

文章编号: D258-7106(2008)01-0014-14

# 东秦岭二郎坪群中火山成因块状硫化物矿床 地质地球化学特征及其成因讨论\*

燕长海<sup>1</sup>, 徐勇航<sup>2,3</sup>, 彭翼<sup>1</sup>, 赵太平<sup>2</sup>

(1 河南省地质调查院, 河南 郑州 450007; 2 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;  
3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 二郎坪群是东秦岭造山带重要的组成部分, 其火山建造中广泛发育有火山成因块状硫化物(VMS)矿床。文章总结并分析了南阳盆地东、西两侧二郎坪群中3个典型矿床(刘山岩、水洞岭和上庄坪)的研究资料, 把二郎坪群VMS矿床分为3类: Zn-Cu型矿床(刘山岩矿床)、Zn-Cu型与Zn-Pb-Cu型矿床(水洞岭矿床)、Zn-Pb-Cu型矿床(上庄坪矿床)。从刘山岩矿床到水洞岭矿床, 再到上庄坪矿床, 铜的含量减少, 铅的含量增多。二郎坪群VMS矿床矿石富集LREE、Ce负异常及Eu正异常, 说明矿床为热液成因。石英和重晶石中流体包裹体的氢氧同位素特征表明, 成矿流体主要来自建造水, 南阳盆地以西矿床成矿流体中伴有较多古大气降水。矿石的硫同位素特征说明, 二郎坪群VMS矿床中的硫可能为地幔岩浆硫和海水硫的混合硫。围岩与矿石的铅同位素组成基本一致, 说明矿石和围岩可能来源于相似的物源区, 成矿元素主要来源于地幔或下地壳深源物质, 而水洞岭矿床明显有上地壳浅源物质的混染。研究表明, 南阳盆地以西的水洞岭和上庄坪矿床可能形成于大陆边缘海环境, 盆地规模较小, 受陆源物质影响较大, 而南阳盆地以东的刘山岩矿床可能形成于远洋盆地, 盆地到达成熟阶段。用地震泵模式可解释二郎坪群VMS矿床的成因机制。

**关键词** 地球化学; 二郎坪群; VMS矿床; 成因; 东秦岭

中图分类号: P618.4; P597

文献标识码: A

## Geological-geochemical characteristics and genesis of massive sulfide deposits in Er'langping Group of East Qinling

YAN ChangHai<sup>1</sup>, XU YongHang<sup>2,3</sup>, PENG Yi<sup>1</sup> and ZHAO TaiPing<sup>2</sup>

(1 Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450007, Henan, China; 2 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

### Abstract

The Er'langping Group is an important component part of the Qinling orogenic belt. Massive sulfide deposits are widespread in volcanic rocks of Er'langping Group. Typical deposits include Liushanyan, Shuidongling and Shangzhuangping. Geological characteristics and geochemical data are summarized and interpreted in detail in this paper. Liushanyan hosts Zn-Cu VMS deposit, Shuidongling hosts Zn-Cu and Zn-Pb-Cu VMS deposit, and Shangzhuangping hosts Zn-Pb-Cu VMS deposit. From Liushanyan through Shuidongling to Shangzhuangping, the content of copper gradually decreases, whereas that of lead increases. The chondrite-normalized REE pat-

\* 本研究由国家基础研究发展计划(973项目)“华北大陆边缘造山过程与成矿”(2006CB403502)和中国地质调查局“东秦岭(河南段)二郎坪群铜多金属成矿规律研究(200310200001-6)”项目联合资助

第一作者简介: 燕长海, 男, 1955年生, 博士, 教授级高工, 从事矿床地质研究工作。E-mail: yldych@126.com

收稿日期: 2007-09-20; 改回日期: 2007-11-05。张绮玲编辑。

terns with enriched LREE, weak negative Ce anomalies and positive Eu anomalies indicate a hydrothermal genesis. Hydrogen and oxygen isotope composition of ore fluids in quartz and barite inclusions suggests that the ore-forming solution was on the whole derived from formation water, but mainly from meteoric water in the west of Nanyang basin. The low  $\delta^{34}\text{S}$  values (1.70‰ ~ 7.70‰) imply that the source of sulfides might have been derived from a mixed mantle and seawater sulfur source. Lead isotopic composition is fairly homogeneous, and is mainly located between the mantle and the orogenic belt in the lead isotopic plumbotectonics model. Copper, zinc and iron were derived directly from the magmatic fluid whereas lead was leached from terrigenous and pelagic sediments by hydrothermal fluid. The Shuidongling lead isotope suggests that the main source was the mantle, mixed with lead from the upper crust. The deposits (Shuidongling and Shangzhuangping) to the west of Nanyang basin were formed in a continental margin environment, affected by the input of terrigenous components. The deposits (such as Liushanyan) to the east of Nanyang basin, however, were formed in the pelagic ocean basin. The seismic pump model interprets the genesis of Er'langping Group VMS deposit. The authors have summarized the space-time distribution regularity and prospecting criteria for mineral deposits, holding that there exists great potential resources in Er'langping terrain.

**Key words:** geochemistry, Er'langping Group, VMS deposit, genesis, East Qinling

秦岭造山带是经历长期多次不同造山作用而形成的复合型大陆造山带,在中国大陆的形成与演化中占有重要地位(张国伟等,1996)。早古生代二郎坪群则是东秦岭造山带重要的组成部分(图1),也是火山成因块状硫化物(Volcanic-associated Massive Sulfide, VMS)矿床的重要产出地层。近年来,许多学者对东秦岭二郎坪群的组成、构造背景、岩浆-构造热事件等方面的研究取得了较大进展(金守文,1994;姜常义等,1995;孙勇等,1996;李亚林等,1998;韦昌山等,2004);关于二郎坪群VMS矿床也有不少研究资料(杨荣勇等,1996;宋峰,2000;韦昌山等,2002;陈建立,2004;彭翼等,2005),但对于二郎坪群火山成因块状硫化物矿床中成矿元素组合的差异,特别是南阳盆地东、西两侧的差异,缺少对比分析和综合讨论。因此,本文在总结前人研究资料和新近的研究成果基础上,对二郎坪群中刘山岩、水洞岭和上庄坪3处典型的VMS型矿床的地质特征及其矿石地球化学特征进行了综合对比,讨论了它们的形成环境,剖析了矿床成因,并探讨了二郎坪群中VMS矿床的时空分布规律,进而为找矿勘查工作提供了新的思路。

## 1 地质概况

东秦岭二郎坪群位于瓦穴子-乔端断裂与朱阳关-夏馆断裂之间,形成于早古生代(王学仁等,1995;孙勇等,1996;高联达等,2006)。在空间上呈

东宽西窄的楔形,位于宽坪群和秦岭群之间,是一套海相火山-沉积建造(图1)。二郎坪群的岩石组合主要为镁铁质杂岩、层状基性熔岩及枕状熔岩、石英角斑岩及凝灰岩、放射虫硅质岩夹层、巨厚复理石层(胡受奚等,1988;金守文,1994;孙勇等,1996)。该地层遭受了绿片岩-低角闪岩相变质作用,且由西向东变质作用有加强的趋势。

二郎坪群火山岩主体由火神庙组(南阳盆地以东为刘山岩组)喷溢相的变细碧岩、变细碧玢岩、变角斑岩和变石英角斑岩组成。这套海相火山岩普遍具多韵律、多旋回、多阶段的特点。就全区而言,大致包括3个喷发旋回,每个旋回由4~7个喷发韵律组成(陈建立,2004)。其中第一旋回以变细碧岩为主,向上夹薄层变石英角斑岩等;第二旋回为厚层状变细碧岩偶夹角斑岩等;第三旋回岩性复杂,除细碧岩外,发育有大量的火山碎屑岩、石英角斑岩及硅质板岩(陈建立,2004)。火山活动的总体演化趋势是:从早到晚,酸性岩所占比例逐渐增大,火山喷溢作用减弱,火山爆发作用、火山气液活动增强。桐柏刘山岩、南召桑树坪-水洞岭和上庄坪等铜、锌多金属块状硫化物矿床就赋存于第三旋回地层中。

## 2 矿床地质特征

二郎坪群火山建造中广泛发育有VMS矿床,矿体呈层状或透镜状平行分布,与围岩整合接触,且与围岩有相同的变质或变形,矿体中的角砾(团块)为

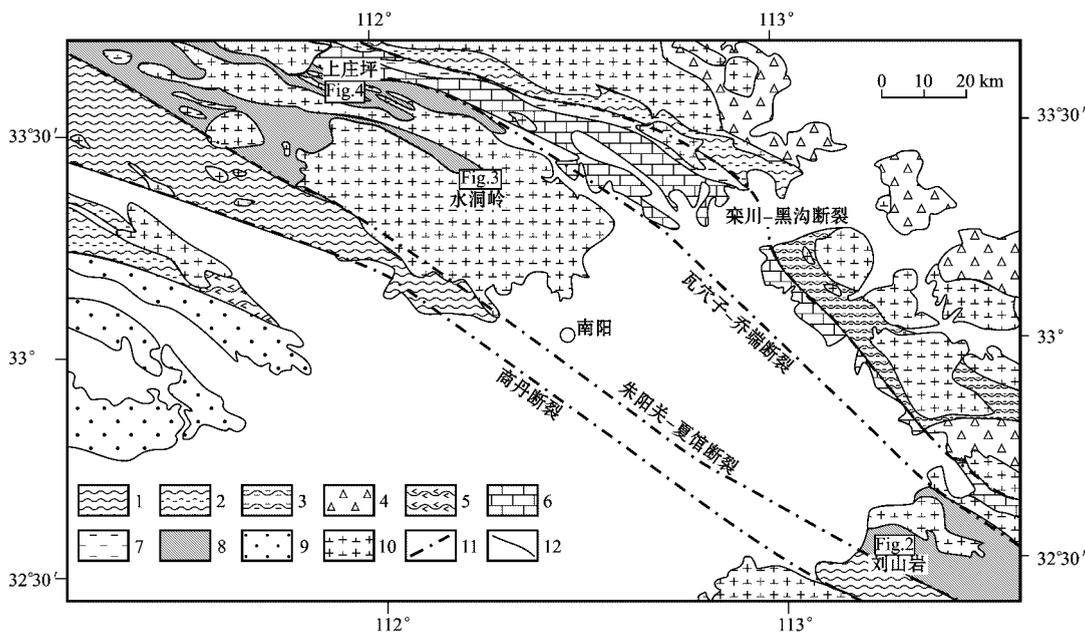


图 1 东秦岭二郎坪群地质简图

1—古元古代秦岭群片麻岩 2—古元古代陡岭岩群片麻岩 3—古元古代铁铜沟组片麻岩 4—古元古代熊耳群火山岩 5—中-新元古代耀岭河群斜长角闪片麻岩 6—中-新元古代宽坪群变质基性火山岩-陆源碎屑岩-碳酸盐岩 7—中-新元古代栾川群变质沉积岩 8—古生代二郎坪群变质火山岩-沉积岩 9—古生代白龙庙组陆源碎屑岩 10—古生代奥长花岗岩-英云闪长岩-闪长岩 11—断层 12—地质界线

Fig. 1 Geological sketch map of the Er'langping Group in East Qingling

1—Gneiss of Palaeoproterozoic Qinling Group 2—Gneiss of Palaeoproterozoic Douling Group 3—Gneiss of Palaeoproterozoic Teitonggou Formation 4—Volcanics of Palaeoproterozoic Xiong'er Group 5—Amphibolite gneiss of Meso-Neoproterozoic Yaolinghe Group 6—Meta-basic volcanic-terrestrial elastics rock-carbonate rock of Meso-Neoproterozoic Kuanping Group 7—Meta-sedimentary rock of Meso-Neoproterozoic Luanchuan Group 8—Metamorphosed volcanic-sedimentary rock of Palaeozoic Er'langping Group 9—Terrigenous clastic rocks of Palaeozoic Bailongmiao Formation 10—Palaeozoic trondhjemite-tonalite-diorite 11—Fault 12—Geological boundary

同地层变形的原生角砾。铜等多金属成矿带距火山喷发中心带呈近到中等距离分布于桐柏刘山岩-南召水洞岭-卢氏丹矾窑等地(宋峰,2000),典型的火山成因块状硫化物矿床有刘山岩、水洞岭和上庄坪等矿床(图1)。

## 2.1 刘山岩矿床

刘山岩矿区处于桐柏地区歪头山背形南部的次级向斜核部,刘山岩铜锌矿床主要发育于二郎坪群刘山岩组火山岩中(图2)。矿体呈不规则层状、透镜状,产状与围岩一致,平面上总体呈NWW走向,网络状展布(图2),多分布在酸性火山岩与基性火山岩界面并靠近酸性岩一侧(图2),即硅质岩与石英角斑岩(凝灰岩)发育层位(彭翼等,2005)。矿体受韧性剪切作用影响,金属硫化物和石英具碎裂结构、糜棱状构造。矿床由4个工业矿体组成,由北向南分别为L9、L10、L8和L12。上部的L9矿体、L10矿体沿走向或倾向延伸较稳定;下部的L8矿体由东向西、

自下而上,由单矿层变为复脉矿;再向下到L12矿体的深部出现细脉和网状矿。矿体上部围岩中发育多层含铁硅质岩。

矿石矿物成分比较简单,主要金属矿物为黄铁矿(15%~80%)、闪锌矿(3%~20%),次为黄铜矿(0.5%~6.0%)及方铅矿(0%~1%)等,闪锌矿多为铁闪锌矿,局部夹有粗晶闪锌矿;脉石矿物有钠长石、角闪石、石英、重晶石、绢云母、绿泥石,少量方解石、电气石及金红石等。矿石以半自形-他形粒状结构为主,次有骸晶、溶蚀、固溶体分离、乳滴状及环带状等结构。立方体黄铁矿内存在胶体沉积成因的不规则弯曲环带,其中心多为正方形环带,边缘为多边形环带。黄铁矿、闪锌矿普遍具拉长“流动”和重结晶现象,这种结构记录了海底火山喷流和后期的变质作用(胡受奚等,1988)。

## 2.2 水洞岭矿床

水洞岭矿区出露地层主要为二郎坪群火神庙

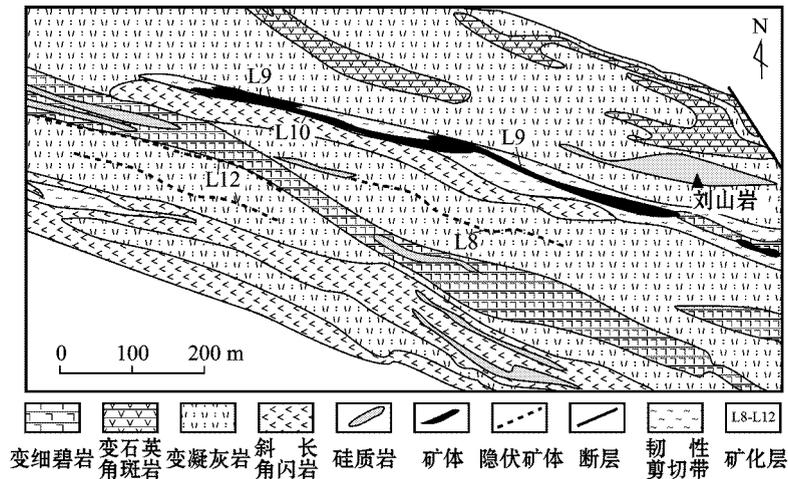


图 2 刘山岩矿区地质图(彭翼等, 2005)

Fig. 2 Geological map of the Liushanyan deposit (after Peng et al., 2005)

组岩性以变细碧岩、变角斑岩为主,夹变石英角斑岩及变火山碎屑岩。矿区主要由水洞岭和桑树坪两个矿段组成,主要赋矿围岩为绢云石英片岩(变石英角斑质凝灰岩)。该矿床矿体呈层状、似层状,产状陡倾,沿倾向有膨大、狭窄及分支现象,产于含角砾石英斑岩和石英角斑凝灰岩中的硅质岩层中,以硅质岩为标志层。矿体赋存于相邻的 2 个含硅质岩的含矿层,处在向斜的仰起端,南翼的桑树坪矿段和北翼的水洞岭矿段在转折端两侧对称出现(图 3)。

矿石矿物成分主要为黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等,脉石矿物有重晶石、石英、绢云母及少量黑云母、角闪石等。矿石中重晶石和铅含量高,有些

矿脉可构成重晶石矿体,另外,其中的金、银含量较高。黄铜矿呈他形粒状,颗粒大小不等,粒度 0.01~2.00 mm,浸染状分布,局部富集呈团块状,与闪锌矿、方铅矿、黄铁矿共生。闪锌矿为棕红色-黑褐色,他形粒状,粒度 0.1~0.7 mm,充填于重晶石颗粒间或裂隙内,常交代黄铜矿、黄铁矿,与黄铜矿密切共生。方铅矿呈铅灰色,分布不均匀。金属矿物的大致生成顺序是黄铁矿→黄铜矿→闪锌矿→方铅矿。矿石类型大致分为细脉浸染状和致密块状两种。

### 2.3 上庄坪矿床

上庄坪铜-铅-锌矿带赋存于火神庙组变细碧-角斑岩建造中,重晶石矿层为主要赋矿地层。自西向东,分别产出阴沟、陈家坡、南沟和大青沟 4 个矿体(图 4)。矿带下部为厚层块状变细碧岩夹薄层变石英角斑岩和角斑岩;顶部由多层变凝灰岩及重晶石矿化层组成。矿化带分布在阴沟至大青沟长约 10 km,宽 50~100 m 的范围内,矿化体与地层产状一致,具有明显的层控特征。K2 矿化层规模大且工作程度较高。K2 矿化层分布于阴沟-陈家坡-南沟一带,断续出露长度约 3 km,厚 1~7 m,总体走向 310°,含矿层倾向西南,倾角 70~85°。含矿层顶板围岩为 100 m 宽的黄铁矿化变石英角斑岩,底板围岩为变石英角斑岩,局部为变细碧岩和变凝灰岩。金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿及少量黝铜矿,次生矿物有褐铁矿、孔雀石、铜蓝等。矿石呈自形-他形粒状结构、包含结构、交代结构、充填结构、固熔体分离结构和碎裂结构等。硫化物矿

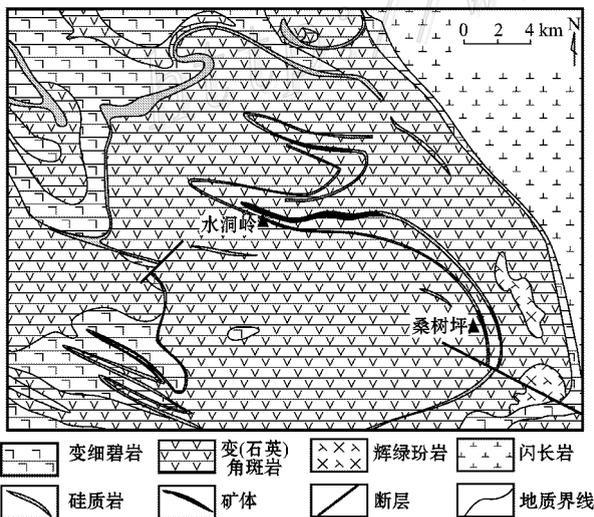


图 3 水洞岭矿区地质图

Fig. 3 Geological map of the Shuidongling deposit

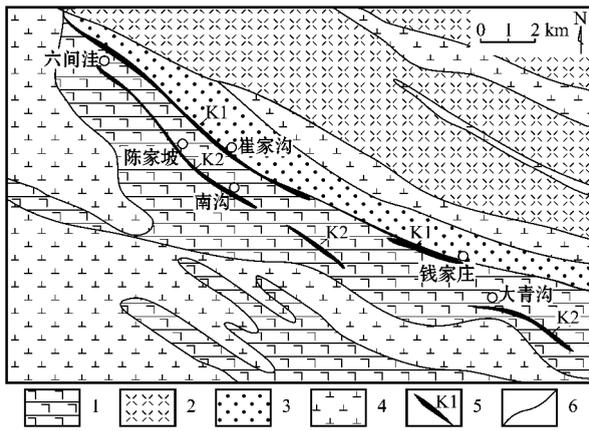


图4 上庄坪矿区地质图

1—古生代火神庙组细碧岩(石英)角斑岩;2—中-新元古代宽坪群变质基性火山岩-陆源碎屑岩;3—古生代小寨组变质陆源碎屑岩;4—古生代英云闪长岩;5—矿体;6—地质界线

Fig. 4 Geological map of the Shangzhuangping deposit

1—Spilitic (quartz) keratophyre of Palaeozoic Huoshenmiao Formation; 2—Meta-basic volcanic-terrigenous clastic rocks of Meso-Neoproterozoic Kuanping Group; 3—Meta-terrigenous clastic rocks of Palaeozoic Xiaozhai Formation; 4—Palaeozoic tonalite; 5—Ore body; 6—Geological boundary

石主要为网脉状、浸染状、条纹、条带状和块状构造,局部地段可见细纹层状构造。矿体与重晶石岩共生,局部重晶石含量达到80%以上,矿体局部也可见到薄层硅质岩。硫化物生成顺序大致依次为黄铁矿、闪锌矿、乳滴状黄铜矿、粒状黄铜矿,最后形成方铅矿。

### 3 矿床地球化学特征

#### 3.1 样品描述及分析方法

本次工作从刘山岩、水洞岭和上庄坪等矿区采集到一些矿石样品,主要有块状、条带状、纹层状和浸染状矿石,同时采集了硅质岩、细碧岩和角斑岩等矿化围岩样品。块状矿石位于矿体上盘,是矿体的主要部分,厚度一般1.0~1.2m,由黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿和重晶石等组成,该类型矿石品位较高且伴生金、银。浸染状矿石位于矿体下部,与下盘围岩渐变过渡,厚度一般2.0~6.0m,由黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和重晶石等组成,金属矿物呈细脉状、细粒星散状分布于重晶石层或重晶石化、石英角斑凝灰岩中,品位较低。矿体上部过渡为条带状重晶石-方铅矿-闪锌矿-黄铁矿-黄铜矿矿石,重晶石

层分布于矿体的边缘。Cu、Zn密切共生,而Pb的分布则偏离于Cu的富集中心。

样品在国土资源部宜昌测试中心进行微量元素测试及硫、铅同位素组成测试。铅同位素比值测定在MAT 261多接收热电离质谱仪上完成,用国际标准物质NBS 981监控仪器分析工作状态,NBS 981的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 分析值为 $0.91449 \pm 0.00004$ ,分析精度优于0.05%。矿床中石英和重晶石流体包裹体的氢、氧同位素组成也在宜昌测试中心完成。

#### 3.2 矿床类型

刘山岩、水洞岭、上庄坪等矿床的主金属元素铜、铅、锌含量列于表1,不同矿床主金属元素含量差异较大(表1)。Larg(1992)通过对火山成因块状硫化物矿床主成矿元素含量、组合特征研究后,将该类矿床用Cu-Pb-Zn图示划分为Cu型、Zn-Cu型和Zn-Pb-Cu型3类。将刘山岩、水洞岭、上庄坪VMS型矿床的主金属元素投在Cu-Pb-Zn关系图上(图5),显示刘山岩矿床以Zn-Cu型为主,次有Zn-Pb-Cu型,水洞岭矿床既有Zn-Cu型又有Zn-Pb-Cu型,上庄坪矿床主要为Zn-Pb-Cu型,次有Zn-Cu型。反映出从刘山岩矿床→水洞岭矿床→上庄坪矿床,铜含量减少,铅含量增多。

#### 3.3 矿石稀土元素特征

由表2可见,各矿床矿石的 $\Sigma\text{REE}$ 含量变化,为 $10.4 \times 10^{-6} \sim 89.3 \times 10^{-6}$ ,浸染状矿石(DH-7,

表1 主要矿床主金属元素含量表

Table 1 Main chemical elements data for ores from Er langping Group VMS deposits

矿床及矿体	$w_B/\%$			Zn/(Pb+Zn)
	Cu	Pb	Zn	
水洞岭				
I-1	0.81	0.68	3.37	0.83
I-2	0.88	0.87	3.99	0.82
II	0.17	0.48	2.17	0.82
III	0.45	0.58	5.08	0.90
V-1	0.77	0.47	7.16	0.94
V-2	0.17	0.31	2.06	0.87
VI	0.73	1.44	5.69	0.80
上庄坪				
K2	0.53	2.82	3.48	0.55
刘山岩				
L8	1.95	0.46	11.9	0.96
L9	1.27	0.72	7.17	0.91
L10	1.23	0.62	9.41	0.93
L12	1.00	0.54	5.65	0.91

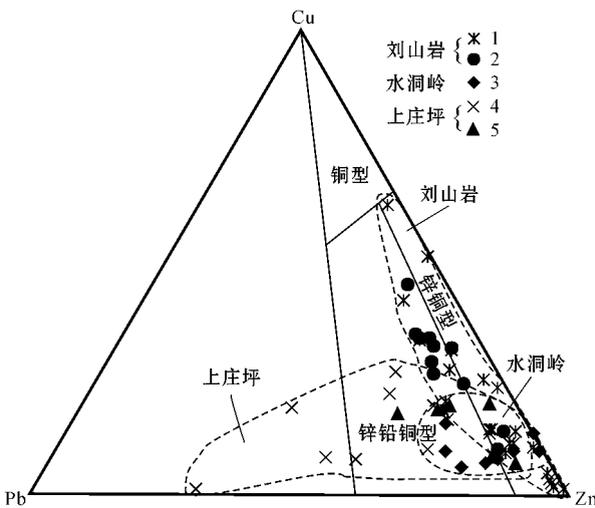


图 5 二郎坪群 VMS 型矿床矿石 Cu-Pb-Zn 关系图 (底图据 Large, 1992)

数据 1、3、4 为本次工作,数据 2 引自彭翼等(2005);  
数据 5 引自陈建立(2004)

Fig. 5 Cu-Pb-Zn ratios for the Er langping Group VMS deposit (Large, 1992)

1, 3, 4 data from this work; 2 data from Peng et al., 2005; 5 data from Chen et al., 2004

SDL-6)的 $\Sigma$ REE 含量相对较高。LREE/HREE 比值为 4.41 ~ 15.2 ( $La/Yb$ )<sub>N</sub> 比值为 3.66 ~ 64.0, 上庄坪与刘山岩的 LREE 相对富集(图 6), 而水洞岭 LREE 略微富集。 $\delta_{Ce}$  绝大部分小于 1, 平均为 0.86 显示弱的 Ce 负异常;  $\delta_{Eu}$  绝大部分大于 1 (除 DH-7), 平均为 1.95, 具显著的 Eu 正异常(图 6), 表明矿石具有热水沉积特征。

### 3.4 其他微量元素特征

各矿区不同矿石类型的其他微量元素分析结果列于表 2, 可以看出: 各类矿石中, Cu、Pb、Zn、S 为生成矿元素, Au、Ag、Cd 为伴生有益元素, 南阳盆地两

侧元素含量差异较大, 与盆地西侧的水洞岭和上庄坪矿床相比, 东侧的刘山岩矿床中 Cu、Zn、Au、Mo 等元素含量相对较高, 而 Pb、Ag、Sb、Ba、Sr、W 等元素含量相对较低; Cu 与 Au 的相关程度显著 ( $\gamma = 0.95$ ), Zn 与 Cd 的相关程度显著 ( $\gamma = 0.99$ ), Pb 与 Ag 相关程度不明显 ( $\gamma = 0.46$ )。二郎坪群中的 VMS 矿床与典型的热液沉积矿床日本黑矿(Ohmoto, 1996)及中国白银厂矿床(宋学信等, 1993)相比较, 具有相似的 Cu-Pb-Zn 组成特征, 相似的 Au/Ag 比值(0.01~0.03), 而矿石中的 As 和 Co 含量相对较低。

### 3.5 同位素地球化学特征

#### 3.5.1 硫同位素

由表 3 可见, 刘山岩矿床中硫化物的  $\delta^{34}S$  值除样品 SS3 ( $\delta^{34}S = -1.40\%$ ) 外, 其他样品(测试对象为黄铁矿, 次为闪锌矿、黄铜矿、方铅矿)的  $\delta^{34}S$  均为正值, 介于 1.55‰ ~ 10.0‰ 之间, 主要集中在 1.70‰ ~ 7.70‰ 范围内(图 7), 平均 5.15‰; 而矿化重晶石岩的硫化物  $\delta^{34}S$  值一般大于 10‰。水洞岭矿床所有样品硫化物的  $\delta^{34}S$  值变化不大, 介于 3.34‰ ~ 10.1‰ 之间, 并主要集中在 4.70‰ ~ 7.70‰ 范围内(图 7), 平均 6.49‰, 略高于刘山岩矿区的  $\delta^{34}S$  值(集中在 1.70‰ ~ 4.70‰ 范围内, 平均 5.40‰)。上庄坪矿区样品较少,  $\delta^{34}S$  值变化大, 从 -4.30‰ ~ 13.7‰。总体上, 二郎坪群 VMS 型矿床的矿石硫化物的  $\delta^{34}S$  值, 主要在 1.70‰ ~ 7.70‰ 的变化范围内, 在直方图上显示为典型的塔式分布特点(图 7)。

#### 3.5.2 铅同位素

由表 4 可以看出, 刘山岩矿区的  $^{206}Pb/^{204}Pb = 17.903 \sim 18.207$ , 平均值为 17.933;  $^{207}Pb/^{204}Pb =$

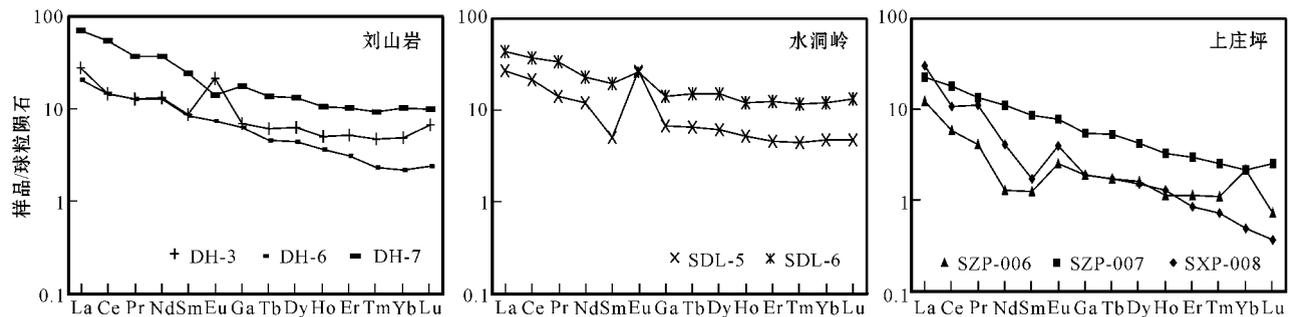


图 6 二郎坪群矿石球粒陨石标准化 REE 模式配分图(球粒陨石标准值据 Sun et al., 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of ores from the Er langping Group (chondrite values from Sun et al., 1989)

表2 二郎坪群 VMS 型矿床矿石微量元素含量分析数据表(  $w_B/10^{-6}$  )  
 Table 2 Trace elements data for ores from Er langping Group VMS deposits(  $w_B/10^{-6}$  )

	刘山岩			水洞岭			上庄坪	
	DH-3	DH-6	DH-7	SDL-5	SDL-6	SZP-006	SZP-007	SZP-008
	纹层状矿石	块状矿石	浸染状矿石	块状矿石	浸染状矿石	浸染状矿石	块状矿石	稀疏浸染状矿石
La	6.79	4.98	17.1	6.43	10.3	8.03	6.02	3.25
Ce	9.07	9.14	34.3	13.1	23.0	7.26	12.4	3.98
Pr	1.24	1.24	3.61	1.32	3.24	1.16	1.42	0.43
Nd	6.26	6.15	17.6	5.62	10.8	2.10	5.70	0.65
Sm	1.34	1.32	3.75	0.77	3.02	0.29	1.48	0.21
Eu	1.27	0.44	0.82	1.56	1.52	0.25	0.50	0.16
Gd	1.43	1.31	3.69	1.38	2.92	0.42	1.23	0.43
Tb	0.23	0.17	0.51	0.24	0.56	0.07	0.22	0.07
Dy	1.63	1.12	3.40	1.55	3.79	0.42	1.18	0.45
Ho	0.29	0.21	0.61	0.29	0.68	0.08	0.20	0.07
Er	0.86	0.52	1.69	0.74	2.04	0.15	0.54	0.20
Tm	0.12	0.06	0.24	0.11	0.30	0.02	0.07	0.03
Yb	0.82	0.37	1.75	0.80	2.02	0.09	0.40	0.40
Lu	0.17	0.06	0.25	0.12	0.34	0.01	0.07	0.02
Y	9.15	4.30	14.9	6.66	16.0	1.09	4.62	0.90
LREE/HREE*	4.68	6.09	6.36	5.51	4.41	15.2	7.04	5.20
∑REE	31.5	27.1	89.3	34.0	64.5	20.4	31.4	10.4
δCe*	0.71	0.88	1.02	1.04	0.97	0.51	1.00	0.71
δEu*	2.80	1.02	0.67	4.63	1.56	2.19	1.13	1.63
(La/Yb) <sub>N</sub> *	5.94	9.65	7.01	5.77	3.66	64.0	10.8	5.83
Cu**	5.82	24.3	2.67	2.12	0.73	0.29	4.28	0.18
Pb**	1.95	0.88	0.03	0.23	0	1.43	2.72	0.40
Zn**	14.0	13.7	2.50	20.8	4.77	2.25	26.0	1.29
Au	1.22	4.29	0.19	0.26	0.22	1.04	1.47	0.14
Ag	39.4	139	15.4	13.3	12.3	92.2	68.8	7.37
As	6.41	3.15	22.1	3.33	3.46	45.2	3.62	2.70
Sb	16.2	2.01	1.80	8.92	7.64	63.2	47.6	16.9
Ba	168	156	81.3	156	480	666	216	1190
W	1.40	0.49	0.55	2.57	1.47	1.99	1.11	1.14
Mo	151	285	85.9	62.5	14.2	26.4	101	51.1
Co	27.9	28.6	23.4	22.0	17.4	23.6	25.0	20.6
Cd	623	691	89.0	1000	177	145	1460	83.0
Sr	290	21.8	78.5	202	353	751	257	649
S**	17.2	27.4	32.2	20.7	9.71	14.1	20.2	13.8

注: \*单位为1; \*\*单位为%。

15.453 ~ 15.767, 平均值为 15.505;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{P} = 36.950 \sim 38.469$ , 平均值为 37.966。水洞岭矿区的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.810 \sim 17.997$ , 平均值为 17.877;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.474 \sim 15.687$ , 平均值为 15.554;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{P} = 37.714 \sim 38.412$ , 平均值为 37.923。上庄坪矿区的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.040 \sim 18.217$ , 平均值为 18.067;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.496 \sim 15.761$ , 平均值为 15.565;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{P} = 37.803 \sim 38.675$ , 平均值为

38.027; 上庄坪的铅同位素含量最高。相同矿区中的黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿的铅同位素组成相对稳定, 可见这几种矿石矿物的物源区相似; 且围岩与这些矿石矿物(黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿)的铅同位素组成基本一致, 也说明这些矿石和围岩中的铅可能来源于相似或相同的物源区。

### 3.5.3 包裹体水氢、氧同位素组成

从矿石及脉石矿物直接测定其流体包裹体的

表 3 二郎坪群 VMS 矿床矿石硫同位素分析结果  
Table 3 Analysis results of sulfide isotopic compositions for ores

矿床	样品号	矿石类型	测定对象	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}/\text{‰}$	资料来源
刘山岩	D106-8-1	浸染状矿石	黄铁矿	3.50	韦昌山等 2002
	D107-1-2	浸染状矿石	黄铁矿	2.19	韦昌山等 2002
	D108-2-3	浸染黄铁矿矿石	黄铁矿	3.89	韦昌山等 2002
	D109-1-5	块状矿石	黄铁矿	2.72	韦昌山等 2002
	D110-2-2	块状矿石	黄铁矿	4.45	韦昌山等 2002
	D110-2-5	富锌矿石	闪锌矿	1.88	韦昌山等 2002
	D111-2-2	角砾状矿石	黄铁矿	3.87	韦昌山等 2002
	D111-2-3	浸染状矿石	黄铁矿	3.83	韦昌山等 2002
	SS1	多金属重晶石矿石	黄铁矿	6.8	河南省地矿厅 <sup>①</sup>
	SS2	多金属重晶石矿石	方铅矿	4.1	河南省地矿厅 <sup>①</sup>
	SS3	多金属重晶石矿石	闪锌矿	-1.4	河南省地矿厅 <sup>①</sup>
	SS4	重晶石岩	重晶石	18.4	河南省地矿厅 <sup>①</sup>
	DH-1	浸染状黄铜黄铁矿矿石	黄铁矿	11.2	本文
	DH-5	块状浸染状矿石	黄铁矿	2.9	本文
	DHD-1	星散浸染状矿石	黄铁矿	13.3	本文
		平均(n=15)			5.4
水洞岭	NG-1	块状铜锌矿石	闪锌矿	9.5	葛军 2003
	NG-1	块状铜锌矿石	黄铜矿	10.1	葛军 2003
	NG-3	闪锌矿黄铜矿矿脉	闪锌矿	8.1	葛军 2003
	NG-3	闪锌矿黄铜矿矿脉	黄铜矿	8.8	葛军 2003
	NG-16	石英角斑凝灰岩	闪锌矿	6.5	葛军 2003
	NG-16	石英角斑凝灰岩	黄铜矿	6.1	葛军 2003
	NG-27	含闪锌矿重晶石岩	闪锌矿	6.5	葛军 2003
	水 S-1	石英角斑凝灰岩	黄铁矿	3.8	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 S-2	石英角斑凝灰岩	黄铁矿	5.3	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 S-3	块状黄铁矿矿石	黄铁矿	5.2	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	S-4	黑矿石	黄铁矿	5.9	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 S-5	石英角斑凝灰岩	黄铁矿	5.4	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 S-6	磁黄铁矿矿脉	黄铁矿	6.2	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 S-7	石英角斑岩	黄铁矿	6.7	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 S-8	黑矿石	黄铁矿	6.2	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 S-10	黄铁矿黄铜矿脉	黄铁矿	6.7	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	SDL-5	浸染状矿石	闪锌矿	3.34	本文
	平均(n=17)			6.5	
上庄坪	SZP-002	矿化重晶石岩	黄铜矿	13.7	本文
	SZP-007	致密块状矿石	闪锌矿	1.55	本文
	SZP-012	致密块状矿石	闪锌矿	2.37	本文
	SZP-013	层状黄铁矿矿石	黄铁矿	-4.3	本文
	SZP-009	重晶石岩	重晶石	24.4	本文
		平均(n=5)			7.5

① 河南省地矿厅. 1991. 河南省二郎坪群、宽坪群金银矿成矿预测研究报告.

表4 二郎坪群 VMS 矿床矿石、围岩铅同位素分析结果  
Table 4 Analytical results of lead isotopic compositions in ores and wall rocks

矿床	样品号	矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源
刘山岩	D106-5-2	黄铁矿	17.937	15.489	37.954	韦昌山等,2002
	D106-6-2	黄铁矿	17.969	15.479	37.950	韦昌山等,2002
	D106-7-1	黄铁矿	17.936	15.489	37.963	韦昌山等,2002
	D106-8-1	黄铁矿	17.963	15.513	38.029	韦昌山等,2002
	D107-1-3	黄铁矿	17.938	15.496	37.967	韦昌山等,2002
	D108-2-1	黄铁矿	17.958	15.499	38.003	韦昌山等,2002
	D108-2-3	黄铁矿	17.950	15.493	37.987	韦昌山等,2002
	D109-1-3	黄铁矿	17.923	15.475	37.900	韦昌山等,2002
	D109-1-4	黄铁矿	17.946	15.477	37.900	韦昌山等,2002
	D109-1-5	黄铁矿	17.930	15.478	37.914	韦昌山等,2002
	D110-1-4	黄铁矿	17.960	15.469	37.974	韦昌山等,2002
	D110-1-2	黄铁矿	17.970	15.542	38.127	韦昌山等,2002
	D110-1-5	闪锌矿	17.903	15.453	37.851	韦昌山等,2002
	D110-1-1	闪锌矿	17.912	15.459	37.874	韦昌山等,2002
	D110-1-1	黄铁矿	17.979	15.554	38.146	韦昌山等,2002
	D110-1-3	黄铁矿	17.962	15.520	38.052	韦昌山等,2002
	D111-1-4	黄铁矿	17.990	15.555	38.164	韦昌山等,2002
	D111-1-2	黄铁矿	17.977	15.535	38.096	韦昌山等,2002
	D111-1-3	黄铁矿	17.917	15.462	37.852	韦昌山等,2002
	D113-2	黄铁矿	17.903	15.457	37.826	韦昌山等,2002
	D113-3	黄铁矿	17.982	15.546	38.133	韦昌山等,2002
	D115-17	黄铁矿	17.380	15.346	36.950	韦昌山等,2002
	DH-1	方铅矿	18.207	15.767	38.469	胡受奚等,1988
	DH-2	黄铁矿	17.956	15.546	37.950	胡受奚等,1988
	DH-5	黄铁矿	17.957	15.512	38.025	本文
	DH-8	硅质岩	17.848	15.510	38.061	本文
	平均(n=26)		17.933	15.505	37.966	
水洞岭	NG1	闪锌矿	17.860	15.550	38.144	葛军,2003
	NG1	黄铜矿	17.836	15.474	37.724	葛军,2003
	NG3	闪锌矿	17.853	15.499	37.792	葛军,2003
	NG-3	黄铜矿	17.997	15.687	38.412	葛军,2003
	NG-27	闪锌矿	17.836	15.481	37.735	葛军,2003
	NG-27	黄铜矿	17.833	15.474	37.714	葛军,2003
	水 Pb-3	方铅矿	17.810	15.639	38.225	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 Pb-4	方铅矿	17.976	15.599	38.081	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 Pb-4	闪锌矿	17.905	15.640	37.917	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 Pb-4	黄铁矿	17.869	15.569	37.935	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	水 Pb-5	方铅矿	17.905	15.539	37.902	河南省有色地勘局矿产地质研究所
	S1	方铅矿	17.930	15.573	37.960	张建勇等,2003
	S2	方铅矿	17.905	15.563	37.944	张建勇等,2003
	S3	方铅矿	17.850	15.504	37.794	张建勇等,2003
	S4	方铅矿	17.841	15.490	37.766	张建勇等,2003
	SDL-5	闪锌矿	17.835	15.487	37.755	本文
	SDL-1	硅质岩	17.867	15.504	37.809	本文
	SDL-3	硅质岩	17.872	15.488	38.004	本文
		平均(n=18)	17.877	15.542	37.923	本文
上庄坪	SZP-007	闪锌矿	18.217	15.761	38.675	本文
	SZP-012	闪锌矿	18.032	15.535	37.912	本文
	SZP-001	角斑岩	18.069	15.533	37.904	本文
	SZP-003	硅质岩	18.040	15.524	37.909	本文
	SZP-010	细碧岩	18.005	15.496	37.803	本文
	SZP-011	角斑岩	18.040	15.540	37.958	本文
		平均(n=6)	18.067	15.565	38.027	

表 5 不同矿床石英、重晶石包裹体中成矿流体的氢氧同位素组成

Table 5 Hydrogen and oxygen isotope composition of ore fluids in quartz and barite inclusions

序号	矿区名称	样号	矿物名称	$\delta^{18}O_{SMOW}/\text{‰}$	$t/^\circ\text{C}$	$\delta^{18}O_{\text{水}}/\text{‰}$	$\delta D_{SMOW}/\text{‰}$
1	水洞岭	SH-128	石英	10.3	221	-0.17	-74.0
2	水洞岭	SH-407	石英	10.4	325	4.38	-70.4
3	上庄坪	SZP-002	重晶石	-1.53	99.9	-13.2	-65.2
4	刘山岩	DH-8	石英	4.62	186	-8.01	-58.5
5	刘山岩	DHD-1	重晶石	0.68	165	-8.16	-63.6

注：表中数据 1-2 号据杨荣勇等(1996) 3-5 号为本次工作。

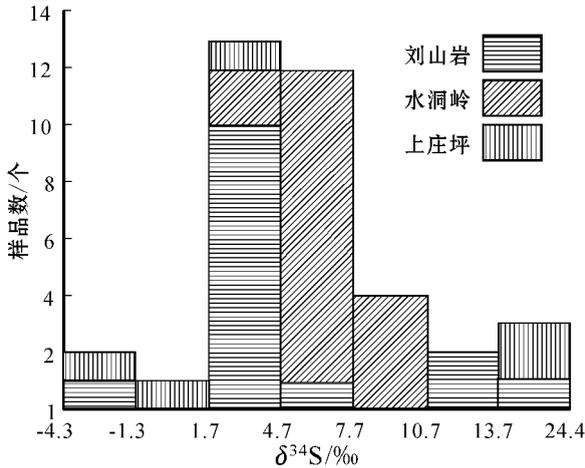


图 7 二郎坪群 VMS 型矿床硫同位素分布直方图

Fig. 7 Histogram showing sulfur isotope composition of the Er'langping Group VMS deposit

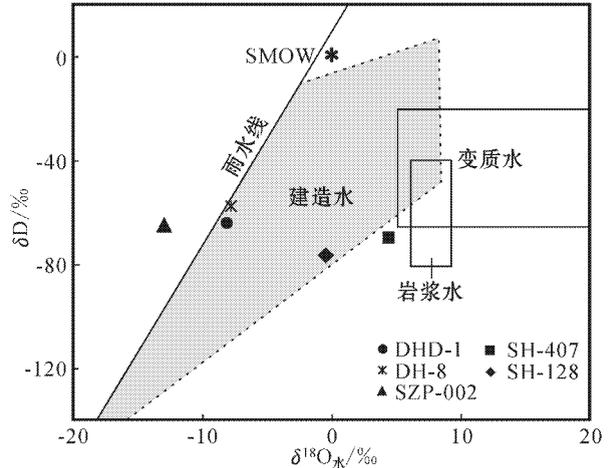


图 8 二郎坪群 VMS 型矿床成矿流体氢氧同位素组成

Fig. 8  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  water diagram of ore fluids in the Er'langping Group VMS deposit

氢、氧同位素组成(表 5),石英和重晶石包裹体溶液的  $\delta^{18}O_{SMOW}$  为  $-1.53\text{‰} \sim 10.4\text{‰}$ ,  $\delta D_{SMOW}$  为  $-58.5\text{‰} \sim -74.0\text{‰}$ ,重晶石的  $\delta^{18}O_{SMOW}$  值小于石英的  $\delta^{18}O_{SMOW}$  值。利用 Clayton 等(1972)的平衡方程  $1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 / T^2 - 3.4$ ,可以获得与石英达到平衡时的成矿热液  $\delta^{18}O$  水值(表 5)利用 Friedman 等(1977)的平衡方程  $1000 \ln \alpha_{\text{重晶石-水}} = 3.00 \times 10^6 / T^2 - 6.79$ ,可以计算重晶石达到平衡时的成矿热液  $\delta^{18}O_{\text{水}}$  值(表 5)。在  $\delta D$ - $\delta^{18}O_{\text{水}}$  关系图上(图 8),成矿阶段的氢氧同位素投影点落在建造水区域,重晶石样品落在雨水线以上,而成矿后期石英脉(SH-407)落在岩浆水附近。反映出成矿流体具有与古大气降水和建造水有关的热液特点,而成矿后期有岩浆热液的作用,南阳盆地以东矿床的成矿流体以建造水为主,而南阳盆地以西矿床的成矿流体则以古大气降水为主。

## 4 讨论

### 4.1 成因分析

矿石稀土元素对块状硫化物矿床的形成具有示

踪作用,一般认为块状硫化物矿床的形成是从火山岩中萃取贱金属的溶液流出并在海底沉积形成的(王登红等,2001)。矿石稀土元素的配分型式可反映成矿热卤水特征。二郎坪群 VMS 矿床矿石的 LREE 相对富集以及 Ce 负异常与 Eu 正异常(图 6),说明矿床受热水作用影响较大(Klinkharnmer et al., 1994)。而 DH-7 负异常可能是由矿石本身 REE 总体特征决定的,其特征与围岩的石英角斑岩十分相似,且其  $\Sigma \text{REE}$  含量最大(89.3),Ba 的含量很低,说明热水作用影响小。因此, Eu 负异常可能是继承了海底石英角斑岩 REE 特点,代表海底火山喷气-火山成因的块状硫化物矿床的特点。与热水沉积作用有关的重晶石常出现在矿体(上庄坪、水洞岭等矿床)的顶板或矿层中。此外,燕长海等(2007)对二郎坪群中与成矿关系密切的硅质岩进行了研究,认为硅质岩为热水沉积。综上所述,二郎坪群 VMS 矿床具有热液成因的特征。

### 4.2 成矿流体来源

二郎坪群 VMS 矿床硫化物的  $\delta^{34}S$  值(集中在  $1.70\text{‰} \sim 7.70\text{‰}$  范围内),与世界上一些典型的以

火山岩为容矿围岩的块状硫化物矿床基本一致(日本黑矿黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值为 3.10‰ ~ 8.20‰,塞浦路斯黄铁矿型硫化物矿床为 1.90‰ ~ 7.0‰),都表现出狭窄的变化范围,在直方图上显示为典型的塔式分布特点。重晶石的  $\delta^{34}\text{S}$  值为 18.4‰ ~ 24.4‰,与泥盆系海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  (17.5‰ ~ 25.0‰)相近 (Claypool et al., 1980),表明重晶石的硫直接来源于热液喷发地点的同时期海水。地幔来源硫的  $\delta^{34}\text{S}$  值通常为零 ( $\delta^{34}\text{S} = \pm 0\%$ , Sakai et al., 1984),而本矿床硫同位素平均值为 6.34‰,推断其硫可能来源于地幔岩浆硫和海水硫的混合。从矿体底部(浸染状矿石)到矿体外部(纹层状矿石或矿化重晶石)  $\delta^{34}\text{S}$  值变大,反映成矿阶段,以岩浆硫为主,到成矿晚期,海水硫逐渐加入。

侯增谦等(2003)研究认为,在某种意义上,矿石中重晶石的硫同位素组成可作为矿床形成年龄的指示,即把矿石中重晶石的硫同位素组成与不同时代海水硫酸盐的相比较,与之吻合者即为矿床形成的时代。区内矿石中重晶石的  $\delta^{34}\text{S}$  值为 18.4‰ ~ 24.4‰,与泥盆系海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  相近。高联达等(2006)对西峡地区二郎坪群火神庙组粉砂质板岩中的陆生植物孢子、少数疑源类和极少数几丁虫化石的研究,认为其时代为中泥盆世。据此判断,二郎坪群铜多金属矿床的形成时代可能为早古生代泥盆纪。

铅同位素可以用来示踪物源,在铅构造模式示踪时,投影点落在造山带增长线上方的矿石铅必然包含上地壳成分,而投影点位于造山带增长线下方的矿石铅则必定源于地幔或下地壳;投影点位于造山带增长线附近,矿石铅为混合源(Zartman et al., 1981; Stacey et al., 1983)。刘山岩和上庄坪矿区的铅同位素值绝大部分位于增长线下方,表明成矿流体具有深源特征(图9)。而水洞岭矿区的大部分铅同位素值位于增长线下方,少部分位于增长线上方,表明水洞岭成矿流体主要来源于地幔或下地壳,同时有上地壳浅源物质混入。上庄坪矿床和水洞岭矿床的铅同位素比值明显高于刘山岩矿床的铅同位素比值(图9),可能是更富放射成因铅(地壳或沉积物铅)加入的结果。此外,南阳盆地以西矿床的方铅矿含量明显高于南阳盆地以东矿床的(见表1,图5),说明南阳盆地以西矿床的源区可能有更多的地壳或沉积物的加入(王登红等, 2001)。

#### 4.3 成矿环境

近年来,对二郎坪群构造背景的研究取得了很

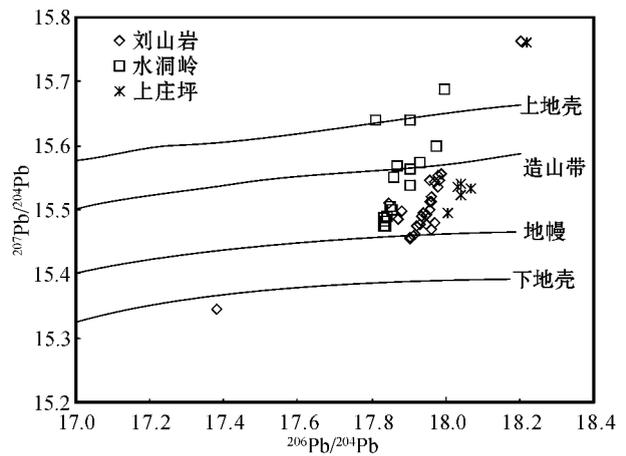


图9 二郎坪群VMS型矿床铅同位素构造模式图(据 Zartman et al., 1981)

Fig. 9 Plumbotectonics model for the Erlangping Group VMS deposits (base map from Zartman et al., 1981)

大进展(孙勇等, 1996; 李亚林等, 1998; 韦昌山等, 2004),基本形成一致的观点,认为二郎坪群火山岩形成的大地构造环境为弧后盆地,而二郎坪群中的VMS矿床的形成与弧后扩张古构造环境密切相关。南阳盆地两侧VMS矿床主金属元素含量的差异,可能为不同弧后构造环境的产物。南阳盆地以东的刘山岩矿床的  $\text{Zn}/(\text{Pb} + \text{Zn})$  比值大于 0.9,而南阳盆地以西的水洞岭和上庄坪矿床  $\text{Zn}/(\text{Pb} + \text{Zn})$  比值多数小于 0.9(表1),反映了前者成矿物质可能主要源自镁铁质岩系,后者成矿物质受到长英质岩系或沉积岩系的影响(Lydon, 1984)。南阳盆地以西的矿床更富放射成因铅,表明南阳盆地以西矿床可能形成于离大陆边缘较近的环境。此外,燕长海等(2007)对上庄坪、水洞岭和刘山岩矿区中出露的硅质岩进行了研究,根据硅质岩的  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$  比值和  $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe})$  比值的差异,认为南阳盆地两侧的硅质岩有所差别,西侧的硅质岩形成于大陆边缘海环境,东侧硅质岩的形成环境为远洋海盆。因此,说明南阳盆地以西矿床可能形成于大陆边缘海环境,盆地规模较小,受陆源物质影响较大;而南阳盆地以东可能形成于远洋盆地,盆地到达成熟阶段。

#### 4.4 成矿模式

VMS型矿床的海底热水成矿作用已被大量近代和现代的海底热水系统所证实,但对VMS型矿床成矿机制存在不同认识,主要有对流核成矿模式(Convection Kern Model, Hutchinson et al., 1980)和地震泵模式(Seismic Pump Model, Finlow, 1980)

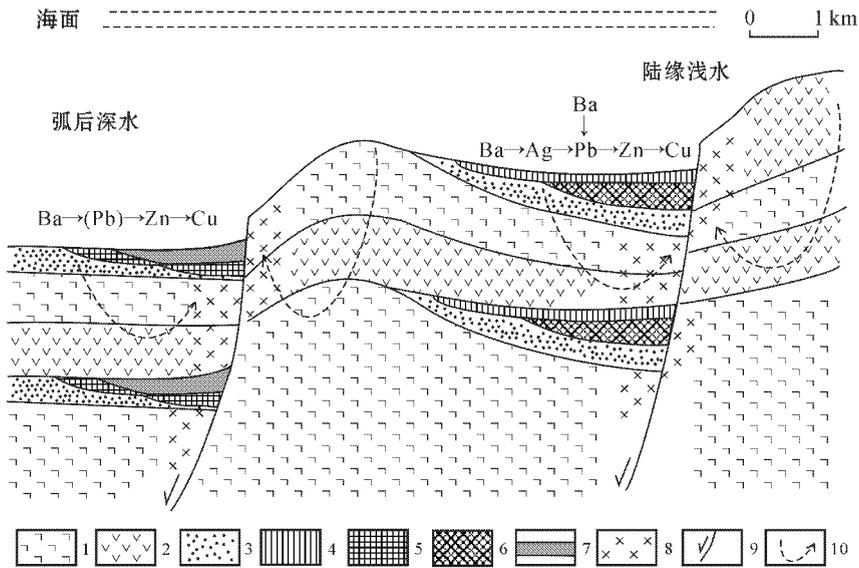


图 10 二郎坪群块状硫化物矿床成矿模式

1—细碧岩；2—角斑岩；3—火山碎屑(沉积)岩；4—重晶石层；5—磁黄铁矿和黄铜矿(黄矿)；6—多金属矿(黑矿)；7—铜锌矿；8—细脉浸染状矿；9—同火山期断层；10—对流循环海水

Fig. 10 Model for genesis of Erlangping Group VMS deposit

1—Spilitite；2—Keratophyre；3—Pyroclastic (sedimentary) rock；4—Barite rock；5—Pyrrhotite and chalcopyrite (yellow ore)；6—Polymetallic ore (black ore)；7—Copper-zinc ore；8—Veinlet disseminated ore；9—Coeval fault；10—Seawater convective circulation

两种。而二郎坪群中的 VMS 型矿床可以用地震泵模式得到很好的解释(图 10)，因为矿石的结构构造反映矿体多属一次喷发形成，多层矿体的相隔分布表明发生多次地震泵作用；矿床沿区域构造线的展布，带状展布的细脉浸染状矿化和早期脉岩的分布表明存在成矿期的断层；成矿与角斑岩、石英角斑岩和火山碎屑岩关系密切，较大规模的矿床产地均处于火山喷发中心(粗碎屑火山碎屑岩或侵入产状的石英角斑岩)的旁侧，酸性火山碎屑岩所占比例较高，不乏卤水储集层和深部热源，并存在厚的细碧岩隔水层；不同构造环境的卤水储集层具有一定的物质成分差异，因而产生不同的金属成矿类型；因为深水环境氧化程度低，所以不出现铁建造，仅出现重晶石层。

## 5 结 论

(1) 刘山岩矿床以 Zn-Cu 型为主，次有 Zn-Pb-Cu 型，水洞岭矿床既有 Zn-Cu 型又有 Zn-Pb-Cu 型，上庄坪矿床主要为 Zn-Pb-Cu 型，次有 Zn-Cu 型。从刘山岩矿床→水洞岭矿床→上庄坪矿床，铜的含量减少，铅的含量增多。

(2) 二郎坪群 VMS 矿床矿石的 LREE 富集以及 Ce 负异常与 Eu 正异常，说明矿床为热水沉积作

用形成。

(3) 二郎坪群 VMS 矿床中的石英、重晶石中流体包裹体的氢-氧同位素特征表明成矿流体主要来自建造水，南阳盆地以西矿床成矿流体伴有较多古大气降水。矿石的硫同位素特征说明硫可能来源于地幔岩浆硫和海水硫的混合。围岩与矿石的铅同位素组成基本一致，说明矿石和围岩可能来源于相似的物源区，成矿元素主要源于地幔或下地壳深源物质，而水洞岭明显混染有上地壳浅源物质。

(4) 南阳盆地以西矿床(水洞岭和上庄坪矿床)可能形成于大陆边缘海环境，盆地规模较小，受陆源物质影响较大；而南阳盆地以东(刘山岩矿床)可能形成于远洋盆地，盆地到达成熟阶段。

(5) 地震泵模式可解释二郎坪群 VMS 矿床的成因机制，为找矿勘查工作提供新的思路。

致 谢 文章写作过程中得到中国科学院广州地球化学研究所姚军明博士和博士研究生陈伟的帮助，在此表示衷心感谢！

## References

Chen J L. 2004. The characteristics and ore exploration of massive sul-

- fide deposits in Er 'langping Group marine volcanic rocks[ J ]. *Geology and Prospecting* , 6 : 38~41 ( in Chinese with English abstract ).
- Claypool G E , Leventhal J S and Goldhaber M B. 1980. Geochemical effects of early diagenesis of organic matter , sulfur , and trace elements in Devonian black shales , Appalachian Basin[ J ]. *AAPG Bulletin* , 64 ( 5 ): 692.
- Clayton R N , O 'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water[ J ]. *Journal of Geophysical Research* , B77 , 3057 ~ 3067.
- Finlow B T. 1980. The chemical and physical controls on the genesis of submarine exhalative orebodies and their implications for formulating exploration concepts , a review[ J ]. *Geologisches Jahrbuch* , 40 : 131 ~ 168.
- Friedman I and O 'Neil J R. 1977. Data of geochemistry. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest[ M ]. U. S. Geological Survey Professional Paper. 440.
- Gao L D , Wang Z Q , Wang T , Yan Q R , Yan Z and Li Q G. 2006. Discovery of Devonian spores in the Huoshenmiao Formation of the Er 'langping Group in the Xixia area , Henan , China[ J ]. *Geological Bulletin of China* , 25 ( 11 ): 1287 ~ 1294 ( in Chinese with English abstract ).
- Ge J. 2003. Sulfur and lead isotopic geochemistry of Shuidongling copper-zinc deposit and ore-forming mechanism[ J ]. *Geology of Chemical Minerals* , 25 ( 4 ): 213 ~ 218 ( in Chinese with English abstract ).
- Hou Z Q , Han F , Xia L Q , Zhang Q L , Qu X M , Li Z Q , Bie F L , Wang L Q , Yu J J and Tang S H. 2003. Hydrothermal systems and metallogeny on the modern and ancient sea-floor , case study on some VMS deposits[ M ]. Beijing : Geol. Pub. House. 423p ( in Chinese ).
- Hu S X and Lin Q L. 1988. Geology and metallogeny of the collision belt between the South China Huoshenmiao Formation , Er 'langping Group[ J ]. *Journal of Xi 'an College of Geology* , 17 ( 2 ): 1~5 ( in Chinese with English abstract ).
- Hutchinson R W , Fyfe W S and Kerrich R. 1980. Deep fluid penetration and ore deposition[ J ]. *Minerals Science Engineering* , 12 : 107 ~ 120.
- Jiang C Y , Su S R , Zhang Z F , Yang Z H and Zhao T P. 1995. Questioning and re-understanding the composition of and North China plates[ M ]. Nanjing : Nanjing University Press ( in Chinese ).
- Jin S W. 1994. Discussions on Er 'langping Group[ J ]. *Henan Geology* , 12 ( 1 ): 36 ~ 40 ( in Chinese with English abstract ).
- Klinkharnmer G P , Elderfield H and Mitra A. 1994. Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluids from mid-ocean ridges[ J ]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 58 : 5105 ~ 5133.
- Large R R. 1992. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits : features , styles , and genetic models[ J ]. *Econ. Geol.* , 87 : 471 ~ 510.
- Li Y L , Zhang G W and Song C Z. 1998. Characteristics of bidirectional subduction of Er 'langping back-arc basin in the East Qinling[ J ]. *Geological Journal of China Universities* , 4 ( 3 ): 286 ~ 293 ( in Chinese with English abstract ).
- Lydon J W. 1984. Volcanogenic massive sulfide deposits , Part I : a descriptive mode[ J ]. *Geoscience Canada* , 11 : 195 ~ 202.
- Ohmoto H. 1996. Formation of volcanogenic massive sulfide deposits : The Kuroko perspective[ J ]. *Ore Geology Reviews* , 10 : 135 ~ 177.
- Peng Y , Yan C H , Wan S Q , Ma H W and Zhao R J. 2005. Geological-Geochemical characteristics of the Liushanyan massive sulfide deposit in the eastern Qinling Mountains[ J ]. *Geological Review* , 51 ( 5 ): 550~557 ( in Chinese with English abstract ).
- Sakai H , des Marais D J , Ueda A and Moore J G. 1984. Concentrations and isotope ratios of carbon , nitrogen and sulfur in ocean-floor basalt[ J ]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 48 : 2433~2441.
- Song F. 2000. Volcanogenic massive sulfide deposits within the Er 'langping ophiolite , East Qinling Mountain[ J ]. *Geology and Mineral Resources of South China* , 1 : 63 ~ 68 ( in Chinese with English abstract ).
- Song X X , Zhang J K , Xu Q S and Cao Y W. 1993. Geochemistry of minor elements and rare earth elements of the Baiyinchang Cu-poly-metallic ore field , Gansu Province[ J ]. *Mineral Deposits* , 12 ( 4 ): 308~317 ( in Chinese with English abstract ).
- Stacey J and Hedlund D C. 1983. Lead-isotope compositions of diverse igneous rocks and ore deposits from southwestern New Mexico and their implications for early Proterozoic crustal evolution in the western United States[ J ]. *Geological Society of America Bulletin* , 94 : 43~57.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts implications for mantle composition and process [ A ]. In : Saunders A D and Nony M J , ed. *Magmatism in the ocean basin*[ C ]. Geological Society Special Publication. 42 : 313~354.
- Sun Y , Lu X X , Han S , Zhang G W and Yang S X. 1996. Composition and formation of Paleozoic Er 'langping ophiolitic slab , North Qinling : Evidence from geology and geochemistry[ J ]. *Science in China ( Series D )* , 39 ( Supp. ) : 50~59 ( in Chinese ).
- Wang D H and Chen Y C. 2001. A preliminary study on the metallogenic series type of Fe-Cu-Pb-Zn ore deposits related to submarine volcanism and its origin[ J ]. *Mineral Deposits* , 20 ( 2 ): 112 ~ 118 ( in Chinese with English abstract ).
- Wang X R , Hua H and Sun Y. 1995. A study on microfossils of the Er 'langping Group in Wantan area Xixia County , Henan Province[ J ]. *Journal of Northwest University ( Natural Science Edition )* , 25 ( 4 ): 353~358 ( in Chinese with English abstract ).
- Wei C S , Yang Z Z and Zhan M G. 2002. Fluid inclusions of the copper-zinc type massive sulfide deposit in Liushanyan , Henan Province [ J ]. *Geology and Mineral Resources of South China* , 2 : 47~53 ( in Chinese with English abstract ).
- Wei C S , Yang Z Q , Fu J M , Wei J Q and Zhang Y M. 2004. Origin and palaeotectonic setting of Liushanyan copper-zinc deposit in

- Tongbai, Henan Province [ J ]. Geological Science and Technology Information, 23(2): 25~30 (in Chinese with English abstract).
- Yan C H, Peng Y, Liu G Y, Feng S B and Zhao R J. 2007. The geochemical characteristics of thermal sedimentary siliciferous rocks in Er langping Group of East Qinling Range, China [ J ]. Geological Bulletin of China, 26(5): 560~566 (in Chinese with English abstract).
- Yang R Y, Xu Z W, Ren Q J, Guo J C and Lu X C. 1996. The type and metallogenic conditions of Shuidongling zinc-copper deposit in Nanzhao, Henan Province [ J ]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 35(4): 95~100 (in Chinese with English abstract).
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics-the model [ J ]. Tectonophysics, 75: 35~162.
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, Sun Y, Zhou D W and Guo A L. 1996. The orogenic process and tectonic evolution in the Qinling Oroget [ J ]. Science in China (Series D), 26: 193~200 (in Chinese).
- Zhang J Y and Wang Z K. 2003. The ore exploration and genesis of Shuidongling zinc-copper deposit in Nanzhao, Henan Province [ J ]. Geological Bulletin of China, 22(Supp.): 75~80 (in Chinese with English abstract).
- 姜常义, 苏生瑞, 张振飞, 杨志华, 赵太平. 1995. 对二郎坪群火神庙组物质组成的质疑与再认识 [ J ]. 西安地质学院学报, 17(2): 1~5.
- 金守文. 1994. 二郎坪群两点商榷 [ J ]. 河南地质, 12(1): 36~40.
- 李亚林, 张国伟, 宋传中. 1998. 东秦岭二郎坪弧后盆地双向式俯冲特征 [ J ]. 高校地质学报, 4(3): 286~293.
- 彭翼, 燕长海, 万守全, 马宏卫, 赵荣军. 2005. 东秦岭刘山岩块状硫化物矿床地质地球化学特征 [ J ]. 地质论评, 51(5): 550~557.
- 宋峰. 2000. 东秦岭二郎坪群蛇绿岩中的火山成因块状硫化物矿床 [ J ]. 华南地质与矿产, 1: 63~68.
- 宋学信, 张景凯, 徐庆生, 曹亚文. 1993. 白银厂铜多金属矿田微量元素和稀土元素地球化学研究 [ J ]. 矿床地质, 12(4): 308~317.
- 孙勇, 卢欣祥, 韩松, 张国伟, 杨司祥. 1996. 北秦早古生代二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学 [ J ]. 中国科学(D辑), 39(增刊): 50~59.
- 王登红, 陈毓川. 2001. 与海相火山作用有关的铁-铜-铅-锌矿床成矿系列类型及成因初探 [ J ]. 矿床地质, 20(2): 112~118.
- 王学仁, 华洪, 孙勇. 1995. 河南西峡湾潭地区二郎坪群微体化石研究 [ J ]. 西北大学学报(自然科学版), 25(4): 353~358.
- 韦昌山, 杨振强, 付建明, 魏君奇, 张业明. 2004. 河南桐柏刘山岩铜锌矿床成因及古大地构造环境 [ J ]. 地质科技情报, 23(2): 25~30.
- 韦昌山, 杨振强, 战明国. 2002. 河南刘山岩铜锌型块状硫化物矿床流体包裹体研究 [ J ]. 华南地质与矿产, 2: 47~53.
- 燕长海, 彭翼, 刘国印, 冯胜斌, 赵荣军. 2007. 东秦岭二郎坪群热水沉积硅质岩的地球化学特征 [ J ]. 地质通报, 26(5): 560~566.
- 杨荣勇, 徐兆文, 仁启江, 郭继春, 陆现彩. 1996. 河南南召水洞岭铜矿床的类型及成矿条件 [ J ]. 中山大学学报(自然科学版), 35(4): 95~100.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 孙勇, 周鼎武, 郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征 [ J ]. 中国科学(D辑), 26: 193~200.
- 张建勇, 王志坤. 2003. 河南省南召县水洞岭铜铅锌多金属矿床成因及找矿方向 [ J ]. 地质通报, 22(增刊): 75~80.

#### 附中文参考文献

- 陈建立. 2004. 二郎坪群海相火山岩中块状硫化物矿床地质特征及其找矿方向 [ J ]. 地质与勘探, 6: 38~41.
- 高联达, 王宗起, 王涛, 闰全人, 闰臻, 李秋根. 2006. 河南西峡地区二郎坪群火神庙组中发现泥盆纪孢子化石 [ J ]. 地质通报, 25(11): 1287~1294.
- 葛军. 2003. 水洞岭铜锌矿床硫、铅同位素地球化学特征及成矿机理探讨 [ J ]. 化工矿产地质, 25(4): 213~218.
- 侯增谦, 韩发, 夏林圻, 张绮玲, 曲晓明, 李振清, 别风雷, 王立全, 余金杰, 唐绍华. 2003. 现代与古代海底热水成矿作用 [ M ]. 北京: 地质出版社. 1~423.
- 胡受奚, 林潜龙. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿 [ M ]. 南京: 南京大学出版社.