

# 峨眉山玄武岩与铅锌成矿作用关系探讨

陈 大<sup>1</sup>, 刘 义<sup>2</sup>

(1. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院, 贵阳 550005;

2. 贵州省地质调查院, 贵阳 550004)

**摘 要** 川滇黔相邻区海西期—印支期构造—岩浆演化过程, 经历了地幔的上拱、地幔柱上涌成穹、玄武岩浆喷溢、后期岩浆热演化4个阶段, 这一过程中, 伴随了地幔柱活动引起的裂隙沉积作用、穹状隆起、岩浆活动、热液活动等; 玄武岩与铅锌成矿关系分析显示, 通过直接途径, 玄武岩没有提供成矿物质、流体和热源, 但其风化释放的大量铅锌物质部分参与成矿; 流体化学及C、H、O同位素特征显示, 该区成矿混合流体中的岩浆成因部分, 实为地幔柱活动的去气作用提供, 成矿的大部分热源与地幔柱对深部地壳改造所形成的古地热场驱动热水循环有关。

**关键词** 川滇黔 地幔柱 峨眉山玄武岩 铅锌 成矿作用

**中图分类号**: P618.42; P618.43; P611

**文献标识码**: A

**文章编号**: 1674-7801(2012)04-0469-07

川滇黔相邻区是我国重要的铅锌银锗生产基地和全国16个重点成矿区之一, 目前已在该区发现铅锌银矿床(包括矿点、矿化点)400余处<sup>[1]</sup>, 累计探明铅锌金属储量上千万吨, 其成因历来有“水成”、“火成”之争<sup>[2]</sup>, 就“火成”观点, 认为玄武岩或隐伏之酸性岩浆岩提供了成矿物质、流体和热源<sup>[3-4]</sup>; 而“水成”观点, 认为区内铅锌矿床纯属沉积成因, 有层控、沉积改造(再造)、密西西比型等几种看法<sup>[5]</sup>; 由于该区酸性岩浆岩分布有限, 因此, 就玄武岩与铅锌矿的关系就成为争论的焦点<sup>[3-4, 6-8]</sup>。本文根据作者在区内多年找矿对成矿特征的观察, 结合近年研究成果, 特别是地幔柱对中低温成矿作用研究的深入<sup>[9]</sup>, 从构造与岩浆演化、成矿时代、成矿物质、成矿流体和热源等方面, 提一些个人见解。

## 1 海西—印支期地幔柱演化

### 1.1 地幔柱活动综述

近年研究表明, 峨眉地幔柱活动影响已扩展到冈瓦纳超大陆离散并古特提斯洋开启, 直至三叠纪

末—侏罗纪新的联合大陆—基墨里大陆或华夏复合大陆的形成过程<sup>[10]</sup>。卢记仁认为峨眉山玄武岩主喷发期很短(259.5~261.5 Ma), 但先兆期和后续期活动时间至少为283~197 Ma, 先兆期可能更早<sup>[11]</sup>; 而张云湘等总结的攀西裂谷岩浆活动序列模式, 具备地幔柱的蘑菇头结构, 其活动时限为加里东期(>400 Ma)—印支期(200 Ma); 从柏林等根据玄武岩古地磁与冈瓦纳超大陆平均极无显著差别认为玄武岩的喷发可能标志扬子地块与冈瓦纳大陆的分离<sup>[12]</sup>, 等等, 均证实了地幔柱活动影响范围已扩大到冈瓦纳超大陆各陆块的离散漂移和古特提斯洋盆于赤道附近开启, 其演化经历了从泥盆纪—三叠纪的地幔上拱、地幔柱上涌成穹、大规模岩浆喷溢和后期岩浆热演化4个阶段, 为区域发展演化过程中的一次重要构造—热事件<sup>[9, 13]</sup>。

### 1.2 地幔上拱阶段

志留纪末至早泥盆世初期, 随着华南加里东洋盆消亡并南华造山带的形成, 扬子与华夏陆块会聚, 形成了华南板块, 除哀牢山、钦州残留海盆及滇东曲

[收稿日期] 2012-04-09

[第一作者简介] 陈 大, 男, 1969年生, 学士, 高级工程师, 现主要从事地质找矿与矿产地质研究工作。

靖地区为断陷湖盆连续接受泥盆纪沉积外<sup>[14]</sup>,华南大部分地区抬升成陆。但这一板块汇聚机制,刘宝珺等认为不同于经典的造山带<sup>[15]</sup>,从其东北高、西南低的地形格局看,与纯粹板块间碰撞不同,应是地幔上拱作用不均一抬升的结果。

与此同时或稍晚时期,伴随着抬升的进行,冈瓦纳各陆块开始裂解<sup>[10]</sup>,经历了大陆边缘盆地、海底拉张、洋壳扩张等几个阶段,并伴随陆块内部裂陷发展过程<sup>[16]</sup>;该区内,早泥盆世初期始,沿残留海盆交叉方向,分别形成了滇东南海湾和川黔海湾<sup>[14]</sup>,这一过程类似于三叉裂谷的发育方式,并在此后至石炭纪时期的裂陷作用下,形成东面以紫云断裂为界,西面以小江断裂为界,具阶段性发展意义的滇黔桂陆内裂谷盆地<sup>[17]</sup>,裂陷形状也由早期之北西向、北东向槽状,形成连片之两个向南开口的三角形区域,范围基本包括了上扬子的大片区域,沉积了巨厚的泥盆、石炭系碎屑岩和碳酸盐岩类,而谷内拉张下陷作用相对强烈,台地、槽地相间发育并不断变换<sup>[17]</sup>;岩浆活动发育于攀西地区,以小型基性—超基性岩体群(401~377 Ma)侵位为主<sup>[13]</sup>。

总体而言,这一时期类似于裂谷发展之早期阶段,构造运动表现为大范围的抬升并形成大地水准面高地<sup>[10]</sup>,陆块间持续裂解,并最终为洋盆相隔,陆块内裂陷以陆缘盆地广泛发育为主,并向内部逐步发展;各类盆地(边缘盆地、断陷盆地和洋盆)内,伸展作用较为明显,震积岩广泛发育<sup>[18]</sup>,热水活动较为广泛。

### 1.3 地幔柱上涌成穹阶段

进入二叠纪后,由于长期夷平作用以及地壳拉伸导致边界断裂活动趋缓,裂谷盆地多数退化,华南大部区域成为碳酸盐岩台地;从栖霞期至茅口期<sup>[19]</sup>,由于地幔柱上涌,区域遭受大面积穹状隆升<sup>[20]</sup>,栖霞—茅口早中期以大量水下隆起为主,茅口晚期于内带区域隆出水面并遭受风化剥蚀<sup>[19, 21]</sup>,隆起范围包括了玄武岩主体分布的内带和中带,外围逐步过渡到浅缓坡亚相环境<sup>[22]</sup>,形成台地、台洼(如长顺、威宁、习水、石阡所围范围)、(碳酸盐岩或硅质岩)盆地相间发育格局<sup>[23-24]</sup>,向西部和西北部特提斯域,由碳酸盐岩斜坡盆地逐步过渡为碳酸盐岩及碎屑的深浅海—半深海盆地,台地边缘形成了广泛的生物集滩,基本限定了隆起区域<sup>[24]</sup>。这一时

期,深部岩浆活动剧烈,地表沉积环境动荡不安,地震、海啸、滑塌时有发生,岩浆分异,富含 SiO<sub>2</sub> 的热液形成普遍高燧石沉积<sup>[25]</sup>。

总体而言,这一时期构造运动以大幅穹状隆升和局部下凹为特征,区域地壳较不稳定,热水沉积作用较为普遍。

### 1.4 喷溢阶段(包括喷溢时间)

关于玄武岩的喷发时间,目前的研究仍存在小范围争论。Zhou 等(2002)认为主要喷发阶段在 259 ± 3 Ma<sup>[26]</sup>,Lo 等(2002)认为该区溢流火山活动于 251~253 Ma,初步活动于 255 Ma<sup>[27]</sup>,范蔚茗等(2004)通过对桂西玄武岩研究后,认为峨眉山大火成岩省大规模快速喷发在 253~256 Ma<sup>[28]</sup>,而 Shellnutt, J. G 等通过 SHRIMP 和 CA-TIMS 两种方法对镁铁质和长英质侵入岩年龄进行测定,结果 SHRIMP 法年龄在 240~265 Ma 之间,而 CA-TIMS 法测定的结果为 >257~260 Ma<sup>[29]</sup>,这一结果,与金宝山铂钨矿成矿时代(260 Ma)<sup>[30]</sup>吻合。

由于该区测年数据有的较为分散,与国际认可的大火成岩省形成时限集中在 1~2 Ma 的看法矛盾,有的采用方法之精确度值得怀疑,按照喷溢前后基性、酸性侵位的年代限制,Shellnutt, JG 等 CA-TIMS 法测定年龄,基本满足这一要求,其结果 >257~260 Ma 代表大火成岩省的活动时限,其早期之基性和晚期之酸性岩浆活动,应满足于这一年限区间,如贵州罗甸辉绿岩(255.0 ± 0.62 Ma<sup>[31]</sup>)。

中晚二叠世时,由于地幔柱上涌接近地表,地幔柱头部减压熔融<sup>[32]</sup>引起大规模玄武岩岩浆喷溢,在岩浆房收缩下陷作用下,上扬子区除康滇古陆外其余地区全面下沉<sup>[25]</sup>,尤以昆明、甘洛、纳雍三角区沉陷明显,攀西地区形成南北向多个沉陷中心<sup>[13]</sup>,康滇古陆西面,米易、盐源、永胜、东川也形成多个沉陷区<sup>[13]</sup>,显示裂隙式喷溢和点式喷溢相结合的特点;这一时期热液活动同样非常强烈,沉积物同生滑动频繁。

### 1.5 后期岩浆热演化阶段

晚二叠世长兴期,上扬子区火山喷发全部结束,但还有少量热液从岩浆中分异出来,长兴组下部普遍发育少量燧石;局部岩浆还在深部活动,如川东南—鄂西地区长兴组普遍发生同生滑动,燧石较为丰富<sup>[25]</sup>;可能由于上隆地幔收缩之故,地壳略

有下沉,尤以外带区域较为明显,广旺—开江—梁平地区发生挠曲下沉形成海槽,鄂西和滇黔湘桂地区断陷作用明显形成裂陷槽,该区处于冲积平原—滨岸环境,接受陆相—海陆交互相含煤碎屑物沉积。三叠纪后,除康滇古陆继续遭受剥蚀外,区域转入碎屑岩沉积环境。晚三叠世时,攀西地区进入断陷阶段,沉积了一套磨拉石碎屑岩建造,侏罗—白垩纪时,沉积盆地扩大,沉积了巨厚的含膏盐红层建造<sup>[12]</sup>,代表地幔逐步回归原状的一种表现。

这一时期,岩浆活动渐渐趋少,喷发活动仅限局部区域有少量火山活动,主要的岩浆侵位为攀西地区从基性—酸性—碱性岩的侵入序列,但总体岩浆活动大为减弱,其侵位之酸性花岗岩体,往往具有I型花岗岩的矿物成分和化学成分特点(如矮郎河花岗岩)<sup>[12]</sup>,碱性岩往往与层状辉长岩体伴生并侵入后者,局部有侵位于玄武岩<sup>[12]</sup>。侵位基本按照先基性—酸性复式岩体(243~240 Ma<sup>[33]</sup>),次为层状基性—超基性堆晶杂岩(红格 283 Ma、白马 197 Ma、攀枝花 282~210 Ma)<sup>[34]</sup>,最后为环状碱性—超基性杂岩(239~193 Ma)<sup>[35-36]</sup>的顺序,代表了岩浆活动从基性—酸性—碱性的变化序列,反映了岩浆房向深部退缩的过程;大约在 200 Ma 前后,岩浆活动基本停止。

## 2 与玄武岩(辉绿岩)有关的铅锌成矿地质及地球化学特征

### 2.1 地质特征

(1) 平面展布上,玄武岩分布区与川滇黔铅锌成矿区范围基本重合<sup>[4]</sup>,但前者大于后者,玄武岩分布区外,另有铅锌成矿区带分布,但矿带分布稀少,矿化强度较弱,矿点也较稀(图1);玄武岩等厚线与铅锌矿分布间保持一定关系<sup>[4]</sup>,但除轮廓线相似显示两者均受边界断裂限制外,其他关系不明;空间上,除第四系残积砂矿外,川滇黔相邻区铅锌矿床几乎完全赋存于玄武岩下伏地层<sup>[4, 37]</sup>。

(2) 现仅发现云南宣威有一铅锌矿化点产出于玄武岩内<sup>[39]</sup>,玄武岩与茅口灰岩接触带有少量铅锌矿点产出(如赫章色居河和盘县西北)。

(3) 区域辉绿岩体与铅锌矿床空间位置密切相关,如天宝山、黔西北之青山、天桥、猫榨厂、杉树林等矿区均有多个岩体产出。辉绿岩体接触带多处发现矿化,区调资料显示岩体内分布有较多铅锌矿物,

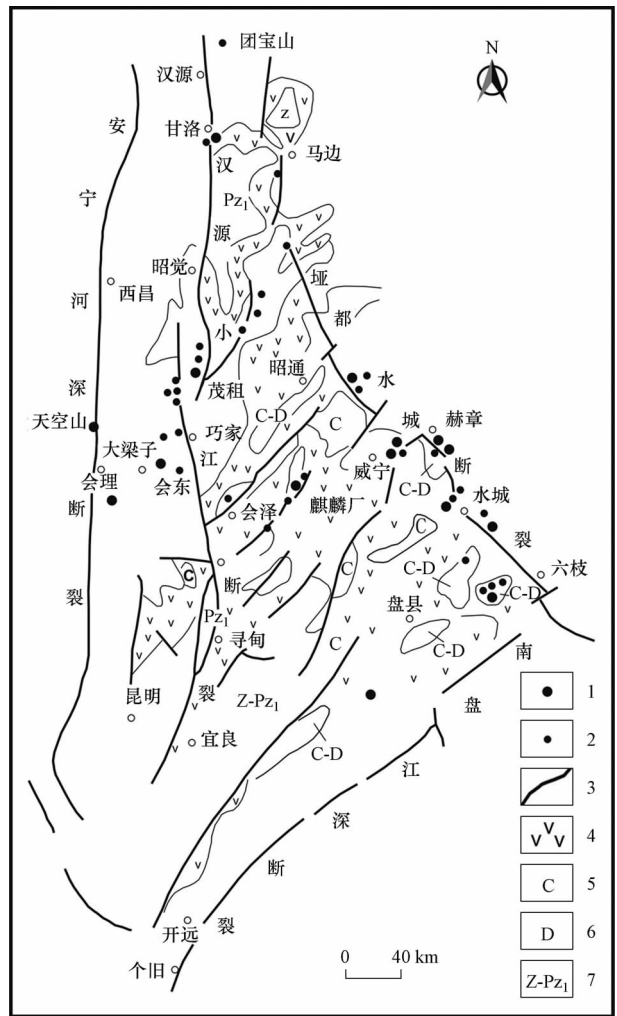


图1 川滇黔相邻区玄武岩与铅锌矿床(点)

平面分布关系图(据沈苏等,1988)<sup>[38]</sup>

1—大中型铅锌银矿床;2—小型铅锌银矿床;3—断裂;4—玄武岩;5—石炭系碳酸盐岩底部夹碎屑岩建造;6—泥盆系碳酸盐岩夹碎屑岩建造;7—震旦系—下古生界碳酸盐岩夹碎屑岩建造

成矿元素含量较高,如青山矿床、猫榨厂矿床及附近岩体等。辉绿岩体侵位地层大部为下石炭统大塘组和摆佐组,次为中、上石炭统及下二叠统,与所处区域铅锌赋矿层位基本相当。

(4) 铅锌矿中偶有铜的矿化发现,如天宝山、大梁子、宁南银厂沟、松林、赫章铜烘山、天桥、横坡等,但个例较少,且铜是否来源于玄武岩不清,一般含铜矿山,银含量基本较高。

(5) 该区煤的变质被认为叠加了区域岩浆热变质作用<sup>[40]</sup>,而煤的变质分布与铅锌矿带呈一致分布<sup>[41]</sup>,显示岩浆热流与铅锌成矿具有较大相关性。

## 2.2 流体及地球化学特征

(1) 会泽铅锌矿的研究证实成矿流体为地层循环卤水、基底循环水和岩浆水混合的产物<sup>[42]</sup>。

(2) 该区玄武岩铅锌元素平均含量分别为  $5 \times 10^{-6}$  和  $83 \times 10^{-6}$ <sup>[43]</sup>, 辉绿岩为  $5.3 \times 10^{-6}$  和  $95 \times 10^{-6}$ , 与中国陆壳和玄武岩铅锌丰度值(中国陆壳 Pb  $15 \times 10^{-6}$ 、Zn  $86 \times 10^{-6}$ <sup>[44]</sup>, 玄武岩 Pb  $7 \times 10^{-6}$ 、Zn  $118 \times 10^{-6}$ <sup>[45]</sup>) 基本相当。

(3) 该区玄武岩、辉绿岩存在局部重砂矿物和金属量化探异常。如①根据“川滇黔铅锌成矿区成矿远景区划”报告, 黔西北玄武岩锌含量最高可达  $1000 \times 10^{-6}$ , 会泽县城附近可达  $500 \times 10^{-6} \sim 700 \times 10^{-6}$ , 铅含量一般不高;②柳贺昌的研究也发现川滇黔相邻区玄武岩铅含量为  $3 \times 10^{-6} \sim 33 \times 10^{-6}$ 、锌含量为  $20 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$ , 玄武岩分布区发现人工重砂矿物方铅矿 2~300 粒, 自然铅 1~10 粒, 闪锌矿 2~5 粒(小于 10 粒), 会泽矿区铅含量为  $300 \times 10^{-6}$ 、锌含量为  $220 \times 10^{-6}$ <sup>[4]</sup>;③据毛德明等在赫章妈姑和后河两个辉绿岩体取样分析, 铅含量为  $83 \times 10^{-6} \sim 83.3 \times 10^{-6}$ , 锌含量为  $136.5 \times 10^{-6} \sim 211.0 \times 10^{-6}$ (据毛健全引自毛德明等 1990, 1998)。

(4) 玄武岩内铜矿、黄铁矿、大厂层锑矿具有相对较高的铅锌含量, 凝灰岩层可能也较高。如 1:20 万盘县幅内之玄武岩铜矿含 Zn  $100 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6}$ , 1:20 万毕节幅内龙潭组底部凝灰岩层中黄铁矿含 Pb  $(0 \sim 1000) \times 10^{-6}$ 、Zn  $(0 \sim 800) \times 10^{-6}$ , 1:20 万兴仁和安龙幅大厂层锑矿含 Pb  $150 \times 10^{-6}$ 、Zn  $210 \times 10^{-6}$ <sup>[4]</sup>。

## 3 与铅锌成矿作用关系讨论

除个别矿床实例外(如天宝山<sup>[46]</sup>), 现已基本证实, 该区成矿物质中硫来源于海相硫酸盐<sup>[47-48]</sup>, 与玄武岩无关。

### 3.1 成矿时代

关于该区成矿时代, 张长青测得大梁子铅锌矿床主成矿阶段年龄为  $366.3 \pm 7.7 \text{ Ma}$ <sup>[49]</sup>, 会泽铅锌矿蚀变粘土矿物 K-Ar 年龄为  $176.5 \pm 2.5 \text{ Ma}$ <sup>[50]</sup>, 宁南跑马铅锌矿矿化等时线年龄为  $200.1 \pm 4.0 \text{ Ma}$ <sup>[51]</sup>, 李文博测得会泽铅锌矿成矿时代 225~226 Ma, 等时线年龄为  $222 \text{ Ma}$ <sup>[52]</sup>; 据此, 张志斌认为该区成矿时代为

与两次小规模岩浆活动有关的印支期(226~225 Ma) 和燕山期( $176 \pm 2.5 \text{ Ma}$ )<sup>[53]</sup>, 黄智龙等认为是 225~250 Ma 的印支期<sup>[54]</sup>, 管士平等(1999) 利用 Pb-Pb 等时线计算, 15 个矿床的 *m* 值平均为 0.6199, 用迭代法及内插法计算出成矿年龄为 245 Ma(相当于晚二叠世长兴期, 属印支期)<sup>[37]</sup>, 此前研究者从地质分析角度认为是海西期或燕山期。

从地质角度, 该区从震旦系至二叠系均为整合或假整合接触, 只有中一晚二叠世的峨眉地裂运动<sup>[37]</sup> 和燕山期全面造山运动两次重要构造(岩浆) 热事件, 所测得 4 个成矿年龄, 除 176 Ma 为燕山期, 可能为对前期形成矿体的改造、叠加外, 其余均在海西一印支期, 这也符合多期多阶段成矿特点, 因此, 可以认为, 该区成矿期为海西一印支和燕山期。

该区玄武岩喷发期(253~256 Ma), 与最近的成矿时代(245 Ma、226~225 Ma) 有一定间隔, 但根据冷水坑银铅锌矿床矿化持续时间达 27 Ma<sup>[55]</sup>, 以及岩浆活动与成矿作用可有最大 60 Ma 时差的特点<sup>[39]</sup>, 可以认为两者的年限差距不排斥玄武岩可能提供成矿物质、流体、热动力的关系。

### 3.2 提供成矿物质和成矿流体讨论

#### (1) 岩浆流体参与的混合流体成矿

毛健全等(1998) 研究了该区包体 Na/K = 8.83~11.14、Na/(Ca + Mg) = 0.108~0.971, 发现该区流体与岩浆热液和密西西比型热卤水均有差别<sup>[56]</sup>, 以及该区煤的变质叠加了区域岩浆热变质作用<sup>[40]</sup> 等方面, 均说明岩浆流体参与的多种流体混合成矿<sup>[42]</sup> 可能; 黄智龙等认为是一种壳—幔混合流体, 其中壳源组分由矿区或区域碳酸盐岩地层提供, 幔源组分包括了峨眉山玄武岩岩浆活动过程去气作用(包括地幔去气作用和岩浆去气作用) 形成流体<sup>[7, 39]</sup>, 水/岩交换反应过程中 H、O 同位素分馏计算结果表明, 该区成矿流体中的 H<sub>2</sub>O 为一种来源于大气降水、岩浆水和变质水的混合水<sup>[39]</sup>。

但是现有 C、H、O 同位素(脉石矿物方解石) 均未证实其与玄武岩的直接关系, 且有  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  同位素介于岩浆碳酸岩与海相碳酸盐岩之间, H 同位素具有地幔流体的性质<sup>[39, 57]</sup>; 因此, 该区参与混合流体成矿之岩浆流体, 具有地幔流体性质, 但与玄武岩关系不明。

#### (2) 玄武岩岩浆活动过程中, 提供铅锌参与成

## 矿流体循环讨论

玄武岩或玄武质岩浆本身铅锌含量不高,且根据顾尚义稀土配分对比研究,发现铅锌矿物与玄武岩差距较大,且有负 Ce 和 Eu 异常<sup>[8]</sup>,说明通过岩浆活动过程,没有铅锌参与流体混合成矿,同时也间接说明,玄武岩或玄武质岩浆没有提供流体参与混合流体成矿。

### (3) 经受流体淋滤作用,释放成矿物质讨论

根据陈先沛等人(1983)利用人工“雨水”(pH=6.2~6.5)和饱含“CO<sub>2</sub>雨水”在温度为30℃和70℃两种情况下,对玄武岩、黑色页岩A(含少量碳酸盐)、黑色页岩B(含磷结核)、黄铁矿、菱铁矿等所作的淋滤实验结果显示,在玄武岩中,锌为容易带出元素,而铅为弱带出或难带出元素<sup>[58]</sup>,结合前文所述该区玄武岩铅锌含量与同类岩石克拉克值基本相当和存在局部异常或地质体铅锌含量较高情形,说明玄武岩仅有提供极少部分锌的可能。

### (4) 风化作用过程释放铅锌物质讨论

玄武岩属易风化岩类,以化学风化为主,其风化结果往往形成各种矿产,如铝土矿、铁矿、硫铁矿、稀土等;风化过程中将产生铝、硅、铁、镁氧化物和碱性物质的带出,在成壤后,铅锌(Pb  $23 \times 10^{-6}$  和 Zn  $68 \times 10^{-6}$ <sup>[59]</sup>)等成矿物质并没有在原地富集(Zn 最高  $127 \times 10^{-6}$ <sup>[60]</sup>),而是大量带出,按该区 17 万 km<sup>2</sup> 面积,琼北第四纪玄武岩各种化学元素迁移最高速率  $30.56 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}/0.01 \text{ Ma}$  计算<sup>[61]</sup>,从玄武岩喷发后到成矿的间隔期约 30 Ma,随着风化的进行,将释放 Pb 779 万 t、Zn 12935 万 t, Zn/Pb 值为 16.6(由于成壤率很低,铅锌元素在原地土壤中的富集和贫化对元素带出量影响忽略不计),这说明,通过风化途径,玄武岩可提供大量铅锌成矿物质,有进入成矿流体成矿的可能。

### (5) 后期喷气沉积作用,提供铅锌物质讨论

玄武岩喷发期后之喷气沉积作用,如二叠系龙潭组底部玻屑凝灰岩、玄武质砂岩、菱铁质粉砂岩含 Pb  $33.33 \times 10^{-6}$ , Zn  $540 \times 10^{-6}$ , 下三叠统飞仙关组一段含玄武质砂岩、灰白色玻屑凝灰岩、层凝灰岩含 Pb  $75 \times 10^{-6}$ , 含 Zn  $154.55 \times 10^{-6}$ <sup>[56]</sup>,带出了部分铅锌成矿物质,但由于这一时期分处 251Ma 前后,并非成矿峰期,矿床特征研究也较少发现凝灰质,因此,直接进入流体参与成矿的可能性较小,通过风化途径,有一定可能,但因这一岩层分布有限,出露并

被风化剥蚀的可能性较小,参与成矿的可能也较小。

## 3.3 提供成矿热动力

多数研究认为,该区铅锌成矿温度普遍偏高,与地热增温不相一致,间接说明岩浆活动提供了成矿的热动力;该区煤的变质被认为叠加了区域岩浆热变质作用<sup>[40]</sup>,而煤的变质分布与铅锌矿带呈一致分布<sup>[41, 62]</sup>,显示岩浆热流与铅锌成矿具有很大相关性。

## 3.4 地幔柱对成矿贡献讨论

由前述分析可知,通过直接途径,玄武岩没有提供成矿物质,但却有岩浆热液参与成矿,这说明玄武岩实质没有参与成矿(通过风化途径已改造成其他物质),参与成矿之岩浆流体和热源,实为地幔柱活动引起;岩浆流体之地幔性质说明,地幔柱活动过程之去气作用,提供了混合流体之幔源组分,而热源的提供方式,侯增谦等(1996)认为地幔柱对深部地壳有热改造作用,这一过程引起了酸性岩浆活动以及古地热场驱动热水循环<sup>[11]</sup>,提供了该区成矿之大部热源。

## 4 结论

(1) 通过直接途径之岩浆活动,玄武岩没有提供成矿物质和流体;通过流体淋滤方式,可能提供了少部分的锌;通过风化方式,提供了大量铅锌,并通过地表水沿孔隙、裂隙带入,形成混合流体成矿;这与下伏地层为碳酸盐岩,玄武岩孔隙发育,地表水参与了成矿等方面可得到初步证实<sup>[56]</sup>,而玄武岩的局部异常,也在此得到解释,但铅锌矿中所含铜较少,可能与铜的地球化学行为有关。这一论断,进一步证实了该区铅锌成矿物质的多来源特征。

(2) 流体特性分析显示,该区参与混合流体的岩浆流体实则为地幔流体,地幔柱驱使形成的古地热场,是提供成矿热源的主要动力学条件。

(3) 该区裂谷(陷)、玄武岩浆喷发和侵位、酸性岩浆侵位、铅锌规模成矿作用,均是地幔柱活动引起的一个事件序列。

(4) 该区铅锌矿床属混合流体多物质来源地幔柱热动力成因类型。

## 参考文献

- [1] 柳贺昌. 滇、川、黔铅锌成矿区的成矿模式[J]. 云南地质, 1996, 15(1): 41-51.

- [2] 潘传楚. 层控铅锌矿床几个问题的探讨[J]. 湖南冶金, 1980, (1): 53-58.
- [3] 黄智龙, 陈进, 刘丛强, 等. 峨眉山玄武岩与铅锌矿床成矿关系初探——以云南会泽铅锌矿床为例[J]. 矿物学报, 2001, 21(4): 122-129.
- [4] 柳贺昌. 峨眉山玄武岩与铅锌成矿[J]. 地质与勘探, 1995, 31(4): 1-6.
- [5] 张长青, 毛景文, 吴锁平, 等. 川滇黔地区MVT铅锌矿床分布特征及成因[J]. 矿床地质, 2005, 24(3): 336-348.
- [6] 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因: 兼论峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 1-187.
- [7] 顾尚义. 黔西北铅锌矿稀土元素组成特征——兼论黔西北地区铅锌成矿与峨眉山玄武岩的关系[J]. 贵州地质, 2006, 23(4): 274-277.
- [8] 刘家铎, 张成江, 刘显凡, 等. 川滇黔相邻区域铜铅锌金银矿床与峨眉火成岩省的关系探讨[J]. 矿物岩石, 2003, 23(4): 74-79.
- [9] 高振敏, 张乾, 陶琰, 等. 峨眉山地区幔柱成矿作用分析[J]. 矿物学报, 2004, 24(2): 99-104.
- [10] 肖龙, 徐义刚, 何斌. 试论地幔柱构造与川滇西部古特提斯的演化[J]. 地质科技情报, 2005, 24(4): 1-6.
- [11] 卢记仁. 峨眉山幔柱的动力学特征[J]. 地球学报, 1996, 17(4): 424-438.
- [12] 从柏林, 黄开年. 攀西地区的大地构造演化—II. 海西晚期至印支期的裂谷作用[J]. 科学通报, 1987, 32(17): 1321-1324.
- [13] 张云湘, 骆耀南, 杨崇喜. 中华人民共和国地质矿产部地质专报(五). 攀西裂谷[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 1-325.
- [14] 曾允孚. 中国南方泥盆纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-123.
- [15] 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-236.
- [16] 马文璞. 区域构造解析—方法理论和板块构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-308.
- [17] 夏邦栋, 刘洪磊, 吴运高, 等. 滇黔桂裂谷[J]. 石油实验地质, 1992, 14(1): 20-30.
- [18] 黄宏伟, 杜远生, 黄志强, 等. 广西丹池盆地晚古生代震积岩及其构造意义[J]. 地质论评, 2007, 53(5): 592-599, 723-724.
- [19] 李宏博, 张招崇, 吕林素, 等. 栖霞组和茅口组等厚图: 对峨眉山地区幔柱成因模式的指示意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(10): 2963-2974.
- [20] 何斌, 徐义刚, 王雅玫, 等. 用沉积记录来估计峨眉山玄武岩喷发前的地壳抬升幅度[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 316-320.
- [21] 何斌, 徐义刚, 肖龙, 等. 峨眉山地区幔柱上升的沉积响应及其地质意义[J]. 地质论评, 2006, 52(1): 30-37.
- [22] 张廷山, 陈晓慧, 刘治成, 等. 峨眉山地区幔柱构造对四川盆地栖霞期沉积格局的影响[J]. 地质学报, 2011, 85(8): 1251-1264.
- [23] 金振奎, 冯增昭. 贵州二叠纪的台洼及其与台地和盆地沉积特征之比较[J]. 沉积学报, 1995, 13(S1): 10-17.
- [24] 冯增昭. 中国南方二叠纪岩相古地理[M]. 北京: 石油大学出版社, 1997: 1-253.
- [25] 王瑞华, 谭钦银, 付建元, 等. 峨眉山地区幔柱沉积——构造演化及沉积响应[J]. 地学前缘, 2011, 18(3): 201-210.
- [26] Zhou M F, Malpas J, Song X Y, et al. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 196(3-4): 113-122.
- [27] Lo C H, Chung S L, Lee T Y, et al. Age of the Emeishan flood magmatism and relations to Permian-Triassic boundary events[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 198(3-4): 449-458.
- [28] 范蔚茗, 王岳军, 彭头平, 等. 桂西晚古生代玄武岩 Ar-Ar 和 U-Pb 年代学及其对峨眉山玄武岩省喷发时代的约束[J]. 科学通报, 2004, 49(18): 1892-1900.
- [29] Shellnutt J G, Denyszyn S W, Mundil, R. Precise age determination of mafic and felsic intrusive rocks from the Permian Emeishan large igneous province (SW China)[J]. Gondwana Research, 2012, 22(1): 118-126.
- [30] 陶琰, 胡瑞忠, 漆亮, 等. 云南金宝山铂钨矿 Sr-Nd-Os 同位素组成: 岩浆成因及演化分析[J]. 矿物岩石, 2010, 30(2): 60-67.
- [31] 韩伟, 罗金海, 樊俊雷, 等. 贵州罗甸晚二叠世辉绿岩及其区域构造意义[J]. 地质论评, 2009, 55(6): 795-803.
- [32] 张招崇, Mahoney J J, 王福生, 等. 峨眉山大火成岩省西部苦橄岩及其共生玄武岩的地球化学: 地幔柱头部熔融的证据[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1538-1552.
- [33] 骆文娟, 张招崇, 侯通, 等. 攀西茨达复式岩体年代学和地球化学: 对峨眉山地区幔柱活动时间的约束[J]. 岩石学报, 2011, 27(10): 2947-2962.
- [34] 张宗清, 卢记仁, 唐索寒. 攀西层状基性—超基性岩体的 Sm-Nd 年龄[J]. 地质学报, 1999, 73(3): 263-271.
- [35] 夏斌, 刘红英, 张玉泉. 攀西古裂谷钠质碱性岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义——以红格、白马和鸡街岩体为例[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(2): 149-154.
- [36] 刘红英, 夏斌, 张玉泉. 攀西裂谷带内超基性碱性岩和层状辉长岩<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄——以鸡街、大向坪和太和岩体为例[J]. 地质论评, 2004, 50(2): 175-179.
- [37] 管士平, 李忠雄. 康滇地轴东缘铅锌矿床铅钨同位素地球化学研究[J]. 地质地球化学, 1999, 27(4): 45-54.
- [38] 尹福光, 孙志明, 万方, 等. 扬子陆块西缘构造演化及其资源效应[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-158.
- [39] 胡瑞忠, 陶琰, 钟宏, 等. 地幔柱成矿系统: 以峨眉山地区幔柱为例[J]. 地学前缘, 2005, 12(1): 42-54.
- [40] 陶树, 汤达祯, 秦勇, 等. 黔西滇东典型矿区含煤地层热演化史分析[J]. 煤田地质与勘探, 2010, 38(6): 17-21.
- [41] 唐红松, 王滋平. 滇东北地区煤变质程度与铅锌矿成矿关系

- 初探[J]. 矿产与地质, 2005, 19(3): 271-275.
- [42] 张振亮, 黄智龙, 饶冰, 等. 会泽铅锌矿床成矿流体浓缩机制[J]. 地球科学, 2005, 30(4): 443-450.
- [43] 贵州省地质矿产局. 中华人民共和国地质矿产部地质专报. 一, 区域地质. 第7号. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 1-698.
- [44] 黎彤, 倪守斌. 地球和地壳的化学元素丰度[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 1-136.
- [45] 陈骏, 王鹤年. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-418.
- [46] 沈冰. 川滇黔层控型铅锌矿成矿特征[J]. 云南地质, 2004, 23(2): 207-211.
- [47] 李文博, 黄智龙, 陈进, 等. 云南会泽超大型铅锌矿床硫同位素和稀土元素地球化学研究[J]. 地质学报, 2004, 78(4): 507-518.
- [48] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 黔西北赫章天桥铅锌矿床成矿物质来源: S、Pb 同位素和 REE 制约[J]. 地质论评, 2010, 56(4): 513-524.
- [49] 张长青, 李向辉, 余金杰, 等. 四川大梁子铅锌矿床单颗粒闪锌矿铷—锶测年及地质意义[J]. 地质论评, 2008, 54(4): 532-538.
- [50] 张长青, 毛景文, 刘峰, 等. 云南会泽铅锌矿床粘土矿物 K-Ar 测年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2005, 24(3): 317-324.
- [51] 蔺志永, 王登红, 张长青. 四川宁南跑马铅锌矿床的成矿时代及其地质意义[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 488-494.
- [52] 李文博, 黄智龙, 王银喜, 等. 会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 2004, 50(2): 189-195.
- [53] 张志斌, 李朝阳, 涂光灿, 等. 川、滇、黔接壤地区铅锌矿床产出的大地构造演化背景及成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(3): 343-354.
- [54] 黄智龙, 胡瑞忠, 苏文超, 等. 西南大面积低温成矿域: 研究意义、历史及新进展[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 309-314.
- [55] 左力艳, 侯增谦, 孟祥金, 等. 冷水坑斑岩型银铅锌矿床含矿岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究[J]. 中国地质, 2010, 37(5): 1450-1456.
- [56] 毛健全, 张启厚, 毛德明, 等. 水城断陷构造演化及铅锌矿研究[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1998: 1-171.
- [57] 刘丛强, 黄智龙, 李和平, 等. 地幔流体及其成矿作用[J]. 地质学前沿, 2001, 8(4): 231-243.
- [58] 朱上庆, 黄华盛. 层控矿床地质学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988: 1-348.
- [59] 鄯明才, 顾铁新, 迟清华, 等. 中国土壤化学元素丰度与表生地球化学特征[J]. 物探与化探, 1997, 21(3): 161-167.
- [60] 陆景冈, 吴次芳. 玄武岩母质发育的土壤上铜和锌的地球化学特征[J]. 土壤学报, 1987, 24(4): 361-368.
- [61] 冯锦江, 胡碧茹. 琼北第四纪玄武岩化学风化速率的初步研究[J]. 地质科学, 1992, 27(S1): 295-301.
- [62] 唐红松, 王寿成, 谢世业, 等. 根据煤变质程度进行内生矿床成矿预测的探索——以滇东北地区铅锌矿为例[J]. 地质与勘探, 2006, 42(4): 16-19.

## Discussion on the relationships between Emeishan basalt and Pb-Zn mineralization

CHEN Da<sup>1</sup>, LIU Yi<sup>2</sup>

(1. Institute of Geological and Mineral Resource Exploration, Guizhou Non-ferrous Metals and Nuclear Geological Exploration Bureau, Guiyang 550005; 2. Guizhou Academy of Geological Survey, Guiyang 550004)

**Abstract:** The tectonic and magmatic evolution process in the epoch of Hercynian and Indosinian come through four phases as follows: the mantle upwelling, the mantle plume upwelling be into fornix, basaltic magma eruption, the late magmatic thermal evolution. In this process, accompanied rifting and sedimentation caused by mantle plume activity, fornix uplift, magma activity, hydrothermal activity and so on. Basalt and Pb-Zn mineralization relationship analysis reveal that the basalt does not provide ore-forming material, fluid and heat source through the direct approach, but its weathering release large amounts of Pb-Zn material providing some involving in the mineralization. Fluid chemistry and C, H, O isotopic characteristics display that the metallogenic fluid mixture of magmatic origin is provided by the mantle plume activity through wiping off gas effect, a large part of the heat source for mineralization has relationship with hot water circulation driven by geothermal field which is formed by mantle plume alter the deep crust.

**Key words:** Sichuan, Yunnan and Guizhou Province; mantle plume; emeishan basalt; Pb-Zn; mineralization