, (3):344-352.
- 许继峰, 梅厚钧, 于学元, 等. 2001b. 准噶尔北缘晚古生代岛弧中与俯冲作用有关的 adakite 火山岩: 消减板片部分熔融的产物[J]. 科学通报, 46(8):684-688.
- 薛建平, 苏尚国, 陈海舰, 等. 2017. 内蒙古索伦山地区地幔橄榄岩中豆荚状铬铁矿矿前景[J]. 科学技术与工程, 17(25):25-32.
- 薛建平, 苏尚国, 李成元, 等. 2017. 内蒙古索伦山地区蛇绿岩岩石单元地质特征、就位机制及时限[J]. 现代地质, 31(3):498-507.
- 杨合群, 李英, 赵国斌, 等. 2010. 北山蛇绿岩特征及构造属性[J]. 西北地质, 43(1):26-36.
- 杨梅珍, 吴宏恩, 杨高学. 2009. 东准噶尔卡拉麦里 SSZ 型蛇绿岩地球化学及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 28(3):251-263.
- 杨志华, 董连慧, 陈明勇, 等. 2005. 在阿尔泰造山带富蕴—青河发现新的蛇绿岩混杂岩系[J]. 地学前缘, 12(3):177-178.
- 于福生, 李金宝, 王涛. 2006. 东天山红柳河地区蛇绿岩 U-Pb 同位素年龄[J]. 地球学报, 27(3):213-216.
- 袁超, 孙敏, 龙晓平, 等. 2007. 阿尔泰哈巴河群的沉积时代及其构造背景[J]. 岩石学报, 23(7):1635-1644.
- 张弛. 1981. 新疆蛇绿岩某些地质特征[J]. 地质论评, 27(4):307-314.
- 张海祥, 牛贺才, 于学元. 2003. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究[J]. 科学通报, 48(12): 1350-1354.
- 张旗, 周国庆. 2001. 中国蛇绿岩. 北京: 科学出版社.
- 张元元, 郭召杰. 2008. 甘新交界红柳河蛇绿岩形成和侵位年龄的准确限定及大地构造意义[J]. 岩石学报, 24(4):803-809.

张元元,郭召杰,刘畅. 2010. 准噶尔北部蛇绿岩形成时限新证据及其东西准噶尔蛇绿岩的对比研究[J]. 岩石学报, 26(2):421-430.

张越,徐学义,陈隽璐,等. 2012. 阿尔泰地区玛因鄂博蛇绿岩的地质特征及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 31(6):834-842.

赵茹石,周振环,毛金海,等. 1994. 甘肃省板块构造单元划分及其构造演化[J]. 中国区域地质, 1:28-36.

郑荣国,吴泰然,张文,等. 2012. 北山地区月牙山-洗肠井蛇绿岩的地球化学特征及形成环境[J]. 地质学报, 86(6):961-971.

左国朝,何国琦,李红诚. 1990. 北山板块构造及成矿规律[Z]. 北京: 北京大学出版社.

References

- Ao S J, Xiao W J, Han C M, et al. 2012. Cambrian to early Silurian ophiolite and accretionary processes in the Beishan collage, NW China: implications for the architecture of the Southern Altai[J]. *Geological Magazine*, 149: 606-625.
- Coleman R G. 1989. Continental growth of northwest China[J]. *Tectonics*, 8: 621-635.
- Dewey J F, Bird J M. 1971. Origin and emplacement of the ophiolite suite: Appalachian ophiolites in Newfoundland[J]. *Journal of Geophysical Research* (1896-1977), 76: 3179-3206.
- Dilek Y, Furnes H. 2011. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere[J]. *GSA Bulletin*, 123: 387-411.
- Iwata K, Obut O, Buslov M. 1997. Devonian and Lower Carboniferous radiolaria from the Chara ophiolite belt, East Kazakhstan[J]. *News of Osaka Micropaleontologist*, 10: 27-32.
- Iwata K, Watanabe T, Akiyama M, et al. 1994. Paleozoic microfossils from the Chara Belt (eastern Kazakhstan) [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 35: 145-151.
- Jian P, Kröner A, Windley B F, et al. 2012. Carboniferous and Cretaceous mafic - ultramafic massifs in Inner Mongolia (China): A SHRIMP zircon and geochemical study of the previously presumed integral "Hegenshan ophiolite"[J]. *Lithos*, 142-143: 48-66.
- Jian P, Liu D Y, Kröner A, et al. 2008. Time scale of an early to mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth[J]. *Lithos*, 101: 233-259.
- Jian P, Liu D Y, Shi Y R, et al. 2005. SHRIMP dating of SSZ ophiolites from northern Xinjiang Province, China: implications for generation of oceanic crust in the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Structural and tectonic correlation across the Central Asia orogenic collage: North-eastern segment*, 246.
- Kepezhinskas P K, Kepezhinskas K B, Pukhtel I S. 1991. Lower Paleozoic oceanic crust in Mongolian Caledonides: SM-ND isotope and trace element data[J]. *Geophysical Research Letters*, 18: 1301-1304.
- Khain E V, Bibikova E V, Salnikova E B, et al. 2003. The Palaeo-Asian ocean in the Neoproterozoic and early Palaeozoic: new geochronologic data and palaeotectonic reconstructions[J]. *Precambrian Research*, 122: 329-358.
- Miao L C, Fan W M, Liu D Y, et al. 2008. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 348-370.
- Robinson P T, Zhou M F, Hu X F, et al. 1999. Geochemical constraints on the origin of the Hegenshan Ophiolite, Inner Mongolia, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17: 423-442.
- Şengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 364: 299-307.
- Tomurtogoo O, Windley B F, Kröner A, et al. 2005. 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*, 162: 125-134.
- Volkova N, Sklyarov E. 2007. High-pressure complexes of Central Asian Fold Belt: geologic setting, geochemistry, and geodynamic implications[J]. *Russian Geology and Geophysics*, 48: 83-90.
- Wang Q, Liu X. 1986. Paleoplate tectonics between Cathaysia and Angaraland in inner Mongolia of China[J]. *Tectonics*, 5: 1073-1088.
- Wang Z H, Sun S, Li J L, et al. 2003. Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang, China: geochemical and geochronological constraints from the ophiolites[J]. *Tectonics*, 22.
- Xiao W J, Han C M, Yuan C, et al. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 102-117.
- Xiao W J, Mao Q G, Windley B F, et al. 2010. Paleozoic multiple accretionary and collisional processes of the Beishan orogenic collage[J]. *American Journal of Science*, 310: 1553-1594.
- Xiao W J, Windley B F, Badarch G, et al. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altai: implications for the growth of Central Asia[J]. *Journal of the Geological Society* 161: 339-342.