

# 基性岩地球化学特征及其与金矿的关系

——以云南富宁者桑金矿为例

李治平, 皮桥辉

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林  
Email: 484873042@qq.com

收稿日期: 2021年4月8日; 录用日期: 2021年5月5日; 发布日期: 2021年5月12日

## 摘要

基性岩与金矿在时间、空间及成矿物质来源上关系十分密切。本文以云南富宁者桑金矿的基性岩为例, 详细讨论了两期基性岩的成岩时间、成因机制、源区特征及构造演化等地球化学特征, 并结合前人对于者桑金矿的年龄测定、对岩矿石的主微量元素测定、及华南区域大地构造动力演化史, 从年代学、地球化学、大地构造学等方面详细探讨基性岩与金矿的关系, 并建立出华南地区卡林型金矿的成矿模型, 为以后该类矿床的勘探研究工作提供详实的理论指导。

## 关键词

基性岩, 卡林型金矿, 地球化学特征, 锆石U-Pb年代学

# The Geochemical Characteristics of Basic Rocks and Their Relationship with Gold Deposit

—Taking the Zhesang Gold Deposit in Funing, Yunnan as an Example

Zhiping Li, Qiaohui Pi

Earth Sciences College, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi  
Email: 484873042@qq.com

Received: Apr. 8<sup>th</sup>, 2021; accepted: May 5<sup>th</sup>, 2021; published: May 12<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Basic rocks are closely related to gold deposits in terms of time, space, and ore-forming sources. This paper takes the basic rocks of the Zhesang gold deposit in Funing, Yunnan as an example, and discusses in detail the geochemical characteristics of the two phases of basic rocks such as the diagenesis time, genetic mechanism, source area characteristics, and structural evolution. Combined with the age determination of the Zhesang gold deposit by the predecessors, the determination of the main and trace elements of the rock ores, and the dynamic evolution history of the geotectonic in South China, from the aspects of geochronology, geochemistry and geotectonics, the relationship between basic rocks and gold deposits is discussed in detail. The mineralization model of Carlin-type gold deposits in the area provides detailed theoretical guidance for future exploration and research work of such deposits.

## Keywords

Basic Rocks, Carlin-Type Gold Deposits, Geochemical Characteristics, Zircon U-Pb Chronology

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

基性岩是岩石圈扩张和地壳伸展的产物, 对研究地幔特征和大陆动力学演化具有重要意义[1] [2] [3] [4]。在世界范围内的前寒武纪辉绿岩带中, 如北美西部、印度南部和澳大利亚西部, 基性岩墙与主要中温热液或造山型金矿床的空间和时间联系引起了相当大的关注和调查[5] [6] [7]。滇黔桂地区位于扬子板块西南部, 是世界上拥有世界级大型金矿床的主要产区之一。自 20 世纪 80 年代以来, 基性岩墙与金矿床之间可能的成因联系一直是各种研究和争论的焦点。有学者认为滇黔桂地区的镁铁质岩墙和金元素均来自深部[8], 有学者认为花岗岩类岩体、岩墙和金矿化来源于同一深度[9], 还有学者认为, 来自地幔的煌斑岩熔体可以将黄金带到地壳[10]。在基性岩浆上涌的过程中与地壳发生强烈反应, 形成中到酸性岩墙。然而也有其他观点, 如不认为金矿化和煌斑岩侵入之间具有任何联系, 认为金矿体和煌斑岩岩墙的共存是因为它们占据了相同的构造通道[11] [12]。有学者根据对小秦岭金矿成矿作用的研究, 认为基性岩墙反映了地壳水平上的张性背景, 有助于热液金矿系统的形成, 但金本身来自于其它来源[13] [14], 还有人提出煌斑岩和金矿都来源于地幔的 C-H-O 流体[15]。还有人认为即使基性岩浆不提供金, 也提供了热量和部分成矿流体[16] [17]。最近对黔滇桂地区的基性岩岩脉的研究表明, 这些岩石来源于岩石圈地幔, 岩浆构造与扬子板块下岩石圈的快速减薄有关[18]。关于基性岩与金矿之间的关系国内外诸多学者对此深有研究, 如有学者认为, 基性岩不仅提供了成矿物质, 还是成矿流体的一部分, 还提供了热源, 总之, 基性岩在时间、空间以及物质来源方面都与金成矿关系密切[19] [20]。

以往对富宁地区基性岩的研究大多集中在矿体本身及矿床地质特征, 对岩墙没有系统的描述[21] [22] [23]。此外, 大多数研究的基性岩年龄来自 K-Ar 法、Ar-Ar 法, 在金和岩墙是否有时间联系这方面尚没有达成共识[24] [25] [26]。由于滇黔桂地区受到华南板块和扬子克拉通碰撞的强烈影响, 了解整个滇黔桂地区的区域构造演化史可能有助于揭示不同的地球动力学过程及其对金矿找矿的意义。本文主要介绍了

富宁金矿区两套基性岩的分布、年代学和岩石地球化学特征, 以评价其侵位时间、地球动力学背景和物源特征, 并了解基性岩与金矿化的关系。

## 2. 区域地质与矿床地质

### 2.1. 区域地质

滇黔桂地区地处云南、贵州、广西三省交接之处, 在我国甚至在全球范围内都是重要的卡林型金矿集中区[27] [28]。滇黔桂盆地大地构造位置位于扬子克拉通的西南部, 南盘江造山带的北部, 以及古特提斯洋与喜马拉雅造山带的接壤处[29] [30] [31]。从滇黔桂地区的区域构造地质图中可以看出(见图 1), 整个盆地构造近似呈菱形, 从上古生界到下中生代沿宽阔的地台演变为下三叠世的潮滩, 石炭纪沉积的石灰岩和生物碎屑灰岩共同组成了该区碳酸盐岩台地的浅水相沉积, 上覆有二叠纪中厚层状的石灰岩, 以及生物碎屑灰岩, 偶有凝灰质泥质岩夹杂[32] [33] [34] [35]。Au-Hg-Tl 型等矿床主要沉积在晚古生代的碳酸盐岩建造中。通常来讲 Au 一般沉积在碳酸盐岩建造和硅质碎屑岩之间的过渡带中[36] [37], 在硅质碎屑岩中尤为常见, 主岩通常由不纯的碳酸岩和硅质碎屑岩组成, 另外部分地区还有夹层凝灰岩或其他火山岩出露。盆地内出露的地层复杂多样, 从寒武系到三叠系均有出露, 岩浆活动也极为频繁, 从加里东期开始直到喜山期都有不同程度的基性岩浆和中性酸性岩浆活动发生。盆地内构造复杂多变, 主要发育有北东向和东西向的断裂。盆地内蚀变作用较为广泛且类型单一, 主要有硅化、褐铁矿化、碳酸盐化、毒砂化、白铁矿化、绢云母化、锑汞矿化、重晶石化、黄铁矿化及高岭土化等蚀变作用。

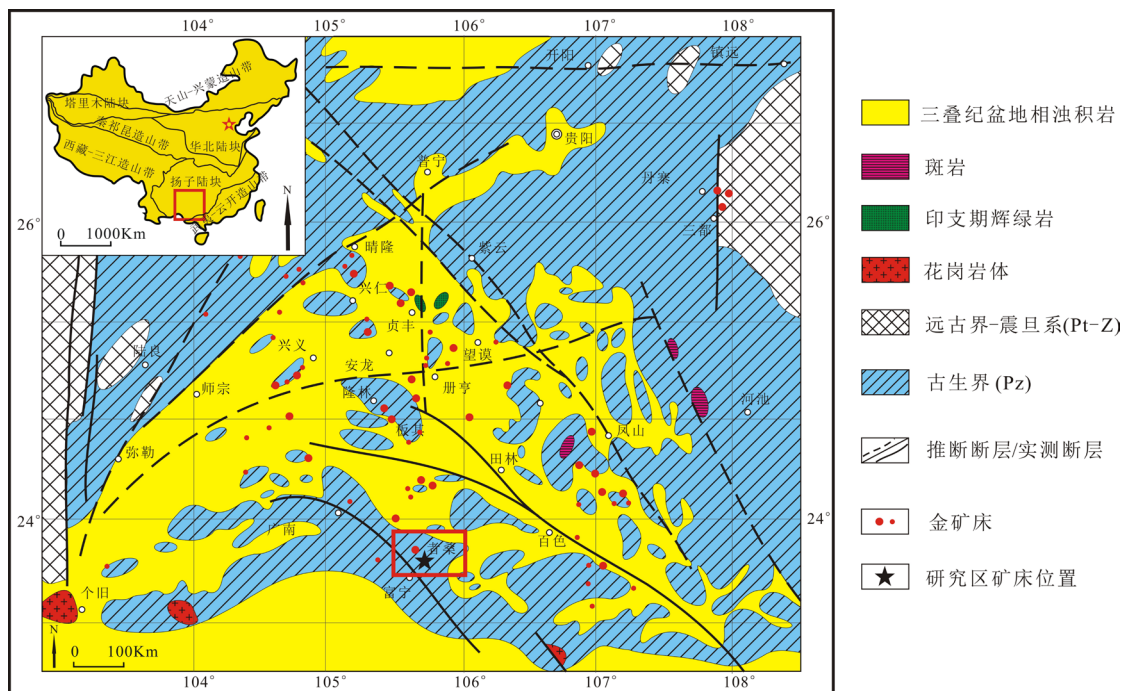


Figure 1. Regional tectonic geological map of Guizhou, Yunnan and Guangxi [38]

图 1. 黔滇桂区域构造地质图[38]

### 2.2. 矿床地质

矿区(见图 2)发育在者桑背斜的南部, 矿床区出露地层由老至新分别为  $P_3w$  (上二叠统吴家坪组),  $T_1l$  (下三叠统罗楼组),  $T_2b$  (中三叠统百逢组)。  $P_3w$ : 下部主要为碎屑岩与灰岩互层, 碎屑岩主要为凝灰质粉

砂岩夹凝灰岩, 上部主要为硅质泥岩、凝灰质粉砂岩夹凝灰岩, 局部夹灰岩透镜体, 含锰线, 为矿区主要的含矿层位, 与上覆罗楼组呈平行不整合接触。 $T_{1l}$ : 上部黄灰色中-厚层状细砂岩夹灰绿、灰色薄-中状钙质粉砂岩夹薄层灰岩, 下部灰黄色中-厚层状细砂岩夹薄层泥岩, 局部夹基性凝灰岩, 砂岩中含锰, 底部为紫红, 土红色薄层状泥岩夹薄层状白色石英细砂岩, 是矿区主要的含金层位, 与下伏地层平行不整合接触。 $T_{2b}$ : 紫红、黄、灰绿色薄层状泥岩, 夹中厚层状的细砂岩夹凝灰岩, 是矿区重要的含矿地层, 与下伏地层呈整合接触。

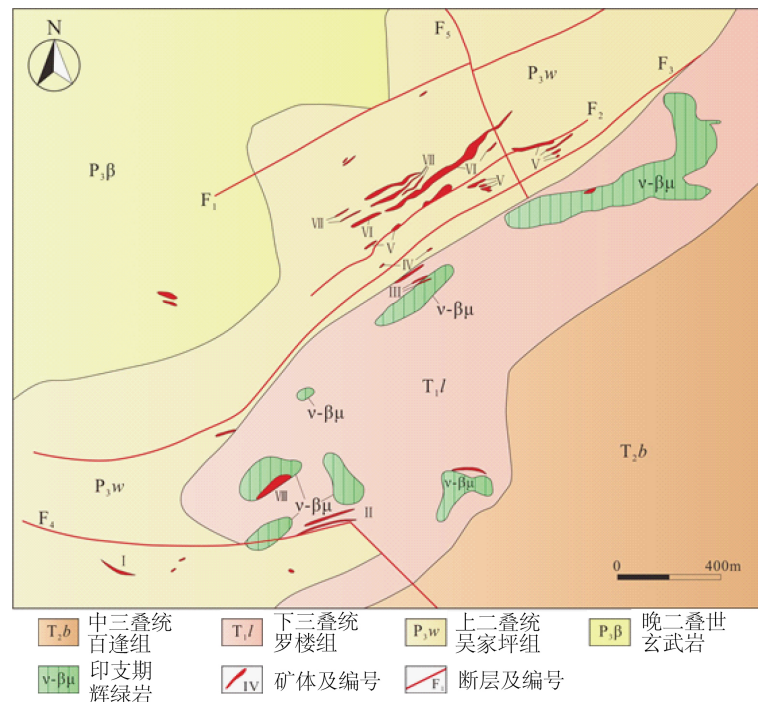


Figure 2. Plane distribution map of ore bodies of Zhesang gold deposit

图 2. 者桑金矿床矿体平面分布图[38]

者桑背斜位于矿区北部, 背斜两翼为罗楼组地层, 核部出露二叠系 吴家坪组地层, 背斜北翼产状  $35^{\circ}\sim 65^{\circ}$ , 南翼产状  $45^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。研究区次级褶皱十分发育, 岩石揉皱变形厉害, 倒转褶曲现象极其发育。研究区内大约有两期断裂活动, 早期的断裂大致呈北东向, 后期的断裂则主要以北西向为主, 主要的控矿断裂构造有  $F_2$  断层、 $F_3$  断层和  $F_5$  断层, 控制着矿体的矿化和大致走向。

矿区内侵入岩分布有呈岩墙岩脉产出的印支期的辉绿岩和辉长岩, 新鲜岩石多呈现出灰绿色, 呈块状构造和辉长结构, 由半自形粒状的普通辉石和呈它形的斜长石组成, 暗色矿物约占 25%, 辉长岩经蚀变呈各种褐、黄褐色, 并经受了黄铁矿化、绢云母化以及泥化等蚀变。研究区内的喷出岩主要为玄武岩和凝灰质玄武岩, 岩石风化强烈, 颜色呈黄色、土黄色, 蚀变作用极为强烈。

矿区内岩石可分为氧化矿石和原生矿石两种。原生矿的品位总体高于氧化矿石的品位。其中氧化矿石的褐铁矿化十分明显, 可见黄铁矿、毒砂被氧化淋滤后所形成的孔洞, 存在着一定的次生富集现象, 主要富集在构造后形成的空洞。矿石中的元素主要有 Co、Be、Si、Hg、As、Fe、V、Al、Ca、Mn、Mg、Ti、Cu、Na、Ni、Mo、Ge 等元素, 矿石中金和银的含量较低, 而碳和硫的含量却较高, 影响金提取利用的杂质元素砷也有较大的含量, 这为从矿石中提取金带来了一定的难度。矿石结构主要有自形-半自形晶结构、莓状结构、不规则他形粒状结构、土状、胶状结构和交代假象结构。主要金属矿物黄铁矿大

部分呈立方体自形 - 半自形晶结构形态, 矿石中次要金属矿物磁铁矿也以半自形晶结构为主, 这种结构形式是矿石的主要结构形态。部分黄铁矿呈莓球粒结构, 为沉积期形成, 通过镜下鉴定和取样分析, 这种黄铁矿为不含金黄铁矿。矿区内围岩蚀变及金矿化普遍发育, 主要沿着东西向背斜的核部及其断裂带附近发育, 矿区内主要的围岩蚀变有黄铁矿化、毒砂化、粘土矿化、硅化、褐铁矿化等。

### 3. 基性岩年代学特征

在中国河北省廊坊市区域地质调查所, 用重液和磁力技术分离了新鲜辉绿岩样品中的锆石颗粒, 随后在双筒望远镜下手工挑选代表性的锆石颗粒, 将锆石颗粒安装在环氧树脂上并抛光直至露出锆石晶面, 接着用激光烧蚀 - 电感耦合等离子体质谱法进行 U-Pb 年代学研究, 使用 193 nm 的 ArF 准分子激光器(分辨率 S155)完成激光烧蚀, 光斑直径为 50  $\mu\text{m}$ , 重复频率为 10 Hz, 持续 40 s。分离的锆石颗粒是无色且主要为长棱柱形的正多面体晶体, 并且 CL 图像显示没有明显的分带(见图 3)。对早晚两期基性岩, 30 个锆石颗粒的 30 个点位进行分析, 测试结果见表 1、表 2, 结果显示早期基性岩锆石 U-Pb 年龄为  $258 \pm 5 \text{ Ma}$  (MSWD = 4, 置信度 90%), 晚期基性岩锆石 U-Pb 年龄为  $219.9 \pm 6.6 \text{ Ma}$  (MSWD = 1.2, 置信度 90%), 该年龄被认为是基性岩岩墙的最佳侵位年龄。

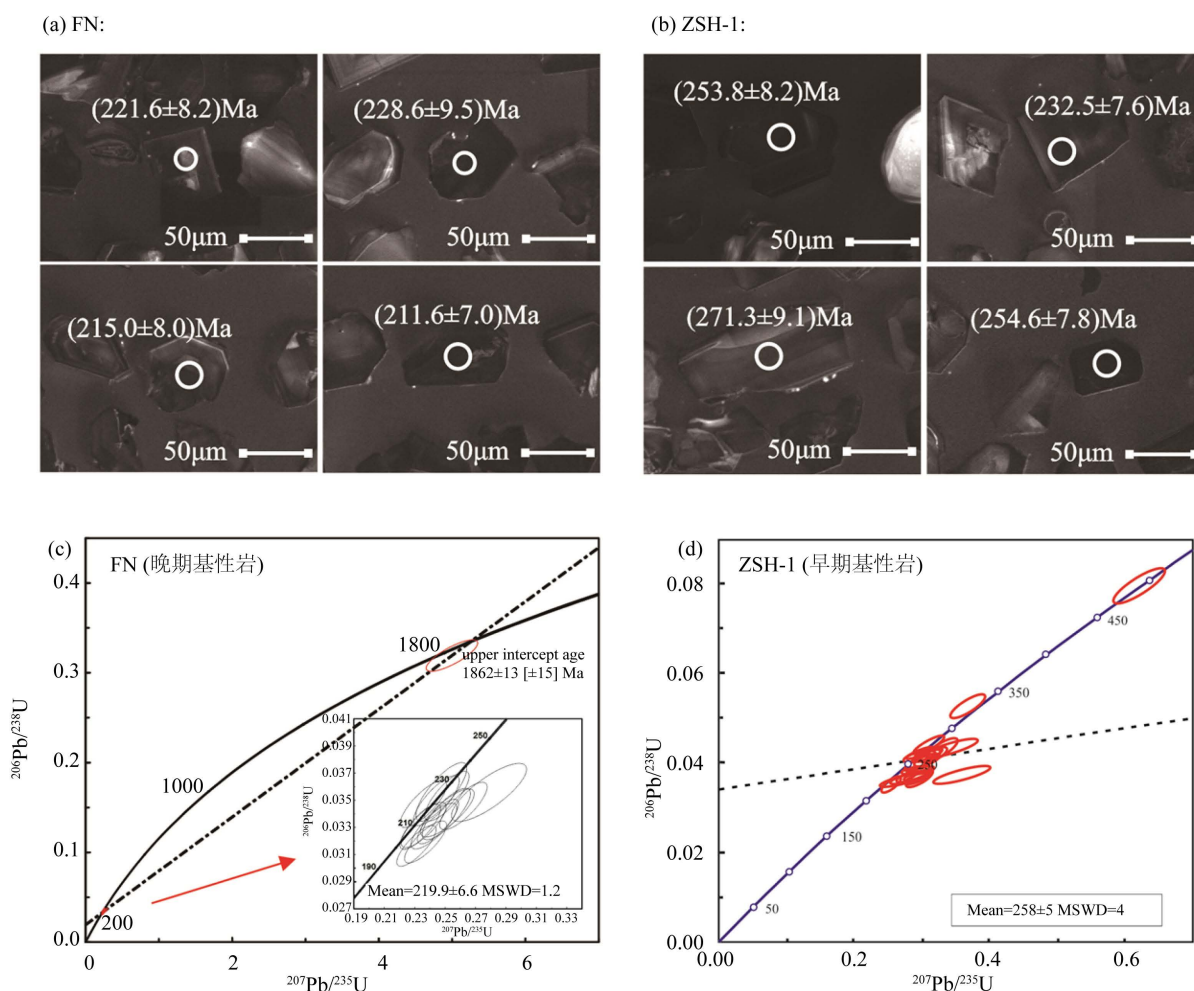


Figure 3. The cathodoluminescence map of basic rock zircon and the U-Pb age harmony map

图 3. 基性岩锆石阴极发光图及 U-Pb 年龄谐和图

**Table 1.** Zircon U-Pb age data of late basic rocks  
**表 1.** 晚期基性岩锆石 U-Pb 年龄数据

测点号	含量(ppm)				比值			年龄(Ma)						
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$
								Age	1sigma	Age	1sigma	Age	1sigma	
FN-01	203.12	7443.96	2494.99	2.98	0.2312 ± 0.0085	0.0316 ± 0.001	0.011 ± 0.0004	0.8495	211	7	201	6.2	221	8.2
FN-02	91.31	1744.74	1597.35	1.09	0.2371 ± 0.0091	0.0319 ± 0.001	0.0104 ± 0.0004	0.4833	216	7.5	203	6.4	208	8.4
FN-03	192.96	3841.18	3166.27	1.21	0.2512 ± 0.0096	0.0353 ± 0.0012	0.0112 ± 0.0005	0.6773	228	7.8	224	7.5	224	9.4
FN-04	128.35	3681.29	1907	1.93	0.2426 ± 0.0099	0.0331 ± 0.0011	0.0102 ± 0.0004	0.552	221	8.1	210	6.9	204	8.2
FN-05	367.28	11072.2	5174.4	2.14	0.2508 ± 0.0105	0.034 ± 0.0013	0.0114 ± 0.0006	0.5275	227	8.5	215	7.8	229	12.7
FN-06	614.95	13390.27	8921.68	1.5	0.2337 ± 0.0088	0.033 ± 0.0011	0.0102 ± 0.0005	0.5665	213	7.3	210	6.8	205	11
FN-07	104.99	2828.55	1566.07	1.81	0.262 ± 0.0103	0.0346 ± 0.0012	0.0107 ± 0.0006	0.4625	236	8.3	219	7.2	214	11.2
FN-08	359.18	12077.92	3938.66	3.07	0.2475 ± 0.0111	0.0356 ± 0.0014	0.0111 ± 0.0005	0.4328	225	9	226	8.9	223	10.9
FN-09	74.34	2393.63	872.44	2.74	0.2453 ± 0.0089	0.0334 ± 0.0011	0.0104 ± 0.0004	0.6045	223	7.3	212	6.7	208	8.9
FN-10	480.53	12236.11	5969	2.05	0.2515 ± 0.0116	0.0341 ± 0.0012	0.0103 ± 0.0004	0.563	228	9.5	216	7.3	206	8.9
FN-11	90.33	3266.66	1032.39	3.16	0.2359 ± 0.0097	0.0332 ± 0.0011	0.0105 ± 0.0004	0.4264	215	8	210	6.9	210	8.1
FN-12	176.39	5522.63	2351.38	2.35	0.2788 ± 0.0163	0.0356 ± 0.0014	0.0121 ± 0.0006	0.5714	250	13	225	8.8	243	11.2
FN-13	335.68	9087.45	4957.87	1.83	0.2442 ± 0.01	0.035 ± 0.0012	0.0107 ± 0.0004	0.3862	222	8.1	222	7.6	215	8.4
FN-14	352.41	14432.51	4679.61	3.08	0.2358 ± 0.0101	0.0347 ± 0.0011	0.0103 ± 0.0004	0.463	215	8.3	220	7.1	207	8.2
FN-15	33.09	21.46	84.9	0.25	4.9978 ± 0.2322	0.3192 ± 0.0116	0.0883 ± 0.0056	4.4831	1819	39.3	1786	56.6	1711	105

**Table 2.** Zircon U-Pb age data of early basic rocks  
**表 2.** 早期基性岩锆石 U-Pb 年龄数据

测点号	含量(ppm)				比值			年龄(Ma)						
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$
								Age	1sigma	Age	1sigma	Age	1sigma	
ZSH-1	14.98	177.9	289.18	0.61	0.276 ± 0.026	0.036 ± 0.001	0.011 ± 0.001	1.632	248	21	230	8	226	11
ZSH-2	59.47	352.04	596.68	0.59	0.773 ± 0.031	0.071 ± 0.002	0.018 ± 0.001	1.763	582	17	444	14	353	15

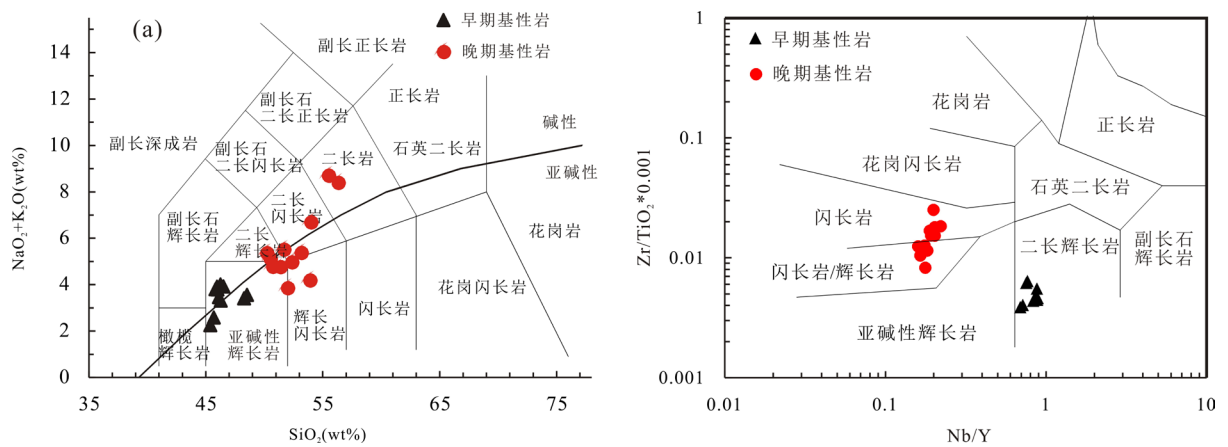
Continued

ZSH-3	41.01	172.75	309.87	0.55	0.367 ± 0.017	0.053 ± 0.002	0.01 ± 0	1.898	318	13	330	11	198	9
ZSH-4	13.17	91.2	254.98	0.35	0.296 ± 0.015	0.037 ± 0.001	0.015 ± 0.001	2.935	263	12	235	8	304	23
ZSH-5	17.35	282.83	375.23	0.75	0.27 ± 0.014	0.03 ± 0.001	0.011 ± 0	1.337	242	11	189	6	217	9
ZSH-6	336.9	4764.64	6220.42	0.76	0.293 ± 0.011	0.036 ± 0.001	0.011 ± 0	1.288	261	9	229	7	222	8
ZSH-7	65.69	935.72	1257.71	0.74	0.254 ± 0.01	0.035 ± 0.001	0.011 ± 0	1.328	230	8	222	7	228	9
ZSH-8	11.88	133.82	220.81	0.6	0.285 ± 0.022	0.037 ± 0.001	0.012 ± 0.001	1.65	255	17	234	8	249	12
ZSH-9	44.09	264.92	400.62	0.66	0.871 ± 0.04	0.08 ± 0.003	0.026 ± 0.001	1.512	636	22	495	16	517	23
ZSH-10	13.78	131.73	235.16	0.56	0.296 ± 0.015	0.042 ± 0.001	0.013 ± 0.001	1.77	263	12	264	9	257	13
ZSH-11	36.21	85.06	172.6	0.49	1.707 ± 0.077	0.166 ± 0.006	0.049 ± 0.003	1.959	1011	29	990	34	967	54
ZSH-12	23.28	85.31	147.65	0.57	2.799 ± 0.159	0.07 ± 0.003	0.082 ± 0.005	1.78	1355	43	434	16	1591	101
ZSH-13	16.32	132.93	265.36	0.5	0.31 ± 0.015	0.044 ± 0.001	0.013 ± 0.001	1.962	274	12	276	9	269	15
ZSH-14	71.56	664.44	1245.44	0.53	0.332 ± 0.013	0.043 ± 0.001	0.014 ± 0.001	1.799	291	10	273	9	290	14
ZSH-15	18.56	134.09	134.11	1	0.722 ± 0.035	0.091 ± 0.003	0.027 ± 0.001	1.003	552	20	561	19	529	25

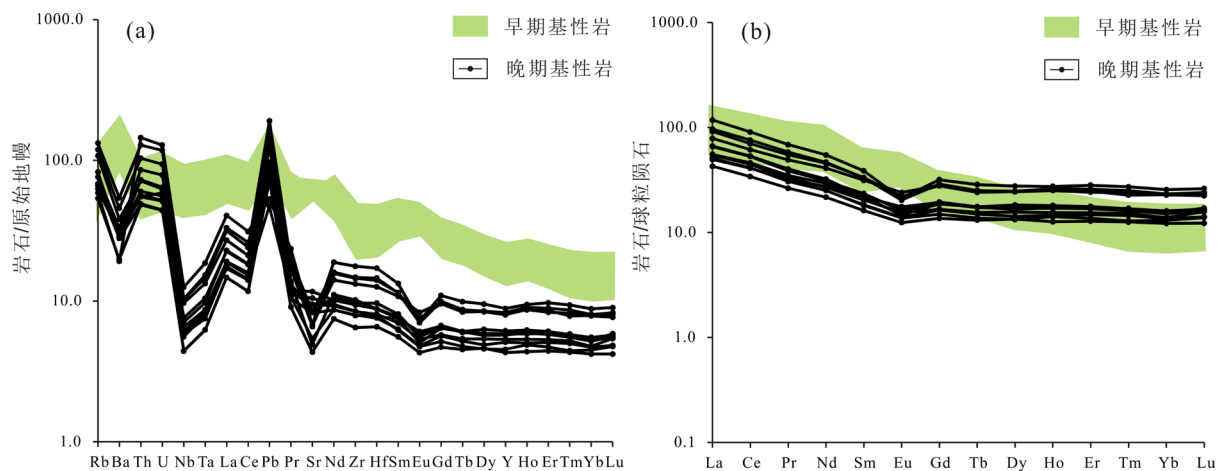
#### 4. 主微量元素地球化学特征

主量元素和微量元素分析在南京大学矿床研究国家重点实验室进行, 使用玛瑙研磨机将全岩地球化学分析样品粉碎至 200 目。使用 ARL-9800 X 光荧光光谱法(XRF)进行主要元素分析, 分析精度优于 1%。微量和稀土元素的丰度是用高分辨率的电感耦合等离子体质谱法测定的, 大多数元素的精度优于 5%。全岩地球化学数据结果见表 3。岩石样品的 LOI 值为 1.24 wt%~4.53 wt%, 蚀变程度中等。晚期基性岩中 SiO<sub>2</sub> 含量为 49.13 wt%~54.75 wt%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量为 12.75 wt%~14.51 wt%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量为 7.90 wt%~11.48 wt%, MgO 的含量为 5.28 wt%~10.73 wt%, CaO 的含量为 5.79 wt%~9.34 wt%, Na<sub>2</sub>O 的含量为 2.58 wt%~7.32 wt%, K<sub>2</sub>O 的含量为 0.82 wt%~1.88 wt%, MnO 的含量为 0.11 wt%~0.17 wt%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的含量为 0.07 wt%~0.12 wt%, TiO<sub>2</sub> 的含量为 0.56 wt%~1.28 wt%。在 SiO<sub>2</sub>~K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O (见图 4)中, 早期基性岩所有样品都绘制在亚碱性辉长岩中, 晚期基性岩样品落于碱性辉长岩与亚碱性辉长岩中, 都属于钙碱性系列。

晚期基性岩总稀土元素含量为 58.92~120.47 ppm (见表 4), 轻稀土元素/重稀土元素比值为 3.6~4.61。在球粒陨石标准化稀土元素模式图(见图 5(b))中, 所有样品都显示向右倾斜的稀土元素模式, 轻稀土较富集, (La/Yb)<sub>N</sub> 为 3.17~4.32, 并有中度负 Eu 异常( $\delta$ Eu = 1.1~1.34)。早期基性岩整体也呈右倾的模式, 表现为正的 Eu 异常。如原始地幔标准化微量元素蜘蛛图(见图 5(a))所示, 晚期基性岩表现为亏损高场强 HFSE 元素(Nb、Ta、Ti), 贫 Ba 和 Sr 元素。早期基性岩表现为富集大离子亲石元素(LILE)和高场强元素(HFSE) Nb、Ta, 类似于洋岛玄武岩。



**Figure 4.** Two-phase basic rock  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  diagram and  $\text{Nb/Y-Zr/TiO}_2$  diagram  
**图 4.** 两期基性岩  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  图解和  $\text{Nb/Y-Zr/TiO}_2$  图解



**Figure 5.** Two-phase basic rock trace element standardization diagram of primitive mantle and rare earth element chondrite standardization diagram  
**图 5.** 两期基性岩微量元素原始地幔标准化图解和稀土元素球粒陨石标准化图解

**Table 3.** Major element data of late basic rock  
**表 3.** 晚期基性岩主量元素数据

样品	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MnO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{TiO}_2$	LOI	TOTAL
FN-1	52.79	14.21	10.32	5.53	7.47	4.64	1.88	0.15	0.12	1.05	2.34	100.5
FN-2	51.05	12.99	8.52	8.64	8.65	2.86	1.08	0.15	0.07	0.68	5.4	100.08
FN-3	51.65	12.75	8.89	9.66	7.97	3.68	1.52	0.15	0.07	0.66	2.94	99.93
FN-4	49.69	14.51	8.22	9.01	9.02	2.58	1.09	0.14	0.08	0.71	4.53	99.58
FN-5	50.12	13.04	9.36	10.61	9.23	3.6	1.09	0.16	0.07	0.64	1.28	99.2
FN-6	51.77	13.85	11.48	5.6	8.91	3.62	1.26	0.17	0.12	1.28	1.24	99.3
FN-7	53.9	14.08	8.88	5.24	5.79	6.33	2.1	0.11	0.09	0.89	2.99	100.39
FN-8	54.75	13.5	8.36	5.28	5.88	7.32	0.82	0.11	0.11	1.05	2.9	100.07



## Continued

FN-9	49.52	13.59	7.9	10.27	9.14	3.31	1.27	0.14	0.06	0.56	3.7	99.45
FN-10	49.87	12.87	8.14	10.73	9.01	4.5	0.79	0.14	0.05	0.56	3.6	100.27
FN-11	49.13	14.02	9.79	8.57	9.26	4.15	1.07	0.15	0.09	0.9	2.24	99.37
FN-12	49.42	13.37	10.24	8.77	9.34	3.96	1.03	0.16	0.09	0.89	2.25	99.52

Table 4. Trace element data of late basic rock

表 4. 晚期基性岩微量元素数据

	FN-1	FN-2	FN-3	FN-4	FN-5	FN-6	FN-7	FN-8	FN-9	FN-10	FN-11	FN-12
Element (ppm)												
Li	21.7	16.4	12.7	26.9	21.5	13.4	12.1	10.1	14.2	15	13.2	17.4
Be	0.67	1.19	1.28	1.35	1.29	1.53	1.39	2.23	0.97	0.56	1.03	0.96
Sc	29	29.1	29.6	29.4	32	30.8	31.3	32.2	30.7	31	27.3	29.7
V	192	192	198	198	212	241	201	191	187	211	208	203
C	729	599	681	636	39.4	76.3	25.4	29.2	753	590	433	436
Co	49.5	41.7	42	46.2	36.8	37	30.3	29.4	42.8	45.3	43.9	46.8
Ni	181.9	189.31	134.16	164.62	38.27	33.25	23.87	26.17	148.16	127.58	118.53	129.23
Cu	50.46	69.13	69.59	52.37	36.43	37.73	18.9	16.39	112.05	62.81	42.3	48.17
Zn	85.95	87.63	86.79	81.23	123.86	128.92	75.16	70.78	84.01	76.85	89.32	105.33
Ga	13	13.8	13.9	14.4	17.8	17.8	17.1	17.2	13.5	12.4	14.5	14.8
Ge	1.48	1.52	1.54	1.3	1.51	1.61	1.44	1.36	1.28	1.3	1.47	1.49
As	0.3	0.5	1.37	0.97	0.74	0.86	0.54	0.44	0.62	0.79	0.47	0.4
Rb	42.8	43.3	68.3	42.4	75.6	48.3	84	37.2	52.4	34	41.8	39.7
Sr	174	178	103	200	139	141	178	143	114	91.4	246	221
Y	23.2	26.6	26.6	24.3	36.7	37.7	36.3	40.2	20.6	19.6	27.9	26.1
Zr	89.2	109	114	94.2	162	148	165	198	88.4	72.5	105	94.9
Nb	4.13	5.43	5.05	4.28	7.35	6.9	7.38	8.93	3.97	3.14	4.67	4.33
Mo	0.34	0.49	0.36	0.43	0.57	0.68	0.96	0.47	0.41	0.26	0.47	0.42
Cd	0.15	0.14	0.16	0.1	0.17	0.2	0.17	0.13	0.16	0.12	0.14	0.17
In	0.07	0.08	0.08	0.06	0.09	0.09	0.08	0.1	0.06	0.06	0.06	0.07
Sn	1.24	2.03	1.55	1.55	2.37	1.81	1.98	2.96	1.36	1.07	1.25	1.19
Sb	0.21	0.25	0.28	0.43	0.27	0.21	0.11	0.13	0.29	0.12	0.15	0.18
Cs	2.56	2.4	2.83	2.37	2.67	2.49	2.8	1.74	2.64	1.93	1.71	1.68
Ba	195	205	267	224	319	230	377	134	202	138	213	210
La	12	15.5	15.7	12.9	21.6	18.6	22.8	27.8	12.1	10.1	13.1	11.7

## Continued

Ce	25.2	32.3	32.6	27.1	42.7	37.5	46.2	55.3	25	20.8	28.1	25
Pr	2.9	3.65	3.81	3.16	5.2	4.66	5.52	6.49	2.97	2.5	3.3	3.06
Nd	11.7	14.4	15	12.5	21.2	19.1	21.7	25.5	11.7	10.1	13.7	12.8
Sm	2.8	3.58	3.35	3.1	5.09	4.79	5.06	5.9	2.76	2.47	3.43	3.35
Eu	0.81	0.93	0.85	0.9	1.27	1.39	1.18	1.22	0.8	0.72	0.98	1.02
Gd	3.37	3.89	3.83	3.43	5.7	5.77	5.92	6.52	3.07	2.8	3.99	3.95
Tb	0.56	0.65	0.65	0.58	0.9	0.94	0.94	1.07	0.51	0.49	0.66	0.65
Dy	3.6	4.3	4.34	3.96	6.21	6.25	6.19	7.02	3.37	3.41	4.63	4.2
Ho	0.83	0.96	0.97	0.88	1.43	1.48	1.42	1.55	0.8	0.72	1.02	0.98
Er	2.44	2.84	2.78	2.55	4.1	4.27	4	4.66	2.26	2.12	2.92	2.8
Tm	0.37	0.43	0.41	0.39	0.58	0.64	0.61	0.69	0.33	0.32	0.43	0.43
Yb	2.31	2.58	2.56	2.35	3.89	3.96	3.87	4.34	2.22	2.07	2.72	2.66
Lu	0.36	0.43	0.41	0.4	0.6	0.61	0.57	0.66	0.35	0.31	0.42	0.41
Hf	2.34	2.98	2.71	2.49	4.34	3.9	4.5	5.29	2.43	2.03	2.72	2.37
Ta	0.31	0.43	0.4	0.35	0.6	0.55	0.63	0.76	0.33	0.26	0.36	0.35
W	0.65	0.65	1.31	0.64	1.69	1.31	1.79	1.88	0.96	0.75	0.79	1.01
Tl	0.18	0.17	0.24	0.17	0.36	0.27	0.36	0.13	0.26	0.16	0.19	0.2
Pb	5.41	6.9	10.2	3.35	13.5	8.82	5.82	3.76	10.7	5.15	6.75	9.25
Bi	0.11	0.15	0.3	0.08	0.11	0.07	0.05	0.04	0.23	0.17	0.08	0.1
Th	4.17	6.18	6.06	4.72	8.78	7.26	10.9	12.3	5.11	4.1	4.8	4.68
U	0.93	1.35	1.31	1.23	1.97	1.65	2.47	2.69	1.17	0.92	1.09	1.08
ΣREE	69.23	86.44	87.26	74.19	120.47	109.96	125.97	148.73	68.24	58.92	79.4	72.99
LREE	55.41	70.36	71.31	59.66	97.06	86.04	102.46	122.21	55.33	46.69	62.61	56.93
HREE	13.83	16.08	15.95	14.53	23.41	23.92	23.51	26.52	12.91	12.23	16.79	16.07
LREE/HREE	4.01	4.38	4.47	4.11	4.15	3.6	4.36	4.61	4.29	3.82	3.73	3.54
LaN/YbN	4.9	5.66	5.78	5.17	5.23	4.43	5.55	6.04	5.14	4.6	4.54	4.14
δEu	0.86	0.82	0.78	0.9	0.77	0.87	0.71	0.64	0.9	0.9	0.87	0.92
δCe	0.78	0.79	0.77	0.78	0.74	0.74	0.76	0.75	0.77	0.76	0.79	0.77

## 5. 讨论

## 5.1. 两期基性岩化学性质对比

锆石 U-Pb 年代学测量结果显示, 早期基性岩年龄为  $258 \pm 5$  Ma, 晚期基性岩年龄  $219.9 \pm 6.6$  Ma, 前人测得的同样地区的高 Ti 基性岩年龄为  $253 \pm 8$  Ma, 与本次研究的早期基性岩年龄十分接近, 前人的研究发现该地区的高 Ti 基性岩是由峨眉山地幔柱与特提斯洋碰撞产生的[39] [20] [28], 同时早期基性岩

的碎屑物质来源也证明其与地幔柱有关。而晚期基性岩形成于峨眉山大火成岩省的几十年后, 在时间上与其相差较大, 因此认为两期基性岩形成于不同的构造活动, 具有不同的地球动力学构造演化史。

主量元素测量结果显示, 晚期基性岩浆在其成岩过程中分离结晶程度比较低,  $\text{SiO}_2$  含量与  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  的含量呈现为正相关, 即随着  $\text{SiO}_2$  含量的增加其含量也增加, 而  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  则与  $\text{SiO}_2$  表现为负相关性, 随其含量的增加而降低, 这表明在晚期基性岩浆演化的过程中伴随有斜长石和镁铁质矿物的结晶。而早期基性岩中,  $\text{SiO}_2$  含量与主要氧化物之间( $\text{MgO}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ )没有表现出明显的线性关系, 说明在早期基性岩浆的演化过程中结晶分离过程不明显。

微量元素分析结果显示, 晚期基性岩具有类似于弧后盆地玄武岩的特征[40] [41], 存在着大离子亲石元素(LILE)Ba、Nb、Sr 的负异常, 以及高场强元素(HFSE)Ta 的负异常, 而早期基性岩不存在明显的 Nb、Ta 亏损。位于大陆环境中的基性岩墙在上升过程中以及在大陆地壳停留期间可能会受到地壳污染[42] [43]。地壳污染可能会导致 Nb 和 Ta 的大量消耗, 镁铁质岩中 Nb 和 Ta 的富集可能表明岩浆中没有明显的大陆地壳成分。地壳污染可导致 Sr-Nd 同位素的显著变化, 并可导致 MgO 含量与  $\epsilon\text{Nd}(t)$  值之间显著的正相关, 以及 MgO 含量与  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$  值之间的负相关[44] [45] [46]。然而早期基性岩中 MgO 和 Sr-Nd 同位素之间没有显著的相关性, 表明早期基性岩浆中应该没有地壳污染。

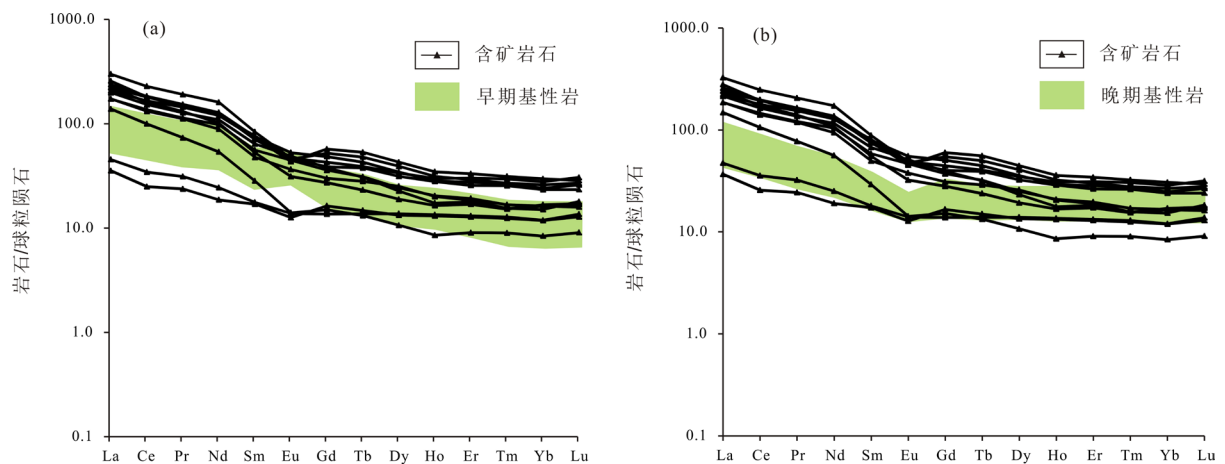
## 5.2. 基性岩与金成矿的关系

岩墙通过增加拉伸带的体积来促进地壳变形, 并且这种岩墙也可以部分或全部容纳由区域延伸引起的膨胀。岩墙通常远离喷发中心, 这种传播要么是径向的, 要么是在有限的方向范围内传播, 很少出现完整的环状岩墙分布[47]。在这两种情况下, 岩墙都聚集在裂谷带内, 如夏威夷或日本的狭窄裂谷带, 因此, 岩脉的传播通常局限在一个方向。三叠纪, 华南地块的地球动力学背景是伸展的, 岩浆的大规模侵入挤压也导致了右江盆地火山岩的形成[48]。滇黔桂地区基性岩墙群的走向延伸总体上呈西北向, 部分岩墙也呈放射状, 但大部分岩墙的规模一般都不是很大, 走向也不十分相似。这些特征表明深部岩浆房可能是产生基性岩浆的主要通道, 岩墙沿着垂直方向和横向向邻近的上部区域延伸扩展。在最近一项关于冰岛地壳岩墙侵入动力学研究中发现, 断裂面与岩墙的宏观平面呈平行, 这种现象表明岩浆多次重新注入到构造裂缝中。根据冰岛的地震传播速度估算出深部熔体传播速度和熔体通道的厚度, 假设熔体和固体的热性质相同[49], 因为地壳是由经基性岩浆多次注入形成的, 一个 0.2 米厚的玄武岩熔体层在  $500^\circ\text{C}$  的环境温度下大约一小时后就会凝固。如果温度只有  $250^\circ\text{C}$  则冻结熔融通道的时间将增加到 1.5~2.5 小时。如果岩浆在构造通道中静止, 即使是 1 米厚的岩墙也需要 1.5~3 天才可以冷凝, 这些结果对于理解基性岩浆在金矿形成中的作用具有重要意义[50]。

三叠纪时期, 华南地块由于印支运动的影响向南移动印支地块相连, 向北与华北克拉通相连。滇黔桂地区的卡林型金矿化主要发生在印支期以及燕山期, 先前的研究认为该研究区金矿的主成矿年代是印支期, 而燕山期则主要是提供了有利的氧化还原环境, 并对印支期形成的矿床进一步的改造、叠加、萃取。前人通过使用 Ar-Ar 法对者桑金矿中因热液蚀变形成的绢云母进行定年, 结果测得该矿床年龄为  $215.3 \pm 1.9 \text{ Ma}$  [47], 与本文测得的晚期基性岩年龄为  $215 \pm 5 \text{ Ma}$  十分相似, 此外, 晚期基性岩稀土元素蛛网图与者桑金矿岩石的配分模式图也十分一致[42], 而早期基性岩稀土元素配分模式图并未与岩矿石配分模式图表现出一致(见图 6), 表明晚期基性岩在成矿物质来源上与金矿关系更为密切。

对华南板块的动力学研究表明, 印支早期, 研究区在峨眉山大火成岩省的影响形成了早期基性岩, 基性岩萃取了地层中的部分成矿元素, 形成了较小规模的矿化。到了晚二叠世 - 中三叠世, 由于受到华南板块和印支板块碰撞的影响, 晚期基性岩上涌, 使地幔物质与俯冲物质混合, 且在上升的过程中萃取了地层中的成矿物质, 与地壳发生了混染, 使成矿物质活化上移, 与大气降水结合并进行物质交换, 最

终混合作为成矿流体, 随后沿着构造裂隙上移, 不断从地层中浸取金, 最终在构造有利的部位叠加形成金矿。综上所述, 该区的金矿化模式可能如下: 印支早期形成的该区高钛基性岩, 即本文研究的早期基性岩, 是峨眉山大火成岩省的产物, 本次构造运动导致该区形成了小部分的矿化。随后在晚二叠世, 研究区又受到了华南板块向印支板块俯冲碰撞构造运动的影响, 导致幔源物质上涌, 地壳不均匀减薄, 壳幔物质混合, 晚期基性岩在该过程中提供了一定的热源, 也从地层中带来了少量的成矿物质, 并与成矿流体进行物质交换, 最终形成了大规模的金矿化。



**Figure 6.** Two-phase basic rock trace element standardization diagram of primitive mantle and rare earth element chondrite standardization diagram

**图 6.** 两期基性岩稀土元素球粒陨石蛛网图和岩矿石稀土元素球粒陨石蛛网图对比

## 6. 结论

1) 早期基性岩年龄为  $258 \pm 5$  Ma, 晚期基性岩年龄为  $219.9 \pm 6.6$  Ma, 者桑金矿年龄为 215.3 Ma, 在时间尺度上早期基性岩与峨眉山大火成岩省密切相关, 而晚期基性岩则与金矿化密切相关。

2) 早晚两期基性岩的  $\text{SiO}_2$  含量与各主量元素之间的含量表现出不同的相关性, 微量元素原始地幔标准化图和稀土元素蛛网图中也表现出不同的富集和亏损, 表明两期基性岩具有不同的分离结晶过程、不同的地壳混染程度以及不同的幔源特征。

3) 该区的矿化主要集中在印支板块与华南板块俯冲碰撞伸展构造环境中, 在时间、空间、物质来源方面都认为该区的金矿化与晚期基性岩浆关系更为密切, 即晚期基性岩在上升运移过程中从地层中萃取了大量的金, 最终在有利的构造位置沉淀成矿, 该结论能为该区卡林型金矿的成矿机制研究工作提供一定的理论指导。

## 参考文献

- [1] Bierlein, F.-P., Arne, D.-C., Mcknight, S., Lu, J., Reeves, S., Besanko, J., Marek, J. and Cooke, D. (2000) Wall-Rock Petrology and Geochemistry in Alteration Halos Associated with Mesothermal Gold Mineralization, Central Victoria, Australia. *Economic Geology*, **95**, 283-311. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.95.2.283>
- [2] Cai, J.-X. and Zhang, K.-J. (2009) A New Model for the Indochina and South China Collision during the Late Permian to the Middle Triassic. *Tectonophysics*, **467**, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.12.003>
- [3] Chen, M.H., Zhang, Z.Q., Santosh, M., Dang, Y. and Zhang, W. (2015) The Carlin-Type Gold Deposits of the "Golden Triangle" of SW China: Pb and S Isotopic Constraints for the Ore Genesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, **103**, 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.08.022>
- [4] Gan, T. and Huang, Z.L. (2017) Platinum-Group Element and Re-Os Geochemistry of Lamprophyres in the Zhenyuan

- Gold Deposit, Yunnan Province, China: Implications for Petrogenesis and Mantle Evolution. *Lithos*, **282-283**, 228-239. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.03.018>
- [5] Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G. and Robert, F. (1998) Orogenic Gold Deposits: A Proposed Classification in the Context of Their Crustal Distribution and Relationship to Other Gold Deposit Types. *Ore Geology Reviews*, **13**, 7-27. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7)
- [6] Feng, J.Z., Wang, D.B., Wang, X.M., Zeng, Y.S. and Li, T.F. (2004) Magmatic Gold Mineralization in the Western Qinling Orogenic Belt: Geology and Metallogeneses of the Baguamiao, Liba and Xiaogouli Gold Deposits. *Acta Geologica Sinica English Edition*, **78**, 529-533. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2004.tb00163.x>
- [7] Kovalev, K.-R., Kuzmina, O.-N., Dyachkov, B.-A., Vladimirov, A.-G., Kalinin, Y.-A., Naumov, E.-A., Kirillov, M.-V. and Annikova, I.-Y. (2016) Disseminated Gold-Sulfide Mineralization at the Zhaima Deposit, Eastern Kazakhstan. *Geology of Ore Deposits*, **58**, 116-133. <https://doi.org/10.1134/S1075701516020045>
- [8] Shubhangi, L. and Kirtikumar, R. (2017) Lamprophyres from the Harohalli Dyke Swarm in the Halaguru and Mysore Areas, Southern India: Implication for Backarc Basin Magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences*, **157**, 329-347. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.11.031>
- [9] Li, L., Li, S.-R., Santosh, M., Li, Q., Gu, Y., Lü, W.-J., Zhang, H.-F., Shen, J.-F. and Zhao, G.-C. (2016) Dyke Swarms and Their Role in the Genesis of World-Class Gold Deposits: Insights from the Jiaodong Peninsula, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, **130**, 2-22. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.06.015>
- [10] Nie, F., Jiang, S., Hou, W., Liu, Y. and Xiao, W. (2010) Language Original. Geological Features and Genesis of Gold Deposits Hosted by Low-Grade Metamorphic Rocks in Central-Western Inner Mongolia. *Mineral Deposits*, **29**, 58-70.
- [11] 黄文龙, 刘希军, 时毓, 许继峰, 廖帅, 郭琳, 吴伟男, 李政林, 梁琼丹. 桂西巴马地区极高Ti/Y值基性岩地球化学特征——来自峨眉山幔柱高Ti母岩浆[J]. 地质通报, 2015, 34(Z1): 474-486.
- [12] 贾大成, 胡瑞忠. 滇黔桂地区卡林型金矿床成因探讨[J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 378-384.
- [13] 李杰, 梁细荣, 董彦辉, 涂湘林, 许继峰. 利用多接收器电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICPMS)测定镁铁-超镁铁质岩石中的铷-锶同位素组成[J]. 地球化学, 2007, 36(2): 153-160.
- [14] 李政林, 刘希军, 时毓, 吴伟男, 姚野, 梁琼丹, 闫海忠, 谭森. 右江盆地南缘二叠-三叠纪基性岩研究及其与金矿的成矿关系探讨[J]. 矿物学报, 2015(S1): 227-228.
- [15] 李政林, 刘希军, 许继峰, 康志强, 时毓, 黄文龙, 陈雪峰, 吴伟男, 梁琼丹, 姚野. 右江盆地基性岩的地球化学演化特征及其区域构造意义[J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35(4): 727-735.
- [16] 廖帅, 刘希军, 时毓, 黄文龙, 郭琳. 地幔柱与岛弧岩浆相互作用的产物: 来自桂西辉绿岩型金矿中基性岩证据[J]. 矿物学报, 2013, 49(S2): 111-113.
- [17] 毛景文, 李延河, 李红艳, 王登红, 宋鹤彬. 湖南万古金矿床地幔流体成矿的氦同位素证据[J]. 地质论评, 1997, 43(6): 646-649.
- [18] 聂凤军, 江思宏, 侯万荣, 刘翼飞, 肖伟. 内蒙古中西部浅变质岩为容矿围岩的金矿床地质特征及形成过程[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 58-70.
- [19] 庞保成, 林杨松. 滇黔桂地区微细浸染型金矿成因的地球化学制约[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 38.
- [20] 皮桥辉, 胡瑞忠, 彭科强, 吴建标, 韦朝文, 黄勇. 云南富宁者桑金矿床与基性岩年代测定——兼论滇黔桂地区卡林型金矿成矿构造背景[J]. 岩石学报, 2016, 32(11): 3331-3342.
- [21] 丘元禧, 张伯友. 华南古特提斯东延问题的探讨[J]. 中国区域地质, 2000, 19(2): 175-180.
- [22] 仕竹焕, 杨云保. 初论滇东南地区微细粒型金矿找矿标志[J]. 西部探矿工程, 2007(5): 65-68.
- [23] 宋博, 闫全人, 向忠金, 陈辉明, 马铁球, 杨广元. 广西凭祥中三叠世盆地沉积特征与构造属性分析[J]. 地质学报, 2013, 87(4): 453-473.
- [24] 涂光炽. 我国西南地区两个别具一格的成矿带(域) [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(1): 1-2.
- [25] 王迎春, 张小兵, 秦辉. 广南—富宁微细浸染型金矿分类及代表性矿床[J]. 云南地质, 2013, 32(3): 259-263.
- [26] 王忠诚, 吴浩若, 邝国敦. 桂西晚古生代海相玄武岩的特征及其形成环境[J]. 岩石学报, 1997, 13(2): 135-140.
- [27] 文志林, 邓腾, 董国军, 邹凤辉, 许德如, 王智琳, 林舸, 陈根文. 湘东北万古金矿床控矿构造特征与控矿规律研究[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 7(2): 281-294.
- [28] 吴根耀, 吴浩若, 钟大赉, 邝国敦, 季建清. 滇桂交界处古特提斯的洋岛和岛弧火山岩[J]. 现代地质, 2000, 14(4): 393-400.
- [29] 谢建成, 杨晓勇, 杜建国, 孙卫东. 铜陵地区中生代侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及 Cu-Au 成矿指示意义

- [J]. 岩石学报, 2008, 24(8): 1782-1800.
- [30] 徐伟, 刘玉平, 郭利果, 叶霖, 皮道会, 廖震. 滇东南八布蛇绿岩地球化学特征及构造背景[J]. 矿物学报, 2008, 28(1): 6-14.
- [31] Ressel, M.-W. (2006) Igneous Geology of the Carlin Trend, Nevada: Development of the Eocene Plutonic Complex and Significance for Carlin-Type Gold Deposits. *Economic Geology*, **101**, 347-383. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.2.347>
- [32] Sillitoe, R.-H. (2008) Special Paper: Major Gold Deposits and Belts of the North and South American Cordillera: Distribution, Tectonomagmatic Settings, and Metallogenic Considerations. *Economic Geology*, **103**, 663-687. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.103.4.663>
- [33] Qin, X.F., Wang, Z.Q., Zhang, Y.L. and Pan, L.Z. (2012) Geochemistry of Permian Mafic Igneous Rocks from the Napo-Qinzhou Tectonic Belt in Southwest Guangxi, Southwest China Implications for Arc-Back Arc Basin Magmatic Evolution. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, **85**, 1182-1199. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2012.00740.x>
- [34] Yan, Y.T., Zhang, N., Li, S.R. and Li, Y.S. (2014) Mineral Chemistry and Isotope Geochemistry of Pyrite from the Heilangou Gold Deposit, Jiaodong Peninsula, Eastern China. *Geoscience Frontiers*, **5**, 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.05.003>
- [35] Yang, J.H., Cawood, P.A., Du, Y.S., Huang, H. and Hu, L.S. (2012) Detrital Record of Indosinian Mountain Building in SW China: Provenance of the Middle Triassic Turbidites in the Youjiang Basin. *Tectonophysics*, **574-575**, 105-117. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.08.027>
- [36] Zhai, M.G. and Santosh, M. (2013) Metallogeny of the North China Craton: Link with Secular Changes in the Evolving Earth. *Gondwana Research*, **24**, 275-297. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.02.007>
- [37] Zhao, H.-X., Frimmel, H.E., Jiang, S.Y. and Dai, B.Z. (2011) LA-ICP-MS Trace Element Analysis of Pyrite from the Xiaolinling Gold District, China: Implications for Ore Genesis. *Ore Geology Reviews*, **43**, 142-153. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.07.006>
- [38] Zhou, M., Zhao, J., Qi, L., Su, W. and Hu, R. (2006) Zircon U-pb Geochronology and Elemental and Sr-nd Isotope Geochemistry of Permian Mafic Rocks in the Funing Area, Sw China. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **151**, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s00410-005-0030-y>
- [39] Zhu, R.X., Fan, H.R., Li, J.W., Meng, Q.R., Li, S.R. and Zeng, Q.D. (2015) Decratonic Gold Deposits. *Science China Earth Science*, **58**, 1523-1537. <https://doi.org/10.1007/s11430-015-5139-x>
- [40] 陈阳阳, 陈兵. 黔西南水银洞卡林型金矿地质地球化学特征及成因[J]. 中国地质调查, 2016, 3(2): 10-14.
- [41] 代鸿章, 陈翠华, 顾雪祥, 李保华, 董树义, 程文斌. 云南省富宁县者桑金矿床成矿流体特征[J]. 现代地质, 2014, 28(5): 893-904.
- [42] 代鸿章, 陈翠华, 刘家军, 张燕, 何朝鑫. 云南者桑金矿床元素地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2015, 34(4): 744-754.
- [43] 范蔚茗, 彭头平, 王岳军. 滇西古特提斯俯冲-碰撞过程的岩浆作用记录[J]. 地质前缘, 2009, 16(6): 291-302.
- [44] 范蔚茗, 王岳军, 彭头平, 苗来成, 郭峰. 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.
- [45] 方维萱, 张海, 贾润幸. 滇桂个旧-那坡三叠纪弧后裂谷盆地动力学与成矿序列[J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(4): 552-566.
- [46] 何鸿, 韦龙明, 张寿庭, 高阳, 徐毅. 陕西八卦庙金矿床成矿流体 He、Ar、H、O 同位素特征[J]. 黄金, 2009, 30(8): 9-11.
- [47] Pi, Q.H., Hu, R.Z., Xiong, B., Li, Q.L. and Zhong, R.C. (2017) *In Situ* SIMS U-Pb Dating of Hydrothermal Rutile: Reliable Age for the Zhesang Carlin-Type Gold Deposit in the Golden Triangle Region, SW China. *Miner Deposita*, **52**, 1179-1190. <https://doi.org/10.1007/s00126-017-0715-y>
- [48] 国家辉. 桂西北地区岩浆活动与超微粒型金矿化的关系[J]. 贵金属地质, 2000, 9(3): 133-143.
- [49] 胡瑞忠, 付山岭, 肖加飞. 华南大规模低温成矿的主要科学问题[J]. 岩石学报, 2016, 32(11): 3239-3251.
- [50] Hu, R.-Z., Su, W.-C., Bi, X.-W., Tu, G.-Z. and Albert, H. (2002) Geology and Geochemistry of Carlin-Type Gold Deposits in China. *Mineralium Deposita*, **37**, 378-392. <https://doi.org/10.1007/s00126-001-0242-7>