

甘肃北山红石山基性-超基性岩体的成因类型及构造意义

王小红, 杨建国, 谢燮, 王磊

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 10054)

摘 要: 红石山基性-超基性岩体是板块构造研究者重点关注的岩体之一, 通过岩体地质特征及系统的岩石化学、微量元素、稀土元素等研究, 探讨了红石山基性-超基性岩体的成因类型和形成构造环境。根据岩体的岩石类型组合、相带产出关系、纯橄岩离析体的发育、岩体内部流动构造、晚期多种岩脉和铬铁矿矿化类型等特征研究表明, 岩体应是一种岩浆类型的侵入体; 从岩石化学、微量、稀土元素地球化学特征上可反映出该岩体是晚古生代 (石炭—二叠纪) 时期与古亚洲大洋在向南消之闭合其间, 于雀儿山-英安山岛弧带南缘发育起来的一种弧后盆地裂谷类型的地幔岩浆作用产物, 其机制或动力学环境为一种弧后扩张, 地幔上隆的大陆裂谷岩浆作用机制。

关键词: 红石山岩体; 成因类型; 构造环境及意义

中图分类号: P588.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-6248(2013)01-0040-16

The Genetic Type and Tectonic Significance of Hongshishan Basic-Ultrabasic Rocks in Beishan, Gansu Province

WANG Xiao-hong, YANG Jian-guo, XIE Xie, WANG Lei

(Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, China)

Abstract: Basic-ultrabasic rocks of Hongshishan is plate tectonics researchers focus on one of the rock. The genetic type and tectonic setting of Hongshishan basic-ultrabasic rocks are discussed by the rock chemistry, trace elements, rare elements. Studies have shown that rock types based on combination of rock, compared with the output relations, segregation dunite body's development, the internal flow structure rock, late dykes and chromite mineralization of various types of rock should be akinds of intrusions of magma types; from petrochemistry, trace, rare earth element geochemistry of the rock is reflected in the late Paleozoic (Carboniferous - Permian) period and the Paleo-Asian Ocean closed in the south and eliminate the meantime, the birdchildren Mountain - British andesitic island arc developed on the southern margin of a rift basin, the type of arc magma mantle product, its mechanism or dynamic environment as a back-arc spreading and mantle upwelling of continental rift magmatism mechanism.

Key words: Hongshishan rocks; genetic type; tectonic setting and significance

出露于甘肃北山地区北部的红石山基性-超基性岩体, 自 20 世纪 70 年代以来, 一直是板块构造研

究者重点关注的岩体之一。其中不少研究者都将它作为哈萨克斯坦大洋板块与塔里木板块的分界——

收稿日期: 2012-02-18; 修回日期: 2012-12-12

基金项目: 中国地质调查局“甘肃北山营毛沱-玉石山地区铁铜多金属矿调查项目”(1212011085090)

作者简介: 王小红 (1978-), 女, 硕士, 助理研究员, 从事于地质找矿与矿床学研究。Email: wxhwh812@126.com

碰撞缝合带的主要标志性蛇绿岩组合中地幔变质橄榄岩(刘雪亚, 1984; 赵茹石等, 1994; 方国庆, 1994; 杨兴科等, 1996; 何世平等, 1996; 周济元等, 2000; 龚全胜等, 2003)。但多数资料显示, 该岩体实际上是个以单辉橄榄岩为主, 含斜辉橄榄岩、纯橄岩、辉石岩、辉长岩、闪长岩和中心大面积斑状黑云花岗岩组合的复式岩体。而构成所谓“蛇绿岩”层序的上部火山熔岩类主要为早石炭世扫子山群和白山组的一套以中酸性火山岩(流纹岩和英安岩)为主的火山-沉积建造。其间即缺少可代表地幔岩残块的方辉橄榄岩, 也无真正具有 MORB 或 SSI 型(Pearce et al, 1984)的大洋拉斑玄武岩和高镁安山岩。这样就很难同大洋的板块构造缝合带相联系。对此, 笔者就该岩体的成因类型和形成构造环境作如下分析和讨论。

1 区域地质概况

产出在红石山断裂带近旁的红石山基性-超基性岩体, 向东同百合山、蓬勃山岩体, 向西与新疆东天山黄山地区的岩体, 同属一基性超基性岩带。根据区域地质资料, 红石山地区出露地层主要为晚太古-早元古代敦煌群的小红山片麻岩套和晚古生代早石炭世扫子山群和白山组的一套火山-沉积建造。在结构上, 二者似乎呈现一种硬基底软表壳的上地

壳结构模型。其中, 基底敦煌群小红山片麻岩套, 主体以断块形式出露在红石山断裂带和岩体的南侧, 与早石炭世地层多呈断层接触(图 1)。岩性为一套角闪岩相的黑云斜长片麻岩、黑云更长片麻岩、云斜二长片麻岩, 含石榴石黑云斜长片麻岩、角闪片岩组合。原岩为一套沉积碎屑岩夹基性-中酸性火山岩建造。据获得的黑云斜长片麻岩锆石 2 565 Ma(U-Pb)年龄, 时代为晚太古代。但从其内片麻岩含石英片岩、石英岩、黑云石英片岩捕虏体及内有闪长质包体情况分析, 深部还有更老基底岩石存在的信息。而所见石炭世扫子山群, 主要沿红石山断裂带南北两侧出露, 为一套浅海相碎屑岩夹硅质岩、玄武岩、英安岩的火山-沉积岩系。火山岩上部以英安岩, 下部以玄武岩为主, 有一种双峰式火山-沉积建造的特征。在碎屑岩中产孢粉和珊瑚化石, 早石炭世白山组, 主要出露在红石山断裂带和扫子山群以南, 岩性分板岩和千枚岩两个岩性段, 岩石包括安山质凝灰岩、凝灰质砂岩、泥硅质板岩、灰黑色硅质板岩、凝灰质板岩、粉砂质板岩、绢云千枚岩、绢云绿泥千枚岩、片理化安山岩、英安岩和流纹岩等。总体上, 为一套浅海相碎屑岩夹中酸性火山沉积岩系。

区内褶皱断裂系统以近东西向发育为主要特点, 且以红石山和明水一小黄山两条区域断层基本控制着次一级构造格局和早石炭世海相盆地沉积及中酸性侵入岩体的产出和分布。据地球物理资料,

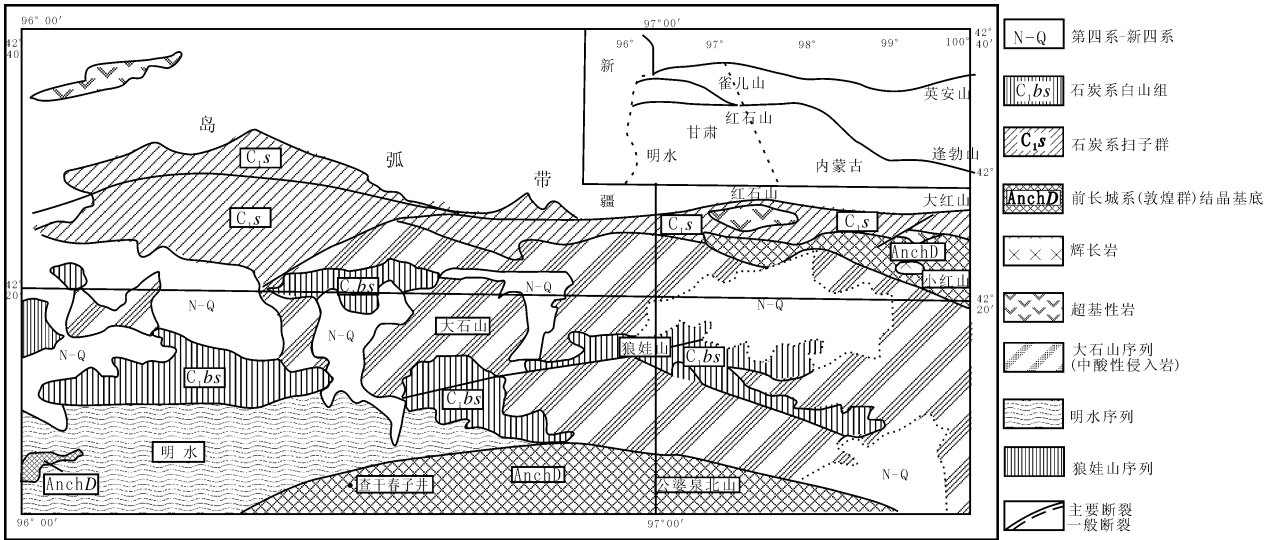


图 1 甘肃北山红石山地区地质构造略图 (据 1: 25 万红宝石幅区域地质构造纲要略图修编)

Fig. 1 Geological sketch map of Beishan, Gansu province

其中的红石山断裂还是一条深达上地幔的深大断裂。这条断裂不但是基性-超基性岩体的主要控岩构造,也是晚华力西期一条韧性剪切带的变质变形的构造带。所见中酸性侵入岩可包括明水、狼娃山和大石山 3 个主要序列,主体由二长花岗岩、花岗闪长岩和部分角闪花岗岩单元岩石构成。时代为石炭纪—二叠纪,其中明水序列的二长花岗岩的 Sm-Nd 年龄和 Rb-Sr 年龄分别为 322 Ma 和 263 Ma,狼娃山序列的花岗闪长岩的 Rb-Sr 年龄为 (277 ± 13) Ma,大石山序列的角闪花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 273 Ma (据 1:25 万红石山幅区域地质调查报告)。

2 岩体地质特征

实际上,红石山岩体是 20 世纪 60 年代全国铬铁矿会战期间,由西北地质科学研究者和甘肃地质局第二地质队进行过详细勘察研究的一个岩体。尽管由于当时工作内容有限,评价工作主要集中在超基性岩体本身,对相关的基性岩(辉长岩)、中酸性侵入岩和围岩地层中的火山岩与岩体间的关系来作详细对比研究,也缺少这方面资料,但对超基性岩体不但作了地表工程揭露,进行了 1:1 万地质填图,而且对岩体的产状形态、岩相构造、岩石矿物和含矿性还作过研究,应当说获得的资料是较翔实可靠的。

据资料描述^①,岩体呈一近东西向卧鱼状侵入在早石炭世云母片岩、绿色片岩和板岩系中,直接围岩为辉长岩。岩体东西长 13.7 km,最宽处 2.9 km,面积约 30 km²。其中的超基性岩面积约 14 km²。平面上,呈一向西尖减、东部分叉、中部最宽的向北倾斜的单斜岩体。所见斑状黑云母花岗岩呈大透镜体状基本占据岩体的中心部位,年龄为 240 Ma。

从南往北岩体分 4 个岩相带:

I. 纯橄岩-中细粒斜辉辉橄岩岩相带:位于岩体南部边缘,面积约 2.47 km²,内见几处铬铁矿化。

II. 纯橄岩-斜辉辉橄岩-粗粒单辉辉橄岩岩相带:出露在岩体中部,面积 11 km²,为岩体主体

岩相带。岩石以单辉辉橄岩为主,次为斜辉辉橄岩和纯橄岩,其中的纯橄岩多呈不规则和长条状分离体形式产出,是岩体内铬铁矿的主体岩石。

III. 纯橄岩-中细粒单辉辉橄岩岩相带:出露在 II 岩相带之北,面积约 0.85 km²,纯橄岩也呈分离体状产出。

IV. 纯橄岩岩相带:为岩体北部边缘岩相,外侧直接与辉长岩接触,面积 0.48 km²。

各岩相带间,除东部可见似迅速过渡关系外,其余均未见相互穿切关系。总体上,该岩体是个以单辉辉橄岩为主的岩体。单斜辉石主要为透辉石类($CA_{Ng} = 37^\circ \sim 39^\circ$, $Z \nabla = (+) 56^\circ \sim 59^\circ$)。纯橄岩多为分离体形式产出。岩体内原生流动构造十分发育,由辉石和铬尖晶石类矿物作定向排列形成的流域,流面和似相面状构造十分特征。晚期岩浆分异的岩脉有纯橄岩、辉长岩、闪长岩、角闪岩和部分斜绿泥石岩、辉石岩和橄榄岩脉等。所见铬铁矿化主要产于第 II 岩相带中的纯橄岩分离体内,分晚期岩浆同生分异和贯入两种矿化类型,并见有纯橄岩脉穿切矿体的现象。

岩体的岩石化学分析数据(表 1),分别引自《陕甘宁青四省(区)》基性-超基性岩及有关矿产汇编》资料,样品较侧重含铬铁矿的纯橄岩类、单辉辉橄岩、斜辉辉橄岩、辉石岩和辉长岩类样品不多。所见纯橄岩类(包括含辉纯橄岩和矿化纯橄岩)SiO₂含量在 34%~37%,MgO 在 36%~44%,大多都在 40%以上,TFe 在 7%~11%,MgO/(MgO+FeO)均大于 0.80,最高达 0.86,岩石的 Mg[#]为 0.86~0.92,平均为 0.89;斜辉辉橄岩的 SiO₂为 38.29%,MgO 为 41.14%,TFeO 为 6.96%,MgO/(MgO+FeO)值为 0.86,Mg[#]为 0.91;单辉辉橄岩和二辉橄岩类的 SiO₂多在 38%以上,MgO 在 39%以下,TFeO 为 6.99%~9.00%,MgO/(MgO+FeO)为 0.74~0.85,Mg[#]为 0.82~0.90;辉石岩和辉长岩的 MgO/(MgO+FeO)值分别为 0.75 和 0.56,Mg[#]分别为 0.85 和 0.69。总体上说,岩体的岩石成分较富镁,属铁质系列的超基性岩类。Cr₂O₃除含矿纯橄岩部分特高样品外(>1%),含量平均在 0.38%左右,NiO 平均为 0.29%。

① 甘肃省地质调查院. 1:25 万红石山幅区域地质调查报告, 2001.

表 1 红石山岩体岩石化学分析数据
Tab. 1 Chemical analysis data in Hongshishan rocks

序号	原样号	岩石名称	Cr ₂ O ₃	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	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	NiO	总计	MgO/FeO+ MgO	Mg ⁼
1	纯橄岩带	纯橄岩	0.02	35.43	0.03	0.76	8.09	4.27	0.16	42.05	0.25	0.01			8.06	0.44	0.24	99.81	0.78	0.86
2	底部、边	纯橄岩	0.67	34.91	0.02	0.90	6.65	3.61		40.26	0.32	0.08	0.05		11.82	0.48	0.05	99.82	0.85	0.88
3	缘及上部	纯橄岩	0.51	36.99	0.03	0.45	4.76	3.61		41.10	0.24	0.10	0.05		11.01	0.47	0.01	99.36	0.84	0.90
4	中部各岩带	含辉纯橄岩	0.64	35.86	0.03	0.67	5.71	4.45		39.82	1.30	0.12	0.06		10.57	0.33	0.06	99.62	0.81	0.88
5		含矿纯橄岩	0.28	37.51	0.02	0.33	3.27	4.37		44.05	0.31	0.10	0.04		8.77	0.39	0.01	99.45	0.86	0.92
6		含矿纯橄岩	1.43	36.99	0.04	0.75	4.52	3.82		41.40	0.51	0.28	0.07		8.26	0.74	0.03	98.84	0.84	0.90
7		含矿纯橄岩	0.17	36.37	0.00	0.26	5.16	4.43	0.15	43.27	0.06	0.07			9.20	0.58	0.33	100.05	0.82	0.89
8		含矿纯橄岩	1.37	34.12		0.90	5.45	4.30		39.97	0.15	0.19	0.10	Los1.14	10.56	0.72	0.29	99.53	0.81	0.88
9		单辉辉橄岩	0.32	37.25		0.63	6.21	2.43		38.59	0.57	0.24	0.13	0.59	12.65	0.95	0.27	100.83	0.83	0.90
10		单辉辉橄岩	0.47	38.08		0.45	5.89	1.69		39.49	0.57	0.26	0.09	Los0.95	11.24	0.52	0.27	99.97	0.85	0.91
11		斜辉辉橄岩	0.33	38.89		0.40	4.49	2.92		41.14	0.65	0.24	0.10	Los0.83	9.47	0.45	0.30	100.21	0.86	0.91
12	98BS-162	纯橄岩		38.56	0.05	0.23	6.29	1.31	0.11	36.30	0.90	0.08	0.01	0.03	15.50				0.83	0.91
13	F16	纯橄岩		44.61	0.41	3.01	7.60	2.28	0.12	38.22	1.69	1.90	0.1	0.01					0.81	0.88
14	98BS-174	二辉橄橄岩		38.81	0.07	1.09	7.05	2.65	0.13	25.40	7.70	0.19	0.01	0.01	6.20				0.74	0.82
15	F209	辉石岩		42.61	0.05	15.86	1.01	3.59	0.11	13.33	15.25	2.13	0.1						0.75	0.85
16	98BS-158	辉长岩		49.60	0.27	16.05	3.39	4.01	0.15	8.90	14.10	1.50	0.04	0.01	0.55				0.56	0.69

注：资料来源：1~11 号引自“西北地质科学研究所，陕甘宁青四省基性超基性岩及有关矿产资料汇编”，1978；12~16 号引自何世平等(1998)。

3 岩体成因类型

按如上岩体和岩石化学成分特征,有两点是值得注意的,一是被作为蛇绿岩层部的地幔变质橄榄岩残块,不是辉橄榄岩或二辉橄榄岩,而是一套以单辉橄榄岩为主(次透辉石)的橄榄岩类。一般说作为蛇绿岩层序下部地幔岩残块是以不含或少含单斜辉石类矿物的方辉橄榄岩为主的(张旗,2000)。二是缺少可代表洋壳成分或岛弧类型的拉斑玄武岩(MORB)和高镁安山岩(ssz),而被卷入所谓“蛇绿构造混杂岩”的火山熔岩类,主要是些钙碱性的英安岩、流纹岩和少量玄武岩和安山岩。含火山岩的时代地层为下石炭统扫子山群和白山组,岩体的直接围岩主要是白山组的一套浅海相碎屑岩类中酸性火山岩的沉积岩系。据实验岩石学资料,地幔二辉橄榄岩的低熔组分只能是玄武岩和少量由玄武岩岩浆分异的流传着,不可能熔出 $\text{SiO}_2 > 55\%$ 的较酸性岩浆。因此,可以肯定白山组(包括扫子山群)的火山熔岩类,并不是地幔二辉橄榄岩低熔组分形成的洋壳类型火山熔岩类。

另一方面,该岩体的岩石 MgO 含量较高,大多属镁质系列岩类。但按 Coloman (1977) 和 Sun et al. (1996) 蛇绿岩中的变质橄榄岩标准值还有一定差别。如岩石的 M/F 值,Coloman (1977) 提出的值应大于 0.85,而该岩体包括分离体状产出的纯橄岩和含矿纯橄岩在内,平均均为 0.82,又如 $\text{Mg}^\#$ 值, Sun et al. (1996) 的标准值应在 0.89~0.92,而红石山岩体的超镁铁质岩类平均仅为 0.88。显然,这种既缺少方辉橄榄岩类的地幔岩残块,又无真正洋壳型(MORB)或高镁安山岩(ssz)相伴生的红石山基性-超基性岩,就很难同具有板块构造分割意义的蛇绿岩型岩体相联系。

事实上,按照岩体的岩石类型组合、相带产出关系、纯橄岩离析体的发育、岩体内部流动构造、晚期多种岩脉和铬铁矿化类型等,岩体的岩浆成因特征是十分明显的。在这方面,左国朝等(1990)也曾以构造流的观点解释和探讨过岩体的成因类型和形成过程。认为“侵位机制既有侵入性质,也有挤入性质,其后超基性岩浆在构造作用下,带热量到达地表,遇水发生蛇纹石化,在挤入

玄武岩及沉积岩的过程中,使岩石发生热接触变质,并侵位于上部构造杂岩带中”。从这一方面可表明,岩体的岩浆成因属性,另一方面还提示,它是一个滞后于火山沉积作用的岩浆侵入体。

4 构造环境分析和讨论

最初提出红石山岩体为蛇绿岩组合的是赵茹石等(1994),他们认为以红石山岩体为代表的“超镁铁岩与基性枕状熔岩及深水碧玉岩一起构成典型洋壳”,随后何世平等(1996)却提出它是“岛弧类型的蛇绿岩和火山作用产物”,而魏志军等(2003)则认为“红石山深大断裂带中的红石山蛇绿构造混杂岩为洋盆环境,同白山组、扫子山组和条条山组等不同时代地层块体相互混染”。已提出,作为蛇绿岩类型重要找矿标志的火山熔岩类,在红石山地区主要是早石炭世一套浅海相碎屑岩类火山岩沉积建造,其中的火山熔岩类扫子山群下部为玄武岩,上部为英安岩,为一套较典型的双峰式火山岩组合,白山组岩体以中酸性火山熔岩类占优势。很显然,这种类型火山岩组合很难与标准的洋壳(MORB)和岛弧类型(高镁安山岩)熔岩相对比。尤为特征的是,这套火山岩组合,无论在岩石化学、稀土元素和微量元素地球化学方面,几乎同晚太古一早元古代敦煌群小红山片麻岩套中的变火山岩类完全可对比。其中的扫子山群基性火山岩(玄武岩)与小红山片麻岩套中的角闪片岩成分都是拉斑玄武岩系列的,而扫子山群的英安岩和流纹岩同小红山片麻岩套中的变酸性火山岩,成分也一致是钙碱性系列的(表2、图2)。且这种时代相差甚远的基性和酸性两种端元岩石成分相似性很少见的,这也反映岩石的稀土和微量元素地球化学特征上(表3、表4)两个时代的基性和酸性端元岩石的稀土和微量元素的丰度和标准化图式也几乎一模一样(图3)。其中的基性熔岩类为一种较标准平坦型拉斑玄武岩分配模式。微量元素场以富 K、Rb、Ba、Th 大离子亲石元素,相对亏损 P、Ti、Yb、Sc、Cr 高场强元素和具 Nb、Ta 为特征。按此模型,似乎一方面可揭示两个极不同时代的火山岩却同时形成于相似成分源区的部分熔融;另一方面还表现出,基性和酸性两端元岩石之间既不是同一成分源区岩石的部分熔融,也不是同源岩浆的结晶分

表 2 小红山片麻岩套(Ar₃-Pt₁)变火山岩和早石炭世岩石化学成分数据

Tab. 2 Chemical analysis data in the Early Carboniferous volcanic rocks and gneiss units in Xiaohongshan metamorphic volcanic rocks

序号	原样号	地 层	岩石名称	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	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	CO ₂ los	总计
1	3YQ616-1	小红山 片麻岩套 (Ar ₃ -Pt ₁)	斜长片麻岩	68.6	0.37	12.8	1.19	3.57	0.06	2.32	4.22	2.2	1.74	0.13	1.38	0.13		98.8
2	3PYQ621-1		斜长片麻岩	73.5	0.11	13.8	0.7	0.73	0.02	1.0	0.73	3.82	4.05	0.08	1.02	0.06		99.6
3	3PYQ622-1		角闪片岩	50.5	0.69	13.3	10.2	3.04	0.21	7.3	10.82	1.9	0.12	0.15	0.81	0.04		99.1
4	3P9YQ-1	扫 子 山 群 (C ₁)	蚀变玄武岩	52.92	1.36	13.1	2.56	6.70	0.12	6.19	10.14	1.60	0.09	0.23	2.66	0.06	2.4	100.13
5	3PU11YQ-1		绿泥石片岩	50.63	1.00	12.25	8.79	6.94	0.22	7.11	8.31	1.98	0.12	0.20	1.02	0.21		98.78
6	3PU11YQ-4		绿泥石片岩	47.86	0.80	15.29	3.91	8.22	0.18	7.30	9.50	2.54	0.04	0.12	2.60	0.06		98.42
7	3YQ628-1		蚀变玄武岩岩	49.32	1.99	13.04	4.09	10.35	0.14	7.01	8.16	3.40	0.24	0.36	0.94	0.03	0.34	99.41
8	3YQ721-1		蚀变玄武岩	43.61	1.20	15.86	3.88	7.76	0.37	6.65	9.15	2.50	0.08	0.50	4.16	0.05	3.32	99.09
9	3PU11YQ-3		绿泥石片岩	47.27	1.36	12.43	6.53	7.28	0.20	4.69	10.55	3.20	0.19	0.28	1.25	0.05		95.28
10	3PYQ623-1		蚀变辉绿岩	53.41	1.08	11.42	11.65	2.46	0.28	4.08	11.61	1.46	0.10	0.10	0.80	0.08		98.71
11	GS-33		英安岩	76.75	0.28	11.54	0.58	1.74	0	0.5	1.12	4.76	1.33	0.05	0.64		0.43	
12	GS-44		英安质岩屑凝灰岩	58.36	1.2	14.48	0.44	6.03	1.5	2.4	5.37	4.02	1.12	0.21	2.03		0.19	
13	3PYQ624-1		流纹岩	76.38	0.15	11.61	1.22	1.1	0.04	0.57	0.79	3.66	3.18	0.08	0.2	0.07		99.1
14	3P18YQ-1	白 山 组 (C ₁)	英安岩	71.64	0.26	13.2	1.77	1.45	0.01	1.04	1.22	4.70	2.4	0.17	0.94	0.02	0.38	99.2
15	3P16-1YQ-1		流纹岩	74.32	0.21	11.68	2.06	1	0.02	0.38	0.84	3.0	4.9	0.14	0.52	0.07	0.68	99.8
16	3YQ625-1		英安岩	67.38	0.49	13.83	1.52	1.80	0.04	1.53	3.2	5.5	2.8	0.23	0.22	0.13	0.72	99.4

注:资料来源:1:25万红石山幅区域地质调查报告,甘肃地质院,2001。

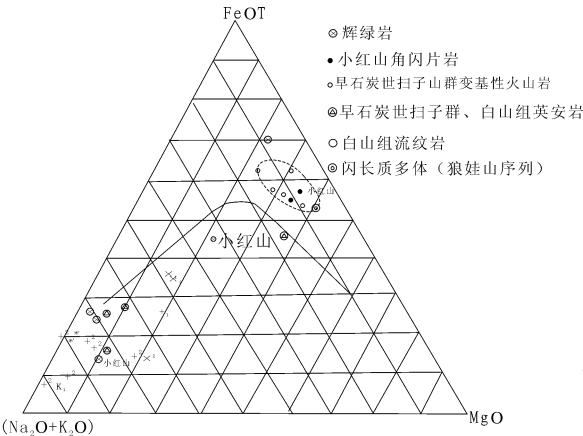


图 2 小红山片麻岩套中变火山岩、扫子山群、白山组火山岩、中酸性侵入岩 AMF 图
(据 Irvine, 1971)

Fig. 2 AMF diagrams showing variable rock, Saoshishan Group, Baishanzu volcanic, acid intrusive rocks in the of gneiss units in Xiaohongshan

异作用产物。两者明显呈一种不同源区双层岩浆的成因模型。这同由岩石化学成分所反映的双峰式火山岩组合特征相一致。另一方面，出落在红石山地区，以狼娃山、明水和大石山序列为代表的中酸性侵入岩类，在岩石类型组合和成分上（表 5），多属于 Irvine（1971）划分的 A 型花岗岩类（图 5），并同小红山片麻岩套中的变酸性火山岩和早石炭世扫子山群及白山组的酸性火山岩成分有许多可对比之处。如在 AFM 图中它们都同时落在钙碱性系列靠（ $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ）端点的成分区（图 4），又如在 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图中，成分均可从中钾钙碱性变化至钾玄武岩系列，特别是流纹岩和二长花岗岩的成分相似性更为明显（图 5），这也反映在岩石的稀土元素和微量元素地球化学特征上，两者的丰度和图式也基本可对比（表 6、表 7，图 6、图 7）。说明二者大体都源于相似成分岩源区的部分熔融。Pitecher（1993）对 A 型花岗岩的形成层提出过“它应与深部陆壳熔融残留物再熔融有关”的结论。即晋福等（2004）也认为“A 型花岗岩是在下地壳麻粒岩相的条件下，岩区已丢失含水长英质岩浆后再熔融产物”。这就是说，包括扫子山群和白山组的中酸性火山岩在内，它们都是源于深部陆壳岩石局部熔融的产物，而不是地幔橄榄岩部分熔融的洋壳类型的火山熔岩类。而且还揭示，红石山地区深部应有硅铝质地壳的存在。

再一方面，就扫子山群中的玄武岩和小红山片麻岩套中的变基性火山岩类（角闪片岩）而言，以其成分上的拉斑和低钙碱性特征，按 Nicholls et al.（1972）提出的“它们只能是地幔橄榄岩部分熔融产物”的观点，那么，它们同酸性端元岩石所构成双峰式火山岩组，明显是代表一种幔-壳双源性岩浆成因模型。这同邱家骧（2004）提出的“大陆地区地幔之上有大陆壳，其幔源基性岩浆与壳源酸性岩浆可形成双峰共生，而这种双层岩浆房源区性质的模型应由地幔岩浆直接上侵，以及同时下地壳岩石发生部分熔融生长英质岩浆，再通过不混熔或部分混熔结晶分异两种机制所形成”的认识基本是一致的。这也就是说，同红石山基性-超基性岩产出相关的火山-沉积建造，完全是一种壳幔双层岩浆源区成因模型，且按王焰等（2000）对不同构造环境中双峰式火山岩特征分析，它大体与大陆裂谷环境的双峰式火山岩组合特征相似。在这方面，左国朝等也曾将红石山岩体形成构造环境归属为一种与“雅满苏-红石山晚古生代早石炭世发育起来的裂陷海盆”。同样，夏林圻等（2007）也提出“天山及相邻地区广泛分布的石炭纪—早二叠世火山岩系，为大陆裂谷火山岩系，它们与同时代的层状基性-超基性侵入体和花岗岩构成一个大火成岩省-天山（中亚）大火成岩省”的看法。

新近，谢春林等（2009）还提出，红石山断裂以北的雀儿山—英安山一带为古亚洲大洋南俯冲消减带上的岛弧带的新认识。如此，处于该岛弧带以南，北以野马泉-红石山-蓬勃山断裂为界，南至明水-石板井-小黄山断裂带，于早石炭世发育起来的裂陷海盆，依其的形成时限，很大程度上正好同北侧构成一种弧盆构造格局。且按 K. Tamaki 等（1991）对弧后盆地划分的 5 种扩张动力学模式，它大体近似于一种岛弧底板块渗透作用地幔物质上涌（板块裂开上涌模式）或岛弧后热点或热区而产生的地幔物质注入（地幔柱贯入模式）模式。在类型上，主要表现为一种地幔上隆-火山作用-裂谷作用的主动大陆裂谷模型（即晋福等，2004）。这就是说，这种弧后盆地的裂谷作用，是由古亚洲大洋向南朝东天山古陆之下俯冲引起的一种弧后盆地拉伸的动力学关系。在这方面，依照夏林圻等（2001）对北祁连山加里东造山带中的沟弧盆系构造格局形成的研究认为“弧后盆地的产生与消减动

表 3 小红山片麻岩套(Ar_3-Pt_1)变火山岩和早石炭世火山岩稀土元素分析数据

Tab. 3 REE contents for the Early Carboniferous volcanic rocks and gneiss units in Xiaohongshan metamorphic volcanic rocks

序号	地 层	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ
1	小红山片麻岩套	斜长片麻岩	45.7	76.8	9.2	36.8	7.75	1.15	6.18	1.11	7.04	1.23	3.75	0.58	3.52	0.49	29.4	231
2		斜长片麻岩	18	30.5	2.53	12.9	2.55	0.54	2.52	0.44	2.87	0.6	1.59	0.25	1.52	0.23	13.2	90.2
3		角闪片岩	2.2	5.11	1.04	5.66	2.45	0.93	3.77	0.77	6.51	1.32	4.16	0.64	3.97	0.57	26.4	65.5
4	扫子山群(C_1)	蚀变玄武岩	32.2	41.6	4.55	18	3.97	0.68	4.27	0.68	4.64	0.88	2.66	0.40	2.46	0.35	19.4	128.3
5		绿泥石片岩	5.28	10.9	2.09	11.1	3.99	1.4	5.58	1.17	8.24	1.74	5.19	0.73	4.70	0.70	37.1	99.9
6		绿泥石片岩	28.8	6.56	1.84	7.07	2.79	1.17	4.41	0.88	7.34	1.47	4.53	0.68	4.26	0.61	32.9	105.3
7	白 山 组(C_1)	蚀变玄武岩	6.29	16.6	2.82	15.8	5.4	1.86	7.31	1.26	9.6	2.02	5.8	0.88	5.34	0.74	43.5	125.2
8		蚀变玄武岩	4.07	8.26	1.61	8.86	3.04	1.26	4.3	0.74	5.24	0.98	3.15	0.44	2.70	0.43	21.2	66.3
9		绿泥石片岩	8.92	19.2	3.3	17.1	5.61	1.81	7.28	1.37	10.1	2.06	6.31	0.93	5.77	0.83	46.8	137.4
10	英安岩	蚀变辉绿岩	7.49	17.2	3.08	14.3	5.24	1.72	6.63	1.31	9.75	2.14	6.44	0.96	5.72	0.84	44.70	127.5
11		英安岩	28.9	62.6	7.86	31.2	6.3	0.81	7.16	1.25	7.91	1.65	4.81	0.72	5.08	0.69	42	208.9
12		英安质岩屑凝灰岩	17.8	35.3	4.65	17.8	4.72	1.33	4.41	0.74	5.02	1.11	3.07	0.44	2.76	0.36	20.5	120
13	白 山 组(C_1)	流纹岩	24.5	41.9	4.74	17.7	3.78	0.61	3.2	0.57	3.7	0.71	2.5	0.4	2.54	0.38	16.9	124.13
14		英安岩	38.6	62.6	6.82	28.9	6.19	1.26	5.44	0.91	5.97	1.11	3.24	0.49	3.38	0.5	26.6	192.01
15		流纹岩	36.3	64.5	7.69	31.1	6.77	0.89	5.98	1.02	6.84	1.38	4.13	0.66	4.35	0.66	30.4	202.67
16	英安岩	英安岩	25.2	41.7	4.44	17.6	3.35	0.72	3.66	0.62	3.8	0.68	2.18	0.33	2.01	0.31	17.4	124

注:资料来源:1:25 万红石山幅区域地质调查报告,甘肃地调院,2001。

表 4 小红山片麻岩套(Ar₃—Pt₁)变火山岩和早石炭世火山岩微量元素分析数据

Tab. 4 Trace element contents for the Early Carboniferous volcanic rocks and gneiss units in Xiaohongshan metamorphic volcanic rocks																	
序号	地 层	岩石名称	Sr	K	Rb	Ba	Th	U	Nb	Ta	Ce	P ₂ O ₅	Zr	Hf	Ti	Sc	Cr
1	小红山 片麻岩套 (Ar ₃ —P _{t1})	斜长片麻岩	219	20 700	125	685	14.1		11.3	1.07	76.8	463	140	4.29	3 210	10.7	45.7
2		斜长片麻岩	133	28 400	130	385	6.62		474	0.62	30.5	208	56.8	1.94	1 000	2.6	<1
3		角闪片岩	60.8	1 000	5.8	292	4.27		1.78	0.5	5.11	445	63.3	2.01	6 890	47.4	83.9
4	扫 子 山 群 (C ₁)	蚀变玄武岩	736	374	1.4	63.8	6.48		6.94	0.86	41.6	502	82.7	3	8 151	21.6	101
5		绿泥石片岩	84.1	1 200	4.3	212	3.96		3.22	0.5	10.9	572	114	3.8	9 010	47.9	108
6		绿泥石片岩	184	400	1	438	4.66		2.89	0.5	6.56	462	79.5	2.9	6 970	47	253
7		蚀变玄武岩	153	996	11.4	48.4	3.83		3.17	0.5	16.6	785	144	5.1	11 927	64	261
8		蚀变玄武岩	217	332	4.1	57.9	1.84		4.49	0.5	8.26	1 091	93.8	3.9	7 192	51.7	285
9		绿泥石片岩	143	1 900	9.05	283	11.7	1.47	10.3	1.47	19.2	1 071	180	5.9	13 600	45.3	118
10	白 山 组 (C ₁)	蚀变辉绿岩	133	1 600	6.1	171	6.4	1.27	9.22	1.98	17.2	1 280	142	4.6	14 300	43.4	51.9
11		英安岩	140	11 041	30	255	10.8	2.90	9.7	0.81	62.6	500	255	7.4	1 679	10	2.02
12		英安质岩屑凝灰岩	290	5 297	28.1	332	4.4	2.2	5.65	0.5	35.3	2 100	130	3.79	7 194	0	46.7
13		流纹岩	90.4	31 300	143	696	13.1	2.2	9.92	0.5	41.9	154	94.8	3.26	1 180	3.03	<1
14	英安岩	英安岩	145	11 622	83.9	511	13.1		10.7	0.86	62.6	502	155	5.15	2 937	11.2	21.1
15		流纹岩	60.4	20 338	147	684	13.8		12.6	1.18	64.9	305	205	6.82	1 259	9.44	57.8
16		英安岩	397	9 961	73.5	987	12.3		7.88	0.96	41.7	371	138	4.89	1 558	5.42	29.6

注:资料来源:1:25万红石山幅区域地质调查报告,甘肃地调院,2001。

表 5 晚古生代中酸性侵入岩岩石化学成分数据
Tab. 5 Chemical analysis data in the Late Paleozoic acid intrusive rocks

序号	原样号	产地	岩石名称	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	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	CO ₂	总计
1	3PJYQ-4	狼 娃 山 序 列	二长花岗岩	69.05	0.44	13.0	2.02	1.35	0.04	2.08	3.05	3.1	3.2	0.2	1.64	0.08	0.84	100.09
2	F2		二长花岗岩	72.73	0.24	13.95	0.99	1.26	0.08	0.59	1.66	3.4	5.1	0.05	0.04		3.93	104.02
3	FI56		花岗闪长岩	75.77	0.21	13.41	0.44	0.4	0.05	0.24	1.28	4.32	3.93	0.04				100.06
4	3PJYQ-3		闪长质岩体	49.3	0.82	12.94	9.88	3.29	0.22	9.25	9.96	1.8	0.12	0.16	1.33	0.11		99.18
5	3PJYQ-1		花岗闪长岩	65.55	0.4	14.1	2.53	2.2	0.09	2.08	3.82	3.06	2.38	0.14	2.02	0.09		98.46
6	3PJYQ-2		花岗闪长岩	65.84	0.38	15.12	2.22	2.24	0.06	1.71	4.48	4.17	1.28	0.17	0.92	0.08		98.67
7	3PI7YQ-3	明 水 序 列	二长花岗岩	77.75	0	12.5	0.33	0.2	0.02	0.22	0.3	3.8	4.1	0.08	0.36	0.09	0.72	100.47
8	3PI9YQ-2		二长花岗岩	75.83	0.09	12.87	0.66	0.40	0.02	0.66	0.3	3.2	5.3	0.08	0.46	0.04	0.28	100.19
9	3YQ626-1		糜棱岩二长花岗岩	76.16	0.15	12.31	0.85	0.85	0.01	0.88	0.3	2.9	4.9	0.12	0.38	0.07	0.34	100.22
10	33YQ627-1		斑状二长花岗岩	74.74	0.24	12.69	0.55	1.05	0.02	1.92	0.38	2.8	4.2	0.15	0.48	0.11	0.52	79.85
11	3PI7YQ-1	大 石 山 序 列	片麻状花岗闪长岩	75.07	0.15	12.14	0.76	0.75	0.02	2.14	0.38	2.9	4.1	0.12	0.54	0.11	0.98	100.16
12	3PgYQ-1		角闪花岗岩	76.38	0.08	12.27	0.43	1.74	0.02	0.1	0.01	3.91	4.59	0.1	0.2	0.07		99.9
13	3PgYQ-2		角闪花岗岩	78.38	0.1	12.18	0.26	1.70	0.02	0.06	0.13	3.74	4.18	0.1	0.33	0.06		101.24
14	3PIYQ-1		二长花岗岩	74.22	0.16	13.37	0.94	1.02	0.01	0.05	0.23	3.58	4.02	0.08	0.71	0.02		98.44
15	3YQ2106-1		二长花岗岩	75.16	0.15	12.66	0.54	1.45	0.02	0.15	0.99	3.4	4.4	0.16	0.48	0.12	0.28	99.96

注:资料来源:1:25 万红石山幅区域地质调查报告,甘肃地调院,2001。

表 6 晚古生代中酸性侵入岩石稀土元素分析数据

Tab. 6 REE contents for the Late Paleozoic acid intrusive rocks

序号	地 层	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ
1	狼 娃 山 系 列	二长花岗岩	22.1	34.9	3.86	15	3.21	0.74	2.75	0.47	2.89	0.55	2	0.3	2	0.33	14.7	105.8
2		二长花岗岩	35.54	73.84	7.43	23.82	3.94	0.78	3.07	0.37	2.41	0.51	1.33					152.5
3		花岗闪长岩	27.75	49.86	4.86	15.36	2.79	0.74	2.43	0.38	2.54	0.58	1.51					108.8
4		花岗闪长岩	22.4	36.6	3.7	15	3.38	0.81	2.93	0.5	3.4	0.69	2.06	0.32	2.07	0.30	15.5	109.7
5		花岗闪长岩	20.2	39.2	5.55	23.3	5.07	1.27	4.64	0.68	4.71	0.86	2.51	0.36	2.04	0.27	18.6	129.3
6	明 水 系 列	二长花岗岩岩	9.06	17.2	2.07	8.72	3.26	0.12	3.95	1.02	7.28	1.64	5.35	0.84	5.36	0.79	42.3	109
7		二长花岗岩	11	19.7	2.66	9.46	3.12	0.33	3.45	0.72	5.4	1.16	3.68	0.66	4.51	0.7	31.1	97.65
8		糜棱岩二长花岗岩	80.1	127	12.5	48.6	9.33	0.72	6.66	1.02	6.45	1.42	4.32	0.68	4.09	0.62	30.9	334.4
9		斑状二长花岗岩	52.5	81.1	7.9	27.5	5.04	0.71	3.52	0.57	2.92	0.61	1.62	0.25	1.50	0.24	13.6	198.8
10		片麻状花岗闪长岩	44.7	68.3	6.38	24.1	4.78	0.65	3.23	0.45	2.6	0.52	1.43	0.2	1.34	0.22	11.4	170.3
11	大 石 山 序 列	角闪花岗岩	16.6	32.6	3.66	14.3	3.73	0.14	3.7	0.8	5.79	1.15	3.77	0.58	3.94	0.56	28.7	120
12		角闪花岗岩	23.1	39.4	3.72	16	3.23	0.33	3	0.56	3.8	0.78	2.34	0.37	2.34	0.34	17.6	116.9
13		二长花岗岩	17.9	30.3	13.37	13.1	3.27	0.65	2.93	0.63	4.06	0.85	2.9	0.44	2.59	0.37	18.8	102.2
14		二长花岗岩	26	43.1	3.69	13.3	2.13	0.41	1.75	0.28	1.52	0.32	0.84	0.1	0.98	0.17	7.44	102

注:资料来源:1:25 万红石山幅区域地质调查报告,甘肃地质院,2001。

表 7 晚古生代中酸性侵入岩岩石微量元素分析数据
Tab. 7 Analytic result of trace elements for the Late Paleozoic acid intrusive rocks

序号	地 层	岩石名称	Sr	K	Rb	Ba	Th	U	Nb	Ta	Ce	P ₂ O ₅	Zr	Hf	Ti	Sc	Cr
1	狼 娃 山 系 列	二长花岗岩	286	13 282	120	506	13.8		7	0.86	34.9	436	81.4	2.83	2 637	11.4	61
2		二长花岗岩	177	21 168	17.0	699			10.24		73.84	500	142.6		2 400		6.63
3		花岗闪长岩	65	16 312	80	414	7.73		25.37		49.86	400	46.54		2 100		5.73
4		花岗闪长岩	254	28 100	124	706	11.1		9.6	1.27	36.6	457	107	3.44	3 080	107	16.8
5		花岗闪长岩	390	12 500	87.3	404	6.21		4.95	1.24	39.2	810	179	5.59	4 160	9.92	39.6
6	明 水 系 列	二长花岗岩岩	13.4	17 017	252	72.8	13.3		14.4	2.24	17.2	175	39.7	1.78	0	4.83	41.6
7		二长花岗岩	68.6	21 998	257	118	14.1		10.4	2.39	19.7	175	37.3	1.56	539	4.22	11.3
8		糜棱岩二长花岗岩	87	20 338	157	664	24.2		11.5	1.62	127	262	139	5.43	899	6.03	39.8
9		斑状二长花岗岩	260	17 432	183	550	39.4		13.8	1.42	81.1	327	139	4.71	1438	5.63	65.2
10		片麻状花岗闪长岩	279	17 017	165	555	30.8		11.5	1.49	68.3	262	119	4.09	899	4.61	15.7
11	大 石 山 序 列	角闪花岗岩	13.5	34 900	171	209	10.8		7.39	0.79	32.6	73.4	122	4.49	518	1.98	1.85
12		角闪花岗岩	46.5	32 400	143	537	11		5.71	0.89	39.4	99	63.6	2.07	808	1.77	<1
13		二长花岗岩	94.8	32 600	133	461	10.8		7.67	1.4	30.3	254	113	3.86	1210	2.98	<1
14		二长花岗岩	108	18 262	201	372	23.1		7.73	1.02	43.1	349	7.14	2.42	899	3.53	9.2

注：资料来源：1：25 万红石山幅区域地质调查报告，甘肃地调院，2001。

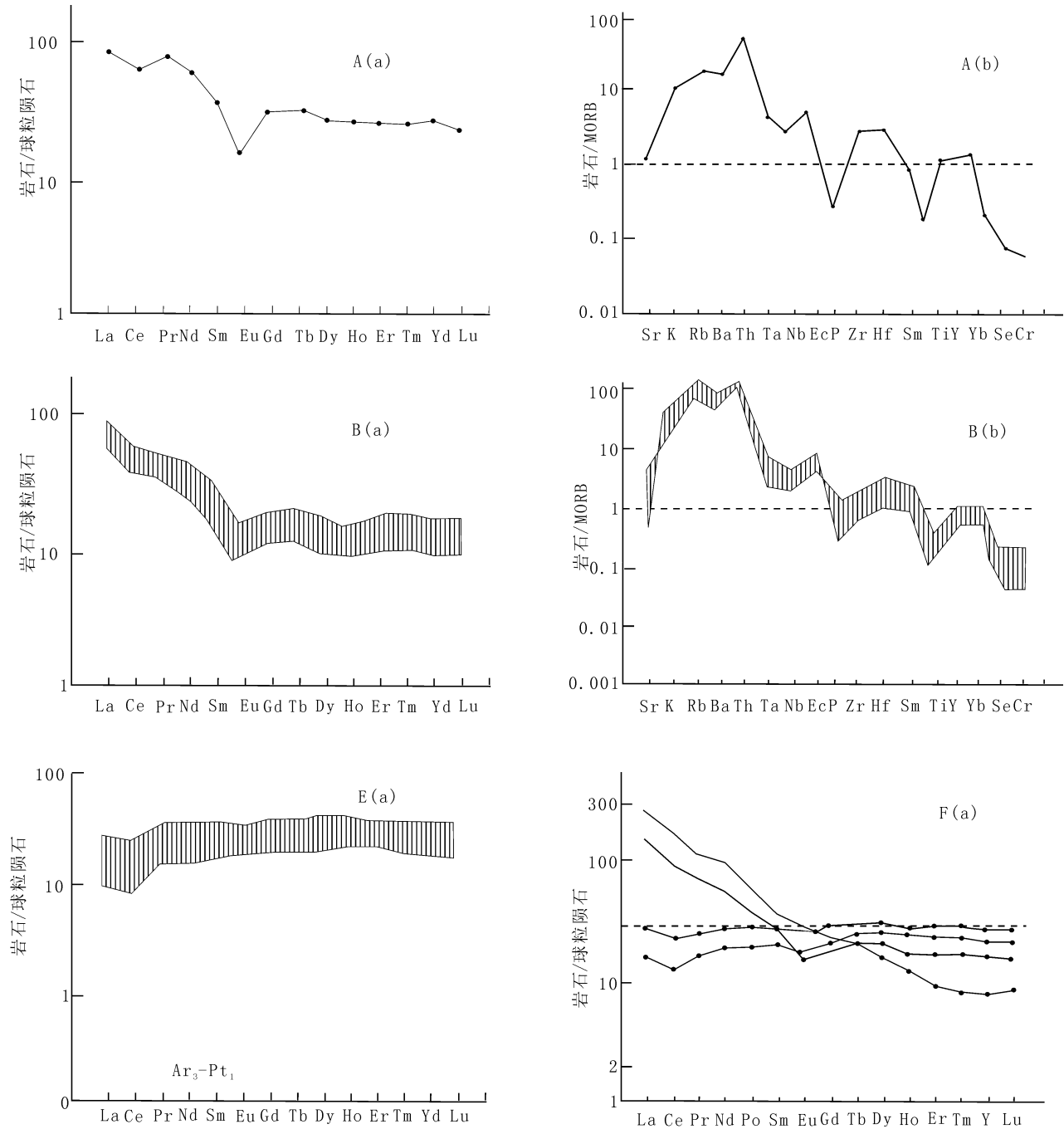


图 3 甘肃北山红石山地区早石炭世扫子山群、白山组火山岩 REE 分配模式 (a) 和微量元素蛛网图 (b)

Fig. 3 REE distribution patterns (a) and trace element spider diagrams (b) for the Early Carboniferous Sanyashan Group, Baishanzu volcanic from Beishan, Gansu province

A. 扫子山群上段英安岩; B. 白山组英安岩、流纹岩; E. 扫子山群下段玄武岩; F. 小红山片麻岩套变火山岩

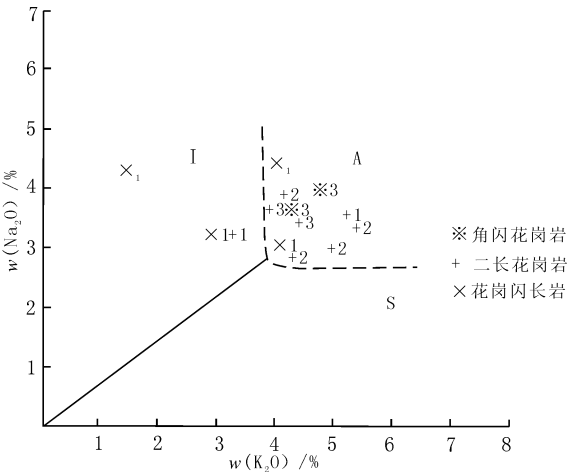


图 4 中酸性侵入岩岩石 N_2O-K_2O 图 (据 Irvine, 1971)

Fig. 4 Variation of N_2O-K_2O for the acid intrusive rocks

1. 狼娃山序列; 2. 明水山序列; 3. 大石山序列

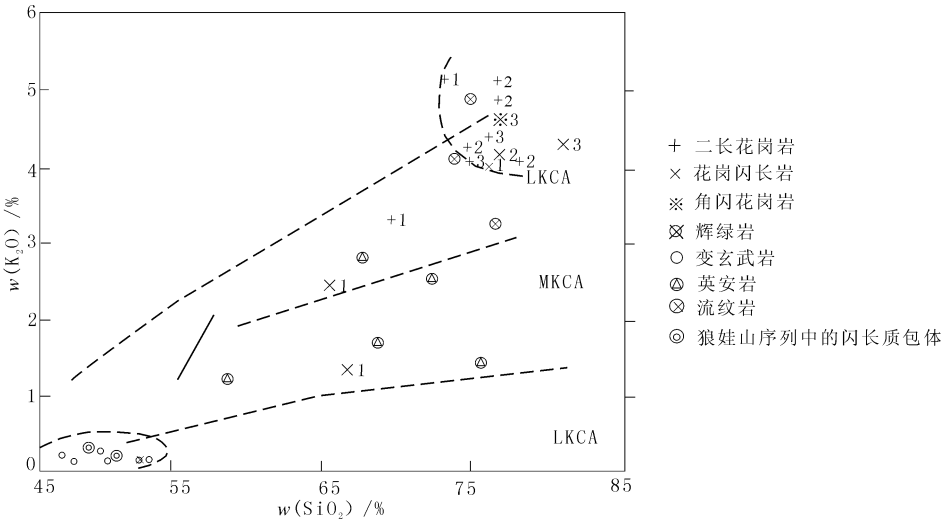


图 5 中酸性火山岩 SiO_2-K_2O 图 (据 Rober et al., 1993)

Fig. 5 Variation of SiO_2-K_2O for the acid volcanic rocks

1. 狼娃山序列 (P); 2. 明水山序列 (C_2); 3. 大石山序列 (P_2)

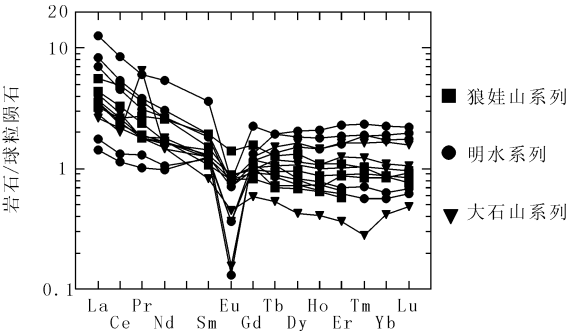


图 6 中酸性侵入岩岩石 REE 分配模式

Fig. 6 REE patterns for the acid intrusive rocks

力学关系密切”，并提出“因弧后扩张极可能引起消减带中俯冲下降的板块对软流圈的黏性拖曳作用 (Tokson et al, 1977)，造成岛弧后方的地幔楔中发生补充性对流循环，导致地幔上隆，引起弧后扩张”。另一方面，在石炭—二叠纪时段，不仅是古亚洲大洋最终消之闭合的重要时段，也是天山（中型）大陆裂谷发育的鼎盛时期。这样包括扫子山和白山组的火山岩，以及红石山、黄山、四顶黑山、蓬勃山一带的基性-超基性岩，狼娃山、明水和大石山为中酸性侵入岩，都应当是这一大陆裂谷体制或天山（中亚）大火成岩省岩浆作用事件的总体相

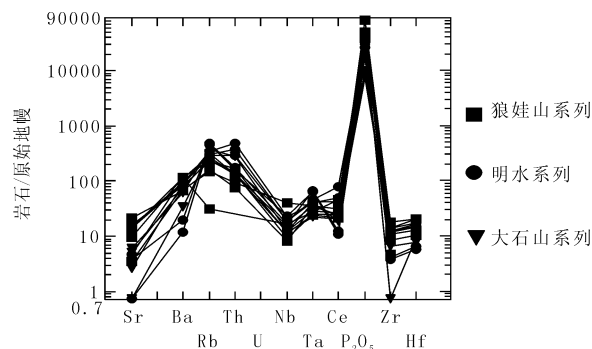


图7 小红山片麻岩套 (Ar_3 — Pt_1) 变火山岩和
早石炭世火山岩微量元素蛛网图

Fig. 7 Trace element spider diagrams for the
Early Carboniferous volcanic rocks and Gneiss
units in Xiaohongshan variable rocks

应。而且,从某种意义上说,石炭—二叠纪天山或中亚裂谷型火山作用事件,在机制上同古亚洲大洋消之的动力学转变过程存在某些成因关系。

5 结论

(1) 依据岩体的岩石类型组合、相带产出关系、纯橄岩离析体的发育、岩体内部流动构造、晚期多种岩脉和铬铁矿矿化类型等,岩体应具岩浆成因的属性,是一个滞后于火山-沉积作用的岩浆侵入体。

(2) 从稀土元素、微量元素特征上可看出,红石山岩体是源于深部陆壳岩石局部熔融的产物,而不是地幔橄榄岩部分熔融的洋壳类型的火山熔岩类。而且还揭示,红石山地区深部应有硅铝质地壳的存在。

(3) 依据红石山变基性火山岩类的拉斑和低钙碱性特征,红石山基性-超基性岩体的火山沉积建造是一种壳幔双层岩浆源区成因模型,与大陆裂谷环境的双峰式火山岩组合特征相似,是一种与古亚洲大洋消之过程密切相关而发生在弧后盆地内的大陆裂谷环境地幔岩浆作用产物,而不是蛇绿岩类型的地幔变质橄榄岩残块。

参考文献 (References):

刘雪亚. 甘肃北山地区钙碱性系列岩浆活动与板块构造关

系[J]. 中国地质科学院报, 1984, 10: 151-164.

Liu Xueya. Magmatism of calc-alkaline series in the Beishan region of Gansu Province and its relation to plate tectonics [J]. Institute of Geology, 1984, 10: 151-164.

赵茹石, 周振环, 毛金海, 等. 甘肃省板块构造单元划分及其构造演化[J]. 中国区域地质, 1994, 1: 28-36.

Zhao Rushi, Zhou Zhenhuan, Mao Jinhai, et al. Plate-tectonic units and tectonic Evolution in Gansu [J]. Regional geology of China, 1994, 1: 28-36.

方国庆. 东天山古生代板块构造特点及其演化模式[J]. 甘肃地质学报, 1991, 3 (1): 34-40.

Fang Guoqing. Paleozoic plate tectonics of Eastern Tianshan Mountains Xinjiang Ahina [J]. Lanzhou Institute of Geology, 1994, 3 (1): 34-40.

杨兴科, 陶洪祥, 罗桂昌, 等. 东天山板块构造基本特征[J]. 新疆地质, 1996, 14 (3): 221-227.

Yang Xingke, Tao Hongxiang, Luo Guichang, et al. Basic features of plate tectonics in East Tianshan of China [J]. Xinjiang Geology, 1996, 14 (3): 221-227.

何世平, 任秉琛, 姚文光. 甘肃北山地区构造单元划分[J]. 西北地质, 2002, 35 (4): 30-40.

He Shiping, Ren Bingshen, Yao Wenguang, et al. The division of tectonic units of Beishan area, Gansu-inner Mongolia [J]. Northwestern Geology, 2002, 35 (4): 30-40.

何世平, 周会武, 任秉琛, 等. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J]. 西北地质, 2005, 38 (3): 6-15.

He Shiping, Zhou Huiwu, Ren Bingchen, et al. Crustal evolution of palaeozoic in Beishan area Gansu and inner Mongolia [J]. Northwestern Geology, 2005, 38 (3): 6-15.

龚全胜, 刘明强, 梁明宏. 北山造山带大地构造相及构造演化[J]. 西北地质, 2003, 36 (1): 11-17.

Gong Quansheng, Liu Mingqiang, Liang Minghong. The tectonic facies and tectonic evolution of Beishan orogenic belt, Gansu [J]. Northwestern Geology, 2003, 36 (1): 11-17.

周济元, 崔炳学, 肖忠良, 等. 甘肃北山东断裂谷演化及金成矿规律[J]. 火山地质与矿产, 2000, 21 (1): 7-9.

Zhou Jiyun, Cui Bingfang, Xiao Huiliang, et al. The rift evolution and Au Ore-forming regular in East part of Beishan, Gansu [J]. Volcanology & Mineral resources, 2000, 21 (1): 7-9.

左国朝, 张淑玲, 何国琦, 等. 北山地区早古生代板块构

- 造特征[J]. 地质科学, 1990, (4): 305-314.
- Zuo Guochao, Zhang Shuling, He Guoqi, et al. Early paleozoic plate tectonics in Beishan area [J]. Chinese Journal of Geology, 1990, (4): 305-314.
- 张旗, 钱青. 蛇绿岩岩石组合及洋脊下岩浆作用[J]. 岩石矿物学杂志, 2000, 19 (1): 1-7.
- Zhang Qi, Qian Qing. Rock assemblages of Ophiolites and Magmatism beneath Oceanic Ridges [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2000, 19 (1): 1-7.
- 魏志军, 黄增宝, 金霞, 等. 甘肃红石山地区蛇绿混杂岩地质特征[J]. 西北地质, 2004, 37 (1): 14-18.
- Wei Zhijun, Huang Zengbao, JIN Xia, et al. Geological characteristics of ophiolite migmatitic complex of Hongshishan region, Gansu [J]. Northwestern Geology, 2004, 37 (1): 14-18.
- 邱家骧. 开合构造与岩浆作用[J]. 地质通报, 2004, 23 (3): 222-231.
- Qiu Jiaxiang. Opening-closing tectonics and magmatic activity [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (3): 222-231.
- 王焰, 钱青, 刘良, 等. 不同构造环境中双峰式火山岩的主要特征[J]. 岩石学报, 2000, 2: 26-30.
- Wang Yan, Qian Qing, Liu Liang, et al. Major geochemical characteristics of bimodal volcanic rocks in different geochemical environments [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 2: 26-30.
- 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 北祁连山构造-火山岩浆-成矿动力学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2001.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang, et al. North qilian tectonics and volcanic magma evolution dynamics [M]. China University of Geosciences Press, Beijing, 2001.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山岩浆作用[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2007.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Tianshan magmatism [M]. China University of Geosciences Press, Beijing, 2007.
- 谢春林, 杨建国, 王立社, 等. 甘肃北山地区古亚洲南缘古生代岛弧带位置的讨论[J]. 地质学报, 2009, 83 (11): 1584-1600.
- Xie Chunlin, Yang Jianguo, Wang Lishe, et al. Adopted the southern island of discussion with position Paleozoic of Beishan area, Gansu [J]. Geological Journals, 2009, 83 (11): 1584-1600.
- Pearce J A, Lippard S J, Robert S. Characteristics and tectonic Significance of supra-Aubduction zone ophiolito [M]. in: Marginal basin geology. GS lond. spe. pub, 1984, 16: 77-94.
- Caleman R G. Pphiolites, Ancient oceanic Lithosphere [M]. Springer-Verlag Berlia Heiddberg, New York, 1977.
- Sun et S S. et al. Chemical and Tsotopic systematics of the Kunlun Mountains in China and tectonic implications [J]. Tectonophysics, 1996, 258: 215-231.
- Irvine T N, Baragar W R A. A Guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. Canadian Journal of Earth sciences, 1971, 8: 523-548.
- Pitcher W S. The nature and Origin of granite, champman & Hall [M]. London, 1993.
- Nicholls J & Carmicheal I S E. The equilibration temperature and pressure of various lava type with spinel and garnet peridatite [M]. Am. Miner, 1972, 57: 941-959.