

浙江“常山式”萤石矿床特征及成矿模式

刘道荣

(中化地质矿山总局 浙江地质勘查院, 浙江 杭州 310002)

摘要: “常山式”萤石矿床是近年在钦杭成矿带发现并被评价的一种新类型矿床,与产于碳酸盐岩中的充填交代及层控型萤石矿床不同,其矿体赋存位置及矿石特征有其独特性。以往勘查的矿体主要分布在岩前短轴背斜的南东翼、岩前岩体与寒武系碳酸盐岩外接触带。位于背斜转折端的苦麻岭矿床的发现,丰富了“常山式”萤石矿床的成矿理论。研究表明,寒武系碳酸盐岩岩性差异与成矿关系并不密切,矿体顶底板 CaF_2 含量特征说明成矿作用以充填为主。燕山晚期高氟岩体侵位是矿床最重要的控制因素,岩体外接触带的“虚脱冒落”构造及层间构造带为主要控矿构造。通过矿床地质特征及成矿规律研究,总结了矿床成因,建立了成矿模式,为浙西北乃至华南地区寻找同类型矿床提供了新思路。

关键词: “常山式”;成矿模式;“虚脱冒落”构造;萤石

中图分类号: P619.21⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2015)03-0343-10

Geological characteristics and metallogenic model of “Changshan-type” fluorite deposits

LIU Dao-rong

(Zhejiang Institute of Geological Exploration, General Bureau of Geology and Mine, Hangzhou 310002, China)

Abstract: “Changshan-type” fluorite deposits are a new type of deposits discovered in the Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt recently. A study of orebody characteristics shows that they are different from filling-metasomatic and stratabound type fluorite deposits in carbonate rocks in location of orebody and characteristics of ores. The orebodies discovered in the past are located on the southeast limb of Yanqian brachyanticline as well as the outer contact zone of Yanqian granite and Cambrian carbonates. The discovery of the Kumalin deposit in the hinge zone of anticline enriches the metallogenic theory of the “Changshan-type” fluorite deposits. The lithologic differences of Cambrian carbonates had no obvious relationship with mineralization. Filling is the main metallogenic mode, as shown by the CaF_2 content of immediate roof and floor. Studies show that the high-F magma that invaded in the late Yanshanian epoch was the most important factor for the formation of the deposit. The roof-fall structure in the outer contact zone of Yanqian granite and interformational tectonic zone seem to be the main ore-controlling structure. Based on the study of the geological characteristics and metallogenic regularity, the authors have summarized the genesis of the deposit, established the metallogenic model and provided the new train of thought for the same type of deposits in northwest Zhejiang and even the whole South China.

Key words: “Changshan-type”; metallogenic model; roof-fall structure; fluorite

“常山式”萤石矿床位于钦杭成矿带北东段,是近年经勘探证实的一种新类型特大型矿床。该类型

矿床特指浙江常山八面山萤石矿床,由苦麻岭、蕉坑坞、高坞山等多个大中型矿床组成,围绕岩前高氟

收稿日期: 2014-11-17; 修订日期: 2015-04-05

基金项目: 中国煤炭地质总局科技发展专项资金项目“常山县八面山矿田萤石矿床成矿规律及找矿方向研究”

作者简介: 刘道荣(1982-),男,工程硕士,高级工程师,从事矿产地质勘查研究, E-mail: liudaorong0@163.com。

花岗岩体分布。由于其矿体赋存形式及矿石特征的独特性,前人曾从不同侧面进行研究,包括矿床特征(袁德丰等, 2005)、主要矿体特征(刘道荣等, 2009, 2011)、稀土元素地球化学特征(夏学惠等, 2009a)、流体包裹体地球化学(闫飞等, 2010)等,并对矿床成因及找矿方向进行了探讨(严生贤等, 2008; 夏学惠等, 2009b, 2010; Xu *et al.*, 2008)。虽然成矿物质来源、岩体与成矿关系已取得新认识(刘道荣等, 2012),但成矿作用究竟以充填为主,还是以交代为主,仍有异议(王吉平等, 2014)。苦麻岭矿床的发现,表明寒武系碳酸盐岩岩性(灰岩的纯度)与成矿

关系并不密切,典型矿体顶底板 CaF_2 含量特征与“矿床以交代作用为主”的认识有矛盾。本文在以往研究成果基础上,结合最新勘查成果,对该矿床的成因及成矿模式进行系统总结,以利于浙西北乃至华南地区同类型萤石矿床的勘查工作。

1 “常山式”萤石矿床地质特征

区内各矿床围绕岩前岩体分布,产于岩前短轴背斜南西侧转折端及南东翼,矿体赋存于岩体外接接触带 500 m 以内(图 1)。出露地层有南华系浅海相

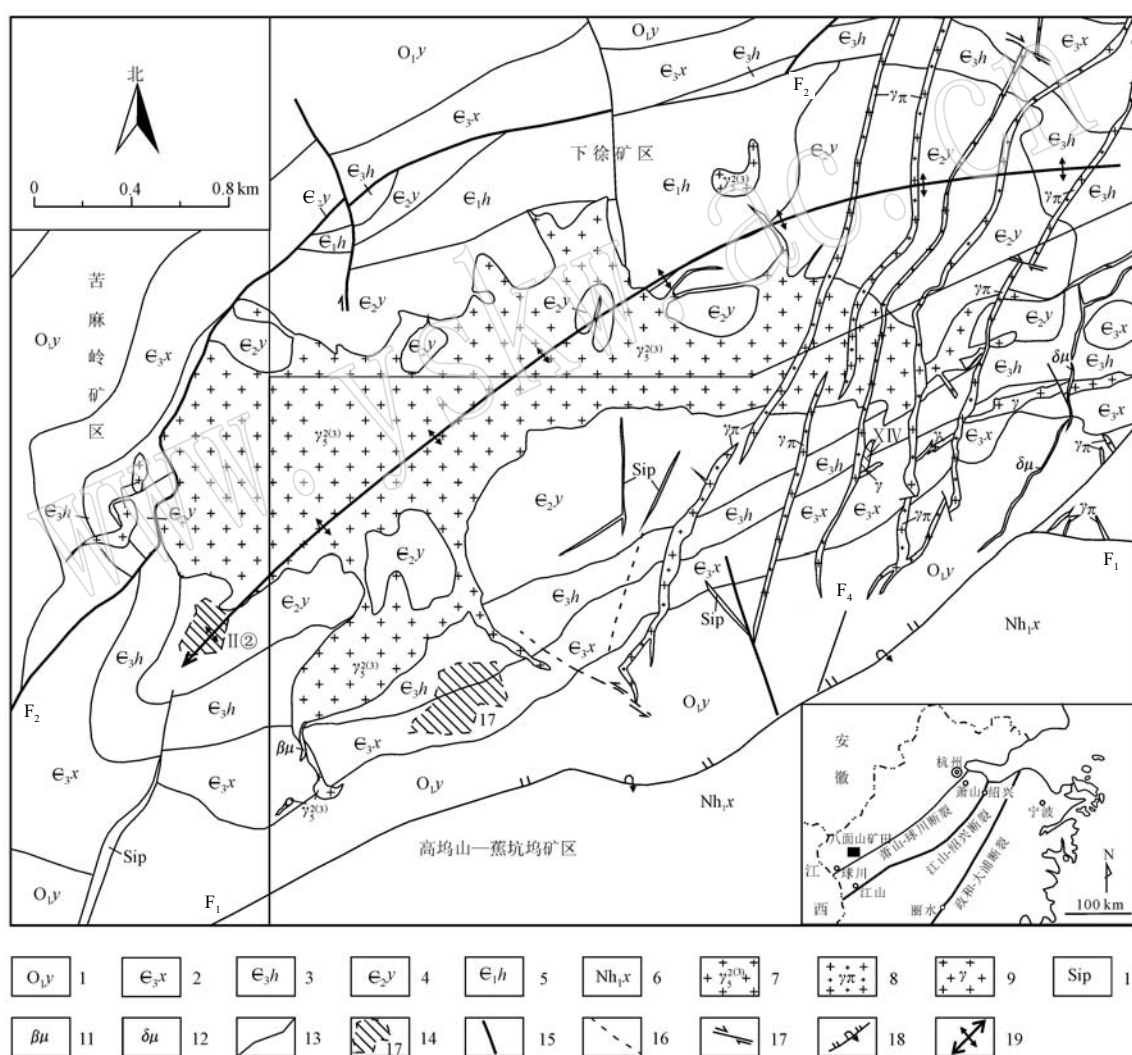


图 1 八面山矿田地质简图[据刘道荣等(2012)修编]

Fig. 1 Generalized geological map of the Bamianshan orefield (modified after Liu Daorong *et al.*, 2012)

1—奥陶系下统印渚埠组; 2—寒武系上统西阳山组; 3—寒武系上统华严寺组; 4—寒武系中统杨柳岗组; 5—寒武系下统荷塘组; 6—南华系下统休宁组; 7—花岗岩; 8—花岗斑岩; 9—细粒花岗岩; 10—硅化破碎带; 11—辉绿玢岩; 12—闪长玢岩; 13—地质界线; 14—萤石矿体分布范围; 15—实测断层; 16—推测断层; 17—平移断层; 18—逆断层; 19—岩前短轴背斜
1—Lower Ordovician Yinzhubu Formation; 2—Upper Cambrian Xiyangshan Formation; 3—Upper Cambrian Huayansi Formation; 4—Middle Cambrian Yangliugang Formation; 5—Lower Cambrian Hetang Formation; 6—Lower Nanhua System Xiuning Formation; 7—granite; 8—granite-porphry; 9—fine-grained granite; 10—silicified porphyry; 11—allgovite; 12—diorite porphyry; 13—stratigraphic boundary; 14—fluorite orebody; 15—measured fault; 16—inferred fault; 17—strike-slip fault; 18—reverse fault; 19—Yanqian brachyanticline

细碎屑岩、寒武系海相硅质岩和碳酸盐岩、奥陶系泥岩和泥质灰岩。区内构造主要为岩前短轴背斜及各方向断裂,断裂构造常被后期花岗斑岩脉、闪长玢岩脉及硅质充填。岩浆活动频繁,中基性-酸性岩均有出露,以中酸性为主,主要为岩前黑云母二长花岗岩。围岩蚀变主要为大理岩化、角岩化、硅化,局部为矽卡岩化、萤石矿化、绿泥石化等。

1.1 赋矿岩系特征

“常山式”萤石矿体无一例外,产于花岗岩体外接触带的寒武系碳酸盐岩中。赋矿围岩主要为含碳泥质灰岩、泥质灰岩、泥灰岩、大理岩化灰岩及瘤状灰岩。其中华严寺组($\in_3h$)大理岩化灰岩和杨柳岗组($\in_{2y}$)泥质灰岩矿化相对较好,而西阳山组($\in_{3x}$)瘤状灰岩、含碳泥质灰岩,距岩体较远,成矿相对较差。苦麻岭Ⅱ②矿体即产于泥质灰岩(泥灰

岩)中,而蕉坑坞 17 号矿体则产于大理岩化灰岩中。以往勘查结果表明,华严寺组地层中才能形成较富的矿体,灰岩越纯成矿越有利。但苦麻岭Ⅱ②矿体的发现,说明灰岩的纯度与成矿好坏关系并不密切,岩性并非矿床形成的必要条件,这对浙西北地区其他高氟岩体周围寻找此类矿床,具有重要指导意义。

1.2 矿体产出形式

矿体主要有 3 种产出形式:产于花岗岩体外接触带“虚脱冒落”构造(刘道荣等,2011)中的似层状矿体(如苦麻岭Ⅱ②矿体、蕉坑坞 17 号矿体),产于碳酸盐岩层间构造带中的似层状、透镜状矿体(如高坞山Ⅳ号矿体)以及产于陡倾角断裂带中的脉状矿体。前两种萤石矿与热液充填交代型脉状萤石矿床(潘忠华等,1996;李凯等,2013)或层控型似层状矿体(聂风军等,2008)有所不同,属新类型萤石矿床(表 1)。

表 1 “常山式”萤石矿床与产于碳酸盐岩中的普通萤石矿床特征对比
Table 1 Comparison of characteristics between “Changshan-type” fluorite deposits and normal fluorite deposits in carbonate

矿床类型	“常山式”萤石矿床	碳酸盐岩中的普通萤石矿床	
		充填交代型	层控型
成矿时代	燕山晚期(115.70±10.99 Ma)	燕山晚期	海西晚期和燕山中期,以后者为主
矿体产出特征	产于岩体与碳酸盐岩接触带“虚脱冒落”构造中或碳酸盐岩层间破碎带中	产于碳酸盐岩层的断裂构造带中	产于中酸性火山岩与含灰岩透镜体的碳泥质板岩接触带
成矿与岩体关系	与高氟岩体关系密切	密切-不密切	密切
矿体形态	一般为似层状,部分透镜状	形态复杂,常呈脉状、透镜状和囊状	形态简单,呈层状、似层状
矿石外观	酷似灰岩,呈黑-深灰色。萤石颗粒细小,一般 0.1~2 mm,大多 0.5 mm	颜色鲜艳,常呈紫色、绿色等,萤石颗粒一般大于 1 mm	灰黄色、灰黑色、灰白色等,萤石粒径一般 0.01~0.64 mm
主要矿物组合	萤石、石英、绢云母,次为长石、方解石	萤石、石英、方解石、重晶石	萤石、石英、方解石、绢云母和绿泥石
矿石类型	石英-萤石型、绢云母-石英-萤石型、萤石-石英型和石英-方解石-萤石型	石英-萤石型、重晶石-萤石型、萤石-石英型和方解石-萤石型	石英-萤石型、石英-硫化物-萤石型、萤石-石英型和方解石-石英-萤石型
矿床实例	浙江常山八面山萤石矿床	江西德安、四川二河水萤石矿床	内蒙古苏莫查干敖包萤石矿床

1.3 典型矿体特征——以产于“虚脱冒落”构造中的矿体为例

苦麻岭Ⅱ②矿体:位于岩前短轴背斜南西侧转折端处,为一近中型隐伏矿体,赋存于花岗岩岩体与杨柳岗组泥质灰岩接触面及其附近,呈似层状产出。矿体总体倾向 S-SE,倾角较平缓,平均约 12°。矿体走向长约 200 m,倾向延深约 150 m,矿体厚 3.77 m,平均品位 54.47%。矿体顶板主要为泥质灰岩,少数为大理岩化灰岩。底板为花岗岩,少数为泥质灰岩、角岩、大理岩化灰岩。

蕉坑坞 17 号矿体:位于岩前短轴背斜南东翼,为一个中型隐伏矿体,赋存于花岗岩体与华严寺组大理岩化灰岩接触面及其附近,呈似层状产出。总体倾向 S-SE,倾角较平缓,一般在 5°~20°间。矿体

走向长约 500 m,倾向延深约 200 m,最大厚度 30.62 m,平均 4.51 m,平均品位 55.17%。矿体中部有一呈 NW 走向的无矿带(宽 35~55 m)。矿体顶板主要为大理岩化灰岩,矿体底板主要为花岗岩,少数为大理岩化灰岩。

1.4 矿石特征

“常山式”萤石矿床矿石分两大类:其一为黑-深灰色矿石,外貌酷似灰岩(图 2a、2b、2e、2f),其特点是滴酸不起泡,密度较灰岩稍大,多见于似层状矿体中;另一种为普通萤石,颜色鲜艳,该类型矿石较少,多产于脉状矿体中,部分见于黑-深灰色矿石的晶包中。此外,在苦麻岭一带还见到含萤石矽卡岩型锡多金属矿石(图 2c),CaF₂ 含量 16.97%~28.46%,Sn 含量 0.097%~0.40%。

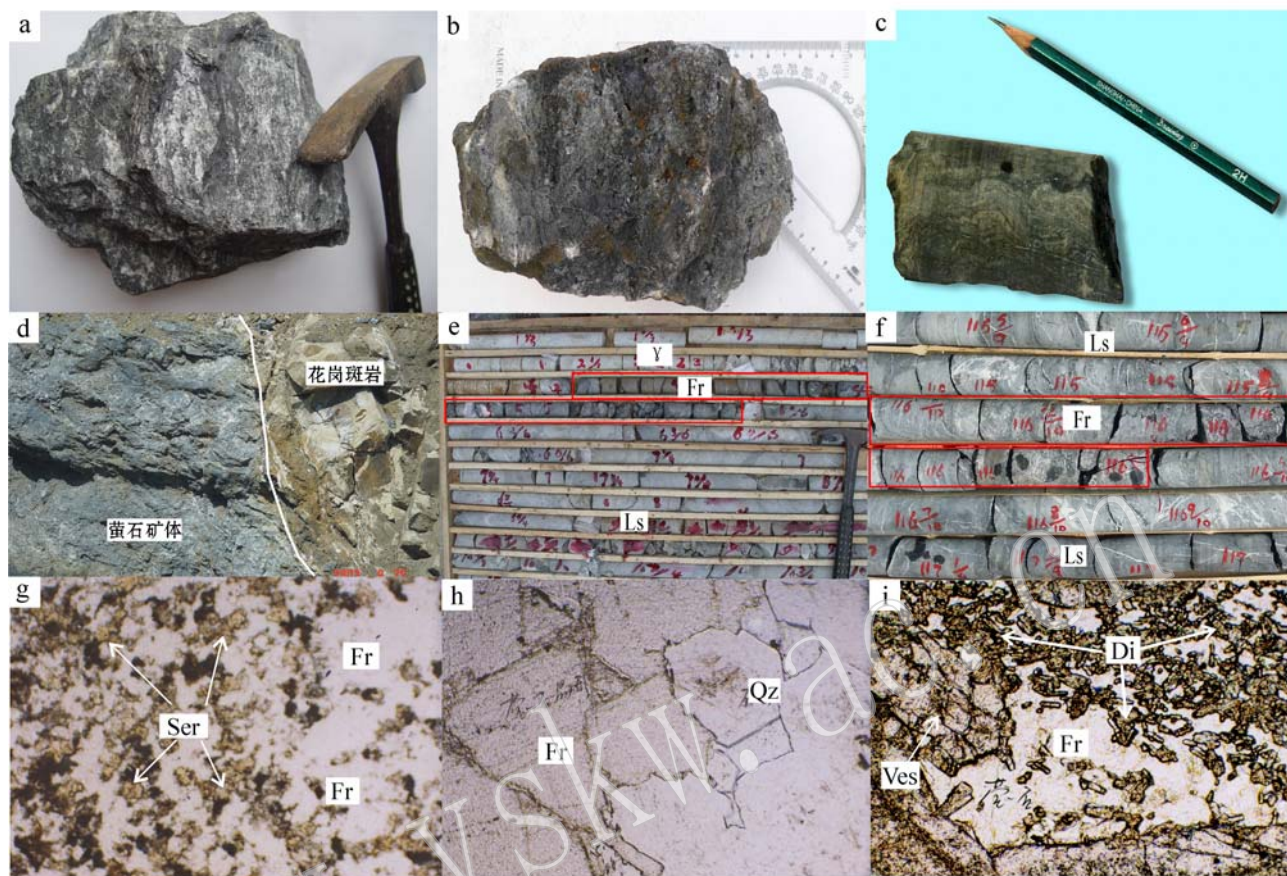


图2 “常山式”萤石矿床萤石矿石特征

Fig. 2 Characteristics of fluorite ores in “Changshan-type” fluorite deposits

a—黑色块状萤石矿石(蕉坑坞); b—风化萤石矿石(苦麻岭); c—萤石锡多金属矿石(苦麻岭); d—XIV号萤石矿体与花岗斑岩接触关系(高坞山); e—萤石矿与灰岩、花岗岩(蕉坑坞取样钻孔岩心); f—萤石矿与灰岩(苦麻岭钻孔岩心); g—绢云母-石英-萤石型矿石(蕉坑坞); h—石英-萤石型矿石(高坞山); i—透辉石-符山石-萤石型矿石(高坞山); γ —花岗岩; Fr—萤石矿; Ls—灰岩; Ser—绢云母; Qz—石英; Di—透辉石; Ves—符山石

a—black massive fluorite ores (in Jiaokengwu); b—weathered fluorite ores (in Kumaling); c—fluorite-tin-polymetallic ores (in Kumaling); d—the contact zone of No. XIV orebody with granite porphyry (in Gaowushan); e—fluorite ores and limestone and granite (in Jiaokengwu); f—fluorite ores and limestone (in Kumaling); g—sericite-quartz-fluorite type ores (in Jiaokengwu); h—quartz-fluorite type ores (in Gaowushan); i—diopside-vesuvianite-fluorite ores (in Gaowushan); γ —granite; Fr—fluorite; Ls—limestone; Ser—sericite; Qz—quartz; Di—diopside; Ves—vesuvianite

矿石矿物为萤石,以无色透明、白色、浅绿色为主,粒径0.1~0.5 mm。脉石矿物以绢云母、石英、绿泥石为主,次为钾长石、方解石,少量绿帘石、重晶石、硅灰石、符山石等。

矿石结构主要为他形粒状结构,次为自形-半自形晶结构,偶见交代结构。矿石构造以块状构造为主,次为条带状构造,偶见角砾状构造、网脉状构造。

矿石自然类型以绢云母-石英-萤石型(图2g)、石英-萤石型(图2h)、石英-方解石-萤石型为主,次有符山石(或其他矽卡岩矿物)-萤石型(图2i)、石英-长石-方解石-萤石型等。绢云母-石英-萤石型矿石中,萤石含量40%~60%,其次含石英、绢云母及

少量长石;石英-萤石型矿石中,萤石含量大于50%,次为石英,少量绢云母、长石、方解石;石英-方解石-萤石型矿石中,萤石含量一般30%~40%,萤石呈细脉状穿插于方解石间隙中。

矿石化学成分主要为 CaF_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaCO_3 等,S、P等有害成分含量较低; K_2O 、 Al_2O_3 含量在不同类型矿石中,变化较大,这与矿石中含钾长石(或绢云母)有关;部分样品Be元素含量0.042%~0.19%,可达工业品位(表2)。矿石稀土元素总量(不含Y)为 2.96×10^{-6} ~ 36.28×10^{-6} ,轻重稀土元素比值(LREE/HREE)为8.16~17.19(夏学惠等,2009a),从稀土元素球粒陨石标准化分布图(图3)

看,与浙江萤石矿(蒋叙良等, 1993)及内蒙古苏莫查干敖包萤石矿(许东青等, 2009)略有不同,“常山式”萤石矿石轻稀土元素部分相对较陡,重稀土元素部分平缓,表明轻稀土元素分馏系数比重稀土元素

表 2 几种常见类型萤石矿石化学成分表
Table 2 Chemical composition of several common types of fluorite ores

样品编号	kml-1	kml-2	xx-1	jkw-1	jkw-2	jkw-3	jkw-4	jkw-5	jkw-6	gws-1	gws-2
产地	苦麻岭	苦麻岭	下徐	蕉坑坞	蕉坑坞	蕉坑坞	蕉坑坞	蕉坑坞	蕉坑坞	高坞山	高坞山
矿石类型	石英-方解石-萤石型	石英-萤石型	方解石-萤石型	石英-方解石-萤石型	石英-方解石-萤石型	石英-萤石型	石英-方解石-萤石型	石英-萤石型	石英-萤石型	石英-萤石型	石英-萤石型
CaF ₂	52.00	53.07	52.68	47.69	29.96	55.13	34.39	66.30	69.51	69.99	77.61
CaCO ₃	18.82	4.62	40.38	30.37	29.03	11.66	30.15	2.16	5.38	0.99	1.00
SiO ₂	17.10	28.30	5.76	12.10	21.62	21.12	21.54	17.40	14.91	17.08	11.18
Al ₂ O ₃	4.17	4.12	0.39	2.24	6.83	3.74	4.98	4.33	2.89	3.72	2.79
Fe ₂ O ₃	1.50	2.50	0.49	0.74	1.64	0.92	0.92	1.23	0.88	0.75	0.65
MgO	2.90	3.56	0.32	3.30	2.56	2.86	2.92	4.68	4.14	4.37	4.59
K ₂ O	0.88	1.28	0.40	2.00	4.00	3.06	2.89	2.89	0.38	0.68	0.29
Na ₂ O	0.05	0.03	0.00	0.06	0.07	0.04	0.61	0.05	0.02	0.01	0.00
S	0.15	0.11	0.07	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
P	0.02	0.01	0.01	0.01	0.10	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO ₂	0.09	0.07	0.00	0.04	0.18	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04
MnO	0.13	0.13	0.05	0.01	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.01
BaO	0.07	0.49	0.02	0.05	0.16	0.05	0.04	0.05	0.04	0.14	0.01
Pb	0.004	0.003	0.004	0.000	0.004	0.000	0.005	0.019	0.000	0.000	0.000
Zn	0.004	0.003	0.005	0.006	0.009	0.006	0.009	0.008	0.005	0.003	0.003
WO ₃	0.009	0.006	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.020	0.000	0.010
Mo	0.000	0.000	0.004	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Be	0.190	0.016		0.042	0.005	0.061	0.043	0.017	0.005	0.002	0.002

测试单位: 化工地质矿山第十八实验室(2006~2014); 测试方法: CaF₂、CaCO₃ 为滴定法, SiO₂、BaO 为重量法, S 为燃烧法, Al₂O₃、Fe₂O₃、TiO₂、P、MnO、WO₃、Mo 为紫外可见分光光度法, MgO、K₂O、Na₂O、Pb、Zn、Be 为原子吸收分光光度法。

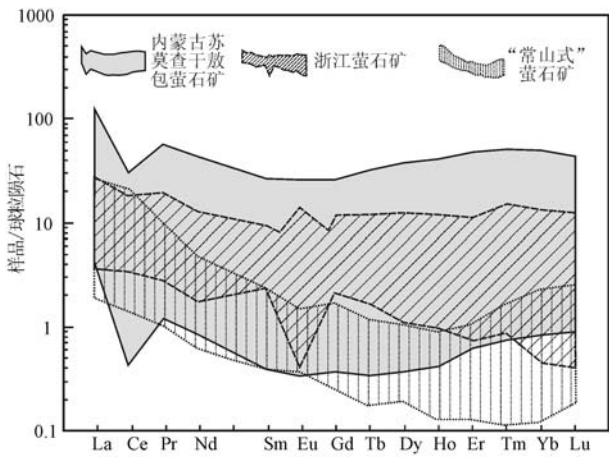


图 3 “常山式”萤石矿稀土元素球粒陨石
标准化配分图(Taylor and McLennan, 1985)
Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of the
Changshan-type” fluorite ores (after Taylor and McLennan, 1985)

高。矿石 Eu 负异常较弱。

2 从典型矿体顶底板 CaF₂ 含量特征
看成矿作用

2.1 蕉坑坞 17 号矿体顶底板 CaF₂ 含量特征

通过 42 个见矿工程(5 个工程底板未采样)统计发现,17 号矿体直接顶板 CaF₂ 含量最低 1.06%, 最高 19.74%, 集中在 2%~5% 及 6%~7.5% 两个区间, 平均 5.24%。直接底板 CaF₂ 含量最低 1.25%, 最高 19.18%, 集中在 1.25%~7.5% 之间, 平均 4.78%(表 3)。

从顶底板 CaF₂ 含量随单工程品位变化图(图 4)可知,随着单工程平均品位的增大,矿体直接顶底板 CaF₂ 含量变化略有收窄,幅度变小,对数趋势线上表

表 3 蕉坑坞 17 号矿体直接顶底板 CaF_2 含量特征

$w_B/\%$

Table 3 Characteristics of immediate roof and floor of No. 17 fluorite orebody in Jiaokengwu block

产出部位	H20	H49	H21	H51	H23	H53	H25	H55	H27	H57	平均
顶板	1.19~ 7.41	1.91~ 6.61	1.40~ 2.88	1.18~ 5.15	2.37~ 9.74	1.06~ 8.25	2.64~ 8.05	2.15~ 15.08	2.06~ 19.74	2.78~ 14.04	5.24
底板	5.09~ 14.82	5.12~ 6.27	3.02~ 3.53	2.17~ 6.34	2.37~ 6.27	1.37~ 6.05	1.39~ 5.77	1.51~ 19.18	1.25~ 8.27	1.46~ 17.25	4.78
单工程	38.63~ 46.43	46.70~ 74.29	38.47~ 69.40	20.98~ 56.73	31.13~ 61.13	28.61~ 66.65	34.75~ 77.60	33.06~ 74.80	24.24~ 70.47	34.82~ 71.57	52.16

注：顶底板数值为单样化验结果。

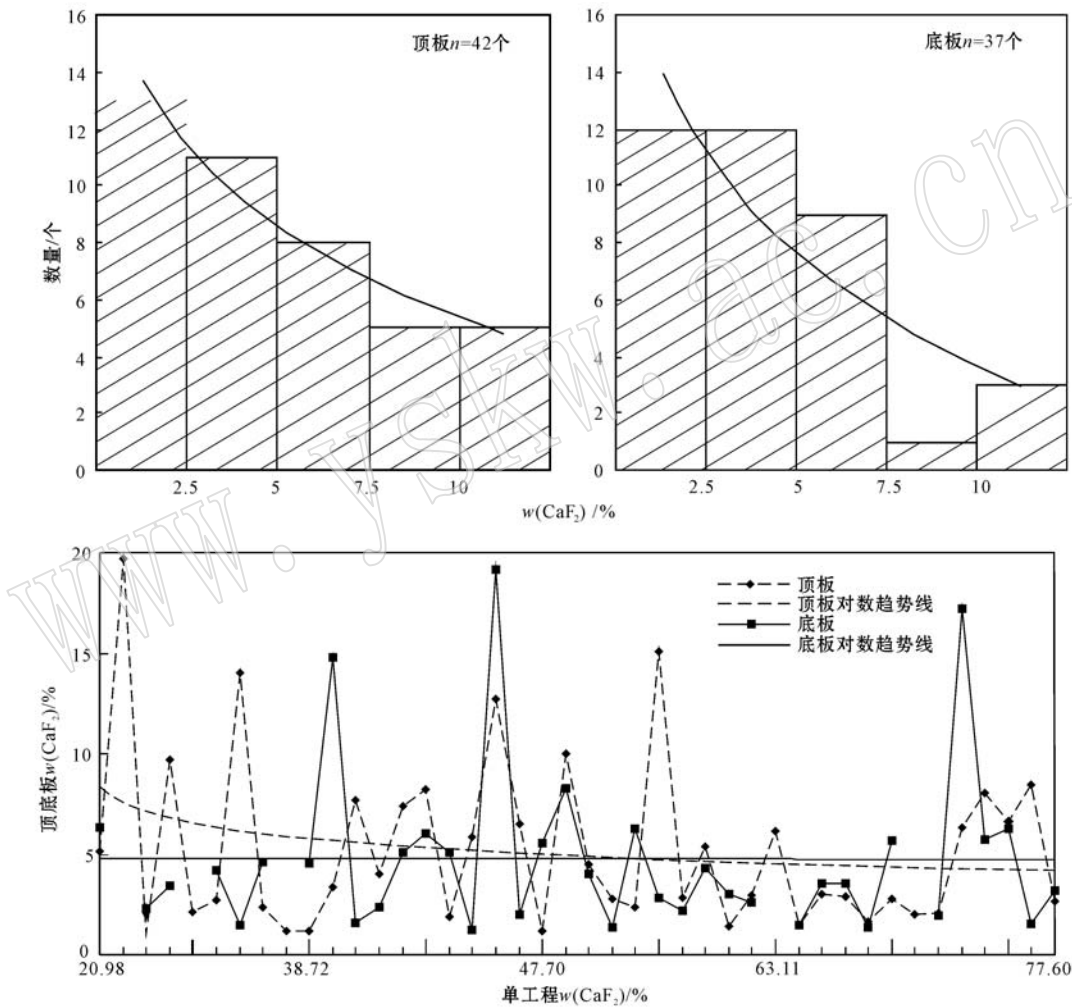


图 4 蕉坑坞 17 号萤石矿体直接顶底板 CaF_2 含量随单工程品位变化图

Fig. 4 CaF_2 content of immediate roof and floor of No. 17 fluorite orebody in Jiaokengwu block and the variation of grade with single engineering

现为左侧略高、右侧趋缓的形态。而矿体底板 CaF_2 含量随单工程品位的增大,无一定规律,对数趋势线表现为一平缓的曲线。上述特征表明 17 号矿体顶底板 CaF_2 含量与矿体的贫富相关性不强。

2.2 苦麻岭Ⅱ②矿体顶底板 CaF_2 含量特征

通过 8 个见矿工程统计,苦麻岭Ⅱ②矿体直接顶板 CaF_2 含量 1.91%~13.46%,平均 4.44%;直接底板 CaF_2 含量 2.28%~18.71%,平均 7.30%(表 4)。

表 4 苦麻岭Ⅱ②号矿体直接顶底板 CaF_2 含量特征

$w_B/\%$

Table 4 Characteristics of immediate roof and floor of No. Ⅱ② fluorite orebody in the Kumaling ore deposit

产出部位	ZK301	ZK302	ZK002	ZK003	ZK004	ZK005	ZK006	ZK201	算术平均
顶板	4.71	13.46	6.02	2.95	1.91	2.16	2.19	2.12	4.44
底板	4.52	18.71	2.28	9.07	5.73	4.31	3.73	10.04	7.30
单工程	63.58	44.09	70.10	30.71	62.90	78.84	42.67	42.25	54.39

注：顶底板数值为单样化验结果。

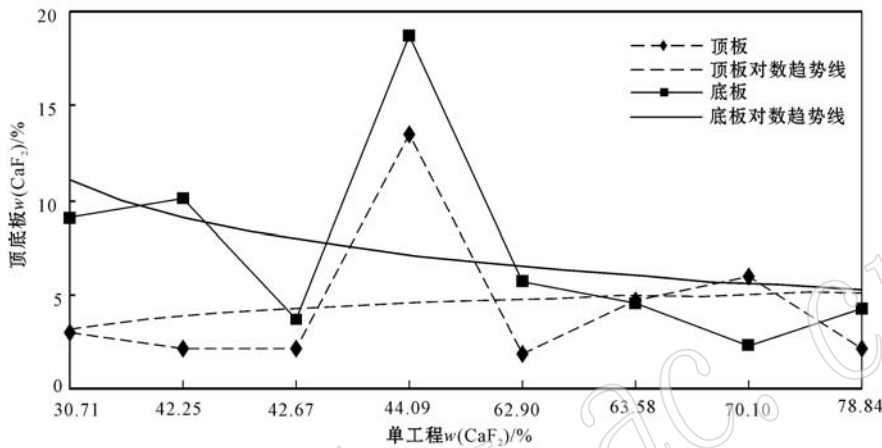


图 5 苦麻岭Ⅱ②号萤石矿体直接顶底板 CaF_2 含量随单工程品位变化图

Fig. 5 CaF_2 content of immediate roof and floor of No. Ⅱ② fluorite orebody in the Kumaling ore deposit and the variation of grade with single engineering

与蕉坑坞 17 号矿体类似，苦麻岭Ⅱ②号矿体直接顶底板 CaF_2 含量随单工程品位增高，未表现出明显的规律性(图 5)。趋势线特征表明，随单工程品位的增高，顶底板 CaF_2 含量变化收窄，且 CaF_2 含量似有变小的趋势。

2.3 成矿作用探讨

由于矿床萤石矿石外貌与灰岩十分相似，矿体与围岩的界线貌似“渐变过渡”，直观感觉其形成应是交代作用的结果，但越来越多证据表明充填作用在成矿过程中起主导作用。

首先从矿石结构上看，区内主要矿石结构为他形粒状结构，偶见交代结构。其次，在高坞山矿段杨柳岗组泥质灰岩中的萤石矿体普遍比蕉坑坞矿段华严寺组大理岩化灰岩中的矿化差，规模小，表现为不纯的灰岩矿化相对较差，这与传统交代作用成矿理论不吻合。矿床中的围岩蚀变皆以大理岩化、角岩化等热变质作用为主。

此外，从典型矿体顶底板 CaF_2 含量随单工程品位变化可知，矿体越富，顶底板的 CaF_2 含量并未表现为越高，相反有变低的趋势。亦即，矿体越富，其与围岩的界线越清楚，不存在“渐变过渡带”。由此可见，矿体应是成矿热液沿构造空间充填(伴有交

代)形成。

3 矿床成因总结

3.1 成矿物质来源

研究表明(刘道荣等, 2012)，岩前岩体含氟 0.465%，高于一般花岗岩类，成矿物质 F 来源于高氟岩体。矿石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值 0.714 583~0.721 712(夏学惠等, 2009a)，介于灰岩与花岗岩之间，与灰岩较接近，表明 Ca 主要来源于灰岩，部分可能来自花岗岩。

3.2 成矿流体来源

氢氧同位素特征表明成矿流体早期主要来源于岩浆水，晚期主要来自大气降水，主成矿期(中低温热液期)至少包含两个阶段，成矿流体在运移过程中可能受到不同程度的同位素污染(夏学惠等, 2009a)。

3.3 成矿温度、压力

据夏学惠等(2009a)研究，大部分萤石矿物均一温度集中在 120~240℃，深灰色细粒萤石矿石主要形成于 140~150、190~200℃ 两个温度区间中；而浅色巨晶萤石成矿温度集中在 120~170℃。

据袁德丰等(2005)测得的萤石矿物流体包裹体的均一压力为 $296 \times 10^5 \sim 695 \times 10^5$ Pa, 主要集中在 $350 \times 10^5 \sim 450 \times 10^5$ Pa 区间, 成矿压力较低。

3.4 成矿时代

夏学惠等(2010)测得矿床萤石 Sm-Nd 同位素等时线年龄为 791 ± 230 Ma, 认为“矿床矿源层形成时间为寒武纪, Sm-Nd 同位素等时线年龄反映的是矿源层与萤石矿层形成的初始年代”。但浙西北地区寒武系地层 F 含量仅为 0.063%, 略高于背景值 (0.052%) (韩文彬, 1991), 表明“矿源层”说法的可能性较小。

而韩文彬等(1991)测得岩前岩体形成时间约为 124 ± 1.81 Ma (Rb-Sr 法); 浙江省第三地质大队 (1990)^① 在岩体边缘采集的 2 个萤石样品, 经裂变径

迹法测得形成时间为 115.70 ± 10.99 Ma。萤石形成时间较岩体晚约 10 Ma, 说明岩体侵位与成矿关系密切, 成矿时代应属燕山晚期。

3.5 成矿控制因素

岩体提供了成矿物质 F 和部分 Ca, 侵位过程中形成了“虚脱冒落”构造, 活化了褶皱层间构造带, 高氟岩体侵位是该矿床最重要的控制因素 (刘道荣等, 2012)。

综上所述, 矿床应属燕山晚期形成的中低温热液 (充填伴有交代) 矿床。

4 成矿模式

“常山式”萤石矿床的成矿过程可归纳如下 (成矿模式图见图 6):

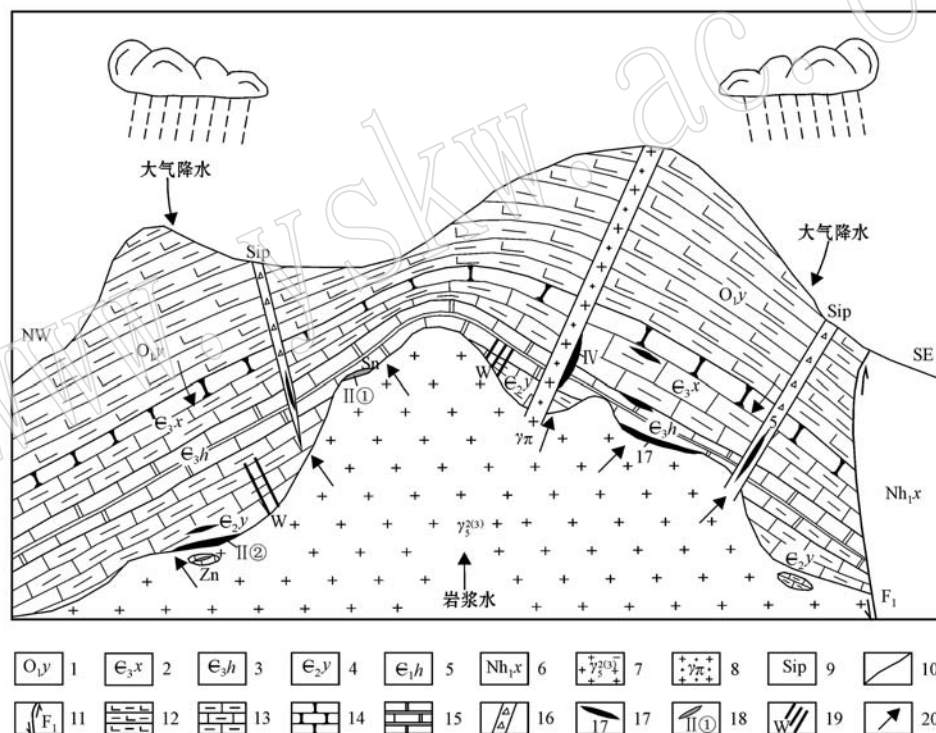


图 6 “常山式”萤石矿床成矿模式图

Fig. 6 Metallogenic model of the “Changshan-type” fluorites deposits

1—奥陶系下统印渚埠组; 2—寒武系上统西阳山组; 3—寒武系上统华严寺组; 4—寒武系中统杨柳岗组; 5—寒武系下统荷塘组; 6—南华系下统休宁组; 7—花岗岩; 8—花岗斑岩; 9—硅化破碎带; 10—地质界线; 11—逆断层; 12—钙质泥岩; 13—泥灰岩; 14—瘤状灰岩;

15—大理岩化灰岩; 16—破碎带; 17—萤石矿体; 18—锡(锌)多金属矿体; 19—钨矿体; 20—热液运移方向

1—Lower Ordovician Yinzhubu Formation; 2—Upper Cambrian Xiyangshan Formation; 3—Upper Cambrian Huayansi Formation; 4—Middle Cambrian Yangliugang Formation; 5—Lower Cambrian Hetang Formation; 6—Lower Nanhua System Xiuning Formation; 7—granite; 8—granite-porphry; 9—silicious dike; 10—stratigraphic boundary; 11—reverse fault; 12—calcilitite; 13—marlite; 14—nodular limestone; 15—marblized limestone; 16—dike; 17—fluorite orebody; 18—Sn (Zn) orebody; 19—W orebody; 20— direction of hydrothermal migration

① 浙江省第三地质大队, 1990. 浙江省锡矿成矿区划.

燕山晚期,富氟花岗岩侵位于岩前短轴背斜中,吞噬了寒武系大陈岭组、部分杨柳岗组碳酸盐岩地层,形成富含 F^- 、 Ca^{2+} 、W、Sn 等物质的热液,并使褶皱层间构造带再次活动。岩体冷凝收缩后,在岩体外接触带附近形成“虚脱冒落”空间,成为最主要的赋矿构造空间。成矿早期,成矿流体以岩浆水为主,携带 W、Sn 等金属元素,沿断裂构造充填形成石英脉型钨锡多金属矿;其后大气降水顺着断裂破碎带下参与岩浆水混合,成矿热液的温度不断降低,与部分围岩发生物质交换,局部形成萤石矿化锡多金属矿(化)体。成矿晚期,随着温度、压力进一步降低,大量萤石逐步从热液系统中沉淀出来,在接触带附近形成似层状矿体;部分热液沿层间构造带运移,形成大致平行层面的透镜状矿体;少量热液沿断裂上升到浅部,充填形成陡倾角的脉状矿体。

5 结论

(1) 苦麻岭萤石矿床的发现,表明灰岩的纯度与成矿好坏关系并不密切,这对浙西北地区其它高氟岩体周围寻找此类矿床,具有重要指导意义。

(2) “常山式”萤石矿床与产于碳酸盐岩中的普通萤石矿床有所不同,其矿体产出特征、矿石外观、矿物组合有其独特性。

(3) 典型矿体顶底板 CaF_2 含量特征分析表明,矿体越富,矿体与围岩的界线越清楚;成矿作用应以充填为主。

(4) “常山式”萤石矿床成因应属燕山晚期形成的中低温热液(充填伴有交代)矿床。岩体侵位是矿床最重要的控制因素,岩体外接触带的“虚脱冒落”构造及层间破碎带为主要控矿构造,建立了岩体+构造的成矿模式。

致谢 本文编写过程中得到中化地质矿山总局浙江地质勘查院苦麻岭项目组李伟、谭杰等同志的帮助,审稿专家在本文修改过程中提出了宝贵意见,在此一并表示感谢。

References

Han Wenbin, Ma Cheng'an, Wang Yurong, *et al.* 1991. Geological and Geochemical Characteristics of Fluorite Deposit-Take Wuyi

Ore Field in Zhejiang Province as An Example[M]. Beijing: Geology Press, 82~92(in Chinese with English abstract).

Jiang Xuliang and Li Changjiang. 1993. REE geochemistry of fluorite deposits in Zhejiang Province[J]. Mineral Deposit, 12(1): 55~66 (in Chinese with English abstract).

Li Kai and Liu Haitao. 2013. Mineral resource prediction of veined fluorite ore deposits of pengshan in De'an county of Jiangxi province [J]. Journal of East China Institute of Technology(Natural Science), 36(s2): 27~33(in Chinese with English abstract).

Liu Daorong, Chen Chunfa, Wang Xinli, *et al.* 2009. Study on ore-controlling factors and origin of the No. 17 fluorite orebody in Jiaokengwu ore block in Changshan, Zhejiang Province[J]. Geology and Resources, 18(3): 177~182(in Chinese with English abstract).

Liu Daorong, Yan Shengxian, Chen Yin, *et al.* 2012. Geochemical characteristics of the Yanqian High-F Granite and Its relationship with the new-type Bamianshan fluorite deposit in northwest Zhejiang Province[J]. Geology and Prospecting, 48(5): 884~893(in Chinese with English abstract).

Liu Daorong, Zhang Yimin, Yang Guomei, *et al.* 2011. Study on geological character of a new type of interformation tectonic zone hosted fluorite deposit—in case of ore body XIV of Gaowushan domain, Changshan county, Zhejiang Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 26(4): 433~439(in Chinese with English abstract).

Nie Fengjun, Xu Dongqing, Jiang Sihong, *et al.* 2008. Geological features and origin of Sumoqagan Obo superlarge independent fluorite deposit, Inner Mongolia[J]. Mineral Deposit, 27(1): 1~13(in Chinese with English abstract).

Pan Zhonghua and Fan Delian. 1996. Isotope geochemistry of vein fluorite and barite deposits in southeast Sichuan[J]. Acta Petrologica Sinica, 12(1): 127~136(in Chinese with English abstract).

Taylor S R and McLennan S M. 1985. The Continental Crust Its Composition and Evolution[M]. UK, Blackwell: Oxford Press, 1~312.

Wang Jiping, Shang Pengqiang, Xiong Xianxiao, *et al.* 2014. The classification of fluorite deposits in China[J]. Geology in China, 41(2): 315~325(in Chinese with English abstract).

Xia Xuehui, Han Yuchuan, Lian Wei, *et al.* 2009b. Genesis discussion and REE geochemistry characters in Bamianshan fluorite deposit in Zhejiang Province[J]. Geology of Chemical Minerals, 31(4): 193~200(in Chinese with English abstract).

Xia Xuehui, Han Yuchuan, Lian Wei, *et al.* 2010. Sedimentary genesis feature of Bamianshan unusual large fluorite deposit in Zhejiang Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 28(6): 1175~1181

(in Chinese with English abstract).

- Xia Xuehui, Xu Shaokang, Yan Shengxian, *et al.* 2009a. Studies on genesis of unique fluorite deposit in Bamiashan Zhejiang Province [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 31(2): 65~75 (in Chinese with English abstract).
- Xu Dongqing, Nie Fengjun, Qian Mingping, *et al.* 2009. REE geochemistry and genesis of Sumochagan Obo superlarge fluorite deposit [J]. *Mineral Deposit*, 28(1): 29~41 (in Chinese with English abstract).
- Xu Shaokang, Xia Xuehui, Yuan Chongjian, *et al.* 2008. Magnetite-fluorite rock: A new rock type of hot water sedimentation [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(4): 906~910.
- Yan Fei, Xia Xuehui, Xu Shaokang, *et al.* 2010. Study on fluid inclusion geochemistry of Bamiashan fluorite deposits of Zhejiang Province [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 32(4): 215~200 (in Chinese with English abstract).
- Yan Shengxian, Chen Yin, Zhang Yimin, *et al.* 2008. Geological factors and its prospect for prospecting fluorite deposits in carbonate rocks of Cambrian system in northwest Zhejiang Province [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 30(2): 85~90 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Defeng, Zheng Xingquan, Chen Yin, *et al.* 2005. Geologic features of fluorite W Sn and polymetal mineration of Bamiashan mine in Changshan, Zhejiang [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 27(3): 139~149 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 韩文彬, 马承安, 王玉荣, 等. 1991. 萤石矿床地质及地球化学特征——以浙江武义矿田为例 [M]. 北京: 地质出版社, 82~92.
- 蒋叙良, 李长江. 1993. 浙江萤石矿床的稀土元素地球化学特征 [J]. *矿床地质*, 12(1): 55~66.
- 李 凯, 刘海涛. 2013. 江西德安彭山脉状萤石矿资源预测 [J]. *东华理工大学学报: 自然科学版*, 36(s2): 27~33.
- 刘道荣, 陈春发, 王新利, 等. 2009. 浙江常山县蕉坑坞矿段 17 号萤石矿体控矿因素及成因探讨 [J]. *地质与资源*, 18(3): 177~182.
- 刘道荣, 严生贤, 陈 荫, 等. 2012. 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*, 48(5): 884~893.
- 刘道荣, 章益民, 杨国镁, 等. 2011. 产于层间构造带中的新型萤石矿体地质特征——以浙江常山县高坞山矿段 X IV 号矿体为例 [J]. *地质找矿论丛*, 26(4): 433~439.
- 聂风军, 许东清, 江思宏, 等. 2008. 内蒙古苏莫查干敖包特大型萤石矿床地质特征及成因 [J]. *矿床地质*, 27(1): 1~13.
- 潘忠华, 范德康. 1996. 川东南脉状萤石-重晶石矿床同位素地球化学 [J]. *岩石学报*, 12(1): 127~136.
- 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.
- 夏学惠, 韩豫川, 连 卫, 等. 2009b. 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.
- 夏学惠, 韩豫川, 连 卫, 等. 2010. 浙江八面山特大型萤石矿床的沉积成矿特征 [J]. *沉积学报*, 28(6): 1 175~1 181.
- 夏学惠, 徐少康, 严生贤, 等. 2009a. 浙江八面山特大型萤石矿床成因研究 [J]. *化工矿产地质*, 31(2): 65~75.
- 许东青, 聂风军, 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.
- 闫 飞, 夏学惠, 徐少康, 等. 2010. 浙江八面山萤石矿床流体包裹体地球化学研究 [J]. *化工矿产地质*, 32(4): 215~220.
- 严生贤, 陈 荫, 章益民, 等. 2008. 浙西北寒武系碳酸盐岩内找萤石矿地质因素与前景 [J]. *化工矿产地质*, 30(2): 85~90.
- 袁德丰, 郑兴泉, 陈 荫, 等. 2005. 浙江省常山县八面山矿区萤石及钨、锡多金属成矿地质特征 [J]. *化工矿产地质*, 27(3): 139~149.