

# 福建邵武地区张厝萤石矿微量、稀土元素 地球化学特征

周博文<sup>1, 2)</sup>, 王春连<sup>2)\*</sup>, 游超<sup>3)</sup>, 刘殿鹤<sup>2, 4)</sup>, 刘思晗<sup>1, 2)</sup>,  
余小灿<sup>2)</sup>, 颜开<sup>2, 5)</sup>, 刘雪<sup>1, 2)</sup>, 刘延亭<sup>2, 6)</sup>

1) 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南昆明 650093;  
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) 中国地质大学(武汉)地质调查研究院, 湖北武汉 430074;  
4) 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871;  
5) 冰岛大学地球科学学院, 冰岛雷克雅未克 101; 6) 东华理工大学地球科学学院, 江西南昌 330013

**摘要:** 张厝萤石矿是福建邵武地区典型萤石矿床之一, 萤石矿体赋存于晚侏罗世似斑(少斑)中细粒(细粒)正长花岗岩的断裂构造中, 矿体产状严格受断裂控制。本文对萤石矿石及围岩的微量元素及稀土元素进行了系统分析。微量元素分析结果显示: 亏损高场强元素 Nb、Zr 及大离子亲石元素 Sr、Ba, 富集高场强元素 U、Hf、Ti 和大离子亲石元素 Rb。萤石和围岩稀土配分曲线具有相似同步性, 因此认为研究区萤石的成矿物质来源是相同的, 物源具有相似性。萤石矿稀土元素分布模式为右倾的轻稀土富集型, Eu 处出现一个明显“V”形, 表现为负 Eu 异常、Ce 弱正异常, 表明其形成于还原环境中。通过 Tb/Ca-Tb/La 关系图分析, 说明该萤石矿为热液充填型萤石矿床。综合分析, 认为该萤石矿的成矿物质 F 和 Ca 主要来源于热液对围岩的淋滤和萃取, 成矿热液主要来源于大气降水。

**关键词:** 萤石矿; 微量和稀土元素; 地球化学; 物质来源; 邵武张厝

中图分类号: P619.215; P595 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2022.042701

## Geochemical Characteristics of Trace Elements and REE in Zhangcuo Fluorite Deposit in Shaowu Area, Fujian Province

ZHOU Bo-wen<sup>1, 2)</sup>, WANG Chun-lian<sup>2)\*</sup>, YOU Chao<sup>3)</sup>, LIU Dian-he<sup>2, 4)</sup>, LIU Si-han<sup>1, 2)</sup>,  
YU Xiao-can<sup>2)</sup>, YAN Kai<sup>2, 5)</sup>, LIU Xue<sup>1, 2)</sup>, LIU Yan-ting<sup>2, 6)</sup>

1) Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093;  
2) MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources,  
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;  
3) Institute of Geological Survey, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, Hubei 430074;  
4) School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871;  
5) Faculty of Earth Science, University of Iceland, Reykjavík, Iceland 101;  
6) School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013

**Abstract:** Zhangcuo fluorite deposit is one of the typical fluorite deposits in Shaowu area, Fujian Province. The fluorite ore body occurs in the fault structure of Late Jurassic porphyry (little porphyry) medium-fine grain (fine grain) syenogranite, and the occurrence of the ore body is strictly controlled by the fault. In this study, trace elements and rare earth elements (REE) in fluorite ore and surrounding rock were systematically analyzed.

本文由中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号: KK2005)和中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20221684; DD20190816; DD20190606)联合资助。

收稿日期: 2022-02-24; 改回日期: 2022-04-17; 网络首发日期: 2022-04-28。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 周博文, 女, 1996 年生。硕士研究生。主要从事萤石矿床方面研究工作。E-mail: 18732657008@163.com。

\*通讯作者: 王春连, 男, 1983 年生。博士, 研究员。主要从事矿床学方面的研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。

E-mail: wangchunlian312@163.com。

The results of trace element analysis showed that the depletion of high field strength elements Nb and Zr and large ion lithophile elements Sr and Ba, and enrichment of high field strength elements U, Hf, Ti and large ion lithophile elements Rb. The REE distribution curves of fluorite and surrounding rock have similar synchronization, therefore it is considered that the sources of ore-forming materials of fluorite in the study area are the same and the provenance is similar. The results revealed that the REE distribution pattern of fluorite ore is a right-leaning LREE enrichment type, with an evident “V” shape in Eu, negative Eu anomaly and weak Positive Ce anomaly, indicating that the ore was formed in a reductive environment. The Tb/Ca-Tb/La diagram shows that the fluorite deposit is hydrothermal filled type. Comprehensive analysis shows that F and Ca are mainly derived from leaching and extraction of surrounding rock by hydrothermal solution, and the ore-forming hydrothermal solution is primarily derived from meteoric water.

**Key words:** fluorite ore; trace and rare earth elements; geochemical; material source; Zhangcuo, Shaowu

萤石是制造高端含氟材料的主要来源之一，为新一代信息技术、新能源、新材料、新医药和航空航天等领域提供了重要的原材料保障，已被列入我国关键矿产目录(李敬等, 2019; 王春连等, 2022)。萤石为世界级稀缺资源，中国、美国、欧盟、日本等国家都将萤石列为“战略性矿产”或者“关键矿产”(陈军元等, 2021)，而萤石矿是中国的优势矿种(张遵遵等, 2018)，随着现代工业和科学技术的发展，可用于制作建筑和造船工业的焊剂、大功率激光装置的部件、火箭燃料等(栗克坤等, 2021, 2022)。我国萤石矿床分布广泛，大中型萤石矿床集中于东部沿海、华中、内蒙古中东部及新疆阿尔金地区(吴益平等, 2021)。按照矿床成因分类和工业类型，萤石矿床可以划分为沉积改造型、伴生型和热液充填型(王吉平等, 2015)。

微量元素和稀土元素的地球化学特征可以有效地示踪岩浆和成矿作用过程中物理化学条件变化、成矿流体演化和运移、流体的水岩反应等成矿作用和过程(Bau, 1996; 王立强等, 2012; 黄凡等, 2013; 张建芳等, 2013; 邹灏等, 2014; 何高文等, 2011; 游超等, 2022)。

邵武张厝萤石矿达大型规模。以往研究该地区大多针对地质找矿勘查工作，而对于区内萤石矿床成因、形成机制、成矿规律的相关地球化学特征等方面研究较少，有鉴于此，本文以邵武张厝萤石矿为研究对象，在系统总结萤石矿床地质特征基础上，通过分析典型萤石与围岩的稀土元素、微量元素的地球化学特征，进一步探讨萤石矿床成因以及成矿物质的来源与演化。

## 1 地质概况

研究区大地构造单元属武夷—云开—台湾造山系(V)、华夏陆块(V-3)、武夷古弧盆系(V-3-1)(潘桂棠等, 2009; 张青松, 2021)。区域内构造以断裂为主，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，出露地层主要为中元古代太源片麻岩，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，侏罗系梨山组下段及第四系全新统(图 1)。

研究区主体位于张厝晚侏罗世花岗岩体的中北部。萤石矿带赋存于北东向西坑—张厝—大坪—半岭—拿口北东向断裂带中部硅化带膨大部位，即半岭—俞厝墩—新坪—大坪—张厝一带。该断裂构造呈北东向分布于研究区中南部，为拿口—张厝北东向断裂带的一部分，区内控制长度约 18 km(图 2)。断裂构造北起研究区中部的拿口镇一带，中部贯穿晚侏罗世花岗岩体，南部自西坑向外延伸。由一系列北东、北东东向断层所组成。断层倾向主要为南东向，局部倒转，倾向北西，倾角 40°~85°不等，局部近直立。断层北部切穿元古界大金山组变质岩地层，中部、南部切穿晚侏罗世正长花岗岩。断裂带宽度 2~100 m 不等，一般 10~40 m，北部主要为沿断裂构造充填的花岗斑岩、闪长玢岩脉，中部的半岭—俞厝墩—新坪—大坪—张厝一线以宽度较大的硅化带、构造角砾岩带、碎裂花岗岩带、萤石矿化带为特点。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿体特征

研究区位于邵武半岭—俞厝墩—新坪—大坪—张厝萤石矿带的南西部，该萤石矿体呈脉状赋存于少斑中粒-中细粒正长花岗岩和含斑细粒含黑云母正长花岗岩体内。

断裂为张厝萤石矿区的主要控矿构造，以北东、北西向断裂为主，近南北向次之，北东向断裂规模大、数量多、矿化蚀变强烈，具有多期次活动的特点，为区域上萤石矿的主要控矿、容矿构造(王吉平等, 2015)。张厝萤石矿赋矿构造宽 30~100 m，萤石矿体产状与赋矿构造产状一致，走向 45°，北部倾向南东，南部倒转倾向北西，倾角 80°~90°不等。萤石矿体地表连续出露长 420 m，连续矿化长度 480 m。地表矿化范围宽 37 m，矿体厚度 0.83~3.5 m 不等，平均厚度 2.33 m；萤石矿体具有向深部膨大的特征。

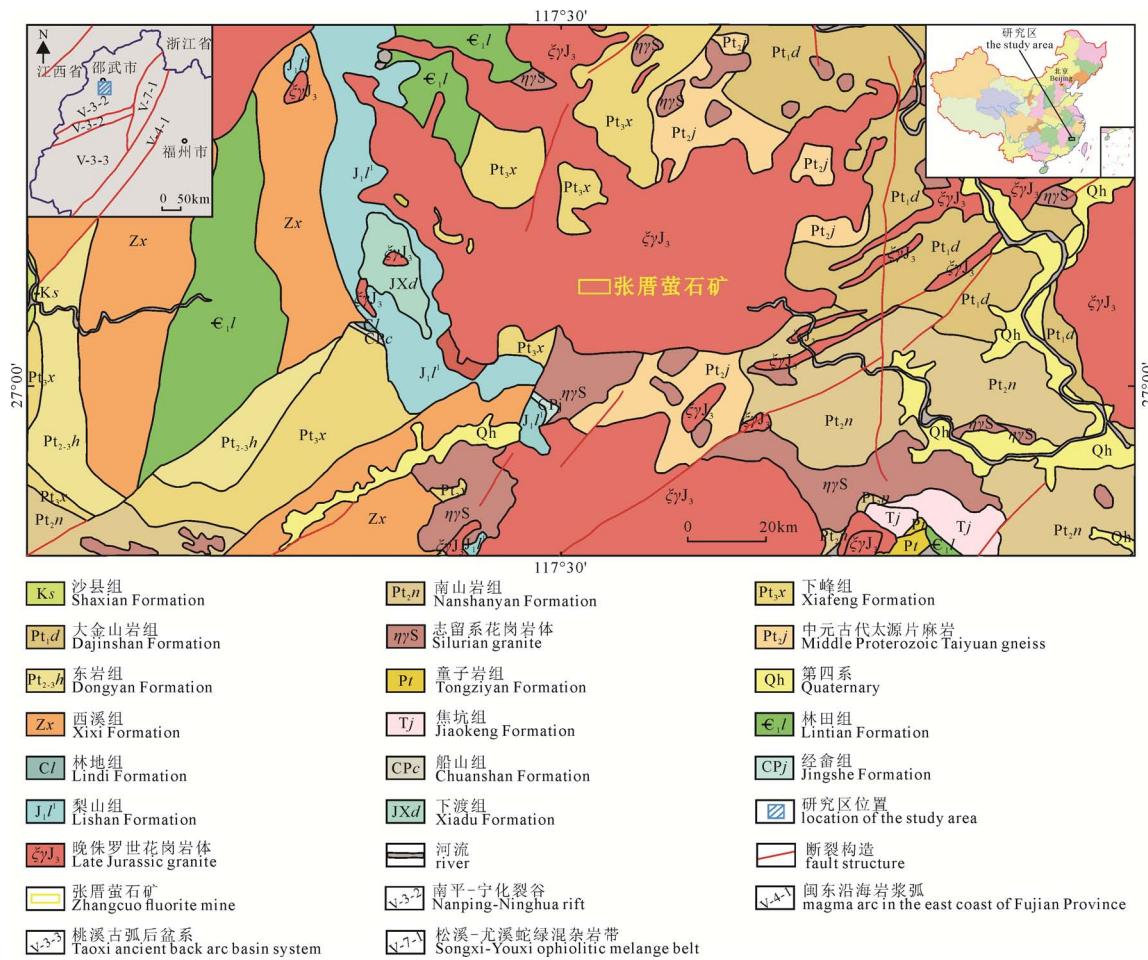


图 1 福建邵武张厝地区地质简图  
Fig. 1 Geological sketch of Zhangcuo, Shaowu area, Fujian Province

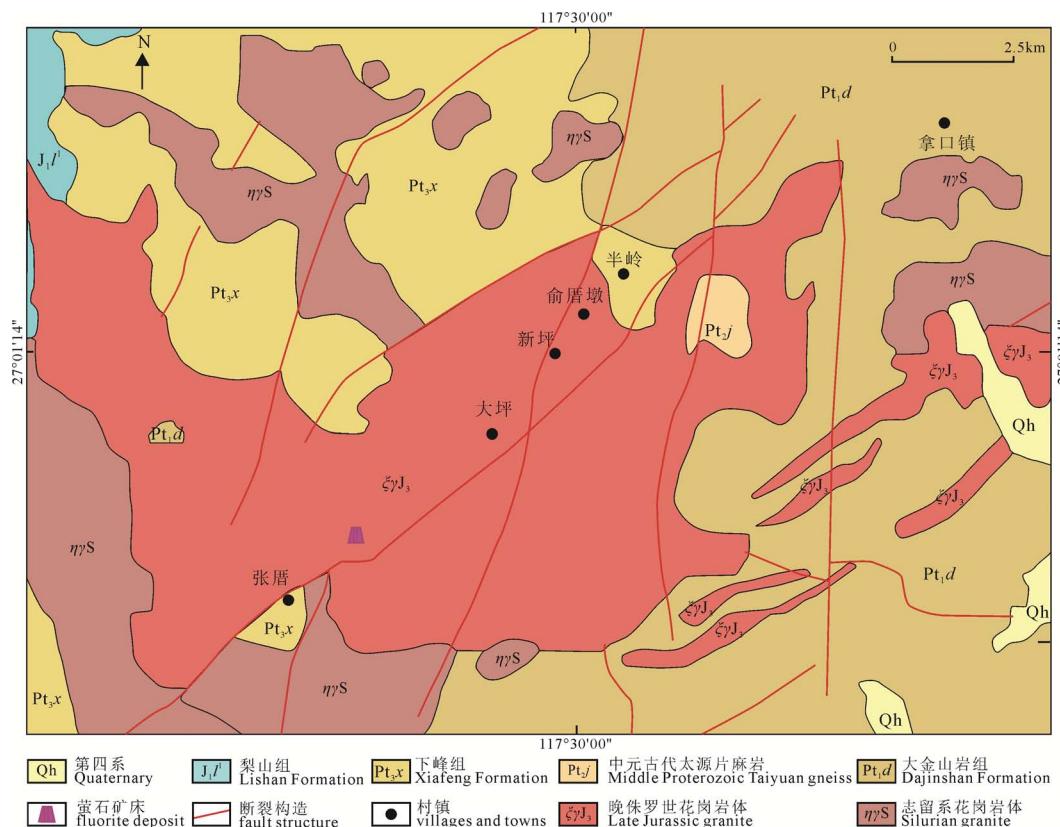


图 2 邵武张厝地区断裂构造图  
Fig. 2 Fault structure map of Zhangcuo, Shaowu area

## 2.2 矿石特征

矿石类型主要为萤石型、石英-萤石型。矿石矿物为萤石，主要呈浅绿色、紫色。脉石矿物主要为石英、方解石、长石，次要矿物为绢云母、绿泥石、碳酸盐矿物。萤石与石英二者密切共生。

矿石结构主要为它形-半自形粒状结构，次为自形结构。矿石构造主要为致密块状、条带状、角砾状构造(图 3)。

## 2.3 围岩蚀变

围岩中普遍具有强烈硅化、绢云母化、其次为绿泥石化、绿帘石化、高岭土化等(图 4, 图 5)，硅化、绢云母化与萤石矿化关系最为密切，蚀变强烈

部位矿体厚度大、矿石品位较高。

## 3 样品采集与分析

本次共采集 ZK1102 钻孔岩芯 12 件样品，包括 7 件萤石及 5 件正长花岗岩围岩(图 6)。首先将采集的样品经过人工破碎成小颗粒，将破碎的样品颗粒放入研钵中进行研磨，充分研磨至 200 目以下呈粉末状，然后进行微量元素和稀土元素分析测试。样品测试是在国家地质实验测试中心完成的，检测仪器采用等离子质谱仪，检测下限为  $n \times 10^{-13} \sim n \times 10^{-12}$ ，检测误差小于 10%。本文采用 Boynton(1984)推荐的球粒陨石 REE 数据作为稀土元素标准化数值。

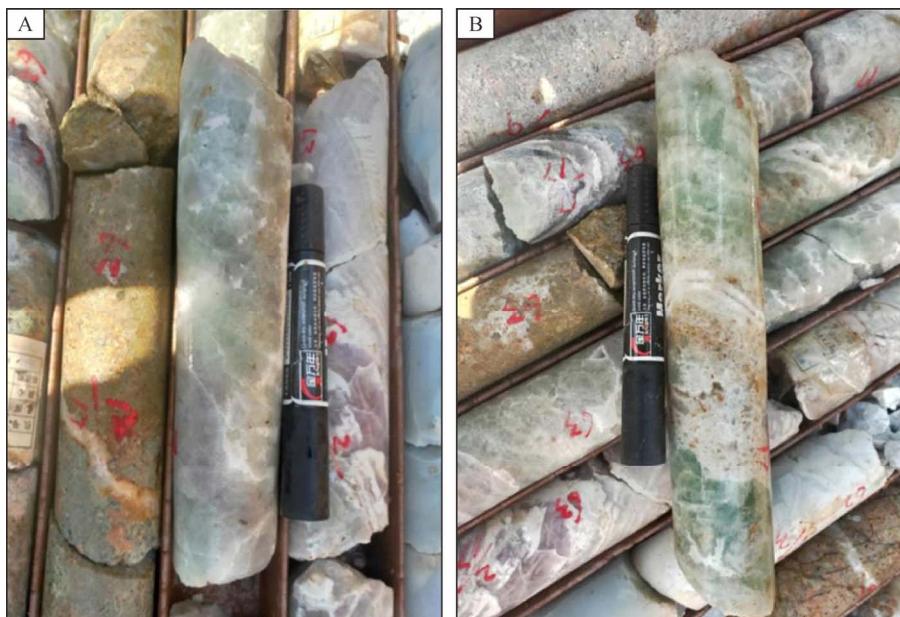
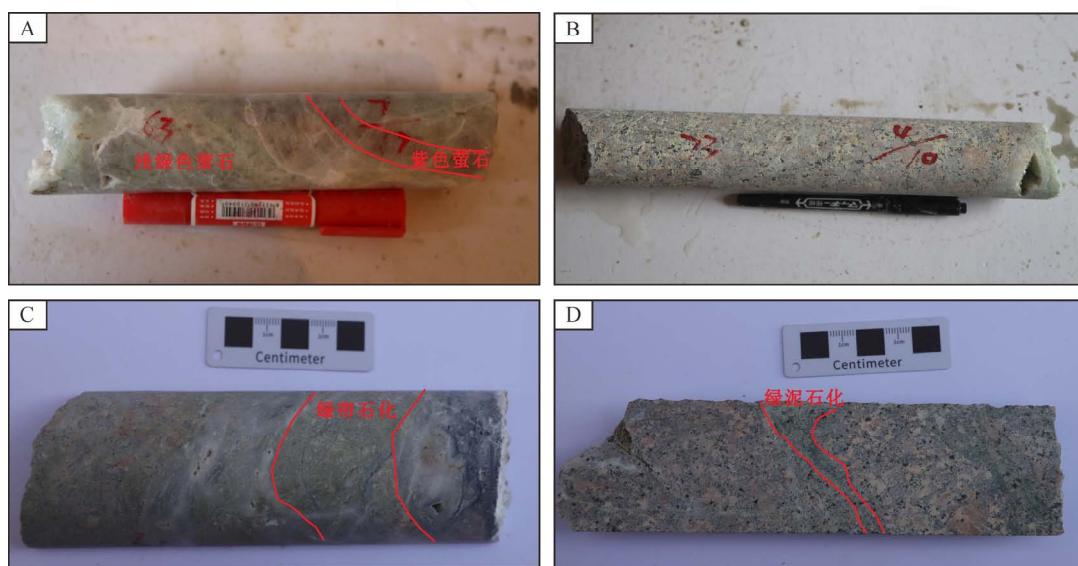


图 3 张厝萤石岩芯照片(条带状萤石矿石(A)、角砾状萤石矿石(B))

Fig. 3 Photos of Zhangcuo fluorite cores (banded fluorite ore (A), and brecciated fluorite ore (B))

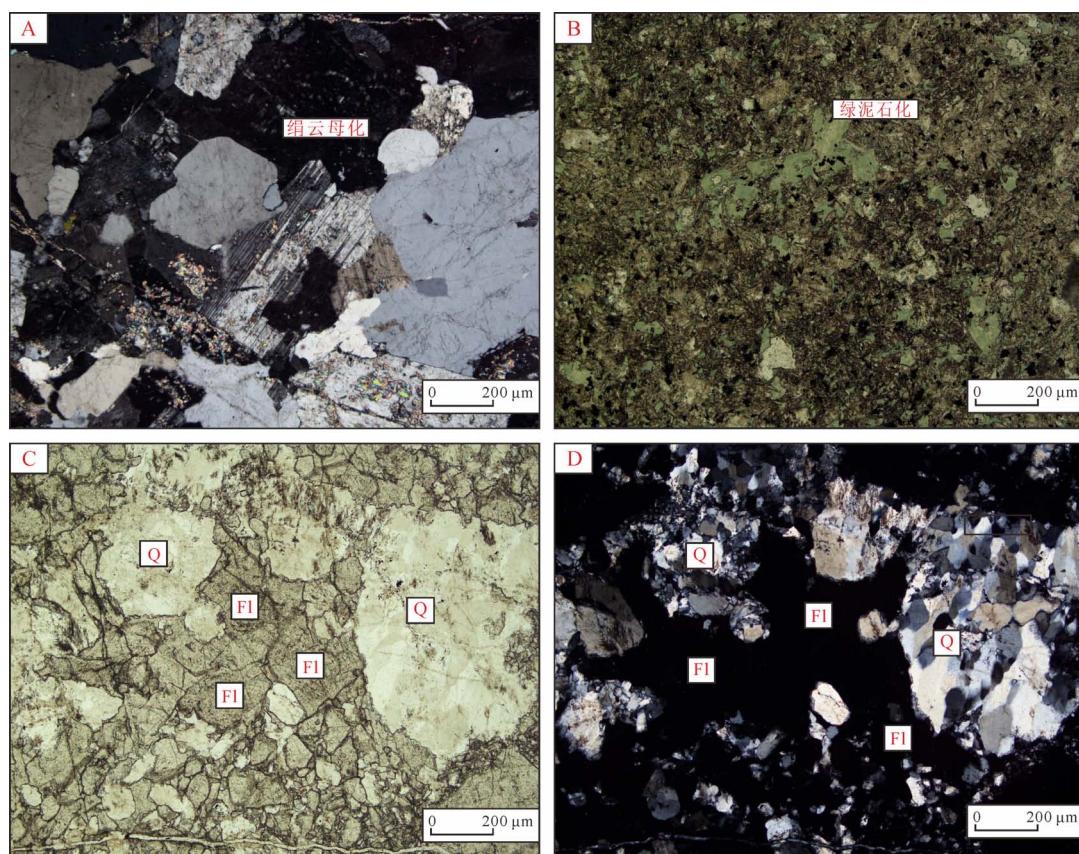


A—萤石; B—高岭土化; C—绿帘石化; D—绿泥石化。

A-fluorite; B-kaolinization; C-epidote; D-chloritization.

图 4 张厝萤石矿石与围岩蚀变照片

Fig. 4 Alteration photos of fluorite and surrounding rock of Zhangcuo fluorite deposit



A—绢云母化; B—绿泥石化; C—单偏光下萤石与石英共生; D—正交光下萤石与石英共生; Q—石英; Fl—萤石。

A—sericitization; B—chloritization; C—fluorite and quartz symbiosis under single light;  
D—fluorite and quartz symbiosis under orthogonal light; Q—quartz; Fl—fluorite.

图 5 张厝萤石矿显微照片

Fig. 5 Zhangcuo fluorite micrograph

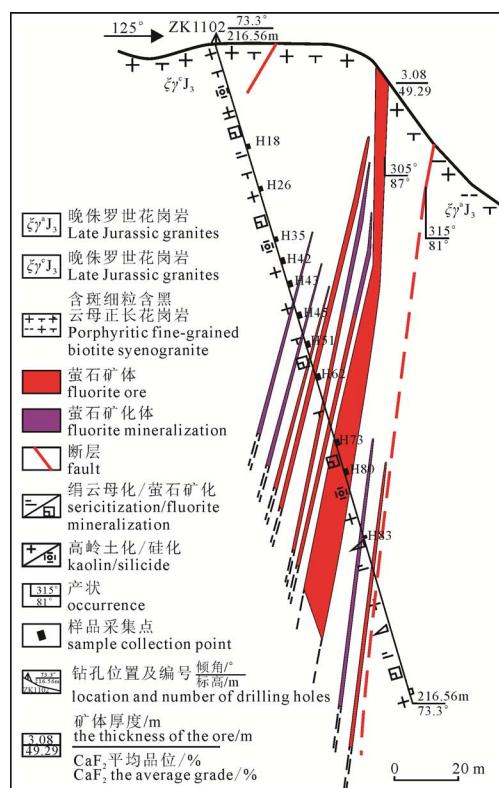


图 6 张厝萤石矿区勘查线剖面图  
Fig. 6 Section of exploration line in Zhangcuo fluorite mining area

## 4 分析测试结果

### 4.1 微量元素

萤石微量元素测试结果见表 1, Sr 的含量为  $(42.24\sim79.10)\times10^{-6}$ , 平均为  $53.47\times10^{-6}$ ; U 的含量为  $(0.05\sim3.83)\times10^{-6}$ , 平均为  $0.79\times10^{-6}$ ; Th 的含量为  $(0.09\sim15.9)\times10^{-6}$ , 平均为  $2.74\times10^{-6}$ 。Nb 的含量为  $(0.03\sim12.5)\times10^{-6}$ , 平均为  $2.17\times10^{-6}$ ; Zr 的含量为  $(0.15\sim86.4)\times10^{-6}$ , 平均为  $14.58\times10^{-6}$ 。Li 含量为  $(4.51\sim129.20)\times10^{-6}$ , 平均为  $60.24\times10^{-6}$ ; Be 含量为  $(0.06\sim2.02)\times10^{-6}$ , 平均为  $0.73\times10^{-6}$ ; Ba 的含量为  $(1.66\sim277)\times10^{-6}$ , 平均为  $48.15\times10^{-6}$ 。在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 7)中可以得出, 不同萤石总体上曲线表现出一致的特点, 亏损高场强元素 Nb、Zr 及大离子亲石元素 Sr、Ba, 富集高场强元素 U、Hf、Ti 和大离子亲石元素 Rb。

从围岩的微量元素测试结果(表 1)可以看出, Ba 含量为  $(325\sim580)\times10^{-6}$ , 平均为  $492.4\times10^{-6}$ ; Nb 含量为  $(9.49\sim23.4)\times10^{-6}$ , 平均为  $13.40\times10^{-6}$ ; Zr 含量为  $(110\sim215)\times10^{-6}$ , 平均为  $172.8\times10^{-6}$ ; Sr 含量为  $(52.3\sim91.8)\times10^{-6}$ , 平均为  $67.6\times10^{-6}$ ; Li 含量为

$(30.2\sim227)\times10^{-6}$ , 平均为  $116.02\times10^{-6}$ ; Rb 含量为  $(193\sim379)\times10^{-6}$ , 平均  $297.4\times10^{-6}$ ; U 含量为  $(3.75\sim10.8)\times10^{-6}$ , 平均  $6.90\times10^{-6}$ ; Th 含量为  $(23.10\sim42.9)\times10^{-6}$ , 平均  $31.98\times10^{-6}$ 。在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 7)中可以得出, 亏损高场强元素 Nb、Zr 及大离子亲石元素 Sr、Ba, 富集高场强元素 Th、U、Hf、Ti 和大离子亲石元素 Rb。

## 4.2 稀土元素

本文在讨论稀土元素地球化学特征过程中, 按照三分法将稀土元素划分为轻稀土(LREE): La~Nd; 中稀土(MREE): Sm~Ho 和重稀土(HREE): Er~Lu。根据稀土元素有关参数和配分模式, 将研究区稀土元素分成三类, 轻稀土富集型( $(La/Sm)_N$  大于 1), 轻稀土平坦型( $(La/Sm)_N$  约等于 1)和轻稀土亏损型( $(La/Sm)_N$  小于 1) (邹灏等, 2014)。

稀土元素测试结果表明(表 2), 萤石的 $\Sigma$ REE 为

$(40.78\sim139.71)\times10^{-6}$ , 均值为  $62.98\times10^{-6}$ ; 萤石中 LREE/HREE 比值为 0.84~4.86, 均值为 1.76;  $(La/Yb)_N$  比值为 0.55~5.34, 均值为 1.60, 说明配分曲线比较平缓。 $\Sigma$ REE 的变化较大, 显示出热液型萤石矿床的特征(曹华文等, 2014; 孙海瑞等, 2014)。 $(La/Sr)_N$  比值为 1.04~5.20, 均值为 2.21, 表明轻稀土相对富集;  $\delta Eu$  为 0.38~0.55, 均值为 0.44;  $\delta Ce$  为 0.99~1.06, 均值为 1.03。通过 LREE/HREE 数据表明轻稀土元素和重稀土元素之间发生分异, 轻稀土元素相对富集, Eu 处出现一个明显“V”形, 存在负 Eu 异常, Ce 弱正异常。

围岩的 $\Sigma$ REE 为  $(175.99\sim231.05)\times10^{-6}$ , 均值为  $212.07\times10^{-6}$ , 稀土总量均高于萤石。LREE/HREE 比值为 8.09~16.41, 平均为 10.58;  $(La/Yb)_N$  比值为 9.11~24.47, 平均为 13.14, 说明配分曲线呈较陡的右倾斜。

表 1 福建邵武张厝地区萤石和围岩微量元素组成/ $(\times10^{-6})$

Table 1 Trace element composition  $(\times10^{-6})$  of fluorite and surrounding rock mass in Zhangcuo, Shaowu area, Fujian

样品号	H18	H26	H35	H45	H51	H73	H43	H86	H62	H42	H80	H83
样品名	花岗岩	花岗岩	花岗岩	萤石	花岗岩	花岗岩	萤石	萤石	萤石	萤石	萤石	萤石
Li	227.00	111.00	70.90	67.20	30.20	141.00	129.20	4.51	31.88	66.03	11.68	111.15
Be	3.85	3.65	3.32	2.02	3.42	3.38	1.44	0.06	0.24	0.44	0.19	0.72
Cr	15.80	4.90	7.99	7.81	17.30	4.63	7.61	1.17	2.96	2.59	1.76	2.69
Mn	723.00	994.00	577.00	364.00	943.00	542.00	192.20	6.12	12.68	5.87	10.68	5.57
Co	2.93	3.87	3.30	1.84	3.52	2.53	2.07	1.90	1.86	1.41	1.87	1.34
Ni	2.73	2.66	1.49	1.69	2.09	3.22	10.15	15.64	15.61	12.60	16.32	13.10
Cu	2.81	5.12	2.81	22.00	10.90	10.30	3.02	2.00	2.42	1.59	2.22	2.49
Zn	44.10	40.40	47.40	22.90	44.10	32.60	10.31	2.81	5.04	7.30	1.71	2.28
Ga	17.00	16.70	17.60	9.47	16.00	4.30	1.70	0.49	0.46	0.41	0.50	0.58
Rb	193.00	330.00	379.00	202.00	316.00	269.00	16.05	0.38	0.88	1.33	0.47	3.46
Sr	52.30	70.10	69.10	57.00	91.80	54.70	42.24	60.86	45.20	45.02	79.10	44.90
Mo	5.39	6.61	0.65	5.79	1.12	1.51	38.30	0.39	0.24	0.98	0.29	0.41
Cd	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	0.07	0.08	0.06	0.06	0.05
In	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.25	0.03	0.06	0.02	0.03	0.03
Cs	8.41	10.10	7.23	5.65	7.56	12.20	2.13	0.04	0.16	0.39	0.08	0.74
Ba	552.00	509.00	580.00	277.00	496.00	325.00	22.59	1.66	5.27	9.76	8.99	11.79
Tl	0.900	1.620	1.860	0.920	1.560	1.490	0.160	0.001	0.002	0.007	0.002	0.013
Pb	27.90	22.10	29.20	15.20	29.20	14.80	19.23	2.43	4.66	1.22	1.18	0.76
Bi	0.38	0.17	0.08	0.37	0.11	0.60	0.15	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
Th	26.00	29.40	42.90	15.90	38.50	23.10	2.64	0.19	0.09	0.11	0.11	0.12
U	3.75	7.30	8.64	3.83	10.80	4.00	1.28	0.05	0.08	0.08	0.07	0.12
Nb	9.49	17.90	20.50	12.50	23.40	15.70	2.33	0.06	0.07	0.06	0.03	0.12
Ta	0.88	2.07	2.98	1.72	2.92	1.65	0.30	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Zr	175.00	154.00	215.00	86.40	210.00	110.00	12.03	0.17	2.55	0.34	0.15	0.44
Hf	5.42	5.23	7.53	3.00	6.93	3.92	0.39	0.08	0.10	0.05	0.07	0.05
Sn	3.37	5.44	4.08	2.50	4.08	5.95	0.90	0.25	0.39	0.21	0.32	0.29
Sb	0.56	0.27	0.07	0.24	0.09	0.48	0.65	0.15	0.09	0.17	0.14	0.23
Ti	1215.00	1520.00	1666.00	876.00	1807.00	1140.00	156.02	8.56	14.67	12.68	8.96	15.94
W	1.61	3.32	3.08	2.03	1.28	20.60	0.69	0.71	0.51	0.36	1.04	0.43
As	1.66	2.13	16.00	3.32	2.12	3.47	1.44	1.25	0.83	0.75	0.94	0.82
V	14.50	22.70	22.60	12.60	23.90	19.40	3.41	2.22	1.34	1.67	0.84	1.76

整体上看, 围岩中 $\Sigma\text{REE}$ 要高于萤石的 $\Sigma\text{REE}$ 含量, 稀土配分模式都表现为平缓的右倾型, 具有相似性, 均具有Eu负异常(图8)。

## 5 讨论

### 5.1 微量元素与稀土元素特征

从赋矿围岩及萤石(图7)的微量元素原始地幔标准化蛛网图可以看出: 萤石与赋矿围岩具有相近的微量元素分布模式, 亏损高场强元素Nb、Zr及大离子亲石元素Sr、Ba, 富集高场强元素U、Hf、Ti和大离子亲石元素Rb。它们分布曲线形态十分相似或一致, 但萤石的总体含量比花岗岩低, H43萤石是介于其他萤石与花岗岩之间的, 并且萤石的总体形态与花岗岩较为相似; 而萤石中Rb、Sr、Zr、Nb、V、Cr、Th、U、Ba等元素含量极低, 均低于矿体外围岩及地壳丰度(黎彤, 1976), 约为地壳值的0.1倍。并且这些元素比较稳定, 说明原始成矿流体中这些元素含量低, 演化过程中没有过多的外来元素加入(黄从俊和李泽琴, 2015)。张兴阳等(2006)和张成信等(2019)研究表明, Cu、Pb、Zn等金属元素

可反映深部岩浆来源特征, 岩浆期后热液富集金属元素。研究区萤石中的Cu、Pb、Zn等金属元素含量均较低, 其中Cu含量最高为 $22\times10^{-6}$ , 大多数萤石中Cu含量集中在 $(1.59\sim3.01)\times10^{-6}$ , 说明该区萤石成矿流体为岩浆期后热液成因的可能性小(张兴阳等, 2006)。

萤石矿床中7个萤石矿样品的REE配分模式变化的趋势是相同的。萤石与围岩(花岗岩)整体趋势是一致的(图8), 萤石稀土配分曲线与围岩具有相似同步性。因此认为研究区萤石的成矿物质来源是相同的, 且萤石和围岩的物源具有相似性(Alvin et al., 2004), 说明萤石的成矿物质与赋矿围岩有关。

Eu、Ce异常通常情况下可以用来指示萤石成矿流体的温度以及氧化还原条件(Constantopoulos, 1988; Williams-Jones et al., 2000)。Eu的负异常指示成矿流体的环境为还原环境, 正异常代表氧化环境。通过张厝萤石矿及围岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线(图8)可知, Eu处出现一个明显“V”形, 存在负Eu异常, 表明形成于还原环境中。

表2 福建邵武张厝地区萤石和围岩稀土元素组成/( $\times10^{-6}$ )

Table 2 REE composition of fluorite and surrounding rock in Zhangcuo, Shaowu area, Fujian Province( $\times10^{-6}$ )

样品原号	H18	H26	H35	H45	H51	H73	H43	H86	H62	H42	H80	H83
样品名	花岗岩	花岗岩	花岗岩	萤石	花岗岩	花岗岩	萤石	萤石	萤石	萤石	萤石	萤石
La	48.10	49.20	51.30	27.30	49.50	39.20	5.47	3.81	4.19	3.70	6.69	3.82
Ce	92.60	95.90	92.40	53.20	98.90	69.80	12.41	10.27	10.25	9.34	15.98	9.28
Pr	10.50	10.90	11.30	6.34	11.10	9.01	1.60	1.50	1.42	1.35	2.04	1.28
Nd	35.80	38.00	39.50	23.10	39.70	31.60	6.89	7.33	6.57	6.14	8.03	5.89
Sm	6.44	6.66	7.80	5.25	7.76	6.27	2.63	3.64	2.67	2.28	2.95	2.30
Eu	0.81	0.84	0.91	0.69	0.88	0.74	0.46	0.67	0.45	0.40	0.61	0.42
Gd	4.62	5.55	6.77	5.76	6.64	6.00	3.88	5.89	4.38	3.50	4.00	3.44
Tb	0.61	0.86	1.08	1.13	1.06	0.94	0.98	1.60	1.11	0.89	1.12	0.90
Dy	2.94	4.70	6.24	6.96	5.95	5.12	6.63	10.75	7.49	5.96	8.20	6.17
Ho	0.50	0.90	1.23	1.32	1.15	0.94	1.21	2.04	1.40	1.06	1.67	1.14
Er	1.35	2.58	3.79	3.91	3.49	2.76	3.41	5.74	3.82	2.95	4.94	3.14
Tm	0.20	0.41	0.59	0.58	0.54	0.40	0.48	0.77	0.48	0.41	0.73	0.43
Yb	1.41	2.76	4.04	3.67	3.81	2.81	3.32	5.00	2.94	2.49	4.72	2.58
Lu	0.21	0.41	0.61	0.50	0.57	0.40	0.42	0.64	0.37	0.32	0.63	0.32
Y	12.70	24.10	34.40	51.70	31.20	30.30	52.20	101.69	89.15	58.13	84.19	71.63
$\Sigma\text{REE}$	206.09	219.67	227.56	139.71	231.05	175.99	49.80	59.65	47.53	40.78	62.30	41.11
LREE	194.25	201.50	203.21	115.88	207.84	156.62	29.46	27.22	25.55	23.20	36.30	22.98
HREE	11.84	18.17	24.35	23.83	23.21	19.37	20.34	32.43	21.98	17.57	26.00	18.13
LREE/HREE	16.41	11.09	8.35	4.86	8.95	8.09	1.45	0.84	1.16	1.32	1.40	1.27
$\text{La}_{\text{N}}/\text{Yb}_{\text{N}}$	24.47	12.79	9.11	5.34	9.32	10.01	1.18	0.55	1.02	1.07	1.02	1.06
$\delta\text{Eu}$	0.45	0.42	0.38	0.38	0.37	0.37	0.44	0.44	0.40	0.43	0.55	0.45
$\delta\text{Ce}$	1.01	1.02	0.94	0.99	1.03	0.91	1.03	1.05	1.03	1.02	1.06	1.03
$n(\text{Tb})/n(\text{La})$	0.011	0.015	0.018	0.036	0.019	0.021	0.157	0.367	0.231	0.211	0.146	0.206
$n(\text{Tb})/n(\text{Ca})$	$1.31\times10^{-5}$	$5.14\times10^{-5}$	$1.06\times10^{-4}$	$1.39\times10^{-4}$	$3.11\times10^{-5}$	$3.56\times10^{-6}$	$1.17\times10^{-6}$	$1.94\times10^{-6}$	$1.36\times10^{-6}$	$1.04\times10^{-6}$	$1.31\times10^{-6}$	$1.04\times10^{-6}$

## 5.2 稀土元素图解

### 5.2.1 La/Ho-Y/Ho 关系图

萤石中的Y/Ho与La/Ho的双变量关系图解能有效地判别成矿流体来源(Bau and Dulski, 1995)。Bau and Dulski(1995)指出Y、Ho的分馏现象并不取决于流体来源,而是取决于流体的组成及其物理化学性质。同源同期形成的萤石中La/Ho与Y/Ho之间的值具有相似性,其比值应趋近于一条直线;同源非同期形成的萤石La/Ho与Y/Ho则呈负相关。从图9中可以看出7个萤石样品中萤石的分布基本呈水平,说明该区萤石的成矿物质应为同一流体来源,且为同期成矿。同时,研究区的萤石Y/Ho值范围为39.17~63.90,平均为51.42;Sm/Nd值范围为0.23~0.50,平均为0.36。萤石的Y/Ho及Sm/Nd比值都比较稳定,说明其可能是同一成矿流体结晶形成。

### 5.2.2 Tb/Ca-Tb/La 关系图

Tb/Ca-Tb/La关系图是Möller et al.(1976)在对全球150多个萤石样品测试数据分析的基础上以Tb/Ca和Tb/La的原子数比为参数而做出的萤石

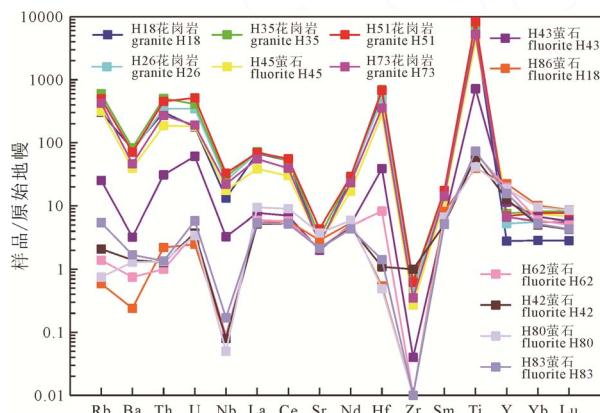


图7 张厝萤石矿及围岩微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 7 Primitive mantle normalized cobweb map of trace elements of fluorite deposit and surrounding rock in Zhangcuo

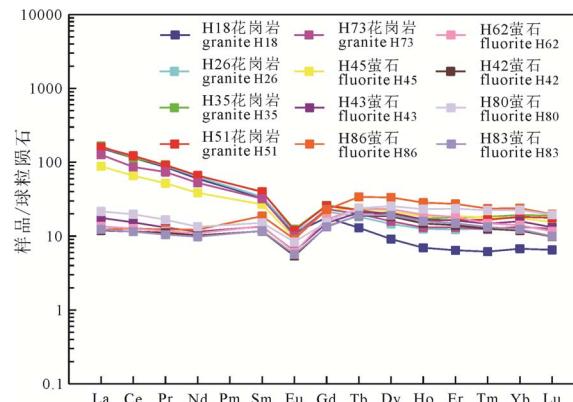


图8 张厝萤石矿及围岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线

Fig. 8 Chondrite-normalized REE distribution patterns of fluorite ores and ore-bearing surrounding rocks in Zhangcuo

矿床成因判别图,并划分了伟晶气液、热液和沉积3个成因区(赵省民等,2002;孙祥等,2008;夏学惠等,2009;邹灏等,2014)。其纵坐标(Tb/Ca值)代表萤石形成时的地球化学环境,横坐标(Tb/La值)表示稀土元素的分馏程度,通过该图解能有效地判别出萤石矿的成因类型以及成矿流体是否与围岩发生了水岩反应(Schneider et al., 1975; Möller et al., 1976)。目前Tb/Ca-Tb/La双变量图解已被广泛应用于萤石矿的成因辨析。将张厝萤石矿床中所取的7个萤石样品的数据投入图解中(图10),投点全部落入热液成因区,表明本区萤石矿系热液成因作用的产物。

### 5.2.3 成矿物质来源

曹俊臣(1994)对我国典型的热液脉型萤石矿床气液包裹体氢、氧同位素特征进行了研究,其中福建将乐常口萤石矿的 $\delta D$ 为-63‰~ -51‰,  $\delta O$ 为

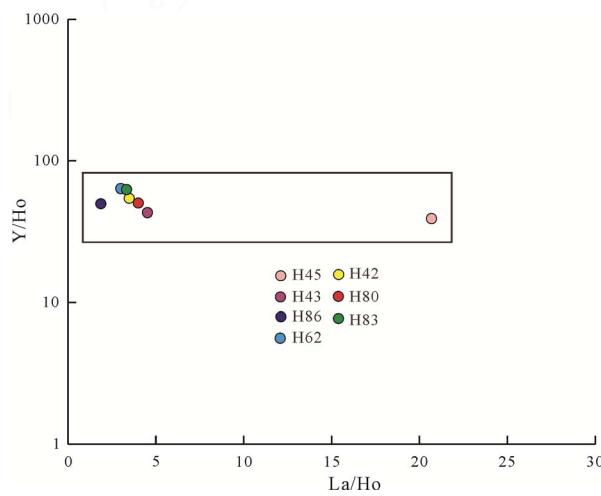


图9 张厝萤石矿 La/Ho-Y/Ho 关系图  
(底图据 Bau and Dulski, 1995)

Fig. 9 Y/Ho-La/Ho diagram of fluorite ores in Zhangcuo  
(the original map after Bau and Dulski, 1995)

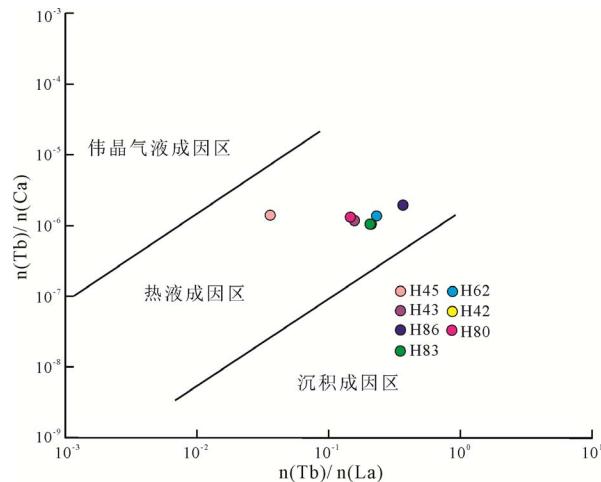


图10 张厝萤石矿 Tb/Ca-Tb/La 成因判别图解  
(底图据 Möller et al., 1976)

Fig. 10 Tb/Ca-Tb/La diagram of fluorite ores in Zhangcuo (the original map after Möller et al., 1976)

-4.7‰ ~ -4.2‰, 投点落在 Craig 大气降水线的右下方, 靠近大气降水而远离岩浆水和变质水。同时将乐常口与张厝相距较近, 故二者成矿流体可能受统一的成矿流体场控制, 流体性质均为大气降水成因的热液。研究区萤石矿床稀土元素总量及分配特征与华南低温热液萤石矿床早期-中期成矿萤石的稀土元素特征一致; 由此可知, 萤石矿床成矿热液中的水很可能主要来源于大气降水。

萤石主要成分为 Ca 和 F 两种元素, 萤石有就地取材的特征(曹俊臣, 1995), 成矿主要物质之一的 F 元素可能主要是由大气降水对晚侏罗世正长花岗岩淋滤萃取, 经过水/岩反应将成矿元素汇聚到成矿热流体场; 也可能以  $\text{SiF}_6^{2-}$ 、 $\text{AlF}_6^{2-}$ 、 $\text{NaF}^0$ 、 $\text{HF}^0$ 、 $\text{MgF}^+$ 、 $\text{FeF}_2^+$  等络合物的形式赋存于运移的热液中, 这可从成矿过程中围岩普遍发生高岭土化、绢云母化、硅化等蚀变中得到证实。

$\text{Sr}$  与 Ca 两者具有相似的离子半径, 地球化学特征相似,  $\text{Sr}$  常与萤石( $\text{CaF}_2$ )中的 Ca 发生类质同像(朱利岗等, 2021; 代晓光等, 2021)。 $\text{Sr}$  可以作为萤石中 Ca 的来源的示踪物, 因此萤石微量元素中  $\text{Sr}$  的含量是至关重要的(许东青等, 2009; 曾昭法, 2013)。所有萤石样品中  $\text{Sr}$  的含量较均一, 为  $(42.24\sim79.10)\times10^{-6}$ , 平均值为  $53.47\times10^{-6}$ , 而围岩的平均值  $67.6\times10^{-6}$ , 萤石与围岩的均值差距较小, 说明萤石中  $\text{Sr}$  可能来源于大气降水热液对围岩的萃取, 花岗岩中的斜长石可能是区内萤石矿 Ca 的主要来源。

综合研究区典型萤石矿床地质、微量元素、稀土元素地球化学特征, 表明研究区萤石矿床成矿物质 F 和 Ca 主要来源于热液对围岩的淋滤和萃取, 萤石矿床成矿热液中的水很可能主要来源于大气降水。

## 6 结论

(1) 研究区萤石矿严格受断裂控制, 北东向断裂为主要控矿构造。萤石矿体沿走向、倾向上具有膨大缩小现象。围岩主要为燕山早期侏罗纪花岗岩。围岩蚀变为以硅化、绢云母化为主, 次为高岭土化、绿泥石化的中低温热液蚀变。

(2) 萤石与围岩的微量元素及稀土元素特征表明, 萤石矿床形成于还原环境, 萤石矿成矿物质 F 和 Ca 主要来源于晚侏罗世正长花岗岩。

(3) 根据  $\text{La/Ho-Y/Ho}$  关系图, 表明萤石成矿流体为同一来源, 且为同期成矿, 成矿热液主要来源于大气降水。

(4) 综合矿床地质特征及  $\text{Tb/Ca-Tb/La}$  关系图, 福建省邵武地区张厝萤石矿床成因主要为大气降水

热液对正长花岗岩的淋滤和萃取, 为北东向断裂控制的热液充填型萤石矿床。

## Acknowledgements:

This study was supported by Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (No. KK2005), and China Geological Survey (Nos. DD20221684, DD20190816 and DD20190606).

## 参考文献:

- 曹华文, 张寿庭, 高永璋, 马莹, 曾昭法, 高峰, 邹灏. 2014. 内蒙古林西萤石矿床稀土元素地球化学特征及其指示意义[J]. 地球化学, 43(2): 131-140.
- 曹俊臣. 1994. 热液脉型萤石矿床萤石气液包裹体氢、氧同位素特征[J]. 地质与勘探, 30(4): 28-29.
- 曹俊臣. 1995. 华南低温热液脉状萤石矿床稀土元素地球化学特征[J]. 地球化学, 24(3): 225~234.
- 陈军元, 刘艳飞, 颜玲亚, 高树学, 欧阳友, 龙涛. 2021. 石墨、萤石等战略非金属矿产发展趋势研究[J]. 地球学报, 42(02): 287-296.
- 代晓光, 商朋强, 张成信, 梁中朋, 王锦鹏, 李健, 杨海波, 聂新明. 2021. 冀北招素沟萤石矿地球化学特征及矿床成因探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 40(01): 27-38.
- 何高文, 孙晓明, 杨胜雄, 朱克超, 宋成兵. 2011. 太平洋多金属结核和富钴结壳稀土元素地球化学对比及其地质意义[J]. 中国地质, 38(2): 462-472.
- 黄从俊, 李泽琴. 2015. 拉拉 IOCG 矿床萤石的微量元素地球化学特征及其指示意义[J]. 地球科学进展, 30(9): 1063-1074.
- 黄凡, 王登红, 陈毓川, 王成辉, 唐菊兴, 陈郑辉, 王立强, 刘善宝, 李健康, 李超, 张长青, 应立娟, 王永磊, 李立兴, 2013. 中国钼矿中辉钼矿的稀土元素地球化学及其应用[J]. 中国地质, 40(1): 287-301.
- 黎彤. 1976. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学, 5(3): 167-174.
- 李敬, 张寿庭, 商朋强, 赵玉. 2019. 萤石资源现状及战略性价值分析[J]. 矿产保护与利用, 39(06): 62-68.
- 栗克坤, 商朋强, 韩志坤, 王春连, 焦森, 王桂香, 袁昌盛, 张青松, 刘增政, 闫晓博, 范亚洲, 蒋济勇, 靳乾峰. 2022. 闽北邵武地区萤石矿综合信息找矿方法研究[J]. 地球学报, 43(3): 404-410.
- 栗克坤, 王春连, 陈新立, 王桂香, 商朋强, 张青松, 刘增政, 韩志坤, 闫晓博, 蒋济勇. 2022. 福建邵武地区萤石矿微量元素、稀土元素特征及对成矿物质指示[J]. 中国地质: 1-15, [2022-04-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200616.1107.010.html>.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1-28.
- 孙海瑞, 黄智龙, 周家喜, 冷成彪, 甘婷. 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.
- 孙祥, 杨子荣, 刘敬党, 王永春, 王文武, 徐大地. 2008. 义县萤石矿床稀土元素地球化学特征及其指示意义[J]. 矿床地质, 27(5): 579-586.
- 王春连, 王九一, 游超, 余小灿, 刘殿鹤, 颜开, 刘思晗, 薛燕, 刘延亭, 刘雪, 尹传凯. 2022. 战略性非金属矿产厘定、关键应用和供需形势研究[J]. 地球学报, 43(3): 267-278.
- 王吉平, 商朋强, 熊先孝, 杨辉艳, 唐尧. 2015. 中国萤石矿床成矿规律[J]. 中国地质, 42(1): 18-32.
- 王立强, 程文斌, 罗茂澄, 向浩予. 2012. 西藏蒙亚啊铅锌矿床金属硫化物、石英稀土元素组成特征及其成因研究[J]. 中

- 国地质, 39(3): 740-749.
- 吴益平, 张连昌, 袁波, 周月斌, 钟莉, 陈三中, 杨光靖, 闫瑜婉, 张新. 2021. 新疆阿尔金地区卡尔恰尔超大型萤石矿床地质特征及成因[J]. 地球科学与环境学报, 43(06): 962-977.
- 夏学惠, 韩毓川, 连卫, 袁从建, 徐少康, 阎飞, 梁中朋. 2009. 浙江八面山萤石矿床稀土元素地球化学特征及成因探讨[J]. 化工矿产地质, 31(4): 193-200.
- 许东青, 聂凤军, 钱明平, 刘妍, 云飞, 张万益. 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.
- 游超, 王春连, 刘殿鹤, 余小灿, 颜开, 刘思晗, 周博文. 2022. 江西宁都坎田萤石矿床稀土元素地球化学特征及其指示意义[J]. 地球学报, 43(3): 359-370.
- 曾昭法. 2013. 内蒙古林西地区萤石矿床地球化学特征与成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 张成信, 商朋强, 焦森, 魏龙飞, 赵寒, 姜振宁, 曹光远, 代晓光, 王艳超. 2019. 内蒙古喀喇沁旗地区萤石矿床地质特征及成因探讨[J]. 中国地质调查, 6(6): 79-87.
- 张建芳, 解怀生, 许兴苗, 龚瑞君. 2013. 浙江漓渚地区栅溪-广山岩体地质地球化学特征、构造及找矿意义[J]. 中国地质, 40(2): 403-413.
- 张青松, 王春连, 栗克坤, 刘增政, 冯校辉, 闫晓博, 韩志坤, 蒋济勇, 江建浪. 2021. 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[J]. 岩石矿物学杂志, 40(06): 1131-1140.
- 张兴阳, 顾家裕, 罗平, 朱如凯, 罗忠. 2006. 塔里木盆地奥陶系萤石成因及油气地质意义[J]. 岩石学报, 22(8): 2220-2228.
- 张遵遵, 龚银杰, 陈立波, 黄从俊, 甘金木. 2018. 黔东北沿河大竹园萤石矿床成矿物质来源探讨: 地球化学制约[J]. 地球化学, 47(03): 295-305.
- 赵省民, 聂凤军, 江思宏, 白大明. 2002. 内蒙古东七一山萤石矿床的稀土元素地球化学特征及成因[J]. 矿床地质, 21(3): 311-316.
- 朱利岗, 金松, 王春连, 商朋强, 高立湧, 王占兵. 2021. 福建浦城地区萤石矿床围岩和矿石地球化学特征及成因[J]. 岩石矿物学杂志, 40(05): 923-938.
- 邹灏, 方乙, 陈合毛, 肖广, 徐旃章. 2014. 浙江天台盆地下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.

## References:

- ALVIN M P, DUNPHY J M, GROVES D I. 2004. Nature and genesis of a carbonatite-associated fluorite deposit at Speewah, East Kimberley region, Western Australia[J]. Mineralogy and Petrology, 80: 127-153.
- BAU M, DULSKI P. 1995. Comparative study of yttrium and rare-earth element behaviours in fluorine-rich hydrothermal fluids[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 119(2): 213-223.
- BAU M. 1996. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: Evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 123: 323-333.
- BOYNTON W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[J]. Developments in Geochemistry, 2: 63-114.
- CAO Hua-wen, ZHANG Shao-ting, GAO Yong-zhang. 2014. REE geochemistry of fluorite from Linxi fluorite deposit and its geological implications, Inner Mongolia Autonomous Region[J]. Geochimica, 43(2): 131-140(in Chinese with English abstract).
- CAO Jun-chen. 1994. Hydrogen and oxygen isotope characteristics of gas-liquid inclusion of Fluorite in Hydrothermal Vein Fluorite Deposit[J]. Geology and Prospecting, 30(4): 28-29(in Chinese with English abstract)
- CAO Jun-chen. 1995. REE geochemical characteristics of epithermal vein fluorite deposits in south China[J]. Geochimica, 03(3): 225-234(in Chinese).
- CAO Zhao-fa. 2013. Geochemistry characteristics and genesis of fluorite deposits in Linxi region, Inner Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing)(in Chinese with English abstract).
- CHEN Jun-yuan, LIU Yan-fei, YAN Ling-ya, GAO Shu-xue, OUYANG You, LONG Tao. 2021. Research on Development Trend of Strategic Nonmetallic Minerals such as Graphite and Fluorite[J]. Geochimica, 42(02): 287-296(in Chinese with English abstract).
- CONSTANTOPOULOS J. 1988. Fluid inclusions and rare earth element geochemistry of fluorite from south-central Idaho[J]. Economic Geology, 83(3): 626-636.
- DAI Xiao-guang, SHANG Peng-qiang, ZHANG Chen-xin, LIANG Zhong-peng, WANG Jin-peng, LIN Jian, YANG Hai-bo, NIE Xin-peng. 2021. Geochemical characteristics and genesis of the Zhaosugou fluorite deposit, northern Hebei Province[J]. Journal of Rock Mineralogy, 40(01): 27-38(in Chinese with English abstract).
- HANG Fan, WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, WANG Cheng-hui, TANG Ju-xing, CHEN Zheng-hui, WANG Li-qiang, LIU Shan-bao, LI Jian-kang, LI Chao, ZHANG Chang-qing, YING Li-juan, WANG Yong-lei, LI Li-xing. 2013. Rare earth element geochemistry and application of molybdenite from Molybdenum deposits in China[J]. Geochimica, 5(3): 167-174(in Chinese with English abstract).
- HE Gao-wen, SUN Xiao-ming, YANG Sheng-xiong, ZHU Ke-chao, SU Cheng-bing. 2011. Geochemical correlation of RARE earth elements in Pacific polymetallic nodules and cobalt-rich crusts and their geological significance[J]. Geology in China, 38(2): 462-472(in Chinese with English abstract).
- HUANG Cong-jun, LI Ze-qin. 2015. Geochemical characteristics of trace elements of fluorite in Lala IOCG deposit and their implications[J]. Progress in Earth Science, 30(9): 1063-1074(in Chinese with English abstract).
- LI Jing, ZHANG Shou-ting, SHANG Peng-qiang, ZHAO Yu. 2019. Analysis of present situation and strategic value of fluorite resources[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 39(06): 62-68(in Chinese with English abstract).
- LI Ke-kun, SHANG Peng-qiang, HAN Zhi-kun, WANG Chun-lian, JIAO Sen, WANG Gui-xiang, YUAN Chang-sheng, ZHANG Qing-song, LIU Zeng-zheng, YAN Xiao-bo, FAN Ya-zhou, JIANG Ji-yong, JIN Qian-feng. 2022. Comprehensive Information Prospecting Method for Fluorite Deposits in Shaowu Area, Northern Fujian Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 43(3): 404-410(in Chinese with English abstract).
- LI Ke-kun, WANG Chun-lian, CHEN Xin-li, WANG Gui-xiang, SHANG Peng-qiang, LIU Zeng-zheng, HAN Zhi-kun, YAN Xiao-bo, JIANG Ji-yong. 2021. Characteristics of trace and rare earth elements and direction for ore-forming materials in Shaowu area, Fujian Province[J]. Geology in China, [2022-04-27].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200616.1107.010.html>(in Chinese with English abstract).
- LI Tong. 1976. The abundance of chemical elements on Earth[J]. Geochimica, 5(3): 167-174(in Chinese with English abstract).

- MÖLLER P, PAREKH P P, 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 Gui-tang, XIAO Qing-hui, LU Song-nian, DEN Jin-fu, FENG Yi-min, ZHANG Ke-xin, ZHANG Zhi-yong, WANG Fang-guo, XING Guang-fu, HAO Guo-jie, FENG Yan-fang. 2009. Subdivision of tectonic units in China[J]. Geology in China, 36(1): 1-28(in Chinese with English abstract).
- SCHNEIDER H J, MÖLLER P, PAREKH P P. 1975. Rare earth element distribution in fluorites and carbonate sediments of the east Alpine mid Triassic sequences in the Nordliche Kalkalpen[J]. Mineralium Deposita, 10: 330-344.
- SUN Hai-rui, HUANG Zhi-long, ZHOU Jiaxi, LENG Cheng-biao, GAN Ting. 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).
- SUN Xiang, YANG Zi-rong, LIU Jing-dang. 2008. REE geochemistry of fluorite from Yixian fluorite deposit and its geological implications[J]. Ore Deposit Geology, 27(5): 579-586(in Chinese with English abstract).
- WANG Chun-lian, WANG Jiu-yi, YOU Chao, YU Xiao-can, LIU Dian-he, YAN Kai, LIU Si-han, XUE Yan, LIU Yan-ting, LIU Xue, YIN Chuan-kai. 2022. A Study on Strategic Non-metallic Mineral Definition, Key Applications, and Supply and Demand Situation[J]. Acta Geoscientica Sinica, 43(3): 267-278(in Chinese with English abstract).
- WANG Ji-ping, SHANG Peng-qiang, XIONG Xian-xiao, YANG Hui-yan, TANG Yao. 2015. Metallogenetic regularities of fluorite deposits in China[J]. Geology in China, 42(01): 18-32(in Chinese with English abstract).
- WANG Li-qiang, CHENG Wen-bin, LUO Mao-cheng, XIANG Hao-yu. 2012. A study of metallic sulfides, quartz REE composition characteristics and genesis of the Mengya'a lead-zinc deposit[J]. Geology in China, 39(3): 740-749(in Chinese with English abstract).
- WILLIAMS-JONES A E, SAMSON I M, OLIVO G R. 2000. The Genesis of Hydrothermal Fluorite-REE Deposits in the Gallinas Mountains, New Mexico[J]. Economic Geology, 95(2): 327-341.
- WU Yi-ping, ZHANG Lian-chang, YUAN Bo, ZHOU Yue-bin, ZHONG Li, CHEN San-zhong, YANG Guang-jing, YAN Yu-wan, ZHANG Xin. 2021. Discussion on structural alteration, rock geochemistry characteristics and genesis of Daping fluorite deposit in northern Fujian[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 43(06): 962-977(in Chinese with English abstract).
- XIA Xue-hui, HAN Yu-chuan, LIAN Wei, YUAN Cong-jian, XU Shao-kang, YAN Fei, LIANG Zhong-peng. 2009. Studies on genesis of unique fluorite deposit in Bamianshan Zhejiang Province[J]. Geology of Chemical Minerals, 31(4): 193-200(in Chinese with English abstract).
- XU Dong-qing, NIE Feng-jun, QIAN Ming-ping, LIU Yan, YUN Fei, ZHANG Wan-yi. 2008. REE geochemistry and genesis of Sumochagan Obo superlarge fluorite deposit[J]. Mineral Deposits, 28(1): 29-41.
- YOU Chao, WANG Chun-lian, LIU Dian-he, YU Xiao-can, YAN Kai, LIU Si-han, ZHOU Bo-wen. 2022. REE Geochemistry of Fluorite from Kantian Fluorite Deposit and Its Geological Implications in Ningdu Area, Jiangxi Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 43(3): 359-370(in Chinese with English abstract).
- YOU Chao, WANG Chun-lian, LIU Dian-he, YU Xiao-can, YAN Kai, LIU Si-han, ZHOU Bo-wen. 2022. REE Geochemistry of Fluorite from Kantian Fluorite Deposit and Its Geological Implications in Ningdu Area, Jiangxi Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 43(3): in press(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Cheng-xin, SHANG Peng-qiang, JIAO Sen, WEI Long-fei, ZHAO Han, JIANG Zhen-ning, CAO Guang-yuan, DAI Xiao-guang, WANG Yan-chao. 2019. Geological characteristics and genesis analysis of fluorite deposits in Harqin Banner area of Inner Mongolia[J]. Geological Survey of China, 6(6): 79-87(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jian-fang, XIE Huai-sheng, XU Xing-miao, GONG Rui-jun. 2013. Geological and geochemical characteristics, structure and prospecting significance of zhaxi-Guangshan pluton in Lizhu area, Zhejiang Province[J]. Geology in China, 40(2): 403-413(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Qing-song, WANG Chun-lian, LI Ke-kun, LIU Zeng-zheng, FENG Xiao-hui, YAN Xiao-bo, HAN Zhi-kun, JIANG Ji-yong, JIANG Jian-lang. 2021. Discussion on structural alteration, rock geochemistry characteristics and genesis of Daping fluorite deposit in northern Fujian[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 40(06): 1131-1140(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Xing-yang, GU Jia-yu, LUO Ping, ZHU Ru-kai, LUO-zhong. 2006. Genesis of the Ordovician and its significance to the petroleum geology of Tarim basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(8): 2220-2228(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zun-zun, GONG Yin-jie, CHEN Li-bo, HUANG Cong-jun, GAN Jin-mu. 2018. Geochemical evidence of the source of ore-forming materials from Dazhuyuan fluorite deposit in northeastern Guizhou[J]. Geochimica, 47(03): 295-305(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Sheng-min, NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, BAI Da-ming. 2002. REE geochemistry and genesis of Dongqiyishan fluorite deposit, Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 21(3): 311-316(in Chinese with English abstract).
- ZHU Li-gang, JIN Song, WANG Chun-lian, SHANG Peng-qiang, GAO Li-yong, WANG Zhan-bing. 2021. Geochemistry characteristic and genesis of surrounding rock and ore in Pucheng fluorite deposits district, Fujian Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 40(5): 923-938(in Chinese with English abstract).
- ZOU Hao, FANG Yi, CHEN He-mao, XIAO Guang, XU Zhan-zhang. 2014. REE geochemistry and genesis of the Xiachen fluorite deposit in Tiantai basin, Zhejiang Province[J]. Geology in China, 41(04): 1375-1386(in Chinese with English abstract).