

# 闽北大坪萤石矿构造蚀变、岩石地球化学特征 与矿床成因探讨

张青松<sup>1</sup>, 王春连<sup>2</sup>, 栗克坤<sup>1</sup>, 刘增政<sup>1</sup>, 冯校辉<sup>3</sup>, 闫晓博<sup>1</sup>, 韩志坤<sup>1</sup>,  
蒋济勇<sup>1</sup>, 江建浪<sup>1</sup>

(1. 中化地质矿山总局 河南地质局, 河南 郑州 450000; 2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 自然资源部成矿作用与  
资源评价重点实验室, 北京 100037; 3. 河南省地球物理空间信息研究院, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 为了探讨闽北大坪萤石矿构造蚀变带特征及萤石矿成因, 对大坪萤石矿构造蚀变带内各岩性的主量元素、  
稀土元素、微量元素特征进行了分析。研究表明, 大坪萤石矿受构造控制, 蚀变主要有绢云母化、硅化、萤石矿  
化, 萤石矿化带具有稀土元素总量低、重稀土元素富集、高 CaO、F 等特征。根据萤石矿矿石构造及其蚀变特征, 认为  
大坪萤石矿至少包括 3 个成矿期次, 属于岩浆期后中低温热液充填型矿床。

**关键词:** 大坪萤石矿; 含矿构造; 蚀变; 成因

中图分类号: P619.21<sup>+</sup>5

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2021)06-1131-10

## Discussion on structural alteration, rock geochemistry characteristics and genesis of Daping fluorite deposit in northern Fujian

ZHANG Qing-song<sup>1</sup>, WANG Chun-lian<sup>2</sup>, LI Ke-kun<sup>1</sup>, LIU Zeng-zheng<sup>1</sup>, FENG Xiao-hui<sup>3</sup>, YAN Xiao-bo<sup>1</sup>,  
HAN Zhi-kun<sup>1</sup>, JIANG Ji-yong<sup>1</sup> and JIANG Jian-lang<sup>1</sup>

(1. Henan Geological Bureau of CCGMB, Zhengzhou 450000, China; 2. MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral  
Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Henan  
Institute of Geophysical and Spatial Information, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** In order to discuss the characteristics of the tectonic alteration zone and the origin of the fluorite deposit  
in Daping, North Fujian, the characteristics of major, rare earth and trace elements in the tectonic alteration zone  
of Daping fluorite deposit are studied. The results show that the alteration of Daping fluorite ore is mainly consisted  
of sericitization, silicification and fluorite mineralization, and that the fluorite mineralization zone is characterized  
by low total rare earth elements, enrichment of heavy rare earth elements and high CaO and F contents. According  
to the ore structure of fluorite mine and its alteration characteristics, it has proved that the Daping fluorite deposit  
consists of at least three ore-forming stages, and belongs to the post-magmatic mesothermal-epithermal filling type.

**Key words:** Daping fluorite mine; ore-bearing structure; alteration; genesis of deposit

**Fund support:** Basic Scientific Research Business Expenses of Central Public Welfare Scientific Research Institutes

收稿日期: 2020-10-09; 接受日期: 2021-06-10; 编辑: 郝艳丽

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(KK2005); 地质调查局地质矿产调查评价专项项目(DD20190816, DD20190817,  
DD20190606)

作者简介: 张青松(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查研究工作, E-mail: 153671157@qq.com; 通讯作者: 王春连  
(1983-), 男, 副研究员, 主要从事矿床学方面的研究, E-mail: wangchunlian312@163.com。

网络首发时间: 2021-07-06; 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1966.p.20210706.1047.002.html>

(KK2005); Geological and Mineral Survey and Evaluation Special Projects of China Geological Survey (DD20190816, DD20190817, DD20190606)

闽北地区萤石矿资源丰富,萤石矿成矿地质条件较好,已发现的大型萤石矿有南山下、将乐、羊古庵等。大坪萤石矿位于粤东-闽北萤石矿成矿区、闽西北萤石矿成矿亚带,属于福建省邵武南山下-龙湖南山下热液型萤石矿远景区(李长江等, 1991; 曹俊臣, 1994; Harald, 2010; 王吉平等, 2014),以往仅开展了预查、核实、利用现状调查等工作,研究程度较低(张惠堂等, 1984; 李士勤, 1985; 吴自强等, 1989; 王宏海, 1991; 章永加, 1996; 胡建余, 1997; 国土资源部, 2003; 王吉平等, 2015; 李源等, 2016; 陈新立等, 2018)。本文对大坪萤石矿床含矿构造蚀变带及岩石地球化学特征进行了详细的调查研究,总结了矿化蚀变特征与元素富集特征,初步探讨了矿床成因,欲为该地区萤石矿床勘查找矿工作提供重要线索。

## 1 区域地质背景

大坪萤石矿位于福建省邵武市,Ⅰ级(中国)大地构造单元属武夷-云开-台湾造山系(V),Ⅱ级构造单元位于华夏陆块(V-3),Ⅲ级构造单元位于武夷基底杂岩(V-3-1)(徐志刚等, 2008; 潘桂棠等, 2009)。成矿区带区划属滨太平洋成矿域(Ⅰ-4)华南成矿省(Ⅱ-16)粤东-闽北萤石矿成矿区(ⅢF-11)闽西北萤石矿成矿亚带(Ⅳ-1)的福建省邵武南山下-龙湖南山下热液型萤石矿远景区(V-3)(曹俊臣, 1987; 王吉平等, 2014, 2015)(图1c)。

区域内出露地层主要为元古宙大源片麻岩,长城系大金山岩组、南山岩组,南华纪下峰岩组,震旦纪西溪组,三叠纪焦坑组,侏罗纪梨山组下段及第四纪全新统。

区域内侵入岩主要有燕山晚期花岗斑岩,燕山早期似斑状中-中粗粒正长花岗岩,燕山早期少斑、中细粒正长岩,燕山早期含斑细粒正长花岗岩,燕山早期细粒正长花岗岩,加里东期细-中细粒二云母正长花岗岩,加里东期中细粒二云母正长花岗岩(图1a)(Stanley, 1983),其中燕山期侵入岩与区域内萤石矿关系密切。

区域内构造以断裂构造为主,主要为北东向、近南北向,少量为北西向。北东向断裂构造是区域内

主要的控矿构造(图1a)。

## 2 样品与分析方法

主要沿大坪萤石矿剖面(图1b)采集了各类样品6件,其中斑状花岗岩(样号b1,下同)、绢云母化蚀变花岗岩(b2)、碎裂绢云母化蚀变花岗岩(b3)、弱绢云母化蚀变花岗岩(b4)、萤石矿化硅质岩(b5)、碎裂化蚀变花岗岩(b6)各1件,主要沿剖面P2分布,具体位置见图2、图3。

采集新鲜岩石样品,送至河南化地工程检测技术有限公司进行主量、微量元素和稀土元素分析,其中主量元素用全谱直读电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)检测,检测依据为GB/T 14506. 28-2010,分析精度小于2%;微量元素采用等离子质谱仪(ICPMS-PE300D)检测,检测依据为GB/T14506. 30-2010,分析精度小于5%~10%;稀土元素分析在Element型高分辨等离子质谱仪上采用ICP-MS方法进行,检测下限为 $n \times 10^{-13} \sim n \times 10^{-12}$ ,相对误差小于10%,绝大多数小于3%。

## 3 大坪萤石矿矿床地质特征

### 3.1 含矿构造带特征

大坪萤石矿含矿构造带出露长度大于10 km,断裂带宽度2~160 m不等,一般10~40 m,断层倾向主要为南东向,局部倒转倾向北西向,倾角 $40^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 不等,局部近直立。含矿构造带内主要出露绢云母化蚀变花岗岩、碎裂绢云母化蚀变花岗岩、弱绢云母化蚀变花岗岩、萤石矿化硅质岩(萤石矿化带)、碎裂化蚀变花岗岩(图2),围岩为斑状花岗岩,详细特征如下:

(1) 斑状花岗岩: 岩石风化强烈,呈黄褐色、浅肉红色,中细粒花岗结构,块状构造。斑晶主要为钾长石,含量约20%,粒径4~7 mm;基质主要为假像斜长石(28%±)、正长石(20%±)、石英(20%±)、假像暗色矿物(12%±),黄铁矿少量,假像斜长石呈半自形粒状、板状,绢云母化呈其假像,零散分布;假像暗色矿物,半自形柱状,褐铁绢云绿泥石化呈其假像;黄铁矿零星分布。局部见石英细脉,宽约1 cm。

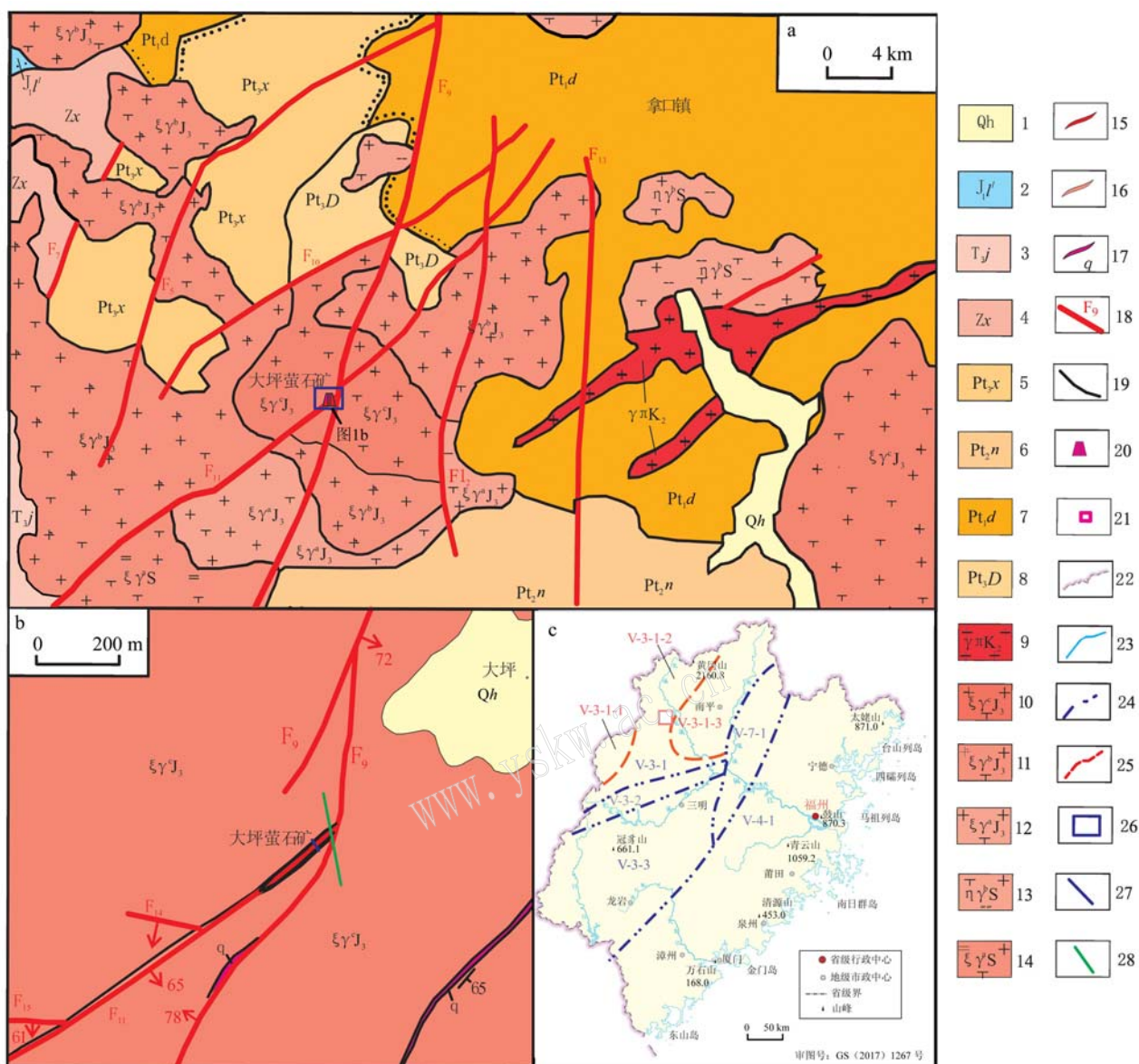


图1 福建省大坪萤石矿一带地质简图(徐伟光等, 2005)<sup>①</sup>

Fig. 1 Geological sketch of Daping fluorite mine area in Fujian Province(Xu Weiguang *et al.*, 2005)<sup>①</sup>

1—第四纪全新统; 2—侏罗纪梨山组下段; 3—三叠纪焦坑组; 4—震旦纪西溪组; 5—南华纪下峰岩组; 6—长城纪南山岩组; 7—长城纪大金山岩组; 8—元古宙大源片麻岩; 9—燕山晚期花岗斑岩; 10—燕山早期少斑中粒、中细粒正长花岗岩; 11—燕山早期含斑细粒正长花岗岩; 12—燕山早期细粒正长花岗岩; 13—加里东期细-中细粒二云母正长花岗岩; 14—加里东期中细粒二云母正长花岗岩; 15—萤石矿脉; 16—萤石矿化带; 17—石英脉; 18—断层及编号; 19—地质界线; 20—中型萤石矿床; 21—研究区位置; 22—省界; 23—海岸线; 24—Ⅲ级构造单元界线; 25—Ⅳ级构造单元界线; 26—大坪萤石矿位置; 27—P1剖面位置; 28—P2剖面位置

1—Quaternary Holocene; 2—lower part of Jurassic Lishan Formation; 3—Triassic Jiaokeng Formation; 4—Sinian Xixi Formation; 5—Nanhua Xiafengyan Formation; 6—Changchengian Nanshanyan Formation; 7—Changchengian Dajinshanyan Formation; 8—Proterozoic Dayuan gneiss; 9—granite porphyry of Late Yanshanian; 10—oligoporphyrific medium- and medium-fine-grained syenite granites of Early Yanshanian; 11—phenocryst-bearing fine-grained syenite granites of Early Yanshanian; 12—fine-grained syenite granites of Early Yanshanian; 13—Caledonian fine- to medium-fine grained micaceous syenite granite; 14—Caledonian medium-fine grained micaceous syenite granite; 15—fluorite vein; 16—fluorite mineralization zone; 17—quartz vein; 18—fault and its serial number; 19—geological boundary; 20—medium-sized fluorite deposit; 21—study area; 22—provincial border; 23—coastline; 24—boundary of stage III tectonic unit; 25—boundary of stage IV tectonic unit; 26—location of Daping fluorite mine; 27—P1 section position; 28—P2 section position

① 徐伟光, 黄家龙. 2005. 1:25 万区域矿产地质调查报告(邵武幅).

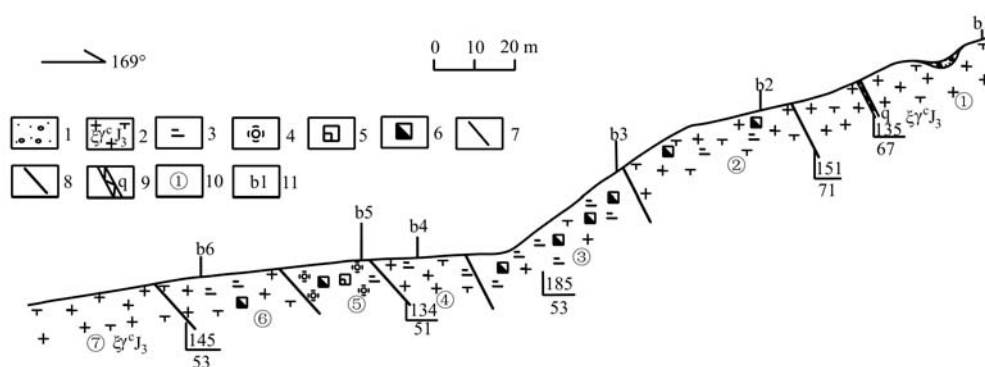


图2 大坪萤石矿构造剖面图(P2)

Fig. 2 Structural profile of Daping fluorite deposit(P2)

1—第四系坡积物; 2—斑状花岗岩; 3—绢云母化; 4—硅化; 5—萤石矿化; 6—褐铁矿化; 7—断层; 8—地质界线; 9—石英脉;

10—分层序号; 11—样品位置及编号

1—Quaternary slope deposits; 2—porphyritic granite; 3—sericization; 4—silicification; 5—fluorite mineralization; 6—limonization; 7—fault;

8—geological boundary; 9—quartz vein; 10—stratified serial number; 11—sample location and its number

(2) 绢云母化蚀变花岗岩: 岩石呈灰褐色, 变余中细粒状结构, 块状构造, 主要成分为钾长石(35%±)、假象斜长石(30%±)、石英(25%±)、黑云母(8%±)、褐铁矿(2%±), 钾长石由正长石组成, 零散分布; 假象斜长石, 半自形粒状、板状, 强绢云母化呈其假象, 同时有褐铁矿粉末零散分布; 石英, 它形粒状, 零散分布; 黑云母, 半自形片状, 多数脱铁褐铁白云母化呈其假象, 零散分布; 褐铁矿, 胶状、粉末状, 部分交代白云母化黑云母、绢云母化斜长石, 部分呈集合体聚集, 零散分布。岩石内密集发育两组“X”型裂隙, 走向分别为0°和30°, 宽1~5 mm, 裂隙密度8条/10 cm。岩层厚45.70 m。

(3) 碎裂绢云母化蚀变花岗岩: 浅绿色、肉红色, 似斑状结构, 变余中细粒半自形粒状结构, 碎裂化结构, 块状构造, 斑晶主要为钾长石(18%±)、石英(10%±), 基质主要成分为斜长石(31%±)、钾长石(25%±)、石英(12%±)、黑云母、褐铁矿少量。斜长石呈半自形粒状、板状, 强绢云母化部分呈其假象, 零散分布。岩石具微破裂, 沿裂纹有胶状褐铁矿充填、渲染。局部见透镜状石英脉, 宽1~3 cm不等。岩层厚34.38 m。

(4) 弱绢云母化蚀变花岗岩: 浅肉红色、浅绿色、灰褐色, 连续不等粒结构, 块状构造, 斜长石表面发育弱绢云母化, 见少量褐铁矿化。岩层厚34.38 m。

(5) 萤石矿化硅质岩(萤石矿化带): 白色、黄白色, 粒状结构, 块状构造, 主要矿物成分为石英(65%±)、萤石(25%±)、钾长石(5%±)、绢云母

(2%±)、白云母、褐铁矿、玉髓等少量。石英呈白色粒状隐微晶状,  $d \leq 0.1$  mm, 胶结长石-石英等碎屑, 零散分布; 萤石呈浅红色、浅绿色, 半自形-他形粒状, 多数粒径0.1~0.9 mm, 部分萤石零散分布于隐微晶石英集合体中。可见钾长石、石英和白云母碎屑, 假象斜长石碎屑少量。石英碎屑, 次棱角状,  $d = 0.1 \sim 3.0$  mm, 多为岩屑聚集, 零散分布; 钾长石碎屑, 次棱角状,  $d = 0.5 \sim 2.0$  mm, 多与石英组成  $d = 2 \sim 5$  mm 岩屑, 具微破裂, 零散分布; 斜长石碎屑, 次棱角状,  $d = 0.02 \sim 0.35$  mm, 强绢云母化呈其假象, 并为粉末状-胶状褐铁矿渲染, 零散分布; 白云母碎屑, 变晶片状,  $d = 0.05 \sim 0.20$  mm, 受褐铁矿渲染呈褐色, 零星分布。岩层厚32.52 m。

(6) 碎裂化蚀变花岗岩: 呈浅肉红色、浅绿色、黄褐色, 斜长石表面发育弱绢云母化, 见少量褐铁矿化。岩石受应力作用微破裂, 碎块相对位移不大, 碎块间有粉末状-胶状褐铁矿充填, 零散分布。岩层厚14.17 m。

含矿构造带内局部见萤石矿化带, 大坪一带萤石矿化带出露长约900 m(图1b), 后期被F<sub>0</sub>断裂切割, 萤石矿化带走向北东向, 倾向南东, 倾角58°~68°不等, 带内主要蚀变有硅化、绢云母化、萤石矿化, 岩性主要包括萤石矿化硅化碎斑岩、硅化碎裂萤石矿化石英岩、绢英岩化碎裂岩, 围岩为高岭土化花岗岩(图3、图4a), 详细特征如下。

萤石矿化硅化碎斑岩(萤石矿): 淡绿色, 它形-半自形粒状变晶结构(变余碎斑结构), 块状构造(图3、图4c)。矿石矿物为萤石(76%±), 它形-半自形

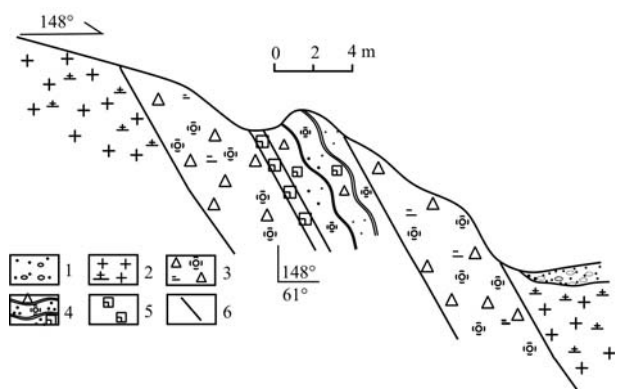


图3 大坪萤石矿矿化带特征(P1)

Fig. 3 Characteristics of mineralization zone of Daping fluorite deposit (P1)

1—第四系冲洪积物; 2—高岭土化花岗岩; 3—绢英岩化碎裂岩; 4—硅化碎裂萤石矿化石英岩; 5—萤石矿(萤石矿化硅化碎裂岩); 6—断层

1—Quaternary alluvium; 2—kaolinized granite; 3—sericitized cataclastic rock; 4—silicified cataclastic fluorite mineral quartzite; 5—fluorite mineral (fluorite mineralized silicified cataclastic porphyry); 6—fault

变晶粒状,  $d = 0.01 \sim 3.50 \text{ mm}$ , 多数  $d = 0.8 \sim 3.5 \text{ mm}$ ; 脉石矿物为石英( $22\% \pm$ )和绢云母( $2\% \pm$ )。容矿岩石为硅化碎斑岩, 碎斑由  $d = 0.2 \sim 2.5 \text{ mm}$  的次棱角状绢英岩化长石组成, 零散分布, 碎基由隐微晶

石英交代的变余碎粒-碎粉组成, 构成岩石的变余碎斑斑结构, 部分次生石英沿破裂萤石裂隙呈细脉状充填, 零散分布。

硅化碎裂萤石矿化石英岩: 呈灰白色, 显微粒状变晶结构, 条带状、角砾状、块状构造(图3、图4b)。主要成分为石英( $85\% \pm$ )、萤石( $12\% \pm$ )、绢云母( $3\% \pm$ ), 褐铁矿微量。萤石呈它形变晶粒状, 不均匀聚集, 零散分布; 绢云母呈变晶鳞片状, 不均匀褐铁矿渲染。岩石具微破裂, 碎块间为次生石英脉充填。

绢英岩化碎裂岩: 呈浅灰绿色, 显微鳞片粒状变晶结构、变余碎裂结构, 条带状、网脉状、块状构造(图3)。主要成分为石英( $75\% \pm$ )、绢云母( $24\% \pm$ ), 萤石、褐铁矿少量。石英由变晶粒状与它形粒状石英组成; 它形粒状石英, 多具微破裂, 零散分布; 粒状变晶石英, 呈显微粒状分布, 与显微鳞片状绢云母共同交代长石及其碎粒呈其假像。绢云母, 显微变晶鳞片状零散分布。褐铁矿, 呈粉末状, 常与绢云母、石英形成集合体。岩石具微破碎, 碎块间为次生石英及变质重结晶石英碎粒、绢英岩化长石充填。

大坪萤石矿含矿构造带内普遍见不同程度蚀

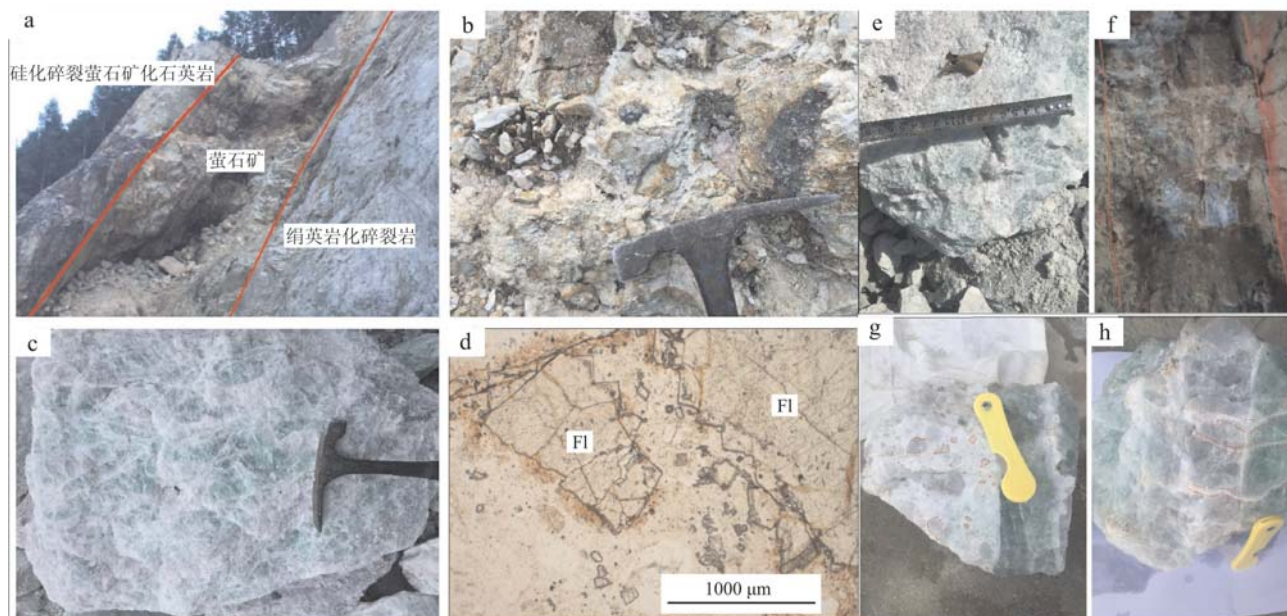


图4 大坪萤石矿带、矿化带、萤石矿石及萤石矿镜下显微特征

Fig. 4 Characteristics of Daping fluorite ore belt, mineralization zone, fluorite ore and microscopic characteristics of fluorite ore

a—萤石矿带; b—硅化碎裂萤石矿化石英岩; c—萤石矿石; d—萤石矿镜下特征; e—致密块状萤石矿; f—条带状萤石矿;

g—角砾状萤石矿; h—网脉状萤石矿

a—fluorite mineralization belt; b—silicified cataclastic fluorite mineralized quartzite; c—fluorite ore; d—microscopic characteristics of fluorite ore; e—dense massive fluorite; f—banded fluorite; g—breccia fluorite; h—net fluorite

变,主要蚀变有硅化、绢云母化,少量褐铁矿化、绿泥石化,局部地段发育萤石矿化,且硅化、绢云母化蚀变强烈,形成萤石矿化带。

根据萤石含矿构造带内蚀变矿物特征,带内蚀变至少有两个期次:第 1 期为硅化、绢云母化、萤石矿化期,主要受萤石成矿热液影响产生蚀变,为萤石成矿期;第 2 期为绿泥石化、褐铁矿化期,为萤石成矿期后形成。

### 3.2 矿体地质特征

大坪萤石矿赋存在北东向断裂构造带内(图 1),共圈定萤石矿体 1 条,矿体地表连续出露长约 200 m,矿体形态为一较规则的脉状透镜体,产状  $30^{\circ} \sim 60^{\circ} \angle 60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ,沿走向或倾向均见一定的胀缩,真厚度 0.46 ~ 12.5 m 不等,平均品位 45.96% ~ 64.35%。矿石矿物主要为萤石,少量褐铁矿。萤石以浅绿、翠绿为主,次为无色、灰白色、浅紫色和深紫色等,半自形-它形粒状,粒径一般 0.01 ~ 1.20 mm 不等,脉石矿物为石英(43%±)、绢云母(4%±)等,石英呈粒径 0.2 ~ 1.2 mm 的次棱角状或集合体,多具微破裂。矿石结构主要为半自形粒状结构,少量为自形晶粒状、碎粒结构。矿石构造类型主要为致密块状(图 4e)、角砾状和网脉状(图 4g、4h),次为条带状(图 4f)、晶簇晶洞状、细脉状构造。矿体围岩主要为硅质岩、硅质角砾岩、蚀变花岗岩,围岩内局部见少量萤石矿化,矿体和围岩间呈断层接触。矿体内未见夹石。

## 4 分析结果

### 4.1 主量元素特征

从表 1 的分析结果可以看出,蚀变花岗岩的  $\text{SiO}_2$  含量 72.05% ~ 75.08%,平均 73.47%,略高于萤石矿化硅质岩中  $\text{SiO}_2$  含量;蚀变花岗岩中  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{MnO}$  平均含量均高于萤石矿化硅质岩中含量,约为萤石矿化硅质岩中含量的 2~6 倍;蚀变花岗岩中  $\text{Na}_2\text{O}$  平均含量明显高于萤石矿化硅质岩中含量,约为萤石矿化硅质岩中含量的 13 倍;萤石矿化硅质岩中  $\text{CaO}$  的含量明显高于蚀变花岗岩中平均含量,约为蚀变花岗岩中含量的 127 倍。

### 4.2 稀土元素特征

由表 1 可见区内绢云母化蚀变花岗岩、碎裂绢云母化蚀变花岗岩、弱绢云母化蚀变花岗岩、碎裂化

表 1 岩石样品的主量( $w_B/\%$ )、稀土和微量元素( $w_B/10^{-6}$ )分析结果表

Table 1 Analysis results of major( $w_B/\%$ ), rare earth elements and trace elements( $w_B/10^{-6}$ ) of samples

| 编号                      | b1     | b2     | b3     | b4     | b5    | b6     |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| $\text{SiO}_2$          | 58.68  | 72.30  | 75.08  | 72.05  | 61.52 | 74.46  |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 19.80  | 14.51  | 12.68  | 13.27  | 3.81  | 14.03  |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 3.45   | 2.65   | 2.65   | 1.86   | 0.49  | 1.33   |
| $\text{FeO}$            | 0.66   | 0.29   | 0.34   | 0.87   | 0.12  | 0.19   |
| $\text{CaO}$            | 0.11   | 0.07   | 0.09   | 0.32   | 19.64 | 0.13   |
| $\text{MgO}$            | 0.65   | 0.50   | 0.44   | 0.43   | 0.12  | 0.17   |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 5.53   | 4.61   | 3.60   | 5.26   | 0.98  | 5.42   |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 0.22   | 0.15   | 0.66   | 2.62   | 0.10  | 1.69   |
| $\text{TiO}_2$          | 0.43   | 0.25   | 0.22   | 0.28   | 0.04  | 0.10   |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 0.04   | 0.04   | 0.04   | 0.10   | 0.02  | 0.03   |
| $\text{MnO}$            | 0.11   | 0.11   | 0.14   | 0.09   | 0.04  | 0.05   |
| $\text{CO}_2$           | 0.22   | 0.16   | 0.16   | 0.22   | 0.21  | 0.26   |
| $\text{H}_2\text{O}^-$  | 1.31   | 0.87   | 0.91   | 0.48   | 0.33  | 0.39   |
| LOI                     | 8.69   | 3.43   | 2.51   | 1.33   | 4.66  | 1.26   |
| Total                   | 99.90  | 99.95  | 99.52  | 99.17  | 92.07 | 98.24  |
| La                      | 52.00  | 57.90  | 54.80  | 51.00  | 7.95  | 23.30  |
| Ce                      | 124.0  | 96.2   | 109.0  | 122.0  | 15.8  | 65.9   |
| Pr                      | 11.80  | 13.30  | 12.50  | 11.30  | 1.87  | 6.06   |
| Nd                      | 51.40  | 58.50  | 52.50  | 48.80  | 8.62  | 27.20  |
| Sm                      | 9.97   | 11.90  | 10.60  | 9.61   | 2.18  | 6.66   |
| Eu                      | 0.85   | 1.01   | 0.83   | 0.93   | 0.26  | 0.22   |
| Gd                      | 6.33   | 8.08   | 7.35   | 6.88   | 2.37  | 4.63   |
| Tb                      | 0.77   | 1.08   | 0.97   | 0.97   | 0.51  | 0.79   |
| Dy                      | 4.44   | 5.38   | 5.15   | 5.35   | 3.79  | 3.39   |
| Ho                      | 0.81   | 0.84   | 0.93   | 0.93   | 0.77  | 0.59   |
| Er                      | 2.51   | 2.35   | 2.66   | 3.02   | 2.38  | 2.05   |
| Tm                      | 0.37   | 0.33   | 0.36   | 0.41   | 0.34  | 0.23   |
| Yb                      | 2.58   | 2.32   | 2.52   | 2.93   | 2.33  | 1.99   |
| Lu                      | 0.40   | 0.35   | 0.35   | 0.40   | 0.32  | 0.24   |
| Y                       | 29.1   | 33.0   | 34.4   | 40.1   | 43.3  | 30.5   |
| $\Sigma \text{REE}$     | 297.33 | 292.54 | 294.92 | 304.63 | 92.79 | 173.75 |
| LREE                    | 250.02 | 238.81 | 240.23 | 243.64 | 36.68 | 129.34 |
| HREE                    | 47.31  | 53.73  | 54.69  | 60.99  | 56.11 | 44.41  |
| LREE/HREE               | 5.28   | 4.44   | 4.39   | 3.99   | 0.65  | 2.91   |
| $\delta \text{Ce}$      | 1.22   | 0.84   | 1.03   | 1.24   | 0.98  | 1.36   |
| $\delta \text{Eu}$      | 0.30   | 0.30   | 0.27   | 0.33   | 0.35  | 0.11   |
| $w(\text{Au})/10^{-9}$  | 0.02   | 0.61   | 0.45   | 1.04   | 0.69  | 1.81   |
| Li                      | 36.1   | 71.7   | 53.3   | 24.4   | 171.0 | 48.3   |
| Be                      | 1.02   | 5.02   | 5.04   | 4.06   | 2.31  | 2.72   |
| Ti                      | 0.36   | 0.31   | 0.19   | 0.28   | 0.05  | 0.09   |
| Nb                      | 37.5   | 29.5   | 20.4   | 29.2   | 6.15  | 23.6   |
| Ta                      | 4.95   | 3.83   | 3.04   | 3.65   | 0.75  | 3.36   |
| Sc                      | 8.92   | 6.10   | 4.58   | 5.87   | 1.45  | 3.37   |
| Cs                      | 4.31   | 21.20  | 10.70  | 10.40  | 6.48  | 7.53   |
| Zr                      | 216.0  | 180.0  | 134.0  | 166.0  | 78.1  | 119.0  |
| Th                      | 59.60  | 36.10  | 32.30  | 40.90  | 5.74  | 35.40  |
| Sr                      | 56.7   | 35.7   | 33.4   | 92.6   | 25.7  | 16.5   |
| Ba                      | 586.0  | 137.0  | 344.0  | 502.0  | 72.4  | 290.0  |
| K                       | 5.02   | 3.52   | 3.57   | 4.43   | 1.06  | 4.52   |
| Cd                      | 0.08   | 0.10   | 0.26   | 0.05   | 0.00  | 0.05   |
| V                       | 37.40  | 31.10  | 27.10  | 31.90  | 6.24  | 4.70   |
| Co                      | 13.60  | 2.77   | 3.97   | 4.31   | 0.84  | 0.94   |
| Cr                      | 3.84   | 6.00   | 3.49   | 6.18   | 15.60 | 4.81   |
| Ni                      | 4.4    | 2.8    | 2.5    | 2.5    | 2.5   | 1.8    |
| Rb                      | 339.0  | 302.0  | 270.0  | 312.0  | 81.3  | 281.0  |
| U                       | 16.90  | 4.79   | 6.85   | 7.80   | 2.83  | 7.37   |
| Hf                      | 5.8    | 4.9    | 4.0    | 4.6    | 2.6   | 2.7    |
| Ga                      | 36.20  | 21.50  | 19.60  | 19.90  | 5.71  | 13.80  |
| Cu                      | 34.9   | 27.6   | 27.4   | 28.2   | 32.3  | 30.1   |
| W                       | 2.19   | 0.77   | 0.95   | 0.78   | 0.75  | 0.29   |
| Mo                      | 0.18   | 0.25   | 0.19   | 0.30   | 0.40  | 0.19   |
| Sn                      | 9.54   | 6.82   | 5.18   | 5.55   | 1.05  | 3.58   |
| Sb                      | 0.23   | 0.35   | 0.31   | 1.40   | 0.49  | 0.53   |
| F                       | 0.08   | 0.16   | 0.12   | 0.16   | 11.73 | 0.28   |

蚀变花岗岩稀土元素总量  $\Sigma \text{REE}$  介于  $173.75 \times 10^{-6}$  ~  $304.63 \times 10^{-6}$  之间, 与斑状花岗岩稀土元素总量  $297.33 \times 10^{-6}$  总体一致; 轻重稀土元素比值 (LREE/HREE) 介于 2.91~4.44 之间, 萤石矿化硅质岩稀土元素总量  $92.79 \times 10^{-6}$ , 轻重稀土元素比值 (LREE/HREE) 为 0.65, 稀土元素总量和轻重稀土元素比值具有由斑状花岗岩、蚀变花岗岩到萤石矿化硅质岩逐渐减少的趋势, 萤石矿化硅质岩稀土元素总量相对较低, 具有明显的重稀土元素相对富集的特征。以上特征表明研究区内萤石矿化硅质岩具有较好的分馏度(曹俊臣, 1997; 邹灏等, 2014; 许东青等, 2009; 孙海瑞等, 2014; 刘道荣, 2015; 张遵遵等, 2018)。

在稀土元素球粒陨石标准配分图(图5), 斑状花岗岩、蚀变花岗岩、萤石矿化硅质岩稀土元素配分型式基本一致, 亏损 Eu、Ho、Tm、Lu, 富集 Gd、Er、Yb、Y, 反映出三者的同源性。Tb/Ca - Tb/La 双变量图解已被广泛应用于萤石矿成因辨析(Möller *et al.*, 1976), 在图6中, 大坪萤石矿萤石矿化硅质岩位于热液型区域内, 表明大坪萤石矿属热液成因(Bau and Dulski, 1995; Ismail *et al.*, 2015)。

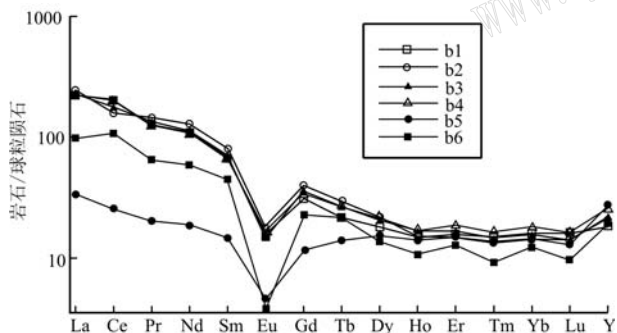


图5 大坪萤石矿部分样品稀土元素球粒陨石标准配分图  
(标准化数据据 Evensen *et al.*, 1978)

Fig. 5 Chondrite normalized REE patterns of some samples from Daping fluorite deposit (normalized data from Evensen *et al.*, 1978)

### 4.3 微量元素特征

从表1分析结果可以看出, 蚀变花岗岩的 Ti、Nb、Ta、Sc、Th、Ba、V、K、Co、Rb、U、Ga、Sn 等元素平均含量均高于萤石矿化硅质岩中含量, 约为萤石矿化硅质岩含量的2~7倍; 蚀变花岗岩中Cd的平均

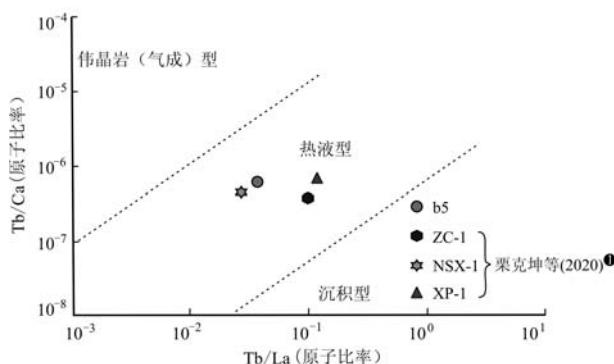


图6 大坪萤石矿 Tb/Ca - Tb/La 图解(底图据 Möller *et al.*, 1976)

Fig. 6 Tb/Ca - Tb/La diagram of Daping fluorite Mine (base map from Möller *et al.*, 1976)

含量明显高于萤石矿化硅质岩中含量, 约为萤石矿化硅质岩中的29倍; 萤石矿化硅质岩中F含量明显高于蚀变花岗岩中相应元素含量, 约为蚀变花岗岩内平均含量的65倍; 萤石矿化硅质岩中Li、Gr元素含量高于蚀变花岗岩中的平均含量, 约为蚀变花岗岩内平均含量的3倍; 其它元素二者含量差别不大。

## 5 讨论

### 5.1 成矿元素迁移特征

大坪萤石矿矿体受断裂构造控制, 含矿带内REE及成矿物质(如Ca、F等)主要是通过流体循环与岩石相互作用中的水/岩反应获得的, 溶液淋滤围岩, 使围岩释放REE及成矿物质进入溶液, 因此这种溶液的组成也应是矿源层REE组成的反映, 而能反映溶液REE组成的沉淀物(矿物)的REE组成也应与这种矿源层的REE相同(似)。REE的来源在一定程度上间接地反映了溶液中其他物质的来源(邹灏等, 2014), 大坪萤石矿含矿构造带内蚀变花岗岩、萤石矿化硅质岩与围岩斑状花岗岩稀土元素配分型式基本一致, 这反映出三者的同源性, 同时也表明萤石矿化硅质岩中的其他物质(如Ca、F、Li、Gr等)也与围岩有关。含矿构造带为含矿热液提供了运移通道, 为矿化蚀变提供了空间。

研究区萤石矿化硅质岩与围岩斑状花岗岩相比, 具有明显的高CaO、F、Li、Gr等, 低Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、MgO、K<sub>2</sub>O、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、MnO、Cd、Ti、Nb、

① 栗克坤, 张青松, 韩志坤, 等. 2020. 福建邵武-顺昌萤石矿调查总结报告.

Ta、Sc、Th、Ba、V、K、Co、Rb、U、Ga、Sn 等特征,反映成矿流体淋滤围岩时,将 Ca、F、Li、Gr 等元素萃取至成矿流体中,形成富 Ca、F、Li、Gr 等元素的成矿流体,在成矿有利部位富集成矿。

## 5.2 成矿期次划分及矿床成因

萤石矿是成矿作用的直接产物,不同成矿期次的成矿作用形成不同类型的矿石,萤石矿石的特征是反映不同成矿期次的直接证据。研究区萤石矿石的构造类型主要为致密块状、角砾状和网脉状,次为条带状、晶簇晶洞状、细脉状构造,致密块状矿石是成矿作用的直接产物,角砾状和网脉状矿石是后期不同成矿作用对前期形成矿石改造作用的产物。

大坪萤石矿蚀变主要包括硅化、绢云母化和绿泥石化、褐铁矿化两个期次,硅化、绢云母化发生于萤石矿化期,可以反映萤石成矿时的环境。

综合大坪萤石矿矿石构造及其蚀变特征,认为研究区萤石矿至少包括 3 个成矿期次:第 1 期次石英-萤石期,在张应力作用下,断裂发生张性活动,热液上升就位,沉淀形成石英萤石矿;第 2 期次石英-萤石期,张性断裂活动进一步加剧,第 1 期次形成的石英萤石矿破碎形成角砾,被该期热液胶结形成新的石英萤石矿,包括含角砾萤石矿(图 4g)和致密块状萤石矿;第 3 期次萤石-石英期,张性断裂活动减弱,带内岩石在应力作用下形成微破裂,局部形成网脉状小裂隙,沿裂隙充填萤石石英细脉,形成网脉(细脉)状萤石矿。

大坪萤石矿矿体受断裂构造控制,矿体与围岩界线清楚,具充填矿床的特征,且围岩中见不同程度的硅化、绢云母化等热液蚀变,矿石矿物组合基本上是萤石和石英,硫化矿物极少,未见高温和气成矿物。结合区域资料,认为该区萤石矿应为岩浆期后中-低温热液充填型矿床。

## 6 结论

(1) 大坪萤石矿含矿断裂构造带内主要充填为硅化带、构造角砾岩带、蚀变花岗岩带、萤石矿化带等,带内蚀变主要有绢云母化、硅化、萤石矿化。

(2) 大坪萤石矿斑状花岗岩、蚀变花岗岩、萤石矿化硅质岩三者具有相同的物质来源。萤石矿化硅质岩表现为具有明显的高 CaO、F,低 Na<sub>2</sub>O、Cd、Ti 等特征。

(3) 大坪萤石矿成矿期次包括石英-萤石期、石

英-萤石期、萤石-石英期这 3 个成矿期次。矿床为岩浆期后中-低温热液充填型矿床。

**致谢** 中化地质矿山总局河南地质局教授级高级工程师陈新立和长安大学副教授汪帮耀在成稿过程中提出了许多建设性的意见,审稿专家提出了许多有益建议,在此一并致谢!

## References

- Bau M and Dulski P. 1995. Comparative study of yttrium and rare-earth element behaviours in fluouine-rich hydothermal fluids[J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 119(2): 213~223.
- Cao Junchen. 1987. The classification and minerrogenic regularity of fluorite deposits in China[J]. Geology and Prospecting, 23(3): 12~17 (in Chinese with English abstract).
- Cao Junchen. 1994. Mineral Deposits of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 314~340(in Chinese).
- Cao Junchen. 1997. Geochemistry of REE of fluorite deposit and physical properties of fluorite mineral in China[J]. Geology and Prospecting, 33(2): 18~23(in Chinese with English abstract).
- Chen Xinli, Liu Zengzheng, Li Kekun, et al. 2018. Geologocal and geochemical characteristics of ore-bearing silicification zone for fluorite deposits in northern Fujian[J]. Geology of Chemical Minerals, 40(3): 155~161(in Chinese with English abstract).
- Evensen N M, Hamilton P J and O'Nions R K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meterorites[J]. Geochim Cosmochim Acta, 42: 1 199~1 212.
- Harald G D. 2010. The "chessboard" classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geologyfrom aluminum to zirconium[J]. Earth-Science Reviews, (100): 1~40, 252~260.
- Hu Jianyu. 1997. Geological characteristics of Jinjiadong fluorite deposit in De'an County[J]. Geological Science and Technology of Jiangxi, 24(3): 107~110(in Chinese with English abstract).
- Ismail I, Baioumy H, Ouyang H, et al. 2015. Origin of fluorite mineralizations in the Nuba Mountain, Sudan and their rare earth element geochemistry[J]. Journal of African Earth Sciences, 112: 276~286.
- Li Changjiang and Jiang Xuliang. 1991. The minerogenetic model of two types of fluorite deposits in southesten China[J]. Acta Geologica Sinica, 65(3): 263~273(in Chinese with English abstract).
- Li Shiqin. 1985. Gigascope sedimentary fluorite deposit formed by volcan-

- ism[J]. *Geology and Prospecting*, 21(1): 30~31 (in Chinese).
- Li Yuan, Wang Changqiu, Wang Shiqi, *et al.* 2016. Thermoluminescence in natural fluorite[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 35(S1): 68~72 (in Chinese with English abstract).
- Liu Daorong. 2015. Geological characteristics and metallogenic model of "Changshan-type" fluorite deposits[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 34(3): 343~352 (in Chinese with English abstract).
- Ministry of Land and Resources of People's Republic of China. 2003. Specification for Barite, Withrite, Fluorite and Boron Mineral Exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~28 (in Chinese).
- Möller P, Parekh P and Schneider H J. 1976. The application of Tb/Ca-Tb/La abundance ratios to problems of fluorspar genesis[J]. *Mineralium Deposita*, 11(1): 111~116.
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, *et al.* 2009. Division of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 36(1): 5~28 (in Chinese with English abstract).
- Stanley J L. 1983. *Industrial Minerals and Bocks* (4th edition) [M]. Beijing: China Building Industry Press, 195~217 (in Chinese).
- Sun Hairui, Huang Zhilong, Zhou Jiayi, *et al.* 2014. Rare earth elements geochemistry of fluorite in hydrothermal deposits and its geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(1): 185~193 (in Chinese with English abstract).
- Wang Honghai. 1991. Geological feature and genesis of Jiangle fluorite deposit[J]. *Geology and Prospecting*, (3): 21~43 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiping, Shang Pengqiang, Xiong Xianxiao, *et al.* 2014. Classification of fluorite deposits in China[J]. *Geology in China*, 41(2): 315~325 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiping, Shang Pengqiang, Xiong Xianxiao, *et al.* 2015. Metallogenic regularities of fluorite deposits in China[J]. *Geology in China*, 42(1): 18~32 (in Chinese with English abstract).
- Wu Ziqiang and Xie Congzhi. 1989. *China Fluorspar Deposit Geology and Exploration* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 28~40 (in Chinese).
- Xu Dongqing, Nie Fengjun, Qian Mingping, *et al.* 2009. REE geochemistry and genesis of Sumochagan Obo superlarge fluorite deposit[J]. *Mineral Deposits*, 28(1): 29~41 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, *et al.* 2008. The Scheme of the Classification of the Minerogenetic Units in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~138 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Huitang, Yang Gengdong and Zhang Cunwei. 1984. Discussion on the features and origin of fluorite deposit in Wuyi district[J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, (1): 13~22 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yongjia. 1996. An analysis for the genesis of the fluorite deposits in Wuyi basin, Zhejiang[J]. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 123(4): 46~49 (Chinese with English abstract).
- Zhang Zunzun, Gong Yinjie, Jin Shichao, *et al.* 2018. Sm-Nd isochron age of the Dazhuyuan fluorite deposit in northeastern Guizhou and its geological significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 37(6): 949~958 (in Chinese with English abstract).
- Zou Hao, Fang Yi, Chen Hemao, *et al.* 2014. REE geochemistry and genesis of the Xiachen fluorite deposit in Tiantai basin, Zhejiang Province[J]. *Geology in China*, 41(4): 1 375~1 386 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 曹俊臣. 1987. 中国萤石矿床分类及其成矿规律[J]. *地质与勘探*, 23(3): 12~17.
- 曹俊臣. 1994. 中国矿床[M]. 北京: 地质出版社, 314~340.
- 曹俊臣. 1997. 中国萤石矿床稀土元素地球化学及萤石的矿物物理特征[J]. *地质与勘探*, 33(2): 18~23.
- 陈新立, 刘增政, 栗克坤, 等. 2018. 闽北地区萤石矿赋矿硅化带地质及地球化学特征. [J]. *化工矿产地质*, 40(3): 155~161.
- 国土资源部. 2003. 重晶石、毒重石、萤石、硼矿地质勘查规范[M]. 北京: 地质出版社, 1~28.
- 胡建余. 1997. 德安县金家洞萤石矿床地质特征[J]. *江西地质科技*, 24(3): 107~110.
- 李长江, 蒋叙良. 1991. 中国东南部两类萤石矿床的成矿模式[J]. *地质学报*, 65(3): 263~273.
- 李士勤. 1985. 火山作用形成的特大型沉积萤石矿床[J]. *地质与勘探*, 21(1): 30~31.
- 李源, 王长秋, 王时麒, 等. 2016. 天然萤石的热发光研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 35(S1): 68~72.
- 刘道荣. 2015. 浙江“常山式”萤石矿床特征及成矿模式[J]. *岩石矿物学杂志*, 34(3): 343~352.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. *中国地质*, 36(1): 5~28.
- 孙海瑞, 黄智龙, 周家喜, 等. 2014. 热液矿床中萤石的稀土元素地球化学及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 33(1): 185~193.
- 王宏海. 1991. 将乐萤石矿床地质特征及成因[J]. *地质与勘探*,

- (3): 21~43.
- 王吉平, 商朋强, 熊先孝, 等. 2014. 中国萤石矿床分类[J]. 中国地质, 41(2): 315~325.
- 王吉平, 商朋强, 熊先孝, 等. 2015. 中国萤石矿床成矿规律[J]. 中国地质, 42(1): 18~32.
- 吴自强, 谢从智. 1989. 中国萤石矿床地质与勘探[M]. 北京: 地质出版社, 28~40.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 1~138.
- 许东青, 聂凤军, 钱明平, 等. 2009. 苏莫查干敖包超大型萤石矿床的稀土元素地球化学特征及其成因意义[J]. 矿床地质, 28(1): 29~41.
- 张惠堂, 杨耕东, 张存威. 1984. 试论武义地区萤石矿床特征及其成因[J]. 成都地质学院学报, (1): 13~22.
- 章永加. 1996. 浙江武义盆地萤石矿成因分析[J]. 成都理工学院学报, 123(4): 46~49.
- 张遵遵, 龚银杰, 金世超, 等. 2018. 黔东南大竹园萤石矿床 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 37(6): 949~958.
- 邹 灏, 方 乙, 陈合毛, 等. 2014. 浙江天台盆地陈萤石矿稀土元素地球化学特征及成因[J]. 中国地质, 41(4): 1375~1386.

## 新书介绍

# 《矿物名称词源》

崔云昊 编著 武汉: 中国地质大学出版社 2021 年 4 月出版

16 开 精装 1 288 页 3 483 千字 定价: 980 元

本书是我国,也是世界矿物学文献中第一部追溯矿物名称词源的较大型矿物名学专门辞书。作者从散见于浩瀚的书海和珍藏于数以千计的全国各地自然博物馆的文献资料以及互联网上,精心收录了 6 000 余种矿物(含 118 种化学元素),收词始于石器时代,截至 2020 年,时间跨度长达六七千年。本书不仅是一部矿物、化学元素发现和命(译)名的辞书,也是一部矿物、化学元素发现和命(译)名的史书,还是一部矿物名学的科普著作,足以反映人类在矿物学领域中主要科学成果的概貌。

本书强调实用,重在溯源,书中的英文名称、汉语拼音名称、化学式、模式产地、IMA 认证标准、首次报道文献均与国际矿物学界接轨,采用 IMA 认可的资料。部分条目配有与命名相关的精美图片,具有可视性、观赏性。在矿物学研究中,它是一部很有特色与创新性的著述,选题新颖,结构合理,层次分明,内容丰富,考据充分可靠,诠释精详,语言洗炼,图文并茂,引人入胜,具有科学性、权威性、可读性、趣味性、科普性。它的出版对矿物科学的发展具有重要意义,并具有显著的社会、文化和收藏价值。

本书主要供地球科学、天体宇宙科学、化学、物理学、采矿、冶金、石油、煤炭土壤、医药、珠宝、材料工作者,大专院校师生,科研院所、经贸、翻译以及其他与矿物学相关领域的工作者使用,是一部教学、学习、工作、科研和翻译工作者案头必备的矿物名学工具书。

有需要此书者,请与中国地质大学出版社联系购买,电话 027—67883511。

(潘云唐 供稿)

