

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.205

引用格式: 张彬,任龙,赵院冬,等. 内蒙古东部马鞍山地区蛇绿混杂岩的地质特征及构造意义[J]. 中国地质调查, 2025, 12(4): 24–35. (Zhang B, Ren L, Zhao Y D, et al. Geological characteristics and tectonic significance of ophiolite mélange in Ma'an-shan area of the eastern Inner Mongolia[J]. Geological Survey of China, 2025, 12(4): 24–35.)

内蒙古东部马鞍山地区蛇绿混杂岩的地质特征及构造意义

张彬¹, 任龙^{1*}, 赵院冬¹, 王存柱¹, 王春晖¹, 曲成成²

(1. 中国地质调查局牡丹江自然资源综合调查中心, 吉林 长春 130000; 2. 吉林省第一地质调查所, 吉林 长春 130000)

摘要: 二连浩特—贺根山蛇绿岩带是中亚造山带东部出露面积最大的晚古生代蛇绿岩带, 曾被认为是华北板块和西伯利亚板块最后碰撞的缝合线位置, 关于其构造属性仍存在争议。新识别出的内蒙古马鞍山地区蛇绿混杂岩位于兴蒙造山带东部, 是二连浩特—贺根山蛇绿岩带的东延部分, 这套蛇绿混杂岩的发现填补了二连浩特—贺根山—黑河缝合带中段的空白, 为古亚洲洋构造域演化提供了新的证据。通过对马鞍山地区蛇绿混杂岩开展岩相学、地球化学、年代学研究, 发现马鞍山地区蛇绿混杂岩由岩块和基质构成, 其中岩块主要为蛇纹石化橄榄岩、橄榄岩、辉绿岩、玄武岩、高镁安山岩、安山岩、流纹岩, 基质主要为浊积岩; 蛇纹石化橄榄岩具有俯冲带 (supra-subduction zone, SSZ) 型蛇绿岩特征, 辉绿岩具有 SSZ 型构造背景成因特征, 玄武岩具有富集型洋中脊玄武岩 (enriched mid-ocean ridge basalt, E-MORB) 和岛弧玄武岩特征, 指示其形成于弧后盆地环境。从马鞍山地区蛇绿混杂岩中获得的辉绿岩锆石 U-Pb 年龄为 (344.4 ± 1.4) Ma, 与前人在贺根山地区蛇绿岩中获得的年龄相近, 证实本区存在板块消减带 (缝合带), 对厘定区域构造格架具有指导意义。

关键词: 蛇绿混杂岩; SSZ 型; 玄武岩; 马鞍山地区; 内蒙古

中图分类号: P581; P597

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2025)04-0024-12

0 引言

马鞍山地区位于华北板块与西伯利亚板块之间的兴蒙造山带, 兴蒙造山带具有复杂的构造演化历史^[1-5], 自北向南分布有多条蛇绿岩带, 其中最北部的二连浩特—贺根山蛇绿岩带曾被认为是华北板块和西伯利亚板块最后碰撞的缝合线位置^[6-7], 是研究古亚洲洋演化的重要线索之一。二连浩特—贺根山蛇绿岩带呈 EW—NEE 向展布, 向东一直延伸到黑河—嫩江一带, 是兴安地块与松嫩地块之间的碰撞缝合带。该缝合带最初以在贺根山地区发现的基性—超基性岩而得名, 随着 20 世

纪 80 年代板块构造理论和蛇绿岩的概念在国内得到发展, 贺根山蛇绿岩被认为是洋壳物质的残留, 学者们进而提出了贺根山缝合带的概念, 并对二连浩特—贺根山及黑河—嫩江地区的蛇绿混杂岩开展了大量的岩石学、地球化学、年代学、构造环境等方面的研究工作^[8-21], 取得了丰富的成果, 但在该缝合带中段却没有发现缝合带存在的证据。因此, 关于二连浩特—贺根山—黑河缝合带的缝合时限和构造属性等问题尚存在较大争议。梁日暄^[10]认为贺根山蛇绿岩的形成时代为中泥盆世—早石炭世; 包志伟等^[11]在缝合带西段贺根山蛇绿岩中获得的 Sm-Nd 等时线年龄为 (403 ± 27) Ma, 认为其形成于大洋中脊环境, 是华北板块和西伯利亚板块

收稿日期: 2024-05-08; 修订日期: 2024-10-30。

基金项目: 中国地质调查局“吉林那尔轰一带金铜多金属找矿靶区优选与评价 (编号: DD20230371)”及“内蒙古 1:5 万哈拉黑等八幅区域地质调查 (编号: DD20160201)”项目联合资助。

第一作者简介: 张彬 (1986—), 男, 高级工程师, 主要从事区域地质及矿产地质调查方面的研究工作。Email: zxy8008@163.com。

通信作者简介: 任龙 (1988—), 男, 工程师, 主要从事侵入岩岩石学方面的研究工作。Email: 15319605@qq.com。

缝合带的标志; 孙德有等^[12]认为二连浩特—贺根山—黑河缝合带的缝合时限为 330 ~ 300 Ma; 苗来成等^[13]认为缝合带东段新开岭地区的新开岭—科洛杂岩为与早中生代碰撞作用有关的变质杂岩, 碰撞时间为 (216 ± 3) Ma, 为印支期的碰撞构造带; 那福超等^[14]在缝合带东段哈达阳地区构造片岩中获得的锆石 U-Pb 年龄为 (413.9 ± 2.7) Ma, 认为其原岩时代为早泥盆世; 付俊彧等^[15]在哈达阳地区获得角闪岩和角闪辉长岩的锆石 U-Pb 年龄分别为 (341 ± 3) Ma 和 (359 ± 5) Ma, 认为其形成于板块消减带构造环境; 黄波等^[16]从贺根山蛇绿岩中获得的辉长闪长岩和玄武岩的锆石 U-Pb 年龄分别为 (341 ± 3) Ma 和 (359 ± 5) Ma, 认为贺根山蛇绿岩形成时代为晚泥盆世—早石炭世, 构造侵位时间为晚石炭世; 李英杰等^[17]认为在早石炭世, 二连浩特—贺根山地区发生了洋内初始俯冲作用和洋陆转换岩浆作用; 许文良等^[18]认为兴安地块和松嫩地块的拼合时间为早石炭世晚期; 周建波等^[19]认为二连浩特—贺根山—黑河缝合带不能作为华北板块与西伯利亚板块的最终缝合带, 应作为中亚造山带内部地块(兴安地块与松嫩地块)之间的缝合带, 就位时代为晚石炭世。

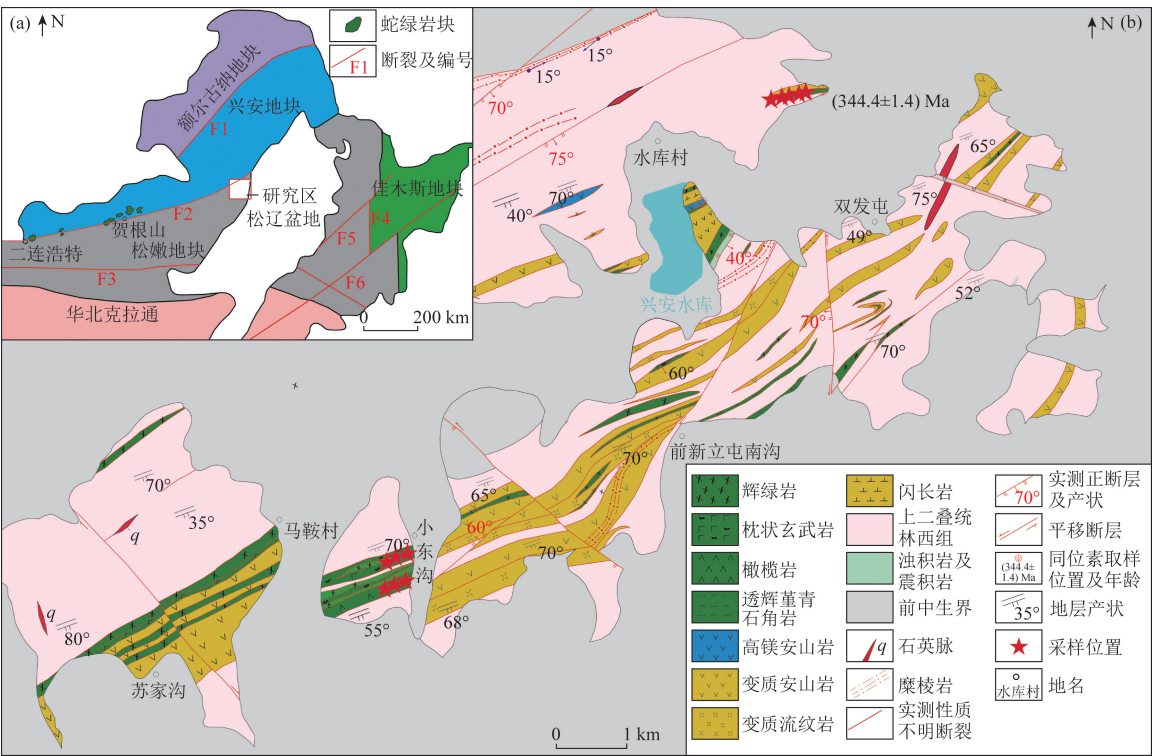
马鞍山地区新发现的蛇绿混杂岩在空间上位于二连浩特—贺根山蛇绿岩带的东延部分。对这套蛇绿混杂岩开展野外调查, 识别岩性, 并进行系统的岩石地球化学、年代学研究, 探讨马鞍山蛇绿混杂岩形成的构造环境和时代, 以期填补二连浩特—贺根山—黑河缝合带中段的空白, 为古亚洲洋构造域演化提供新的证据。

1 研究区概况

1.1 地质背景

研究区位于内蒙古东部, 属于大兴安岭中南段, 区域地质构造背景为中亚造山带东段华北陆块北缘增生带(图 1(a)), 兴安地块与松嫩地块的交接部位, 二连浩特—贺根山蛇绿岩带的东延部分。中生代以前主要受西伯利亚板块与华北板块相互作用的影响, 经历了古亚洲洋的消亡、西伯利亚板块与华北板块碰撞拼贴的演化历史。

二连浩特—贺根山蛇绿岩带从西向东断续延伸约 400 km^[22]。贺根山蛇绿岩的岩石类型主要为蛇纹石化辉石橄榄岩、纯橄榄岩、辉石橄榄岩等超



F1. 喜桂图—塔源断裂; F2. 贺根山—黑河断裂; F3. 索伦—西拉木伦—长春缝合带; F4. 嘉荫—牡丹江断裂; F5. 伊通—伊兰断裂; F6. 敦化—密山断裂

图 1 马鞍山地区大地构造位置(a)及地质简图(b)
Fig.1 Tectonic location (a) and geological sketch (b) of Ma'anshan area

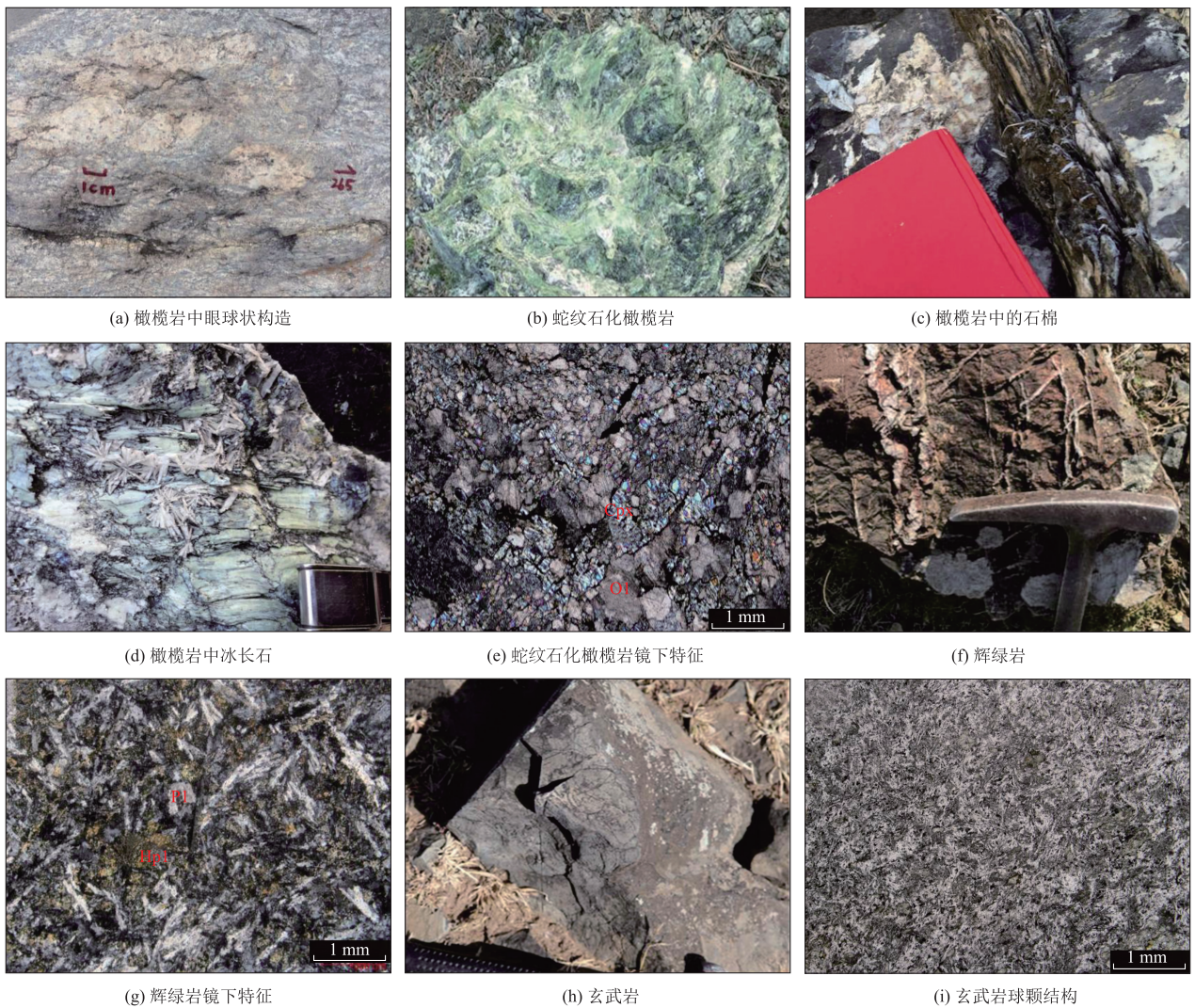
镁铁质岩^[11,23]。马鞍山地区蛇绿混杂岩的岩性特征与贺根山蛇绿岩相似,由蛇纹石化橄榄岩、橄榄岩、辉绿岩、玄武岩、高镁安山岩、安山岩、流纹岩组成,岩块与岩块之间呈断层接触。

研究区古生界主要为大石寨组和林西组,大石寨组为一套基性-中酸性熔岩及凝灰岩组合,其中断续分布浊积岩、辉绿岩、枕状玄武岩、高镁安山岩、流纹岩等,本文将其厘定为蛇绿混杂岩;林西组大面积出露,岩性为一套黑色砂岩及板岩组合,与弧火山岩在空间上具有一定联系,其间夹有大量的枕状玄武岩、流纹岩、安山岩、辉绿岩等大小不一、成分各异的构造透镜体,不同岩性之间的界线为一系列倾向 130°~150°、倾角 30°~45°的断层、糜棱岩或强片理化带。区内构造以 NE 向为主,NW 向次之。

1.2 岩石学特征

马鞍山地区蛇绿混杂岩出露于马鞍村-双发屯一带,长约 25.8 km,宽约 6 km,总体沿 NE 向略呈“S”形展布(图 1(b))。该套蛇绿混杂岩由岩块和基质构成,其中岩块占主导地位,构成混杂岩的主体。基质主要分布在岩块的边部,片理围绕构造透镜体变化,并显示出韧性变形的特点。岩块主要由蛇纹石化橄榄岩、橄榄岩、辉绿岩、玄武岩、高镁安山岩、安山岩、流纹岩组成,基质主要为浊积岩。

蛇纹石化橄榄岩、橄榄岩呈透镜状分布于小东沟一带,分布区长 350 m,宽 150 m,走向 NE 70°,南倾,倾角约 60°,内部发育眼球状构造(图 2(a))。岩石表面具有滑感,片理化,多裂隙,常见方解石及石英细脉穿插其中(图 2(b)),蛇纹石化橄榄岩与



Cpx. 单斜辉石; Ol. 橄榄石; Pl. 斜长石; Hpl. 角闪石

图 2 研究区岩石宏观及微观特征

Fig. 2 Macroscopic and microscopic characteristics of the rocks in the study area

橄榄岩呈断层接触,断裂中沿走向发育密集劈理,并见有滑石化,局部退变质为石棉(图 2(c))。受后期低温热液作用,节理面上发育放射状冰长石(图 2(d))。岩石多已蚀变,蛇纹石化橄榄岩由橄榄石及少量辉石组成,橄榄石已几乎全部被方解石、蛇纹石交代呈假象,约占 95%,辉石已蚀变为透闪石,约占 5%(图 2(e))。蛇绿混杂岩就位于小东沟晚二叠世林西组之中,接触部位的林西组粉砂质板岩发育膝折与破碎理。

辉绿岩主要分布于马鞍村一带,呈 NE 向带状展布,与上二叠统林西组板岩为断层接触,接触部位岩石破碎强烈,破碎带倾向为 130°~150°,倾角较陡,沿走向呈波状展布,内部发育糜棱岩化,边部围岩发育强片理化。辉绿岩内部多见网格状方解石细脉穿插(图 2(f)),局部沿节理面发育放射状角闪石集合体(图 2(g))。

玄武岩分布于小东沟一带,长约 950 m,宽 200 m,走向 SE 70°,南倾,倾角约 60°。玄武岩发育枕状构造(图 2(h)),岩石由斑晶和基质组成。岩石内部见阳起石、透辉石、长石、石英等充填不规则状裂隙,岩石发育球状结构,具海底喷发的特点(图 2(i))。

高镁安山岩、安山岩、流纹岩呈断片状、断块状产出。高镁安山岩具洋内弧地球化学特征,长 2.8 km,宽 0.3 km,夹杂于上二叠统林西组泥质板岩之中,岩石具弱片理化,矿物略呈定向排列,接触带泥质板岩处见沿断层走向发育的密集劈理带及定向分布的砂岩透镜体。安山岩、流纹岩具火山岛弧岩石组合特征,与高镁安山岩呈构造接触,内部岩石具片理化特征,沿走向发育密集劈理,与原始层理斜交。

2 分析测试方法

对马鞍山地区蛇绿混杂岩开展岩石地球化学测试,采样位置见图 1(b),包括橄榄岩 3 件、辉绿岩 5 件、玄武岩 3 件,并对辉绿岩样品进行锆石 U-Pb 同位素测年。

主量元素和微量元素测试由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。主量元素采用 Panalytical 公司 PW400 型 X 荧光光谱仪测定,分析误差低于 5%。微量元素采用 Thermo Fisher 公司 X-Seriesp 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)测定^[24],相对误差低于 5%。

锆石分选由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。采用重液浮选和电磁分离方法进行挑选,从重约 50 kg 的样品中挑选出 120 颗锆石^[17],锆石的阴极发光显微照相由北京铅年领航科技有限公司完成,锆石原位 U-Pb 同位素年龄分析由北京科荟测试技术有限公司完成。激光剥蚀斑束直径为 35 μm,剥蚀深度为 20~40 μm。数据处理采用 ICPMSDataCal 8.4 软件,并采用 Anderson 方法对测试数据进行普通铅校正,年龄计算及谐和图绘制采用 Isoplot 完成。

3 分析结果

3.1 橄榄岩

研究区样品主量元素、微量元素和稀土元素含量见表 1。

表 1 研究区样品主量元素、微量元素和稀土元素含量
Tab.1 Content of major elements, trace elements and rare earth elements of samples in the study area

样品编号	岩性	主量元素含量/%												
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	烧失量	总和
HP73S28	辉绿岩	48.23	15.34	2.34	3.06	7.73	8.86	6.50	0.65	3.71	0.23	0.290	2.88	99.83
HP73S42	辉绿岩	46.82	16.61	2.25	2.95	7.98	7.00	8.06	0.74	3.47	0.23	0.200	3.48	99.81
HP73S73	辉绿岩	48.39	15.58	1.71	2.04	8.42	10.64	7.60	0.38	2.47	0.19	0.140	2.31	99.88
HP73S78	辉绿岩	39.92	14.19	0.92	3.79	5.27	17.37	6.50	0.39	1.68	0.17	0.067	9.64	99.90
HP89-1S24-1	辉绿岩	59.27	15.87	1.15	2.47	5.38	5.62	3.08	0.37	4.21	0.17	0.200	2.09	99.89
HP94S14	玄武岩	47.95	17.48	0.90	1.65	6.49	13.62	8.20	0.15	1.63	0.23	0.061	1.52	99.87
M01	玄武岩岩	46.93	16.52	0.76	3.20	8.49	10.46	6.45	1.15	2.65	0.16	0.032	1.21	99.00
M02	玄武岩岩	49.64	17.32	1.07	2.52	7.58	8.56	6.95	0.96	2.30	0.21	0.025	1.46	99.52
HP98-1S8	橄榄岩	41.53	0.81	0.01	6.04	1.76	0.12	36.74	0.03	0.05	0.12	0.006	12.23	99.45
HP99S14	橄榄岩	41.10	0.66	0.01	4.73	2.39	0.13	38.12	0.01	0.01	0.11	0.004	12.23	99.50
WL-D0055	橄榄岩	41.93	3.47	0.14	5.56	2.44	0.96	33.78	0.15	0.07	0.07	0.020	11.10	99.69
贺根山蛇绿岩	橄榄岩平均值 ^[25]	37.23	0.63	0.01	7.01	0.15	39.75	0.01	0.08	0.10	-	14.13	99.09	-
	玄武岩平均值 ^[21]	49.22	15.10	1.22	2.55	7.19	10.38	8.49	0.15	3.41	0.15	0.09	4.09	102.03

续表

样品编号	岩性	稀土元素含量/10 ⁻⁶												
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
HP73S28	辉绿岩	9.44	24.50	3.78	19.00	5.27	1.73	5.37	1.04	6.89	1.31	3.69	0.65	3.46
HP73S42	辉绿岩	5.87	17.60	2.97	16.00	5.06	1.42	5.53	1.12	7.84	1.54	4.45	0.81	4.44
HP73S73	辉绿岩	4.71	13.90	2.30	12.4	4.01	1.37	4.50	0.94	6.48	1.30	3.72	0.67	3.59
HP73S78	辉绿岩	2.28	6.49	1.10	6.27	2.17	0.96	2.55	0.54	3.82	0.75	2.14	0.38	2.16
HP89-1S24-1	辉绿岩	15.00	32.70	4.43	19.6	4.68	1.30	4.31	0.80	5.17	1.01	2.86	0.52	2.89
HP94S14	玄武岩	2.53	8.07	1.52	8.51	2.77	1.45	3.08	0.66	4.6	0.92	2.63	0.46	2.63
M01	玄武岩岩	4.64	9.65	1.61	7.98	2.02	0.71	2.75	0.43	3.42	0.54	1.98	0.26	1.83
M02	玄武岩岩	5.63	10.24	1.43	8.05	2.26	0.82	2.99	0.44	3.76	0.60	2.32	0.28	1.85
HP98-1S8	橄榄岩	0.66	1.06	0.14	0.54	0.10	0.04	0.11	0.02	0.12	0.02	0.07	0.02	0.09
HP99S14	橄榄岩	0.63	1.15	0.14	0.58	0.10	0.03	0.10	0.01	0.09	0.02	0.06	0.01	0.07
WL-D0055	橄榄岩	1.45	3.34	0.26	1.46	0.40	0.08	0.43	0.11	0.66	0.13	0.35	0.07	0.41
贺根山蛇绿岩	橄榄岩平均值 ^[25]	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
	玄武岩平均值 ^[21]	2.65	7.38	1.32	7.03	2.54	0.91	3.36	0.69	4.43	0.94	2.78	0.43	2.76

样品编号	岩性	稀土元素含量/10 ⁻⁶				特征参数			微量元素含量/10 ⁻⁶					
		Lu	ΣREE	LREE	HREE	LREE/ HREE	(La/ Yb) _N	(La/ Sm) _N	Li	Be	Sc	V	Cr	Co
HP73S28	辉绿岩	0.55	86.69	63.71	22.98	2.77	2.73	1.79	51.40	1.03	52.5	267.0	155	42.8
HP73S42	辉绿岩	0.69	75.31	48.9	26.41	1.85	1.32	1.16	38.60	0.70	52.5	284.0	276	39.3
HP73S73	辉绿岩	0.58	60.51	38.72	21.79	1.78	1.31	1.17	14.00	0.50	39.9	244.0	192	37.4
HP73S78	辉绿岩	0.34	31.96	19.27	12.69	1.52	1.05	1.05	26.60	0.34	36.3	172.0	208	33.1
HP89-1S24-1	辉绿岩	0.48	95.77	77.73	18.04	4.31	5.20	3.21	11.20	1.34	27.6	201.0	56	23.0
HP94S14	玄武岩	0.41	40.24	24.85	15.39	1.61	0.97	0.92	4.60	0.27	29.4	236.0	403	44.7
M01	玄武岩岩	0.23	38.05	26.61	11.44	2.33	2.54	2.30	4.85	0.32	28.5	215.0	325	42.6
M02	玄武岩岩	0.27	40.94	28.43	12.51	2.27	3.04	2.49	4.76	0.26	31.0	223.0	237	43.2
HP98-1S8	橄榄岩	0.02	3.00	2.54	0.46	5.51	7.30	6.30	4.63	0.46	11.3	33.1	2 728	84.1
HP99S14	橄榄岩	0.01	3.02	2.65	0.38	6.97	9.04	6.03	20.10	0.10	14.1	31.4	2 343	95.9
WL-D0055	橄榄岩	0.05	9.20	6.99	2.21	3.16	3.54	3.63	18.10	0.20	12.1	32.4	2 260	85.6
贺根山蛇绿岩	橄榄岩平均值 ^[25]	0.00	0.13	0.09	0.04	1.74	1.17	4.50	0.74	0.02	6.42	23.98	2 019.5	83.33
	玄武岩平均值 ^[21]	0.41	63.56	21.83	41.73	0.52	-	-	-	-	44.82	93.53	17.51	151.23

样品编号	岩性	微量元素含量/10 ⁻⁶												
		Ni	Ga	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Cs	Ba	Hf	Ta	Th	U
HP73S28	辉绿岩	53.2	18.1	13.9	512.0	141.0	6.63	0.21	3.45	269.0	4.17	0.45	0.51	0.19
HP73S42	辉绿岩	117.0	19.1	31.0	354.0	159.0	2.57	0.27	3.83	300.0	4.29	0.18	0.45	0.16
HP73S73	辉绿岩	78.3	17.2	10.3	139.0	110.0	1.47	0.47	1.21	43.9	3.55	0.14	0.45	0.18
HP73S78	辉绿岩	66.4	17.5	11.5	236.0	67.3	0.81	0.33	0.53	39.3	1.92	0.07	0.28	0.55
HP89-1S24-1	辉绿岩	20.2	20.2	10.8	446.0	154.0	6.05	0.83	3.56	99.0	4.18	0.35	3.04	0.86
HP94S14	玄武岩	142.0	19.5	3.8	298.0	82.0	0.43	0.39	1.28	83.3	2.45	0.13	0.30	0.18
M01	玄武岩岩	98.0	20.7	5.3	313.0	75.0	7.96	0.36	0.94	86.5	1.72	0.67	0.97	0.16
M02	玄武岩岩	124.0	17.4	2.5	315.0	79.0	3.93	0.56	1.18	72.7	2.05	0.50	0.98	0.22
HP98-1S8	橄榄岩	2 663.0	1.23	1.1	9.3	30.9	0.14	0.57	0.61	16.2	0.81	0.03	0.16	0.78
HP99S14	橄榄岩	2 548.0	1.54	0.8	10.9	26.2	0.13	0.32	0.86	11.3	0.73	0.02	0.19	0.11
WL-D0055	橄榄岩	3 812.0	1.35	5.9	22.3	47.8	5.90	0.45	0.75	7.6	1.05	0.05	0.38	0.12
贺根山蛇绿岩	橄榄岩平均值 ^[25]	1 749.5	1.14	0.1	11.38	0.16	0.01	-	0.01	1.02	-	-	0.01	0.01
	玄武岩平均值 ^[21]	57.38	-	1.9	153.29	64.04	2.16	-	-	68.27	2.3	0.3	0.32	0.13

注：“-”为无数据。

其中：橄欖岩样品 $Mg^\#$ 为 88 ~ 92, 与变质橄欖岩类相比 MgO 含量更低, $Mg^\#$ 略高 (变质橄欖岩 MgO 含量为 42.70% ~ 45.00%, $Mg^\#$ 为 66 ~ 92)^[26]; TiO_2 含量为 0.01% ~ 0.14%, 与大洋中脊地幔 (0.1% ~ 0.4%) 相比更低, 与消减带中的蛇绿岩 ($\omega(TiO_2) < 0.1\%$) 一致^[27]。

橄欖岩稀土元素分馏一般, LREE 略富集, HREE 含量较少且变化不大。球粒陨石标准化稀土元素配分模式图 (图 3(a)) 显示出宽缓的“U”形特征, 与俯冲带 (supra-subduction zone, SSZ) 型蛇绿岩的地幔橄欖岩类似^[26]。原始地幔标准化微量元素蛛网图显示样品富集 Rb、U、Ba 等大离子亲石元

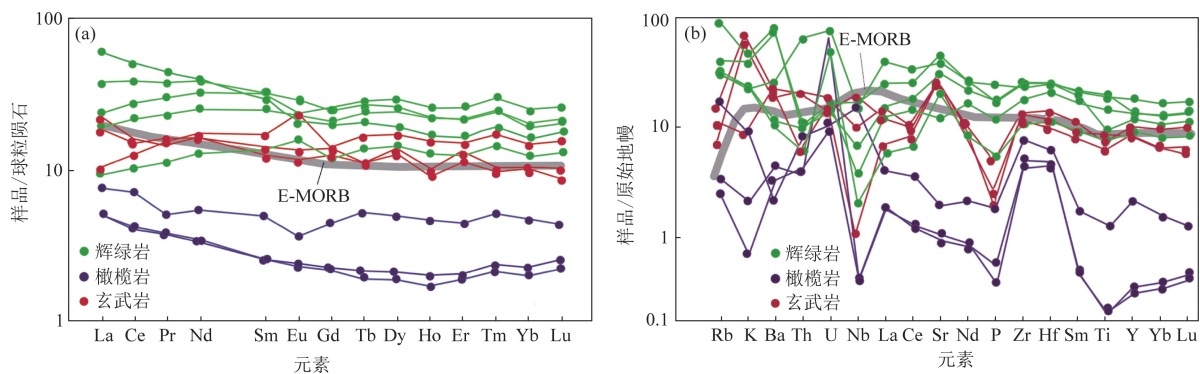


图 3 研究区样品球粒陨石标准化稀土元素配分图 (a) 和原始地幔标准化微量元素蛛网图 (b)

Fig.3 Chondrite – normalized REE diagrams (a) and primitive mantle – normalized trace element spider diagrams (b) of samples in the study area

素,除了 Zr 和 Hf 以外,K、Ti、P、Nb 等高场强元素相对亏损(图 3(b))。岩石中 Cr、Ni 含量较高,与典型蛇绿岩中超镁铁质岩石的地球化学特征相似^[28]。

3.2 辉绿岩

辉绿岩样品贫 K₂O、富 Na₂O、高 Al₂O₃,通常认为消减带中岩石的 Al₂O₃ 含量较高^[29-30]。

样品稀土元素总量相对低,LREE 含量变化范围大,在球粒陨石标准化稀土元素配分图(图 3(a))中呈开阔“U”形特征。原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 3(b))显示大离子亲石元素较富集(如 Rb、Ba、U、Sr),高场强元素相对亏损(K、Nb)。

3.3 玄武岩

玄武岩样品 SiO₂ 含量为 46.73% ~ 49.64%,TiO₂ 含量为 0.7% ~ 1.07%,与弧后盆地玄武岩类似(0.7% ~ 2.0%)^[15]; MgO 含量为 6.45% - 8.20%,具原始岩浆成分特点; Na₂O 含量为 1.63% ~ 2.65%,K₂O 含量为 0.15% ~ 1.15%,总体显示出富钠、贫钾的特点; Al₂O₃ 含量变化范围

较大,为 13.11% ~ 17.95%,较高的 Al₂O₃ 含量暗示岩石可能形成于消减带环境^[29-30]。

玄武岩中的 LREE 相较于 HREE 略富集。球粒陨石标准化稀土配分图表现为平坦型(图 3(a)),与富集型洋中脊(enriched mid – ocean ridge basalt,E – MORB)特征较为相似。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 3(b))中,大离子亲石元素相对富集(如 K、Rb、Ba、U、Sr),高场强元素含量变化不大,与其他元素相比,Nb、P 亏损较为明显(图 3(b)),表明其形成过程中可能有消减带流体或地壳物质参与^[31]。

Al₂O₃ – CaO – MgO 图解(图 4(a))显示橄榄岩位于变质橄榄岩区域,辉绿岩、玄武岩均位于镁铁质堆积岩区域。Nb/Y – Zr/TiO₂ 图解显示辉绿岩与玄武岩均位于玄武岩区域(图 4(b)),TiO₂ – MnO – P₂O₅ 图解(图 4(c))显示辉绿岩落入正常洋脊玄武岩和岛弧拉斑玄武中,玄武岩显示出岛弧钙碱性玄武岩与岛弧拉斑玄武岩特征。

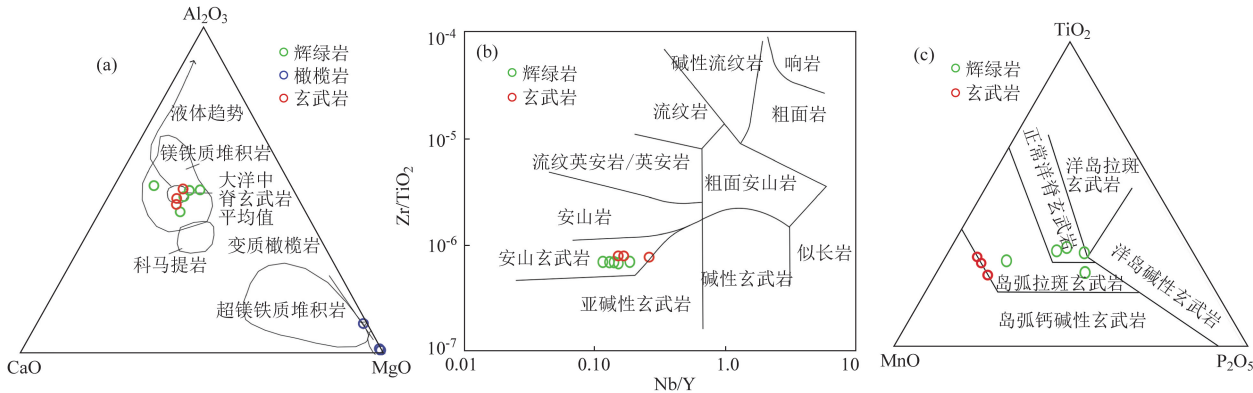


图 4 研究区样品 Al₂O₃ – CaO – MgO (a)、Zr/TiO₂ – Nb/Y (b) 及 TiO₂ – MnO – P₂O₅ (c) 图解

Fig.4 Al₂O₃ – CaO – MgO (a), Zr/TiO₂ × 10⁻⁴ – Nb/Y (b) and TiO₂ – MnO – P₂O₅ (c) diagram of samples in the study area

3.4 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

辉绿岩样品中锆石透明,颜色为浅黄色,锆石形态以自行-半自形柱状为主,少数呈扇形或补丁状,粒径为 50~80 μm,长宽比为 1.2~2.0。在阴极发光图像中,具振荡环带和明暗相间的条带结构(图 5),锆石 Th/U 值为 0.41~1.37,平均值为 0.64,

表明其为岩浆锆石^[32]。锆石 U-Pb 测年结果(表 2)显示:年龄集中于(338±7)~(349±3) Ma,²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为(344.4±1.4) Ma(图 6),可代表辉绿岩形成年龄。在本区还测得高镁安山岩²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均年龄为(346.4±1.4) Ma(另文发表),可代表其喷发年龄^[33]。

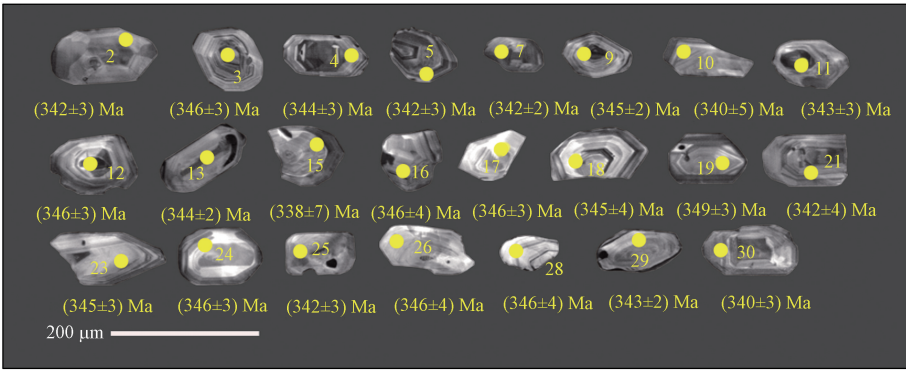


图 5 辉绿岩锆石阴极发光图像及年龄值

Fig.5 CL images and ages of zircons from diabase

表 2 辉绿岩样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果

Tab.2 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of diabase samples

测点	元素含量/10 ⁻⁶			Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Pb	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ		
2	17.81	129.40	280.95	0.46	0.057 7	0.001 5	0.431 7	0.010 2	0.054 6	0.000 5	342	3	517	57		
3	16.34	160.09	252.62	0.63	0.054 1	0.001 3	0.412 2	0.011 4	0.055 2	0.000 6	346	2	376	56		
4	24.88	340.41	343.23	0.99	0.060 2	0.001 4	0.455 2	0.011 4	0.054 8	0.000 5	344	3	609	47		
5	20.82	187.87	329.47	0.57	0.055 3	0.001 1	0.415 8	0.008 5	0.054 5	0.000 5	342	3	433	44		
7	32.76	441.27	470.45	0.94	0.059 0	0.001 0	0.443 5	0.008 2	0.054 5	0.000 4	342	2	565	39		
9	39.56	406.46	604.12	0.67	0.057 1	0.000 9	0.432 8	0.007 1	0.055 1	0.000 5	345	2	494	35		
10	17.49	117.71	288.58	0.41	0.056 1	0.004 3	0.420 7	0.033 9	0.054 3	0.001 0	340	5	457	172		
11	19.87	210.34	307.97	0.68	0.053 9	0.001 2	0.404 6	0.009 2	0.054 8	0.000 6	343	3	365	47		
12	22.01	235.86	337.96	0.70	0.053 4	0.001 3	0.406 5	0.010 4	0.055 2	0.000 6	346	3	346	83		
13	28.86	331.14	426.63	0.78	0.056 3	0.001 3	0.428 1	0.011 5	0.054 9	0.000 4	344	2	465	52		
15	16.39	190.30	241.62	0.79	0.063 6	0.003 0	0.476 1	0.027 7	0.053 9	0.001 2	338	7	728	103		
16	17.89	140.85	263.26	0.54	0.077 2	0.002 6	0.587 7	0.020 5	0.055 3	0.000 7	346	4	1 126	67		
17	10.62	154.14	147.70	1.04	0.052 7	0.002 0	0.399 0	0.015 0	0.055 2	0.000 6	346	3	317	119		
18	10.68	190.56	139.11	1.37	0.055 9	0.002 3	0.421 7	0.017 8	0.055 1	0.000 8	345	4	456	123		
19	16.05	199.56	224.32	0.89	0.062 2	0.001 7	0.477 1	0.013 2	0.055 7	0.000 6	349	3	683	53		
21	26.06	194.77	381.28	0.51	0.090 0	0.010 1	0.695 2	0.085 9	0.054 6	0.000 8	342	4	1426	215		
23	9.18	81.16	144.56	0.56	0.054 0	0.001 6	0.407 1	0.011 7	0.055 0	0.000 5	345	3	372	67		
24	12.50	122.17	184.92	0.66	0.069 2	0.002 2	0.528 8	0.017 8	0.055 2	0.000 6	346	3	906	65		
25	14.33	110.61	228.75	0.48	0.062 0	0.001 9	0.466 1	0.014 3	0.054 6	0.000 5	342	3	676	65		
26	5.07	41.13	67.23	0.61	0.114 3	0.004 3	0.864 6	0.032 5	0.055 2	0.000 6	346	4	1 868	69		
28	8.30	69.16	105.14	0.66	0.138 6	0.006 2	1.056 1	0.049 9	0.055 2	0.000 8	346	4	2 210	78		
29	21.71	159.46	351.36	0.45	0.056 7	0.001 3	0.427 1	0.009 8	0.054 7	0.000 5	343	2	480	52		
30	21.30	257.16	321.22	0.80	0.059 3	0.001 5	0.443 1	0.011 6	0.054 3	0.000 5	340	3	576	54		

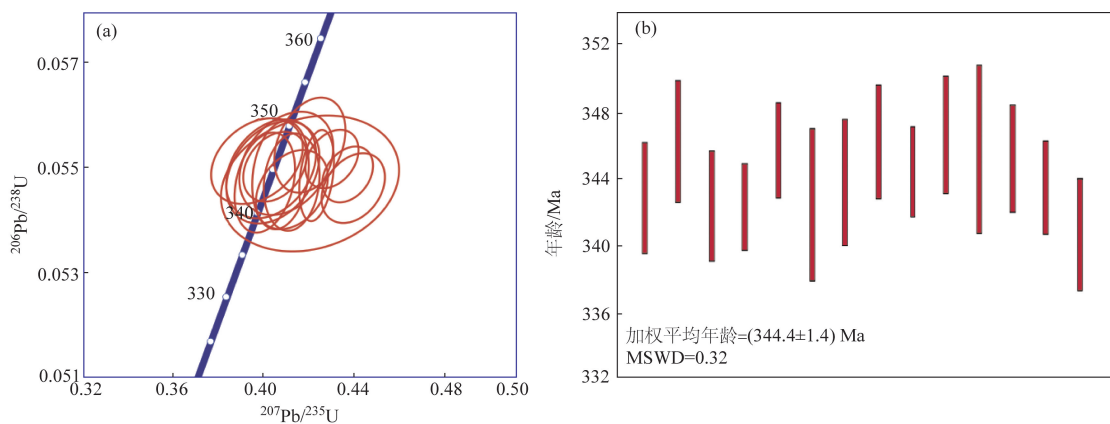


图 6 辉绿岩锆石 U - Pb 年龄谐和图 (a) 和加权平均年龄 (b)

Fig. 6 Zircon U - Pb age concordia diagram (a) and weighted average age (b) from diabase

4 讨论

4.1 蛇绿岩的形成时代

前人对二连浩特—贺根山蛇绿岩带进行了详细的研究,积累了大量资料^[34],但对其形成时代仍有争论。曹从周等^[7]和梁日暄^[10]根据硅质岩中的放射虫化石,认为其形成时代为中—晚泥盆世到早石炭世;Miao 等^[35]在贺根山附近朝克山获得的辉长岩锆石 U - Pb 年龄为 (295 ± 15) Ma; Jian 等^[36]在贺根山变质橄榄岩辉长岩墙及斜长花岗岩脉中获得的锆石 U - Pb 年龄分别为 (354 ± 7) Ma 和 (333 ± 4) Ma; Zhang 等^[37]在二连浩特获得的辉长岩及斜长花岗岩锆石 U - Pb 年龄分别为 (354 ± 4.5) Ma 和 (345 ± 5.5) Ma; 李英杰等^[17,22]在梅劳特乌拉获得的辉长岩锆石 U - Pb 年龄为 (308.5 ± 2.2) Ma; 黄波等^[16]获得的贺根山辉长闪长岩锆石 U - Pb 年龄为 (341 ± 3) Ma,玄武岩年龄为 (359 ± 5) Ma。上述锆石 U - Pb 年龄均较为接近,本文获得的马鞍山地区蛇绿混杂岩中辉绿岩年龄为 (344.4 ± 1.4) Ma,与本区高镁安山岩锆石 U - Pb 年龄 (346.4 ± 1.4) Ma (另文发表)相互印证。这些年代学资料证实了马鞍山地区蛇绿混杂岩侵位于早石炭世。

4.2 构造环境

弧前、弧间、弧后盆地、大洋中脊等多种构造环境均可以形成蛇绿岩,由于消减带仰冲构造运动对于蛇绿岩的保存就位有利,绝大多数蛇绿岩产于与消减带有关的环境中^[37]。岩石地球化学特征表

明,马鞍山地区蛇绿混杂岩中橄榄岩的 TiO_2 含量较低,LREE 略富集,HREE 略亏损,总体显示“U”形特征,可能与 SSZ 型构造环境中复杂的源区、丰富的流体活动,以及部分熔融的熔体与残留地幔橄榄岩的再反应有关^[25],与 SSZ 型蛇绿岩中的地幔橄榄岩特征一致^[26]。辉绿岩地球化学特征显示其具有 SSZ 型构造背景成因的熔岩特征^[5]。玄武岩中 Al_2O_3 含量较高,暗示其可能形成于消减带环境,球粒陨石标准化稀土配分曲线与 E - MORB 特征较为相似,地球化学数据显示其具有岛弧玄武岩及洋中脊玄武岩双重特征,通常这种兼具 E - MORB 特征与岛弧玄武岩特征的岩石被认为形成于弧后盆地环境^[5,38-39]。

研究区发育高镁安山岩和浊积岩(另文发表),其中高镁安山岩形成于洋内弧环境,是地幔橄榄岩与消减洋壳板片部分熔融的产物,指示了与俯冲消减有关的构造背景^[33]。浊积岩为一套弧前盆地古海沟浊积岩沉积,在成岩过程中不断受到地震扰动,形成具有强构造活动特征的震积岩,其间夹杂了火山岩、基性—超基性岩,可视为该蛇绿混杂岩的基质成分^[40]。

综上所述,马鞍山地区蛇绿混杂岩形成的构造环境应为板块消减带。

4.3 与贺根山蛇绿岩的对比

贺根山蛇绿岩中橄榄岩的 SiO_2 平均含量为 37.23%,富 MgO、Ni、Cr 等, Al_2O_3 、CaO、 Na_2O 、 TiO_2 等含量较低,稀土总量偏低,稀土元素配分图(图 3(a))呈宽缓的“U”形,富集 U、Pb、Sr,亏损 Nb、Eu 等;玄武岩 SiO_2 平均含量为 49.22%,富 MgO、 Al_2O_3 、Na,低 K,LREE 元素略亏损,富集大离子亲石元素(如 Rb、Sr、Ba),亏损 Nb、Ta 等(表 1)^[21,25]。

上述地球化学特征表明:贺根山蛇绿岩具有 LREE 亏损的稀土配分模式,Nb、Ta 等高场强元素与大离子亲石元素亏损;LREE 富集,没有明显的 Nb、Ta 负异常,类似于 E - MORB 的特征^[41],这表明贺根山蛇绿岩与马鞍山地区蛇绿混杂岩的形成环境相似,有可能属于同一条蛇绿岩带,具有相似的地球化学特征,可能为同一弧后盆地岩石圈不同地段的残余。

4.4 构造启示

二连浩特—贺根山蛇绿岩带是兴蒙造山带北部重要的构造单元,过去一般被认为形成于洋中脊环境。近年来,前人通过研究贺根山蛇绿岩中的橄榄岩、玄武岩、铬铁矿等地球化学特征,认为贺根山蛇绿岩具有俯冲带特征,如岛弧边缘弧盆地体系、弧后拉张洋盆等^[6,11,21,27,41-42]。黄竺等^[43]在贺根山蛇绿岩铬铁矿石中发现了超高压矿物(金刚石、碳硅石),铬铁矿中的超高压、强还原矿物等地壳物质的出现指示铬铁矿的形成可能经历了地幔深部、洋中脊、俯冲带等多个阶段,蛇绿岩最终形成于俯冲带上盘或者被俯冲带改造^[44-45]。

马鞍山地区蛇绿混杂岩的地球化学特征表明其形成于板块消减带构造环境,与贺根山蛇绿岩形成环境相似,有可能同属于一条蛇绿岩带,结合本区发现的马鞍山高镁安山岩形成于与俯冲有关的构造背景,表明本区存在板块消减带(缝合带),为二连浩特—贺根山—黑河缝合带在东部的延伸提供了佐证。

5 结论

(1)内蒙古马鞍山地区蛇绿混杂岩岩块为蛇纹石化橄榄岩、橄榄岩、辉绿岩、玄武岩、高镁安山岩、安山岩、流纹岩,基质主要为浊积岩,是二连浩特—贺根山蛇绿岩带的东延部分,可以与之进行对比。

(2)地球化学特征表明马鞍山地区橄榄岩与 SSZ 型地幔橄榄岩特征相似,辉绿岩具 SSZ 型构造背景成因特征,玄武岩兼具 E - MORB 和岛弧玄武岩特征,指示其形成于弧后盆地环境。

(3)辉绿岩 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 年龄为 (344.4 ± 1.4) Ma,与本区发现的高镁安山岩年龄相互印证,将马鞍山地区蛇绿混杂岩的形成时代厘定为早石炭世。

(4)马鞍山地区蛇绿混杂岩形成于板块消减带

的构造背景,可以与同一区域的高镁安山岩以及蛇纹石化橄榄岩相互印证,表明本区存在板块消减带(缝合带),填补了二连浩特—贺根山—黑河缝合岩带中段的空白,对厘定区域构造格架具有非常重要意义。

参考文献(References):

- [1] 符安宗,李金明,吕石佳,等.黑龙江多宝山地区裸岩体锆石 U - Pb 年龄、地球化学特征及地质意义[J].中国地质调查,2023,10(1):52 - 61.
Fu A Z, Li J M, Lv S J, et al. Zircon U - Pb ages, geochemical characteristics and geological significance of Luohe pluton in Duobaoshan area, Heilongjiang Province[J]. Geological Survey of China, 2023, 10(1): 52 - 61.
- [2] 郝书清,贾士影,戎秀伟.兴安地块南段乌兰复合岩体年代学、地球化学及其地质意义[J].中国地质调查,2022,9(3):40 - 51.
Hao S Q, Jia S Y, Rong X W. Geochronology, geochemistry and geological significance of the Wulan composite pluton in the southern Xing'an block [J]. Geological Survey of China, 2022, 9(3): 40 - 51.
- [3] 宋树军,宋立军,陈志楠.河北省大地构造相划分与成矿作用[J].中国地质调查,2023,10(3):75 - 83.
Song S J, Song L J, Chen Z N. Tectonic facies classification and mineralization of Hebei Province[J]. Geological Survey of China, 2023, 10(3): 75 - 83.
- [4] 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.
Zhu Y F, Xu X. The discovery of Early Ordovician ophiolite mélange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(12): 2833 - 2842.
- [5] Xu J F, Castillo P R, Chen F R, et al. Geochemistry of late Paleozoic mafic igneous rocks from the Kuerti area, Xinjiang, northwest China: Implications for backarc mantle evolution [J]. Chemical Geology, 2003, 193(1/2): 137 - 154.
- [6] 林敏,马昌前,徐立明,等.内蒙古海勒斯台俯冲增生混杂岩地质特征及发现的意义[J].地球科学,2019,44(10):3279 - 3296.
Lin M, Ma C Q, Xu L M, et al. Geological characteristics of subduction - accretionary complexes in Hellestein District, Inner Mongolia and its discovery significance [J]. Earth Science, 2019, 44(10): 3279 - 3296.
- [7] 曹从周,杨芳林,田昌烈,等.内蒙古贺根山地区蛇绿岩及中朝板块和西伯利亚板块之间的缝合带位置[M]//中国北方板块构造论文集编委会.中国北方板块构造论文集(1).北京:地质出版社,1986:64 - 86.
Cao C Z, Yang F L, Tian C L, et al. Location of ophiolite and suture zone between Sino - Korean plate and Siberian plate in Hengshan area, Inner Mongolia [M]//Committee of the Collection

- of Plate Tectonics in Northern China. Collection of Papers on Plate Tectonics in Northern China (1). Beijing: Geological Publishing House, 1986: 64–86.
- [8] 李锦轶. 内蒙古东部中朝板块与西伯利亚板块之间古缝合带的初步研究[J]. 科学通报, 1986, 31(14): 1093–1096.
- Li J Y. A preliminary study of the ancient suture zone between the Sino–Korean plate and the Siberian plate in eastern Inner Mongolia[J]. Chinese Science Bulletin, 1986, 31(14): 1093–1096.
- [9] 田昌烈, 曹从周, 杨芳林. 中朝陆台北侧褶皱带(中段)蛇绿岩的地球化学特征[J]. 中国地质科学院院报, 1989: 107–129.
- Tian C L, Cao C Z, Yang F L. Geochemical Features of ophiolite in the fold belt on the North side of the Sino–Korean platform[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1989: 107–129.
- [10] 梁日暄. 内蒙古中段蛇绿岩特征及地质意义[J]. 中国区域地质, 1994, 13(1): 37–45.
- Ling R X. The features of ophiolites in the gentral sector of Inner Mongolia and its geological significance[J]. Regional Geology of China, 1994, 13(1): 37–45.
- [11] 包志伟, 陈森煌, 张桢堂. 内蒙古贺根山地区蛇绿岩稀土元素和 Sm–Nd 同位素研究[J]. 地球化学, 1994, 23(4): 339–349.
- Bao Z W, Chen S H, Zhang Z T. Study on Ree and Sm–Nd isotopes of Hegenshan ophiolite, Inner Mongolia[J]. Geochimica, 1994, 23(4): 339–349.
- [12] 孙德有, 吴福元, 李惠民, 等. 小兴安岭西北部造山后 A 型花岗岩的时代及与索伦山—贺根山—扎赉特碰撞拼合带东延的关系[J]. 科学通报, 2000, 45(20): 2217–2222.
- Sun D Y, Wu F Y, Li H M, et al. Emplacement age of the postorogenic A–type granites in Northwestern Lesser Xing'an Ranges, and its relationship to the eastward extension of Suolushan–Hegenshan–Zhalaite collisional suture zone[J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(5): 427–432.
- [13] 苗来成, 范蔚茗, 张福勤, 等. 小兴安岭西北部新开岭—科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义[J]. 科学通报, 2003, 48(22): 2315–2323.
- Miao L C, Fan W M, Zhang F Q, et al. Zircon SHRIMP geochronology of the Xinkailing–Kele complex in the northwestern Lesser Xing'an Range, and its geological implications[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(2): 201–209.
- [14] 那福超, 付俊彧, 汪岩, 等. 内蒙古莫力达瓦旗哈达阳绿泥白云母构造片岩 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2014, 33(9): 1326–1332.
- Na F C, Fu J Y, Wang Y, et al. LA–ICP–MS zircon U–Pb age of the chlorite–muscovite tectonic schist in Hadayang, Morin Dawa Banner, Inner Mongolia, and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(9): 1326–1332.
- [15] 付俊彧, 汪岩, 那福超, 等. 内蒙古哈达阳镁铁—超镁铁质岩锆石 U–Pb 年代学及地球化学特征: 对嫩江—黑河地区晚泥盆世俯冲背景的制约[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1740–1753.
- Fu J Y, Wang Y, Na F C, et al. Zircon U–Pb geochronology and geochemistry of the Hadayang mafic–ultramafic rocks in Inner Mongolia: Constraints on the Late Devonian subduction of Nenjiang–Heihe area, Northeast China[J]. Geology in China, 2015, 42(6): 1740–1753.
- [16] 黄波, 付冬, 李树才, 等. 内蒙古贺根山蛇绿岩形成时代及构造启示[J]. 岩石学报, 2016, 32(1): 158–176.
- Huang B, Fu D, Li S C, et al. The age and tectonic implications of the Hegenshan ophiolite in Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2016, 32(1): 158–176.
- [17] 李英杰, 王金芳, 王根厚, 等. 内蒙古迪彦庙蛇绿岩带达哈特前弧玄武岩的发现及其地质意义[J]. 岩石学报, 2018, 34(2): 469–482.
- Li Y J, Wang J F, Wang G H, et al. Discovery and significance of the Dahate fore–arc basalts from the Diyanmiao ophiolite in Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2018, 34(2): 469–482.
- [18] 许文良, 孙晨阳, 唐杰, 等. 兴蒙造山带的基底属性与构造演化过程[J]. 地球科学, 2019, 44(5): 1620–1646.
- Xu W L, Sun C Y, Tang J, et al. Basement nature and tectonic evolution of the Xing'an–Mongolian orogenic belt[J]. Earth Science, 2019, 44(5): 1620–1646.
- [19] 周建波, 石爱国, 景妍. 东北地块群: 构造演化与古大陆重建[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, 46(4): 1042–1055.
- Zhou J B, Shi A G, Jing Y. Combined NE China blocks: tectonic evolution and supercontinent reconstruction[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2016, 46(4): 1042–1055.
- [20] 黄金香, 赵志丹, 张宏飞, 等. 内蒙古温都尔庙和巴彦敖包—交其尔蛇绿岩的元素与同位素地球化学: 对古亚洲洋东部地幔域特征的限制[J]. 岩石学报, 2006, 22(12): 2889–2900.
- Huang J X, Zhao Z D, Zhang H F, et al. Elemental and Sr–Nd–Pb isotopic geochemistry of the Wenduermiao and Bayanaobao–Jiaoqier ophiolites, Inner Mongolia: Constraints for the characteristics of the mantle domain of eastern Paleo–Asian Ocean[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(12): 2889–2900.
- [21] 王成, 任利民, 张晓军, 等. 内蒙古贺根山蛇绿岩中玄武岩锆石 U–Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质找矿论丛, 2018, 33(4): 617–626.
- Wang C, Ren L M, Zhang X J, et al. Zircon U–Pb age and geochemical characteristics of basalt of the Hegenshan ophiolite in Inner Mongolia and the geological significance[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2018, 33(4): 617–626.
- [22] 李英杰, 王金芳, 李红阳, 等. 内蒙古乌旗白音布拉格蛇绿岩地球化学特征[J]. 岩石学报, 2013, 29(8): 2719–2730.
- Li Y J, Wang J F, Li H Y, et al. Geochemical characteristics of Baiyinbulage ophiolite in Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(8): 2719–2730.
- [23] Robinson P T, Zhou M F, Hu X F, et al. Geochemical constraints on the origin of the Hegenshan ophiolite, Inner Mongolia, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1999, 17(4): 423–442.
- [24] 王金芳, 李英杰, 李红阳, 等. 内蒙古乌兰沟埃达克岩锆石 U–

- Pb 年龄及构造环境[J]. 地质通报, 2018, 37(10): 1933 – 1943.
- Wang J F, Li Y J, Li H Y, et al. Zircon U – Pb dating and tectonic setting of the Wulan'gou adakite in Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(10): 1933 – 1943.
- [25] 王智慧, 杨振宁, 王志伟, 等. 内蒙古贺根山蛇绿岩地幔属性: 来自方辉橄榄岩元素地球化学和 Re – Os 同位素的制约[J]. 岩石学报, 2023, 39(5): 1322 – 1338.
- Wang Z H, Yang Z N, Wang Z W, et al. Mantle property of Hegenshan ophiolite in Inner Mongolia: Constrains from element geochemistry and Re – Os isotopes of harzburgite[J]. Acta Petrologica Sinica, 2023, 39(5): 1322 – 1338.
- [26] 李英杰, 王金芳, 李红阳, 等. 内蒙古西乌珠穆沁旗迪彦庙蛇绿岩的识别[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1282 – 1290.
- Li Y J, Wang J F, Li H Y, et al. Recognition of Diyanmiao ophiolite in Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(4): 1282 – 1290.
- [27] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra – subduction zone ophiolites[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1984, 16(1): 77 – 94.
- [28] 李英杰, 王金芳, 李红阳, 等. 内蒙古西乌旗梅劳特乌拉蛇绿岩的识别[J]. 岩石学报, 2015, 31(5): 1461 – 1470.
- Li Y J, Wang J F, Li H Y, et al. Recognition of Meilaotewula ophiolite in Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31(5): 1461 – 1470.
- [29] Pearce J A, Peate D W. Tectonic implications of the composition of volcanic ARC magmas[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1995, 23: 251 – 285.
- [30] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- Zhang Q, Zhou G Q. Chinese Ophiolite[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [31] 周国庆. 蛇绿岩研究新进展及其定义和分类的再讨论[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2008, 44(1): 1 – 24.
- Zhou G Q. Ophiolite: some key aspects regarding its definition and classification[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2008, 44(1): 1 – 24.
- [32] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U – Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589 – 1604.
- Wu Y B, Zheng Y F. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U – Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(15): 1554 – 1569.
- [33] 杨宾, 张彬, 张庆奎, 等. 内蒙古东部马鞍山地区早石炭世高镁安山岩特征及地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1760 – 1770.
- Yang B, Zhang B, Zhang Q K, et al. Characteristics and geological significance of Early Carboniferous high – Mg andesites in Ma'anshan area, east Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(9): 1760 – 1770.
- [34] 刘家义. 内蒙古贺根山地区蛇绿岩研究及构造意义[M]//中国北方板块构造文集编辑委员会. 中国北方板块构造文集(1). 沈阳: 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所, 1983: 117 – 135.
- Liu J Y. Research and tectonic significance of ophiolite in Hegenshan area, Inner Mongolia[M]//Board of the Collection of Plate Tectonics in Northern China. Collection of Papers on Plate Tectonics in Northern China (1). Shenyang: Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 1983: 117 – 135.
- [35] Miao L C, Fan W M, Liu D Y, et al. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late – stage tectonic evolution of the Inner Mongolia – Daxinganling Orogenic Belt, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32(5 – 6): 348 – 370.
- [36] Jian P, Kröner A, Windley B F, et al. Carboniferous and Cretaceous mafic – ultramafic massifs in Inner Mongolia (China): A SHRIMP zircon and geochemical study of the previously presumed integral “Hegenshan ophiolite”[J]. Lithos, 2012, 142 – 143: 48 – 66.
- [37] Zhang Z C, Li K, Li J F, et al. Geochronology and geochemistry of the eastern Erenhot ophiolitic complex: Implications for the tectonic evolution of the Inner Mongolia – Daxinganling Orogenic Belt[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 97: 279 – 293.
- [38] 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.
- Qi X P, Yang J, Fan X G, et al. Age, geochemical characteristics and tectonic significance of Changshishan ophiolite in central East Kunlun tectonic mélange belt along the east section of East Kunlun Mountains[J]. Geology in China, 2016, 43(3): 797 – 816.
- [39] 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.
- Zhu X H, Chen D L, Liu L, et al. Geochronology, geochemistry and significance of the Early Paleozoic back – arc type ophiolite in Liliangshan area, North Qaidam[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(3): 822 – 834.
- [40] 张庆奎, 杨宾, 邵雪峰, 等. 内蒙古巴拉格歹地区构造混杂岩带中浊积岩、震积岩特征及意义——以内蒙古哈拉黑等八幅 1:5 万区域地质调查为例[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1731 – 1735.
- Zhang Q K, Yang B, Shao X F, et al. The petrological characteristics and tectonic implications of turbidite and seismite in Balagedai tectonic mélange belt, Inner Mongolia: Take regional geological survey scaled 1:50 000 in Halahei area, Inner Mongolia as an example[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(9): 1731 – 1735.
- [41] 王树庆, 许继峰, 刘希军, 等. 内蒙朝克山蛇绿岩地球化学: 洋内弧后盆地的产物? [J]. 岩石学报, 2008, 24(12): 2869 – 2879.
- Wang S Q, Xu J F, Liu X J, et al. Geochemistry of the Chaokeshan ophiolite: Product of intra – oceanic back – arc basin? [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(12): 2869 – 2879.
- [42] 王成, 任利民, 余国飞, 等. 内蒙古贺根山蛇绿岩中方辉橄榄岩岩石地球化学特征及构造环境分析[J]. 新疆地质, 2019,

37(2):156–166.

Wang C, Ren L M, Yu G F, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of harzburgite from Hegenshan ophiolitic block in Inner Mongolia[J]. Xinjiang Geology, 2019, 37(2):156–166.

[43] 黄竺, 杨经绥, 朱永旺, 等. 内蒙古贺根山蛇绿岩的铬铁矿中发现金刚石等深部地幔矿物[J]. 中国地质, 2015, 42(5): 1493–1514.

Huang Z, Yang J S, Zhu Y W, et al. The discovery of diamonds and deep mantle minerals in chromitites of Hegenshan ophiolite, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 2015, 42(5):1493–1514.

[44] Robinson P T, Trumbull R B, Schmitt A, et al. The origin and significance of crustal minerals in ophiolitic chromitites and peridotites[J]. Gondwana Research, 2015, 27(2):486–506.

[45] Xiong F H, Yang J S, Robinson P T, et al. Origin of podiform chromitite, a new model based on the Luobusa ophiolite, Tibet[J]. Gondwana Research, 2015, 27(2):525–542.

Geological characteristics and tectonic significance of ophiolite mélangé in Ma'anshan area of the eastern Inner Mongolia

ZHANG Bin¹, REN Long¹, ZHAO Yuandong¹, WANG Cunzhu¹, WANG Chunhui¹, QU Chengcheng²

(1. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center of China Geological Survey, Changchun Jilin 130000, China;
2. The First Geological Survey of Jilin Province, Changchun Jilin 130000, China)

Abstract: Erlianhaote Hegenshan ophiolite belt is the largest exposed area of Late Paleozoic ophiolite in the eastern part of the Central Asian Orogenic Belt. It was once considered to be the suture zone of the last collision between the North China Craton and Siberian Plate, and there is still controversy in its tectonic attributes. The newly identified ophiolitic mélangé in Ma'anshan area of Inner Mongolia is located in the eastern part of Xingmeng Orogenic Belt and is the eastern extension of the Erlianhaote – Hegenshan ophiolite belt. The discovery of the ophiolitic mélangé fills the gap of the middle section of the Erlianhaote – Hegenshan – Heihe suture zone and provides new evidence for the evolution of Paleo – Asian Ocean tectonic domain. It was found that the mélangé is composed of blocks and matrix through petrographic, geochemical and chronological studies of Ma'anshan ophiolitic mélangé. The blocks are serpentized peridotite, peridotite, diabase, basalt, high – magnesium andesite, andesite and rhyolite, and the matrix is mainly turbidite. The serpentized peridotite has the characteristics of supra – subduction zone (SSZ) type ophiolite, and the diabase has the characteristics of SSZ tectonic background genesis. The basalt has the characteristics of (enriched mid – ocean ridge basalt E – MORB) and island arc basalt, indicating that it was formed in a back – arc basin environment. The zircon U – Pb age (344.4 ± 1.4) Ma of the diabase in Ma'anshan ophiolitic mélangé is similar to the age obtained by previous researchers from Hegenshan ophiolite, confirming the existence of a subduction zone (suture zone) in this area, which is of great significance for the determination of the regional tectonic framework.

Keywords: ophiolitic mélangé; SSZ type; basalt; Ma'anshan area; Inner Mongolia

(责任编辑: 魏昊明)