

中国东南沿海 火山地质与矿产论文集

第 2 辑

主编	陆志刚	陶奎元
编委	李文达	李兆华
	彭维增	吴 岩
	毛建仁	郑际林
	薛怀民	

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 提 要

本文集共收集了 23 篇论文。这些论文有的概述了我国东南沿海与火山活动有关的金、银、铅、锌、锡、铜等金属矿床及高岭土、沸石、膨润土、地开石、叶蜡石等非金属矿床的地质特征、成矿条件，有的详细描述了这些矿床中某一矿区的地质特征及成矿条件，还有的介绍了非金属矿产的应用与开发情况及其前景。

中国东南沿海
火山地质与矿产论文集
第 2 辑

陆志刚 陶奎元 主编

责任编辑：江晓庆

地质出版社 出版发行
(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷
(北京海淀区学院路 29 号)
新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：16.625 铜版图：3 页 字数：392000

1992 年 8 月北京第一版·1992 年 8 月北京第一次印刷

印数：1—630 册 定价：11.00 元

ISBN 7-116-01001-7/P·859

序

中国东南沿海地区是重要的中生代陆相火山岩发育的地带之一。它对我国以至东亚的大陆地壳发育史和成矿特点的研究，以及对找矿实践具有重要的意义。

陆相火山岩的岩性特征、层序和岩相的鉴定，喷发机制和火山构造的了解与恢复重建，不同地段的火山岩系之间的对比和时代的划分等，都是比较复杂和困难的问题，加上我国东南沿海一带中生代火山活动前的大地构造背景、喷发期间各地区的基底构造特点、同时期的火山岩与侵入岩浆之间的关系以及火山活动期间及其后的构造变动也都比较复杂，这些就构成了这一个火山岩带的特殊性。如果对这些情况没有较多的研究和深入的了解，对于进一步探讨大地构造发展过程、岩浆来源及演化、矿产形成的地质背景和分布规律、开辟矿产资源新领域以及和国内外类似时代和地质环境的火山岩区作对比等较高层次的理论问题探讨就缺少必要的实际资料和符合实际的新思路。

本文集汇编的 46 篇论文包括了地矿部“七五”重点科技攻关项目“中国东南部火山地质与矿产”的三级专题研究成果的大部分，反映了由南京地质矿产研究所负责组织的地勘、科研、教学等 11 个部门 250 多位科技工作者们在前人工作的基础上经过辛勤劳动所取得的新成绩；在火山地质、基底构造、金属矿产和非金属矿产等方面提出了不少新发现的事实、新的思路，进行了新的对比与理论探讨。这无疑地把中国东南沿海中生代陆相火山岩的研究向前推进了一步。

科学研究并无止境，认识自然是一个不断深入的过程，理论需要在争鸣中发展。希望能在“八五”期间及其以后，我国东南沿海的中生代火山岩地质及矿产的研究不断取得新进展，为我国地质科学迈向世界先进地位，为开辟我国矿产资源的前景，作出更大的贡献。

张炳熹

一九九一年三月

前 言

1986年，南京地质矿产研究所接受了地质矿产部“七五”重点科技攻关项目“中国东南沿海火山地质与矿产”的科研任务后，组织浙、闽、粤三省地质矿产局、中国地质科学院有关研究所以及有关地质院校等11个部门共250余名科技人员，围绕项目总任务，密切配合地质矿产部“东南沿海重点片”的地质找矿工作，实施了地质勘查、教学和科研三结合的联合攻关。项目历时5年，各专题按计划圆满完成研究任务，提交研究报告共56份。

1990年4月，在地质矿产部科技司及地科院主持下，由七省地矿局及四所高等院校的专家组成的评审委员会对三级专题报告进行了评审验收，充分肯定了所取得的丰硕成果并给予了较高评价。

这些报告积累的丰富资料无疑是二级课题报告及项目总报告的坚实基础。然而，由于种种原因，它们不可能在课题报告及总报告中被全面反映。为了使这一批由各专题组付出辛勤劳动而获得的成果及时推广和有助于学术交流，项目组织了部分专题组的专家学者，按所完成的科研工作撰写专题论文，并在此基础上整理汇编成论文集。第一批论文以南京地质矿产研究所刊形式已经公开出版，这一批包括45篇论文，按其内容分为四组：火山地质；基底构造地质；金属矿产；非金属矿产。这批论文分成两卷出版，本卷为其中的第三组和第四组论文。

在第一组论文中，作者们运用火山活动旋回、岩相与火山构造一体化的研究思路。在火山构造范围内建立基准剖面并作系统年代学研究，运用综合性标志对组成各火山构造的地层作区域对比，提出了相对合理的全区性火山喷发-侵入作用时间表；采用遥感技术及在重点地区进行火山构造-岩相制图，并结合地球物理及地球化学方法，阐明全区古火山总貌与火山构造格局及各类火山构造的控矿意义；确定了全区火山岩系列早期为高钾钙碱性系列并具向酸性系列过渡的特征及晚期以玄武岩-流纹岩双峰式火山岩为特色并具向碱性系列过渡的特征，并称之为“中国东南大陆型钙碱性系列”（它与岛弧钙碱性系列构成两个端员，而活动大陆边缘的安第斯型钙碱性系列为其中间类型）。第二组论文通过对基底变质杂岩、断裂变质带的研究，结合地球物理研究，讨论了中国东南大陆（沿海）火山带的基底构造格局与中深部构造背景；对区内重要断裂变质带的详细研究中，弄清了原岩时代、断裂性质、变质带类型与发育历史。第三组论文集中论述分布于浙、闽、粤火山岩区的与火山-侵入杂岩及基底变质岩有关的不同成因类型的Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn等矿床的地质特征和成矿控制因素。第四组论文反映本区占优势的与酸性火山玻璃岩及次生石英岩有关的高岭土、沸石、膨润土、叶腊石等非金属矿床的地质特征及某些非金属矿的开发应用情况和其应用前景。总之，可以认为此论文集在一定程度上是本区系统性地质科研成果的一个缩影。

本论文集是在“中国东南沿海火山地质与矿产”项目的资助下，在地质出版社的支持下，在张炳熹教授的鼓励下才得以公开出版。论文集由项目负责人陆志刚、陶奎元主编，参加编审工作的有李文达、李兆华、彭维震、吴岩、毛建仁、郑济林、薛怀民；倪若水、王文斌、谢翼克、张智亮审阅了部分论文；图件清绘工作由臧玉英、庞文吉完成。由于编撰时间短促，难免有遗漏、错误之处，敬请读者批评指正。

目 录

中国东南沿海金(银)矿床成矿物理化学特征	朱韶华 王文斌 周汉民	(1)
浙东沿海中生代火山岩区金、银和含银(金)铅锌矿成矿规律和成矿模式	胡永和 李长江 徐步台 蒋叙良 许峰林 刘抗娟	(12)
浙东括苍山地区铅锌银金矿床的成矿控制因素及成矿特征	王吉如 章迈皋 蔡尚中	(33)
浙江省绍兴—龙泉一带金矿成矿规律研究	郑人来周乐尧 韩梦合 吴明涵 王华田 袁旭音	(45)
浙江八宝山金矿床地质特征及其成因	王华田 袁旭音	(68)
福建上杭紫金山金铜矿床主要地质特征和成因	王文斌 周汉民陈景河李子林	(83)
福建省社头、南湖金矿点微量元素组合特征及评价	黄家厅 洪尧萍 杨良彩 黄培元 曾元福	(92)
福建平和—安溪地区中生代火山-侵入杂岩区银铅锌、锡、金成矿地质特征 和找矿前景	黄家厅 洪尧萍 杨良彩 曾元福 黄培元	(97)
福建平和—安溪地区火山-侵入杂岩区金的区域地球化学特征	黄家厅 洪尧萍 杨良彩曾元福 黄培元	(107)
福建云霄-平和地区银(金)-锡-铅-锌矿床地球化学及成因的初步研究	朱元恺 周涛发	(114)
粤东厚婆坳锡-银-(金)-铅-锌矿床的成矿地球化学研究	岳书仓 徐晓春 靳 琪	(126)
粤东一种潜在的锡矿类型	戚建中 黄 宾	(138)
广东陆丰塌山斑岩锡矿床矿物包裹体研究	马秀娟	(145)
浙东南主要非金属矿床的地质特征、控矿条件和成矿机理	杨文宗 彭秀文 杨双喜 张勇健	(153)
福建省长乐—东际一带与次生石英岩有关的非金属矿床的成矿地质特征及成 矿机理	兰天佑 岳书仓 周加桂	(164)
广东大坡高岭土矿的矿物组成及作为纸张涂布原料的利用研究	周国平 汤 驥 白名岗	(174)
广东茂名高岭土矿床成矿地质条件及矿石涂布性能特征	林毓川 周国平	(183)
福建省风化型高岭土矿地质特征、矿石评价及工业应用	叶寿生 林培元 许韩榕 林雄达	(191)
沸石-膨润土矿床形成条件的实验研究	郭吉保	(203)
中国东南大陆非金属矿产资源发展战略	张智亮	(214)
中国东南沿海叶蜡石矿产资源及其应用前景	张智亮 董必清	(224)
地开石(高岭石)、叶蜡石、伊利石(绢云母)矿开发应用前景研究	虞振声	(232)
浙江天台宝华山地开石-叶蜡石矿床地质特征及其成因	姜耀辉 陈鹤年 巫全淮 张耀夫	(242)
图版说明及图版		(258)

CONTENTS

- The Physicochemical Characteristics of the Formation of Gold-Silver Deposits in the Coastal Region of Southeastern China
.....*Zhu Shaohua, Wang Wenbin and Zhou Hanming* (1)
- Metallogenesis and Ore-forming Model of Gold-Silver and Ag-and/or Au-bearing Lead-zinc Deposits in the Mesozoic Volcanic Terrain of the Coastal Margin of the Eastern Zhejiang
.....*Hu Yonghe, Li Changjiang, Xu Butai, Jiang Xuliang, Xu Fenglin and Liu Kangjuan* (12)
- Characteristics and Controlling Factors of Pb-Zn-Ag-Au Mineralization in Kuocangshan, Eastern Zhejiang
.....*Wang Jiru, Zhang Maigao and Cai Shangzhong* (33)
- Metallogenesis of Gold Deposits in Shaoxing-Longquan Mineralized Belt, Zhejiang Province
.....*Zheng Renlai, Zhou Leyao, Han Menghe, Wu Minghan, Wang Huatian and Yuan Xuyin* (45)
- Geologic Features and Genesis of Babaoshan Gold Deposit, Zhejiang Province.....*Wang Huatian and Yuan Xuyin* (68)
- The Main Features of Geology and Genesis of Zijingshan Gold-Copper Deposit in Fujian Province
.....*Wang Wenbin, Zhou Hanming, Chen Jinhe and Li Zilin* (83)
- Characteristics and Evaluation of Trace Element Associations in Shetou and Nanhu Au-Mineralized Areas, Fujian
.....*Huang Jiating, Hong Yaoping, Yang Liangcai, Huang Peiyuan and Zeng Yuanfu* (92)
- The Characteristics of Ag-Pb-Zn, Sn, Au Mineralization in Mesozoic Volcanic-Intrusive Complex and Their Perspectives in Pinghe-Anxi Region, Fujian Province
.....*Huang Jiating, Hong Yaoping, Yang Liangcai, Zeng Yuanfu and Huang Peiyuan* (97)
- The Characteristics of Regional Geochemistry of Gold in the Region of Volcanic-Intrusive Complex in Pinghe-Anxi Region, Fujian
.....*Huang Jiating, Hong Yaoping, Yang Liangcai, Zeng Yuanfu and Huang Peiyuan* (107)
- Preliminary Study on Geochemistry and Origin of Silver-(Gold)-

Tin-Lead-Zinc Deposits in Yunxiao—Pinghe Region, Fujian	<i>Zhu Yuankai and Zhou Taofa</i> (114)
Study on Metallogenic Geochemistry of Tin-Silver-(Gold)-Lead-Zinc Deposits in Houpoao, Eastern Guangdong	<i>Yue Shucang, Xu Xiaochun and Jing Qi</i> (126)
A Potential Type of Tin Deposit in East Guangdong	<i>Qi Jianzhong and Huang Bin</i> (138)
A Study on Fluid Inclusions of Minerals of Tashan Porphyry Tin Deposit in Lufeng, Eastern Guangdong Province.....	<i>Ma Xiujuan</i> (145)
Geological Characteristics, Controlling Factors and Formation Mecha- nism of Main Non-Metal Mineral Deposits in Southeastern Zhejiang	<i>Yang Wenzong, Peng Xiwen, Yang Shuangxi and Zhang Yongjian</i> (153)
Geological Features and Mineralization Mechanism of Non-Metal Mineral Deposits Related to Secondary Quartzite in Changle— Dongji Region, Fujian.....	<i>Lan Tianyou, Yue Shucang and Zhou Jiagui</i> (164)
Study on the Mineral Composition and the Utilization as Paper Coating Material of Dapo Kaolin Deposit, Guangdong Province	<i>Zhou Guoping, Tang Shuang and Bai Mingang</i> (174)
Geological Conditions of Mineralization and Characteristics of Paper Coating of Kaolin Ore of Maoming Kaolin Deposit, Guangdong	<i>Lin Yuchuan and Zhou Guoping</i> (183)
Geologic Features, Ore Evaluation and Industrial application of the Weathering Type Kaolin Deposits in Fujian	<i>Ye Shousheng, Lin Peiyuan, Xu Hanrong and Lin Xiongda</i> (191)
An Experimental Study on the Formation Conditions of Zeolite- Bentonite Deposits.....	<i>Guo Jibao</i> (203)
Strategic Study for Development of Non-Metal Mineral Resources in the Southeastern Continent of China.....	<i>Zhang Zhiliang</i> (214)
Pyrophyllite Mineral Resource along the Southeastern Coast of China and Its Applied Prospects.....	<i>Zhang Zhiliang and Dong Biqing</i> (224)
Study on the Application Prospect of Dikite (Kaolinite), Prophyllite and Illite (Sericite) Ores.....	<i>Yu Zhensheng</i> (232)
Geological Characteristics and Genesis of Baohuashan Dickite-Pyro- phyllite Deposit, Tiantai, Zhejiang	<i>Jiang Yaohui, Chen Henian, Wu Quanhui and Zhang Yaofu</i> (242)
Plates and Their Explanations	(258)

中国东南沿海金（银）矿床 成矿物理化学特征

朱韶华 王文斌 周汉民^①

（南京地质矿产研究所）

一、区域地质及金（银）矿床概况

中国东南沿海中生代岩浆活动强烈，形成了广泛分布的陆相火山岩。该地区为太平洋西岸东亚火山带的一部分。火山岩呈北东-南西向展布，属钙碱系列，岩性主要为流纹岩，次为英安岩、安山岩及相应次火山岩，并分早、晚两期，四个旋回。

区内金（银）矿空间上平行海岸线分东、西两带展布。东矿带（丽水-政和-大埔断裂以东）为大面积火山岩覆盖，仅个别地区有前中生界呈“构造窗”出露。该带以银（铅锌）矿为主，次为金矿化。西矿带（丽水-政和-大埔断裂以西）为一隆起区，出露有较多的前寒武纪变质岩系。该带以金矿化为主。

根据成矿地质特征和成矿作用，区内金（银）矿床可分为变质（含混合岩化）热液型（中岙、璜山等）、岩浆-热液型（长岭、北山等）、火山热液型（紫金山、庄山、罗桥、拔茅、大岭口等）和地热水溶滤型（冶岭头等）四类。

对区内地层的含矿性及对矿石铅、硫、氢、氧同位素的研究表明区内金（银）矿床成矿物质具多源性，即金、银等元素主要来自前寒武纪地层或古大陆壳，成矿流体主要是变质水、大气降水和混合水。

二、成矿流体成分特征

1. 化学成分

区内几个主要金（银）矿床主成矿阶段的包裹体成分见表1。为了减少系统误差和便于比较，表中液相成分是按下述公式统一计算获得的：

$$X = (x / \Sigma m) \times 100\%$$

X ：溶液中某一离子占溶液中阴阳离子之和的重量百分数；

x ：实测该离子数值或进行过处理的包体溶液真实数值；

Σm ：实测的包体溶液中各阴阳离子数值之和（即包裹体溶质的总量）。

图1为包裹体液相成分阳离子 $K^+ - Na^+ - Mg^{2+} + Fe^{3+} + Ca^{2+}$ 三角图解和阴离子组分

^① 本文根据“七五”东火”II-1专题工作资料编写而成。参加地质工作的尚有广东756队的罗炳校，福建地质研究所的刘文章，浙江地质研究所的胡永和、徐步台、李长江等同志。

表 1 中国东南沿海金(银)矿床主成矿阶段成矿流体成分
 Table 1 Compositions of ore-forming fluids of the main mineralizing stage of Au-Ag deposits in the coastal area of southeastern China

矿床类型	矿床(点)名称	成矿阶段	测试样品数 矿物	液相成分(wt%) ^①										气相成分				
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₂ ml/100g	CO ml/100g	CH ₄ ml/100g	H ₂ O mg/100g		
火山热液型	紫金山	石英-金铜硫化物	石英 3	10.46	1.52	4.86	0.79	0.21	47.92	2.37	0.80	31.03	5.29	14.05	—	58.70		
	罗桥	多金属硫化物-金银	石英 1	9.36	1.62	4.99	1.00	—	65.04	1.87	0.25	15.86	4.94	57.91	—	159.78		
	八宝山	石英-硫化物-金银	石英 1	15.27	1.26	1.93	1.16	0.19	58.26	1.64	0.48	19.81	6.03	42.07	1.28	154.00		
	大岭口	石英-硫化物	石英 1	10.05	0.35	14.73	0.58	—	26.94	3.97	—	42.14	9.46	51.76	—	70.51		
	双桂	金-铜铁矿	石英 3	2.87	1.77	11.71	0.68	—	64.72	7.46	2.27	8.15	6.30	15.92	0.14	未测		
	治岭头	早期石英-黄铁矿	石英 11	5.34	2.97	3.46	3.86	3.83	32.16	0.88	10.67	36.82	18.20	150.23	2.64	264.02		
地热水溶滤型	早期石英-多金属硫化物	石英 10	7.52	10.16	1.29	1.83	0.98	29.37	0.49	9.80	38.52	27.19	5.55	2.51	229.61			
	晚期石英-多金属硫化物	石英 1	3.50	1.80	12.61	0.64	—	52.97	2.22	4.03	22.25	6.67	7.49	1.52	174.47			
	石英-硫化物	石英 1	8.23	3.47	3.29	3.11	0.91	45.70	6.95	1.10	1.49	8.08	11.83	—	180.22			
变质(混合岩化)热液型	中岳	石英-黄铁矿	石英 3	0.5	6.01	0.99	2.85	0.74	2.42	44.58	41.23	5.60	—	0.97	未测			
	横山	石英-黄铁矿	石英 3	5.67	11.53	0.85	6.62	1.51	17.77	36.48	18.71	9.49	69.0	0.42	未测			

① 各成分占溶质总重的重量百分比;

② 治岭头矿区气相成分的样品中早期石英-黄铁矿阶段的占2个,早期石英-多金属硫化物阶段的占1个,晚期石英-多金属硫化物阶段的占1个。

$\text{HCO}_3^- - \text{F}^- + \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 三角图解。

2. 化学成分的基本特征

表 1 和图 1 基本反应了矿床主成矿阶段成矿流体的基本特征。由此可知区内金（银）矿床主成矿阶段成矿溶液按其各组分含量的多寡，明显地分为三种类型，即图中的 A、B、C 三个区域，它们分别与区内三种不同的金矿成因类型相对应。

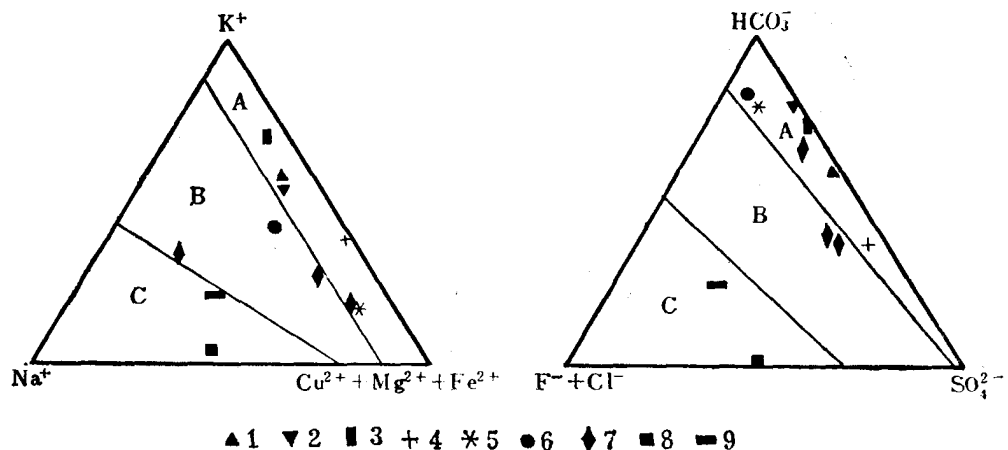


图 1 流体包裹体液相成分图解

Fig. 1 Diagram showing the liquid compositions in fluid inclusions

1—紫金山金铜矿；2—罗桥金矿；3—八宝山金矿；4—大岭口银铅锌矿；5—双桂金矿化点；6—沙田金矿化点；7—治岭头金银矿；8—中香金矿；9—璜山金矿

A 区以火山热液型矿床为主。主成矿阶段成矿溶液中阳离子的特征是高 K^+ 、 Ca^{2+} ，低 Na^+ ；阴离子则富 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} ，贫 F^- 、 Cl^- 。气相成分中 CO 含量远远超过 CO_2 含量。它们间的相互关系可表达为： $\text{K}^+ \approx \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$ ， $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \gg \text{F}^- + \text{Cl}^-$ ， $\text{CH}_4 \approx 0$ 。成矿流体类型为 $\text{K}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ 型。

C 区以变质（含混合岩化）热液型矿床为主。主成矿阶段的成矿溶液中阳离子以 Na^+ 和 Mg^{2+} 为主，阴离子则以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主；气相成分中出现还原性气体甲烷（ CH_4 ）。各组份间的关系为： $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} \gg \text{K}^+$ ， $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{F}^-$ 。成矿流体类型为 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 型。成矿溶液成分与 A 区相比存在明显差异。

B 区为过渡区，矿床类型以地热水溶滤型为主。成矿流体成分由于受围岩成分变化的影响较大，总体上介于上述 A 区和 B 区间。各组份间的关系一般为 $\text{K}^+ + \text{Na}^+ > \text{Fe}^{3+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ， $\text{HCO}_3^- \approx \text{SO}_4^{2-} > \text{F}^- + \text{Cl}^-$ ，与火山热液型矿床有某些相似之处。

3. 成矿溶液盐度

盐度的获得有多种方法，总体可分实测（用冰点降压法或子晶消失温度实测）和计算（根据包体阳离子含量计算得到的包体总盐度进行）两种。本区金（银）矿床主成矿阶段成矿溶液盐度见表 2。由表 2 可知：

（1）主成矿阶段成矿溶液的盐度除个别样品外均小于 10 wt%，说明成矿溶液属于低盐度的成矿溶液。

（2）火山热液型矿床主成矿阶段成矿溶液的盐度在 0.1—14.41 wt% 之间，多数在

表 2 中国东南沿海金(银)矿床主成矿阶段成矿溶液盐度
 Table 2 Salinities of ore-forming fluids of the Main mineralizing stage of gold-silver deposits in the coastal area of southeastern China

类型	矿床(点)名称	成矿阶段	盐度 ^①	方法	
火山热液型	紫金山	石英-金铜-硫化物	第一组	13.77—14.41	实测
			第二组	9.47—9.73	
			第三组	4.94—5.09	
	罗桥	多金属硫化物-金银	2.00	计算	
	八宝山	石英-硫化物-金银	5.37	计算	
	大岭口	Ⅱ期石英-多金属硫化物 Ⅲ期多金属硫化物-金银	9.6—11.2	实测 (刘慧芳, 1988)	
			3.1—4.2		
	双桂	金-镜铁矿 金-石英-硫化物 石英-碳酸盐	0.4—2.7	实测	
0.2—1.9					
0.1—0.9					
傲岗	Ⅱ期多金属硫化物-金银 Ⅲ期石英-硫化物-碳酸盐	7.4—9.1	实测 (刘慧芳, 1988)		
		3.1—3.7			
五部	Ⅱ期多金属硫化物-金银 Ⅲ期石英-硫化物-碳酸盐	8.4—10.9			
		2.9—4.0			
上建	石英-黄铁矿	9.73—9.98	实测		
地热水溶滤型	冶岭头	早期石英-黄铁矿	2.75—6.87	计算	
		早期石英-多金属硫化物	3.87		
		晚期石英-多金属硫化物	2.58		
沙田	石英-黄铁矿-电气石	8.81—8.67	实测		
变质(混合岩化)热液型	中岙	石英-黄铁矿-黄铜矿	3.36	计算 (吴明函, 1988)	
	璜山	石英-黄铁矿	5.28		
		石英-黄铁矿-黄铜矿	2.06		

① 实测盐度单位为 wt%NaCl 计算盐度单位为 wt%。

1—10.0 wt% 间, 平均 6.01 wt% ; 变质(混合岩化)热液型矿床成矿溶液盐度在 5.28—2.06 wt% 之间, 平均 3.57 wt% ; 地热水溶滤型矿床成矿溶液盐度在 2.58—8.81 wt% 之间, 平均 5.59 wt% 。虽然各种类型矿床成矿溶液盐度的均值差别不大, 但单个矿床间成矿溶液盐度值的差别仍较大, 这与成矿流体的成分、矿质来源、成矿地质构造环境等因素有直接或间接的联系。如紫金山金铜矿床的形成与次火山岩相英安玢岩和隐爆角砾岩相的隐爆角砾岩有关。成矿溶液为混合水, 早期以岩浆水为主, 晚期有大气降水混入。由于矿床是在一种半封闭的地质构造环境中形成的, 因此成矿溶液盐度较高。双桂金矿的成矿流体主要是大气降水。矿床是在一种浅成开放到半开放的地质构造环境中生成, 因而成矿溶液盐度低。

(3) 成矿溶液盐度从成矿早阶段到成矿晚阶段总体呈下降趋势。如大岭口银铅锌矿成矿早阶段为 9.6—11.2 wt% NaCl, 晚阶段为 3.1—4.2 wt% NaCl; 紫金山金矿早阶段为 13.77—14.41 wt% NaCl, 晚阶段为 4.94—5.09 wt% NaCl。这种趋势与在成矿过程

中成矿流体成分及成矿物质的变化有关。从成矿早阶段到成矿晚阶段，由于成矿物质在成矿溶液中的浓度逐渐下降，矿化从封闭、半封闭的地质构造环境过渡到半开放、开放的环境，所以成矿溶液的盐度也逐渐下降。

三、成矿物化参数特征

1. 成矿温度

对区内金（银）矿床的成矿温度，前人用各种方法做了大量工作，这些方法主要有均一法、爆裂法、硫同位素对地质温度计法、各种矿物地质温度计法及传统地质法等。本次主要工作方法是均一法对矿石中沸腾相的包体进行测温并作压力校正。上述各方面资料综合后的结果即表 3。由表 3 可知：

表 3 中国东南沿海部分金（银）矿床的成矿温度

Table 3 Mineralization temperatures of gold-silver deposits in the coastal area of southeastern China

矿床类型	矿床(点)名称	成矿阶段	成矿温度(°C)	矿床类型	矿床(点)名称	成矿阶段	成矿温度(°C)
火山热液型	紫金山	石英-金铜-硫化物	130—300	火山热液型	双桂	金-镜铁矿	210—330
	罗桥	石英-多金属硫化物	280—400			金-石英-硫化物	220—250
		金-多金属硫化物	280—150		石英-碳酸盐	295—155	
		碳酸盐化	110—150		仙岩	次生石英岩	325—355
	八宝山	石英-毒砂-黄铁矿	273—355	明矾石-黄铁矿		200—300	
		石英-冰长石-硫化物-金银	207—280	地热水溶滤型	冶岭头	早期绢云母-石英	400
		石英-多金属硫化物-金银	160—219			中期金银-硫化物-石英	375—341
	石英-碳酸盐	75—98	晚期黄铁矿-石英-碳酸盐			300—210	
	变质(混合岩化)热液型	庄山	石英-黄铁矿-金银	180—300	中岙	块状石英脉	316
		银坑	块状多金属硫化物	220—300		石英-黄铁矿	266
		千官岭	石英-黄铁矿-金银	209—236	铁白云石-黄铜矿	203	
						璜山	石英
石英-黄铁矿							222—280
大岭口	硅化-泥化蚀变阶段	304	平水	石英-黄铁矿-金银	130—240		
	石英-硫化物	337—200			112—168		
	菱锰矿	337—295			266		
	石英-萤石	295—284					
	金银玉髓	102—84					

(1) 研究区内金（银）矿床的形成温度在 75—400 °C 范围内。其中火山热液型矿床的形成温度为 355—75 °C，变质（含混合岩化）热液型矿床的为 350—112 °C，地热水溶滤型矿床的为 400—210 °C。各类型矿床的形成温度相差不大，反映了区内金沉淀的稳定温度区间是 100—400 °C。

(2) 金的主成矿期的成矿温度基本在 150—350 °C 范围内，不受矿床成因类型的影响。

(3) 不同阶段的成矿作用有其不同的温度范围。一般说来，从成矿早阶段到晚阶

段,成矿温度呈下降趋势。如璜山金矿床成矿早期的块状石英脉阶段的成矿温度为 350—260℃,石英-黄铁矿阶段的为 280—222℃,碳酸盐-黄铜矿阶段的为 240—130℃,石英-碳酸盐阶段的为 168—112℃。每一成矿阶段都有一个温度从高到低的过程,而下一个成矿阶段的成矿温度高值均高于前一个成矿阶段的成矿温度低值,但总体上又呈下降趋势。这种波动性是本区金(银)矿床成矿温度的重要特征。

(4) 矿床的成矿温度在时间上及空间上都有规律性。在同一成矿阶段内,从热液源区向外围成矿温度逐渐下降。八宝山矿区各成矿阶段石英包裹体的均一温度具有由深部向地表、从南东到北西,从矿体向外围逐渐降低的空间变化规律,说明含矿热液可能来自矿区中心之深部(吴明函,1987)。对大岭口 I 号矿体,可以早期石英、闪锌矿爆裂法起始温度为依据,在纵投影图上圈出等温曲线。曲线形态为一向深部敞开的半截同心椭圆,椭圆的核心和敞口部分与老大岭口珍珠斑岩、流纹斑岩侵入体相吻合,可能指示着热源的位置(封益城,1984)。

2. 成矿压力

成矿压力研究有多种方法,主要分两种:一种是传统地质法,另一种是包裹体研究法。后者是通过研究矿物中被俘获的成矿流体的包裹体,然后按包裹体中各类体系的相平衡来确定压力的一种方法。我们主要采用后一种方法,结合前者来研究区内主要金(银)矿床的成矿压力。

用矿物包裹体确定压力,可根据包裹体的不同类型、性质,采用不同的方法估算。主要方法有 $H_2O-NaCl-CO_2$ 体系亨利系数-图解计算法、盐水包体测压法(此法在确定所测包体是沸腾包体时,所测压力才可看作成矿压力)等。我们认为以往常用的 H_2O-CO_2 体系二氧化碳浓度-温度-压力图解法过于简单,与成矿时错综复杂的地质环境差距较大,不宜采用。

区内主要金(银)矿床成矿压力研究结果见表 4。由表 4 可知:

(1) 本区金(银)矿床主成矿阶段成矿压力总体较低,变化范围为 5—64 MPa,一般为 10—50 MPa。按压力与静岩深度的关系(30 MPa/km)来推测,相应成矿深度应为 170—2130 m,一般应在 330—1670 m 范围内。相应的矿床属浅成热液矿床。

(2) 从成矿类型来看,火山热液型矿床主成矿阶段成矿压力一般较低,压力值在 10—30 MPa 范围内,相应成矿深度在 330—1000 m 之间;变质(含混合岩化)热液型矿床的压力值一般为 25—45 MPa,相应成矿深度为 830—1500 m;地热水溶滤型矿床压力值较高,约为 40—60 MPa,相应成矿深度也较深,为 1330—2000 m。

(3) 就单个矿床而言,从成矿早阶段到成矿晚阶段成矿压力总体呈下降趋势。如双桂金矿早期金-镜铁矿阶段成矿压力为 23.0—31.0 MPa,金-石英-硫化物阶段为 13.2—14.2 MPa;成矿作用末期的石英-碳酸盐阶段的成矿压力仅 12.2—15.2 MPa,相应的成矿深度也随之变小。

3. 矿液硫逸度和氧逸度

(1) 硫逸度

硫逸度可用多种研究手段获取。我们主要根据各个矿区的实际资料,用适当方法求得。

对双桂金矿,采用银金矿中的 x_{Ag}^{*1} 和温度、硫逸度的关系式求得。Barton 在对 Ag-Au-S 系统的研究中,指出当辉银矿与银金矿共生时,银金矿中银的摩尔分数 (x_{Ag}^{*1}) 与

表 4 中国东南沿海金(银)矿床成矿压力

Table 4 Mineralization pressures of gold-silver deposits in the coastal area of southeastern China

矿床类型	矿床名称	成矿阶段	成矿压力 (MPa)	方 法
火 山 热 液 型	紫金山	石英-金铜-硫化物	12—27	H ₂ O-NaCl-CO ₂ 体系亨利系数图解-计算法
	罗桥	金-多金属硫化物	17.4	
	八宝山	石英-硫化物-金银	18.8—21.3	
	双桂	金-镜铁矿 金-石英-硫化物 石英-碳酸盐	23.0—31.0 13.2—14.2 12.2—15.2	NaCl-H ₂ O体系 包裹体测压法
	大岭口	石英-多金属硫化物	5.0—14.6	传统地质法(芮行健)、NaCl-H ₂ O体系沸 腾包裹体曲线法(岳书仓)
	傲岗	II-III期矿化	6.0—10.5	NaCl-H ₂ O体系沸腾曲线法、NaCl-H ₂ O-CO ₂ 体系C-P-T图解(岳书仓)
地 热 水 溶 滤 型	冶 岭 头	早期石英-黄铁矿 早期石英-多金属硫化物 晚期石英-多金属硫化物	58.5—64.1 50.6 54.3	H ₂ O-NaCl-CO ₂ 体系亨利系数图解-计算法
	沙田	石英-黄铁矿-电气石	36.5	NaCl-H ₂ O体系包裹体测压法
变 质 (混 合 岩 化) 热 液 型	横山	石英-黄铁矿	46.5	NaCl-H ₂ O体系P-T图解法 (吴明函, 1988)
		石英-黄铁矿-黄铜矿	28.5	
	中岙	石英-黄铁矿-黄铜矿	25.5	

温度、硫逸度的关系为：

$$\lg f_{s_2} = \frac{1}{4.576 \times T} [-41980 + 16.52 \times T - 18.296 \times T \times \lg x_{A_2}^{\circ} + 4 \times (1 - x_{A_2}^{\circ})^2] \times [5650 - 1600 \times (1 - x_{A_2}^{\circ}) - 1.375 \times T]$$

对于罗桥和紫金山金铜矿，主要通过特定矿物共生组合的 $\lg f_{s_2}$ -T 关系图获得矿液的硫逸度。该图由刘慧芳和岳书仓据 Barnes(1979)、Craig(1973)、Robie(1978)、Naumov(1974) 等提供的数据，按物理化学的有关原理计算绘制。

另外，根据闪锌矿中 FeS 含量用 Scott(1971) 的公式亦可获得成矿流体的硫逸度。

由表 5 可知，区内金(银)矿床主成矿阶段成矿溶液的硫逸度在 -6—-19 之间，说明成矿环境属于一种强还原状态下的贫硫环境；另外，从成矿早阶段到成矿晚阶段，硫逸度 ($\lg f_{s_2}$) 随温度的下降而下降。八宝山矿区的硫逸度从石英-长石-硫化物-金银阶段的 -13.62—-14.06 下降到晚期石英-多金属硫化物-金银阶段的 -15.84，冶岭头金矿的硫逸度也从早期的 -8.69—-9.75 下降到晚期的 -9.50—-10.21，说明成矿溶液中硫的浓度随着成矿作用的进行而降低，成矿阶段也相应从硫化物阶段过渡到贫硫化物阶段。

(2) 氧逸度

氧逸度 (f_{O_2}) 与硫逸度 (f_{s_2}) 一样，也是影响矿物成分、矿物组合及矿物生成顺序的重要物理化学参数。许多学者分别根据化学平衡、矿物共生组合等关系，提出了许多估

表 5 中国东南沿海金(银)矿床主成矿阶段成矿流体硫逸度和氧逸度
 Table 5 $\lg f_{S_2}$ and $\lg f_{O_2}$ values of the main mineralizing stage of gold-silver deposits in the coastal area of southeastern China

矿床类型	矿床名称	成矿阶段	硫逸度 ($\lg f_{S_2}$)	方法	氧逸度 ($\lg f_{O_2}$)	方法
火山热液型	紫金山	石英-金铜-硫化物	-6.92--10.83	$\lg f_{S_2}$ -T关系图解	-35.7	据O ₂ -CO ₂ -CO体系计算
	罗桥	金-多金属硫化物	-7.5--14.0		-37.0	
	八宝山	石英-冰长石-硫化物-金银 石英-多金属硫化物-金银	-13.62--14.06 -15.84	闪锌矿中的FeS含量(吴明函, 1988)	-35.2--38.0	据O ₂ -CO ₂ -H ₂ O-CH ₄ 体系计算
	大岭口	II、III期矿化	-10.3--14.6	闪锌矿的FeS含量、 $\lg f_{S_2}$ -T关系(刘慧芳, 1988)	-40.9	据O ₂ -CO ₂ -CO体系计算
	五部	II、III期矿化	-8.7--13.13			
	双桂	金-石英-硫化物	-9.51--9.59	银金矿中X _{Ag} ¹ -T- $\lg f_{S_2}$ 关系		
地热水溶滤型	治岭头	早期石英-黄铁矿 早期石英-多金属硫化物	-8.69--9.75	闪锌矿中FeS含量(郑人来)、银金矿中X _{Ag} ¹ -T- $\lg f_{S_2}$ 关系(郑明华)、 $\lg f_{S_2}$ -T关系	-38.7--42.5	据O ₂ -CO ₂ -CO和O ₂ -CO ₂ -CH ₄ -H ₂ O体系计算
		晚期石英-多金属硫化物	-9.50--10.21		-35.4--29.7	
	沙田	石英-黄铁矿			-39.5--38.0	同上
变质(混合岩化)热液型	璜山	石英-黄铁矿	-10--6	$\lg f_{S_2}$ - $\lg f_{O_2}$ 图解、 $\lg f_{S_2}$ -T关系(吴明函, 1988)	-38.8--42.0	据吴明函(1988)
		石英-黄铁矿-黄铜矿	-9--14		-33.2--35.7	
	中岙	石英-黄铁矿-黄铜矿	-12--19		-48.8--45.0	

算成矿溶液氧逸度的方法。我们根据实测的沸腾相的包裹体成分，并假定包裹体内各组分达到化学平衡，利用CO₂、CH₄等一些组分间的平衡关系来估算成矿溶液的氧逸度。

由表5可知，区内金(银)矿床主成矿阶段成矿流体的氧逸度($\lg f_{O_2}$)在-29.3--48.8范围内。其中火山热液型矿床的氧逸度为-35.2--40.9，地热水溶滤型矿床为-29.3--42.5，变质(混合岩化)热液型矿床的为-35.2--48.8。各类矿床成矿溶液的氧逸度($\lg f_{O_2}$)相差不大，基本在一较小的区间范围内波动，说明本区金(银)矿床主成矿阶段的成矿流体处于基本相似的环境，即低氧还原环境。

4. pH值和Eh值

确定成矿流体pH值的方法有多种。一种是通过稳定的矿物间的平衡关系式求成矿溶液的pH值。如浙东第II期铅锌矿化，通过绢云母-高岭石之间的平衡关系估算的pH值为4.2，而钾长石与绢云母稳定共存的pH值为7，因此，把钾长石、高岭土、绢云母三者稳定存在的大岭口矿区成矿流体的pH值定为4.2-7(刘慧芳, 1988)。另一种是利用矿物包裹体成分来估算成矿流体的pH值。如中岙金矿通过该方法估算出的石英-黄铁矿-黄铜矿阶段成矿流体的pH值为4.37-4.52(吴明函, 1988)。上述两种方法均要进行热力学计算，显得比较繁琐和复杂。在此，我们采用比较简单、实用的方法，即对含矿地质体石英包裹体的萃取液进行实测。这种在沸腾状态下被捕获的流体经过浓度校正后可近似地代表成矿溶液，但因这种萃取液要用去离子水(pH≠7)进行稀释后方可测定，因此实测结果与实际情况存在一定差别。本文中稀释的中性去离子水的pH值为6.13。实测结

果与计算所得结果相差无几，基本上可代表成矿流体的 pH 值。

Eh 值即氧化还原电位，是一个重要的物理化学参数。我们采用李秉伦（1986）提出的计算方法和 Eh-T 图解法。Eh 值受温度和 pH 值影响较大，对压力要求不高。其公式可表达为：

$$Eh = E^0_T + 9.90 \times 10^{-5} \times T - \lg(\gamma_{CO_2} / (\gamma_{CO_2} \cdot \gamma_{H_2O})) \\ - 1.98 \times 10^{-4} \times T \times pH + 9.90 \times 10^{-5} \times T \times \\ (\lg x_{CO_2} - \lg x_{CO} - \lg P_{\Sigma} \times x_{H_2O})$$

E^0_T —温度为 T 时的 E^0 值； T —绝对温度； γ_i — i 物质的逸度系数； x_i — i 物质的摩尔分数； P_{Σ} —成矿流体总压力。

根据上述方法测得的区内主成矿阶段成矿流体的 pH 值和 Eh 值见表 6。由表 6 可知：本区金（银）矿床主成矿阶段成矿流体的 pH 值在 7.65—4.20 范围内，表明成矿流体为一种弱碱性—弱酸性的流体；从成矿早阶段到成矿晚阶段成矿溶液经历了从弱碱性到弱酸性的演化过程。如治岭头金矿成矿流体的 pH 值从 6.74 演化到 6.11，璜山金矿的从 6.77 演化到 4.37。成矿过程物化环境的这种演化不仅有利于二氧化硅（ SiO_2 ）的大量沉淀，而且更有利于矿液中作为金载体的络阴离子的解体，使金发生沉淀，形成金矿石。

氧化还原电位对金的沉淀和富集影响也很大。从表 6 中可知成矿流体的 Eh 在 -0.33—-1.80（V）范围内，表明成矿流体属一种还原性较强的流体。从成矿早阶段到成矿晚阶段，氧化还原电位有升高的趋势，反映了成矿环境相对从还原状态向氧化状态的演化。这种强的还原环境与地质上观察到的大量的黄铁矿化和自然铁（ α -Fe）^①的存在相符。

表 6 中国东南沿海金（银）矿床主成矿阶段成矿流体 pH 值和 Eh 值一览表
Table 6 pH and Eh values of the main stage mineralization of gold-silver deposits in the coastal area of southeastern China

矿床类型	矿床名称	成矿阶段	pH	方法	Eh	方法
火山热液型	紫金山	石英-金铜-硫化物	6.55—7.65	实测	-1.80	李秉伦 Eh-T 图解法
	罗桥	金-多金属硫化物	6.52	实测	-1.55—-1.60	同上
	八宝山	石英-硫化物-金银	5.70—6.93	实测	-1.3—-1.1	同上
	大岭口	石英-多金属硫化物	4.2—7.0	计算、实测	-0.9—-1.1	同上
地热水溶滤型	治岭头	早期石英-黄铁矿	6.67—6.74	实测	-1.45—-1.65	同上
		早期石英-多金属硫化物	6.49	实测	-1.28—-1.40	同上
		晚期石英-多金属硫化物	6.11	实测	-1.30—-1.45	同上
	沙田	石英-黄铁矿-电气石	5.50	实测	-1.0—-1.4	同上
变质（混合岩化）热液型	璜山	石英-黄铁矿	5.24—6.77	计算（吴明函）实测（郑人杰）	-0.75—-0.51	同上（吴明函，1988）
		石英-黄铁矿-黄铜矿	4.58—5.01	同上	-0.69—-0.46	同上
	中丞	石英-黄铁矿-黄铜矿	4.37—4.52	同上	-0.56—-0.33	同上

① 1987年王华田、朱韶华在浙江治岭头金矿特富矿石中发现自然铁（x光测定为 α -Fe）。

结 论

根据以上所述可得出如下二点结论。

1. 中国东南沿海金(银)矿床成矿流体化学成分可分三种类型,它们分别与区内三种不同的金(银)矿床成因类型相对应。即:火山热液型——高 K^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- ,低 Na^+ 、 F^- 、 Cl^- ,成矿流体类型为 $K^+-Ca^{2+}-HCO_3^-$ 型;变质(混合岩化)热液型——富 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} ,贫 K^+ 、 HCO_3^- ,成矿流体类型为 $Na^+-Cl^- -SO_4^{2-}$ 型;地热溶滤型矿床介于上述两者之间。

2. 成矿物理化学参数研究表明金(银)矿床主成矿阶段物化参数较稳定。主要物化参数的特征总结如下。

成矿温度在75—400℃间,一般为150—300℃。随着矿化进行,温度总体上呈波状下降趋势。

成矿压力在5—64 MPa间,一般为10—50 MPa,相应成矿深度在330—1670m范围内。

成矿溶液的盐度小于10wt% NaCl,硫逸度($lg f_{s_2}$)在-6—-19之间,氧逸度($lg f_{O_2}$)在-29.3—48.3间,pH值在7.65—4.20间,Eh值为-0.33—-1.80(V)。

以上参数表明本区金(银)矿床是在低盐度、弱碱—弱酸性、贫硫低氧的还原环境中形成的。

文中参考和应用了岳书仓、郑人来、王华田等同志的资料,在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] 王文斌、周汉民、朱韶华, 1988, 中国东南沿海金、银矿床区域成矿规律。南京地质矿产研究所所刊, vol. 9, No. 4.
- [2] 陶奎元等, 1988, 中国东南沿海中生代火山作用基本特征。南京地质矿产研究所所刊, vol. 9, No. 4.
- [3] 李荫清、马秀娟、魏家秀, 1988, 流体包裹体在矿床学和岩石学中的应用。北京科学技术出版社。
- [4] 卢焕章, 1987, 包裹体地质压力计。矿产地质动态, 第2期。
- [5] 夏林圻, 1988, 流体包裹体相平衡。西安地质矿产研究所所刊, No. 21。
- [6] 刘慧芳、岳书仓, 1988, 浙东脉状铅锌矿地球化学热力学研究。矿床地质, vol. 7, No. 4.
- [7] 饶纪龙, 1979, 地球化学中的热力学。地质出版社。
- [8] 戴爱华、王鹤年, 1988, 河台金矿形成机制的实验研究。南京地质矿产研究所所刊, vol. 9, No. 3.
- [9] 李兆麟、黄兰英, 1985, 山东三山岛金矿床形成物理化学条件研究。矿床地质, vol. 4, No. 4.
- [10] 李秉化、石岗, 1986, 矿物中包裹体气体成分的物理化学参数图解。地球化学, 1986年, No. 2.
- [11] P. E. Brown 等, 1986, 流体包裹体中 H_2-CO_2 的混合作用、压力测定及太古代金矿床。国外火山地质, 1988, 第三期。
- [12] Ahmad, S. N. and Rose, A. W., 1980, Fluid Inclusions in Porphyry and Skarn Ore at Santa Rita, New Mexico. Econ. Geol., vol. 75, No. 2.
- [13] Barnes, H. L. ed, 1979, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, New York, John Wiley and Son.
- [14] Hass, J. L. Jr. and Robic, R. A., 1973, Thermodynamic data for wustite, magnetite, and hematite. Am. Geophys. Union Trans. vol. 45, p. 483.
- [15] Roedder, E., 1984, Fluid Inclusion. Reviews in Mineralogy, vol. 12.