中南大学

博士学位论文

滇东南卡林型金矿地质地球化学与成矿模式

姓名：周余国

申请学位级别：博士

专业：矿产普查与勘探

指导教师：刘继顺

20090401

摘 要

滇东南地区是我国著名的卡林型金矿集中区——滇黔桂“金三角”之一角，对该区卡林型金矿的系统研究目前仍显不足。本文以板块构造理论、区域成矿学、地球化学、成矿预测学和找矿系统工程学为指导，基于十余年滇东南地区的金矿找矿实践，以大量地质地球化学数据为支撑，以滇东南地区卡林型金矿不同亚类典型矿床解剖为切入点，以成矿系列的概念将本区金矿与钨锡、铜铅锌银、砷锑汞（钡）等矿产时空分布上连成一线，以卡林型金矿成矿作用、成矿规律、成矿预测为主线，系统研究了滇东南地区卡林型金矿地质地球化学特征、控矿要素和成矿规律，并开展成矿预测。论文工作重点是以区域成矿学为主的多学科的综合研究，取得的主要成果和认识如下：

1、结合对卡林型金矿研究现状的探讨，提出了卡林型金矿的再定义问题，将卡林型金矿定义为区带上集中分布的（超）微细、浸染、中低温热液金矿床。

2、运用地物化遥等资料系统论述了滇黔桂菱块体（“金三角”）区域成矿地质背景，肯定了右江裂谷带（幔隆带）的存在，论证了滇黔桂“金三角”地区卡林型金矿的物源主要与裂谷和区域性深大断裂附近峨眉地幔柱长期活动相伴的基性火成岩及火山碎屑浊流沉积有关，区域构造运动及其与之相伴的酸性和基性岩浆活动是滇东南地区乃至滇黔桂地区金矿成矿作用最为主要的热源。

3、论证了南盘江盆地的形成与演化，是印度板块、欧亚板块、太平洋板块相互碰撞导致地幔上隆引起玄武岩喷溢和水平拉伸在构造薄弱地段造成差异性下陷的结果，从区域地层地球化学角度指出右江裂谷活动至少始于寒武纪，随着时间的推移，由桂西北逐渐影响到滇东南及黔西南。

4、对滇东南地区卡林型金矿地质特征作了概略性介绍，根据金矿的产出特点、容矿岩石等将滇东南地区卡林型金矿分为细碎屑岩-不纯碳酸盐岩型、不整合面型、基性岩型、红色粘土型。探讨了滇东南地区卡林型金矿与含金建造、岩浆岩、构造的关联，并以典型金矿床为例阐述了该区卡林型金矿的常量元素、微量元素、稀土元素、包裹体、同位素和黄铁矿单矿物等地球化学特征。

5、系统论述了滇东南地区卡林型金矿成矿作用，指出壳幔不均一性及其相互作用→预成矿作用→成矿作用→后成矿作用是大自然

对壳幔物质所进行的一系列“选矿”过程，各种成矿作用之间既相互联系又递进发展。提出了“预成矿作用”的概念、可能性及其对卡林型金矿等中低温矿产成矿作用的重要影响。从地球化学角度探讨了金的迁移沉淀机制。

6、用成矿系列的理论将滇东南地区的金矿与钨锡、铜铅锌银、金砷锑汞等矿产进行时空上的关联，提出滇东南地区主要存在如下成矿系列组合：①越北古陆北缘与南盘江盆地演化相关联的预成矿系列组合；②与峨眉地幔柱活动相关联的中低温成矿系列组合；③与燕山期花岗岩浆活动、区域构造运动相关联的叠加改造成矿系列组合。

7、提出了滇东南地区卡林型金矿矿床成因的三因素：（1）壳幔的不均一性及地球从起始演化到现今的过程中元素的分布再分配是形成矿种区域空间分布差异的基础因素；（2）预成矿作用是滇东南地区主要沿加里东不整合面形成不整合面型金矿的重要因素。（3）越北古陆的向北逆冲推覆和几大板块平移走滑所形成的驱动热力和与此相关的断褶带、层间破碎带及岩体外围由岩浆侵位、冷缩形成的密集张裂带是滇东南乃至滇黔桂“金三角”地区卡林型金矿及其他内生矿产形成的决定因素，进一步总结了滇东南地区卡林型金矿成矿规律和成矿模式。

8、以成矿系列理论、区域成矿学、成矿预测学作为指导，对该区金矿进行了有针对性的预测研究。并将研究成果重点应用在曼龙沟金矿深边部及外围新区的地质找矿和工程验证工作中；对个旧矿区外围和邱北某金矿深部进行成矿靶区预测，提出在滇黔桂菱块体内除右江裂谷外金等亲铁元素仍然有其他上升通道，因此，在滇东南乃至滇黔桂“金三角”地区具有找寻大型、超大型原生金矿的良好前景。

关键词 卡林型金矿，地质地球化学，成矿模式，成矿预测，滇东南

ABSTRACT

Southeast Yunnan province is a part of Dian-Qian-Gui gold-triangle, one of the famous concentration area of carlin-type gold deposits, and presently the systematic research is still insufficient for it. Guided by theory of plate tectonics, regional metallogenics, geochemistry, metallogenic prognosis, prospecting systematic engineering , based on more than ten years of gold-prospecting practice in Southeastern Yunnan area, the author has collected a large number of geological and geochemical data, analyzed different sub-types of the carlin-type gold deposits, and pay attention to the temporal and spatial distribution of gold and tin-tungsten, copper lead, zinc and silver, antimony arsenic mercury (Ba). Furthermore, took the mineralization, metallogenic law, forming within this area as the main line, the author has conducted systematic studies about its geological and geochemical characteristics, metallogenesis, metallogenesis law and metallogenic prognosis. The main achievements and cognitions are as follows:

1. Combined with its existing studies, a redefinition of Carlin-type gold deposits is put forward that is (ultra) fine, disseminated, meso-epithermal gold deposits with concentrated zoning distribution.

2. Regional metallogery geological setting of Dian-Qian-Gui gold-triangle was systematically discussed with geology, geophysics, geochemistry and remote sense data, the existence of Youjiang valley(mantle swell) was also be confirmed, and it was demonstrated that the source material of Carlin-type gold deposits in Dian-Qian-Gui gold-triangle is mainly relative to the basic igneous rock and volcaniclastic turbidite deposition which accompanied with the Emei mantle plume activity happened nearby the rift valley and regional discordogenic fault. The regional structure movement and acidity and the basic magmatic activity accompanying were the most important heat source.

3. It is demonstrated that the formation and evolution of Nanpanjiang basin is the result of the differential subsidence on the weak district caused by the effusion and horizontal stretching of

basalt which originated from the collision of Indian, Eurasian and Pacific plates and then the mantle thriving. It is pointed out that, from the regional geochemistry standpoint, the Youjiang Rift activity begins as early as Cambrian Period at least, and splits gradually form western Guangxi to southeastern Yunnan and southwestern Guizhou.

4. A brief introduction about the geological characteristics of carlin-type gold deposit in Southeast Yunnan province is given in the paper. On the basis of its yielding features, host rocks etc., the Karlin gold ore in southeast Yunnan region could be divided into fine clastic rock-impure carbonatite type, unconformity type, basic rock type and red clay type. Discussed the relationship between Carlin-type gold deposits and gold-bearing construction, magmatic rocks, tectonic, and took the typical gold deposits in this studying area for example, the author presented the geochemical characteristic of the major elements, trace elements, REE, fluid inclusion , isotopes and pyrite single mineral and so on.

5. As for the mineralization of Carlin-type gold deposit in Southeastern Yunnan province, it is indicated that crust-mantle inhomogeneity and their interactions → pre-metallogenesis → metallogenesis→post-metallogenesis is a series of natural "Beneficiation" Process and they contacted and promoted with each other. "pre-metallogenesis" concept, the possibility and its implications for mineralization of epithermal-mesothermal ore deposits (such as carlin-type gold deposit etc.) were put forward in the paper. Furthermore, from the geochemical point of view, the author discussed the mechanism of ore-forming transfer and sedimentation.

6. Using the theory of metallogenic series, the author discussed the space-time relationship between gold deposit and tungsten, tin, copper, lead, zinc, silver, antimony, arsenic, mercury and other minerals, and put forward there are some major metallogenic series combination in Southeast Yunnan including: (1) the pre-metallogenesis series related to the evolution of northern Vietnam oldland and Nanpanjiang basin; (2) the epithermal-mesothermal minerogentic series related to the Emei mantle column activity; (3) the superimpositiom and transformation

minerogentic series related to the Yanshanian granitic magma activity and regional tectonic movement.

7. As for the genesis of Carlin-type gold deposit in Southeastern Yunnan, three conclusion are summarized: (1) Crust-mantle inhomogeneity and distribution and redividsion of the elements from original evolution to present are the basic factors of special distribution difference of different ore (2) Pre-metallogenesis is the key factor of the unconformity type gold deposit mainly forming along the Caledonian unconformity surface;(3) Driving heating power came from the northward thrust overriding of Vietnam oldland and strike-slip of a few macroplate, and associated with fault-fold zone, cut-layer fracture structure and the intensive tension zone formed by magmatic intrusion and shrinkage at the external magmatic-body are determinate for the formation of Carlin-type gold deposit and other endogenetic deposit in Dian-Qian-Gui gold-triangle even in southeastern Yunnan province. What's more, the author furtherly summed up the metallogenic laws and metallogenic model of Carlin-type gold deposit in Southeastern Yunnan region.

8. As for the gold prospect of the region, guided by theory of metallogenic series, regional metallogenics, metallogenic prognosis, the author made some pertinence investigation, and then focus on the application of research results at geology prospecting and engineering approval in deep ditch and external edge of Manlonggou gold deposit. At the same time, The author predicted the ore-forming targets at the outskirts of Gejiu deposit and deep part of one gold deposit in Qiubei, and put forward that in addition to Youjiang rift , there are still have others ascending passageway for the gold and other siderophile elements in Dian-Qian-Gui gold-triangle . Therefore, it is good prospect to look for large, superlarge primary gold deposit in southeastern Yunnan even in Dian-Qian-Gui gold-triangle area.

KEY WORDS: Carlin-type gold deposit, metallogenesis, law of metallogenesis, metallogenic prognosis, southeast Yunnan province

原创性声明

本人声明，所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了论文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中南大学或其他单位的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所作的贡献均已在论文中作了明确的说明。

作者签名：周余国　　日期：2009 年 6 月 4 日

学位论文版权使用授权书

本人了解中南大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文并根据国家或湖南省有关部门规定送交学位论文，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用复印、缩印或其它手段保存学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。

作者签名：周余国　导师签名：刘[illegible]　日期：2009 年 6 月 4 日

第一章 绪 论

1.1 选题依据及研究意义

自 1961 年美国内华达州发现卡林型金矿以来，卡林型金矿已成为世界上重要的金矿工业类型，成为跨国矿业公司及各国勘查部门所追求的目标（Radtke A.S.,1981）。我国已成为除美国之外最重要的卡林型金矿产地。

滇东南地区是我国极为重要的卡林型金矿集中区——“滇黔桂金三角”之一角。虽然与黔桂两省区结合部同属扬子地块西南缘，但黔桂两省区金矿主要赋存于以右江裂谷为中心的三叠系巨厚砂泥质浊积岩和具复理石韵律的不纯碳酸盐岩中，矿床规模往往较大，且与美国卡林型金矿可比性更强。而滇东南地区的地质背景、成矿类型等都要复杂得多，加之成型金矿的发现较晚，基本上到上世纪九十年代才得以突破，至目前虽然已经发现的卡林型金矿床(点)达数十处，但见诸报道的却不多，真正做过较系统研究的金矿只有富宁的金坝金矿和革档金矿，而在对整个滇东南地区金矿的地质地球化学与成矿模式进行全面系统的研究方面则尚显不足。

笔者有幸自上世纪 90 年代后期以来，与云南省地矿局地球物理地球化学勘查队以及文山州西畴县曼龙沟金矿的同仁一道，以曼龙沟金矿为依托，十余年来坚持以金为主的矿业勘查开发工作，足迹遍及“滇黔桂金三角”地区及云南省主要的产金区和知名金矿，检查和考察评价了滇东南地区数十个金异常和金矿（化）点，并在滇东南地区发现了数个规模不等的金矿床(点)。

2004 年以来，在导师指导下，以导师搭建的产学研平台为基地，与文山隆兴矿业有限公司合作开展了“曼龙沟金矿危机矿山深边部及外围新区矿体定位预测与增储研究”项目，以“滇东南卡林型金矿地质地球化学与成矿模式”为博士论文选题，以板块构造理论、区域成矿学、地球化学、成矿预测学和找矿系统工程学为指导，基于十余年滇东南地区的金矿找矿实践，以滇东南地区卡林型金矿不同亚类典型矿床解剖为切入点，以大量地质地球化学数据为支撑，以卡林型金矿成矿作用、成矿规律、成矿预测为主线，系统研究了滇东南地区卡林型金矿矿地质地球化学特征、控矿要素和成矿规律，同时引入成矿系列的概念将滇东南地区的金矿与钨锡、铜铅锌银、砷锑汞（钡）等矿产与时空分布上连成一线，以矿业公司为主体开展地质找矿和成矿预测。论文工作重点是以区域成矿学为主的多学科综合研究。这一科研实践活动，旨在提高滇东南地区金矿的认知水平，促进金矿矿业勘查与开发的健康发展。

1.2 研究现状及存在问题

1.2.1 卡林型金矿称谓的演变

卡林金矿位于美国内华达州林恩矿区（Lynn mining District），是迄今为止北美所发现的最大的热液浸染交代型金矿之一，该区1907年始采砂金，1961年由纽蒙特（Newmont）矿业公司根据地质学家Rorberts, R. J.的意见发现，探明金储量110t，实际采出124t，平均品位9.33×10^{-6}，1965年始大规模氰化法生产微粒金，目前已基本采完。数十年来，美国Newmont Gold Company 、Western States Minerals Co.、Barrick Gold strike Mines, Inc.等公司先后在内华达州发现113个规模不等（单个矿床一般50～3000万盎司，Cox D.P等，1992）的卡林型金矿，仅内华达中北部总储量就超过8千万盎司（Zhiping Li等，1998），深部找矿捷报频传（Lewis Teal等，1997；王登红，2000）并在尤他州和加利福利亚州相继有所发现。

卡林型金矿因其规模大，易采选，经济价值高，各矿床成群成区带集中分布而具有大致相同或相似的特征。据报道：除美国外，澳大利亚、印度尼西亚、多米尼加、西班牙和前苏联等都有卡林型金矿发现。

我国最早发现的卡林型金矿是于 1964～1966 年在湖南衡东发现的石峡金矿（谭延松，1980），产于泥盆系泥灰岩中，与汞矿相伴。1978 年，贵州地矿局在黔西南册亨县发现板其金矿（韦天蛟，1994）。自上世纪 80 年代开始，中国主要通过地球化学找矿方法发现数百个金矿（王学求，2003），目前我国的“滇黔桂金三角”、“川陕甘金三角”等是比较公认的卡林型金矿集中分布区。2007 年武警黄金部队十二支队在甘肃省文县阳山探获一座黄金资源量逾 300 吨超大型卡林一类卡林型复合式金矿床（张复新等，2007），该矿目前在卡林型金矿中位居世界第六，也是亚洲最大的卡林型金矿，改写了中国无 200 吨以上超大型独立金矿床的历史，为在中国找寻大型、超大型卡林型金矿增强了信心。

然而，什么是卡林型金矿，如何定义卡林型金矿，尚没有统一的认识。

1974 年，美国卡林金矿的权威专家 A. S. Radtke（《卡林金矿地质学》作者）和 F. W. Dickson 首先提出了“卡林型”金矿这一概念并归纳其主要特征如下：金与黄铁矿化、硅化关系密切；含金矿物颗粒极细；矿石中富含有机物；金矿通常沿充填有蚀变火成岩的高角度断层分布，产于渗透性良好的不纯碳酸盐岩中，并和细粒硅化岩石及似碧玉岩共生；原生矿之上有氧化带存在；具泥化岩石；很少见明金，贱金属罕见；具砷、锑、汞异常，有些矿床中可见砷、锑、汞的矿化；高砷矿石中有铊；多数矿床可见晚期石英脉、重晶石脉、方解石脉；黄铁矿既有同沉积期形成的，也有热液成矿期形成的；成矿时代为第三纪。

卡林型金矿的概念提出后，由于我国这一类型的金矿与卡林型金矿既有相似

之处，每一地区又各具特色，所以出现了不同的称谓（韦永福等，1994），如：渗滤热液型金矿（母瑞身等，1982；胡伦积等，1982）、（地下）热（卤）水溶滤型金矿（贵金属矿床地质专业组，1983；栾世伟等，1987；罗镇宽等，1990）、与碳酸盐岩系 、碎屑岩系有关的地下热液型金矿（郑明华，1982）、沉积岩型亦称细碎屑岩一碳酸盐岩一硅质岩型金矿（涂光炽，1990）、碳硅泥岩型金矿（王学曾，1994）、与显生宙粉砂质泥质夹碳酸盐质沉积岩建造有关的金矿（罗镇宽等，1990）、微细浸染型金矿（陈纪明，1990）等，甚至有称浊积岩型金矿、可大规模开采的金矿、类卡林型金矿等，也有人将其归入热泉型金矿。

可以看出上世纪 90 年代以前，我国对卡林型金矿的称谓是比较混乱的，90 年代中后期以来，随着我国在卡林型金矿找矿方面不断取得进展，微细浸染型金矿、沉积岩型金矿、卡林型金矿等称谓才逐渐占据主导位置，如李舒等（1999）、陈毓川等（2001）用微细浸染型金矿的称谓，刘东升等（1994）认为为便于与国内外同类型矿床对比，主张“用卡林型金矿床为好”，并将卡林型金矿定义为：产于沉积岩及浅变质沉积岩中，赋矿主岩主要为碎屑岩及碳酸盐岩；有一套中低温的矿物共生组合和围岩蚀变；金的粒度多为次显微一显微级；在成因上属浅成中低温热液（渗流热卤水）金矿床，刘连登（1996）在其分类方案中直接将卡林型金矿作为中国金矿床的主要类型之一。

1.2.2 卡林型金矿分类研究现状

矿床分类是矿床学研究的一项重要内容，而矿床的分类原则多种多样，如矿体形态、成矿地质环境，成矿温压条件、容矿岩石、成矿作用等。卡林型金矿的类型划分与卡林型金矿的定义密不可分，狭义的卡林型金矿只是广义卡林型金矿的一种。

在卡林型金矿研究中，不同学者从不同角度对卡林型金矿进行了分类，如郑启铃（1989，转自刘东升等，1994）将黔西南卡林型金矿分为：金一锑一黄铁矿系列，金一汞系列及金一砷一锑系列，谭运金等（1992，转自刘东升等，1994）将滇黔桂卡林型金矿分为金一锑一黄铁矿型，金一汞一（铊）型和金一砷（锑）型，国外有学者(如波利申科等，卞善涛等译，2006)将卡林型金矿称之为金一汞矿床，并根据矿石建造划分为四种类型：(1) 金一砷一汞型，如内华达的 Carlin、Cortez、Getchell, Makedonia 的 Alsar；(2) 金一锑一汞型，如俄罗斯的 Vorontsovskye, 塔吉克斯坦的 Konchoch, 中国的矿床；(3) 金一碲一汞型，如雅库特的 Kuranah、Yusik、Tas-Yuryakh；伊朗的 Zarshuran；(4) 金一铜一汞型，如阿尔泰的 Murzinskoye、Novolushni-kovskoyoe。这些分类是从卡林型金矿的矿石矿物组合和异常元素组合方面进行的地球化学分类。由于铁与硫是地壳组成的主要元素，在卡林型金矿形成的不同阶段皆有黄铁矿的晶出，砷、锑、汞与金的异

常或矿化往往只是形影相伴而在空间上“不在其中”，砷、锑、汞的异常组合表示的是一种温度由高到低的趋势变化，在很多具体的卡林型金矿中，除了黄铁矿化普遍存在外，往往金、砷、锑、汞异常同时并存，并且在野外难于做进一步的辨识。

刘东升（1994）认为构造是卡林型金矿最重要的控制因素，不同的构造形式反映矿床成矿特点、成矿环境和成矿机制的不同，找矿方法也不同。刘东升将中国卡林型金矿分为整合型和断裂型两大类，整合型是指矿体的分布受地层界面或不整合面控制，具体又分为（穹隆+）不整合面型，如黔西南戈塘金矿，顺层断裂型，如陕西双王金矿，不整合面型，如广东长坑金矿；断裂型则是指卡林型金矿受断裂构造控制斜切地层界面或不整合面，具体又分为褶皱+断裂型，如黔西南紫木凼金矿，褶皱+密集裂隙带型，如黔西南烂泥沟金矿。构造不仅是卡林型金矿而且是所有内生矿产最重要的控制因素，很多卡林型金矿是先发现金的地球化学异常，再发现金矿化进而逐步扩大金矿规模的，即使是整合型金矿也离不开构造（如次级断裂，顺层滑动面等）的作用。

2002 年，美国地调局与中国冶金部天津地调所联合对中国沉积岩型金矿进行了较为系统的研究（Stephen G. Peters 等，2002）并将其分为五个类型：卡林型金矿床、与侵入体有关的金矿床、造山带金矿床、不整合型金矿床和红土型金矿床，显然这里的卡林型金矿是狭义的卡林型金矿。

Mao 等（2002）、A. H. Hofstra 等（2005）认为造山带液体从中间带向上迁移，后来沿推覆断裂流入临近褶皱带，在浅成环境下形成卡林型金矿，也即卡林型金矿是板块前陆地质背景下形成的造山带金矿中间带之上的浅成矿床，这种观点将卡林型金矿和造山带金矿看做一个有机的整体，只是成矿深浅有别。而在长江中下游地区与侵入体有关的金矿其产出特征也与卡林型金矿相似，以鄂东丰山矿田卡林型金矿为例（刘继顺等，2004），其主要特征是：(1)分布于丰山斑岩体周围的中酸性岩脉发育区；(2)容矿岩石为下三叠统大冶组薄层状－纹层状和角砾状碳酸盐岩；(3)矿体主要受高角度断层控制。通常产于岩脉的一侧或附近；(4)矿石普遍具白色细网脉状方解石化和炭泥化，裂面上常见黑色炭质被膜；(5)金主要为次显微金；(6)成矿物质主要来自矿源层，部分来自岩浆，成矿热液水主要来自大气降水，也大致符合卡林型金矿的基本特征，但在 Stephen G. Peters 等（2002）的分类中却是与卡林型金矿相并列的。

Ridder（1970）和 Hutchison（1971、1975）在研究太古宙绿岩型金矿后认为：太古宙绿岩型金矿是喷气作用把金携入优地槽建造中，伴随化学沉淀，形成整合的层状金矿床－“卡林型”金矿，绿岩型金矿是“卡林型”金矿经变质作用使金活化后从矿源层中带出而形成的（转自 Herzig P M 等，1995）。

不难看出，由于卡林型金矿的复杂性及认识上的分歧，所以对卡林型金矿的分类还远未统一。

1.2.3 关于卡林型金矿的不同认识及再定义

不同学者对于卡林型金矿有不同的认识，主要的分歧有如下几点：

1、称谓：狭义认为沉积岩型金矿、微细浸染型金矿不等同于卡林型金矿，如 Stephen G. Peters（2002），李朝阳（1995），广义认为沉积岩型金矿、微细浸染型金矿和卡林型金矿三者矿床基本表征相同，为便于对比，都可称为卡林型金矿，如刘继顺（2004），刘东升（1994）等。

2、成矿温度：如涂光炽等（1996）认为是低温（≤200℃），而刘东升等认为是中低温（165℃－290℃）。

3、容矿岩石：狭义认为容矿岩石为沉积岩，广义认为容矿岩石除沉积岩外，还可扩展至火山岩、火山－沉积岩、浅变质沉积岩(王可勇，2000)。

4、岩浆作用与流体性质：刘东升、Kuehn C. A.（1995）等认为与周围酸性岩无直接关系，而 Sillitoe R. H 等（1990）、A·潘捷列夫（1986）等认为矿源与热液均为岩浆岩，赋矿地层仅是有利赋矿层位，卡林型金矿是岩浆热液体系的远源产物。王登红（2000）认为成矿流体非直接由岩浆结晶分异而成的岩浆期后热液，而更可能是从地幔柱中直接分离出来的，或者是地幔柱加热的各种地下水，当然也可能是两种或多种流体的混合，因而与出露的岩浆岩不一定直接有关，他们更可能是一种“兄弟关系”而不是“母子关系”。

5、矿源层：一种观点认为，赋矿地层即是矿源层（谭运金，1994；侯宗林等，1989；万兵，1991）。另一种观点认为，卡林型金矿的所有成矿元素在浅部热液系统中都是活动组分，热液流经范围的任何岩石都可能作为这些元素的来源，因而赋矿地层不是成矿元素的唯一来源，也不存在特定的矿源层（Nessbitt B E，1988）。Stephen G. Peters 等（2002）也认为滇黔桂金三角地区金的矿源层是三套沉积岩和火山岩，可能与沉积建造中的炭质有关。第三种观点认为，矿质主要来自地幔或地壳深部的岩浆活动或海底喷流作用而非沉积地层，赋矿层位仅由于其岩性或构造条件有利而起到“捕集器”的作用（王登红，1999；高振敏等，2002；Wang G Z 等，2003；周余国等，2009）。

6、构造与成矿关系：一种观点认为，矿化与围岩没有明显边界，很少或不受组构控制（张秋明译，1987），再一种观点认为构造是卡林型金矿最重要的控制因素（刘东升，1994）。

7、金与砷、锑、汞等的关系：一种观点认为 Au 与 As、Sb、Hg（Tl）等的矿石矿物组合及异常组合是卡林型金矿的“特征”，当有其他元素参与进来时，则不是卡林型金矿（李朝阳，1995），周余国等（2009）认为金与砷锑汞等元素的

组合关系，一方面受控于成矿成晕的温度，另一方面受控于物质来源，金与砷锑汞等的组合关系既有必然性，又有偶然性。

8、矿床成因：很多学者都从不同的角度提出卡林型金矿的成因观点，如地层改造成矿说（拉德克，1987；龙伯格，1986；刘东升，1985，1994）；热泉成矿说（B. R. 伯格，1983；L. J. 布坎南，1981；V. F. 霍利斯特，1987）；岩浆热液成矿说（H·西里托，1990；A. 潘捷列夫 ,1986）；喷流沉积说：Ridder（1970）和 Hutchison（1971，1975），汪东坡等（1998，1999）认为扬子地块西北缘金矿与铅锌矿同位分层是喷流沉积形成铅锌矿后，后期变质作用形成金矿，刘家军等（1997）认为黔西南微细浸染型金矿有喷流沉积成因的诸多证据；多源成矿说：张贻侠等（1996）认为尽管卡林型金矿成矿流体以天水为主，但矿质是多源的，岩浆的、地层的、深部的都可能为卡林金矿的矿质来源，赋矿地层很可能提供了部分成矿物质，也可能是成矿的有利场所。

不难看出，随着卡林型金矿找矿的不断突破和科研的不断深入，对卡林型金矿的认识也趋于多样化。

本文认为，卡林型金矿只要求金矿的基本特征相同或相似，任何一种金矿床成因类型在其（中）低温成矿阶段，随着成矿环境的改变和元素的分异演化，都可能形成大致符合卡林型金矿特征的金矿类型。每一个具有与卡林型金矿相同或相似特征的金矿在特定的地质环境中其成因均有所不同。判断一个地方的金矿是不是卡林型金矿应主要考虑下列四点：①金呈微细粒存在于不同的容矿岩石中；②容矿岩石以浸染状构造为主；③成因上统一于中低温热液成矿；④区带上集中分布。依据这四条标准，将卡林型金矿定义为区带上集中分布的（超）微细、浸染、中低温热液矿床（周余国等，2008）。由此认为，区带上集中分布这一特点不仅是卡林型金矿的基本特征，也是区域上指导选区、找矿的重要原则。

基于上述讨论，本文将滇东南地区出现的所有独立产出的金矿统称为卡林型金矿。

1.2.4 滇东南地区金矿勘查历史及其研究现状

滇东南地区的金矿勘查开发一方面得益于上世纪 80 年代中后期全球性的金价高涨和找金热的兴起，另一方面也要归功于云南省自上世纪八十年代以来开始系统实施的“区域化探扫面计划”（谢学锦，1978）。这一计划在该区的实施，是由云南地矿局第二地质大队和区调队完成的，最晚的 1:20 万马关幅到 2000 年才提交报告，此时已是黄金的低迷期。在这一时期，以国家指令性计划下达的矿产勘查项目大大减少，投入该区进行科研工作的经费少之又少，大的跨国矿业公司如 BHP 公司纷纷退出了对该区的金矿勘查，剩下的主要是一些民营公司和一些个体矿主，他们关注的重点是金矿品位的高低和矿石量的多

少，因此在相当长的一段时期内对金矿地质地球化学特征与成矿模式等研究方面显得相对薄弱，也就影响到了对本区金矿规模的进一步扩大和金矿的成矿预测。

2003 年以来，随着全球矿业市场的不断升温，金价在短短四五年时间内屡创新高，从几年前的不足 300 美元/盎司一路攀升并一直在高位震荡，至目前已两次逾过 1000 美元/盎司，黄金勘查投资也随之大幅增长。据王淑玲（2003）统计，2003 年世界金矿勘查预算达 9.17 亿美元，金矿勘查费用占固体矿产勘查费用的比例由 2002 年的 45.2%上升为 48.1%，金矿仍是固体矿产勘查投资最多的矿产，也是近年来发现新矿区最多的矿产。2008 年，我国已跃居为世界第一大黄金生产国，云南已成为我国第三大产金省，探矿权和采矿权的争夺异常激烈，拥有资源就拥有未来已成为各国政府和大的矿业公司的共识，滇东南地区丰富的矿产资源复又引起当地政府部门和国内外知名大公司（如福建紫金矿业、云南锡业、云南铜业、云南工投、云南华联锌铟、云南蒙自矿业、云南斗月矿业等）的高度关注，老矿区深边部的增储以及新的目标区的成矿预测等问题就显得尤为重要和紧迫。

滇东南地区金矿经过近 20 年的勘查，已发现数十个规模不等的金矿（见附表 1），这些金矿主要是由云南地矿局二大队、物化探队、一大队、区调队、云南地矿资源股份有限公司及云南有色局 306 队等地勘单位的地矿工作者所发现，由于大多是矿业公司的市场行为，加之上世纪中后期金价的持续低迷，见诸报道的金矿少之又少，未能如实反映出近 20 年来的勘查成果，也给本文开展系统的区域地质地球化学及成矿模式研究工作带来一定困难。

笔者在对滇东南地区主要金矿床（点）进行的大量考察、论证和实地金异常找矿基础上，力图通过滇东南卡林型金矿地质地球化学与成矿模式的研究，为滇东南地区金矿勘查开发有所裨益。

1.2.5 存在问题

纵观前人的研究成果，主要存在以下问题：

1、对滇黔桂“金三角”这一金矿集中区没有一个准确的定位，有的文献将产于哀牢山变质带的墨江金矿、滇南地区红河断裂以西的一些金矿都视为滇黔桂“金三角”内的金矿，甚至把产于广东的长坑金矿也归入这一地区。

2、过于注重滇黔桂“金三角”地区金矿点与美国卡林型金矿的对比研究，忽视了对不同地区金矿个性归纳基础上的系统总结。

3、过于关注卡林型金矿的成因，忽视了矿床形成的地质背景及与其他岩石、矿种形成的时空关联（岩石系列、成矿系列的演化）。

4、将 Au 与 As、Sb、Hg 的关系绝对化或简单化，忽视了 Au 与 As、Sb、

Hg 地球化学性质的相似性和差异性。

5、忽视找矿实践与成矿预测理论的有机统一。

1.3 研究思路、内容、技术路线

论文工作重点是以区域成矿学为主的多学科的综合研究。在导师的全面指导下，以板块构造理论、区域成矿学、地球化学、成矿预测学和找矿系统工程学为指导，基于十余年滇东南地区的金矿找矿实践，以滇东南地区卡林型金矿不同亚类典型矿床解剖为切入点，以大量地质地球化学数据为支撑，以卡林型金矿成矿作用、成矿规律、成矿预测为主线，系统研究了滇东南地区卡林型金矿矿地质地球化学特征、控矿要素和成矿规律，并开展了成矿预测。

主要研究内容如下：

1、区域成矿地质地球化学背景，主要包括滇黔桂“金三角”地区大地构造划分、区域地物化遥特征、右江裂谷演化、区域矿产分布规律等基础地质问题，以期从宏观上对滇黔桂“金三角”地区区域成矿地质背景进行总体把握。

2、卡林型金矿的再定义及滇东南地区卡林型金矿类型划分，包括金矿类型划分的依据、划分结果及典型矿床示例。

3、滇东南地区金矿床地质、地球化学特征，包括金矿矿石矿物组合与矿体特征、空间分布特征及与其他矿产的时空关系；卡林型金矿与地层、基性岩、酸性岩、控矿构造和容矿构造的关联。

4、滇东南地区壳幔不均一性、预成矿作用、成矿作用、后成矿作用的研究以及金的迁移沉淀机制。

5、滇东南地区卡林型金矿成矿系列、成矿规律、成矿模式及成矿预测。

1.4 主要研究进展与创新点

笔者十余年来坚守在滇东南区卡林型金矿地质找矿和成矿预测的第一线。本次博士论文工作，重点调查了代表性的金矿床（点）和异常区，测试分析了大量样品的金、砷、锑、汞、铜、银等元素含量，同时开展了硅酸盐全分析、稀土元素和微量元素分析及同位素测定。论文主要实物工作量见表 1-1。

主要创新点如下：

1. 通过国内外卡林型金矿文献资料的对比分析，结合滇黔桂主要金矿区（见附表）的调研，建议将卡林型金矿限定为区带上集中分布的（超）微细粒、浸染状、中低温金矿床。

2. 遥感解译和区域地球物理研究表明，本区金矿与右江裂谷带、富宁—关岭和文山-富宁构造带与地热活动区的空间关系密切；金源层（体）研究表明，

金含量与基性组分（元素）正相关，反映了金的深源性和壳幔不均一性。

3. 根据区内卡林型金矿的容矿主岩，划分为碎屑岩一不纯碳酸盐岩型、不整合面型、基性岩型和红色粘土型 4 大类；通过典型金矿解剖，研究了矿化蚀变规律、矿床地球化学特征和成矿物理化学条件。

4. 区内卡林型金矿的形成与演化经历了右江裂谷期预成矿阶段、峨嵋地幔柱活动期中低温热液成矿阶段和（或）燕山期酸性岩浆侵入期的叠加改造成矿阶段与表生富集成矿阶段；进而探讨了滇东南卡林型金矿成矿规律，建立了成矿模式。

5. 建立了本区卡林型金矿的成矿预测准则以曼龙沟、个旧锡矿区外围和邱北某地为实例，提出了具体的预测依据与找矿方向，部分预测已得到工程验证；并认为本区具有大型至超大型原生金矿的良好找矿前景。

表 1-1 完成主要实物工作量

项 目	单位	工作量	项 目	单位	工作量
路线地质调查	km	20	金（化学光谱）分析	件	4179
1/2000 地质填图	km^2	4	砷锑汞（原子荧光）分析	件	4179
矿点、异常调查	个	30	铜（直读光谱）分析	件	944
矿点地质简图	幅	5	银（原子吸收）分析	件	944
岩矿石稀土元素分析	件	38	野外现场金分析	件	1500
单矿物微量元素分析	件	2	钻孔编录	m	1149.8
岩矿石微量元素分析	件	38	野外地质照相	幅	100
硅酸盐分析	件	22	计算机制图	幅	80
Rb-Sr 同位素年龄样	件	6	英文资料翻译	字	15 万

第二章 区域成矿地质背景

2.1 区域大地构造背景及南盘江盆地演化

2.1.1 区域大地构造背景

滇黔桂毗邻地区大地构造位置处于欧亚板块、印度板块和太平洋板块的复合部位，矿产资源十分丰富，锡、铟矿产总储量位居全国之首，锑、锰、银、铅、锌也具有优势，自上世纪 80 年代开始实施区域化探扫面计划（RGNR）以来，该区共发现金矿床（点）200 余处（见附表 1），是我国公认的卡林型金矿集中区。

不同学者对该区的大地构造属性有不同的观点，如准地台（黄汲清，1977）、断块（张文佑，1983，1984）、地洼、印支地槽褶皱带（任纪舜，1983）、再生地槽（广西地矿局，1985）、裂谷（柳准之等，1986）、弧后扩张裂谷型地槽（王鸿桢，1986）以及弧后扩张盆地（刘本培，1986；许靖华等，1987）等。这些观点共同之处是都承认该区在晚古生代至早中三叠世处于拉张构造环境。

根据地球物理资料，右江裂谷地壳深部 10000m 左右发育基底拆离断裂，在地震剖面上能清楚看到在地表 2000m 之下，分别由 T_4 波、$T_{3\text{-}2}$ 波、$T_{3\text{-}1}$ 波和 T_2 波组成连续反射界面，在 10000m 附近交于较平缓的 T4 波上[①]，基底拆离断裂的倾伏方向与右江幔隆一致，即向南东倾伏，与陈元坤等（1982）、周永峰（1993）据重力异常分析，沿南宁－百色一线存在一地幔隆起和滇东南多金属幔坡的认识一致。

1995 年，中国地质勘查技术院主持华南地区物化遥成果编图，“金三角”作为重点片进行综合解译，王宝禄等（1995）提出扬子地块与华南褶皱带的西部界线应由原来的弥勒－师宗－罗甸断裂改为大新－三江隐伏断裂，所谓的滇黔桂“金三角”实则为一个变形（双菱复合）菱（环）块体，由红河、弥勒－师宗、水城－紫云－河池－昆仑关、凭祥－南宁（大新－三江断裂南侧）等断裂所围限（含越南北部一部分），并认为是扬子地台分离出来的独立次级地块，构造基底与扬子地块相同。遥感线环影像特征以 E106°为轴线具对称性：西有昆明山字形构造及滇中环，轴线为 E 102°30′，东有柳州山字形构造及柳州环，轴线为 E 109°30′。菱块体内西有南盘江-右江西构造环，东有右江东构造环，二者重叠部分为南北向透镜状，透镜体轴线为 E 106°，西有个旧岩体，东有昆仑关岩体，由南往北总体为一系列向北凸出的弧形断褶带形成相应的反山字形构造（逆冲推覆构造），其西南菱形边红河断裂与东南菱形边大新－三江断裂方向相反，与 E106°中轴线

[①] 陶启成主编，南盘江坳陷拖曳宽向斜带弯曲侧线多次覆盖地震勘探总结报告，1982，内部资料。

夹角相等（图 2-1）。而朱炳泉等（1998a，1998b、2001）利用中国大陆各类壳幔源岩矿石的大量铅同位素（6000 个以上）提出了地球化学急变带的概念，将该区划归华夏（古特提斯域），亦即华南褶皱带。

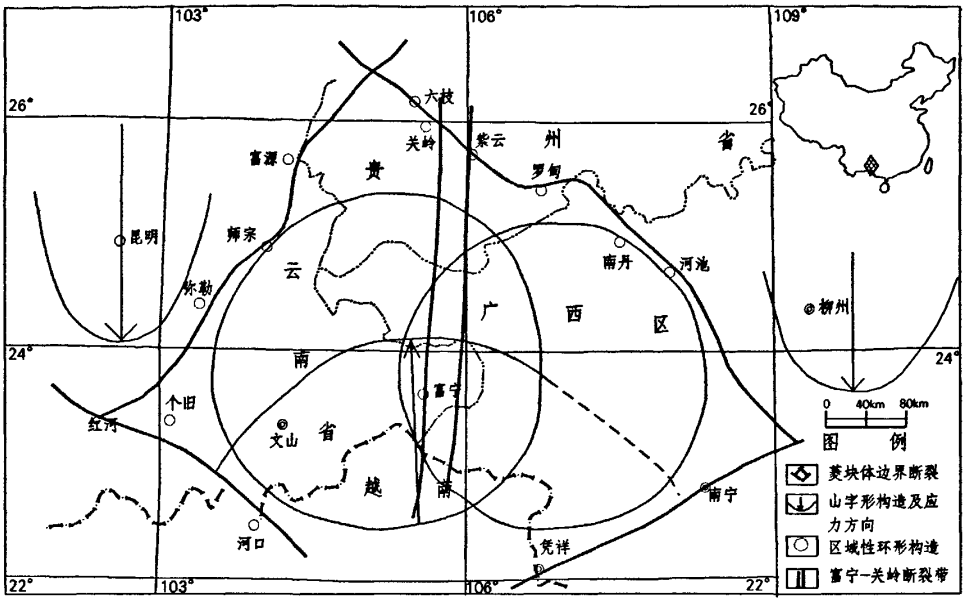


图 2-1 滇黔桂菱块体二级构造单元划分图[①]

由此可见，到目前为止，该区的大地构造归属仍存争议，本文将所讨论的滇黔桂“金三角”区域限定在图 2-1 所限定的菱（环）块体范围内，文中所指滇东南限定为红河断裂、弥勒—师宗断裂以东之云南境内地区。鉴于目前对该区的称谓多种多样，如滇黔桂“金三角”、滇黔桂菱（环）块体、右江裂谷带（幔隆—幔坡带）和南盘江盆地等称谓，虽表述方式不一，但皆指同一地区。

2.1.2 南盘江盆地演化探讨

本区澄江运动后进入早古生代的加里东旋回期。加里东旋回包括三个幕：寒武纪末期的郁南运动（形成“滇黔桂古陆”的雏形），奥陶世中末期的都匀运动（形成“滇黔桂古陆”）以及志留纪末期的广西运动（古陆进一步抬升），以前的拉张板块（寒武纪）或被动大陆边缘边界（早、中奥陶世）演变为晚奥陶世至志留纪的“碰撞板块边界”。这一时期，本区为一由西向东海水渐深的开阔陆棚相（$\in_1$ 砂泥质及硅质）向滨海潮坪泻湖相（$\in_{2+3}$+O 碳酸盐岩及砂泥岩）过渡，海水由西往东渐退，是大片海域到大片古陆的海陆变迁过程，其原因是“华夏板块沿着北西方向向扬子板块水平挤压作用”（梅冥相等，2005），志留系缺失可能“是奥陶纪末期南极冰盖凝聚导致海平面下降事件的结果”（陈旭等，2001；苏文博，

[①] 郭富达，华南地区物化遥编图滇黔桂片区滇东南地区遥感解译总结，云南地矿局物化探队（内部资料），1994，2-8。

2001），也可能是志留纪末广西运动使古陆抬升遭受剥蚀所致（马文璞，1992；章雨旭，2006）。但不论如何，从奥陶世晚期至泥盆纪经过长达数千万年（440Ma～405Ma）的地层缺失所形成的加里东不整合面为本区早期地壳表层物质的分异提供了充足的时间，是该区不整合面型金矿以及滇黔桂"金三角"地区由古陆往海盆，水体由河湖到浅海到深海，时间上由早到晚，空间上总体由南西往北东，矿种上由高温 W、Sn、Mo 矿床→中温 Cu、Pb、Zn、Ag、As 矿床→低温 Sb、As、Au、Hg、Ba（汞矿、重晶石矿床主要出现在黔南）以及沉积型铁锰矿床（主要分布于云南富宁至广西百色南部一带，靖西、大新、天等又称中国新"锰三角"，含矿岩系主要为上志留统榴江组）形成的重要条件，可以将这种长时间的沉积间断看作是金锑等矿产的预成矿作用，关于这一点将在第五章第一节详述。

广西运动之后，进入晚古生代的华力西旋回期，除牛头山古陆和越北古陆外，地壳又渐沉降，在大致相当于早古生代"滇黔桂古陆"分布的地区演变为晚古生代的以右江为中心的"滇黔桂盆地"（赵自强等，1996；曾允孚等，2001）。

华力西运动之后，本区进入印支旋回。早三叠世开始，本区地壳复又发生沉降，形成以南盘江-右江为中心夹于牛首山古陆和越北古陆之间的"南盘江盆地"（梅冥相等，2001，2002，2004；吴浩若，2003），戴塔根等认为，南盘江洋盆的打开与峨眉地幔柱的活动是相伴而行的，二者具有内在的联系，李朝阳（1995）也认为，南盘江洋盆的形成与演化，是印度板块与欧亚板块相互碰撞而导致地幔上隆引起玄武岩喷溢和水平拉伸在构造薄弱地段造成差异性下陷的结果，从而形成具巨厚沉积物的三叠纪海盆。

根据晚古生代及三叠纪的沉积体系及类型的时空分布和演化，以及火山活动及构造活动特征，南盘江盆地的演化可分为以下五个阶段（章正军等，1996）：

1、泥盆纪掀斜拉伸阶段：自早泥盆世开始，区内北东向断裂如弥勒一师宗断裂和开元－丘北断裂开始活动，造成康滇古陆南缘逐渐下沉，全区接受来自康滇古陆的陆缘沉积，由北向南一次发育三角洲、陆棚等沉积体系。随着拉伸作用的增强，上盘断块发生轻微旋转，使受拉伸断块的南缘上挠，北侧下沉，导致不同断块上存在着同期异相沉积。在北西向断裂拉伸的同时，北西向断裂也开始活动，形成东陡西缓的半地堑盆地，这一时期由于两组断裂的同时活动，形成如图 2-2A 所示的构造古地理格局，火山活动主要受北西向断裂控制，并显示出亲大洋特点。

2、石炭纪一早二叠世过渡拉伸阶段：为该区构造相对稳定时期，除早石炭世局部继承了泥盆纪北西向断裂活动外，全区多为北东向断裂控制下的整体升降，并以大范围内发育稳定型碳酸盐沉积为特征。早二叠世晚期两组断裂再次活动，使台地内部沿两组断裂出现深水及活动型碳酸盐沉积，局部伴有火山喷发。

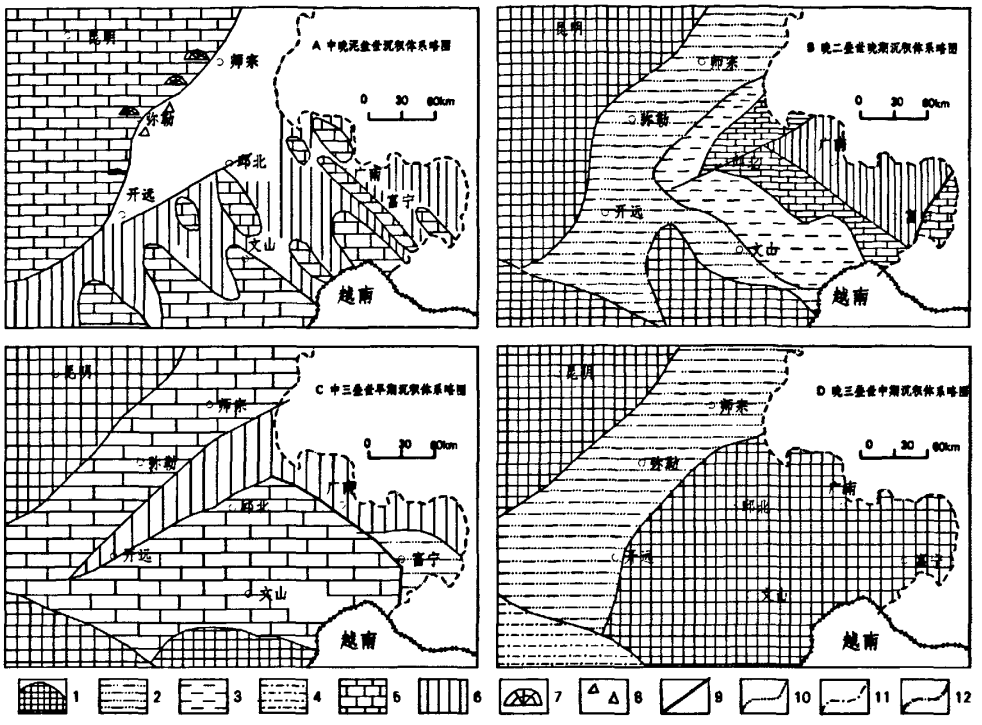


图 2-2 滇东南及邻区晚古生代和三叠纪各主要时期沉积体系及古地理略图(据章正军,1996)

1－古陆；2－滨、浅海沉积体系；3－混积型陆棚沉积体系；4－浅海陆棚沉积体系；5－台地碳酸盐沉积体系；6－断陷盆地沉积体系；7－生物礁；8－塌积角砾；9－同沉积断裂；10－沉积体系界限；11－省界；12－国界

3、晚二叠世幔隆拉伸阶段：在早二叠世晚期拉伸的基础上，晚二叠世构造活动进一步增强，具大陆裂谷特征的玄武岩大规模喷发；晚二叠世晚期，以右江幔隆为中心的拉伸作用增强，形成沿北西向构造主体展布的沉积体系，由西向东由滨岸－陆棚－盆地沉积体系转化，形成如图 2-2B 所示的构造古地理格局。

4、早中三叠世幔隆和扩容拉伸阶段：早三叠世早期，全区保持着晚二叠世晚期的构造古地理面貌，广南－富宁断裂以东为深水盆地相沉积，以西为滨浅海沉积。早三叠世晚期由于右江地区由幔隆拉伸向扩张拉伸转化，区内裂陷作用进一步加强，广南－富宁断裂以西，北西向和北东向两组断裂再次活动，并于中三叠世早期与右江盆地沟通，形成如图 2-2C 所示的"两台夹一槽"的构造古地理格局，这一时期右江地区伴有地幔上涌型基性岩浆喷发（钟自云等，1989）和扩容热异常的重熔型岩浆喷发（冯君储等，1986）。

5、晚三叠世反转挤压阶段：中三叠世拉丁尼晚期开始断裂发生逆向运动，盆地由拉伸裂陷转化为反转挤压。晚三叠世，随着右江地区的隆起，滇东南相继隆起，盆地整体向北迁移，沉积范围也大大缩小（图 2-2D），沉积序列向上水体

变浅，由海相向陆相沉积转化。沉积期后，由于区域应力的作用，该区发生逆冲推覆与平移走滑作用，形成现今的地质构造形式。

2.2 区域地质特征

2.2.1 区域地层

本区地层总体南老北新（图 2-3），地层对比见表 2-1,现由老到新简述如下：

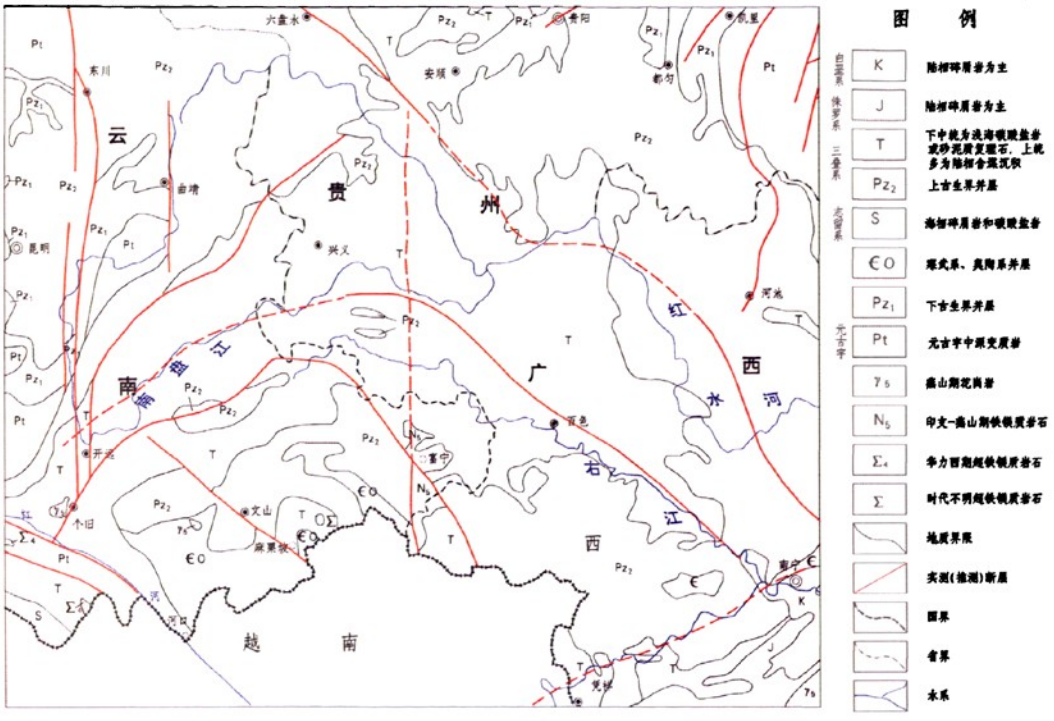


图 2-3 滇东南及邻区区域地质简图

本区出露最古老的地层为前震旦系之瑶山群（Pt*ys*）和马关群（Pt*mg*）深变质岩系，岩性由各类片麻岩、变粒岩夹斜长角闪岩、大理岩及石英电气石岩组成，普遍混合岩化，应属海槽型沉积。前者相当于早元古界哀牢山群的下部，厚度大于 3600 米；后者为越北齐山花岗片麻岩的延伸部分，相当于中元古界昆阳群的下部，厚度大于 2460 米，二者共同构成右江褶皱块体的西南边缘带。

震旦系（Z）：早震旦世，屏边地区为次深海相巨厚的细碎屑岩，复理石及类复理石韵律发育，为浊流沉积特征，总厚为 2470 米。至晚震旦世全球性冰川期开始，瑶山地区形成古岛（陆）。

寒武系（∈）：较完整出露于滇东南的南部和零星出露于桂西德林、德隆、和温、那甲、钦甲、下雷、西大明山及高峰山等地。其下统为海相炭质页岩，泥板岩、细粉砂岩等组成，底界与屏边群整合接触，厚 1266～2072 米；中统的中

下部为海相页岩、砂泥岩夹灰岩，局部出现次深水相热水沉积岩和硫化物沉积，上部为白云岩、白云质灰岩和泥质白云岩夹砂页岩，厚 783～6800 米；上统为海相白云岩、白云质灰岩和泥质条带灰岩，厚 728～3626 米，本岩系是区内锡、银、铅锌矿产赋存的重要层位。

奥陶系（O）：仅在滇东南地区出露下统和部分中统，向东至桂西即普遍缺失，下统由海相白云质灰岩、生物碎屑灰岩、石英砂岩、砂页岩组成，其底与寒武系呈整合接触，厚大于 1299 米；中统下部以石英砂岩为主，夹泥灰岩透镜和页岩层，上部为泥质灰岩和灰岩，厚度大于 477 米。

泥盆系（D）：广泛出露于本区南部和东北部，不整合超覆于中上寒武统和中下奥陶统之上。早泥盆世早期，本区普遍接受海相砂岩、粉砂岩和泥岩沉积，向西至蒙自白牛厂变为陆相砂砾岩，厚 43～1716 米不等。从早泥盆世郁江期开始，本岩系水平分异为浅海台地相和深水—次深水的台沟相，在一些台沟中有火山碎屑岩沉积。台地相主要由灰岩、生物碎屑灰岩和白云质灰岩、白云岩组成，厚 327～3690 米，主要分布于盆地的边沿。台沟相由泥晶灰岩、泥灰岩、硅质岩、含磷粘土岩、局部有含锰硅质岩、碳酸锰矿、热水沉积岩、硫化物和火山碎屑岩等组成，厚 161～1341 米，主要分布于靠近盆地中心的部位。泥盆系是本区锡、铅、锌、银、金、锑、铁锰和重晶石等矿产赋存的重要层位。

石炭系（C）：广泛分布于本区的周边和中部碎裂台地上。其岩相也分为台地相和台沟相。台地相主要为泥晶灰岩和白云岩，厚度 169～3941 米不等，台沟相分布大致与泥盆系台沟相重合，为一套深色燧石团块泥灰岩、灰岩、硅质页岩、硅质岩和含锰磷硅质岩等。在滇东南广南坝达见中基性火山熔岩和火山碎屑岩，厚度 55～700 米不等，是桂西同生沉积锰磷矿产层位之一。

二叠系（P）：分布范围同石炭系，据石油钻井资料（黄开年，1986），沿南盘江大片三叠系分布区之下，隐伏的峨眉山玄武岩厚数百米至千米。二叠系在东经 106 度以西下部栖霞茅口组台地相为生物灰岩、灰岩及礁灰岩，台沟相为燧石条带灰岩、泥灰岩、硅质灰岩和硅质岩，厚 527～1232 米；上部一般为海相基性火山熔岩和火山碎屑岩，一般厚 0～864 米，南盘江盆地中部最厚达 2000 余米；再上为海陆交互相，含煤炭质页岩、粉砂岩、海相生物灰岩和白云质灰岩，在深水相中为硅质泥岩、硅质岩、沉凝灰岩和生物碎屑灰岩等，厚度 430～1025 米。106 度以东之桂西地区，缺失峨眉山玄武岩，合山组中偶见薄层凝灰岩。本岩系是金、锑等矿产的重要赋矿层位，并有铅、锌、铜、银等矿产出，受峨眉地幔热柱影响，开始发生区域性变质和花岗岩化作用，形成个旧、薄竹山、都龙、昆仑关和其他隐伏花岗岩的雏形。华力西旋回末期，“滇黔桂盆地”重又上升为陆。

三叠系（T）：是本区分布最广的岩系。三叠系是南盘江凹陷盆地重要特征之

一，其周边是台地碳酸盐岩相，中心是深水盆地相的火山碎屑岩和浊积岩，二者之间为过渡斜坡相或互层相，各相区沉积厚度差异甚大。台地碳酸盐岩相以黔西南发育最好，向西南方向延伸至云南罗平、开远、个旧、文山及广南一带，向东至广西平果等地。该相区的下部为飞仙关组粉砂岩和粘土岩，中部为中厚层灰岩、白云质灰岩和白云岩，上部为陆相含煤粘土岩和页岩、粉砂岩，厚 894～7393 米；盆地相主要沿南盘江、右江两侧发育，下部罗楼组由粉砂岩、泥灰岩、硅质页岩、砾屑灰岩和凝灰岩、沉凝灰岩等组成，上部则为巨厚砂泥质浊积岩和钙质粘土岩组成，总厚度 2083～11650 米；过渡相区位于二者之间，由薄板状灰岩、泥质白云岩、藻团块灰岩、条带状泥灰岩、鲕状灰岩、核形石灰岩等组成，总厚度 1138～5010 米，本岩系的台地相和斜坡相是滇东南拉丁尼期同生沉积锰矿的重要层位，过渡斜坡相相区是卡林型金矿和锑汞等低温矿产的主要赋矿层位。

侏罗系缺失，仅在本区边缘地带有小面积出露，如红河谷地及水城－紫云断裂带上，岩系由紫红色粗－细砂岩组成，厚度不详。白垩系－第三系为一套山间断陷盆地形成的红色砂、泥岩及砾岩层，不少盆地中有第三系褐煤、石膏和膨润土的沉积，砚山、马关盆地在第三系底部见流纹斑岩。

第四系以河湖相松散堆积为主，主要分布于河流阶地、河漫滩及一些小盆地之上。

2.2.2 岩浆岩及其演化

滇黔桂菱块体的基底是活动性较大的右江块体，岩浆活动频繁而强烈，岩类组合复杂且与成矿关系密切。现按各期岩浆活动顺序概述如下：

1、加里东期：主要为黑云母花岗岩和片麻状花岗岩，分布于本区南缘加里东构造层中，主要呈岩基、岩株、岩床状产出，出露面积零点几至 360km^2 不等，以重熔型花岗岩为主，交代型次之，主要岩体有滇东南南温河岩体和桂西钦甲岩体、那甲岩体，常伴随有钨锡铜金矿化。

2、海西－印支期：本期岩浆活动以峨眉地幔热柱构造作用出现基性拉斑玄武质熔岩的喷溢活动为主，伴有相应的基性岩侵入活动，到晚期演变为酸性至碱性岩浆侵入，反映非造山裂陷环境。熔岩最早见于文山三板桥的下泥盆统坡松冲组（D_1ps）、田林八渡的下泥盆统莫丁组（D_1md）中，上泥盆统玄武岩在桂西百色、田林、龙州、靖西和那坡皆有分布，下石炭统玄武岩分布范围大体与下泥盆统分布区重叠，只是范围稍大（广西地矿局，1985；郑荣才等，1989；吴怡，1991；吴浩若等，1993，1997），早二叠世玄武岩喷发活动进一步增强，滇黔桂毗邻地区皆有分布，晚二叠世的海底裂隙式喷溢达到鼎盛，几乎遍及南盘江盆地的中部和两侧的一些裂陷槽地，最大厚度 2000 余米，至早中三叠世，喷发活动渐弱。本期相应的侵入岩体星罗棋布，大小不一，主要有：

表 2-1　滇东南及邻区地层对比表

地层 \ 分区		黔西南			桂西北	滇东南	
		晴隆、兴仁、安龙等地	贞丰、镇宁等地	册亨、望谟等地	隆林、百色等地	富源、罗平等地	邱北、富宁等地
侏罗系	J_2	上沙溪庙组					
		下沙溪庙组					
	J_1	自流井群					
三叠系	T_3	二桥组					
		火把冲组				火把冲组	
		把南组		把南组			
		赖石科组		赖石科组		八盘寨组	平寨组
	T_2	法郎组	杨柳井组	边阳组	河口组	法郎组	兰木组
		关岭组	关岭组	新苑组	板纳组 / 百逢组	关岭组	板纳组
	T_1	永宁镇组	安顺组	紫云组	逻楼组	永宁镇组	龙丈组
		飞仙关组 / 夜郎组	大冶组	逻楼组		飞仙关组	逻楼组
二叠系	P_2	龙潭组/峨眉山玄武岩	长兴组~吴家坪组	晒瓦组	长兴组（大隆组）	宣威组（圭山组）	长兴组
					合山组（龙潭组）	峨眉山玄武岩组	吴家坪组
	P_1	茅口组 大厂层 / 灰岩层	茅口组	猴子关灰岩	茅口组（孤峰组）	茅口组	茅口组
		栖霞组	栖霞组		栖霞组	栖霞组	栖霞组
		花贡组/洒志组	梁山组				富宁组
		龙吟组	龙吟组				
石炭系	C_3	马平组	马平组	马平组	马平组	马平组	马平组
	C_2	达拉组	达拉组	黄龙群	黄龙组	达拉组	达拉组
		滑石板	滑石板		大埔组	滑石板	滑石板
	C_1	摆佐组	摆佐组	林群群	都安组 鹿寨组	摆佐组	摆佐组
		大塘组	大塘组			大塘阶	大塘阶
		岩关组	岩关组			岩关阶	岩关阶
泥盆系	D_3	代化组	代化组	代化组	融县组 / 五指江组	在接山组	榴江组
		响水洞组	响水洞组	响水洞组	榴江组	一打得组	
	D_2	火烘组	火烘组	火烘组	东岗岭组	曲靖组	分水岭组
		罐子窑组	罐子窑组	纳标组	应堂组	上双河组	坡折落组
	D_1						坡脚组/翠峰山组
奥陶系	O						
寒武系	∈						

据翟佑华等 2001，有删改。

（1）富宁－那坡岩体群：由大小不等的数十个岩枝、岩脉、岩墙、岩盆、岩床组成，侵位于晚泥盆、二叠、三叠系地层中，以晚二叠为主，可分为碱性基性岩类和基性岩类，前者分布于富宁的半瓦、沙斗、那坡的隆平等地，岩体具明显的岩相分带，自边缘至中心可分为钛辉辉绿岩相、橄榄钛辉辉长辉绿岩相、钛辉辉长辉绿岩相及碱闪钛辉辉长岩相；后者见于富宁安定、牙牌等地，自边缘至中心可分为辉绿岩相、橄榄辉长苏长岩相、辉长苏长岩相及闪长岩相（云南地矿局，1978）。总体受富宁－关岭南北向区域性大断裂带控制，断裂带宽度20～30公里，应为玄武岩之次火山岩相，在其中心之橄榄辉长苏长岩和辉长苏长岩带中产有岩浆熔离型铜镍矿，在其接触带之有利部位产有铜锌、铅锌、锑、金等矿产，如富宁和那坡交界之戈排金矿，在富宁北东25公里之安定－龙三盘一带铅锌矿与金矿相伴异位产出，金矿既可产于构造带与辉绿岩接触部位，又可产于远离辉绿岩之构造带延长线上，且有水晶矿产出。

（2）马关－麻栗坡八布岩体群：有大小岩体56个，侵入于斜长角闪片岩中，岩体由蛇纹岩、蛇纹片岩、透闪蛇纹片岩、滑石片岩、直闪石片岩等组成，推测是古特提斯洋壳的遗迹（钟大赉等，1998）。该蛇绿岩呈推覆岩片，由南向北逆冲在晚古生代三叠纪深水大陆边缘沉积之上，且普遍变质，表明文山－富宁逆冲推覆构造的存在，且由南向北应力渐弱。

另有普安－盘县岩体群、西林－隆林岩体群、阳圩－八渡岩体群及镇宁贬脚出露的煌斑岩皆属于海西印支期（苏文超，2002），与该地区产出的金矿都有一定的空间关系，在此不一一赘述。

研究表明，海西－印支期基性岩浆活动为地幔柱成因（宋谢炎等，2002；张旗等，1999；张成江等，2004；侯增谦等，1999），川滇黔地区峨眉山玄武岩的分布，面积约50万km^2，与地幔柱有关的晚古生代火山岩分布如图2-4所示，其岩浆演化模式如图2-5所示。

3、燕山期：本期主要为花岗岩的重熔和侵位以及（碱）基性岩和超基性岩的再次侵入，反映造山聚合环境与造山期后拉伸环境相伴进行。

花岗岩的重熔和侵位，受控于红河和南丹－昆仑关两条印支期壳层走滑断裂，其活动时限为60～186Ma（杨科佑，1994）。因此，本区形成北西向的个旧－老君山和南丹－昆仑关两个燕山期花岗岩带，加上重、磁结合地质、化探、遥感推断的邱北－靖西带和隆林－巴马带，四个带均位于重力低、磁力平缓低值带反映出的凹陷带，沿右江重力高反映出的右江裂谷带的两侧分布，其中个旧－老君山、邱北－靖西两个带位于其南西侧，其余两个带位于其北东侧，并具沿关岭－富宁重力梯度带所判识的南北向断裂两侧分布的特点。这些岩体中著名的滇东南个旧、薄竹山、老君山岩体和桂西钦甲、芒场、大厂和昆仑关岩基等与该区闻

名世界的锡、钨、银、铅、锌等矿产都有直接或间接的关系，并为本区中低温矿产提供热源。

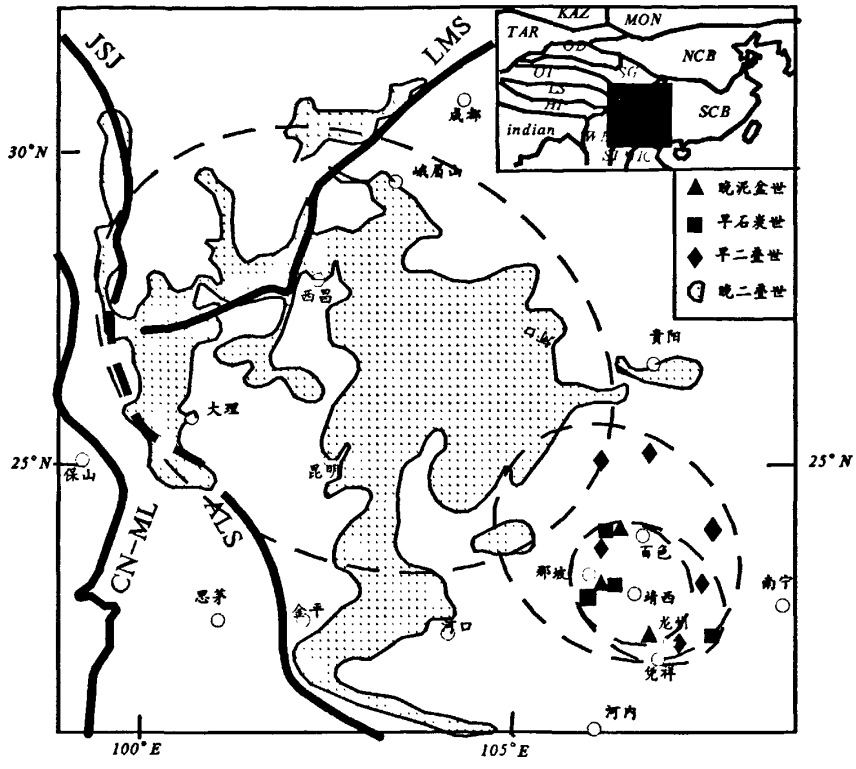


图 2-4 扬子地块西南缘与地幔柱有关的晚古生代火山岩分布图（据张旗等，1999；有删改）

椭圆示不同时期玄武岩分布范围，ALS-哀牢山缝合带；JSJ-金沙江缝合带；CN-ML-昌宁-孟连缝合带；LMS-龙门山断裂；KAZ-喀喇昆仑地块（下同）；MON-蒙古；NCB-华北；SCB-华南；TAR-塔里木；QD-柴达木；SG-松潘-甘孜；QT-羌塘；LS-拉萨；HI-喜马拉雅；indian-印度；WB-西缅甸；STM-掸泰马；IC-印支

燕山期不仅有造山聚合环境下花岗岩的重熔和侵位，而且造山期后拉伸环境（碱）基性岩和超基性岩的再次侵入也相当活跃。根据最新的同位素测年资料，原来划归海西印支期的贞丰岩体群、望谟－罗甸岩体群、巴马－龙川－义圩岩体群，其成岩年龄分别为燕山晚期（102～85Ma、97～100Ma）（苏文超，2002）和燕山期 140～170Ma（H u R .Z 等，2002）。以贞丰岩体群为例介绍如下：

贞丰岩体群出露于黔西南贞丰、镇宁、望谟三县交界处，总体南北向展布，与富宁－那坡基性岩群北南呼应，同受富宁－关岭南北向区域性大断裂带控制，主要呈岩脉、岩墙和岩筒状产出，侵位于早二叠世和中三叠世地层中，已知岩体 44 个，单个岩体规模不大，长约数十米至 1000 米，厚约数十厘米至 8 米，岩筒状岩体中可见中深程度变质岩（疑为结晶基底），主要由斑状云橄辉岩、云辉岩、及辉云岩组成，Sr、Nd 同位素组成落入云煌岩范围，岩石化学特征低 Si（31.60 ～

39.37%)、Mg（7.10～15.30%），高 CO_2、H_2O、P_2O_5，强烈富集 LILE（大离子亲石元素）和 LREE，无明显 Eu 负异常，亏损 HFSE（高场强元素）和 Sr，产有那郎、纳哥、新寨等卡林型金矿点（苏文超，2002），Nb、Ta 亏损是板块俯冲环境岩浆岩的典型特征（Gill J B，1981），LILE 高度富集表明云煌岩在上涌过程中大量混染了前震旦纪的壳层物质，并且强烈表明黔西南贞丰地区与滇东南瑶山、马关地区下元古界壳层结晶基底的一致性，亦即该区应为一个相对独立的统一块体（详见本章第四节）。

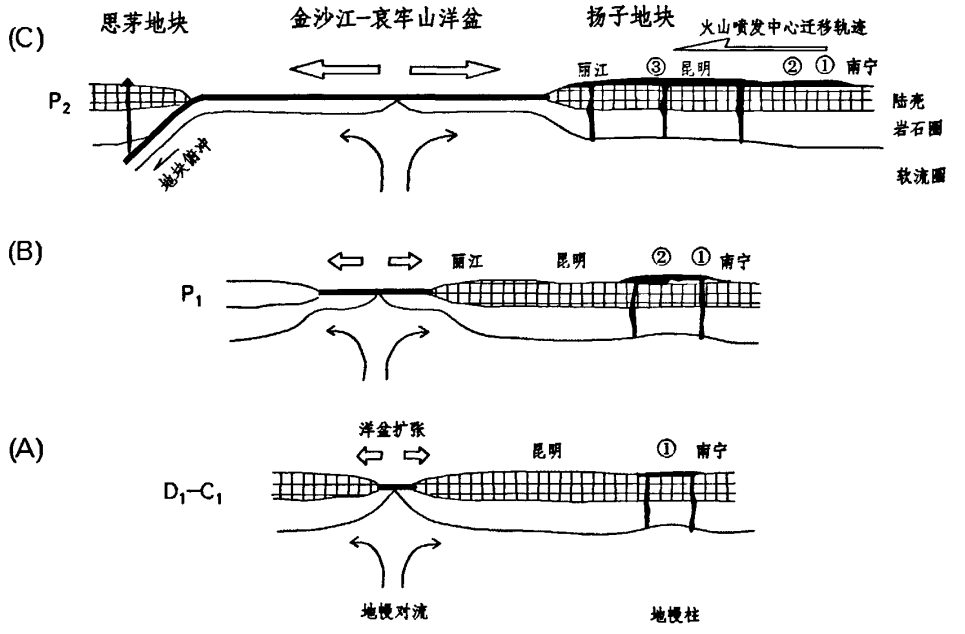


图 2-5 金沙江－哀牢山洋盆扩张与峨眉地慢柱岩浆演化模式图（据张旗等，1999）

古特提斯洋盆扩张速率用箭头长度表示；①、②和③分别代表不同时期玄武岩活动中心和火山岩分布

4、喜山期：以偏碱性的基性、酸性侵入岩、喷出岩为主，零星出露于个旧－老君山岩带中，其活动时限 3.5～59.5Ma，表明岩浆演化的进一步延续和喜山运动在本区由南西向北东渐弱。碱基性岩主要有马关－八寨橄榄玄武岩、二辉橄榄玄武岩和含镁铝榴石橄榄玄武岩筒群，屏边白榴石碧玄岩、橄榄玄武熔岩流等。酸性岩除依附个旧、薄竹山两大岩基外，尚有零星的小岩体或熔岩被出露。本期岩浆活动与金银铅锌铝稀土等矿产有一定关系。

2.2.3 区域构造格架

如前所述，本区是由红河、弥勒－师宗、水城－紫云－河池－昆仑关、凭祥－南宁壳层断裂所围限（含越南北部一部分）的变形菱（环）块体，其东西两侧分别为昆明山字形构造和柳州山字形构造，其主体应力方向是由北而南的，而“华

夏板块沿着北西方向向扬子板块水平挤压作用”（梅冥相等，2005），加上印支期即已开始活动的红河和南丹－昆仑关走滑断裂的作用，共同形成了本区现有的构造格架。王宝禄、郭富达等（1995）综合了物化遥等断裂构造解译情况，以地球物理资料为基础，判识出本区有 41 条主要断裂构造（图 2-6，表 2-2），北西、北东、东西、南北向分别为 13、11、7、10 条，并认为东西最老，依次为南北向、北西向、北东向。本文认为在区域应力的作用下，区内对成矿贡献最大的当属下面三个大的构造带，滇黔桂地区金矿的分布也表现出沿这三个带或交汇部位分布的特点。

1、右江裂谷带：不论本区划归扬子地块还是华南褶皱带，右江裂谷带都是客观存在的，根据区域地球物理、区域地层地球化学（遥感影像）资料均能将右江裂谷带的特征很好地反映出来(详见本章第三节)，该带两侧产出金矿最多，金矿规模也较大。

2、富宁－关岭南北向断裂带：地表为平行双断裂挟持的裂陷槽状，中间为堆砌状后期沉积地层使两侧地层岩性不能相连，裂陷槽南侧出露富宁基性岩群，和北侧黔西南贞丰碱基性岩体群相呼应，宽度 20～30km，长度大于 350km，地球物理特征表明，该带为一巨大的南北向重力梯级带，东西两侧磁场差异很大，有烂泥沟、丫它、高龙、那伦、金坝等大中型金矿沿此带分布。

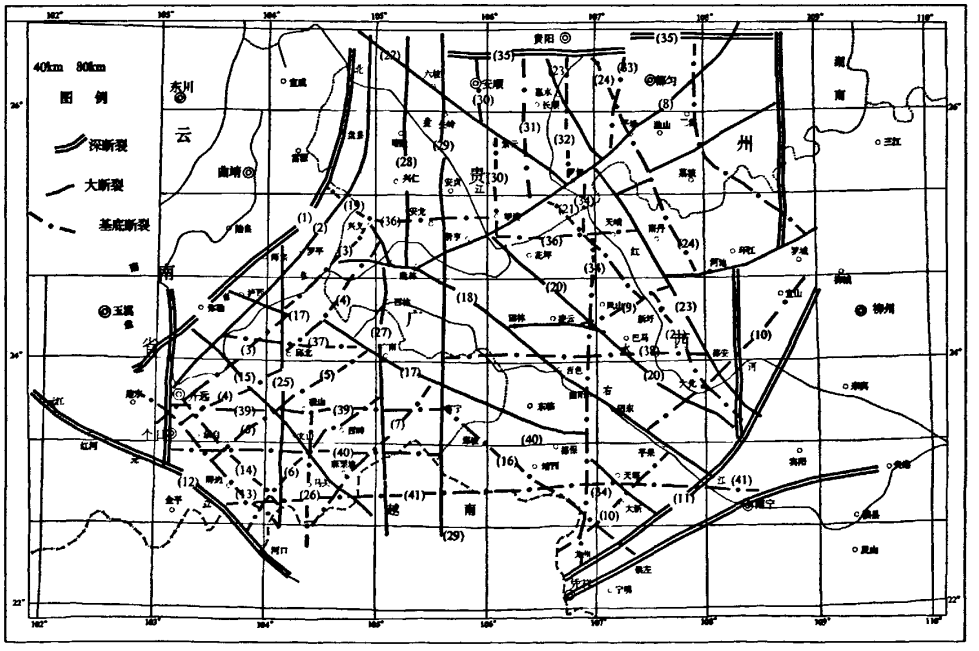


图2-6 滇黔桂菱块体物化遥综合推断断裂分布图（据王宝禄等，1995）

表2-2滇黔桂菱块体物化遥综合推断主要断裂统计表

断裂编号	断裂名称	断裂编号	断裂名称	断裂编号	断裂名称
(1)	师宗—弥勒	(15)	文山—麻栗坡	(29)	关岭—富宁
(2)	罗平—泸西	(16)	那坡—崇左	(30)	安顺—望谟
(3)	兴义—开远	(17)	泸西—德堡	(31)	广顺—东望
(4)	兴义—丘北	(18)	隆林—隆安	(32)	惠水—罗甸
(5)	广南—薄竹山	(19)	猪场—兴义	(33)	昌明—西谅
(6)	鸡街—文山	(20)	乐业—巴马	(34)	罗甸—田阳
(7)	富宁—麻栗坡	(21)	东兰—大化	(35)	水城—凯里
(8)	罗甸—隆林	(22)	水城—紫云	(36)	兴义—天峨
(9)	那坡—河池	(23)	惠水—马山	(37)	丘北—广南
(10)	都安—宜山	(24)	平塘—河池	(38)	田林—巴马
(11)	大兴三江	(25)	丘北—文山	(39)	砚山—富林
(12)	红河	(26)	砚山—马关	(40)	文山—德堡
(13)	紫自—古林箐	(2)	西林—广南	(41)	古木—箐都龙
(14)	大庄—阳文山	(28)	晴隆—隆林		

3、文山－富宁逆冲推覆构造带：整个滇东南地区以至右江裂谷带围绕越北古陆总体为一向北凸出的弧形逆冲推覆构造（钟大赉等，1998）（也可称为反山字形构造），杨科佑等（1992）认为可能形成于加里东期，一直延续到印支－燕山期以至喜山期，具多期活动的特点，由南向北应力渐弱，东西两侧分别被切，西被文（山）－麻（栗坡）北西向断裂所切，西缘受到红河深大断裂挤压走滑（不同学者从不同角度得出的走滑距离差距较大，最小不到100公里，最大达700±200公里，肖龙等，2003）的影响，个旧、薄竹山、都龙花岗岩三者近等距（间隔约70km）出露（面积均在100km^{2}以上），东被富宁－关岭断裂所切而形态不完整，总体表现出沿弧形逆冲推覆构造呈一系列向北凸出的弧形断褶束，如果将滇黔桂"金三角"地区的出露花岗岩和隐伏花岗岩连起来换一个角度看，正好呈两个大的弧形带状分布，金矿则正好分布于弧间和弧内外，显然弧形逆冲推覆构造和花岗岩及金矿等的弧形分布是统一于区域应力作用的结果。

2.3 区域地球物理特征

2.3.1 区域重力场基本特征

图2-7清楚地显示出重力场的势态及异常分布特征。重力值由南东往北西总体呈下降趋势，南宁地区为-30×10^{-5}m/s^2，曲靖一带降为-235×10^{-5}m/s^2，在550km范围内降低了205×10^{-5}m/s^2，平均降低0.37×10^{-5}m/s^2/km，其间重力场呈波状起伏，反映出莫霍面整体向北西倾斜和右江裂谷在桂西地区的大致形态，区域重力场还反映出以富宁－关岭断裂带为界，东部重力异常高且梯度变化缓，西部重力异常低且梯度变化快。

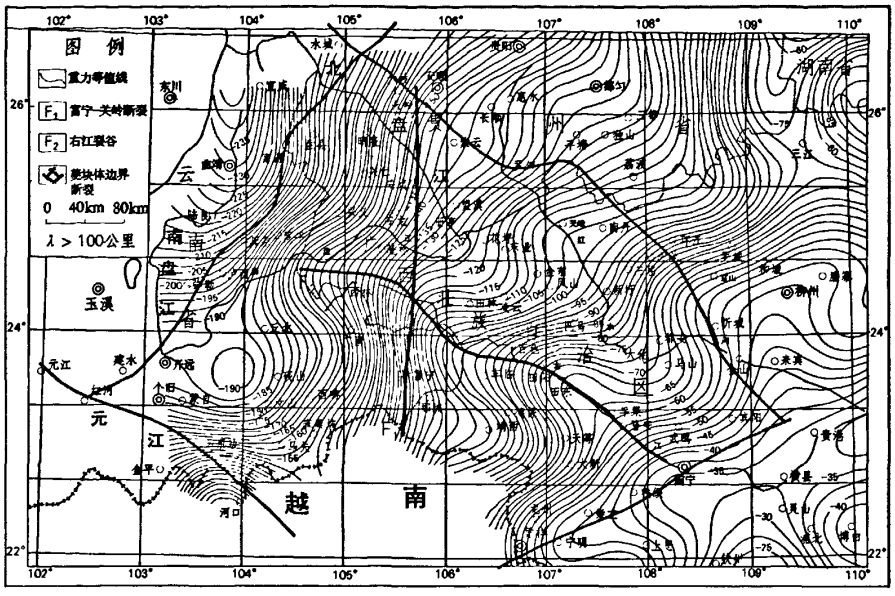


图2-7 滇东南及邻区区域重力图（据王宝禄等，1995）

2.3.2 区域磁场的基本特征

图 2-8 清楚地显示，本区及邻区磁场可分为三大块（图 2-9），都匀一宜山一大新向东凸出的弧形线以东为东区，即黔东南一桂西区，磁场表现为高势态，反映古老基地大范围隆升区；安顺一西林一那坡向西凸出的弧形线以西为西区，即黔西南一滇东（南）区，表现为大片负磁场背景上正负跃变磁场区，反映基底拉张沉陷海西期玄武岩强烈喷发的特征；中部称黔桂区，磁场平静，局部异常相对较少，反映基底凹陷火山活动较弱的异常特征。

2.4 区域地球化学特征

2.4.1 区域地层地球化学特征

为全面系统地了解本区及其邻区区域地球化学背景及其与成矿的关系，本文选用自上世纪八十年代开展的 1：20 万区域化探资料进行区域地球化学特征的探讨。该套资料具有分析元素全,分析元素达 38 个（具体为：Ag、As、Au、B、Ba、Be、Bi、Cd、Co、Cr、Cu、F、Hg、La、Li、Mn、Mo、Nb、Ni、P、Pb、Sb、Sn、Sr、Th、Ti、V、W、Y、Zn、Zr、SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、K_2O、Na_2O、CaO、MgO），分析精度高，数据量巨大，可比性强和无矿化蚀变样品的干扰等优点，不足之处是取样介质为水系沉积物而非原岩，不能代表原岩的真实含量，但仍能较好反映本区区域地球化学特征。

据东经 103°～110°,北纬 22°～26°，面积约 20 万 km^2，34 幅 1：20 万水系沉积物统计结果资料（表 2-3），滇东南及邻区地球化学背景具如下特点：

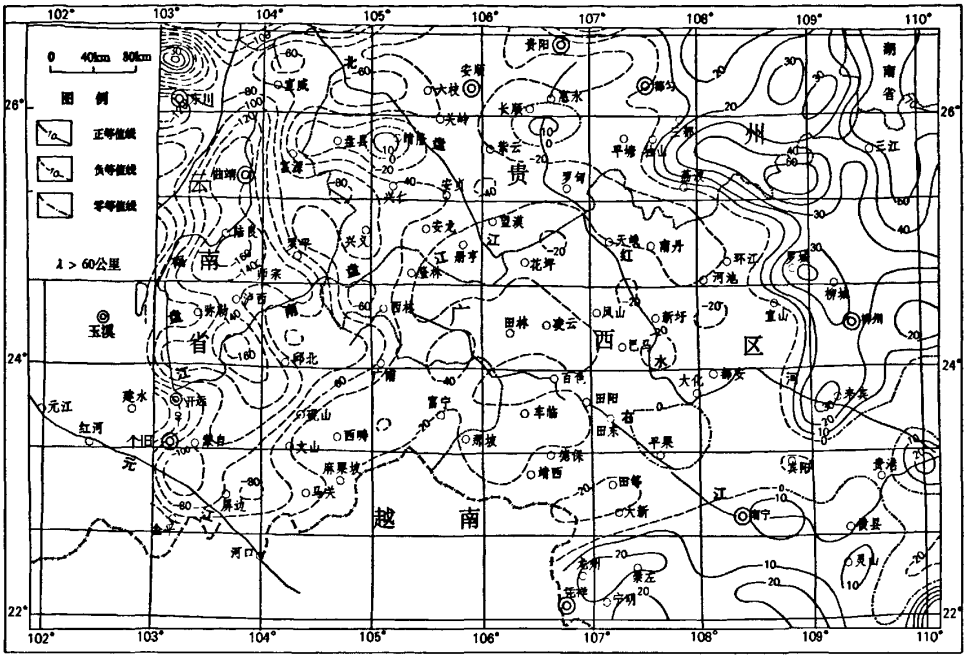


图2-8 滇东南及邻区航磁ΔT区域异常图（据王宝禄等，1995）

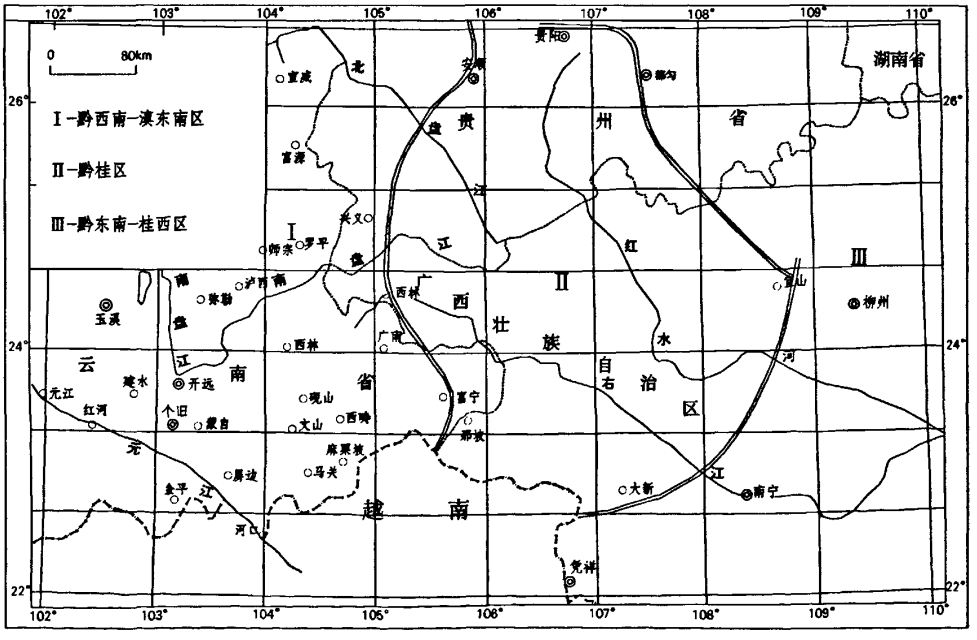


图2-9 滇东南及邻区磁场分区图（据王宝禄等，1995）

1、与华南地区相比，本区与浅成中低温热液活动有关的亲硫元素具有地球化学高背景，如 Sb、As、Au、Hg 富集系数（富集系数所用参考值为华南地区均值，下同）分别为 2.69、1.94、1.56、1.55，也即本区存在 Sb、As、Au、Hg 等低温元素矿集区的地球化学块体，这种地球化学块体是原始地球的不均一性以及

地球从起始演化以来元素分布再分配的最终结果的体现，这种大的地球化学块体可为该区大（特大）型矿床的形成提供足够的物质供应量（谢学锦等，2002）。

2、与基性岩浆活动有关的亲基性场元素或氧化物具有较高的地球化学背景。如 Ni、Cr、Co、V、Ti、Fe_2O_3、Mn、Cu、Zn 等，其富集系数分别为 2.14、2.02、1.78、1.41、1.46、1.66、1.98、1.46、1.54，分散元素 Cd 富集系数高达 2.54,在本区黔西南都匀牛角塘锌矿床发现镉的最高含量（闪锌矿中最高可达 10%），有学者甚至称之为独立镉矿床（涂光炽等，2004），矿化剂元素 B、F 富集系数 1.35、1.33，也比华南地区稍高。

3、CaO、MgO 的富集（富集系数分别为 2.12 和 1.41）和 K_2O、Na_2O 的贫化（富集系数分别为 0.69 和 0.64），与本区多次海浸所形成的浅海台地碳酸盐岩相地层及表生高原山地条件下水系沉积物中易溶组分的流失有关。

4、W、Sn、Bi、Mo、（Pb、Ag）等亲酸性场元素虽较华南地区略低或接近，但仍高于全国平均值，与滇东南、桂西北地区强烈的“S”型花岗岩化及其伴随的元素分异演化和成矿作用有关。

2.4.2 区域地层地球化学演化特征

从表 2-3 选取典型的亲基性场元素组合 Au、Cr、Ni、Co、V、Ti、Fe_2O_3、Mn 和亲酸性场元素组合 W、Sn、Bi、Mo、Pb 及低温元素组合 Au、As、Sb、Hg 探讨滇黔桂地区地层地球化学演化特征（图 2-10、图 2-11、图 2-12）：

1、桂西北地区寒武纪至白垩纪不仅亲基性场元素而且亲酸性场元素皆明显呈有规律的递减，至第三纪，上述元素含量又有所升高，反映该区寒武纪（甚至前寒武纪）右江裂谷早已形成，并带入大量幔源亲基性场元素，随着时间的推移，桂西北地区逐渐闭合，至喜马拉雅期又有所活动。

亲酸性场元素的规律性递减可能表明寒武纪前古老基底（南岭区域隆起）可能曾经历较强烈的混合岩化或原地花岗岩化重熔（寒武系中亲酸性场元素 W、Sn、Bi、Mo 等远高于华南地区），然后按元素迁移的难易形成初始的物质分异，至喜马拉雅期桂西北地区（构造）岩浆活动又有所增强。

滇东南地区稍有差异，表现为早古生代亲基性场元素含量较低，火山活动相对较弱，从（泥盆纪）石炭纪至三叠纪一直都有较高的亲基性场元素，这一时期基性火山活动较强。

黔西南地区二叠纪峨眉山玄武岩喷发以前，元素含量变化差异甚小，并不存在金及其他成矿元素的富集，随着裂谷环境的形成，峨眉山玄武岩的喷溢及后期（碱）基性岩的侵入，黔西南地区出现了二叠系和三叠系金及大量亲铁元素的突变。也就是说，黔西南地区的金矿现象上看是在二叠纪和三叠纪沉积岩地层中，本质上则混入了大量的基性火山物质。

表2-3 滇黔桂地区水系沉积物地球化学参数对比表

区域及地层		$w_B/10^{-9}$				$w_B/10^{-2}$					$w_B/10^{-6}$																		
		Au	Hg	Cd	Ag	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	As	Sb	Cr	Ni	Co	V	Ti	Mn	Cu	Zn	P	B	F	Sr	Ba	W	Sn	Bi	Mo	Pb
桂西北	第四系	2.08	135.3	241.8	79.68	6.39	0.424	0.584	1.05	0.102	14.84	3.61	84.52	32.73	19.66	124.3	6048.3	617.2	31.04	101.5	583.0	91.72	437.2	47.96	206.7	3.06	3.35	0.565	0.94	35.53
	第三系	1.62	71.77	101.4	62.33	4.32	0.296	0.514	1.01	0.117	7.19	1.61	50.53	18.42	13.01	81.13	4498.5	322.0	20.99	54.37	332.3	65.03	320.7	39.53	212.9	1.85	2.46	0.358	0.54	21.83
	白垩系	0.70	38.33	65.92	53.38	2.70	0.165	0.420	0.82	0.081	3.64	0.62	36.29	8.62	6.10	45.61	2910.3	171.9	9.63	25.18	226.3	53.15	211.5	21.38	136.0	1.02	1.85	0.248	0.30	11.83
	侏罗系	0.73	39 38	50.15	44.51	3.16	0.145	0.485	1.07	0.129	4.48	0.61	40.20	11.05	7.51	51.66	3230.5	194.1	12.24	31.09	205.2	41.11	228.5	26.43	202.9	0.94	1.76	0.235	0.32	17.93
	三叠系	1.35	86.32	236.7	58.29	4.89	0.522	0.687	1.39	0.174	10.35	1.79	59.23	25.25	16.52	97.04	4719.7	649.9	25.10	76.12	571.8	64.92	399.3	52.44	238.8	1.81	2.63	0.356	0.56	24.93
	二叠系	2.13	149.2	599.8	78.89	5.72	0.595	0.590	1.00	0.126	18.46	3.57	89.71	40.11	20.09	126.5	5436.2	984.8	34.30	112.1	694.5	66.40	439.5	54.59	199.5	2.37	3.20	0.456	1.10	32.59
	石炭系	2.21	192.6	950.0	85.54	6.15	0.703	0.665	0.99	0.113	22.83	4.56	102.8	47.51	21.94	137.5	5988.5	278.7	35.23	144.3	801.3	74.38	477.7	56.44	204.6	3.10	3.53	0.519	1.13	36.79
	泥盆系	1.98	217.3	943.0	84.82	6.38	0.799	0.680	1.11	0.109	23.64	5.24	100.7	46.20	22.31	142.4	6283.6	244.0	36.65	152.9	807.0	84.09	536.2	51.84	227.8	3.20	3.80	0.613	1.16	39.25
	寒武系	2.12	269 5	249 2	72.77	7.69	0.950	0.720	1.15	0.118	38.37	6.60	135.3	44.24	25.52	152.0	7809.2	504.7	35.75	171.0	946.8	84.29	604.3	58.50	221.5	3.69	4.31	0.693	1.22	47.57
滇东南	第四系	2.15	75.96	178.1	85.41	6.31	0.888	0.867	1.44	0.123	16.56	1.94	73.73	39.63	17.58	124.5	5587.4	743.0	43.57	82.88	560.8	35.25	584.2	48.33	233.5	1.79	4.41	0.419	1.35	27.86
	第三系	1.49	50 91	190.0	75.84	5.12	0.780	0.881	1.20	0.109	11.06	1.26	71.04	29.14	15.10	103.0	4804.7	521.1	33.67	62.74	488.0	54.15	495.3	47.40	212.6	1.56	2.94	0.303	1.05	23.28
	侏罗系	1.92	61.17	126.6	70.65	5.52	0.657	0.888	2.13	0.250	15.05	1.47	50.30	20.01	12.00	93.14	5156.2	851.3	33.47	90.06	649.9	22.64	625.8	58.67	308.4	1.83	5.24	0.542	1.04	31.42
	三叠系	2.15	73.16	213.5	74.76	6.97	0.672	0.981	1.65	0.099	16.79	2.29	87.54	42.89	20.63	145.8	6320.8	950.4	42.81	96.46	639.8	51.17	600.2	44.96	223.4	2.07	4.12	0.402	1.27	27.28
	二叠系	2.41	121.0	277.9	89.94	7.93	0.665	0.862	1.11	0.200	14.10	2.39	96.18	45.81	22.51	143.2	6634.3	1062.0	47.27	109.3	509.2	30.35	502.5	44.29	228.9	1.99	3.97	0.395	1.38	27.18
	石炭系	2.62	135.4	348.0	79.20	7.27	0.523	0.715	1.21	0.067	30.84	6.46	87.77	49.37	20.92	145.4	6624.2	928.4	44.26	123.4	665.7	42.84	663.6	33.18	178.1	3.03	4.79	0.576	1.68	39.03
	泥盆系	1.92	82.75	251.5	93.62	6.05	0.540	0.948	2.09	0.132	15.30	2.18	69.55	33.10	17.11	109.7	5004.2	826.6	33.48	93.85	570.2	77.86	816.4	35.00	273.6	2.13	4.01	0.505	1.18	38.54
	志留系	1.56	103.5	160.1	85.95	6.17	0.549	1.471	3.01	0.247	10.32	0.95	70.21	30.02	16.21	94.42	4542.4	744.2	36.20	71.24	492.0	92.87	920.1	35.74	392.8	1.82	3.70	0.467	0.95	34.74
	奥陶系	1.40	94.68	153.0	86.12	3.92	0.302	0.792	2.69	0.084	12.48	4.90	41.78	17.75	9.48	70.05	4374.6	788.1	16.63	57.84	502.7	58.94	593.6	15.75	324.7	1.84	2.64	0.419	0.99	32.45
	寒武系	1.13	89.40	131.0	55.73	5.06	0.517	1.001	2.88	0.146	2.22	0.36	71.75	28.04	14.80	97.59	4813.6	856.0	24.59	69.76	644.2	23.87	643.1	33.62	390.9	2.02	3.31	0.333	0.82	29.79
	震旦系	0.89	72.82	133.3	88.96	4.11	0.285	0.689	1.83	0.183	7.72	1.03	46.66	19.55	11.17	76.45	4783.3	599.2	24.95	66.06	499.6	73.49	547.4	33.53	343.3	2.32	3.33	0.247	1.03	27.22
	中元古界	1.48	36.61	261.8	92.56	4.53	1.942	1.689	2.51	0.155	11.33	1.40	51.08	22.96	13.21	93.32	4155.0	861.3	33.10	87.71	780.4	88.58	737.4	42.90	390.7	2.10	3.35	0.387	1.07	34.75
	下元古界	0.68	36.89	76.66	36.82	5.81	1.711	1.607	2.80	1.563	0.85	0.10	75.19	27.98	1.36	107.6	6137.6	761.5	31.54	76.09	673.1	10.58	624.6	276.8	787.7	0.68	2.58	0.189	0.75	22.70
黔西南	第四系	1.12	87.83	278.4	71.59	4.44	0.594	0.864	0.96	0.167	13.99	1.38	66.71	29.05	13.37	101.0	4668.0	620.2	26.44	73.11	432.4	67.38	605.1	56.62	177.0	1.35	3.17	0.36	1.71	25.61
	第三系	0.81	78.81	247.5	77.02	4.10	0.638	0.853	1.08	0.184	13.96	1.35	70.39	24.75	11.90	91.19	4201.0	461.9	22.30	62.11	418.9	54.09	504.0	58.68	214.8	1.43	2.94	0.31	1.27	24.12
	侏罗系	0.67	57.24	173.0	63.59	4.03	0.421	0.834	1.03	0.218	8.83	1.10	58.16	23.76	11.14	75.75	3758.5	527.0	19.07	59.58	301.7	55.18	440.1	57.88	212.5	1.31	2.49	0.34	1.01	22.10
	三叠系	1.16	89.18	241.4	59.80	5.65	0.757	1.030	1.28	0.182	15.12	1.67	78.47	32.82	16.90	115.8	5287.9	790.7	27.08	81.62	650.8	68.34	612.3	62.37	211.2	1.8	3.12	0.37	1.16	26.04
	二叠系	1.13	111.9	369.5	71.21	6.14	0.549	0.748	0.94	0.148	17.84	1.98	94.13	37.98	18.89	131.0	6026.4	928.8	33.10	90.69	672.6	46.81	525.2	62.50	197.8	1.67	3.16	0.35	1.60	26.93
	石炭系	0.65	115.8	360.0	77.15	4.22	0.532	0.615	0.85	0.162	17.09	1.68	67.24	28.28	12.36	91.62	4486.5	702.0	18.64	73.41	470.3	68.66	553.5	52.95	170.2	1.76	2.90	0.38	1.28	28.16
	泥盆系	0.61	97.95	262.4	68.04	3.86	0.448	0.696	1.38	0.164	14.28	1.35	48.79	23.45	10.59	77.96	3886.5	628.2	17.53	62.19	450.4	68.49	595.2	46.95	229.3	1.41	2.57	0.36	1.13	26.39
	志留系	0.53	85.30	233.3	63.99	3.79	0.488	0.980	2.35	0.319	9.16	0.96	49.98	24.88	10.75	72.32	3861.2	633.4	17.80	69.23	502.8	64.81	555.5	53.37	458.7	1.14	2.58	0.33	0.88	28.32
	奥陶系	0.59	137.9	315.6	70.71	4.12	0.569	1.050	1.99	0.292	13.53	1.25	45.29	25.37	11.87	78.87	4043.3	741.4	18.84	88.60	510.2	63.81	615.4	52.79	463.7	1.20	2.57	0.35	1.24	30.37
	寒武系	0.67	142.2	362.1	94.83	4.63	0.551	1.113	1.89	0.308	13.83	1.63	53.09	24.68	13.84	92.78	4408.3	827.0	22.82	100.7	572.1	63.44	573.3	53.72	399.2	1.43	3.02	0.40	1.55	31.48
	震旦系	0.96	80.06	178.0	75.96	3.99	0.167	0.670	2.18	0.276	7.15	1.27	38.57	16.77	8.47	70.67	4409.6	618.0	19.59	70.37	418.2	58.13	365.3	42.44	539.0	0.87	2.64	0.27	0.57	22.26
	元古界	0 68	93.53	224.5	77.49	4.42	0.248	0.752	2.48	0.405	8.39	1.48	39 33	17.68	11.55	79.93	4963.3	841.7	20.07	96.71	551.9	51.55	419.8	53.49	562.3	1.09	2.76	0.33	0.83	27.72
黔西南全区		1.04	104.0	355.8	72.28	5.48	0.667	0.989	1.57	0.246	13.97	1.75	71.33	29.93	15.83	114.7	5995.0	905.3	30.00	88.89	622.8	63.00	569.1	62.16	313.8	1.58	3.10	0.37	1.20	29.41
桂西北全区		1.69	135.2	508.8	69.63	5.42	0.576	0.657	1.20	0.144	15.58	3.05	80.99	32.91	18.13	113.6	5382.4	815.5	28.83	105.7	637.1	70.86	437.4	51.87	226.2	2.39	3.15	0.456	0.83	31.63
滇东南全区		2.17	94.12	282.8	86.57	7.56	0.750	1.014	1.74	0.143	17.62	2.68	99.91	45.40	21.30	156.5	7276.8	985.5	46.38	101.8	710.8	53.16	704.3	52.26	270.3	2.25	4.18	0.448	1.35	32.40
滇黔贵全区		1.81	119.4	426.3	79.33	6.13	0.678	0.832	1.30	0.141	18.12	2.53	92.71	39.46	18.97	133.4	6211.9	916.1	35.53	103.4	658.3	62.39	569.2	57.20	240.0	2.15	3.46	0.446	1.30	31.82
华南		1.16	104.0	167.7	77.35	4.21	0.32	0.59	1.89	0.22	9.35	0.94	45.87	18.42	10.66	74.74	4406.8	551.2	17.98	70.67	426.4	46.05	428.0	44.97	331.5	2.61	4.28	0.45	0.99	31.66
中国		1.21	34.22	123.0	76.71	4.32	1.17	1.14	2.31	0.83	8.12	0.60	54.74	22.37	11.73	76.36	4052.8	659.1	19.53	66.31	554.6	40.43	470.2	119.7	475.2	1.81	3.09	0.31	0.79	23.97

注：1:20万水系沉积物测量资料，黔西南13幅，桂西北12幅，滇东南9幅，全国530幅；据王宝禄、任天祥等，1995，有删节。

上述亲基性场元素在不同地区不同地层中的含量变化表明南盘江盆地右江裂谷活动至少始于寒武纪，随着时间的推移，由桂西北－滇东南－黔西南渐次裂开。

2、本区滇东南下元古界大离子亲石元素 Sr、Ca、Ba（K）的超常富集（集系数分别为 6.15、5.35、2.38、1.48）和低温元素 As、Sb（Bi、Hg、Au）的超常亏损（富集系数分别为 0.09、0.11、0.42、0.48、0.59）可能表明：①本区古老基底（下元古界）在接受后期沉积之前，由于深变质作用影响经历了一个漫长的物质分异演化过程，从而为后期的岩浆成矿和低温成矿准备了衍生矿源层；②黔西南地区板溪群则不具备上述特点，显示其成岩时代较晚；③黔西南贞丰基性岩群岩筒状岩体中可见中深程度变质岩（疑为结晶基底），并强烈富集 LILE（大离子亲石元素）和 LREE（苏文超，2002），表明云煌岩在上涌过程中大量混染了前震旦纪的壳层物质，并且为黔西南贞丰地区与滇东南瑶山、马关地区下元古界的壳层结晶基底的一致性提供了佐证，亦即该区应为一个相对独立的统一块体。

3、在论及滇黔桂“金三角”地区金矿时不少文献（刘东升，1994；任天祥等 1998；高振敏等，2002）都把金与砷、锑、汞“混”为一谈，似乎金与砷、锑、汞有必然的联系。通过区域地层地球化学的对比可以看出：金具有深源性，专属于与裂谷、特提斯、区域性深大断裂和峨眉地幔柱长期活动相伴的基性火成岩及火山碎屑浊流沉积，而砷、锑、汞则是区域性的高背景，既可在有金矿物源的地方在一定的成矿作用下和有利的环境中与金形影相伴地成矿，又可在没有金矿物源的地方作为一种低温元素组合指示其他矿种的找矿，并可能独立成矿于主矿体的外围。以滇东南蒙自白牛厂银铅锌锡超大型多金属矿为例，赋矿地层主要为中寒武统，砷、锑、汞异常齐备，外围并有锑矿产出，经过二十多年的普查勘探开发，并未发现金的任何信息，而在其南东有玄武岩出露的乐诗冲地区则有金矿化点发现。所以本区金与砷、锑、汞的相伴，既有必然性，又有偶然性。

2.4.3 滇东南及邻区卡林型金矿物源探讨

滇黔桂“金三角”地区卡林型金矿的物源， 有三种比较有代表性的认识：一种观点认为，赋矿地层即是矿源层（刘东升等，1994），另一种观点认为，矿源层为混合源（沉积岩和火山岩），可能与沉积建造中的碳质有关（Stephen G. Peters 等，2002），第三种观点认为，矿源层为规模巨大的峨眉山玄武岩及其伴随的热水喷流沉积产物（王登红等，1999）。

根据本区区域地层地球化学特征及其演化特征，得出如下认识：

1、金的高背景及其突变性、深源性与本区亲基性场元素组合具有大致相似的地球化学行为，是本区右江裂谷带、富宁－关岭南北向断裂带、文山－富宁逆冲推覆构造带特别是峨眉地幔柱所产生的基性岩浆喷溢及火山碎屑浊流沉积的

客观地球化学反映。

2、与裂谷、特提斯、区域性深大断裂和峨眉地幔柱长期活动相伴的基性火成岩及火山碎屑浊流沉积是本区卡林型金矿最终的物质来源，甚至玄武质系列岩石和辉绿岩直接就是金矿的赋矿主岩，如滇东南底圩金矿和马列金矿等。黔西南地区金矿主要集中在二叠系和三叠系，而滇东南和桂西北地区金矿从寒武系至三叠系多个层位皆有赋存，反映出火山活动时间跨度的不同。

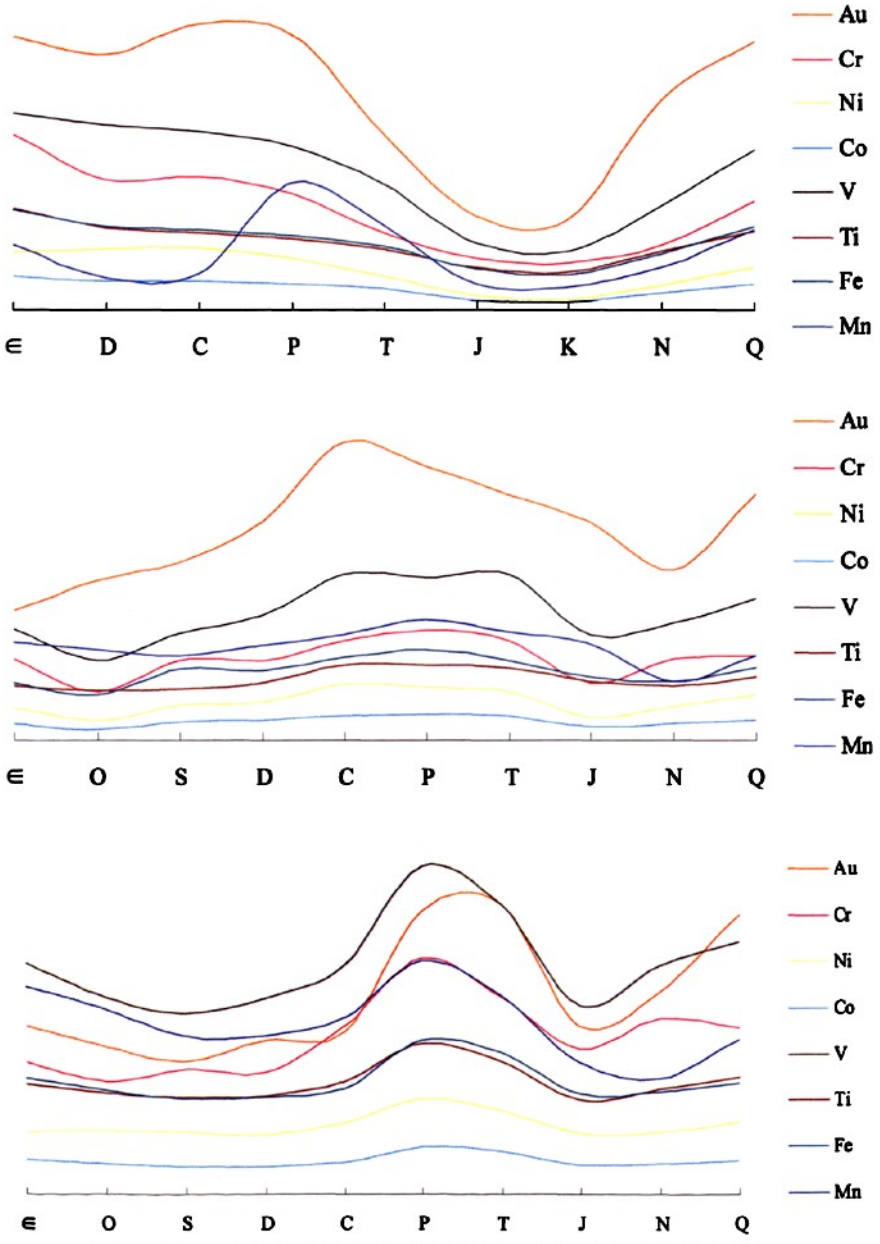


图 2-10 滇东南及邻区亲基性场元素不同时代相对含量变化趋势图
上－桂西北地区；中－滇东南地区；下－黔西南地区

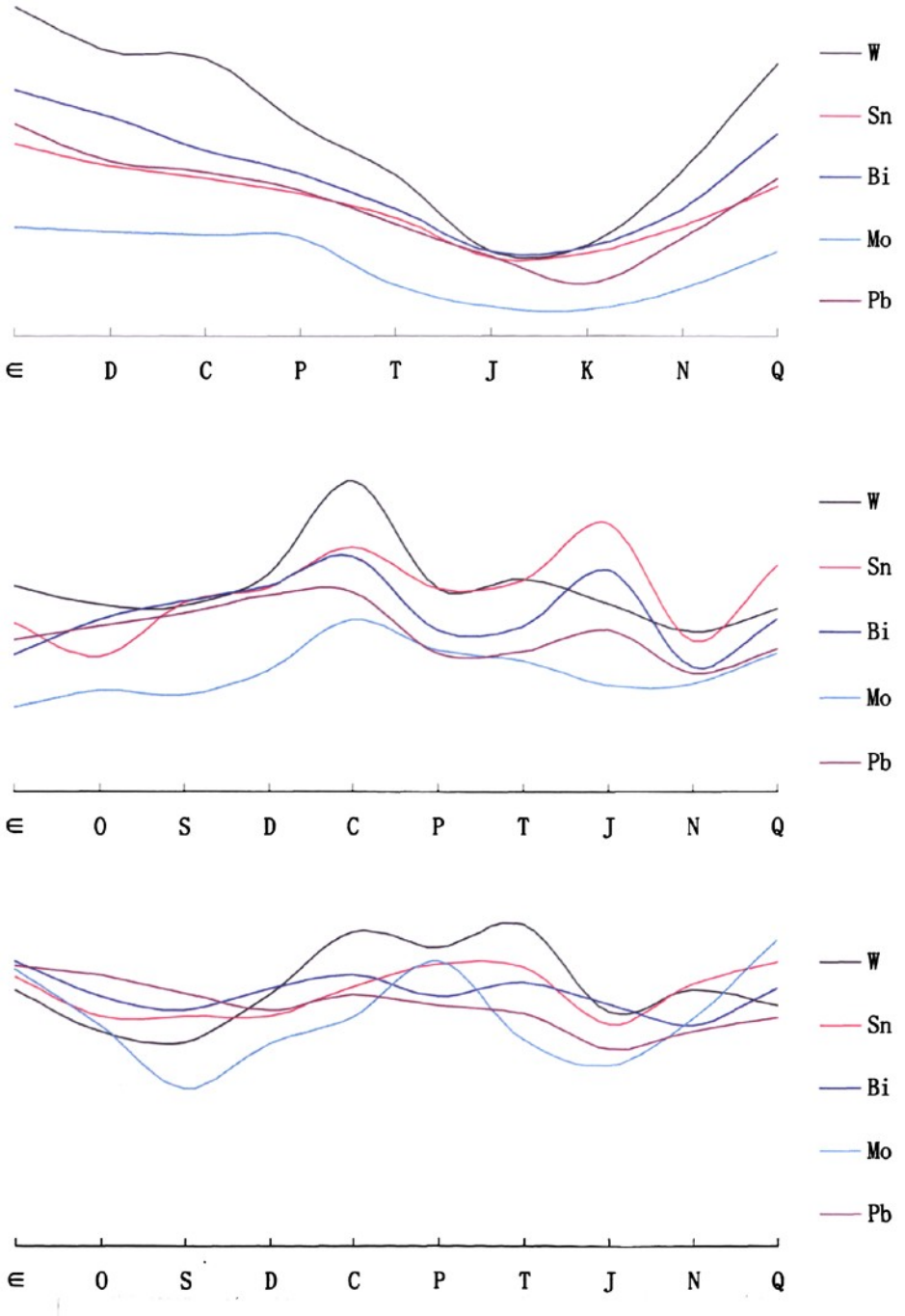


图 2-11 滇东南及邻区亲酸性场元素不同时代相对含量变化趋势图
上－桂西北地区；中－滇东南地区；下－黔西南地区

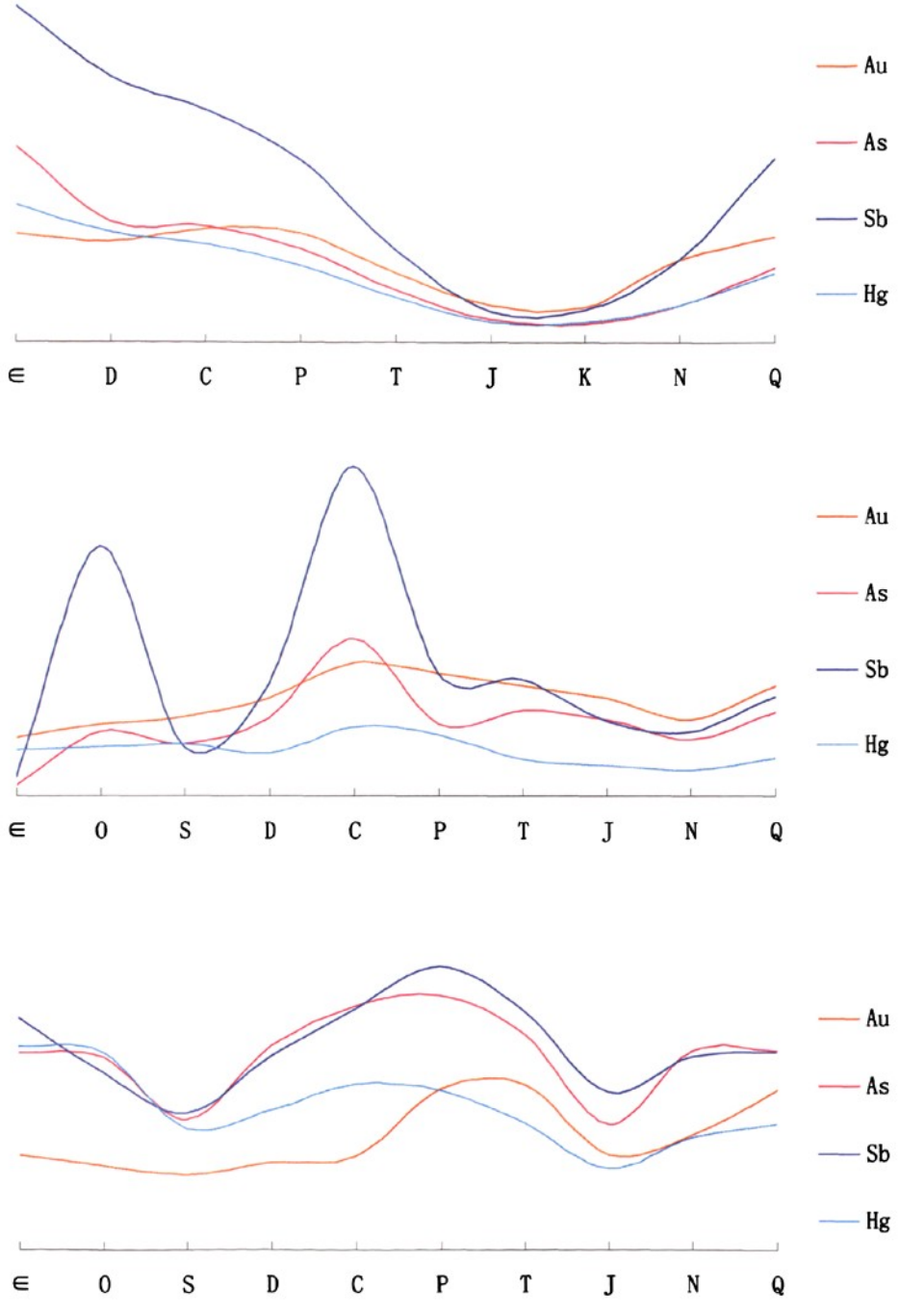


图 2-12 滇东南及邻区低温元素不同时代相对含量变化趋势图
上－桂西北地区；中－滇东南地区；下－黔西南地区

3、上面的讨论不仅具有重要的理论意义，对指导本区成矿预测和找矿实践也具有重要的现实意义。具体地：①黔西南地区金矿的“攻深找盲”应主要围绕二叠系和三叠系地层的构造有利部位展开，桂西北地区和滇东南地区则不能局限在

某一固定层位，这已为本区产出的众多金矿床（点）所证实；②美国卡林金矿集中区有仅凭弱砷异常找到大而富金矿的报道（王登红，2000），在滇黔桂"金三角"地区则必须结合地质成矿条件作具体分析，在分析元素组合的基础上"以金指示找金"是最保险的，也是成功率最高的。

2.4.4 区域岩浆岩地球化学背景

本区岩浆活动频繁，岩类从超基性－基性－中酸性－碱性岩均有出露，以桂北九万大山花岗岩、滇东南至桂西北的基性、超基性侵入岩、滇东－黔西南的峨眉山玄武岩等岩浆活动规模较大，影响范围较广。

表 2-4 列出了本区主要岩浆岩的地球化学背景值，由表可以看出，前述在区域地球化学中被"稀释"了的元素地球化学特征在基性－超基性岩和花岗岩的强烈对比反差中得到了真实的反映：花岗岩中明显富集 W、Sn、Bi、B、Pb、K 等，基性岩明显富集 Cr、Ni、Co、Cd、V、Ti、Cu、Zn、P、Au 等。岩浆的分异演化、地层的剥蚀－迁移－再聚集加上火山喷气（液）、海解、成岩、构造的推覆及地下水的渗滤等作用，共同造就了本区锡、钨、银、铅、锌、金、锑、铁、锰等齐全而丰富的矿产资源。

表 2-4 滇黔桂地区岩浆岩水系沉积物测量地球化学背景对比表

岩石单元	Au	As	Sb	Hg	Cr	Ni	Co	V	Ti	Fe_2O_3	Mn	Cu	Zn
黔西南玄武岩	1.38	11.99	1.51	70.44	120.3	50.38	27.40	177.3	8313	8.47	1208.5	49.04	101.6
滇东南辉绿岩	2.03	11.11	1.60	70.65	109.1	73.45	46.37	323.8	15810	12.63	1869.7	92.83	154.2
桂西北(超)基性岩	2.92	20.0	2.66	86.0	143.0	72.1	43.9	221.4	12618	9.58	1489.0	66.40	105.5
黔东南花岗岩	0.79	8.39	0.53	58.97	17.62	7.22	3.81	27.21	1771	2.65	343.6	11.90	57.41
广西花岗岩	0.96	10.7	0.99	61.0	31.80	11.9	9.3	58.6	4180	4.03	297.0	13.6	59.3
滇黔桂区域背景	1.81	1.12	2.53	119.4	92.71	39.46	18.97	133.4	6212	6.13	916.1	35.53	103.4

岩石单元	B	F	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Sr	Ba	W	Sn	Bi	Mo	Pb	Ag
黔西南玄武岩	23.5	409.5	0.55	0.90	0.94	0.138	63.50	234.3	1.36	3.41	0.28	1.54	23.50	63.01
滇东南辉绿岩	16.9	432.3	1.54	1.17	0.96	0.413	103.3	501.0	1.25	2.99	0.24	1.49	14.62	93.87
桂西北(超)基性岩		373.0		1.37	1.07	0.39		373.0	1.40	2.73	0.34	1.35	16.60	74.0
黔东南花岗岩	66.2	546.9	0.21	0.58	0.73	0.105	25.89	125.5	1.59	3.44	0.41	0.44	25.28	65.96
广西花岗岩				0.45	2.90	0.30		284.0	6.14	8.25	0.89	1.00	41.2	58.0
滇黔桂区域背景	62.4	569.2	0.68	0.83	1.30	0.141	57.2	240.0	2.15	3 46	0.45	1.30	31.82	79.33

注：Ag、Au、Cd、Hg 为 $w_B/10^{-9}$，氧化物为 $w_B/10^{-2}$，其余元素为为 $w_B/10^{-6}$（据王宝禄等，1995）。

2.5 区域矿产

本区矿产种类较齐全，资源丰富，锡、钨享誉世界，锌、铟、银、铅、锑、汞、锰、铝等矿产国内有举足轻重的地位，金更以闻名于世的"金三角"著称。涂

光炽院士（1996）主编的《低温地球化学》一书首次提出了我国西南地区存在大面积低温成矿域（≤200℃的）概念；将滇黔桂接壤区卡林型金矿集中区划归西南大面积低温成矿域内六个低温热液矿床集中区（滇中陆相砂岩型铜矿和富铊雄黄雌黄矿区、川滇黔接壤区 MVT 铅锌银矿分布区、滇黔桂接壤区卡林型金矿集中区及单个的锑、冰洲石、铊矿床分布区、黔中一桂北铀、汞、锑及铅锌矿分布区、渝黔湘接壤区汞、雄黄雌黄及铅锌矿床集中区和湘中锑矿与铅锌矿集中区）之一，本文将运用区域成矿学理论，从成矿系列的角度探讨本区钨、锡、铅、锌、银、锑等矿产与金矿（化）在时空上的内在联系，具体见第六章第二节。

第三章　滇东南卡林型金矿地质特征及典型金矿实例

3.1 滇东南卡林型金矿地质特征

滇东南地区和黔桂毗邻地区有着相同或相似的地质背景和沉积演化历史，据不完全统计已发现金矿约 50 个，金矿从本区最北的曲靖富源胜境关到文山马关桥头，南延至越北著名的超大型巴朗金矿，西从个旧卡房，东至富宁金坝皆有规模不等的金矿出露（图 3-1）。为便于对比，可以将本区金矿通称为卡林型金矿。

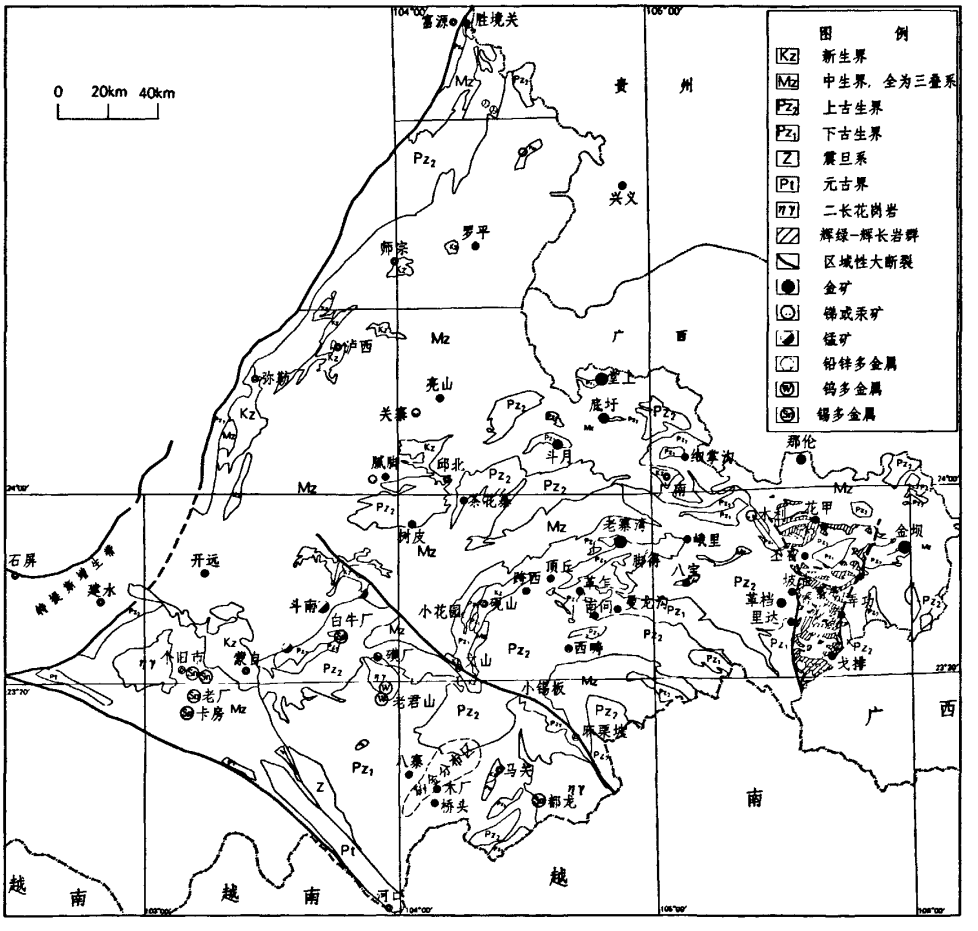


图 3-1 滇东南地区金矿地质图（底图据云南省 1:50 万地质矿产图修改，1978）

滇东南地区卡林型金矿床（点）的主要地质特征与黔桂地区卡林型金矿基本相同，但又具有十分鲜明的特点，主要地质特征如下：

1、成矿主要时代与滇东南地区花岗岩的成岩成矿时代、文山－富宁弧形逆冲推覆构造的主要活动时代基本一致，成矿主期基本介于 140～175Ma，相当于燕山晚期，成矿早期可能属于印支晚期或燕山早期，而成矿晚期可能延至喜马拉

雅早期（高振敏等，2002），表明三者的最后定格与板块间相互作用有关。

2、空间分布：①文（山）麻（栗坡）断裂以西之马关地区，由于加里东不整合面几已剥蚀殆尽，只有零星的小型金矿点和砂金矿点出露，个旧地区近花岗岩接触带产有矽卡岩型金矿；②文麻断裂以东，金矿的分布由南向北呈向北凸出的弧形带状分布，内带位于西畴北东，产有南问、曼龙沟金矿，中间带从砚山至八宝一带，产有跨西、顶丘、老寨湾、峨里、八宝、革档、坡油、里达、弄功等金矿，并有小花园、脚得、里达等铅锌、锑矿相伴产出，外带位于邱北一广南一带，产有腻脚、树皮、茶花寨、亮山、斗月、堂上、底圩、细掌沟、那伦、花甲、丕石、金坝等金矿并有木利大型锑矿、腻脚汞矿等相伴产出；③由于受富宁一关岭南北向断裂及富宁辉绿一辉长岩群的控制，那伦、花甲、丕石、坡油、革档、里达、弄功、金坝等金矿有沿南北向成带分布的特征，在花甲、里达金矿旁并有铅锌、锑等矿产相伴产出；④既有众多金矿沿右江裂谷带南缘产出，也有金矿远离右江裂谷带产出，南延至越北古陆南缘红河断裂以东仍然是金矿集中产出的地区（图 3-2），如越北巴朗金矿产于高平裂谷带边缘，矿石矿物组合为含金石英一黄铁矿一毒砂组合，石英脉含金几十～几百克/吨,估算储量 137 吨（李芳夏等，1995），因此有理由认为除南盘江—右江裂谷带外成矿物质仍然有其他上升通道。

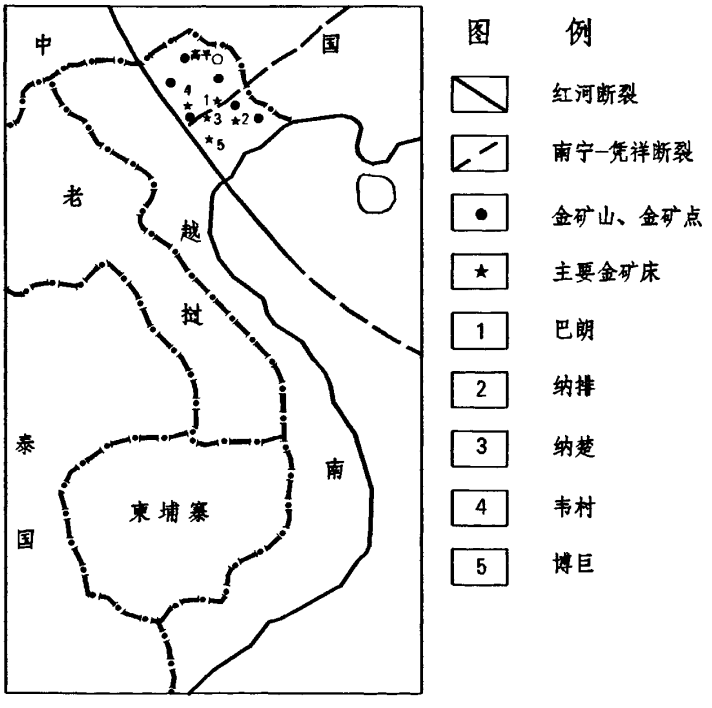


图 3-2 红河断裂以东越北地区产出金矿分布图（据李芳夏等，1995）

3、赋矿层位发育较全（表 3-1），以泥盆系下统、二叠系上统为主，三叠系中下统次之。

表 3-1 滇黔桂金三角地区卡林型金矿赋矿层位对比表

地层		滇东南	桂西	黔西南
T	中统	亮山、腻脚、个旧卡房（矽卡岩型）	金牙、大明山、高龙	烂泥沟、丫他、鲁布革、Pegao、wangme、weihuai、Beiyinpe、loudong
	下统	茶花寨	Puzilong	紫木凼、bannian、daguan、qingping、shaziling、tangxinzhai
P	上统	核桃寨、那苏、斗月、底圩、堂上、鱼塘、金坝、胜境关、跨西、未腊、顶丘、树皮		大厂、戈塘、鲁布革
	下统	米落		大厂、戈塘、三岔河、大丫口、雄武、Nipu、yangyou
C	上统			
	中统		隆或	
	下统			四象厂
D	上统			
	中统	牛角山	Longna	
		曼龙沟、细掌沟、革乍、丕石、革档、达木、坡油、弄功、戈排（辉绿岩接触带）、花甲（辉绿岩接触带）	马雄、Peyian、zheyi	
	下统			
O	下统	老寨湾、曼龙沟		
∈	上统		苗龙	
	中统			
	下统	桥头		

滇东南本文，黔西南、桂西北据 Lizhiping 等（1998）和刘东升（1994）综合。

4、含矿岩性既有不纯碳酸盐、碎屑岩及硅质岩，更有基性火成岩和火山凝灰岩，表明不同类型的母岩经热水渗滤皆能成矿。

5、地物化遥资料表明,滇东南地区岩浆活动发育，与金矿产出有直接或间接的关系，基性岩主要提供物质来源，花岗岩则主要提供热源。

6、金矿空间分布受控于：①不整合面构造；②文山－富宁弧形逆冲推覆构造带；③富宁－关岭南北向断裂带；④沿花岗岩侵蚀方向和接触带，因花岗岩上拱－冷缩形成的断裂带和密集裂隙带。控矿构造对金矿的作用可归纳为：①控制金矿成群成带分布；②为成矿流体提供运移通道；③产生构造地温场，为成矿提供热源。金矿体定位受拉张、滑脱的层间顺层滑动面、短轴破背斜、次级断裂或次级断裂交汇区、密集裂隙带和古溶洞、溶沟、溶槽等次级容矿构造控制。

7、矿石金属矿物组合主要为自然金、黄铁矿、毒砂、辉锑矿、雄黄、雌黄、辰砂，非金属矿物组合主要为石英、粘土矿物、碳酸盐岩、重晶石、有机炭等，显示砷、锑、汞等与金形影相伴，既不在其中，又不离其踪。

8、蚀变明显，常见硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、辰砂化、褐铁矿

化、粘土化、泥化、碳酸盐化、炭化，颜色杂乱，在有金异常的地区，这些蚀变常被作为最直接的找矿标志。

9、矿石结构主要为细碎屑结构、凝灰结构、胶状结构、交代结构、碎裂结构，矿石构造主要为微细浸染状、细脉浸染状等。

10、矿体呈似层状、层状、透镜状、脉状、网脉状或不规则状整合于岩层间或充填于构造（交汇）部位。

11、自然金呈（超）微细粒浸染于矿石矿物中，主要的载金矿物是黄铁矿，其次为石英、粘土矿物、有机质和胶体等，载金矿物也主要呈微细粒产出。

3.2 滇东南卡林型金矿类型划分

3.2.1 滇东南卡林型金矿分类依据

针对滇东南地区卡林型金矿的分类，江鑫培（1996）将其分为砷金型、锑金型、锑汞金型、黄铁矿石英脉型和镍铜金型，杨云保（2004）从含金建造和容矿岩石、粒度（50～500nm）角度，将滇东南地区卡林型金矿分为沉积岩建造的碎屑岩－碳酸盐岩型、基性火山岩建造型和红色粘土型，碎屑岩－碳酸盐型又分为不整合面型和陡倾斜脉状型。

本文认为一个合理的分类方案应具有简单明了、易判识的特点。本文从卡林型金矿的定义出发，根据滇东南地区卡林型金矿的产出特点、容矿岩石角度对其分类。

3.2.2 滇东南卡林型金矿类型划分

依据上述标准，将滇东南地区卡林型金矿划分如下：碎屑岩－不纯碳酸盐岩型、不整合面型、基性岩型、红色粘土型。

1、碎屑岩－不纯碳酸盐岩型

滇东南地区碎屑岩-不纯碳酸盐岩型金矿也即狭义的卡林型金矿，主产于右江裂谷南侧，其产出特征可以和美国内华达卡林型金矿相比，见有茶花寨金矿、那伦金矿等。

2、不整合面型

滇东南地区不整合面型金矿占有相当大的比例，其容矿岩石以碎屑岩－不纯碳酸盐岩为主，但相当多的金矿区都见有辉绿岩甚至基性火山岩，如曼龙沟金矿、老寨湾金矿、革档金矿。滇东南地区自古生代以来，存在着5个角度不整合面和平行不整合面（李志伟，2000），这些不整合界面均有金矿产出，重要的有泥盆系与寒武系或下奥陶统之间的加里东角度不整合面，革档金矿、坡油金矿、老寨湾金矿、曼龙沟金矿、南问金矿、细掌沟金矿等皆产于这一不整合面附近，二叠系上下统之间的平行不整合面，如顶丘金矿、树皮金矿，三叠系中下统与下伏二

叠系之间的平行不整合界面，如跨西金矿。

3、基性岩型

基性岩型金矿是指容矿岩石以基性火山岩、基性火山凝灰岩为主，辉绿岩和辉绿岩与围岩接触带也有产出，前者见于胜境关金矿、底圩金矿、堂上金矿、金坝金矿、斗月金矿等，后者见于金坝金矿、戈排金矿、花甲金矿、马列金矿等。

4、红色粘土型

红色粘土型金矿在区内占有一定比例，几乎滇东南原生卡林型金矿区皆有产出，但总体不发育。以曼龙沟金矿红色粘土型金矿为例，矿（化）体沿南北向微沟扇形展布，地表沿水流方向下宽上窄、下厚上薄，垂向上近地表色黄，结构松散，并有黑色铁、锰质膜，夹砂砾，偶夹滚石，品位 1～2g/t，向下变为砖红色，全部为粘土，品位 2～3g/t，湿粘矿质难于浸出。因受地形所限，该类金矿矿量有限，但仍具开发价值。

3.3 典型矿床实例

3.3.1 碎屑岩－不纯碳酸盐岩型金矿——以那伦金矿为例

那伦金矿（焦玉凯，2002；吕世琨等，2003）位于滇桂两省区交界之富宁县北，右江裂谷带南侧，文山－富宁弧形逆冲推覆构造带与富宁－关岭南北向断裂带之交汇部位（图 3-1）。主要出露地层为三叠系中统版纳组（T_2bn），泥岩、粉砂质泥岩夹细粉砂岩，T_2bn 也是最主要的赋矿层位。

矿区北西西向断裂和褶皱极为发育，次为北西向、北东向断裂，次级层间破碎带和小褶曲较为发育，是容矿的有利空间，围岩蚀变主要表现为矿物重结晶、碎裂，铁泥质大量转变为绢云母定向排列，矿物具拉伸线理，常见硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、粘土化、褐铁矿化、绢云母化等。

矿体严格受构造控制，总体走向为北西西向（图 3-3），已圈出 8 个矿体，呈似层状，透镜状产出，普遍具膨大、缩小、分支复合现象，单矿体长 267～875m，平均厚度 6.2～26.28m，金品位 1～3g/t,平均品位 1.15g/t，金品位顺层渐变，切层突变，8 个矿体中有四个矿体呈复合脉带状产出，间被后期异向断层错断而发生横向移位，其余四个矿体虽分布在不同地段，但皆与主矿体大致平行，整个矿带延伸总长 5km 以上，平均宽 55.7～76m，两端仍有继续向外延伸之势，显示良好找矿前景。

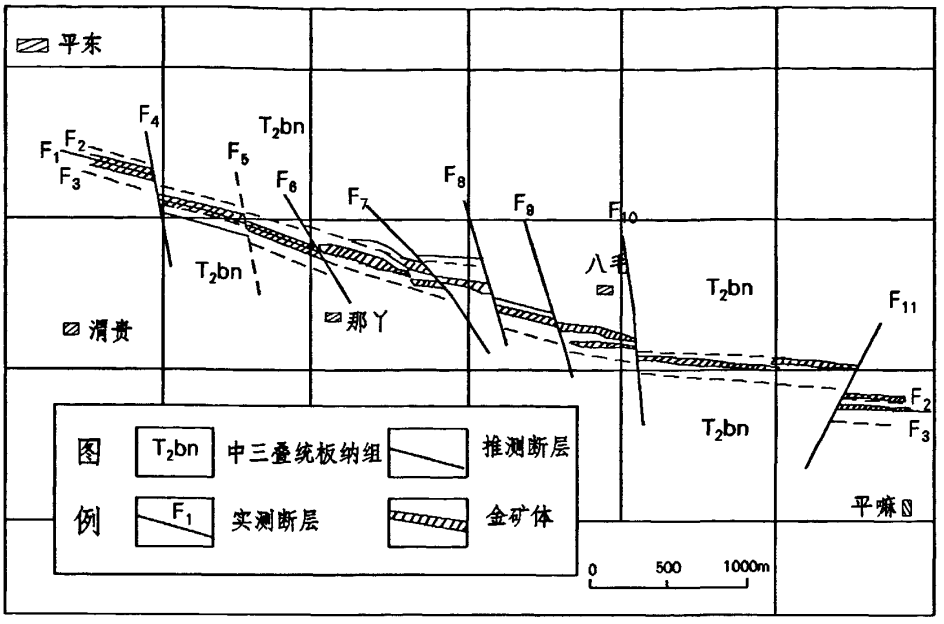


图 3-3 滇东南地区那伦金矿地质图（据吕世琨等，2003）

矿石主要金属矿物为黄铁矿、褐铁矿，次为毒砂、辉锑矿，主要非金属矿物石英、长石、铁泥质次生绢云母集合体、粘土矿物，黄铁矿、毒砂是主要载金矿物,矿石矿物主要呈微细粒状产出，在放大近万倍的电镜下，未发现金的颗粒。矿石结构主要为自形一半自形粒状结构、变余砂状结构，矿石构造主要为浸染状构造、细脉浸染状构造、块状构造、土状构造、碎裂构造、挤压定向构造。氧化矿石易于浸出，原生矿石浸出效果稍差。

3.3.2 不整合面型金矿——以革档金矿为例

革档金矿（云南省矿业协会黄金课题组，1992）位于富宁一关岭南北向断裂西侧，南北向旧腮背斜西翼，文山一富宁弧形断褶带东部，从西到东产有跨西、顶丘、老寨湾、娥里、革档、里达等金（锑）矿床（点）（图 3-1）。主要出露寒武系和泥盆系地层，二者呈不整合接触，寒武系上统唐家坝组（$\in_3 t$）为薄层一中厚层状白云质灰岩夹条带状泥质灰岩，泥盆系下统坡脚组（$D_1 p$）根据岩性不同可分为三段，下段下部为薄层状含炭质粉砂岩，局部夹炭质页岩，中部为薄层状含炭粘土质泥岩夹粉砂岩，是主要含矿层位，上部为薄层状含炭粉砂质泥岩；中段为薄层状粉砂质泥岩；上段为薄层状粉砂质页岩。

矿区断裂发育，主要为北西向，次为北东向、东西向。金矿化主要分布在下泥盆统坡脚组与上寒武统不整合面附近（图 3-4）,矿化带长 2300m，矿化层 1～3 个，矿体呈层状、似层状，透镜状、不规则状，单个矿体长数十至千余米，厚几十公分至数十米，根据最新的勘探资料，该矿 6 个钻孔总进尺 1308.52m，揭露

矿体厚度一般 2～20m，品位 1～2g/t，最高 5g/t，其中一个钻孔矿体垂深达 87m，品位变化不大，平均 1.63g/t，表明古溶洞对金矿具明显控制作用。矿床可达中型规模，远景储量尚可扩大，在矿区北东旁侧相同层位新发现坡油金矿。

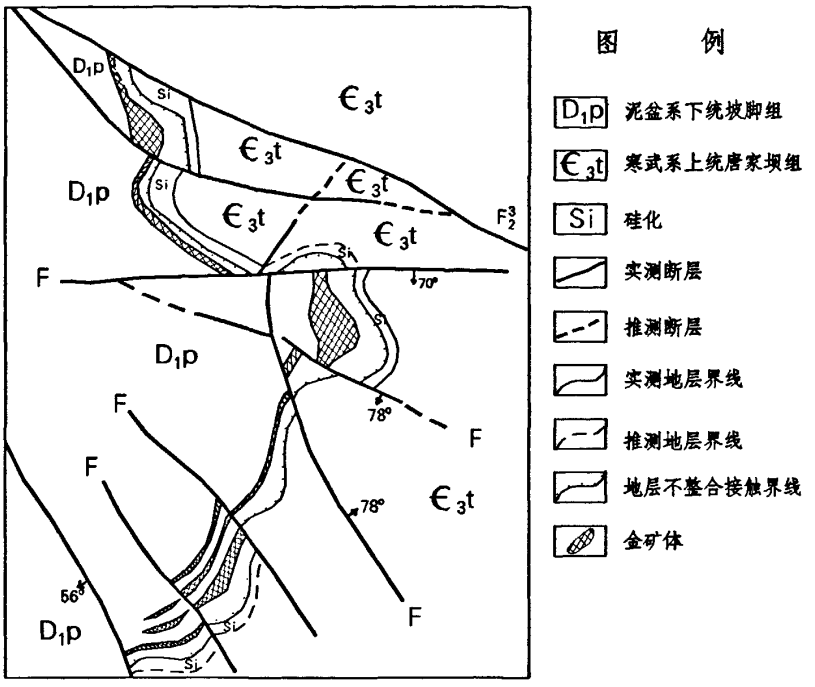


图 3-4 滇东南地区革档金矿地质图（据云南省矿业协会黄金课题组，1992）

矿石矿物 30 余种，金属矿物主要有黄铁矿、毒砂、白铁矿、辉锑矿、含砷黄铁矿，次为闪锌矿、黄铜矿、褐铁矿等，非金属矿物主要为石英、方解石、重晶石、绢云母、水云母、伊利石等，黄铁矿和毒砂是主要载金矿物。黄铁矿一般分为沉积和热液成因，沉积成因黄铁矿以草莓状、星点状沿层理分布，立方晶形，热液成因黄铁矿呈浸染状或细脉状产出，主要为五角十二面体及其聚形，矿石结构主要为自形一它形粒状结构，矿石构造主要为浸染状、细脉浸染状、碎裂状、土状构造。

矿床内中低温热液蚀变发育，主要为硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化及粘土化、褐铁矿化等，黄铁矿化、毒砂化与金矿化关系密切。根据矿物共生组合与热液蚀变特征，一般划分为两个成矿期四个成矿阶段，即热液期（石英一黄铁矿阶段、石英一黄铁矿一毒砂阶段、石英一辉锑矿一方解石阶段）和表生期（表生氧化阶段）。

3.3.3 基性岩型金矿—以底圩金矿为例

底圩金矿区位于北凸的文山一富宁弧形逆冲推覆构造体系的（文山一富宁断褶束）正前端边缘（图 3-1），断褶构造发育，主构造线为近东西向。主要出露有

二叠系茅口组（P_1m）灰岩、峨眉山玄武岩组（$P_2\beta$）凝灰岩、凝灰质熔岩、杏仁状玄武岩、致密块状玄武岩，那梭组（P_2n）玄武质凝灰岩、沉凝灰岩、沉火山角砾岩、硅质泥岩，者浪组（P_2z）砂泥岩，三叠系罗楼组（T_1l）、龙丈组（T_1ln）、板纳组（T_2b）、兰木组（T_2l）等细碎屑浊流沉积，地层受底圩短轴背斜控制，由核部向外地层由老到新（图 3-5）。

矿区的区域构造主要为东西向的底圩破背斜，次有北西向、北东向和近南北向断裂。底圩破背斜近东西向舒缓波状展布，西出洪宾向北微翘并收敛，东至底圩明显呈向北突出的弧形并收敛，总体为一短轴背斜，因其被断裂破坏，故称为短轴破背斜。轴面向南陡倾，核部地层 P_1m、$P_2\beta$，往两翼依次为 P_2n、P_2z、T_1l、T_1ln，两翼基本对称，产状 20°～45°。北翼稍缓，南翼稍陡，近轴部倾角可达 50°～60°。整个背斜被一组高角度逆断层破坏，主断面与背斜轴面基本一致，同属于受向北突出的弧形逆冲推覆构造体系作用的产物。底圩破背斜还被北西向、北东向、南北向次级断裂错断，金矿（化）体产出严格受底圩破背斜控制。

区内出露的岩浆岩均为基性火山岩和中基性脉岩。基性火山岩主要为玄武岩和火山碎屑岩，属海陆交互相火山间歇喷溢向火山沉积相过渡的产物，中基性脉岩主要为闪长玢岩，见于鱼塘村北 650 米北北东向沟中，呈脉状产出，厚 2～110

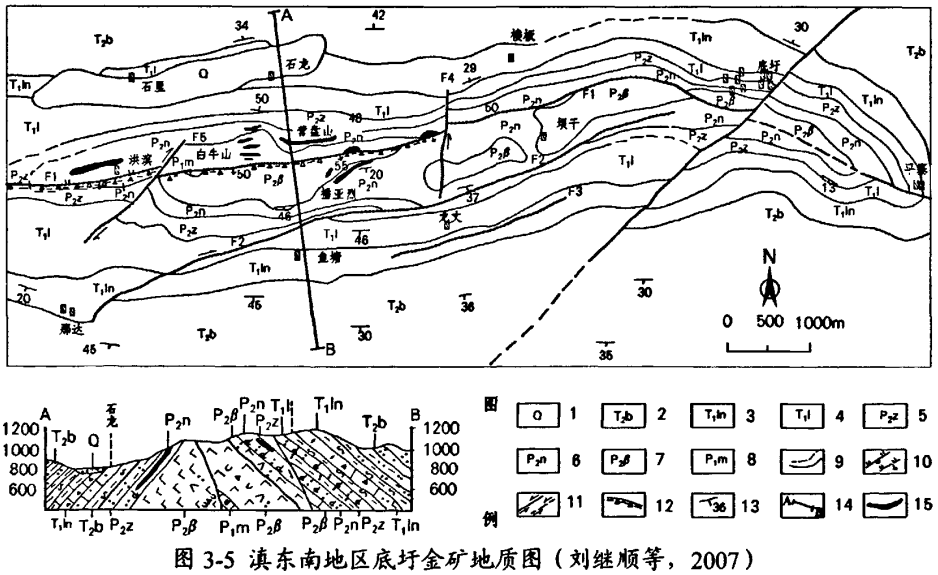


图 3-5 滇东南地区底圩金矿地质图（刘继顺等，2007）

1－洪冲积砂砾、粘土；2－板纳组砂泥岩；3－龙丈组泥质灰岩、角砾状灰岩；4－罗楼组泥岩、凝灰质泥岩、沉凝灰岩；5－者浪组泥岩、凝灰质泥岩夹沉凝灰岩；6－那梭组沉凝灰岩、凝灰岩；7－玄武岩组玄武岩、凝灰岩；8－茅口组灰岩；9－实测（推测）地质界限；10－实测（推测）逆断层；11－实测（推测）平移断层；12－断层破碎带；13－地层产状；14－剖面位置；15－金矿（化）体

厘米不等，延长不清，灰绿色斑状结构，主要由粗大的斜长石斑晶（75%～80%）组成，基质由石英（5%）、角闪石（5%～10%）、辉石和绿帘石等组成，副矿物

有磷灰石、钛铁矿、黄铁矿、磁铁矿等，未见矿化和蚀变现象，为后期侵入产物，具体时代不详。

地球物理资料表明玄武岩系列岩石与海相沉积的灰岩和浊流沉积的砂砾岩磁性差异明显（表 3-2），对整个矿区所做的面积性电法测量和高精度磁测表明：①从东（底圩）到西（洪滨），玄武岩由薄变厚并呈向西倾伏之势；②实地线性低阻带、磁异常错移带、正负异常交变带、正负异常突变带是断裂破碎带电磁性差异的客观反应。1:20 万区化发现 Au、As、Ti、Co、Ni 等元素组合异常，明显反映异常和矿化受控于玄武质系列岩石，1: 5 万水系加密测量百余 km^2，分析样品 944 件，分析元素 Au、As、Sb、Hg、Cu、Ag，异常以 Au、As 为主，Sb、Hg 次之，Cu、Ag 较弱，套合好，异常总体沿控矿构造展布，在异向次级断裂交会区，异常表现为沿次级构造方向变形。

表 3-2 底圩矿区岩石磁性参数统计表

岩石类型	标本数	磁化率 k（$\times4\pi\times10^{-6}$SI）		剩余磁化强度 Jr（$\times10^{-3}$A／M）		备注
		变化范围	几何均值	变化范围	几何均值	
玄武岩	10	210.6～1841.2	1099.7	282.9～938.2	488.8	$P_2\beta$
凝灰岩	23	601.6～1954.7	1060.9	268.1～920.7	425.2	P_2z、$P_2\beta$、P_2n
泥岩	12	221.4～895.5	351.6	91.7～251.7	138.5	T_1l、T_1ln
泥灰岩	9	173.0～585.5	323.3	91.7～240.4	170.3	T_1l、T_1ln

据云南省地矿局物化探队李丛俊等（内部资料），1998.

底圩金矿从西到东沿底圩破背斜轴部延长近 8km ，南北方向 0.5～1km 宽不等，有数十个金矿（化）体产出，矿化规模大。金矿体主要产于西破背斜轴部主干断裂两侧，已圈定的金矿体十余个，分为洪滨、白牛山和播亚烈、营盘山四个矿段。矿体产状与主构造线方向一致，具分枝复合现象，部分小矿体呈北东向产出，呈雁行排列，倾角一般 35～55°，最大可达 80°，呈层状、似层状、透镜状、脉带状产出，层状、似层状矿体与顶底板围岩岩性相同，金矿（化）体与围岩呈渐变过渡关系，标志不明显，肉眼难以区分，局部地段矿层底部可见炭质黑色标志层。

赋矿岩石以凝灰岩、玄武岩为主，次为沉凝灰岩、硅质粘土岩及构造角砾岩、细网脉状石英岩。矿石结构主要有玄武质熔岩结构、凝灰结构、粒状显微鳞片状（变晶）结构、细碎屑结构、泥质结构，矿石构造主要有星点状、浸染状、细脉浸染状、不规则细脉状和块状、碎块状、角砾状、土状构造。矿石矿物为毒砂、黄铁矿、褐铁矿、钛铁矿、自然银、辰砂等，脉石矿物为石英、白云石、粘土矿物、绢云母、独居石等。矿物颗粒普遍细小，自形程度较好，反映在热液成矿作用较充分。黄铁矿、毒砂、褐铁矿、石英的共生组合是底圩金矿区野外找金最为

直接的标志。

整个矿化带热液蚀变普遍，主要类型有黄铁矿化、毒砂化、硅化、粘土化。矿化以单一金矿化为特征，肉眼难以辨认，通过地表观察热液蚀变特别是系统取样现场金分析可以准确圈定金矿化体。

矿体规模相差悬殊，长数十米至数百米不等，厚度最小仅 1 米，最大达十余米，储量从几千克至几千千克不等。品位普遍偏低，一般 1.0～1.5g/t，最高 5.6g/t，据电子探针对含金（1.2～1.4g/t）样品之粘土矿物、云母、石英、褐铁矿、钛铁矿、黄铁矿定性打点扫描和用酸腐蚀重新扫描均未发现金微粒（邻区富宁县金坝金矿自然金微小包体小于 1μm）（国家辉，2001a）。有害组分 As 稍高（一般 0.n%～0.0n%，最高>1%），但不影响浸出，可以认为底圩金矿为（超）微细粒型单一金矿床，黄铁矿单矿物分析结果显示中低温热（卤）水渗滤成因。

3.3.4 红土型金矿—以胜境关金矿为例

胜境关金矿（曾祥平，2003；翟佑华等，2001）位于滇黔两省交界的云南省富源县，滇黔桂菱环块体之边界断裂－弥勒－师宗断裂南侧（图 3-1），矿区面积大于 370km^2。主要出露有二叠系茅口组（P_1m）灰岩，灰岩顶部古岩溶发育，峨眉山玄武岩组（$P_2\beta$）凝灰岩、凝灰质熔岩、杏仁状玄武岩、致密块状玄武岩，为陆相喷发堆积产物（$P_2\beta$ 与 P_1m 接触界面为华力西不整合面），宣威组（P_2x）陆相含煤碎屑岩系及三叠系飞仙关组(T_1f)、永宁镇组（T_1y）砂泥岩、泥灰岩、白云岩等（图 3-6）。

矿区褶皱构造与弥勒－师宗断裂走向基本一致，近南北向展布，主要有大罗冲背斜。大罗冲背斜位于矿区西带，胜境关－东铺矿段东缘，背斜轴部位于胜境关－东铺两矿段东侧之云贵两省交界附近，核部为茅口组灰岩，两翼为峨眉山组玄武岩、凝灰岩，两翼倾角为 10～30°，背斜西翼为胜境关金矿各矿段分布区，东翼为贵州省盘县芹菜坪金矿区。断裂构造主要有两组，北北东向压扭性逆断裂组有 5 条断层纵贯全区，由东至西呈叠瓦状逆冲推覆，普遍被北西向断裂组错断，北西向张扭性正断裂组有 7 条断层纵贯全区，并受限于弥勒－师宗大断裂，由北向南呈阶梯状错落排列，具先张后平移特点。两组断裂夹持地带正是本区金矿（化）体产出的主要部位。

矿区位于弥勒－师宗重力梯度带与滇黔幔坳的交界部位，玄武岩与灰岩磁性差异明显，浮土－玄武岩－灰岩电阻率分别为中阻－低阻－高阻，具备电法、磁法找矿的地球物理前提。1:20 万区化发现 Au、As、Sb、Co、Ni、Co 等元素组合异常，明显反映异常和矿化受控于玄武质系列岩石，1:5 万水系加密测量 377km^2，Au、As、Sb、Hg 元素异常套合好，与金矿化关系密切。

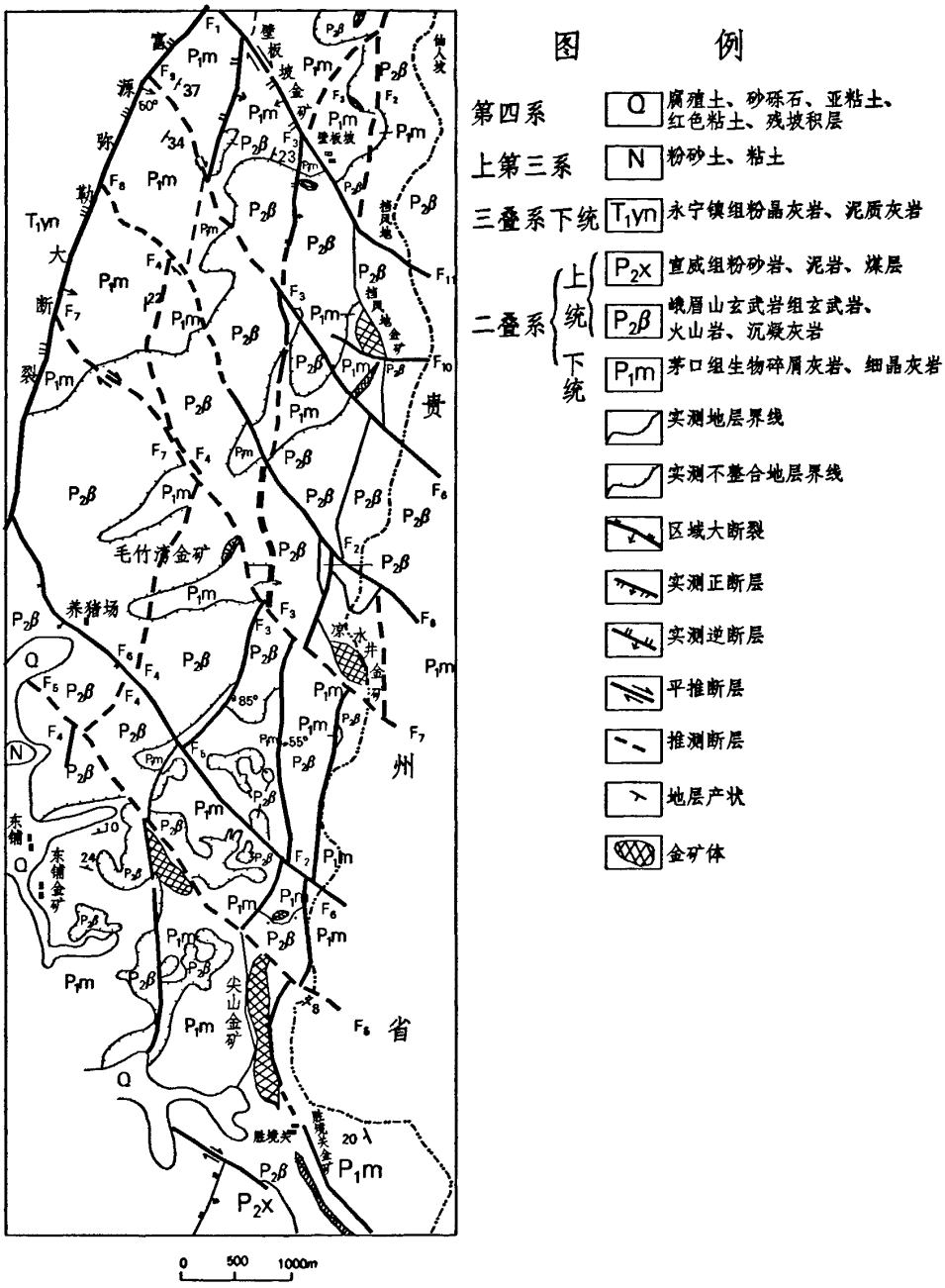


图 3-6 滇东南地区胜境关金矿地质图（据翟佑华等，2001）

金矿体主要赋存于峨眉山组玄武岩（$P_2\beta$）底部与茅口组（P_1m）灰岩的假整合面上，凝灰岩、玄武质凝灰岩和凝灰质炭质泥岩既是金的矿源层，又是金的富矿层位。主要矿石金属矿物为褐铁矿、赤铁矿，次为黄铁矿、辉锑矿、黄钾铁矾、锰矿物，非金属矿物主要为石英、高岭石，次为辉石、方解石、白云石、绿泥石、黑云母、水云母、绢云母等，主要矿化蚀变为褐铁矿化、硅化、粘土化、黄钾铁

矾化、赤铁矿化、碳酸盐化，金品位一般 2～5g/t，最高近 10g/t，铁矿化越强，金品位越高。矿体形态产状受断裂构造和古溶沟、溶槽、溶洞控制，多呈层状、似层状、透镜状、不规则状产出。矿石结构主要为土状结构、交代结构、碎裂结构、自形－半自形显微粒状结构、残余结构等；矿石构造主要为角砾状构造、皮壳状构造、蜂窝状构造、土状构造、多孔状构造等。5 件样品电子探针测定结果（翟佑华等，2001），金的粒度为 0.5～4μm 之间，属次显微金。

该金矿处于川滇黔接壤区 MVT 铅锌银矿分布区向滇黔桂接壤区卡林型金矿集中区之过渡部位，其南 40km 有大型罗平富乐铅锌矿等产出，而距右江裂谷带直线距离百余千米，金矿物质来源除右江裂谷外应有其他通道，侯增谦等（1999）、张成江等（2004）认为与峨眉地幔柱从四川攀西地区深成层状侵入相往外至浅成侵入相－喷发相，成矿元素总体显示出的分带性（由内向外分别为 Fe-Ti-V→Cu-Ni-PEG→Cu-Pb-Zn-Ag→Au-Sb-Hg-Te-Se）有关，幔源物质的原始不均一性及其分异演化是金矿成矿的基础，后期的热水渗滤和表生风化淋滤是矿床形成的决定因素。

不难看出，胜境关金矿，产于华力西不整合面附近可归为不整合面型金矿，赋矿岩石以沉凝灰岩为主，本质上仍然属于基性岩型，但由于表生风化、淋滤作用强烈而呈现红土型金矿的特征，张翼飞将其划归红土型金矿（翟佑华等，2001），从该金矿实例也可以看出矿床的形成是多因耦合的结果，所以本文对滇东南地区卡林型金矿的划分并不是绝对的。

第四章 滇东南卡林型金矿地球化学特征

4.1 滇东南卡林型金矿含金建造地球化学特征

4.1.1 含金建造

滇东南地区卡林型金矿含金建造与毗邻黔西南、桂西北地区同属 Sb、As、Au、Hg 等低温元素矿集区的地球化学块体，这种大的地球化学块体为该区大型巨型矿床的形成提供了足够的物质供应量。根据现有勘查成果，赋矿层位发育较全，从寒武系至三叠系均有金矿产出，主要为泥盆系、二叠系、三叠系，表明含金建造对卡林型金矿形成没有专属性。

1、寒武系下统冲庄组（$\in_1 ch$）：主要分布于马关、文山、富宁、西畴、广南等地，岩性为千枚岩、板岩、灰岩组成，在马关与河口交界的地带已发现桥头金矿，是本区含金最老的地层，桥头金矿由于地处区域应力中心，成矿作用所受温压较高，含金岩石已变为超强硅化的致密块状。

2、下奥陶统老寨组（O_1l）：该组在南问一曼龙沟成矿带也称南津关组（O_1n），由灰岩夹石英砂岩、粉砂岩及粉砂质泥岩组成，在广南老寨湾、西畴曼龙沟一带是赋存金矿的地层。

3、下泥盆统翠峰山组（D_1c）、坡松冲组（D_1ps）、坡脚组（D_1p）组、芭蕉箐组（D_1b）分布广泛，由海陆交互相的泥岩、泥质粉砂岩、杂砂岩组成，该组超覆于中、上寒武及下奥陶统的不同层位之上，不整合面及其之上是本区的重要的含金层位，亦是含锑的重要层位，已发现的金矿床有西畴曼龙沟、广南细掌沟、老寨湾、革乍、富宁丕石、革档、达木、坡油、弄功、戈排、花甲等，戈排和花甲底部已为辉绿岩所侵蚀，金矿产于 D_1 与辉绿岩接触部位。中泥盆统木底组（D_2m），如砚山牛角山金矿硅质岩中也发现有金矿顺层或沿构造线产出。

4、上二叠统

①峨眉山玄武岩组（$P_1\beta$、$P_2\beta$）由角砾状玄武岩、玻基玄武岩、气孔状玄武岩、凝灰质玄武岩、凝灰岩组成，是主要的含金层位，已发现的金矿床（点）有文山核桃寨、广南那苏、斗月、米落、底圩、堂上、鱼塘、富宁金坝、富源胜境关等金矿（胜境关金矿主产于 $P_2\beta$ 与 P_1m 茅口组灰岩的不整合界面），近年来的勘查实践表明，相当一部分矿床可达中大型规模，金品位 1～数十克/吨，是滇东南地区重要的产金层位，在滇西北丽江玉龙雪山及宁蒗白牛厂等地，玄武岩含金性也与滇东南地区相类似。

②吴家坪组（P_2w）主要出露于文山砚山、邱北一带，大致相当于龙潭组，与下伏地层 P_1 呈不整合接触，产有砚山顶丘、邱北树皮等金矿，也是富宁金坝

金矿的主要赋矿层位。

③领好组（P_2ln）主要出露于坳陷带的邱北、广南、富宁地区，由凝灰岩、凝灰质砂岩及砂泥岩组成，底部凝灰岩与玄武岩的接触部位有较强的金矿化显示。已知的矿床（点）有堂上（大型）、未腊等。在广南底圩也称那梭组（P_2n），也有金矿化显示。

④龙潭组（P_2l）主要分布于文山—砚山地区，为泥质含煤建造，偶夹薄层硅质岩及灰岩，与下伏二叠统峨眉山玄武岩为假整合接触，假整合面之上即该组下部赋存金矿，已发现的有砚山跨西金矿。

5、下三叠统洗马塘组（T_1x）主要分布于砚山和邱北以南地区，由泥灰岩、钙质泥岩夹粉砂岩组成，该组是本区重要的含汞层位，亦是含金层位，已知金矿有邱北茶花寨。

6、中三叠统版纳组（T_2bn）、个旧组（T_2g）：版纳组广泛分布于邱北、广南、富宁地区，是坳陷带重要的地层组成部分，其次麻栗坡杨万和西畴柏林也有少量分布，为深海～半深海槽盆浊流沉积，是本区重要的含金层位，已知的金矿有：富宁金坝、那能，广南堂上等，岩性由泥岩、砂岩、粉砂岩组成常见不完整的鲍马系列，底痕构造发育。个旧组分布广泛，其中金、砷、锑、汞异常组合好，但因灰岩覆盖，不易开展找矿工作，也较难突破，目前仅在邱北腻脚发现金矿点一处，在个旧卡房锡多金属矿区靠近玄武岩之处发现高温热液矽卡岩型金矿，伴有铜、钨、铋、钼矿化。

7、第四系 Q：分布广、类型多，均以松散的泥、砂、砾等堆积为特点，在有含金泥岩地区经红土化作用或洪、冲积的搬运作用，往往富集形成红土型金矿和砂金矿，前者以邱北亮山为代表，后者主要分布于马关地区的大马固、金厂坝等，次为西畴莲花塘。

4.1.2 含金建造地球化学特征

滇东南地区水系沉积物测量各地层地球化学对比见表 2-3。由表可知：

1、相较于桂西北地区和黔西南地区，滇东南地区 Au、Cr、Ni、Co、V、Ti、Fe、Mn、Cu 等亲基性场元素含量较高，表明滇东南地区含金建造基性岩作用明显强于黔西南和桂西北地区。

2、F、As、Sn、Mo、Pb、Ag、Sr、Ca、Mg、K 等元素含量也较高，表明亲酸性场成岩成矿作用和台地碳酸盐岩相沉积也强于黔西南和桂西北地区。

3、下元古界大离子亲石元素 Sr、Ca、Ba（K）的超常富集（富集系数分别为 6.15、5.35、2.38、1.48，与华南全区相比，下同）和偏低温元素 As、Sb（Bi、Hg、Au）的超常亏损（富集系数分别为 0.09、0.11、0.42、0.48、0.59）可能强烈表明本区古老基底（下元古界）经过了一个彻底的物质分异演化过程而为后期

的岩浆成矿和低温成矿准备了衍生矿源层，与黔南贞丰岩体群岩筒状岩体中之中深程度变质岩（疑为结晶基底）强烈富集 LILE（大离子亲石元素）和 LREE 相吻合，表明二者壳层结晶基底的一致性。

4.1.3 含金建造与卡林型金矿的地球化学关联

从表 2-3 可知，Au 除在中元古代和第四系背景稍高外，从早古生代至泥盆纪、石炭纪背景值逐渐增高，从二叠纪至第三纪背景值又逐渐降低，这种变化与滇东南地区亲基性场元素的地球化学行为相一致，与基性岩浆活动强弱是相对应的，也表明金物质来源的深源性和多期性。

而在稳定沉积环境的地层中，金、砷、锑、汞的含量远远低于滇东南地区的背景值，以富宁某金矿南侧矿权区三叠系百蓬组（T_2b）（相当于版纳组 T_2bn）六百余件水系沉积物分析样品为例，金、砷、锑均值分别为：Au 0.89×10^{-9}、As 5.59×10^{-6}、Sb 0.7×10^{-6}，远低于滇东南地区三叠系的背景值（Au 2.15×10^{-9}、As 16.8×10^{-6}、Sb 2.3×10^{-6}），汞均值为 Hg 70×10^{-9}，与滇东南地区三叠系背景值相当（Hg 73×10^{-9}）。与整个滇东南地区相比其富集系数分别为：Au 0.4、As 0.3、Sb 0.3、Hg 0.7，从一个侧面有力地说明没有基性岩活动的参与，单纯靠地层是难以提供金成矿物质来源的。

4.2 滇东南岩浆岩地球化学特征

4.2.1 基性岩地球化学特征

1、基性岩的分布

滇东南地区金矿成矿作用受峨眉地幔柱所控制，除了本文第二章第二节从区域地层地球化学特征所显示的直接依据，从滇东南地区卡林型金矿与基性岩的对应关系也是有力的证据：①在某些金矿区如广南底圩金矿区玄武质系列岩石是最主要的赋矿岩石，富宁马列金矿在接触带附近辉绿岩全岩金矿化。在金矿的形成过程中，基性岩还是早期金矿成矿作用热源的主要来源；②在加里东不整合面附近产出的金矿如曼龙沟、老寨湾、革档等金矿区，也可见辉绿岩的出露；③物化遥资料综合解译结果显示，基性岩成群成带分布的地区，就是卡林型金矿集中的地区。

相较于钻孔的“一孔之见”和区域地质填图的“眼见为实”，用区域物、化、遥综合解译基性岩犹如给地矿工作者配备了“钻山镜”，因其标志清晰，更便于从宏观上把握基性岩的分布情况。

厚度较大的岩体（层）可以出现重力高，基性岩磁场表现特殊，辉绿、辉长岩磁性中等，二叠纪玄武岩磁场正负跃变，磁性极不均匀，且由于构造变动可以形成很强的磁场，也可以表现为负磁场，根据上述特征可圈定玄武岩分布范围，

推断隐伏火山岩埋藏深度，

滇东南及邻区航磁区域场垂向二导图（图 4-1）清楚地显示出了滇黔桂"金三角"地区玄武岩和辉绿岩的大体分布范围，与已出露的辉绿岩集中分布区和经钻孔验证的玄武岩分布区完全吻合，该图还清楚地揭示出：①滇东南地区东南部以辉绿、辉长岩为主，北西部以玄武岩为主，玄武岩由南向北，由东向西厚度加大，往北西与峨眉山玄武岩连片分布；②在滇东南文山－西畴一带，辉绿、辉长岩不仅地表出露，尚有隐伏基性岩存在，可望找寻基性岩型金矿。

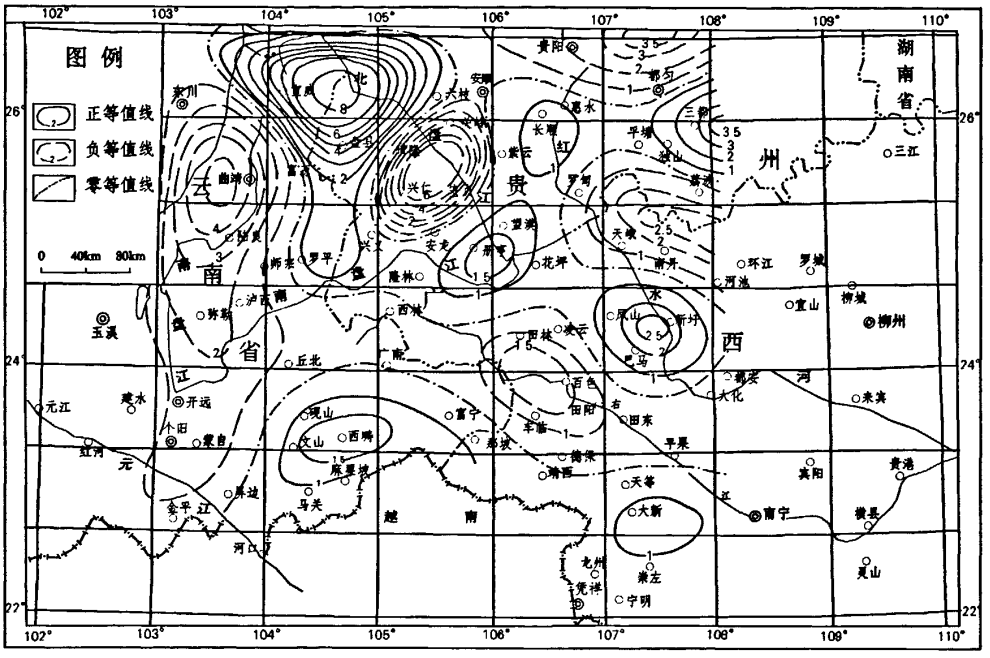


图 4-1 滇东南及邻区航磁区域场垂向二导图（据王宝禄等，1995）.

2、基性岩地球化学特征

基性岩地球化学特征明显，以富集 Ni、Cr、Co、V、Ti、Fe_2O_3、Mn、Cu、Zn、Cd、P、Au 等为主，张旗等（1999）、高振敏等(2002)研究表明：峨眉山玄武岩省不同时期不同地区的玄武岩具大体类似的地球化学性质，均富集 Ti（TiO_2 >2%）、挥发份和碱性程度较高，LILE 和 LREE（La/Yb）N=4.8～14.6，Ti/V（32～67）、Ti/Y（400～693）、Zr/Y（3.2～7.6）比值高，具洋岛玄武岩特征，利于成矿元素的迁移。以钠为主的碱性元素含量高，指示伴随玄武岩浆活动的火山气液可能富钠（与金矿床的矿物流体包裹体成分富钠相吻合），其对金有较强的熔浸能力，可以携带大量的金进行迁移。翟佑华等（2001）对滇东南胜境关地区玄武岩所作的分析结果：SiO_2 46.05%～48.76%、TiO_2 4.07%～4.25%、Al_2O_3 13.21%～13.51%、Fe_2O_3 4.99%～6.02%、FeO 9.09%～9.49%、MnO 0.15%～0.25%、MgO

4.29%～4.65%、CaO 6.97%～9.02%、Na_2O 2.25%～3.84%、K_2O 1.37%～1.67%、P_2O_5 0.14%～1.07%，也可看出 Ti 和 Na 的明显富集。

3、基性岩与卡林型金矿的地球化学关联

峨眉山玄武岩的含金性具有明显的地区性变化。根据杨科佑等（1992）的研究，西部大理－宾川一带玄武岩金的含量较低，为 4.0×10^{-9}～8.3×10^{-9}，中部攀枝花－西昌一带明显增高，为 3.0×10^{-9}～18.7×10^{-9}，东部至黔西南地区最高，为 8.0×10^{-9}～62.5×10^{-9}，滇东南富源胜境关地区玄武岩 Au 为 7.05×10^{-9}～19×10^{-9}，As、Sb、Hg 元素含量也为高背景（翟佑华等，2001），分别为：As 358.4×10^{-6}、Sb 24.03×10^{-6}、Hg 125.45×10^{-6}，具备金矿形成的物质来源。滇东南及邻区卡林型金矿集中区恰好与我国西南地区峨眉山玄武岩含金相对较高的地区相吻合。

与玄武岩相比，基性－超基性岩金的含量变化较大，地区差异更明显。如滇东南地区富宁一带基性－超基性岩体金的含量为 4.0×10^{-9}～10.0×10^{-9}，桂西北巴马一带高达 16.3×10^{-9}～85.0×10^{-9}（杨科佑等，1992），且皆有一定规模的卡林型金矿产出。

张成江等（2004）认为峨眉地幔柱分异演化彻底，与地壳的的同化混染程度较高，与其有关的成矿作用复杂，成矿系统多，成矿系列齐全，区域分布规律明显，即从四川攀西地区深成层状侵入相往外至浅成侵入相－喷发相，成矿元素总体显示明显的分带性，由内向外分别为 Fe-Ti-V→Cu-Ni-PEG→Cu-Pb-Zn-Ag→Au-Sb-Hg-Te-Se，在矿床成因上，由内向外表现为岩浆型、岩浆热液型→热液型（热液改造型）（侯增谦等，1999）（图 4-2）。滇东北地区以铅锌为主，滇东南及邻区以金为主，是地幔物质不均一性和成矿元素在不同空间分异演化的集中表现，黄智龙等（2004）对会泽超大型铅锌矿研究后提出了印支期"均一化流体贯入成矿"的成矿模式，越来越多的资料表明，印支期也可能是金矿的一个重要的成矿期，但不是主要的成矿期。

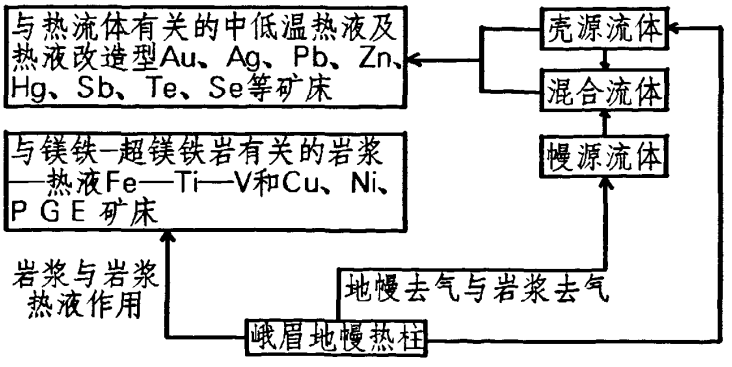


图 4-2 峨眉地幔柱与成矿关系示意图

因此，规模巨大的峨眉山玄武岩及其伴随的基性岩浆侵入、火山碎屑浊流沉积与滇东南及邻区卡林型金矿的形成有直接的成因联系。

4.2.2 花岗岩地球化学特征

1、（隐伏）花岗岩的空间分布特征

滇东南及其邻区根据重磁资料推断的（隐伏）花岗岩体多达35个（图4-3，表4-1），空间分布特征如下：

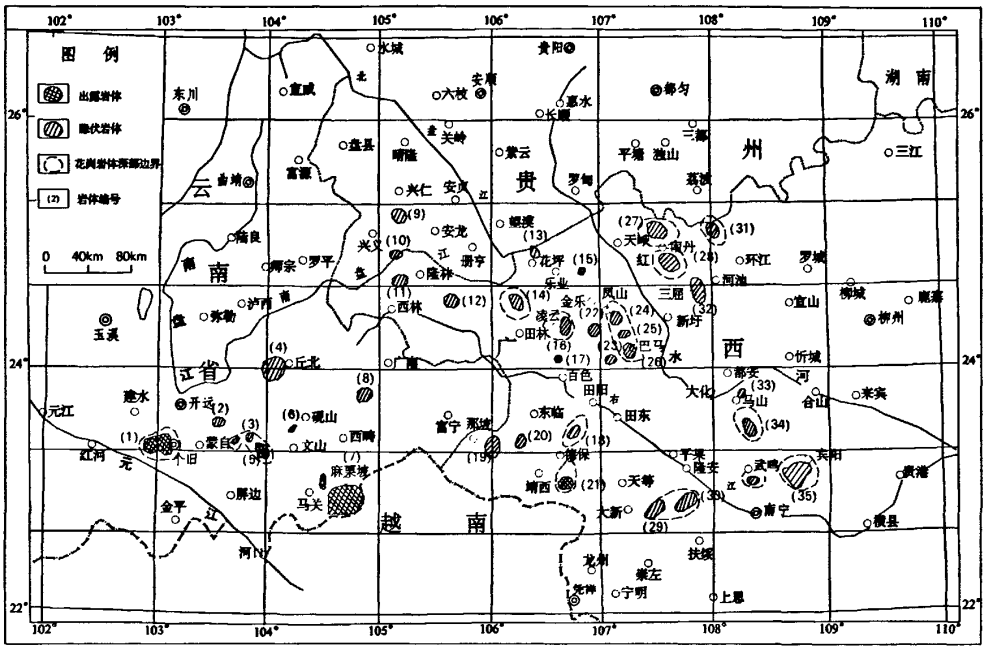


图 4-3 滇东南及邻区推断隐伏花岗岩体分布图（据王宝禄等，1995）

表 4-1 滇东南及邻区推断隐伏花岗岩体名称简表

编号	名称	编号	名称	编号	名称
1	个旧东区	13	乐业陇凤	25	巴马西山
2	开远市马桑箐	14	凌云西华	26	巴马
3	蒙自鸣就	15	乐业安壹	27	南丹芒场
4	邱北树皮	16	凌云	28	南丹大厂
5	蒙自白牛厂	17	凌云伶站	29	大新小明山
6	文山北	18	德保红泥坡	30	隆安西大明山
7	马关北	19	那坡东	31	南丹木伦
8	广南珠街	20	那坡魁圩	32	河池山岳
9	安龙龙广	21	靖西钦甲	33	武鸣大明山
10	隆林祥播	22	凌云果这	34	武鸣
11	隆林德峨	23	巴马龙田	35	宾阳昆仑关
12	隆林隆或	24	凤山长峒		

据王宝禄等，1995

（1）根据物探成果对花岗岩体空间形态的大量计算，结果表明：花岗岩体顶界面一般距地面 1km，底界面深度多在 10km 以内，诸多小岩体深部存在大规模岩基，或浅层几个小岩体在深部相连，大岩基的形态、产状较为复杂。

（2）总体与右江裂谷带走向基本一致，由于越北古陆向北强烈挤压，岩体带、裂谷带也呈北凸弧形展布。

（3）（隐伏）花岗岩体不同方向的连线可反映出北西向、北东向、南北向不同方向构造的作用。

（4）北西向右江裂谷带中心部位无岩体分布，富宁—关岭南北向断裂的中心部位几乎无花岗岩体产出，进一步表明构造对花岗岩的控制作用。

2、花岗岩地球化学特征

滇东南地区出露的个旧、薄竹山、老君山三个规模较大的花岗岩，其地球化学特征极为相似（表 4-2），主要共性有：

（1）形成时间均为燕山期，成因类型均为 S 型花岗岩；

（2）岩石富碱，K_2O+Na_2O 较高，且 $K_2O>Na_2O$，铝为弱过铝质—过铝质类型，A/NKC≥1；

（3）岩石富集 Sn 及其他成矿元素，Sn 含量是维氏值的 3 倍以上；

（4）稀土元素均为总量较高，轻稀土富集型，负铕异常明显，稀土配分模式相同；

（5）个旧岩体、薄竹山岩体和白牛厂隐伏岩体 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 均大于 0.708 而小于 0.720，显示原岩为海相不纯碳酸盐为主，都龙岩体 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 均大于 0.720，显示原岩为陆地（越北古陆）硅酸盐为主[①]。

3、花岗岩含金性探讨

国外有学者如 Sillitoe R. H.等（1990）认为卡林型金矿是岩浆热液的远源产物，刘东升（1994）认为，我国卡林型金矿与岩浆岩无直接的关系，但又不否认岩浆热。

滇东南乃至桂西北地区，是文山—富宁弧形逆冲推覆构造的区域应力最为集中的地区，相当一部分花岗岩体直接大规模出露地表，并产生大规模锡、钨、铅、锌多金属成矿作用，在有金矿物源的地方如个旧卡房直接形成矽卡岩型金矿（金矿化主要集中在玄武岩层中，详见第五章第四节），滇东南地区往西越过红河断裂，元阳哈播金矿的产出特征与个旧卡房矽卡岩型金矿产出特征相类似，金矿（化）体直接产于花岗质脉岩与围岩接触带附近，在桂西北金牙金矿等地出露石英斑岩、花岗斑岩，石英斑岩中金含量高达 137.4×10^{-9}，但石英斑岩体内尚未发现金矿（化）体，而在不具备金矿物源的矿区如蒙自白牛厂则无金矿化甚至无金

[①] 申浩澈，同位素地质学（讲义），1986：48~67。

异常，亦即相同的成矿作用由于不同的物源产生不同的成矿结果，成矿物源是金矿形成首要基础。

表4-2 滇东南燕山期花岗岩基本特征对比表

岩体名称		个旧岩体(1)		都龙(2)		薄竹山(3)		白牛厂
		龙岔河	马松	I期	II期	陈家寨序列	薄竹山序列	
出露/控制面积		200	15	153		220		2
形成年龄（Ma）		147±3	90.4±6.3	102.32	93.06	79～115.4		68.8±2.6
岩石类型		粒状黑云母花岗岩	斑状黑云母花岗岩	似斑状钾长/二长花岗岩	细-中粒二云母花岗岩	黑云母二长花岗岩		黑云母二长花岗岩
主要矿物成分（%）	钾长石	33	32-36	32.18	31.12	20～38		30～45
	斜长石	31	26	28.44	31.82	26～49		30～35
	石英	26	31	31.38	32.70	20～25		25～30
	黑云母	8	5-8	5.66	2.24	5～15		4～10
副矿物组合		榍石 磁铁矿 磷灰石 褐帘石 锆石 独居石等	榍石 锆石 磁铁矿 褐帘石 萤石 电气石等	榍石 锆石 磁铁矿等	榍石 锆石 萤石 电气石等	磁铁矿 钛铁矿 锆石 独居石 褐帘石 磷灰石等		磁铁矿 榍石 磷灰石 锆石 褐帘石 钛铁矿等
岩石化学成分（%）	SiO_2	67.54	71.83	72.99	72.43	68.13	71.41	67.52
	TiO_2	0.48	0.25	0.14	0.09	0.52	0.27	0.55
	Al_2O_3	15.19	13.94	14.15	14.78	15.17	14.60	14.36
	Fe_2O_3	1.05	0.34	0.71	0.89	0.70	0.63	0.42
	FeO	2.67	2.12	1.16	0.96	3.00	2.60	3.62
	MnO	0.04	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.06
	MgO	0.53	0.54	0.26	0.17	1.29	0.71	1.13
	CaO	1.97	1.56	0.31	0.14	2.43	1.41	2.23
	Na_2O	3.14	3.37	3.10	3.01	2.75	2.73	2.90
	K_2O	5.57	5.01	4.94	4.86	4.34	4.38	5.28
	P_2O_5	0.20	0.14	0.22	0.27	0.26	0.26	0.18
	K_2O+Na_2O	8.71	8.38	8.04	7.87	7.09	7.11	8.18
	K_2O/Na_2O	1.77	1.49	1.27	1.61	1.58	1.60	1.82
	σ	2.61-3.49	2.06-3.06	2.16	2.10	2.27	1.79	2.70
	DI	78～87	82～88	90.36	89.73	88	89	89
	A/KNC	1.05	1.00	1.29	1.41	1.06	1.23	1.00
微量元素	富集元素	Li、Rb、U、Sn、Pb Sb、As等		Li、Rb、Be、W、、Cs、Sn、Pb、Zn、As;		Li、Rb、Sn、Pb、Sb、As等	Li、Rb、W、Be、Sn、Pb、等	W、Sn、Mo、Bi、Cu、Pb、Ag、Sb、等
	亏损元素	Ni、Co、Cr等		Ni、Co、Cr、Sr、V等				
	含Sn(10^{-6})	23.8	23.5	71.10	103	8.94	11.18	32.2
稀土元素	ΣREE	453.63	365.54	271.29	113.62	299.67	239.68	308.73
	LEE/HEE	30.02	19.92	4.85	4.44	11.15	6.83	19.65
	δEu	0.76	0.31	0.30	0.35	0.58	0.48	0.49
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$		0.7102	0.7142	0.732		0.7129		0.7145
成因类型		S型		S型		S型		S型

（1）据孙崇文，1988；（2）官容生（1991），王新光等（1992），俞开基（1984），李志群（1992）；（3）高子英(1996)，张世涛（1997）。

本区酸性岩浆活动可能对金矿的物质来源的贡献不大，但能够提供热源（水源）直接或间接改造围岩中的金使之进一步富集并成矿，由图 4-3 可以看出：本区一个个（隐伏）花岗岩犹如一个个“热岛”，而多数金矿就分布在岛间或“热岛”组成的带间及其附近，如滇东南地区邱北树皮隐伏岩体和广南珠街隐伏岩体周边金矿的产出相对比较集中。而富宁—关岭南北断裂带和右江裂谷中心，成矿的热动力主要是基性岩浆产生的岩浆地温场及构造变动地温场（杨科佑等，1991）。

目前对滇黔桂“金三角”地区金矿的热源存在着不同的认识（转自高振敏等，2002）：①构造运动和异常高的古地温很可能是地下热水循环的动力，是使 Au、As、Hg、Sb、Ag、Mo、Ba 等元素活化转移的因素（涂光炽，1990）。据云贵石油勘探处在黔西南戈塘附近的参数井测温，0～2000m 平均地温梯度为 50℃/km。②整个中生代滇黔桂卡林型金矿集中区，活跃着大批热泉和喷气孔，火山热泉的低温热液足以使峨眉山玄武岩和基性－超基性岩中不相容元素活化迁移并成矿（梅厚钧，1992）。③右江幔隆成矿带使右江幔隆构造作用、成矿水热体系、金矿床组合有序性演化（朱为方等，1990）。④地幔热柱－大陆热点－右江裂谷－深部岩浆活动为成矿流体运移提供热动力源（倪师军等，1997）。⑤隐伏花岗岩热源驱动各时代地层中的金活化、迁移并成矿（王秀璋，1992；李文亢，1989）。⑥成矿的热动力主要是基性岩浆和隐伏的酸性岩浆活动产生的岩浆地温场及构造变动地温场（杨科佑等，1991）。⑦产热元素驱动深层热卤水循环成矿（马振东等，1999）。

应该加以明确的是，地热增温和产热元素的产热具有不间断性和地域的普遍性，而成矿事件是在特定时间、特定地点所发生的特定的成矿作用，大量的同位素资料表明，本区酸性岩浆的成岩成矿演化时间和金、锑等（中）低温矿产的形成时间以及文山－富宁弧形逆冲推覆构造的最终形成演化时间都统一于燕山期，此时伴有碰撞造山期后裂谷的再次拉伸和碱基性岩的侵入和喷发。这种时间上的统一性和空间上的联动性不是偶然的，是地幔柱长期活动和板块间相互作用的结果，现代地球物理资料综合研究表明（毛景文，1998），华南地区地壳比较薄，约 20～30km。根据剪切波速度绘制出的上地幔结构图清楚地显示出华南地区下部有一个刚性柱体，中间部分被软化成为软流圈的一部分。由此推测，华南地区柱状刚性岩石圈很可能代表一个地幔冷柱，该冷柱在燕山期曾是一个地幔热柱。亦即华南地区在燕山期地幔可能上隆,导致上覆地壳大面积重熔或同熔成花岗质岩浆，由花岗岩浆的分异演化形成了星罗棋布的稀土、稀有、钨、锡、钼、铋、铜、铅、锌、银等矿产。正是由于地幔的活动，各种不同成因的矿床无不具有地幔物质加入的烙印。

所以本文认为区域构造运动及与之相伴的酸性和基性岩浆活动是滇东南地

区乃至滇黔桂地区金矿成矿作用最为主要的热源，花岗岩在为中低温金、锑等矿产提供热源的同时，由岩浆侵位、冷缩在岩体上部围岩形成的密集裂隙带为花岗岩演化所产生的钨、锡、铅、锌多金属矿产提供成矿流体运移的通道和有利的容矿空间。本区卡林型金矿与花岗岩似无直接的关系，从成矿系列的角度，某些卡林型金矿由花岗岩成岩成矿作用所产生的热动力所驱动，也即钨、锡、铅、锌等中高温矿产与金、锑等中低温矿产的形成是有成因联系的。

4.3 滇东南地区构造地球化学特征

4.3.1 控矿构造与容矿构造

1、控矿构造分类

根据滇东南地区卡林型金矿的大量探矿实践，结合地物化遥所解译的深大断裂和基底断裂以及向北凸出的文山－富宁弧形逆冲推覆构造对滇东南乃至滇黔桂地区成岩、成矿和弧形断褶带的最后定格，可将滇东南地区控矿构造分为四类：

（1）不整合面构造：可见多个不整合面，如 D_1 与下古生界之加里东不整合面，P_2w（吴家坪组）与 P_1 海西不整合面皆有金矿产出，而以加里东不整合面产出金矿最多。

（2）文山－富宁弧形逆冲推覆构造带：该构造带表现为一系列向北突出的弧形断褶带（往北应力虽有所减弱，但对右江裂谷带仍有影响），叠加于不整合面构造之上和作用于海西－印支期形成的基性火山岩、（隐伏）辉绿岩及与之有关的火山碎屑浊流沉积并成矿。

（3）富宁－关岭南北向断裂带：该带向北延至贵州关岭一带，向南延至越北。控制着富宁－那坡基性岩群和黔西南贞丰碱基性岩群和为数众多的不同规模的金矿产出。

（4）沿花岗岩侵蚀方向和接触带附近，因花岗岩上拱－冷缩形成的断裂带和密集裂隙带。以滇东南珠街花岗岩为例，其周围集中了广南老寨湾金矿、革乍金矿、砚山顶丘金矿、西畴曼龙沟金矿和一些锑矿点，并有铅锌矿相伴产出。

2、容矿构造

滇东南地区卡林型金矿大量的勘采实践表明，不整合面、短轴破背斜（穹隆+轴向断裂）、大断褶带只是控制金矿带的产出方向，金矿体并不直接产于这些碰撞挤压的层面上，而是定位于拉张、滑脱的层间顺层滑动面、次级断裂或次级断裂交汇区、密集裂隙带和古溶洞、溶沟、溶槽等有利的容矿构造。

3、短轴破背斜（穹隆+轴向断裂）形成机制探讨

滇东南及其邻区相当一部分金矿床的定位都与短轴破背斜有关，在底圩金矿区，整个金矿床受控于一个十分完整的短轴破背斜，该短轴破背斜总体近东西向

展布，略向北凸出，表明短轴破背斜的形成先于文山－富宁逆冲推覆构造，关于短轴破背斜的形成机制，本文作如下探讨：

在天然的地质环境中，短轴破背斜的形成可以不需要外应力的挤压，当沉积成岩（脱水）完成之后，由于不同岩石物理性质的差异，随着岩石中天水的渗入致使某一类岩石大量吸水，另一类岩石则吸水较少，岩石吸水后发生膨胀，随着内应力的逐步积累形成短轴背斜直至形成短轴破背斜，岩石吸水性的差异则可能导致岩石层间的滑脱。成矿流体的灌入使岩石再度膨胀，当内应力得到释放后，岩石中粒间溶液突然释压，获得自由流动空间，能够快速地大量地运移，从而在层间顺层滑动面、次级断裂或次级断裂交汇区、密集裂隙带和古溶洞、溶沟、溶槽等有利的容矿部位成矿，如果断裂发生多次，这种成矿作用可能发生多次。

4.3.2 构造地球化学特征

滇东南地区卡林型金矿构造地球化学特征与金矿的空间分布特征相拟合，其特征如下：

1、Au、As、Sb、Hg 等中低温元素组合异常沿文山－富宁向北凸出的弧形逆冲推覆构造带由南向北、由内向外弧形层圈状断续分布，异常组合元素一般为2～4 个，并有其他元素异常。图 4-4 示滇东南文山地区 Au 异常与北凸弧形断褶构造对应关系，图中一部分与砷、锑、汞等异常套合较好，异常强度较高的金异常已经证明为金矿(化)体引起，其中如西畴曼龙沟北西之革乍金矿金异常极值仅 4.6×10^{-9}，砚山顶邱金矿只有金、汞异常出露，而单金异常到目前为止未见有矿化体发现，估计与样品中明金效应有关。

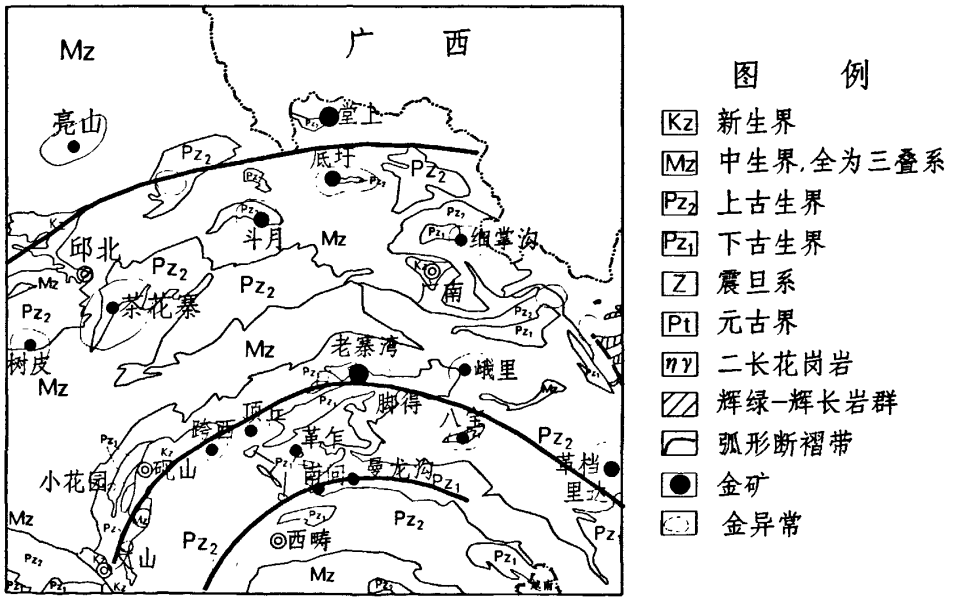
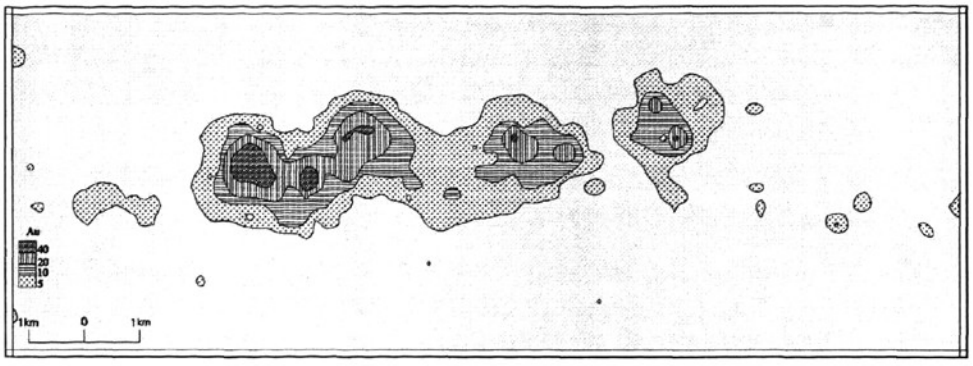
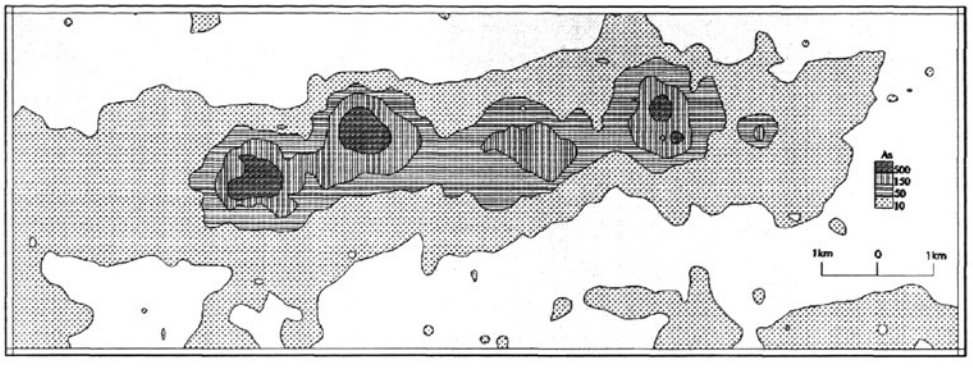
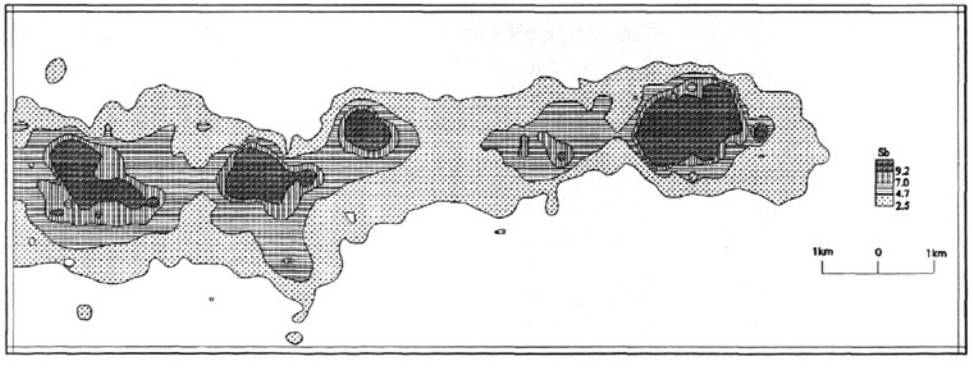
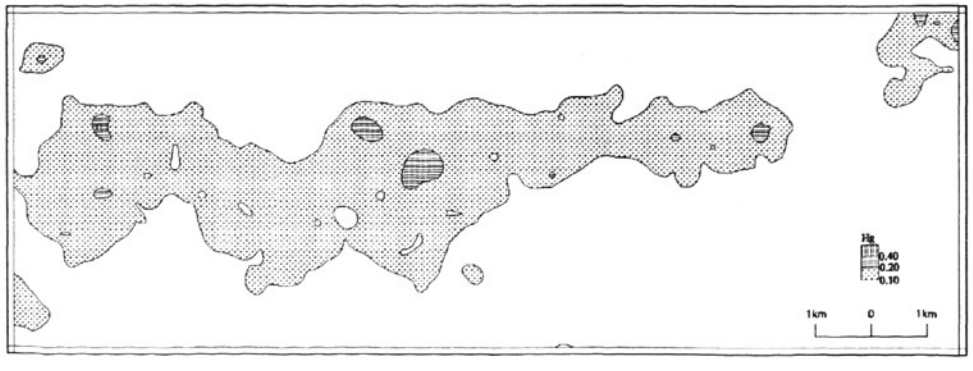


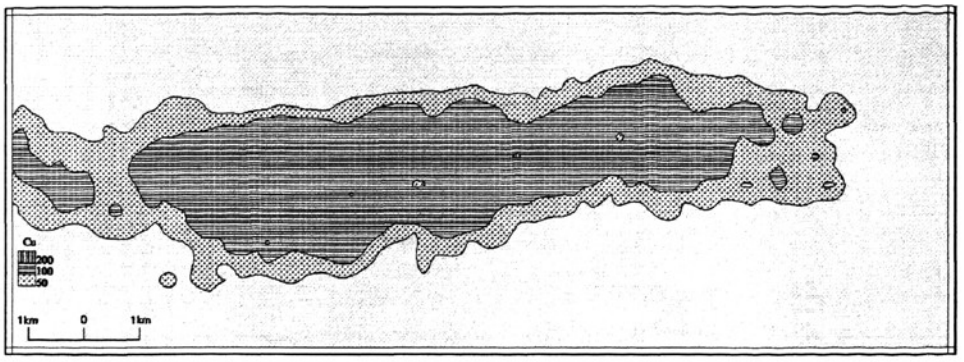
图 4-4 滇东南文山地区金异常与北凸弧形断褶构造对应关系图

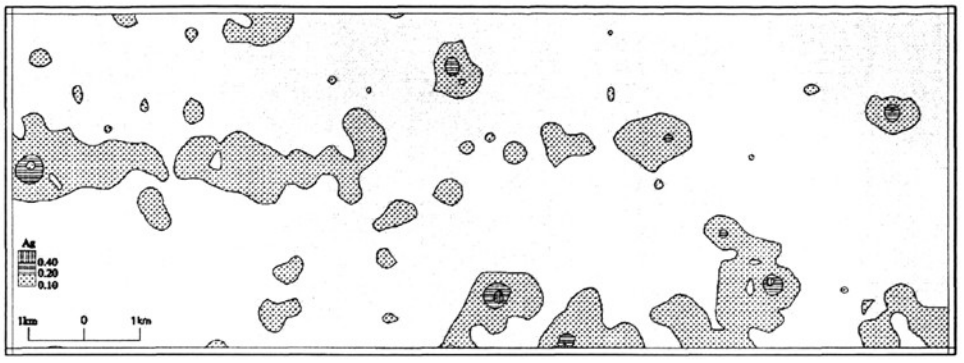

Au
40
20
10
5
1km 0 1km

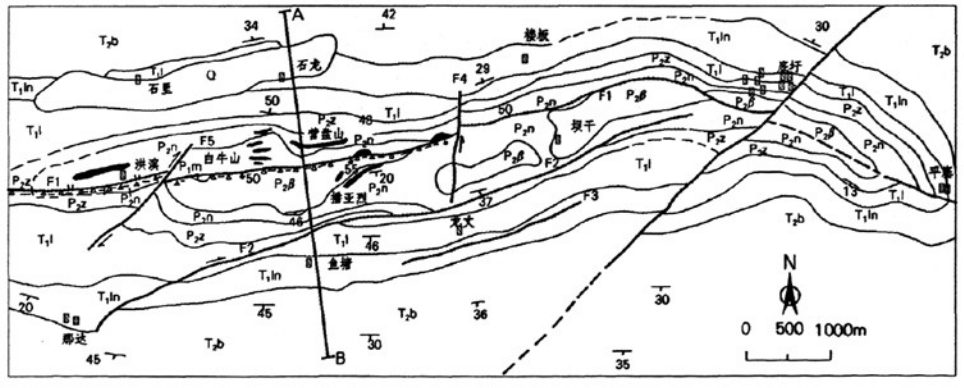

Au
500
150
50
10
1km 0 1km


Sb
9.2
7.0
4.7
2.5
1km 0 1km


Hg
0.40
0.20
0.10
1km 0 1km







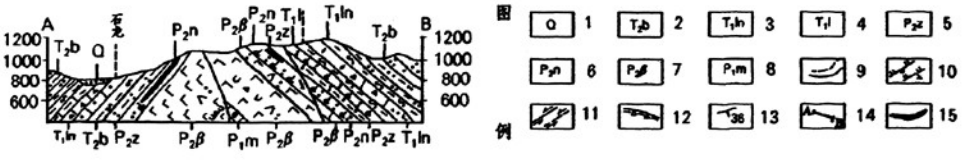


图 4-5 滇东南地区底圩金矿地质地球化学异常图

1－洪冲积砂砾、粘土；2－板纳组砂泥岩；3－龙丈组泥质灰岩、角砾状灰岩；4－罗楼组泥岩、凝灰质泥岩、沉凝灰岩；5－者浪组泥岩、凝灰质泥岩夹沉凝灰岩；6－那梭组沉凝灰岩、凝灰岩；7－玄武岩组玄武岩、凝灰岩；8－茅口组灰岩；9－实测（推测）地质界限；10－实测（推测）逆断层；11－实测（推测）平移断层；12－断层破碎带；13－地层产状；14－剖面位置；15－金矿（化）体

2、Au、As、Sb、Hg 等中低温元素组合异常及相应的矿（化）沿花岗岩外围分布，如个旧花岗岩外围东西两侧分布有大面积 Au、As、Sb、Hg 多元素组合异常。图 4-4 还同时显示出在西畴北东那洒-珠街隐伏花岗岩外围，老寨湾金矿、革乍金矿、砚山顶丘金矿、西畴曼龙沟金矿和一些锑矿点、铅锌矿点相伴产出。

3、Au、As、Sb、Hg 等中低温元素组合异常沿富宁—关岭南北向断裂带散点状分布，该断裂带在滇东南地区控制了富宁－那坡基性岩群的产出和与之相关的一系列金矿床和金异常的产出。

4、金矿异常总体沿控矿构造展布，在异向次级断裂交会区，异常表现为沿次级构造方向变形。图 4-5 示底圩金矿 Au、As、Sb、Hg、Cu、Ag 地球化学异常图，六个元素异常总体沿控制矿（化）体产出的短轴破背斜展布，Au、As（Sb)异常强度高，套合好，Au 的高值区直接与金矿（化）体相对应，Hg、Cu、Ag 异常总体较弱，Hg 异常显得不规整，且与 Au、As（Sb）异常中心相分离，显示低温远矿的特点，Cu 表现为玄武质系列岩石中的高背景在中低温热液成矿作用下的轻度富集，无明显浓集中心，Ag 虽然异常较弱，但构造地球化学特征明显，表现为沿主构造线东西方向和沿次级构造北东向、北西向串珠状展布，表明在构造作用下，围岩（碎屑岩）中的银也有轻度富集。

4.3.3 构造与滇东南地区卡林型金矿的地球化学关联

控矿构造都经历了长期的地质历史演化过程。控矿构造对金矿的作用可归纳如下：①控制金矿成群成带分布；②为成矿流体提供运移通道；③产生构造地温场，为成矿提供热源。构造在控制滇东南地区卡林型金矿成群成带产出的同时，也控制了该区 Au、As、Sb、Hg 等中低温元素组合异常的成群成带展布。

4.4 滇东南地区卡林型金矿矿床地球化学特征

4.4.1 常量元素地球化学特征

由于不同的赋矿层位及其岩性的差异，常量元素含量变化甚大，在不同岩矿石中表现为此消彼长。表 4-3 示金坝金矿不同类型岩（矿）石常量元素含量及变化特征，由表可以看出：

1、不同类型岩(矿)石常量元素含量差别较大，如硅化破碎带岩石常量元素成分较单一，以富含硅为主。

2、不同类型岩(矿)石常量元素既有原岩的演化继承性，又表现出在成矿流体中此消彼长的特征。如从正常围岩凝灰岩→蚀变凝灰岩→凝灰岩矿石，硅被逐渐带出（晚期形成石英脉），铁、钾、磷（钙）明显带入，烧失量明显高于原岩，从辉绿岩→矿化辉绿岩→辉绿岩矿石，常量元素含量变化特征与上述凝灰岩中常量元素的含量变化基本一致，辉绿岩中还有一个显著的变化，即在成矿过程中，钠

含量大为降低，有可能表明成矿流体中富钠（见本节包裹体地球化学特征）主要是从辉绿岩中溶出，成矿过程是一个去硅化形成石英细网脉和铁化、钾化、碳酸岩化和有机质含量增加的过程，这与卡林型金矿常表现为硅化、碳酸盐化、黄(褐)铁矿化、黄钾铁矾化、炭化相对应。

表 4-3 滇东南地区金坝金矿不同类型岩（矿）石常量元素与金含量及变化特征

样品类型	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Los	Au
灰白色凝灰岩	74.0	1.06	12.2	5.6	0.2	0.02	0.66	0.21	0.26	2.25	0.22		0.00
正常凝灰岩	67.5	1.70	11.3	11.3	0.0	0.15	0.15	0.35	0.24	2.84	0.22	3.93	
蚀变碎裂凝灰岩	54.9	5.86	17.5	13.9	0.4	0.03	0.10	0.21	0.47	2.71	0.47		0.08
强蚀变凝灰岩	48.0	0.54	2.5	37.1	0.8	1.06	0.10	1.70	0.14	0.35	0.78		0.13
凝灰岩矿石	36.7	3.06	22.6	20.4	0.6	0.10	0.10	0.99	0.45	5.74	1.86	7.3	7.36
砂质凝灰岩矿石	33.8	4.67	22.9	19.2	0.4	0.07	0.61	0.50	0.36	6.56	1.17	9.2	2.56
砂质凝灰岩矿石	53.3	2.22	19.3	9.6	0.5	0.01	0.56	0.42	0.66	5.15	1.02	7.2	2.43
硅化破碎带岩石	94.3	0.53	1.2	1.5	0.2	0.31	0.10	0.42	0.10	0.24	0.09		0.29
辉绿岩	52.7	0.99	16.2	2.0	6.3	0.12	4.63	5.03	3.71	0.24	0.08	7.5	0.03
辉绿岩	51.9	0.96	14.9	2.3	6.1	0.12	7.23	8.79	2.31	1.89	0.18	4.0	0.03
矿化辉绿岩	36.1	0.85	14.7	3.3	3.9	0.12	6.16	11.6	0.25	3.56	0.66	18.2	2.18
辉绿岩矿石	27.1	0.76	13.4	7.7	4.3	0.15	6.93	13.6	0.56	3.27	0.54	21.0	4.19

据国家辉（2001a）资料整理，Au 为 $w_B/10^{-6}$，其余 $w_B/10^{-2}$。

4.4.2 微量元素地球化学特征

1、以明显富集中低温金、砷、锑、汞为特征，这些组合异常或矿床（点）总是形影相伴，不同元素的矿产具体由该元素的高值异常中心圈定，又对其他元素的矿产起一定的指示作用。具体到某一矿床（点），由于受物质来源、元素分异演化程度、异常发育程度、矿床规模和矿床剥蚀水平等因素的影响，金、砷、锑、汞异常并不一定同时出现。

2、由于金矿的物源主要与基性岩浆活动有关，滇东南地区卡林型金矿常伴有 Ni、Cr、Co、V、Ti、Mn、Cu、Zn、Cd、P 等微量元素异常，在某些金矿区如邱北亮山金矿，Zn、Cd 等元素甚至是最主要的异常元素，肖龙等（1996）对滇东南革档金矿矿石与外围基性岩微量元素含量的对比（图 4-6），也发现二者微量元素的含量变化步调基本一致，二者之 Ni/Cu、Zn/Pb、Cr/Ni 等元素比值相近，矿石中 Pt、Pd 等铂族元素含量较高，可达综合利用水平。

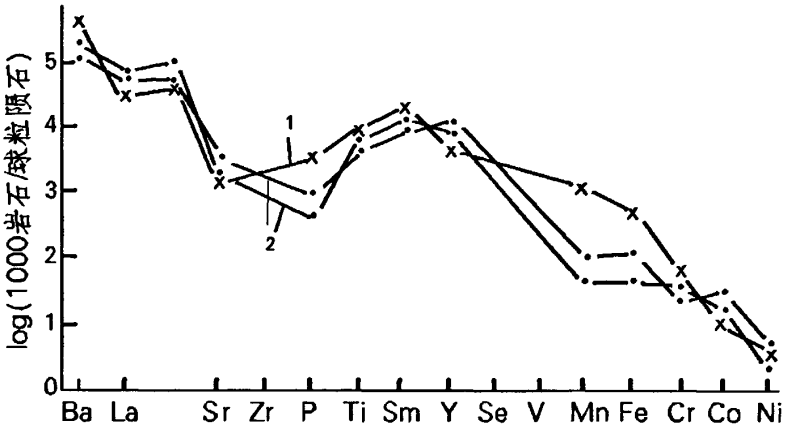


图 4-6 滇东南地区革档金矿矿石与外围基性岩微量元素含量对比图（据肖龙等，1996）

1－基性岩；2－矿石

4.4.3 稀土元素特征

卡林型金矿容矿岩石稀土元素总量为 544.88×10^{-6}～12.96×10^{-6}，含量变化甚大，总的变化趋势是含泥质较高的岩石，稀土总量较高，含硅质或钙镁质较高的岩石，稀土总量较低（韦龙明等，1995）。

滇东南地区卡林型金矿稀土元素特征与此相符，但更明显地表现为与基性岩浆活动相关。以金坝金矿为例，含黄铁矿、毒砂石英脉金矿石与矿化层凝灰岩、矿化辉绿岩及各类容矿岩石，稀土总量相差悬殊（表 4-4），但均富集 LREE（Sm/Nd <0.33），稀土元素配分模式图均向右倾，轻稀土分馏明显，重稀土分馏不明显，均显示不同程度的铈和铕负异常（图 4-7），上述特征表明金坝金矿成矿作用与基性岩活动密切相关。滇东南革档金矿矿石与外围基性岩二者之稀土配分型式也十分相似（图 4-8），说明即使是不整合面型金矿，其成矿之物质来源也与基性岩浆活动有关。

4.4.4 包裹体地球化学特征

卡林型金矿中金以微粒出现，包裹体缺乏，因此流体包裹体分析在研究卡林型金矿时也仅是一个很局限的方法（Zhiping Li，2002），即使是同一个卡林型金矿，因所测定矿物的不同，包裹体化学成分差异也很大（刘东升，1994）。

通过滇东南地区主要卡林型金矿与中国川陕甘地区、滇黔桂地区 13 个卡林型金矿矿物包裹体化学成分（加权平均值）的对比（表 4-5），表明：

1、滇东南地区卡林、型金矿与中国卡林型金矿皆为富钠流体，Na^+/K^+比值略低于中国卡林型金矿平均值，这与峨眉山玄武岩岩石化学特征总体富钠相吻合，显示成矿流体与峨眉地幔柱基性岩浆活动有继承性。

表 4-4 滇东南地区金坝金矿不同类型岩（矿）石稀土元素特征

元素	千枚状钙质页岩	流纹质凝灰岩	酸性细碧岩	辉绿岩	矿化层凝灰岩	矿化辉绿岩	含黄铁矿、毒砂石英脉
Au	0.5	0.13	0.08	0.03	2. 43	2.18	4.46
La	30.4	50.8	17.6	15.9	8.71	11.2	5.21
Ce	45.6	85.8	29.7	19.7	15.7	21.8	9.62
Pr	7.17	12.1	4.05	3.68	2.31	3.06	1.53
Nd	23.1	41.3	16.4	13.7	8.88	11.7	6.23
Sm	4.53	7.63	3.95	3.10	2.64	2.75	1.42
Eu	1.00	1.27	0.90	0.63	0.74	0.81	0.44
Gd	4.49	5.68	4.03	3.27	3.41	2.84	1.77
Tb	0.68	0.95	0.73	0.59	0.56	0.52	0.30
Dy	3.71	5.83	4.95	3.98	3.42	3.54	1.93
Ho	0.79	1.22	1.06	0.85	0.75	0.77	0.38
Er	2.15	3.34	2.71	2.41	2.14	2.19	0.91
Tm	0.32	0.48	0.42	0.37	0.32	0.33	0.13
Yb	2.01	0.80	2.75	2.42	2.03	2.04	0.77
Lu	0.34	0.47	0.43	0.39	0.33	0.35	0.12
Y	18.3	29.8	26.0	1.99	21.6	18.9	8.26
LREE	111.8	198.9	72.6	56.71	37.89	51.32	24.5
HREE	32.79	50.57	43.08	34.18	34.56	31.48	14.57
∑REE	144.59	249.47	111.68	90.89	72.45	82.8	39.07
L/H	3.39	3.93	1.69	1.66	1.10	1.76	1.68
La/Yb	15.12	18.14	6.40	6.57	4.29	5.49	6.77
Sm/Nd	0.20	0.18	0.24	0.23	0.30	0.23	0.23
△Ce	0.72	0.81	0.82	0.60	0.83	0.88	0.81
△Eu	0.67	0.57	0.68	0.60	0.77	0.88	0.85

据国家辉，2001b

2、阴离子中 Cl^-（F^-）占有重要位置，金易于与卤族矿化剂元素形成易溶的络合物，表明卤族元素对金在成矿流体中的运移有重要贡献。

3、根据如下标准（邵洁涟，1988）对成矿热液性质进行判断：①热卤水：为高纯度氯化物热卤水，其 SO_4^{2-}/Cl^-和 HCO^{3-}/Cl^-比值均小于 0.01，系富含有机质的 Cl-Na-Ca 型卤水；②火山热液：国内外浅成火山热液型金矿床的特点：CO_2/H_2O 克分子比值多为 0.02～0.03，$CO_2/(CH_4+H_2)$ 比值可达 200～300。结果表明：滇东南地区成矿热液不具卤水性质，也不具火山热液特征。

4、具体到某一个矿床，包裹体地球化学特征显示成矿热液仍然有较大差异，如金坝金矿，阴离子以 Cl^-、SO_4^{2-}为主，阴离子摩尔浓度总和加权平均值（0.3443×10^{-3}mol/L）大于阳离子总和（0.2978×10^{-3}mol/L），反映流体性质处于近地表酸性较氧化环境，流体中 Ca 含量少，可能是因为在早期渗透扩散交代作用过程中钙已析出形成碳酸盐化，后期充填形成石英脉时钙已基本消耗殆尽。而革档金矿成矿流体特征是：①阴阳离子显著失衡，阴离子摩尔浓度总和（0.0727×10^{-3}mol/L）远小于阳离子摩尔浓度总和（0.3964×10^{-3}mol/L），成矿流体明显呈碱性；②阴离子以 Cl^-、F^-为主，SO_4^{2-}远小于 Cl^-浓度。

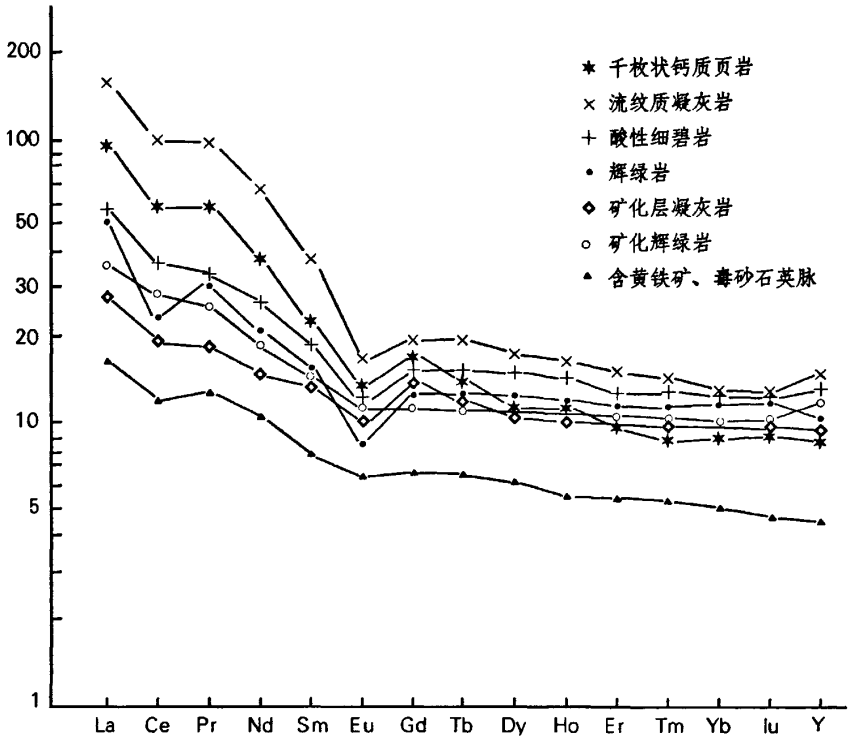


图 4-7 滇东南地区金坝金矿不同类型岩（矿）石稀土元素配分模式图

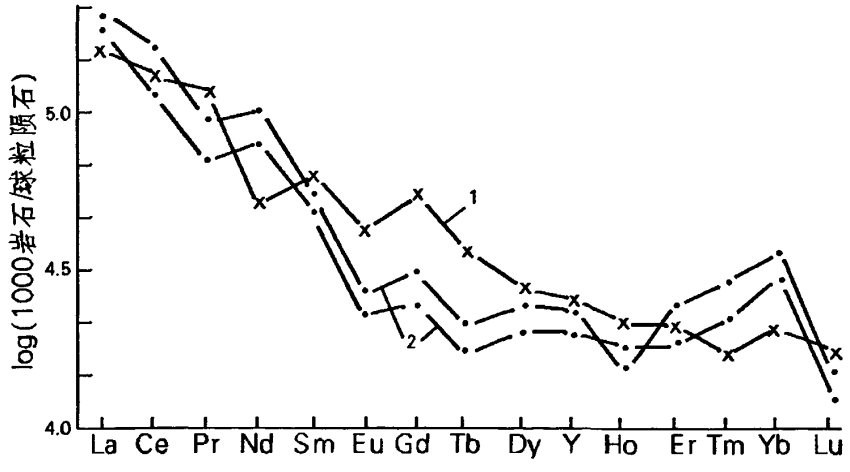


图 4-8 滇东南地区革档金矿矿石与外围基性岩稀土元素配分模式图（据肖龙等，1996）

1－基性岩；2－矿石

4.4.5 同位素地球化学特征：

1、氢氧同位素地球化学特征

氢氧同位素地球化学特征，是探讨成矿流体中水的来源的有效手段。滇东南地区卡林型金矿氢氧同位素特征见表 4-6 和图 4-9，由表和图可以看出：

主要数据不在岩浆岩区和变质岩区，数据较分散，可能表明成矿流体中水的来源较复杂，早期可能来自岩浆期后热液，后期可能有其他流体水介入。

表 4-5 滇东南地区主要卡林型金矿床矿物包裹体特征表

组分及特征参数		金坝				革档	中国
		①		②	③		
液相成分摩尔浓度(10^{-3}mol/L)	Na^+	0.224	0.117	0.226	0.186	0.183	0.241
	K^+	0.111	0.102	0.114	0.095	0.095	0.088
	Ca^{2+}	—	—	—	—	0.062	1.038
	Mg^{2+}	0.003	0.001	0.007	0.005	0.057	0.269
	F^-	0.036	0.038	0.037	0.034	0.013	0.097
	Cl^-	0.199	0.075	0.172	0.182	0.054	0.187
	$SO4^{2+}$	0.163	0.138	0.200	0.104	0.005	0.314
	∑液	0.736	0.472	0.755	0.596	0.469	2.145
特征参数	Na^+/K^+	2.01	1.145	1.976	1.964	1.093	2.755
	Ca^{2+}/Mg^{2+}	—	—	—	—	1.084	3.864
	$Na^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$	77.10	97.5	34.27	38.0	1.532	0.185
	F^-/Cl^-	0.18	0.507	0.214	1.991	0.244	0.516
	$SO4^{2+}/Cl^-$	0.82	1.852	1.162	0.605	0.098	1.674
	$Cl^-/(F^-+Cl^-+SO_4^{2+})$	0.90	0.549	0.829	0.864	0.746	0.314
	CO_2/H_2O	0.056	0.067	0.111	0.014	0.005	0.034
	$(H_2+CH_4+CO)/CO_2$	0.004	0.058	0.001	0.006	0.767	0.085
资料来源		国家辉，2001b				杨科佑，1992	刘东升 1994

注：1、表中①、②、③为样品类型，①：含黄铁矿毒砂石英脉，②：含黄铁矿、黄铜矿、白云石石英脉，③：纯石英脉；2、中国卡林型金矿为川陕甘地区 13 个矿床加权平均，测定矿物主要为石英、方解石，次为黄铁矿、铁白云石，包裹体成分在不同矿物中含量差异显著。

表 4-6 滇东南地区主要金矿床氢氧同位素特征

矿床	样品类型	δD_{SMOW}/‰	$\delta^{18}D_{qSMOW}$/‰	$\delta^{18}OH_2O$/‰	图 4-8 中序号
金坝	黄铁矿毒砂石英脉	-74	10.4	1.44	1
		-71	22.6	13.35	2
		-77	22.0	14.02	3
	多金属白云石石英脉	-77	22.6	14.41	4
	纯石英脉	-91	16.6	9.66	5
革档	石英脉	-62.1	22.5	13.5	A
		-67.8	21.3	12.3	B
		-68.2	23.6	14.6	C
		-71.8	21.6	12.6	D
		-83.4	22.6	13.6	E

金坝据国家辉，2001b；革档据天津地质研究院，1991。

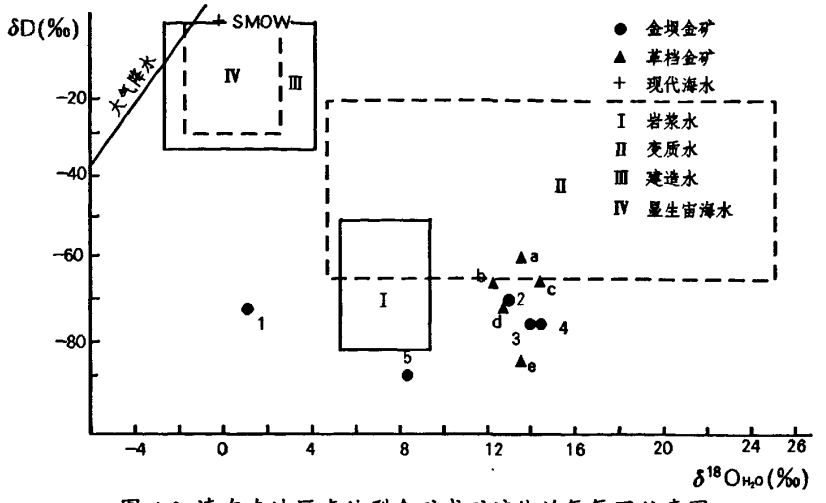


图 4-9 滇东南地区卡林型金矿成矿流体的氢氧同位素图

2、硫同位素地球化学特征

硫同位素地球化学特征，有助于探讨矿床中硫的物质来源。自然界中不同地质体硫化物中硫同位素组成如图 4-10 所示，由图可见沉积岩硫同位素组成变化区间最大，变质岩次之。

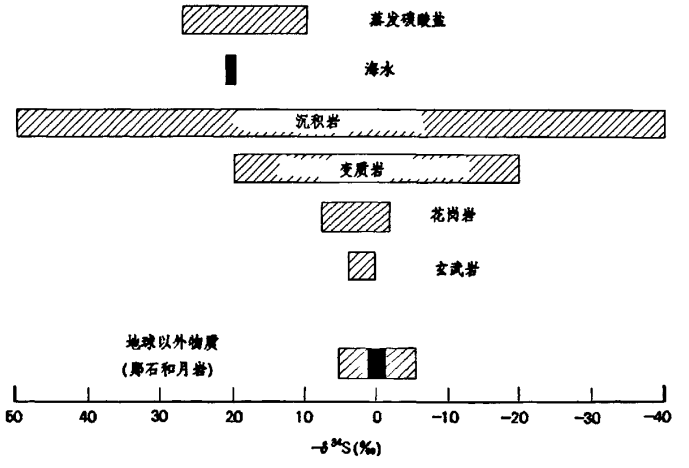


图4-10 自然界一些主要地质体硫化物中硫同位素的分布（据申浩澈，1986）

滇东南地区卡林型金矿硫同位素组成在滇黔地区硫同位素组成范围之内(表4-7)。金坝金矿硫同位素组成比较集中，矿石与赋矿地层差异不大，而与区域地层黄铁矿中的硫同位素组成差异巨大，表明硫的来源具就地就近的特点，即可能主要来源于赋矿地层，革档金矿较金坝金矿硫同位素组成变化区间稍大，与成岩期黄铁矿差异明显，表明具幔源硫与地层硫混合的以地层硫为主的特点。

表4-7　滇东南地区主要卡林型金矿不同类型硫化物$\delta^{34}S$特征表

样品类型		样品产状及特征	样品数	$\delta^{34}S$/‰	平均值
金坝	区域地层	下泥盆统粉砂质页岩中团块状黄铁矿	1	-40.1	-40.1
	赋矿地层	上二叠统千枚状钙质页岩中浸染状黄铁矿 上二叠统泥质粉砂岩中浸染状黄铁矿	2	10.3 10.8	10.55
	矿石或矿化岩石	矿化凝灰岩中浸染状黄铁矿 矿化辉绿岩中浸染状黄铁矿 矿化辉绿岩中稠密浸染状黄铁矿	3	15.1 10.5 15.8	13.8
	矿体部位含矿脉体	地层岩石类矿体部位石英脉中黄铁矿 辉绿岩类矿体部位石英脉中黄铁矿	2	13.1 9.0	11.05
革档	成岩期	黄铁矿	4	11.7~16.5	13.4
	成矿期	黄铁矿	9	-1.4~16.8	9.1
	成矿晚期	辉锑矿	2	11.7~15.8	13.8
滇黔地区				-8.3~21.97	

金坝据国家辉，2001b；革档据天津地质研究院，1991；滇黔地区据高振敏等，2002。

4.4.6黄铁矿单矿物地球化学特征

滇东南地区卡林型金矿普遍发育黄铁矿化，黄铁矿粒度大小和晶形相差甚大，但通过黄铁矿单矿物地球化学分析（表4-8），结果表明：

1、不同金矿床黄铁矿含金相差甚大，同一金矿床同一黄铁矿样品不同部位电子探针分析结果也明显不同。

2、S/Fe与黄铁矿的标准值1.148相比较有高有低。革档环带状黄铁矿明显表现为核部S过饱和，边部S亏损，核部无As、Au、Ni、Zn、Sb，明显反映出原生黄铁矿（核部）成分较"单纯"，且处于相对还原环境，而热液期黄铁矿（中边部）由于成矿热液对原生黄铁矿的交代，带进了大量的As和Au、Ni、Zn、Sb等微量元素，并且原生黄铁矿中的S被As置换，形成含砷黄铁矿，这也同时表明，金矿成矿的物质来源主要的不是来自地层，地层中的原生黄铁矿对金矿的成矿作用起到了"捕集器"的作用。

3、底圩金矿S/Se远小于20万，可以判断为非沉积成因（靳是琴，1984），Ga、Se含量也在热液矿床标型值范围内（Ga 0.65×10^{-6}～1.6×10^{-6}，Se 2×10^{-6}～50×10^{-6}），可以判定为热液成因。邵洁涟（1988）指出中温热液型金矿床中黄铁矿的微量元素含量参考值（$\times10^{-6}$）为：Se 50，Ga 0.65，Co 35.9，Ni 34.1，As 7670，Ag 0.6，Cu 99.1，Pb 70，Zn 134，Sb 114，Au336，表4-8中底圩金矿微量元素含量除Zn、Au明显偏低外，其余元素与此参考值有很强的可比性（无Ag分析结果），据此可以判断成矿温度较高，Au相差数十倍至数百倍，可能表明黄铁矿是本矿床矿石的载金矿物之一，金还可能以超微粒或与热卤素和有机质流体等矿化剂形成络合物等形式运移（贾大成等，2001）。

4、底圩金矿Co/Ni小于1，革档金矿Ni在环边部明显增大，显示矿质来源

的深源性。

5、S+Fe 值较小，Co、Ni、Se 含量低，Pb、Zn、Sn、As、Sb、Bi 含量高，反映黄铁矿形成过程中有较多的类质同象混入物，显示年轻金矿床的特点。

6、Co、Ni、As 三角图解属地下热（卤）水渗滤成因（图 4-11）。

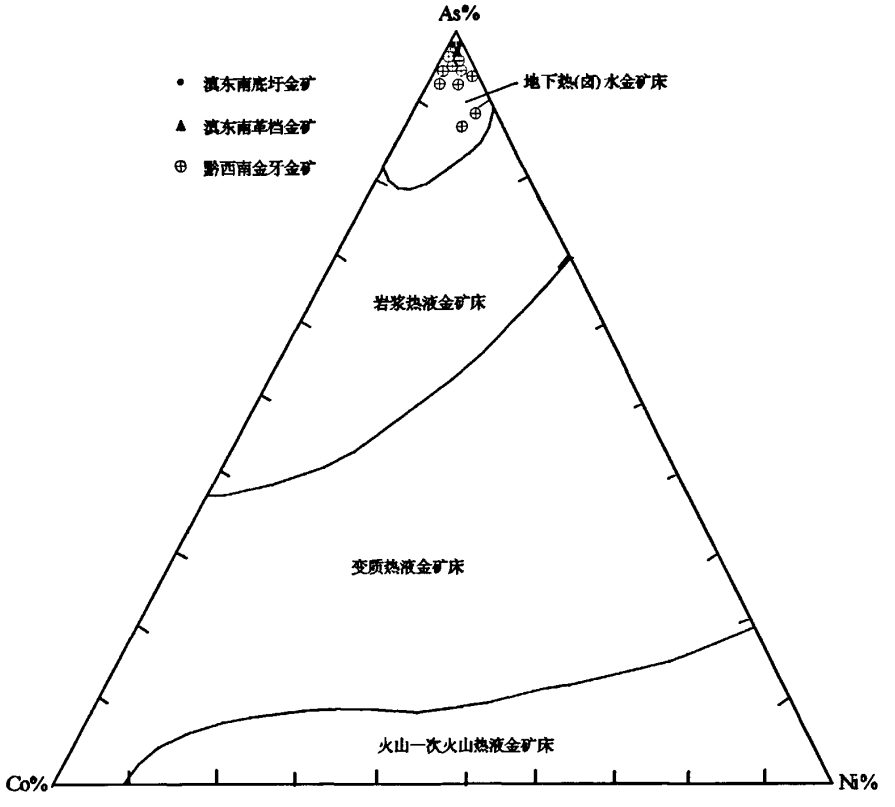


图 4-11 不同成因类型金矿床中黄铁矿的 Co-Ni-As 图解

（据李振海等，1994；Zhiping Li 等，2002）

表 4-8 滇东南地区主要卡林型金矿黄铁矿元素分析结果及特征比值表

	元　素	S	Fe	As	Au	Sb	Cu	Pb	Zn	Cr	Co	Ni
	底　圩	53.27	45.89	1.20	1.44	85.9	68.0	158	11	13	43	62.9
		50.29	44.58	1.03	12.6	104	93.0	177	23	14	78	101
	核部	52.75	45.47	0	0	0	400		0		0	300
	边部	52.20	45.33	0.51	900	0	0		200		100	200
	核部	53.83	45.59	0	0	100	O		400		0	100
	环中部	52.99	44.06	1.81	100	0	400		300		0	100
革	换边部	50.48	46.02	3.75	600	200	100		0		600	300
	核部	52.96	46.82	0	0	0	400		0		0	200
	环中间	52.80	44.50	1.33	100	0	300		0		100	300
档	换边部	51.14	45.92	2.56	700	0	400		100		0	200
	核部平均	53.18	45.96	0	0	30	370		0		0	200
	环中间平均	52.90	44.28	1.57	100	0	350		150		50	200
	环边部平均	51.27	45.76	2.27	700	70	170		100		230	230

续表 4-8

	元素	Mn	Cd	Ga	Sn	Bi	Se	S+Fe	S/Fe	S/Se	Co/Ni	Pb/Ni
	底圩	29	1.0	1.2	24	64	12	99.16	1.16	44392	0.68	2.51
		18	1.0	1.6	5.0	30	20	94.87	1.13	25145	0.77	1.75
革档	核部							98.22	1.16		∞	
	边部							97.53	1.15		2.00	
	核部							99.42	1.18		∞	
	环中部							97.05	1.20		∞	
	环边部							96.50	1.10		0.50	
	核部							99.78	1.13		∞	
	环中间							97.30	1.19		3.00	
	环边部							97.06	1.11		∞	
	核部平均							99.14	1.16		∞	
	环中间平均							97.18	1.19		4.00	
	环边部平均							97.03	1.12		1.00	

1、S、Fe、As 的单位为 $w_B/10^{-2}$，其余元素为 $w_B/10^{-6}$；2、底圩为 2 个样品光谱分析结果，革档为一个样品（环带状黄铁矿）多次不同部位电子探针分析结果；3、革档据天津矿产地质研究院，1992。

第五章　滇东南卡林型金矿成矿作用与成矿机制

滇东南和黔桂毗邻地区有着相同或相似的地质背景和沉积演化历史，金矿从本区最北的曲靖富源胜境关到文山马关桥头南延至越北著名的超大型巴朗金矿，西自个旧卡房，东至富宁金坝皆有规模不等的金矿出露。为便于对比，可以将本区金矿通称为卡林型金矿，由于具体矿床（点）所处地质条件不同，所受成矿作用强度不一，金矿类型及其地质特征也就有所差异，甚至差异很大。

5.1 滇东南卡林型金矿成矿作用

5.1.1 壳幔不均一性和成矿元素在不同空间的分异演化

1、地壳不均一性

在第二章区域地球化学特征的讨论中，由于取样范围大（约 20 万 km^2），取样介质为水系沉积物，所计算的参数大大掩盖了地壳物质的不均一性。在滇东南地区，越北古陆的抬升和南盘江盆地的沉降以及个旧-薄竹山-都龙燕山期 S 型花岗岩的演化特别是本区海西－印支期峨眉地幔柱基性岩的侵入喷发对本区地壳物质的不均一性起着重要的控制作用，进而对金矿的形成和分布都有重要影响。

2、地幔不均一性

本文第四章第一节指出峨眉山玄武岩的含金性具有明显的地区性变化，即由西部大理－宾川→中部攀枝花－西昌一带→东部滇黔桂地区，金在玄武岩中明显增高，与玄武岩相比，基性—超基性岩金的含量变化较大，地区差异更明显。王登红等（1999）指出金可能主要来自于地幔柱头部，因剥蚀相当弱（与胶东相比较），深部可能存在更大规模的金矿。

关于地幔物质的不均一性，戴塔根教授将其归结为两类观点[①]：（1）地球地幔原始均一后来演化为不均一：即地球原始是均一的，后自身分异，尤其是层圈相互作用和再循环导致不均一。这是迄今地球化学的统治思想。表现为对全球地幔采用统一的原始地幔标准。如对于南半球地幔显示出的同位素组成特殊性，认为是异常。对其形成，尽管存在着密集的俯冲碰撞使大量地壳物质带入地幔成因说（Allegre & Turcotte，1985）及幔核边界层物质上涌形成说（Hart，1988；Castillo，1988）之争，但均是从统一原始地幔考虑问题的。（2）地球地幔原始不均一后来再发生演化，根据天体化学揭示的原始地球物质在空间上的不均一性，而且全球地幔化学不均一性的某些规律又非能由层圈再循环所能解释，因而提出了地球原始非均一论，向均一论发起挑战（欧阳自远等，1994，1995）。不论如何，二者

[①] 戴塔根，地球化学专题，中南大学，2004.

都有一个共同点，即地幔是不均一的。所以，面积近 50 万 km^2 的峨眉山大火成岩省（Chung S L 等，1995；Song X Y 等，2001；Xu Y G 等，2001）在喷发（主喷发期以 2Ma 计，黄智龙等，2004）之前即可能存在较好的物质分异，这种幔源物质的不均一性及良好的物质分异（金位于地幔柱头部）是我国西南地区铅锌与金等矿产既大面积集中分布又表现为空间上分带产出的基础因素，在特定的地质条件下，甚至出现铅锌与金"你中有我，我中有你"相伴产出的现象。如滇东北与滇东南过渡部位的富源胜境关金矿就处在滇东北地区铅锌矿的"包围"之中，在滇东南富宁花甲有铅锌与金矿相伴产出的例子，这些矿点都直接产于基性岩接触带附近。

3、壳幔相互作用

地球自形成以来，地球壳幔就是一对矛盾的统一体，可以说，地球壳幔的相互作用过程就是物质的分异过程，而各种成矿作用是在物质分异基础上的进一步自然"选矿"。化学地球动力学提出以来，在国际范围内通过大洋玄武岩和大陆玄武岩源区同位素和微量元素示踪，开展了有关全球地幔化学组成、化学演化与化学不均一性的系统研究。在此基础上，提出了壳一幔相互作用与再循环的三种形式[①]：①板块会聚带洋壳俯冲,近代的已有较深入和成功的研究，古代的正处于探索阶段；②陆壳底部幔源岩浆底侵（underplating）和大陆地壳与岩石圈拆沉（delamination），已有少量论证较好的实例，还有待于推广探索；③大陆壳俯冲、超高压变质带的形成与折返，这是近年在碰撞造山带发现超高压变质榴辉岩后，揭示出的第三种壳幔再循环方式，并构成当前研究的热点。本区处于欧亚、印度和太平洋三大板块的复合部位，基性岩浆活动频繁而强烈，壳幔之间相互作用对该区多金属矿种的形成具重要影响。

5.1.2 滇东南卡林型金矿的预成矿作用

1、预成矿作用概念的提出

滇东南地区相当一部分金矿都产出于多个不整合面附近，其中最为著名的加里东不整合面附近产出金矿最多，且颇具规模。笔者在此提出预成矿作用的概念，并认为其在滇东南地区金矿的形成过程中具重要作用。

所谓预成矿作用，简言之，就是成矿作用之前，壳层物质经过碰撞、挤压、褶断、加厚、隆起、风化剥蚀等剧烈活动后，再经长期的物理、化学分选进而使成矿元素得到初始聚集的过程。

2、预成矿作用的可能性

马振东等（1999）在研究沉积叠加改造型矿床的物源及富集机制过程中，提出海底形成的大量黑色硅泥质沉积与丰富的陆源物质和海相火山物质的加入，形

[①] 戴塔根，地球化学专题，中南大学，2004。

成多金属元素的衍生矿源层，为其后的成矿作用提供了丰富的成矿物质基础。试验表明：在这些岩系中不少成矿元素呈易活化的赋存状态(硫化物、炭泥质吸附、铁锰质胶体吸附、单质等)，这使得预成矿作用的发生变得可能。

根据迟清华（2003）利用中国东部不同构造单元 14 种主要成矿元素现代水系沉积物中的含量与出露地壳丰度的对比研究后发现（表 5-1）：

不同构造单元中水系沉积物与出露地壳相比，水系沉积物中大部分成矿元素的含量有不同程度的富集,并与出露地壳元素丰度有较好的相关性。其中高温成矿元素 W、Sn、Mo、U、Cr、Ni、Co 从原岩向水系沉积物的转变过程中含量变化较为稳定（二者比值一般<2，大部分比值<1.5），这说明水系沉积物中元素的分布主要受原岩元素含量的影响,其次受地球化学以及地理气候条件的控制；而一些低温热液成矿元素则受地球化学及地理气候条件的影响较大，如 Sb、Hg 在华南褶皱系中富集系数可分别高达 3.44 和 13.64，金富集系数偏低，可能与金的含量甚微有关，根据常识，金即使在常温下也可异地聚集形成砂金矿床。

这一研究结论为在表生条件下物质发生物理化学分异，偏低温元素 Hg、Sb、As、Au 发生迁移并预富集形成不整合面型金矿以及滇东南地区高温 W、Sn、Mo 矿床→中温 Cu、Pb、Zn、Ag、As 矿床→低温 Sb、As、Au、Hg、Ba 以及沉积型铁锰矿床在空间上总体由隆起区向外分带性出现提供了理论依据。

表 5-1 中国东部不同构造单元出露地壳和水系沉积物中 14 种成矿元素丰度

元 素	扬子地台			华南褶皱系			中国东部		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Au	0.93	1.82	1.96	0.93	1.44	1.55	0.81	1.43	1.77
Ag	0.063	0.087	1.38	0.059	0.088	1.49	0.060	0.085	1.42
Cu	19	25	1.32	12	23	1.92	15	22.5	1.50
Pb	18	26.5	1.47	26	36	1.38	18	26	1.44
Zn	62	73.5	1.19	66	78	1.18	63	73	1.16
Sb	0.51	1.01	1.98	0.34	1.17	3.44	0.33	0.79	2.39
Hg	20	71	3.55	6.6	90	13.64	13	52	4.00
W	1.34	2.44	1.82	1.55	2.74	1.77	0.91	2.02	2.22
Sn	2.3	4.0	1.74	2.7	4.1	1.52	1.9	3.3	1.74
Mo	0.71	0.85	1.20	0.90	1.36	1.51	0.62	0.97	1.56
U	2.5	2.65	1.06	3.6	3.8	1.06	2.2	2.6	1.18
Cr	47	65	1.38	33	55	1.67	42	62	1.48
Ni	22	27	1.23	17	24	1.41	22	25.5	1.16
Co	8.7	14	1.61	6.8	12.4	1.82	9.1	12.9	1.42

据迟清华，2003，有删节。Au、Hg 为 $w_B/10^{-9}$，其余为 $w_B/10^{-6}$；1－出露地壳；2－水系沉积物；3－富集系数 F（为水系沉积物与出露地壳的含量比值）；出露地壳的元素丰度值引自鄢明才等（1997）；水系沉积物的平均含量引自刘大文等（2002）。

表中数据是在当今地理气候条件下极短时间内取样分析得出的结果，第二章第二节滇东南地区下元古界大离子亲石元素 Sr、Ca、Ba（K）的超常富集（富集

系数分别为 6.15、5.35、2.38、1.48）和偏低温元素 As、Sb（Bi、Hg、Au）的超常亏损（富集系数分别为 0.09、0.11、0.42、0.48、0.59）强烈表明：滇东南地区古老基地（下元古界）在接受后期沉积之前由于深变质作用影响经过了一个较彻底的物质分异演化过程而为后期的岩浆成矿和低温成矿准备了衍生矿源层。

而在加里东时期，志留纪长达数千万年的沉积间断（440Ma～405Ma），对物质所产生的风化剥蚀及对低温金（砷、锑）等成矿元素的物理化学分选所形成的预成矿作用的重要性也就不言而喻。由表 5-2 可以看出在滇黔桂地区，主要的含矿层位中，晚古生代下泥盆统由于所经历的风化剥蚀时间最长，金、砷含量也远高于时代较晚的含矿层位。

表5-2 滇黔桂地区主要含矿层位元素含量对比表

含矿地层	岩石组合	含　量	富集系数
三叠系中统	长石石英砂岩、杂砂岩及泥灰岩	Au:13.4	3.94
		As:91.7	41.67
		Sb:14.4	28.24
		Hg:0.9	10.0
三叠系下统	泥灰岩、泥质白云岩、粉砂岩、粘土质细砂岩	Au:4.0	1.14
		As:17.0	7.73
		Sb:7.5	14.11
		Hg:6.6	77.22
二叠系上统	火山碎屑岩、陆源碎屑岩、泥灰岩、泥质白云岩	Au:9.0	2.65
		As:88.9	40.41
		Sb:17.3	33.93
		Hg:0.47	5.22
泥盆系下统	硅质岩、白云岩、灰岩、粉砂质泥岩	Au:61.8	18.18
		As:270.6	123
		Sb:2.7	5.3

据贾大成等，2001，有删改，Au 为 $w_B/10^{-9}$ 其余为 $w_B/10^{-6}$，富集系数=元素丰度/地壳丰度，地壳丰度据黎彤（1990）。

3、预成矿作用对金矿成矿作用的影响

不整合面附近的预成矿作用，对后期的成矿作用有如下重要影响：

（1）对隆起的古陆按元素迁移的难易形成初始的物质分异。如南岭区域隆起带由隆起区向外出现钨、锡－铅、锌－锑、汞的矿化分带（翟裕生等，1999），滇东南地区由于越北古陆的隆起和元素的继承性演化，在空间上总体由隆起区向外也出现钨、锡－铅、锌－金、锑、汞的矿化分带，物质的初始分异和继承性演化是造成这种空间分带的基础。

（2）在不整合面附近形成的底砾岩层、古溶沟、溶槽、溶洞等，利于溶液在即使没有热动力驱动的情况下也可以在表面张力的作用下在“毛细管”（砾岩层）内长期定向持续地进行成矿元素的预富集。

（3）不整合面附近是成油的有利储集空间，梅冥相等（2005）认为，滇黔桂地区的加里东不整合面上覆泥盆系和下伏寒武系、奥陶系及三叠系浊积岩富含烃源岩均具有重要的油气勘探意义，油气（有机质）与金的密切关系，在第四章

第二节中已做了专门探讨。

预成矿作用，对于内生矿产来说还不能说是真正意义上的成矿作用，它使成矿元素实现初步的以类相聚，但这些元素还都处于“混沌”状态。

5.1.3 滇东南卡林型金矿成矿作用

矿床地质地球化学特征受制于相应的成矿作用，而成矿作用是预成矿作用之后元素（多次）集聚并成矿的过程。论及成矿作用，要考虑矿床形成过程中的物源、水源、热源和控矿构造、导矿构造、容矿构造及成矿的物理化学环境等因素。

通过对滇东南地区区域成矿地质背景和滇东南地区卡林型金矿地质、地球化学特征的探讨，可以将滇东南地区卡林型金矿成矿作用归纳如下：

1、从区域地球化学资料出发提出滇东南及邻区卡林型金矿的物源主要与裂谷、特提斯、区域性深大断裂附近峨眉地幔柱长期活动相伴的基性火成岩及火山碎屑浊流沉积有关，矿床微量元素和稀土元素地球化学特征表明，矿区附近岩矿石与外围基性岩之微量元素和稀土元素变化具同步性，黄铁矿单矿物地球化学特征表明成矿流体带入 Ni 等深源特征元素，所有这些地球化学资料都从不同的角度说明金来源于深部。

2、氢氧同位素特征表明，成矿流体中水的来源多样，可能为岩浆水、建造水和天水的多源混合，硫同位素特征表明硫主要为赋矿层位中的硫与深源硫的混合。

3、区域构造运动及与之相伴的酸性和基性岩浆活动是滇东南及邻区金矿成矿作用最为主要的热源。

4、成矿流体普遍富钠和具较高的卤族元素含量，利于金的溶浸和络合迁移。

5、金与砷、锑、汞、硅、有机质等关系密切，常形成与后者相对应的矿化蚀变和相应的地球化学多元素组合异常。

6、成矿流体特征参数列于表 5-3，由表可知，成矿温度、压力等参数与中国卡林型金矿基本一致，成矿温度似有所偏高，仍属中低温范畴，某些矿床如革档成矿压力较大，这可能与滇东南地区处于文山－富宁弧形逆冲推覆构造带应力中心有关。如表 5-4 所示，水的中性 PH 值随温度变化有所不同，据此可以看出某些金矿床如金坝金矿成矿流体酸碱度在中性值附近变动，酸碱基本平衡。

7、黄铁矿特征地球化学参数表明成矿流体既非卤水，也非火山热液，属中低温，Co、Ni、As 三角图解属地下热（卤）水渗滤成因。革档金矿通过环带状黄铁矿电子探针分析表明金矿成矿的物质来源主要不是来自地层，地层中的原生黄铁矿对金矿的成矿作用起到了“捕集器”的作用，这与该矿床微量元素、稀土元素所揭示的结论一致。

8、板块间相互作用是滇东南及邻区花岗岩成岩成矿，卡林型金矿等中低温

表 5-3 滇东南地区主要卡林型金矿成矿流体特征参数

矿床	金坝			革档			中国
样品类型	含黄铁矿毒砂石英脉	含多金属白云石石英脉	纯石英脉	石英黄铁矿	石英毒砂伊利石	石英方解石辉锑矿	
成矿温度/℃	246.8~275.8	270.6	276.6	169-290（247）	155-270（221）	150-280（215）	165~290
成矿压力/MPa	15.83~17.66	17.06	17.17	95			5.2~56
成矿深度/km	0.66~0.79	0.72	0.71				0.3~1.5
流体含盐度(w/%)	1.13~1.18	1.04	0.85				3~9
流体密度(g/cm³)	0.824~0.838	0.808	0.799				0.71~0.966
流体矿化度/(g/L)	23.0~42.99	24.98	15.97				
酸碱度 pH	5.3~0~5.80	5.71	6.21				3.2~7.89
氧化还原电位 Eh	-1.0~-0.65	-0.60	-0.8				-0.62~-0.10
氧逸度	-45~-38	-38	-45				-67.81~-31
硫逸度							-20.54~-6
二氧化碳逸度	3.5~4.8	3.5	3.5				
资料来源	国家辉，2001b			杨科佑，1992			刘东升，1994

表 5-4 不同温度水的中性 pH 值

T/C	150	200	250	300	350
pH	5.82	5.65	5.60	5.65	5.84

据国家辉，2001b

矿产的成矿以及文山－富宁弧形逆冲推覆构造的最后定型的真正动因。滇东南邻区相当一部分金矿测年结果表明金矿成矿时代大致相同，这与滇东南地区花岗岩的成岩成矿时间和文山－富宁弧形逆冲推覆构造的主要活动时间基本一致，表明三者的最后定格源于统一的（热）动力。

虽然滇东南地区可供对比研究其成矿作用的卡林型矿床实例偏少，不同矿床（点）之间个性有所差异，但从其区域成矿地质背景和地质、地球化学特征出发，仍然可以看出与中国其他地区特别是毗邻黔桂地区卡林型金矿有较强可比性，所以可将滇东南地区卡林型金矿成矿作用界定为中低温热液成矿作用。

5.1.4 滇东南地区花岗质岩浆高温热液叠加成矿作用与矽卡岩型金矿

滇东南地区与毗邻黔桂地区地质构造背景既有相同或相似性，但也有着巨大的差异，具体表现在：①受越北古陆升降的影响，滇东南地区地层总体南老北新，其间出现多个不整合面和多个槽褶带；②整个滇黔桂菱环块体是以文山－富宁为中心的向北凸出的区域性逆冲推覆构造，总体由滇东南往北，由内到外应力逐渐减弱；③燕山期峨眉地幔热柱和红河边界断裂以西之印度板块的左行滑移，使滇东南地区西南部普遍花岗岩化，形成面积大于 100km² 的个旧、薄竹山、都龙花

岗岩体和广南珠街、邱北树皮以及砚山小花园等隐伏花岗岩。

个旧、薄竹山、都龙三大花岗岩体接触带都产有我国乃至世界著名的钨锡、银铅锌多金属矿床。前已述及，在蒙自白牛厂矿区虽有从高温至中低温的热液成矿作用，也不乏砷、锑、汞的异常，但经过二十余年的普查勘探开发，却因无金矿源未发现金的矿化和异常，在离都龙花岗岩稍远的马关桥头金矿，金产于下寒武统碎屑岩中，并有基性岩脉出露，由于地处区域应力中心和花岗岩热源的影响，矿石也因为较高的温压强烈硅化而变为坚硬的致密块状构造而非浸染状构造。如果一个地区存在金矿的物质来源，靠近花岗岩的地方仍然有金矿产出，可以产出近花岗岩高温热液叠加成矿作用的变种，如矽卡岩型金矿，本文将其称之为变卡林型金矿。下面以个旧地区矽卡岩型金矿为例加以讨论。

个旧锡多金属矿床长期以来一直被认为是花岗岩岩浆期后汽化热液所致，黎应书等（2005）通过 39 件矿石的铅同位素模式年龄测试认为，可分为早期印支期（200～280Ma）玄武岩的成矿作用和晚期燕山期（80～160Ma）的花岗岩叠加改造作用，并认为主要成矿元素锡、铜及其主要组分硫主要来自幔源。从区域演化的角度结合黎应书等的研究成果，本文所讨论的重点成矿元素—金在个旧地区也经历了与锡大致相同的演化过程，共（伴）生金可达中型规模（殷成玉等，1990）。

个旧矽卡岩型金矿，位于个旧锡多金属矿区卡房矿田南部。矿床围岩为三叠系中统个旧组底部碳酸盐岩地层（T_2g^1），层厚 500 余米，上部为石灰岩，中下部为泥质灰岩与印支期之安尼期玄武岩互层,玄武岩含金高达 100×10^{-9}。

个旧地区印支期玄武岩可分为三期（黎应书，2005）：第一期为安尼期玄武岩（中三叠统个旧组下部卡房段），主要见于个旧以东，以熔岩为主，主要是变余斑状玄武岩、透闪石黑云母化玄武岩，黑云母透闪石化玄武岩和阳起石化玄武岩等；第二期为拉丁尼克早期玄武岩（中三叠统法郎组下部），主要见于个旧西，以凝灰岩为主，主要是岩屑浆屑变凝灰岩，浆屑玻屑变凝灰岩及部分杏仁状斑状纤闪石化玄武岩；第三期为拉丁尼克晚期—诺利克期玄武岩（中三叠统法郎组上部），主要见于个旧以西，以熔岩为主，主要为致密块状、杏仁状、枕状变玄武岩及变凝灰岩。三期玄武岩由高钾质→钾质→钠质玄武岩演变，基本上为碱性玄武岩系列，为陆内拉张环境下基性程度高、分异程度低的幔源岩浆分异的产物。

矿田内褶皱断裂发育，褶皱有北东、近东西向两组，断裂有东西向、北西向两组，褶断皆以东西向较发育，东西向断裂两侧泥质灰岩之层间挠曲便是矽卡岩型金矿之储矿构造。

燕山运动晚期（80Ma），区内有花岗岩柱侵入，刺穿 T_2g^1 地层，岩体出露 $0.3km^2$，其余大部分隐伏于地表下 200～1000m 深处（图 5-1），岩体属高侵位的

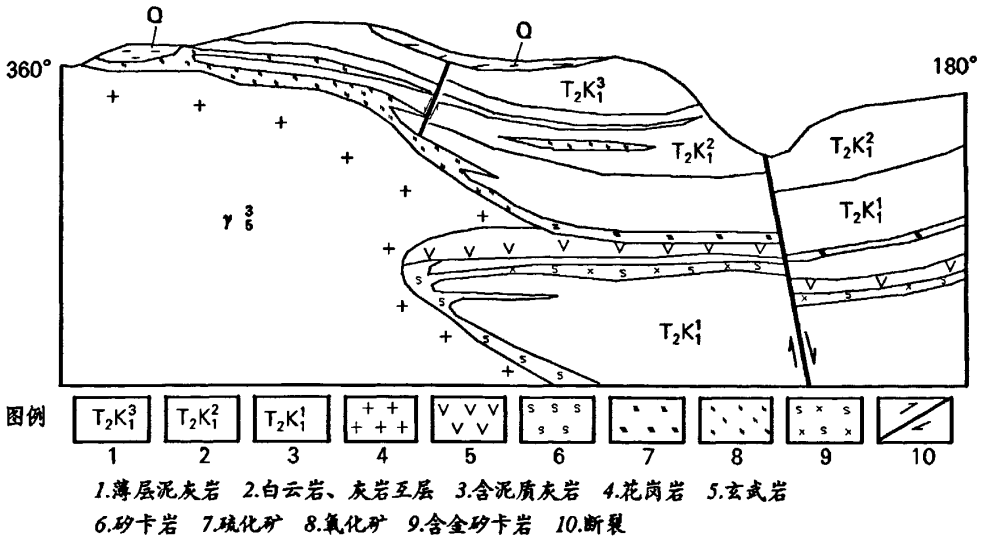


图 5-1 滇东南地区个旧矽卡岩型金矿地质剖面图（据李家和，1990）

异地岩浆花岗岩，富硅、碱（K>Na），铝过饱和，分异良好，花岗岩含金为 0.0255×10^{-9}～0.1231×10^{-9}。由于花岗岩的上侵，围岩普遍发生强烈蚀变，泥质灰岩大理岩化，玄武岩及凝灰岩的蚀变有绿泥石化、透闪石化、阳起石化、金云母化、钠长石化等，变质玄武岩中金云母的年龄值为 72.1±0.2Ma，表明花岗岩株侵入引起围岩矽卡岩化（李家和，1990）。

花岗质岩浆从早到晚大致可分为早期岩浆阶段、主岩浆阶段、伟晶阶段、气成阶段、热液阶段、最终阶段（Clarke，1992，转自刘凤山等，1994），各个阶段对成矿元素的富集作用是不同的，对成矿元素富集起明显作用的成矿作用主要包括热重扩散作用、晶体和熔体间平衡作用、晶体和流体间平衡作用、沸腾作用等，而且这些作用在岩浆演化各个阶段中所起的作用也是不同的，如热重扩散作用主要表现在早期岩浆阶段；矽卡岩形成也是多阶段的，至少超过三个连续阶段：接触变质阶段、变质矽卡岩生长阶段、热液阶段（退变质蚀变和矿化）（Einaudi 等，1981）。热液矿床的形成是成矿热液在有利地段迅速卸载的结果，发生卸载的原因主要有三：①新物质的加入，加入的新物质可分为两大类，一类是重要的成矿组分，另一类是氧化剂或还原剂；②不同类型热液流体(含矿的或非含矿的、以岩浆水为主的或以大气降水为主的等)的混合，Sun 等（1987）、Heinrich 等（1992）、Sushchevskaya 等（1992）、Shibue（1989）、Richard 等（1989）都认为岩浆热液矿床都是由岩浆水和雨水混合而成的；③在开放体系中，温度和压力等的突变，Evstrakhin（1989）认为岩浆矿化系统中压力缓慢变化并不具成矿意义，只有压力突变的情况下才有富矿形成，Fyfe（1989）认为金属成矿规则之一是陡的热梯度可使溶解度急剧变化，并使不同化学成分的流体混合，促使矿质集中沉

淀。

正是由于花岗质岩浆高温成矿作用的叠加，使个旧矽卡岩型金矿富含铜、钼、钨、铋等金属，并易于综合回收利用，具有较高工业价值。矿床的形成大致经历了矽卡岩阶段－白钨矿、含金自然铋矿化阶段－金属硫化物矿化阶段－银金矿、碲铋银矿矿化阶段。矿床中各种矿物组合及元素含量列于表 5-5。

由表可见，矿化弱的矽卡岩含金甚微，随矿石中各种金属矿物含量的增多，金的含量逐渐增高，金矿化与矽卡岩期后热液密切相关。金的矿化始于高温热液阶段，金与铋、钼明显正相关，相关系数分别为 0.7474，0.8423，与钨相关性不明显，相关系数为 0.1333，与铜、银无关，相关系数分别为－0.0114，－0.43，典型的高温热液矿物自然铋普遍含有很高的金含量（见表 5-6），经电子扫描，金在自然铋中分布均匀，表明金主要在高温成矿阶段发生卸载。

表 5-5 滇东南地区个旧矽卡岩型金矿矿物组合及有用组分含量

编号	主要矿物组合	$w(Au)/_{10^{-6}}$	$w(Ag)/_{10^{-6}}$	$w(Bi)/_{10^{-2}}$	$w(WO_3)/_{10^{-2}}$	$w(Mo)/_{10^{-2}}$
1	符山石、镁铝榴石	<0.1		0.014	0.044	<0.01
2	符山石、透辉石	<0.1	0.8	0.037	0.04	<0.1
3	符山石、透辉石、含较多会辉钼矿、自然铋、白钨矿、黄铜矿、磁黄铁矿	0.75	80.9	3.5	1.32	0.53
4	符山石、透辉石、含大量黄铜矿、磁黄铁矿以及自然铋、辉铜矿	1.08	6.6	0.499	0.101	0.04
5	符山石、透辉石、含较多毒砂、黄铜矿	0.32	56.2	0.14	0.547	0.012
6	符山石、透辉石、含较多自然铋，少量银金矿	4.71	14.8	1.50	0.174	0.136
7	符山石、透辉石、石榴石，含较多自然铋、辉钼矿、白钨矿、磁黄铁矿，少量银金矿	11.52	35.2	3.75	0.554	1.08
8	毒砂，少量黄铜矿	1.10	15.8		0.006	

据李家和，1990。

表 5-6 个旧矽卡岩型金矿含金自然铋电子探针分析结果　$w_B/_{10^{-2}}$

样品编号	元素	点数		
		1	2	3
5-4	Au	0.42	0.084	0
	Bi	97.554	96.110	97.972
18-4(6)	Au	0.126	0.084	0
	Bi	97.467	99.231	99.881
18-4(4)	Au	0.168	0	0
	Bi	98.175	97.108	101.149
18-4(5)	Au	0.684	0.253	0.125
	Bi	100.453	99.700	96.865
18-4(2)	Au	0.253	0.042	0
	Bi	99.041	101.019	100.847
18-4(3)	Au	0.247	0.126	0.202
	Bi	99.257	99.97	99.80

据李家和，1990

金的地球化学行为表明，金不仅在中低温成矿阶段可与砷、锑、汞组合在一起形成中低温组合矿床，而且也可与铋、钼（砷）在一起形成高温组合矿床（阮天健等，1985），上面的矿床实例典型地说明了这一点。之所以称为变卡林型金矿，是考虑到个旧地区深边部离花岗岩稍远的地方仍然可能有卡林型金矿存在，只是随着离花岗岩距离越近，卡林型金矿应有的特征随着温压的升高相去甚远。

5.1.5 滇东南卡林型金矿后成矿作用

卡林型金矿后成矿作用指已经形成的卡林型金矿床或矿源岩，在表生红土化作用下形成红土型金矿和残积型砂金矿的过程。此处红土型金矿是一种比较笼统的称谓，李文达等（1995）、陈守金（1999）、翟佑华等(2001)用红土型金矿的称谓,涂光炽教授认为应称之为红色黏土型金矿，意指矿床形成于红土化作用（潘锦，1982）发育的初级阶段，而砂金矿形成于红土化作用尚不发育的阶段，真正的红土型金矿形成于红土化过程的高级阶段，卡林型金矿或矿源岩与砂金矿是母子关系，美国卡林型金矿就是由始采砂金进而发现微细粒金矿的，可以认为在卡林型金矿集中区，砂金矿也是卡林型金矿的变种。

滇东南地区红土型金矿见于西畴曼龙沟金矿、邱北亮山金矿等地，但总体不发育，其原因主要有四：①自中新生代以来，由于太平洋板块和印度板块向欧亚板块的俯冲与碰撞，使该区处于构造活跃状态，强烈的构造活动限制了准平原化的发育，并引起地下水面的剧烈波动，使得风化壳的脱硅作用不强烈，红土化作用较弱（黄镇国等，1996）；②滇东南地区大部分为喀斯特地貌区，岩溶发育，使得地下水的性质有别于红土型金矿床发育的地盾区；③上规模的金矿出露地表范围有限；④矿床红土化作用时间远远短于真正意义上的红土型金矿。

滇东南地区残积型砂金矿，主要分布于马关都龙花岗岩体北西约 200km^2 范围内（图 5-2）（郎光武等，1996）。由图可知，该区砂金主要分布于沿加里东

不整合面附近的泥盆系地层和主要断裂（包括与断裂有关的河床）中，只有少数砂金矿点位于寒武系地层内，清楚地表明该区加里东不整合面的矿源岩或卡林型金矿是产生该区残积型砂金的根本原因。

5.1.6 滇东南地区卡林型金矿成矿作用总结

通过上面的论述可以看出，壳幔不均一性及其相互作用→预成矿作用→成矿作用（中高温、中低温）→后成矿作用是大自然对壳幔物质所进行的一系列“选矿”过程，各种成矿作用之间既相互联系又递进发展，卡林型金矿的形成是多因耦合的结果。

滇东南地区（预）成矿作用相互关系图解见图 5-3。

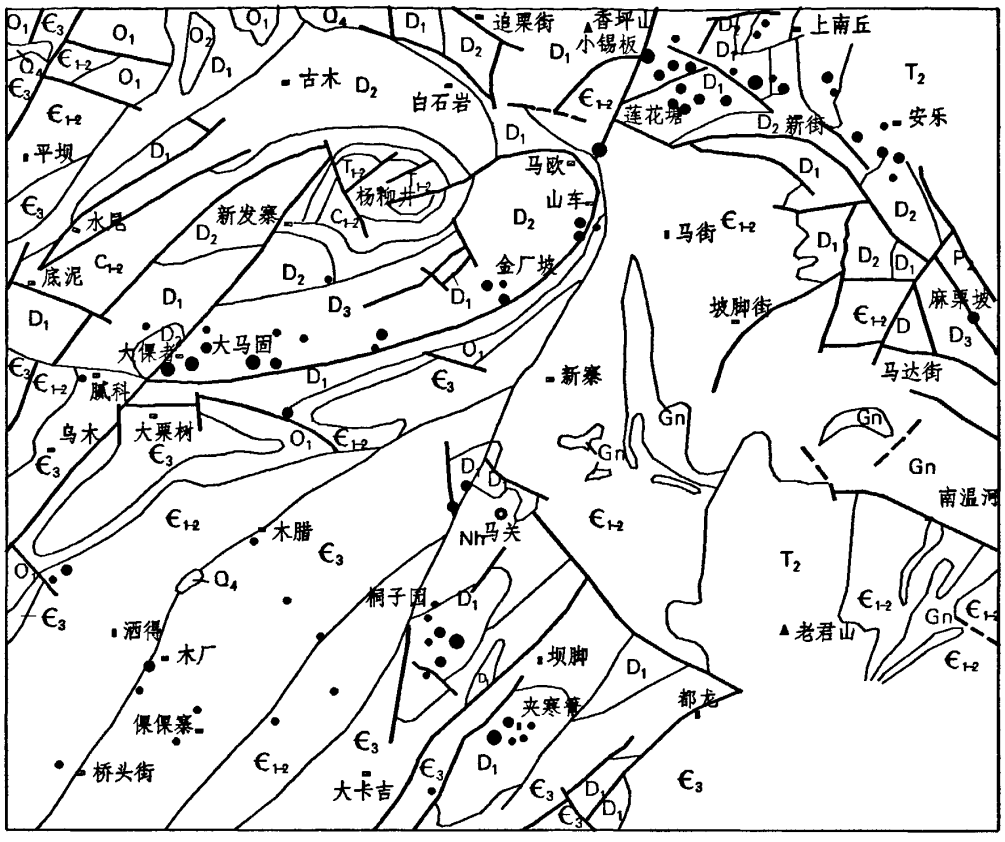


图 5-2 滇东南地区砂金矿点分布图（据郎光武等，1996）

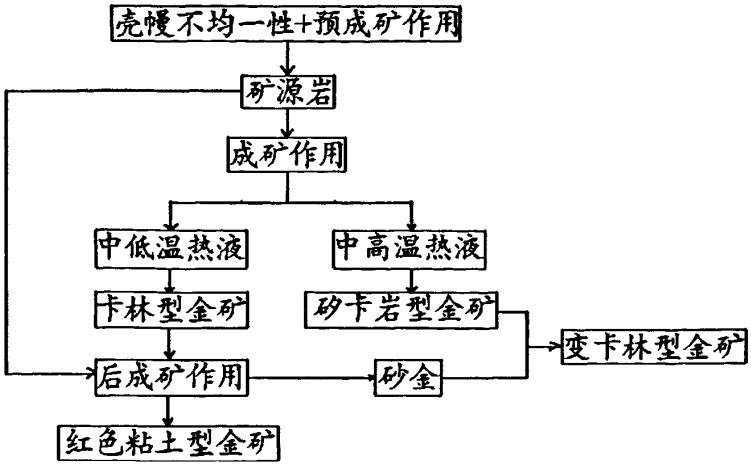


图 5-3 滇东南地区卡林型金矿（预）成矿作用关系示意图

5.2 金的成矿机制探讨

5.2.1 金的地球化学性质

金的原子序数为 79，位于化学元素周期表第六周期第一副族（IB），属铜族元素。其原子核由 79 个质子和 112 个中子组成，属奇-偶型核类，由此决定了金在自然界中的丰度很低。金的原子量为 196.967。金的外电子层结构为 $4f^{14}5d^{10}6s^{1}$，由于电子充满引起的La系收缩及6s电子的钻穿效应,金的外电子($6s^{1}$)具有比同族的 Cu、Ag 更高的电离势。由于金的高电离势、高电负性和高氧化还原电位，所以金难以失去外层电子成正离子，也不易接受电子成阴离子，其化学性质较稳定，与其他元素的亲和力微弱，在自然界多呈元素状态存在。

金具有亲硫性，常与硫化物如黄铁矿、毒砂、方铅矿、辉锑矿等密切共生，易与亲硫的银、铜等元素形成金属互化物。

金具有亲铁性，陨铁中含金（1150×10^{-6}）比一般岩石高 3 个数量级，金经常与亲铁的铂族元素形成金属互化物。

金还具有亲铜性，它在元素周期表中，占据着亲铜和亲铁元素之间的边缘位置，与铜、银属于同一副族，但在还原地质环境下，金的地球化学行为与相邻元素相似，表现了更强的亲铁性，铜、银多富集于硫化物相内；而金铂多集中于金属相。金在地球中丰度值为 0.8×10^{-6}，地核为 2.6×10^{-6}，地幔为 0.005×10^{-6}，地壳为 0.004×10^{-6}。金在各类岩石中的丰度列于表 5-7。

由于 6s 与 5d 电子层能量相近，金在自然界可形成 Au^{1+}、Au^{3+}离子，金的离子电位虽不高，但具有较强的激化能力,使金易于同 Cl^{-}、Br^{-}、I^{-}、HS^{-}、S^{2-}、CO_3^{2-}、CN^{-}等形成易溶的络合物。所以金不溶于一般的酸和碱，但可溶于某些混酸，如王水，也可溶于碱金属，氰化物，酸性的硫脲溶液，溴溶液般的酸和碱化铁溶液，有氧存在的钾、钠、钙、镁的硫代硫酸盐溶液等。碱金属的硫脲溶液

腐蚀金，生成可溶性的硫化金。土壤中的腐殖酸和某些细菌的代谢物也能溶解微量金。金易被碳质、有机质、胶体溶液等吸附迁移，按彼列尔曼的分类，金属于“活动元素”，并能形成水分散流，这就是金在地壳中丰度值虽然很低，却“易于”成矿的本质原因。

表 5-7 金在各类岩石中的丰度　　$w_B/10^{-9}$

岩类		岩浆岩	金丰度	沉积岩	金丰度	变质岩	金丰度
深成岩	酸性	花岗岩	1.7	砂岩	3.0	泥质板岩及板岩	1.0
		花岗闪长岩	3.0				
		长英岩	4.2	页岩	2.5		
	中性		3.2			角页岩	8.5
	基性		4.8	碳酸盐岩	2.0	片岩	2.2
	超基性		6.6			片麻岩	3.5
						石英岩	4.9
火山岩 浅成岩	酸性、基性及中性		1.5 3.6	深海沉积	3.4	酸性盐	1.5

据魏德波尔，1974；转自刘英俊等，1984

5.2.2 金的迁移机制探讨

1、金与砷、锑、汞的低温组合迁移

应用元素地球化学理论，可以较好地解释金、砷、锑、汞在中低温热液矿床演化中的相似性和差异性，金、砷、锑、汞四元素主要地球化学参数列于表 5-8。

表 5-8　Au、As、Sb、Hg 主要地球化学参数对比表

地球化学参数	Au	Hg	As	Sb
原子序数	79	80	33	51
原子量	196.97	200.59	74.92	121.75
电子构型	$5d^{10}6s^1$	$5d^{10}6s^2$	$4s^24p^3$	$5s^24p^3$
原子半径（A^0）	1.42	1.503	1.28	1.45
共价半径（A^0）	1.34	1.49	1.20	1.40
离子半径	1.37(+1) 0.85(+3)	1.10(+2) 1.27(+1)	2..22(-3) 0.46(+5)	2.45(-3) 0.62(+5)
还原电位（伏特）	$Au^3 \rightarrow Au$ 1.42	$Hg^+ \rightarrow Hg$ 0.851	$H_3AsO_4+2H^+ \rightarrow HAsO_2$, 0.58	Sb^{5+} Sb^{3+} 0.75
电负性	2.3	1.8	2.0	1.8(+3) 2.1(+5)
电离势（电子伏特）	9.22	10.43	9.81	8.639

据刘英俊等，1984

众所周知，铁和硫是地壳中的主要元素，二者结合成黄铁矿是热液中常见的矿物之一。卡林型金矿中，主要的载金矿物是黄铁矿，其次为石英、粘土矿物、有机质和胶体等，载金矿物也主要呈微细粒产出。韦龙明等（1995）将金在热液中的迁移形式归结为五种：①独立矿物（单体金或游离金，包括裂隙金和晶隙金）；

②包裹金（显微包裹体）；③晶格金（类质同象或固溶体）；④胶体金（呈胶粒吸附态或胶体悬浮态）；⑤离子金（络阴离子等）。研究表明：晶格金和包裹金主要存在于黄铁矿中，如根据刘世荣（1991）用同步辐射加速器射线源对粘土矿物进行荧光分析，未见有金的存在，X 衍射表明粘土中含有微细粒的黄铁矿，对含金达 25.9×10^{-6} 粘土样品溶解其中的黄铁矿，滤液含金 19.9×10^{-6}，残渣含金 0.94×10^{-6}，对粘土进行溶解，滤液含金只有 0.17×10^{-6}，表明粘土中的黄铁矿确为主要载金矿物。Drews Armitage S P（1996）等通过对美国内华达卡林金矿集中区著名的蓝星金矿的研究也得出相同的结论。

热液系统中，当热液处于温度较高的酸性环境时，硫与氢易于形成 HS^-，此时 S 处于相对不饱和状态，As 和 S 在元素周期表中属对角线元素，As 的共价半径和离子半径与 S 相差相对较小，As 替代黄铁矿（FeS_2）中 S，形成毒砂（FeAsS）、含砷黄铁矿等铁的砷硫化物，由于 Au 具亲铁性，此时 Au 可进入毒砂和含砷黄铁矿中，这种金与铁、硫与砷的对应替代，是 Au 与 As 表现出很强相关性的根本原因。

金和汞的相关性，从二元素在周期表中的位置可以明显看出。金和汞在周期表中同属第六周期，且为相邻元素，金靠近铁族元素，更具亲铁性，汞为典型的亲铜亲硫元素。

砷与锑在元素周期表中同属第五主族，外电子构形相同，但因锑处于第五周期，原子核对外层电子引力减弱，所以锑的原子半径、共价半径、离子半径都较砷大，从而使锑比砷表现出更强的金属性，易于与硫形成金属硫化物。金与锑的相关性可能通过金与砷的相关性间接地表现出来，所以金与锑在中低温热液成矿系统中，相伴性较好，相关性却相对较差。

表 5-9 所示滇东南某金矿矿石样品中低温元素组合及其平均含量：

表 5-9 滇东南某金矿矿石中主要元素平均含量

Au 含量	组合样品数	平均含量							
		Au	As	Hg	Sb	Ag	Cu	Pb	Zn
<3	5	0.70	652.4	3.17	41.9	0.138	33.2	58.5	133.6
3~5	4	3.33	1200.9	5.52	110.1	0.199	24.2	58.4	101.8
5~8	10	7.29	1441.6	9.04	73.3	0.189	27.1	51.5	83.9
>10	4	12.28	1800.5	9.67	118.3	0.316	29.7	53.2	93.5

由表 5-9 和图 5-4 可以看出，金与砷、汞含量变化表现出同步性，锑（银）虽有变化但与金、砷、汞步调不一致，而铜、铅、锌含量变化不大。这种含量变化特征与上面所做的理论分析结果十分吻合。

当热液温度有所降低，热液中的 H^+ 被围岩（主要是不纯碳酸盐）所中和，

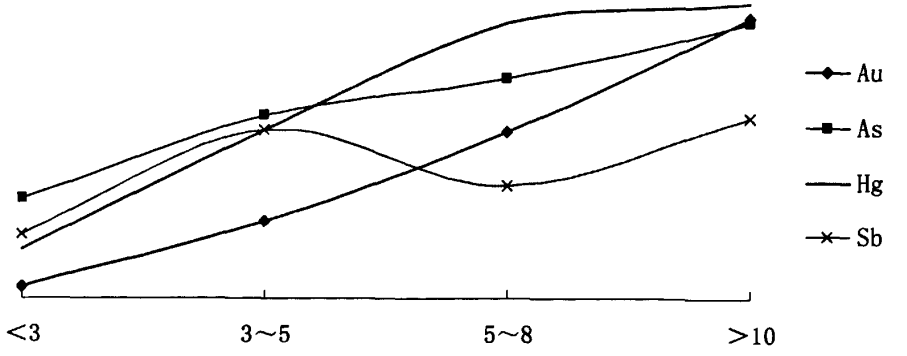


图 5-4 滇东南某金矿不同品位矿石中 Au、As、Sb、Hg 元素含量变化图

热液中 HS^-离解，S^{2-}含量处于（过）饱和状态时，Fe、As、Sb、Hg 直接与硫结合形成 Fe、As、Sb、Hg 的硫化物，如黄铁矿、雄黄、雌黄、辉锑矿、辰砂等，汞还容易在更低温度条件下以气态形式迁移形成分散晕，所以砷、锑、汞异常反映出热液温度由高到低的规律性变化。

2、金的络合迁移

金在整个热液演化过程中，一方面随着毒砂、含砷黄铁矿、黄铁矿的迁移而迁移，另一方面金还以金的硫化物、硫代络合物、氯的络合物、硅络合物以及被有机质吸附、胶体吸附等形式甚至直接以超微细粒金的形式在流体中迁移，如：

$$Au^+ + HCl = AuCl + H^+ \qquad (1)$$

$$2Au^+ + H_2S = Au_2S + 2H^+ \qquad (2)$$

反应自由能分别为－24.1 千卡、－32.5 千卡，远较与 O、F 的亲和力（反应自由能分别为 5.3 千卡、7.72 千卡）为高[①]，所以热液系统中，金更易于与 Cl、S 结合形成络合物而迁移。

3、金与硅、有机质的关系

多数卡林型金矿都可见不同程度的硅化，金与硅的关系通过实验证明（刘建明，1999），金与硅在 80℃～200℃温度范围内，金和水溶液中溶解的硅之间通过下述反应生成金的硅络合物：

$$Au^+ + H_3SiO_4 = AuH_3SiO_4 \qquad (3)$$

这种金的硅络合物对于金的热液成矿，对于理解金与硅之间的密切关系，具有重要意义。

金与有机质的关系也通过实验得到证明（刘建明，1999）：低成熟度、高硫的原油、油田卤水具有很强的淋滤萃取能力，能从沉积岩（物）中萃取出相当数量的金。何立贤（1993）等较早将金矿与油气成因相联系，Disnar 等（1990）、

[①]李鹤年，戚长谋，周永昶．元素地球化学（印刷稿），1988：223～238。

Gize 等（1993）、 李九玲等（1996）、向才富等（2000，2002，2003）认为油气等有机质的储集利于金（锑）等的预富集。滇东南地区相当一部分金矿中皆可看到炭质泥岩的存在，胜利油田原油中含金高者可达 1～2g/t，杜乐天认为胜利油田和胶东金矿在成因上都是热液成矿[①]，可以肯定成油和金成矿具有非常密切的关系。

应当指出的是，金与砷、锑、汞及硅、有机质等的这种异常组合关系，并不是卡林型金矿所特有的，而是中低温成矿流体在成矿系统中所必然发生的水－岩、水－油－岩反应。

在贵州铜仁－凤凰汞矿（傅家谟，1989）、云南金顶铅锌矿（张金亮等，2003）、广西大厂锡多金属矿（张起钻，1999）等古油藏被后期构造破坏后，可见油藏被氧化成稠油、沥青与多金属矿共生，陈广坡等（2008）认为油气藏和沉积金属矿藏均来自于相同的烃源岩/矿源层，一些金属（铀、黄铁矿等）的存在，有可能对有机质向烃类的转化起到了积极的催化作用，而烃类中的有机酸对金属元素具有溶解－螯和作用，有利于金属元素随烃类和成矿流体的析出，顾学祥等（2007）认为在水－油－岩共存体系中，烃类和成矿流体能够一起溶解、萃取其路径上的金属元素，二者都可以在圈闭中聚集、共同成藏或者由于物理化学条件的变化，金属矿物异地卸载成矿，所以有机质与其他中低温矿产也有密切的关系。

根据李惠（1989）对我国各类型金矿元素组合所作的研究，几乎不同类型的金矿都有砷、锑异常存在，只是由于不同类型金矿成矿流体的复杂性而使其元素组合也有所不同，在本文 2.3.2 的讨论中，笔者从区域地层地球化学特征的对比研究中指出，本区金具有深源性，而砷、锑、汞则是区域性的高背景，既可在有金矿物源的地方在一定的成矿作用下在有利的环境中与金形影相伴地成晕成矿，又可在没有金矿物源的地方作为一种低温元素组合指示其他矿种的找矿并可能独立成矿于主矿体的外围。所以本区金与砷、锑、汞的相伴，既有必然性，又有偶然性，不能将它们之间的关系绝对化。

5.2.3 金的沉淀机制

在成矿构造－热液循环体系中，当成矿流体沿控矿断裂构造带运移至浅表次级容矿构造有利部位时，成矿流体的温度、压力、Eh（流体的氧化是金沉淀的良好机制）、pH（压力降低，CO_2 溢出，导致流体酸碱度发生改变）等发生改变（形成地球化学障）时，金即被容矿岩石所萃取，硫与容矿岩石中的铁反应形成铁的硫化物沉淀，还使还原硫的活度降低，由此造成硫代络合物变得不稳定而使金沉淀（S B 龙伯格，1987；R G 罗伯茨，1988）。

[①]杜乐天（1997），胜利油气田和胶东金矿实同为热液成矿机制，地慢流体成矿学术讨论文摘要，1997.

第六章　滇东南卡林型金矿成矿模式与成矿预测

6.1 滇东南卡林型金矿成矿模式

6.1.1 成矿系列

1、成矿系列理论概述

成矿系列(Metallogenic series)的概念最早由法国地质学家 de Launay 于 1905 年首次提出（郭文魁，1991），20 世纪 60 年代以来前苏联和我国学者将这一概念引入。1979 年，我国学者程裕淇首次全面论述了成矿系列的概念，之后程裕淇等（1983，1995）、陈毓川（1994，1997）、陈毓川等（1998）、翟裕生（1992）、翟裕生等（1996，1999）、王世称等（1994）、章绍华等（1993）、陈昌勇（1997）、陈从喜等（1997，1998）及谭运金（2000）等对成矿系列理论的研究使其得到丰富和发展。目前关于成矿系列的概念、分类、命名等尚难形成统一认识，但其用系统论的观点研究矿床组合理念已逐渐为矿床学家们所共识，在指导区域成矿预测和矿产勘查方面使人们从地质构造、岩浆岩演化和地球化学基本理论出发，实现“就矿论矿”思维向对已知矿床进行“联想式”找矿思维的转变具有重要的意义，特别是当前在危机矿山深边部及外围地区找矿预测方面正发挥着越来越重要的作用。

根据陈毓川（1998）所下的简略定义：“成矿系列是四维空间中有内在联系的矿床组合”，陈毓川在程裕淇（1983）成矿系列组合、成矿系列、成矿亚系列、矿床类型 4 级分类的基础上增加了三个层次，由高到低分别为：矿床成矿系列组合、矿床成矿系列类型、矿床成矿系列、矿床成矿亚系列、矿床式、矿床、矿床成因类型共七个层次。

2、滇东南卡林型金矿之成矿系列初探

在滇东南地区，谈树成（2004）专门针对个旧锡多金属矿作了成矿系列的研究，依据成矿时间和成矿作用的不同提出了个旧矿区存在四个成矿系列：①印支中晚期海底基型火山-沉积 Sn-Cu-Zn(Au）成矿系列；②印支中晚期海底喷流-沉积 Sn-Cu-Pb-Zn 成矿系列；③燕山晚期花岗岩叠加改造 Sn-Cu-W-Be-Bi-Pb-Zn-Ag 成矿系列；④喜山期陆相表生沉积砂矿成矿系列。燕山期花岗岩成岩成矿作用将不同来源的成矿物质，不同地质作用演化的结果最后定型为个旧矿区的锡多金属成矿，从研究的成矿元素组合来看，显然只能代表已知矿区附近以锡、铜、铅、锌为主的中高温成矿作用，而对矿区外围 10～30km 半径范围内可能存在的中低温金（锑）的成矿作用则未见提及。

滇东南其他地区，如蒙自白牛厂以往发现的 Ag-Sn-Pb-Zn 矿体只是白牛厂成

矿系列的一部分，在深部已发现厚大独立的锡矿体和铜矿体。广南老寨湾大型金矿南侧有依据物化遥资料预测的珠街隐伏花岗岩体，根据成矿系列的理论，显然该地区存在其他有色金属矿种的缺位问题和很大的找矿前景，目前这一地区的找矿工作正在刘继顺教授指导下进行。富宁花甲金矿与安定铅锌矿产于同一北西向断裂的不同位置，二者相距小于5km，且都产于同一辉绿岩体之接触带附近，在基性火山热液、次火山期后热液成因的黄铜矿、黄铁矿矿石中，金还与镍铜相伴产出。

根据成矿系列的系统观，在研究滇东南地区卡林型金矿时不宜片面"就卡林型金矿论卡林型金矿"，应从金矿和其他内生矿产产出的地质背景出发，系统收集地物化遥等成矿有利信息，对矿区深边部及外围地区可能的矿种缺位问题做出预判，进而指导成矿预测和找矿勘探的具体实践。

运用成矿系列理论，本文将滇东南地区主要成矿系列组合划分如下：

1、越北古陆北缘与右江裂谷演化相关联的预成矿系列组合（形成成矿元素的初始分异）：W、Sn、Mo矿床→Cu、Pb、Zn、Ag矿床→Sb、As、Au、Hg、Ba→沉积型铁锰矿床在空间上总体由隆起区向外分带性出现，与翟裕生等(1999)所总结的南岭区域隆起带由隆起区向外出现钨、锡－铅、锌－锑、汞的矿化分带相一致。

2、与峨眉地幔柱活动相关联的中低温成矿系列组合，即侯增谦等（1999）、张成江等（2004）、王登红等（1999）指出的喷出相（地幔柱头部）成矿元素组合：Cu-Pb-Zn-Ag→Au-Sb-Hg-Te-Se，其演化方式可能有两种：①北西至南东的水平演化；②幔源深部至浅表的垂直演化。

3、与燕山期花岗岩浆活动、区域构造运动相关联的叠加改造成矿系列组合：Sn-Cu-W-Be-Bi-Au→Pb-Zn-Ag→Au-As-Sb-Hg，在花岗岩接触带及外围形成比较完整的成矿系列，在无花岗岩浆活动地区由构造地温场驱动形成 Au-As-Sb-Hg（Pb-Zn-Ag）中低温成矿系列组合。

6.1.2 滇东南卡林型金矿成矿规律

1、滇东南地区卡林型金矿成因"三因素"

（1）壳幔的不均一性及地球从起始演化到现今的过程中元素的分布再分配是形成区域矿种空间分布差异的基础因素。

滇东南地区北靠南盘江-右江裂谷带（幔隆），南邻越北古陆，西被红河断裂所限，内有古特提斯洋壳活动遗迹，花岗岩、隐伏花岗岩、玄武岩、辉绿岩广布全区，锡、钨、银、铅、锌、铟、铜、金、锑（锰、铁、铝）等矿产种类全而且资源丰富。传统上认为金的成矿与右江裂谷带有直接关系，离右江裂谷带越远，矿床规模越小，本区老寨湾金矿、曼龙沟金矿、底圩金矿等一批颇具规模的不整

合面型金矿、基性岩型非传统卡林型金矿的发现以及滇黔桂菱环块体内越北巴郎超大型金矿的出现，说明在滇黔桂菱环块体内离开右江裂谷金仍然有其他上升通道。

区域地层地球化学特征也表明，裂谷、特提斯、区域性深大断裂附近与峨眉地幔柱长期活动相伴的基性火成岩及火山碎屑浊流沉积是本区卡林型金矿及其他亲基性元素矿产最主要的物质来源。滇东南乃至滇黔桂"金三角"锑砷金汞中低温矿集区与川滇黔接合部铅锌矿集区同属一个大的地球化学块体，壳幔的不均一性及地球从起始演化到现今的过程中元素的分布再分配是形成矿种空间分布差异的基础因素。

（2）预成矿作用是滇东南地区主要沿加里东不整合面形成数量众多的不整合面型金矿的重要因素。

滇东南地区下元古界大离子亲石元素 Sr、Ca、Ba（K）的超常富集（富集系数分别为 6.15、5.35、2.38、1.48）和偏低温元素 As、Sb（Bi、Hg、Au）的超常亏损（富集系数分别为 0.09、0.11、0.42、0.48、0.59）强烈表明：滇东南地区古老基地（下元古界）在接受后期沉积之前由于深变质作用影响经过了一个漫长的物质分异演化过程而为后期的岩浆成矿和低温成矿准备了衍生矿源层。滇东南地区有多个不整合面特别在加里东时期，志留纪长达数千万年的沉积间断（440Ma～405Ma），对物质所产生的风化剥蚀及对低温金（砷、锑）等成矿元素的物理化学分选所形成的预成矿作用是滇东南地区主要沿加里东不整合面形成数量众多的不整合面型金矿的重要因素。

（3）滇东南地区燕山期构造岩浆活动（越北古陆的向北逆冲推覆和几大板块之间的平移走滑所形成的驱动热力和与此相关的断褶带、层间破碎带、岩体外围由岩浆侵位、冷缩形成的密集张裂带）是该区卡林型金矿及其他内生矿产形成的决定因素。

海西－印支－燕山期，南盘江洋盆的形成与演化，是印度板块与欧亚板块相互碰撞而导致地幔上隆引起玄武岩喷发和水平拉伸在构造薄弱地段造成差异性下陷的结果，南盘江洋盆及新特提斯洋的打开与峨眉地幔柱的活动是相伴而行的，二者具有内在的联系。燕山期该区发生逆冲推覆与平移走滑作用，导致滇东南地区花岗岩的成岩成矿，文山-富宁巨型弧形逆冲推覆（波及整个南盘江地区）与滇东南地区卡林型金矿成矿同步进行（主要最后定格时间统一于燕山期），表明滇东南地区越北古陆的向北逆冲推覆和几大板块之间的平移走滑所形成的驱动热力和与此相关的断褶带、层间破碎带、岩体外围由岩浆侵位、冷缩形成的密集张裂带是滇东南地区卡林型金矿及其他内生矿产形成的决定因素。

如果说，前燕山期的地质构造演化、成岩成矿作用、预成矿作用是滇东南地

区卡林型金矿及其他内生矿产真正成矿前的合力协奏，燕山期的成矿作用则是该区卡林型金矿与其他内生矿产的成矿大合唱。

2、滇东南卡林型金矿成矿规律探讨

地壳中各种类型矿床的出现，并不孤立、杂乱，总是有规律可循。所谓成矿规律，是指矿床形成和分布的空间、时间、物质共生关系以及内在成因联系等的综合，空间上表现为地域上的分布规律（成矿区域），时间上表现为成矿时代的分布规律，矿质的集聚上表现为矿床系列、矿床、矿体和富矿段的形成和分布规律。矿床的成矿规律受控于形成矿床的元素本身的地球化学行为和控制成矿的各种地质因素。卢作祥等（1989）指出，成矿规律研究的主要内容和重要方向是把矿床的产出同周围地质、地球化学背景和构造环境联系起来进行研究，并在此基础上阐明矿床时空分布规律和成生规律，其目的是提高成矿预测和找矿勘探的成功率。

本文在对滇东南地区卡林型金矿成矿地质背景、矿床地质特征、地球化学特征和区域成矿作用进行系统分析的基础上，以区域成矿学和成矿系列理论为指导，将滇东南地区卡林型金矿成矿规律总结如下：

（1）裂谷和区域性深大断裂附近与峨眉地幔柱长期活动相伴的基性火成岩及火山碎屑浊流沉积是滇东南地区乃至滇黔桂地区卡林型金矿主要的物质来源。燕山期区域构造运动及与之相伴的酸性和基性岩浆活动是滇东南地区乃至滇黔桂地区金矿成矿作用最为主要的热源，成矿流体水具有多来源混合成因，可能为深源流体与地层建造水及大气降水的混合热流体，硫主要来自赋矿层位与深源硫的混合，成矿流体在运移过程中，带入大量成矿物质。

（2）金矿床的总体分布，与本区（隐伏）基性岩在空间上有很好的叠合关系。传统上认为金的成矿与右江裂谷带有直接关系，离右江裂谷带越远，矿床规模越小，根据本区老寨湾金矿、曼龙沟金矿、底圩金矿等一批颇具规模的不整合面型金矿、基性岩型非传统卡林型金矿以及滇黔桂菱环块体内越北高平裂谷带边缘出现的巴朗超大型金矿等的空间分布，可以认为在滇黔桂菱环块体内除右江裂谷外金等亲铁元素仍然有其他上升通道。

（3）地质构造是卡林型金矿最重要的控制因素，滇东南地区卡林型金矿常表现为沿主要的构造带成群成带分布，最重要的控矿构造是：①不整合面构造；②文山－富宁系列弧形逆冲推覆构造带；③富宁－关岭南北向裂陷带；④沿花岗岩侵蚀方向和接触带，因花岗岩上侵－冷缩形成的断裂带和密集裂隙带。

（4）矿体的定位受一定的容矿构造控制，主要的容矿构造有：①主干断裂旁侧的拉张、滑脱的层间顺层滑动面，短轴破背斜；②次级断裂或次级断裂交汇区；③密集裂隙带；④古溶洞、溶沟、溶槽等。

（5）矿化蚀变及相应的矿石矿物组合、元素地球化学异常表明成矿作用具中低温热液性质，矿化蚀变及相应的矿石矿物组合、元素地球化学异常是找寻该类型矿床的有效标志。

（6）壳幔的不均一性及地球从起始演化到现今的过程中元素的分布再分配是形成区域矿种空间分布差异的基础因素，预成矿作用是形成该区不整合面型金矿的重要因素，燕山期构造岩浆活动是该区卡林型金矿及其他内生矿产形成的决定因素。

（7）矿床的形成是越北古陆北缘与南盘江盆地演化相关联的预成矿系列组合、与峨眉地幔柱活动相关联的中低温成矿系列组合、与燕山期花岗岩浆活动和区域构造运动相关联的叠加改造成矿系列组合在时空上多因耦合的结果。

（8）成矿主要时代与滇东南地区花岗岩的成岩成矿时代，文山－富宁弧形逆冲推覆构造的主要活动时代基本一致，成矿主期基本介于140～175Ma,相当于燕山晚期，成矿早期可能属于印支晚期或燕山早期，而成矿晚期可能延至喜马拉雅早期（高振敏等，2002），表明三者的最后定格同受板块间相互作用应力驱动。

6.1.3 滇东南卡林型金矿成矿模式

成矿模式是在成矿系列、成矿规律总结基础上用文字、图表等形式简洁明了地对矿床地质特征、成矿条件、形成环境及其成因机制等方面进行的高度概括和总结，所表达的内容着重显示某一类型（或某一成矿系列（组合））矿床的复杂地质现象和矿床基本特征以及矿床成矿规律。矿床成矿模式一直是国内外矿床学、矿产勘查学研究的前沿和热点之一（D. P. 考克斯，1990；张贻侠，1993；V. Kirkham 等，1993；Thomas 等，1996；张均，1997；Cooke 等，1998；翟裕生，2001）。一个好的成矿模式可以指出特定类型的典型成矿环境和地质特征，可用来判断矿床位置和矿体可能赋存的有利地质构造部位，可以熟悉各种类型矿床主要找矿标志及其变化规律，为指导寻找盲矿体提供科学有效的地质依据，对减少勘查工作盲目性和提高找矿命中率具有重要的指导意义。

矿床的形成是在一定成矿系统内矿质多因耦合由分散到集聚的过程，空间上具有成群成区带多矿种共生或多矿种组合产出的特点，时间上具有阶段性与多旋回性、长期性与继承性以及方向性等演化特点。翟裕生（1999）指出：成矿系统是指在一定的时空域中，控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用动力过程，以及所形成的矿床系列、异常系列构成的整体，是具有成矿功能的一个自然系统。多因耦合是指在一定条件下成矿作用所涉及的地质、物理、化学、生物等多种因素间的相互作用和彼此影响。矿质的集聚是各种控矿因素在特定条件下出现转变（渐变与突变）而使成矿作用得以发生。

根据本章所总结的滇东南地区卡林型金矿成矿规律和当代矿床学发展所提

出的历史观、系统观和辩证观，本文建立的滇东南地区卡林型金矿成矿演化模式见图 6-1。

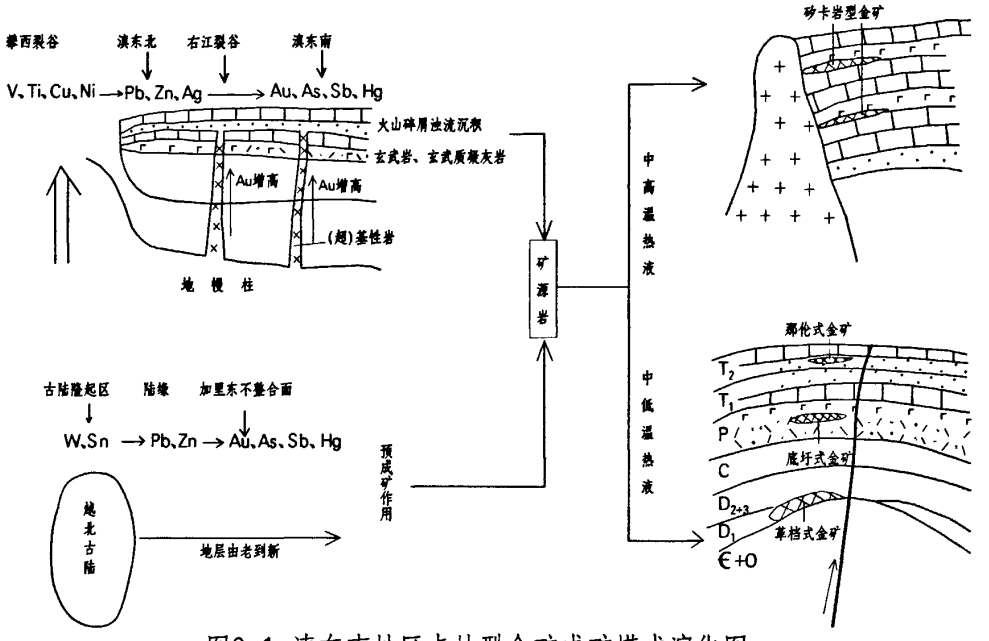


图6–1 滇东南地区卡林型金矿成矿模式演化图

6.2 滇东南卡林型金矿成矿预测

6.2.1 成矿预测学简介

成矿预测是一门古老而常新的以找矿为目的的应用性技术学科，可以说人类自石器时代进入铁器时代就开始了成矿预测活动。早在公元前3世纪，我国的《管子·地数》就记载有找矿的经验总结："山，上有赫者，其下有铁；上有铅者，其下有银；上有丹砂者，其下有黄金；上有慈石者，其下有铜金"。南北朝梁代的著作《地境图》中，有利用植物找矿的记录："草茎赤秀，下有铅"，"草茎黄秀，下有铜器"，唐代段成式《酉阳杂俎》也载有"山上有葱，下有银；山上有薤，下有金，山上有姜，下有铜锡"等，宋代周辉《清波杂志》有泉水找矿的事例，清朝屈大均《广东新语》也载有"广中产铁之山，凡有黄水渗流，则知有铁……，循其脉络，深入掘之，斯得多铁矣"。清代李调元《南越笔记》中载有利用矿物气味找矿的记录：广东英德、清远等地，山上有银矿，当山上的银矿石晒热时，矿石表面就有白色的银汗，而气味辛，据此可寻找当地的银矿（王仰之，1994）。不难看出，古人对找矿方法的经验总结，闪耀着科学思想的光芒，与当代成矿预测的科学理论是一脉相承的。

当代成矿预测理论始于20世纪50年代，M Allais（1957）、J E Griffiths（1962）、D P Harris（1965）等提出了："矿产资源量同地质条件之间的定量关系数学模型"

的认识（朱裕生，2006）。随后各国学者相继提出很多成矿预测理论，在我国比较著名的有赵鹏大的地质异常理论、王世称的综合信息理论、程裕淇等的成矿系列理论等。目前具体的成矿预测方法已达数百种，刘石年（1993）将这些方法分类，结果见表6-1：

表6-1　成矿预测方法分类简表

内容	成矿预测方法分类		主要预测目标和方法
	类	亚 类	
找矿靶区预测	相似类比法	环境类比法	查明成矿背景和环境，建立环境类比模型
		条件分析法	查明控矿条件的作用及最优组合和部位，建立条件控矿模型
		综合信息法	查明成矿信息及最优组合和部位，建立综合信息模型
		地质几何法	对控矿地质界面进行模拟及矿体空间定位，建立地质几何模型
		时间系列法	查明主要成矿期次及演化规律，预测矿产时空分布
		共生分析法	查明矿床组合及成矿系列，预测共生矿种和矿床
		矿床模型法	建立矿床成因模型或综合类比模型，对工区进行预测
	求异法	定性组合求异法	对地质异常进行体线面点组合求异及预测
		定量组合求异法	对控矿因素和矿化信息进行取值、变换、定量组合求异
资源定量预测	资源总量预测和潜力评价方法		区域价值法、体积估计法、丰度估计法、矿床模型法、德尔菲法、蒙特卡洛法、综合法
	预测矿床可能规模方法		回归分析法、判别分析法、聚类分析法、逻辑信息法、系统模拟法、克里金法

据刘石年，1993.

6.2.2 滇东南卡林型金矿成矿预测准则

翟裕生（2007）在论述矿床定位预测方法时指出：在复杂的成矿系统中，有各种异常信息，在异常筛选准则中，强调从直接找矿信息着手，以少数相互联系、目标一致的关键信息为核心，捕捉及强化与成矿关系密切的弱信息，达到快速缩小找矿靶区、发现矿床之目的。特别是在我国西部工作程度较低地区，获取信息较为困难情况下进行成矿预测时，不一定需要很多的信息或变量。理由有四：①不充足判据的充足化原则。仔细研究会发现，认识一件事物绝不会是把它所有的特征都观察准确才能认识。主要是找出那些最关键、最重要的信息，舍弃其他方面的信息，也就是窥一斑可见全貌，见一叶可知秋。②复杂与精确的反比性原则（控制论的一个原理）。成矿系统是一个复杂的系统，实践表明当一个系统复杂性增大时，要使它精确化的能力将减小。也即，开展成矿预测选择的变量（信息）越来越多时，则精确地把握矿床产出规律的能力越来越弱，反而预测结果具有更

大的不确定性。因此，只有忽略那些本质上并不重要的变量（信息），突出抓少数相互作用、相互依存的最能揭示成矿特征的找矿信息组合，才能达到事半功倍的找矿效果。③信息与目标的一致性原则。在复杂的成矿系统中，成矿信息很多，但所需要的并不是所有的这些信息，而是需要为达到找矿目的的少量关键信息。因为成矿信息之间不一定都是相辅相成或累加累乘关系，有些成矿信息与预测目标不一致，需要将这些与预测目标不一致的信息剔除掉。④找矿信息之间的相互作用、相互依存关系。只有相互关联的找矿信息之间的相互作用才会衍生出新的信息（1+1>2）、才最能揭示成矿的内在本质特征，才有可能用最少的找矿信息达到最佳的找矿效果。比如在一个地区发现有：①小斑岩体或大片火山岩存在；②Cu、Mo 为主，伴有 Au、Ag、Pb、Zn 等元素组合的化探异常。从这 2 个信息的关联，就会想到这个地区可能有斑岩铜（钼）矿化存在。西藏朱诺大型斑岩铜矿就是从很少的直接找矿信息入手发现的（郑有业等，2006）。

通过滇东南地区区域地质地球化学特征及成矿模式的研究，本文对滇东南地区卡林型金矿提出如下成矿预测准则：

1、地质准则：

层位：右江裂谷南侧的二叠系、三叠系，越北古陆北缘寒武系、奥陶系与下泥盆系统。

岩性：不纯碳酸盐岩（碳硅泥岩系），砂泥质为主的细碎屑岩，玄武质火山岩系，辉绿岩。

构造：深大断裂旁侧之次级构造，短轴破背斜（穹隆+轴向断裂），小型构造交汇区，不整合面附近之溶沟、溶槽、溶洞发育区及不同岩性层之层间滑动面，（隐伏）花岗岩外围之断裂带、密集裂隙带等。

岩浆岩：辉绿岩与玄武岩集中区，花岗质岩脉与隐伏花岗岩区顶部及外围。

矿化蚀变及矿物组合：中低温热液蚀变与构造蚀变，蚀变主要有：硅化、黄铁矿化、碳酸岩化、泥化、砷锑汞铊碲硫化物及硫盐矿化；金属矿物组合主要有：毒砂、白铁矿、黄铁矿、辉锑矿、辰砂、褐铁矿、自然金等，非金属矿物主要有：石英、长石、方解石、水云母、绿泥石、粘土矿物等。

2、地球化学准则

明显的金异常：金异常规模越大，极值越高，越有可能找到规模较大的金矿床。

金与砷、锑、汞、铊等中低温多元素异常组合：异常元素越多，套合越好，异常规模越大，越有可能找到规模较大的金矿床。

3、地球物理、遥感解译准则

（1）区域重力揭示的（隐伏）花岗岩外围地区及深大断裂附近，是本区卡

林型金矿的成群成带集中分布区。

（2）实地线性低阻带、磁异常错移带、正负异常交变带、正负异常突变带是断裂破碎带、不整合界面电磁性差异的客观反应。

（3）遥感解译的线、环构造密集区是构造、岩浆活动的重点地区，利于矿质的集聚。

上属准则中，地球化学准则是最为直接的成矿预测准则，也是筛选异常和确定重点找矿靶区的最为重要的准则之一。

6.2.3 滇东南卡林型金矿预测实例

1、曼龙沟地区深边部及外围找矿预测

（1）曼龙沟金矿地质地球化学特征

曼龙沟金矿是云南化探找金的成功案例，1997 年云南省地矿局物化探队进行异常查证，并取得突破。多年来一直边探边采，已发现金矿（化）体十余个。该矿地处扬子克拉通西南缘，越北古陆北缘，次级构造单元为滇东南褶皱带。区内出露古生界中上寒武统（$\in_{2-3}$）白云岩、灰岩、泥灰岩，下奥陶统南津关组（O_1n）白云岩、分乡组粉砂岩（O_1f）、红花园组（O_1hn）灰岩，下泥盆翠峰山组（D_1c）粉砂岩、页岩，坡脚组（D_1p）粉砂泥岩，芭蕉箐组（D_1b）泥灰岩、白云岩，中泥盆统古木组（D_2g）泥岩、泥灰岩、砂泥岩、页岩，缺失志留系。地层北老南新，总体呈向北凸出的弧形带状分布，翠峰山组（D_1c）与其下伏地层 O_1、$\in_3$、$\in_2 l$（龙哈组）呈角度不整合或断层不整合接触，NE、NE 转 EW－NW 向压扭性断裂被 NW、SN 向张扭性断裂错断（图 6-2）。

矿床主产于 O_1n 白云岩和灰岩所夹持的砂砾岩及 O_1n 与 D_1c 不整合面附近，地层走向近东西，向北扬起，总体为一单斜构造，向北凸出的压扭性弧形断裂作用使地层垂直于走向方向波状起伏并在地层不整合面、脆－韧性岩石界面附近顺层滑动产生扩容空间而利于金的集聚成矿，可见顺地层产出的矿（化）体。南北向张扭性断裂叠加，使金矿进一步富集，形成沿东西方向弧形不整合面金矿化体断续相串和南北方向矿（化）体富集的总体特征。受古地理气候影响，矿（化）体经表生淋滤风化作用可异地成矿。

东西向顺层矿（化）体沿地层走向顺层延伸数十米，层厚 2～5 米。上下围岩为不纯碳酸盐、砂泥岩，蚀变不明显，金品位 1～2g/t，立方晶形黄铁矿假晶多见，黄铁矿氧化程度较低之金矿体浸出效果较差。

北西向、南北向矿（化）体沿波瓦状地层轴向延伸并可切穿不同层位，主产于 O_1n，可见富金砂泥岩与灰岩沿北西向、南北向断层接触，矿体呈条带状、囊状、不规则状产出，厚薄不一，偶见小辉绿岩脉与富金矿体紧密相伴，金品位 2～20g/t，可见褐铁矿化、绢云母化、硅化、碳酸盐化、泥化等，颜色杂乱，蚀变十分明显。矿石结构松散，极易浸出。矿体规模远大于东西向顺层产出的矿（化）

体，是曼龙沟地区采矿的主要对象，也是本区找金的主要方向。

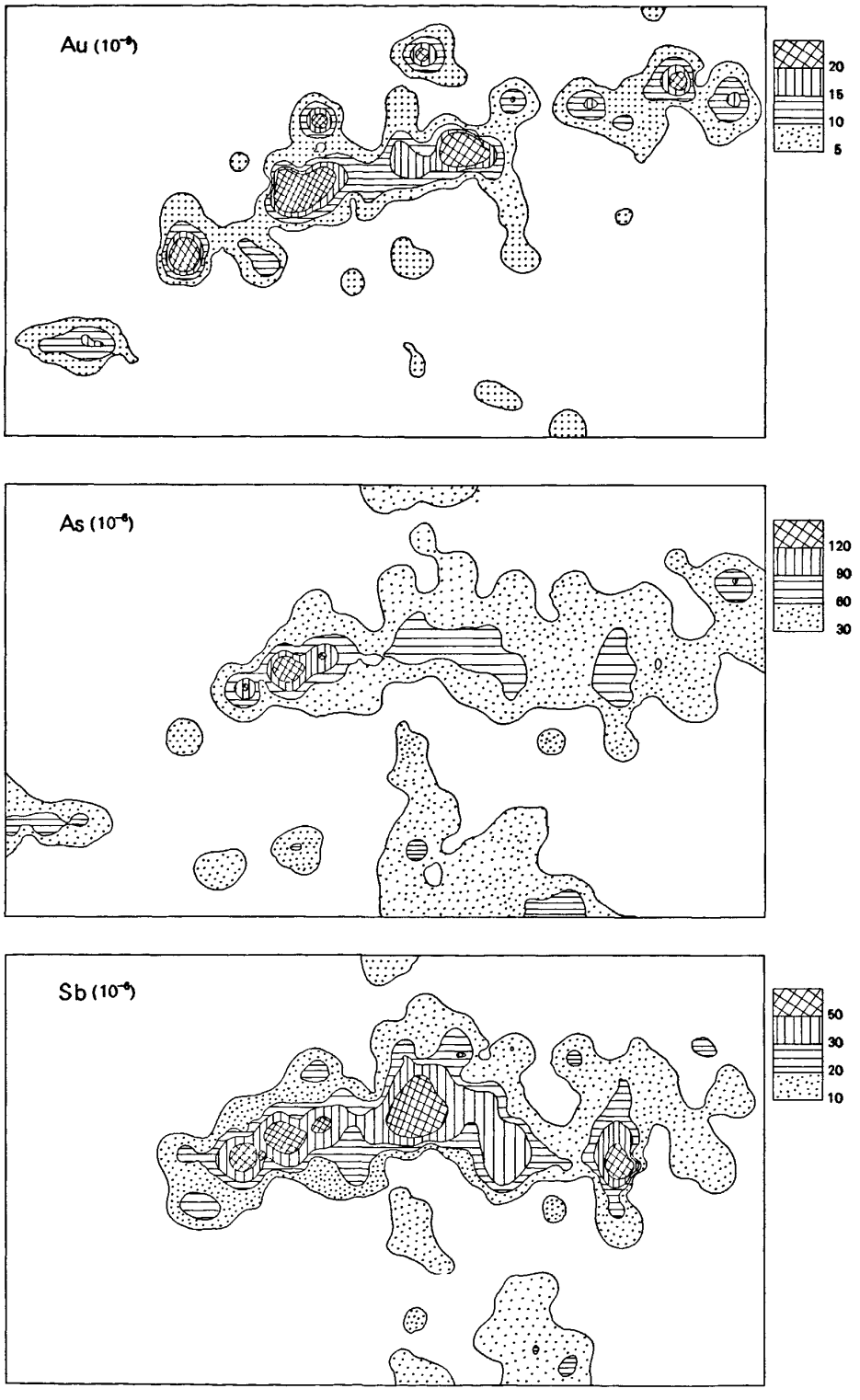
1:20 万区域化探显示矿区元素组合为 Au、Ag、Ba、As、Sb、Hg 异常组合，具低温热液性质，Ag、Ba 与 Au 套合一般，仅与南北向构造有关，且由北往南运移。单样分析 325 件样品 Au、As、Sb、Hg 异常图见图 6-2，由图可见：As、Sb、Hg 与 Au 形影相随，但 As、Sb、Hg 异常显得宽泛而不集中，金矿（化）体与锑、汞矿化点总是"不在其中，不离其踪"。进一步的水系加密和土壤、岩石测量发现，矿区附近金的异常普遍存在，异常中心及其延伸方向与金矿（化）体相吻合。据此可用 Au、（Ag、Ba）、As、Sb、Hg 多元素组合异常进行成矿预测和确定找矿靶区，用现场快速金分析结果直接追踪圈定金矿（化）体，亦即以金找金。

曼龙沟金矿属典型的不整合面型金矿，与邻区广南老寨湾金矿、富宁革档大中型金矿具可比性，应属中低温热液渗滤成因，加里东不整合面长期的地层缺失和风化剥蚀为金的预成矿奠定了基础，既控制了矿带的空间展布，也为找矿预测指明了方向。

多年勘查实践表明：通过对 D_1c 与早古生界地层（断层）不整合接触面、断层与地层的交切线附近、异向断层的交汇区、构造应力作用的脆一韧性岩石顺层虚脱空间、碳酸盐岩与细碎屑岩的相变界面等地质异常区，Au、As、Sb、Hg 综合异常区和矿化蚀变带的进一步追索，结合现场加密取样和现场快速金分析，寻找浅表金矿（化）体，是经济、快速、有效的好方法，野外应特别注意颜色杂乱地段、锑汞矿化点旁侧和黄铁矿（褐铁矿）化部位。

（2）深边部及外围找矿预测验证

2005 年，文山州隆兴矿业有限公司接手矿山后，浅表金矿（化）体已近于枯竭，笔者根据不整合面的控矿特点，结合邻区不整合面型金矿的产出特征和该矿区不整合面控矿的连续性，指出深边部隐伏矿的探查应在原已知金矿化体南侧重点展开，外围新区隐伏矿的探查应考虑金、砷（锑、汞）综合异常区。三年来配以重型山地工程（坑道、钻探、机械化剥土等），大大增加了曼龙沟金矿的可采储量。目前，曼龙沟金矿斥资将曼龙沟金矿外围探矿权整合，为今后曼龙沟地区金矿资源的系统勘查开发铺平了道路，曼龙沟金矿有望向中型以上规模扩展。


Au (10^{-9})
20
15
10
5
As (10^{-6})
120
90
60
30
Sb (10^{-6})
50
30
20
10

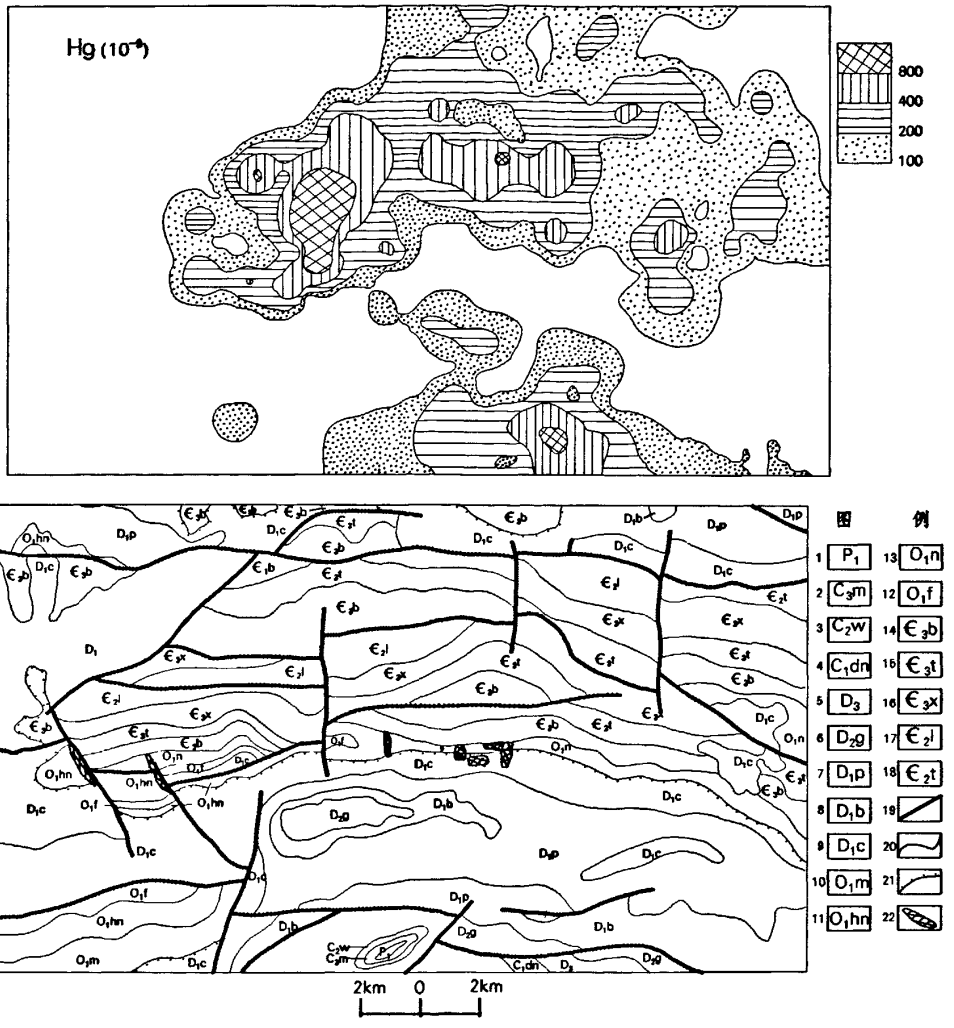


图 6-2　滇东南曼龙沟地区地球化学异常图

1－二叠系下统灰岩；2－石炭系上统马平组灰岩；3－石炭系中统威宁组灰岩；4－石炭系下同董有组灰岩；5－泥盆系上统白云岩、鲕状灰岩；6－泥盆系中统古木组灰岩；7－泥盆系下统坡脚组粉砂岩、泥岩；8－泥盆系下统芭蕉箐组泥灰岩、白云岩；9－泥盆系下统翠峰山组泥岩、粉砂岩；10－奥陶系下统湄潭组页岩、砂岩；11－奥陶系下统红花园组鲕状灰岩；12－奥陶系下统分乡组粉砂岩；13－奥陶系下统南津关组白云岩；14－寒武系上统博菜田组白云岩、灰岩；15－寒武系上统唐家坝组泥灰岩、白云岩；16－寒武系上统歇场组白云岩、泥灰岩；17－寒武系中统龙哈组白云岩；18－寒武系中统田蓬组泥质粉砂岩；19－断层；20－地层界线；21－地层不整合界线；22－金矿（化）体

外围新区隐伏矿的预测实施了面积性地球化学土壤测量，测试样品 660 件，分析元素 Au、As、Sb、Hg，结果表明 Au、As 异常沿中寒武统田蓬组与下泥盆统翠峰山组断层不整合接触界线展布，并沿次级构造分叉（图 6-3），未见 Sb、Hg 异常，有待开展进一步的勘查工作以寻求突破。

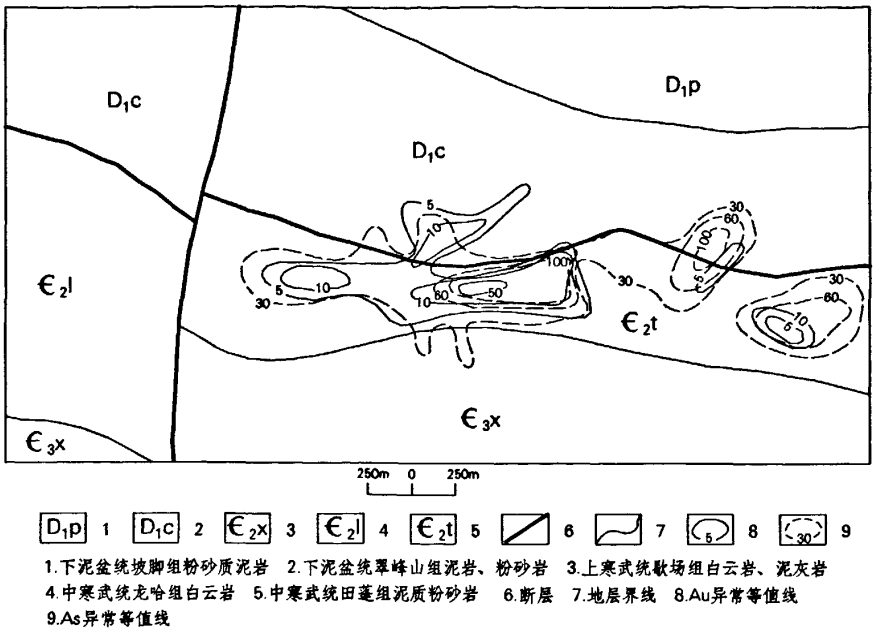


图 6-3 滇东南曼龙沟金矿外围地球化学异常图

2、滇东南邱北某金矿成矿预测

邱北某金矿，北靠南盘江，处于官寨－洛里东西向构造带西段，出露桂西型和滇东型三叠系泥岩、粉砂岩、沉凝灰岩、细砂岩和白云岩、灰岩、灰质泥岩、泥质灰岩，主要构造有近东西向和北东向、南北向断裂，以上三叠统法郎组合（T_3f）、平寨组（T_2p）为核部地层的向斜（图 6-4），金、锑、汞、铁、锰、明矾石等矿产分布于向斜两翼，北翼以金、锑、汞为主，南翼为锑、铁、锰等。金矿类型属于典型的碎屑岩-碳酸盐岩型，金矿（化）体与金异常延伸方向完全一致，金异常近东西向延伸约 18km，金矿（化）体也断续延伸约 10km，在断裂交汇部位，金品位可达 1～3g/t，地表出露全氧化之红土型金矿于碳酸盐岩溶沟、溶槽、溶洞及断层破碎带中，未见岩金矿、原生矿，上世纪九十年代发现金矿（化）体至今民采活动一直从未间断，目前，地表金矿（化）体已基本采空，民采矿主和地矿工作者对于该矿的认识都仅限于地表红土型金矿。刘继顺教授指出，滇东南地区上规模金矿应考虑成矿条件较好的矿区深边部原生矿的重点突破，笔者曾对该金矿做过较系统的调查论证，认为该矿有进一步扩大规模和发现原生矿的可能。

隐伏金矿（化）体的预测依据如下：

（1）该矿区位于滇黔桂菱块体之南盘江－右江断裂南侧，属于南盘江盆地的中心部位，近东西向主干断裂通过矿区，并有南北向、北西向断裂相交，有形成具一定规模卡林型金矿的有利地质构造背景。

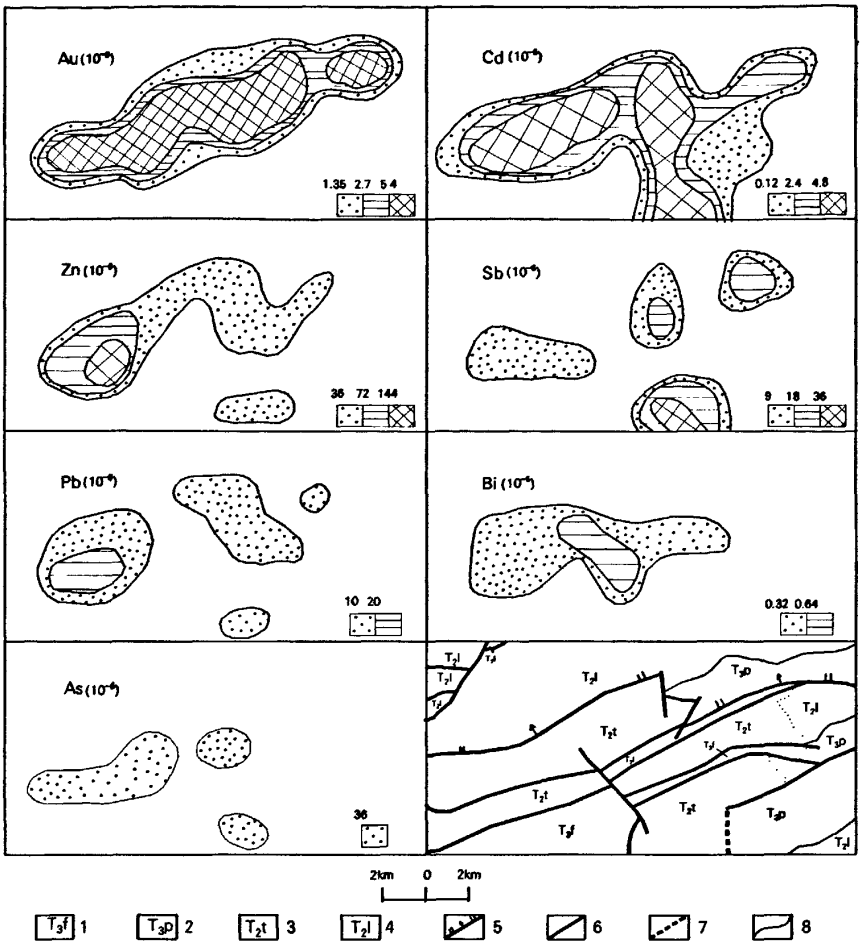


图 6-4 滇东南邱北某金矿地球化学异常剖析图

1、上三叠统法郎组泥质灰岩、细粉砂岩、硅质泥岩；2、上三叠统平寨组细砂岩、泥岩；3 中三叠统拖味组白云岩、灰岩；4、中三叠统兰木组灰质泥岩、石英砂岩、粉砂岩、泥岩；4、逆断层；5、性质不明断层；6、推测断层；7、地层界线

（2）矿区地层为中上三叠统，其下广泛发育海西-印支期玄武岩、玄武质火山熔岩、火山碎屑岩，有良好的成矿物源条件。

（3）该矿金矿（化）体矿化规模较大，金异常规模在滇东南地区名列前茅，区域地球化学资料表明，该矿区异常元素组合以 Au、Cd、Zn、Bi、Sb 为主，伴有 Co、Sn、Pb、Ag、Y、Th、Mn、P、As、F 等多元素异常（图 6-4），具中低温热液矿床特征元素组合，并表明基性岩物质成分参与成矿活动。

（4）强 Cd 异常的特殊指示意义。朱细刨（1993）对西藏洞嘎金矿的研究表明，矿区内土壤中镉异常与金矿化具有一定的内在联系，次生镉异常可作为金矿普查的有效指示剂；朱平（1994）指出在绍兴一诸暨一带的石英闪长岩型金矿中，镉是与金关系最密切的元素之一，是金的第一指示元素；刘金忠（1992）认为桂西北一带产于中三叠统版纳组中的卡林型金矿中，镉也能起到示踪金的指示

作用（转自涂光炽等，2004）。该矿区强镉异常（镉的地壳丰度仅为 0.2×10^{-6}）的规模化"T"字型分布，有可能是隐伏金矿的良好指示，镉已达数十倍的富集，在找寻卡林型金矿的同时，应考虑镉（锌）等多元素成矿（同位共生或异位分带产出）的可能性。

云南某矿业公司根据笔者的预测成果初步完成了相关矿业权的收购，即将展开对该地区金矿的地质地球化学系统勘查工作，深边部找矿工作也将渐进展开。

3、个旧锡、铜、铅、锌、金多金属矿区外围中低温金（锑）矿区成矿预测

个旧锡多金属矿床是我国乃至世界闻名的超大型矿床，产于个旧花岗岩接触带附近，北西向红河断裂、北东向弥勒—师宗断裂、南北向小江断裂大致交汇于该区，个旧锡多金属矿以西，地层由新至老，主要为中三叠统个旧组和上古生界地层，东南主要出露中三叠统个旧组地层，近年来秦德先等（2001，2004）认为个旧锡多金属矿床经历了印支期裂谷环境基性火山-沉积成矿，喷流热水沉积成矿和燕山期花岗岩改造（叠加）成矿，黎应书（2005）认为玄武岩成锡多金属矿主要表现在两方面：一是提供一定的物质来源，二是直接控制花岗岩的形态产状进而控制矿体的产出位置、形态和产状。

个旧外围地区中低温金（锑）矿区预测，到目前为止，从未有人提及，根据翟裕生院士提出的"从直接找矿信息入手"的预测准则，本文提出个旧锡多金属矿外围金多金属矿成矿预测问题，依据如下：

（1）个旧地区位于滇黔桂菱环块体之西端角点附近，传统上将其划归华南地槽褶皱系西南缘滇东南台褶带，西接扬子准地台，南连越北古陆，位居三大构造单元的接合部位。板块构造环境为印度板块、欧亚板块和太平洋板块三大板块的交结部位（郭令智等，2001；王承书，2002；秦德先等，2004；谈树成等，2004），具有形成 Sn-Cu-Pb-Zn- Ag-Au-Sb 等大型—超大型矿床的有利大地构造背景（梅燕雄等，1997；方维萱等，2000）。

（2）个旧外围地区既有上古生界地层出露（建水南东），更为大面积的中三叠统个旧组（T_2g）碳酸盐岩地层覆盖，T_2g 及以下广泛发育海西—印支期玄武岩、玄武质火山熔岩、火山碎屑岩。玄武质系列岩石既可能是花岗岩接触带附近以锡为主的中高温多金属矿床的矿质来源，也可能是远离花岗岩接触带的以金为主的中低温矿床的矿质来源，也即在金（锑）等大规模成矿的矿质来源上是有保障的，从成矿系列的角度，个旧外围地区存在金（锑）等中低温矿产的缺位。

（3）加里东、海西、印支、燕山和喜山等构造运动在区内皆有不同形式、不同程度的表现（张洪培，2007），尤以印支—燕山运动表现最为强烈。印支—燕山期一方面是本区基性岩、花岗岩的主成岩期，也是锡、金等多金属矿产的主要成矿期，在整个个旧地区表现尤为突出，不论是基性岩的先期成矿还是花岗岩

的后期叠加（改造）成矿等成矿作用也有充分的保障。

（4）前已述及个旧卡房南部花岗岩接触带附近中型夕卡岩型金矿的产出已清楚表明中高温成金的可能性，在滇东南地区邱北腻脚（邱北隐伏花岗岩外围）已发现中三叠统个旧组（T_2g）碳酸盐岩地层中断层附近有卡林型金矿产出，有理由认为在个旧外围地区离花岗岩稍远的构造有利部位（只需要中低温即可）完全可能形成具一定规模的卡林型金矿。

（5）区域地球化学资料表明，个旧矿区外围北西 30km 以远（距花岗岩约 20km）、卡房南 10km、卡房南东 20km 分别出现多个具相当规模的 Au、As、Sb、Hg 综合异常区，Au 异常含量多为 n-n×10×10^{-9}（图 6-5 为个旧矿区外围某 Au、As、Sb、Hg 综合异常），从异常组合和离花岗岩、中高温锡多金属矿的距离看，极利于卡林型金矿的成矿。

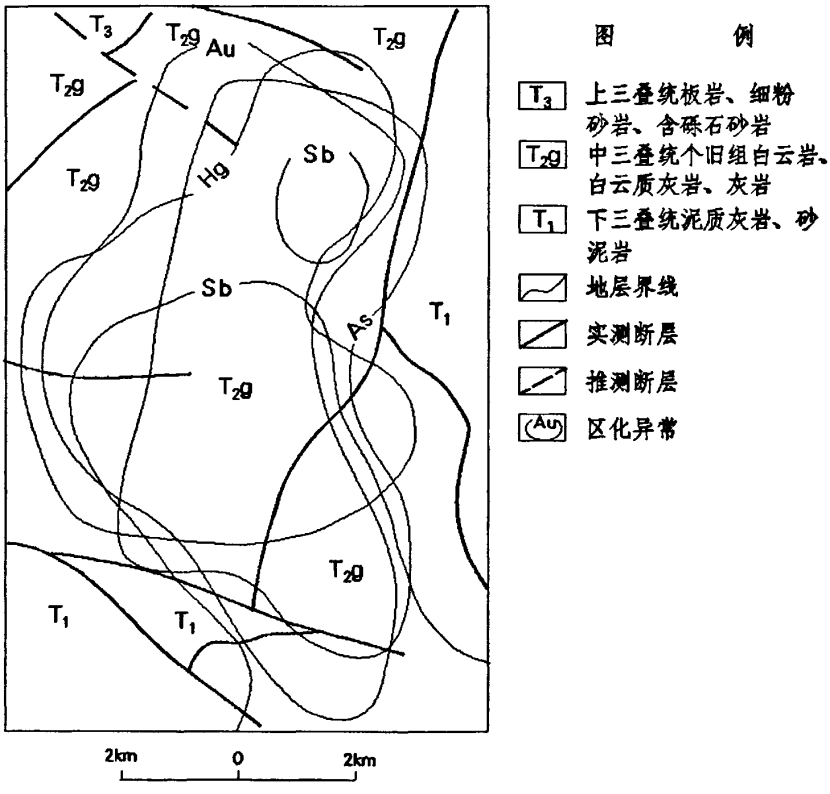


图 6-5 滇东南个旧矿区外围某 Au、As、Sb、Hg 综合异常图

（6）野外工作成果简介：笔者曾对图 6-5 所示 Au（As、Sb、Hg）异常区（区化异常面积近 70km^2）展开金的地质地球化学初步调查（图 6-6），查证面积约 30km^2，金样品分析 660 件，发现金异常（大于 50×10^{-9}）呈串珠状、带状沿北东向、北西向、南北向展布，表明异常受多组断裂控制，并出现多个大于 500×10^{-9} 的异常极值点，现场还发现近 1g/t 的矿化点。但是，由于异常面积过大、

工作时间较短、工作程度不够和中三叠统个旧组（T_2g）碳酸盐岩地层覆盖严重，因而暂未取得找矿突破。

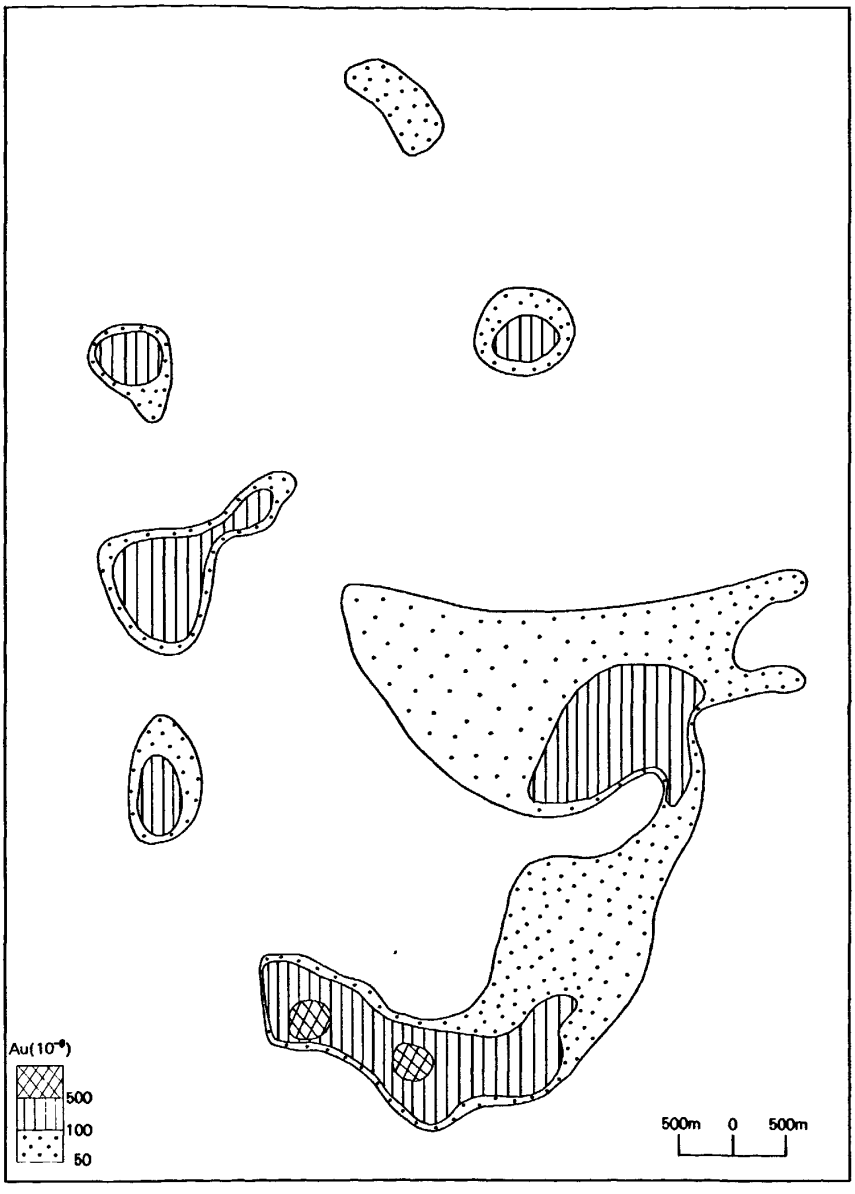


图 6-6 滇东南个旧矿区外围某金异常初步查证成果图

根据上面的分析，个旧矿区外围应具备形成大型甚至超大型卡林型金（锑）矿床条件，如能取得突破，将彻底改变滇东南及邻区卡林型金矿出右江幔隆中心（裂谷带）向外矿化渐弱，矿床规模变小的传统认识，也有助于滇东南地区师宗、弥勒、开远、砚山、邱北一带三叠系地层中大量低温元素 Au、As、Sb、Hg 组合异常找矿工作的进一步突破。要实现这一“革命性”的突破，必须在加大地表地物化遥基础工作的同时，大胆进行深穿透地球化学找矿。

6.2.4 滇东南（超）大型原生矿找矿前景的思考

滇东南地区经过二十多年的不懈努力，已发现金矿床（点）50 余个，金异常区更为常见，说明本区浅表金矿化强烈且普遍。

然而，目前所发现的金矿规模大多较小，大于 20 吨的金矿床屈指可数，大于 100 吨的金矿鲜见；而开发的多在表生氧化带内，勘查深度大多不超过 200 米。近年于美国卡林型金矿集中区深部，所发现的富硫化物脉状富金矿床（Lewis Teal 等，1997；王登红，2000），表明普遍发育卡林型金矿的地区，有可能于深部找到大规模的富金矿床。

我们分析认为，滇东南地区可望率先取得大型至超大型原生金矿的找矿突破，理由如下：

1、本区处于越北古陆与右江裂谷的过渡带上，深大断裂长期多次活动，基性与酸性岩浆活动频繁而强烈，地热活动持续时间长，有利于深部含金物质上侵至地壳上部成矿。

2、本区靠近右江裂谷带的丘北-广南-富宁北侧地区，既有巨厚的复理石、类复理石建造，（隐伏）辉绿岩、玄武岩也广泛发育，具有形成（超）大型原生金矿的物质前提。以富宁者桑金矿为例，矿体产于富宁-关岭南北向断裂东侧，者桑复式短轴背斜轴部，上世纪 90 年代初，仅在地表二叠系吴家坪组（P_2w）发现几条规模不等的金矿（化）体呈脉状平行产出，经过十多年的勘查开发，金矿脉向深部连为一片，在玄武岩（P_2e）、辉绿岩中也发现颇具规模的金矿（化）体，矿区外围数公里范围内三叠系中统百蓬组甚低背景中已发现小型金矿床和金、砷、锑综合异常（无汞异常），表明深边部仍有很大的找矿空间，随着勘采工作的进一步深入，金矿规模有可能进一步扩大。

3、滇东南地区越北古陆北缘文山-西畴一带加里东不整合面附近目前已发现颇具规模的西畴曼龙沟、广南老寨湾、富宁革挡等金矿，这些金矿皆有辉绿岩脉相伴产出，革挡金矿与外围基性岩微量元素含量变化、稀土配分型式基本相同（图 4-6，4-8），而据区域航磁资料（图 4-1），在文山-西畴一带，尚有隐伏基性岩存在，现有勘采工作表明，在不整合面之下的奥陶系南津关组（O_1n）灰岩破碎带中富金矿体陡倾向下延伸，显示该区今后深部找寻（超）大型原生矿具有良好前景。

4、文山-西畴一带产出的颇具规模的金矿和越北高平裂谷带附近产出的超大型巴朗金矿，清楚表明滇黔桂菱块体内，成矿元素金除右江裂谷外仍有其它上升通道。如在滇东南地区西部个旧地区，受北东向弥勒-师宗断裂和北西向红河断裂挟持，岩浆活动频繁，岩类复杂，花岗岩外围金、砷、锑、汞异常齐备且套合极好，金异常颇具规模（如预测实例 3），是找寻（超）大型金矿的有利地区。

第七章 结 论

1、结合对卡林型金矿研究现状的探讨，提出了卡林型金矿的再定义问题，亦即：①对卡林型金矿应“只求同”（要求其最基本的表面的特征相同或相似），“须存异”（容矿岩石、产出地质背景、成因等有所不同），卡林型金矿本身不具有成因意义，不是一种成因类型；②判别卡林型金矿的标准有四：a、金呈（超）微细粒存在于不同的容矿岩石中；b、容矿岩石构造以浸染状为主；c、成因上只能统一于中低温热液成矿；d、区带上集中分布；③依据四条标准，将卡林型金矿定义为区带上集中分布的（超）微细、浸染、中低温热液矿床。

2、运用地物化遥等资料系统论述了滇黔桂菱环块体（“金三角”）区域成矿地质背景，从区域地球物理资料出发，肯定了右江裂谷带（幔隆带）的存在，应用区域地球化学资料论证了滇黔桂“金三角”地区卡林型金矿的物源主要与裂谷和区域性深大断裂附近峨眉地幔柱长期活动相伴的基性火成岩及火山碎屑浊流沉积有关，区域构造运动及其与之相伴的酸性和基性岩浆活动是滇东南地区乃至滇黔桂地区金矿成矿作用最为主要的热源。

3、论证了南盘江洋盆的形成与演化，是印度板块与欧亚板块相互碰撞导致地幔上隆引起玄武岩喷发和水平拉伸在构造薄弱地段造成差异性下陷的结果，从区域地层地球化学角度指出右江裂谷活动至少始于寒武纪，随着时间的推移，由桂西北往滇东南、黔西南逐渐裂开。

4、对滇东南地区卡林型金矿地质特征作了概略性介绍，从卡林型金矿的定义出发，根据金矿的产出特点、容矿岩石等对滇东南地区卡林型金矿进行了简单明了、易判识的分类，将滇东南地区卡林型金矿分为：细碎屑岩-不纯碳酸盐岩型、不整合面型、基性岩型、红色粘土型。

5、论述了滇东南地区卡林型金矿含金建造、岩浆岩、构造等控矿要素地球化学特征及其与卡林型金矿的关联，以典型矿床为例探讨了卡林型金矿常量元素、微量元素、稀土元素、包裹体、同位素和黄铁矿单矿物等地球化学特征。

6、在系统总结滇东南地区卡林型金矿地质地球化学特征的基础上，系统论述了滇东南地区卡林型金矿成矿作用，指出壳幔不均一性及其相互作用→预成矿作用→成矿作用（中高温、中低温）→后成矿作用是大自然对壳幔物质所进行的一系列“选矿”过程，各种成矿作用之间既相互联系又递进发展，卡林型金矿的形成是多因耦合的结果。提出了“预成矿作用”的概念、可能性及其对卡林型金矿等中低温矿产成矿作用的重要影响，从元素地球化学基本理论出发，探讨了金的迁移沉淀机制，指出金与砷、锑、汞及硅、有机质的异常组合关系，并不是卡林型金矿所特有的，而是中低温成矿流体在成矿系统中所必然发生的水岩反应。

7、用成矿系列的理论将滇东南地区的金矿与钨锡、铜铅锌银、金砷锑汞等矿产进行时空上的关联，提出滇东南地区乃至滇黔桂“金三角”地区主要存在如下成矿系列组合：①越北古陆北缘与南盘江盆地演化相关联的预成矿系列组合：W、Sn、Mo→Pb、Zn→Au、Sb、As、Hg→Fe、Mn 在空间上总体由隆起区向外分带性出现；②与峨眉地幔柱活动相关联的中低温成矿系列组合：Cu、Pb、Zn、Ag→Au、Sb、Hg、Te、Se；③与燕山期花岗岩浆活动、区域构造运动相关联的叠加改造成矿系列组合：Sn、Cu、W、Be、Bi、Au→Cu、Pb、Zn、Ag→Au、As、Sb、Hg，在花岗岩接触带及外围形成比较完整的成矿系列，在无花岗岩浆活动地区由构造地温场驱动形成 Au-As-Sb-Hg（Pb-Zn-Ag）中低温成矿系列组合。提出了滇东南地区卡林型金矿矿床成因的三因素：（1）壳幔的不均一性及地球从起始演化到现在的过程中元素的分布再分配是形成矿种区域矿种空间分布差异的基础因素；（2）预成矿作用是滇东南地区主要沿加里东不整合面形成数量众多的不整合面型金矿的重要因素；（3）越北古陆的向北逆冲推覆和几大板块及次级块体之间的平移走滑所形成的驱动热力和与此相关的断褶带、层间破碎带、岩体外围由岩浆侵位、冷缩形成的密集张裂带是滇东南乃至滇黔桂“金三角”地区卡林型金矿及其他内生矿产形成的决定因素，进一步总结了滇东南地区卡林型金矿成矿规律和成矿模式。

8、在系统总结滇东南地区卡林型金矿成矿规律的基础上，以成矿系列理论、区域成矿学、成矿预测学和找矿系统工程学为指导，以导师所搭建的产学研基地为平台，对曼龙沟金矿深边部及外围新区进行了找矿预测和工程验证，大幅度地增加了曼龙沟金矿的可采储量，可望将此矿点发展为中型以上金矿床；同时结合笔者多年来对滇东南地区所收集的资料和所做的实地考察，首次提出了个旧矿区外围和邱北某金矿深部具找寻上规模卡林型金矿的预测观点。滇东南乃至滇黔桂“金三角”地区有望取得大型、超大型原生金矿的找矿突破。

9、传统上认为金的成矿与右江裂谷带有直接关系，离右江裂谷带越远，矿床规模越小，本区老寨湾金矿、曼龙沟金矿、底圩金矿等一批颇具规模的不整合面型、基性岩型等非传统卡林型金矿的发现以及滇黔桂菱环块体内越北高平裂谷带边缘出现的巴朗超大型金矿等的出现，首次提出在滇黔桂菱环块体内除右江裂谷外金等亲铁元素仍然有其他上升通道，这也是本文对个旧矿区外围进行预测的理由所在。

需要指出的是，尽管本论文取得了上述初浅的认识和成果，但限于项目研究经费、研究周期和研究水平，尚存在许多不足乃至谬误。本文虽然在大量找矿实践的基础上，收集了该区大量的地质矿产资料，然而相当一部分资料仅限于描述式的和仅以找矿为目的的，一部分颇具规模的金矿资料仍处于保密状态，对具体

矿床（点）的系统研究资料明显不足，如到目前为止整个滇东南地区尚没有一个金矿对同位素年代学进行过探讨，所发现的金矿床（点）大多为近地表氧化矿，包裹体对成矿流体的探讨也受到一定的限制，这些都无疑增加了写作本文的难度。这些问题的解决都有待于今后找矿工作的进一步深入和资料的进一步积累，从而推动滇东南地区卡林型金矿成矿作用、成矿规律的研究，从而进一步提高成矿预测的水平。

参考文献

[1] Radtke, A. S. Geology of the Carlin gold deposit, Nevada: USGS openfile. 1981, 187: 81~97

[2] Cox, D.P. and Singer, D.A., Grade and tonnage model of distal disseminated Ag–Au, in Bliss, J.D., ed., Developments in mineral deposit modeling: U.S. Geological Survey Bulletin, 2004, 1992, p. 20~22.

[3] Zhiping Li, Stephen G. Peters, Comparative Geology and Geochemistry of Sedimentary-Rock-Hosted (Carlin-Type) Gold Deposits in the People's Republic of China and in Nevada, USA, U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR, U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 1998, 1~12

[4] Lewis Teal, Mac Jackson, Geologic Overview of the Carlin Trend Gold Deposits and Descriptions of RecentDeep Discoveries, CARLIN-TYPE GOLD DEPOSITS FIELD CONFERENCE Edited by Peter Vikre, Tommy B. Thompson, Keith Bettles et al., SOCIETY OF ECONOMIC GEOLOGISTS, 1997: 3~37

[5] 王登红. 卡林型金矿找矿新进展及其意义. 地质地球化学, 2000, 28(1): 92~94

[6] 谭延松. 石峡微细浸染型金矿金的赋存状态及其回收预测. 地质与勘探, 1980(9):

[7] 王学求. 矿产勘查地球化学：过去的成就与未来的挑战. 地学前缘, 2003, 10(1): 239~246

[8] 张复新, 侯俊富, 张存旺, 等. 甘肃阳山超大型卡林一类卡林型复合式金矿床特征. 中国地质, 2007, 34(6): 1062~1072

[9] A. S. 拉德克. 卡林金矿地质学. 贵州省地质矿产局科技情报室, 1987, 57~72

[10] 韦永福, 吕英杰, 等. 中国金矿床. 北京: 地震出版社, 1994. 39~49

[11] 李舒, 李景春, 邵军, 等. 中国金矿床工业类型及其特征. 北京: 地震出版社, 1999. 1~8

[12] 陈毓川, 李兆鼎, 母瑞身, 等. 中国金矿床及其成矿规律. 北京: 地质出版社, 2001. 2~11

[13] 刘东升, 谭运金, 王建业, 等. 中国卡林型（微细浸染型）金矿. 南京: 南京大学出版社, 1994. 1~36

[14] 张贻侠, 寸珪, 刘连登, 等. 中国金矿床进展与思考. 北京: 地质出版社, 1996. 10~21

[15] 波利申科, 纳乌莫夫, 巴甫洛娃, 等. 卞善涛, 蒋琪, 译. 金一汞矿床: 矿床类型、分布规律和成因模式. 云南地质, 2006, 25(1): 45~52

[16] Stephen G. Peters, Huang Jiazhan, Li Zhiping, et al. Introduction to and Classification of Sedimentary Rock-Hosted Au Deposits in P.R.China. USGS, 2002: 26~43

[17] Mao J, Qiu Y, Goldfarb, et al. Geology, distribution, and classification of Gold deposits in the western Qinling belt, China. Min Dep, 2002, 37: 352~377

[18] A. H. Hofstra, P. Emsbo, W.D. Christiansen, et al, Source of ore fluids in Carlin-type gold deposits, China: Implications for genetic models, Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge, Proceedings of the Eighth Biennial SGA Meeting , Beijing, China, 18~21 August 2005: 533~536

[19] 刘继顺, 舒广龙, 高珍权. 鄂东丰山矿田卡林型金矿地质地球化学特征. 地学前缘, 2004, 11(2): 379~385

[20] Herzig P M, Hannington M D. Polymetallic massive sulfides at the modern seafloor-areview. Ore Geol Rev, 1995, 10: 95~115

[21] 李朝阳. 有关卡林型金矿的几点认识. 矿物学报, 1995, 15(2): 132~137

[22] 涂光炽. 低温地球化学. 北京: 科学出版社, 1996. 1~202

[23] 王可勇, 姚书振, 吕新标. 国内外微细浸染型金矿床研究现状及发展趋势. 贵金属地质, 2000, 9(4): 223~228

[24] Kuehn C.A., Rose A.W. Carlin gold deposit. Nevada: Origin in a deep zone of mixing between normally pressured and overpressured fluids, Ec onomic, Geology, 1995, 90: 17~36

[25] Sillitoe R.H., Bonham H.F. Sediment-hosted gold deposits; distal products of magmatic-hydrothermal systems. Geology. 1990; 18: 157~161

[26] 谭运金. 滇黔桂地区微细粒浸染型金矿床的地球化学类型. 矿床地质, 1994, 13(4): 308~321

[27] 侯宗林, 杨庆得. 滇黔桂地区微细浸染型金矿成矿条件及成矿模式. 地质找矿论丛, 1989, 4(3): 1~11

[28] 万兵. 滇黔桂三角区金（银）矿床地质特征及成矿条件. 矿产与地质, 1991, 5(3): 169~172

[29] 张兴余译. 碳酸盐岩为主岩的浸染型金矿床形成模式. 国外铀矿地质, 1998, (2): 12~18

[30] Nessbitt B E. Gold deposit continuum: A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust. Geology, 1988, 16: 1044~1048

[31] 王登红, 林文蔚, 杨建民, 等. 试论地幔柱对我国两大金矿集中区的控制意义. 地球学报, 1999, 20(2): 157~162

[32] 高振敏, 李红阳, 杨竹森, 等. 滇黔地区主要类型金矿的成矿与找矿. 北京: 地质出版社, 2002. 30~58

[33] Wang G Z, Hu R Z, Su W C, et al. Fluid flow and mineralization of Youjiang Basin in the Yunnan-Guizhou-Guangxi area,China. SCIENCE IN CHINA(Series D), 2003, Vol. 46 Supp: 99~109

[34] 周余国, 刘继顺, 王作华, 等. 从滇黔桂"金三角"区域地层地球化学特征探讨卡林型金矿的物质来源. 地学前缘, 2009, 16(2): 1~10

[35] 张秋明译. 矿床模式(九): 浸染型金矿床. 国外矿产地质, 1987, (1):1~4

[36] 汪东坡, 邵世才, 徐勇. 金矿化过程中两个地球化学问题探讨. 地球科学一中国地质大学学报, 1999, 24(3): 292~296

[37] 汪东波. 金与铅锌矿化的关系. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 345~348

[38] 刘家军, 刘建明, 顾雪详, 等. 黔西南微细浸染型金矿的喷流沉积成因. 科学通报, 42 卷: 2126~2127

[39] 刘家军, 郑明华, 顾雪祥, 等. 海底喷流作用对金富集成矿的意义. 矿产与地质, 1997, 11(5): 289~295

[40] 周余国, 刘继顺, 欧阳玉飞, 等. 卡林型金矿的再定义. 黄金, 2008, 29(11): 7~11

[41] 谢学锦. 区域化探全国扫面积划. 物化探研究报导, 1978, 3: 28~36

[42] 王淑玲. 世界矿产资源年评 2003: 金. 国土资源部信息中心编:183~194

[43] 杨科佑, 等. 滇黔桂及川西北卡林型金矿. 中国科学院黄金科技工作领导小组办公室编, 中国金矿研究新进展. 北京: 地震出版社, 1994. 284~350

[44] 周永峰. 区域重力资料研究在广西深部地质和成矿预测中的应用. 广西地质, 1993, 2

[45] 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造基本轮廓.地质学报, 1977, 51(2): 117~135

[46] 张文佑. 中国及邻区海陆大地构造图. 北京: 科学出版社, 1983

[47] 张文佑. 断块构造导论. 北京: 石油出版社, 1984

[48] 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化. 北京: 科学出版社, 1980: 1~124.

[49] 广西壮族自治区地质矿产局. 广西壮族自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1985: 1~853

[50] 柳淮之, 钟自云, 姚明, 等. 右江裂谷带初探. 桂林冶金地质学院学报,

1986, 6(1): 9~19

[51] 王鸿桢. 中国华南地区地壳构造发展的轮廓－华南地区古大陆边缘构造史. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1986. 1~15

[52] 刘本培. 华南地区海西印支阶段构造带地理格局//王鸿桢, 杨巍然, 刘本培. 华南地区古大陆边缘构造史. 武汉: 武汉地质学院出版社. 1986

[53] 许靖华, 孙枢, 李继亮. 是华南造山带而不是华南地台. 中国科学(B), 1987, 10: 1107~1115

[54] 王宝禄, 郭富达, 何邵麟, 等. 华南地区物探化探遥感成果编图/黔桂滇重点片综合解释成果报告. 地矿部华南地区物探化探遥感编图委员会滇黔桂重点片综合解译组, 1995, 1~180

[55] 朱炳泉, 常向阳, 邱华宁, 等. 地球化学急变带的元古宙基底特征及其与超大型矿床产出的关系. 中国科学(D辑), 1998a, 28(增刊): 63~70

[56] 朱炳泉, 常向阳. 地球化学省与地球化学边界. 地球科学进展, 2001, 16(2): 153~162

[57] 朱炳泉. 壳幔化学不均一性与块体地球化学边界研究. 地学前缘, 1998, 5(1、2): 72~82

[58] 梅冥相, 马永生, 邓军. 加里东运动构造古地理及滇黔桂盆地的形成. 地学前缘, 2005, 3: 227~236

[59] 陈旭等, 戎嘉余, 周志毅, 等. 上扬子区奥陶-志留纪之交的黔中隆起和宜昌上升. 科学通报, 2001, 46(12): 1052~1056

[60] 苏文博. 上扬子地台东南缘奥陶纪层序地层及海平面变化研究. 北京: 地质出版社, 2001. 1~106

[61] 马文璞. 区域构造解析-方法理论和中国板块构造. 北京: 地质出版社, 1992. 1~308

[62] 章雨旭. 地质学研究中常见逻辑方面的问题分析. 高校地质学报, 2006, 12(1): 147 ~152

[63] 赵自强, 丁启秀. 中南区区域地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 71~118

[64] 曾允孚, 张锦泉, 刘文均, 等. 中国南方泥盆纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 2001: 1~120

[65] 梅冥相, 马永生, 戴少武, 等. 南盘江盆地晚古生代盆地充填序列特征及生储盖组合划分. 现代地质, 2001, 15(1): 74~82

[66] 梅冥相, 马永生, 高金汉, 等. 滇黔桂盆地及其邻区晚古生代层序地层格架及相对海平面变化. 现代地质, 2002, 16(4): 365~373

[67] 梅冥相, 李仲远. 滇黔桂地区晚古生代至三叠纪盆层序地层序列及沉积盆地演化. 现代地质, 2004, 18(4): 555~563

[68] 吴浩若. 晚古生代-三叠纪南盘江海的构造古地理问题. 古地理学报, 2003, 5(1): 63~74

[69] 章正军, 丁俊, 赵珉. 滇东南及邻区晚古生代-中生代沉积盆地演化及微细粒型金矿成矿作用分析. 云南地质, 1996, 15(3): 282~288

[70] 翟佑华, 朱凯, 万子益, 等. 桂黔滇毗邻地区红土型金矿地质特征与赵矿选区研究. 2001: 1~98

[71] 郑荣才, 张锦泉. 滇东黔西南泥盆纪构造格局及岩相古地理演化. 成都地质学院学报, 1989, 1(1): 51~60

[72] 吴怡. 广西泥盆纪火山岩及其分布特征. 广西地质, 1991, 4(4): 17~26

[73] 吴浩若, 邝国敦, 王忠诚. 桂西北晚古生代基性岩的再认识及其大地构造意义, 地质科学, 1993, 28: 288~289

[74] 吴浩若, 邝国敦, 王忠诚. 广西晚古生代构造沉积背景的初步研究. 地质科学, 1997, 32: 11~18

[75] 云南地矿局. 中华人民共和国区域地质调查报告富宁幅(1:20 万).1978

[76] 钟大赉, 吴根耀,季建清,等. 滇东南发现蛇绿岩. 科学通报, 1998, 43(13): 1365~1370

[77] 苏文超. 杨子地块西南缘卡林型金矿成矿流体地球化学研究[博士论文]: 贵阳: 中国科学院贵阳地球化学研究所, 2002

[78] 宋谢炎, 侯增谦, 汪云亮, 等. 峨眉山玄武岩的地幔热柱成因. 矿物岩石, 2002, 22(4): 27~32

[79] 张旗, 钱青, 王焰, 等. 扬子地块西南缘晚古生代急性岩浆岩的性质与古特提斯洋的演化. 岩石学报, 1999, 15(4): 576~583

[80] 张成江, 刘家铎, 刘显凡, 等. 峨眉火成岩省成矿效应初探. 矿物岩石, 2004, 24(1): 5~9

[81] 侯增谦, 卢纪仁, 汪云亮, 等. 峨眉火成岩省：结构、成因与特色. 地质论评, 1999, 45(增刊): 885~891

[82] Hu R Z, Su W C, Bi X W, et al. Geology and geochemistry of Carlintype gold deposits in China. Mineralium Deposita, 2002, 37: 378~392

[83] Gill J B, Oregenic and plate tectonics. Berlin: Springer-Verlag, 1981: 358

[84] 肖龙, 徐义刚, 梅厚钧, 等. 云南金平晚二叠纪玄武岩特征及其与峨眉地幔柱关系——地球化学证据. 岩石学报, 2003, 19(1): 38~48

[85] 杨科佑, 等. 滇黔桂地区微细浸染型金矿成矿条件和矿床预测研究(科

研报告). 1992

[86] 谢学锦, 刘大文, 向运川, 等. 地球化学块体－概念和方法学的发展. 中国地质, 2002, 29(3): 225~233

[87] 涂光炽, 高振敏, 胡瑞忠, 等. 分散元素地球化学及成矿机制. 北京: 地质出版社, 2004. 69~115

[88] 李方夏. 东南亚地质矿产与矿业经济. 1995, 52~138

[89] 江鑫培. 滇东南地区金矿类型及成矿地质条件分析. 云南地质, 1996, 15(3): 277~281

[90] 杨云保. 滇东南微细粒金矿成矿讨论. 地质与勘探, 2004, 40(3): 31~35

[91] 李志伟, 刘和林, 钱祥贵. 不整合界面及其后期转化在金矿成 2 矿中的意义-以滇黔桂毗邻区金矿为例. 大地构造与成矿学, 2000, 24(增刊): 52~57

[92] 周余国, 刘德利, 刘继顺. 滇东南曼龙沟金矿地质地球化学特征. 地学前缘, 2005, 12(4): 534

[93] 焦玉凯. 滇东南广南地区金矿床地质特征及成因研究. 广西地质, 2002, 15(3): 41~45

[94] 吕世琨, 李爱平, 杨绍文, 等. 滇东南那能金矿带之断裂控矿. 云南地质, 2003, 22(1): 47~55

[95] 云南省矿业协会黄金课题组. 云南省黄金资源前景及开发战略部署研究. 1992: 65~125

[96] 刘继顺, 周余国, 韩海涛, 等. 滇东南底圩金矿地质特征及找矿预测. 吉林大学学报, 2007, 37(4): 652~658

[97] 国家辉, 陈树旺, 崔显德. 金坝金矿床地质特征.地质与资源, 2001a, 10(2): 71~79

[98] 曾祥平. 胜境关-东铺金矿矿田地质. 云南地质, 2003, 22(1): 39~46

[99] 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矿的关系. 北京: 地质出版社, 2004. 87~118

[100] 於崇文, 唐元骏, 石平方, 等. 个旧锡-多金属成矿区内生成矿作用的动力学体系. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988. 2~82

[101] 官容生. 滇东南构造岩浆带花岗岩体的含矿性探讨. 矿物岩石, 1991, 11(1): 92~101

[102] 王新光, 朱金初. 个旧花岗岩的成因、演化及其成矿意义. 大地构造与成矿学, 1992, 16(16): 79~387

[103] 俞开基. 老君山锡多金属矿区地质概论. 地质与勘探, 1984, 20(11): 2~7

[104] 李志群. 个旧复式侵入岩体成岩系列研究. 云南地质, 1992, 11(1): 15~20

[105] 高子英. 蒙自白牛厂银多金属矿床的成矿作用. 昆明: 云南科技出版社, 1998. 14~96

[106] 张世涛, 陈国昌. 滇东南薄竹山复式岩体的地质特征及其演化规律. 云南地质, 1997, 222~230

[107] 涂光炽. 西南秦岭与西南贵州铀金成矿带及其与美国西部卡林型金矿的类似性. 铀矿地质, 1990, 6(6): 321~325

[108] 马振东, 李艳霞. 沉积改造型矿床的物源及富集机制的地球化学研究. 矿床地质, 1999, 18(2): 110~120

[109] 毛景文, 李红艳, 王登红. 华南地区中生代多金属矿床形成与地幔柱关系. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 19(2): 110~120

[110] 李余华. 滇东南金成矿区资源信息集成于靶区圈定: [工程硕士论文]. 昆明：昆明理工大学, 2005

[111] 韦龙明, 卢汉堤, 刘东升, 等. 卡林型金矿床稀土元素地球化学. 矿产与地质, 1995, 9(50): 487~492

[112] 国家辉. 金坝金矿床成矿作用探讨及找矿条件、标志分析. 地质与资源, 2001b, 10(3): 153~161

[113] 靳是琴, 李鸿超. 成因矿物学（下）. 长春:吉林大学出版社, 1984. 32~50

[114] 邵洁涟. 金矿找矿矿物学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988. 1~72

[115] 贾大成, 胡瑞忠. 滇黔桂地区卡林型金矿成因探讨. 矿床地质, 2001, 20(4): 379~383

[116] 李振海, 王国田, 陈尚迪, 等. 广西金牙金矿床地质特征及成因. 刘东升主编，中国卡林型（微细浸染型）金矿.南京: 南京大学出版社, 1994. 37~78

[117] Chung S L, John B M. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian –Triassic boundary. Geology, 1995, 23: 889~892

[118] Song X Y, Zhou M，Hou Z Q, Cao Z M, et al. Geochemical Constraints on the Mantle Source of the Upper Permian Emeishan Continental Flood Basalts, Southwester China. Inter geol rev, 2001, 43: 213~225

[119] Xu Y G, Chung S L, Jahn B M, et al. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southwester China. Lithos, 2001, 58: 145~168

[120] 黄智龙, 陈进, 刘丛强, 等. 峨眉山玄武岩与铅锌成矿：以云南会泽铅锌矿为例. 矿物学报, 2001, 31(4): 691~688

[121] 迟清华. 岩石化学元素丰度在地球化学块体研究中的意. 物探与化探, 2003, 27(6): 428~431

[122] 鄢明才, 迟清华. 中国东部地壳与岩石的化学组成. 北京: 科学出版社, 1997. 11~155

[123] 刘大文, 向运川, 连长云,等. 水系沉积物中的金属元素在中国东部不同构造单元的分布特征. 地质与勘探, 2002, 38(增刊): 156~163

[124] 黎应书, 秦德先, 党玉涛, 等. 锡矿床与基性岩超基性岩的关系探讨. 中国工程科学, 2005, 7(增刊), 269~274

[125] 殷成玉, 邓燕芷, 马洁, 等. 个旧锡矿金银的赋存状态即赋存规律. 云南地质, 1990, 9(7): 65~74

[126] 黎应书. 云南个旧玄武岩及其成矿作用研究: [博士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学，2005

[127] 李家和. 个旧含金矽卡岩矿床. 西南矿产地质, 1990, 4(4): 66~73

[128] 刘凤山, 石准立. 国外岩浆热液成矿理论研究现状与进展. 地质科技情报, 1994, 13(2): 75~81

[129] 阮天建, 朱有光, 地球化学找矿. 北京: 地质出版社, 1985. 45~58

[130] 李文达. 华南红土化作用地球化学及红土型金矿形成的可能性. 北京: 地质出版社, 1995

[131] 陈守金, 等. 中国南方不可忽视的金矿新类型-红土型金矿. 矿产资源定量预测及勘查评价，1999

[132] 潘锦. 红土化作用国际讨论会. 地质科技动态, 北京：中国科学院, 1982

[133] 黄镇国, 张伟强, 陈俊鸿, 等. 中国南方红色风化壳. 北京: 海洋出版社, 1996

[134] 郎光武, 龙学耀. 滇东南地区岩溶型砂金矿床的产出特征及找矿方向. 云南地质, 1996, 15(4): 351~358

[135] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学. 北京: 科学技术出版社, 1984. 1~517

[136] 韦龙明, 刘鸾玲. 中国卡林型金矿床金的赋存状态研究. 地质与勘探, 1995, 31(6): 31~35

[137] Drews Armitage S P, Rornberger S B, Whitney C G. Clay alteration and gold deposition in the genesis of Blue star deposits, Eurka County, Nevada, Econ.

Geol., 1996, 91: 1383~1393

[138] 刘建明. 评《低温地球化学》. 自然科学进展, 1999, 9, 3: 283~285

[139] 何立贤, 曾若兰, 林立清. 贵州金矿地质, 北京: 地质出版社, 1993

[140] Disnar J R, Sureau J F. Organic matter in ore genanic. Progress and perapectives. Organic Geochemistry, 1990, 16(1~3): 577~599

[141] Gize A P, Manning D A. Aspects of the organic geochemistry and petrology of metalliferous ores. In: Engel M H Macko, S A (eds.), Organic Geochemistry. New York: Plenum Press, 1993. 565~580

[142] 李九玲, 亓锋, 徐庆生. 微细浸染型（卡林）型金矿成矿过程中碳和有机质的作用. 矿床地质, 1996, 15(3): 193~206

[143] 向才富, 庄兴国, 张文淮, 等. 成矿流体运移的输导体系研究-以右江地区微细浸染型金矿为例. 地质科技情报, 2000, 19(4): 65~69

[144] 向才富, 庄兴国, 陆有明, 等. 有机流体成矿作用与古油藏成藏作用的相互耦合-以右江盆地微细浸染型金矿为例. 地球科学－中国地质大学学报, 2002, 27(1): 35~39

[145] 向才富, 胡建武. 右江盆地流体运移过程中成矿与成藏作用. 地球学报, 2003, 24(5): 423~428

[146] 顾学祥, 李葆华, 徐仕海, 等. 右江盆地含油气成矿流体性质及其成藏-成矿作用. 地学前缘, 2007, 14(5): 133~146

[147] 傅家谟, 贾蓉芬, 刘德汉, 等. 碳酸盐有机地球化学. 北京: 科学出版社, 1989. 1~23

[148] 张金亮, 常象春. 金顶 Pb、Zn 矿床油气地球化学特征及其成矿作用探讨. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(2): 264~274

[149] 张起钻. 广西大厂锡多金属矿田 100 号矿体地质特征及成矿机理探讨. 矿产与地质, 1999, 13(6): 542~547

[150] 陈广坡, 徐国盛, 王天奇, 等. 论油气成藏与金属成矿的关系及综合勘探. 地学前缘, 2008, 15(2): 200~206

[151] 李惠. 金矿床地球化学异常评价. 吴昌荣编, 地球化学异常评价文集, 1989: 108~109

[152] R.G. 罗伯茨. 矿床模式讲座（十一）:太古宙岩金矿床. 国外地质科技, 1988, 3: 1~17

[153] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等. 初论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报, 1979, 第 1 号, 37~58

[154] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等. 再论矿床的成矿系列问题. 地质论评,

1983, (6): 1~33

[155] 翟裕生. 成矿系列研究问题. 现代地质, 1992, 6(3): 301～308

[156] 章少华, 蔡克勤. 成矿系列研究若干问题讨论. 地质论评, 1993, 39(5): 404~411

[157] 陈毓川. 矿床成矿系列. 地学前缘, 1994, 1(3~4): 90~93

[158] 王世称, 陈永清. 成矿系列预测的基本原则及特点. 地质找矿论丛, 1994, 9(4): 79~85

[159] 陈毓川. 矿床的成矿系列研究现状与趋势. 地质与勘探, 1997, 33(1): 21~25

[160] 翟裕生, 姚书振, 崔彬, 等. 成矿系列研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 192

[161] 翟裕生, 邓军, 李小波. 区域成矿学. 北京: 地质出版社,1999. 154~171

[162] 陈昌勇. 成矿系列研究现状及展望. 昆明理工大学学报, 1997, 22(2): 12~16

[163] 陈从喜, 沈宝琳, 蔡克勤. 矿床成矿系列研究评述. 建材地质, 1997, 5: 3~8

[164] 陈从喜, 沈宝琳. 矿床成矿系列研究的若干问题与方向. 地质论评, 1998, 44(6): 596~602

[165] 程裕淇, 宋天锐. 关于中国矿床成矿系列. 国外矿床地质, 1995, (4): 4~5

[166] 陈毓川, 裴荣富, 宋天锐. 中国矿床成矿系列初论. 北京: 地质出版社, 1998. 1~14

[167] 谭运金. 矿床地球化学类型与成因类型和成矿系列的关系. 中国钨业, 2000, 15(2): 16~20

[168] 谈树成. 个旧锡-多金属矿床成矿系列研究: [博士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2004

[169] 卢作祥, 范永香, 刘辅臣, 等. 成矿规律和成矿预测学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 1~245

[170] D. P. 考克斯, D. A. 矿床模式. 北京: 地质出版社, 1990. 1~378

[171] 张贻侠. 矿床模型导论. 北京: 地质出版社, 1993. 162~170

[172] R. V. Kirkham, W. D. Sinclair, R. I. Thorpe et al. Mineral Deposit Modeling. Geological Association of Canada Special Paper 40, 1993: 1~493

[173] Thomas M D, Parkhill M. Gravity and magnetic prospecting for massive

sulfide deposits . Atlantic Geology, 1996, 32(1): 87~88

[174] 张均. 矿床定位预测的研究现状与趋向. 地球科学进展, 1997, 12(3): 242~246

[175] Cooke D R, Large R R. Practical uses of chemical modeling: difining new exploration in sedimentary basins. A GSO J, Australian Geology and Geophysics, 1998, 17(4): 259~275

[176] 翟裕生. 走向 21 世纪的矿床学. 矿床地质, 2001, 20(1): 10~14

[177] 翟裕生. 论成矿系统.地学前缘. 1999, 6(1): 13~27

[178] 王仰之. 中国地质学简史. 北京: 中国科学技术出版社, 1994, 1~23

[179] 朱裕生. 矿产预测理论-区域成矿学向矿产勘查延伸的理论体系. 地质学报, 2006, 80(10): 1518~1527

[180] 刘石年. 成矿预测学. 长沙: 中南大学出版社, 1993. 1~25

[181] 秦德先. 个旧锡矿地矿床成因与找矿新发现. 昆明理工大学学报（理工版）, 2001, 26(6): 38

[182] 秦德先, 谈树成, 范柱国, 等. 个旧-大厂地区地质构造演化及锡多金属成矿. 矿物学报, 2004, 24(2): 117~123

[183] 翟裕生. 成矿系统研究的思维与方法-地球系统、成矿系统到勘查系统. 全国固体矿产勘查理论与技术方法高级培训班教材,北京: 中国矿业联合会地质勘察协会, 2007. 1~58

[184] 郑有业, 高顺宝, 张大全. 西藏朱诺斑岩铜矿发现的重大意义及启示. 地学前缘, 2006, 13(4): 233~239

[185] 郭令智, 钟志洪, 王良书, 等. 莺歌海盆地周边区域构造演化. 高校地质学报, 2001, 7(1): 1~12

[186] 王承书. 东南亚的活动俯冲和碰撞. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(1): 92~112

[187] 谈树成, 秦德先, 陈爱兵, 等. 个旧锡矿区区域地壳演化与成矿探讨. 2004, 矿物学报, 24(6): 157~163

[188] 梅燕雄, 朱裕生, 叶锦华. 中国超大型矿床的若干统计特征. 地球学报, 1997, 18(4): 358～366

[189] 方维萱, 胡瑞忠, 苏文超, 等. 初论特提斯构造域一些大型-超大型金属矿床集中区聚矿构造. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 409~413

附 表

滇黔桂毗邻地区金矿床（点）一览表

顺序号	矿床（点）名称	备注	顺序号	矿床（点）名称	备注
1	隆林县坡陇		41	百色市那洒	
2	民怀		42	那嫩	
3	大平		43	百慢	
4	上寨	小型	44	门屯	
5	播烈		45	龙和	小型
6	蔡家湾		46	那亮	
7	六楼		47	龙川	小型
8	者隘		48	世加	小型
9	马雄		49	凌云县弄华	
10	坡岩		50	红卜楼	
11	南来		51	新寨	
12	委六		52	弄内	
13	隆旺		53	明山	中型
14	隆怀	中型	54	逻楼	小型
15	太平	小型	55	弄米	
16	马窑		56	弄洞	
17	那桑		57	陇堆	
18	大冲头		58	坪上	
19	岩茶		59	那沙	
20	打洛		60	猫老壳	
21	塘房		61	那洪	
22	西林县田湾		62	乐业县浪全	小型
23	八桥		63	良弄	小型
24	田林县倮的		64	弯里	小型
25	大瑶寨		65	中里	
26	金龙山	小型	66	故里	
27	高龙	中型	67	大麻	
28	龙爱		68	烟棚	
29	八渡		69	看牛坪	
30	那比		70	弄多	
31	百地		71	磨里	
32	赖轰		72	天峨县岭团	
33	板老		73	那弱	
34	平山		74	更新	
35	三邦		75	岜岩	
36	平旺		76	八南屯	小型
37	尾龙	小型	77	纳益	
38	百色市六琶		78	牛坪	
39	岜蕉湾		79	龙潭	
40	百练		80	牛坪	

顺序号	矿床（点）名称	备注	顺序号	矿床（点）名称	备注
81	天峨县表米洞		121	盘县芹菜坪	小型
82	天峨县岜暮		122	沙场	小型
83	凤山县金牙	中型	123	沙锅厂	小型
84	下牙		124	水淹塘	
85	蔡家坪		125	普安县泥堡	小型
86	海亭		126	晴隆县沙子岭	
87	坡心		127	固路	
88	谋屯		128	老万场	大型
89	老里		129	兴仁县紫木凼	大型
90	东南县三卡林站		130	大丫口	
91	巴马县心屯		131	兴义市沙地	
92	向拉		132	陇纳	小型
93	六午	小型	133	安龙县戈塘	大型
94	龙酬		134	豹子洞	小型
95	农田		135	贞丰县三岔河	
96	田阳县笼针	砂金	136	卡务	
97	叫曼	小型	137	洛东	
98	布河屯		138	者冗	
99	治塘		139	烂泥沟	大型
100	陇光		140	册亨县塘新寨	
101	槽马忐达		141	央有	小型
102	惠洞		142	板年	
103	田东县巴查		143	册阳	
104	古龙		144	尾杯	
105	小湾岭		145	丫他	中型
106	义圩		146	板其	小型
107	六一		147	百地	
108	么西		148	癞子山	
109	百定		149	望谟县尖场	
110	那良		150	鲁岜	
111	大勤		151	豆芽井	
112	德保县天阳屯		152	乐康	
113	示下		153	富源县胜境关	中型
114	那录		154	麻地	小型
115	靖西县果乐		155	罗平县鱼乍拉	小型
116	那坡县弄内		156	社纳	
117	百灵		157	丘北县亮山	亮山
118	坡测	小型	158	腻角	
119	果堤	小型	159	茶花寨	
120	那坡县马邻	小型	160	平寨	

顺序号	矿床（点）名称	备注	顺序号	矿床（点）名称	备注
161	邱北县布红		181	富宁县铜乐	
162	树皮		182	达木	
163	广南县老寨湾	中型	183	岜什	
164	袁家坪	小型	184	栋甫	
165	吉嘎	小型	185	木都	
166	细掌沟	小型	186	洞波	
167	米洛		187	板伦	
168	斗月	中型	188	那玉	
169	那苏		189	安那	
170	底圩	中型	190	高良	
171	堂上	中型	191	养马寨	
172	峨里		192	坡油	
173	革乍		193	戈排	
174	富宁县金坝	大型	194	砚山县跨西	小型
175	那伦	中型	195	顶丘	
176	革档	小型	196	文山县小平坝	
177	小寨		197	西畴县曼龙沟	小型
178	八毛		198	南问	
179	岜来		199	马关县桥头	强硅化
180	龙三盘		200	个旧市卡房	矽卡岩型

注：1、序号1—120位于广西区，121—152位于贵州省，153—200位于云南省；

2、资料来源，翟佑华等，2001，本文。

图版说明

图版 I

1、细掌沟金矿 D_1ps（坡松冲组）硅化炭泥质粉砂岩的立方体、五角十二面体粗粒浸染状黄铁矿

2、细掌沟金矿 D_1ps（坡松冲组）硅化含炭泥质粉砂岩中的细粒浸染状黄铁矿

3、细掌沟金矿 D_1ps（坡松冲组）硅化褐铁矿化泥质粉砂岩（氧化金矿石，呈碎裂状）

4、细掌沟金矿 D_1ps（坡松冲组）硅化褐铁矿化泥质粉砂岩金矿石（见黄铁矿淋失孔洞）

5、曼龙沟金矿南坡主矿体采空后残留的 O_1n（南津关组）灰岩中的古溶洞痕迹

6、曼龙沟金矿达马河冲积扇上的红土型金矿与山顶上的源矿关系示意

图版 II

1、曼龙沟金矿南坡主矿体南 D_1c（翠峰山组）中新发现的层状金矿体

2、曼龙沟金矿带南西之南问金矿产于北西向 O_1n（南津关组）灰岩裂隙中（陡倾产出，宽度≥1m，金品位＞10 克/吨，矿体上可见石灰之白色）

3、曼龙沟金矿带南西之南问金矿灰岩裂隙内的砖红色泥质富金氧化矿石

4、玄武质系列岩石为容矿岩石的底圩金矿

5、底圩基性岩型金矿中的含金石英脉

6、底圩基性岩（$P_2\beta$）型金矿近地表已红土化的金矿采矿场面

7、底圩金矿玄武岩底部零星出露的 P_1m（茅口组灰岩）

8、底圩金矿因地制宜的堆浸场一览

图版 III

1、底圩金矿图版Ⅱ-8 采矿场近景（含金玄武质凝灰岩成层产出于东西向破背斜北翼，底部为黑色炭质泥岩标志层）

2、广南斗月金矿 T_1l（罗楼组）沉凝灰岩中低品位金矿采金现场

3、广南斗月金矿蚀变玄武岩（$P_2\beta$）平行节理中金矿脉的树枝状穿插

4、富宁花甲金矿南东 5km 相伴产出的安定铅锌矿（近景为辉绿岩，远景为寒武系灰岩，铅锌矿严格受控于两条平行排列的北西向断裂）

5、富宁戈排金矿赋矿层位 D_1b（芭蕉箐组）被成矿作用捕虏的蚀变辉绿岩残块（图中灰白色为蚀变辉绿岩，土色为含金 3～5 克/吨的氧化矿石）

6、广南堂尚金矿赋矿玄武岩中的平卧褶皱

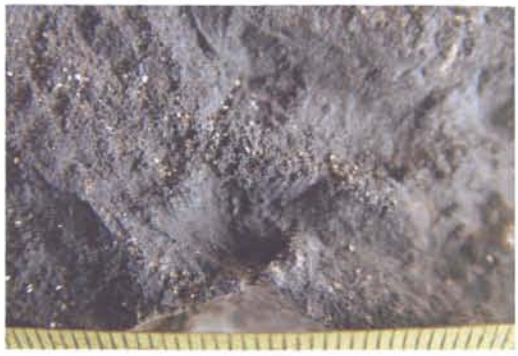
7、广南堂尚金矿角砾状金矿石

8、富宁金坝金矿采金场远瞰

图版 I



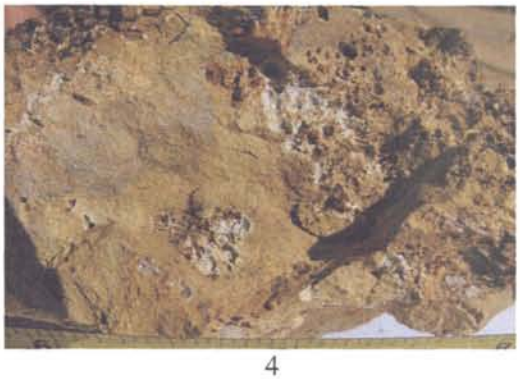
1



2



3



4



5



6

图版 II



1



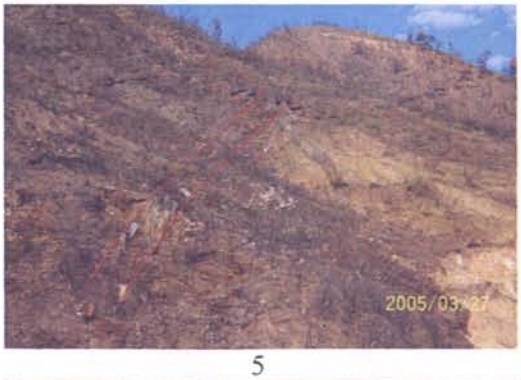
2



3



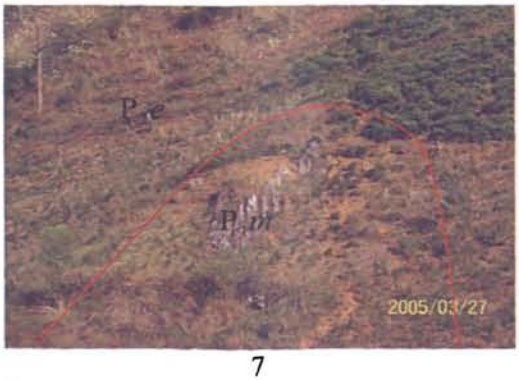
4



5



6

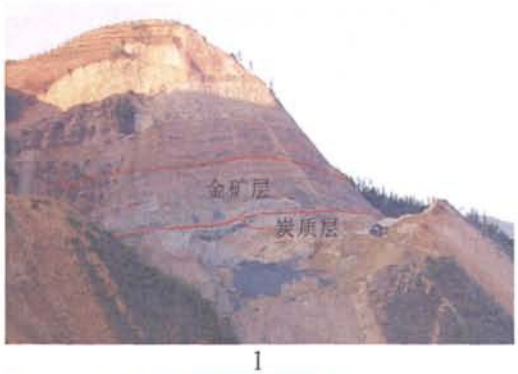


7



8

图版 III



1



2



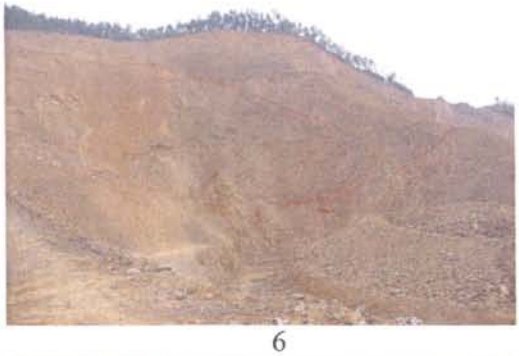
3



4



5



6



7



8

致 谢

“学高为师，德高为范”。五年来，刘继顺导师教导我辈做人、做事、做学问，无时无刻不在激励我，鞭策我，感化我。导师渊博的知识，崇高的品德和对地矿事业的执著精神，学生此生学之不尽，用之不完。导师和师母邓玲玲老师对我的学习和生活给予的关心和帮助，学生永生不忘。在此，谨向导师和邓老师表示崇高的敬意和衷心的感谢！

在攻读博士学位期间，得到戴塔根教授、奚小双教授、吴湘滨教授、刘亮明教授、邵拥军副教授、胡祥昭教授、赖建清教授、黄满香副教授、汤井田教授、柳建新教授、席振珠副教授等老师的亲切指导。谨向各位老师表示深深的谢意！

特别感谢舒广龙、马光、张洪培、张彩华、韩海涛、刘德利、郭军、董新、刘卫明、尹利君、杨立功、欧阳玉飞、杨振军、康亚龙、豆松、吴自成、舒国文、王伟、邓永龙、马惠英、郑平、李波、王贵成、廖善章、卢宗柳、疏志明、林家勇、杜华坤等师兄和师弟师妹给予我的关心和帮助。在共同的学习、工作和生活中，我与各位师兄弟妹之间建立了深厚的情谊，必将成为我的终生财富。

特别感谢中国地质大学高级编审马丽女士、中国地科院矿床所李纯杰教授、曾普胜教授、东北大学周乃武教授、昆明理工大学张世涛教授、云南省地勘局王宝路高工、李丽辉高工、郭富达高工对本文初稿提出宝贵意见。

特别感谢曾在 BHP 公司和在滇东南地区一起工作过的苏文明高工、何兆波高工、杨宏华高工、李建国高工、李家云高工、凡同伦高工、钟寿华高工、杨功高工、黄元友工程师和马绍宽矿长，感谢他们在滇东南地区金矿勘查方面作出的杰出贡献和无私提供的金矿资料。

特别感谢曾在滇东南地区开展过地质找矿的专家学者和云南地矿局、云南有色局等在该区工作过的地质队员和锲而不舍在该区开展金矿勘查开发的所有企业家们，是他们卓有成效的工作使笔者有机会在矿业十分低迷的情况下走进滇东南，走进滇东南的金矿。

特别感谢蒙自矿冶有限责任公司总经理黎维中先生、文山州隆兴矿业有限公司董事长刘科龙先生、云南华联锌铟股份有限公司董事长蒋政江先生、总经理徐安华先生、云南地矿局物化探队王有德队长等领导对我论文工作的大力支持。

特别感谢我的妻子高启芝女士和我的女儿周梦琪，是她们无私的奉献和默默的支持才使我得以顺利完成学业。

再一次感谢在我攻读博士学位期间所有关心、支持和帮助过我的所有老师、朋友和亲人！

攻读学位期间主要的研究成果目录

1. 公开发表的论文

[1] 周余国，刘德利，刘继顺. 滇东南曼龙沟金矿地质地球化学特征. 地学前缘，2005，12（4）：534

[2] 周余国，刘继顺，王作华，欧阳玉飞，高启芝，刘德利，黄元友. 从滇黔桂“金三角”区域地层地球化学特征探讨卡林型金矿的物质来源. 地学前缘，2009，16（2）：1~10

[3] 周余国，高启芝，刘继顺，马慧英，王作华，黄元友. 个旧地区区域地球化学环境的系统评价。物探与化探，2009，（待刊）

[4] 周余国，刘继顺，欧阳玉飞，何兆波，高启芝. 卡林型金矿的再定义. 黄金，2008，29（11）：7~11

[5] 周余国，刘继顺，高启芝，韩海涛，刘德利，张彩华. 区域化探资料在人居环境评价中的应用. 地球科学与环境学报，2006，28（4）：81~86

[6] 周余国，刘继顺.滇东南曼龙沟金矿地质地球化学特征及勘查实践.第一届全国应用地球化学学术讨论会论文摘要集. 见：中国矿物岩石地球化学学会应用地球化学专业委员会，编. 长沙：中南大学地学与环境工程学院，2004. 27~28

[7] 刘继顺，周余国，韩海涛，高启芝，林家勇，刘德利，郭军. 滇东南底圩金矿地质特征及找矿预测.吉林大学学报(地球科学版)，2007，37(4)：652～658

[8] 刘德利，周余国. 浅论如何实现矿业勘查与开发的可持续发展. 中国工程科学，2005，7（增刊）：53~56（转刊：云南矿业，2006，31（3）：28~31）

[9] 刘继顺，周余国，董新，刘卫明. 初论矿业勘查开发系统工程学. 资源与产业，2008，10（4）：104~107

[10] 林家勇，汤井田，周余国. 双频激电法有限元数值模拟研究.物化探计算技术，2009，（待刊）

[11] 刘德利，刘继顺，郭军，周余国，韩海涛. 广东凡口铅锌矿控矿构造型式. 矿床地质，2006，25（2）：183~190

[12] 刘德利，刘继顺，张彩华，周余国. 滇西南澜沧江结合带北段云县花岗岩的地质特征及形成环境. 岩石矿物学杂志，2008，27（1）：23~31

[13] 韩海涛，刘继顺，董新，周余国. 西秦岭温泉斑岩型钼矿地球化学特征. 物探与化探，2008，32（2）：139~142

[14] 刘德利，刘继顺，张彩华，韩海涛，周余国. 云南官房铜矿矿石矿物特征及银的赋存状态研究. 矿床地质，2008，27（6）：695~704

2. 参加的主要研究项目

（1）2004 年 4 月～2004 年 12 月，广东凡口铅锌矿 Sh-650m 标高以下成矿地质条件及找矿远景评价研究，主要参加人员。

（2）2004 年 7 月～2007 年 7 月，“云南蒙自白牛厂银多金属矿区深部隐伏矿体定位预测与增储研究”（云南省省院省校科技合作项目，编号：2004 YX06），主要参加人员。

（3）2005 年 1 月～2006 年 12 月，“澜沧江火山弧云县段铜银矿带找矿预测与增储研究”（云南省省院省校科技合作项目，编号：2003UDBEA00Q021），主要参加人员。

（4）2005 年 5 月～2005 年 10 月，滇东南曼龙沟金矿深边部及外围找矿预测 ，项目负责人。

（5）2006 年 12 月～2007 年 5 月，云南铜业老挝乌多姆赛省那么县五矿区地质填图，项目负责人。

（6） 2003 年 10 月～2007 年 6 月，云南东川铜矿区老区深部及外围矿体定位预测与增储研究（云南省省院省校合作项目：项目编号为 2003UDBEA00A026），参加人员。

（7）2008 年 6 月～2009 年，云南省富宁县那盘铅锌多金属矿地质地球化学普查、云南省富宁县那努锌铜多金属矿地球化学普查，项目负责人。

滇东南卡林型金矿地质地球化学与成矿模式

作者： 周余国
学位授予单位： 中南大学

相似文献(10条)

1. 期刊论文 刘继顺.舒广龙.高珍权 鄂东丰山矿田卡林型金矿地质地球化学特征 -地学前缘2004,11(2)

鄂东丰山矿田主要由丰山(封山洞)铜矿床、鸡笼山金铜矿床和李家湾铜矿床组成.经野外调查和室内研究,确认矿田内存在卡林型金矿,金平均品位约5×10-6,远景储量在大型以上.该卡林型金矿的主要特征是:(1)分布于丰山斑岩体周围的中酸性岩脉发育区;(2)容矿岩石为下三叠统大冶组薄层状一纹层状和角砾状碳酸盐岩;(3)矿体主要受高角度断层控制,通常产于岩脉的一侧或附近;(4)矿石普遍具白色细网脉状方解石化和碳泥化,裂面上常见黑色碳质被膜;(5)金主要为次显微金;(6)成矿物质主要来自矿源层,部分来自岩浆,成矿热液水主要来自大气降水.

2. 期刊论文 秦兵.朱汇派.唐文春.QIN Bing.ZHU Huipai.TANG Wenchun 四川阿坝地区刷马金矿床地质地球化学特征及成因探讨 -大地构造与成矿学2010,34(2)

通过对刷马地区地质构造、矿床时空演化以及水系沉积物、土壤、岩石地球化学特征的综合研究,结合地质背景和区域地质环境,认为刷马地区金矿床赋存于上三叠统侏倭组变质石英砂岩中,严格受北西向的韧-脆性剪切带控制,与金矿化有关的蚀变主要有黄铁矿化、硅化、碳酸盐化、毒砂化和黄铜矿化,1∶ 20万、1∶ 5万水系沉积物和1∶ 1万土壤均显示有Au、As、Sb、Hg的地球化学组合异常,1∶ 20万水系沉积物异常显示Au矿矿田范围,1∶ 5万水系沉积物异常显示矿区位置,而1∶ 1万土壤异常与矿体展布基本一致,异常带稳定连续、规模大,异常展布受控于韧-脆性剪切带,是有利的Au成矿区,具有巨大的找矿潜力,其矿床类型初步判定为微细浸染型金矿床(卡林型金矿).

3. 期刊论文 王登红.Wang Denghong 卡林型金矿找矿新进展及其意义 -地质地球化学2000,28(1)

在我国,卡林型金矿曾被当作典型层控矿床.但近年来在美国卡林型金矿带的一系列找矿新进展说明,地层对于成矿的意义不如构造和深源的成矿流体.对于第三纪热点活动、岩浆作用及卡林型金矿形成之间相互关系的新认识,为卡林型金矿的找矿突破提供了重要的理论依据.我国滇黔桂、陕甘川等卡林型金矿集中区在许多方面可与美国卡林型金矿对比,在找矿方面也应打破单一沿层找矿的旧框框,开拓新思路,注意在有利的构造部位及有岩浆或深源热液活动的部位找矿.

4. 期刊论文 张复新.陈衍景.李超.张静.马建秦.李欣 金龙山-丘岭金矿床地质地球化学特征及成因秦岭式卡林型金矿成矿动力学机制 -中国科学D辑2000,30(Z1)

秦岭卡林型金矿带是世界第2大卡林型金矿集中区, 与形成于新生代活动大陆边缘盆岭省的美国西部卡林型金矿不同, 产于中生代大陆内部碰撞造山带, 成矿同位素年龄集中于197.45～129.45 Ma, 属碰撞造山挤压伸展转变期的减压增温体制, 表明成矿与碰撞同步.包裹体、同位素和成矿元素地球化学研究揭示成矿流体和成矿物质主要来自海西-印支构造层, 中生代时海西-印支构造层沿双河-公馆断裂等的陆内俯冲导致了金龙山等金矿床形成, 基此建立了"秦岭式"卡林型金矿构造成矿模式.

5. 学位论文 范军 滇黔桂卡林型金矿及成矿流体地球化学 1996

6. 会议论文 何军.张复新.张旺定 甘肃小沟里类卡林型金矿床地质地球化学特征 2002

该文从大地构造背景、成矿盆地环境、矿床地质与地球化学等方面探讨了类卡林型金矿床特征及其与铅锌矿床的共生关系,揭示成矿作用与大陆造山带活动的耦合关系.

7. 期刊论文 陈国忠.王启航.李凤义.朱光儒.Chen GuoZhong.Wang QiHang.Li FengYi.Zhu GuangRu 西秦岭大水式金矿含金硅质岩地质地球化学特征及成因 -甘肃科技2006,22(4)

产于西秦岭南缘的大水式金矿是一个新类型金矿,其容矿主岩为一套热液硅质岩.硅质岩的产状、结构构造、岩石类型及空间配置等与典型热泉体系沉积物架构相似,硅质岩化学组成与广东长坑硅化岩、腾冲热海硅质岩、美国卡林型金矿含矿似碧玉岩以及海底热泉硅质岩相近,稀土元素组成及配分曲线、硅氧同位素组成等显示成矿物质来源与燕山期陆内造山阶段的构造-岩浆活动有关,金矿类型可能属于浅成低温热液成矿系列中的一个新的矿床式.

8. 学位论文 齐亚林 陕西山阳夏家店卡林型金矿床地质地球化学研究 2005

本文研究了陕西山阳夏家店卡林型金矿床地质地球化学特征。研究区大地构造位置属扬子板块早古生代被动大陆边缘。研究区地层属凤县—旬阳小区，出露震旦系—泥盆系地层，其中震旦系陡山沱组与耀岭河群、下寒武统水沟口组与下伏震旦系、泥盆系与前泥盆系呈平行不整合。前寒武系基底构造层与下古生代构造层组成倒转褶皱组合，上古生代构造层组成复式向斜。夏家店金矿床处于陡岭古隆起南侧，区域性山阳-凤镇、镇安-板岩镇深大断裂沿该古隆起交汇复合这样一个构造较为复杂而强烈的特殊位置，矿床直接定位于沿烟家沟-耀岭河倒转复背斜南翼下寒武统水沟口组含矿岩系发育的NW向、EW向及NE向多期活动的韧-脆性剪切变形构造带内。夏家店金矿床含矿岩系—下寒武统水沟口组第一、二岩性段属黑色岩系，由薄互层重晶石-碳-泥-硅质板岩、泥板岩、硅质岩组成，该岩系为早寒武世陆棚边缘伸展裂陷深海-半深海滞留缺氧环境下，由热水喷流沉积形成。

矿区范围内共发现七条矿化带，其中Ⅰ号矿化带规模最大，赋存有工业矿体。Ⅰ号矿化带受F4断层控制呈NE向展布，断裂具有韧-脆性、张性角砾岩化及张性裂隙变形及破裂构造性质，是目前控矿断裂最复杂、控制矿化最好的构造带。F4断层是随着早期正常褶皱→倒转褶皱→沿地层构造薄弱带和不整合面发生层间走滑-逆冲韧-脆性断裂→复合次级向斜翘起端叠加NE向脆性断裂→有蚀变脉状体充填的NE向拉伸张裂构造持续活动。矿石金属矿物主要有不同成矿阶段的热液成因增生环带黄铁矿、白铁矿、沉积成岩期残留的黄铁矿莓球及少量毒砂等。根据控矿构造、矿石矿物组成、矿石组构可将原生矿石划分为片理化碳-泥-硅质板岩型、重晶石-石英脉型、重晶石-方解石脉型等原生贫矿石类型，碳-泥-硅板岩质、石英脉质、白云岩质等一次角砾岩型和碳-泥-硅板岩质角砾岩和石英脉角砾岩质二次角砾岩型原生富矿石类型。矿石具有角砾状、微细脉-浸染状和草莓状等构造及自形-半自形粒状、增生环带、他形粒状、包含、交代及残余、假象等结构。原生矿石中金主要以次显微不可见形式赋存在其增生环带的含砷黄铁矿、白铁矿、毒砂等硫化物，成矿元素具Au-As-Sb-Hg-Ba组合特征。围岩蚀变不发育，主要的近矿围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、方解石化、重晶石化、褐铁矿化等。根据成矿地质背景、地质与地球化学特征，将该矿床的成矿作用演化划分为沉积成岩成矿预富集期、构造叠加与热液改造期和表生氧化次生富集三个成矿期，其中构造叠加与热液改造期为矿床的主成矿期，结合控矿构造变形序列、矿化蚀变与矿物共生组合可将该期成矿作用进一步划分为早期韧-脆性片理化成矿阶段、中期角砾岩化成矿阶段、晚期石英脉型和含铁方解石脉型等矿化阶段。控制矿体形成与就位的构造具有韧-脆性剪切、脆性破裂等复杂变形特征，其活动具多期、多阶段性矿床矿化蚀变石英氢氧同位素组成特征显示成矿流体主要为受较强烈构造作用改造的大气降水；硫化物铅同位素具有造山带铅同位素特征，显示其形成于造山带构造环境，成矿动力来自陆内造山作用；稀土元素显示矿化蚀变组分对围岩具有继承性。流体包裹体测温显示成矿温度为中-低温(均一温度分布在240-280℃和180-220℃)，成矿深度为中-浅成(成矿压力为370-820×106Pa，折算深度约为3.03km)；不同阶段流体包裹体分析显示，随成矿作用的进行，流体酸性增强(pH=5.84-0.62)，盐度增加(3.27-5.25%)，fo2增大，成矿溶液中的Na+、Cl-、Ca2+相对升高，K+、SO42-相对降低，成矿流体从H2O-CO2-KCl地下热卤水体系向H2O-CO2-NaCl地下热卤水体系转化。

据上述地质地球化学特征，将该矿床定为卡林型。夏家店金矿床受下寒武统水沟口组由薄互层重晶石-碳-泥-硅质板岩、泥板岩、硅质板岩组成的含矿岩系和陆内造山挤压逆冲推覆构造背景下发育的韧-脆性剪切构造的联合控制。总结了四种地质找矿标志，既下寒武统水沟口组黑色岩系(地层)，强烈的韧-脆性变形构造、近东西向与北东向两组构造的交汇和次级倒转背斜槽部的出现等地段(构造)；硅化、碳酸盐化和重晶石化发育(围岩蚀变)，Au-As-Ag化探异常高值部位(地球化学异常)。对Ⅶ号化探异常进行了地质解译，指出Ⅶ号化探异常的出现与该地段下寒武统水沟口组与下伏地层平行不整合、下寒武统水沟口组容矿岩系发育完整且出露较好、韧-脆性变形构造表现较强烈等因素有关，在此认识的指导下，生产单位在Ⅱ号矿带中部(Ⅶ号化探异

常的头部)下寒武统水沟口组中发现厚度大、连续性好的矿体。

9.期刊论文 饶文波.高振敏.杨竹森.罗泰义.李红阳.顾俊生.胡广耀.李雁鹏.李玉本.普传杰.Rao Wenbo.Gao Zhenmin.Yang Zhusen.Luo Taiyi.Li Hongyang.Gu Junsheng.Hu Guangyao.Li Yanpeng.Li Liben.Pu Chuanjie 云南潞西上芒岗红色粘土型金矿地质特征 -地质地球化学2000,28(4)

潞西上芒岗红色粘土型金矿赋存于下二叠统岩溶面之上的第三、第四系红色粘土层中,矿体形态受地形控制明显,呈似层状.品位较高,规模中等,适合于露天开采.矿体的红土化作用不彻底,去硅富铁铝能力低,常见高岭石与伊利石共生.矿石中石英、褐铁矿、粘土矿物为主要载金矿物.成矿物质来自燕山中晚期形成的中侏罗勐嘎组中段与二叠系的沙子坡组的断层接触破碎带内的卡林型金矿.在湿热条件下,金发生活化、迁移、富集,在潜水面附近成矿.

10.期刊论文 陈履安 老万场红土型金矿成矿过程的地球化学作用 -贵州地质2000,17(1)

根据地质地球化学研究所揭示的与成矿地球化学作用有关的宏观和微观特征,对老万场金矿的物质来源和成矿过程的地球化学作用进行了讨论,阐述了成矿(成土)过程中Au和相关元素的地球化学行为以及本类红土型金矿形成的地球化学机理.指出了喀斯特红土化作用在原始卡林型金矿风化成土过程中对红土型金矿形成的影响.

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1538732.aspx
授权使用：中国石油大学(北京)(bjsydx)，授权号：e6174f24-2fff-4e5e-9984-9e4300d8d819
下载时间：2010年12月5日