

甘肃北山地区“牛圈子蛇绿岩” 属性再研究



余吉远^{1,2)}, 王国强^{1,2)}, 李向民^{1,2)}, 计波^{1,2)}, 赵国斌^{1,2)}

1) 中国地质调查局西安地质调查中心, 西安, 710054; 2) 西北地质科技创新中心, 西安, 710054

内容提要:牛圈子蛇绿岩被认为是甘肃北山构造单元划分的重要依据, 但是其蛇绿岩属性的真实性一直没有得到有效的验证。本次研究工作通过 1:5 万地质调查和剖面研究, 查明其岩石组合、接触关系及野外产出特征; 通过对辉长岩岩石地球化学测试与分析, 讨论其形成的大地构造背景。研究认为原划牛圈子蛇绿岩岩石组合缺失严重、火山熔岩极不发育、缺失超基性岩、没有混杂堆积特征, 没有“岩块+基质”的物质组成样式, 也没有深海沉积的记录; 同时, 辉长岩具有明显幔源混源的岩石地球化学特征, 与 N-MORB 和 OIB 的微量元素特征差异较大。综合研究认为前人划分的牛圈子蛇绿岩可能不是典型的蛇绿岩。

关键词:蛇绿岩属性; 岩石组合; 混杂堆积; 牛圈子; 北山

蛇绿岩作为古洋壳残片, 是古洋盆形成、演化及消亡的地质记录, 在许多造山带中都有出露(肖序常等, 1978), 具有特定的地球化学、岩石学指标和内部结构(张进等, 2012; 张旗等, 2022), 是探讨区域构造演化最有力的证据。甘肃北山地区位于哈萨克斯坦板块、塔里木板块和华北板块的结合部位, 是古亚洲构造域的组成部分, 地质构造极为复杂。经过多年的研究, 认为北山地区分布有 4 条近东西走向的蛇绿岩带(图 1)。其中, 红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带被认为是早古生代蛇绿岩带(周国庆等, 2000; 于福生等, 2006; 张元元等, 2008; 武鹏等, 2012; 侯青叶等, 2012; Ao Songjian et al., 2012; Tian Zhonghua et al., 2014; 胡新茁等, 2015; Cleven et al., 2015; 孙立新等, 2017; Shi Yurao et al., 2018; Wang Shengdong et al., 2018; 杜雪亮等, 2019); 芨芨台子—小黄山(李向民等, 2012; Zheng Ronghe et al., 2013); 红石山—百合山(王国强等, 2014; Shi et al., 2017; 牛文超等, 2020; 张正平等, 2020) 和辉铜山—账房山(Mao Qigui et al., 2012; 余吉远等, 2012; 余君鹏等, 2021) 等 3 条蛇绿岩带被认为是晚古生代的蛇绿岩。且多数学者认为北山地区以红柳河—牛圈子—洗肠井早生代缝合带为界(何世平

等, 2005; 杨合群等, 2008, 2010; 李向民等, 2012; Wang Shengdong et al., 2018), 分隔塔里木板块和哈萨克斯坦—准噶尔板块(任秉琛等, 2001), 但对牛圈子蛇绿岩的形成环境却存在以下分歧: ① 该蛇绿混杂岩是北山芨芨台子—小黄山古洋盆向南俯冲形成的弧后盆地的产物(左国朝等, 1990, 2008; 郑荣国等, 2012); ② 代表了早古生代塔里木板块和哈萨克斯坦—准噶尔板块的缝合带, 具有板块分割意义, 属大洋扩张脊型蛇绿混杂岩(任秉琛等, 2001; 何世平等, 2002, 2005; 杨合群等, 2008, 2010; 胡新茁等, 2015; Wang Shengdong et al., 2018); ③ 认为是典型的 SSZ 型蛇绿混杂岩, 产于与俯冲作用相关的弧前构造环境中(杜雪亮, 2019); ④ 根据蛇绿混杂岩中斜长花岗岩和基性熔岩的元素地球化学和 Sr—Nd—Pb—Hf 同位素组成特征, 推断其形成于板内深大断裂—初始裂谷演化至陆间有限小洋盆构造环境(侯青叶等, 2012)。由于对蛇绿岩带的属性及形成环境存在不同认识, 造成北山地区构造单元划分方案的不同。无论哪一种认识, 都离不开牛圈子蛇绿岩的属性问题, 显示出牛圈子蛇绿岩带对甘肃北山地区地质研究的重要性, 因此牛圈子蛇绿岩的真伪研究对重建北山地区构造演化具有极其重要的意义。

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号: 41202045, 41703038)、中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20230005, 12120113046400, DD20190069) 和陕西省自然科学基金资助项目(编号: 2023-JC-YB-233) 的成果。

收稿日期: 2022-04-22; 改回日期: 2022-12-13; 网络首发: 2022-12-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.12.065

作者简介: 余吉远, 男, 1978 年生, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事区域地质矿产调查、岩石地球化学及综合研究; Email: 415696439@qq.com。

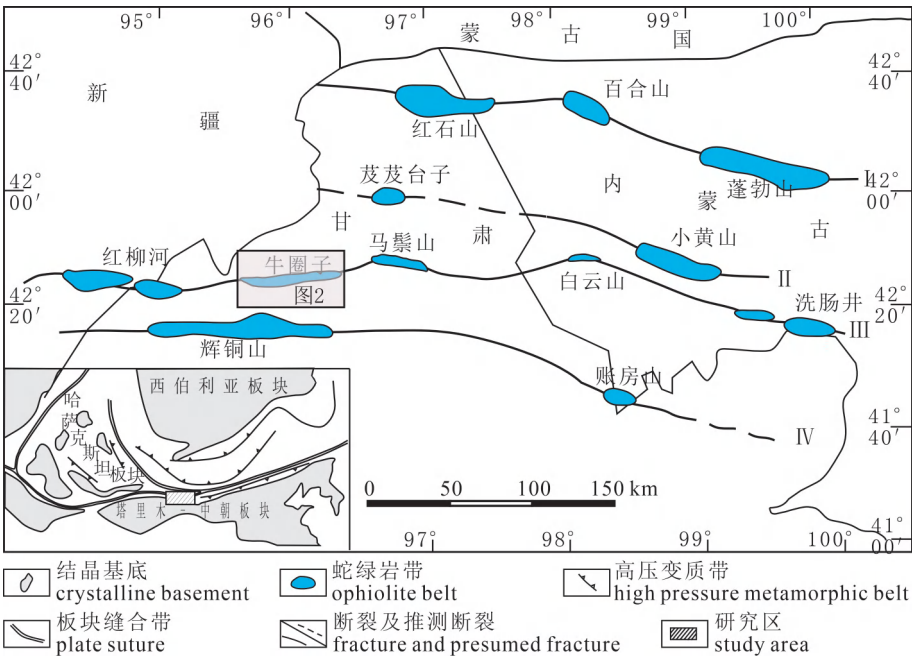


图 1 北山地区蛇绿岩分布略图

Fig. 1 Sketch map of ophiolite distribution in Beishan Mountains area

I — 红石山—百合山—蓬勃山蛇绿岩带; II — 芨芨台子—小黄山蛇绿岩带; III — 红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带; IV — 辉铜山—帐房山蛇绿岩带

I — Hongshishan—Baiheshan—Pengboshan ophiolites belt; II — Jijitaizi—Xiaohuangshan ophiolites belt; III — Hongliuhe—Niujuanzi Xichangjing ophiolites belt; IV — Huitongshan—Zhangfangshan ophiolites belt

笔者等参与的“北山—祁连成矿带地质矿产综合研究”项目研究认为红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带不具有大洋分隔意义,并对牛圈子蛇绿岩带的真伪提出异议。在此背景下,本文第一作者主持的“甘肃北山牛圈子地区 6 幅区域地质调查中澳合作填图项目”以此为首要调查对象,目的是查明前人划分的牛圈子蛇绿岩的岩石组合、构造组合样式等,进一步厘定蛇绿岩属性,为完善北山造山带构造单元划分、区域构造演化格架研究提供依据。

1 地质背景

前人研究认为,红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带是北山地区延伸最长的蛇绿岩带,断续延伸约 440 km,呈近东西走向,经过长期构造破坏,目前出露为 3 段(图 1):白云山—洗肠井蛇绿岩段、牛圈子蛇绿岩段、白玉山—红柳河蛇绿岩段。西起甘—新交界处的红柳河,经玉石山、牛圈子、内蒙的横峦山、月牙山,东止于洗肠井。有研究者认为该蛇绿岩带向西可与新疆境内南天山的黑英山—库米什蛇绿岩带相连,向东在洗肠井以东被巴丹吉林沙漠掩盖。沿走向该蛇绿岩带发育程度有所差别,加上俯冲作

用、褶皱造山期韧性剪切作用的改造和造山期后推覆作用的进一步改造,使得该蛇绿岩带在局部地段出露不全。特别是牛圈子地区的蛇绿岩有大量的后期花岗岩体沿断裂带侵入,使得该蛇绿岩层序及相互接触关系不清。这可能是造成对该蛇绿岩研究出现争议的原因。

2 岩石组合特征

本文讨论的牛圈子蛇绿岩针对的目标是 1:5 万牛圈子幅地质图所指的范围(图 2)。中澳合作填图项目(中国地质调查局西安地质调查中心与西澳大利亚地质调查局合作填图简称中澳合作填图)经过详细的野外调查和实测剖面(图 3),并采集了大量薄片鉴定样品,通过薄片镜下鉴定,进一步限定其岩石组合为:中—基性凝灰岩、沉凝

灰岩、斜长角闪岩、凝灰质砂岩、绿泥石长英片岩、石榴子石黑云石英片岩、千枚岩、绿帘石阳起石片岩、辉长岩,后期侵入的花岗岩等。总体上,岩石风化破碎十分严重,变形变质较弱,未观察到明显的构造混杂特征。从岩石组合、变形变质方面看,与前人研究结果有一定差异,为此将剖面主体划分为蛇绿混杂岩带值得商榷。

二叠系红岩井组 (Ph)

41. 灰绿色含砂砾岩,见粒序层理 21.33 m
——断层——

牛圈子蛇绿岩 (ON)

40. 灰黑色局部花岗岩化黑云长英角岩 203.10 m
39. 浅灰色绢云母石英钠长阳起绿泥黝帘青磐岩 75.66 m
38. 灰色强变质中基性凝灰质砂岩 39.72 m
37. 灰色强碳酸盐化含凝灰质砂岩 47.29 m
36. 灰黑色变中基性凝灰质糜棱岩 316.82 m
35. 灰白色变中酸性凝灰质初糜棱岩 21.61 m
34. 灰白色绿泥石阳起石钠黝帘石蚀变岩 347.16 m
33. 灰黑色凝灰岩 37.26 m
32. 灰黑色绿帘阳起石片岩 6.83 m
31. 灰黑色凝灰岩 107.00 m

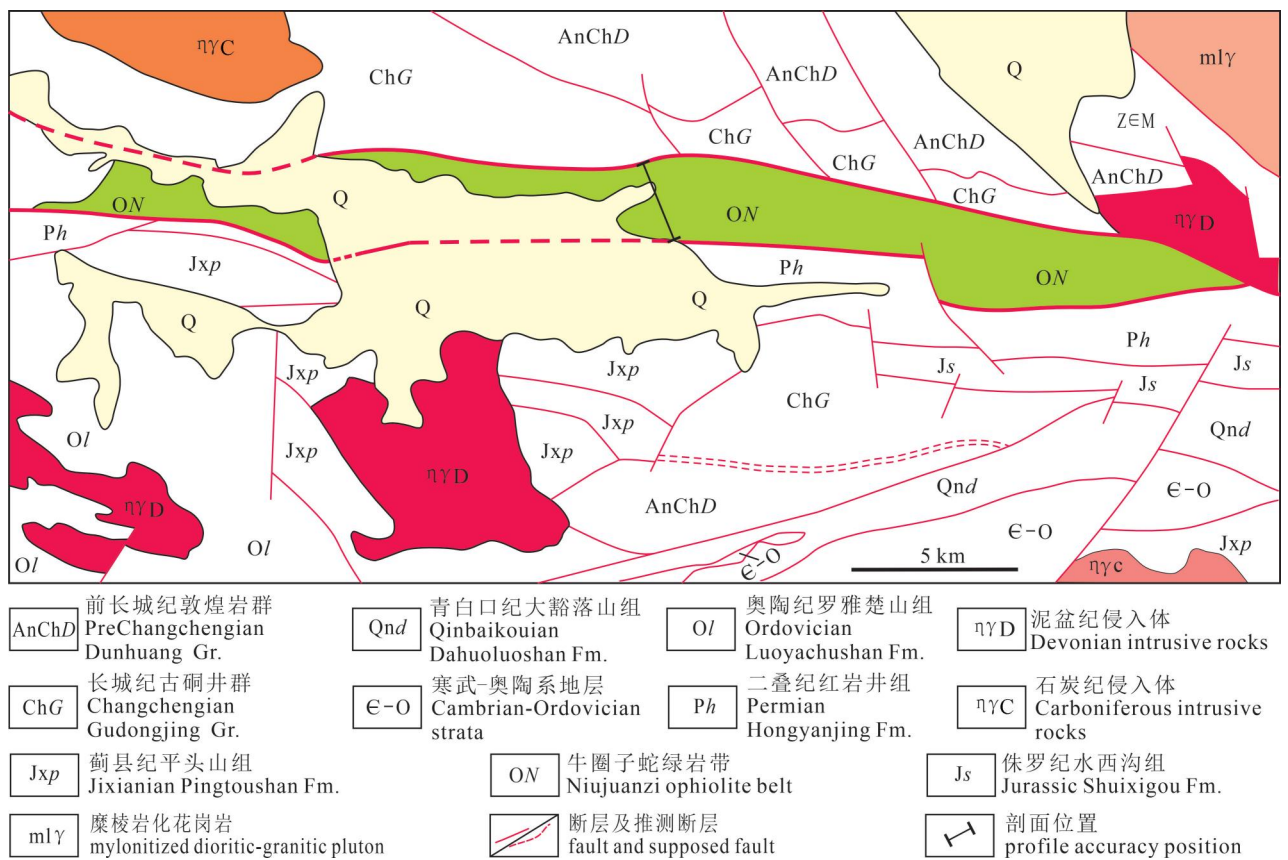


图 2 牛圈子地区地质略图(据 1:25 万马鬃山幅^①和 1:5 万牛圈子幅地质图^②修改)
Fig. 2 Geological sketch map of Niujuanzi area (modified from 1:250,000 Mazongshan
Geological Map^① and 1:50000 Niujuanzi Geological Map^②)

30. 灰黑色云母石英片岩	15. 49 m	10. 灰黑色绿泥石化石榴黑云片岩	30. 34 m
29. 灰黑色黑云钠长阳起绿帘石绿岩	45. 29 m	9. 灰黑色云母长英片岩	48. 36 m
28. 灰黑色绿帘石阳起石绿岩	21. 23 m	8. 灰色绿泥石长英片岩	95. 36 m
27. 灰黑色凝灰岩	25. 21 m	=====断层=====	
26. 灰黑色玄武岩,岩石组成物质极细	37. 81 m	7. 灰黑色条纹条带状凝灰质砂岩	33. 76 m
25. 灰黑色钠长石绿帘阳起石绿片岩	65. 28 m	6. 灰色变中基性岩屑凝灰岩	5. 87 m
24. 灰黑色长石石英砂岩	4. 37 m	5. 灰黑色细粒砂岩	5. 87 m
23. 灰黑色凝灰岩	50. 36 m	4. 灰黑色云母石英片岩,片理化作用强	72. 09 m
22. 灰黑色蚀变变质中基性凝灰岩	14. 39 m	3. 灰白色石英岩	22. 30 m
21. 灰黑色变中酸性沉凝灰岩	339. 18 m	2. 灰黑色云母石英片岩	124. 50 m
20. 灰黑色蚀变变质中基性凝灰岩	14. 27 m	1. 灰黑色蚀变变质基性凝灰岩	25. 73 m
19. 灰黑色黑云母长石千枚岩	185. 82 m	未见底	
18. 灰黑色糜棱岩化绿泥长英片岩	255. 26 m		
17. 灰黑色阳起石化中基性凝灰质糜棱岩	198. 09 m		
16. 灰色钾长石化硅化中酸性火山凝灰岩	203. 82 m		
15. 灰白色石英岩	4. 78 m		
14. 灰黑色长石石英砂岩	60. 69 m		
13. 灰黑色片理化硅化变凝灰质砂岩	417. 12 m		
12. 灰黑色绿泥石化变凝灰质砂岩	17. 64 m		
11. 灰黑色葡萄石化绢云母化角闪斜长片岩	3. 39 m		

3 岩石地球化学特征

中澳合作填图团队采集了大量的岩石地球化学样品,尤其是基岩出露较好的辉长岩样品,对其进行了主量和微量元素测试(表 1)。其本次工作分析的辉长岩的主量元素含量 SiO₂ 在 47.69%~51.09%,平均为 49.73%,属基性岩;Al₂O₃ 为 13.93%~

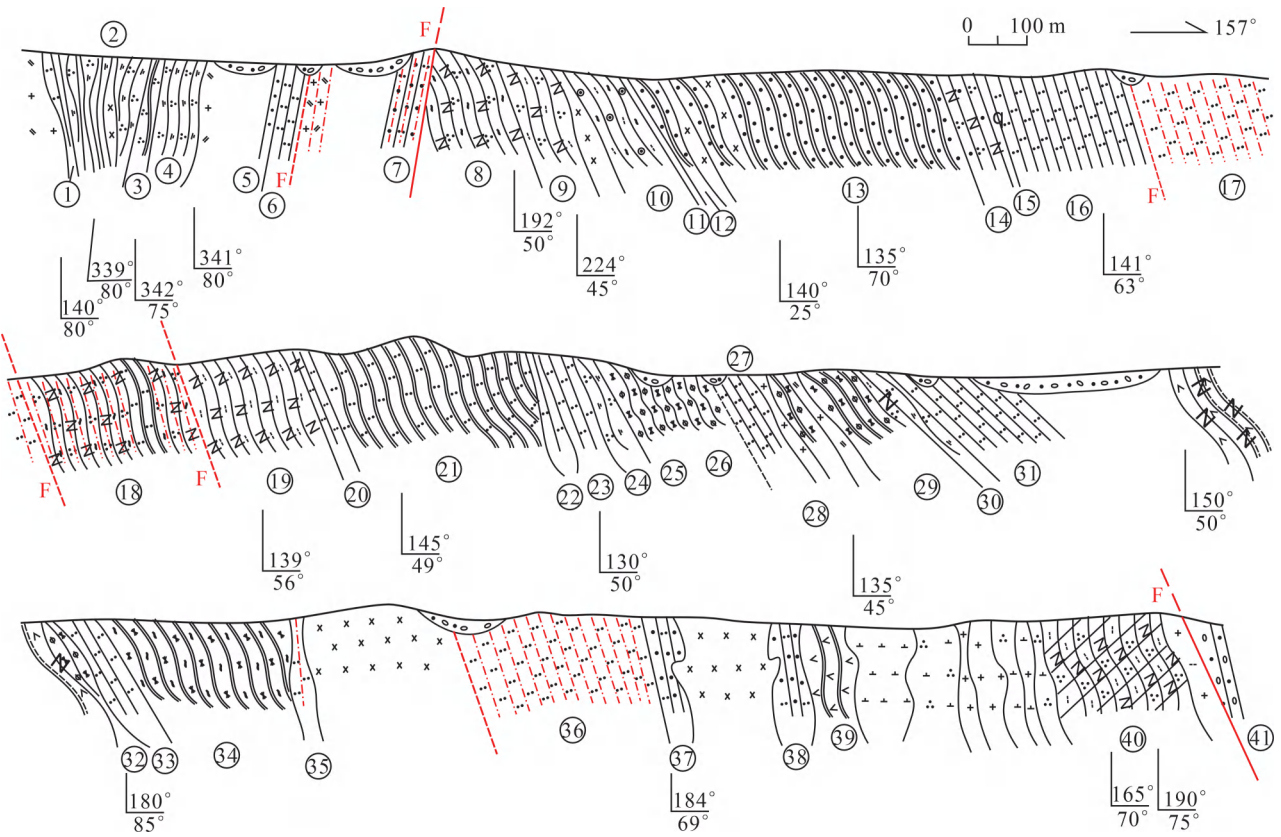


图 3 甘肃北山牛圈子蛇绿岩带实测地质剖面

Fig. 3 Section of Niujuanzi ophiolite in Beishan Mountains area, Gansu Province

21.38%, 平均为 17.01%; Fe_2O_3 为 1.20%~3.38%, 平均为 2.08%; FeO 为 4.49%~8.80%, 平均为 6.70; MgO 为 5.50%~9.43%, 平均为 6.91%, $\text{Mg}^\#$ 平均为 51.06; m/f 值为 0.4~1 之间, 为铁质基性岩。 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 总量为 2.09%~4.00%; TiO_2 为 0.70%~1.89%, 平均为 1.28%。在 $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ 图解中(邓晋福等, 2015a), 样品全部落入亚碱性区域, 辉长岩范围之内(图 4a); 而在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解中(邓晋福等, 2015b), 样品主要落入钙碱性系列区域, 显示其属于钙碱性系列岩石(图 4b)。

总体上牛圈子辉长岩与蛇绿岩套中超镁铁质堆晶岩的化学成分有明显差异(赵磊等, 2013), 而接近岛弧玄武岩 [$w(\text{Na}_2\text{O})+w(\text{K}_2\text{O})<5\%$] 的主量元素特征。

辉长岩的稀土元素总量为 $36.94\times10^{-6}\sim127.91\times10^{-6}$, 稀土总量较 N-MORB 要高, 变化范围也较大, 稀土元素配分模式呈轻稀土元素略富集到略亏损, 重稀土平坦的配分模式与 N-MORB 相似(图 5a), $(\text{La}/\text{Yb})_N=0.49\sim1.50$; δEu 值为 0.82~1.15, Eu 异常显示不明显, 均表现为轻微的正或负异常,

表明岩浆没有发生明显的斜长石的分离结晶作用。总体呈现为平坦型及轻稀土土轻微富集型, 表明其可能来源于亏损或部分亏损的地幔源区。微量元素蛛网图能够深刻地揭示岩浆成因、演化及其构造背景。牛圈子辉长岩微量元素蛛网图表明(图 5b), 微量元素总量明显高于 N-MORB 微量元素总量。总体上明显富集 Rb、Ba、Th、U、K 等大离子亲石元素、亏损 Nb、Ta 等高场强元素, 与岛弧岩浆富集 LILE、亏损 HFSE、具有高的放射性 Sr 含量和低的放射性 Nd 含量特点相似, 显示出俯冲带幔源岩石的成分特点(Keppler, 1996)。

4 讨论

蛇绿岩是一类有着特殊含义的岩石组合, 通常被视为古洋壳或与其相关的构造单元的残片保存在造山带中, 在大地构造理论中有着重要的意义。1972 年召开的美国彭罗斯会议厘定的蛇绿岩的岩石组合是: 一个发育完整的蛇绿岩中, 岩石组成从底部向上依次为: ① 超镁铁杂岩, 由不同比例的斜辉橄榄岩、二辉橄榄岩和纯橄岩组成, 并有些许蛇纹石

表 1 牛圈子辉长岩主量元素 (%) 和微量元素 ($\times 10^{-6}$) 测试数据

Table 1 Test data of major elements (%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) in Niujuanzi gabbro

岩性	141031	141037	141039	141040	141041	141042	132122	131052	131057	PM020 -59-1	PM020 -59-2
SiO ₂	50.08	47.69	50.54	49.58	49.14	48.97	51.02	51.09	48.94	50.20	49.80
Al ₂ O ₃	13.93	19.43	14.43	17.30	21.15	21.38	14.36	14.45	21.10	14.95	14.57
Fe ₂ O ₃	3.38	1.38	2.84	2.56	1.82	1.77	1.20	2.35	1.49	2.07	2.06
FeO	8.60	5.49	8.50	7.07	4.49	4.50	6.41	8.80	5.11	6.76	7.96
CaO	8.58	10.57	8.92	8.84	11.22	10.81	10.9	9.28	11.73	10.56	9.56
MgO	6.06	8.82	6.74	6.65	5.47	5.50	9.43	6.02	5.97	7.81	7.49
K ₂ O	0.50	0.73	0.53	0.92	0.56	0.87	0.59	0.52	0.18	0.69	0.82
Na ₂ O	3.06	1.91	2.93	2.81	2.70	2.61	2.07	3.08	2.64	2.65	2.60
TiO ₂	1.98	0.71	1.77	1.46	0.70	0.71	1.04	1.89	0.86	1.30	1.66
P ₂ O ₅	0.21	0.06	0.17	0.15	0.05	0.06	0.08	0.21	0.08	0.14	0.17
MnO	0.20	0.12	0.20	0.17	0.09	0.10	0.15	0.23	0.12	0.15	0.18
烧失	2.16	2.24	1.32	1.54	1.96	2.08	1.82	1.05	1.17	2.64	3.07
Cr	131	700	143	153	215	193	820	168	150	73.4	58.8
Rb	23.1	22.7	16.5	34.5	20.4	39	27.6	70.8	7.68	25.9	32.9
Cs	1.45	13.2	2.15	3.74	8.32	6.75	1.71	1.39	2.35	1.38	1.87
Sr	239	195	167	188	251	233	261	224	234	221	206
Ba	222	592	98.1	87.1	59.2	75.1	88	92.6	106	87.6	100
V	361	165	363	271	171	168	259	326	184		
Sc	35.7	10.4	24.6	15.8	18.4	15.8	50.1	32.7	16.6	41.9	39
Nb	3.94	1.11	3.01	2.87	1.08	0.66	0.65	3.78	1.84	3.61	4.53
Ta	0.31	0.085	0.29	0.26	0.089	0.052	0.056	0.34	0.20	0.26	0.34
Zr	157	41.4	122	100	35	34.7	50.5	152	60	112	117
Hf	4.34	1.3	3.57	3.14	1.12	1.15	1.73	4.1	1.74	2.84	2.96
Ga	20.4	14.2	19.4	17.7	16	13.9	14.7	20.7	16.4		
U	0.28	0.083	0.52	0.37	0.16	0.18	0.049	0.40	0.15	0.29	0.38
Th	1.01	0.23	0.56	0.42	0.19	0.16	0.15	1.20	0.17	0.92	1.29
La	8.43	1.75	5.11	3.54	2.31	1.21	1.69	8.76	3.81	5.04	6.37
Ce	23.2	5.03	15.2	11.7	6.39	3.87	5.6	24.4	10.2	14.2	18.5
Pr	3.66	0.84	2.58	2.01	0.99	0.69	1.09	3.74	1.54	2.29	2.75
Nd	17.4	4.65	13.8	11.1	4.97	4.05	6.55	18.5	7.21	11.2	13.5
Sm	5.52	1.66	4.56	3.72	1.68	1.54	2.51	5.56	2.35	3.59	4.2
Eu	1.83	0.7	1.55	1.28	0.73	0.66	1.02	1.64	0.84	1.25	1.38
Gd	6.66	2.17	5.76	4.85	2.24	2.2	3.5	6.68	2.9	4.53	5.34
Tb	1.14	0.4	1.02	0.88	0.43	0.39	0.62	1.12	0.5	0.8	0.87
Dy	7.45	2.71	6.79	5.85	2.9	2.66	4.14	7.65	3.32	5.11	5.62
Ho	1.57	0.59	1.46	1.29	0.64	0.6	0.9	1.61	0.7	1.1	1.2
Er	4.48	1.7	4.17	3.75	1.85	1.72	2.59	4.49	1.94	2.99	3.38
Tm	0.7	0.26	0.64	0.56	0.28	0.27	0.39	0.68	0.3	0.44	0.5
Yb	4.42	1.66	4.06	3.56	1.8	1.72	2.48	4.28	1.82	2.87	3.24
Lu	0.65	0.26	0.61	0.53	0.27	0.26	0.36	0.66	0.3	0.43	0.48
Y	40.8	13.2	35.7	28.7	14.8	15.1	22.9	36.5	15.9	27.5	31.7
Mg [#]	41.34	61.64	44.23	48.47	54.92	55.00	59.53	40.62	53.88	53.60	48.48
m/f	0.40	1.00	0.46	0.54	0.68	0.69	0.96	0.42	0.71	0.69	0.58
Ti/Y	290.94	322.47	297.24	304.98	283.55	281.89	272.27	311.09	324.64	283.41	313.94
Ti/V	32.88	25.80	29.23	32.30	24.54	25.34	24.07	34.83	28.05	27.77	27.61
Nb/Y	0.10	0.08	0.08	0.10	0.07	0.04	0.03	0.10	0.12	0.13	0.14
Th/Ta	3.26	2.71	1.93	1.62	2.13	3.08	2.68	3.53	0.85	3.54	3.79
La/Nb	2.14	1.58	1.70	1.23	2.14	1.83	2.60	2.32	2.07	1.40	1.41
Zr/Y	3.85	3.14	3.42	3.48	2.36	2.30	2.21	4.16	3.77	4.07	3.69
Nb/La	0.47	0.63	0.59	0.81	0.47	0.55	0.38	0.43	0.48	0.72	0.71
Rb/Sr	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2
Nb/U	14.07	13.37	5.79	7.76	6.75	3.67	13.27	9.45	12.27	12.45	11.92

岩性	141031	141037	141039	141040	141041	141042	132122	131052	131057	PM020 -59-1	PM020 -59-2
Ba/La	26.33	338.29	19.20	24.60	25.63	62.07	52.07	10.57	27.82	17.38	15.70
Th/La	0.12	0.13	0.11	0.12	0.08	0.13	0.09	0.14	0.04	0.18	0.20
Ba/Th	219.80	2573.91	175.18	207.38	311.58	469.38	586.67	77.17	623.53	95.22	77.52

注：以上数据均为中国地质调查局西安地质调查中心自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室完成。

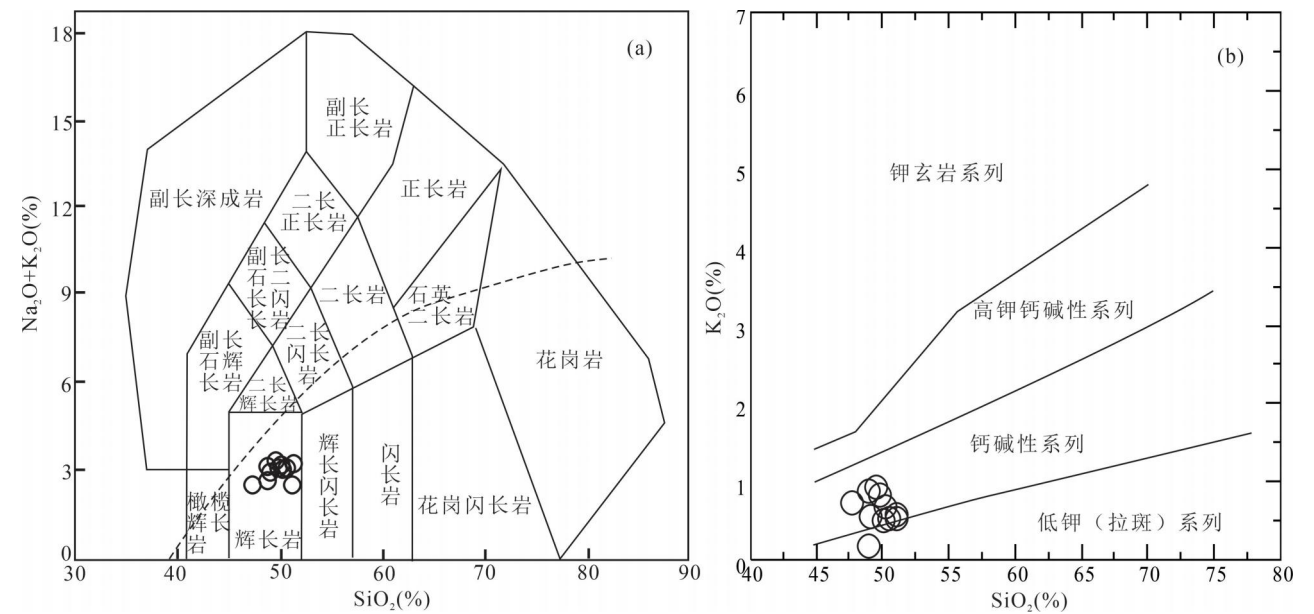


图 4 甘肃北山牛圈子辉长岩 (K_2O+Na_2O)— SiO_2 图(a)和 K_2O — SiO_2 图解(b)
Fig. 4 (K_2O+Na_2O) — SiO_2 (a) and K_2O — SiO_2 (b) of Niujuanzi gabbro in Beishan Muntains area, Gansu

化。② 辉长杂岩,一般具有堆晶结构,通常包含堆晶的橄榄岩和辉石岩,它们经常比超镁铁杂岩变形程度差。③ 镁铁质席状岩墙杂岩。④ 枕状玄武岩,上覆条带状燧石、薄层页岩、少量灰岩。张旗

(2021)提出一条完整的蛇绿岩除了上述岩浆岩外,还应该出露代表洋盆顶部的深海沉积和代表洋盆消失、陆块碰撞的构造混杂堆积物,这与吕洪波等(2018)新发现并厘定的狼山蛇绿混杂岩较一致。

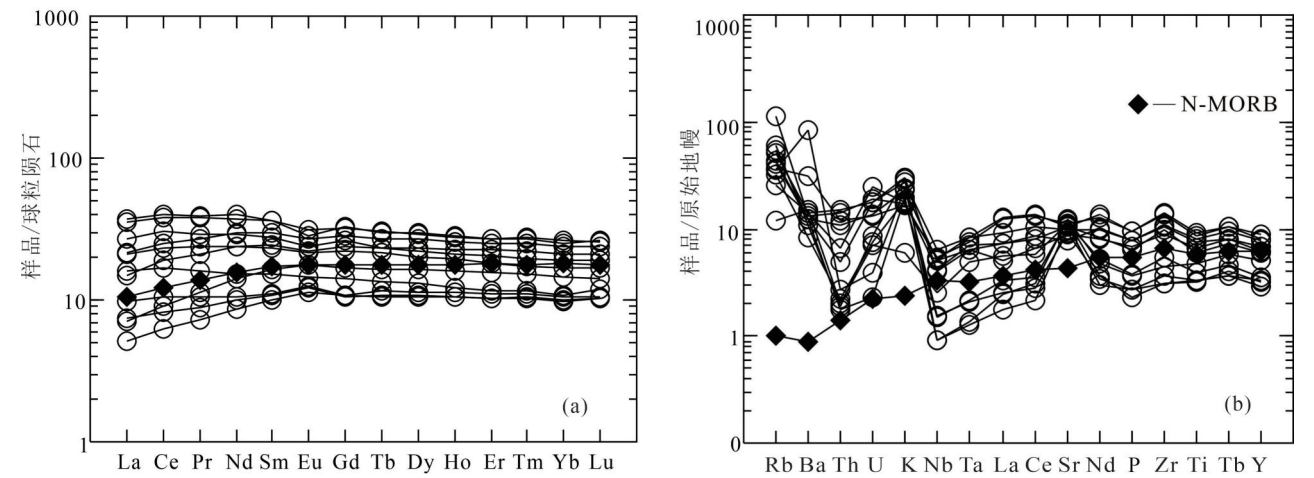


图 5 北山牛圈子辉长岩微量元素图解
Fig. 5 Trace elements diagram of Niuquanzi gabbro in Beishan Muntains area, Gansu

因此,牛圈子是否是蛇绿岩还无法说清,但根据下面几条研究内容,说明牛圈子可能不是典型的蛇绿岩。

4.1 岩石组合特征

牛圈子蛇绿岩首次提出于《北山板块构造与成矿规律》(左国朝等,1990),在专著第六章第三节中有关于牛圈子蛇绿岩的相关论述,但是,其描述的内容为该蛇绿岩出露于马鬃山煤矿北,而非牛圈子,岩石组合为蛇纹石化橄榄岩、片理化蚀变辉石橄榄岩、伟晶辉长岩和堆晶辉长岩、玄武岩夹凝灰岩、硅质岩、凝灰岩夹灰岩,有后期花岗岩侵入。附剖面图为马鬃山煤矿北—野马街蛇绿岩剖面(剖面略),也非牛圈子剖面;后来,任秉琛等(2001)发表“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”一文,关于牛圈子蛇绿岩地质特征的描述内容,仍为野马街南而非牛圈子(任秉琛等,2001),野马街南部分的岩石组合有二辉橄榄岩(少量的辉橄岩、辉石岩)、辉长岩、堆晶辉长岩、斜长花岗岩、辉绿岩墙、玄武岩、粗玄岩等枕状基性熔岩以及硅质岩,蛇绿岩套已被构造肢解,序列关系不清,并遭受韧性剪切改造,基性熔岩和辉长岩局部出现糜棱岩化及片理化,各岩石单元呈岩片产出,岩石发生角闪石化、绿帘石化、钠黝帘石化、绢云母化,构造变形局部为糜棱岩、片理化,所附剖面仍为野马街南蛇绿岩剖面(剖面略)。后来,武鹏等(2012)发表的甘肃北山地区牛圈子蛇绿岩的形成时代及地质意义一文,其中引用了任秉琛等(2001)中野马街南蛇绿岩的相关的描述及剖面图,而测试年龄样品采集于本次研究的牛圈子区域;之后,Tian Zhonghua 等(2014)、Wang Shengdong 等(2018)等对本次研究的牛圈子区域蛇绿岩进行了研究,认为岩石组合为辉长岩、辉绿岩、斜长花岗岩、杂砂岩和玄武岩(王盛栋,2017);1:25万马鬃山幅区域地质调查报告^①认为牛圈子蛇绿岩的岩石组合为一套变玄武岩,中酸性火山岩与变砂岩的岩石组合,向西变为硅质岩、板岩、粉砂质板岩,遭受区域低温动力变质形成低绿片岩,岩石具强片理化。从上述资料来看,大多数研究者将牛圈子蛇绿岩的出露位置定位在牛圈子的位置,而最早提出牛圈子蛇绿岩的原始定位却是野马街南(左国朝等,1990)。可能是造成牛圈子蛇绿岩岩石组合巨大差异的原因之一。

而本次工作,针对1:5万牛圈子幅范围内原划牛圈子蛇绿岩,经过野外详细调查(图2,图3)和镜下鉴定,查明原划牛圈子蛇绿岩带的岩石组合为:辉长岩、凝灰岩,局部为正常沉积的凝灰岩夹凝灰质砂

岩(图6a)、片岩残留体、砂岩、砂砾岩组合,火山熔岩极细且不发育,缺失超基性岩,也没有发现深海沉积岩的记录。一个蛇绿岩可以不完整,但不能轻易地将一套超镁铁质、镁铁质岩组合归属为蛇绿岩。野外由于岩石风化破碎较为强烈,接触界线被风化碎石覆盖,难以直接观察到接触关系,但遥感影像(图6b)和野外宏观照片(图6c)上辉长岩与围岩为较为清晰的港湾状接触界线,认为辉长岩与围岩可能为侵入接触关系,与蛇绿混杂岩中构造接触关系样式明显不同。从剖面图(图3)和前人发表的地质图(Tian Zhonghua et al., 2013)可以看出,前人划分的牛圈子蛇绿岩没有岩块+基质的混杂特征。综上所述,前人划分的牛圈子蛇绿岩的岩石组合以辉长岩+凝灰岩+砂砾岩为主体,极不发育火山熔岩、缺乏地幔橄榄岩、也没有“岩块+基质”的物质组成样式,暗示牛圈子可能不是一个典型的蛇绿岩。这与没有可信的深海沉积和混杂堆积记录的双沟蛇绿岩被认为可能不是典型蛇绿岩的认识一致(张旗,2021)。

4.2 岩石地球化学及形成环境差异

关于牛圈子蛇绿岩的形成环境认识争议较大,主要有:①弧后盆地环境(左国朝等,1990,2008;郑荣国等,2012;代文军等,2011),②洋中脊环境(任秉琛等,2001;何世平等,2002,2005;杨合群等,2008,2010;胡新苗等,2015;Wang Shengdong et al., 2018);③弧前构造环境(杜雪亮,2019);④陆间有限小洋盆环境(侯青叶等,2012)。以上认识中,只有代文军(2011)、Tian Zhonghua 等(2015)和Wang Shengdong 等(2018)的认识是通过本文研究区采样研究得出的,其他的认识是基于茈茈台子、红柳河以及洗肠井等蛇绿岩的认识间接得出的。文献查询可知,Wang Shengdong 等(2018)通过辉长岩的测试数据,认为Rb、Ba、Th、U等大离子亲石元素(LILE)明显富集,Nb、Ta、Ti、Zr等高场强元素(HFSE)轻微亏损。微量元素的配分曲线型式和各元素的含量与N-MORB和OIB差别较大。通过ATK判别图解,认为牛圈子辉长岩洋中脊环境。而Tian Zhonghua 等(2015)通过玄武岩的测试数据,认为其微量、稀土元素特征与OIB相似;代文军等(2011)认为牛圈子蛇绿岩应形成于弧后盆地,属SSZ型环境。而本次研究,获得辉长岩主量元素的平均含量SiO₂为49.73%、Fe₂O₃为2.08%、FeO为6.70%、MgO为6.91%、TiO₂为1.28%,主量元素含量数值高于洋中脊玄武岩值(N-MORB:SiO₂值为48.77%,TiO₂值

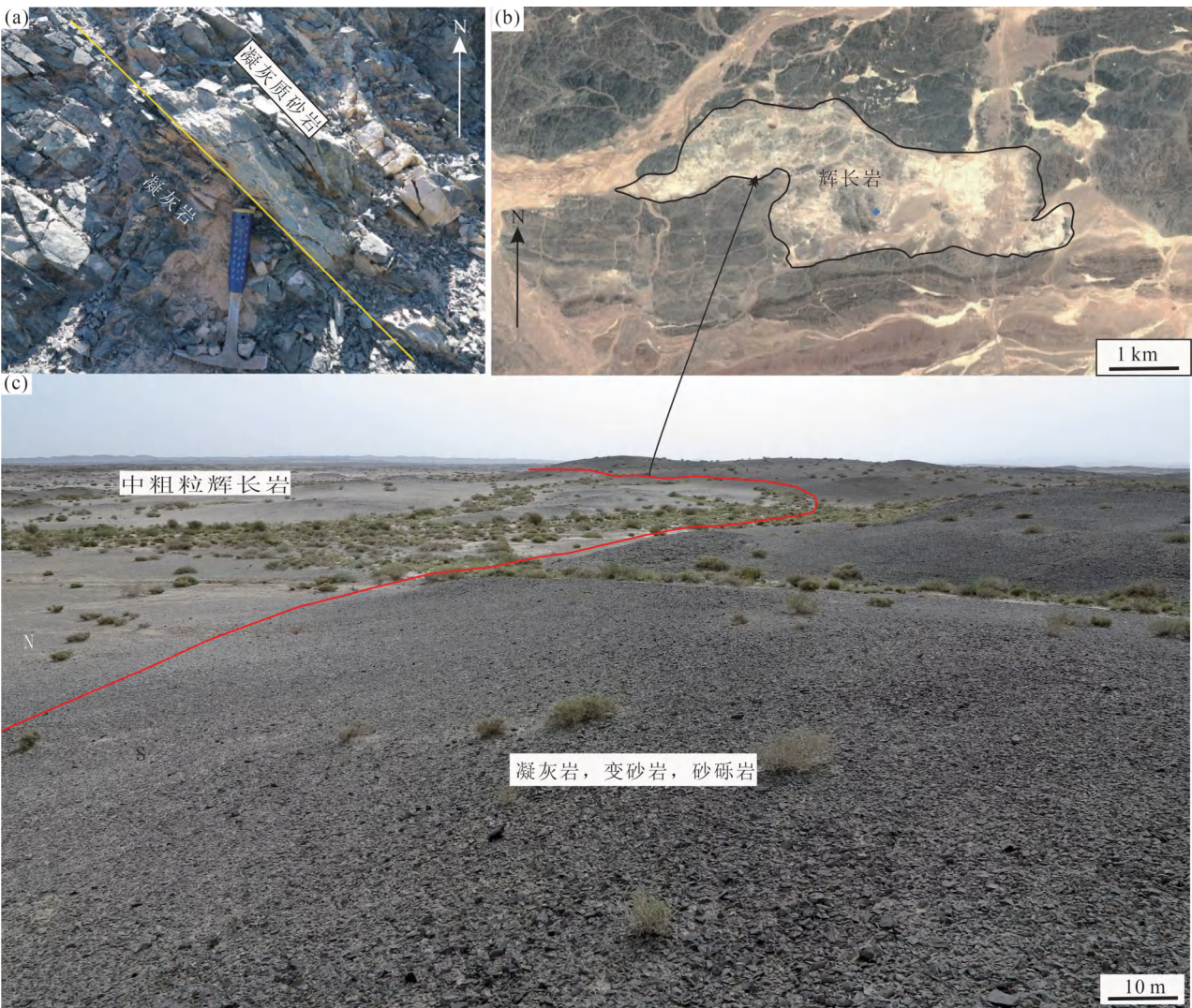


图 6 整合接触关系和侵入接触关系

Fig. 6 Photos of Integrated contact relationship and Invasive contact relationship

为 1.15% , Al_2O_3 值为 15.90% , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 总量为 2.51%) (Schilling et al. ,1983) 。与蛇绿岩套中超镁铁质堆晶岩的化学成分有明显差异 (Coleman, 1977) 。 $\text{Mg}^\#$ 指数为 40.62~61.64 ,平均值为 51.06 ,低于基性原生岩浆的 $\text{Mg}^\#$ 值范围 (68~75) ,表明岩浆经历了一定程度的分离结晶作用 ;同时 ,高的 $n[w(\text{TFeO})]/n[(w(\text{MgO}))]$ 值 (6.09~11.64) 也表明岩浆经历过强烈的分离结晶作用。

研究表明 ,地壳混染通常会导致岩浆的 SiO_2 、 K_2O 、 Rb 含量的增高 ,牛圈子辉长岩具有较高的 SiO_2 、 K_2O 、 Rb 含量 ,以及 Rb/Sr 值 (0.03~0.32) 明显高于上地幔平均值 (0.034) (Taylor and McLennan, 1995) ,反映了岩浆形成过程中经历了明显的地壳混染 ;同时 ,样品 Sr 含量明显高于地幔值

也指示岩浆源区可能受到围岩的混染。岩石的 Ti/Y 平均值为 298.8 , Ti/V 平均值为 28.56 , Nb/Y 平均比值为 0.09 ,与岛弧玄武岩相近。 Th/Ta 平均比值为 2.65 ,明显大于 2 ,属于岛弧玄武岩范围 ;并且显示 La/Nb 平均值为 1.86 ,大于 1 ,明显不同于 MORB 和 OIB (裴先治等, 2005) 。岩石的 $w(\text{Zr})$ 平均值为 89.24×10^{-6} 高于洋中脊玄武岩 Zr 含量 (74) , Zr/Y 值为 3.31 ,与岛弧玄武岩接近 (裴先治等, 2005) 。研究认为 ,洋中脊玄武岩的 Nb/Th 值为 25 ,洋岛玄武岩的 Nb/Th 值为 10 ,岛弧玄武岩的 Nb/Th 值 < 5 (代文军, 2011) ,研究区辉长岩的 Nb/Th 平均比值为 5.12 ,与岛弧玄武岩的 Nb/Th 值相近。同时 ,微量元素蛛网图能够深刻地揭示岩浆成因、演化及其构造背景 ,从图 (图 5a、b) 中看出 ,牛圈

子辉长岩稀土元素配分曲线与 N-MORB 稀土元素配分曲线相似,但微量元素配分型式与 N-MORB 微量元素配分型式则明显不同,其微量元素总量高于 N-MORB 微量元素总量,Rb、Ba、Th、U、K 等大离子亲石元素富集,Nb、Ta 等高场强元素亏损,明显的 Sr 正异常等岩石地球化学特征。以上信息显示牛圈子辉长岩岩石地球化学特征总体上显示弧岩浆的地球化学特征。

4.3 岩浆源区

牛圈子辉长岩较低的 SiO₂ 含量、较高的 MgO 含量 (5.47% ~ 9.43%) 和 V、Cr (165 × 10⁻⁶ ~ 363 × 10⁻⁶, 58.8 × 10⁻⁶ ~ 820 × 10⁻⁶), 显示幔源岩浆的成分特征。样品的 Sr 含量 (167 × 10⁻⁶ ~ 261 × 10⁻⁶) 显著高于地幔值 (17.8 × 10⁻⁶, Taylor and McLennan, 1985), 指示岩浆源区不是来自单一的地幔, 可能受到围岩混染 (Hawkesworth et al., 1993)。另外, Nb/U、Nb/La 比值是判断混染和岩浆产生构造环境的灵敏指标 (张贵山等, 2009)。牛圈子辉长岩的 Nb/U 为 3.67 ~ 14.07, Nb/La 为 0.38 ~ 0.93, 远低于全球 MORB、OIB 的值 (Nb/U = 47、Nb/La ≈ 1.0), Nb/U 与大陆地壳的平均值 (≈ 12) 相近, Nb/La 与大陆地壳的平均值 (≈ 0.7) 和岛弧玄武岩的 (Nb/La < 0.8) 相近 (徐学义等, 2008)。强不相容元素之间的比值可以判别地幔源区的组成特征, 牛圈子辉长岩的 Ba/La、Th/La 和 Ba/Th 比值分别为 56.33、0.12 和 492.5, 明显高于地幔特征值 (Ba/La = 8.3 ~ 11.3, Th/La = 0.122 ~ 0.163, Ba/Th = 67 ~ 84) (Weaver, 1991)。因此, 上述的证据表明, 形成岩浆在上升过程中明显受到地壳物质的混染作用, 其地球化学特征显示了壳幔混源性质。

4.4 形成时代

关于牛圈子蛇绿岩的形成时代问题, 已有研究成果显示 (表 2), 红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩

带中不同地段蛇绿岩的形成时代差异明显, 红柳河蛇绿岩和洗肠井蛇绿岩中辉长岩年龄数据集中在 500 ~ 540 Ma, 认为蛇绿岩形成于寒武纪, 而牛圈子蛇绿岩中辉长岩年龄数据集中在 430 ~ 450 Ma, 认为蛇绿岩形成于晚奥陶世—志留纪。

从北山地区构造演化寒武—奥陶纪总体处于伸展环境, 而志留纪—早泥盆世处于俯冲环境的总体认识来看, 研究区牛圈子蛇绿岩与红柳河、洗肠井蛇绿岩均不协调; 而大多数研究者又都将其划分为同一条蛇绿岩带, 当然, 同一条蛇绿岩带不同地段就位时代不同可以理解, 但是辉长岩形成时代 (表 2) “东西段老、中间段新”、且年龄数据差异巨大的原因值得我们思考和进一步研究。

4.5 综合研究

牛圈子蛇绿岩在研究区以绢云母石英片岩、长石石英砂岩、凝灰质砂岩、凝灰岩, 几乎没有玄武岩的出现。其与“下伏”三叠纪二断井组和“上覆”中古代元古砦井群均为断层接触 (余吉远等, 2018)。牛圈子蛇绿岩主要沉积物为火山碎屑与细碎屑岩, 火山碎屑岩组成旋回层序, 以凝灰质砂岩与凝灰岩组成韵律型沉积, 反映间歇性的火山作用; 细碎屑岩主要为长石石英砂岩、细—粉砂岩组成的海底扇浊积岩层序, 局部为砂质杂体的叠复, 被较晚期的花岗岩和辉绿岩岩脉穿插, 表现为大陆坡—海底盆地的沉积特征。前人划分的“牛圈子蛇绿混杂岩”的地层在工作区周边也有出露, 断续分布于火石山北、通畅口东一带, 向西进入邻区红柳河一带, 向东与洗肠井横峦山群位处同一构造岩相带, 呈近东西向展布, 北与中古代元古砦井群, 泥盆纪同碰撞花岗岩体等不同时代、不同性质地质体为断层接触; 南与二叠纪前陆复理石、类复理石沉积均为构造接触, 顶底均被断失。所以本次研究工作区内的“牛圈子蛇绿岩”可能为海相细碎屑岩沉积的产物, 其中的辉长岩仅

表 2 红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带形成时代统计表
Table 2 Date data of Hongliuhe—Niujuanzi—Xichangjing ophiolites

蛇绿岩带	采样地址	岩性	年代数据	文献
红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带	红柳河 (火石山、玉石山)	辉长岩	425.5 Ma, 516.2 Ma, 520.3 Ma, 528 Ma, 525.2 Ma, 521 Ma, 535.3 Ma, 410.5 Ma	于福生等, 2006; 张元元等, 2008; Cleven et al., 2015; Shi Yuruo et al., 2018; 杜雪亮等, 2019; TianZhonghua et al., 2014
	牛圈子	辉长岩	435 Ma, 446.5 Ma, 433.8 Ma, 443.4 Ma; 429.8 Ma, 448.7 Ma	Tian Zhonghua et al., 2014; 武鹏等, 2012; Wang Shengdong et al., 2018
	洗肠井 (月牙山, 白云山)	辉长岩	470 Ma; 538.9 Ma, 496.4 Ma; 535 Ma, 536 Ma; 530.2 Ma, 533 Ma	周国庆等, 2000; 杜雪亮等, 2019; Shi Yuruo et al., 2018; 孙立新等, 2017; 侯青叶等, 2012; 胡新茁等, 2015; Ao Songjian et al., 2012

为沉积后岩浆侵入的结果。

有研究者在“牛圈子蛇绿岩带”南侧的大豁落、双鹰山地区和北侧的破城山地区寒武纪地层中获得的三叶虫化石完全可以对比,具相似性(中国地质调查局西安地质调查中心^①)。在南侧大豁落山地区的下寒武统生物碎屑灰岩中采集到早寒武世的标准化石(三叶虫, *Eoredlichia* sp.);在北侧破城山一带寒武系破城山组地层下部薄层灰岩中也采集到大量的代表下寒武统的标准化石 *Eoredlichia* sp。“牛圈子蛇绿岩带”南北两侧的寒武纪地层结构和物质组成具有可比性。南侧大豁落地区下寒武统的双鹰山组主要为一套薄层生物碎屑灰岩、黑色泥硅质板岩、及含磷结核硅质岩组成的地层;北侧破城山地区下寒武统的破城山组以深灰、灰黑、浅灰、褐黄色碎屑岩夹硅质岩、薄层灰岩扁豆体为主的一套地层。“牛圈子蛇绿岩带”南北两侧不同地质单元均具有钨(钼)锡成矿特征,反映它们均具有相同或相近的古老基底。从这些研究成果可以看出,“牛圈子蛇绿岩带”的南北具有相似的地质背景,可能为同一个地质体,而不是被牛圈子蛇绿岩带分隔开的两个地块。

5 结论

(1) 牛圈子地区出露岩石组合为辉长岩、凝灰岩,正常沉积的凝灰岩夹凝灰质砂岩、片岩残留体、砂岩、砂砾岩组合,火山熔岩极不发育,缺失超基性岩,不具有蛇绿岩的岩石组合特征。

(2) 野外展布没有“岩块+基质”的构造混杂特征,且也没有发现深海沉积物,预示牛圈子不是典型的蛇绿岩。

(3) 牛圈子辉长岩富集 Rb、Ba、Th、U、K 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、Ti,有 Sr 正异常,显示壳幔混源的岩石地球化学特征。

(4) 综合区域研究认为,本次工作区范围内前人划分的牛圈子蛇绿岩不具有典型性,可能不是真正的蛇绿岩。

致谢:本文素材主要来自于中澳合作填图项目成果,经过野外调查、室内地球化学和年代学分析测试,对牛圈子蛇绿岩的真伪提出了质疑。但是,鉴于牛圈子蛇绿岩的知名度和对北山造山带构造演化研究的重要性,对本次工作获得的新认识进行了自我否定而没有及时的报道,直到 2021 年张旗研究员“蛇绿岩研究之检讨与反思:以双沟蛇绿岩为例”一文的发表,张先生将自己研究几十年的双沟蛇绿岩

重新审视,厘定为造山橄榄岩;受之启发,撰写此文,一来向先生对待科学研究的严谨态度表达敬意;二来为北山造山带蛇绿岩研究者提供参考信息,促进北山造山带蛇绿岩研究。借用张先生文章的一句话“任何科学问题都没有顶峰,任何学术研究都没有天花板”。只有秉承这种思想,才能在科学研究的长河中“让思想自由流淌”,把你引向更新的领域,更高的境界。

同时,对参与中澳合作填图的西澳地质调查局 Robert Hugh SMITHIES, Michael Thomas WINGATE, Shefa CHEN, 西安地质调查中心李建星教授级高工、王永和教授级高工、校培喜教授级高工、高晓峰研究员以及孟勇教授级高工等辛勤付出表示感谢!

注 释 / Notes

- ① 甘肃省地质调查院. 2001. 1:25 万马鬃山幅地质图.
- ② 西安地质调查中心. 2016. 1:5 万牛圈子幅地质图.
- ③ 龚全胜, 梁宏安, 刘明强, 李海林, 魏学平. 2001. 1:25 万马鬃山幅区域地质调查报告. 甘肃省地质调查院.
- ④ 中国地质质调局西安地质调查中心. 2013. 北山—祁连成矿带地质矿产综合研究报告.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

代文军. 2011. 甘肃北山牛圈子蛇绿混杂岩的形成环境及构造意义. 矿物岩石, 31(4): 44~51.

邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 肖庆辉, 狄永军, 苏尚国, 赵国春, 段培新, 戴蒙. 2015a. 关于火成岩常用图解的正确使用: 讨论与建议. 地质论评, 61(4): 717~734.

邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 刘翠, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孟斐, 马帅, 姚图. 2015b. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论评, 61(3): 473~484.

杜雪亮. 2019. 中亚造山带南缘北山红柳河蛇绿岩带成因及构造意义. 导师: 王金荣. 兰州大学硕士学位论文.

何世平, 任秉琛, 姚文光, 付力浦. 2002. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分. 西北地质, 35(4): 30~40.

何世平, 周会武, 任秉琛, 姚文光, 付力浦. 2005. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化. 西北地质, 38(3): 6~15.

侯青叶, 王忠, 刘金宝, 王瑾, 李大鹏. 2012. 北山月牙山蛇绿岩地球化学特征及 SHRIMP 定年. 现代地质, 26(5): 1008~1018.

胡新苗, 赵国春, 胡新悦, 廖云峰, 程海峰. 2015. 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. 地质通报, 34(2): 425~436.

李向民, 余吉远, 王国强, 武鹏. 2012. 甘肃北山地区茈茈荻子蛇绿岩年代学研究及其意义. 地质通报, 31(12): 2025~2031.

吕洪波, 冯雪东, 王俊, 朱晓青, 董晓朋, 张海春, 章雨旭. 2018. 狼山发现蛇绿混杂岩——华北克拉通与中亚造山带碰撞边界的关键证据. 地质论评, 64(4): 777~805.

牛文超, 辛后田, 段连峰, 赵泽霖, 张国震, 任邦芳, 张永. 2020. 内蒙古北山造山带百合山 SSZ 型蛇绿岩地球化学特征、锆石 U-

Pb 年龄及其对古亚洲洋演化的指示. 地质通报, 39(9): 1371~1329.

裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 李勇, 胡波, 刘会彬. 2005. 西秦岭天水地区岛弧型基性岩浆杂岩的地球化学特征及形成时代. 中国地质, 32(4): 529~540.

任秉琛, 何世平, 姚文光, 付力浦. 2001. 甘肃北山牛圈子蛇绿岩 钨-锆同位素年龄及其大地构造意义. 西北地质, 34(2): 21~27.

孙立新, 张家辉, 任邦方, 牛文超, 任云伟. 2017. 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. 岩石矿物学杂志, 36(2): 131~147.

王国强, 李向民, 徐学义, 余吉远, 武鹏. 2014. 甘肃北山红石山蛇绿岩锆石 U-Pb 年代学研究及构造意义岩石学报, 30(6): 1685~1694.

武鹏, 王国强, 李向民, 余吉远, 康磊. 2012. 甘肃北山地区牛圈子蛇绿岩的形成时代及地质意义. 地质通报. 31(12): 2032~2037.

肖序常, 陈国铭, 朱志直. 1978. 祁连山古蛇绿岩的地质构造意义. 地质学报, 54(1): 287~295.

徐学义, 何世平, 王洪亮, 张二鹏, 陈隽璐, 孙吉明. 2008. 早古生代北秦岭—北祁连结合部构造格局的地层及构造岩浆事件约束. 西北地质, 41(1): 1~21.

杨合群, 李英, 李文明, 杨建国, 赵国斌, 孙南一, 王小红, 谭文娟. 2008. 北山成矿构造背景概论. 西北地质, 41(1): 22~27.

杨合群, 李英, 赵国斌, 李文渊, 王小红, 姜寒冰, 谭文娟, 孙南一. 2010. 北山蛇绿岩特征及构造属性. 西北地质. 43(1): 26~36.

于福生, 李金宝, 王涛. 2006. 东天山红柳河地区蛇绿岩 U-Pb 同位素年龄. 地球学报, 27(3): 213~216.

余吉远, 李向民, 王国强, 武鹏, 闫巧娟. 2012. 北山地区辉铜山、帐房山蛇绿岩 U-Pb 年龄及其意义. 地质通报, 31(12): 2038~2045.

余吉远, 计波, 过磊, 郭琳, 卜涛. 2018. 甘肃北山地区古铜井群地质特征与时代厘定. 地质通报, 37(4): 704~715.

余君鹏, 王怀涛, 王玉玺, 孙新春, 任文秀, 魏海峰, 王晓伟. 2021. 甘肃北山炭山子橄榄辉长岩年代学、地球化学特征及其地质意义. 矿物岩石学杂志, 40(2): 202~216.

张贵山, 温汉捷, 李石磊, 胡瑞忠, 裴愉卓. 2009. 闽北角闪辉长岩的地球化学特征及其地球动力学意义. 矿物岩石, 29(2): 243~252.

张进, 邓晋福, 肖庆辉, 陆松年, 潘桂棠, 张智勇, 冯艳芳. 2012. 蛇绿岩研究的最新进展. 地质通报, 31(1): 1~12.

张旗. 2021. 蛇绿岩研究之检讨与反思: 以“双沟蛇绿岩”为例. 岩石学报, 37(4): 957~973.

张旗, 任纪舜, 赵磊, 焦守涛, 王跃, 王振. 2022. 中国蛇绿岩清理——兼论蛇绿岩研究的新思路. 地质论评, 68(3): 1061~1078.

张元元, 郭召杰. 2008. 甘新交界红柳河蛇绿岩形成和侵位年龄的准确限定及大地构造意义. 岩石学报, 24(4): 803~809.

张正平, 辛后田, 程海峰, 张永, 梁国庆, 提振海, 朱炜, 苏鹏涛, 王猛, 赵麒麟. 2020. 内蒙古北山造山带发现额勒根蛇绿岩——红石山—百合山蛇绿岩带东延的证据, 地质通报, 39(9): 1389~1403.

赵磊, 何国琦, 朱亚兵, 2013. 新疆西准噶尔北部谢米斯台山南坡蛇绿岩带的发现及其意义. 地质通报, 32(1): 195~205.

郑荣国, 吴泰然, 张文, 冯继承. 2012a. 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. 地质学报, 86(6): 961~971.

郑荣国, 吴泰然, 张文, 徐操, 孟庆鹏. 2012b. 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. 北京大学学报(自然科学版), 48(4): 603~616.

周国庆, 赵建新, 李献华. 2000. 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. 地球化学, 29(2): 108~120.

左国朝, 张淑玲, 何国琦, 张杨. 1990. 北山地区早古生代板块构造特征. 地质科学, (4): 305~314.

左国朝, 张作衡, 王志良, 刘敏, 王龙生. 2008. 新疆西天山地区构造单元划分、地层系统及其构造演化. 地质论评, 54(6): 748~767.

Cleven N, Lin S, Guilmette C. 2015. Petrogenesis and implications for tectonic setting of Cambrian suprasubduction-zone ophiolitic rocks in the central Beishan orogenic collage, Northwest China. Journal of Asian Earth Sciences, 113: 369~90.

Coleman R G. 1977. Ophiolites. Berlin: Springer-Verlag: 45~46.

Dai Wenjun. 2011&. The formatino background and tectonic significance of the ophiolite meiang in the Niujuanzi area, Beishan, Gansu province, J. Mineral petrol. , 31(4): 44~51

Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinhuai, Di Yongjun, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015a&. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: Discussion and suggestion. Geological Review, 61(4): 717~734.

Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinhuai, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015b&. Magmatic arc and ocean—continent transition: Discussion. Geological Review, 61(3): 473~484.

Du Xueliang. 2019&. The genesis and tectonic significance of Beishan Hongliuhe ophiolite belt in the southern margin of Central Asian orogenic belt. master degree thesis of Lanzhou universty

Hawkesworth C J, Gallagher K, Hergt J M, Mcdermott F. 1993. Mantle and slab contribution in arc magmas. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 21: 175~204.

He Shiping, Ren Bingchen, Yao Wenguang, Fu Lipu. 2002&. The division of tectonic units of Beishan area, Gansu—Inner Mongolia. Northwestern Geology, 35(4): 30~40.

He Shiping, Zhou Huiwu, Ren Bingchen, Yao Wenguang, Fu Lipu. 2005&. Crustal evolution of Palaeozoic Beishan area, Gansu and Inner Mongolia, China. Northwestern Geology, 38(3): 6~15.

Hou Qingye, Wang Zhong, LiuJinbao, Wang Jin, Li Dapeng, 2012&. Geochemistry characteristics and SHRIMP dating of Yueyashan ophiolite in Beishan Orogen. Geoscience, 26(5): 1008~1018.

Hu Xinzuo, Zhao Guochun, Hu Xinyue, Liao Yunfeng, Cheng Haifeng. 2015&. Geological characteristics, formation epoch and geotectonic significance of the Yueyashan ophiolitic tectonic mélange in Beishan area, Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 34(2/3): 425~436.

Keppler H. 1996. Constraints from partitioning experiments on the Composition of subductoin zone fluids. Nature, 380: 237~240.

Li Xiangmin, Yu Jiyuan, Wang Guoqiang, Wu Peng. 2012&. Geochronology of Jijitaizi ophiolite in Beishan area, Gansu Province, and its geological significance. Geological Bulletin of China, 31(12): 2025~2031.

Lü Hongbo, Feng Xuedong, Wang Jun, Zhu Xiaoping, Dong Xiaopeng, Zhang Haichun, Zhang Yuxu. 2018&. Ophiolitic Mélanges found in mount Langshan as the crucial evidence of collisional margin between North China Craton and Central Asian Orogenic Belt. Geological Review, 64(4): 777~805.

Niu Wenchao, Xin Houtian, Duan Kianfeng, Zhao Zelin, Zhang

- Guozheng, Ren Bangfang, Zhang Yong. 2020&. Geochemical characteristics, zircon U-Pb age of SSZ ophiolite in the Beishan area of the Beishan orogenic belt, Inner Mongolia, and its indication for the evolution of the Paleo-Asian Ocean. *Geological Bulletin of China*, 39(9): 1371~1329.
- Mao Q G, Xiao W J, Fang T H. 2012. Late Ordovician to early Devonian adakites and Nb-enriched basalts in the Liuyuan area, Beishan, NW China: Implications for early Paleozoic slab-melting and crustal growth in the southern Altaiids. *Gondwana Research*, 22(2): 534~553.
- Pei Xianzhi, Li Zuochen, Ding Saping, Li Yong, Hu Bo, Liu Huibin. 2005&. Geochemical characteristics and zircon U- Pb ages of island- arc basic igneous complexes in the Tianshui area, West Qinling. *Geology in China*, 32(4): 529~540.
- Ren Bingshen, He Shiping, Yao Wenguang, Fu Lipu. 2001&. Rb-Sr iostope age of Niujuanzi ophiolite and its tectonic significance in Beishan district, Gansu, Northwestern geology, 34(2): 21~27.
- Schilling J G, Zajac M, Evans R, Johnston T, White W, Devine J D, Kingsley. 1983. Petrologic and geochemical variations along the Mid-Atlantic Ridge from 29 degrees N to 73 degrees N. *American Journal of Science*, 283(6): 510~586.
- Shi Y R, Zhang W, Kröner A. 2018. Cambrian ophiolite complexes in the Beishan area, China, southern margin of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 153: 193~205.
- Shi Y, Li L, Kröner A. 2017. Carboniferous Alaskan-type complex along the Sino—Mongolian boundary, southern margin of the Central Asian Orogenic Belt. *Acta Geochim.*, 36(2): 276~290.
- Songjian Ao, Wenjiao Xiao, Chunming Han. 2012. Cambrian to early Silurian ophiolite and accretionary processes in the Beishan collage, NW China: implications for the architecture of the Southern Altaiids. *Geological Magazine*, 149(4): 606~625.
- Sun Lixin, Zhang Jiahui, Ren Bangfang, Niu Wenchao, RenYunwei, Zhang Kuo. 2017&. Geochemical characteristics and U-Pb age of Baiyunshan ophiolite mélange in the Beishan orogenic belt and their geological implications. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 36(2): 131~147.
- Taylor S R, Mc Lennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. London: Blackwell: 57~72.
- Wang Guoqiang, Li Xiangmin, Xu Xueyi, Yu Jiyuan and Wu Peng. 2014&. Ziron U-Pb chronological study of the Hongshishan ophiolite in the Beishan area and their tectonic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 30(6): 1685~1694.
- Wang S, Zhang K, Song B. 2018. Geochronology and geochemistry of the Niujuanzi ophiolitic mélange, Gansu Province, NW China: implications for tectonic evolution of the Beishan Orogenic Collage. *International Journal of Earth Sciences*, 107(1): 269~289.
- Weaver B L. 1991. The origin of ocean island basalt end-member compositions: Trace element and isotopic constraints. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 104: 381~397.
- Wu Peng, Wang Guoqiang, Li Xiangming, Yu Jiyuan, Kang Lei. 2012&. The age of Niujuanzi ophiolite in Beishan area of Gansu Province and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 31(12): 2032~2037.
- Xiao Xuechang, Chang Guoming, Zhu Zhizhi. 1978&. A perliminare study on the tectonics of ancient ophiolites in the Qilian Mountain, Northwest China. *Acta Geologica Sinica*, (4): 281~296.
- Xu Xueyi, He Shiping, Wang Hongliang, Zhang Erpeng, ChenJunlu, Sun Jiming. 2008&. Tectonic framework of North Qinling Mountain and North Qilian Mountain Conjunction area in Early Paleozoic: A study of the evidences from strata and tectonic—magmatic events. *Northwestern Geology*, 41(1): 1~21.
- Yang Hequn, Li Ying, Zhao Guobin, Li Wenyuan, Wang Xiaohong, Jiang Hanbing, Tan Wenjuan. 2008&. General discussion on metallogenic tectonic setting of Beishanmountain, Northwestern China. *Northwestern Geology*, 41(1): 22~28.
- Yang Hequn, Li Ying, Li Wenming, Yang Jianguo, Zhao Guobin, Sun Nanyi, Wang Xiaohong, Tan Wenjuan, Sun Nanyi. 2010&. Character and structural attribute of the Beishan ophiolite. *Northwestern Geology*, 43(1): 26~36.
- Yu Fusheng, Li Jinbao, Wang Tao. 2006&. The U-Pb isotopic age of zircon from Hongliuhe ophiolites in east Tianshan Mountains, Northwest China. *Acta Geoscientica Sinica*, 27(3): 213~216.
- Yu Jiyuan, Li Xiangmin, Wang Guoqiang, Wu Peng, Yan Qiaojuan. 2012&. The zircon U-Pb ages and their significances of Huitongshan and Zhangfangshan ophiolite at Beishan area in Gansu—Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 31(12): 2038~2045.
- Yu Jiyuan, Ji Bo, Guo Lei, Guo Lin, Bu Tao. 2018&. Geological characteristics and age determination of the Palaeoproterozoic Gudongjing Group complex in the Beishan Mountain, Gansu Province. *Geological Bulletin of China*, 37(4): 704~715.
- Yu Junpeng, Wang Huaitao, Wang Yuxi, Sun Xinchun, Ren Wenxiu, Wei Haifeng, Wang Xiaowei. 2021&. Geochronology and geochemistry of Tanshanzidong olivine-gabbro in Baishan area, Gansu Province, and its geological significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(12): 2038~2045.
- Zhang Guishan, Wen Hanjie, Li Shilei, Hu Ruizhong, Qiu Yuzhuo. 2009&. Geochemical characteristics of bojite in Northern Fujian Province and their geodynamic significance. *Acta Mineralogica Sinica*, 29(2): 243~252.
- Zhang Jin, Deng Jinfu, Xiao Qinghui, Lu Songnian, Pan Guitang, Zhang Zhiyong, Feng Yanfang. 2012&. New advances in the study of ophiolites. *Geological Bulletin of China*, 31(1): 1~12.
- Zhang Qi. 2021&. Review and reflection on ophiolite research: Taking Shuanggou ophiolite as an example. *Acta Petrologica Sinica*, 37(4): 957~973.
- Zhang Qi, Ren Jishun, Zhao Lei, Jiao Shoutao, Wang Yue, Wang Zhen. 2022&. Review of ophiolites in China——Discuss on a new method for the study of ophiolites. *Geological Review*, 68(3): 1061~1078.
- Zhang Yuanyuan, Guo Zhaojie. 2008&. Accurate constralnt on formation and enplacement age of Hongliuhe ophiolite, boundary region between Xinjiang and Gansu provinces and its tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 803~809.
- Zhang Zhengping, Xin Houtian, Cheng Haifeng, Zhang Yong, Liang Guoqin, Ti Zhenhai, Zhu Wei, Su Pengtao, Wang Meng, Zhao Qiyu. 2020&. The discovery of the Elegen ophiolite in Beishan orogenic belt, Inner Mongolia: Evidence for the east extension of the Hongshishan—Baiheshan ophiolite belt. *Geological Bulletin of China*, 39(9): 1389~1403.
- Zhao Lei, He Guoqi, Zhu Yabing. 2013&. Discovery and its tectonic significance of the ophiolite in the south of Xiemisitai Mountain, West Junggar, Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 32(1): 195~205.
- Zheng Rongguo, Wu Tairan†, Zhang Wen, Xu Cao, Meng Qingpeng. 2012a&. Early Devonian tectono—magmatic events in the Middle

Beishan, Gansu Province; Evidence from chronology and geochemistry of Gongpoquan granite. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 48(4): 603~616.

Zheng Rongguo, Wu Tairan, Zhang Wen, Feng Jicheng. 2012b&. Geochemical characteristics and tectonic setting and of the Yueyashan—Xichangjing ophiolite in the Beishan area. *Acta Geologica Sinica*, 86(6): 961~971.

Zheng Rongguo, Wu Tairan, Zhang Wen, Xu Cao, Meng Qingpeng. 2013. Late Paleozoic subduction system in the southern Central Asian Orogenic Belt: Evidences from geochronology and geochemistry of the Xiaohuangshan ophiolite in the Beishan orogenic belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62: 463~475.

Zhou Guoqing, Zhao Jianxin, Li Xianhua. 2000&. Characteristics of the Yueyashan ophiolite from western Nei Mengol and its tectonic setting: Geochemistry and Sm-Nd isotopic constraints. *Geochimica*, 29(2): 108~120.

Zuo Guochao, Zhang Shuling, He Guoqi, Zhang Yang. 1990&. Early Paleozoic plate tectonics in Beishan area. *Chinese Journal of Geology*, 25(4): 305~314.

Zuo Guochao, Zhang Zuoheng, Wang Zhiliang, Liu Min, Wang Longsheng. 2008&. Tectonic division, stratigraphical system and the evolution of western Tianshan Mountains, Xinjiang. *Geological Review*, 54(6): 748~767.

Restudy on the attribute of Niujuanzi Ophiolite in Beishan Mountains, Gansu Province

YU Jiyuan^{1, 2)}, WANG Guoqiang^{1, 2)}, LI Xiangmin^{1, 2)}, JI Bo^{1, 2)}, ZHAO Guobin^{1, 2)}

1) Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an, 710054;

2) Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an, 710054

Abstract: The Niujuanzi ophiolite determined by previous studies is regarded as an important evidence for the division of Beishan tectonic units in Gansu Province, NW China, but the authenticity of its petrological properties has not been effectively verified. Detail field investigations with 1 : 50 000 scale have allowed us to revisit the rock association, contact relationship and field occurrence. Meanwhile, geochemistry of Gabbro are also analyzed and discussed. The results show that the rock assemblages developed in the area may be the products of plutonism rather than a typical ophiolite. Evidences are listed as follows: ① The pseudo-sequence of ophiolite rock association is seriously missing in Niujuanzi tectonic belt. ② Volcanic lava developed with few and sparse in local section of the belt. ③ Ultrabasic rock including abyssal peridotites are missing. ④ There is no any characteristics of mélange zone. ⑤ There is no material components that resemble those style of ' rock block and matrix ' of a typical suture zone. ⑥ There is no record of deep-sea deposition such as radiolarian bedded chert. ⑦ On the contrary, gabbro has obvious geochemical characteristics of crust—mantle mixed source, which is quite different from the trace element characteristics of N-MORB and OIB. Thus, the so-called Niujuanzi ophiolite is a suite of complex pluton mainly including gabbro intruded into the surrounding rocks, the Misjudgment of the tectonic nature of which could attribute to the relatively low and gentle topography and serious coverage of loose deposits in the Beishan Mountain.

Keywords: ophiolite; rock assemblages; mélange zone; Niujuanzi; Beishan Mountain; NW China

Acknowledgements: This paper is the results of the projects supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 41202045, 41703038) and the Geological Gurvey of China (Nos. DD20230005, 12120113046400, DD20190069) and Natural Science Foundation of Shaanxi (No. 2023-JC-YB-233)

First author: YU Jiyuan, male, born in 1978, master, professor-level senior engineer, is ainly engaged in regional geological and mineral investigation, petrogeochemistry and comprehensive research; Email: 415696439@qq.com

Manuscript received on: 2022-04-22; Accepted on: 2022-12-13; Published online on: 2022-12-20
Doi: 10.16509/j.georeview.2022.12.065 **Edited by:** ZHANG Yuxu