

文章编号:1004-4116(2022)02-0024-12

恩格尔乌苏蛇绿岩带与红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带的对比研究

武 磊^{1,2},王二腾^{1,2},郭志昂^{1,2},王 赞^{1,2},
宋高瑞^{1,2},翟新伟^{1,2},王金荣^{1,2}

(1. 兰州大学地质科学与矿产资源学院,甘肃 兰州 730000;2. 甘肃省西部矿产资源重点实验室,甘肃 兰州 730000)

摘 要:北山及阿拉善地区地处中亚造山带中段南缘,是研究古亚洲洋演化的关键位置。位于北山及阿拉善地区的红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿构造混杂岩带和恩格尔乌苏蛇绿构造混杂岩带被认为是具板块分割意义的重要缝合带,两者地理位置相近,似乎是一条贯穿东西、代表同一古洋盆残留的东西两段,但从蛇绿岩带年代学、成因类型、古洋盆俯冲极性和闭合时限进行研究发现:红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带形成时代较早、兼具SSZ型和MORB型、岩浆源区组成复杂、所代表古洋盆双向俯冲且闭合时限较早,均不同于恩格尔乌苏蛇绿岩带,指示这两条蛇绿岩带并非同一洋盆的东西两段,无法对比连接。此外,恩格尔乌苏蛇绿岩带与北山及敦煌地区内出露的其余蛇绿岩带均无相关性,亦无法有效连接。因此,代表古亚洲主洋盆的恩格尔乌苏蛇绿岩带向西如何延伸仍有待于深入的探讨。

关键词:中亚造山带;北山造山带;阿拉善地块北缘;红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿构造混杂岩带;恩格尔乌苏蛇绿构造混杂岩带

中图分类号:P545;P597

文献标志码:A

世界上最大的增生型造山带之一的中亚造山带(Central Asian orogenic belt; CAO)是古亚洲洋裂解、俯冲消减和最终闭合的产物,其由增生杂岩体、岩浆弧、弧相关的盆地、蛇绿岩套、海山、海底高原以及前寒武纪大陆碎片等构成的复杂拼贴体,构造演化过程漫长且复杂^[1-4],越来越多研究表明,古亚洲洋闭合被认为是自西向东呈剪刀式的逐渐闭合过程,但迄今对古大洋具体的闭合时限及构造位置仍存在争论^[5]。作为中亚造山带重要组成部分的北山造山带和阿拉善北缘构造带东连兴蒙造山带,西接东天山造山带,南临敦煌地块和中朝地块^[6],区内发育有多条重要的蛇绿岩带及与古大洋俯冲、碰撞和后碰撞有关的构造—岩浆—变质—沉积作用记录,是反演古亚洲洋裂解—汇聚直至最终闭合碰撞演化过程的重要载体。

红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿构造混杂岩带(Hongliuhe -Niujuanzi -Xichangjing ophiolite belt; HNXO)和恩格尔乌苏蛇绿构造混杂岩带(Enger US ophiolite belt; EUO)是北山和阿拉善地区最为重要的两条蛇绿岩带,均由构造岩快和基质混杂组成。HNXO为北山地区保存最为完整,出露最好的蛇绿岩带,地处公婆泉岩浆弧和花牛山岩浆弧之间,主要出露于红柳河、牛圈子、白云山、玉石山、月牙山等地,其中以牛圈子段出露最为完整,该蛇绿岩带构造岩块主要以蛇纹石化橄榄岩、堆晶超镁铁质岩、辉长岩、辉石岩、玄武岩、斜长花岗岩、硅质岩等所组成,各个单元之间呈断层接触,基质组成有硅质灰岩、大理岩、灰岩、凝灰质砂岩等,基质与构造岩块呈构造接触,构造岩块受后期变质作用较强,同时由于受后期构造活动的影响,玄武岩、辉长岩等出现糜棱岩

收稿日期:2021-12-18

基金项目:中国地质调查局项目“中国北方(天山—北山—阴山以北)中段石炭纪—二叠纪构造演化研究”(121201011000161111-01);第二次青藏高原科学考察综合研究地质环境与灾害—活动断裂与地震灾害项目(2019QZKK0901)

作者简介:武磊(1996~),男,甘肃天水人,兰州大学地矿学院矿物学、岩石学、矿床学博士研究生在读,研究方向为造山带、火山岩。

E-mail:wul20@lzu.edu.cn

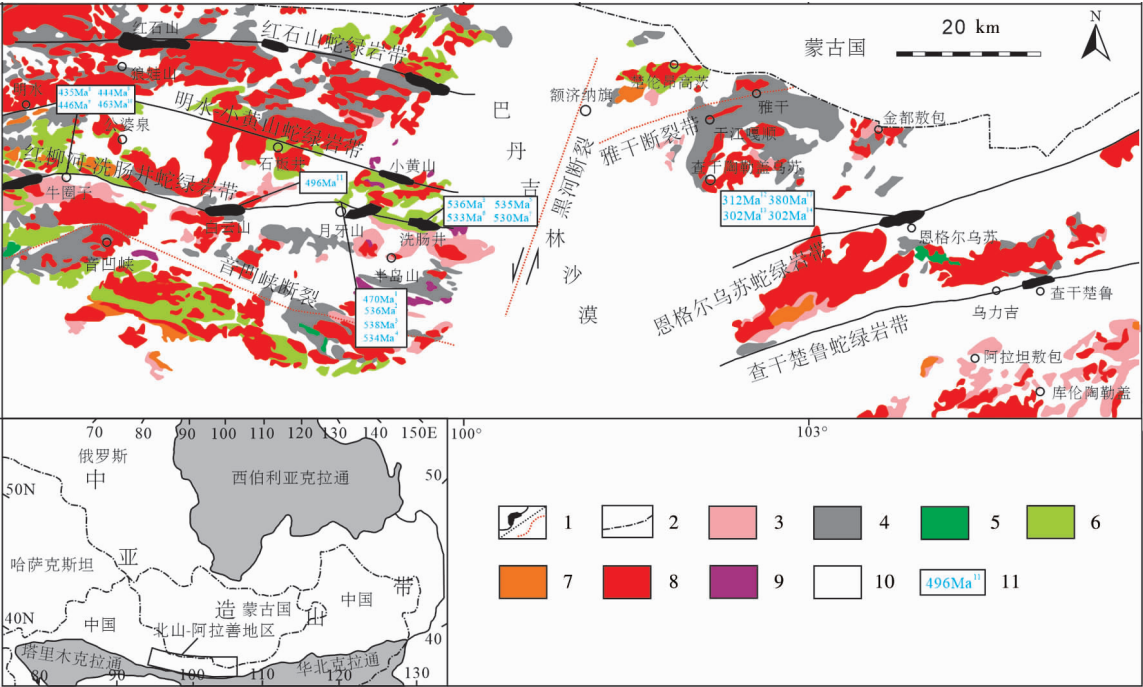


图 1 北山—阿拉善区域地质简图 (据张文,2013;宋嘉佳,2017修改)

Fig. 1 Tectonic sketch map of Beishan-Alxa region
1—蛇绿岩带/断裂带;2—国界线;3—前寒武系;4—上古生界;5—晚古生代基性岩;6—下古生界;7—早古生代花岗岩;
8—晚古生代花岗岩;9—三叠纪花岗岩;10—中生界;11—蛇绿岩带年龄

化、片理化等,并且由于受构造肢解各组成单元之间关系不清。EUO 地处阿拉善地区雅干构造带和珠斯楞—杭乌拉构造带之间,由于受后期构造活动、风化剥蚀及第四纪覆盖强烈,其主要出露于恩格尔乌苏地区,该蛇绿岩带以巨大混杂岩带形式产出,混杂岩带内不同地质体及地层关系完全遭到后期破坏,破坏程度向北减弱,构造岩块主要组成为蚀变的超基性岩、玄武岩、硅质岩、花岗岩、安山岩、灰岩和砂岩,而基质则为火山质基质和泥质基质,构造岩块混杂于基质之中,具有弱劈理化,以脆性剪切破碎为主。

两条蛇绿岩带隔巴丹吉林沙漠相望,呈近东西向展布,在空间上具有对接的趋势(图 1)。但是,由于巴丹吉林沙漠在北山造山带和阿拉善地区之间的覆盖、后期岩浆构造演化过程复杂且多样、风化强烈、对蛇绿岩带形成环境、时代认识不一,且不同学者采用的方法、技术及研究对象各异,致使在蛇绿岩带对比、连接以及构造单元划分上的认识存在争议。Zheng 等^[5]、卢进才等^[7]认为这两条蛇绿岩带具有可对比性,可以连接为同一构造带,代表古亚洲洋主洋盆闭合的位置。卜建军等^[8]则认为这两条蛇绿岩带虽然空间地理位置相接近,但恩格尔乌苏蛇绿岩带

应该对应于辉铜山—账房山蛇绿岩,而红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带应该与雅干分支洋盆带相连接;有学者从蛇绿岩年代学、闭合时限以及沉积建造等角度研究认为,恩格尔乌苏蛇绿岩带西延应该对应于北山造山带中最北侧的红石山蛇绿岩带,并指示古亚洲主洋盆闭合的位置^[9]。由此可见,北山与阿拉善地区的蛇绿岩带对接及古亚洲主洋盆闭合位置仍然存在很大的争论。本文综合课题组近年来研究资料,结合前人对这两条蛇绿岩带及其南北构造单元研究成果,从年代学、成因类型、俯冲极性和古洋盆闭合时限入手,拟对阿拉善北缘恩格尔乌苏蛇绿岩带及北山造山带红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带能否东西连接进行探讨。

1 蛇绿岩带年代学

恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带经历了后期强烈的变质变形及碳酸盐化作用,研究程度较为薄弱。学者们采用锆石 U-Pb 定年法、K-Ar 法、Rb-Sr 法等不同的测年方法获得了蛇绿岩形成的年代学资料。王金荣等^[10]对于蛇绿岩带内辉长岩锆石进行 U-Pb 定年得到 380 Ma 的形成年龄,与其共生的团块状玄武岩其

Rb-Sr 等时线年龄为 302 ± 51.5 Ma, 说明其形成于晚泥盆世—晚石炭世; Zheng 等^[11]获得了蛇绿岩带内枕状玄武岩锆石 U-Pb 年龄为 302 ± 14 Ma, 暗示恩格尔乌苏蛇绿岩带所代表的古洋盆此时仍未完成闭合; 混杂岩带内流纹质熔结凝灰岩锆石 U-Pb 年龄 312 ± 1.7 Ma, 为岩石形成年龄, 形成于晚石炭世晚期^[12]。此外, 蛇绿岩带内硅质岩构造岩块灰岩中发现的晚石炭世—早二叠世放射虫, 因此恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带形成时间为晚泥盆世—早二叠世早期^[12]。

相对于恩格尔乌苏蛇绿岩带, 红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带研究时间较早, 积累的资料较为丰富, 众多学者通过该蛇绿岩带古生物地层、同位素年代学特征等做过详细报道。郭召杰等^[13]通过与基性熔岩所共生的灰岩中伴随的珊瑚虫化石从而判断该蛇绿岩带可能形成于中—晚志留世, 而洗肠井段蛇绿岩带内奥陶纪放射虫化石的发现, 又将形成时限向更为古老推进一步^[14]; 周国庆等^[16]、任秉琛等^[14]对于牛圈子蛇绿岩带、红柳河蛇绿岩带及月牙山蛇绿岩带的基性熔岩进行 Rb-Sr 法、Ar-Ar 法和 Sm-Nd 法定年测得 460 ~ 470 Ma 的形成年龄; 在蛇绿岩带内不同岩段内辉长岩、斜长花岗岩、辉长闪长岩进行锆石 U-Pb 定年, 其形成年龄均集中于 540 ~ 420 Ma 之间^[17-24]。上述研究结果表明, 红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带所代表的洋盆存续时限主要为早寒武世—晚志留世。杜雪亮^[19]对于红柳河、玉石山、月牙山蛇绿岩带的研究中, 认为形成于 525 ~ 538 Ma 的 SSZ 型蛇绿岩带可能代表了古洋盆起始俯冲时间, 从而限定了红柳河—牛圈子—洗肠井古洋盆在该区域上可能是最早进入板块汇聚过程的时限。对比东侧形成于晚泥盆世—早二叠世早期的恩格尔乌苏蛇绿岩, 北山造山带红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩形成时代更早, 暗示着其蛇绿岩带所代表的古洋盆可能不是同一性质类型的。

2 蛇绿岩带成因类型对比

蛇绿岩作为大洋岩石圈在大陆上的残片, 最早被认为形成于大洋中脊的镁铁质—超镁铁质岩石组合, 记录了古洋盆的构造演化过程以及岩浆过程, 但是随着对于全球范围内不同地区所出露的蛇绿岩研究的深入, 人们发现其不一定只产生于洋中脊环境之中, 还可以产生于弧前、弧后盆地、初始弧环境等

多种环境内^[25]。根据蛇绿岩带形成的构造背景, 学者将蛇绿岩带类型分为 MOR 型和 SSZ 型蛇绿岩带, 并且发现这两种类型的蛇绿岩带存在有共生的可能性^[26]。同时, 同一蛇绿岩带其地球化学特征、成因类型等也应具有一致性。我们对恩格尔乌苏蛇绿岩带中 19 个玄武岩样品和红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带 55 个玄武岩样品进行了对比分析, 结果表明两条蛇绿岩带主量元素组成相类似, 具有低 SiO₂, 变化较大的 Na₂O、K₂O、TiO₂ 和相对高 Na 低 K 的地球化学特征。但是, HNXO 蛇绿岩带 MgO 及 Mg[#] 变化大于 EUO (MgO: EUO: 4.35% ~ 7.26%, HNXO: 2.88% ~ 31.1%; Mg[#]: EUO: 41.99% ~ 61.8%; HNXO: 16.37% ~ 78%), 暗示 HNXO 玄武岩形成过程中相较 EUO 蛇绿岩带经历了更大程度的分离结晶作用。在 SiO₂-K₂O 图解 (图 3 a, b) 中, EUO 蛇绿岩带样品分布集中且均一, 主要落入拉斑玄武岩区域内, 而 HNXO 蛇绿岩带所有样品分布分散, 散布于拉斑系列—钙碱性系列范围内。

EUO 蛇绿岩带稀土元素总量变化较大且总体高于 HNXO, 不同于 HNXO 轻稀土元素含量大于重稀土元素含量且轻重稀土发生较明显分馏的特征 (LREE 平均 47.50×10^{-6} ; HREE 平均 14.37×10^{-6} ; LREE/HREE 介于 0.97 ~ 7.02; (La/Yb)_N 平均 2.21), EUO 轻重稀土元素含量相近且未发生明显分馏 (LREE = 18.06×10^{-6} ~ 176.53×10^{-6} ; HREE = 14.25×10^{-6} ~ 277.77×10^{-6} ; LREE/HREE 平均 1.13; (La/Yb)_N 平均 0.65); 稀土元素配分图中 (图 2 a, b) EUO 配分曲线分布平坦且略微左倾, Eu 无明显异常, 类似于 N-MORB 特征, 而 HNXO 配分曲线略微右倾, Eu 无明显异常, 兼具有 N-MORB 和 IAB 特征; 原始地幔蛛网图 (图 2 c, d) 中 EUO 样品分布较 HNXO 更为均一, 多数样品富集 Cs、U、Ba 等, 亏损 Rb、Th、K 等, K、Pb 元素部分样品正异常而部分样品负异常, Ti 无明显异常, Nb、Ta 除少数样品负异常外, 其余样品均无明显异常。图 3 c, e, g 中样品分布均一, 以 N-MORB 为主, 极少数样品落于岛弧或陆源弧区域, 说明蛇绿岩带组成均一, 结合亏损 LREE 且无 Nb、Ta 等 HFSE 亏损, 表明 EUO 属于亏损地幔部分熔融的 N-MORB 型蛇绿岩带。HNXO 样品分布差异较大, 540 ~ 480 Ma 样品具有 Ba、Cs、U、K 等正异常, Sr 部分正异常, 与这些样品 Eu 正异常相一致, 说明寒武世 HNXO 玄武岩有微弱的斜长石堆晶, Nb、Ta、Rb、Th 明显亏损, 类似于岛弧环境下岩浆岩地球化学特征, Ti 无明显异常, Pb 无正异常指

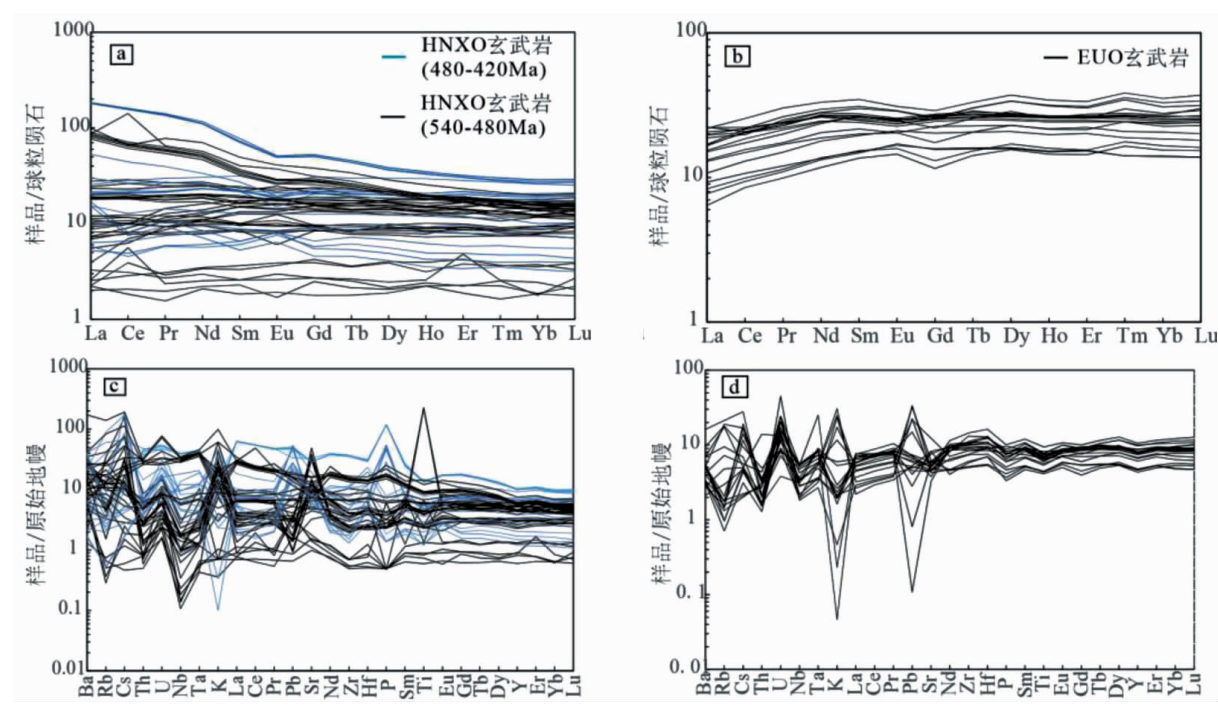


图 2 红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带(a,c)、恩格尔乌苏蛇绿岩带(b,d)玄武岩
稀土元素配分图、原始地幔蛛网图
(标准值据Sun et al. ,1989。样品数据据Zheng等^[11];安林坤^[12];杜雪亮^[19];
Wang等^[20];孙立新等^[21];Shi等^[23];郑荣国^[25],下同)

Fig. 2 Chondrite normalized REE distribution patterns and PM-normalized trace element spider diagram of
Hongliuhe-Niujuanzi-Xichangjing ophiolite belt (a, c) and Enger Us ophiolite belt basalt(b, d)

示岩浆没有经历后期地壳混染;480 ~ 420 Ma 样品 Nb、Ta 亏损相对 540 ~ 480 Ma 样品微弱,部分无异常,与 EUO 样品类似,具有 Nb、Ta 亏损的样品 K 呈现正异常,P 元素差异较大,从正异常至负异常,图 3 d、f、h 中所有样品分布分散,540 ~ 480 Ma 样品集中于弧岩浆区域 (IAB、IAT、CAB) 和 MORB 区域,而 480 ~ 420 Ma 样品集中于 MORB 范围或 MORB 与 OIB 交界区域,图 3 f 中集中于 E-MORB 区域内,少数样品落于 IAT 区域中,同时也有少数落于 WPA 和 N-MORB 区域内。结合同期产出的变橄榄岩 TiO₂ 含量范围介于 0.01% ~ 0.03%,介于 SSZ 型蛇绿岩带变橄榄岩 TiO₂ 范围 (TiO₂ = 0.01% ~ 0.04%) 而小于 MORB 型蛇绿岩带范围 (TiO₂ = 0.03% ~ 0.06%)^[16,24],对变橄榄岩内铬尖晶石进行分析,计算得到的 Cr[#] 36 ~ 82, Mg[#] 8 ~ 50 类似于现代弧前橄榄岩范围,以及 Nb、Ta、Ti 的亏损,高 MgO、LILE/HFSE 暗示此时的蛇绿岩带属于 SSZ 型蛇绿岩带^[45],周国庆等^[33]报道了具有玻镁安山岩地球化学特征的石英闪长岩,进一步指示了 540 ~ 480 Ma 所形成的蛇绿岩带属于洋内初始俯冲的产物,属于

SSZ 型蛇绿岩带。
综上,红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩类型及其地球化学特征不同于恩格尔乌苏蛇绿岩带,兼具 SSZ 型与 MORB 型。在图 3 各个判别图解中分布也更为广泛,指示岩浆源区组成更为复杂多样,而非恩格尔乌苏蛇绿岩带源区组成单一的特征,从而暗示红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带不同于恩格尔乌苏蛇绿岩带。

3 古洋盆俯冲极性

对于两条蛇绿岩带所代表的洋盆俯冲极性的问题讨论较多,不同学者根据不同的研究手段及对象提出了各自的观点,主要分为单向俯冲型和双向俯冲型。对于恩格尔乌苏蛇绿岩带,由于出露有限且被后期地质作用破坏严重,因此俯冲极性争议相较于红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带而言更大,Zhang 等^[3]、Zhao 等^[27]对珠斯楞—杭乌拉构造带乌登汗等地晚泥盆世—晚石炭世二长花岗岩、花岗闪长岩、花岗岩、闪长岩等侵入岩体进行分析,认为其属于弧环

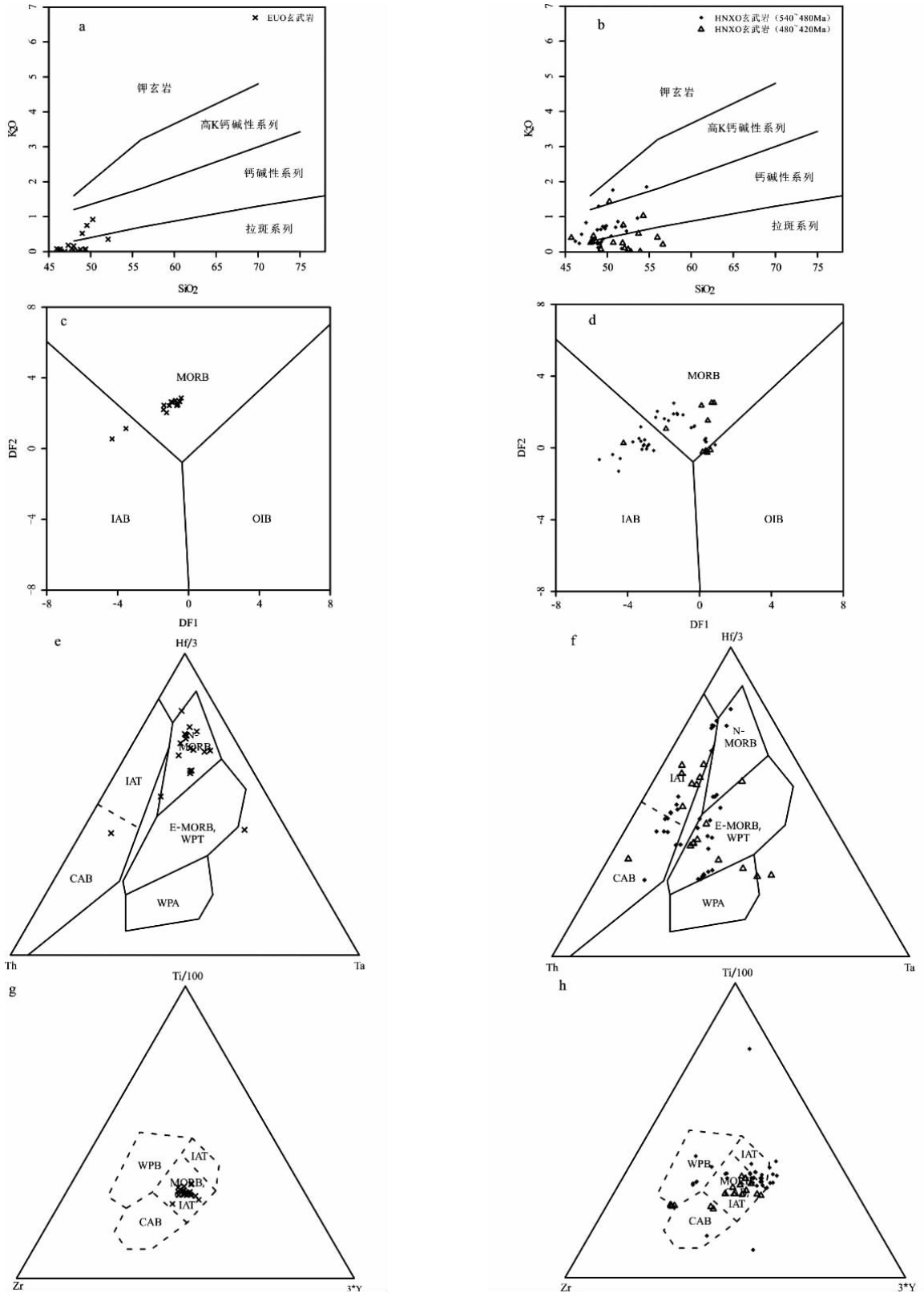


图 3 恩格尔乌苏蛇绿岩带、红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带成分及构造判别图解

(图3a,b据Peccerillo & Taylor, 1976;图3 c,d据Agrawal, 2008;图3 e,f据Wood, 1980;图3 g,h据Pearce & Cann, 1973。)

Fig. 3 Structural discrimination diagram of Enger Us ophiolite belt and Hongliuhe-Niujuanzi-Xichangjing ophiolite belt

MORB—洋中脊玄武岩; IAB—岛弧玄武岩; OIB—洋岛玄武岩; IAT—岛弧拉斑玄武岩; N-MORB—正常洋中脊玄武岩;

E-MORB—富集型洋中脊玄武岩; WPT—板内拉斑玄武岩; WPA—板内碱性玄武岩; CAB—岛弧钙碱性玄武岩; WPB—板内玄武岩

境下所形成的岩浆岩,并认为属于恩格尔乌苏蛇绿岩带所代表的古洋盆由南向北俯冲闭合所形成的产物,并且郑荣国等^[28]于恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带内发现的 423 ± 4.5 Ma 和 434 ± 1 Ma 的花岗侵入岩、张文^[29]于杭乌拉地区以北发现的 383 Ma 的花岗岩类以及 Chen 等^[30]于好比如地区白山组地层内发现的中晚奥陶世碎屑锆石指示恩格尔乌苏蛇绿岩带以北的地区可能属于活动陆源环境,似乎指示着古亚洲洋存在北向俯冲的趋势,如果古亚洲洋存在北向俯冲的过程,则在地层剖面上亦会留下一系列南向逆冲推覆或地层产状向北倾斜的证据,但是在野外剖面调查中,该蛇绿岩带构造岩片只存在有南向倾斜或是北向逆冲推覆的特征^[10],因此野外地质特征并不支持古亚洲洋北向俯冲闭合的观点,而珠斯楞—杭乌拉构造带中所发现的晚泥盆世—晚石炭世弧岩浆岩,则可能代表了蛇绿岩带以北的古亚洲洋分支洋盆(雅干古洋盆)南向俯冲的产物。对于构成宗乃山—沙拉扎山构造带主体,展布面积超过 $3\,000\text{ km}^2$ 的晚古生代至早中生代岩浆岩其构造环境从岛弧环境至后碰撞环境均有,其中产于温都尔毛道地区 301 ± 2 Ma 的埃达克质花岗闪长岩形成于洋壳俯冲的深源高压环境中,有力地佐证了古亚洲洋南向俯冲至闭合的过程^[4]。由此,我们可以确定阿拉善北缘恩格尔乌苏蛇绿岩带所代表的古亚洲洋主洋盆只存在有南向俯冲闭合的过程,无北向俯冲的可能性。

红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿混杂岩由于其交通方便且产出范围较大,相应野外剖面调查等也更为详细,杜雪亮^[19]、孙立新等^[21]及其他学者通过对于红柳河、白云山等地的蛇绿岩带研究发现,其构造岩片产状和断层产状北倾,而郭兆杰等^[13]、在对红柳河蛇绿岩带进行研究时发现其具有向北逆冲推覆的构造岩片,武鹏等^[17]在对火石山、牛圈子等地蛇绿岩带进行详细剖面调查显示火石山地区地层产状南倾或北向逆冲推覆,牛圈子则以主断裂为界,以北断层倾向 NW,以南则 S 或 SW 向倾斜,并且整体上这两组方向相反的叠瓦状断层构成对冲样式,指示了该蛇绿岩带所代表古洋盆存在有双向俯冲的可能性。同时作为北山造山带具有板块划分意义的一条蛇绿岩带,北部公婆泉弧和南部花牛山弧均具有前寒武纪结晶基底,花牛山弧主要以新元古代—晚古生代地层和侵入岩构成,其中寒武世—早奥陶世地层属于连续的沉积地层,无岩浆活动,沉积环境为陆缘斜坡的半深海至正常浅海沉积环境,说明此时属于被动

大陆边缘,至中晚奥陶世开始出现海相岩浆活动,由被动大陆边缘转化为活动大陆边缘,并且该构造带具有前陆盆地特征的晚志留世三个井组地层的出现,指示了洋盆于此时发生着南向俯冲,对花牛山岩浆弧上的中酸性岩浆活动,康凯^[31]总共划分为前寒武纪、早古生代、晚古生代和中生代四期,其中早古生代岩浆活动集中于晚奥陶世—早志留世,并且通过地球化学特征表明其形成于洋壳俯冲的地质过程中^[32]。而位于花牛山岩浆弧以南的辉铜山—帐房山蛇绿岩带虽然具有北向俯冲的闭合过程,但是形成于 446.1 ± 3 Ma 和 362.4 ± 4 Ma 具有 SSZ 型特征的蛇绿岩带被认为来源于弧后拉张所形成的产物^[33],属于 HNXO 古洋盆南向俯冲拉张所形成的弧后盆地,因此花牛山岩浆弧上所形成的早古生代弧岩浆岩非辉铜山—帐房山蛇绿岩带北向俯冲所形成的产物。而位于 HNXO 蛇绿岩带以北的公婆泉岩浆弧主体主要由奥陶系、志留系地层组成,其中奥陶系地层主要由中基性火山岩、硅质岩、灰岩等组成,志留系地层主要含有勒巴泉群变质—沉积岩系、公婆泉群和斜山群。前人对花岗闪长班岩、英安斑岩、玄武岩、花岗岩及其他中酸性岩浆岩展开研究认为其属于岛弧环境下所产生的海相岩浆岩,于陆相环境下的岩体明显不同,且形成年龄集中于奥陶纪—石炭纪^[34-35]。并且对于形成于 $440 \sim 430$ Ma 的公婆泉斑岩型铜矿的研究表明形成于岛弧环境下^[36-37],指示从奥陶纪至石炭纪构造背景属于洋壳俯冲过程中岛弧环境中,而位于公婆泉岩浆弧以北的明水南—石板井—小黄山蛇绿岩带通过锆石 U-Pb 定年,得到 321.2 ± 5.7 Ma、 350.2 ± 8.8 Ma、 336.4 ± 4.1 Ma 的结晶年龄,说明该蛇绿岩带形成时代于晚古生代,其典型弧岩浆地化特征说明其形成于俯冲带之上的构造环境中^[38]。因此公婆泉岩浆弧的形成及早古生代时期所形成的弧岩浆岩不可能为明水南—石板井—小黄山蛇绿岩带南向俯冲所形成的产物。

综上,我们可以认为红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带所代表的古洋盆具有双向俯冲的特征。对比东侧阿拉善北缘恩格尔乌苏蛇绿岩带所代表古洋盆只存在南向俯冲的特征,可以推断北山地区的红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带并非恩格尔乌苏蛇绿岩带的西延。

4 古洋盆闭合时限

由于对恩格尔乌苏古洋盆和红柳河—牛圈子—

洗肠井古洋盆闭合时限的争议,也导致无法正确认识这两条蛇绿岩带间的关系。

红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带两侧发育有大量的岩浆岩,而这些岩浆岩的形成与古大洋的俯冲及古板块完成拼贴后的后造山拉张作用有关,杜雪亮^[19]对红柳河、月牙山等地的早寒武世 SSZ 型蛇绿岩带的研究认为其形成时代代表了红柳河—牛圈子—洗肠井洋起始俯冲的时间,此时古洋盆开始发生南向俯冲至南侧敦煌微陆块之下,蛇绿岩带南侧形成于古堡泉—柳园地区 465 Ma 左右的超高压变质榴辉岩及早古生代高压变质作用的发生,说明至中奥陶世古洋盆仍未完成闭合并处于俯冲过程之中,胡新茁等^[18]认为古洋盆由南向北大规模俯冲发生在志留纪 421 ± 15 Ma ~ 442.4 ± 1.5 Ma, 公婆泉铜矿区形成于 430 ~ 455 Ma 的高钾钙碱性花岗闪长岩和英安斑岩作为该铜矿的成矿主体,具有富集 LILE 和 LREE,亏损 HREE 和 Nb、Ta、Ti 等 HFSE 的弧岩浆地球化学特征,同时围岩沉积环境、所含海相生物化石以及与公婆泉群典型岛弧火山岩组合:安山岩—流纹岩—石英粗面岩中石英粗面岩渐变接触的特征,指示其形成于俯冲相关的岛弧环境中^[36-38],对于公婆泉岩浆弧上 430 ± 4.7 Ma ~ 452 ± 3.2 Ma 的哈日阿玛花岗岩体、阿民乌素 475 ± 2 Ma 的公婆泉组变火山岩、石板井—标山一带 440 ~ 465 Ma 的中酸性岩浆岩体进行分析分析认为其均具有富集 LILE 和 LREE 亏损 HREE 和 Nb、P、Ta、Ti 等地球化学特征,公婆泉组变质火山岩 Nb/La 平均 0.38, Hf/Th 平均 1.41, 哈日阿玛花岗岩体含有不等量角闪石、榍石以及石板井地区中酸性岩浆岩体具有 761℃ 的锆石饱和温度以及形成于 50 ~ 80 km 的高压环境中,均指示了俯冲相关的形成环境,并且在岩浆形成过程中受到了俯冲流体的影响,因此可以确定红柳河—牛圈子—洗肠井古洋盆最晚在 430 Ma 时仍未完成闭合并处于双向俯冲的过程之中^[39-42]。而至泥盆纪,多数学者认为此时北山地区进入了洋—陆转折阶段^[43],中—上泥盆统三个井群—墩墩山群与下泥盆统角度不整合接触,形成后造山作用的火山—磨拉石建造^[43],同时郑荣国等^[44]通过对于 402 ± 3 Ma 公婆泉花岗岩体研究认为其属于后碰撞环境下所形成的 A 型花岗岩,并指示北山中带俯冲过程在晚古生代早期已经结束研究区整体上进入后碰撞演化阶段,侵入于红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带的黑云母二长花岗岩形成于 404.8 ± 5.2 Ma, 对其进行地球化学分析同样的出 A2 型花

岗岩的地球化学特征,从而指示着其形成于后造山拉张环境中,并且辉铜山 397 ± 3 Ma 泥盆纪钾长花岗岩、双峰山 415 ± 3 Ma 的花岗岩均具有 A2 型花岗岩的地球化学特征,潘志龙等^[45]报道的 398 ± 0.85 Ma 的 A2 型斑状正长花岗岩其空间展布上沿巨大剪切变形带分布,而这种高钾钙碱性花岗岩沿同期巨大剪切变形带分布的方式被认为是后碰撞花岗岩的典型特征。综上所述,我们可以认为红柳河—牛圈子—洗肠井古洋盆闭合完成发生在 420 ~ 415 Ma 期间,并于 415 Ma 左右开始出现构造转化,约 400 ~ 390 Ma 期间发生大规模的加厚下地壳拆沉引发的后碰撞拉张作用,形成规模巨大的 A2 型岩浆作用。

恩格尔乌苏古洋盆最终闭合时间较红柳河—牛圈子—洗肠井古洋盆争议更大,有学者认为其最终闭合于石炭纪之前,并于石炭纪—早二叠世已处于后碰撞伸展环境下^[46],部分学者则认为闭合于晚石炭世—早二叠世^[4,47],亦有部分学者认为最终闭合时间应是晚二叠世—早三叠世^[2,48]。

从地层及古生物方面来看,部分学者所认为该古洋盆闭合于石炭纪之前证据之一的晚石炭世—早二叠世阿木山组地层虽然研究较多,但认识不一。通过对于额济纳旗及临区阿木山组沉积环境等进行分析,发现其形成时间从早到晚纵向从下而上沉积物粒度具有从粗变细再变粗的特点,反映了海水逐渐变浅的过程,而从地层分布情况来看,在恢复古地貌之后反映了区域上从北向南火山活动逐渐减弱,海水变浅的过程,从而韩伟等^[49]认为此时阿拉善北缘处于裂谷演化阶段,同时,对于阿木山组内火山岩进行岩石学地球化学方面的研究,发现其具有板内成因特征,形成于伸展构造背景中^[46],似乎说明恩格尔乌苏蛇绿岩带所代表的古洋盆早已完成闭合。但对银额盆地阿木山组进行物源分析发现断裂带以南阿木山组地层碎屑物质具有阿拉善地块和宗乃山—沙拉扎山构造带的双向物源,而恩格尔乌苏地区的阿木山组只受到来源宗乃山—沙拉扎山构造带单向的沉积,暗示了恩格尔乌苏一带阿木山组所在沉积单元具有物源分割意义^[50]。并且虽然阿木山组地层于蛇绿岩带以南的宗乃山—沙拉扎山构造带广泛分布并构成主要地层组成,但是蛇绿构造混杂岩带以北原被划分为阿木山组地层经过研究可能并非晚石炭世—早二叠世产物,该组地层并未跨越古洋盆而出现在珠斯楞—杭乌拉构造带上^[50]。断裂以南阿木山组碎屑锆石年龄谱类似于

弧后盆地特征,而恩格尔乌苏地区碎屑锆石年龄谱则类似于弧前盆地或海沟特征,此外古生物同样也表明,阿木山组地层含有大量的生活于南方暖水环境下的生物化石,而缺乏北方冷水型动物,蛇绿岩带以北的中下石炭统地层中富含腕足类菊石—腕足相,以南的宗乃山—沙拉扎山构造带上富含以筴类为主的筴—腕足相化石,两者现今地理位置近在咫尺,但所含生物化石迥异,综合指示了至阿木山组沉积时期,恩格尔乌苏一带古洋盆仍未完全闭合。而作为阿木山组上覆地层,恩格尔乌苏地区埋汗哈达组不整合于其之上,说明两者经历了较大构造变动,埋汗哈达组地层于蛇绿岩带两侧皆有分布,沉积特征上埋汗哈达组及上覆地层逐渐由海相沉积转变为陆相沉积,且具有双向物源特征,珠斯楞—杭乌拉构造带及宗乃山—沙拉扎山构造带均提供有碎屑物质并沉积,并且年龄谱特征类似于裂谷盆地或周缘前陆盆地,所含生物化石由阿木山组冷水分子转变为冷水与暖水分子共生特征,从地层及古生物特征上说明在埋汗哈达组沉积时期具有分割指示意义的古洋盆已完成闭合^[50]。

在蛇绿岩带及两侧构造带岩浆活动上,形成于温都尔道地区 301 ± 2 Ma 晚石炭世末的花岗闪长岩具有高硅埃达克岩的地球化学特征,并形成于岛弧环境中,此外分布于梧桐沟、可可塔塔、阿门尚德、特拜等地的花岗闪长岩、石英闪长岩等中酸性岩浆岩体也具有类似的地球化学特征^[51],说明起码至晚石炭世末期,宗乃山—沙拉扎山构造带仍受到北部古亚洲洋南向俯冲的影响,古亚洲洋于此闭合时间应晚于晚石炭世—早二叠世^[50]。蛇绿岩带以南的宗乃山—沙拉扎山构造带其形成主体由晚古生代—早中生代花岗岩类、辉长岩类岩浆岩组成,展布面积超过 $3\,000\text{ km}^2$,早古生代岩浆岩分布极少,根据岩浆活动时间可以划分为3个期次:晚石炭世末(301 Ma)、二叠世中期(272 ~ 264 Ma)、二叠世末—早三叠世(257 ~ 247 Ma)这三期的岩浆活动。晚石炭世末岩浆活动以岛弧型岩浆岩为主,而二叠世末—早三叠世岩浆活动通过分析认为酸性岩浆岩体来源于后碰撞伸展环境下新生地壳物质部分熔融并受到地幔物质混染,指示此时区域构造已经由碰撞增生过程转入了地壳伸展减薄的过程,说明研究区在晚二叠世末—早三叠世初已经完成了构造转化,古洋盆于此时早已完成闭合,因此,对于恩格尔乌苏古洋盆最终闭合的时间也就限定在早二叠世末

至晚二叠世这一时间段内。宗乃山—沙拉扎山构造带塔木素地区形成于 272 ± 1 Ma 的钾长花岗岩、呼仍陶勒盖地区 266 ± 2 Ma 的花岗岩地球化学地球化学分类表现为I型花岗岩、高分异I型花岗岩,并且以高分异型I型花岗岩为主,来源于古老地壳物质的部分熔融,受到一定程度的地幔物质的混染,形成于同碰撞—后碰撞伸展阶段^[4,52],而宗乃山地区 266.9 ± 2.2 Ma 的A2型钾长花岗岩的发现同样也指示了在中二叠世时期恩格尔乌苏古洋盆已经完成闭合,区域上进入了后造山拉张环境中。产出宝格其地区的 264 ± 3 Ma 的辉长岩来源于亏损地幔的部分熔融作用,在构造判别图解中落入后碰撞区域内,并与呼仍陶勒盖地区同时期花岗岩共同构成了双峰式侵入岩组合^[4],虽然双峰式岩浆岩产出环境多样,岛弧、弧后盆地、裂谷环境等均可形成,但是无一例外都暗示了研究区域处于伸展构造背景。北部的珠斯楞—杭乌拉构造带岩浆活动频繁,与宗乃山—沙拉扎山构造带岩浆岩类似,岩性组成同样也以中酸性岩浆岩为主,基性岩浆岩次之,通过锆石U-Pb定年及地层学特征指示这些岩浆岩主要形成时代为石炭纪—二叠纪,除部分被前人所认为形成于裂谷环境下的阿木山组岩浆岩外,发育有大量的弧环境—后碰撞伸展环境下的岩浆岩。石炭纪岩浆岩珠斯楞—杭乌拉构造带上分布较广,哈日敖日布格、乌登汗、珠斯楞、杭乌拉、黑平山、拐子湖温图高勒等地均分布着以花岗闪长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩、花岗闪长岩、辉绿岩、辉长岩等最晚至318 Ma 的石炭纪的岩浆岩,具有亏损Nb、Ta、Ti、P的地球化学特征,属于岛弧环境下所形成的产物^[3,27],同样也说明此时研究区构造作用以挤压增生造山作用为主,恩格尔乌苏古洋盆尚未完全闭合。而对于杭乌拉、拐子湖、额济纳旗大扎干敖包等地早—中二叠世基性—中酸性岩浆岩则认为形成于后碰撞板内裂谷环境,并且出露于杭乌拉地区金塔组的A2型流纹岩与玄武岩呈7:1体积比互层产出构成双峰式火山岩,指示着古洋盆的闭合并且构造环境进入后碰撞伸展环境中^[47],而、闫海卿等^[53]对拐子湖地区晚海西期低Sr低Yb型花岗岩体和温图高勒 271 ± 10 Ma 的灰白色细粒黑云母研究认为形成于地壳增厚过程中的同碰撞环境中,但作者同样认为此时古洋盆已经完成闭合只是未进入后造山伸展阶段。结合研究区地层及古生物特征我们可以认为恩格尔乌苏蛇绿岩带所代表的古洋盆闭合于阿木山组之后埋汗哈达组之前的早二叠世。

红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带与恩格尔乌苏蛇绿岩带相隔距离较短,若为同一条蛇绿岩带的东西相延,其闭合时间应该连续,且相隔时间不长,但据上文,恩格尔乌苏古洋盆闭合于阿木山组后,埋汗哈达组之前的早二叠世,而红柳河—牛圈子—洗肠井古洋盆闭合于 420 ~ 415 Ma,并在约 400 ~ 390 Ma 期间发生大规模后碰撞拉张作用,闭合时间相隔较大,因此,红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带并非恩格尔乌苏蛇绿岩带的西延。

5 结论

作为北山—阿拉善地区最为重要的两条蛇绿岩带,北山红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿混杂岩带和阿拉善恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带代表了古板块的缝合带,地球化学特征上北山蛇绿岩带岩浆源区组成复杂,形成时代早寒武世—晚志留世,与阿拉善蛇绿岩带岩浆组成较为单一形成明显的对比;北山蛇绿岩带具有双向俯冲特征而阿拉善蛇绿岩带只具有南向俯冲特征;红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带闭合于 420 ~ 415 Ma,并在约 400 ~ 390 Ma 期间发生大规模后碰撞拉张作用,而恩格尔乌苏蛇绿岩带闭合于阿木山组后,埋汗哈达组之前的早二叠世,闭合时代相距较长,这些特征均表明北山地区的红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带并非阿拉善北缘恩格尔乌苏蛇绿岩带的西延。那么北山造山带或相邻其他研究区内所出露的其余蛇绿岩带中,是否有一条属于恩格尔乌苏蛇绿岩带的西延?北山造山带红石山—百合山蛇绿岩带野外地质特征表明所代表古洋盆不具有板块分割意义,SSZ 型地化特征指示其形成环境为弧后盆地^[6];明水南—石板井—小黄山蛇绿岩带属于晚古生代红柳河—牛圈子—洗肠井古洋盆北向俯冲形成的弧后盆地闭合产物^[14,15,35];辉铜山—帐房山蛇绿岩带形成环境类似于“红海型”海槽环境^[15],而均无法与恩格尔乌苏蛇绿岩带相对应。同时敦煌造山带内三危山—红柳峡混杂岩带和天山造山带干沟—康古尔塔格蛇绿岩带、卡拉麦里蛇绿岩带、那拉提—中天山南缘蛇绿岩带由于闭合时间或闭合方向与恩格尔乌苏蛇绿岩带具有明显不同也无法进行对接^[54-57]。因此,恩格尔乌苏蛇绿岩带与北山造山带、敦煌造山带、天山造山带内出露的蛇绿岩带均无法连接,恩格尔乌苏蛇绿岩带向西如何延伸,是否由于对研究区研究程度仍有不足

而造成蛇绿岩带对比研究的局限、是否可能延伸至其他地区甚至境外等问题还需进一步研究。但是值得注意的是,天山造山带内干沟—康古尔塔格蛇绿岩带与红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带空间地理位置相接近,并且两者所代表的古洋盆其闭合时间、俯冲方向等也具有一定相似性,所以干沟—康古尔塔格蛇绿岩带和红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带是否属于同一条蛇绿岩带亦需详细的对比研究,从而确定之间关系。

参 考 文 献

- [1] Şengör, A., Natal'in, B., Burtman, V. . Evolution of the Altaid Tectonic Collage and Palaeozoic Crustal Growth in Eurasia [J]. *Nature*, 1993, 364: 299-307. Doi: 10. 1038/364299a0
- [2] Xiao W, Windley B F, Hao J, et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt [J]. *Tectonics*, 2003, 22(6)
- [3] Zhang W, Pease V, Meng Q, et al. Age and petrogenesis of late Paleozoic granites from the northernmost Alxa region, northwest China, and implications for the tectonic evolution of the region [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2016, 106(1): 1-18
- [4] Shi X, Wang T, Zhang L, et al. Timing, petrogenesis and tectonic setting of the Late Paleozoic gabbro-granodiorite-granite intrusions in the Shalazhashan of northern Alxa: Constraints on the southernmost boundary of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Lithos*, 2014, 208-209(1): 158-177
- [5] Zheng RG, Wu TR, Zhang W, et al. Geochronology and geochemistry of late Paleozoic magmatic rocks in the Yinwaxia area, Beishan: Implications for rift magmatism in the southern Central Asian Orogenic Belt [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 91 (sep.): 39-55
- [6] 王国强, 李向民, 徐学义, 等. 北山造山带古生代蛇绿混杂岩研究现状及进展 [J]. *地质通报*, 2021, 40(01): 71-81
- [7] 卢进才, 史冀忠, 牛亚卓, 等. 内蒙古西部北山—银额地区石炭纪—二叠纪层序地层与沉积演化 [J]. *岩石学报*, 2018, 34 (10): 3101-3115
- [8] 卜建军, 吴俊, 史冀忠, 等. 北山—巴丹吉林地区石炭纪—二叠纪构造古地理及其演化 [J]. *地质科技情报*, 2019, 38(06): 113-120. DOI: 10. 19509/j. cnki. dzkq. 2019. 0613.
- [9] D Cunningham. Folded Basinal Compartments of the Southern Mongolian Borderland: A Structural Archive of the Final Consolidation of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Geosciences*, 2017, 7(1): 2
- [10] 王金荣, 王士政. 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(自然科学版)*, 1995, 000(002): 140
- [11] Zheng RG, Wu TR, Zhang W, et al. Late Paleozoic subduction system in the northern margin of the Alxa block, Altai: Geochronological and geochemical evidences from ophiolites [J]. *Gondwana Research*, 2014, 25(2): 842-858

- [12] 安令坤. 内蒙古阿拉善盟恩格尔乌苏蛇绿混杂岩特征及构造意义[D]. 中国地质大学(北京), 2013
- [13] 郭召杰, 马瑞士, 郭令智, 等. 新疆东部三条蛇绿混杂岩带的比较研究[J]. 地质论评, 1993, (03): 236–247. DOI:10. 16509/j. georeview. 1993. 03. 007
- [14] 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(02): 21–27
- [15] 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(01): 26–36
- [16] 周国庆, 赵建新, 李献华. 内蒙古月牙山蛇绿岩特征及形成的构造背景: 地球化学和 Sr–Nd 同位素制约[J]. 地球化学, 2000(02): 108–119
- [17] 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
- [18] 胡新茁, 赵国春, 胡新悦, 等. 内蒙古北山地区月牙山蛇绿质构造混杂岩带地质特征、形成时代及大地构造意义[J]. 地质通报, 2015, 34(Z1): 425–436.
- [19] 杜雪亮. 中亚造山带南缘北山红柳河蛇绿岩带成因及构造意义研究[D]. 兰州大学, 2019
- [20] Wang S, Zhang K, Song B, et al. Geochronology and geochemistry of the Niujuanzi ophiolitic mélange, Gansu Province, NW China: implications for tectonic evolution of the Beishan Orogenic Collage[J]. International Journal of Earth Sciences, 2017, 107(1)
- [21] 孙立新, 张家辉, 任邦方, 等. 北山造山带白云山蛇绿混杂岩的地球化学特征、时代及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2017, 36(02): 131–147
- [22] S. J. AO, W. J. XIAO, C. M. HAN, et al. Cambrian to early Silurian ophiolite and accretionary processes in the Beishan collage, NW China: implications for the architecture of the Southern Altaids[J]. Geological Magazine, 2011, 149(4)
- [23] Yuruo Shi, Wei Zhang, Alfred Kröner, et al. Cambrian ophiolite complexes in the Beishan area, China, southern margin of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2018, 153
- [24] 侯青叶, 王忠, 刘金宝, 等. 北山月牙山蛇绿岩地球化学特征及 SHRIMP 定年[J]. 现代地质, 2012, 26(05): 1008–1018
- [25] 郑荣国, 吴泰然, 张文, 等. 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, 2012, 86(6): 961–971
- [26] Dilek Y, Furnes H. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere[J]. Geological Society of America Bulletin, 2011, 123(3–4): 387
- [27] Zhao X, Liu C, Wang J, et al. Geochemistry, geochronology and Hf isotope of granitoids in the northern Alxa region: Implications for the Late Paleozoic tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Geoscience Frontiers, 2020
- [28] 郑荣国, 吴泰然, 肖文交, 等. 北山北部双井子复式岩体年代学、地球化学及其大地构造意义[J]. 地质学报, 2016, 90(11): 3153–3172
- [29] 张文. 北山—阿拉善北缘晚古生代花岗岩及其构造意义[D]. 北京: 北京大学, 2013: 1–258
- [30] Chen G C, Wei X Y, Wu K L, et al. Clastic zircon dating of Lower Carboniferous Baishan Formation in Alxa Right Banner of western Inner Mongolia and its significance [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(6): 955–961
- [31] 康凯. 甘肃北山花牛山铅锌矿床地质与地球化学特征及成因探讨[D]. 中国地质大学(北京), 2020
- [32] Ding JX, Han CM, Xiao WJ, et al. Geochemistry and U–Pb geochronology of tungsten deposit of Huaniushan island arc in the Beishan Orogenic Belt, and its geodynamic background[J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31(2): 594–616
- [33] 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): 2038–2045
- [34] Zheng R, Tairan W U, Zhang W, et al. Early Devonian Tectono–Magmatic Events in the Middle Beishan, Gansu Province: Evidence from Chronology and Geochemistry of Gongpoquan Granite [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2012, 48(4): 603–605
- [35] Song D, Xiao W, Windley B F, et al. A Paleozoic Japan–type subduction–accretion system in the Beishan orogenic collage, southern Central Asian Orogenic Belt [J]. Lithos, 2015, s 224–225: 195–213
- [36] 于明杰, 毛启贵, 方同辉, 等. 甘肃公婆泉铜矿床含矿斑岩体地球化学特征、锆石 U–Pb 年龄及 Hf 同位素特征研究[J]. 地质与勘探, 2014, 50(01): 145–155. DOI:10. 13712/j. cnki. dzykt. 2014. 01. 009
- [37] 吕昶良, 杨富强, 罗家书, 等. 甘肃北山地区公婆泉铜矿区岩体年龄及其地质意义[J]. 矿产与地质, 2021, 35(01): 83–89. DOI:10. 19856/j. cnki. issn. 1001–5663. 2021. 01. 012
- [38] 戴霜, 任育程, 程彧, 等. 公婆泉铜矿岛弧型含矿斑岩地质地球化学特征[J]. 兰州大学学报, 2002(05): 100–107. DOI:10. 13885/j. issn. 0455–2059. 2002. 05. 019
- [39] 王慧, 张欢, 潘志龙, 等. 内蒙古北山地区哈日阿玛岛弧花岗岩地球化学、年代学特征及其地质意义[J]. 地质与资源, 2021, 30(02): 103–117. DOI:10. 13686/j. cnki. dzyzy. 2021. 02. 001
- [40] 修迪, 陈超, 专少鹏, 等. 北山石板井地区英云闪长岩—石英闪长岩体锆石 U–Pb 年龄、成因及对古洋盆俯冲作用时限的制约[J]. 地质通报, 2018, 37(06): 975–986
- [41] 董洪凯, 孟庆涛, 刘广, 等. 内蒙古北山地区标山一带早志留世花岗岩地球化学特征及构造意义[J]. 西北地质, 2018, 51(01): 159–174. DOI: 10. 19751/j. cnki. 61–1149/p. 2018. 01. 016
- [42] 董洪凯, 孟庆涛, 张正平, 等. 内蒙古标山一带石英闪长岩地质特征及构造意义[J]. 新疆地质, 2018, 36(04): 518–525
- [43] 何世平, 周会武, 姚文光, 等. 甘肃北山中泥盆统砾岩中放射虫的发现及其地质意义[J]. 西北地质, 2004(03): 24–28
- [44] 郑荣国, 吴泰然, 张文, 等. 甘肃北山中带早泥盆世的构造—岩浆作用: 来自公婆泉花岗岩体年代学和地球化学证据[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2012, 48(04): 594–607. DOI:10. 13209/j. 0479–8023. 2012. 080
- [45] 潘志龙, 张欢, 陈超, 等. 内蒙古北山敖包呼图仁斑状正长花岗岩锆石 U–Pb 年龄, Lu–Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 地质科学, 2017, 052(001): 301–316

- [46] 姜亨,李玉宏,陈高潮,等. 内蒙古西部额济纳旗及邻区上石炭统一二叠统阿木山组火山岩的地球化学特征 [J]. 地质通报,2011,30(06):932-942
- [47] 李玉琼. 阿拉善地块北金塔组火山岩地球化学特征及构造意义研究[D]. 兰州大学,2019
- [48] Xiao W J, Windley B F, Huang B C, et al. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia [J]. International Journal of Earth Sciences, 2009, 98(6): 1189-1217
- [49] 韩伟,刘溪,李金超,等. 内蒙古乌拉特后旗乌兰敖包地区石炭系—二叠系阿木山组沉积环境 [J]. 地质通报,2012,31(10): 1684-1691
- [50] 张少华. 银额地区石炭—二叠纪盆地地质特征与后期改造 [D]. 西北大学,2019.
- [51] 冉德甫,何雨粟,王浩飞,等. 内蒙古阿拉善右旗陶来北部侵入岩体地球化学特征及构造环境 [J]. 兰州大学学报(自然科学版),2014,50 (04):437-446. DOI:10.13885/j.issn.0455-2059.2014.04.001
- [52] 史兴俊,张磊,王涛,等. 内蒙古阿拉善盟北部宗乃山中酸性侵入岩年代学、地球化学及构造意义 [J]. 岩石矿物学杂志,2014,33(06):989-1007
- [53] 闫海卿,陈元,范模春,等. 内蒙古额济纳旗拐子湖地区花岗岩地球化学特征及其地质意义 [J]. 中国工程科学,2015,17(02): 97-105
- [54] 石梦岩,侯泉林,吴春明,等. 敦煌造山带南部红柳峡混杂带基质的沉积学、地球化学和年代学特征及其大地构造意义 [J]. 岩石学报,2018,34(7): 2099-2118
- [55] 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(1):39-46
- [56] 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
- [57] 黄岗,牛广智,王新录,等. 东准噶尔卡拉麦里蛇绿混杂岩中斜长角闪岩的发现与洋中脊构造环境的确认 [J]. 中国地质,2017,44(02):358-370
- [58] 史兴俊. 阿拉善北部宗乃山—沙拉扎山构造带构造属性及意义 [D]. 中国地质科学院,2015
- [59] 李俊建. 内蒙古阿拉善地块区域成矿系统 [D]. 中国地质大学(北京),2006
- [60] 丁嘉鑫,韩春明,肖文交,等. 北山造山带花牛山岛弧东段钨矿床成矿时代和成矿动力学过程 [J]. 岩石学报,2015,31(02): 594-616
- [61] Tian Z, Xiao W, Windley B F, et al. Structure, age, and tectonic development of the Huoshishan -Niujuanzi ophiolitic mélange, Beishan, southernmost Altaids [J]. Gondwana Research, 2014
- [62] AO S. J., XIAO W. J., HAN C.M. Microcontinent and Arc Collision in the Beishan Orogen: Constraint from Detrital Zircon U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology: Implications for Continental Growth of the Southern Altaids. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2013, 87(supp.):296

A COMPARATIVE STUDY OF THE ENGER US OPHIOLITE BELT WITH HONGLIUHE–NIUJUANZI–XICHANGJING OPHIOLITE BELT

WU Lei^{1,2}, WANG Er-teng^{1,2}, GUO Zhi-ang^{1,2}, WANG Yun^{1,2}, SONG Gao-rui^{1,2},
ZHAI Xin-wei^{1,2}, WANG Jin-rong^{1,2}

(1. School of Earth Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Key laboratory of Mineral Resources in Western China, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The Beishan orogenic belt and the Alxa block located on the southern margin of the middle part of the Central Asian orogenic belt (CAOB) are the key positions for the study of the evolution of the CAO and the Paleo-Asian Ocean (PAO). The Beishan orogenic belt and the Alxa block are connected to the east and west of the Badain Jaran Desert, and several ophiolitic melange belts are exposed in the study area. Among them, the Hongliuhe–Niujuanzi–Xichangjing ophiolite (HNX) belt of the Beishan orogenic belt and the Enger Us ophiolite (EUO) belt on the northern margin of Alxa are important suture zones with plate segmentation significance, and geographically the two ophiolite belts are very close. Some scholars suggest that these two ophiolite belts extend through the east and west and represent the remains of the same paleo-oceanic basin. But their structural properties are obviously different: the Hongliuhe–Niujuanzi–Xichangjing ophiolitic melange belt is of SSZ type with complex geochemical source area characteristics, the northward–southward bidirection subduction, and earlier closing time of the paleo-ocean (late Silurian–early Devonian?). While the Enger Us ophiolite is of MORB type, and the geochemical composition of its magmatic source area is relatively uniform. The paleo-oceanic basin represented by the EUO belt is southward subduction only, and the paleo-oceanic basin closed relatively later (late Carboniferous–early Permian?). Combined with the research results of regional geological background, it is concluded that HNX and EUO belt are not the same structural belt, that is, they are not the product of the closure of the east and west segments of the same ocean basin. In addition, the Enger Us ophiolite belt has no correlation with other ophiolite belts in the Beishan orogenic belt and the ophiolite belts exposed in the Dunhuang orogenic belt. Therefore, the westward extension of the Enger (EUO) belt, which represents the paleo-Asian main oceanic basin, needs to be further discussed.

Key words: Central Asian orogenic belt; Beishan orogenic belt; north part of Alxa Massif; Hongliuhe–Niujuanzi–Xichangjing ophiolite belt; Enger Us ophiolite belt