

甘肃北山造山带红石山地区正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值 花岗质岩石的成因及地质意义

刘明强¹, 王建军¹, 代文军², 党引业²

LIU Mingqiang¹, WANG Jianjun¹, DAI Wenjun², DANG Yinye²

1. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000;

2. 甘肃省地勘局第三地质矿产勘查院, 甘肃 兰州 730050

1. *Gansu Institute of Geological Survey, Lanzhou 730000, Gansu, China;*

2. *Third Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730050, Gansu, China*

摘要:在1:5万红岭幅等3幅区域地质调查中,对晚古生代中酸性侵入岩和火山岩的Sm-Nd同位素研究表明,这些不同时代、不同类型的岩石,均表现出高的正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和较低的 T_{DM} 值,而且变化范围很小,揭示该区花岗质岩石的源岩同位素成分均一,且主要来源于地幔。正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值花岗质岩石的存在,可能对研究大陆地壳生长具有重要意义。

关键词:Sm-Nd同位素;正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值;花岗质岩石;大陆地壳生长;北山造山带,甘肃

中图分类号:P588.12⁺¹

文献标识码:A

文章编号:1671-2552(2005)09-0831-06

Liu M Q, Wang J J, Dai W J, Dang Y Y. Genesis and geological significance of positive $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ granitoids in the Hongshishan area in the Beishan orogenic belt, Gansu, China. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(9):831-836

Abstract: In regional geological surveys of the 1:50000 Hongling sheet and other two sheets in Hongshishan area of the Beishan orogenic belt, the authors carried out Sm-Nd isotope study of Late Paleozoic intermediate-acid intrusive and volcanic rocks. Study shows that these rocks of different ages and types exhibit higher positive $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values and lower T_{DM} values and that these values have very narrow ranges. The data reveal that the source rocks of the granitoids in the study area have a homogeneous isotopic composition and were derived from the mantle. The existence of the granitoids with positive $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values may have great significance for the study of the growth of continental crust.

Key words: Sm-Nd isotopes; positive $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$; granitoids; growth of continental crustal; Beishan orogenic belt; Gansu

一般认为,大陆地壳生长主要发生在早前寒武纪,主要标志是太古宙TTG岩系和元古宙花岗质岩石具有正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值。近年来对兴蒙造山带古生代—中生代花岗岩的Sm-Nd同位素研究发现,这些花岗岩与世界各地一般显生宙地壳来源的具有负 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值的花岗岩不同,其组成物质主要来源于地幔^[1-3]。对东北地区显生宙花岗岩年轻的Nd模式年龄($t_{\text{DM}} < 1000$ Ma)的分析表明,地质历史上的新元古代—显生宙也是地壳增生的重要时期,其中,垂向增生是地壳生长的重要机制^[4]。研究认为,在中国北方的新疆、内蒙古至东北地区,

造山后花岗岩极为发育,这些花岗岩具有十分独特的地质和地球化学特点,反映出其与构造演化和地壳增生的特有关系,在全球地球动力学研究中有着十分重要的意义^[4-5]。笔者在1:5万红岭幅等3幅区调项目调研中,发现研究区的花岗质岩石均表现出高的正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和较低的 T_{DM} 值,是否隐含着在晚古生代时期该区曾发生过较大规模的地壳生长?

1 地质概况

兴蒙造山带位于西伯利亚与中朝—塔里木地台之间,属

收稿日期:2005-03-07;修订日期:2005-05-18

地调项目:中国地质调查局《1:5万红岭幅等3幅区域地质调查》项目(编码:200113000057)部分成果。

作者简介:刘明强(1967—),男,高级工程师,从事区域地质调查工作。E-mail: lmq1967@126.com

于巨型中亚造山带的东端。作为中亚造山带形成背景的古亚洲洋,大约在900 Ma前开始扩张,大规模扩张在750~700 Ma期间,700~600 Ma达到扩张高峰期^[2,6]。其间还经历若干微陆块之间、微陆块与南北大陆之间的碰撞,直至石炭纪最终闭合,其间呈现出多岛洋的构造格局^[2]。研究区位于北山造山带北部红石山缝合带北侧(图1),处于甘肃省北端中蒙边境一带,属兴蒙造山带的组成部分。

区域资料表明^[20],晚古生代时期本区发育大规模的中酸性火山岩和侵入岩,构成壮观的岛弧构造岩浆岩带^①,这些岩浆岩多为岛弧钙碱性系列的中酸性侵入岩。按时代可划分为华力西期花岗岩和印支期花岗岩。笔者在1:5万红岭幅等3幅区调项目调研过程中,发现研究区内的晚古生代中酸性侵入岩和火山岩普遍具有正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,说明这些岩石可能来源于地幔。这类岩浆活动可能对大陆地壳生长有重要意义。

研究区在大地构造上位于红石山缝合带北侧哈萨克斯坦板块南缘(图1),为野马泉-雀儿山岛弧带。主要由零星出露的前奥陶纪地层^[7]、奥陶系咸水湖组、泥盆系雀儿山群、石炭系扫子山组、二叠系双堡塘组、第四系及晚古生代中酸性侵入岩组成。前奥陶纪地层变质程度达低角闪岩相—高绿片岩相,并发育多期构造变形,原岩恢复表明其岩石组合为沉积碎屑岩—火山岩建造;火山岩为钙碱性系列,主量元素、微量元素构造环境判别显示该地层中的火山岩构造环境类似于岛弧或活动大陆边缘大地构造环境;被断层围陷或被晚期花岗岩体吞蚀,呈残块形式分布。咸水湖组为一套浅变质的沉积碎屑岩及火山岩组合。雀儿山群和扫子山组为一套火山—沉积建造,形成于岛弧构造环境,火山岩为岛弧钙碱性岩浆系列。双堡塘组为一套海相碎屑岩沉积,形成于裂陷槽或断陷盆地环境^②。

研究区侵入岩、火山岩的主量元素氧化物、微量元素和稀土元素分析数据见表1。

1.1 泥盆纪火山岩

泥盆纪火山岩以安山岩、英安岩、流纹岩为主,局部见少量玄武岩、安山玄武岩;其中沉积岩夹层的化石组合表明属早—中泥盆世^③。岩石里特曼指数(σ)介于2.24~3.93之间,属钙碱性岩系。基性火山岩的 SiO_2 含量为48.36%, Al_2O_3 含量为20.01%,明显偏高,属高铝玄武岩; FeO 、 MgO 、 CaO 含量相对较高,而 Fe_2O_3 含量较低; TiO_2 含量为1.16%,与现代火山弧玄武岩接近; $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}=3.92\%$,且 $\text{Na}_2\text{O}>\text{K}_2\text{O}$,属钠质类型。中性火山岩 SiO_2 含量为60.46%,属高硅安山岩类。酸性火山岩高硅、低钛、镁、铁含量低, $\text{Na}_2\text{O}>\text{K}_2\text{O}$ 。基性岩的 $\text{Th}/\text{Ta}=3.6$, $\text{La}/\text{Nb}=2.0$,均大于1.0,显示出岛弧玄武岩的特征; $\text{Ta}/\text{Yb}=0.27$,大于0.12,反映出活动大陆边缘的特征。火山岩稀土总量 ΣREE 介于 $65.08\times10^{-6}\sim196.69\times10^{-6}$ 之间,玄武岩 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值为1.85,安山岩为5.64,英安岩3.88,说明安山岩轻重稀土分

异最高,英安岩次之,玄武岩最弱,且其比值均大于1.0,表现出轻稀土富集的分异型稀土配分型式。火山岩稀土配分曲线表明(图2),从基性—中性—酸性,稀土元素具有递进演化的规律,Eu亏损逐渐增强。这表明火山岩具有同源性,是由同一原生岩浆分异演化而成的。在 $\log\sigma-\log\tau$ 图解上(图3),火山岩投影点集中分布在B区(造山带及岛弧火山岩区),表明晚古生代火山岩形成于岛弧和活动大陆边缘环境。

1.2 华力西中期基性—超基性杂岩

四顶黑山基性—超基性岩位于本区西北部,沿四顶黑山—双沟山深大断裂分布,该断裂带西延与黄山大断裂相连接。该岩体呈条带状产出,岩石类型主要为角闪辉长岩、辉长岩、角闪橄榄岩等,为铁质基性—超基性岩;稀土配分曲线(图2)为微向右倾斜的平缓曲线,Eu正异常明显,属轻稀土富集型,为拉张环境下沿断裂上侵形成的底辟式基性—超基性岩体。辉长岩中获得 $\delta^{18}\text{O}$ 值为5.2‰,接近于洋岛玄武岩的 $\delta^{18}\text{O}$ (5.4‰),显示物来自地幔的特点;在辉长岩中获得Sm—Nd全岩等时线年龄为 $327\text{ Ma}\pm9\text{ Ma}$ (宜昌地质矿产研究所测试),其时代应为华力西中期^④。

1.3 华力西晚期花岗岩

华力西期花岗岩体分布于研究区北部及东部,多呈不规则状、近东西向带状展布,岩石类型多样,主要岩石类型为石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩,次为闪长岩、英云闪长岩、钾长花岗岩。干河梁南岩体侵入于前奥陶系、石炭系扫子山组等地层,岩体平面上呈近椭圆形同心环状,从边部到中心具有从偏基性到偏酸性的演化趋势,具同源岩浆演化的特点;岩石属偏铝质—过铝质钙碱性系列,稀土配分曲线(图2)向右倾斜,属轻稀土富集型,具有明显的Eu负异常;成因类型为I型与S型过渡类型。边部英云闪长岩普遍发育片麻理, $\delta^{18}\text{O}$ 值为5.3‰,为Taylor分类的低 $\delta^{18}\text{O}$,显示物质来源于地幔。在该岩体的黑云母二长花岗岩中获得单颗粒锆石U—Pb年龄值为 $263.5\text{ Ma}\pm4.7\text{ Ma}$ (天津地质矿产研究所测试),其时代应为华力西晚期^⑤。

1.4 印支期花岗岩

印支期花岗岩体分布于研究区中西部,侵入泥盆系雀儿山群、石炭系扫子山组等地层中。平面上呈近同心圆状套叠式展布,从边部到中心具有从偏基性到偏酸性的演化趋势,表现为同源岩浆演化的特征;主要岩石类型为花岗闪长岩、二长花岗岩,次为石英闪长岩、钾长花岗岩,晚期岩石单元中出现白云母(5%)。岩石属偏铝质—过铝质钙碱性系列,部分为强过铝质岩石;稀土配分曲线(图2)向右倾斜,Eu正负异常明显,属轻稀土富集型。成因类型为I型与S型过渡类型,以S型为主。在斑状角闪黑云母花岗闪长岩中获得单颗粒锆石U—Pb年龄为 $237.8\text{ Ma}\pm4.3\text{ Ma}$ (天津地质矿产研究所测试,另文发表),其地质时代为印支早期^⑥。

① 甘肃省地质调查院.1:5万红岭幅、阿勒腾阔尔梗兑乌勒幅、双沟山幅3幅区域地质调查报告.2004.

② 甘肃省地质局.1:20万明水幅区域地质调查报告(地质部分).1969.

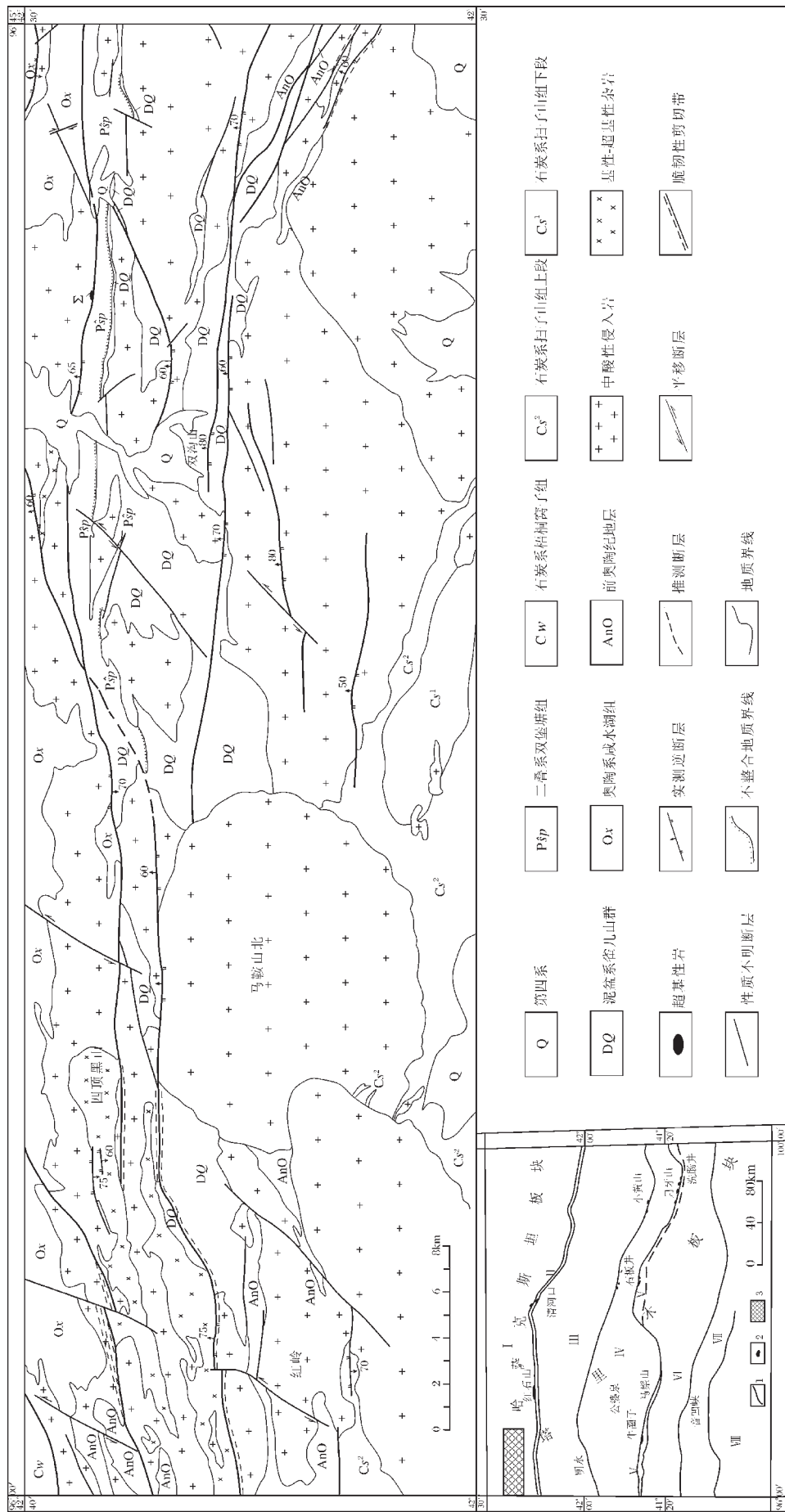


图1 红岭地区地质构造简图(大地构造位置图据参考文献[8]简化)

Fig.1 Tectonic sketch map of Hongling area

1—深大断裂;2—蛇绿混杂岩;3—研究区位置;I—野马泉-雀儿山古生代岩浆弧;II—红石山晚古生代蛇绿构造混杂岩带;III—白山-狼娃山晚古生代岩浆弧;IV—马鬃山早古生代岩浆弧;V—牛圈子-洗肠井早古生代弧后盆地;VI—双鹰山早古生代被动陆缘;VII—红柳园古生代裂谷;VIII—敦煌地块

表1 红石山以北地区晚古生代岩浆岩主量元素、微量元素和稀土元素分析数据

Table 1 Whole-rock analyses of major element, trace element and REE of Late Paleozoic magmatic rocks in the Hongshishan area

地质时代	泥盆纪			华力西中期			华力西晚期	印支期	
岩石类型	变安山岩	英安岩	变质玄武岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	英云闪长岩	二长花岗岩	二长花岗岩
样品代号	GS-9	GS-23	GS-25	GS-2	GS-42	GS-43	GS-63	GS-47	GS-61
SiO ₂	60.46	70.26	48.36	44.64	45.0	43.56	65.3	70.96	72.66
TiO ₂	1.0	0.72	1.16	0.19	0.35	0.15	0.44	0.36	0.27
Al ₂ O ₃	16.17	13.59	20.01	26.34	17.24	21.33	15.75	14.05	13.83
Fe ₂ O ₃	1.98	1.91	2.52	1.65	1.34	0.8	1.22	0.38	0.59
FeO	4.53	2.12	4.86	3.50	4.46	4.76	3.21	2.05	1.8
MnO	0.15	0.11	0.13	0.08	1.1	0.95	0.08	0.52	0.05
MgO	1.92	0.46	6.96	4.86	11.58	11.83	2.07	0.79	0.69
CaO	3.4	1.71	8.36	14.5	15.26	11.43	3.83	2.13	1.83
Na ₂ O	5.33	5.52	3.69	1.73	1.11	1.86	4.30	4.03	3.94
K ₂ O	2.95	2.3	0.23	0.09	0.13	0.21	1.81	3.33	3.72
P ₂ O ₅	0.38	0.13	0.15	0.03	0.03	0.03	0.15	0.1	0.11
Cr	13.3	15.8	84.2	140	1210	103	14.7	41.7	22.5
Ni	5	5.2	63.3	41.1	153	234	33.5	13.8	6.5
Co	22	5.0	35.6	37.5	36.4	39.5	8.7	7.4	2.6
Sc	22	16	29	14	0	0	0	0	0
V	95	24	140	73	121	34.4	96.7	32.9	30.9
Sn	10	0.3	1.2	10	0.8	0.8	1.1	1.0	0.62
W	0.7	1.4	0.7	0.24	0.33	0.15	0.51	0.69	0.69
K	24489	19093	1909	747	6807	14112	32873	19259	1743
Rb	39	46	6.5	1.15	10	13.6	46.2	110	143
Cs	2.7	3.2	1.3	1.05	4.0	4.3	4.9	9.3	8.3
Ba	660	525	54	33	16.7	33.3	412	551	508
Sr	310	195	300	690	472	608	449	356	346
Li	13.7	10.1	17.9	4.35	3.67	5.87	12	25.4	60.8
Ta	1.2	0.73	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.95	0.5
Nb	6.7	6.9	2.5	1.20	1.00	1.00	2.75	7.58	7.48
Hf	4.4	6.1	3.4	1.50	0.70	0.72	2.54	3.97	3.71
Zr	150	230	120	38	19.6	18.7	82.1	123	118
Ti	5995	4316	6954	1139	13189	7194	2218	2458	899
Th	5.5	4.3	1.8	0.6	1.33	1.0	4.07	12.6	14.2
U	1.3	2.1	2.3	1.0	1.3	2.0	1.00	1.33	4.0
La	30.7	19.7	4.99	1.69	2.88	2.52	17.7	29.5	25.9
Ce	57.5	46.4	12.5	4.38	3.79	3.42	29.7	48.2	43
Pr	6.53	5.93	2.41	0.36	0.68	0.41	2.96	4.26	3.77
Nd	31.7	25.1	9.8	1.69	2.59	1.68	11.9	17.0	16.8
Sm	7.21	5.41	2.58	0.46	0.84	0.49	2.25	3.32	2.97
Eu	2.08	1.51	1.05	0.32	0.43	0.31	0.68	0.59	0.5
Gd	7.26	5.28	3.34	0.56	1.03	0.61	2.22	2.69	2.28
Tb	1.09	0.91	0.57	0.1	0.17	0.085	0.34	0.40	0.34
Dy	7.36	6.20	3.98	0.98	1.37	0.52	1.77	2.31	1.66
Ho	1.51	1.18	0.79	0.2	0.21	0.067	0.25	0.34	0.36
Er	3.92	3.58	2.03	0.57	0.7	0.2	0.88	1.15	1.06
Tm	0.61	0.56	0.30	0.09	0.1	0.03	0.13	0.18	0.16
Yb	3.67	3.42	1.82	0.66	0.52	0.16	0.8	1.16	0.86
Lu	0.55	0.49	0.29	0.078	0.069	0.029	0.11	0.15	0.17
Y	35	30	18.6	1.68	6.83	2.27	7.64	12.2	7.67

注:样品均由宜昌地质矿产研究所岩矿测试中心分析;主量元素含量%;微量和稀土元素含量10⁻⁶

2 Nd同位素特点

研究区泥盆系火山岩,华力西期和印支期花岗岩类岩石的Nd同位素分析结果见表2。文中涉及的有关符号和计算公

式如下^[9,10]:

$$T_{DM} = \frac{1}{\lambda} \ln \left\{ 1 + \frac{{}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd}_m - ({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_{DM} - [({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_m - ({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_c(e^{\lambda t} - 1)]}{({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_c - ({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_{DM}} \right\}$$

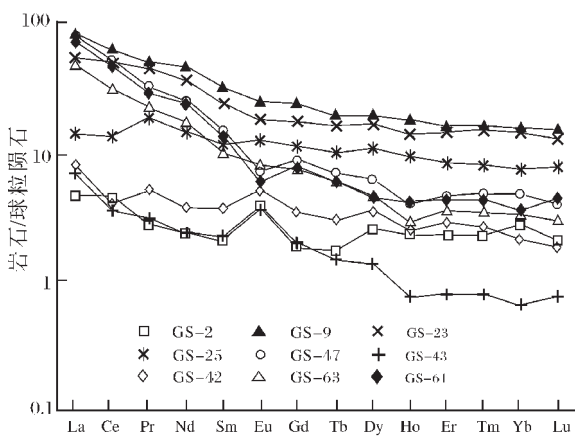


图2 研究区晚古生代岩浆岩稀土元素配分曲线

Fig.2 REE distribution patterns of Late Paleozoic magmatic rocks in the study area

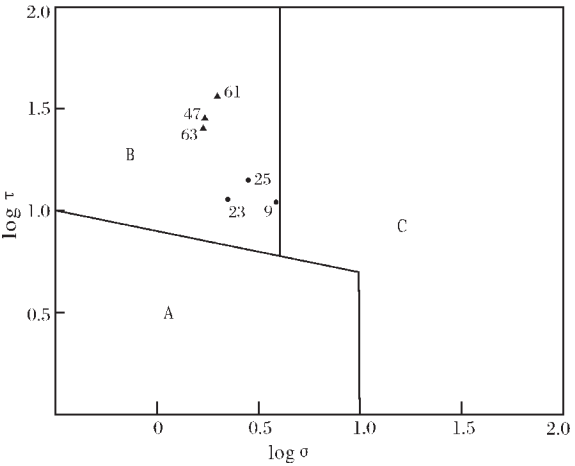


图3 研究区晚古生代岩浆岩logσ-logτ图解

Fig.3 logσ-logτ diagram of Late Paleozoic magmatic rocks in the study area

A—非造山区;B—造山带及岛弧区;C—A与B派生的偏碱性区

$$\epsilon_{\text{Nd}}(t) = [(F_{\text{Nd}})_m / (F_{\text{Nd}})_{\text{CHUR}} - 1] \times 10000$$

$$(F_{\text{Nd}})_m = ({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_m - ({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_m (e^{\lambda t} - 1)$$

$$(F_{\text{Nd}})_{\text{CHUR}} = 0.512638 - 0.1967 (e^{\lambda t} - 1)$$

式中下标m代表实测样品值,参考值如下, $({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.513151$, $({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.2136$, $({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_{\text{C}} = 0.118$, t 值分别以397 Ma(早—中泥盆世)、327 Ma(华力西中期)、264 Ma(华力西中晚期)、238 Ma(印支期)代入,衰变常数 $\lambda = 0.00654 \text{ Ga}^{-1}$ 。

从以上分析结果可以看出,该区火成岩中,不论是侵入岩还是火山岩,从基性到酸性均显示出 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 正值的特点;其 T_{DM} 大多分布在0.5~1.0 Ga之间,主要集中在0.6~0.8 Ga的范围内,这与古亚洲洋大规模的扩张时期及扩张高峰期相吻合,

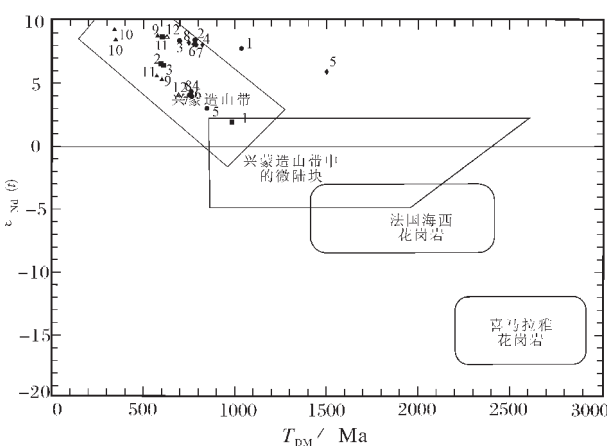


图4 红石山地区花岗质岩石 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值

与Nd模式年龄的关系图解(据参考文献[2])

Fig.4 Diagrams of $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ vs. T_{DM} of granites in the Hongshishan area

法国海西期花岗岩据参考文献[11,12],喜马拉雅花岗岩据参考文献[13];图中数字与表2中的序号相对应

说明该地区当时受古亚洲洋构造域的控制。它们的 T_{DM} 不仅比较年轻,而且相对集中,反映了本区晚古生代火山岩和侵入岩同位素的均一性。

泥盆纪火山岩的 ${}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd} = 0.1269 \sim 0.1626$, ${}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd} = 0.512559 \sim 0.512887$, $\epsilon_{\text{Nd}} = 2.00 \sim 6.59$; 安山岩 ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ 初始值为0.7039~0.7057^①,与上地幔现代玄武岩浆的范围(${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr} = 0.702 \sim 0.706$)基本一致,显示出亏损地幔的特征,说明其原始岩浆来源于上地幔。

该区花岗岩类和火山岩普遍显示正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和较低的 T_{DM} 值,而且变化范围很小,这些特点一方面反映了源岩同位素成分均一,另一方面也反映出古老地壳物质混染的影响很小。这些事实说明上地幔来源的年轻物质在花岗岩的来源中占有压倒优势,因而同世界其他地区地壳来源的花岗岩形成鲜明的对比。这些幔源花岗岩定位到陆壳中将必然导致陆壳的生长。

研究认为,兴蒙造山带中微陆块上的花岗岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值变化范围较大,普遍出现负值^[2],这取决于幔源岩浆被古老地壳物质混染的程度和地壳物质的时代。同世界上其他地区典型的壳源花岗岩相比,研究区的花岗质岩石表现为高正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(图4)和较低的 T_{DM} ,这说明在其生长过程中,地幔物质仍然起到了主导作用。

3 结论与讨论

大陆地壳的生长是地质学上最基本的科学问题之一,而大陆地壳生长是指幔源岩浆及其分异产物通过各种地质过程

① 甘肃省地质调查院.1:5万红岭幅、阿勒腾阔尔幅兑乌勒幅、双沟山幅3幅区域地质调查报告.2004.

表2 红石山地区火成岩Sm-Nd同位素特征

Table 2 Sm-Nd isotope features of igneous rocks in the Hongshishan area

序号	时代	样号	样品岩性	Sm /10 ⁻⁶	Nd /10 ⁻⁶	¹⁴⁷ Sm / ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd / ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd±2σ	<i>I</i> _{Nd} [']	<i>T</i> _{DM} /Ma	ε _{Nd} (<i>t</i>)
1	泥盆纪	Rh(01)j-1	蚀变英安岩	3.578	17.06	0.1269	0.512559	0.512559±0.000010	0.512229	981	2.00
2		Rh(01)j-3	安山玄武岩	3.625	13.49	0.1626	0.512887	0.512887±0.000012	0.512464	606	6.59
3		Rh(01)Nd5	安山岩	4.282	17.93	0.1445	0.512833	0.512833±0.000007	0.512457	618	6.46
4	华力西 中期	Rh(02)j8-2	辉长岩	0.3622	1.591	0.1377	0.512721	0.512721±0.000013	0.512426	753	4.09
5		Rh(02)j8-3	角闪橄榄岩	0.3191	1.125	0.1716	0.512733	0.512733±0.000016	0.512366	850	2.90
6		Rh(02)j8-4	角闪辉长岩	0.2555	1.192	0.1297	0.512696	0.512696±0.000016	0.512418	766	3.93
7		Rh(02)j8-5	辉长岩	0.616	2.819	0.1322	0.512708	0.512708±0.000013	0.512425	755	4.06
8		Rh(02)j8-6	辉长岩	0.5565	2.671	0.126	0.512694	0.512694±0.000017	0.512424	756	4.05
9	华力西 中晚期	Rh(01)Nd2	斜长花岗岩	2.42	13.06	0.1122	0.512766	0.152766±0.000009	0.512572	600	5.35
10		Rh(01)Nd4	花岗闪长岩	1.783	9.245	0.1167	0.512933	0.512933±0.000019	0.512731	345	8.46
11	华力西 晚期	Rh(01)Nd3	英云闪长岩	2.37	11.23	0.1277	0.512809	0.512809±0.000009	0.512588	571	5.67
12	印支期	Rh(01)Nd1	二长花岗岩	2.563	14.64	0.1059	0.512706	0.512706±0.000009	0.512541	680	4.09

注:样品由宜昌地质矿产研究所岩矿测试中心分析

添加到陆壳中导致陆壳面积和体积的增加^[9]。通过岩浆岩中Nd同位素的约束可以研究岩浆在成因过程中地幔来源和地壳来源的相对贡献。

本次调研中,在红石山地区的花岗质岩石中,不同时代、不同岩石类型,均表现出高的正ε_{Nd}(*t*)值和较低的*T*_{DM}值,表明了该区花岗质岩石的源岩同位素成分均一,成岩物质主要来源于地幔物质。这种具有年轻模式年龄的特点明显与其他造山带不同。典型的大别碰撞造山带,其造山后花岗岩的Nd模式年龄为1600~2300 Ma^[9]。研究认为,在晚于1000 Ma的新元古代到显生宙期间内,地壳生长量可以忽略不计^[10]。但红石山地区正ε_{Nd}(*t*)值花岗质岩石的存在,是否隐含着在晚古生代时期该区曾发生过较大规模的地壳生长?

总之,红石山地区存在正ε_{Nd}(*t*)值花岗质岩石,这为研究兴蒙造山带正ε_{Nd}(*t*)值花岗岩的成因和大陆地壳生长提供了新的资料。

致谢:在本文编写过程中,南京大学沈渭洲教授提出了具体修改意见,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

[1]肖庆辉,邓晋福,马大铨,等.花岗岩研究思维与方法[M].北京:地质出版社,2002.282-284.

[2]洪大卫,王式洸,谢锡林,等.兴蒙造山带正ε(Nd,*t*)值花岗岩的成因和大陆地壳生长[J].地学前缘,2000,7(2):441-456.

[3]邵济安,洪大卫,张履桥.内蒙古火成岩Sr-Nd同位素特征及成因[J].地质通报,2002,21(12):817-822.

[4]吴福元,孙德有,林强.东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳生长[J].岩石学报,1999,15(2):181-189.

[5]吴福元,江博明,林强.中国北方造山带后花岗岩的同位素特点与地壳生长[J].科学通报,1997,42:2188-2192.

[6]Dobretsov N L, Berzin N A, Buslov M M. Opening and tectonic evolution of the Paleo-Asian ocean[J]. International Geol. Rev.,1995, 37:335-360.

[7]刘明强,龚全胜,代文军,等.甘肃北山红石山以北地区前奥陶纪地层的发现[J].地质通报,2004,23(11):1160-1161.

[8]龚全胜,刘明强,李海林,等.甘肃北山造山带类型及基本特征[J].西北地质,2002,35(3):28-34.

[9]陆松年,杨春亮,蒋明媚,等.前寒武纪大陆地壳演化示踪[M].北京:地质出版社,1996.23-25.

[10]陈江峰,江博明.Nd,Sr,Pb同位素示踪和中国东南大陆地壳演化[A].见:郑永飞主编.化学地球动力学[M].北京:科学出版社,1999.262-287.

[11]Bernard Griffiths J, Peucat J J, Sheppard S, et al. Petrogenesis of Hercynian leucogranites from the southern Armorican Massif: contribution of REE and isotopic (Sr, Nd,Pb, and O) geochemical data to the study of source rock characteristics and ages [J]. Earth Planet Sci. Lett., 1985, 74:235-250.

[12]Downes H, Shaw A, Williamson B J, et al. Sr, Nd and Pb isotope geochemistry of the Hercynian granodiorites and monzogranites, Massif Central, France[J]. Chem. Geol., 1997,136:99-122.

[13]Vidal P, Bernard-Griffiths J, Cocherie A, et al. Geochemical comparison between Himalayan and Hercynian leucogranites[J]. Phys. Earth Planet Interiors, 1984,35:179-190.