

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.01.003

引用格式:刘道荣,杨海翔. 浙西北岩前岩体与芙蓉岩体同源性分析及萤石找矿意义[J]. 华东地质,2018,39(1):18-25.

# 浙西北岩前岩体与芙蓉岩体同源性 分析及萤石找矿意义

刘道荣<sup>1</sup>,杨海翔<sup>2</sup>

(1. 中化地质矿山总局浙江地质勘查院,杭州 310002;  
2. 浙江省地球物理地球化学勘查院,杭州 310005)

**摘要:**浙西北八面山一带寒武系碳酸盐岩中广泛发育燕山期中、酸性岩体,其中岩前岩体为重要的萤石矿成矿岩体。研究表明,岩前岩体与芙蓉岩体均为二长花岗岩,它们的岩石地球化学特征具有相似性,F含量较高( $\geq 0.36\%$ ),球粒陨石标准化稀土元素配分曲线基本一致,Eu亏损明显( $\delta\text{Eu}$ 为0.01~0.07),表明二者为同源岩浆活动的产物。地球物理特征表明,岩前岩体与芙蓉岩体在深部相连,为同一岩体。利用RGIS软件,采用2.5D人机交互反演法计算岩前岩体与芙蓉岩体的顶面埋深,结果表明两岩体间的隐伏部分顶面埋深约900~1200 m。目前,已在岩前岩体南侧外接触带碳酸盐岩中发现数个“常山式”大、中型萤石矿床,但在岩前岩体东侧及芙蓉岩体北侧尚未有重大突破。岩前岩体与芙蓉岩体具有同源性的认识,对于指导该地区萤石找矿工作具有重要意义。

**关键词:**同源性;“常山式”萤石矿床;芙蓉岩体;岩前岩体;浙西北

**中图分类号:**P591

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1871(2018)01-018-08

浙西北八面山地区广泛发育燕山期中、酸性岩体,其中与成矿关系最密切的为岩前岩体。近年来,已在岩前岩体外围寒武系中发现蕉坑坞、高坞山、苦麻岭等多处大、中型萤石矿床,并伴有钨、锡、锌等矿化。由于该类矿床矿体赋存位置及矿石特征具有独特性,因此被称为“常山式”萤石矿床<sup>[1]</sup>。研究表明<sup>[2-4]</sup>,岩前岩体与“常山式”萤石矿床成因关系密切,为该类矿床最重要的控矿因素。芙蓉岩体位于岩前岩体东侧,二者岩性相似,但二者深部是否为同一岩体或为同一岩浆来源,目前尚无确切证据<sup>[5]</sup>。芙蓉岩体北侧及其与岩前岩体之间的区域尚未发现工业萤石矿体,这些地区是否也具有寻找“常山式”萤石矿床的潜力?这些问题制约着该区萤石找矿工作的进一步开展。本文探讨岩前岩体与芙蓉岩体是否具有同源性,为该区进一步开展萤

石找矿工作提供依据。

## 1 岩石学特征

岩前二长花岗岩体呈NE向侵入于由寒武系、奥陶系组成的短轴背斜中。芙蓉二长花岗岩体位于岩前岩体西侧约3 km,呈NNE向侵入南华系、寒武系及侏罗系中(图1)。

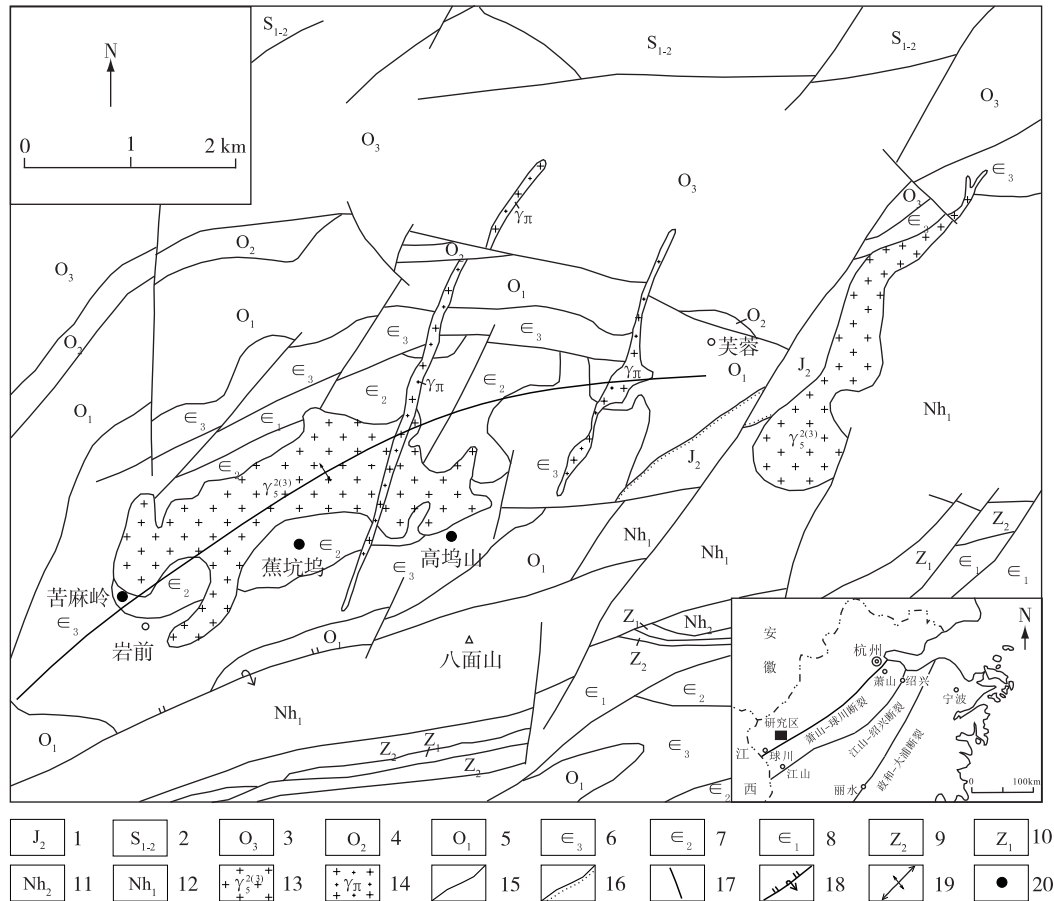
### 1.1 岩前岩体

岩前岩体的锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $127 \pm 2$  Ma<sup>[6]</sup>,岩性为中、细粒二长花岗岩,沿短轴背斜轴部侵位,呈不规则岩株产出,面积为2.94 km<sup>2</sup>,可分为边缘和中间2个相带,二者呈渐变关系,岩性分别为细粒二长花岗岩和中、细粒二长花岗岩。在边缘相带中,钠长石化强烈,局部见硅化。岩石以钾长石(35%~60%)、石英(15%~35%)、斜长石

\* 收稿日期:2017-04-27 修订日期:2017-06-09 责任编辑:谭桂丽

**基金项目:**浙江省地质勘查资金“浙江省常山县芳村地区铅、锌多金属矿产资源调查评价(编号:[省资]2010003)”和“常山里山岭—衢江仙洞地区区域物化探调查(编号:[省资]2012003)”项目联合资助。

**第一作者简介:**刘道荣,1982年生,男,高级工程师,主要从事矿产地质勘查研究。



1. 中侏罗统; 2. 中下志留统; 3. 上奥陶统; 4. 中奥陶统; 5. 下奥陶统; 6. 上寒武统; 7. 中寒武统; 8. 下寒武统; 9. 上震旦统; 10. 下震旦统; 11. 上南华统; 12. 下南华统; 13. 二长花岗岩; 14. 花岗斑岩; 15. 地质界线; 16. 角度不整合界线; 17. 断层; 18. 逆断层; 19. 岩前短轴背斜; 20. 萤石矿床。

图 1 浙西北八面山地区区域地质简图(据 1:5 万芳村幅修编<sup>①</sup>)

Fig. 1 Simplified geological map of the Bamianshan area, northwestern Zhejiang Province [modified after the geological map of Fangcun Sheet (1:50 000)]

(10%~25%)为主,含少量黑云母(5%~10%)。副矿物以萤石、黄玉等富氟矿物为主,其次为电气石、锆石、金红石、磁铁矿,另有少量赤铁矿黄铁矿、独居石、黄铜矿、闪锌矿、石榴石、锡石、白钨矿、磷灰石、角闪石等。

## 1.2 芙蓉岩体

芙蓉岩体岩性为二长花岗岩,呈不规则岩枝产出,岩体北东端被 NE 向断裂切割,出露面积约 1.23 km<sup>2</sup>。岩石具细粒花岗结构,主要以斜长石(23%~28%),钾长石(25%~30%),石英(30%~40%)为主,含微量的黑云母(1%)。副矿物有金红石、萤石、锆石、黄玉等,次生矿物有绢云母、石英等。

## 2 地球化学特征

### 2.1 主量元素地球化学特征

岩前岩体 F 平均含量为 0.465%,属高氟岩体(表 1)。SiO<sub>2</sub> 含量为 75.25%~76.54%,平均为 76.03%;CaO 含量为 0.13%~0.75%,平均为 0.56%;TiO<sub>2</sub>(≤0.12%)、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(≤0.03%)含量均很低,具有高硅、富氟、低钛、贫磷的特点。岩石里特曼指数  $\sigma$  为 2.10,属钙碱性花岗岩;铝饱和指数 ASI(A/CNK)为 0.96~1.17,平均为 1.03,属于准铝质—弱过铝质岩石(图 2)。

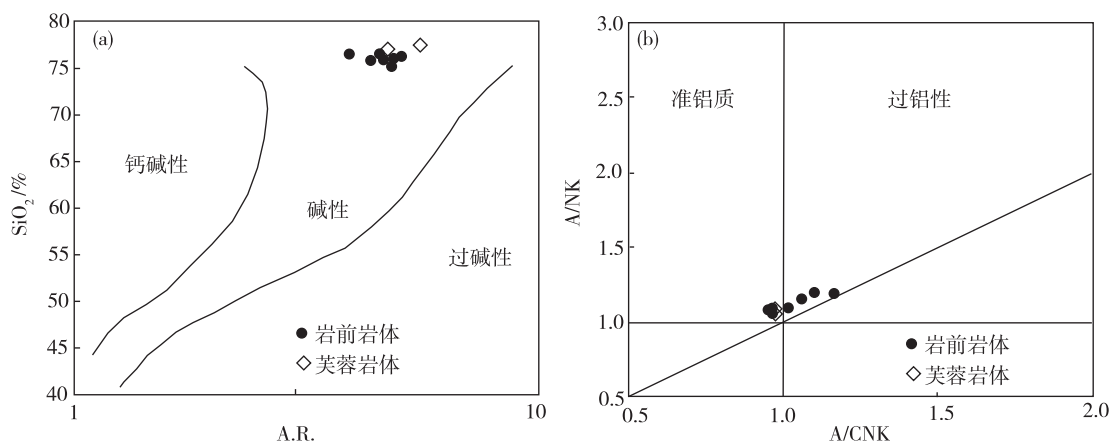
由主量元素平均含量(表 1)可知,芙蓉岩体主量元素含量与岩前岩体主量元素含量相似,F 平均含

表 1 岩前岩体及芙蓉岩体主量元素平均含量

Table 1 Average contents of major elements of the Yanqian and Furong granites

岩体	样品数	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	烧失	总量	A/CNK	A/NK	A.R	$\sigma$
岩前	7	76.03	12.46	0.04	0.28	1.11	0.56	0.15	4.64	3.68	0.03	0.02	0.465		0.77	100.04	1.03	1.12	4.58	2.10
芙蓉	2	77.17	11.35	0.06	0.70	0.95	0.56	0.25	4.44	3.55	0.04	0.03	0.36	0.35	0.38	100.18	0.97	1.06	5.08	1.87

注:岩前岩体数据引自文献[3],芙蓉岩体数据引自 1:25 万金华幅<sup>①</sup>,单位%。

图 2 岩前岩体与芙蓉岩体 SiO<sub>2</sub>-A.R.图解(a)及 A/NK-A/CNK 图解(b)Fig. 2 SiO<sub>2</sub> vs. A.R. diagram(a) and A/NK vs. A/CNK diagram(b) for the Yanqian and Furong granites

量为 0.36%, 属高氟岩体。SiO<sub>2</sub> 平均含量为 77.13%; CaO 平均含量为 0.56%; TiO<sub>2</sub> (0.06%)、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.03%) 含量均较低。岩石里特曼指数  $\sigma$  为 1.87, 属钙碱性花岗岩; 铝饱和指数 ASI(A/CNK) 为 0.97, 属于准铝质岩石。

在 SiO<sub>2</sub>-A.R. 图解(图 2a)中, 岩前岩体及芙蓉岩体均落入碱性岩区域。在 A/NK-A/CNK 图解(图 2b)中, 岩前岩体有 3 个样品落入准铝质区, 其余样品落入过铝质区, 而芙蓉岩体均落在准铝质区, 紧挨过铝质区, 表明二者为一套准铝质到弱过铝质的花岗岩类, 岩体成因以地壳物质熔融为主, 可能混合幔源物质。

## 2.2 稀土元素地球化学特征

稀土元素是较好的地球化学指示剂, 常用于探讨岩石成因及成矿物质来源。稀土元素含量及其特征值、球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图的相似性等, 对判断岩体同源性具有重要的指示意义<sup>[7-8]</sup>。岩前岩体及芙蓉岩体稀土元素含量分析结果(表 2)表明, 岩前岩体  $\Sigma$ REE 为  $(317.29 \sim 382.15) \times 10^{-6}$ , 稀土元素总量较大, 其中轻稀土元素含量为  $(225.97 \sim 286.72) \times 10^{-6}$ , 重稀土元素含

量为  $(80.09 \sim 103.92) \times 10^{-6}$ , LREE/HREE 为 2.24~3.52,  $\delta$ Eu 为 0.01~0.03, Eu 亏损显著。芙蓉岩体  $\Sigma$ REE 为  $(254.94 \sim 569.12) \times 10^{-6}$ , 轻稀土元素含量为  $(188.03 \sim 498.87) \times 10^{-6}$ , 重稀土元素含量为  $(55.62 \sim 77.99) \times 10^{-6}$ , LREE/HREE 为 2.81~8.06,  $\delta$ Eu 为 0.01~0.07, Eu 亏损显著。相比而言, 芙蓉岩体更富集轻稀土元素, 轻、重稀土元素比值更大, 表明其岩浆分异程度更高。

从球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图 3)可知, 岩前岩体和芙蓉岩体的稀土元素配分曲线形态一致, 皆为典型的“海鸥”型; Eu 负异常明显,  $\delta$ Eu 值接近, 为 0.01~0.07, 表明二者为同源岩浆演化的产物, 且侵位时间接近。

## 2.3 金属矿化特征

据中化地质矿山总局地质研究院测定数据<sup>②</sup>, 岩前岩体 W 为  $3.09 \times 10^{-6}$ 、Sn 为  $8.77 \times 10^{-6}$ 、Be 为  $10.83 \times 10^{-6}$ 、Mo、Zn 等元素含量较高, 在岩体外接触带中见有钨、锡、铅锌等矿化现象, 如唐家石英脉型钨矿、对坞矽卡岩型锡多金属矿、苦麻岭矿区矽卡岩型锌矿体等。

据 1:5 万芳村幅区调资料<sup>③</sup>, 芙蓉岩体 Be、Sn、

表 2 岩前岩体及芙蓉岩体稀土元素含量及特征值

Table 2 REE abundance and parameter values of the Yanqian and Furong granites

样品号	YQ-H1	YQ-H2	YQ-H3	YQ-H4	FR-H1	FR-H2	FR-H3	FR-H4	FR-H5
样品名	岩前中、细粒花岗岩		岩前细粒花岗岩		芙蓉细粒花岗岩				
La	46	65.3	65.7	48.5	60	31.4	55.7	103	116
Ce	114	140	136	97.2	130	97	120	217	236
Pr	11.8	14	14	13.7	13	10.4	12	22.1	29.4
Nd	45.3	54.1	53.6	57.5	50.3	38.9	46.1	87.3	96.6
Sm	11.6	13.2	12.8	16.2	12	10.3	11.2	18.4	20.4
Eu	0.091	0.12	0.11	0.033	0.098	0.03	0.1	0.33	0.47
Gd	11.3	12.8	12	14.6	11.1	8.64	9.91	14.4	17.3
Tb	2.82	3.15	2.77	3.42	2.66	2.15	2.17	2.29	2.92
Dy	22	24.5	20.6	25.6	20.3	16.4	16.2	14.7	19.1
Ho	4.63	5.11	4.15	5.05	4.07	3.24	3.23	2.75	3.49
Er	18.1	19.4	15.5	19.8	15.3	12.6	11.9	8.96	11.9
Tm	3.15	3.24	2.69	3.52	2.61	2.38	2.12	1.34	1.87
Yb	23.4	23.8	19.6	27.8	19.2	18.8	15.3	9.87	12
Lu	3.46	3.43	2.78	4.13	2.75	2.7	2.13	1.31	1.67
Y	178	188	153	214	151	107	108	81.2	119
ΣREE	317.65	382.15	362.30	337.05	343.39	254.94	308.06	503.75	569.12
LREE	228.79	286.72	282.21	233.13	265.40	188.03	245.1	448.13	498.87
HREE	88.86	95.43	80.09	103.92	77.99	66.91	62.96	55.62	70.25
LREE/HREE	2.57	3.00	3.52	2.24	3.40	2.81	3.89	8.06	7.10
(La/Yb) <sub>N</sub>	1.33	1.85	2.27	1.18	2.11	1.13	2.46	7.05	6.53
δEu	0.02	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.06	0.07

注:FR-H1—FR-H5 为本文实测,测试单位为国土资源部杭州矿产资源监督检中心,分析方法为 ICP-MS;YQ-H1—YQ-H4 引自文献[1],单位  $10^{-6}$ 。 $\delta\text{Eu}=(\text{Eu}_{\text{岩}}/\text{Eu}_{\text{球}})/[(\text{Sm}_{\text{岩}}/\text{Sm}_{\text{球}}+\text{Gd}_{\text{岩}}/\text{Gd}_{\text{球}})/2]$ 。

Mo、Zn 等元素含量较高,为浙江省燕山晚期花岗岩平均值的 4~6 倍。岩体南西倾伏端与岩体东侧见芳村镇金家铅锌矿、芙蓉乡坞口锡矿、芙蓉乡棋盘山锡矿等多个矿点,该带内矿化与蚀变、石英脉均发育。上述矿化现象表明,岩前岩体和芙蓉岩体具有相似的多金属矿化特征。

### 3 地球物理特征

#### 3.1 岩石物性特征

岩石物性差异是地球物理勘查的前提,也是认识地球深部地质特征的重要依据之一。运用地球物理手段,尤其利用重力异常特征可准确圈定隐伏岩体的边界,为隐伏矿体的定位及预测提供依据<sup>[10]</sup>。八面山地区各地层均以高密度、弱磁性为主要特征(表 3),且各地层之间均存在一定的密度差异,其中奥陶系与寒武系之间的密度界面差异较明显,密度差为  $-0.05 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

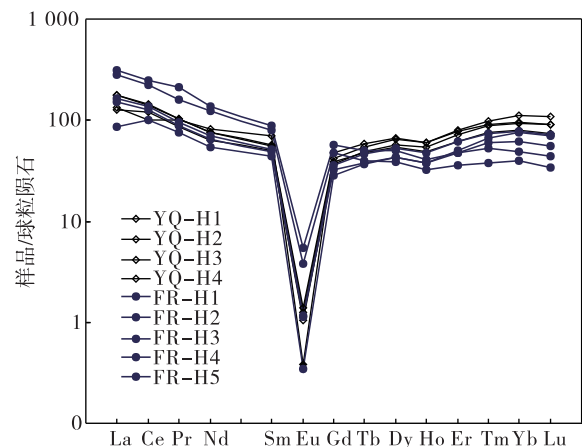


图 3 岩前岩体和芙蓉岩体球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(标准化数值据文献[9])

Fig. 3 Chondrite-normalized REE distribution pattern of the Yanqian and Furong granites

研究区出露的岩浆岩体具有低密度、极弱磁性特征,平均密度为  $(2.55 \sim 2.56) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,花岗

斑岩与花岗岩密度差异不大,但均与围岩具有明显的密度差异。各类岩体平均磁化率为 $(8.2\sim 38.3)\times 10^{-6}$  SI,平均剩余磁化强度为 $(0.67\sim 0.94)\times 10^{-3}$  A/m。

综合地层、岩体物性特征分析,研究区高密度地层分布区由于密度过剩,一般多以重力高为主要特征。有酸性岩体侵入,则以圈闭重力低为主要特征,磁场则以低值、平静类型为主。

表 3 八面山地区物性参数统计

Table 3 Statistics of the rocks' physical parameters in the Bamianshan area

地层(岩石)	样本数/块	密度/ $(10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3})$		磁化率/ $10^{-6}$ SI		剩余磁化强度/ $(10^{-3} \text{ A}\cdot\text{m}^{-1})$	
		均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围
南华系	41	2.68	2.61~2.83	35.4	19~68.8	0.71	0.31~1.36
震旦系	19	2.72	2.50~2.91	65.3	15.8~156	33.1	0.5~98.1
寒武系	74	2.75	2.68~3.00	119.5	5~1 085	87.6	0.40~475
奥陶系	109	2.70	2.68~2.82	194.3	17~715	20.3	0.48~618
志留系	183	2.68	2.63~2.73	67.8	46~112	1.1	0.5~5
花岗斑岩	66	2.55	2.47~2.60	8.2	5.8~10.6	0.94	0.31~1.57
二长花岗岩	15	2.56	2.45~2.61	38.3	31.4~45.2	0.67	0.28~1.06

### 3.2 重力异常特征

1:5万高精度重力测量采用美国 CG-5 型重力仪,布格重力异常总精度为 $\pm 0.063\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。八面山地区布格重力等值线(图 4)总体呈 NE 向展布,布格重力场值为 $(-20\sim -38)\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ,西部和南部重力等值线较密集,梯度变化大,北部次

之。在东部蚶坞附近布格重力等值线呈近 EW 向,在重力低内有岩前和芙蓉 2 个局部重力低。岩前局部重力低轴向为 NEE 向,西部布格重力等值线向南西和北西突出,极小值为 $-38\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ;芙蓉岩体局部重力低主要呈 NE 向展布,极小值为 $-37.75\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

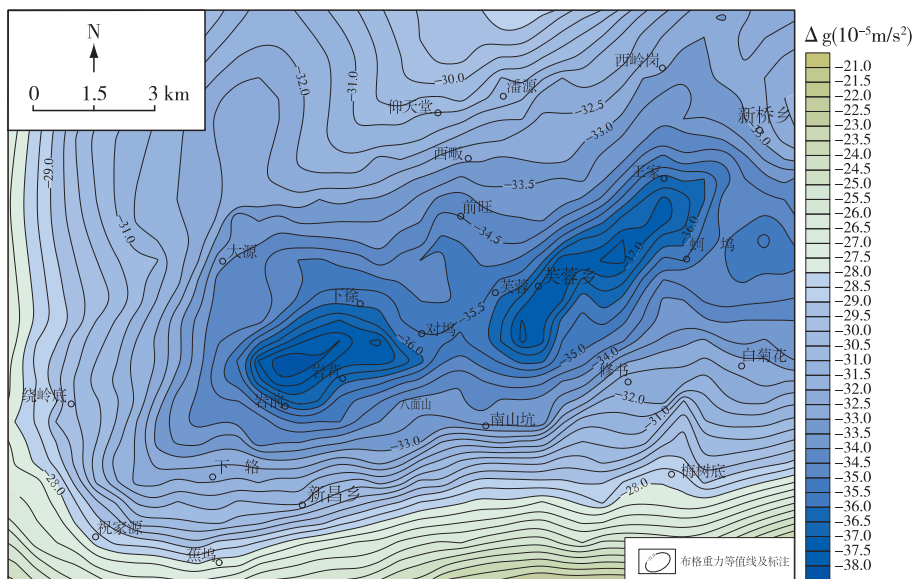


图 4 八面山地区布格重力异常图

Fig. 4 Bouguer gravity anomaly map of the Bamianshan area

采用切割法(切割层数为 3,迭代次数为 100,光滑系数为 2)求取八面山地区剩余重力异常(图 5)。

八面山地区南北两侧均为正异常,中部为负异常,剩余重力负异常呈 NE 向,在东部蚶坞附近转为





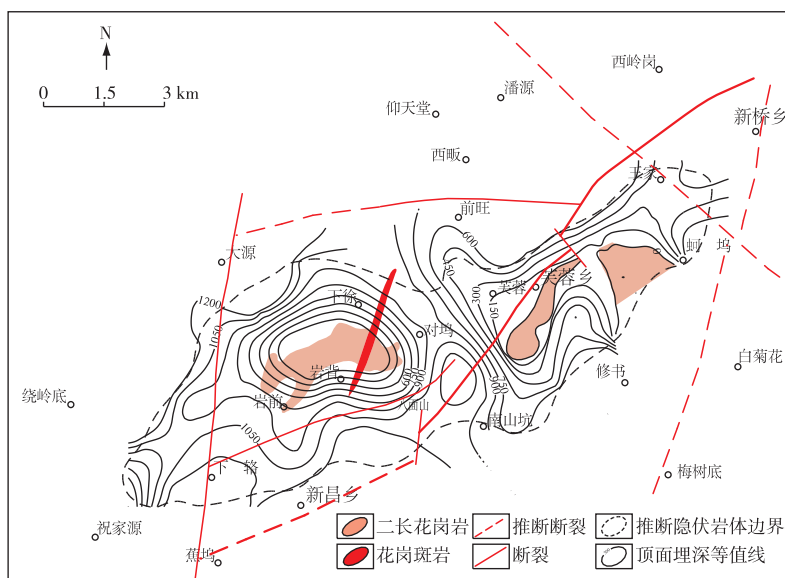


图6 八面山地区岩体顶面埋深图

Fig. 6 Buried surface depth map of Yanqian and Furong granites in the Bamianshan area

芙蓉岩体北侧侵入于寒武系碳酸盐岩中,芙蓉岩体与岩前岩体之间出露大面积寒武系和奥陶系,且广泛发育绢云母化、绿泥石化蚀变,地表局部见萤石矿化现象,但目前尚未发现工业矿体,可能与覆盖层埋深较大( $>900\text{ m}$ )有关。岩前与芙蓉地区,存在与“常山式”萤石矿床相似的成矿地质条件,具有较好的找矿前景,尤其芙蓉岩体与岩前岩体之间的寒武系分布较广,其深部岩体接触带附近具备良好的成矿条件,值得进一步开展地质调查工作。

## 5 结论

(1)岩前岩体与芙蓉岩体均为二长花岗岩,具有相似的岩石地球化学特征,以富氟为显著特征,均属碱性岩石;轻重稀土元素比值较大,反映岩浆发生较强烈的分异作用,球粒陨石标准化稀土元素配分曲线均为典型的“海鸥”型,说明二者是同源岩浆演化的高分异花岗岩类。岩体成因均以地壳熔融为主,可能混合幔源物质。

(2)岩前岩体和芙蓉岩体与地层围岩重力差异明显,二者在深部相连,为同一岩体,两岩体之间的隐伏部分顶面埋深约 $900\sim 1\,200\text{ m}$ 。

(3)芙蓉岩体北侧及芙蓉岩体与岩前岩体之间,具有与“常山式”萤石矿床成矿相似的地质条件,具备形成大中型萤石矿床的潜力,值得进一步

开展地质找矿工作。

**致谢:**中化地质矿山总局浙江地质勘查院陈春发、李良传同志,浙江省地球物理地球化学勘查院梁红波、朱国强等同志参与了项目野外地质调查工作,在此表示感谢!

## 注释

- ① 浙江省地质矿产局区域地质调查大队. 1:5万芳村幅区域地质调查报告. 1990.
- ② 浙江省地质调查院. 1:25万金华市幅区域地质调查成果报告. 2005.
- ③ 中化地质矿山总局地质研究院. 浙江省常山县八面山萤石矿床成矿条件研究报告. 2008.

## 参考文献

- [1] 刘道荣. 浙江“常山式”萤石矿床特征及成矿模式[J]. 岩石矿物学杂志, 2015, 34(3): 343-352.
- [2] 夏学惠, 徐少康, 严生贤, 等. 浙江八面山特大型萤石矿床成因研究[J]. 化工矿产地质, 2009, 31(2): 65-75.
- [3] 刘道荣, 严生贤, 陈荫, 等. 浙西北岩前高氟岩体地球化学特征及其与新类型萤石矿床成矿关系[J]. 地质与勘探, 2012, 48(5): 884-893.
- [4] 王吉平, 商朋强, 熊先孝, 等. 中国萤石矿床分类[J]. 中国地质, 2014, 41(2): 315-325.
- [5] 朱安庆, 张永山, 陆祖达, 等. 浙江省金属非金属矿床成

- 矿系列和成矿区带研究[M].北京:地质出版社,2009:401-405.
- [6] 王科强.浙西地区中生代花岗岩类时空演化特征及其成矿作用[D].北京:中国地质大学(北京),2015:1-184.
- [7] 高守业,王丽娟,陆建军,等.宁芜和庐枞盆地含矿岩体地球化学特征对比[J].华东地质,2017,38(1):21-27.
- [8] 肖淳,于海涛,刘传朋,等.稀土元素对鲁西铜石、铜井、龙宝山杂岩体的同源性制约[J].西北地质,2012,45(3):26-31.
- [9] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust Its Composition And Evolution[M]. Oxford press, UK, Blackwell, 1985.
- [10] 张景,陈国光,张明,等.宁芜盆地白象山矿区物化探异常特征及找矿意义[J].华东地质,2016,37(2):147-151.
- [11] 张明华,乔计花,黄金明,等.重磁电数据处理解释软件RGIS[M].北京:地质出版社,2011:1-197.

## Comagmatic relation between the Yanqian and Furong granites in northwestern Zhejiang Province and its significance to prospecting fluorite deposits

LIU Dao-rong<sup>1</sup>, YANG Hai-xiang<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mineral Bureau, Hangzhou 310002, China;  
2. Geophysical and Geochemical Exploration Institution of Zhejiang Province, Hangzhou 310005, China)

**Abstract:** The Yanshanian intermediate-acidic intrusive rocks are distributed widely in Cambrian carbonate strata in the Bamianshan area, northwestern Zhejiang Province. Yanqian granite is one of the most important fluorite-forming intrusions. The study shows that the Yanqian granite and adjacent Furong granite are monzonitic granite, both of which have similar petrogeochemical features, such as higher F contents (more than 0.36%). The similar chondrite-normalized REE distribution patterns and obvious negative Eu anomalies ( $\delta\text{Eu}=0.01\sim0.07$ ) suggest that they were the products of cognate magmatic activity. Geophysical survey displays that they are connected in the deep and should be derived from the same intrusion. 2.5D computer interaction inversion calculation by RGIS software shows that the hidden superface depths of the Yanqian and Furong granites range from 900 to 1 200 m. Currently, several large-to medium-sized “Changshan-type” fluorite deposits have been found along the outer contact zones of carbonate strata around the southern Yanqian granite, but there have been no major prospecting discoveries made on the northern side of the Furong granite and the eastern side of the Yanqian granite. The understanding of comagmatic relation between the Yanqian granite and Furong granite is of important significance to prospecting fluorite deposits in the study area.

**Key words:** co-genesis; “Changshan-type” fluorite deposit; Furong granite; Yanqian granite; northwestern Zhejiang Province