

完达山大顶子山蛇绿岩地球化学及其构造意义

孙刚, 杨云宝, 孙健*, 林大治, 赵世猛, 郭凤磊

(黑龙江省第一地质勘查院, 黑龙江牡丹江 157011)

摘要:本文对完达山大顶子山蛇绿混杂岩开展了岩相学、锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学研究, 厘定了蛇绿混杂岩的岩石组成及其形成时代, 探讨了岩石形成构造环境和就位机制。大顶子山蛇绿岩位于完达山地体东部大顶子山至坨瑶山的南北向蛇绿混杂岩条带内, 呈构造透镜体分布于晚三叠-早侏罗世大岭桥组(泥质碎屑岩)中, 呈北北东向带状展布, 由东侧超镁铁质堆积杂岩(以橄榄岩为主)和西侧为镁铁质堆积杂岩(以辉长岩为主)组成, 其锆石 U-Pb 年龄显示为 159.61 ± 0.44 Ma 和 138.4 ± 0.72 Ma, 属中侏罗世晚期-早白垩世早期。岩石地球化学研究显示其主量元素特征为低铝、低钙、富碱; 稀土元素显示为稀土元素总量较高, 介于 $17.65-105.16 \times 10^{-6}$, LREE 与 HREE 含量稳定, LREE 富集型, HREE 相对亏损, $(La/Yb)_N$ 介于 2.32-5.55, 轻重稀土分异明显, 分馏程度较大; 高场强元素 Th、Nb、Ta 和大离子亲石元素 Pb、Ba 明显富集, Sr 较亏损。蛇绿岩形成于洋岛环境, 属地幔柱型蛇绿岩, 随着太平洋板块向大陆的俯冲, 在佳木斯陆块东缘形成规模较大的增生楔。

关键词:蛇绿岩; 岩石地球化学; 锆石 U-Pb 定年; 构造环境; 完达山地体

中图分类号: P53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2736(2025)08-0106-9

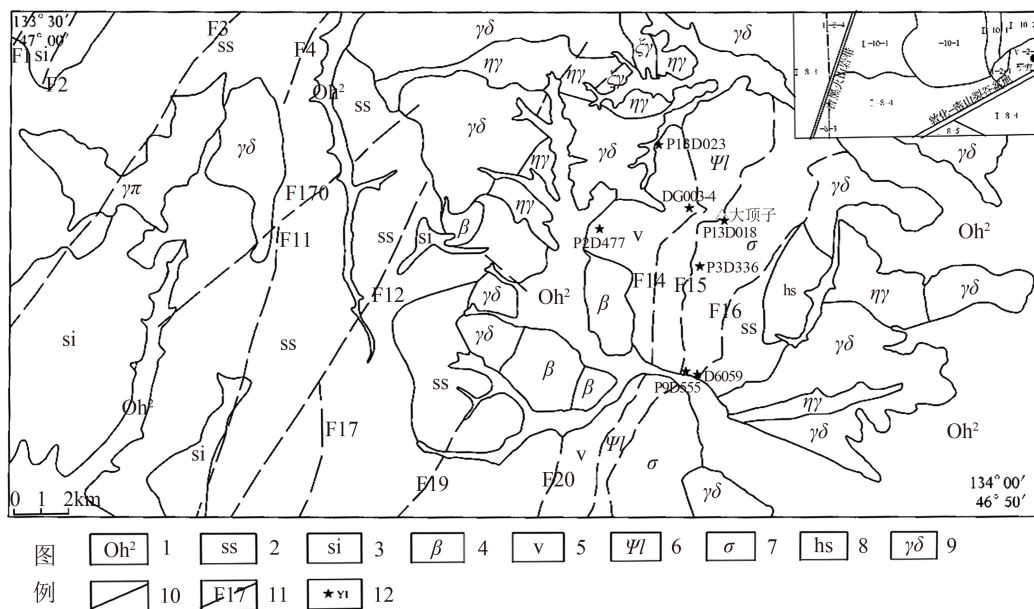
0 引言

1972 年 Penrose^[1] 会议将蛇绿岩套定义为一套特殊的超镁铁质-镁铁质岩石组合, 在地质填图中不能将其作为一个岩性单位, 也不能将其作为一个岩石的名称。蛇绿岩套可以不完整, 或经历构造肢解或变质作用改造。蛇绿岩定义为在特定构造环境中形成的非原地的上地幔和大洋地壳岩石碎片, 它们是与不同熔融事件和岩浆分异过程有关的具备时空联系的超镁铁质至长英质岩石的岩套^[2-3]。本文将以此定义为基本依据对完达山大顶子山蛇绿岩套进行系统阐述和研究。

完达山地体是东亚环太平洋构造带的重要组成部分, 同时也是中国东部中生代唯一出露的深海沉积岩地层区, 三叠纪-侏罗纪硅质岩-碎屑岩系构成了该造山带的主体, 与之伴生的为一套基性-超级基性岩组合, 构成一套俯冲增生杂岩。但前人所划分的这套中三叠-早侏罗世成

层有序的地层并不能反映增生杂岩性质, 更无法表现出太平洋板块俯冲增生的一系列过程。邵济安等曾建议, 在研究类似那丹哈达混杂地体这样复杂地区的地层时, 明确划分外来系统与原地系统, 对外来混杂岩块讨论时, 建议取消地层组名, 以免引起地层对比中的混乱与繁琐。鉴于此, 目前较为统一的观点为硅质岩-碎屑岩系作为原生系统, 而与之伴生的基性-超级基性岩为外来系统^[4]。前人对黑龙江东部完达山增生杂岩的研究包括古生物学、地层学、岩石地球化学、同位素年代学等, 在一定程度上提高了完达山增生杂岩的研究程度, 并引起了国际范围的广泛关注。但同时以往研究中还存在诸多疑点, 比如大顶子山蛇绿混杂岩中存在的两期基性-超基性岩, 其岩性特征及分布规律, 形成时代及其与围岩接触关系都有待进一步研究厘定, 形成于何种构造环境及就位机制等诸多疑点。

本文将以大顶子山蛇绿混杂岩岩块为研究对象, 利用岩石学、岩石地球化学、构造地质学手



1—现代河床及低漫滩堆积;2—砂岩;3—硅质岩;4—玄武岩;5—辉长岩;6—辉石岩;7—橄榄岩;
8—角岩;9—花岗闪长岩;10—地质界线;11—推测断层;12—取样位置及编号

图 1 研究区大顶子山地质简图

段来判断其形成构造环境,结合接触关系、同位素年代学研究结果,判断其形成时代。根据上述分析结果,重建古太平洋板块中生代期间的俯冲作用过程,为揭示完达山地块中生代构造-岩浆作用过程提供重要依据。

1 地质背景

完达山地体位于太平洋板块(VI),完达山中生代造山带(VI-2),饶河造山带(VI-2-1),饶河复背斜;研究区位于大顶子山蛇绿构造混杂岩带(VI-2-1-2-2)构造单元内^[5]。完达山地区经历了十分复杂的构造演化历史,特别是在完达山蛇绿混杂岩带附近构造活动更加强烈,是洋壳物质与陆壳物质高度混杂的物质场,由遭受强烈构造变动的中三叠-早侏罗世深海硅泥质沉积及蛇绿岩残片构成,其组成物质的时、相、位、序态与原始生成时已大相径庭。

本次将完达山增生杂岩划分为两个系统,即外来系统(岩块)和原地系统(基质)^[4]。由于完达山构造带走向整体为NNE向展布,不同岩石单元也基本上呈NNE向,条带状分布^[6]。从基质和岩块的关系和分布情况来看,岩块呈漂浮

状,呈较小块体位于基质之中,与周围围岩呈断层接触,显示构造侵位的特征,被后期白垩纪花岗岩所侵入^[7]。

区内混杂岩基质以沉积岩为主,主要为砂岩(包括细砂岩、岩屑砂岩及长石岩屑砂岩)、粉砂岩、硅质岩、泥岩及少量剪切变质基质(角岩、片岩)。区内混杂岩岩块成分较复杂,沉积岩类岩块主要为硅质岩、灰岩;侵入岩类岩块主要为辉长岩、辉石岩、橄榄岩;火山岩岩块主要为玄武岩^[8-9]。

本次研究的镁铁质-超镁铁质岩石主要出露于由大顶子山至坨瑶山的南北向条带内,东西宽约6km,南北长约17km,侵位于晚三叠-早侏罗世大岭桥组中,并被早侏罗世花岗闪长岩所侵入^[10]。受到多期构造的影响,形成了复杂的构造形态。在大顶子山出露较完整,东侧为超镁铁质堆积杂岩,西侧为镁铁质堆积杂岩,二者呈相变关系,在镁铁质杂岩西侧为下部枕状熔岩,构成了蛇绿岩的完整层序(图1)。超镁铁质堆积杂岩岩性主要为单斜辉石橄榄岩、辉石橄榄岩、蛇纹石化橄榄岩、橄榄岩,其上逐渐相变为镁铁质堆积杂岩,岩性主要为辉长岩、角闪单辉岩、辉

绿岩,存在着普遍的蛇纹石化和碎裂现象^[4,6]。

2 岩石学特征

2.1 超镁铁质堆积杂岩

主要分布在蛇绿混杂岩带的东侧,岩性包括单斜辉石橄榄岩、辉石橄榄岩、蛇纹石化橄榄岩、橄榄岩。

单斜辉石橄榄岩:半自形粒状结构,块状构造。橄榄石 90%±,单斜辉石 10%±。橄榄石呈半自形-它形粒状,杂乱分布,粒间镶嵌状接触,粒度 0.2-3.5mm 不等,以 0.5-3mm 为主,粒内网状裂隙发育,常见蛇纹石沿裂隙分布并不均匀交代,局部见析出尘点状铁质。辉石为单斜辉石,半自形-它形柱粒状,杂乱分布,粒度一般 0.2-2mm,少数 2-2.6mm,具不均匀碳酸盐化、蛇纹石化,局部析出席勒状铁质。

蛇纹石化橄榄岩:半自形粒状结构,块状构造。含橄榄石 95%±,辉石假像 5%±。橄榄石多被蛇纹石及少量碳酸盐交代呈假像,极少数残留,杂乱分布,由于蚀变强多数颗粒边界模糊不清,隐约呈半自形粒状-它形粒状,粒内网状裂隙发育,微粒状铁质沿裂隙分布。辉石假像:半

自形柱粒状,零星分布,粒度一般 0.3-1.8mm,均被次闪石及蛇纹石交代呈假像并析出席勒状分布的铁质(图 2)。

2.2 镁铁质堆积杂岩

主要分布在蛇绿混杂岩带的中部,岩性包括辉石岩、橄榄辉石岩、堆晶辉长岩等。

辉石岩呈半自形粒状结构,块状构造。岩石由辉石(90-95%)、角闪石(5-10%)组成。辉石呈半自形柱状,为单斜辉石,杂乱分布,粒度一般 0.2-2mm,少量 2-2.7mm,部分被阳起石交代呈假像。角闪石呈它形粒状,黄褐色,填隙状分布于上述颗粒间,少被阳起石交代,粒度 0.1-1.3mm。另见少量被铁质充填的裂纹。

辉长岩:表面多风化呈土黄色,轻微绢云母化、少透闪石化,由斜长石(55%±)、辉石(45%±)组成,呈半自形粒状结构,块状构造。斜长石呈半自形板条状,杂乱分布,粒度一般 1-6mm,少数 0.2-1mm,轻高岭土化、绢云母化;辉石呈半自形柱状,为单斜辉石,杂乱分布,粒度一般 1-2.7mm,少部分 0.3-1mm,沿边部被次闪石交代。岩内局部可见裂隙,沿裂隙斜长石、辉石破碎呈碎粒、碎粉状,并见绿帘石充填(图 3)。

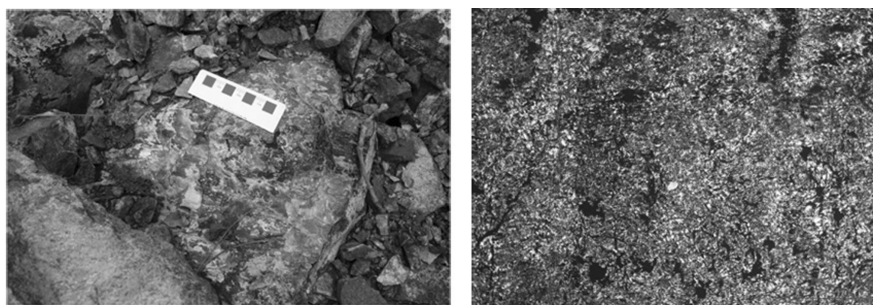


图 2 大顶子山蛇纹石化橄榄岩标本及显微照片



图 3 大顶子山辉长岩标本及显微照片

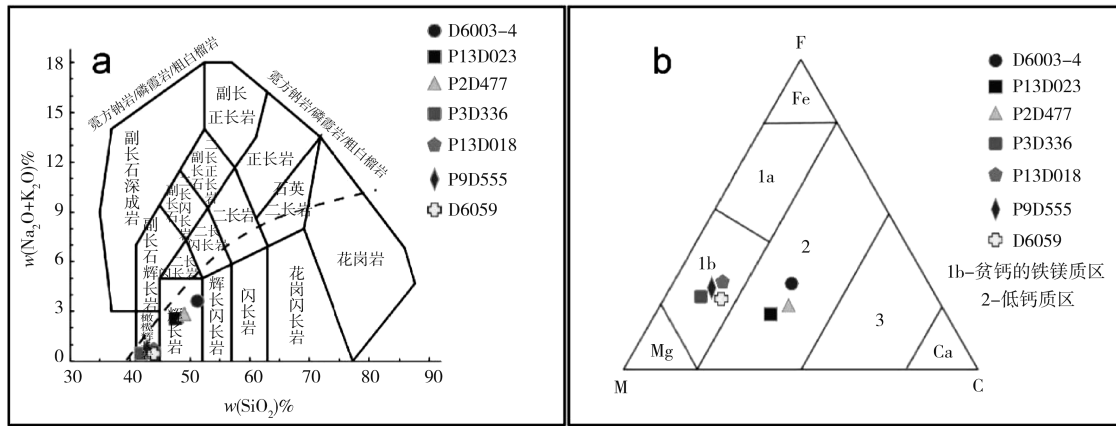


图 4 大顶子山蛇绿岩系统分类图解

3 测试结果

在蛇绿岩研究过程中,地球化学元素往往具有十分重要的示踪作用。主量、微量元素能反演岩浆形成、运移、就位等演化过程,微量元素还能反映岩浆起源区域的地质特征,并有助于恢复地壳-地幔相互作用过程以及蛇绿岩形成时的大地构造环境。

3.1 主量元素

大顶子山蛇绿岩共采集 3 件辉长岩,4 件橄榄岩(取样位置见图 1),与全碱-硅(TAS)分类图解解译成果与定名相符(图 4a),且均位于 Ir-

Irvine 分界线之下,为亚碱性系列中的拉斑玄武岩系列;其 SiO_2 含量介于 41.76~52.86%,变化范围较大, Al_2O_3 介于 1.62~14.83%,变化范围较大, MgO 含量介于 8.22~32.83%,含量较高且变化范围较大。说明其属岩浆不同时期分异形成,而 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 、 MgO 、 CaO 含量普遍偏高(表 1)。在 FMC 图解中(图 4b),岩石投点落入低钙质区和贫钙的镁铁质区。

综上所述,蛇绿岩主要以低铝、低钙、富碱为特征。其 CIPW 标准矿物成分主要为橄榄石(镁橄榄石为主、铁橄榄石次之)、透辉石(以顽火辉石为主、铁辉石次之)^[4,8,11]。

表 1 大顶子山蛇绿岩主量元素、稀土元素和微量元素含量及相关参数表

岩性	辉长岩			辉石橄榄岩				
	样品号	D6003-4	P13D023	P2D477	P3D336	P13D018	P9D555	D6059
SiO_2		52.86	47.68	49.68	41.76	44.02	42.72	42.22
TiO_2		0.66	1.34	2.18	0.52	0.75	0.84	0.5
Al_2O_3		14.83	11.4	8.92	1.62	4.55	3.11	2.47
Fe_2O_3		3.49	0.28	1.28	6.39	3.2	6.81	4.79
FeO		3.95	5.76	8.62	8.08	8.18	8.41	8.55
MnO		0.15	0.1	0.16	0.2	0.15	0.23	0.21
MgO		8.22	16.82	10.93	32.83	24.16	27.08	31.45
CaO		8.62	12.44	12.91	5.61	11.23	7.57	7.29
Na_2O		2.39	2.22	2.4	0.26	0.33	0.37	0.2
K_2O		1.27	0.3	0.37	0.052	0.065	0.2	0.13
P_2O_5		0.15	0.02	0.23	0.05	0.02	0.04	0.03
H_2O^+		4.22	0.44	0.38	1.3	2	1.65	2.05
H_2O^-		0.016	0.001	0.0013	0.002	0.0014	0.05	0.13
烧失量		2.62	0.72	0.84	1.62	2.58	2.3	2.13

续表

岩性 样品号	辉长岩			辉石橄榄岩			
	D6003-4	P13D023	P2D477	P3D336	P13D018	P9D555	D6059
A/MF	0.48	0.22	0.21	0.02	0.06	0.03	0.03
C/MF	0.51	0.44	0.57	0.1	0.27	0.15	0.14
A/CNK	0.707	0.429	0.321	0.152	0.216	0.213	0.18
La	12.7	2.58	15.7	2.82	2.47	7	2
Ce	26.6	6.39	35.9	6.75	6.54	14.1	5.1
Pr	3.5	1.02	5.05	1.03	1.16	1.69	0.76
Nd	15.4	5.47	23.2	5.21	6.05	7	3.84
Sm	3.52	1.66	5.78	1.41	1.85	1.6	1.14
Eu	1.08	0.83	1.93	0.48	0.66	0.43	0.34
Gd	3.08	1.84	5.41	1.43	1.91	1.41	1.09
Tb	0.53	0.32	0.91	0.24	0.34	0.275	0.224
Dy	3.27	1.94	5.32	1.44	2.03	1.73	1.43
Ho	0.62	0.35	0.93	0.25	0.36	0.326	0.276
Er	1.83	0.89	2.39	0.62	0.9	0.85	0.68
Tm	0.31	0.13	0.33	0.088	0.13	0.139	0.1
Yb	1.9	0.69	2.01	0.52	0.67	0.85	0.58
Lu	0.34	0.11	0.3	0.083	0.11	0.128	0.089
Y	17.2	8.49	23	6.08	8.91	8.4	7
Nb	6.6	5.2	6.1	4.9	6.6	3.4	1.3
Ta	0.36	0.36	1.32	0.24	0.16	0.23	0.11
Th	2.55	0.49	1.44	0.45	0.37	0.7	0.6
Pb	5.5	8.5	4	5.3	4	2.4	3.2
Zr	96	72	10	69	11	34.5	22
Sr	359	2054	20	760	107	48.8	68
Ba	244	238	26	207	50	47	29
∑REE	74.68	24.22	105.16	22.371	25.18	37.53	17.65
LREE	62.8	17.95	87.56	17.7	18.73	31.82	13.18
HREE	11.88	6.27	17.6	4.67	6.45	5.7	4.47
LREE/HREE	5.29	2.86	4.98	3.79	2.9	5.54	2.95
(La/Sm) _N	2.2	0.95	1.66	1.22	0.81	2.67	1.07
(La/Yb) _N	4.51	2.52	5.27	3.66	2.49	5.55	2.32

注:主量元素单位(%),稀土微量元素单位(10^{-6})。

3.2 稀土微量元素

大顶子山蛇绿岩 $\sum \text{REE} = 17.65 \sim 105.16 \times 10^{-6}$, $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.90 \sim 5.54$, 均大于 1, 稀土元素分配特征曲线均略具右倾式分布(图 5a), 主体与洋岛玄武岩稀土配分模式相似, 属 LREE 富集型, 同时曲线在 Gd 处呈低谷状, 说明 Gd 相对亏损, 为 Gd 负异常, 曲线在 Eu 处呈现不明显的峰状, 说明 Eu 相对富集, 为 Eu 正异常。除 Y3 和 Y6 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} < 1$, 其他样本 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 1.07 \sim 2.67$ 均大于 1, 为 P 型, 即富集型, 说明 LREE 分

馏程度较大, 属地幔热柱型。这种稀土分布模式整体与典型洋岛玄武岩(OIB)REE 球粒陨石标准化图解相似(Sun and McDonogh, 1989)。

从表 1 及图 5b 中可看出, 高场强元素 Th、Nb、Ta 和大离子亲石元素 Pb、Ba 明显富集, Sr 较亏损。其中各岩石曲线有较高的相似性, 表明其岩浆有同源性, 差异性则可能与其成岩的条件有关。随着元素不相容性从左至右逐渐降低, 配分曲线渐于平缓, 说明源区发生过一定程度的部分熔融^[4,8,11]。

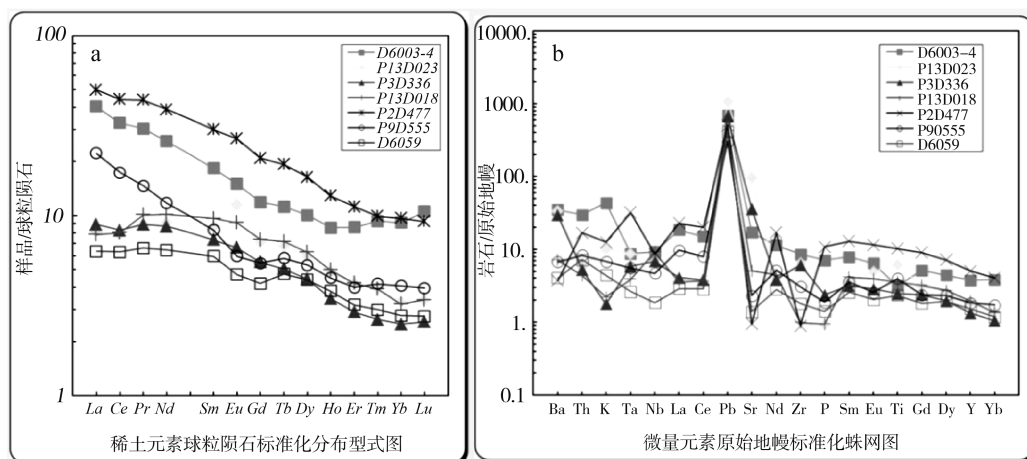


图5 大顶子山蛇绿岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

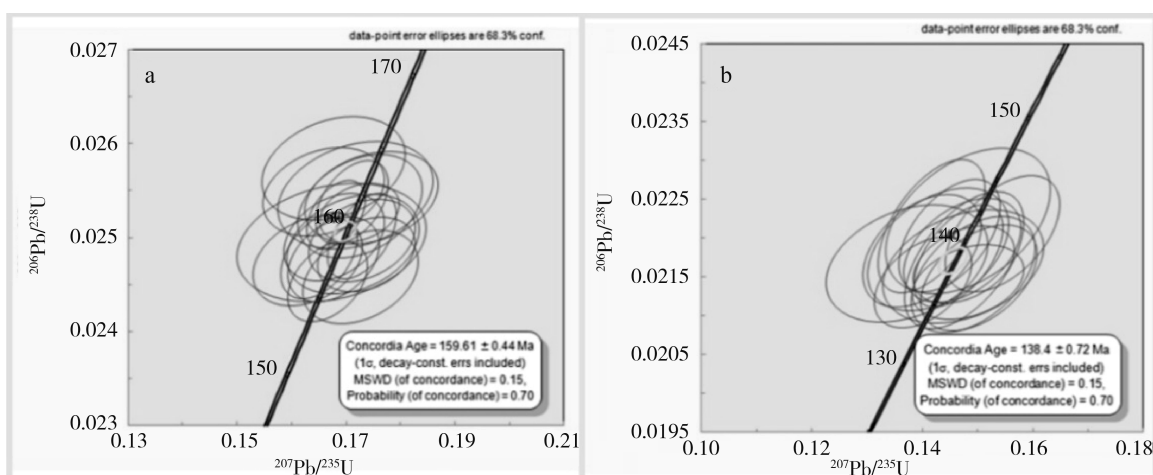


图6 Y5 辉长岩和 Y4 苏长辉长岩锆石谐和年龄图

3.3 年代学特征

本次工作针对蛇绿岩采取 2 件样品,岩性分别为辉长岩、辉石橄榄岩,分别为 P3D336 辉石橄榄岩,年龄值为 159.61 ± 0.44 Ma (图 6a), D6003-4 辉长岩,年龄值为 138.4 ± 0.72 Ma (图 6b)。该年龄代表岩浆的结晶年龄,属中侏罗世晚期-早白垩世早期。

大顶子山二长花岗岩年龄值为 129.36Ma, 花岗闪长岩年龄值为 118.03Ma-128.48Ma 之间,属早白垩世晚期。而在石场林场附近复理石砂岩中碎屑锆石最年轻的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 加权平均年龄为 165 ± 4.6 Ma,最老的为 297.5 ± 1.4 Ma,属上三叠统-下侏罗统^[4,12-15]。这于前文提到的蛇绿岩岩块覆盖于砂岩基质之上,被后期早白垩世花岗岩所侵入的接触关系一致。

4 形成探讨

4.1 源区性质探讨

大顶子山蛇绿岩具明显堆晶结构,该岩石样品富 Mg、富 Ti, LREE 轻微富集,指示来自富 Fe、Ti 和 LREE 的岩浆。高场强元素 Th、Nb、Ta 和大离子亲石元素 Pb、Ba 明显富集,岩石样品中 Ba、Pb、Th 等较活泼元素基本未遭受蚀变的影响,这些特征在很大程度上类似于未经地壳混染的洋岛玄武岩。岩石地化数据显示,大顶子山蛇绿岩中 Na_2O 含量较高, P、Ti 含量也相对较高, $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值低(平均值约为 0.014),表明辉长岩产于较低程度的熔融, REE 的强烈分馏也表明源区为含石榴子石相的橄榄岩。同时该类岩石稀土分布模式与典型洋岛玄武岩(OIB)

REE 球粒陨石标准化图解相似,形成于洋岛环境,属地幔柱型蛇绿岩^[4,7,15]。

综上,大顶子山蛇绿岩岩石样品基本未受地壳混染作用影响,因此可以排除该岩浆起源于岩石圈地幔的可能性,结合岩石的微量、主量分析,本文认为该岩石样品为地幔柱尾部较低程度熔融的产物。

4.2 构造环境

研究区位于完达山中生代造山带(VI-2),饶河造山带(VI-2-1),饶河复背斜^[5]。饶河造山带总体上呈近南北,略向西突出的弧形,显示向西邻宝清过渡带逆掩推覆^[15-16]。饶河造山带是由三叠系中、上统硅质岩建造地层组成核部和上三叠世-下侏罗世具典型浊流沉积特征的大岭桥组地层组成翼部的复式背斜,即饶河复背斜,造山同期,在背斜边缘发育花岗岩,背斜两翼逆冲断层发育,具明显的对冲形式,并发育北北东和北西向斜交断裂^[4,17,18]。

饶河地区整体表现为侏罗-三叠纪深海相硅质岩、镁铁质-超镁铁质杂岩以及晚古生代浅海相碳酸盐岩呈构造透镜体分布于白垩系泥质碎屑岩中。大顶子山蛇绿岩为饶河造山带的最重要组成部分,是黑龙江省最大的超基性岩带,分布于完达山东侧,即饶河复背斜东翼。蛇绿岩主要出露于研究区内东南部及区外南部(大顶子山及其周边),岩体多呈似层状、层状、扁豆状产出,呈近南北向略向西突出的弧形带状分布,其展布方向与区域构造线方向基本一致。1:20 万区调对其进行了较详细的研究,认为这些岩石组合可以与现代大洋进行对比,应为古洋壳的残片,即蛇绿岩,可作为古板块俯冲带的重要标志之一。由于洋壳的俯冲作用,导致完达山-锡霍特-阿林超地体与佳木斯地体发生碰撞,并拼贴于佳木斯地体东缘;晚中生代早期,由于洋壳的俯冲作用,地幔岩浆底辟上涌到完达山地块东部,形成大顶子山-房托山镁铁-超镁铁岩体(蛇绿岩体),该期岩浆活动成矿作用较弱,基本不成矿。蛇绿岩侵位于晚三叠-早侏罗世大岭桥组中,并被早侏罗世花岗闪长岩所侵入。本区蛇

绿岩由于受到多期构造的影响,形成了复杂的构造形态。

综合前人研究成果认为晚石炭世-晚侏罗世完达山俯冲增生杂岩带归属于古太平洋构造域。完达山俯冲增生杂岩-砂岩碎屑锆石存在新太古代-元古代-古生代-中生代测年数据,暗示其物源主体来源于佳木斯-兴凯地块,以此推测佳木斯-兴凯地块东侧晚古生代-中生代弧盆系的基底为陆壳。

4.3 就位机制探讨

饶河地区整体表现为侏罗-三叠纪深海相硅质岩、镁铁质-超镁铁质杂岩以及晚古生代浅海相碳酸盐岩呈构造透镜体分布于白垩系泥质碎屑岩中。饶河地区大顶子辉长岩、橄榄岩地球化学特征显示,岩石地化具有典型的 OIB 性质,说明饶河蛇绿岩产于大洋洋岛环境,整体特征类似于 Dilek (2011) 划分方案中的地幔柱型蛇绿岩,随着太平洋板块向大陆的俯冲,由于这部分岩石密度小、地形突出,容易在俯冲过程中被刮削下来,并构成板块俯冲增生楔的主体,形成现今的饶河蛇绿岩。该岩块整体呈近北北东向的条带状分布,与围岩均呈断层接触,显示构造侵位的特征,围岩为一套上三叠-下侏罗统硅质岩,形成阶段为中侏罗世晚期-早白垩世期间。该期间,洋壳的俯冲消减,在靠近海沟处,形成厚的砂岩和复理石沉积。洋壳上部沉积物及驮载的海山等增生于佳木斯陆块东缘,形成规模较大的增生楔。130Ma 以后,中酸性岩的侵入,代表着增生作用结束,进入活动大陆边缘演化阶段。

5 结论

(1) 大顶子山蛇绿混杂岩岩块主要由东侧超镁铁质堆积杂岩(以橄榄岩为主)和西侧为镁铁质堆积杂岩(以辉长岩为主)组成。锆石 U-Pb 年龄显示为 $159.61 \pm 0.44\text{Ma}$ 和 $138.4 \pm 0.72\text{Ma}$,形成时代属中侏罗世晚期-早白垩世早期。

(2) 蛇绿岩主要以低铝、低钙、富碱为特征。大顶子山蛇绿岩 LREE/HREE 均大于 1, (La/

Sm)_N 多大于 1, 属 LREE 富集型, 分馏程度较大; 高场强元素 Th、Nb、Ta 和大离子亲石元素 Pb、Ba 明显富集, Sr 较亏损。

(3) 蛇绿岩岩块产于大洋洋岛环境, 属地幔热柱型; 随着太平洋板块向大陆的俯冲, 由于这部分岩石密度小、地形突出, 在佳木斯陆块东缘形成规模较大的增生楔。

参考文献 (References):

- [1] Barbarin B A. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. *Lithos*, 1999, 46(03): 605-626.
- [2] 田东江, 周建波, 郑常青, 等. 完达山造山带蛇绿混杂岩中变质基性岩的地球化学特征及其地质意义[J]. *矿物岩石*, 2006, 26(03): 64-70.
- [3] 康宝祥, 张海驹, 刘春山, 等. 那丹哈达岭饶河蛇绿岩及其地质意义[J]. *黑龙江地质*: 1990, 1(01): 3-18.
- [4] 杨云宝, 刘兆龙, 等. 黑龙江省 1: 5 万石厂幅 (L53E007007)、关门咀子幅 (L53E007008) 区域地质调查报告[R]. 牡丹江: 黑龙江省第一地质勘查院, 2018.
- [5] 张铁安, 韩松山, 张昱. 中国区域地质志·黑龙江志[M]. 北京: 地质出版社, 2022: 1-1700.
- [6] 张国宾. 黑龙江省东部完达山地块区域成矿系统研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [7] 杨言辰, 黄永卫, 等. 完达山成矿区金多金属矿成矿规律研究与成矿预测报告[R]. 牡丹江: 黑龙江省第一地质勘查院, 2018.
- [8] 田东江. 完达山造山带的地质-地球化学组成及其演化[D]. 长春: 吉林大学地球科学学院, 2007.
- [9] 李继亮. 增生型造山带的基本特征[J]. *地质通报*, 2004, 23(09): 947-951.
- [10] 程瑞玉. 黑龙江省东部饶河地区花岗岩时代及其

成因[D]. 长春: 吉林大学, 2006.

- [11] 李光辉. 黑龙江完达山-太平岭成矿带成矿系列与找矿预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
- [12] 程瑞玉, 吴福元, 葛文春, 等. 黑龙江省东部饶河杂岩的就位时代与东北东部中生代构造演化[J]. *岩石学报*, 2006, 22(02): 353-376.
- [13] 范蔚茗, 郭锋, 高晓峰, 等. 东北地区中生代火成岩 Sr-Nd 同位素区划及其大地构造意义[J]. *地球化学*, 2008, 37(04): 361-372.
- [14] 许文良, 王枫, 孟恩, 等. 黑龙江省东部古生代-早中生代的构造演化: 火成岩组合与碎屑锆石 U-Pb 年代学证据[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(05): 1378-1389.
- [15] 王继尧, 杨言辰, 黄永伟, 等. 黑龙江东部完达山地体蛇绿岩形成时代及其构造意义[J]. *地球科学与环境学报*, 2016, 26(02): 182-195.
- [16] 邵济安, 唐克东. 中国东北地体与东北亚大陆边缘演化[M]. 北京: 地震出版社, 1995: 185.
- [17] 邱殿明. 黑龙江省东部岩石圈演化特征[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- [18] 杨继权, 王秀琴, 刘殿生, 等. 黑龙江省大地构造单元划分及特征[J]. *世界地质*, 2007, 26(04): 426-434.

作者简介:

第一作者: 孙刚, 1984 年生, 男, 湖北潜江人, 硕士, 黑龙江省第一地质勘查院, 高级工程师, 主要研究方向为矿产勘查与矿床成因方向。Email: sg9102123@126.com;

通讯作者: 孙健, 1983 年生, 男, 吉林蛟河人, 硕士, 黑龙江省第一地质勘查院, 高级工程师, 主要研究方向为矿产勘查与地球物理方向。Email: 13694635895@163.com。

Geochemistry and Tectonic Significance of the Dadingzishan Ophiolite in the Wanda Mountains

SUN Gang, YANG Yunbao, SUN Jian^{*}, LIN Dazhi, ZHAO Shimeng, GUO Fenglei
(Heilongjiang First Geological Exploration Institute, Mudanjiang 157011, China)

Abstract: This study presents a comprehensive investigation of the Dadingzishan ophiolitic *mélange* in the Wanda Mountains, focusing on its petrology, zircon U–Pb geochronology, and whole–rock geochemistry. The aim is to constrain its lithological assemblage, formation age, tectonic setting, and emplacement mechanism. The Dadingzishan ophiolitic *mélange* is situated within a north–south–trending belt extending from Dadingzishan to Tuoyaoshan in the eastern Wanda terrane. It occurs as tectonic lenses hosted within the Late Triassic–Early Jurassic Dalingqiao Formation (mudstone–dominated clastic rocks) and is distributed in a NNE–trending zone. The ophiolite consists of ultramafic accumulates dominated by peridotite in the east and mafic accumulates dominated by gabbro in the west. Zircon U–Pb dating yields crystallization ages of 159.61 ± 0.44 Ma and 138.40 ± 0.72 Ma, corresponding to the Late Middle Jurassic to Early Cretaceous. Geochemical data show low Al and Ca contents and high alkali concentrations in major elements. The rocks exhibit moderately high total rare earth element (REE) contents ($\sum \text{REE} = 17.65 - 105.16$ ppm), with relatively consistent concentrations of both LREEs and HREEs. Chondrite–normalized REE patterns exhibit LREE enrichment and HREE depletion, with $(\text{La}/\text{Yb})_n$ ratios ranging from 2.32 to 5.55, indicating significant LREE–HREE fractionation. Trace elements show enrichment in high field strength elements (Th, Nb, Ta) and large ion lithophile elements (Pb, Ba), along with relative depletion in Sr. These geochemical signatures suggest formation in an ocean island setting, characteristic of plume–type ophiolites. It is proposed that with the subduction of the Pacific Plate beneath the continent, a large–scale accretionary wedge developed along the eastern margin of the Jiamusi Block.

Key words: Ophiolite; rock geochemistry; Zircon U–Pb geochronology; Plume–Type Ophiolite; tectonic Setting; Wandashan Terrane