

西秦岭东段秦岭大堡岩体地球化学特征 及地质构造意义

温志亮^{1,2}, 李普涛^{1,2}, 郭周平^{1,2}, 吴金刚³

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 甘肃省地质矿产勘查开发局第一地质矿产勘查院, 甘肃 天水 741020)

摘要:通过详细的野外调研,以及岩石学、同位素年龄、地球化学特征研究,将西秦岭东段天水地区原秦岭大堡花岗岩岩基进一步解体为加里东期百花岩体和印支期大堡岩体。百花岩体具I型花岗岩的地球化学特征,形成于岛弧构造环境。大堡岩体岩石化学以高酸度(平均为73.71%)、高碱度(8.50%~9.19%)、低铁镁为特征,次铝-过铝质岩石类型,属钙碱性-偏碱性系列; $\Sigma \text{REE} = 183.27 \times 10^{-6} \sim 267.05 \times 10^{-6}$,以轻稀土元素富集、明显的Eu负异常($\delta \text{Eu} = 0.27 \sim 0.63$)为特征; $(^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr})_0$ 介于0.7063~0.7077,氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 介于+9.12%~+9.86‰,属壳源花岗岩类,具S型花岗岩的特征,形成于后碰撞构造环境,与大陆抬升作用有关。

关键词:花岗岩岩基;地球化学;构造环境;西秦岭;大堡岩体

中图分类号:P595

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2017)01-0126-08

Geochemical Character and Tectonic Significance of the Qinling Dabu Granite Body in the Eastern Section of Western Qinling Mountains

WEN Zhiliang^{1,2}, LI Putao^{1,2}, GUO Zhouping^{1,2}, WU Jingang³

(1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. MLR Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. No. 1 Geology and Mineral Exploration Team, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration Development, Tianshui 741020, Gansu, China)

Abstract: After carrying out the detailed study on the petrology, isotope age, geochemistry of the Dabu granite batholith in Southeast Tianshui of Western Qinling Mountains, the original Dabugranite batholith has been further divided into Caledonian Baihua granite body and Indosinia Dabugranite body. The Baihua body has the character of I-type granite, which was formed in island-arc tectonic environment. The Dabu body is characterized by high Al_2O_3 (with an average of 73.71%) and $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (8.50%~9.19%) contents, as well as low $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ and MgO contents, which belong to peraluminous rocks and calc-alkaline-alkaline series. ΣREE values range from 183.27×10^{-6} to 267.05×10^{-6} , with enriched LREE and obvious negative Eu anomaly ($\delta \text{Eu} = 0.27 \sim 0.53$). The $(^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr})_0$ values vary from 0.7063 to 0.7077, the $\delta^{18}\text{O}$ val-

收稿日期: 2016-04-15 修回日期: 2016-10-20

基金项目: 中国地质调查局矿产地质调查项目“秦岭成矿带文康-风太地区地质矿产调查”(DD20160014)

作者简介: 温志亮(1964-),男,教授级高级工程师,主要从事矿产地质调查与地球化学研究工作。E-mail: wzhl2000@ sina.com

ues range from $+9.12\%$ to $+9.86\%$, showing the features of crust-derived granite and S-type granite, and suggesting that these granites were formed in post-collision tectonic environment and might be the products of continental uplift during the period of post-orogenics.

Keywords: granite batholiths; geochemical character; tectonic environment; Western Qinling Mountains; Dabu granite body

秦岭大堡岩体位于西秦岭东段的天水地区,处于祁连—北秦岭结合部位。该地区构造活动强烈,岩浆作用发育,分布有大量花岗岩类,形成了近东西向展布的构造岩浆岩带。60、70 年代的区域地质调查,主要是利用 K-Ar 同位素年龄,结合岩体的岩石学、岩相学等特征初步划分出了党川、火炎山、秦岭大堡等岩体,其成果主要为概括性总结,对花岗岩岩体的研究程度偏低。近年来地质调查工作取得了丰富的成果和认识,将该地区的侵入岩体进一步解体为百花岩体、熊山沟岩体、党川岩体、石门岩体、火炎山岩体、大堡岩体、仙坪岩体等,并从原党川岩体中解体出石门岩体。

笔者利用取得的最新成果和资料,对原秦岭大堡岩体通过详细的野外调研,以及岩石学、同位素年代学、岩石地球化学等综合研究,划分了岩体成因类型,探讨了形成的构造环境,提高了原秦岭大堡岩基的研究程度。其对研究该地区岩浆活动规律、建立构造岩浆事件、探讨地壳构造演化及祁连—北秦岭结合部位造山过程等有重要地质意义。

1 区域地质背景及概况

位于西秦岭东段的天水地区北邻华北地块,地处祁连造山带和秦岭造山带衔接、过渡、转换、交接部位。张维吉等(1994)认为北祁连造山带、北秦岭造山带早古生代地质体呈一个巨大的反“S”型构造相连。震旦—奥陶纪华北地块南缘的古秦岭地区由于陆缘裂陷形成南、北 2 个裂陷槽,北裂陷槽沉积了葫芦河群(Z-O)H、草滩沟群(OC),南裂陷槽沉积了李子园群(Z-O₃)L,早古生代该地区发育沟—弧—盆体系,大约在奥陶纪末由于加里东运动的影响扬子板块向北俯冲与华北板块对接使区内俯冲碰撞造山,导致北秦岭地区震旦—奥陶纪含蛇绿岩的有限洋盆封闭褶皱造山(裴先治等,2005),形成了祁连—北秦岭加里东褶皱带,板块的俯冲形成了火山弧花岗岩,板块的挤压碰撞形成了同碰撞花岗岩,泥盆纪

该地区进入板内演化阶段。三叠纪末期祁连—北秦岭结合部位的的天水地区由于受阿拉善、鄂尔多斯、扬子三大地块联合应力作用,天水地区产生了自南向北、自西向东的双向挤压收缩作用,使前印支期地质体均发生了同步反“S”型扭动及地壳叠覆碰撞造山,并形成了陆内断块间同碰撞陆壳重熔花岗岩的侵位。

研究区出露地层有古元古界秦岭岩群、中晚元古界宽坪岩群中深变质岩系,下古生界关子镇蛇绿岩、李子园群弧前盆地火山—沉积岩系,奥陶纪草滩沟群岛弧火山—沉积岩系等,各地层间均为断层接触。多期岩浆活动形成了加里东期的百花岩体、熊山沟岩体,华力西期的党川岩体、火炎山岩体、仙坪岩体,印支期的的大堡岩体等(图 1)。

2 岩体接触关系及时代

大堡岩体南、北界均与相邻地质体呈断层接触,西界该岩体肉红色钾长花岗岩呈脉状侵入火炎山岩体,同时在该岩体中可见火炎山岩体肉红色中粗粒似斑状黑云钾长花岗岩捕虏体,西南界岩体与中晚元古界宽坪岩群、奥陶纪草滩沟群为侵入接触。在岩体西南部大堡岩体浅肉红色—灰白色中粗粒二长花岗岩侵入百花岩体灰色闪长岩中,百花岩体闪长岩边部发育烘烤边,在大堡岩体二长花岗岩中发育大量百花岩体闪长岩捕虏体,二者侵入接触关系清晰。百花岩体岩性为灰白色中粗粒闪长岩、石英闪长岩及灰白色中细粒含斑斜长花岗岩;大堡岩体岩性为灰白色中粗粒黑云母二长花岗岩、肉红色中粗粒钾长花岗岩,两单元间为脉动接触关系。百花岩体岩石学、岩相学、地质时代与大堡岩体差异极大,因而将百花岩体应从大堡岩体中予以解体。

1968 年陕西区调队在百花岩体闪长岩中获得的 K-Ar 法同位素年龄为 408 Ma,李永军等(2008)报道的同位素年龄为 439 Ma,近年来裴先治等(2007)对百花—利桥一带百花岩体的地质时代进行

样品进行分析测试,岩石化学、稀土、微量元素样品由西安综合岩矿测试中心分析测试,主量元素 Fe_2O_3 用比值法, FeO 用容量法,其余主量元素用 X-射线荧光光谱法(XRF) 分析,分析精度优于 1 %,微量元素及稀土元素用等离子体质谱(ICP-MS) 分析,分析精度优于 5 %,分析过程用 GBW07103 和 GBW07104 监控,分析质量符合标准要求。

岩体岩石化学以高硅(SiO_2 平均 73.71%)、富碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8.50\% \sim 9.19\%$)、低铁镁为特征(表 1)。 SiO_2 与 TiO_2 、 P_2O_5 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 、 MgO 、

Al_2O_3 、 CaO 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 均呈负相关,铝饱和度为 0.95~0.99,岩石为次铝-过铝质岩石类型,里特曼指数为 2.22~2.83,碱指数平均为 0.902,岩石为钾玄质系列(图 2)。随岩浆演化岩石酸度渐增,分异指数增大,岩浆向偏酸性方向演化且分异程度增加。岩石 A-C-F 图解位于 S 型花岗岩区(图 3),构造环境分类图解(R_1 - R_2 图解,图 4)位于同碰撞-造山晚期区域。 $\text{Rb}-(\text{Yb} + \text{Nb})$ 和 $\text{Rb}-(\text{Yb} + \text{Ta})$ 图解中投影点位于同碰撞区域及板内区(图 5),与 R_1 - R_2 图解判别结果基本一致。

表 1 大堡岩体主量(%)与微量元素(10^{-6})化学成分表
Tab. 1 Major(%), trace chemical(10^{-6}) composition of Dabu body

岩性	中粗粒二长花岗岩	中粗粒钾长花岗岩	中粗粒钾长花岗岩	中细粒斑状花岗岩	细粒花岗岩脉
SiO_2	71.56	72.88	74.87	73.30	75.98
TiO_2	0.38	0.30	0.23	0.22	0.18
Al_2O_3	13.77	13.42	12.41	13.77	12.35
Fe_2O_3	0.72	0.71	0.34	0.46	0.38
FeO	2.19	1.32	1.63	1.43	0.92
MnO	0.12	0.07	0.075	0.054	0.038
MgO	0.29	0.47	0.50	0.36	0.072
CaO	1.40	0.85	0.90	1.10	0.80
Na_2O	3.93	3.92	3.79	3.85	4.30
K_2O	5.01	5.27	4.74	4.90	4.26
P_2O_5	0.17	0.11	0.11	0.11	0.074
CO_2	0.08	0.07	0.08	0.08	0.13
LOI	0.40	0.45	0.40	0.29	0.32
Total	100.02	99.81	100.07	99.92	99.80
ALK	8.94	9.19	8.50	8.75	8.56
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	1.27	1.35	1.26	1.27	0.99
A / CNK	0.96	0.98	0.96	0.99	0.95
δ	2.80	2.83	2.28	2.53	2.22
Ba	650	706	310	706	104
Nb	36	43	37	43	107
Zr	214	139	155	139	87
Sr	146	150	67	150	24
Rb	232	240	306	240	279
Th	39	31	44	31	39
Hf	6	7	6	7	6
Ni	4	4	3	4	6
Co	4	3	3	3	3
V	40	32	33	32	31
Cr	11	12	8	12	12
Ta	2.4	2.5	4	2.50	16
Sc	1.1	0.5	0.5	0.50	0.50
Li	47.6	59.4	39.8	59.40	6.40
La	60.00	63.00	43.00	52.00	7.60
Ce	117.00	110.00	92.00	67.00	9.80

续表 1

岩性	中粗粒二长花岗岩	中粗粒钾长花岗岩	中粗粒钾长花岗岩	中细粒斑状花岗岩	细粒花岗岩脉
Pr	12.50	11.00	8.00	7.80	2.00
Nd	47.00	43.00	35.00	33.00	10.00
Sm	4.80	5.50	5.00	4.70	4.00
Eu	0.90	1.00	0.40	0.47	0.18
Gd	5.80	4.10	3.80	5.00	4.90
Tb	1.30	0.74	0.64	0.62	0.74
Dy	7.10	4.50	5.00	5.00	10.00
Ho	1.15	0.76	0.80	1.10	1.65
Er	3.80	2.15	2.60	3.20	7.80
Tm	0.70	0.24	0.42	0.48	1.40
Yb	3.30	2.75	2.60	2.60	7.20
Lu	1.70	0.72	0.50	0.30	1.20
ΣREE	267.05	249.46	199.76	183.27	68.47
LREE/HREE	3.98	6.32	4.18	3.53	0.42
δEu	0.53	0.63	0.27	0.30	0.13

稀土元素总量 $\Sigma\text{REE}=183.27\times10^{-6}\sim267.05\times10^{-6}$, LREE/HREE 为 $3.53\sim6.32$, δEu 介于 $0.27\sim0.63$, 稀土配分模式为轻稀土富集型右倾曲线, 有明显的 Eu 负异常(图 6), 锶初始比介于

$0.7063\sim0.7077$, 属中锶花岗岩, O 同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 介于 $+9.12\text{‰}\sim+9.86\text{‰}$ 。

综上所述, 大堡岩体岩石学、岩石地球化学均具 S 型花岗岩的特征。

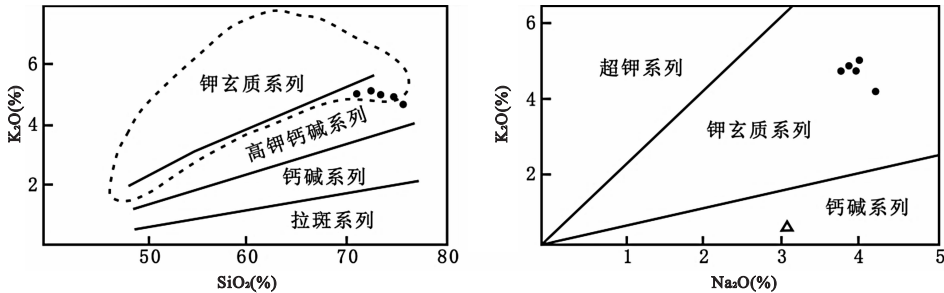


图 2 秦岭大堡岩体 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 和 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解

Fig. 2 Diagram $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ and $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ of Qinling Dabu granites body

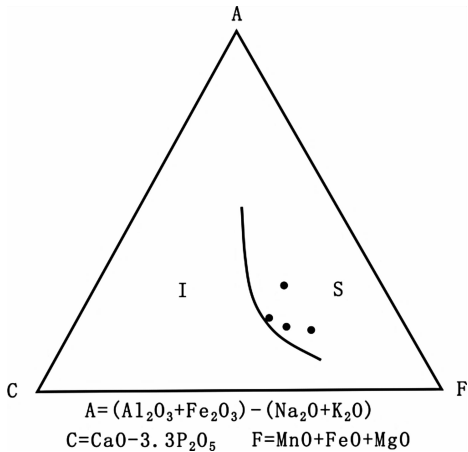


图 3 秦岭大堡岩体岩石 A-C-F 图解

Fig. 3 Diagram of A-C-F in Qinling Dabu body

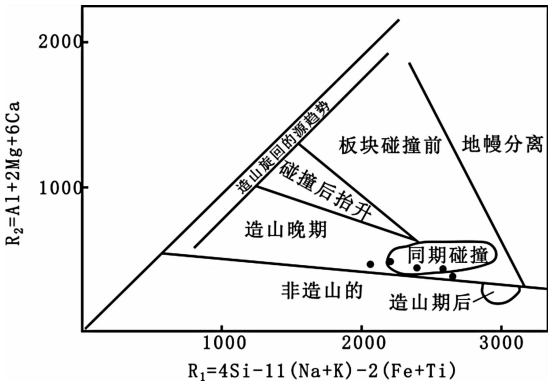


图 4 秦岭大堡岩体岩石 R_1-R_2 图解

Fig. 4 Diagram of R_1-R_2 in Qinling Dabu body

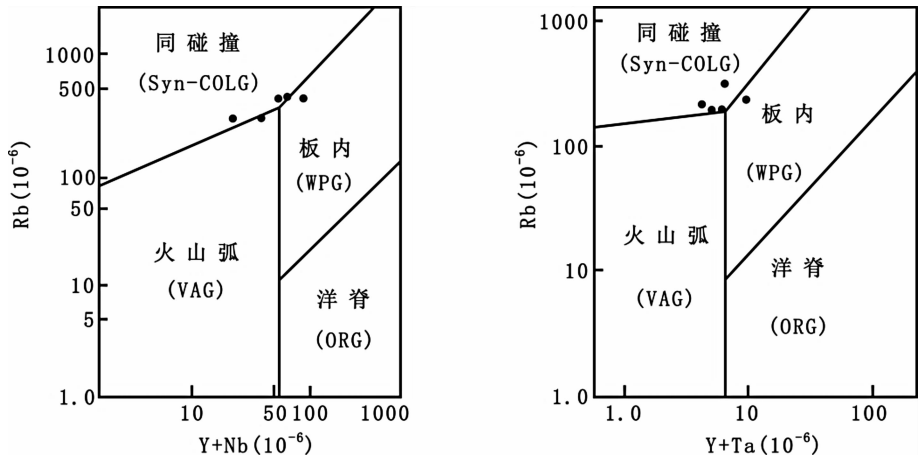


图 5 秦岭大堡岩体 Rb-(Yb+Nb) 和 Rb-(Yb+Ta) 图解

Fig. 5 Diagram of Rb-(Yb+Nb) and Rb-(Yb+Ta) in QinlingDabubody

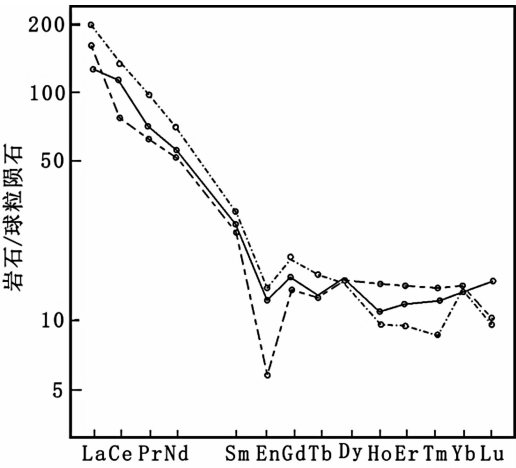


图 6 大堡岩体稀土配分模式图

Fig. 6 Distribution patterns of REE in Dabu body

4 形成的构造环境

位于西秦岭北带的水天地区早古生代发育一沟-弧-盆体系,奥陶纪末扬子板块向北俯冲与华北板块对接,导致北秦岭地区震旦-奥陶纪含蛇绿岩的有限洋盆俯冲消减、弧-陆碰撞汇聚等地质作用(裴先治等,2004),随洋壳向秦岭岩群微陆块之下的俯冲作用在北秦岭南缘形成了草滩沟群岛弧型中酸性火山-沉积岩系,在岛弧与俯冲带之间形成弧前盆地沉积了李子园群(侠义),同时在研究区百花一带形成了岛弧型中基性杂岩及酸性岩体(丁仁平等,2004),加里东末碰撞造山形成北秦岭造山带。百花一带的拉斑系

列-钙碱性系列的岛弧型中基性闪长岩类与这一板块的俯冲相配套,它记录了秦岭小洋盆系统关闭并俯冲碰撞造山的信息(李永军等,2007),百花岩体即是这一板块俯冲条件下岛弧构造环境的产物,加里东期之后该地区主体进入板内演化阶段。

大堡岩体的岩浆源区判别图投影点均落入幔源区之上大陆地壳锆增长线以下的区域内(图 7),说明印支期大堡岩体源岩为浅源型(硅铝层型),为来自壳源的花岗岩,源岩主要为上地壳或地壳浅部的沉积变质岩。岩体锆初始比投影点离幔源区较近,其源岩可能有来自深部未经沉积旋回的火成岩物质混入,氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 数据偏低也说明源岩有深源物质的混染。

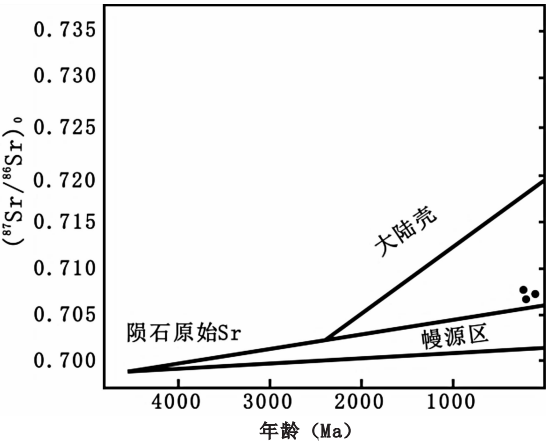


图 7 大堡岩体锆初始比、年龄和岩浆源区判别图

Fig. 7 Relation diagram on initial ratio of stratum, age andmagma source in Dabu body

主量元素构造环境分类 R_1 - R_2 图解(图 4)投影点位于同碰撞-造山晚期区域;微量元素 $Rb/10$ - Hf -

$3Ta$ 图解落入碰撞带区,利用 $Rb/30$ - Hf - Ta 图解进一步判别也落入碰撞后花岗岩区(图 8)。

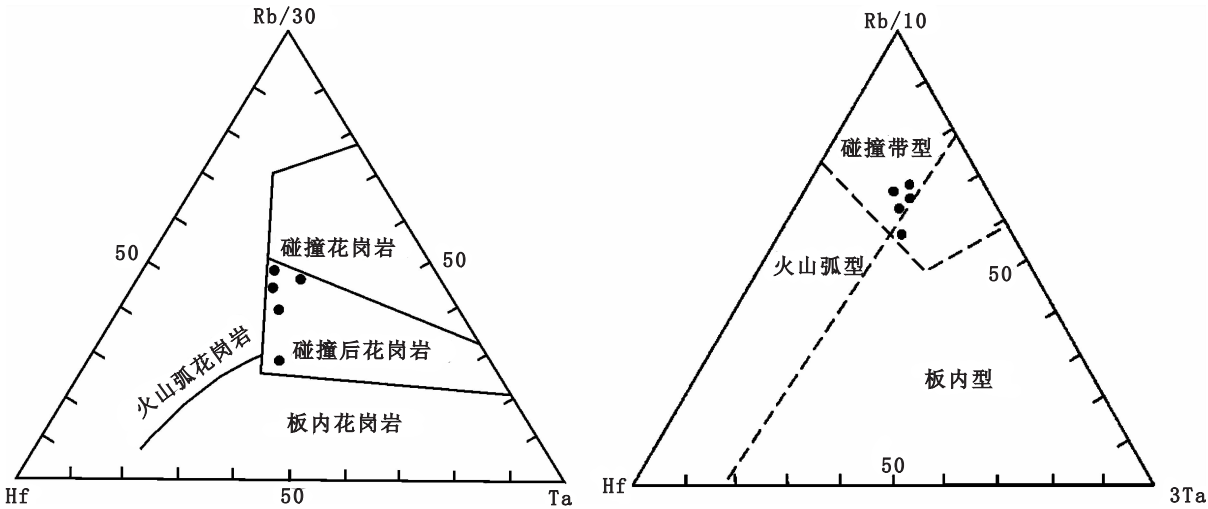
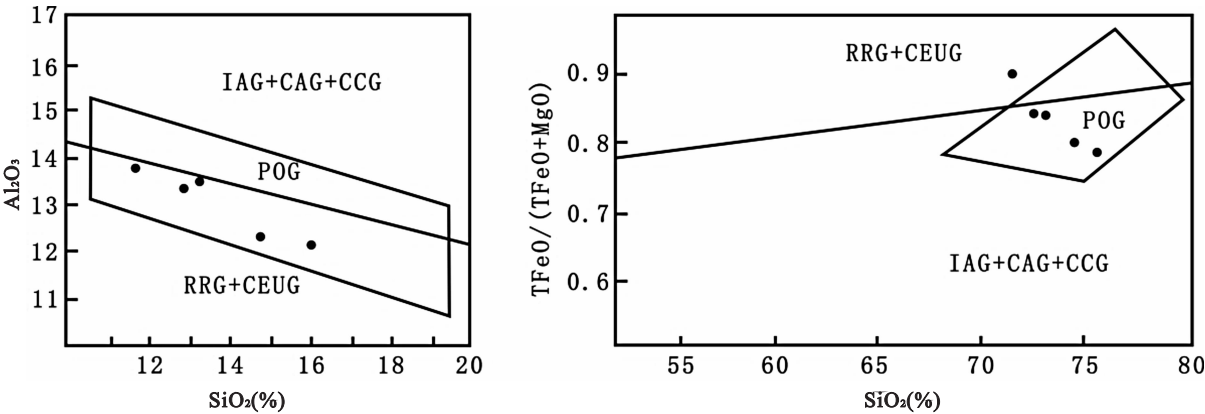


图 8 大堡花岗岩构造环境判别的 $Rb/10$ - Hf - $3Ta$ 和 $Rb/30$ - Hf - Ta 图解
Fig. 8 Diagram of tectonic environments of $Rb/10$ - Hf - $3Ta$ and $Rb/30$ - Hf - Ta for Dabugranites

在花岗岩 Al_2O_3 - SiO_2 图解中大堡岩体位于 POG(后造山花岗岩类)区域, $TFeO/(TFeO + MgO)$ - SiO_2 图解也位于 POG(后造山花岗岩类)区

域,二者判别结果完全一致(图 9)。说明大堡岩体的形成与陆壳碰撞作用关系十分密切,系陆壳叠覆碰撞地壳局部熔融的产物。



IAG. 岛弧花岗岩类;CAG. 大陆弧花岗岩类;CCG. 大陆碰撞花岗岩类;POG. 后造山花岗岩类;RRG. 裂谷花岗岩类;
CEUG. 大陆抬升花岗岩类

图 9 大堡岩体的 Al_2O_3 - SiO_2 和 $TFeO/(TFeO + MgO)$ - SiO_2 图解
Fig. 9 Diagram of Al_2O_3 - SiO_2 and $TFeO/(TFeO + MgO)$ - SiO_2 in Dabu body

综上所述,大堡岩体形成的地质背景是三叠纪末期由于印支运动的影响整个秦岭褶皱造山,位于祁连—北秦岭结合部位的的天水地区由于受阿拉善、鄂尔多斯、扬子三大地块联合应力作用,该地区产生了自南向北、自西向东的双向挤压收缩作用,发

生地壳叠覆碰撞造山作用,同时前印支期地质体发生了同步反“S”型扭动。地壳叠覆碰撞造山使地壳增厚,热流值升高,地壳发生局部熔融形成了陆内断块间同碰撞陆壳重熔花岗岩的侵位,大堡岩体即是这一构造活动的结果,主要形成于后造山阶段板内

大陆抬升的构造环境。

5 结论

(1)西秦岭大堡岩基是一个复式复杂的大型深成花岗岩基,在其南西部可解体出部分百花岩体,它是一个多期多阶段岩浆活动的产物,大堡岩体最终形成于印支期。

(2)大堡岩体岩浆演化从主岩浆期→补充期(中期)→末期,岩石结构由中粗粒-粗粒结构,补充期为中细粒斑状结构,末期为细粒结构,组成一个完整的岩浆结构演化序列,表现为典型的S型花岗岩特有的结构演化特征。

(3)大堡岩体岩石学、岩石化学、岩石地球化学均具S型花岗岩的特征,成因类型为S型,源岩主要来自上地壳硅铝质成分。

(4)大堡岩体于印支期陆内断块间同碰撞地壳局部熔融作用有关,形成于后造山阶段板内大陆抬升的构造环境。

参考文献(References):

- 丁仁平,裴先治,李勇,等. 西秦岭天水地区李子园群的解体及其构造环境浅析[J]. 地质通报,2004,23(12):1213-1214.
- DING Saping, PEI Xianzhi, LI Yong, et al. Analysis of The Disintegration and Tectonic Setting of the Liziyuan Group in the Tianshui Area, Western Qinling [J]. Geological Bulletin of China, 2004,23(12):1213-1214.
- 李永军,张翔,胡晓隆,等. 天水地区花岗岩类及其构造演化[J]. 西北地质,2008,41(1):29-36.
- LI Yongjun, ZHANG Xiang, HU Xiaolong, et al. The Granitoid and Its Tectonic Evolution in Tianshui Area [J]. Northwestern Geology, 2008,41(1):29-36.
- 李永军,辜平阳,刘静,等. 西秦岭党川花岗岩基的地球化学特征[J]. 西北地质,2007,40(1):35-41.
- LI Yongjun, GU Pingyang, LIU Jing, et al. Geochemistry of the Dangchuan Granitic Batholith in West Qinling [J]. Northwestern Geology, 2007,40(1):35-41.
- 裴先治,丁仁平,胡波,等. 西秦岭天水关子镇蛇绿岩的厘定

- 及其地质意义[J]. 地质通报,2004,23(12):1202-1208.
- PEI Xianzhi, DING Saping, HU Bo, et al. Analysis of the Disintegration and Tectonic Setting of the "Liziyuan Group" in the Tianshui Area, Western Qinling [J]. Regional Geology of China, 2004,23(12):1202-1208.
- 裴先治,李佐臣,丁仁平,等. 西秦岭天水地区岛弧型基性岩浆杂岩的地球化学特征及形成时代[J]. 中国地质, 2005,32(4):529-540.
- PEI Xianzhi, LI Zuochen, DING Saping, et al. Geochemical Characteristics and Zircon U-Pb Ages of Island-Arc Basic Igneous Complexes in the Tianshui Area, West Qinling [J]. Geology in China, 2005, 32(4):529-540.
- 裴先治,刘战庆,丁仁平,等. 甘肃天水地区百花岩浆杂岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地球科学进展,2007,22(8):818-827.
- PEI Xianzhi, LIU Zhanqing, DING Saping, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating of the Gabbro from the Baihua Igneous Complex in Tianshui Area, Eastern Gansu, and its Geological Significance [J]. Advances in Earth Science, 2007,22(8):818-827.
- 温志亮,吴金刚,郭周平,等. 天水地区北秦岭造山带花岗岩地球化学及构造环境探讨[J]. 岩石矿物学杂志,2008, 27(6):505-518.
- WEN Zhiliang, WU Jingang, GUO Zhouping, et al. Granite Geochemistry and Tectonic Environments of Tianshui Area in North Qinling Orogenic Belt [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2008,27(6):505-518.
- 张国伟,张本仁,袁学诚. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社,2001.
- ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamayic [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- 张维吉,孟宪恂,胡健民. 祁连-北秦岭造山带结合部位构造特征与造山过程[M]. 西安:西北大学出版社,1994.
- ZHANG Weiji, MENG Xianxun, HU Jianmin. Tectonics Features and Orogenic Process in the Juncture Area of Qilian and North Qinling Orogenic Belt [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1994.
- 温志亮,杨天喜,张勇. 1:50000 元龙幅、党川幅、余家门幅区域地质调查报告[R]. 2006.