



浙江省萤石矿床区域成矿规律与找矿方向研究*

黄国成¹, 张永山², 程海艳¹

(1 浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203; 2 浙江省国土资源厅, 浙江 杭州 310005)

摘 要 萤石矿是浙江省的优势矿种之一, 储量在中国名列前茅。根据矿床成因可分为火山-次火山热液充填型、岩浆期后热液充填型和岩浆热液交代型 3 种类型。火山-次火山热液充填型萤石矿床主要分布于浙东南火山岩分布区, 成矿作用与中生代火山活动关系密切。岩浆期后热液充填型和岩浆热液交代型萤石矿床主要分布于浙西北燕山期花岗岩周围, 成矿作用与燕山期岩浆侵入活动密切相关。文章根据浙江省萤石矿床的成因类型、成矿作用、构造环境、成矿时代等特征, 可将其归纳为 2 个成矿系列: 与中生代火山-次火山热液有关的萤石矿床成矿系列和与中生代岩浆侵入作用有关的萤石矿床成矿系列。其中, 与中生代岩浆侵入作用有关的萤石矿床成矿系列又可分为与燕山期中酸性岩浆期后热液充填作用有关的萤石矿床成矿亚系列及与燕山期中酸性岩浆热液交代作用有关的萤石矿床成矿亚系列。在此基础上, 提出了 2 大萤石矿床成矿系列的找矿方向分别为浙东南晚白垩世火山断陷盆地边缘断裂、火山口环形和放射状断裂及浙西北高氟岩体。

关键词 地质学 萤石矿床 矿床类型 成矿系列 找矿方向

中图分类号: P612; P619.21⁺5

文献标志码: A

A study of regional metallogenic regularity and prospecting direction of fluorite deposits in Zhejiang Province

HUANG GuoCheng¹, ZHANG YongShan² and CHENG HaiYan¹

(1 Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, Zhejiang, China; 2 Zhejiang Provincial Department of Land and Resources, Hangzhou 310005, Zhejiang, China)

Abstract

Fluorite resource is a kind of dominant mineral in Zhejiang, and its fluorite reserves have reached the top in China. According to ore genesis, it can be divided into three types, i. e., volcanic-subvolcanic hydrothermal filling type, post-magmatic hydrothermal filling type and magmatic hydrothermal metasomatic type. Volcanic hydrothermal filling fluorite deposits are mainly located in volcanic rocks in southeast Zhejiang, which are closely related to Mesozoic volcanic activities. Magmatic hydrothermal filling and metasomatism fluorite deposits occur around the Yanshanian granite intrusions, which are positively correlated with Yanshanian magmatism. According to ore genesis, mineralization, tectonic environment and metallogenic epoch of fluorite deposits in Zhejiang, the authors recognized two metallogenic series, i. e., fluorite metallogenic serie related to Mesozoic volcanic-subvolcanic hydrothermal and fluorite metallogenic series related to Mesozoic magmatism, and fluorite metallogenic series related to Mesozoic magmatism which consists of two metallogenic subseries: fluorite metallo-

* 本文得到“浙江省矿产资源调查成果综合集成与服务产品开发(编号: 12120114007201)”项目资助

第一作者简介 黄国成, 男, 1981 年生, 工程师, 博士, 从事成矿规律与矿产预测研究。Email: dafengem@sina.com

收稿日期 2015-07-10; 改回日期 2015-10-08。秦思婷编辑。

genic subserie related to Yanshanian intermediate-acidic magmatic hydrothermal filling mineralization and fluorite metallogenic subseries related to Yanshanian intermediate-acidic magmatic hydrothermal metasomatism. It is indicated that marginal fault of late Cretaceous volcanic-graben basin, circular and radiant fractures around volcanic craters in southeast Zhejiang and peripheral areas of high fluoride intrusions in northwest Zhejiang are further prospecting targets for fluorite resources.

Key words: geology, fluorite deposits, deposit type, metallogenic series, prospecting direction

浙江省萤石矿发现历史悠久,最早可追溯到明代,当时人们称之为“五色之石”。萤石是浙江省的优势矿种之一,矿产资源十分丰富,具有分布广、储量大的特点。浙江省萤石矿床以单一矿种占绝对优势,共生和伴生现象甚少见。前人对浙江省萤石矿床的成矿规律和矿产预测开展了多方面的研究工作,如萤石矿床地球化学(韩文彬等,1991)、成矿模式(李长江等,1991;刘道荣,2015)、成矿远景区划及矿产预测(姚洪烈,1982;王世称等,1986)等。近年来,在浙西北安吉、淳安、开化以及浙东南泰顺、文成等地均发现了中-大型规模的萤石矿床,表明浙江省的萤石矿床仍有较大的找矿空间。

笔者在前人研究成果的基础上,从萤石矿床类型划分及其基本特征分析着手,以成矿系列理论为指导,总结全省萤石矿区域成矿规律,厘定矿床成矿系列,并提出下一步找矿方向建议。

1 区域地质概况

浙江省位于东亚大陆东南缘,横跨扬子陆块区、江山-绍兴结合带、武夷-云开造山系三个一级大地构造单元(袁强等,2013)。扬子陆块区分布于浙江省西北部,经历了一段复杂的构造演化历史,地层发育齐全,新元古代—古生代—中生代地层均有分布。主要的含矿层位包括震旦系灯影组泥质白云质灰岩建造、震旦系蓝田组碳质页岩夹白云质灰岩建造、寒武系荷塘组硅质页岩建造及杨柳岗组碳酸盐岩建造、奥陶系砚瓦山组瘤状泥质灰岩建造及文昌组条带状泥质灰岩建造、石炭系老虎洞组含燧石条带灰岩及白云质灰岩建造等。区内燕山期岩浆活动强烈,给岩体的侵位带来了丰富的含矿气液和热能,奠定了区内燕山期大规模成矿的基础。区内构造线总体以北东走向为主,在断裂交汇部位褶皱核部及岩体的侵位处,通常成为矿质富集的有利地段。区域成矿作用复杂多样,矿种众多。在上古生界主要发育与晚石炭世早期海底热泉活动叠加燕山期岩浆热

液成矿的铜多金属矿;在南华系或下古生界分布区主要发育与燕山期壳幔混合型岩浆活动有关的铁、铜、金、铅、锌、银、锑及与壳源型岩浆活动有关的钨、锡、铍、铅、锌、银、萤石矿;在韧性剪切带及断裂破碎带内主要发育蚀变破碎岩型金矿。

江山-绍兴拼合带位于浙江省中部,以韧性剪切带与密集断裂带相结合,新元古代中酸性火山-岩浆活动以呈带状分布为特征,中生代以后两侧均属东南沿海大陆边缘火山-沉积岩区。区内变质岩、火山岩和沉积岩均有不同程度的出露。区域岩浆活动较频繁,岩体侵位大致可分为2个期次(袁强等,2013),第一期为沿江山-绍兴深大断裂北侧少量分布的晋宁期幔源型岩体,岩性主要为石英闪长岩,与铜、金、铁、黄铁矿等成矿关系较为密切;第二期为燕山期壳源花岗岩岩体,主要分布在球川-萧山断裂与江山-绍兴断裂之间,这期岩体的成矿作用较弱,偶有铜、萤石等矿化。构造形迹总体呈北东向,发育江山-绍兴韧性大型逆冲断裂构造是浙江省内最重要的一条构造边界,韧性剪切带是该断裂的重要特征,沿该韧性剪切带发育有金、铜等矿床。

武夷-云开造山系位于浙江东南部,为元古代变质基底和中生代火山沉积岩盖层双层结构,古元古代八都岩群、中元古代龙泉群、新元古代陈蔡群基底变质岩系以断块状或天窗状呈北东东向分布,其余部分大面积覆盖下白垩统磨石山群下段陆相火山岩系,局部有下侏罗统枫坪组和中侏罗统毛弄组含煤沉积岩系,缺失古生代地层。燕山期岩浆活动强烈,火山岩与其同源侵入岩分布广泛;晚侏罗世正向火山构造发育,白垩纪则以火山构造盆地(或洼地)为特色。峡口、湖山-黄沙腰、松阳、老竹、武义、永康、南马、东阳、义乌、壶镇、嵊县-新昌、余姚等一系列白垩纪火山断陷盆地(或洼地),形成了浙江省乃至中国最大的萤石矿化集中区。

在整个地质构造历史发展过程中,浙江省经历了多次构造运动,导致岩浆活动与成矿作用也具有多期、多次、多阶段的特点。浙江省岩浆活动在晋宁

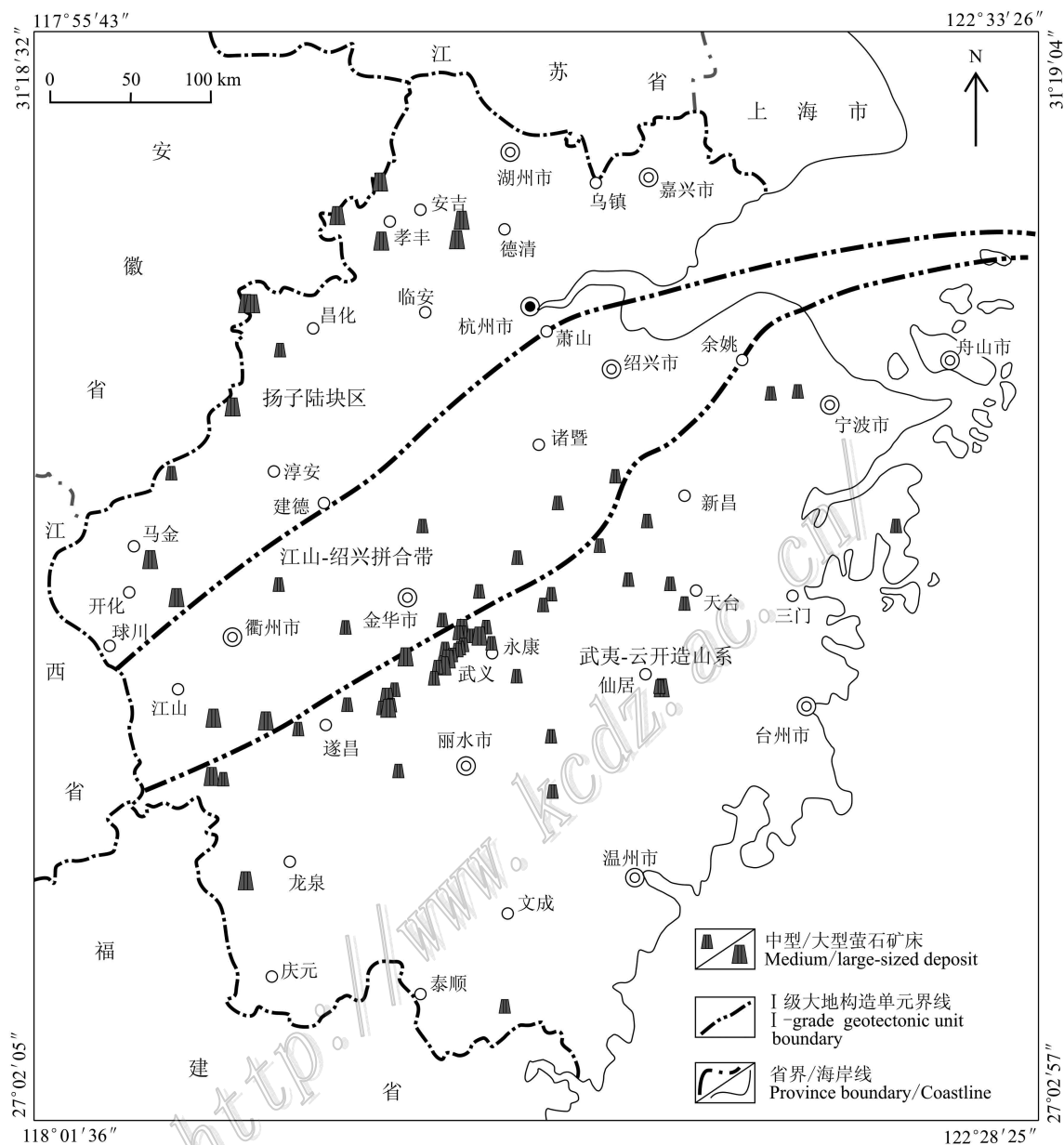


图 1 浙江省主要萤石矿床分布略图

Fig. 1 Distribution of major fluorite deposits in Zhejiang

期、加里东期、华力西期—印支期、燕山期和喜马拉雅期均有表现,以晋宁期、加里东期和燕山期岩浆活动最为广泛。特别是燕山期大规模的火山喷发与岩浆侵入活动,形成了浙江省萤石矿床集中产出的爆发期。受地壳岩石丰度及地质构造背景差异的影响,浙江省萤石矿床主要分布在绍兴-金华-丽水及湖州-临安 2 条成矿带上(图 1)。

2 矿床类型及其基本特征

浙江省萤石矿床类型以火山-次火山热液充填型为主,次为岩浆期后热液充填型,少量为岩浆热液交代型。浙东南火山岩区萤石矿床以火山-次火山热液充填型为主,仅在西南部龙泉、云和、松阳一带

形成少数岩浆期后热液充填型矿体。浙西北沉积岩分布区则以岩浆期后热液充填型矿床为主。近年来,随着常山县岩前岩体周围一处大型岩浆热液交代型萤石矿床(八面山萤石矿床)的发现,又相继在淳安九里岗、安吉蒲芦坞等地发现了若干个该类型大型规模萤石矿床,因而岩浆热液交代型萤石矿床也成为了一种重要的萤石矿床类型。

2.1 火山-次火山热液充填型萤石矿床

火山-次火山热液充填型萤石矿床是浙江省最重要的萤石矿床类型,占全省萤石矿床总数的 77%,累计查明萤石矿资源储量(CaF_2)总量占浙江省萤石矿查明总资源储量的 72%。本类萤石矿床集中分布于江山-绍兴深大断裂东南的广大中生代火山岩分布区,大地构造位置归属于浙江晚三叠世以来大地构造单元的东南沿海岩浆弧,区域成矿区带归为浙中-武夷隆起 W-Sn-Mo-Au-Ag-Pb-Zn-Nb-Ta(叶蜡石)-萤石成矿带和浙闽粤沿海 Pb-Zn-Cu-Au-Ag-W-Sn-Nb-Ta-叶蜡石-明矾石-萤石成矿带(徐志刚等, 2008)。矿床(点)大多围绕全省一系列呈雁行分布的白垩纪断陷盆地的边缘,主要赋存于白垩纪盆地与早白垩世火山穹隆交接地带的断裂构造带内,成矿时代为燕山晚期。

本类萤石矿床的产出严格受断裂构造控制,矿体形态、产状、规模与赋矿断裂的发生、发展和演化密切相关,大、中型萤石矿床容矿构造多为盆边断裂带,属区域性断裂构造,具有多次继承性活动历史,矿液的多次脉动充填作用是形成大型萤石矿床的重要条件,而主矿化期主要发生在赋矿断层拉张松弛活动时段。

矿体围岩以下白垩统磨石山群中酸性、酸性火山碎屑岩及熔岩为主,次有下白垩统永康群凝灰质与钙质碎屑岩、火山碎屑岩及中-酸性次火山岩,少数为前震旦系变质岩。近矿围岩蚀变以低温热液蚀变为主,呈线型蚀变发育在断层破碎带内或矿体之中,主要有硅化、萤石化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、高岭土化及黄铁矿化等,蚀变带宽一般 1~5 m,部分为 10~30 m。硅化是本类萤石矿床最主要的一种蚀变类型,硅化带的规模和强度与成矿有密切关系。

2.2 岩浆期后热液充填型萤石矿床

岩浆期后热液充填型萤石矿床占浙江省已知萤石矿床总数的 21%,主要分布在燕山早期浙西北顺溪-湖州侵入岩带,龙泉-奉化侵入岩带西南段及常山-桐庐侵入岩带西南段,燕山晚期文成-镇海侵入岩

区西南段亦有零星分布。

矿体主要分布在花岗岩、花岗闪长岩体的边缘或外接触带,少数分布在花岗斑岩、石英二长岩、(石英)正长斑岩、钾长花岗岩、二长花岗岩或石英斑岩等中酸性-酸性侵入岩的边缘或外接触带,分布在外接触带者一般距岩体 400~1800 m,少数为 25~250 m 或 2~3 km。成矿主要受北东向断裂、北西-北西向西向张-张扭性断裂控制,次为北东东-东西向断裂,少数为北北东向断裂,个别受北北西向断裂控制。

矿体围岩以花岗岩及寒武系-奥陶系砂页岩与灰岩为主,次有震旦系陡山沱组、灯影组等砂页岩、下白垩统劳村组凝灰岩、熔结凝灰岩及流纹(斑)岩、燕山期花岗闪长岩、石英正长斑岩、花岗斑岩、石英斑岩等。围岩蚀变以硅化为主,少数伴有绿泥石化、高岭土化、绢云母化、黄铁矿化及接触变质形成的角岩化,个别伴有绿帘石化、碳酸盐化、叶蜡石化或接触变质形成的大理岩化。蚀变带一般宽 0.5~2 m,少数宽达 5~20 m。

2.3 岩浆期后热液交代型萤石矿床

岩浆期后热液交代型萤石矿床数量不多,但近年来浙江省陆续发现了几处大型岩浆期后热液交代型萤石矿床。其中,以常山县高坞山-蕉坑坞萤石矿床为代表。

在岩浆期后热液交代型萤石矿床中,通常有岩浆期后热液充填型萤石矿产出,主要分布于顺溪-湖州侵入岩带及常山-桐庐侵入岩带中。矿体常呈似层状或透镜状产于花岗岩与围岩接触带上,岩体以花岗岩为主,多呈岩株或岩枝状产出,岩体与围岩接触界线弯曲呈‘港湾’状,接触界线较清晰、明显。接触面产状一般外倾,局部内倾,接触面无论沿走向或倾斜方向都具有较大的波状起伏变化。岩体含矿围岩主要为中寒武统杨柳岗组含碳泥质灰岩和钙质泥页岩,其次还有下寒武统华严寺组、西阳山组、下奥陶统印渚埠组、下奥陶统硯瓦山组及早寒武世荷塘组等。花岗岩体围岩经接触变质产生大理岩化和角岩化围岩蚀变。岩体内接触带有硅化、绢云母化、绿泥石化、萤石化等,外接触带有硅化、绢云母化、绿泥石化、萤石化。蚀变带宽 750~1200 m。萤石化、硅化、矽卡岩化等与成矿关系较密切。

3 区域成矿规律总结

3.1 成矿时代

浙江省萤石矿赋矿围岩主要为燕山晚期火山岩

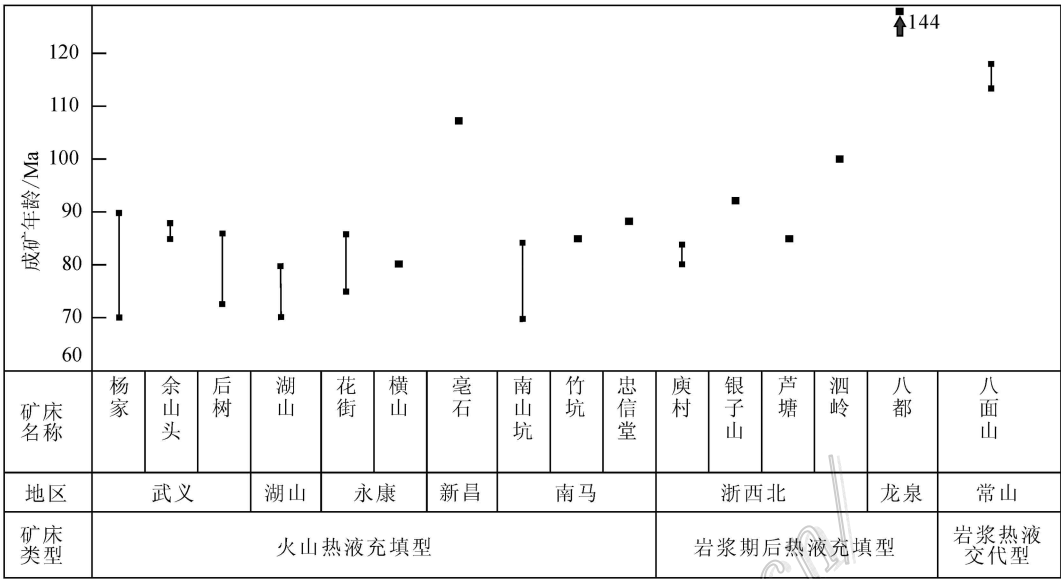


图 2 浙江省萤石矿床成矿年龄统计图(据韩文彬等, 1991)

Fig. 2 Statistics of metallogenic ages of fluorite deposits in Zhejiang (after Han et al., 1991)

和侵入岩, 次为沉积岩, 因此, 从赋矿围岩判断, 萤石矿成矿以燕山晚期为主。成矿年代学的研究工作主要局限于省内知名的几个矿床, 方法以萤石、方解石裂变径迹法为主(李长江等, 1986; 1989; 卢武长等, 1990; 韩文彬等, 1991)。

根据浙江省萤石矿床成矿年龄统计图(图 2), 可将省内萤石矿床成矿大致可以划分为 3 个成矿期, 分别为晚侏罗世—早白垩世早期((144.02 ± 12.96) Ma)、早白垩世晚期((115.70 ± 10.99) Ma)、晚白垩世((68.5 ± 6.71) Ma~99.1 Ma)。其中, 晚侏罗世—早白垩世早期萤石矿主要分布于龙泉八都地区, 与晚侏罗世花岗闪长岩体有关, 形成岩浆期后热液充填型矿床; 早白垩世晚期萤石矿主要分布于常山岩前岩体周边, 与早白垩世花岗岩体有关, 形成以岩浆热液交代型为主的矿床; 晚白垩世是浙江省萤石矿的主成矿期, 成矿时间跨度较大, 分布范围广, 围绕浙西北燕山晚期的岩体及浙东南火山构造盆地和火山机构呈脉状产出, 矿床类型包含岩浆期后热液充填型和火山-次火山热液充填型。萤石成矿主要在 70~90 Ma 左右, 时间上正对应于太平洋板块快速扩张俯冲之后减速、松弛的阶段(李长江等, 1991), 说明浙江萤石成矿与引张构造环境密切相关。

3.2 空间分布规律

首先, 在平面上浙江省萤石矿部分矿田、矿床或矿脉的空间展布显示一定的等间距性, 这种等间距

分布的特征主要表现在浙东南火山-次火山热液充填型萤石矿分布区, 在浙西北地区也有一定的等间距性特征, 如由北向南马鞍山(刘村)、唐舍、仙霞、茅翁山、学川 5 个岩体控制的矿田(矿区)呈 10 km 左右等间距排列。

在浙东南地区以湖山萤石矿田和武义萤石矿田最为明显。其中湖山萤石矿田的各个矿体都赋存在湖山白垩纪断陷盆地内的北西西向张性、张扭型断裂带中, 控矿断裂受到湖山盆地两条边缘断裂控制, 控矿断裂大致以 3~4 km 的等间距平行展布(图 3), 从北向南有老竹坑、上坪头、湖山 I 矿区、II 矿区、III 矿区等。每条控矿断裂一般充填 2~3 个矿体, 矿体一般分布在近盆地侧的北北东向断裂附近及盆地中部。根据萤石矿床等间距分布的规律, 在湖山矿田的南部, 发现了几个较好的萤石控矿构造带及矿点, 如琴淤乡的长坞尖萤石矿床、上定乡的焦上萤石矿床、黄塘圩萤石矿床、柘岱口乡的大洋岗萤石矿床等, 以黄塘圩萤石矿床和大洋岗萤石矿床规模较大。这些萤石矿床大多以等间距或几倍于等间距平行展布。

此外, 在武义盆地、丽水盆地、仙居盆地、长台盆地同样具有成矿等间距分布的特征。通过对浙江省萤石矿成矿等间距分布特征研究发现, 一般呈等间距分布的萤石矿床成群、成批出现, 往往规模大、矿化连续性好, 而其他零星孤立的矿(化)点, 因赋矿断裂规模较小, 矿化体规模也小。

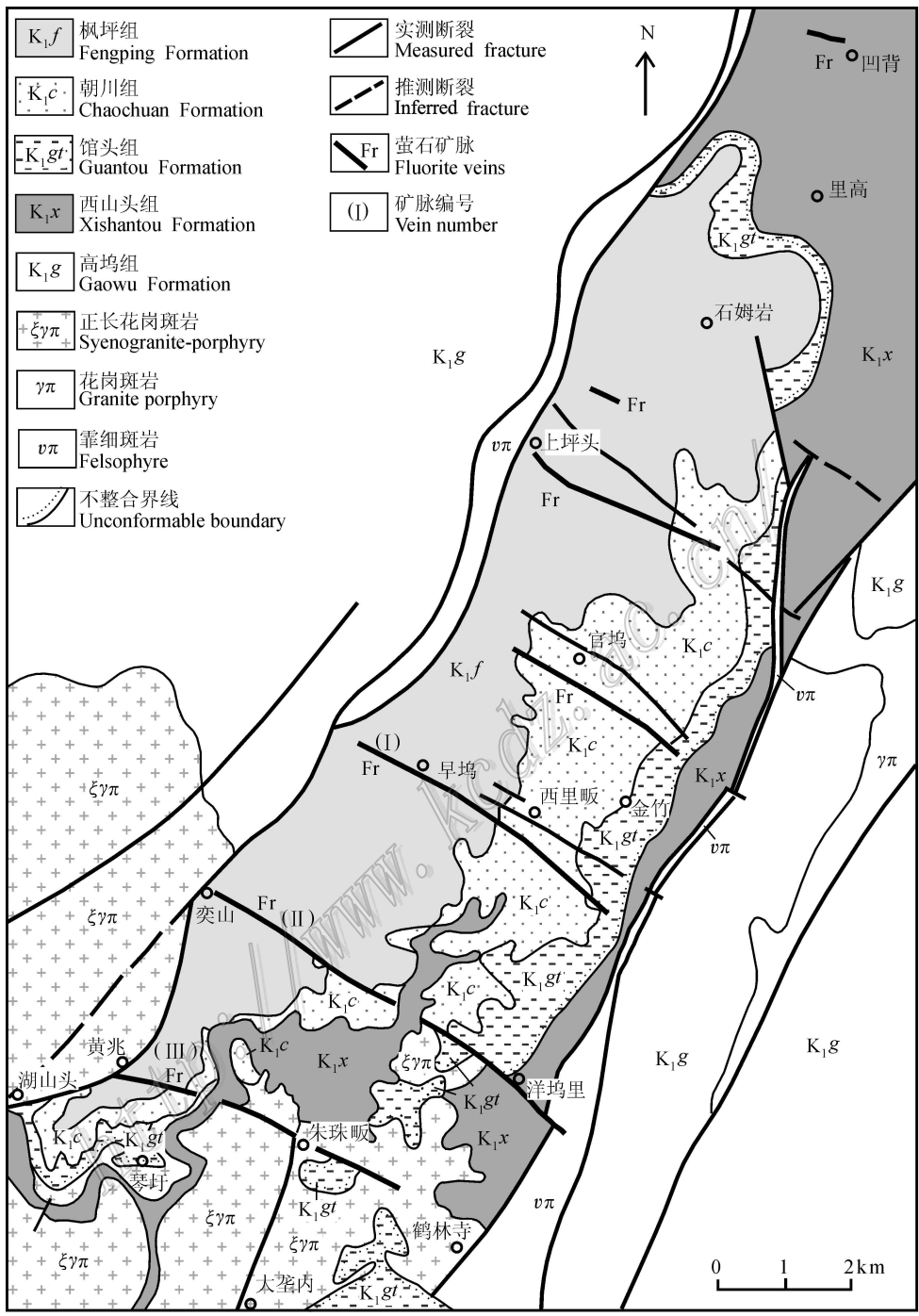


图 3 湖山萤石矿田萤石矿脉等间距分布图(据朱安庆等,2009 修改)

Fig. 3 Equidistant distribution of fluorite veins in the Hushan orefield (modified after Zhu et al. , 2009)

其次,在垂向上表现出一定的分带性。武义萤石矿田是浙江省萤石矿产出最密集的地方,前人对 其萤石矿脉形态、矿石组构、矿物组合、元素组分、蚀 变类型及矿物包裹体等方面开展过较为深入的研究,并 在此基础上总结了萤石矿体的垂向分带特征

与变化规律。张寿庭等(1997)通过研究武义盆地中 段 11 处萤石矿床,发现该地区的萤石矿床具有较明显 的垂向分带特征,且有相似或共同的总体变化规律。 萤石矿体在垂向上自上而下分为:硅质顶盖、头部矿 体、中部矿体和尾部矿体 4 个部分。王成良等

(2003)通过对遂昌黄沙腰萤石矿田脉状萤石矿研究发现,矿体也具有明显的垂向分带特征,由地表向深部依次为:硅质顶盖、头部、中部和尾部 4 个带(图 4)。

3.3 白垩纪盆地控矿

浙东南地区白垩纪盆地,早期为火山洼地,后期受区域性断裂构造的控制,发展成为断陷盆地,盆地位置常处在北东-北北东向和北西向与近东西向断裂交汇处,因此是构造活动最强烈地带,长期频繁的构造运动,使盆地不断下陷加深,这不但加大了已有断裂构造规模,并形成了一系列低序次的断裂构造,成为矿液活动的通道和矿体赋存的空间,为成矿作

用创造了有利条件。如新昌-嵊县盆地、天台盆地和仙居盆地向北倾伏,构成了洼断型箕状盆地,其南部开口处矿(床)点成群密集分布。浙东南陆相火山-次火山热液充填型萤石矿约一半矿(床)点分布在这些部位,大部分规模较大的中型矿床均位于盆地南部隆起带,如芝林、毫石、大坟山、张斯、羊平鸟、东村岭、毛头坑等;盆地边部断裂构造比较发育,也有利于萤石矿形成,如天台盆地北西边缘出现了密集的萤石矿点;构造的继承性活动和盆地长期不平衡沉降引起构造应力的差异,其内部产生断裂构造,为成矿作用创造了条件,如新昌-嵊县盆地中有成群的萤石矿(床)点分布。

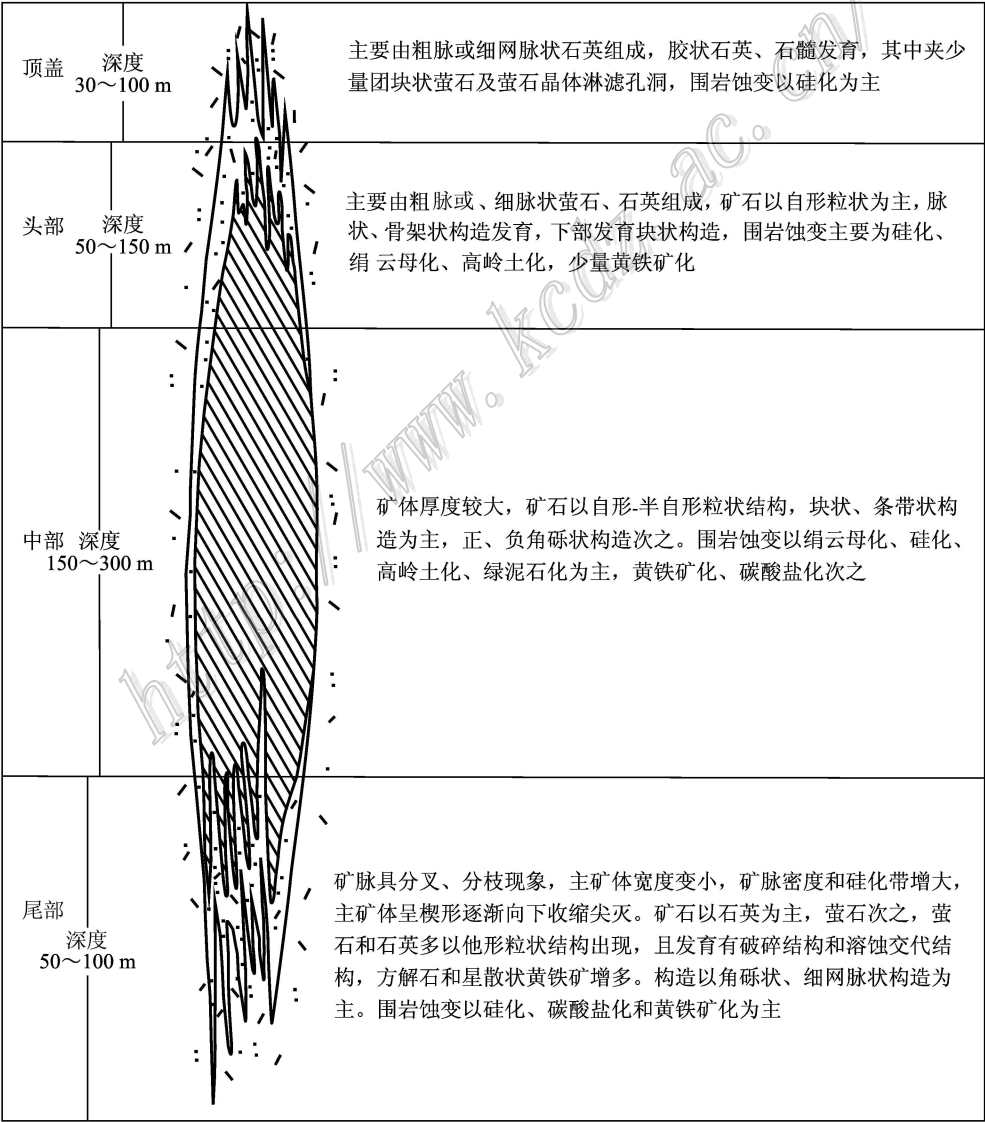


图 4 浙江省火山热液充填型萤石矿体垂直分带特征示意图(王成良等,2003)

Fig. 4 Vertical zoning of volcanic hydrothermal filling type fluorite orebodies in Zhejiang Province (after Wang et al., 2003)

(1) 从盆地的空间展布来看,控矿盆地在空间上以东北向展布为主,以武义盆地、永康盆地、湖山盆地等最为典型,其次为北西向盆地,该类盆地成矿作用弱,最有代表性的北西向盆地为松阳盆地,盆地内部萤石矿不发育,北北东向盆地成矿最弱,如宁溪盆地,盆地内部暂未发现有价值的萤石矿找矿线索。

(2) 从盆地的类型来看,控矿盆地以箕状断陷盆地为主,如峡口盆地、湖山盆地、武义盆地、永康盆地等均属此类,火山构造盆地(文成盆地、山门街盆地)、裂谷-断陷盆地(金衢盆地)也有一定的控矿作用。

(3) 从盆地断裂系统来看,控矿盆地的边缘往往有深大断裂通过,如湖山盆地、峡口盆地、武义盆地等。

(4) 从盆地火山作用来看,盆地内部沉积物中火山物质的含量较高,尤其是基性、中基性火山物质,如武义盆地、湖山盆地、宁波盆地等。当盆地内部火山物质变少时,含矿性也变差,如宁溪盆地、丽水盆地等内部基性火山物质较少,盆地内部萤石矿床少。

此外,盆地的改造(位移、剥蚀或覆盖)程度也是寻找萤石矿的一个重要因素,以宁波盆地为例,盆地受剥蚀和第四系覆盖作用明显,第四系覆盖区也可找矿。

3.4 火山构造断裂系统控矿

浙东南晚侏罗世—白垩纪,火山活动十分普遍而强烈,形成了巨厚的火山碎屑岩和火山碎屑沉积岩,产生了各种火山构造。火山活动带来了充裕的成矿物质,并伴随大量的火山气液和热能,火山构造为成矿物质的活化转移和矿液沉淀创造了有利条件。

首先,区域性火山构造带控制了浙东南地区Ⅲ级-Ⅳ级萤石矿成矿带的展布,如宁波-龙泉火山活动带直接控制了浙中萤石矿成矿带的分布。中生代宁波-龙泉地区处于中国东南大陆边缘火山活动带,火山-侵入活动极其强烈,大面积分布火山岩和侵入岩,为萤石矿的形成提供了丰富的成矿物质,形成了浙江省萤石矿发育最密集的一个成矿带。

其次,白垩纪火山断陷盆地控制了浙东南地区Ⅳ级-Ⅴ级萤石成矿区和萤石矿田的分布,是本区最重要的控矿构造。

另外,次级火山构造,如火山机构、火山穹窿、破火山口等对萤石矿床有明显的控制作用。如早白垩世诸暨芙蓉山破火山口极具代表性(图5),沿破火山

口的环状断裂及次级断裂等分布有20余个萤石矿床、矿(化)点,表明这一带萤石矿的形成与破火山构造有密切的关系。象山茶山火山穹窿部位控制了下岙、下徐等萤石矿(床)点,其东侧火山穹窿帚状弧形断裂及泗州头山洼地则有茅洋、木头岙、岭脚等萤石矿(床)点。其余在东南南马、义乌尚阳、金华安地等火山穹窿范围内也有大量萤石矿的分布。

3.5 侵入岩控矿

通过对浙江省近100处与侵入岩有关的已知萤石矿产地统计可见,与萤石成矿作用相关的侵入岩岩性主要为正长花岗岩,其次为二长花岗岩、石英二长岩、花岗闪长岩等(图6)。与正长花岗岩有关的萤石矿占有与侵入岩有关萤石矿的61%,岩体的 $w(\text{SiO}_2)$ 为73.47%~75.25%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 为8%~9%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值介于0.64~0.77,代表性岩体有余杭泗岭岩体、临安河桥岩体等;与二长花岗岩有关的萤石矿占有与侵入岩有关萤石矿的18%,岩体的 $w(\text{SiO}_2)$ 为68.44%~70.61%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 为7.49%~8.11%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值介于0.66~0.79(黄国成,2015),代表性岩体有安吉统里庄岩体等;与石英二长岩有关的萤石矿占有与侵入岩有关萤石矿的11%,岩体的 $w(\text{SiO}_2)$ 为63.09%~66.40%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 为7.90%~9.30%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值介于0.66~0.88,代表性岩体有临安凤龙山岩体等;与花岗闪长岩有关的萤石矿占有与侵入岩有关萤石矿的8%,岩体的 $w(\text{SiO}_2)$ 为62.82%~69.61%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 为6.37%~8.08%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值介于0.49~0.95,代表性岩体有龙泉吴公岩体等。

萤石矿化岩体大部分属富硅、富碱、贫钙, $w(\text{K}_2\text{O}) > w(\text{Na}_2\text{O})$,里特曼指数(σ)在1.8~3.3之间,属钙碱性系列(汤正义等,1986)。这些岩体普遍具有高氟含量的特征,据姚洪烈(1982)统计,与萤石矿成矿有关的花岗岩(包含正长花岗岩和二长花岗岩)与花岗闪长岩两类岩体的平均 $w(\text{F})$ 介于 $800 \times 10^{-6} \sim 2130 \times 10^{-6}$ 。

4 讨论

4.1 成矿系列厘定

“矿床成矿系列”的概念始于1975年,由程裕淇先生提出,1979年正式面世(程裕淇等,1979),经过

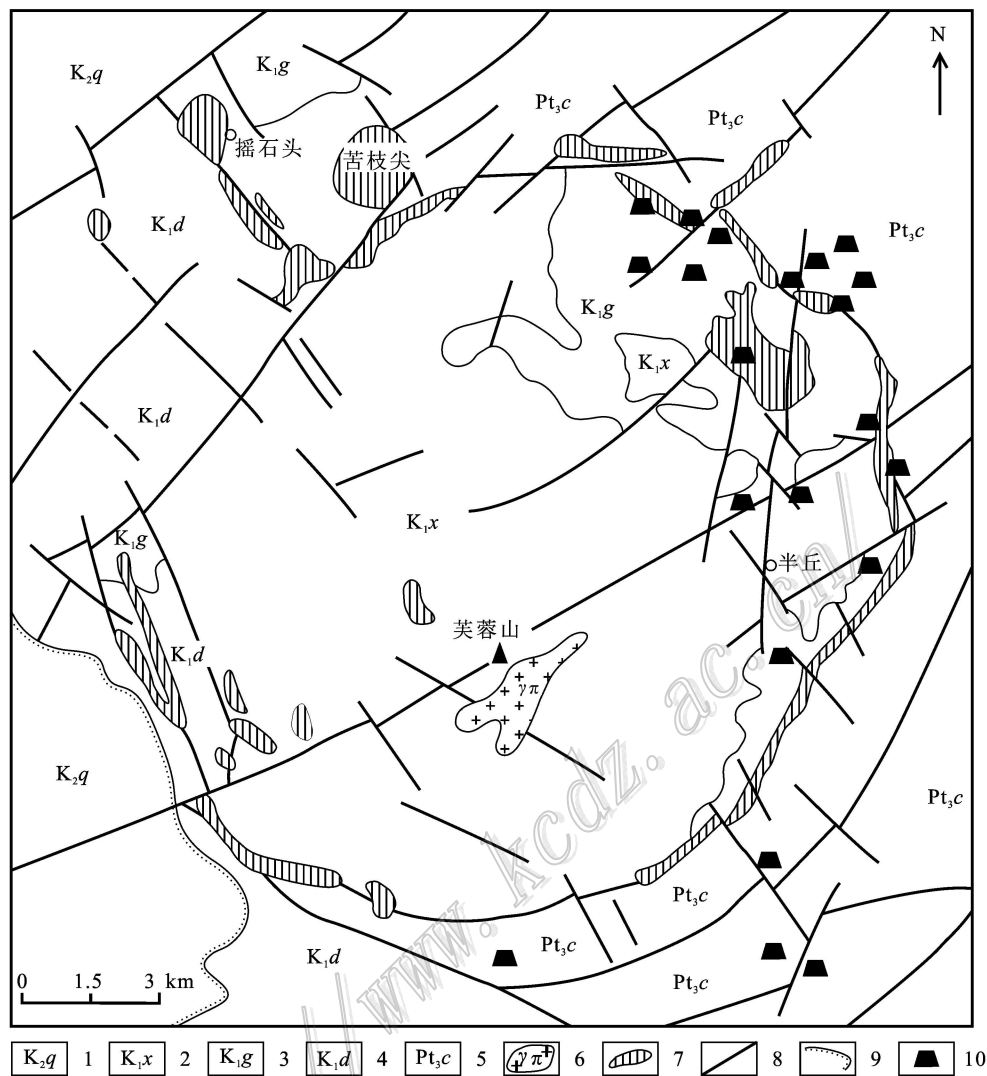


图 5 芙蓉山破火山口萤石矿床分布图(据俞云文,1993 修改)

1—衢江群火山沉积岩; 2—西山头组火山岩; 3—高坞组火山岩; 4—大爽组火山岩; 5—陈蔡群变质岩; 6—花岗斑岩; 7—次火山岩脉; 8—断裂; 9—不整合界线; 10—萤石矿床

Fig. 5 Distribution of fluorite deposits around Furong Mountain caldera structure (modified after Yu, 1993)

1—Qujiang Group volcanic-sedimentary rocks; 2—Xishantou Formation volcanics; 3—Gaowu Formation volcanics; 4—Dashuang Formation volcanics; 5—Chencai Group metamorphic rocks; 6—Granite porphyry; 7—Subvolcanic veins; 8—Fault; 9—Unconformity; 10—Fluorite deposits

近 40 年的探索和研究,不断修改和完善(程裕淇等, 1983; 陈毓川, 1994; 陈毓川等, 2006; 王登红等, 2006),现已形成一套完整的理论体系,并得到广大地质工作者的关注与认同,取得了一大批重要成果,在区域成矿规律研究和找矿预测工作中日益显示出重要的理论和实践意义。朱安庆等(2009)对浙江省金属非金属矿床成矿系列进行了一次较为系统的研究。

从浙江省萤石矿的形成时代来看,除龙泉八都萤石矿成矿年龄为晚侏罗世外,成矿集中在早白垩世至晚白垩世,且成矿连续性较好。该地质时期对

应于太平洋板块对华南大陆俯冲碰撞阶段,全省处于活动大陆边缘期,区内形成了大量的晚中生代的火山岩和侵入岩。但以江山-绍兴断裂带为界,北西侧主要以岩浆侵入活动为主,南东侧则发育了大量的火山岩及火山机构。受此构造背景的控制,浙西北萤石矿均围绕中生代侵入岩分布,成矿作用与中生代岩浆侵入活动密不可分;浙东南萤石矿主要分布于中生代盆地边缘断裂、火山构造及其次级断裂中,成矿作用与火山活动作用密切相关。这也奠定了浙江省萤石矿床成矿系列厘定的基础。

根据浙江省萤石矿床的成因类型、主要成矿作

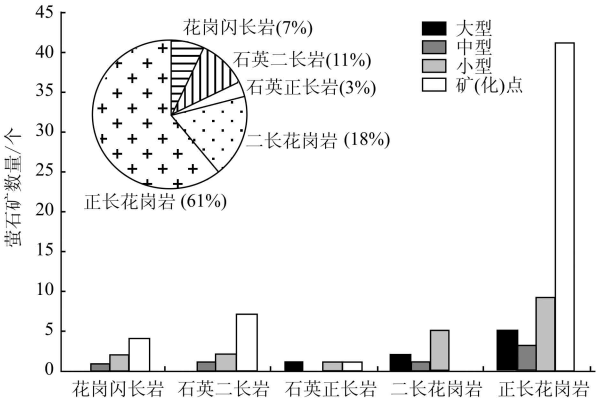


图 6 侵入岩类型与萤石成矿作用对比图
Fig. 6 Comparison diagram of intrusive lithology and fluorite mineralization

用、构造环境、成矿时代等特征,将全省萤石矿床归纳为 2 个成矿系列,即与中生代火山-次火山热液有关的萤石矿成矿系列(F-1)和与中生代岩浆侵入作用有关的萤石矿成矿系列(F-2),其中根据岩浆期后热液的成矿作用方式不同,将 F-2 成矿系列又划分为与燕山期中酸性岩浆岩期后热液充填作用有关的萤石矿成矿亚系列(F-2-1)和与燕山期中酸性岩浆岩热液交代作用有关的萤石矿成矿亚系列(F-2-2)。各

成矿系列与成矿亚系列基本特征见表 1。
F-1 成矿系列主要分布在浙东南沿海岩浆弧之中生代火山活动基底的余姚-遂昌隆起带中。该基底隆起带上发育一系列早白垩世火山喷发-沉积盆地,呈北东-北北东向雁列式展布,盆地堆(沉)积馆头组、朝川组、方岩组等火山岩-沉积岩,萤石矿床产于盆边断裂或盆地地堑式断裂系统中,呈断续的线状矿带或网格状梯状矿带展布。赋矿围岩主要是早白垩世永康群火山喷发-沉积地层和盆地周缘的磨石山群火山碎屑岩。矿体均沿断裂充填,一般呈单一脉状,少数为复脉状、雁列状或主干和次脉相配套的共轭状。矿脉倾角一般较陡(70~80°),矿体长 200~2000 m 不等,延深 200~400 m,厚一般几厘米到几米。矿石矿物以萤石、石英为主,两者含量可达 96% 以上。各矿区平均 $w(\text{CaF}_2)$ 相差较大,一般在 45%~60%,具有浅部较富,中-下部逐渐变贫的趋势。萤石矿床均具有线型蚀变带,长几百米至几公里不等,宽几米至十几米。蚀变主要为硅化、绢云母化、绿泥石化、高岭土化、冰长石化、碳酸盐化。该成矿系列矿床形成的地质时代晚于早白垩世方岩期,在早白垩世末期到晚白垩世早期。根据年龄测定值,

表 1 浙江省萤石矿成矿系列划分
Table 1 Metallogenic series of fluorite deposits in Zhejiang

矿床成矿系列及亚系列	矿床式	矿床成因类型	构造背景	赋矿围岩	矿床特征	成矿时代	成矿温度/℃
与中生代火山-次火山热液有关的萤石矿成矿系列(F-1)							
	武义式	陆相火山-次火山热液充填型	浙东南沿海岩浆弧之中生代火山活动基底的余姚-遂昌基底变质岩隆起带中	主要是早白垩世永康群火山喷发-沉积地层和盆地周缘的磨石山群火山碎屑岩	矿体一般呈单一脉状,矿石矿物组分以萤石、石英为主	主要介于 70~90 Ma	100~140
与中生代岩浆侵入作用有关的萤石矿成矿系列(F-2)							
与燕山期中酸性岩浆岩期后热液充填作用有关的萤石矿成矿亚系列(F-2-1)							
	新桥式	岩浆期后热液充填型	浙西下扬子岩浆弧相对隆起部位;浙南龙泉八都变质岩隆起区	花岗岩或寒武系—奥陶系;八都岩群变质岩	矿体一般呈大脉状,矿石矿物组分以萤石、石英为主	81.8~86.1 Ma	120~180
与燕山期中酸性岩浆岩热液交代作用有关的萤石矿成矿亚系列(F-2-2)							
	常山式	岩浆期后热液交代型	浙西下扬子岩浆弧相对隆起部位	花岗岩或寒武系—奥陶系碳酸盐岩	矿体呈似层状或透镜状,矿石组分复杂,除萤石外还有锡石、闪锌矿等金属矿物	114~117 Ma	130~200

萤石成矿主要在70~90 Ma左右。根据包裹体均一温度测试,矿床形成温度主要集中在100~140℃(Wan et al., 1989; 马承安, 1990; 韩文彬等, 1991), 属浅成低温热液矿床。武义盆地该成矿系列矿床黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为-42.59‰~10.00‰, 重晶石 $\delta^{34}\text{S}$ 值为12.23‰~14.94‰。在几处矿床的萤石、方解石中 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-0.76‰~-17.41‰(张惠堂等, 1984; 韩文彬等, 1991)。结合硫同位素的数值, 推测硫、碳部分源自生物还原硫、还原碳(如后树)。杨家硫、碳同位素数据趋近于-5.50‰和-4.22‰, 可能来自火山作用, 说明本类矿床的硫、碳来源是多源的。

F-2-1 成矿亚系列主要分布在浙西下扬子岩浆弧相对隆起部位及浙南龙泉八都变质岩隆起区。浙西震旦系和下古生界组成北东向紧密褶皱。上部覆盖早白垩世火山喷发洼地, 沿褶皱轴和区域性断裂侵入燕山期花岗岩体。萤石矿床产在燕山期花岗岩体内、外侧断裂裂隙中, 赋矿围岩主要是花岗岩, 或为寒武系泥质灰岩—奥陶系碎屑岩, 个别为火山岩。另有部分萤石矿床, 产在浙东南变质基底隆起的八都岩群变质岩与燕山期花岗闪长岩体的内外接触带。矿体一般呈大脉状, 少数呈复脉、追踪状, 沿断裂裂隙、破碎带充填。矿体两侧具有相似的蚀变带, 以硅化为主, 伴有绢云母化、高岭土化、绿泥石化等。矿石组分以萤石、石英为主, 伴有长石、方解石、绢云母、高岭土, 少量重晶石等。矿物包裹体均一温度, 矿床成矿温度均在200℃以下, 新桥矿床为149~216℃, 平均183℃。八都矿床早期为120~130℃, 晚期为108℃。据胡向明等(1988)研究表明, 八都萤石矿包裹体水阳离子主要为 Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} , 阴离子为 F^{-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^{-} 。本类矿床成矿年龄多数在81.8~86.1 Ma之间。

F-2-2 成矿亚系列主要分布于浙西下扬子岩浆弧。萤石矿成矿岩体主要为晚侏罗世—早白垩世侵入体, 岩性主要有正长花岗岩、二长花岗岩、花岗岩和花岗斑岩。成矿岩体大多沿印支期褶皱的背斜轴部的主干断裂侵位, 向北东倾伏。萤石矿主要赋矿围岩为花岗岩及寒武系碳酸盐岩—奥陶系钙质泥岩、粉砂岩, 以碳酸盐岩为主, 具广泛角岩化、大理岩化, 发育矽卡岩, 成矿以似层状和透镜状为主。矿体产于岩体与碳酸盐岩的外接触带, 沿岩体接触面产出, 顶板为矽卡岩, 底板为钠长石化花岗岩或矽卡岩。矿石组分有: 锡石、闪锌矿、磁铁矿、方铅矿、黄

铁矿、黄铜矿、白钨矿、辉银矿, 以及萤石、石榴子石、透辉石、符山石等。各矿区的萤石无论是交代型或充填型包裹体研究表明, 均一温度基本一致, 主要在130~200℃范围内变动, 个别超过200℃(袁德丰等, 2005)。浙江省第三地质大队通过用裂变径迹法测试萤石矿成矿年龄为114~117 Ma。八面山萤石矿原生包裹体水 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 测试分析结果表明, 成矿流体具有多来源多成因的特征, 变质水和大气降水混合受花岗岩侵入热源加热作用形成了该区成矿流体(夏学惠等, 2009)。

4.2 找矿方向

根据浙江省萤石矿成矿规律总结可见, F-1和F-2两个成矿系列的产出地质背景及成矿作用各有不同, 因此在找矿方向上也存在不同。

与火山-次火山热液有关的萤石矿以脉状形式产出, 受断裂控制明显, 常以绿、紫等颜色出露地表, 地表硅化带发育, 萤石矿脉露头及硅化破碎带是萤石矿找矿的重要标志之一。该类萤石矿床成矿主要与白垩纪火山构造密切相关, 尤其是晚白垩世火山沉积盆地的边缘断裂、火山口环形及放射状断裂。赋矿围岩主要为磨石山群西山头组及永康群朝川组凝灰岩及熔结凝灰岩, 地层及岩石中氟的含量普遍较高, 为萤石矿的成矿提供了重要的物质基础(杨济民, 2013)。因此, 与中生代火山-次火山热液有关的萤石矿成矿系列的找矿方向主要为: 浙东南火山断陷盆地盆边断裂、火山构造及其次级断裂, 如东阳盆地、仙居盆地、长台盆地、宁波盆地等。

与岩浆期后热液有关的萤石矿多呈脉状、似层状或透镜状产出, 萤石矿均围绕燕山期高氟岩体($w(\text{F}) > 1000 \times 10^{-6}$)产出, 岩浆侵入活动为萤石成矿作用带来的丰富的成矿物质, 在岩体接触带可与碳酸盐岩发生交代作用形成交代型矿体, 也可沿断裂裂隙运移形成充填型矿床(刘道荣等, 2012)。因此, 与中生代岩浆侵入作用有关的萤石矿成矿系列的主要找矿方向为: 浙西北高氟岩体周边3~5 km范围, 如德清凤凰山岩体、临安河桥岩体、淳安儒洪岩体等。

此外, 氟元素异常区也是萤石矿找矿的重要标志之一。浙江省的氟元素异常主要分布在浙西北的临安-德清、常山-淳安以及浙东南的武义-永康-诸暨一带, 这些地区不仅是目前浙江省萤石矿的主要分布区, 也是今后萤石矿找矿工作的重点地区。地表出露有受较大断裂带控制的硅化带, 且有氟异常,

往往深部赋存有中-大型萤石矿体,目前浙江省内圈定的 90 余个 F 异常区(带)仍是寻找萤石矿重要地区。

5 结 论

(1) 浙江省萤石矿根据矿床成因可分为火山-次火山热液充填型、岩浆期后热液充填型和岩浆热液交代型 3 种类型。每种类型的萤石矿产出地质环境、矿床特征、成矿作用及找矿标志各有不同。

(2) 根据浙江省萤石矿的成因类型、主要成矿作用、构造环境、成矿时代等特征,可厘定 2 个成矿系列和 2 个成矿亚系列,即与中生代火山-次火山热液有关的萤石矿成矿系列和与中生代岩浆侵入作用有关的萤石矿成矿系列,其中与中生代岩浆侵入作用有关的萤石矿成矿系列又可分为与燕山期中酸性岩浆岩期后热液充填作用有关的萤石矿成矿亚系列和与燕山期中酸性岩浆岩热液交代作用有关的萤石矿成矿亚系列。

(3) 浙东南晚白垩世火山断陷盆地的边缘断裂及火山口环形及放射状断裂、浙西北围绕高氟岩体(包括隐伏岩体)为浙江省萤石矿重点找矿方向。尤其应注意浙西地区与寒武系灰岩接触带上形成的热液交代型萤石矿,从目前找矿成果来看,这种类型的萤石矿容易被忽略,但往往能形成大型矿床。

志 谢 感谢浙江省地质调查院胡济源教授级高工、吴小勇教授级高工和中国地质科学院矿产资源研究所王登红研究员对本文的指导。

References

- Chen Y C. 1994. Metallogenic series of ore deposits[J]. Earth Science Frontiers(China University of Geosciences, Beijing), 1(3-4):90-94(in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Pei R F and Wang D H. 2006. On minerogenetic (metallogenic) series: Third discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 80(10):1501-1508 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Y Q, Chen Y C and Zhao Y M. 1979. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Bulletin Chinese Academy of Geological Sciences, 1(1):32-58 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M and Song T R. 1983. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Bulletin Chinese Academy of Geological Sciences, 6(2):1-66 (in Chinese with English abstract).
- Han W B, Ma C A and Wang Y R. 1991. Geology and geochemical characteristics of fluorite deposits With Wuyi ore field in Zhejiang Province as an example[M]. Beijing:Geological Publishing House. 82-130 (in Chinese).
- Hu X M, Zhou J F and Fang Y Q. 1988. Research on characteristics and genesis of Badu fluorite deposit in Longquan Country, Zhejiang Province[R]. (in Chinese).
- Huang G C. 2015. Study on metallogenic regularity and prospecting orientation of tungsten polymetal deposits in Anji-Chun'an region in western Zhejiang Province(Doctor Thesis)[D]. Supervisor: Wang D H, Chen Z H and Wu X Y. Beijing: China University of Geosciences. 74-90 (in Chinese with English abstract).
- Li C J and Jiang X L. 1986. Discovery of the Nanshankeng optical fluorite deposit, Yiwu, Zhejiang Province[J]. Geological Review, 32(4):396-399 (in Chinese with English abstract).
- Li C J and Jiang X L. 1989. Fission-track dating of fluorite deposits in Zhejiang Province and some related problems[J]. Geochimica, 2:181-188 (in Chinese with English abstract).
- Li C J and Jiang X L. 1991. The minerogenetic model of two types of fluorite deposits in southeastern China[J]. Acta Geologica Sinica, 3:263-274 (in Chinese with English abstract).
- Liu D R, Yan S X, Chen Y, Wang M H and Zheng D. 2012. Geochemical characteristics of the Yanqian high-F granite and its relationship with the new-type Bamianshan fluorite deposit in north-west Zhejiang Province[J]. Geology and Exploration, 48(5):884-893 (in Chinese with English abstract).
- Liu D R. 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).
- Lu W C, Yang S Q and Zhang P. 1990. Isotope investigation of Yucun fluorite ore in Deqin County, Zhejiang Province[J]. Minerals and Rocks, 10(2):77-81 (in Chinese with English abstract).
- Ma C A. 1990. Study on mineral inclusions of fluorite deposits in Wuyi, Zhejiang Province [J]. Bulletin Nanjing Institution Geological Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, 11(3):202-211 (in Chinese with English abstract).

- Tang Z Y, Chen L F and Chen W T. 1986. Study on metallogenic regularities of fluorite in northwest of Zhejiang Province [J]. *Geology and Exploration*, (1) :26-30 (in Chinese).
- Wan Y W and Zhu Z Z. 1989. Study on the inclusions in the fluorites from Suichang and Lishui [J]. *Chinese Science Bulletin*, 34(13) : 1125-1129.
- Wang C L, Chen S L, Zhang F J and Hu J L. 2003. The metallogenic characteristics of Huangshayao fluorite ore field and its exploitation [J]. *Resources Survey and Environment*, 24(4) :267-274 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Zhu Y S, Zhu M Y and Xu Z G. 2006. The construction of the Chinese ore-forming system based on minerogenetic series and its application [J]. *Mineral Deposits*, 25 :43-46 (in Chinese with English abstract).
- Wang S C and Huang B Z. 1986. Study on prediction method and total fluorite resource in Zhejiang Province [R]. (in Chinese).
- Xia X H, Han Y C, Lian W, Yuan C J, Xu S K, Yan F and Liang Z P. 2009. Genesis discussion and Ree geochemistry characters in Bamianshan fluorite deposit in Zhejiang Province [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 31(4) :193-200.
- Xu Z G, Chen Y C, Wang D H, Chen Z H and Li H M. 2008. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China [M]. Beijing :Geological Publishing House. 86-111 (in Chinese).
- Yang J M. 2013. Metallogenic regularity of fluorite deposit in eastern Zhejiang [J]. *Mineral Resources and Geology*, 27(2) :169-173 (in Chinese with English abstract).
- Yao H L. 1982. Regional division of prospective areas specification of fluorite deposit in Zhejiang Province [R]. (in Chinese).
- Yu Y W. 1993. The feature of the Mount Furong caldera structure in Zhejiang-material source of the intrusive complex [J]. *Regional Geology of China*, 1 :35-44 (in Chinese with English abstract).
- Yuan D F, Zheng X Q, Chen Y and Wang M H. 2005. Geologic features of fluorite W, Sn and polymetal mineration of Bamianshan mine in Changshan, Zhejiang [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 27(3) :139-149 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Q, Li X, Ren J J and Luo Y D. 2013. The research report on metallogenic background of Zhejiang Province [R]. (in Chinese).
- Zhang H T, Yang G D and Zhang C W. 1984. The characteristics and origin of the fluorite deposits in Wuyi region, Zhejiang [J]. *Bulletin of Chengdu College of Geology*, 1 :13-22 (in Chinese with English abstract).
- Zhang S T, Li Z Q and Xu Z Z. 1997. The vertical zonality of fluorite ore-body in the middle part of Wuyi Basin, Zhejiang Province [J]. *Journal of Southwest Institute of Technology*, 12(4) :52-59 (in Chinese with English abstract).
- Zhu A Q, Zhang Y S, Lu Z D and Zhang C L. 2009. The study of minerogenetic series and the minerogenetic units of metal and non-metallic deposits in Zhejiang Province [M]. Beijing : Geological Publishing House. 342-345 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列 [J]. *地质前缘(中国地质大学, 北京)*, 1(3-4) :90-94.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题 [J]. *地质学报*, 80(10) :1501-1508.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题 [J]. *中国地质科学院院报*, 1(1) :32-58.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 宋天锐. 1983. 再论矿床的成矿系列问题 [J]. *中国地质科学院院报*, 6(2) :1-66.
- 韩文彬, 马承安, 王玉荣. 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. 82-130.
- 胡向明, 周俊法, 方原勤. 1988. 浙江省龙泉县八都萤石矿床特征与成因研究 [R].
- 黄国成. 2015. 浙西安吉-淳安地区钨多金属矿成矿规律及找矿方向研究(博士论文) [D]. 导师 :王登红, 陈郑辉, 吴小勇. 北京 :中国地质大学. 74-90 页.
- 李长江, 蒋叙良. 1986. 浙江义乌南山坑光学萤石矿床的发现 [J]. *地质论评*, 32(4) :396-399.
- 李长江, 蒋叙良. 1989. 浙江萤石矿床的裂变径迹年龄测定及有关问题讨论 [J]. *地球化学*, 2 :181-188.
- 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*, 3 :263-274.
- 刘道荣, 严生贤, 陈荫, 王美华, 郑丹. 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. 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.
- 卢武长, 杨绍全, 张平. 1990. 德清庾村萤石矿的同位素研究 [J]. *矿物岩石*, 10(2) :77-81.

- 马承安. 1990. 武义萤石矿床矿物包裹体研究[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 11(3): 202-211.
- 汤正义, 陈澍芳, 陈渭涛. 1986. 浙江省西北部萤石矿成矿规律研究[J]. 地质与勘探, (1): 26-30.
- 王成良, 陈升立, 张方君, 胡家良. 2003. 黄沙腰萤石矿田成矿特征及找矿方向[J]. 资源调查与环境, 24(4): 267-274.
- 王登红, 陈毓川, 朱裕生, 朱明玉, 徐志刚. 2006. 以矿床成矿系列构筑中国成矿体系及其运用[J]. 矿床地质, 25: 43-46.
- 王世称, 黄报章. 1986. 浙江省萤石矿产资源总量预测及方法研究[R].
- 夏学惠, 韩豫川, 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.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社. 86-111.
- 杨济民. 2013. 浙江东部萤石矿成矿规律探讨[J]. 矿产与地质, 27(2): 169-173.
- 姚洪烈. 1982. 浙江省萤石矿成矿远景区划说明书[R].
- 俞云文. 1993. 浙江芙蓉山破火山口构造特征及火山-侵入杂岩的成岩物质来源[J]. 中国区域地质, 1: 35-44.
- 袁德丰, 郑兴泉, 陈荫, 王美华. 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.
- 袁强, 李翔, 任金锦, 罗以达. 2013. 浙江省成矿地质背景研究报告[R].
- 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.
- 张寿庭, 李忠权, 徐旃章. 1997. 浙江武义盆地中段萤石矿体垂向分带特征与规律[J]. 西南工学院学报, 12(4): 52-59.
- 朱安庆, 张永山, 陆祖达, 张春霖. 2009. 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. 342-345.