北祁连山东段西吉地区辉长岩的地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及其意义

吴文忠[1)],马瑞赟[1)],张晓东[2,1)],马风华[1)],潘进礼[1)],王泽晶[1)]

1) 宁夏回族自治区地质调查院,银川,750021;2) 中国地质大学(北京)信息工程学院,北京,100083

内容提要:西吉地区辉长岩属于拉斑系列,具有高 Al、低碱、低 Ti、低 P_2O_5 的特征。辉长岩富集大离子亲石元素(LILE)Rb、Sr、K,高场强元素(HFSE)Nb、Ta、Ce、Nd、Sm、Tb、Y、Yb 相对亏损,而且 Nb、Ta 为负异常,具有形成于消减带之上火山弧岩浆的特征。稀土配分曲线为向右缓倾斜的轻稀土富集型,其曲线型式与岛弧、弧后盆地相似,形成于陆缘弧环境。U-Pb 测年结果显示,辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年为 437.0±2.8 Ma,形成时代为早志留世。辉长岩与西吉地区花岗岩具有相同的形成环境和非常接近的锆石 U-Pb 年龄,二者为同期岩浆活动的产物。结合区域地质资料,认为西吉地区辉长岩体为板块俯冲的产物,晚奥陶世—早志留世时,北祁连山海盆趋于闭合时,洋壳板块俯冲脱水,提供给地幔楔,橄榄岩发生熔融,形成的基性(辉长岩)、酸性(花岗岩)岩体。通过区域对比,认为西吉地区辉长岩与甘肃东部葫芦河群、甘肃景泰老虎山地区的蛇绿岩带中的辉长岩很可能是相同构造环境下构造—岩浆作用的产物。西吉地区可能存在由于构造作用破坏的蛇绿岩套层序的部分组成或杂乱堆积的混杂岩块。

关键词:北祁连山东段;西吉地区;辉长岩;地球化学特征;U-Pb 年龄

西吉地区位于北祁连造山带东段,阿拉善地块南缘,鄂尔多斯地块西缘,其南部为中祁连地块,地处"秦—祁—贺"三岔裂谷系交汇部位(图 1),这一特殊的构造位置对北祁连造山带的构造演化、物质组成等地质特征的研究具有重要意义。然而,由于北祁连东段的西吉地区被新生界覆盖,无基岩出露,新生界覆盖厚度达 200~500 m,对西吉地区的构造演化、新生界覆盖层之下的地质体特征研究比较薄弱。近年来,随着矿产勘查项目钻孔的揭露,显示西吉地区的地质体组成较为复杂,在西吉地区所实施的 4 个钻孔中,2 个钻孔所见岩性为岩体,1 孔为基性岩体(辉长岩),1 孔为酸性岩体(花岗岩),其他 2 个钻孔钻遇变质岩,其中 1 孔岩性主要为斜长角闪岩、斜长角闪变粒岩、斜长浅粒岩和石英岩,1 孔岩性为绿片岩、石英片岩。

区域上,宋志高等(1991)对西吉地区南侧、甘肃东部葫芦河群的火山岩系进行了系统的研究,认为该套火山岩系属高铝玄武岩,具有岛弧火山岩的特征,U-Pb 年龄为 470~498 Ma,为奥陶纪,并将该套火山岩系划分为蛇绿岩带和钙碱性火山岩系。夏林圻等(1995,1991)、冯益民等(1996)、张旗等(1997)对北祁连东段甘肃景泰老虎山一带基性—超基性岩进行了系统研究,认为该地区蛇纹岩、橄辉岩、辉石岩、辉长岩等与上覆阴沟群枕状熔岩夹沉积岩组成较完整的蛇绿岩套,并将该蛇绿岩形成环境定义为弧后盆地。根据北祁连山弧后盆地火山熔岩的 Sm-Nd 等时线测年数据(夏林圻等,1996),老虎山地区(辉石细碧玢岩)453.6±4.4 Ma、扁都口地区(角斑岩)464.6±21.9 Ma、白泉门地区(辉石玄武岩)468.8±4.6 Ma,相当于中—晚奥陶世。区域上,甘肃东部葫芦河群以及甘肃景泰老虎山地区的蛇绿岩带与西吉地区辉长岩具有相似的形成环境,而且同处于北祁连岩浆弧带。因此,本文对西吉地区辉长岩的地球化学特征、U-Pb 年代学进行探讨,为西吉地区以及北祁连山东段构造演化的进一步研究提供有意义的基础资料。

1 地质概况及样品位置

研究区全部被新生界覆盖,未见基岩出露,钻孔揭露孔深 530~1100 m 为辉长岩,直至 1100 m 终孔

注:本文为宁夏回族自治区地质局科技计划项目(编号:宁地科发[2016]1号)的成果。

收稿日期:2018-01-21;改回日期:2018-12-06;责任编辑:章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2019.01.014

作者简介:吴文忠,男,1981年生,工程师,主要从事矿产勘查工作,Email:wuwz1981@126.com。通讯作者:张晓东,男,1980年生,高级工程师,博士,主要从事遥感地质研究工作,Email:33131692@qq.com。

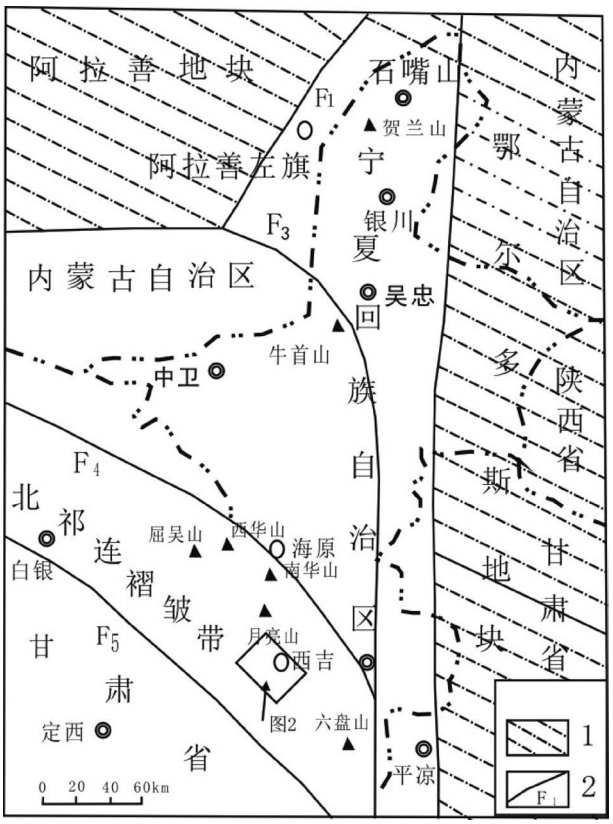


图 1 北祁连山东段西吉地区大地构造位置示意图(李天斌等,2006)

Fig. 1 The tectonic position of Xiji region in the eastern section of North Qilian Mountains (Li Tianbin et al., 2006&)

1—地块;2—深大断裂及编号;F_1—贺兰山西缘断裂;F_2—车道—阿色浪断裂;F_3—六盘山—牛首山断裂;F_4—海原断裂;F_5—走廊南山北缘断裂

1—continental block; 2—deep fracture and serial number; F_1—the western marginal fracture of the Helan mountains; F_2—Chedao—Aselang fracture; F_3—Liupan Mountain—Niushou Mountain fracture; F_4—Haiyuan fracture; F_5—northern marginal fracture of the Zoulangnanshan Mountains (South Mountains on the Corridor)

仍未穿透。本文样品采自钻孔岩芯,选择未蚀变、干净的辉长岩进行采样分析(图 2)。

辉长岩呈灰绿色,细粒辉长结构、嵌晶含长结构(图 3a、b),块状构造,矿物成分主要为:斜长石 45%~50%,辉石假像约 15%,角闪石 25%~30%,含少量黑云及不透明矿物。

斜长石主要呈半自形板状,粒径一般 0.2~1.5 mm,略具方向性排列,轻微绢云母化、黝帘石化等,辉石呈近半自形柱状、粒状,直径<0.6 mm,嵌布于角闪石粒内,已转变为淡绿色阳起石呈假像。角闪石主要呈它形柱状等,粒径一般<2.0 mm,零散状显方向性排列,常见粒内有斜长石、辉石嵌布,显绿色,多色性较明显。黑云母呈鳞片—叶片状,片径<1.0 mm,零散分布,有的呈不透明矿物反应边存在,显棕色,多色性明显。

2 样品分析方法

样品主量元素在宁夏地矿中心实验室用 XRF 法测定,微量元素、稀土元素在甘肃中心实验室采用 XIISeries 型 ICP-MSF 方法测定。为了获取西吉地区辉长岩体形成时代,采用 LA-ICP-MS 法对该岩体中岩浆锆石进行 U-Pb 同位素测年分析,用于定年分析的两件样品采自钻孔岩芯,每件样品采集新鲜无蚀变的辉长岩样品 10 kg,采样中避开节理发育和脉体。锆石分选在河北省地质矿产局廊坊实验室完成。锆石阴极发光(CL)照相、锆石 U-Pb 定年在武汉上谱分析科技有限责任公司完成,利用 LA-ICP-MS 方法测定。分析用激光剥蚀系统为 GeoLas Pro,等离子体质谱仪为 Agilent7700,激光能量 80 mJ,频率 5 Hz,激光束斑直径 32 μm。锆石 U-Pb 同位素测定过程中元素分馏效应采用标样 91500 作为外标进行校正,具体分析条件及流程详见文献(Liu Yongsheng et al.,2008,2010)。

3 分析结果

3.1 岩石化学特征

西吉地区辉长岩主要元素含量见表 1。样品 SiO_2 为 42.36%~47.58%,平均值 44.76%,MgO 为 4.41%~10.31%。Al_2O_3 为 16.97%~26.20%,平均值 20.10%,含量较高,具有消减带岩石的特征(张旗和周国庆,2001)。TiO_2 含量为 0.24%~1.80%,平均值为 1.05%,平均值低于大洋拉斑玄武岩的 2.63%(Wilson, 1989)。K_2O 含量为 0.18%~0.34%,Na_2O 为 0.76%~1.53%,全碱(K_2O+Na_2O)为 0.94%~1.84%,Na_2O/K_2O 值 3.06~7.20,属于低钾富钠的特征。P_2O_5 含量较低(0.06%~0.79%)。上述特征显示,西吉地区辉长岩具有高 Al、低碱、低 Ti、低 P_2O_5 的特征。在 TAS 图(图 4a)上,样品均落于橄榄岩质辉长岩—亚碱性辉长岩区域,在 AFM 图解(图 4b)上,所有样品都投在拉斑系列区域,属于拉斑系列。

3.2 地球化学特征

(1)微量元素特征:在微量元素蛛网图(图 5a)上,该岩体富集大离子亲石元素(LILE)Rb、Sr、K,高

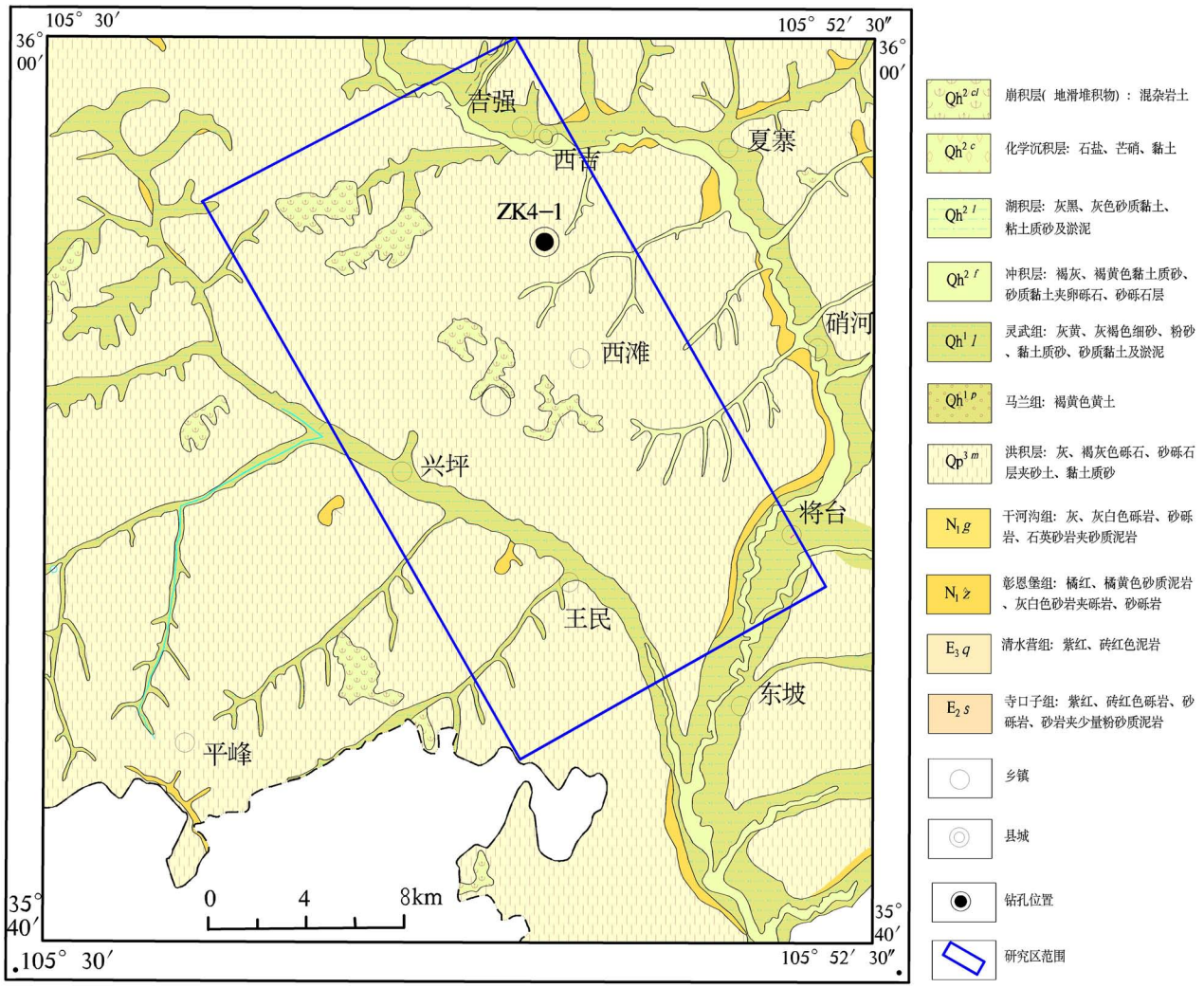


图 2 北祁连山东段西吉地区地质简图

Fig. 2 The geological sketch map of the Xiji region, the eastern section of North Qilian Mountains

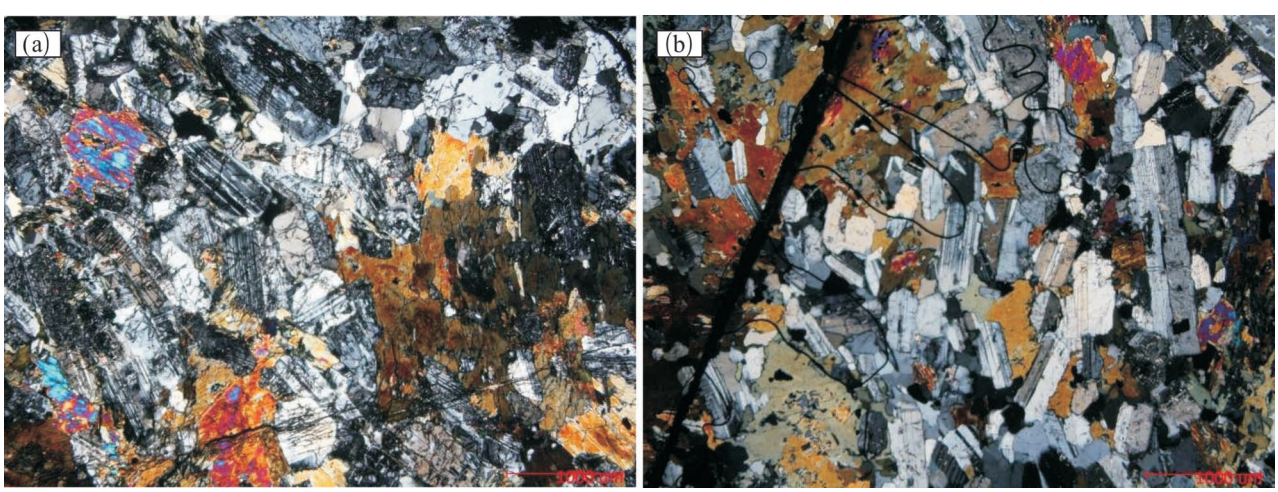


图 3 北祁连山东段西吉地区辉长岩镜下照片

Fig. 3 Microphotographs (a, b) of the gabbro in Xiji region, the eastern section of North Qilian Mountains

表 1 西吉地区辉长岩主量元素(%) 和微量元素(μg/g) 的地球化学分析数据

Table1 Major(%) and trace elements(μg/g) compositions of the gabbro in Xiji region

样品编号	ZK4-1XWG1	ZK4-1XWG2	ZK4-1XWG3	ZK4-1XWG4	ZK4-1XWG5	ZK4-1XWG6	ZK4-1XWG7	ZK4-1XWG8	ZK4-1XWG9
SiO_2	42.50	42.66	42.72	42.36	44.22	46.92	47.04	47.58	46.86
CaO	9.60	9.91	9.31	9.51	9.88	13.04	12.16	9.90	9.45
MgO	7.33	7.42	8.36	6.81	7.02	4.41	5.90	9.95	10.31
Al_2O_3	19.35	19.87	16.97	18.91	19.26	26.20	23.85	18.71	17.81
FeO	8.62	8.00	9.73	8.23	8.41	3.34	4.09	6.54	6.51
Fe_2O_3	4.49	5.88	5.20	5.46	4.08	1.02	1.12	1.28	1.50
K_2O	0.31	0.34	0.18	0.24	0.18	0.18	0.20	0.21	0.33
Na_2O	0.95	1.26	0.76	1.06	0.87	0.99	1.15	1.53	1.50
TiO_2	1.64	1.80	1.72	1.73	1.53	0.26	0.23	0.24	0.27
P_2O_5	0.65	0.75	0.79	0.79	0.62	0.070	0.062	0.067	0.058
MnO	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15	0.069	0.084	0.13	0.13
H_2O	0.18	0.14	0.05	0.10	0.17	0.05	0.11	0.05	0.18
H_2O	2.60	1.48	1.36	1.65	1.14	1.12	1.68	1.38	1.24
总和	98.36	99.68	97.31	97.00	97.52	97.66	97.68	97.57	96.15
Sc	219	219	231	220	216	87.0	95.7	126	129
Ba	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
V	127	99.4	106	93.8	98.2	152	161	166	168
Cr	103	103	160	97.2	103	101	121	155	165
Co	45.0	41.1	52.7	43.8	42.7	23.4	30.9	44.2	44.5
Ni	40.1	39.3	54.4	29.6	37.0	69.6	95.2	128	138
Cu	36.6	39.0	41.3	49.4	38.8	31.9	30.5	37.1	33.6
Zn	81.5	77.6	83.5	74.8	79.9	52.2	55.2	62.7	64.3
Ga	18.1	18.9	18.7	19.7	19.4	20.3	18.3	15.8	14.9
Pb	5.3	6.5	5.7	5.2	6.4	5.9	6.8	5.6	6.7
Th	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Rb	77.0	77.8	71.5	73.8	71.9	71.5	73.0	72.2	76.2
Zr	72.8	75.1	74.3	73.0	72.5	65.6	65.5	67.1	69.7
Nb	2.77	3.32	3.19	3.36	2.79	2.22	1.90	1.81	1.91

样品编号	ZK4-1XWG1	ZK4-1XWG2	ZK4-1XWG3	ZK4-1XWG4	ZK4-1XWG5	ZK4-1XWG6	ZK4-1XWG7	ZK4-1XWG8	ZK4-1XWG9
Li	22.2	18.1	13.2	14.0	12.1	9.77	12.7	15.2	17.2
Be	1.06	1.09	0.95	1.02	0.98	1.09	0.86	1.01	1.11
Sr	432	452	352	437	461	559	463	338	349
Cs	2.52	3.32	0.88	2.52	1.00	1.02	1.21	0.96	1.38
Ta	0.19	0.18	0.16	0.18	0.14	0.15	0.09	0.06	0.08
U	0.31	0.29	0.24	0.35	0.20	0.18	0.17	0.20	0.21
Ge	1.27	1.13	1.35	1.12	1.15	1.15	1.01	1.36	1.48
La	10.1	11.3	15.4	8.8	8.72	7.51	6.25	6.23	6.43
Ce	15.4	18.6	27.2	15	14.5	10.5	7.42	7.96	8.67
Pr	2.25	2.73	3.49	2.17	2.01	1.34	1.03	1.24	1.24
Nd	8.88	11	13.9	8.56	7.9	4.18	3	4.1	4.04
Sm	1.84	2.41	2.74	1.96	1.72	0.72	0.58	0.86	0.86
Eu	0.63	0.69	0.69	0.69	0.66	0.35	0.32	0.36	0.32
Gd	1.67	2.05	2.25	1.76	1.72	0.45	0.44	0.78	0.71
Tb	0.24	0.31	0.3	0.26	0.23	0.06	0.07	0.12	0.12
Dy	1.42	1.82	1.77	1.52	1.36	0.44	0.44	0.8	0.79
Ho	0.27	0.35	0.33	0.29	0.26	0.08	0.08	0.16	0.14
Er	0.8	1.01	0.95	0.82	0.76	0.27	0.29	0.54	0.5
Tm	0.1	0.13	0.13	0.1	0.09	0.04	0.04	0.07	0.07
Yb	0.65	0.82	0.77	0.64	0.59	0.22	0.28	0.5	0.48
Lu	0.1	0.12	0.11	0.1	0.09	0.04	0.04	0.08	0.08
Y	7.34	9.35	8.9	7.9	6.76	2.39	2.51	4.78	4.49
ΣREE	44.35	53.34	70.03	42.67	40.61	26.2	20.28	23.8	24.45
LREE	39.1	46.73	63.42	37.18	35.51	24.6	18.6	20.75	21.56
HREE	5.25	6.61	6.61	5.49	5.1	1.6	1.68	3.05	2.89
LREE/HREE	7.45	7.07	9.59	6.77	6.96	15.38	11.07	6.8	7.46
δEu	1.08	0.92	0.82	1.11	1.16	1.75	1.86	1.32	1.22
$(La/Yb)_N$	11.15	9.88	14.35	9.86	10.6	24.49	16.01	8.94	9.61

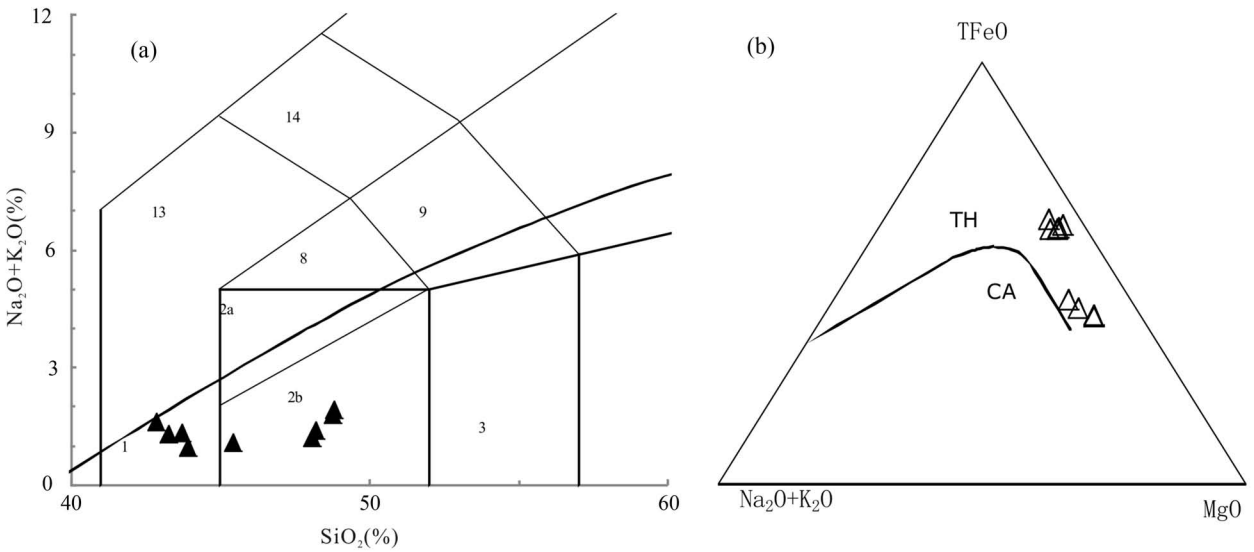


图 4 北祁连山东段西吉盆地辉长岩 TAS 分类图(a)(底图据 Middlemost,1994)和
辉长岩 AFM 分类图(b)(底图据 Irvine and Barager,1971)

Fig. 4 TAS diagram (a)(after Middlemost,1994)and AFM diagram (b) (after Irvine and Barager, 1994) of the gabbro in the Xiji region, the eastern section of North Qilian Mountains

1—橄榄辉长岩;2a—碱性辉长岩;2b—亚碱性辉长岩;3—辉长闪长岩; 8—二长辉长岩;
9—二长闪长岩; 13—副长石辉长岩;14—副长石二长闪长岩

场强元素(HFSE)Nb、Ta、Ce、Nd、Sm、Tb、Y、Yb 相对亏损,而且 Nb、Ta 为负异常,具有形成于消减带之上火山弧岩浆的特征。

(2) 稀土元素特征: 辉长岩的 LREE/HREE 为 6.77~15.38,平均值为 8.73,轻稀土相对于重稀土适度富集;δEu 为 0.82~1.86,平均值 1.25,多数样品显示为 Eu 正异常,Eu 负异常不明显,说明在岩浆演化过程中斜长石的分异作用并不明显。$(La/Yb)_N$ 为 8.94~24.49,平均值为 12.76,$(La/Sm)_N$ 为 2.69~6.18,平均值为 3.19,反映轻稀土分馏程度较低,属轻稀土富集型。稀土配分曲线为向右缓倾斜的轻稀土富集型(图 5b),其曲线型式与岛弧、

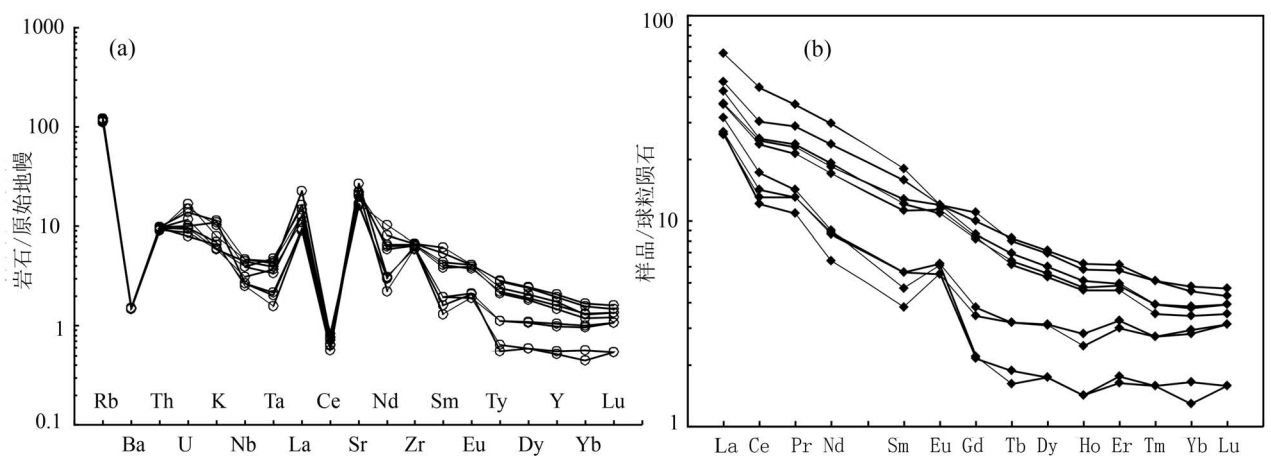


图 5 北祁连山东段西吉地区辉长岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(a)、稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(b)(原始地幔和球粒陨石含量值据 Sun and McDonough,1989)

Fig. 5 Primitive mantle standardization of Trace elements spider diagram(a) and chondrite-normalized REE patterns diagram(b) of the gabbro in the Xiji region, the eastern section of North Qilian Mountains(Sun and McDonough,1989)

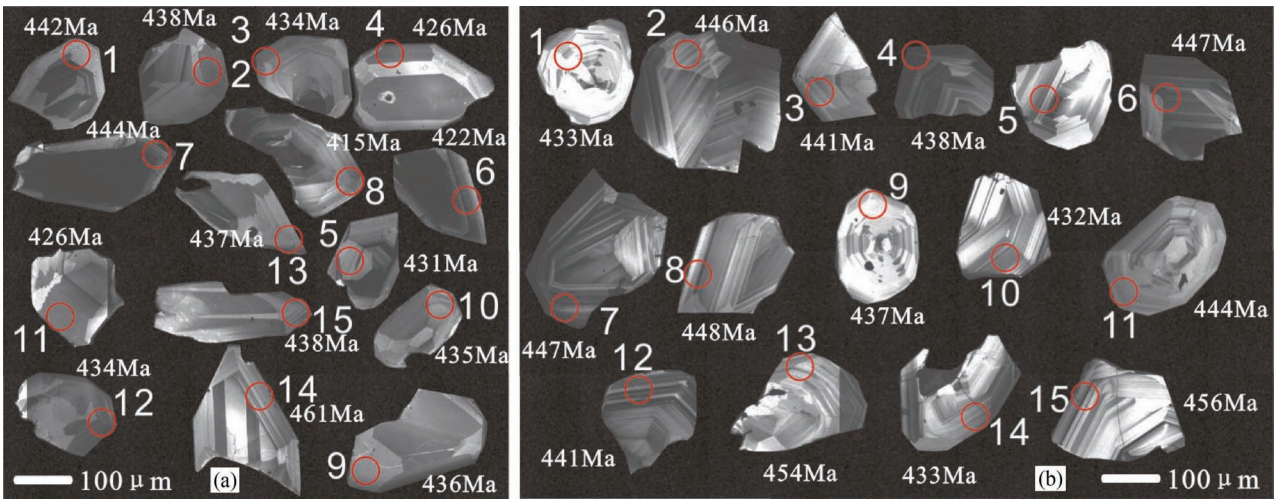


图 6 北祁连山东段西吉地区辉长岩锆石阴极发光照片：(a) ZK4-1TW1；(b) ZK4-1TW2

Fig. 6 Cathodoluminescence(CL) images of zircon from the Gabbro in Xiji region, the eastern section of North Qilian Mountains: (a) ZK4-1TW1; (b)ZK4-1TW2

弧后盆地相似。

3.3 锆石 U-Pb 同位素分析

锆石 U-Pb 测年结果见表 4，锆石 Th、U 含量较低，Th 含量在 $34.4\times10^{-6}\sim140.0\times10^{-6}$，U 含量在 $52.9\times10^{-6}\sim250.0\times10^{-6}$，Th/U 值为 0.43～1.12，大于 0.1，均值为 0.72，显示这些锆石均为岩浆成因的。

辉长岩所选锆石在双目镜下为无色透明，自形程度较好，样品编号为 ZK4-1TW1、ZK4-1TW2。阴极发光图(图 6)显示，辉长岩 ZK4-1TW1 和 ZK4-1TW2 中的锆石全部为具有典型岩浆结晶环带的锆石。对两件样品 29 颗锆石进行了有效的 U-Pb 同位素年龄测定，分析数据点均分布在 U-Pb 谐和图中的谐和曲线上(图 7)，29 个数据点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 437.8±2.8 Ma (95%置信度)，该年龄代表西吉地区辉长岩的岩浆结晶年龄，为早志留世，属早古生代加里东期岩浆侵入活动的产物。

4 讨论

西吉地区钻孔所见辉长岩在 Ta/Yb—Th/Yb 图

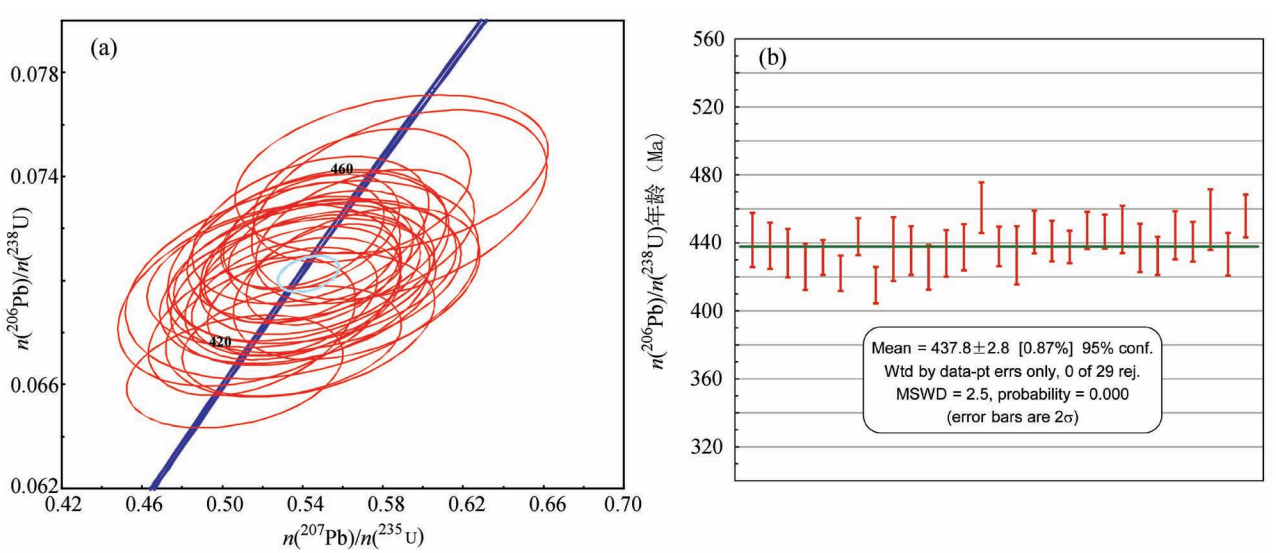


图 7 北祁连山东段西吉地区辉长岩锆石 U-Pb 谐和图和加权年龄平均值

Fig. 7 U-Pb concordia diagram of zircon from the gabbro of the Xiji region, the eastern section of North Qilian Mountains

表 2 西吉地区辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年数据

Table 2 LA-ICP-MS Zircons U-Pb data of the gabbro in Xiji region

测点号	元素含量(×10⁻⁶)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度(%)
	Pb	^{232}Th	^{238}U		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
ZK4-1TW1-01	28.5	49.0	59.5	0.82	0.0571	0.0035	0.5429	0.0286	0.0709	0.0013	494	140	440	18.8	442	8.0	99
ZK4-1TW1-02	48.2	85.8	98.7	0.87	0.0579	0.0035	0.5462	0.0287	0.0704	0.0011	528	133	443	18.9	438	6.8	98
ZK4-1TW1-03	39.8	74.7	87.8	0.85	0.0562	0.0029	0.5387	0.0263	0.0696	0.0012	461	113	438	17.4	434	7.1	99
ZK4-1TW1-04	54.8	97.4	88.7	1.10	0.0573	0.0029	0.5388	0.0274	0.0683	0.0011	502	113	438	18.1	426	6.8	98
ZK4-1TW1-05	79	140.0	167.0	0.84	0.0564	0.0019	0.5348	0.0172	0.0692	0.0008	478	75.9	435	11.4	431	5.1	97
ZK4-1TW1-06	56.4	101.0	168.0	0.60	0.0574	0.0024	0.5346	0.0223	0.0677	0.0009	506	94.4	435	14.8	422	5.2	99
ZK4-1TW1-07	66	120.0	151.0	0.79	0.0563	0.0021	0.5517	0.0199	0.0713	0.0009	461	76.8	446	13.0	444	5.4	98
ZK4-1TW1-08	48.4	87.8	136.0	0.64	0.0549	0.0023	0.5062	0.0220	0.0665	0.0009	406	94.4	416	14.8	415	5.4	98
ZK4-1TW1-09	24.5	45.7	50.1	0.91	0.0576	0.0041	0.5397	0.0359	0.0700	0.0016	517	156	438	23.7	436	9.4	98
ZK4-1TW1-10	42.3	77.4	87.8	0.88	0.0592	0.0027	0.5668	0.0251	0.0699	0.0012	576	100.0	456	16.2	435	7.2	98
ZK4-1TW1-11	74	139	124.0	1.12	0.0555	0.0024	0.5148	0.0211	0.0682	0.0011	435	91.7	422	14.1	426	6.6	98
ZK4-1TW1-12	38.6	69.9	76.7	0.91	0.0555	0.0029	0.5375	0.0281	0.0696	0.0011	435	112	437	18.6	434	6.9	99
ZK4-1TW1-13	29.7	52.6	66.7	0.79	0.0574	0.0038	0.5341	0.0292	0.0702	0.0011	506	144	434	19.3	437	6.8	99
ZK4-1TW1-14	35.9	66.5	91.3	0.73	0.0571	0.0030	0.5842	0.0318	0.0741	0.0012	494	117	467	20.4	461	7.5	99
ZK4-1TW1-15	49.7	93.7	124.0	0.76	0.0570	0.0026	0.5437	0.0224	0.0703	0.0010	500	100.0	441	14.7	438	5.8	96
ZK4-1TW2-01	19.8	34.4	52.9	0.65	0.0560	0.0034	0.5185	0.0288	0.0694	0.0014	450	133	424	19.3	433	8.6	99
ZK4-1TW2-02	47.6	83.5	128.0	0.65	0.0583	0.0025	0.5710	0.0222	0.0717	0.0011	543	89.8	459	14.4	446	6.3	99
ZK4-1TW2-03	36.5	63.7	115 .0	0.55	0.0556	0.0021	0.5397	0.0199	0.0708	0.0010	435	86.1	438	13.1	441	6.0	99
ZK4-1TW2-04	66	110	250.0	0.44	0.0568	0.0017	0.5501	0.0156	0.0702	0.0008	483	64.8	445	10.2	438	4.8	98
ZK4-1TW2-06	49.8	87.0	155 .0	0.56	0.0551	0.0019	0.5443	0.0178	0.0719	0.0009	417	80.5	441	11.7	447	5.5	99
ZK4-1TW2-07	51.0	89.5	208.0	0.43	0.0545	0.0017	0.5398	0.0166	0.0717	0.0008	394	70.4	438	11.0	447	5.0	98
ZK4-1TW2-08	45.5	80.2	122 .0	0.66	0.0551	0.0024	0.5438	0.0241	0.0719	0.0012	413	93.5	441	15.8	448	6.9	97
ZK4-1TW2-09	20.4	35.8	56.9	0.63	0.0582	0.0036	0.5457	0.0299	0.0701	0.0012	600	133	442	19.6	437	7.1	99
ZK4-1TW2-10	45.2	78.9	148 .0	0.53	0.0569	0.0024	0.5368	0.0212	0.0694	0.0009	487	97.2	436	14.0	432	5.6	98
ZK4-1TW2-11	28.2	49.5	81.8	0.60	0.0563	0.0029	0.5470	0.0264	0.0714	0.0012	465	115	443	17.3	444	7.1	98
ZK4-1TW2-12	64	114.0	144.0	0.79	0.0557	0.0023	0.5420	0.0216	0.0707	0.0010	439	92.6	440	14.2	441	5.8	98
ZK4-1TW2-13	21.5	38.9	57.8	0.67	0.0601	0.0035	0.5880	0.0300	0.0729	0.0015	606	124	470	19.2	454	8.9	98
ZK4-1TW2-14	31.2	56.5	93.1	0.61	0.0560	0.0023	0.5352	0.0220	0.0695	0.0010	454	88.0	435	14.5	433	6.3	98
ZK4-1TW2-15	32.3	53.1	106.0	0.50	0.0572	0.0024	0.5695	0.0222	0.0733	0.0010	498	60.2	458	14.3	456	6.3	99

解(图 8)中样品均投入活动大陆边缘(陆缘弧)区,Th/Ta 值为 4.1 ~ 12.9,大于 1.6,属于板块汇聚边缘玄武岩,Nb 含量为 1.81×10^{-6} ~ 3.36×10^{-6},具有消减带玄武岩的特征,因此,西吉地区钻孔所见辉长岩属于陆缘弧拉斑玄武岩,为板块俯冲的产物。

西吉地区钻孔所见花岗岩体成因类型为 I 型,形成于陆缘弧环境,为板块俯冲的产物,锆石 U-Pb 年龄为 434.3±9.0 Ma(吴文忠等,2018),与西吉地区辉长岩具有相同的形成环境,U-Pb 年龄接近。因此,西吉地区钻孔所见花岗岩体和辉长岩体为同期岩浆活动的产物,是同源岩浆由基性到酸性的演化序列。

从整个北祁连造山带来看,在志留纪时大陆动力学背景仍为挤压环境,尚未开始伸展,辉长岩体的成因与板块俯冲有关,晚奥陶世—早志留世时,北祁连山海盆趋于闭合时,洋壳板块俯冲脱水,提供给地幔楔,橄榄岩发生熔融,形成的基性(辉长岩)岩体。

区域上,西吉地区与甘肃东部葫芦河群甘肃景泰老虎山地区,同属于北祁连岩浆弧带,甘肃东部葫芦河群、甘肃景泰老虎山地区的蛇绿岩带中的辉长岩与西吉地区辉长岩具有相似的形成环境,很可能是相同构造环境下构造—岩浆作用的产物。虽然西吉被新生界覆盖,未见蛇绿岩套的各类岩石组合,仅在钻孔中见到辉长岩,但是,从区域地质资料分析,西吉地区可能存在由于洋壳的消减作用、构造侵位或逆掩推覆破坏的蛇绿岩套层序的部分组成或杂乱堆积的混杂岩块。

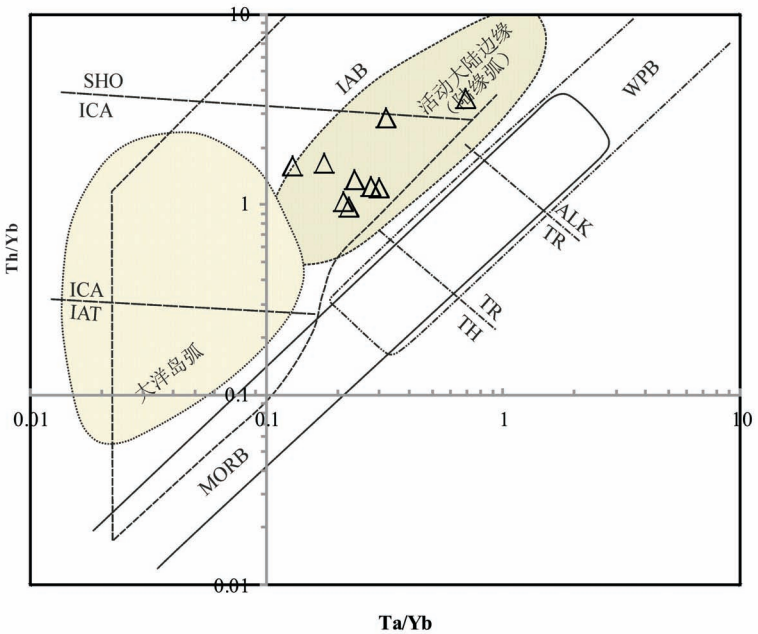


图 8 北祁连山东段西吉地区辉长岩 Ta/Yb—Th/Yb 图解
(底图据 Pearce,1982)

Fig. 8 Ta/Yb—Th/Yb classification diagram of the gabbro in the Xiji region, the eastern section of North Qilian Mountains(after Pearce,1982)

IAB—岛弧玄武岩;IAT—岛弧拉斑系列;ICA—岛弧钙碱系列;SHO—岛弧橄榄玄粗岩系列;WPB—板内玄武岩;MORB—洋中脊玄武岩;TH—拉斑玄武岩;TR—过渡玄武岩;ALK—碱性玄武岩

5 结论

(1)通过锆石 U-Pb 测年,西吉地区钻孔所见辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年为 437.0±2.8 Ma,形成时代为早志留世,是加里东晚期岩浆活动的产物。

(2)西吉地区钻孔所见辉长岩体形成于陆缘弧环境,与西吉地区花岗岩具有相同的形成环境,锆石 U-Pb 年龄非常接近。因此,西吉地区钻孔所见辉长岩体和花岗岩体为同期岩浆活动的产物。

(3)西吉地区辉长岩体为板块俯冲的产物,晚奥陶世—早志留世时,北祁连山海盆趋于闭合时,洋壳板块俯冲脱水使地幔楔橄榄岩发生熔融,形成的基性(辉长岩)岩体。

(4)根据区域地质资料推测,西吉地区辉长岩与甘肃东部葫芦河群、甘肃景泰老虎山地区的蛇绿岩带中的辉长岩与具有相似的形成环境,很可能是相同构造环境下构造—岩浆作用的产物。西吉地区可能存在由于构造作用破坏的蛇绿岩套层序的部分组成或杂乱堆积的混杂岩块。

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)

冯益民,何世平.1996.祁连山大地构造与造山作用.北京:地质出版社: 37~70

李天斌,张学文,王成,王荣兰. 2006.北祁连山东段海原一带海原群变质岩原岩恢复及其构造背景. 地质通报,,25(1~2):194~203.

宋志高,贾群子,张苺,张治洮.1991.甘肃东部葫芦河群的火山岩系及其与邻区的构造和成矿关系.地质论评,37(3):221~233.

吴文忠,马瑞赟,潘进礼,王忠禹.2018.宁夏西吉地区花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及其地质意义.地质通报,37(7):1271~1278.

夏林圻,夏祖春,任有祥, 等.1991. 祁连、秦岭山系海相火山岩. 武汉:中国地质大学出版社:59~102.

夏林圻,夏祖春,徐学义.1995.北祁连山构造—火山岩浆演化动力学. 西北地质科学,16(1):1~28.

夏林圻,夏祖春,徐学义.1996.北祁连海相火山岩岩石成因. 北京:地质出版社:52~73.

张旗,孙晓猛,周进德,等.1997.北祁连蛇绿岩特征、形成环境及其构造意义.地球科学进展,12(4):366~385.

张旗,周国庆.2001.中国蛇绿岩.北京:科学出版社,1~ 176.

Feng Yimin,He Shiping, et al. 1996&. Geotectonics and Orogeny of the Qilian morntains, China. Beijing: Geological Publishing House:37~70.

Irvine T N and Barager W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 523~548.

Li Tianbin, Zhang Xuewen, Wang Cheng, Wang Ronglan. 2006&. Reconstruction of protoliths of metamorphic rocks and tectonic setting of the Haiyuan Group in the eastern segment of the North Qilian Mountains, China. Geological Bulletin of China, 25(1~2):194~203.

Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt—peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths. Journal of Petrology, 51(1~2):537~571.

Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Güntheret D, Xu Juan, Gao Changgui,Chen Haihong, et al. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chemical Geology, 257(1~2):1~43.

Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. Earth Science Reviews, 37(3~4):215~224.

PearceJ A. 1982. Trace elements characteristic of lavas from destructive plate boundaries. Andesites. Thorpe R S. Orogenic andesites and related rocks. Chichester, England;John Wiley & Sons, 525~548.

Song Zhigao, Jiao Gunzi, Zhang Mei Zhang Zhitao. 1991&. The vocalnic rock Series of the Hu Luhe group in Eastern Gansu and its relation to regiona tectonics and mineralization. Geological Review,37(3):221~233.

Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for Mantle composition and processes. Geological Society, 42 (1) :313~345.

Wilson M.1989.Igneous Petrigenisis.London: Unwin Hyman: 1~466.

Wu Wenzhong, Ma Ruiyun, Pan Jinli, Wang Zhongyu. 2018&. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of the granite in Xiji basin of Ningxia. Geological Bulletin of China, 37(7):1271~1278.

Xia Linqi,Xia Zuchun,Ren Youxiang, et al. 1991&. Marine Volcanic Rocks from Qilian and Qinling Mts., China. Wuhan: Universiy of Geosciencesn Press:59~102.

Xia Linqi, Xia Zuchun,Xu Xueyi.1995&.Dynamics of tectono-volcano-magmatic evolution from North Qilian Mountains, China. Northwest Geoscience 16(1):1~28.

Xia Linqi,Xia Zuchun,Xu Xueyi.1996&.Petrogenesis of Marine Volcanic Rocks in North Qilian Mountains. Beijing: Geological Publishing House:52~73.

Zhang Qi, Sun Xiaomeng, Zhou Jinde, et al. 1997&. Characteristics formation environment and tectonic significance of ophiolite in North Qilian Mountains. Advances in Earth Science, 12(4):366~385.

Zhang Qi, Zhou Guoqing. 2001&. Ophiolite in China. Beijing: Science Press:1~176.

Geochemical Characteristics, Zircon U-Pb Ages of the Gabbro in Xiji Region in the Eastern Segment Northern Qilian Mountains and Their Significance

WU Wenzhong[1)], MA Ruiyun[1)], ZHANG Xiaodong[2,1)] MA Fenghua[1)], PAN Jinli[1)], WANG Zejing[1)]

1) *Geological SurveyInstitute of Ningxia Hui Autonomoug Region*, *Yinchuan*, 750021;

2) *School of Information Engineering*, *China University of Geosciences*, *Beijing*, 100083

Abstract: The gabbro of Xiji region belongs to the tholeiitic series, which has the characteristics of high Al, low alkali, low Ti and low P_2O_5. The gabbro is enriched in large ion lithophile elements (LILE) Rb, Sr, K, and high field strength elements (HFSE) Nb, Ta, Ce, Nd, Sm, Tb, Y and Yb are relatively low, and Nb and Ta are negative anomalies which shows characteristics of volcanic arc magmas formed on subduction zones. The LREE curve enriched REE right inclined, the type of curve is similar to island arc and back arc basin, it formed in the continental margin—arc environment. U-Pb zircon dating shows that LA-ICP-MS U-Pb zircon dating of gabbro was 437.0 + 2.8 Ma, which the age of formation is early silurian. Gabbro and granite of Xiji region has the same formation environment and very close with the zircon U-Pb age, and both of them are the products of magmatic activity during the same period.

Combining regional geological information, It is concluded that the gabbro body of Xiji region is the product of plate subduction.During Late Ordovician—Early Silurian, the northern Qilian basin tends to be closed, the oceanic plate subducted and dehydrated, provided to the mantle wedge, peridotite is melted, leading to mantle upwelling and forming basic (gabbro) and acid (granite) pluton.

It is believed that gabbro of Xiji region and ophiolite belt in the gabbro of Huluhe group of Eastern Gansu, and Laohushan area of Jingtai in Gansu province is likely to be the product of tectono magmatism in the same tectonic environment. Xiji region may exist because of mixed rock ophiolite tectonic sequence damaged parts or disorderly deposits by means to regional comparison.

Keywords: eastern segment of the North Qilian Mountains; Xiji region; gabbro; geochemical characteristics; U - Pb age

Acknowledgements: This study was generously financed by Innovation Team Project of Ningxia Geological and Mineral Resources Exploration (No. 2016]1). We would like to express our thanks to the reviewers for examining the manuscripts

First author: WU Wenzhong, male, born in 1981, Engineer, is mainly engaged in mineral exploration, Email: wuwz1981@126.com

Corresponding author: ZHANG Xiaodong, male, born in 1980, senior engineer, is mainly engaged in remote sensing geology, Email: 33131692@qq.com

Manuscript received on:2018-01-21; Accepted on: 2018-12-06; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.01.014