

# 中国西北地区蛇绿岩时空分布与构造演化

李智佩<sup>1,2</sup> 吴 亮<sup>1,2</sup> 颜玲丽<sup>1,2</sup>  
LI Zhipei<sup>1,2</sup>, WU Liang<sup>1,2</sup>, YAN Lingli<sup>1,2</sup>

1. 自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054;
2. 中国地质调查局造山带地质研究中心/西安地质调查中心, 陕西 西安 710054
1. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MNR, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. Center for Orogenic Belt Geology, China Geological Survey/Xi'an Center, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China

**摘要:**西北地区蛇绿岩广泛分布在天山、秦祁昆等造山带和塔里木、准噶尔等陆块周缘, 构成一幅浑然天成的陆块-混杂带交织图, 演绎着漫长的地质演化历史。在近年来小比例尺西北地质图编制的基础上, 系统收集整理区内有关蛇绿岩的资料文献, 梳理了西北蛇绿混杂岩的空间分布与时间序列, 重点叙述了西北地区蛇绿混杂岩特征, 探讨西北地区蛇绿岩时空分布与地质构造演化的关系。西北地区 36 条蛇绿混杂岩带是蛇绿岩的赋存空间, 可以划归为 5 个区、2 个对接带和 2 个缝合带。红柳沟-北祁连山新太古代—中元古代蛇绿岩可能与地壳早期演化有关, 柯坪、勉略、松树沟等新元古代早期蛇绿岩与 Rodinia 超大陆的裂解和局部洋陆转化相关, 大量古生代以来的蛇绿岩是古亚洲和特提斯两大构造域多陆块岛弧洋盆系统洋陆转化作用的记录。

**关键词:** 蛇绿岩; 时空分布; 构造演化; 西北地区

**中图分类号:** P588.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2020)06-0783-35

**Li Z P, Wu L, Yan L L. Spatial and temporal distribution of ophiolites and regional tectonic evolution in Northwest China. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(6): 783-817**

**Abstract:** Ophiolites are widely spread in such orogenic belts as Tianshan, Qilian, Kunlun and Qinling mountains as well as on such continental margins as Tarim and Junggar, which show an intersection map of continent-ophiolite and the geological evolution history of Northwest China. On the basis of geological mapping at the small scale conducted during the recent years, the authors systematically compiled geological information about ophiolites in Northwest China, summarized the spatial distribution and temporal series, focused geological features of ophiolite melanged, and preliminarily discussed the relationship between ophiolites and tectonic evolution. There are 36 ophiolite mealange belts which could be divided into 5 tectonic blocks, 2 convergent crustal consumption zones and 2 suture zones in Northwest China. Ophiolites of Neo-Archean to Meso-Proterozoic period in Altay and north Qilian mountains might have been related to crust evolution of early stages. Early Neo-Proterozoic ophiolites such as Keping, Mianlue and Songshugou ophiolites probably resulted from the breakup of Rodinia and local ocean-land transformation. Large quantities of ophiolites since Paleozoic are records of ocean-continent conversion of the Paleo-Asian Ocean and Proto-Tethys to Paleo-Tethys in Northwest China.

**Key words:** ophiolite; spatial and temporal distribution; tectonic evolution; Northwest China

蛇绿岩一词在十九世纪初由 A. T. Brongniart 提出, 1905 年 Steinman 将其定义为由“细碧岩和玄武岩到辉长岩和橄榄岩规则排列的镁铁质和超镁铁质火成岩石的组合, 岩石中含有由后期变质作

收稿日期: 2019-10-10; 修订日期: 2020-02-20

资助项目: 中国地质调查局项目《国家地质大数据汇聚与管理(中国地质调查局西安地质调查中心)》(编号: DD20190387)、《西北地区重要成矿带基础地质综合研究》(编号: 1212010610319)、《地质调查综合智能编图系统与应用》(编号: DD20190415)、《国家地质数据库建设与整合》(编号: DD20160351)

作者简介: 李智佩(1962-), 男, 研究员, 从事岩石学、区域地质研究。E-mail: 476056488@qq.com

用产生的蛇纹石、绿泥石、绿帘石和钠长石,它们的形成与地槽发展的早期阶段密切相关”。1972年,在美国彭罗斯会议上将蛇绿岩厘定为一种可与洋壳对比的独特的镁铁质-超镁铁质岩石组合,从而认为蛇绿岩产于洋中脊扩张构造环境、因板块构造作用而出露于板块汇聚带<sup>[1]</sup>。由此,蛇绿岩被广泛用来探讨漫长地质历史时期洋陆转化过程中板块相互作用的重要标志性岩石组合。

随着研究的深入,不同研究者在不同时期提出了不同的蛇绿岩分类,用来探讨蛇绿岩与板块构造的关系。张旗<sup>[1]</sup>回顾了20世纪90年代以前国内外蛇绿岩的类型,提出的蛇绿岩分类原则和类型有:①根据堆晶岩中矿物结晶的顺序分为斜方辉石型、单斜辉石型及斜长石型<sup>[1-2]</sup>;②根据蛇绿岩地球化学性质分为俯冲带型(SSZ)和洋中脊玄武岩型(MORB)<sup>[3]</sup>;③根据蛇绿岩的侵位特征分为特提斯型和科迪勒拉型<sup>[4-5]</sup>;④根据蛇绿岩构造研究分为方辉橄榄岩型和二辉橄榄岩型<sup>[6]</sup>;⑤按岩石亏损程度分为利古里亚型、夜久野型和巴布亚型<sup>[7]</sup>;⑥根据变质橄榄岩分为低Al型和高Al型<sup>[8]</sup>;⑦根据岩石组合分为PTG型(橄榄岩-橄长岩-辉长岩组合)和PPG型(橄榄岩-辉石岩-辉长岩组合)<sup>[9-10]</sup>;⑧根据板块扩张速度分为典型蛇绿岩类型、次蛇绿岩类型和似蛇绿岩类型<sup>[11]</sup>;⑨据蛇绿岩的产出特征分为科迪勒拉型、西地中海型和东地中海型<sup>[1]</sup>。王希斌等<sup>[12]</sup>根据蛇绿岩剖面类型和洋盆发育阶段,将中国蛇绿岩分为4种构造类型:初始洋盆型、成熟洋盆型、岛弧型和残余海盆(非蛇绿岩)型镁铁-超镁铁岩。其中,西北地区的东准噶尔、西准噶尔、南天山、西昆仑、东昆仑南、北祁连和秦岭地区的蛇绿岩均归属于初始洋盆型,而北山、北祁连和布青山的部分蛇绿岩属于成熟洋盆型<sup>[12]</sup>。总之,上述蛇绿岩的分类,都是基于“蛇绿岩是大陆造山带中残存的古代大洋岩石圈残片”这一概念<sup>[1]</sup>。

Dilek等<sup>[13]</sup>赋予蛇绿岩新的含义,强调在威尔逊旋回的各个阶段都会形成不同性质的蛇绿岩;进而根据生成环境将蛇绿岩分为两大类:与俯冲作用无关和与俯冲作用相关的蛇绿岩。根据蛇绿岩的地球化学、岩石学指标和内部结构将与俯冲作用无关的蛇绿岩分为陆缘型(CM)、洋中脊型(MOR)和地幔柱型(P);将与俯冲作用相关的蛇绿岩分为俯冲带上盘型(SSZ)和火山弧型(VA)。同时,

Dilek等<sup>[13]</sup>还将俯冲带上盘型进一步细分为弧后至弧前(BA-FA, backarc to forearc)、弧前(FA, forearc)、大洋弧后(OBA, oceanic backarc)和大陆弧后(CBA, continental backarc)4个次级类型。其中,所提出的SSZ型蛇绿岩是目前分布最广泛的蛇绿岩类型。

从蛇绿岩与板块构造演化的角度看,Dilek等<sup>[13]</sup>提出的蛇绿岩分类无疑是相对合理的,故本文采用该分类探讨中国西北地区蛇绿岩类型与构造演化。然而,除蛇绿岩的类型外,蛇绿岩的形成时间及其所代表的洋盆存在时限、其与大陆板块或岛弧的构造位置关系也非常重要。

西北地区幅员辽阔、地质构造演化复杂,在天山、秦祁昆等造山带和塔里木、准噶尔等陆块周缘均分布着蛇绿岩,构成一幅浑然天成的陆块-混杂带交织图。西北地区蛇绿岩的研究,最早起于20世纪70年代,伴随着地质调查与研究程度的不断提高而进步,蛇绿岩的确认、分类、地质特征及其与构造演化的关系均能代表不同时期国内蛇绿岩的研究水平。目前主要体现在地质和地球化学特征的研究、蛇绿岩时代的厘定及其对构造演化的指示意义等方面,也有文献对各个造山带乃至构造域内蛇绿岩特征与构造关系开展了综述。本文在近年小比例尺西北地质图编制的基础上,系统收集整理了区内有关蛇绿岩的资料文献,梳理了西北蛇绿(混杂)岩的空间分布与时间序列,初步探讨蛇绿岩与西北地区地质构造演化制约,对西北地区区域地质、构造单元划分乃至构造演化的研究起到抛砖引玉的作用。

## 1 西北地区蛇绿岩时空分布概况

### 1.1 空间分布

西北地区具有典型的盆山构造特征,蛇绿岩广泛分布在阿尔泰、准噶尔、天山、祁连山、秦岭、昆仑山等造山带中。分析文献结果表明,西北地区36条蛇绿混杂岩带是蛇绿岩的赋存空间,可以划归于5个区、2个对接带和2个缝合带(图1)。

5个区分别代表地质演化历史中的板块、陆块或陆块群。其中,阿尔泰区代表西伯利亚板块南侧的陆块,区内仅发育库尔提蛇绿混杂岩带。准噶尔-中天山-北山区代表古亚洲构造域中多岛洋体系的一部分,包括准噶尔西部的玛依拉山-巴尔雷

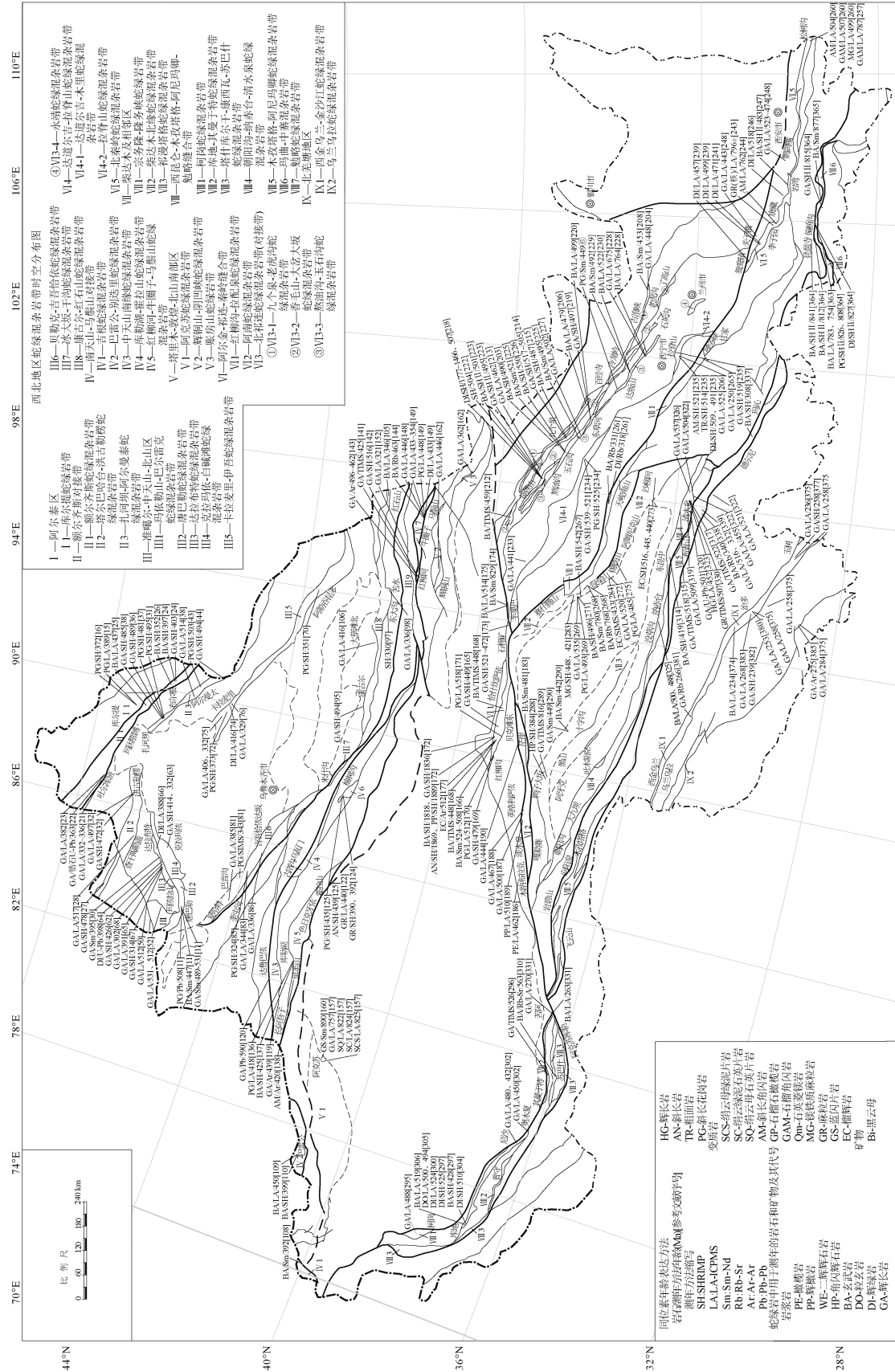


图 1 中国西北地区蛇绿岩时空分布图  
 (为方便与空间分布对应, 蛇绿岩年龄参考文献顺序按正文叙述排序, 其他图表中年龄也按此排序)  
 Fig. 1 Spatial-temporal distribution of ophiolites in Northwest China

克、唐巴勒、达拉布特和克拉玛依-白碱滩等蛇绿混杂岩带,准噶尔东部的卡拉麦里蛇绿混杂岩带,准噶尔-吐哈盆地南缘(中天山北缘-北山北部)的贝勒克-吉吾恰依、冰大坂-干沟和康古尔-红石山等蛇绿混杂岩。塔里木-敦煌-北山南部区代表塔里木-华北板块在西北的组成部分,其中有柯坪、辉铜山-阴凹峡、账房山等蛇绿混杂岩带。柴达木及邻区为原特提斯洋-古特提斯洋中多岛洋体系的一部分,包括宗务隆-隆务峡、柴达木北缘、祁曼塔格等蛇绿混杂岩带。北羌塘区为古特提斯多岛洋体系的一部分,包括西金乌兰-金沙江和乌兰-乌拉蛇绿混杂岩带。

2个对接带分别为额尔齐斯和南天山-马鬃山对接带<sup>[14]</sup>。前者为西伯利亚板块与准噶尔构造带的转换部位,包括额尔齐斯、塔尔巴哈台-洪古勒楞和扎河坝-阿尔曼泰蛇绿混杂岩带;后者为天山与塔里木-敦煌板块的构造转化部位,包括吉根、巴雷公-别迭里、中天山南缘、库勒湖-霍拉山和红柳河-马鬃山蛇绿混杂岩带等。

2个缝合带分别是阿尔金-祁连-北秦岭缝合带和西昆仑-木孜塔格-阿尼玛卿-勉略缝合带。前者是早古生代原特提斯洋陆作用与演化的产物,包括红柳沟-拉配泉、阿帕-茫崖、北祁连、达道尔基-拉脊山、北秦岭等蛇绿混杂岩带;后者是原特提斯-古特提斯洋陆作用与演化的结果,包括柯岗、库地-其曼于特、康西瓦-苏巴什、朝阳沟-清水泉、木孜塔格-阿尼玛卿、勉略等蛇绿混杂岩带。

## 1.2 蛇绿岩时间序列

西北地区地质演化历史漫长,可以追溯到与板块构造演化直接相关的蛇绿混杂岩最早为古元古代,最新的蛇绿岩时代为中生代(图2)。需要指出,本文以各种锆石 U-Pb 测年结果为主,参考其他方法测年结果讨论蛇绿岩的形成时间。西北地区蛇绿岩的时间序列上,具有以下几个特征。

(1)红柳沟-北祁连山缝合带中,新太古代-中元古代蛇绿岩可能与地壳早期演化有关。其中,北阿尔金沟口泉蛇绿岩的年龄范围为 1889~1818 Ma;北祁连山熬油沟蛇绿岩带也存在相近的同位素年龄 1840~1470 Ma,可能代表西北地区最古老的蛇绿岩。

(2)柯坪、勉略、松树沟等新元古代早期蛇绿岩

与 Rodinia 超大陆的裂解相关。柯坪蛇绿岩的形成年龄范围 820~760 Ma,松树沟蛇绿岩的年龄范围为 832~729 Ma,勉略蛇绿岩的元古宙同位素年龄范围为 923~754 Ma。

(3)以塔里木-敦煌-华北板块为界,其北侧古亚洲构造域中,早古生代蛇绿岩主要发育在额尔齐斯对接带、南天山-马鬃山对接带、西准噶尔和南天山北缘。其中,额尔齐斯对接带中,塔尔巴哈台-洪古勒楞蛇绿岩的同位素年龄范围为 519~472 Ma,扎河坝-阿尔曼泰同位素年龄范围为 514~481 Ma。南天山-马鬃山对接带中,西部南天山段从新元古代晚期持续到晚古生代,以早古生代为主,年龄集中在 590~418 Ma;东段牛圈子-马鬃山段的年龄范围为 529~429 Ma。吐哈盆地南缘的康古尔和大草滩蛇绿岩的年龄范围为 494~416 Ma。西准噶尔的玛依拉山和唐巴勒蛇绿岩的年龄范围为 572~508 Ma。

(4)特提斯构造域中,主要发育早古生代蛇绿岩。阿尔金-北祁连-北秦岭缝合带中,红柳沟-拉配泉(阿尔金北缘)蛇绿岩的锆石 U-Pb 年龄范围为 521~448 Ma,阿帕-茫崖(阿尔金南缘)蛇绿岩的年龄范围为 511~444 Ma,北祁连山蛇绿岩的年龄范围为 522~448 Ma,达道尔基-拉脊山(中祁连南缘)蛇绿岩的年龄范围为 542~491 Ma,北秦岭西段蛇绿岩的年龄集中在 524~457 Ma。柴达木及邻区中,柴达木北缘蛇绿岩年龄范围为 543~485 Ma;祁曼塔格蛇绿岩的年龄范围为 442~384 Ma。西昆仑-木孜塔格-阿尼玛卿-勉略缝合带中,库地-其曼于特蛇绿岩的年龄范围为 525~432 Ma,朝阳沟-清水泉蛇绿岩年龄范围集中在 537~452 Ma,局部延续到 419 Ma,木孜塔格-阿尼玛卿早古生代蛇绿岩的年龄范围为 516~467 Ma。

(5)晚古生代蛇绿岩主要发育在古亚洲构造域,且集中在准噶尔-天山-北山区内,部分从早古生代延续而来。其中,库尔提蛇绿岩年龄范围为 389~372 Ma,额尔齐斯蛇绿岩年龄范围为 437~332 Ma,达拉布特蛇绿岩年龄范围为 426~302 Ma,克拉玛依-白碱滩蛇绿岩年龄范围为 414~332 Ma,卡拉麦里蛇绿岩年龄范围为 497~329 Ma,贝勒克-吉吾恰依蛇绿岩年龄范围为 385~324 Ma,康古尔-红石山蛇绿岩年龄范围为 494~330 Ma,南天山-马鬃山

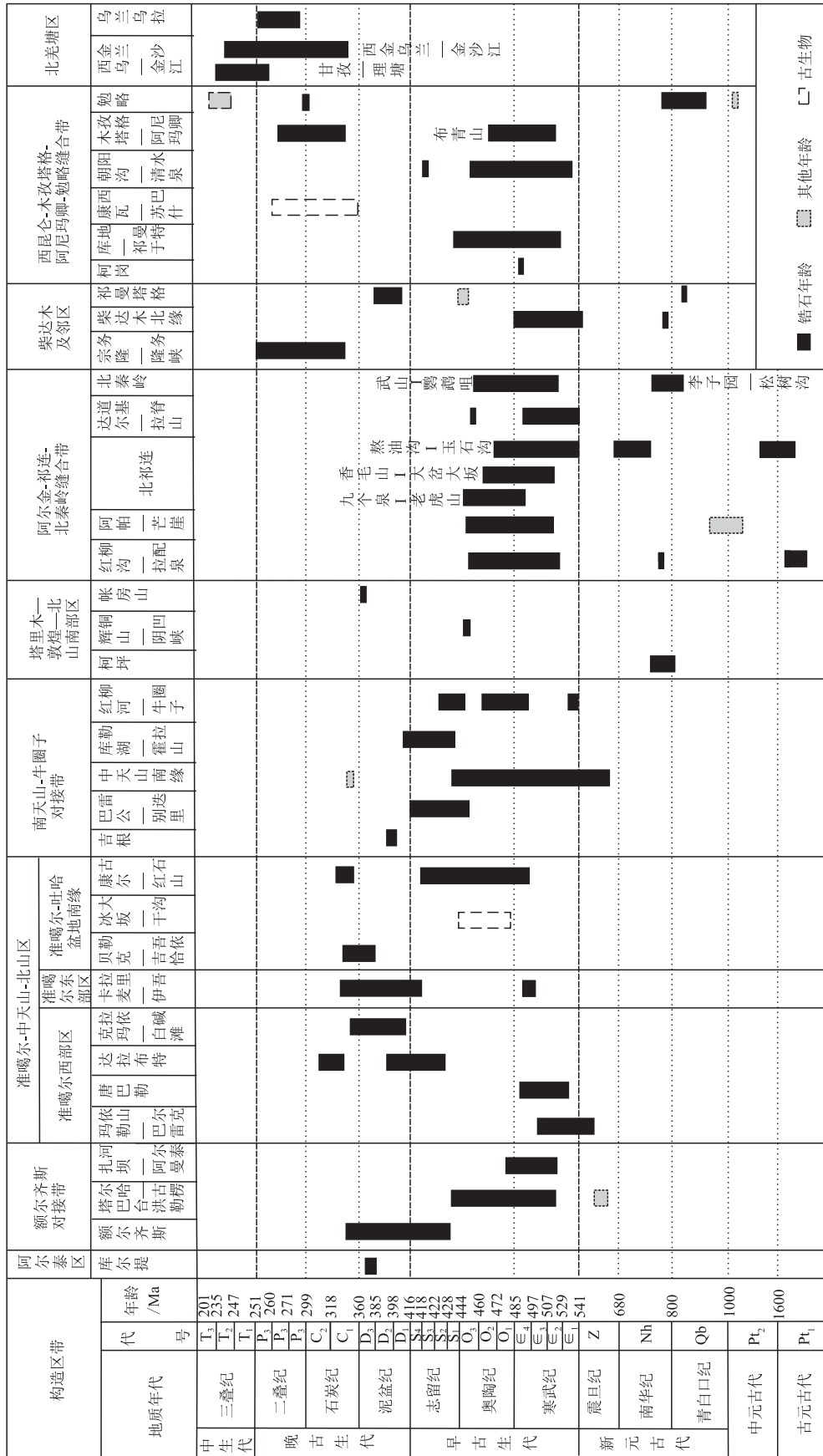


图 2 西北地区蛇绿岩时间序列  
Fig. 2 Temporal sequence of ophiolites in Northwest China

对接带中,晚古生代的蛇绿岩年龄为 402~329 Ma。在特提斯构造域中,宗务隆-隆务峡年龄范围为 331~250 Ma,木孜塔格-阿尼玛卿年龄范围为 345~263 Ma,其中布青山发育有早古生代蛇绿岩;西金乌兰-金沙江蛇绿岩年龄范围为 268~234 Ma,乌兰乌拉年龄范围为 284~252 Ma。

(6)中生代蛇绿岩在西北地区分布非常局限,西金乌兰-金沙江蛇绿岩带东段中生代年龄为 239~234 Ma,勉略带中还有 242~221 Ma 的 Sm-Nd 全岩等时线和 Rb-Sr 全岩等时线年龄。

## 2 西北地区蛇绿岩特征

为了叙述方便,本文将古亚洲构造域、原特提斯和古特提斯域蛇绿岩的同位素测年数据汇总到不同表格中(表 1、表 2、表 3)。根据上述西北地区蛇绿混杂岩带的划分,依次对其特征简要叙述。

### 2.1 阿尔泰区

阿尔泰区位于额尔齐斯对接带北侧,仅在新疆北部富蕴县境内出露有库尔提蛇绿岩带。该蛇绿岩由具枕状构造的变质玄武岩和侵入在厚层状玄武岩中的少量辉长岩、辉绿岩岩墙或岩床组成。围岩为下泥盆统康布铁堡组。其中斜长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $389 \pm 3$  Ma<sup>[15]</sup>, SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $372 \pm 19$  Ma<sup>[16]</sup>,表明该蛇绿岩的时代为中-晚泥盆世。库尔提蛇绿岩具有 MORB 和 IAB 的双重地球化学特征,高的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值与典型的 Mariana 弧后盆地的玄武岩类似,形成于弧后盆地环境<sup>[15, 17-18]</sup>,是中亚造山带中晚泥盆世的洋壳俯冲作用形成的。

### 2.2 额尔齐斯对接带

额尔齐斯对接带是额尔齐斯-西拉木伦对接带在新疆北部的延伸,位于西伯利亚板块和准噶尔构造带的转换部位<sup>[14, 19]</sup>。呈北西-南东走向,东西最长约 800 km,最宽约 200 km。该对接带包括额尔齐斯、塔尔巴哈台-洪古勒楞和扎河坝-阿尔曼 3 个蛇绿混杂岩带。

对额尔齐斯蛇绿岩的认识始于 20 世纪 80 年代,其被认为是海西期洋壳-洋幔的残体<sup>[20]</sup>。额尔齐斯蛇绿(混杂)岩西起科克森套<sup>[5, 21]</sup>,向东有吐尔库班套<sup>[22-23]</sup>、乔夏哈拉、玛因鄂博<sup>[24-25]</sup>、布尔根<sup>[26]</sup>等。混杂岩带中主要出露泥盆纪-石炭纪地层,有少量中元古界苏普特岩群。蛇绿岩主要由超镁铁

岩、辉长岩、辉绿岩、玄武岩、硅质岩等组成。额尔齐斯蛇绿混杂岩中,蛇绿岩的同位素年龄范围为 437~332 Ma(表 1),即泥盆纪-早石炭世,但是存在早古生代蛇绿岩。

塔尔巴哈台-洪古勒楞蛇绿混杂带位于准噶尔西北部,西起塔尔巴哈台山,向东经谢米斯台山到洪古勒楞一带,包括的蛇绿岩有塔尔巴哈台<sup>[27]</sup>、查干陶勒盖<sup>[28]</sup>、谢米斯台、和布克赛尔、洪古勒楞<sup>[29-32]</sup>等。混杂岩带内主要出露晚古生代地层,局部有志留系和奥陶系;蛇绿岩由蛇纹石化或碳酸盐化橄榄岩、变质辉长岩、辉绿岩岩墙、(蚀变)玄武岩及伴生的硅质岩、同源火山碎屑岩等组成。蛇绿岩类型方面,洪古勒楞蛇绿岩中有洋脊蛇绿岩<sup>[30]</sup>,和布克赛尔蛇绿混杂岩带则包括洋脊、海山或大洋岛屿<sup>[33]</sup>。该混杂岩带中蛇绿岩的同位素年龄为 519~472 Ma(表 1),表明其时代主要为寒武纪-早奥陶世。

扎河坝-阿尔曼泰蛇绿岩混杂岩带位于准噶尔盆地东北部,西起扎河坝煤矿以南,向东经阿尔曼泰,到中蒙边界的北塔山一带;呈北西-南东向展布,长约 150 km,最宽处约 15 km。混杂带内主要出露中奥陶统一上奥陶统和泥盆系,主要的蛇绿岩有扎河坝<sup>[31, 34-38]</sup>、阿尔曼泰<sup>[38-42]</sup>、兔子泉<sup>①</sup>、北塔山<sup>[43]</sup>等。蛇绿混杂岩主要由蛇纹岩(原岩为方辉橄榄岩、纯橄榄岩、二辉橄榄岩)、辉长岩、辉绿岩、玄武岩、斜长花岗岩、硅质岩等组成。扎河坝蛇绿岩带中还有石榴辉石岩、石英菱镁岩、榴闪岩等超高压岩石产出<sup>[35]</sup>。阿尔曼泰蛇绿岩中见含黄铁矿蛇纹岩、含铬尖晶石蛇纹岩、含铬铁矿纯橄岩等<sup>[38]</sup>,也有碧玉岩和豆荚状铬铁矿产出<sup>[39]</sup>。阿尔曼泰蛇绿岩中,碧玉岩中有早古生代的牙形石和放射虫<sup>[40-41]</sup>,其同位素年龄范围为 514~481 Ma(表 1),为寒武纪-早奥陶世。

综上所述,额尔齐斯对接带是由塔尔巴哈台-洪古勒楞、扎河坝-阿尔曼泰 2 个寒武纪-早奥陶世蛇绿岩带和额尔齐斯泥盆纪-早石炭世蛇绿岩带组成。塔尔巴哈台-洪古勒楞岩带中,蛇绿岩不同组分具有 MOR 型特征<sup>[28, 30]</sup>,也有岛弧火山岩<sup>[32]</sup>。扎河坝-阿尔曼泰蛇绿岩中,扎河坝辉长岩的锆石 Hf 同位素与 MORB 蛇绿岩类似<sup>[37]</sup>。阿尔曼泰蛇绿岩被认为是早古生代古亚洲洋的洋壳残块<sup>[39, 44]</sup>,但其基性熔岩有洋岛、洋中脊、岛弧 3 种

表 1 西北地区古亚洲构造域蛇绿岩同位素年龄

Table 1 Isotopic ages of ophiolites in the Paleo-Asian tectonic domain in Northwest China

构造区带	蛇绿混杂岩带	蛇绿岩	测年岩石	年龄值/Ma	测年方法	参考文献
阿尔泰区	库尔提	库尔提	斜长花岗岩	389±3	LA-ICP-MS	[15]
			斜长花岗岩	372±19	SHRIMP	[16]
额尔齐斯 对接带	额尔齐斯	科克森套	辉长岩	332±1 336±1	LA-ICP-MS	[21]
			辉长岩	363±4	LA-ICP-MS	[22]
		吐尔库班套	辉长岩	382±1	LA-ICP-MS	[23]
			闪长岩	380±2	LA-ICP-MS	
		玛因鄂博	辉长岩	403±5	SHRIMP	[24]
			枕状玄武岩	397±6		
	斜长角闪岩		437±12	LA-ICP-MS		
	布尔根	辉长岩	352±4	SHRIMP	[26]	
	塔尔巴哈台- 洪古勒楞	塔尔巴哈台	辉长岩	478±3	SHRIMP	[27]
			查干陶勒盖	辉长岩	517±3 519±3	LA-ICP-MS
		洪古勒楞	辉绿岩	626±23	Sm-Nd 等时线	[29]
			堆晶岩和玄武岩	444±27	Sm-Nd 等时线	[30]
			辉长岩	472±8	SHRIMP	[31]
			辉长岩	497±4	LA-ICP-MS	[32]
	扎河坝- 阿尔曼泰	扎河坝	堆晶橄榄岩	479±27	Sm-Nd 等时线	[35]
			辉长岩	489±4	SHRIMP	[36]
			斜长花岗岩	481±5	SHRIMP	[37]
			辉长岩	485±4	SHRIMP	[38]
斜长花岗岩			495±5	SHRIMP	[31]	
阿尔曼泰		辉长岩	507±4 514±4	LA-ICP-MS LA-ICP-MS	① [38]	
		兔子泉 北塔山	斜长花岗岩 辉长岩	503±7 494±3	SHRIMP SHRIMP	[42] [43]
准噶尔-中天 山-北山区	玛依拉山- 巴尔雷克	玛依拉山	辉长岩	572±9	LA-ICP-MS	[51]
			辉长岩	512±7 531±12	LA-ICP-MS	[52]
		巴尔雷克	辉长岩	512±7	LA-ICP-MS	[50]
	唐巴勒	唐巴勒	玄武岩	447±56	Sm-Nd 等时线	[11]
			辉长岩	489-531		
			斜长花岗岩	508±20	锆石 Pb-Pb	
	辉长岩	531	SHRIMP	[55]		
	达拉布特	达拉布特	角闪辉长岩	426±6	SHRIMP	[62]
			辉长辉绿岩	398±10	锆石 U-Pb	[64]
			堆晶辉长岩	395±12	Sm-Nd 等时线	[30]
辉长岩			391±6	LA-ICP-MS	[65]	
辉长岩			314±1	SHRIMP	[67]	

续表 1-1

构造区带	蛇绿混杂岩带	蛇绿岩	测年岩石	年龄值/Ma	测年方法	参考文献
准噶尔-中天山-北山区	达拉布特	萨尔托海 阿克巴斯套	辉长辉绿岩	388±1	LA-ICP-MS	[66]
			辉长岩	302±1	LA-ICP-MS	[68]
	克拉玛依-白碱滩	白碱滩 白碱滩	辉长岩	332±14	SHRIMP	[63]
			蚀变辉长岩	414±9		
	卡拉麦里-伊吾	卡拉麦里	斜长花岗岩	497±12	SHRIMP	[54]
			斜长花岗岩	403±9		
			斜长花岗岩	373±10	SHRIMP	[73]
			辉绿岩	416±3	LA-ICP-MS	[74]
			辉长岩	342±3 336±4	SHRIMP	[54]
			辉长岩	406±2 332±6	LA-ICP-MS	[75]
	三道岭 阿勒吞昆多	三道岭 阿勒吞昆多	辉长岩	329±1	LA-ICP-MS	[76]
			辉长岩	352±3	LA-ICP-MS	②
		贝勒克 奎屯河	斜长花岗岩	351±6	LA-ICP-MS	[70]
			辉长岩	385±3	LA-ICP-MS	[81]
	贝勒克-吉吾恰依	巴音沟 吉吾恰依	斜长花岗岩	343±2	SIMS	[80]
			辉长岩	344±3	LA-ICP-MS	[83-84]
			斜长花岗岩	324±7	LA-ICP-MS	[85]
	康古尔-红石山	康古尔 雅满苏 苦水 红石山 大草滩北	辉长岩	336±2	LA-ICP-MS	[98]
			辉长岩	494±10	SHRIMP	[95]
			玄武岩	330±4	SHRIMP	[97]
辉长岩			346±2	LA-ICP-MS	[105]	
辉长岩			416±4	LA-ICP-MS	[106]	
南天山-马鬃山对接带	吉根	吉根	玄武岩	392±15	Sm-Nd 等时线	[108]
	巴雷公-别迭里	巴雷公	辉长岩	450±2	LA-ICP-MS	[109]
			辉长岩	399±4	SHRIMP	[110]
	中天山南缘	长阿吾子 达鲁巴依	辉长岩	439±26	辉石 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	[119]
			辉长岩	590±11	Pb-Pb	[120]
		榆树沟	麻粒岩	440±18 364±5	TIMS	[122]
			麻粒岩	390±11 392±7	SHRIMP LA-ICP-MS	[124]
	库勒湖-霍拉山	库勒湖	斜长花岗岩	435±2	SHRIMP	[125]
			斜长岩	439±1		
		黑英山 欧西达坂	库勒湖	辉长岩	418±2	LA-ICP-MS
玄武岩				425±8	SHRIMP	[137]
	黑英山 欧西达坂	斜长角闪岩	430~420	角闪石 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	[138]	
		辉石闪长岩	329±8	斜长石 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	[139]	



续表 1-2

构造区带	蛇绿混杂岩带	蛇绿岩	测年岩石	年龄值/Ma	测年方法	参考文献
南天山-马鬃山对接带	红柳河-马鬃山	红柳河	辉长岩	425±2	TIMS	[141]
			辉长岩	516±7	SHRIMP	[142]
			辉长岩	496±33	角闪石 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	[143]
			辉长岩	462±2		
		牛圈子	玄武岩	463±18	Rb-Sr 等时线	[144]
			辉长岩	446±4	LA-ICP-MS	[148]
			辉长岩	433±3	LA-ICP-MS	[149]
			辉长岩	354±3		
			斜长花岗岩	429±2		
		斜长花岗岩	448±2			
辉绿岩	433±3					
马鬃山	辉长岩	454±2	LA-ICP-MS	[151]		
	辉长岩	434±3				
芨芨台子	辉长岩	321±3	LA-ICP-MS	[152]		
塔里木-敦煌-北山南部区	柯坪	柯坪	辉长岩	757±8	LA-ICP-MS	[157]
			绢云母石英片岩	822±3		
			绢云绿泥石英片岩	824±2		
			绢云母绿泥片岩	825±2		
	玄武岩	890±23	Sm-Nd 等时线	[160]		
辉铜山-阴凹峡	辉铜山	辉长岩	446±3	LA-ICP-MS	[162]	
帐房山	帐房山	辉长岩	362±4			

类型玄武岩<sup>[45]</sup>;北塔山蛇绿岩被认为是 SSZ 型<sup>[43]</sup>, 其中存在 2 种类型玄武岩, 即正常洋中脊玄武岩 (N-MORB) 型和覆于蛇绿岩带之上的岛弧火山岩<sup>[43, 46-48]</sup>。因此, 塔尔巴哈台-洪古勒楞和扎河坝-阿尔曼泰蛇绿混杂岩带, 均含有早古生代与大洋地壳演化有关的物质, 即洋壳、洋岛海山、深海沉积, 以及与俯冲作用有关的岛弧火山岩、侵入岩等, 代表该时期存在完整的洋盆演化系统。额尔齐斯蛇绿岩混杂岩带中, 吐尔库班套蛇绿岩中既存在 MORB 型玄武岩, 也存在岛弧玄武岩<sup>[22]</sup>; 玛因鄂博蛇绿岩中, 变质基性火山岩具有典型的 N-MORB 型玄武岩特征, 代表早志留世西伯利亚板块南缘大洋扩张脊岩浆作用产物<sup>[25]</sup>; 布尔根和乔夏哈拉蛇绿混杂岩带中存在多种性质和环境来源的岩块, 被认为具构造混杂带的性质<sup>[26]</sup>。总之, 额尔齐斯对接带包括 3 条蛇绿岩混杂岩带, 其构造-岩石组合有蛇绿岩、俯冲增生杂岩、放射虫硅质岩、浊积岩、洋内弧和基底残块, 同时出露高压变质岩<sup>[34, 49]</sup>。

### 2.3 准噶尔-中天山-北山区

围绕准噶尔-吐哈地块和中天山-北山地块, 在南天山-马鬃山对接带以北地区, 发育 8 条蛇绿 (混杂) 岩带 (图 1), 分别代表古亚洲洋在不同时期不同地区的洋盆或俯冲带的发育特征。

#### 2.3.1 准噶尔西部区

玛依拉山-巴尔雷克蛇绿混杂岩带出露在准噶尔西南部的玛依拉山-巴尔雷克山一带, 区域上主要出露志留系和中泥盆统。蛇绿混杂岩由橄榄岩、辉橄岩、橄辉岩、(单斜)辉石岩、辉长岩、斜长花岗岩、辉绿岩、枕状玄武岩、含放射虫硅质岩、碳酸盐化糜棱岩等组成; 由于变质作用强烈, 还有少量斜长角闪岩、绿帘角闪片岩、阳起石岩、阳起绿帘石岩、石榴绿泥石英岩、磁铁石英岩、白云石大理岩等, 以及蓝闪白云母片岩产出<sup>[50-57]</sup>。玛依拉山-巴尔雷克蛇绿混杂岩带中蛇绿岩的同位素年龄范围为 572~512 Ma (表 1), 主要形成于新元古代-寒武纪。岩石组合上, 玛依拉蛇绿岩的岩石组合为变质

橄榄岩+辉石岩+辉长岩,简称 PPG 系列<sup>[57]</sup>;岩石类型方面,玄武岩、辉长岩具有洋岛海山、俯冲带 SSZ 型蛇绿岩<sup>[51-52]</sup>。

唐巴勒蛇绿岩混杂岩带是西准噶尔南部最早发现的 4 条蛇绿岩混杂岩带之一,出露在包古图西—恰当苏一线,呈北西西向延伸约 130 km,宽约 10 km;混杂岩由地幔橄榄岩、玄武岩、蓝闪片岩、复理石及类复理石和岛弧沉积(包括弧前间隙带沉积)等组成,堆晶岩及枕状熔岩成层厚度都不大,为 500~600 m<sup>[5,11,54]</sup>。蛇绿岩的 U-Pb 同位素年龄为 531~508 Ma(表 1),硅质岩中含有早奥陶世放射虫化石<sup>[11]</sup>,说明其形成时代为寒武纪—奥陶纪。唐巴勒蛇绿岩以辉石—辉长岩堆晶岩为主,上部火山岩具有 N-MORB 和 IAB 组合的弧后环境蛇绿岩<sup>[30,56]</sup>或与消减带相关的岛弧环境<sup>[57-58]</sup>,且其内还含有洋岛玄武岩(OIB)型玄武岩岩块<sup>[58]</sup>。

达拉布特蛇绿混杂岩带沿达拉布特断裂呈北东向展布,带内主要出露下石炭统,自北向南分布有木哈塔依、鲸鱼、萨尔托海、达拉布特、科果拉、坎土拜客、库朗库朵克、苏鲁乔克、阿克巴斯套、阿音拿巴斯套 10 个蛇绿混杂岩体。蛇绿岩各单元出露较齐全,东段发育豆荚状铬铁矿<sup>[5,59-68]</sup>。达拉布特混杂带中硅质岩的放射虫化石时代为早—中泥盆世<sup>[5]</sup>,蛇绿岩同位素年龄为 426~302 Ma(表 1),表明其时代为志留纪—石炭纪。对于该蛇绿岩带类型的认识,有大体上接近科迪勒拉型<sup>[5]</sup>,归于变质橄榄岩+橄长岩+辉长岩组合的 PTG 系列<sup>[53]</sup>,具富集型洋中脊玄武岩(E-MORB)特征<sup>[66]</sup>,以及 SSZ 型蛇绿岩<sup>[67]</sup>等。

克拉玛依—白碱滩蛇绿混杂岩带平行分布在达拉布特蛇绿岩带东侧约 40 km,自南西北东可分为克拉玛依段、白碱滩和百口泉 3 段;超镁铁质、镁铁质和深海相增生杂岩岩石组合,由盆地边缘向西面山区方向依次呈带状分布<sup>[64,68-69]</sup>。在形成时代上,克拉玛依蛇绿混杂带中含有奥陶纪牙形石证据<sup>[69]</sup>,白碱滩辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄有 414±9 Ma 和 332±12 Ma 两组<sup>[63]</sup>,表明该蛇绿岩带代表的洋盆在奥陶纪—早石炭世很可能一直存在。

### 2.3.2 准噶尔东部卡拉麦里—伊吾蛇绿混杂岩带

卡拉麦里—伊吾蛇绿混杂岩带沿卡拉麦里大断裂分布,西自清水泉,向东南经南明水、巴里坤大红柳峡,延伸到伊吾县大黑山以东,主要出露中泥盆

统和下石炭统,局部有上石炭统。卡拉麦里蛇绿岩由含铬铁矿的超镁铁质岩、辉长岩、辉绿岩、变质玄武岩夹含放射虫碧玉岩等组成<sup>[39]</sup>。伊吾县大黑山一带的阿勒吞昆多蛇绿混杂岩是近年 1:5 万区域地质调查发现的,是卡拉麦里蛇绿混杂岩的东延部分,由镁铁质堆晶杂岩—辉长岩、斜长花岗岩、上洋壳火山熔岩等洋壳残片,硅质岩、火山凝灰岩、细碎屑岩等远洋深海沉积,以及火山弧火山岩、英安岩等外来岩块组成<sup>[70]</sup>。卡拉麦里蛇绿岩的时代争论也较大,最早被认为是早中泥盆世,K-Ar 法年龄为 388~392 Ma<sup>[71]</sup>,或早石炭世早期<sup>[72]</sup>,或泥盆纪早期—早石炭世初<sup>[39,44]</sup>等。近十余年来锆石 U-Pb 测年结果表明,卡拉麦里蛇绿岩的最大年龄为 497±12 Ma<sup>[55]</sup>,集中分布在 418~329 Ma<sup>[54,73-76]</sup>(表 1),表明该带蛇绿岩最早形成于寒武纪,以志留纪—石炭纪蛇绿岩为主。卡拉麦里蛇绿岩所代表的洋盆在早石炭世存在的古地磁证据是,该带南侧哈尔里克古岛弧下石炭统的纬度为 N35.69°,上泥盆统的纬度为 N41.59°,北侧麦钦乌拉岛弧下石炭统的纬度为 N58.59°,南北古纬度相差 23°,说明早石炭世 2 个岛弧之间仍有大洋相隔<sup>[77]</sup>。卡拉麦里蛇绿岩的研究文献很多,关于其类型的认识主要有 2 类:一是 SSZ 型蛇绿岩<sup>[78]</sup>,是大洋板块洋内俯冲消减作用的产物;二是典型的 MORB、无岛弧及洋岛岩石,很可能形成于大洋中脊<sup>[39,76,79]</sup>。

### 2.3.3 准噶尔—吐哈盆地南缘

准噶尔—吐哈盆地南缘发育贝勒克—吉吾恰依、冰大坂—干沟、康古尔—红石山 3 条蛇绿混杂岩带。贝勒克—吉吾恰依蛇绿混杂岩带出露在依连哈比尔尕山西段北坡,西起夏哈特,向东经奎屯河、巴音沟到拜辛达坂和吉吾恰依达坂以东,出露中泥盆统和石炭系,主要的蛇绿岩有贝勒克、奎屯河、拜辛达坂等。蛇绿岩由强变形基质和弱应变构造岩块组成,前者为片理化、糜棱岩化碎屑岩,后者主要有蛇纹石化橄榄岩、辉长岩、辉绿岩、斜长花岗岩、玄武岩、凝灰岩、深海泥岩、晚泥盆世—早石炭世硅质岩等<sup>[11,80-88]</sup>。蛇绿岩的同位素年龄为 385~325 Ma(表 1),表明为中泥盆世—早石炭世,与化石依据吻合。贝勒克—吉吾恰依蛇绿混杂岩带中,贝勒克蛇绿岩具有 MORB、部分岩石具有洋岛玄武岩特征<sup>[81]</sup>,奎屯河斜长花岗岩是典型的洋中脊斜长花岗岩<sup>[80]</sup>,巴音沟蛇绿岩中玄武质岩石具有 N-MORB、

OIB 和 CRB(大陆裂谷玄武岩)型 3 种不同性质的玄武岩<sup>[85, 87]</sup>;巴音沟蛇绿岩中的硅质岩、硅质泥岩形成于与陆源物质输入密切相关的大陆边缘环境<sup>[82, 88]</sup>。总之,该蛇绿混杂岩带的蛇绿岩代表了典型的洋壳、海山和深海沉积物质组合。

冰大坂—干沟蛇绿混杂岩带出露在中天山北缘的红五月桥—一号冰川和米什沟—干沟一带,区域上主要出露奥陶系—志留系。混杂基质以绿片岩为主,夹变质酸性熔岩、凝灰岩和千枚岩、砂板岩等沉积岩;蛇绿岩块由橄榄岩(蛇纹岩)、辉长岩、辉绿岩和玄武岩构造块体组成<sup>[89-92]</sup>。冰大坂硅质岩夹层和杂砂岩中分别产上寒武统—奥陶系放射虫和牙形刺<sup>[89]</sup>;干沟蛇绿岩被志留系不整合覆盖,被认为属奥陶纪<sup>[90-91]</sup>。冰大坂蛇绿岩中存在 E-MORB 和 N-MORB 型蛇绿岩残块<sup>[90]</sup>,干沟蛇绿岩以干沟 SSZ 型火山岩为特征<sup>[91]</sup>,也存在 N-MORB 型火山岩<sup>[92]</sup>。

康古尔—红石山蛇绿混杂岩带西起鄯善色尔特能,向东经康古尔到红石山,区域上主要出露石炭纪地层,包括色尔特能、康古尔、苦水、红石山等蛇绿岩。岩石组合有蛇纹石化橄榄岩、含铬铁矿蛇纹岩、尖晶石辉石岩、辉长岩、辉绿岩、斜长岩、斜长花岗岩、玄武岩、凝灰岩和含放射虫硅质岩<sup>[93-98]</sup>。红石山蛇绿混杂岩带向东与百合山、蓬勃山一带断续出露的蛇绿岩相连<sup>[99-106]</sup>,由变质超镁铁杂岩、堆晶超镁铁—镁铁岩、辉长岩、火山—沉积等岩块和基质组成。其中,超镁铁杂岩有纯橄岩、斜辉橄橄榄岩、单辉橄橄榄岩、二辉橄橄榄岩、铬尖晶石和铬铁矿,以及豆荚状铬铁矿;堆晶岩有辉橄岩、辉长岩、辉石岩和浅色斜长岩;火山岩有玄武岩、安山玄武岩,沉积岩有红色和黑色硅质岩;辉绿岩脉穿插于辉长岩、基性熔岩、硅质岩、砂岩和凝灰岩中。红石山以西玄武岩赋存的碎屑岩中获得早石炭世微古植物化石<sup>[103]</sup>,同位素年龄为 494~416 Ma 和 346~330 Ma(表 1),表明该带蛇绿岩的时代跨度大,从寒武纪—石炭纪。蛇绿岩的类型上,康古尔塔格蛇绿岩被认为属 SSZ 型蛇绿岩<sup>[95]</sup>,色尔特能玄武岩和放射虫硅质岩都具有洋脊玄武岩或大洋硅质岩特征,显示其为 MOR 型蛇绿岩<sup>[97]</sup>,苦水和红石山的玄武岩均指示洋脊环境<sup>[98, 105]</sup>。

#### 2.4 南天山—马鬃山对接带

南天山—马鬃山对接带被认为是古亚洲洋南支

最终闭合消失的对接带,东西长达 2000 km、南北宽 5~80 km,向西经吉尔吉斯转北西向与乌拉尔缝合带相接<sup>[14]</sup>;主体由新元古代—古生代洋盆地层系统构成,由洋壳残片(蛇绿岩带)、俯冲增生杂岩带、榴辉岩—蓝片岩带、增生弧等与洋盆演化相关的物质建造组成<sup>[107]</sup>,自西向东包括 5 个蛇绿混杂岩带(图 1)。

##### (1) 吉根蛇绿混杂岩带

出露在西南天山东阿赖地区,区域上主要出露志留纪—中泥盆世地层,蛇绿岩主要由玄武岩、辉长辉绿岩和碳酸盐化超镁铁岩岩片组成。其中,玄武岩的 Sm-Nd 等时线年龄为  $392 \pm 15$  Ma,岩石地球化学特征与 P-MORB 相近,形成于洋中脊环境<sup>[108]</sup>。

##### (2) 巴雷公—别迭里蛇绿混杂岩带

位于西南天山中吉边境中方一侧,主要出露志留系和下一中泥盆统,局部有石炭系。蛇绿混杂岩主要由玄武岩、凝灰岩、火山碎屑岩、辉长岩、辉绿岩、橄榄辉石岩、硅质岩、灰岩、角砾岩等组成<sup>[109-111]</sup>。辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 450~399 Ma<sup>[109-110]</sup>,表明蛇绿岩形成于晚奥陶世—早中泥盆世。蛇绿岩中镁铁质岩石主要为洋岛拉斑岩<sup>[110]</sup>和地幔橄榄岩具有俯冲带型地幔橄榄岩特征,说明早古生代南天山洋盆为成熟大洋且发生过洋内俯冲作用<sup>[111]</sup>。

##### (3) 中天山南缘蛇绿混杂岩带

西起哈尔克山北坡的长阿吾子,经古骆沟、乌瓦门至库米什硫磺山、铜花山和榆树沟一带,蛇绿混杂岩与蓝片岩共同构成伊犁中天山板块南缘的增生楔<sup>[11, 112-114]</sup>。区域上主要出露志留系、泥盆系,局部有长城系和奥陶系,蛇绿岩有长阿吾子—达鲁巴依、古洛沟—乌瓦门、榆树沟—铜花山等(图 1)。长阿吾子—达鲁巴依蛇绿岩由蛇纹岩化超镁铁质岩块、镁铁质岩块、蓝闪片岩、绿片岩组成,超镁铁质岩主要为斜辉橄橄榄岩、蛇纹石化纯橄岩、辉石岩,呈透镜状构造岩块剪切侵位于蓝闪片岩和绿片岩中;辉长岩变质形成阳起钠长片岩和蓝闪钠长片岩,基性熔岩变质成绿片岩<sup>[115, 112]</sup>,且有高压变质岩榴辉岩<sup>[116-117]</sup>、异剥钙榴岩产出<sup>[117]</sup>。长阿吾子绿片岩原岩为深海硅质岩、变凝灰质砂岩等,含志留纪—早泥盆世放射虫<sup>[118]</sup>,辉长岩的辉石<sup>40</sup>Ar—<sup>39</sup>Ar 坪年龄为  $439 \pm 26$  Ma<sup>[119]</sup>,锆石 Pb-Pb 年龄为  $590 \pm 11$

Ma<sup>[120]</sup>,表明蛇绿岩形成于元古宙—早古生代。古洛沟—乌瓦门蛇绿混杂岩中,蛇绿岩由变质橄榄岩、堆晶辉长岩、辉绿岩墙、基性火山岩和放射虫硅质岩组成<sup>[112]</sup>。拱拜孜一带超镁铁质岩块还有滑石化单辉橄榄岩、滑石岩、滑石蛇纹岩、菱镁滑石片岩、绿泥滑石片岩等。

#### (4) 榆树沟—铜花山蛇绿混杂岩

榆树沟蛇绿混杂岩基本上呈一套高压麻粒岩透镜状构造岩片产出,由变质橄榄岩、原岩为镁铁质堆晶岩的二辉麻粒岩、原岩为拉斑玄武岩的石榴二辉麻粒岩和原岩为基性火山岩—沉积岩系的中—基性麻粒岩组成,还有石英片岩、透闪大理岩、变质砾岩、硅质岩等<sup>[11, 121-125]</sup>。麻粒岩中锆石核部 SHRIMP U-Pb 年龄为 640~452 Ma<sup>[124]</sup>、变质年龄为 440±18 Ma<sup>[122]</sup>,斜长花岗岩和斜长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 439~435 Ma 等<sup>[125]</sup>,均代表蛇绿岩的形成年龄<sup>[122, 125]</sup>。铜花山蛇绿混杂岩由地幔橄榄岩、辉长岩、辉绿岩、基性熔岩类及顶志留世—早泥盆世的放射虫硅质岩等组成<sup>[118, 125]</sup>。榆树沟—铜花山蛇绿混杂岩中,角闪岩相或麻粒岩相岩石的同位素年龄为 392~360 Ma<sup>[122, 124, 126]</sup>,代表俯冲带洋壳的俯冲年龄。

总之,中天山南缘蛇绿岩的 640~452 Ma 年龄代表南天山洋从元古宙形成、在奥陶纪—志留纪进入俯冲作用阶段,且持续到 360 Ma 之后,是一个陆间宽阔具有分隔意义的大洋盆<sup>[119]</sup>。蛇绿岩的形成环境有小洋盆或弧后盆地<sup>[112, 127-128]</sup>、弧后盆地<sup>[129]</sup>、洋中脊<sup>[123, 130]</sup>等。硅质岩形成于与活动大陆边缘岛弧环境相关的洋盆环境<sup>[131]</sup>,表明部分蛇绿岩的类型为 SSZ 型。

库勒湖—霍拉山蛇绿混杂岩带位于南天山中部,由米斯布拉克,向东经库勒湖、铁里买提达坂、科克铁克达坂到霍拉山一带。区域上主要出露志留纪—早泥盆世地层,有少量长城纪、新元古代、晚奥陶世和晚石炭世—早二叠世地层。库勒湖—铁里买提达坂蛇绿混杂岩带中,蛇绿岩块有辉长岩、辉长辉绿岩、基性火山熔岩、紫红色硅质岩、大理岩等;基质主要由薄层状泥灰岩、泥质砂岩等组成。库勒湖硅质岩产有中、晚泥盆世—早石炭世放射虫和牙形刺微古化石<sup>[112, 132-137]</sup>。黑英山—色日牙孜伊拉克一带,蛇绿混杂岩由变质橄榄岩、二辉石橄榄岩、方辉橄榄岩、纯橄岩、辉长岩、玄武岩、玄武安山

岩、斜长角闪石岩、硅质岩、灰岩等岩块和板岩化的泥砂质浊积岩基质构成<sup>[133, 138]</sup>。黑英山硅质岩中存在大量晚泥盆世—早石炭世放射虫<sup>[134, 138]</sup>,同位素年龄范围为 430~329 Ma<sup>[136-139]</sup>(表 1),表明其形成时代为志留纪,一直持续到早石炭世。该蛇绿岩的性质具 N-MORB 特征,形成于洋中脊<sup>[133, 137, 140]</sup>,也可能是小洋盆或弧后盆地<sup>[137]</sup>。

红柳河—马鬃山蛇绿混杂岩带分布在甘肃北山地区,自甘肃、新疆交界的红柳河向东经牛圈子到马鬃山,再向东与内蒙古洗肠井蛇绿混杂岩带相连。郭召杰等<sup>[77]</sup>首次提出该蛇绿岩带与南天山库米什蛇绿岩带断续相接,之后被多数研究者附议<sup>[14, 141-143]</sup>。混杂岩带内主要出露蓟县系、青白口系和奥陶系—志留系。蛇绿混杂岩的组成有变质橄榄岩、堆积超镁铁质岩类、堆积辉长岩—斜长岩—斜长花岗岩类、辉绿岩、枕状熔岩和其他火山岩,还有碧玉岩、层凝灰岩、千枚岩夹板岩、灰岩等沉积物<sup>[99, 104, 144-151]</sup>。马鬃山蛇绿混杂岩中有震旦纪—寒武纪海山型叠层石灰岩产出<sup>[150]</sup>,蛇绿岩同位素年龄集中分布在 519~429 Ma(表 1),最晚为 354 Ma<sup>[148-149]</sup>,表明蛇绿岩最早为新元古代晚期,以早古生代为主,最晚持续到早石炭世。蛇绿岩的形成环境有洋盆环境<sup>[100, 104]</sup>、非典型大洋中脊环境<sup>[145]</sup>、弧后小洋盆环境<sup>[141, 150]</sup>等。此外,该蛇绿混杂岩带北侧的茈茈台子蛇绿岩年龄为 321±3 Ma<sup>[152]</sup>,形成于弧后盆地环境<sup>[104]</sup>,区域上可能与内蒙小黄山晚古生代蛇绿岩相接。

#### 2.5 塔里木—敦煌—北山南部区

塔里木—敦煌陆块,作为塔里木—中朝板块<sup>[153]</sup>的重要组成部分,是中国大陆北方地区面积最大的稳定陆块。随着区域地质调查与研究的深入,陆续发现了阿克苏、辉铜山—阴凹峡、账房山 3 条蛇绿混杂岩带,本文暂归到塔里木—敦煌—北山南部区简要叙述。

塔里木陆块西北缘柯坪地块上出露全球罕见的大规模高压低温蓝片岩带,由蓝闪石片岩、变质玄武岩、杂砂岩等组成<sup>[115, 154-155]</sup>。对于阿克苏蓝片岩形成环境的认识争议很大,有中朝—塔里木板块和哈萨克斯坦板块间俯冲高压变质环境<sup>[115, 156]</sup>、大陆边缘岩浆弧<sup>[157]</sup>、洋壳残片<sup>[158]</sup>、洋壳块体<sup>[159]</sup>等。鉴于蓝片岩原岩主要是拉斑玄武岩,具有 N-MORB 或 E-MORB 特征<sup>[158-159]</sup>,本研究认为蓝片

岩带中应该存在蛇绿混杂岩带。鉴于玄武岩的 Sm-Nd 年龄为  $890 \pm 23 \text{ Ma}^{[160]}$ , 云母片岩中多硅白云母的 Rb-Sr 和 K-Ar 年龄  $698 \sim 718 \text{ Ma}^{[161]}$  可认为是蓝片岩的变质年龄<sup>[160]</sup>。锆石 U-Pb 定年结果表明, 约 820 Ma 可能代表阿克苏群的最大沉积年龄, 约 760 Ma 为侵入阿克苏群的基性岩墙年龄<sup>[157]</sup>, 因此, 阿克苏蛇绿混杂岩的形成时间应在 820~760 Ma 之间。

辉铜山-阴凹峡蛇绿混杂岩带位于北山南部柳园镇辉铜山一带, 带内出露长城系北山杂岩、寒武系、奥陶系、泥盆系、下二叠统等。蛇绿混杂岩主要分布在辉铜山-花南沟一带, 东部阴凹峡有少量超镁铁质岩出露。蛇绿混杂岩由强烈蛇纹石化、滑石化方辉橄榄岩、橄榄辉长岩, 蚀变的辉长岩、斜长岩、玄武岩等组成, 局部有碳酸盐化并有扁豆状含铬铁矿体产出。辉铜山辉长岩的 U-Pb 年龄为  $446 \pm 3 \text{ Ma}$ , 相当于晚奥陶世<sup>[162]</sup>, 表明蛇绿岩的形成时代为晚奥陶世, 被认为是磁海-红柳园-白山堂晚古生代陆内裂谷环境的产物<sup>[163]</sup>。

帐房山蛇绿混杂岩带位于敦煌陆块北缘, 带内主要地层单位有敦煌杂岩和下石炭统红柳园组。蛇绿岩的岩石组合为蛇纹石化方辉橄榄岩、堆晶辉长岩、条带状辉长岩, 以及黑色板岩、硅质岩、灰岩等, 辉长岩的 U-Pb 年龄为  $362 \pm 4 \text{ Ma}^{[162]}$ , 表明蛇绿岩的时代为晚泥盆世。前人将辉铜山与帐房山归于同一个蛇绿混杂岩带<sup>[99, 104, 163]</sup>, 根据上述年龄分析结果, 余吉远等<sup>[162]</sup>认为两者不是同一个蛇绿岩带, 本次研究也将其单独列出。

## 2.6 阿尔金-祁连-北秦岭缝合带

秦祁昆中央造山带具有巨型多岛弧盆系构造特征, 分布在阿中地块、中祁连地块和中秦岭地块及其与塔里木-敦煌-华北陆块之间的蛇绿混杂岩带, 如红柳沟-拉配泉、阿帕-茫崖、北祁连、达道尔基-拉脊山、北秦岭蛇绿混杂岩带等, 是上述地块在早古生代拼接到中央陆块的缝合带。

### 2.6.1 红柳沟-拉配泉蛇绿混杂岩带

红柳沟-拉配泉蛇绿混杂岩带西起若羌县红柳沟, 向东经恰什坎萨依、拉配泉和石棉矿, 最终到肃北半鄂博一带, 出露长城系、蓟县系和寒武系-奥陶系拉配泉岩群等。西段红柳沟蛇绿混杂岩指由红柳沟到恰什坎萨依以东, 包括红柳沟、贝克滩、冰沟、恰什坎萨依等地段, 由蛇绿岩、具复理

石特征的深海-半深海碎屑岩、碳酸盐岩、变质岩等构成。蛇绿岩由强烈蛇纹石化地幔橄榄岩、辉长岩、辉绿岩、斜长花岗岩、基性火山熔岩、放射虫硅质岩等组成, 岩石组合为方辉橄榄岩、纯橄岩、异剥橄榄岩、单辉辉石岩、二辉辉石岩、含长辉石岩、层状和堆晶辉长岩、含单斜辉石斜长岩、枕状玄武岩等<sup>[164-172]</sup>。东段由石棉矿到肃北半鄂博一带, 包括青崖子、半果巴等蛇绿混杂岩, 由蛇纹岩、堆晶辉长岩、枕状和块状玄武岩、放射虫硅质岩、角砾岩和集块岩, 以及粉砂泥质板岩等组成<sup>③[173-175]</sup>, 在肃北拉排沟剖面硅质岩中有震旦纪放射虫<sup>③</sup>。红柳沟-拉配泉蛇绿岩的 U-Pb 年龄为  $521 \sim 448 \text{ Ma}$  (表 2), 表明形成于寒武纪-奥陶纪。但沟口泉的辉橄岩、斜长岩、辉长岩和玄武岩的 U-Pb 年龄为  $1889 \sim 1818 \text{ Ma}$ , 被认为是古元古代蛇绿岩<sup>[172]</sup>, 还存在  $2533 \pm 220 \text{ Ma}$  的古老陆陆信息。同时, 南华纪索拉克组双峰式火山岩上部 N-MORB 玄武岩的 U-Pb 年龄为  $763 \sim 754 \text{ Ma}^{[4]}$ , 可能是 Rodinia 超大陆裂解导致阿北洋盆在南华纪晚期出现的证据。此外, 蛇绿混杂带中绢云母石英片岩的变质年龄  $455 \pm 2 \text{ Ma}^{[176]}$ 、蓝片岩和榴辉岩  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  坪年龄  $512 \sim 491 \text{ Ma}$  代表了俯冲作用的时期<sup>[177]</sup>。

红柳沟-拉配泉蛇绿岩的类型有 MORB 型基性火山岩<sup>[166]</sup>、具 MORB 性质的席状岩墙群<sup>[169, 178]</sup>, MORB 与 OIB 组合<sup>[179]</sup>, 以及 OIB 型玄武岩<sup>[167]</sup>等。多数研究者认为红柳沟蛇绿岩属 SSZ 型, 代表了复杂的、在年龄、特征等方面均可与北祁连对比的板块缝合带<sup>[169]</sup>; 该带东段阿克塞青崖子蛇绿岩可能形成于大洋中脊环境<sup>[175]</sup>, 既保留了 MORB 的背景信息, 也记录了 SSZ 环境改造的结果, 因此推测其岩石组合可能来自不同的构造背景<sup>[173]</sup>。

### 2.6.2 阿帕-茫崖蛇绿混杂岩带

阿帕-茫崖(或称阿南)蛇绿混杂岩带沿阿尔金断裂分布在阿中地块南缘, 与祁漫塔格造山带、柴达木地块和柴北缘蛇绿混杂岩带相接; 带内出露前寒武纪阿尔金岩群、达肯大坂岩群、小庙岩组、青白口系和震旦纪-寒武纪火山-沉积及碳酸盐岩组合, 以及寒武纪-奥陶纪滩间山群等。

阿南蛇绿混杂岩带自西向东断续分布有 71 个规模不等的镁铁-超镁铁质岩体<sup>[180-181]</sup>, 在阿帕地区发育基性火山岩、枕状玄武岩和硅质岩<sup>[182]</sup>, 在茫崖

地区发育大量由强烈蛇纹石化纯橄岩和方辉橄橄榄岩组成、铬铁矿化并盛产石棉的超基性岩,以拉斑玄武岩为主夹少量凝灰熔岩和凝灰岩的火山岩,以及少量辉长岩、安山岩、硅质岩等<sup>[180,183]</sup>。西部木纳布拉克斜长角闪岩、弱蛇纹石化方辉橄橄榄岩和吉日迈蚀变橄橄榄岩的全岩 Sm-Nd 年龄分别为1118~924 Ma<sup>[184]</sup>和 1331~1027 Ma<sup>[185]</sup>;此外,蛇绿岩的 U-Pb 同位素年龄为 510~444 Ma<sup>[186-190]</sup>(表 2),结合阿南蛇绿混杂岩带北侧高压-超高压变质岩的锆石 U-Pb

年龄范围为 509~475 Ma<sup>[191-194]</sup>,以及区域地质研究成果<sup>[195-196]</sup>,确认该带蛇绿岩的时代为早古生代。

对于南阿尔金的蛇绿岩及其岩石组合类型,多数研究者认为具有 E-MORB 和 OIB 特征,属洋脊型蛇绿岩<sup>[180,183,187,197]</sup>;该带西段的木纳布拉克蛇绿岩被认为可能形成于弧后或弧间有限洋盆小扩张脊<sup>[184]</sup>。此外,年龄为 469~445 Ma 的长沙沟—清水泉一带 5 个镁铁-超镁铁质岩体,也可能形成于大陆内部伸展环境<sup>[188,197-198]</sup>。

表 2 西北地区原特提斯构造域蛇绿岩同位素年龄汇总

Table 2 Isotopic ages of ophiolites in the Proto-Tethys in Northwest China

构造区带	蛇绿混杂岩带	蛇绿岩	测年岩石	年龄值/Ma	测年方法	参考文献
阿尔金-祁连-北秦岭缝合带	红柳沟-拉配泉	红柳沟	斜长角闪岩(变玄武岩)	1454±65	Sm-Nd 等时线	[164]
			斜长角闪岩(变玄武岩)	506±11	锆石 TIMS	
			基性火山岩	508±41	Sm-Nd 等时线	[166]
			斜长花岗岩	512±1	LA-ICP-MS	[170]
			辉长岩	479±8	SHRIMP	[169]
			榴辉岩	512±3 513±5	多硅白云母 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	[177]
		蓝片岩	491±10 497±10	钠云母 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar		
		贝克滩	斜长花岗岩	518±4	LA-ICP-MS	[171]
		冰沟	辉长岩	449±10	SHRIMP	[165]
		恰什坎萨依	玄武岩	448±3	锆石 TIMS	[170]
		沟口泉	辉橄岩	1889±27	SHRIMP	[172]
		斜长岩	1869±27			
		辉长岩	1836±40			
		玄武岩	1818±25			
		拉排沟	辉长岩	521±12	SHRIMP	[173]
	辉长岩	472±10				
	半果巴	辉长岩	829±60	Sm-Nd 等时线	[174]	
	玄武岩	514±8	LA-ICP-MS	[175]		
	阿帕-茫崖	木纳布拉克	斜长角闪岩	924	Sm-Nd 等时线	[184]
			斜长角闪岩	946		
方辉橄橄榄岩			1118			
超基性岩			462±3	LA-ICP-MS	[186]	
吉日迈		蚀变橄橄榄岩	1331 1027	Sm-Nd 等时线	[185]	
约马克其		辉长岩	500±1	LA-ICP-MS	[187]	
清水泉	辉长岩	467±1	LA-ICP-MS	[188]		

续表 2-1

构造区带	蛇绿混杂岩带	蛇绿岩	测年岩石	年龄值/Ma	测年方法	参考文献
阿尔金-祁连-北秦岭缝合带	阿帕-茫崖	长沙沟	辉石橄榄岩	510±1	LA-ICP-MS	[189]
		茫崖	基性火山岩	481±53	Sm-Nd 等时线	[183]
			角闪辉长岩	444±1	LA-ICP-MS	[190]
	北祁连	九个泉 塔墩沟 白泉门 扁都口 冷龙岭 老虎沟 香毛山 卡瓦	辉长岩	458±1	锆石 TIMS	[207]
			辉长岩	490±5	SHRIMP	[203]
			辉石玄武岩	468±4	Sm-Nd 等时线	[208]
			辉长岩	479±2	LA-ICP-MS	[206]
			玄武岩	453±4	Sm-Nd 等时线	[208]
			辉长岩	448±5	LA-ICP-MS	[204]
			玄武岩	459±18	锆石 TIMS	[212]
			辉长岩	462±19	LA-ICP-MS	[213]
		大岔大坂	辉长岩	505±8	SHRIMP	[214]
			辉长岩	517±4		
			玻安岩	487±9	SHRIMP	[215]
		熬油沟	辉绿岩	1466±26	SHRIMP	[218]
			辉绿岩	1777±28		
			辉绿岩	507±9		
			辉长岩	504±6	SHRIMP	[222]
			辉长岩	501±4	SHRIMP	[223]
				粒玄岩		
		辉长岩	522±1	LA-ICP-MS	[224]	
			玄武岩			470±11
		玉石沟	基性火山岩	521±23	Sm-Nd 等时线	[225]
			辉长岩	550±17	SHRIMP	[226]
			辉长岩	502±4	LA-ICP-MS	[227]
		川刺沟	基性火山岩	495±13	Sm-Nd 等时线	[225]
		东草河	辉长苏长岩	497±7	SHRIMP	[219]
			基性火山岩	499±6	LA-ICP-MS	[220]
		柏木峡	辉长岩	675±31	LA-ICP-MS	[228]
			玄武岩	764±3		
	巴拉哈图	堆晶岩	449±4	Sm-Nd 等时线	⑥	
	西二塘沟	玄武岩	492±22	Sm-Nd 等时线	[229]	
查巴峡	辉长岩	522±9	LA-ICP-MS	[230]		
达道尔基	辉长岩	441±13	LA-ICP-MS	[233]		
	木里	斜长花岗岩	525±3	SHRIMP	[234]	
伟晶辉长岩		521±3				
伟晶辉长岩		542±5				
堆晶辉长岩		539±19				

续表 2-2

构造区带	蛇绿混杂岩带	蛇绿岩	测年岩石	年龄值/Ma	测年方法	参考文献	
阿尔金-祁连-北秦岭缝合带	达道尔基-拉脊山	拉脊山	辉长岩	525±3	LA-ICP-MS	[206]	
			斜长角闪岩	521±28	SHRIMP	[235]	
			粗面岩	514±2			
			玻安质辉长岩	519±3			
			辉绿岩	509±4			
				辉绿岩	491±5		
		武山		辉长岩	457±3	LA-ICP-MS	[239]
		关子镇		辉长岩	499±1	LA-ICP-MS	[240]
			辉长岩	471±1	LA-ICP-MS	[241]	
			斜长花岗岩	517±8	SHRIMP	[242]	
			辉长岩	534±9	SHRIMP	[242]	
		天水李子园		石榴石单辉麻粒岩	796 ± 2	LA-ICP-MS	[243]
			斜长角闪岩	762±4	LA-ICP-MS	[244]	
		唐藏岩湾		辉长岩	518±2	LA-ICP-MS	[246]
			变质玄武岩	483±13	SHRIMP	[247]	
		鸚鵡咀		辉长岩	523±1	LA-ICP-MS	[248]
			辉长岩	474±1			
		细尾子沟		辉长闪长岩	443±1	LA-ICP-MS	[245]
		松树沟		超镁铁质杂岩	1084±73	Sm-Nd 等时线	[253]
			榴闪岩	983±14	Sm-Nd 等时线	[254]	
	变质玄武岩		1030±46	Sm-Nd 等时线	[255]		
	长英质片麻岩		832±25	LA-ICP-MS	[256]		
	斜长角闪片		787±16	LA-ICP-MS	[257]		
	榴闪岩		729±24	LA-ICP-MS	[258]		
	榴闪岩		796±16	LA-ICP-MS	[259]		
	斜长角闪片		504±10	LA-ICP-MS	[260]		
	石榴角闪片		507±5				
	镁铁质麻粒岩	499±6					
柴达木及邻区	宗务隆-隆务峡	天峻南山	镁铁质火山岩	331±8	Rb-Sr 等时线	[261]	
			镁铁质火山岩	318±3			
		隆务峡		辉长岩	250±2	LA-ICP-MS	[265]
	柴达木北缘	绿梁山-鱼卡		变质玄武岩	780±23	Sm-Nd 等时线	[268]
				变质玄武岩	768±39	Rb-Sr 等时线	
				辉长岩	496±6	锆石 TIMS	[271]
				玄武岩	542±13	单颗粒锆石 U-Pb	[267]
				变辉长岩	535±2	LA-ICP-MS	[269]
			斜长花岗岩	493±3			
			阿木尼克山 锡铁山西南		斜长花岗岩	485±2	LA-ICP-MS
	辉长岩	520±7		LA-ICP-MS	[272]		



续表 2-3

构造区带	蛇绿混杂岩带	蛇绿岩	测年岩石	年龄值/Ma	测年方法	参考文献
柴达木及邻区	柴达木北缘	沙柳河	榴辉岩	516±8	SHRIMP	[273]
			榴辉岩	445±7		
			榴辉岩	440±6		
	柴达木北缘	绿梁山	基性麻粒岩	448±3	SHRIMP	[283]
			基性麻粒岩	421±5		
		锡铁山	榴辉岩	433±3	锆石 SIMS U-Pb	[284]
	祁曼塔格	黑山	堆晶辉长岩	816±10	锆石 TIMS U-Pb	[289]
			辉长岩	405±1		
		鸭子泉	角闪辉石岩	384±4	SHRIMP	[288]
十字沟		辉长岩 玄武岩	449±34 442±16	Sm-Nd 等时线	[290]	

### 2.6.3 北祁连缝合带

北祁连是中国最著名的造山带之一,是中国板块构造学说诞生的地方。经过 60 多年的区域地质调查和科学研究,取得了丰富的资料和地质构造认识的不断进步。由于存在与洋壳俯冲有关的蓝片岩和榴辉岩,北祁连山蛇绿混杂岩带被认为是典型的早古生代板块缝合带。综合前人研究成果,本文将北祁连缝合带分为九个泉-老虎沟、香毛山-大岔大坂、熬油沟-玉石沟和永靖 4 个蛇绿混杂岩带,简要叙述如下。

#### (1) 九个泉-老虎沟蛇绿混杂岩带

西起镜铁山以北的北大河,向东经三岔河、五道沟达坂、塔墩沟—九个泉、扁都口到冷龙岭,止于老虎沟以东地带。蛇绿岩的岩石组合主要为蛇纹石化斜辉橄榄岩、纯橄岩、辉石岩、蛇纹岩、滑石菱镁片岩、辉长岩、辉绿岩、斜长花岗岩、玄武岩、硅质岩等组成,超镁铁岩常见蛇纹石化、滑石化,也有铬铁矿化<sup>[199-206]</sup>。九个泉碎屑岩中含早—中奥陶世笔石化石<sup>[199,201]</sup>,蛇绿岩同位素年龄为 490~448 Ma<sup>[203-204,206-208]</sup>,表明其时代为寒武纪—奥陶纪。多数研究者认为该蛇绿岩带形成于弧后盆地,其中九个泉玄武岩为 N-MORB 或 E-MORB<sup>[201,202,209]</sup>,塔墩沟、老虎山、冷龙岭玄武岩和辉绿岩均具有 N-MORB 或 E-MORB 特征<sup>[199-200,202,205]</sup>,是典型的 SSZ 型蛇绿岩<sup>[201-202,206,210]</sup>。

#### (2) 香毛山-大岔大坂蛇绿混杂岩带

西起香毛山,向东经镜铁山、大岔大坂,止于了高山一带。主要的蛇绿岩有香毛山<sup>[211-212]</sup>、大岔大

坂<sup>⑤</sup>[213-215]、古浪峡<sup>[214]</sup>、了高山等。混杂岩的组成包括蛇绿岩组分残片、高压变质岩块和其他不同时代地层块体;其中,蛇绿岩的块体有蛇纹石化镁质斜辉橄榄岩、纯橄岩、蛇纹岩、滑石菱镁片岩、辉长岩、辉绿岩、洋脊玄武岩、斜长花岗岩、安山玄武岩和硅质岩,还有岛弧玄武岩、斜长角闪岩、结晶灰岩、砂岩、凝灰岩等,高压变质岩块有蓝闪片岩、冻蓝闪片岩、绿泥钠长阳起片岩、白云钠长片岩等<sup>[199,211-213]</sup>。香毛山-大岔大坂蛇绿岩同位素年龄为 517~462 Ma(表 2),表明其时代为寒武纪—奥陶纪。香毛山蛇绿岩兼有 MORB 和 OIB 地球化学特征、形成于微洋盆环境<sup>[214]</sup>,卡瓦蛇绿岩兼有 MORB 和 IAB 特征,属弧后盆地的 SSZ 型蛇绿岩<sup>[213]</sup>,大岔大坂蛇绿岩形成环境为弧间盆地<sup>[199]</sup>、弧后扩张<sup>[209]</sup>等。孟繁聪等<sup>[214]</sup>认为大岔大坂保存了 MOR 型和 SSZ 型 2 类蛇绿岩,宋述光等<sup>[206]</sup>认为大岔大坂蛇绿岩为弧前 SSZ 型蛇绿岩。

熬油沟-玉石沟蛇绿混杂岩带西起吊大坂以西,向东经熬油沟、三岔什、玉石沟-川刺沟、东草河,东段到达坂山和柏木峡一带。蛇绿混杂岩组成复杂,总体上发育较全,由纯橄岩、斜辉辉橄榄岩、斜辉橄榄岩、二辉橄榄岩、辉石岩、细粒辉长岩、变辉长辉绿岩、枕状玄武岩、变质粉砂岩、结晶灰岩、放射虫硅质岩等组成;其中,超镁铁岩多发生蛇纹岩化,或变质成滑石菱镁片岩、部分含有铬铁矿<sup>⑤</sup>[199,206,216-218]。不同地段有所不同,如东草河蛇绿岩中堆晶岩特别发育,下部为堆晶纯橄岩-橄长岩-斜长岩-辉长岩,上部为辉长岩-苏长质辉长

岩<sup>[219-220]</sup>。熬油沟蛇绿岩的时代争议较大,从前寒武纪<sup>[216, 221]</sup>到早古生代都有,可以归纳为以下3种:一是古一中元古代,同位素年龄为1777~1470 Ma<sup>[221, 218]</sup>,可能为捕获岩块或古陆块年龄;二是南华纪,同位素年龄为764~675 Ma<sup>[229-230]</sup>,可能与全球Rodinia超大陆裂解有关<sup>[228]</sup>;三是震旦纪晚期—中奥陶世,同位素年龄为550~470 Ma,玉石沟放射虫硅质岩中含早—中奥陶世笔石化石可作为重要证据,代表北祁连山洋盆的早期发育时期。对于蛇绿岩形成环境的认识,有弧前盆地或小型洋盆扩脊环境<sup>[199]</sup>,也有认为属来源于富集的地幔柱或热点的洋脊—洋岛型<sup>[209, 225]</sup>,多数学者认为可能形成于洋中脊<sup>[206, 220, 226, 231]</sup>。

永靖蛇绿混杂岩带位于兰州西南雾宿山野狐沟—梁家山一带,地层为中—上奥陶统雾宿山群,蛇绿岩混杂岩包括蛇纹岩、滑石片岩、蛇纹石化橄榄辉石岩、块状、枕状玄武岩<sup>[232]</sup>等,归入拉脊山蛇绿混杂岩带<sup>⑥</sup>。其中,还发育具有枕状构造的苦橄岩,为洋底高原型蛇绿岩地体<sup>[232]</sup>。该蛇绿岩四周均被中生代地层覆盖,笔者认为其与周边蛇绿混杂岩的关系值得探讨,故暂放在本节简述。

#### 2.6.4 达道尔基—拉脊山蛇绿混杂岩带

达道尔基—拉脊山(中祁连南缘)蛇绿混杂岩带位于中祁连南缘,西起盐池湾,向东经木里、刚察和拉脊山转向南,延伸到临夏以西与西秦岭相接,可分为达道尔基—木里、刚察和拉脊山三段。

达道尔基—木里段蛇绿混杂岩带位于西段,由古元古代北大河岩群基底残块和寒武系六道沟组蛇绿岩残块组成。基底残块中有超基性岩及辉长岩侵入,最大的是大道尔基超镁铁岩体;蛇绿岩岩石组合有玄武岩、粗玄武岩、碱性玄武岩、凝灰岩、板岩、千枚岩等,局部有蛇纹岩、橄榄石岩、蛇纹石化橄榄岩等岩块<sup>[233]</sup>。木里一带还有蛇纹岩、纯橄岩、堆晶辉长岩、斜长花岗岩和硅质岩发育。刚察段蛇绿混杂岩分布在青海湖以北,以寒武系—奥陶系中深变质岩产出,岩性有角闪片岩、黑云斜长片麻岩、变质火山岩、层状凝灰岩夹大理岩等,蛇绿岩以构造残片产出<sup>[206, 234]</sup>。拉脊山段蛇绿混杂岩位于西宁市南部,西起日月山,东至临夏以西;混杂岩带由寒武纪蛇绿岩和奥陶纪岛弧火山岩—深成岩组成。蛇绿岩由蛇纹石化辉石橄榄岩、橄榄辉石岩—辉石岩堆晶岩组合、辉绿岩墙、块状和枕状玄武岩、放射虫硅质岩等组成<sup>[206, 235]</sup>。

除大道尔基辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为  $441 \pm 13 \text{ Ma}$ <sup>[233]</sup>外,达道尔基—拉脊山混杂岩带中蛇绿岩的同位素年龄为542~491 Ma<sup>[206, 234-235]</sup>(表2),表明其时代主要为寒武纪—奥陶纪,局部到志留纪。蛇绿岩类型方面,拉脊山蛇绿混杂带是SSZ型和MORB型蛇绿岩的混合型,其中,二辉橄榄岩代表MORB型,粗面岩和玻安质辉长岩块代表520~514 Ma洋内岛弧,与灰岩相伴生的OIB质枕状玄武岩和辉绿岩代表弧后海山环境;方辉橄榄岩、蛇纹岩、斜长角闪岩及辉绿岩墙为SSZ型蛇绿岩的典型代表,形成于弧前扩张环境<sup>[235]</sup>。

#### 2.6.5 北秦岭蛇绿混杂岩带

北秦岭蛇绿混杂岩带或称商丹蛇绿混杂岩带,是秦岭主造山期板块的俯冲碰撞缝合带<sup>[236-237]</sup>,呈北西向展布于秦岭造山带中北部,西起甘肃武山,向东经李子园、唐藏、丹凤到商南进入河南,包括武山、关子镇、岩湾—鸚鸽咀、丹凤、郭家沟、松树沟等蛇绿岩。最新出版的秦岭及邻区地质图<sup>[238]</sup>中,北秦岭蛇绿混杂岩被厘定为一个编图单位,即丹凤岩群(PtO<sub>3</sub>D.),由变沉积岩基质和规模不等的超镁铁质岩块、铁镁质岩块(包括枕状玄武岩岩块)、基性岩墙群、少量大理岩块等组成。北秦岭西段蛇绿岩的同位素年龄<sup>[239-248]</sup>集中在534~457 Ma(表2),与北祁连蛇绿岩同位素年龄相近。在水李子园高压石榴子石单辉麻粒岩测出锆石核部U-Pb同位素年龄为 $796 \pm 2 \text{ Ma}$ <sup>[243]</sup>,与原岩具E-MORB特征的李子园斜长角闪岩锆石核部U-Pb年龄 $762 \pm 4 \text{ Ma}$ <sup>[244]</sup>相近,可能代表商丹洋盆初始裂解时的洋壳残片<sup>[243-244]</sup>。该带北侧天水细尾子沟蛇绿岩年龄最小,为443 Ma,代表弧后蛇绿岩<sup>[245]</sup>。蛇绿岩类型方面,关子镇蛇绿岩为洋脊型<sup>[240-241, 248]</sup>,武山蛇绿岩属构造肢解的E-MORB型蛇绿岩,形成于古洋盆初始裂解阶段的洋中脊构造环境<sup>[246]</sup>,岩湾蛇绿岩为洋中脊组成部分<sup>[247]</sup>,鸚鸽咀蛇绿岩是SSZ环境下多阶段演化的结果<sup>[238]</sup>,细尾子沟蛇绿岩是较典型的SSZ型蛇绿岩,与北秦岭古洋盆向北俯冲有关<sup>[245]</sup>。

丹凤县商镇以东为北秦岭蛇绿混杂岩带东段,除丹凤群外,混杂带还有古元古界秦岭岩群、中新元古界界牌组、泥盆系等。松树沟蛇绿混杂岩带位于该带东端,主要由变质橄榄岩、堆晶橄榄岩和变质基性火山岩组成,后者呈斜长角闪岩、眼球状斜长角闪岩及少量榴闪岩、角闪岩、石榴辉石岩等产

出;超镁铁岩主要由橄榄质糜棱岩、纯橄岩、少量方辉橄榄岩和透辉岩脉组成<sup>[249-252]</sup>。同位素年龄<sup>[253-260]</sup>上,松树沟蛇绿岩中超镁铁质杂岩、榴闪岩和变质玄武岩的 Sm-Nd 等时线年龄范围为 1084~983 Ma<sup>[253-254]</sup>,片麻岩、斜长角闪片岩和榴闪岩等原岩的锆石 U-Pb 年龄为 832~729 Ma(表 2),说明蛇绿岩形成于新元古代。上述岩石的变质年龄集中在 507~480 Ma<sup>[258-260]</sup>(表 2),说明寒武纪一早奥陶世产生了大陆深俯冲作用,松树沟超镁铁岩可能是俯冲的大陆板片在折返过程中携带的俯冲隧道中的交代地幔岩<sup>[259]</sup>。

## 2.7 柴达木及相邻区

柴达木陆块是秦祁昆多岛洋系统中较大的陆块,北侧为宗务隆-隆务峡蛇绿岩带、全吉地块和柴达木北缘蛇绿混杂岩带,南侧为祁漫塔格蛇绿混杂岩带、昆仑缝合带,西侧为阿尔金缝合带,东侧通过哇洪山走滑断裂与西秦岭相接。

宗务隆-隆务峡蛇绿混杂岩带位于南祁连与全吉地块之间,西起花海子以西,向东经摩尔雪克山、宗务隆山和天峻南山,再向东到达同仁以北的隆务峡-甘家一带,主要出露石炭系-三叠系,包括天峻南山和隆务峡-甘家蛇绿岩。天峻南山蛇绿混杂岩由 1:5 万区域地质调查首先发现<sup>[261]</sup>,其特征可由果可山组(CP<sub>2g</sub>)代表,主要岩石组成为蛇纹石化超镁铁质岩、辉长岩、玄武岩、基性岩增群、糜棱岩化大理岩、片岩、薄层硅质岩等<sup>[261-263]</sup>;镁铁质火山岩具有 MORB 和 OIB 特征,其 Rb-Sr 等时线年龄为 331~318 Ma<sup>[261]</sup>。隆务峡蛇绿岩处于西秦岭北缘的青海湖南缘-尖扎-武山-宝鸡断裂带附近,由变质橄榄岩、超基性-基性杂岩、玄武岩等构成<sup>[263-265]</sup>,其中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 250±2 Ma,表明该蛇绿岩所代表的洋盆在三叠纪早期依然存在<sup>[265]</sup>。再向东,沿着共和-合作-宕昌断裂带还分布下拉地和小儿山 2 个具蛇绿岩特征的超镁铁岩体群,前者的岩石组合为硅化碳酸岩化蛇纹岩、蛇纹岩和滑石绿泥片岩,原岩可能为方辉橄榄岩和二长辉长岩<sup>①</sup>;后者的岩石组合为蛇纹岩、滑石菱镁片岩等<sup>[265]</sup>。

柴达木北缘蛇绿混杂带西起阿尔金断裂南侧,向东经赛什腾山、绿梁山、锡铁山、阿姆尼克山和阿尔茨托山,止于哇洪山一带<sup>[266]</sup>,主要出露古元古界达肯达坂岩群、早古生界滩间山群、赛什腾组和下

泥盆统耗牛山组等。其中,滩间山群构成蛇绿混杂岩的主体,主要岩石组合为变质橄榄岩、辉长岩、辉长辉绿岩、斜长花岗岩团块、枕状玄武岩和少量硅质岩,还发育页岩、结晶灰岩、英安岩、英安质凝灰岩、流纹岩<sup>[267-272]</sup>。柴北缘东段沙柳河剖面上,蛇绿岩的产出组合为异剥钙榴岩、蓝晶石榴辉岩、绿帘石榴辉岩、多硅白云母榴辉岩等<sup>[273]</sup>,其大部分原岩具洋壳性质<sup>[274-276]</sup>。柴北缘蛇绿岩的锆石年龄范围为 543~485 Ma(表 1),阿木尼克山灰岩岩块中有奥陶纪扭心珊瑚、正形贝等化石,表明柴北缘大洋的主要演化时段为寒武纪-奥陶纪。蛇绿岩类型上,柴北缘蛇绿岩多被认为属 SSZ 型,其中,锡铁山镁铁质岩石具有典型的 OIB 特征<sup>[272]</sup>,绿梁山玄武岩为具有 N-MORB 和俯冲带性质的弧后盆地型蛇绿岩<sup>[267, 269, 277]</sup>;沙柳河地幔橄榄岩的矿物组合橄榄石+斜方辉石+铬铁矿具有与大洋地幔橄榄岩相似的地球化学特征、蓝晶石榴辉岩和绿帘石榴辉岩也具有 N-MORB 地球化学特征<sup>[273, 278-280]</sup>。柴北缘蛇绿混杂带与高压变质带基本上同时产出,高压基性麻粒岩、榴辉岩的变质年龄为 516~421 Ma(表 2),代表不同阶段的变质作用<sup>[273, 278, 280-284]</sup>。研究揭示,柴北缘超高压榴辉岩中存在 850~700 Ma 的继承性锆石,且普遍具有板内玄武岩或 E-MORB 特征,说明其原岩可能为 Rodinia 超大陆裂解形成的裂谷火山岩或初始洋盆火山岩<sup>[268, 276, 281, 285-286]</sup>。

祁漫塔格蛇绿混杂岩带位于柴达木陆块西南缘,西部与阿尔金造山带相接,南部与昆仑造山带相邻,西起嘎勒赛,向东经鸭子大坂,止于乌图美仁以南,主要包括鸭子大坂、黑山和十字沟蛇绿岩。构成蛇绿混杂岩的地层为奥陶纪祁漫塔格群,由变质橄榄岩、超镁铁质堆积岩、镁铁质堆积岩、辉绿岩墙、枕状熔岩、硅质岩、大理岩等组成。其中,超镁铁质-镁铁质堆积岩的岩性有纯橄榄岩、方辉橄榄岩、橄榄辉石岩、角闪单辉岩、角闪岩和辉长岩<sup>[287]</sup>。鸭子泉硅质岩中含早石炭世含放射虫<sup>[288]</sup>,蛇绿岩的锆石 U-Pb 年龄范围为 442~384 Ma<sup>[288-290]</sup>(表 2),黑山堆晶辉长岩的 U-Pb 年龄为 816±10 Ma<sup>[289]</sup>,表明蛇绿岩的时代最早为新元古代,以晚泥盆世-早石炭世为主。黑山基性-超基性岩具有 MORB 特征<sup>[289, 291]</sup>或介于 N-MORB 和 E-MORB 之间,可能是 SSZ 蛇绿岩<sup>[292]</sup>。鸭子泉-鸭子大坂基性超基性岩为钙碱性玄武岩和岛弧拉

斑玄武岩,可能形成于大洋岛弧<sup>[293]</sup>;十字沟蛇绿岩以 N-MORB 型为主、兼有 E-MORB 型特征,形成于弧后盆地环境<sup>[290, 292]</sup>。

## 2.8 西昆仑-木孜塔格-阿尼玛卿-勉略缝合带

昆仑造山带是中国最著名的造山带之一,是秦祁昆洋板块地层(OPS)与羌塘-三江 OPS 的边界<sup>[294]</sup>。缝合带中包括有柯岗、库地-其曼于特、康西瓦-苏巴什、朝阳沟-清水泉、木孜塔格-阿尼玛卿、勉略 6 个蛇绿混杂岩带。

柯岗蛇绿混杂岩带出露于塔什库尔干县大同乡,呈北西-南东向展布,混杂岩带中主要出露元古宙库浪那古岩群、博查克塔格组和早古生代-中生代地层。蛇绿岩主要由蚀变的橄榄岩、方辉橄榄岩、辉长岩等组成,辉长岩的 U-Pb 年龄为  $488 \pm 2$  Ma,形成于岛弧或弧前环境<sup>[295]</sup>。

库地-其曼于特蛇绿构造混杂带分布在西昆仑造山带,西起库地,向东经尼沙、其曼于特,沿喀什塔什山北侧延伸,止于阿尔金走滑断裂。混杂带中的主要地层有库浪那古岩群、库拉甫河群和少量晚古生代地层,包括库地、尼沙-奥木夏、其曼于特等蛇绿岩。蛇绿岩的组成有变质橄榄岩、二辉辉石岩、粒玄岩、石英辉长岩、辉长辉绿岩和块状枕状玄武岩,深海复理石细碎屑岩,以及薄层灰岩等<sup>[195, 296-306]</sup>。库地其曼于特蛇绿岩中,枕状玄武岩间的放射虫硅质岩时代为晚奥陶世-志留纪<sup>[298, 303]</sup>,U-Pb 同位素年龄为  $525 \sim 432$  Ma(表 3),因此,库地其曼于特蛇绿岩主要形成于寒武纪-志留纪,经历了洋中脊到俯冲带的构造环境转变。

康西瓦-苏巴什蛇绿混杂岩带北起塔什库尔干县巴什克可一带,向南经库勒那古,到色日克达坂附近转向东南到康西瓦达坂,沿玉龙喀什河谷,在阿什库勒盆地一带分为北、中、南 3 个蛇绿混杂岩带。岩石组合为蛇纹岩、蛇纹石化橄榄岩、橄辉岩、辉长岩、安山岩、石英闪长岩、含凝灰质的放射虫硅质岩、基性火山岩夹大理岩团块和辉绿岩墙。其中北带辉长岩体分异和成层性很好,岩石类型有含橄榄辉石岩、辉长岩、闪长岩、石英闪长岩、斜长花岗岩<sup>[307-308]</sup>。硅质岩中放射虫为晚石炭世,海绵骨针为早二叠世,复理石中有以石炭纪为主的放射虫化石群<sup>[309]</sup>;总之,苏巴什蛇绿岩的时代为石炭纪-中二叠世,可能为形成于弧后盆地环境的 SSZ 型蛇绿岩<sup>[308]</sup>。此外,柳什塔格玄武岩的 Rb-Sr 同位素年

龄为  $563 \pm 48$  Ma<sup>[310]</sup>,前人认为与昆仑东段乌妥蛇绿岩同属元古宙蛇绿岩。

朝阳沟-清水泉蛇绿混杂岩带西起阿其克库勒湖以西,向东经纳赤台、诺木洪和清水泉,止于哇洪山断裂。区域上出露元古宙-中生代地层,包括朝阳沟、大九坝、吐木勒克、纳赤台、诺木洪、清水泉蛇绿岩等。蛇绿混杂岩带由基质和岩块组成;基质为强变形变质的复理石建造、火山碎屑岩建造和碳酸盐岩建造,岩块有碳酸盐岩、超镁铁质、镁铁质岩、基性火山岩、基性岩墙等。蛇绿岩组分有辉橄岩、纯橄岩、蛇纹岩、含铬铁矿蛇纹岩、辉石岩、蛇纹岩、铬铁矿石、变质基性岩、硅质岩等<sup>[311-330]</sup>。朝阳沟-清水泉蛇绿岩的同位素年龄集中在  $537 \sim 452$  Ma(表 3),诺木洪硅质岩中含早古生代放射虫化石<sup>[313]</sup>,表明该蛇绿岩主要时代为寒武纪-奥陶纪,局部地区如诺木洪一带可能延续到  $419$  Ma<sup>[314]</sup>。蛇绿岩形成环境上,朝阳沟蛇绿岩经历了洋中脊到岛弧环境<sup>[327]</sup>,没草沟蛇绿岩从初始洋盆环境到洋脊扩张中心环境,寒武纪早期是洋盆发育全盛期,奥陶纪晚期洋壳发生消减,晚志留世洋盆基本闭合<sup>[325]</sup>;乌妥一带超镁铁质-镁铁质岩可能形成于洋中岛弧环境<sup>[328]</sup>。在蛇绿岩的类型上,朝阳沟、塔妥、长石山、曲什昂和清水泉蛇绿岩均为 SSZ 型<sup>[322, 324, 329]</sup>。

木孜塔格-阿尼玛卿蛇绿混杂岩带是西昆仑康西瓦-苏巴什蛇绿混杂岩带的东延,西起阿尔金断裂,向东经木孜塔格、昆仑山口、布青山到阿尼玛卿山。该带主要出露晚古生代地层,昆仑山口及以东有少量中生代地层。主要蛇绿混杂岩有阿克苏库勒、可支塔格-岩碧山、木孜塔格、布青山、玛积雪山、德尔尼等。混杂岩带基质主要由石炭纪-中二叠世碎屑岩、片岩、火山岩等组成;其中蛇绿岩岩块有辉橄岩、辉长岩、闪长岩、斜长花岗岩、辉绿岩、枕状玄武岩及放射虫硅质岩、凝灰岩、凝灰质粉砂岩、细砂岩,以及外来岩块等<sup>[331-353]</sup>①。木孜塔格放射虫硅质岩中含早石炭世化石<sup>[332]</sup>①,畅流沟和布青山硅质岩岩块分别含二叠纪和早二叠世放射虫化石<sup>[333-334]</sup>,玛积雪山蛇绿岩中有石炭纪和二叠纪灰岩块体产出<sup>[335]</sup>。木孜塔格-阿尼玛卿蛇绿混杂岩带中蛇绿岩以晚古生代为主,同位素年龄范围为  $345 \sim 263$  Ma(表 3)。晚古生代的蛇绿岩类型上,阿克苏库勒蛇绿岩形成于洋中脊环境,为典型的 MORB 型蛇绿岩<sup>[331]</sup>;可支塔格-岩碧山蛇绿岩为早

表 3 西北地区古特提斯构造域蛇绿岩同位素年龄汇总  
Table 3 Isotopic ages of ophiolites in the Paleo-Tethys in Northwest China

构造区带	蛇绿混杂岩带	蛇绿岩	测年岩石	年龄值/Ma	测年方法	文献编号
西昆仑-木孜塔格-阿尼玛卿-勉略缝合带	柯岗	柯岗	辉长岩	488±2	LA-ICP-MS	[ 295 ]
	库地-其曼于特	库地	石英辉长岩	510±4	SHRIMP	[ 304 ]
			伟晶辉长岩	525±2	SHRIMP	[ 297 ]
			辉长辉绿岩	524±2	LA-ICP-MS	[ 300 ]
			二辉辉石岩	494±0.9	LA-ICP-MS	[ 305 ]
			粒玄岩	500±8		
		玄武岩	519±1	LA-ICP-MS	[ 306 ]	
		一些克沟	玄武岩	428±19	SHRIMP	[ 297 ]
		尼沙	辉长岩	450±59	LA-ICP-MS	[ 302 ]
	奥木夏	玄武岩	432±5			
	辉长岩	480±6				
	其曼于特	辉长岩	526±1	TIMS 锆石 U-Pb	[ 296 ]	
	康西瓦-苏巴什	柳什塔格	玄武岩	563±48	Rb-Sr 等时线	[ 310 ]
	朝阳沟-清水泉	没草沟	玄武岩	488±2	LA-ICP-MS	[ 325 ]
			辉长岩	500±2		
		诺木洪 乌妥 可可沙 科科可特	玄武岩	419±5	SHRIMP	[ 314 ]
			辉长岩	518±3	TIMS 锆石 U-Pb	[ 315 ]
			辉长岩	509±6	LA-ICP-MS	[ 319 ]
			辉长岩	501±7	LA-ICP-MS	[ 320 ]
		清水泉	辉长岩	522±4	TIMS 锆石 U-Pb	[ 317 ]
			辉长岩	481±1	LA-ICP-MS	[ 322 ]
			角闪辉长岩	452±5	LA-ICP-MS	[ 323 ]
		长石山	辉长岩	537±3	LA-ICP-MS	[ 326 ]
		塔妥	辉长岩	521±3	LA-ICP-MS	[ 322 ]
		曲什昂	辉长岩	504±5		
			角闪辉长岩	455±1		
	木孜塔格-阿尼玛卿	阿克苏库勒	辉长岩	270±1	LA-ICP-MS	[ 331 ]
枕状玄武岩			263±7			
昆明沟		玄武岩	297±37	全岩 K-Ar	⑩	
德尔尼		玄武岩	345±7	全岩 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	[ 336 ]	
			308±4	SHRIMP	[ 337 ]	
布青山		辉长辉绿岩	辉长岩	495±80	Rb-Sr 等时线	[ 338 ]
			辉长岩	467±1	锆石 U-Pb	
		辉长岩	516±6	LA-ICP-MS	[ 339 ]	
	枕状玄武岩	340±11	Rb-Sr 等时线	[ 338 ]		
		310±1	普通铅等时线			
辉长岩	332±3	LA-ICP-MS	[ 339 ]			

续表 3

构造区带	蛇绿混杂岩带	蛇绿岩	测年岩石	年龄值/Ma	测年方法	文献编号
西昆仑-木孜塔格-阿尼玛卿-勉略缝合带	勉略	黑沟峡	变质火山岩	242±21	Sm-Nd 等时线	[359]
		黑沟峡	变质火山岩	221±13	Rb-Sr 等时线	
		庄科	斜长花岗岩	300±61	锆石 U-Pb	
		琵琶寺	玄武岩	783±15 754±14	LA-ICP-MS	[363]
		王家集	玄武岩	841±16	SHRIMP	[364]
		香子坝	玄武岩	812±11		
		水泉沟	斜长花岗岩	826±19		
			辉长岩	808±10		
		偏桥沟	辉绿岩	923±13	锆石逐层蒸发法 <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	[366]
			斜长花岗岩	926±10		
峡口驿	辉长岩	815±24	SHRIMP	[364]		
	安子山	变质镁铁质火山岩	877±78	Sm-Nd 等时线	[365]	
北羌塘区	西金乌兰-金沙江	查涌	枕状玄武岩	234±3	LA-ICP-MS	[375]
		歇武	辉长岩	236±2		
		哈秀	辉长岩	258±1		
		玉树	辉长岩	258±2	SHRIMP	[377]
				258±2		
		巴音查乌马	辉长岩	266±41	Rb-Sr 等时线	[381]
				扎河	辉长岩	239±3
		多彩	辉长岩	268±11	LA-ICP-MS	[383]
				253±1	LA-ICP-MS	[380]
				257±1	LA-ICP-MS	[375]
治多	辉长岩	258±2	LA-ICP-MS	[375]		
		258±2	LA-ICP-MS	[375]		
乌兰乌拉	杂多	蚀变橄榄岩	275±1	角闪石 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	[385]	
		辉长玢岩	284±2	LA-ICP-MS	[385]	
		杂多纪查能	辉长岩	252±2	SHRIMP	[383]

石炭世 SSZ 型蛇绿岩<sup>[340]</sup>;木孜塔格蛇绿混杂岩中还包括岛弧玄武岩、玄武安山岩和安山岩<sup>[341]</sup>;玛积雪山蛇绿岩有中厚度巨大的 OIB 玄武岩<sup>[335]</sup>,代表古地幔柱沿洋中脊形成的洋脊热点构造或洋中脊岛<sup>[342]</sup>;德尔尼镁铁质岩石代表了 N-MORB、OIB 和 E-MORB 组合<sup>[342-344]</sup>。需要指出的是,布青山蛇绿混杂带的岩块组成极其复杂,包括中元古界苦海岩群、寒武纪得力斯坦蛇绿岩、志留纪岛弧型英安岩和花岗闪长岩岩块、石炭纪洋壳型、洋岛型或海山型岩块等<sup>[338-339, 342, 345-352]</sup>。其中,早古生代蛇绿岩块的同位素年龄范围为 516~467 Ma(表 3)。寒武纪蛇绿岩组分中,得力斯坦沟玄武岩有 N-MORB

型和 P-MORB 型,为洋脊蛇绿岩套组合<sup>[353]</sup>。石炭纪—二叠纪哥日卓托枕状和杏仁状玄武岩、得力斯坦南枕状和杏仁状玄武岩,均具有洋岛玄武岩特征,表明古特提斯洋在布青山地区发育深水洋盆、洋岛/海山遍布的有限洋盆系统<sup>[350-351]</sup>。

勉略构造混杂带是秦岭仅次于商丹带的板块缝合带<sup>[354]</sup>,分布于康县—略阳—勉县—西乡高川,向东可能经石泉—安康断裂(前人多认为通过巴山弧型断裂)与湖北大别山蛇绿岩相接,向西通过迭部以南三叠纪混杂岩与阿尼玛卿蛇绿岩带相接。勉略蛇绿岩带岩石组合复杂,主要包括超镁铁质岩、辉长岩类(堆晶辉长岩)、玄武岩、斜长花岗岩、

硅质岩、灰岩、基底变质岩块等,以构造岩块(片)形式产出<sup>[354-356]</sup>。对勉略蛇绿岩的形成时代有 2 种认识,一种认为形成于晚古生代泥盆纪—石炭纪,是阿尼玛卿蛇绿混杂岩带的东延<sup>[355, 357-360]</sup>,主要论据是:①缺失奥陶纪—志留纪地层和发育泥盆纪—三叠纪深水浊积岩而与南北两侧恰成对照;②混杂岩中黑沟峡变质火山岩获得 Sm-Nd 全岩等时线年龄  $242 \pm 21$  Ma、Rb-Sr 全岩等时线年龄  $221 \pm 13$  Ma<sup>[358]</sup>;③硅质岩中发现石炭纪放射虫<sup>[361-362]</sup>;④庄科古洋壳残片(蛇绿岩)中斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为  $300 \pm 61$  Ma<sup>[358]</sup>。另一种认为形成于新元古代早期,主要依据是该带蛇绿岩的 U-Pb 年龄为  $923 \sim 754$  Ma<sup>[363-366]</sup>(表 3)。前人关于勉略混杂带蛇绿岩类型的认识有 Rodinia 超大陆裂解等形成的新元古代洋壳和洋岛残片<sup>[363]</sup>,有岛弧型<sup>[367]</sup>、古洋壳残片、洋岛玄武岩块<sup>[368-370]</sup>等。

## 2.9 北羌塘区

北羌塘地区主要位于青海省南部,包括了西金乌兰—金沙江和乌兰乌拉 2 个蛇绿混杂岩带。

西金乌兰—金沙江蛇绿混杂岩带为西金乌兰—金沙江缝合带<sup>[371]</sup>或金沙江缝合带<sup>[372]</sup>的一部分,青海境内西起西金乌兰湖以西,向东经治多到玉树以东,包括甘孜—理塘结合带的西段和西金乌兰—金沙江结合带的西北段<sup>[372-374]</sup>。区域上主要出露泥盆系—三叠系,其中西金乌拉混杂岩群(CP<sub>2</sub>X)由火山岩、碎屑岩和钙质沉积岩组成。甘孜—理塘结合带从治多县向东南延伸到歇武一带,包括查涌、哈秀、歇武等蛇绿混杂岩带,也称为查涌—歇武等蛇绿混杂岩带<sup>[375]</sup>。蛇绿岩主要由洋脊型拉斑玄武岩、苦橄玄武岩、镁铁质与超镁铁质堆晶岩、辉长岩、辉绿岩墙、蛇纹岩(变质橄榄岩),以及放射虫硅质岩等组成<sup>[373]</sup>,具有 SSZ 型蛇绿岩特征<sup>[195]</sup>。混杂岩中放射虫硅质岩的时代为早二叠世<sup>[376]</sup>,同位素年龄范围为  $258 \sim 234$  Ma<sup>[375, 377]</sup>(表 3),表明蛇绿岩的时代为晚二叠世—中三叠世。

西金乌兰—金沙江结合带可分为西金乌兰—巴音查乌马和多彩—玉树 2 段,包括西金乌兰、巴音查乌马、多彩、隆宝、玉树等蛇绿混杂岩。蛇绿岩主要由蛇纹石化超镁铁岩、超镁铁堆晶岩(辉石岩—纯橄榄岩)、辉长岩—辉绿岩墙群、洋脊型玄武岩及放射虫硅质岩组成,放射虫的时代主要为石炭纪—二叠纪,其次有三叠纪<sup>[371, 373, 378-379]</sup>,蛇绿岩同位素年龄范

围为  $361 \sim 212$  Ma<sup>[380-383]</sup>。多彩蛇绿岩与俯冲有关,形成于岛弧偏海沟的弧前构造背景<sup>[380]</sup>。

乌兰乌拉蛇绿混杂岩带是拜惹布错—乌兰乌拉—澜沧江晚古生代缝合带在青海境内的延伸,分布在乌兰乌拉湖—冈齐曲一带,由强烈剪切基质夹不同时代的构造岩块和蛇绿岩块组成。蛇绿岩主要由蚀变基性枕状和块状玄武岩、少量辉绿岩、含石炭纪—二叠纪放射虫化石的硅质岩组成,火山岩具有 MORB 型玄武岩特征<sup>[378, 384]</sup>。沿该蛇绿岩南侧断裂到澜沧江沿岸断裂分布的杂多镁铁质—超镁铁质岩中,辉长岩 U-Pb 年龄为  $284 \sim 252$  Ma<sup>[383, 385]</sup>。

## 3 蛇绿岩与构造演化讨论

自 1927 年德国地质学家 Steinmann 将橄榄岩(蛇纹岩)、辉长岩、辉绿岩、细碧岩和其他相关的岩石归于最初形成于地槽轴部原位侵入的一种有成因联系的岩石组合以来,蛇绿岩与地质构造演化就密切相关了。板块构造学说诞生后,蛇绿岩被认为是古洋壳残片,但其形成一直有争论。20 世纪 80 年代 SSZ 型蛇绿岩<sup>[386]</sup>确立,蛇绿岩形成环境的多样性逐渐被认同。Dilek 等<sup>[13]</sup>提出的蛇绿岩分类强调了不同构造环境下蛇绿岩类型的多样性,从板块分离到最终聚合的各个阶段都可以形成。因此,笔者在综合西北地区蛇绿岩的时空分布与类型的基础上,简要分析西北地区地质构造演化过程。

### 3.1 地壳早期演化阶段

西北地区最古老的蛇绿岩均分布在特提斯构造域,可能与古老陆核的形成有关,锆石 U-Pb 年龄范围为  $1900 \sim 1500$  Ma。其中,阿尔金北缘沟口泉蛇绿岩的 U-Pb 年龄为  $1889 \sim 1818$  Ma<sup>[172]</sup>,北祁连山熬油沟蛇绿岩 U-Pb 年龄为  $1840 \sim 1470$  Ma<sup>[218, 387-388]</sup>,代表古—中元古代板块运动的信息。此外,阿北地块上米兰岩群及变质英云闪长岩中的辉绿岩脉等基性岩墙群被认为与地壳早期裂解活动有关,其单颗粒锆石 U-Pb 不一致线的上交点年龄为  $2351 \pm 21$  Ma<sup>[389]</sup>。

### 3.2 超大陆裂解阶段

塔里木古陆块中,柯坪蓝片岩的原岩主要是拉斑玄武岩,具 N-MORB 或 E-MORB,即洋脊玄武岩特征<sup>[158-159]</sup>,形成年龄范围为  $820 \sim 760$  Ma<sup>[161]</sup>,为 Rodinia 超大陆裂解形成的古洋壳,在中基性岩墙(约 760 Ma)侵入之前闭合,形成环境为大陆边缘岩浆弧<sup>[157]</sup>,是塔里木板块最早的增生事件。北秦岭西

段蛇绿岩高压变质岩的原岩年龄为 796~762 Ma<sup>[243-244]</sup>、东段松树沟蛇绿岩的原岩年龄为 832~729 Ma<sup>[256-259]</sup>,均代表新元古代原特提斯洋的形成。南秦岭勉略蛇绿岩和元古宙同位素年龄 923~754 Ma,同样说明勉略洋诞生于新元古代<sup>[237, 355, 357]</sup>。

总之,西北地区新元古代早期蛇绿岩的锆石 U-Pb 年龄范围为 923~729 Ma,代表着 Rodinia 超大陆形成后的裂解和局部聚合作用。

### 3.3 洋陆格局的形成与洋陆转化阶段

Rodinia 超大陆形成后发生的裂解之后,到新元古代晚期,随着陆块的进一步裂离,以塔里木-敦煌-华北陆块为界,在其北南两侧各自逐步形成了 2 个多岛弧的洋盆系统,分别称为古亚洲构造域和特提斯构造域。

#### 3.3.1 古亚洲构造域

古亚洲洋是介于西伯利亚-波罗的克拉通与卡拉库姆-塔里木-华北克拉通之间的古生代多岛洋。在西北地区,古亚洲洋由介于阿尔泰地块和准噶尔地块之间的额尔齐斯洋、介于塔城地块和准噶尔地块之间的西准噶尔洋、介于哈尔克岛弧与东准噶尔北侧麦钦乌拉岛弧之间的卡拉麦里洋、介于准噶尔-吐哈地块和伊犁-中天山地块之间的北天山洋、介于塔里木陆块和伊犁-中天山地块之间的南天山洋、介于马鬃山-明水地块与花牛山-墩墩山地块之间的北山洋等组成,还有介于伊犁地块和那拉提地块之间的 Terskay 洋的东延部分<sup>[390]</sup>。其中,北山洋可能为南天山洋的东延部分。

额尔齐斯结合带是与额尔齐斯洋发展消失作用相关的洋壳、岛弧、洋岛等物质的混杂岩带,前人对于结合带的位置与时间存在争议<sup>[11, 26, 391-393]</sup>,本次研究认为包括额尔齐斯、塔尔巴哈台-洪古勒楞、扎河坝-阿尔曼 3 个蛇绿混杂岩带。其中,塔尔巴哈台-洪古勒楞和扎河坝-阿尔曼蛇绿岩带为早古生代,同位素年龄范围为 519~472 Ma,洋盆闭合后的变流纹岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 435±2 Ma<sup>[394]</sup>,说明洋盆在志留纪早期之前闭合,使准噶尔-吐哈陆块与北侧岛弧发生碰撞而相连,同时也与塔城地块相连。额尔齐斯蛇绿岩的年龄为 437~332 Ma,大量碰撞后花岗岩在二叠纪侵入<sup>[143]</sup>,说明在早古生代完成了准噶尔陆块与塔城地块和相关岛弧的碰撞拼合后,在石炭纪中晚期与以阿尔泰为代表的西伯利亚板块发生碰撞造山。

卡拉麦里洋所在的卡拉麦里构造带曾被认为是西伯利亚古板块和哈萨克斯坦古板块之间的石炭纪中期缝合带<sup>[153]</sup>。该带最早的蛇绿岩年龄为 497±12 Ma<sup>[55]</sup>,集中分布在 418~329 Ma,表明卡拉麦里洋寒武纪就存在,于石炭纪中晚期发生弧-弧碰撞而关闭<sup>[79, 392]</sup>。

从陆块之间蛇绿岩的分布看,准噶尔-吐哈陆块西面和南面的西准噶尔洋和北天山洋一直是相通的。西准噶尔洋中,塔城地块南侧的玛依拉山-巴尔雷克蛇绿岩的年龄范围为 572~512 Ma,唐巴勒蛇绿岩的年龄范围为 531~508 Ma,达拉布特蛇绿岩的年龄范围为 426~302 Ma,克拉玛依-白碱滩蛇绿岩的年龄范围为 414~332 Ma;反映从西向东逐渐年轻的特征。在中天山北缘,冰大坂-干沟蛇绿岩的时代为寒武纪—奥陶纪,贝勒克-吉吾恰依蛇绿岩的年龄范围为 385~325 Ma,显示蛇绿岩的时代向北逐步年轻化。康古尔-红石山蛇绿岩的年龄,早古生代为 494~416 Ma,晚古生代为 346~330 Ma。因此,北天山洋可能存在从目前位置向北的塔城地块和准噶尔-吐哈地块和向南的中天山-北山地块的双向俯冲增生,从早古生代持续到晚古生代的石炭纪<sup>[11, 80-82, 87-97]</sup>;但是,由于 302 Ma 蛇绿岩的发现,北天山洋残余海盆的最终关闭很可能晚于早二叠世<sup>[68]</sup>。

南天山洋是古亚洲洋最南部的一个分支大洋,向西延伸至境外与乌拉尔洋贯通。中国境内西北地区,北带从榆树沟—铜花山,向西到中天山南缘和东阿赖—巴雷公—别迭里,蛇绿岩的年龄范围依次为 640~435 Ma、590~439 Ma 和 450~392 Ma,显示南天山洋在新元古代—早古生代为主要发育时期,向西有年轻化趋势;南带库勒湖—霍拉山和红柳河—马鬃山一带,蛇绿岩的年龄范围分别为 430~418 Ma 和 519~429 Ma,说明境内南天山洋及其东延部分北山洋存在的时限主要为新元古代—志留纪。从与洋盆关闭有关的俯冲作用年龄看,榆树沟—铜花山高压变质年龄为 392~360 Ma<sup>[122, 124, 126]</sup>,南天山洋关闭并发生碰撞可能始于志留纪、局部残余海盆可到石炭纪<sup>[395-396]</sup>。马鬃山蛇绿混杂岩中,凝灰质板岩的年龄为 353±5 Ma,因此认为其闭合时间可达早石炭世<sup>[151]</sup>。

#### 3.3.2 特提斯构造域

西北地区范围内,从特提斯洋的演化划分,仅



包括原特提斯洋和古新特提斯洋。前者介于塔里木-敦煌-阿拉善-华北克拉通与甜水海-北羌塘-碧口-上扬子等克拉通和地块之间,分支洋盆包括北阿尔金洋(红柳沟-拉配泉)、南阿尔金洋(阿帕-芒崖)、北祁连-北秦岭洋、中祁连洋(党河南山-拉脊山)、柴北缘洋、西昆仑北支洋(库地-其曼于特)、祁漫塔格洋和东昆仑北支洋(朝阳沟-清水泉)等。后者包括西昆仑南支(康西瓦-苏巴什)洋、东昆仑南支洋(木孜塔格-阿尼玛卿)、金沙洋(西金乌兰-玉树)、甘孜洋(甘孜-理塘)和澜沧洋(乌兰乌拉-澜沧江)。其中,东昆仑南支洋在时代上跨越了原特提斯洋和古特提斯洋。同时,本文将宗务隆-隆务峡蛇绿岩所代表的洋盆(暂称为西秦岭洋),亦归于古特提斯洋范畴。

如前所述,原特提斯洋的各个分支洋盆相关的蛇绿岩年龄非常接近,北阿尔金洋(521~448 Ma)、南阿尔金洋(511~444)、北祁连(522~448 Ma)-北秦岭洋(524~457 Ma)、中祁连洋(542~491 Ma)、柴北缘洋(543~485 Ma)和东昆仑北支洋(537~452 Ma)及东昆仑南支洋东部(516~467 Ma),表明在早古生代末期发生的洋陆转换和碰撞造山作用,原特提斯洋的大部分分支洋盆闭合<sup>[204, 206, 397]</sup>,使阿尔金地块、祁连地块、秦岭地块等与塔里木-敦煌-华北陆块发生碰撞而汇聚,柴达木地块、全吉和阿尔金地块也发生碰撞而汇聚。中奥陶世开始的俯冲作用,在东昆仑形成的奥陶纪-志留纪岛弧和碰撞花岗岩,表明东昆仑北支洋主体在志留纪闭合<sup>[324]</sup>;在诺木洪一带的残余海盆延续到 419 Ma,可能持续到泥盆纪早期关闭<sup>[313, 332]</sup>。祁漫塔格洋的蛇绿岩年龄为 442~384 Ma,南祁漫塔格处于俯冲带之上发育 SSZ 蛇绿岩,而祁漫塔格洋可能于早泥盆纪关闭<sup>[292]</sup>。同时,原特提斯洋的组成中,西昆仑北支洋(525~432 Ma)南北两侧发育的 442~412 Ma 俯冲和碰撞类型花岗岩<sup>[302]</sup>,标志着该洋盆于奥陶纪-志留纪关闭<sup>[296, 300, 302]</sup>。结合区域上形成的岛弧型中酸性岩浆杂岩和变质作用,奥陶纪-志留纪东昆仑南支洋的闭合使东昆仑地块和松潘-巴颜喀拉地块发生碰撞,在志留纪末拼合<sup>[339]</sup>。

古特提斯洋中,西昆仑南支洋的时间为石炭纪-中二叠世,早石炭世开始俯冲消减,到早-中三叠世关闭<sup>[398]</sup>。东昆仑南支洋(蛇绿岩年龄为 340~264 Ma),最迟在晚二叠世开始俯冲消减、在

早-中二叠世关闭<sup>[335, 315, 373]</sup>。西秦岭洋的蛇绿岩年龄为 331~250 Ma,洋壳向南的俯冲作用始于晚二叠世,洋盆在中三叠世关闭<sup>[261-265]</sup>。甘孜洋的蛇绿岩年龄为 258~234 Ma,俯冲作用开始于二叠纪,洋盆在中三叠世晚期关闭<sup>[372, 375]</sup>。金沙洋的蛇绿岩年龄为 361~212 Ma,表明金沙洋的关闭可能在晚三叠世以后。澜沧洋的蛇绿岩年龄为 284~252 Ma,关闭于三叠纪中晚期。勉略洋(蛇绿岩年龄 923~754 Ma, 300~221 Ma)很可能诞生于新元古代,石炭纪依然存在,具有岛弧火山岩、岛弧蛇绿岩、洋脊蛇绿岩残片等复杂构成的蛇绿构造混杂带,至印支期最终封闭完成洋陆转化,进入陆内演化阶段<sup>[236-237, 354-357]</sup>。

## 4 结 论

(1) 中国西北地区 36 条蛇绿混杂岩带是蛇绿岩的赋存空间,可以划归为 5 个区、2 个对接带和 2 个缝合带。5 个区分别代表地质演化历史中的板块、陆块或者陆块群,2 个对接带分别是西伯利亚板块与准噶尔构造带转换部位的额尔齐斯和天山与塔里木-敦煌板块构造转化部位的南天山-马鬃山对接带,2 个缝合带分别为阿尔金-祁连-北秦岭缝合带和西昆仑-木孜塔格-阿尼玛卿-勉略缝合带,分别代表原特提斯和古特提斯构造域在西北地区的洋陆转化部位。

(2) 古-中元古代蛇绿岩分布在阿尔金-祁连-北秦岭缝合带,其同位素年龄为 1889~1470 Ma,是西北地区最早的板块运动信息。

(3) 西北地区代表 Rodinia 超大陆裂解的蛇绿岩的同位素年龄为 923~729 Ma,分布在柯坪、北秦岭和南秦岭蛇绿混杂岩带中。

(4) 古亚洲构造域蛇绿岩的同位素年龄范围为 590~308 Ma,其洋陆转化过程大致为:北部额尔齐斯洋在早古生代准噶尔陆块与塔城地块和相关岛弧的碰撞拼合后、在石炭纪中晚期关闭,使阿尔泰地块与准噶尔-塔城陆块发生碰撞造山;南部南天山洋及其东延部分北山洋最早于志留纪开始关闭,至早石炭世晚期完成洋陆转化;准噶尔洋-北天山洋从早古生代开始发生双向俯冲,在晚石炭世开始关闭、残余洋盆可能在早二叠世消亡而最终完成古亚洲构造域的洋陆转化。

(5) 特提斯洋西北地区主要存在原特提斯洋和古特提斯洋 2 期重要的洋陆转换作用。原特提斯洋

蛇绿岩的同位素年龄范围为 543~419 Ma,表明在早古生代末期,原特提斯洋的分支洋盆依次闭合导致塔里木、敦煌、阿尔金、祁连和华北陆块的拼合,柴达木陆块和全吉地块拼接并在阿南蛇绿混杂岩带位置与上述拼合陆块相接,但是祁漫塔格分支洋盆可能于早泥盆世关闭。古特提斯洋蛇绿岩的同位素年龄范围为 345~234 Ma,表明晚古生代—中生代早期,古特提斯洋在西昆仑—东昆仑南支—勉略洋、西秦岭洋、甘孜洋—金沙洋及澜沧洋依次闭合,导致以羌塘—扬子为代表的陆块与塔里木—华北陆块拼接完成洋陆转化,继而开始之后的造山后伸展与内陆造山作用。

**致谢:**本文在写作过程中,中国地质调查局发展研究中心李仰春教授级高级工程师、中国地质大学(武汉)张克信教授、中国地质调查局成都地质调查中心尹福光研究员、中国地质调查局天津地质调查中心谷永昌教授级高级工程师、西安地质调查中心计文化研究员提出了很好的建议,在此感谢;特别鸣谢匿名审稿专家提出的有益建议。

## 参考文献

- [1] 张旗. 蛇绿岩研究中的几个问题[J]. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 228-239.
- [2] Ishiwatari A. Circum-Pacific Phanerozoic multiple ophiolite belts [C]// Ishiwatari A, Malpas J, Ishizuka H. Proc. 29th Inter. Geol. Cong., Part D, Circum-Pacific Ophiolites. Utrecht: A-D Druk, Zeist, 1994: 7-28.
- [3] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and Tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites [J]. Geological Society of London, Special Publications, 1984, 16(1): 74-94.
- [4] Coleman R G. The diversity of ophiolites [J]. Ceologie en Mijnbouw, 1984, 63(2): 141-150.
- [5] 冯益民. 西准噶尔蛇绿岩生成环境及其成因类型 [J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1986, 13: 37-45.
- [6] Boudier, F. and Nicolas, A. Harzburgite and Lherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic environments [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1985, 76: 84-92.
- [7] Ishiwatari A. Igneous petrogenesis of the Yakuno ophiolite (Japan) in the context of the diversity of ophiolites [J]. Contr. Mineral. Petrol., 1985, 89: 155-167.
- [8] 朱宝清, 王来生, 王连晓. 西准噶尔西南地区古生代蛇绿岩 [J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1987, 17: 3-64.
- [9] 王希斌, 鲍佩声, 邓万明, 等. 西藏蛇绿岩 [M]. 北京: 地质出版社, 1987: 1-336.
- [10] 郝梓国, 王希斌, 鲍佩声. 新疆西准噶尔地区两类蛇绿岩的地质特征及其成因研究 [J]. 岩石矿物学杂志, 1989, 8(4): 299-310
- [11] 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-169.
- [12] 王希斌, 郝梓国. 中国造山带蛇绿岩的时空分布及构造类型 [J]. 中国区域地质, 1994, (3): 193-204.
- [13] Dilek Y, Furnes H. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere [J]. Geological Society of America, 2011, 123(3/4): 387-411.
- [14] 张克信, 潘桂棠, 何卫红, 等. 中国构造—地层大区划分新方案 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2015, 40(2): 206-233.
- [15] 沈晓明, 张海祥, 马林. 新疆阿尔泰地区库尔特蛇绿岩的锆石 U-Pb 和角闪石  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代学及其地质意义 [J]. 桂林理工大学学报, 2013, 33(3): 394-405.
- [16] 张海祥, 牛贺才, Terda K, 等. 新疆北部阿尔泰地区库尔特蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究 [J]. 科学通报, 2003, 48(12): 1350-1354.
- [17] 许继峰, 陈繁荣, 于学元, 等. 新疆北部阿尔泰地区库尔特蛇绿岩: 古弧后盆地系统的产物 [J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(3): 344-352.
- [18] 马林, 张海祥, 张伯友, 等. 新疆北部库尔特蛇绿岩中角闪片岩的原岩恢复及其成因 [J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 673-680.
- [19] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分 [J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.
- [20] 曹荣龙. 新疆北部蛇绿岩及基性超基性杂岩 [J]. 新疆地质, 1994, 12(1): 25-31.
- [21] 倪康, 雷永孝, 胡秀军, 等. 新疆额尔齐斯缝合带南侧科克森套蛇绿岩的时代及其意义 [J]. 西北地质, 2013, 46(3): 64-69.
- [22] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 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, 2011, 18(3): 151-165.
- [23] 赵晓健, 钱壮志, 王建中, 等. 新疆北部额尔齐斯缝合带时代的制约: 来自锆石 U-Pb 年代学的证据 [J]. 矿物学报, 2013, (增刊): 639.
- [24] 刘威国. 东准噶尔玛因鄂博蛇绿混杂岩形成时代确定 [J]. 新疆地质, 2011, 29(4): 385-388.
- [25] 张越, 徐学义, 陈隽璐, 等. 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, 2012, 31(6): 834-842.
- [26] 吴波, 何国琦, 吴泰然, 等. 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, 2006, 33(3): 476-486.
- [27] 朱永峰, 徐新. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩 [J]. 岩石学报, 2006, 22(12): 2833-2842.
- [28] 赵磊, 何国琦, 朱亚兵. 新疆西准噶尔北部谢米斯山南坡蛇绿岩带的发现及其意义 [J]. 地质通报, 2013, 32(1): 195-202.
- [29] 黄建华, 吕喜朝, 朱星南, 等. 北准噶尔洪古勒楞蛇绿岩研究的新进展 [J]. 新疆地质, 1995, 13: 20-30.
- [30] 张弛, 黄萱. 新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境的探讨 [J]. 地质论评, 1992, 38(6): 509-524.
- [31] 张元元, 郭召杰. 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, 2010, 26(2): 421-430.
- [32] 舍建忠, 邓洪涛, 刘阁, 等. 新疆西准噶尔洪古勒楞蛇绿岩地球化学特征及构造环境 [J]. 新疆地质, 2016, 34(1): 40-45.
- [33] 杨亚琦, 赵磊, 徐芹芹, 等. 新疆西准噶尔北部和布克赛尔蛇绿混杂岩的厘定及其洋盆闭合时代限定 [J]. 地质学报, 2018, 92(2): 298-312.
- [34] 牛贺才, 单强, 张海祥, 等. 东准噶尔扎乌坝超高压变质成因石英菱镁岩的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素年代学信息及地质意义 [J]. 岩石学

- 报,2007,23(7): 1627-1634.
- [35] 刘伟,张湘炳,乌伦古-斋桑泊构造杂岩带特征及其地质意义[C]//涂光炽.新疆北部固体地球科学新进展.北京:科学出版社,1993: 217-228.
- [36] 简平,刘敦一,张旗,等.蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J].地质前缘(中国地质大学,北京),2003,10(4): 439-455.
- [37] 潘成泽,邱林,叶现韬,等.扎河坝蛇绿岩锆石 U-Pb 年龄、Hf-O 同位素组成及其地质意义[J].华东地质,2016,37(2): 106-112.
- [38] 冯晓强,崔玉宝,程龙,等.新疆东准噶尔阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩带中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质通报,2016,35(9): 1411-1419.
- [39] 李锦铁.新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J].岩石学报,1995,11(增刊): 73-84.
- [40] 何国琦,李茂松,贾进斗,等.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),2001,37(6): 852-858.
- [41] 李锦铁.试论新疆东准噶尔早古生代岩石圈板块构造演化[J].中国地质科学院院报,1991,23: 1-12.
- [42] 肖文交,Windley B F,阎全人,等.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,2006,80(1): 32-37.
- [43] 刘亚然,简平,张维,等.新疆东准噶尔北塔山蛇绿混杂岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年、氧同位素及其地质构造意义[J].岩石学报,2016,32(2): 537-554.
- [44] 李锦铁.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,2004,50(3): 304-322.
- [45] 张越,陈隽璐,孙吉明,等.新疆东准噶尔阿尔曼太蛇绿岩中玄武岩地球化学特征及其地质意义[J].地质通报,2019,38(9): 1431-1442.
- [46] 柴凤梅,杨富全,刘峰,等.新疆准噶尔北缘北塔山组火山岩年龄及岩石成因[J].岩石学报,2012,28(7): 2183-2198.
- [47] 龙晓平,孙敏,袁超,等.东准噶尔石炭系火山岩的形成机制及其对准噶尔洋盆闭合时限的制约[J].岩石学报,2006,22(1): 31-40.
- [48] 袁超,肖文交,陈汉林,等.新疆东准噶尔扎河坝钾质玄武岩的地球化学特征及其构造意义[J].地质学报,2006,80(2): 254-263.
- [49] 陈汉林,杨树锋,厉子龙,等.阿尔泰山带富碱基性麻粒岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其构造意义[J].岩石学报,2006,22(5): 1351-1358.
- [50] 赵文平,贾振奎,温志刚,等.新疆西准噶尔巴尔鲁克蛇绿混杂岩带发现蓝闪片岩[J].西北地质,2012,45(2): 136-138.
- [51] 杨高学,李永军,杨宝凯,等.西准噶尔玛依勒蛇绿混杂岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及源区特征[J].岩石学报,2013,29(1): 303-316.
- [52] 翁翥,徐学义,马中平,等.新疆西准噶尔玛依勒蛇绿岩中镁铁-超镁铁质岩的地球化学、年代学及其地质意义[J].岩石学报,2016,32(5): 1420-1436.
- [53] 郝梓国,王希斌,鲍佩声,等.新疆西准噶尔地区两类蛇绿岩中橄榄岩的矿物学研究[J].长春地质学院学报,1991,21(1): 33-54.
- [54] 白文吉.西准噶尔不同时代蛇绿岩及其构造演化[J].岩石学报,1995,11(增刊): 62-72.
- [55] Jian P, Liu D Y, Shi Y R, et al. SHRIMP dating of SSS ophiolites from northern Xinjiang province, China: Implication for generation of oceanic crust in the central Asian orogenic belt[C]//Sklyarov E V. Structural and Tectonic Correlation across the Central Asian Orogenic Collage: Northern Segment, Guidebook and Abstract Volume of the Siberian Workshop IGCP-480, 2005: 1-246.
- [56] 杨宝凯.新疆西准噶尔唐巴勒蛇绿岩及其构造意义[D].长安大学硕士学位论文: 2011: 1-35.
- [57] Wang Z H, Shun S, Li J L, et al. Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang, China: Geochemical and Geochronological constraints from the ophiolites[J]. Tectonics, 2003, 22(2): 1014-1029.
- [58] 冯益民,朱宝清,肖序常,等.中国新疆西准噶尔山系构造演化[M].北京:北京科学技术出版社,1991: 66-91.
- [59] 陈石,郭召杰.达拉布特蛇绿岩带的时限和属性以及对西准噶尔晚古生代构造演化的讨论[J].岩石学报,2010,26(8): 2336-2344.
- [60] 田亚洲,杨经绥,王云鹏,等.新疆西准噶尔木哈塔依蛇绿混杂岩年代学和地球化学研究及构造意义[J].中国地质,2015,42(2): 379-395.
- [61] 田亚洲,杨经绥.新疆西准噶尔达拉布特蛇绿岩地幔橄辉岩成因[J].中国地质,2015,42(5): 1379-1403.
- [62] 陈博,朱永峰.新疆克拉玛依百口泉蛇绿混杂岩中辉长岩岩石学和地球化学研究[J].岩石学报,2010,26(8): 2287-2298.
- [63] 徐新,何国琦,李华芹,等.克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息[J].中国地质,2006,33(3): 470-475.
- [64] 夏林圻,夏祖春,徐学义,等.天山岩浆作用[M].北京:地质出版社,2007: 1-350.
- [65] 辜平阳,李永军,张兵,等.西准噶尔达拉布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年[J].岩石学报,2009,25(6): 1364-1372.
- [66] 何世平,时超,王超,等.新疆西准噶尔萨尔托海蛇绿混杂岩形成时代及构造环境分析[J].地质科学,2013,48(4): 1033-1049.
- [67] 李纲,杨斌,梁恩云,等.新疆西准噶尔达尔布特蛇绿岩套柳树沟镁铁质杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J].华南地质与矿产,2014,30(3): 194-205.
- [68] 刘希军,许继峰,王树庆,等.新疆西准噶尔达拉布特蛇绿岩 E-MORB 型镁铁质岩的地球化学、年代学及其地质意义[J].岩石学报,2009,25(6): 1373-1389.
- [69] 何国琦,刘建波,张跃迁,等.准噶尔盆地西缘克拉玛依早古生代蛇绿混杂岩带的厘定[J].岩石学报,2007,23(7): 1573-1576.
- [70] 秦彪,张小林,樊文军.新疆伊吾阿勒吞昆多蛇绿混杂岩特征[J].新疆地质,2012,30(2): 152-156.
- [71] 新疆地矿局第一区域地质调查大队.新疆同位素地质年龄数据汇编[J].新疆地质,1987,5(4): 16-106.
- [72] 新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1993: 1-841.
- [73] 唐红峰,苏玉平,刘丛强,等.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,2007,31(1): 110-117.
- [74] 黄岗,牛广智,王新录,等.新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩的形成和侵位时限——来自辉绿岩和凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的证据[J].地质通报,2012,31(8): 1267-1278.
- [75] 方爱民,王世刚,张俊敏,等.新疆北部卡拉麦里蛇绿岩中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J].地质科学,2015,50(1): 140-154.
- [76] 汪帮耀,姜常义,李永军,等.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,2009,29(3): 74-82.
- [77] 郭召杰,王超.新疆东准噶尔塔克扎勒-麦钦乌拉古缝合线的确

- 定[J].矿物岩石,1993,13(1):96-102.
- [78] 杨梅珍,吴宏恩,杨高学.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,2009,28(3):251-263.
- [79] 胡朝斌,廖群安,樊光明,等.东准噶尔滴水泉地区发现洋中脊型蛇绿岩[J].科学通报,2014,59(22):2213-2222.
- [80] 李超,肖文交,韩春明,等.新疆北天山奎屯河蛇绿岩斜长花岗岩锆石 SIMS U-Pb 年龄及其构造意义[J].地质科学,2013,48(3):815-826.
- [81] 苏会平,司国辉,张超.新疆北天山巴音沟南侧发育早泥盆纪蛇绿岩及其构造意义[J].陕西地质,2014,32(1):33-38.
- [82] 郭继易,刘成德.新疆北天山巴音沟蛇绿岩的地质特征[J].岩石学报,1989,(2):76-87.
- [83] 徐学义,马中平,夏林圻,等.北天山巴音沟蛇绿岩形成时代的精确厘定及意义[J].地球科学与环境学报,2005,27(2):17-20.
- [84] 徐学义,李向民,马中平,等.北天山巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世:来自辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄的证据[J].地质学报,2006,80(8):1168-1176.
- [85] 徐学义,夏林圻,马中平,等.北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及蛇绿岩成因研究[J].岩石学报,2006,22(1):83-94.
- [86] 高轩,弓小平,谢巍然,等.新疆北天山拜辛德—吉吾恰依一带蛇绿岩地球化学特征研究[J].矿物岩石地球化学通报,2017,36(4):611-619.
- [87] 司国辉,苏会平,李玮娜,等.新疆巴音沟蛇绿混杂岩带中不同类型火山岩地球化学特征及构造环境[J].地球科学与环境学报,2015,37(3):34-41.
- [88] 韩文中,欧阳征健,岳艳,等.新疆巴音沟蛇绿混杂岩带中硅质岩及硅质泥岩的元素地球化学特征及其形成环境[J].西北地质,2009,42(2):55-63.
- [89] 车自成,刘洪福,刘良.中天山造山带的形成与演化[M].北京:地质出版社,1994:1-135.
- [90] 董小鹏,张国伟,周鼎武,等.中天山北缘冰达坂蛇绿混杂岩的厘定及其构造意义[J].中国科学(D 辑),2005,35(6):552-560.
- [91] 董小鹏,周鼎武,张国伟,等.中天山北缘干沟蛇绿混杂岩带的地质地球化学[J].岩石学报,2006,22(1):49-56.
- [92] 刘正荣,裴江平,邓东松,等.新疆托克逊新干沟奥陶纪蛇绿岩[J].新疆地质,2005,23(4):326-333.
- [93] 李文铅,董富荣,周汝洪.新疆都善康古尔塔格蛇绿岩的发现及其特征[J].新疆地质,2000,18(2):121-128.
- [94] 李文铅,夏斌,吴国干,等.新班都善康古尔塔格蛇绿岩及其大地构造意义[J].岩石学报,2005,21(6):1617-1632.
- [95] 李文铅,马华东,王冉,等.东天山康古尔塔格蛇绿岩 SHRIMP 年龄、Nd-Sr 同位素特征及构造意义[J].岩石学报,2008,24(4):773-780.
- [96] 郭新成,余元军,徐晟.新疆都善色尔特能蛇绿岩及构造意义[J].新疆地质,2008,26(3):225-230.
- [97] 刘岚国,张建东,赵恒乐.新疆东天山雅满苏东大沟洋壳残片地质特征及年代学讨论[J].西部探矿工程,2016,(6):130-133.
- [98] 蒋宇翔,李文亮,王哲,等.哈密苦水蛇绿混杂岩带岩石化学、年代学特征及地质意义[J].矿产勘查,2014,10(3):445-453.
- [99] 左国朝,张淑玲,何国琦,等.北山地区早古生代板块构造特征[J].地质科学,1990,(4):305-314.
- [100] 何世平,周会武,任秉琛,等.甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J].西北地质,2005,38(3):6-15.
- [101] 龚全胜,刘明强,李海林,等.甘肃北山造山带类型及基本特征[J].西北地质,2002,35(3):28-34.
- [102] 魏志军,黄增保,金霞,等.甘肃红石山地区蛇绿混杂岩地质特征[J].西北地质,2004,37(2):13-18.
- [103] 黄增保,金霞.甘肃北山红石山蛇绿混杂岩带中基性火山岩构造环境分析[J].中国地质,2006,33(5):1030-1037.
- [104] 杨合群,李英,赵国斌,等.北山蛇绿岩特征及构造属性[J].西北地质,2010,43(1):26-36.
- [105] 王国强,李向民,徐学义,等.甘肃北山红石山蛇绿岩锆石 U-Pb 年代学研究及构造意义[J].岩石学报,2014,30(6):1685-1694.
- [106] 舍建忠,杨万志,屈迅,等.东天山大草滩北镁铁超镁铁岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J].矿物岩石地球化学通报,2015,36(1):82-91.
- [107] 潘桂棠,肖庆辉,尹福光,等.中国大地构造图说明书(1:2500000)[M].北京:地质出版社,2015.
- [108] 徐学义,马中平,李向民,等.西南天山吉根地区 P-MORB 残片的发现及其构造意义[J].岩石矿物学杂志,2003,22(2):245-253.
- [109] 王超,刘良,车自成,等.西南天山阔克萨彦岭巴雷公镁铁质岩石的地球化学特征、LA-ICP-MSU-Pb 年龄及其大地构造意义[J].地质论评,2007,53(6):743-754.
- [110] 王莹,黄河,张东阳,等.南天山齐齐哈尔纳克蛇绿混杂岩的 SHRIMP 年龄及其构造意义[J].岩石学报,2012,28(4):1273-1281.
- [111] 王超,刘良,罗金海,等.西南天山阔克萨彦岭地区巴雷公地幔橄榄岩成因及其地质意义[J].地球科学——中国地质大学学报,2008,33(2):165-173.
- [112] 汤耀庆,高俊,赵民.西南天山蛇绿岩和蓝片岩[M].北京:地质出版社,1995.
- [113] 张旗,周国庆.中国蛇绿岩[M].北京:科学出版社,2001.
- [114] 李荣社,陈隽璐,马中平,等.中国西北部造山带中几个古生代俯冲增生楔的识别与确认[J].中国地质调查,2016,3(1):44-51.
- [115] 肖序常,汤耀庆,王军,等.中国南天山造山带蓝片岩及其构造意义[J].地球科学,1994,(3/4):54-64.
- [116] 高俊.西南天山榴辉岩的发现及其大地构造意义[J].科学通报,1997,42(7):737-740.
- [117] 李旭平,张立飞,艾永亮.新疆西天山长阿吾予蛇绿混杂岩中与榴辉岩伴生的异剥钙榴岩的发现及其地质意义[J].自然科学进展,2003,13(7):754-760.
- [118] 王作勋,郎继易,吕喜朝.天山多旋回构造演化及成矿[M].北京:科学出版社,1990:103-128.
- [119] 郝杰,刘小汉.南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义[J].地质科学,1993,28(1):93-95.
- [120] 杨海波,高鹏,李兵,等.新疆西天山达鲁巴依蛇绿岩地质特征[J].新疆地质,2005,23(2):123-126.
- [121] Windley B F, Allen M B, Zhang C, et al. Paleozoic accretion and Cenozoic reformation of the Chinese Tian Shan range, Central Asia[J].Geology,1990,18:128-131.
- [122] 王润三,王焰,李惠民,等.南天山榆树沟高压麻粒岩体锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J].地球化学,1998,27(6):517-522.
- [123] 王润三,王居里,周鼎武,等.南天山榆树沟遭受麻粒岩相变质改

- 造的蛇绿岩套研究[J].地质科学,1999,34(2): 166-176.
- [124] 周鼎武,苏犁,简平,等.南天山榆树沟蛇绿岩地体中高压麻粒岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J].科学通报,2004,49(14): 1411-1415.
- [125] 杨经绥,徐向珍,李天福,等.新疆中天山南缘库米什地区蛇绿岩的锆石 U-Pb 同位素定年早古生代洋盆的证据[J].岩石学报,2011,27(1): 77-95.
- [126] 刘斌,钱一雄.东天山三条高压变质带地质特征和流体作用[J].岩石学报,2003,19(2): 283-296.
- [127] 姜常义,李良辰.榆树沟层状堆积岩的岩石学和地球化学[J].矿物岩石,1990,10(2): 31-36.
- [128] 高俊,汤耀庆,赵民,等.新疆哈尔克山蛇绿岩的形成环境[J].地球科学—中国地质大学学报,1995,20(6): 682-688.
- [129] 董云鹏,周鼎武,张国伟,等.中天山南缘乌瓦门蛇绿岩形成构造环境[J].岩石学报,2005,21(1): 37-44.
- [130] 牛晓露,杨经绥,刘飞,等.新疆中天山南缘乌瓦门地区蛇绿岩中超镁铁岩的成因: 来自岩石矿物学和地球化学的证据[J].中国地质,2015,42(5): 1404-1420.
- [131] 张成立,周鼎武,陆关祥,等.南天山库米什蛇绿混杂岩带中硅质岩的元素地球化学特征及其形成环境[J].岩石学报,2006,22(1): 57-64.
- [132] Gao J, He G, Li M, et al. The mineralogy, petrology, metamorphic PTdt trajectory and exhumation mechanism of blueschists, south Tianshan, northwestern China[J]. Tectonophysics, 1995, 250: 151-168.
- [133] 高俊,汤耀庆,赵民,等.新疆南天山蛇绿岩的地质地球化学特征及形成环境初探[J].岩石学报,1995,11(增刊): 85-97.
- [134] Liu Y. Early Carboniferous radiolarian fauna from Heiyingshan South of the Tianshan Mountains and its geotectonic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(1): 101-108.
- [135] Liu Y, Hao S G. Evolutionary significance of pylenonemid radiolarians and their Late Devonian species from southwestern Tianshan, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 647-655.
- [136] 马中平,夏林圻,徐学义,等.南天山库勒湖蛇绿岩锆石年龄及其地质意义[J].西北大学学报(自然科学版),2007,37(1): 107-110.
- [137] 龙灵利,高俊,熊贤明,等.南天山库勒湖蛇绿岩地球化学特征及其年龄[J].岩石学报,2006,22(1): 65-73.
- [138] 舒良树,王博,朱文斌.南天山蛇绿混杂岩中放射虫化石的时代及其构造意义[J].地质学报,2007,81(9): 1161-1168.
- [139] 刘本培,王自强,张传恒,等.西南天山构造格局与演化[M].武汉: 中国地质大学出版社,1996: 1-120.
- [140] 王学潮,何国琦,李茂松,等.南天山南缘蛇绿岩岩石化学特征及同位素年龄[J].河北地质学院学报,1995,18(4): 295-302.
- [141] 于福生,王春英,漆家福,等.甘新交界红柳河地区早志留世蛇绿混杂岩的厘定及大地构造意义[J].矿物岩石,2000,20(4): 60-66.
- [142] 徐学义,何世平,王洪亮,等.中国西北部地质概论——秦岭、祁连、天山地区[M].北京: 科学出版社,2008.
- [143] 李智佩,王洪亮,陈隽璐,等.中华人民共和国地质图(西北)(1:150万)说明书[M].北京: 地质出版社,2019.
- [144] 任秉琛,何世平,姚文光,等.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,2001,34(2): 21-27.
- [145] 于福生,李金宝,王涛.东天山红柳河地区蛇绿岩 U-Pb 同位素年龄[J].地球学报,2006,27(3): 213-216.
- [146] 张元元,郭召杰.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,2008,24(4): 0803-0809.
- [147] 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,2006,22(1): 95-102.
- [148] 武鹏,王国强,李向民,等.甘肃北山地区牛圈子蛇绿岩的形成时代及地质意义[J].地质通报,2012,31(12): 2032-2037.
- [149] Wang S D, Zhang K X, Song B W, et al. Geochronology and geochemistry of the Niujuanzi ophiolitic mélange, Gansu Province, NW China: implications for tectonic evolution of the Beishan Orogenic Collage[J]. Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch), 2018, 107: 269-289.
- [150] 代文军,谈松.甘肃北山野马街-马鬃山构造带蛇绿岩与相关火山岩性质及构造意义[J].新疆地质,2008,26(3): 305-313.
- [151] Wang J X, Zhang K X, Windley B F, et al. A mid-Palaeozoic ocean-continent transition in the Mazongshan subduction-accretion complex, Beishan, NW China: new structural, chemical and age data constrain the petrogenesis and tectonic evolution [J]. Geological Magazine, 2020. <https://doi.org/10.1017/S0016756820000114>.
- [152] 李向民,余吉远,王国强,等.甘肃北山地区芨芨台子蛇绿岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J].地质通报,2012,31(12): 2025-2031.
- [153] 李春昱,王荃,刘雪亚,等.亚洲大地构造图说明书[M].北京: 地图出版社,1982.
- [154] Liou J G, Graham S A, Maruyama S, et al. Proterozoic blueschist belt in western China: Best documented Precambrian blueschists in the world[J]. Geology, 1989, 17: 1127-1131.
- [155] 高振家,陈晋铤,陆松年,等.新疆北部前寒武系[C]//地质矿产部《前寒武纪地质》编辑委员会编,前寒武纪地质(第6号).北京: 地质出版社,1993: 1-171.
- [156] Liou J G, Graham S A, Maruyama S, et al. Characteristics and tectonic significance of the Late Proterozoic Aksu blueschists and diabasic dikes, Northwest Xinjiang, China[J]. International Geological Review, 1996, 38: 228-244.
- [157] 张健,张传林,李怀坤,等.再论塔里木北缘阿克苏蓝片岩的时代和成因环境: 来自锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素的新证据[J].岩石学报,2014,30(11): 3357-3365.
- [158] 郑碧海,朱文斌,舒良树.阿克苏前寒武纪蓝片岩原岩产出的大地构造背景[J].岩石学报,2008,24(12): 2839-2848.
- [159] 舒良树,朱文斌,王博,等.新疆古块体的形成与演化[J].中国地质,2013,40(1): 43-60.
- [160] Zheng B H, Zhu W B, Jahn B M, et al. Subducted Precambrian oceanic crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from metabasalts of the Aksu blueschist, NW China [J]. Journal of the Geological Society, London, 2010, 167: 1161-1170.
- [161] Nakajima T, Maruyama S, Uchiumi S, et al. Evidence for late Proterozoic subduction from 700-Myr-old blueschists in China[J]. Nature, 1990, 346: 263-265.
- [162] 余吉远,李向民,王国强,等.甘肃北山地区辉铜山和帐房山蛇绿岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J].地质通报,2012,31(12): 2034-2045.

- [163] 杨合群,李英,李文明,等.北山成矿构造背景概论田[J].西北地质,2008,41(1): 22-28.
- [164] 武永平,葛桂平,钟长汀,等.阿尔金红柳沟斜长角闪岩的形成时代及其地球化学特征[J].地质调查与研究,2007,30(2): 81-89.
- [165] 杨子江,马华东,王宗秀,等.阿尔金山北缘冰沟蛇绿混杂岩中辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J].岩石学报,2012,28(7): 2269-2276.
- [166] 刘良.阿尔金高压变质岩与蛇绿岩及其大地构造意义[D].中国科学院地质与地球物理研究所博士学位论文,1999: 1-70.
- [167] 车自成,刘良,罗金海.中国及其邻区区域大地构造学[M].北京: 科学出版社,2002: 207-369.
- [168] 修业群,于海峰,刘永顺,等.阿尔金北缘枕状玄武岩的地质特征及其锆石 U-Pb 年龄[J].地质学报,2007,81(6): 787-794.
- [169] 杨经绥,史仁灯,吴才来,等.北阿尔金地区米兰红柳沟蛇绿岩的岩石学特征和 SHRIMP 定年[J].岩石学报,2008,24(7): 1567-1584.
- [170] 高晓锋,校培喜,过磊,等.北阿尔金地区早古生代有限洋盆开启时限: 来自斜长花岗岩的证据[J].中国科学: 地球科学,2012,42(3): 359-368.
- [171] 盖永升,刘良,康磊,等.北阿尔金蛇绿混杂岩带中斜长花岗岩的成因及其地质意义[J].岩石学报,2015,31(9): 2549-2965.
- [172] 曹福根,董富荣.阿尔金北缘沟口泉古元古代蛇绿混杂岩(绿岩)地质特征及意义[J].西北地质,2014,47(4): 47-60.
- [173] 张志诚,郭召杰,宋彪.阿尔金山北缘蛇绿混杂岩中辉长岩锆石 SHRIMP-U-Pb 定年及其地质意义[J].岩石学报,2009,25(3): 568-576.
- [174] 郭召杰,张志诚,王建君.阿尔金山北缘蛇绿岩带的 Sm-Nd 等时线年龄及其大地构造意义[J].科学通报,1998,43(18): 1981-1984.
- [175] 王军,李小强,梁宏宏,等.阿尔金山东段阿克塞蛇绿岩地质地球化学特征及形成时代[J].地质通报,2018,37(4): 559-569.
- [176] 郝杰,王二七,刘小汉,等.阿尔金山脉中金雁山早古生代碰撞造山带: 弧岩浆岩的确定与岩体锆石 U-Pb 和蛇绿混杂岩<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年代学研究的证据[J].岩石学报,2006,22(11): 2743-2752.
- [177] 张建新,孟繁聪,于胜尧,等.北阿尔金 HP/LT 蓝片岩和榴辉岩的 Ar-Ar 年代学及其区域构造意义[J].中国地质,2007,34(4): 558-564.
- [178] 杨经绥,吴才来,史仁灯.阿尔金山米兰红柳沟的席状岩墙群: 海底扩张的重要证据[J].地质通报,2002,21(2): 69-74.
- [179] 吴峻,兰朝利,李继亮,等.阿尔金红柳沟蛇绿混杂岩中 MORB 与 OIB 组合的地球化学证据[J].岩石矿物学杂志,2002,21(1): 24-30.
- [180] 王焰,刘良,车自成等.阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的地球化学特征[J].地质论评,1999,45(增刊): 1010-1014.
- [181] 马中平,李向民,孙吉明,等.阿尔金山南缘长沙沟镁铁-超镁铁质层状杂岩体的发现与地质意义——岩石学和地球化学初步研究[J].岩石学报,2009,25(4): 793-804.
- [182] 何国琦,李茂松,刘德权,等.中国新疆古生代地壳演化及成矿[M].乌鲁木齐: 新疆人民出版社,1994: 43-47.
- [183] 刘良,车自成,王焰,等.阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的 Sm-Nd 等时线年龄证据[J].科学通报,1998,43(8): 880-883.
- [184] 邓瑞林,马铁球,柏道远.新疆木纳布拉克蛇绿岩地球化学特征及形成构造背景分析[J].沉积与特提斯地质,2005,25(3): 94-100.
- [185] 解玉月.昆中断裂东段不同时代蛇绿岩特征及形成环境[J].青海地质,1998,(1): 27-35.
- [186] 康磊,刘良,曹玉亭,等.南阿尔金西段镁铁-超镁铁质岩石的成因: 来自岩石地球化学特征和锆石 U-Pb 定年的约束[C]//2012年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要,2012,9: 376-377.
- [187] 李向民,马中平,孙吉明,等.阿尔金断裂南缘约马克其镁铁-超镁铁岩的性质和年代学研究[J].岩石学报,2009,25(4): 862-872.
- [188] 马中平,李向民,徐学义,等.南阿尔金山清水泉镁铁-超镁铁质侵入体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年及其意义[J].中国地质,2011,38(4): 1071-1078.
- [189] 郭金城,徐旭明,陈海燕,等.新疆阿尔金长沙沟超镁铁质岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].西北地质,2014,52(4): 170-177.
- [190] 董增产,校培喜,奚仁刚,等.阿尔金山南缘构造混杂岩带中角闪辉长岩地球化学特征及同位素测年[J].地质论评,2011,57(2): 207-215.
- [191] Liu L, Zhang A D, Chen D L, et al. Implications based on LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of eclogite and its countryrock from Jianggalesayi area, Altyn Tagh[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14: 98-107.
- [192] Liu L, Wang C, Chen D L, et al. Petrology and geochronology of HP-UHP rocks from the south Altyn Tagh, northwestern China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 35: 232-244.
- [193] 张建新,张泽明,许志琴,等.阿尔金构造带西段榴辉岩的 Sm-Nd 及 U-Pb 年龄——阿尔金构造带中加里东期山根存在的证据[J].科学通报,1999,44(10): 1109-1112.
- [194] Zhang J X, Mattinson C G, Meng F C, et al. An Early Palaeozoic HP/HT granulite-garnet peridotite association in the south Altyn Tagh, NW China: P-T history and U-Pb geochronology[J]. J. Metamorphic Geol., 2005, 23: 491-510.
- [195] 李荣社,计文化,杨永成等.昆仑山及邻区地质[M].北京: 地质出版社,2008.
- [196] 曹玉亭,刘良,王超.南阿尔金木纳布拉克地区长城系巴什库勒干岩群 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J].地质通报,2015,34(8): 1447-1459.
- [197] 康磊,校培喜,高晓峰,等.阿尔金山南缘早古生代岩浆作用及碰撞造山过程[J].地质学报,2016,90(10): 2527-2550.
- [198] Wang C, Liu L, Xiao P X, et al. Geochemical and geochronologic constraints for Paleozoic magmatism related to the orogenic collapse in the Qimantagh-South Altynregion, northwestern China[J]. Lithos, 2014, 202/203: 1-20.
- [199] 冯益民,何世平.北祁连蛇绿岩的地质地球化学研究[J].岩石学报,1995,11(增刊): 125-146.
- [200] 张旗,孙晓猛,周德进.祁连山蛇绿岩的特征、形成环境构造意义[J].地球科学进展,1997,12(4): 366-393.
- [201] 钱青,张旗,孙晓猛.北祁连九个泉玄武岩的形成环境及地幔源区特征: 微量元素和 Nd 同位素地球化学制约[J].岩石学报,2001,17(3): 385-394.
- [202] 钱青,张旗,孙晓猛,等.北祁连老虎山玄武岩和硅岩的地球化学特征及形成环境[J].地质科学,2001,36(4): 444-453.
- [203] 夏小洪,宋述光.北祁连山肃南九个泉蛇绿岩形成年龄和构造环境[J].科学通报,2010,55(15): 1465-1473.
- [204] Song S G, Niu Y L, Su L, et al. Tectonics of the North Qilian

- orogen, NW China[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23(4): 1378-1401.
- [205] 罗增智. 北祁连冷龙岭蛇绿岩地质地球化学特征及构造意义[J]. *西北地质*, 2015, 48(1): 47-55.
- [206] 宋述光, 吴珍珠, 杨立明, 等. 祁连山蛇绿岩带和原特提斯洋演化[J]. *岩石学报*, 2019, 35(10): 2948-2970.
- [207] 宋忠宝, 李文渊, 李怀坤, 等. 北祁连山石居里辉长岩的同位素年龄及其地质意义[J]. *地球学报*, 2007, 28(1): 7-10.
- [208] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连海相火山岩成因[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 74-129.
- [209] 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 北祁连构造-火山岩浆-成矿动力学[M]. 北京: 中国大地出版社, 2001.
- [210] Xia L Q, Xia Z C, Xu X Y. Magmagenesis in the Ordovician backarc basins of the northern Qilian Mountains, China [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2003, 115(12): 1510-1522.
- [211] 王永和, 焦养泉, 李建星. 北祁连早古生代香毛山混杂岩的有关问题[J]. *地层学杂志*, 2007, 31(4): 368-3375.
- [212] 黄增保, 许荣科, 张彦杰, 等. 甘肃玉门昌马地区蛇绿混杂岩地质特征[J]. *甘肃地质学报*, 2001, 10(2): 12-22.
- [213] 边鹏, 沙鑫, 马骊, 等. 北祁连西段卡瓦蛇绿岩的发现及其构造意义[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2016, 52(1): 142-144.
- [214] 孟繁聪, 张建新, 郭春满, 等. 大盆大坂 MOR 型和 SSZ 型蛇绿岩对北祁连洋演化的制约[J]. *岩石矿物学杂志*, 2010, 29(5): 453-466.
- [215] Xia X H, Song S G, Niu Y L. Tholeiite-boninite terrane in the North Qilian suture zone: Implications for subduction initiation and back-arc basin development[J]. *Chemical Geology*, 2012, 328: 259-277.
- [216] 肖序常, 陈国铭, 朱志直. 祁连山古蛇绿岩带的地质构造意义[J]. *地质学报*, 1978, 52(4): 287-295.
- [217] Song S G, Su L. Rheological properties of mantle peridotites at Yushigou in the North Qilian Mountains and their implications for plate dynamics[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1998, 72(2): 131-141.
- [218] 张招崇, 周美付, Paul Trobinon, 等. 北祁连山西段熬油沟蛇绿岩 SHRIMP 分析结果及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17(2): 222-226.
- [219] 曾建元, 杨怀仁, 杨宏仪, 等. 北祁连东草河蛇绿岩: 一个早古生代的洋壳残片[J]. *科学通报*, 2007, 52(7): 835-835.
- [220] 武鹏, 李向民, 徐学义, 等. 北祁连山扎麻什地区东沟蛇绿岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地球化学特征[J]. *地质通报*, 2012, 31(6): 896-906.
- [221] 夏林圻, 夏祖春, 赵江天, 等. 北祁连西段元古宙大陆溢流玄武岩性质的确定[J]. *中国科学(D 辑)*, 2000, 30(1): 1-8.
- [222] 相振群, 陆松年, 李怀坤, 等. 北祁连西段熬油沟辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义[J]. *地质通报*, 2007, 26(12): 1686-1691.
- [223] 夏小洪, 孙楠, 宋述光, 等. 北祁连西段熬油沟-二只哈拉达坂蛇绿岩的形成环境和时代[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2012, 48(5): 757-769.
- [224] 闫巧娟. 甘肃省肃南县熬油沟火山岩地质地球化学和年代学研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2014: 1-60.
- [225] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山构造-火山岩浆演化动力学[J]. *西北地质科学*, 1995, 16(1): 1-28.
- [226] 史仁灯, 杨经绥, 吴才来, 等. 北祁连玉石沟蛇绿岩形成于晚震旦世的 SHRIMP 年龄证据[J]. *地质学报*, 2004, 78(5): 649-657.
- [227] 吴少锋, 何存发, 张海青, 等. 北祁连西段玉石沟辉长岩岩石特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *中国铀业*, 2018, 36(5): 137-150.
- [228] 宋泰忠, 刘建栋, 李杰, 等. 北祁连柏木峡地区辉长岩、玄武岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *西北地质*, 2016, 49(4): 32-42.
- [229] 黄增宝, 张有奎, 吕菊蕊, 等. 北祁连水洞峡蛇绿岩地球化学特征及构造环境[J]. *甘肃地质*, 2010, 19(2): 1-7.
- [230] 韩奎, 刘凯, 罗金海, 等. 北祁连造山带东段查巴峡早寒武世蛇绿混杂岩带的确定及其构造意义[J]. *地质通报*, 2019, 38(2/3): 295-307.
- [231] 李冰, 张耀玲, 王超群, 等. 北祁连缝合带油葫芦沟玄武岩地球化学特征[J]. *地质力学学报*, 2016, 22(1): 48-55.
- [232] Song S G, Yang L M, Zhang Y Q, et al. Qi-Qin accretionary belt in Central China Orogen: Accretion by trench jam of oceanic plateau and formation of intra-oceanic arc in the Early Paleozoic Qin-Qi-Kun Ocean[J]. *Science Bulletin*, 2017, 62(15): 1035-1038.
- [233] 甘肃省地质调查院. 甘肃省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 2020(第五篇): 1-68.
- [234] Yan Z, Fu C L, Jonathan C. Aitchison, et al. Early Cambrian Muli arc-ophiolite complex: a relic of the Proto-Tethys oceanic lithosphere in the Qilian Orogen, NW China[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2019, 108: 1147-1164.
- [235] 付长奎, 闫臻. 拉脊山蛇绿混杂带结构组成、形成时代与形成过程[J]. *地球学报*, 2017, 38(S1): 29-32.
- [236] 张国伟. 秦岭造山带的形成与演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1988.
- [237] 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构与构造[J]. *中国科学(D 辑)*, 1995, 25(9): 994-1003.
- [238] 徐学义, 陈隽璐, 张二朋, 等. 秦岭及邻区地质图(1: 500000)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2015: 1-82.
- [239] 李王晔, 李曙光. 西秦岭和东昆仑早古生代岩浆事件的锆石 SHRIMP U-Pb 定年[C]//2005 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要, 2005: 398-400.
- [240] 裴先治, 丁仁平, 李佐臣, 等. 西秦岭北缘关子镇蛇绿岩的形成时代: 来自辉长岩中 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的证据[J]. *地质学报*, 2007, 81(11): 1550-1561.
- [241] 杨钊, 董云鹏, 柳小明, 等. 西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年[J]. *地质通报*, 2006, 25(11): 1321-1325.
- [242] 李王晔, 李曙光, 裴先治, 等. 西秦岭关子镇蛇绿混杂岩的地球化学和锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. *岩石学报*, 2007, 23(11): 2836-2844.
- [243] 杨立明, 宋述光, 苏犁, 等. 天水地区李子园高压麻粒岩的发现: 西秦岭晚泥盆纪造山的证据[J]. *岩石学报*, 2018, 34(8): 2425-2540.
- [244] 张志国, 陈隽璐, 徐学义, 等. 木其滩岩组形成时代、地球化学特征——对北秦岭构造演化的制约[J]. 2011, 27(3): 757-769.
- [245] 刘成军, 裴先治, 李佐臣, 等. 天水细尾子沟镁铁-超镁铁质岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄、岩石地球化学特征及其构造意义[J]. *地质论评*, 2015, 61(3): 547-559.
- [246] 董云鹏, 张国伟, 杨钊, 等. 西秦岭玉山 E-MORB 型蛇绿岩及相关火山岩地球化学[J]. *中国科学(D 辑)*, 2007, 37(增刊): 199-208.
- [247] 陈隽璐, 徐学义, 王宗起, 等. 西秦岭太白地区岩湾-鹤鹑咀蛇绿混杂岩的地质特征及形成时代[J]. *地质通报*, 2008, 27(4): 500-509.

- [248] 李源, 杨经绥, 裴先治, 等. 秦岭造山带早古生代蛇绿岩的多阶段演化: 从岛弧到弧间盆地[J]. 岩石学报, 2012, 28(6): 1896-1909.
- [249] 张秋生, 朱永正. 东秦岭古生代蛇绿岩套[J]. 长春地质学院学报, 1984, (3): 1-13.
- [250] 周鼎武, 张泽军, 董云鹏, 等. 东秦岭商南松树沟元古宙蛇绿岩片的地质地球化学特征[J]. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 154-164.
- [251] 裴先治, 张维吉, 王全庆, 等. 东秦岭松树沟蛇绿岩的形成环境探讨[J]. 西安地质学院学报, 1996, 18(3): 1-7.
- [252] 董云鹏, 周鼎武, 张国伟. 东秦岭松树沟蛇绿岩中超镁铁质岩及铬铁矿的成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 1996, 11(1): 33-43.
- [253] 陆松年, 陈志宏, 李怀坤, 等. 秦岭造山带中—新元古代(早期)地质演化[J]. 地质通报, 2004, 23(2): 102-112.
- [254] 董云鹏, 周鼎武, 刘良. 东秦岭松树沟蛇绿岩 Sm-Nd 同位素年龄的地质意义[J]. 中国区域地质, 1997, 16(2): 217-221.
- [255] 李曙光, 陈移之, 张国伟, 等. 一个距今 10 亿年侵位的阿尔卑斯型橄榄岩体: 北秦岭晚元古代板块构造体制的证据[J]. 地质论评, 1991, 37(3): 235-242.
- [256] 刘良, 廖小莹, 张成立, 等. 北秦岭高压—超高压岩石的多期变质时代及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(5): 1634-1656.
- [257] 李晔, 周汉文, 钟增球, 等. 北秦岭早古生代两期变质作用: 来自松树沟基性岩岩石学及锆石 U-Pb 年代学的记录[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2012, 37(增刊): 111-124.
- [258] 钱加慧, 杨秀清, 刘良, 等. 北秦岭松树沟榴闪岩锆石 U-Pb 定年、矿物包裹体和 Lu-Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(9): 3087-3098.
- [259] 陈丹玲, 刘良, 孙勇, 等. 北秦岭松树沟高压基性麻粒岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 科学通报, 2004, 49(18): 1901-1908.
- [260] Diwu C R, Long X P. Tectonic evolution of the North Qinling Orogenic Belt, Central China: Insights from metamorphic rocks of the Songshugou Complex[J]. Geological Journal, 2019, 54: 2382-2399.
- [261] 王毅智, 拜永山, 陆海莲. 青海天峻南山蛇绿岩的地质特征及其形成环境[J]. 青海地质, 2001, (1): 29-35.
- [262] 郭安林, 张国伟, 强娟, 等. 青藏高原东北缘印支期宗务隆造山带[J]. 岩石学报, 2009, 25(1): 1-12.
- [263] 张克信, 朱云海, 林启祥, 等. 青海同仁县隆务峡地区首次发现镁铁质—超镁铁质岩带[J]. 地质通报, 2007, 26(6): 661-667.
- [264] 王绘清, 朱云海, 林启祥, 等. 西秦岭同仁隆务峡蛇绿岩矿物成分特征及构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2009, 28(4): 316-328.
- [265] 王绘清, 朱云海, 林启祥, 等. 青海尖扎—同仁地区隆务峡蛇绿岩的形成时代及意义——来自辉长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄的证据[J]. 地质通报, 2010, 29(1): 86-92.
- [266] 赖绍聪, 邓晋福, 赵海玲, 等. 柴达木北缘古生代蛇绿岩及其构造意义[J]. 现代地质, 1996, 10(1): 18-28.
- [267] 王惠初, 陆松年, 袁桂邦, 等. 柴达木盆地北缘滩间山群的构造属性及形成时代[J]. 地质通报, 2003, 22(7): 487-493.
- [268] 杨经绥, 史仁灯, 吴才来, 等. 柴达木盆地北缘新元古代蛇绿岩的厘定——罗迪尼亚大陆裂解的证据[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 892-898.
- [269] 朱小辉, 陈丹玲, 刘良, 等. 柴北缘绿梁山地区早古生代弧后盆地型蛇绿岩的年代学、地球化学及大地构造意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(3): 822-834.
- [270] 李建兵, 孟军海, 万世昌. 柴北缘阿木尼克山北坡蛇绿混杂岩的发现及地质意义[J]. 新疆地质, 2018, 36(3): 386-392.
- [271] 袁桂邦, 王惠初, 李惠民, 等. 柴北缘绿梁山地区辉长岩的锆石 U-Pb 年龄及其意义[J]. 前寒武纪研究进展, 2002, 25(1): 36-40.
- [272] 朱小辉, 陈丹玲, 刘良, 等. 柴北缘锡铁山地区镁铁质岩石的时代及地球化学特征[J]. 地质通报, 2012, 31(12): 2079-2089.
- [273] Zhang G B, Song S G, Zhang L F. The subducted oceanic crust within continental-type UHP metamorphic belt in the North Qaidam, NW China: Evidence from petrology, geochemistry and geochronology[J]. Lithos, 2008, 104: 99-118.
- [274] Song S G, Yang J S, Liu J G, et al. Petrology, geochemistry and isotopic ages of eclogites from the Dulan UHPM terrane, the North Qaidam, NW China[J]. Lithos, 2003, 70: 195-211.
- [275] 杨经绥, 张建新, 孟繁聪, 等. 中国西部柴北缘—阿尔金的超高压变质榴辉岩及其原岩性质探讨[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 291-314.
- [276] 孟繁聪, 张建新, 杨经绥, 等. 柴北缘锡铁山榴辉岩的地球化学特征[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 435-442.
- [277] 王惠初, 陆松年, 莫宣学, 等. 柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山系统[J]. 地质通报, 2005, 24(7): 603-612.
- [278] 张贵宾, 宋述光, 张立飞, 等. 柴北缘超高压变质带沙柳河蛇绿岩型地幔橄榄岩的发现及其意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(4): 1049-1058.
- [279] 张贵宾, 张立飞. 柴北缘沙柳河地区洋壳超高压变质单元中的异剥钙榴岩的发现及其地质意义[J]. 地学前缘, 2011, 18(2): 151-157.
- [280] Zhang G B, Zhang L F, Song S G. UHP metamorphic evolution and SHRIMP geochronology of acoesite-bearing meta-ophiolitic gabbro in the North Qaidam, NW China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 35: 310-322.
- [281] Zhang J X, Yang J S, Mattinson C G, et al. Two contrasting eclogite cooling histories, North Qaidam HP/UHP terrane, western China: Petrological and isotopic constraints[J]. Lithos, 2005, 84: 51-76.
- [282] Zhang J X, Mattinson C G, Yu S Y, et al. U-Pb zircon geochronology of coesite-bearing eclogites from the southern Dulan area of the North Qaidam UHP terrane, northwestern China: spatially and temporally extensive UHP metamorphism during continental subduction[J]. Journal of Metamorphic Geology, 2010, 28: 955-978.
- [283] 张建新, 孟繁聪, 于胜尧, 等. 柴北缘绿梁山高压基性麻粒岩的变质演化历史: 岩石学及锆石 SHRIMP 年代学证据[J]. 地学前缘, 2007, 14(1): 85-97.
- [284] 宋述光, 张聪, 李献华, 等. 柴北缘超高压带中锡铁山榴辉岩的变质时代[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 1191-97.
- [285] Chen D L, Liu L, Sun Y, et al. Geochemistry and zircon U-Pb dating and its implications of the Yukahe HP/UHP terrane, the North Qaidam, NW China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 35(3/4): 259-272.
- [286] Song S C, Su L, Li X H, et al. Tracing the 850Ma continental flood basalts from a piece of subducted continental crust in the North Qaidam UHPM belt, NW China[J]. Precambrian Research, 2010, 183(4): 805-816.
- [287] 杨金中, 沈超远, 李光明, 等. 新疆东昆仑鸭子泉蛇绿岩的基本特



- 征及其大地构造意义[J].现代地质,1999,13(3):309-314.
- [288] 张斌,孙新春,郭兵,等.新疆东昆仑地区鸭子泉-鸭子达坂构造混杂岩的地质特征及其意义[J].西北地质,2014,47(4):95-104.
- [289] 陈隽璐,黎敦朋,李新林,等.东昆仑祁漫塔格山南缘黑山蛇绿岩的发现及其特征[J].陕西地质,2004,22(2):35-46.
- [290] 宋泰忠,赵海霞,张维宽,等.祁漫塔格地区十字沟蛇绿岩地质特征[J].西北地质,2010,43(4):124-133.
- [291] 王向利,高小平,刘幼骥,等.东昆仑西段黑山构造蛇绿岩带特征[J].西北地质,2010,43(4):218-231.
- [292] 于森,丰成友,何书跃,等.祁漫塔格造山带——青藏高原北部地壳演化窥探[J].地质学报,2017,91(4):703-723.
- [293] 崔美慧.新疆祁漫塔格鸭子泉中基性火成岩及硅质岩成因[D].中国地质科学院硕士学位论文,2012:1-81.
- [294] 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].地质前缘,2016,23(6):1-7.
- [295] 黄朝阳,王核,刘建平,等.西昆仑柯岗蛇绿岩地质地球化学特征及构造意义[J].地球化学,2014,43(6):592-601.
- [296] 韩芳林.西昆仑其曼于特蛇绿混杂岩带及地质意义[D].中国地质大学(北京)博士学位论文,2003.
- [297] 张传林,于海锋,沈家林,等.西昆仑库地伟晶辉长岩和玄武岩锆石 SHRIMP 年龄:库地蛇绿岩的解体[J].地质论评,2004,50(6):639-643.
- [298] 邓万明.喀喇昆仑—西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构造意义[J].岩石学报,1995,11(增刊):98-111.
- [299] 方爱民,李继亮,储著银.西昆仑库地蛇绿岩中基性火山岩的 Sm-Nd 等时线年龄[J].地质科学,2010,45(1):113-121.
- [300] 尹得功,郑玉壮,弓小平,等.西昆仑库地岩组地质特征及形成时代[J].新疆地质,2013,31(4):281-286.
- [301] 杨军,蔡柯柯,赵志强,等.西昆仑库地蛇绿岩的成因及构造意义[J].沉积与特提斯地质,2016,35(2):88-96.
- [302] 郭远新,王芳.西昆仑东段尼沙-奥木夏蛇绿混杂岩物质组成与构造环境[J].西北地质,2019,52(3):14-25.
- [303] 周辉,李继亮,侯泉林,等.西昆仑库地蛇绿混杂带中早古生代放射虫的发现及其意义[J].科学通报,1998,43(22):2448-2451.
- [304] 肖序常,王军,苏犁,等.再论西昆仑库地蛇绿岩及其构造意义[J].地质通报,2003,22(10):745-750.
- [305] 李天福,张建新.西昆仑库地蛇绿岩的二辉辉石岩和玄武岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其意义[J].岩石学报,2014,30(8):2390-2401.
- [306] 白春东,专少鹏,王金贵,等.西昆仑库地北依沙克群玄武岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义[J].地质论评,2018,64(2):498-508.
- [307] 计文化,简新望,王巨川,等.西昆仑苏巴什蛇绿混杂岩带组成特征及其地质意义[J].陕西地质,2001,19(2):40-47.
- [308] 计文化,韩芳林,王炬川,等.西昆仑于田南部苏巴什蛇绿混杂岩的组成、地球化学特征及地质意义[J].地质通报,2004,23(12):1196-1201.
- [309] 方爱民,李继亮,侯泉林,等.新疆西昆仑“依沙克群”中的放射虫组合及其形成时代探讨[J].地质科学,2000,(2):212-218.
- [310] 李博秦,姚建新,王炬川,等.西昆仑柳什塔格峰西侧火山岩的特征、时代及地质意义[J].岩石学报,2007,23(11):2801-2810.
- [311] 朱志直,赵民,郑健康.东昆仑中段“纳赤台群”的解体与万保沟群的建立[C]//青藏高原地质文集(16).北京:地质出版社,1985:1-14.
- [312] 朱云海,张克信, Pan Y M, 等.东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义[J].地球科学——中国地质大学学报,1999,24(2):134-138.
- [313] 朱云海,王国灿,贾春兴,等.东昆仑造山带诺木洪郭勒早古生代火山活动[J].地球科学,2003,28(6):606-614.
- [314] 朱云海,林启祥,贾春兴,等.东昆仑造山带早古生代火山岩锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J].中国科学(D 辑),2005,35(12):1112-1119.
- [315] Yang J S, Robinson P T, Jiang C F. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications [J]. Tectonophysics, 1996,258: 215-231.
- [316] 吴峻,兰朝利,李继亮,等.新疆东昆仑阿其克库勒湖西缘地区蛇绿岩的确证[J].地质科技情报,2001,20(3):6-10.
- [317] 陆松年.青藏高原北部前寒武纪地质初探[M].北京:地质出版社,2002:1-125.
- [318] 李怀坤,陆松年,王惠初,等.青海柴北缘新元古代超大陆裂解的地质记录——全吉群[J].地质调查与研究,2003,26(1):27-37.
- [319] 冯建赞,裴先治,于书伦,等.东昆仑都兰可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩的发现及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J].中国地质,2010,37(1):28-38.
- [320] Li R B, Pei X Z, Li Z C, et al. Geochemical Features, Age, and Tectonic Significance of the Kekekete Mafic-ultramafic Rocks, East Kunlun Orogen, China [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2013,87(5):1319-1333.
- [321] 校培喜,高晓峰,胡云绪,等.阿尔金东昆仑西段成矿地质背景图及说明书[M].北京:地质出版社,2014:1-261.
- [322] 魏博.东昆中构造带(东段)蛇绿岩与岛弧型侵入岩地质特征及构造属性研究[D].长安大学硕士学位论文,2015:1-132.
- [323] 桑继镇,裴先治,李瑞保,等.东昆仑东段清水泉辉长岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J].地质通报,2016,35(5):700-710.
- [324] 祁晓鹏,杨杰,范显刚,等.东昆仑东段东昆中构造混杂岩带长石山蛇绿岩年代学、地球化学特征及其构造意义[J].中国地质,2016,43(3):797-816.
- [325] 王国良,刘建栋,杨雪松,等.东昆仑没草沟蛇绿岩地球化学、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质通报,2019,38(4):573-591.
- [326] 郑健康.东昆仑区域构造的发展演化[J].青海地质,1992,(1):15-25.
- [327] 兰朝利,李继亮,何顺利.新疆东昆仑阿其克库勒湖西南缘蛇绿岩——铬铁矿证据及其构造环境探讨[J].地质与勘探,2005,41(1):38-42.
- [328] 路晓平,李兆营,刘卫东,等.东昆仑乌妥一带超镁铁质岩-镁铁质岩地质特征及构造环境[J].山东国土资源,2014,30(9):16-24.
- [329] 郝杰,刘小汉,王二七,等.新疆东昆仑阿其克湖蛇绿岩的确定——来自岩石地球化学研究的证据[J].自然科学进展,2005,15(9):1070-1079.
- [330] 李怀坤,陆松年,相振群,等.东昆仑中部缝合带清水泉麻粒岩锆

- 石 SHRIMP-U-Pb 年代学研究[J]. 地学前缘, 2010, 13(6): 311-321.
- [331] 杨有生, 陈邦学, 朱志新, 等. 新疆东昆仑阿克苏库勒蛇绿岩地球化学特征和形成时限——来自辉长岩岩墙和枕状玄武岩的证据[J]. 地质通报, 2018, 37(2/3): 369-381.
- [332] 兰朝利, 吴峻, 李继亮等. 木孜塔格蛇绿岩时代的初步确定及其与邻区古特提斯(paleotethys)关系探讨[J]. 自然科学进展, 2001, 11(3): 256-260.
- [333] 李卫东, 彭湘萍, 康正文等. 东昆仑木孜塔格地区畅流沟蛇绿岩岩石地球化学特征及其构造意义[J]. 新疆地质, 2003, 21(3): 263-268.
- [334] 张克信, 林启祥, 朱云海, 等. 东昆仑东段混杂岩建造时代厘定的古生物新证据及其大地构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 2004, 34(3): 210-218.
- [335] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-188.
- [336] 陈亮, 孙勇, 裴先治等. 德尔尼蛇绿岩<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄: 青藏最北端古特提斯洋盆存在和延展的证据[J]. 科学通报, 2001, 46(5): 424-426.
- [337] 杨经绥, 王希斌, 史仁灯, 等. 青藏高原北部东昆仑南缘德尔尼蛇绿岩: 一个被肢解了的古特提斯洋壳[J]. 中国地质, 2004, 31(3): 225-239.
- [338] 边千韬, 罗小全, 李红生等. 阿尼玛卿山早古生代和早石炭—早二叠世蛇绿岩的发现[J]. 地质科学, 1999, 34(4): 523-524.
- [339] 刘战庆, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山地区二期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义[J]. 地质学报, 2011, 85(2): 185-194.
- [340] 张祥信, 陈必河, 马宝军. 东昆仑可支塔格蛇绿混杂岩的地质地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学[J], 2009, 33(2): 313-319.
- [341] 吴峻, 兰朝利, 李继亮. 东昆仑山木孜塔格蛇绿混杂岩中火山岩的地球化学特征及构造环境[J]. 地质通报, 2005, 24(12): 1157-1162.
- [342] 郭安林, 张国伟, 孙廷贵, 等. 阿尼玛卿蛇绿岩带 OIB 和 MORB 的地球化学及空间分布特征: 玛积雪山古洋脊热点构造证据[J]. 中国科学(D 辑), 2006, 36(7): 618-629.
- [343] 陈亮, 孙勇, 柳小明, 等. 青海德尔尼蛇绿岩的地球化学特征及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 2000, 16(1): 106-110.
- [344] 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 等. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系[J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 24(5): 369-380.
- [345] 边千韬, 尹磊明, 孙淑芬, 等. 东昆仑布青山蛇绿混杂岩中发现奥陶纪疑源类[J]. 科学通报, 2001, 46(2): 167-171.
- [346] 边千韬, 罗小全, 李涤微, 等. 青海省阿尼玛卿布青山蛇绿混杂岩的地球化学性质及形成环境[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 45-55.
- [347] Bian Q T, Li D H, Pospelove I, et al. Age, geochemistry and tectonic setting of Buqingshan ophiolites, North Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. Journal of Asian Geology, 2004, 23: 577-596.
- [348] 胡楠, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘布青山得力斯坦地区马尔组物源分析及其构造背景研究[J]. 地质学报, 2013, 87(11): 1731-1747.
- [349] 李佐臣, 裴先治, 刘战庆, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带哥日卓托冈长岩体年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2013, 87(8): 1089-1103.
- [350] 李瑞保, 裴先治, 李佐臣, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂带哥日卓托冈玄武岩地球化学特征及构造意义[J]. 地学前缘, 2014, 21(1): 183-195.
- [351] 李瑞保, 裴先治, 李佐臣, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂带得力斯坦 MOR 型玄武岩地质、地球化学特征及岩石成因[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2015, 40(7): 1148-1162.
- [352] 裴先治, 李瑞保, 李佐臣, 等. 东昆仑南缘布青山复合增生型构造混杂岩带组成特征及其形成演化过程[J]. 地球科学, 2018, 43(12): 4498-4520.
- [353] 边千韬, 罗小全, 陈海泓, 等. 阿尼玛卿蛇绿岩带花岗岩-英云闪长岩锆石 U-Pb 同位素定年及大地构造意义[J]. 地质科学, 1999, 34(4): 420-426.
- [354] 张国伟, 董云鹏, 姚安平, 等. 秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化[J]. 陕西地质, 1997, 15(2): 1-13.
- [355] 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 等. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(12): 1121-1135.
- [356] 董云鹏, 周鼎武, 张国伟, 等. 南秦岭造山带南缘早古生代基性火山岩地球化学特征及其大地构造意义[J]. 地球化学, 1998, 27(5): 432-441.
- [357] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-855.
- [358] 李曙光, 孙卫东, 张国伟, 等. 南秦岭勉略构造带黑沟峡变质火山岩的年代学和地球化学——古生代洋盆及其闭合时代的证据[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 223-230.
- [359] 李曙光, 侯振辉, 杨永成, 等. 南秦岭勉略构造带三岔子古岩浆弧的地球化学特征及形成时代[J]. 中国科学(D 辑): 2003, 33(12): 1163-1173.
- [360] 赖绍聪, 张国伟, 裴先治, 等. 南秦岭康县琵琶寺南坪构造混杂带蛇绿岩与洋岛火山岩地球化学及其大地构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(1): 10-19.
- [361] 冯庆来, 杜永生, 殷鸿福, 等. 南秦岭勉略蛇绿混杂岩带中放射虫的发现及其意义[J]. 中国科学(D 辑), 1996, (S1): 78-82.
- [362] 殷鸿福, 杜永生, 许继锋, 等. 南秦岭勉略古缝合带中放射虫动物群的发现及其古海洋意义[J]. 地球科学, 1996, 21(2): 184.
- [363] 李瑞保, 裴先治, 丁仁平, 等. 西秦岭南缘勉略带琵琶寺基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地质学报, 2009, 83(11): 1612-1623.
- [364] 闫全人, 王宗起, 闫臻等. 秦岭勉略构造混杂带康县-勉县段蛇绿岩块-铁镁质岩块的 SHRIMP 年代及其意义[J]. 地质论评, 2007, 53(6): 755-764.
- [365] 张宗清, 唐索寒, 张国伟, 等. 勉县-略阳蛇绿混杂岩带镁铁质-安山质火山岩块年龄和该带构造演化的复杂性[J]. 地质学报, 2005, 79(4): 531-538.
- [366] 张宗清, 唐索寒, 王进辉, 等. 秦岭蛇绿岩的年龄: 同位素年代学和古生物证据, 矛盾及其理解[C]//张旗. 蛇绿岩与地球动力学. 北京: 地质出版社, 1996: 146-149.
- [367] 冯本智, 刘占声, 刘鹏鸷. 试论南秦岭勉略宁三角地带岛弧型的蛇绿岩套[J]. 长春地质学院学报, 1979, (2): 14-28.
- [368] 赖绍聪, 张国伟, 杨永成等. 南秦岭勉县-略阳结合带蛇绿岩与岛弧火山岩地球化学及其大地构造意义[J]. 地球化学, 1998, 27(3): 283-293.
- [369] 赖绍聪, 张国伟, 裴先治. 南秦岭勉略结合带琵琶寺洋壳蛇绿岩的厘定及其大地构造意义[J]. 地质通报, 2002, 21(8/9): 465-470.

- [370] 赖绍聪, 张国伟, 董云鹏, 等. 秦岭-大别勉略构造带蛇绿岩与相关火山岩性质及其时空分布[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(12): 1174-1183.
- [371] 王永文, 王玉德, 李善平, 等. 西金乌兰构造混杂岩带特征[J]. 西北地质, 2004, 37(3): 15-20.
- [372] 许志琴, 杨经绥, 李文昌, 等. 青藏高原中的古特提斯体制与增生造山作用[J]. 岩石学报, 2013, 29(6): 1847-1860.
- [373] 王立全, 潘桂棠, 丁俊, 等. 青藏高原及邻区地质图及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- [374] 潘桂棠, 王立全, 张万平, 等. 青藏高原及邻区大地构造图及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- [375] 刘彬. 青藏高原中部玉树二叠纪—三叠纪镁铁质岩石的成因及其地球动力学背景[D]. 中国地质大学博士学位论文, 2014: 1-145.
- [376] 朱迎堂, 李建星, 伊海生, 等. 青藏高原东部玉树隆宝蛇绿混杂岩中早二叠世放射虫的发现及其地质意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(5): 485-490.
- [377] 雍拥, 陈文, 张彦, 等. 玉树地区让娘贡巴辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年和地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(3): 419-426.
- [378] 边千韬, 郑祥身. 西金乌兰和冈齐曲蛇绿岩的发现[J]. 地质科学, 1991, 3: 304.
- [379] 李善平, 潘彤, 李永祥, 等. 青藏高原北羌塘盆地多彩地区蛇绿岩地球化学特征及构造环境[J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1592-1606.
- [380] 刘银, 李荣社, 计文化, 等. 金沙江缝合带西段蛇绿岩与弧火山岩成对性关系——来自地球化学和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄证据[J]. 地质通报, 2014, 33(7): 1076-1088.
- [381] 苟金. 唐古拉巴音查乌马地区超基性岩的基本特征[J]. 西北地质, 1990, (1): 1-5.
- [382] 段其发, 王建雄, 白云山, 等. 青海南部蛇绿岩中辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石地球化学特征[J]. 中国地质, 2009, 36(2): 291-299.
- [383] 金贵善. 西金乌兰-金沙江缝合带西段部分岩浆岩地质年代学及地球化学特征[D]. 中国地质科学院硕士学位论文, 2006: 1-78.
- [384] 伊海生, 林金辉, 黄继钧, 等. 乌兰乌拉湖幅地质调查新成果及主要进展[J]. 地质通报, 2004, 23(5/6): 525-529.
- [385] 王毅智, 祁生胜, 安守文, 等. 青海南部杂多地区超镁铁质-镁铁质岩石的特征及 Ar-Ar 定年[J]. 地质通报, 2007, 26(6): 668-674.
- [386] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25: 956-983.
- [387] 毛景文, 张招崇, 杨建民, 等. 北祁连西段前寒武纪地层单颗粒锆石测年及其地质意义[J]. 科学通报, 1997, 42(13): 1414-1417.
- [388] 张招崇, 毛景文, 左国朝, 等. 北祁连西段中元古代早期蛇绿岩的发现及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17(2): 114-118.
- [389] 陆松年, 袁桂邦. 阿尔金山阿克塔什塔格早前寒武纪岩浆活动的年代学证据[J]. 地质学报, 2003, 77(1): 62-68.
- [390] 何国琦, 李茂松. 中亚蛇绿岩带研究进展及区域构造连接[J]. 新疆地质, 2000, 18(3): 193-202.
- [391] 肖序常, 何国琦, 徐新, 等. 中国新疆地壳结构与地质演化[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- [392] 李锦轶, 杨天南, 李亚萍, 等. 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格局重建的约束[J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1817-1826.
- [393] 李锦轶, 曲军峰, 张进, 等. 中国北方造山区显生宙地质历史重建与成矿地质背景研究进展[J]. 地质通报, 2013, 32(2/3): 207-219.
- [394] 杨亚琦, 赵磊, 徐芹芹, 等. 新疆西准噶尔北部和布克赛尔蛇绿混杂岩的厘定及其洋盆闭合时代限定[J]. 地质学报, 2018, 92(2): 298-312.
- [395] 高俊, 龙灵利, 钱青, 等. 南天山: 晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? [J]. 岩石学报, 2006, (5): 1049-1061.
- [396] 高俊, 钱青, 龙灵利, 等. 西天山的增生造山过程[J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1804-1816.
- [397] 张建新, 于胜尧, 李云帅, 等. 原特提斯洋的俯冲、增生及闭合: 阿尔金-祁连-柴北缘造山系早古生代增生/碰撞造山作用[J]. 岩石学报, 2015, 32(12): 3531-3554.
- [398] 李博秦, 计文化, 边小卫, 等. 西昆仑麻扎构造混杂岩的组成及其地质意义[J]. 现代地质, 2007, 21(1): 78-86.
- ① 陕西区域地质研究院. 1: 25 万滴水泉幅区域地质调查报告. 2012.
- ② 长安大学. 新疆伊吾县阿尔通盖一带 1: 5 万区域地质矿产调查报告. 2011.
- ③ 甘肃省地质局. 中华人民共和国区域地质调查报告(肃北幅, 1: 20 万). 1976.
- ④ 新疆地调院. 区域地质调查报告(阔什布拉克幅, 1: 5 万). 2009.
- ⑤ 地质部甘肃省地质局. 区域地质测量报告(1: 20 万玉门市幅). 1969. 1-79.
- ⑥ 青海省区调院. 1: 25 万门源幅区域地质调查报告. 2007.
- ⑦ 地质部甘肃省地质局第一区域地质测量队. 区域地质测量报告(1: 20 万兰州市幅). 1965.
- ⑧ 中国地质大学(武汉)地质调查研究院. 2005. 区域地质测量报告(1: 25 万民和幅).
- ⑨ 甘肃省地质调查院. 合作镇幅 1: 25 万区域地质调查报告. 2007: 1-326.
- ⑩ 地质部陕西省地质局区域地质测量队. 武都幅 1: 20 万地质图说明书. 1970: 1-56.
- ⑪ 湖南地调院. 青藏高原银石山幅 1: 25 万区域地质调查报告. 2003.