

文章编号:1004-4116(2021)04-0030-08

西藏乃东地区雅鲁藏布江缝合带中蛇绿混杂岩的变质作用及岩石学特征

包国志^{1,2},王玉玺¹,张志平¹,汪宏涛^{1,2},晏齐胜^{1,2},鲁有朋^{1,2}

(1. 甘肃省地矿局第三地勘院,甘肃 兰州 730050;2. 甘肃鑫源地拓矿业有限责任公司,甘肃 兰州 730050)

摘 要:雅鲁藏布江缝合带位于青藏高原南部,是印度板块向欧亚板块俯冲的产物,代表着新特提斯洋岩石圈的残片。文章对西藏乃东地区雅鲁藏布江缝合带中蛇绿混杂岩的变质作用及岩石学特征进行了研究。该带总体呈近东西向延伸,受变质地体主要为晚侏罗—早白垩世泽当蛇绿岩。通过野外地质调查、岩相学及岩石地球化学分析,结合岩石成因研究及构造环境判别,认为泽当蛇绿岩由地幔橄榄岩、辉长质杂岩、镁铁质杂岩、海相沉积物及伴生铬铁矿和斜长花岗岩等组成,属低绿片岩相—高绿片岩相区域变质岩。

关键词:蛇绿混杂岩;变质作用;岩相学;地球化学;西藏乃东地区;雅鲁藏布江缝合带

中图分类号:P 511. 5;P 548

文献标志码:A

雅鲁藏布江缝合带为新特提斯洋俯冲消减的产物,记录了从新特提斯洋俯冲到印度—亚洲大陆碰撞,进而到高原形成的汇聚板块边缘构造演化过程,因此研究该缝合带形成过程为认识和理解印度—亚洲大陆碰撞过程、喜马拉雅造山带构造演化、青藏高原隆升的动力学机制等提供了重要线索^[1]。沿雅鲁藏布江缝合带出露两条变质混杂岩带,分别是位于北侧的蛇绿混杂岩带和南侧的沉积混杂岩带^[3]。国内外学者^[2-4]对沉积混杂岩带的物质组成、形成时代、变形特征等方面做过大量研究,但对蛇绿混杂岩带变质作用的研究还很薄弱。本文以西藏乃东地区雅鲁藏布江缝合带中蛇绿混杂岩内出露的斜长变粒岩、变质中—基性岩及变质超基性岩为研究对象,对其进行系统的岩相学及地球化学研究,并结合前人年代学数据和区域地质资料探讨变质蛇绿混杂岩的成因机制,为印度—亚洲大陆碰撞背景下的构造演化模式研究提供新依据。

1 地质背景

雅鲁藏布江缝合带地处青藏高原南部,其东西延伸长达2 000 km以上,长期以来被认为是欧亚板

块与印度板块之间的碰撞缝合带^[5]。泽当蛇绿岩分布于研究区中部偏南,雅鲁藏布江南岸,桑耶县扎其乡朗赛林—乃东县金鲁—泽当镇—桑日县麻木下一带,呈带状断续分布,东西长约40 km,展布西宽东窄,呈不规则楔状体^[6],朗赛林—泽当镇段出露宽度较大,宽度在1~8.5 km,泽当镇—绒乡出露宽度较小,宽度在0~0.8 km,北部被第四系覆盖,南部与晚三叠世姐德秀岩组^[7]复理石沉积地层^[8]呈断层接触(图1)。

研究区内出露一套强烈构造置换、剪切变形、浅变质及构造叠置的蛇绿混杂岩^[9],其岩石组合为地幔橄榄岩、辉长质杂岩、镁铁质杂岩、海相沉积物及伴生铬铁矿和斜长花岗岩等。

2 岩石学特征

研究区内主要岩性为变粒岩、变质中—基性岩和变质超基性岩,分述如下:

斜长变粒岩,鳞片粒状变晶结构,碎裂结构,块状构造(图2a)。该岩石的组成矿物为斜长石(60%)、钾长石(5%)、石英(20%)、绿泥石(15%)等(图2b)。岩石受到较弱的次生蚀变。斜长石为近等

收稿日期:2021-04-26

基金项目:西藏乃东县地区1:5万区域地质调查(H46E016007,H46E016008,H46E017007,H46E017008)项目

作者简介:包国志(1988~),男,甘肃永登人,地矿助理工程师,从事区域地质矿产调查工作。E-mail:408404274@qq.com

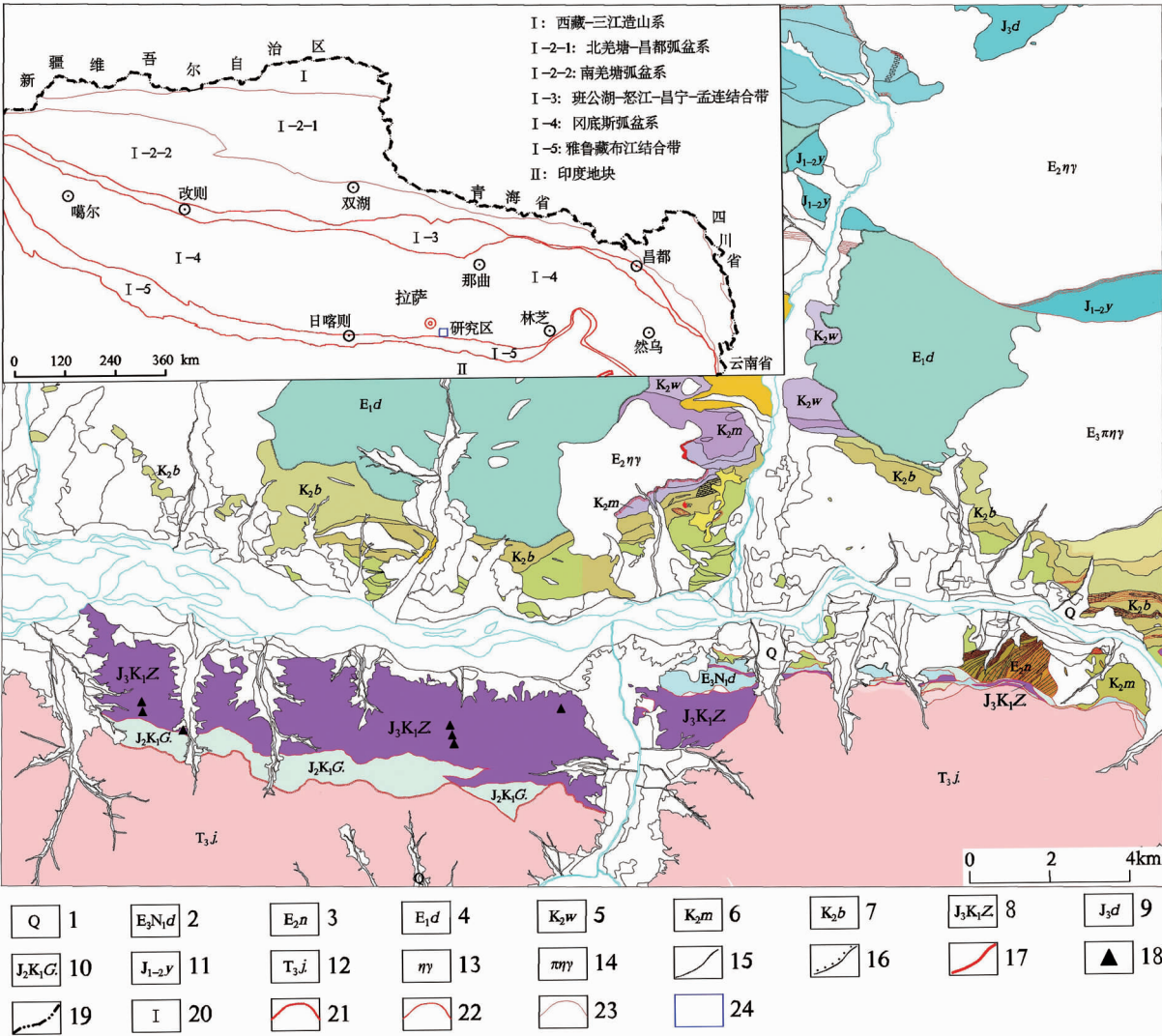


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of the study area

1—第四系;2—渐新—中新世大竹卡组;3—始新世年波组;4—古近世典中组;5—晚白垩世温区组;6—晚白垩世门中组;7—晚白垩世比马组;
8—晚侏罗—早白垩世泽当蛇绿混杂岩;9—晚侏罗世多底沟组;10—中侏罗—早白垩世嘎学岩群;11—早—中侏罗世叶巴组;
12—晚三叠世姐德秀岩组;13—二长花岗岩;14—斑状二长花岗岩;15—地质界线;16—角度不整合界线;17—断层;
18—采样点位;19—省界线;20—构造分区代号;21—I 级构造分区;22—II 级构造分区;23—III 级构造分区;24—研究区

轴粒状、等轴粒状形态,晶体的棱边多模糊,斜长石晶体的大小主要在 0.2 mm 以下,斜长石见较弱程度的绢云母化、粘土化、帘石化,晶面微浑浊,蚀变较弱,双晶模糊,应为钠—更长石。钾长石为糖粒状,为正长石和条纹长石,少量,微高岭土化,粒径多在 0.1 mm 以下,充填空隙分布。石英多为近等轴粒状、等轴粒状,彼此呈近平直镶嵌分布,一般与其他矿物镶嵌分布,粒径相对长石较小,消光不均匀,单体粒径在 0.1 mm 以下。见鳞片状的绿泥石不均匀出现,定向分布,粒径在 0.07 mm × 0.2 mm 以下,部分聚集态分布,绿泥石可能为原角闪石的退变质

产物。岩石碎裂化明显,具碎裂结构,见显微粒状—它形晶粒状的方解石、石英集合体广泛充填岩石裂隙分布。

变质中—基性岩,该类岩石分布于晚侏罗—早白垩世泽当蛇绿岩中,主要岩石类型有蚀变玄武岩、蚀变细粒辉石角闪辉长岩(图 2 c、2 d)、中细粒角闪闪长岩、绿泥斜长绿帘石岩、绿帘透闪石岩、绿泥石岩、透闪绿帘石岩等,呈深灰色、灰绿色、灰白色,斑状结构、鳞片纤维变晶结构、纤维柱状变晶结构等,气孔—杏仁构造、块状构造等,主要矿物有石英、绿泥石、斜长石、透闪石、蛇纹石等,常见副矿物有榍石

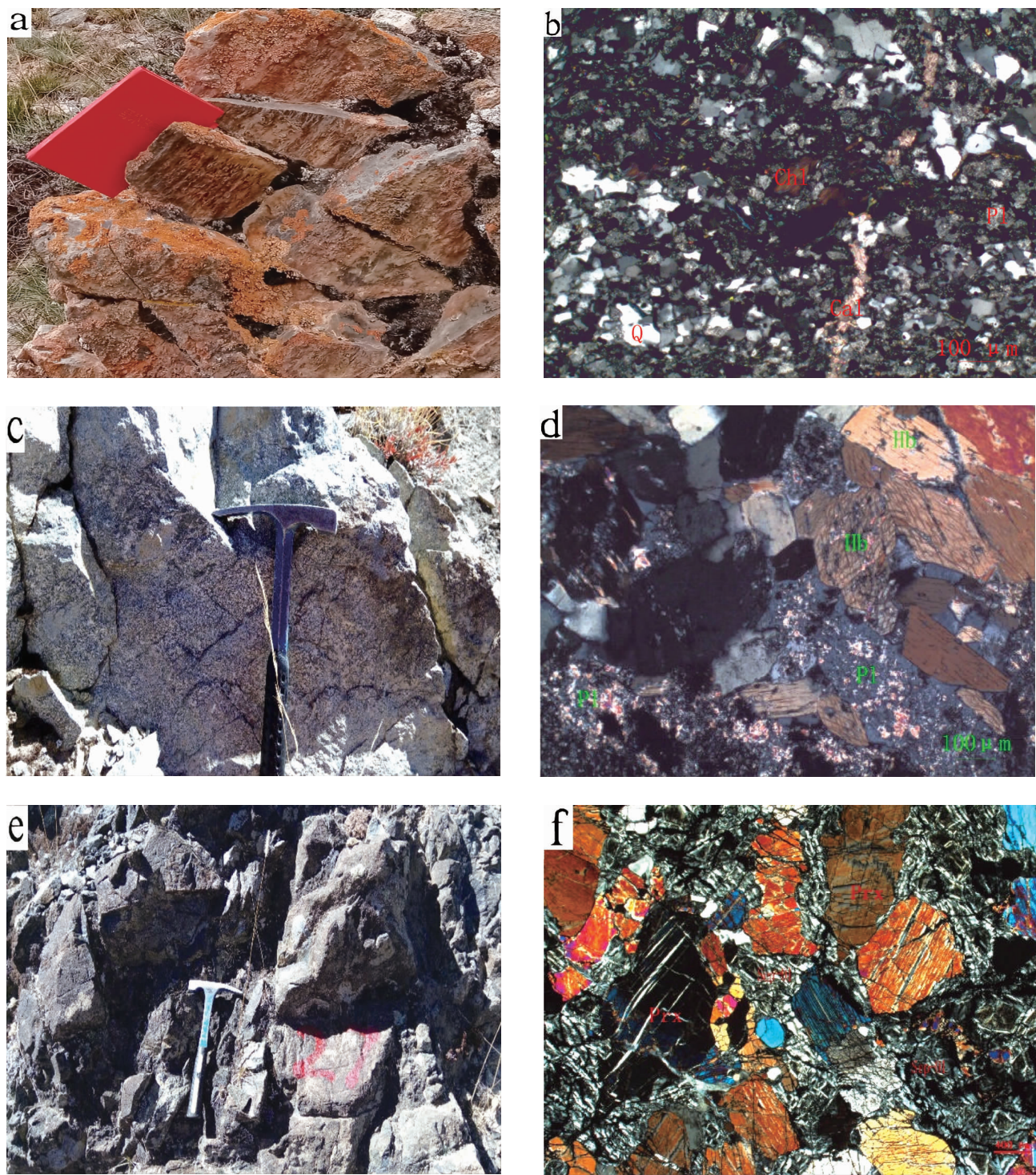


图 2 西藏乃东地区雅鲁藏布江缝合带中蛇绿混杂岩宏观及微观特征(正交偏光,10 × 2.5)
Fig. 2 Macroscopic and microscopic characteristics of ophiolitic melange in Yarlung Zangbo Suture Zone, Nedong Region, Tibet (orthogonal polarization, 10 × 2.5)
Pl—斜长石;Q—石英;Chl—绿泥石;Cal—方解石;Hb—角闪石;Prx—辉石

等。
变质超基性岩主要分布在晚侏罗—早白垩世泽当蛇绿岩,多遭受气—液变质作用蛇纹石化,岩石类型有中细粒橄榄单斜辉石岩(图 2 e、2 f)、蛇纹石化

辉石橄榄岩、灰白色蚀变中细粒蛇纹石岩和绿帘蛇纹石岩等,矿物有辉石、橄榄石,及次生矿物蛇纹石、滑石等,原岩类型为超基性岩。

3 样品采集与测试

本次工作在西藏乃东地区雅鲁藏布江缝合带蛇绿混杂岩中采集了具有代表性的 7 件主微量样品进行分析。样品测试由中国科学院贵阳地球化学研究所完成,主量元素和微量元素使用 X 射线荧光光谱法、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定,分析误差优于 5%,稀土元素采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS),分析精度优于 5%。

4 岩石地球化学特征

对采集的 7 件不同类型的样品进行了主量元素、微量元素、稀土元素的分析测试,结果及相关参数见表 1、2、3 和 4。特征如下:

由表 1 可知,蛇纹石化辉石橄榄岩 SiO₂ 含量为 35.36%,为硅酸盐不饱和类型,K₂O、Na₂O 含量极少,分别为 0.02%、0.09%,里特曼指数 < 3.3,属钙碱性岩石。Fe₂O₃ 的含量较少,为 1.06%,MgO、CaO、Al₂O₃、FeO 的含量较高,为 26.72%、8.67%、9.49%、9.59%,说明岩石镁铁质矿物较占优势。

中细粒橄榄单斜辉石岩 SiO₂ 含量为 44.56%,

为硅酸盐不饱和类型,K₂O、Na₂O 含量极少,分别为 0.005%、0.15%,里特曼指数 < 3.3,属钙碱性岩石。CaO、MgO 含量较高,为 17.30%、25.33%,MgO > CaO,Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 含量较少,分别为 1.33%、0.64%,FeO 含量 5.83%,说明岩石镁铁质矿物较占优势。

蛇纹石岩 SiO₂ 含量 33.74%~37.36%,硅酸盐不饱和类型,K₂O 含量 0.005%~0.01%,Na₂O 含量 0.02%~0.30%,里特曼指数 < 3.3,属钙碱性岩石。CaO 含量 6.21%~21.00%,Al₂O₃ 含量 0.89%~20.28%,Fe₂O₃ 含量 0.38%~0.89%,FeO 含量 3.49%~8.07%,MgO 含量 11.20%~38.14%,MgO > CaO,总体特征是富镁铁、贫硅和贫碱。

蚀变细粒辉石角闪辉长岩 SiO₂ 含量 46.95%,硅酸盐不饱和类型,K₂O 含量 0.66%,Na₂O 含量 4.92%,Na₂O > K₂O,3.3 < 里特曼指数 < 9,属碱性岩石。CaO 含量 9.26%,Al₂O₃ 含量 20.28%,Fe₂O₃ 含量 0.66%,FeO 含量 5.98%,MgO 含量 8.01%,CaO > MgO。总体特征是富铝、镁铁质较低。

中细粒角闪闪长岩 SiO₂ 含量 58.13%,K₂O 含量 0.34%,Na₂O 含量 9.10%,Na₂O > K₂O,3.3 < 里特曼指数 < 9,属碱性岩石。CaO 含量 4.54%,Al₂O₃ 含量 17.19%,Fe₂O₃ 含量 0.45%,FeO 含量 4.11%,

表 1 主量元素分析结果表
Table 1 Results of principal element analysis

序号	样品编号	岩性	化学成分含量(w _B /%)											
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
1	PM17-33-1	斜长变粒岩	59.48	1.39	13.66	1.16	10.45	0.14	3.48	1.96	4.96	0.20	0.31	2.57
2	PM06-98-1	中细粒橄榄单斜辉石岩	44.56	0.09	1.33	0.64	5.83	0.13	25.33	17.30	0.15	0.005	0.001	4.15
3	PM06-129-1	中细粒角闪闪长岩	58.13	1.30	17.19	0.45	4.11	0.10	3.30	4.54	9.10	0.34	0.02	0.99
4	PM08-4-1	蚀变细粒辉石角闪辉长岩	46.95	0.20	20.28	0.66	5.98	0.13	8.01	9.26	4.92	0.66	0.003	2.69
5	PM11-14-1	蛇纹石化辉石橄榄岩	35.36	0.13	9.49	1.06	9.59	0.17	26.72	8.67	0.09	0.02	0.002	8.26
6	PM08-7-1	灰白色蚀变中细粒蛇纹石岩	37.36	0.09	20.28	0.38	3.49	0.17	11.20	21.00	0.30	0.01	0.002	5.21
7	PM06-112-1	绿帘蛇纹石岩	33.74	0.13	0.89	0.89	8.07	0.13	38.14	6.21	0.02	0.005	0.008	11.36

表 2 尼格里参数表
Table 2 Nigri parameters

序号	样品编号	岩性	al	fm	c	alk	c/fm	si	ti	h	p	k	mg	o	t	qz
1	PM17-33-1	斜长变粒岩	26.80	49.72	7.02	16.46	0.14	198.07	3.50	0	0.44	0.03	0.35	0.06	3.33	30.57
2	PM06-98-1	中细粒橄榄单斜辉石岩	1.46	68.81	29.50	0.24	0.43	70.88	0.11	0	0	0.02	0.87	0.01	-28.28	-30.07
3	PM06-129-1	中细粒角闪闪长岩	30.85	26.77	14.84	27.54	0.55	176.98	2.98	0	0.04	0.02	0.56	0.04	-11.53	-33.18
4	PM08-4-1	蚀变细粒辉石角闪辉长岩	26.78	39.31	22.28	11.63	0.57	105.11	0.35	0	0	0.08	0.68	0.03	-7.14	-41.42
5	PM11-14-1	蛇纹石化辉石橄榄岩	8.91	76.37	14.55	0.16	0.19	55.34	0.16	0	0	0.15	0.82	0.02	-5.80	-45.32
6	PM08-7-1	灰白色蚀变中细粒蛇纹石岩	21.86	36.54	41.03	0.57	1.12	68.06	0.13	0	0	0.04	0.83	0.01	-19.74	-34.22
7	PM06-112-1	绿帘蛇纹石岩	1.03	89.65	9.27	0.04	0.10	46.98	0.14	0	0	0.10	0.88	0.01	-8.29	-53.20

表 3 微量元素含量及特征参数表

Table 3 Trace element content and characteristic parameters

序号	样品编号	微量元素含量($w_{\text{B}}/10^{-6}$)													
		Rb	Sr	Ba	Th	U	Nb	Ta	Zr	Hf	Co	Ni	Cr	V	Sc
1	PM17-33-WL1	2.44	72.07	32.12	0.51	0.29	4.88	0.32	163.06	3.92	18.88	2.39	9.21	73.32	21.32
2	PM06-98-WL1	0.04	5.70	1.44	0.01	0.005	0.01	0.003	0.89	0.02	63.95	343.51	2253.82	127.26	60.65
3	PM06-129-WL1	1.66	118.85	12.41	0.29	0.15	2.90	0.21	97.14	2.46	13.85	15.90	9.59	105.91	16.54
4	PM08-4-WL1	4.61	339.90	95.11	0.08	0.01	0.04	0.01	1.66	0.06	29.27	74.02	120.51	228.91	31.28
5	PM11-14-WL1	0.27	16.77	9.61	0.02	0	0.02	0.02	2.64	0.08	87.65	584.17	1759.83	116.04	32.10
6	PM08-7-WL1	0.20	249.29	5.67	0.03	0.004	0.02	0.01	1.19	0.02	21.19	120.16	886.30	83.87	25.23
7	PM06-112-WL1	0.003	0.77	0.42	0.02	0.003	0.02	0.01	1.53	0.11	105.76	1361.43	3687.06	170.42	52.01

序号	样品编号	微量元素含量($w_{\text{B}}/10^{-6}$)													
		Li	Cs	Be	Ga	Tl	Cu	Pb	Zn	Bi	Ge	W	Rb/Sr	Zr/Hf	
1	PM17-33-WL1	6.37	0.21	0.52	19.41	0.01	21.37	0.76	138.46	0.008	1.03	0.08	0.03	41.56	
2	PM06-98-WL1	0.79	0.01	0.06	1.98	0.001	14.24	0.63	22.00	0.002	1.48	0.01	0.01	31.00	
3	PM06-129-WL1	2.62	0.35	0.57	12.21	0.002	4.40	0.52	21.72	0.003	0.62	0.24	0.01	39.39	
4	PM08-4-WL1	6.60	1.36	0.52	16.42	0.01	2.35	0.83	53.99	0.007	1.12	0.01	0.01	26.49	
5	PM11-14-WL1	6.93	4.41	0.26	5.13	0.001	0.67	0.70	45.43	0.002	0.80	0.06	0.02	30.00	
6	PM08-7-WL1	4.83	0.09	0.14	9.74	0.002	1.98	0.73	16.62	0.001	0.94	1.71	0.00	54.32	
7	PM06-112-WL1	0.12	0.01	0.18	0.64	0.004	150.72	0.49	94.81	0	1.30	0.25	0.00	12.87	

表 4 稀土元素含量及特征参数表

Table 4 Contents and characteristic parameters of rare earth elements

序号	样品编号	化学成分含量($w_{\text{B}}/10^{-6}$)											
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
1	PM17-33-1	7.26	20.56	2.92	15.50	5.37	1.65	7.00	1.27	8.28	1.99	5.39	0.83
2	PM06-98-1	0.03	0.17	0.04	0.33	0.19	0.08	0.33	0.06	0.47	0.11	0.26	0.03
3	PM06-129-1	1.94	6.71	0.95	4.77	1.70	1.51	3.03	0.59	4.40	1.08	2.99	0.45
4	PM08-4-1	1.34	1.15	0.29	1.37	0.42	0.45	0.58	0.10	0.76	0.18	0.49	0.07
5	PM11-14-1	0.11	0.49	0.09	0.70	0.35	0.16	0.58	0.11	0.79	0.18	0.47	0.07
6	PM08-7-1	0.11	0.35	0.06	0.42	0.22	0.19	0.35	0.06	0.49	0.11	0.30	0.04
7	PM06-112-1	0.05	0.16	0.03	0.32	0.26	0.10	0.48	0.10	0.76	0.18	0.42	0.06

序号	样品编号	化学成分含量($w_{\text{B}}/10^{-6}$)											
		Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	δEu	δCe	La/Yb	Ce/Yb	Sm/Eu
1	PM17-33-1	4.90	0.76	51.34	78.07	53.29	24.78	2.15	0.27	4.04	1.48	4.20	3.25
2	PM06-98-1	0.23	0.03	2.47	2.16	0.87	1.29	0.67	0.31	4.59	0.16	0.77	2.38
3	PM06-129-1	3.10	0.49	30.93	30.18	17.61	12.57	1.40	0.64	4.63	0.63	2.17	1.13
4	PM08-4-1	0.49	0.08	4.46	7.25	5.04	2.21	2.28	0.90	1.41	2.71	2.32	0.94
5	PM11-14-1	0.44	0.07	4.30	4.15	1.92	2.23	0.86	0.35	4.68	0.26	1.11	2.13
6	PM08-7-1	0.27	0.04	3.03	2.75	1.37	1.39	0.99	0.67	4.07	0.40	1.28	1.14
7	PM06-112-1	0.33	0.05	3.81	2.96	0.95	2.01	0.47	0.28	3.48	0.16	0.47	2.54

MgO 含量 3.30%,CaO > MgO,总体特征是富铝、镁铁质较低。

斜长变粒岩 SiO₂ 含量 59.48%,K₂O 含量 0.20%,Na₂O 含量 4.96%,Na₂O > K₂O,里特曼指数 < 3.3,属钙碱性岩石。CaO 含量 1.96%,Al₂O₃ 含量 13.66%,Fe₂O₃ 含量 1.16%,FeO 含量 10.45%,MgO 含量

3.48%,MgO > CaO,岩石总体特征是富铁。

相比变质超基性岩而言,其他岩石 FeO、MgO 等相对减少,Al₂O₃、K₂O、Na₂O 含量有所增加。由表 2 可知,所有岩石尼格里值 alk < al < alk + c,属正常岩石范围,斜长变粒岩 qz > 12,为 SiO₂ 过饱和类型,其它岩石 qz < -12,为 SiO₂ 不饱和类型。岩石化学特

征表明大部分原岩为中—超基性岩类,变粒岩原岩可能为杂砂岩、粉砂岩、长石砂岩及泥质砂岩等碎屑岩。

由表3可知,岩石中高场强元素Nb、Th变化较大,呈跳跃式变化,Zr、Hf、Ce、Ti、和Ta在各类岩石无明显变化,其中变质超基性岩中各元素明显偏低,Zr明显贫化。大离子亲石元素Sr变化较大,呈跳跃式变化,Rb、Cs、Ba在各类岩石无明显变化,从超基性岩到中—基性岩,Rb含量有所增加,Co、Ni和Cr含量急剧减少。微量Rb/Sr值 $0.0008 \sim 0.0340$,Zr/Hf值 $12.87 \sim 54.32$,其中变质中—超基性岩Rb/Sr值 $0.0008 \sim 0.0162$,Rb/Cs值 $0.06 \sim 11.43$,Zr/Hf值 $12.87 \sim 54.32$,Rb/Li值 $0.02 \sim 0.70$,Nb/Ta值 $1.04 \sim 15.27$ 。

从微量元素原始地幔标准化蛛网图(图3)可以看出,大部分K、P亏损,与板内玄武岩低K、P特征一致。少部分K、P较富集,说明混杂岩带中的岩石物质起源于富集型地幔并且未发生混染作用,并与消减作用有关。Zr贫化是上地幔起源的象征,负Ce异常显示受变质作用不同程度影响,是携带海洋沉积物的标志。

由表4可知,岩石稀土总量 ΣREE 2.16×10^{-6}

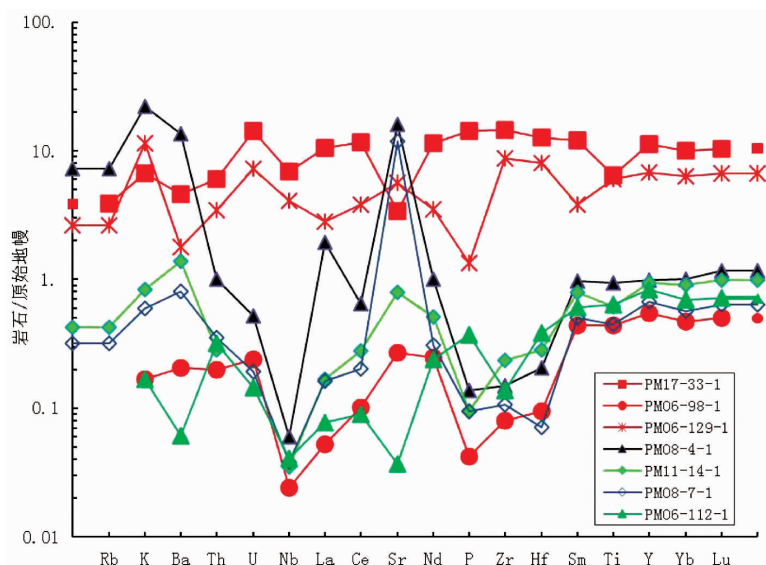


图3 微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 3 Primary mantle-normalized spider web of trace elements

$\sim 78.07 \times 10^{-6}$,平均 5.205×10^{-6} ,含量变化较大,其中变质超基性岩稀土总量明显偏低,到变质中—基性岩,稀土总量明显上升,LREE值 $0.87 \times 10^{-6} \sim 53.29 \times 10^{-6}$,HREE值 $1.29 \times 10^{-6} \sim 24.78 \times 10^{-6}$,LREE/HREE值 $0.47 \sim 2.28$,变质中基性岩HREE相对富集,其主要赋存在铝质矿物中, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值 $0.16 \sim 2.71$,小于1显示LREE亏损,大于1显示LREE富集,可见斜长变粒岩和蚀变细粒辉石角闪辉长岩中LREE较富集,其余岩石较亏损。 $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值 $0.47 \sim 4.20$, $(\text{Sm}/\text{Eu})_{\text{N}}$ 值 $0.94 \sim 3.25$, δEu 为 $0.27 \sim 0.90$, δCe 为 $1.41 \sim 4.68$ 。

从稀土配分曲线(图4)可以看出,大部分曲线呈平坦、略左倾,轻重稀土比值不大,分馏不明显,部分轻稀土相对富集,分馏相对明显,重稀土相对平坦,分馏不明显。大部分配分曲线未见明显的负Eu异常,且曲线较为平坦,表明没有斜长石的分离结晶作用,与世界典型的蛇绿混杂岩稀土曲线(平缓右倾)比较相似,部分具正Eu异常,同时负Ce异常,显示海洋沉积特征,分配曲线总体与N-MORB和岛弧火山岩(IAT)相似,少部分具负Eu异常,配分曲线总体左倾,说明有斜长石的分离结晶作用或存在斜长石残留,与活动大陆边缘稀土配分曲线较为相似。

5 变质作用与构造环境

5.1 高绿片岩相变质作用

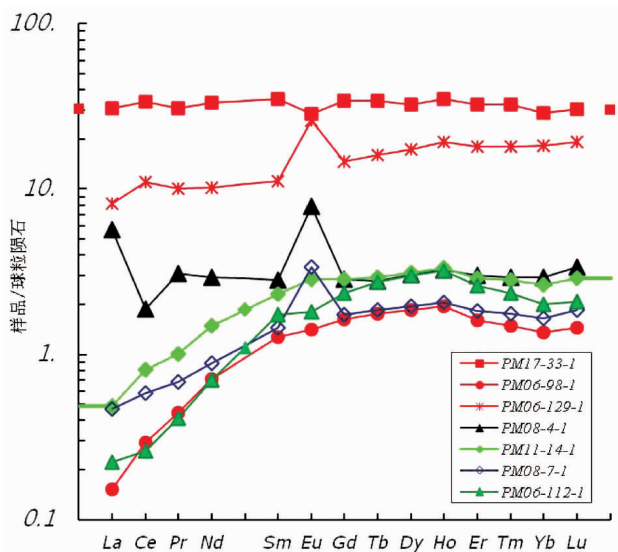


图4 稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig. 4 Chondrite standardized distribution pattern of rare earth elements

高绿片岩相变质特征的岩石主要分布于西藏乃东地区雅鲁藏布江缝合带蛇绿混杂岩中,主要由变质镁铁质岩和超镁铁质岩组成。辉长岩已经变质成角闪岩类,与变质超镁铁岩块共生。蚀变强烈的超镁铁岩已变质形成蛇纹石岩、绿帘蛇纹石岩、蛇纹石化辉石橄榄岩等。变质矿物主要为普通角闪石、石英、斜长石、绿帘石、绿泥石等。

依据上述变质岩石类型及矿物共生组合,对研究区普通角闪石、石榴子石分析研究,认为该区为高绿片岩相变质程度,初步计算的温压条件为 $T = 550^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$, $P = 0.73 \text{ GPa}$,属于高压相系。

5.2 低绿片岩相变质作用

该区低绿片岩相变质岩石广泛分布于蛇绿混杂岩中,主要岩石类型为变质中基性火山岩,原岩建造相当于含火山岩的碎屑复理石岩系。其新生矿物主要有绿泥石、绿帘石、透闪石、斜长石、石英等,主要矿物组合有斜长石 + 绿泥石 + 绿帘石 + 石英、绿帘石 + 透闪石等,属于低绿片岩相。

5.3 构造环境

韦栋梁等研究显示^[10]泽当蛇绿岩地幔橄榄岩以方辉橄榄岩为主,表现为低 Ti、Al,高 Mg 的特征,在 AFM 和 ACM 图中都落入变质橄榄岩范围内。REE 表现为“U”型的分布型式,微量元素含量绝大部分都低于原始地幔,属典型的残余地幔橄榄岩。来盛民等研究显示^[11]泽当地幔橄榄岩 Mg# 与 Cr# 的不同表明泽当地幔橄榄岩经历了部分熔融过程。泽当地幔橄榄岩岩相学特征显示岩体经历了部分熔融作用以及岩体和熔体之间的反应,矿物组合、矿物化学成分、地幔橄榄岩的地球化学及地幔橄榄岩的铂族元素地球化学结果表明,泽当地幔橄榄岩岩体经历了俯冲环境下交代作用的改造。

研究区内,泽当地幔橄榄岩以方辉橄榄岩为主,其次为纯橄岩、单斜辉石橄榄岩、二辉橄榄岩,夹有铬铁矿,辉长质杂岩以橄榄单斜辉石岩为主。 SiO_2 含量 $35.36\% \sim 44.56\%$,平均值 39.96 , $\text{TiO}_2 < 0.24$, Al_2O_3 含量范围变化较大, $1.33\% \sim 9.49\%$,平均值 5.41 , MgO 含量范围变化较大, $25.33\% \sim 26.72\%$,平均值 26.03% , $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 在 $4.50 \sim 30.00$,平均值 17.25 ,稀土含量低, $\Sigma\text{REE} = 2.16 \sim 4.15$, LREE 亏损,大离子亲石元素 Rb、Ba、LREE 亏损,高场强元素 Th、U、P、HREE 富集。泽当蛇绿岩中的斜方辉

石岩,出现斜方辉石(opx)替代原来的橄榄石以及含水矿物(即角闪石)等现象,指示斜方辉石岩的形成是先前橄榄石与这些俯冲玻安质熔体之间的反应而形成的,代表了从深部俯冲带向上迁移的熔体和上地幔寄主橄榄岩之间反应的产物,而方辉橄榄岩则是产生了斜方辉石岩后的部分熔融后的残余的亏损橄榄岩。同时泽当蛇绿岩中具“方辉橄榄岩—纯橄榄岩—斜方辉石岩”组合。方辉橄榄岩—纯橄榄岩—斜方辉石岩组合是地幔楔中难熔地幔熔融后的残余物,反映了岛弧形成初始阶段在地幔楔中熔体的迁移路径。这两种指示俯冲流体的指纹性岩石斜方辉石岩和“方辉橄榄岩—纯橄榄岩—斜方辉石岩”组合是 SSZ 蛇绿岩的指纹性岩石。

综上所述,泽当地幔橄榄岩的形成过程经历了两个阶段,即早期的 MORB 构造背景,以及后期就位过程中 SSZ 环境的改造。

泽当蛇绿岩中的角闪辉长岩的岩石学和地球化学研究显示,该角闪辉长岩可能系蛇纹石化的洋壳或地幔橄榄岩在俯冲早期脱水使得地幔楔发生部分熔融形成。韦栋梁研究显示^[12]辉长岩类微量元素的绝对含量在原始地幔元素丰度上下浮动,表明其来源于亏损的地幔源区。

依据对该区地质资料的系统研究分析,以泽当蛇绿岩形成的时代为背景,认为泽当蛇绿岩带的形成时代主要集中在 $130 \sim 162 \text{ Ma}$,属晚侏罗—早白垩世。

6 结论

(1)西藏乃东地区雅鲁藏布江缝合带蛇绿混杂岩主要由地幔橄榄岩、辉长质杂岩、镁铁质杂岩、海相沉积物及伴生铬铁矿和斜长花岗岩等组成,蛇绿混杂岩中可能存在幔源物质,通过变质矿物可以确定有高绿片岩相、低绿片岩相。

(2)乃东地区泽当蛇绿混杂岩的特征表明其为特提斯洋多阶段演化的产物,主体形成时代应为晚侏罗—早白垩世。

(3)研究区蛇绿混杂岩构造环境应属俯冲带上型(SSZ)。

参 考 文 献

- [1] DING L, KAPP P, WAN X Q. Paleocene -Eocene record of ophiolite obduction and initial India-Asia collision, south central Tibet[J]. Tectonics, 2005, 24(3): TC3001

- [2] 高延林,汤耀庆. 西藏南部的构造混杂体[M]. 喜马拉雅地质(II). 北京:地质出版社,1984:27-44
- [3] LIU G, EINSELE G. Various types of olistostromes in a closing ocean basin, Tethyan Himalaya (Cretaceous, Tibet) [J]. *Sedimentary Geology*, 1996, 104(1/4): 203-226
- [4] WANG H Q, DING L, CAL F L, et al. Early Tertiary deformation of the Zhongba-Gyangze thrust in central southern Tibet [J]. *Gondwana Research*, 2017, 41: 235-248
- [5] 肖序常, 万子益, 李光岑, 等. 雅鲁藏布江缝合带及其邻区构造演化[J]. *地质学报*, 1983, 57(2): 101-108
- [6] 沈金瑞. 扬子地块及其南缘的楔状构造与伸展滑脱作用[J]. *莆田高等专科学校学报*, 1999, 6(2): 12-13
- [7] 张占武, 张文峰, 曾庆高, 等. 雅鲁藏布江结合带东段仁布一曲松地层分区上三叠统朗杰学(岩)群层序及构造样式再认识[J]. *沉积与特提斯地质*, 2014, 34(1): 73-75
- [8] 张志平, 雒晓刚, 罗云伟, 等. 错果错—虾姑蛇绿混杂岩复理石沉积时代: 来自改则县虾姑一带碎屑锆石的制约[J]. *矿产勘查*, 2019, 10(6): 1255-1258
- [9] 张俊海, 毛晓冬, 刘成, 等. 西藏雅鲁藏布江变质带基本地质特征研究[J]. *四川地质学报*, 2015, 35(1): 7-9
- [10] 韦栋梁, 夏斌, 周国庆, 等. 西藏泽当蛇绿岩壳层火山熔岩的岩石地球化学及成因[J]. *大地构造与成矿学*, 2004, 28(3): 270-278
- [11] 来盛民, 杨经绥, 熊发挥, 等. 西藏雅鲁藏布江缝合带泽当地幔橄榄岩的矿物化学和铂族元素特征 [J]. *中国地质*, 2015, 42(5): 1515-1520
- [12] 韦栋梁, 夏斌, 周国庆, 等. 西藏泽当英云闪长岩的地球化学和 Sr-Nd 同位素特征: 特提斯洋内俯冲的新证据[J]. *地球科学*, 2007, 37(4): 442-450

METAMORPHISM AND PETROLOGICAL CHARACTERISTICS OF OPHIOLITE MELANGE IN YARLUNG ZANGBO SUTURE ZONE, NEDONG REGION, TIBET

BAO Guo-zhi^{1,2}, WANG Yu-xi¹, ZHANG Zhi-ping¹, WANG Hong-tao^{1,2}
YAN Qi-sheng^{1,2}, LU You-peng^{1,2}

(1. *The Third Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral
Exploration and Development, Lanzhou 730050, China;*
2. *Gansu Xinyuan Ditu Mining Co., LTD., Lanzhou 730050, China*)

Abstract: The Yarlung Zangbo Suture Zone, located in the southern part of the Tibetan Plateau, is the product of the subduction of the Indian plate to the Eurasian plate, and represents the remnants of the New Tethyan ocean lithosphere. The metamorphism and petrological characteristics of ophiolite in yarlung Zangbo suture zone of Tibet and eastern China are studied in this paper. The belt extends nearly east-west in general, and the altered geological bodies are mainly late Jurassic-early Cretaceous Zedang ophiolites. Through field geological survey, lithology and rock geochemical analysis, combined with the study of the formation of rocks and tectonic environment discrimination, think jersey when ophiolite is composed of mantle peridotite, gabbro complex, mafic complex, Marine sediment and associated chromite and plagioclase granite and so on, belong to low greenschist facies-high greenschist facies regional metamorphism rock.

Key words: ophiolite melange; metamorphism; petrography; geochemistry; Nedong region of Tibet; Yarlung Zangbo Suture Zone