

滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物和岩石金含量 与时空分布

赵东杰^{1, 2, 3)}, 王学求^{1, 2)*}

1) 自然资源部地球化学探测重点实验室, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000;
2) 联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心, 河北廊坊 065000; 3) 中国地质大学(北京), 北京 100083

摘要: 为研究滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物和岩石中金的地球化学时空分布及其与金矿规模的对应关系, 系统收集了该区 1: 20 万区域化探全国扫面计划水系沉积物和全国地球化学基准计划岩石金的地球化学数据, 绘制了水系沉积物和岩石金的地球化学分布图。滇黔桂卡林型金矿区以水系沉积物金地球化学异常面积大于 1000 km^2 为准, 共圈定 5 处金的地球化学省, 这些金的地球化学省同时也是矿床大规模产出的部位。区内右江盆地水系沉积物金背景值(1.94×10^{-9})高于扬子克拉通(1.68×10^{-9}), 其内以泥岩、页岩、砂岩、灰岩为代表的容矿岩石金背景值(0.51×10^{-9})也高于扬子克拉通(0.39×10^{-9})。研究区不同构造单元及沉积相中水系沉积物金背景值受岩石金背景值的制约。金的地球化学省是地壳演化过程中不均匀分布的高金背景岩石、金矿化作用及金矿床次生风化作用相互叠加的结果。该研究有助于有效判断异常成因、识别成矿作用存在, 对研究金的区域成矿规律和聚焦找矿靶区具有重要意义。

关键词: 滇黔桂卡林型金矿区; 水系沉积物; 岩石; 地球化学; 金

中图分类号: P536; P596 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2019.092902

The Concentrations and Temporal-spatial Distribution of Gold in Stream Sediments and Rocks in the Carlin Type Gold Ore Districts of Yunnan–Guizhou–Guangxi Region

ZHAO Dong-jie^{1, 2, 3)}, WANG Xue-qiu^{1, 2)*}

1) Key Laboratory of Geochemical Exploration, Institute of Geophysical and Geochemical Exploration,
Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang, Hebei 065000;
2) UNESCO International Center on Global-scale Geochemistry, Langfang, Hebei 065000;
3) China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083

Abstract: In order to study the temporal-spatial distribution of gold resources in stream sediments and rocks and their spatial relationship with known reserves of gold deposits in the Carlin-Type gold ore districts of Yunnan–Guizhou–Guangxi region, the authors compiled geochemical distribution maps of gold in stream sediments and rocks based on geochemical data collected from 1: 200 000 Regional Geochemistry-National Reconnaissance Project and China Geochemical Baselines Project. Five gold geochemical provinces with an area of over 1000 km^2 were delineated, which are spatially consistent with the distribution of the Carlin-Type gold deposits in this area. There are relatively higher gold background values in stream sediments and ore-hosting rocks (mudstone, shale, sandstone, limestone) in the Youjiang Basin (1.94×10^{-9} , 0.51×10^{-9}) than the values of the Yangtze craton (1.68×10^{-9} , 0.39×10^{-9}). The gold background values of stream sediments are constrained by those of rocks in various structural units and sedimentary facies in the study area. Gold geochemical provinces might

本文由国家重点研发计划项目“穿透性地球化学勘查技术”(编号: 2016YFC0600600)资助。

收稿日期: 2019-08-11; 改回日期: 2019-09-20; 网络首发日期: 2019-09-30。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 赵东杰, 男, 1990 年生。博士研究生。主要从事勘查地球化学方面的研究工作。通讯地址: 065000, 河北省廊坊市金光道 84 号。E-mail: geozhaodj@163.com。

*通讯作者: 王学求, 男, 1963 年生。研究员。主要从事勘查地球化学和全球地球化学基准研究工作。E-mail: wangxueqiu@igge.cn。

have resulted from the mutual superposition of the rocks with high gold background value, gold mineralization, and secondary weathering of gold deposits. The results obtained by the authors contribute to judging the genesis of anomalies and identifying the existence of metallogenesis effectively, and play a key role in exploring the regular pattern of gold regional metallogeny and delineating prospecting targets.

Key words: Carlin-type gold ore districts of Yunnan-Guizhou-Guangxi; stream sediment; rock; geochemistry; gold

滇黔桂地区在20世纪80年代发现了中国首批微细浸染型金矿床(何邵麟等, 2007), 近几十年来, 区内已发现包括烂泥沟、水银洞等一大批金矿床、矿化点及与卡林型金矿有成因联系的岩溶塌积而成的红土型金矿(韩至钧和盛学庸, 1996), 使该区成为中国重要的金矿产区, 继美国内华达州之后的世界第二大卡林型金矿区, 被众多专家学者称为滇黔桂“金三角”(刘寅等, 2015)。该区低温热液成因的微细浸染型金矿一般赋存于沉积细碎屑岩、薄层黏土岩及不纯碳酸盐岩中, 常伴生Hg、As、Sb、Tl等元素异常(何邵麟, 1992), 其金颗粒粒度极细, 多在纳米级, 显微镜下难以识别, 采用传统的地质勘查方法寻找微细浸染型金矿难度较大, 勘查地球化学方法可以将金的分析检出限降低到地壳丰度以下, 因此运用勘查地球化学方法可为该区探索资源潜力提供重要的方法和手段。

地球化学省(Geochemical Province)是指一定规模的地球化学异常, 其位置及范围对初始勘查靶区的确定具有重要意义。前人按规模的大小将不同的地球化学异常模式分为: 小于 100 km^2 的局部异常; $100\sim1000\text{ km}^2$ 的区域异常; $1000\sim10000\text{ km}^2$ 的地球化学省; $10000\sim100000\text{ km}^2$ 的地球化学巨省; $100000\sim1000000\text{ km}^2$ 的地球化学域和大于 1000000 km^2 的地球化学洲(Xie and Yin, 1993; 王学求, 2001; 谢学锦, 2003)。随着一些国家或地区大面积高质量地球化学数据的产生, 并绘制出地球化学图, 世界范围内相继发现了一批地球化学省并掀起对地球化学省的成因研究(Bolviken et al., 1990; Plant et al., 1990, 2003; Xie et al., 1997; Reimann and Melezhik, 2001; 刘大文等, 2002; 王学求等, 2007, 2013a, b; 师淑娟等, 2009; 谭亲平和王学求, 2017; 刘彬和王学求, 2018)。王学求等(2013a)利用全国1:20万区域化探扫面计划及其他数据, 在全国共圈定了15处金的地球化学省集中区, 并认为高背景岩石、成矿作用和矿床风化作用产生元素次生分散相互叠加的作用是形成地球化学省的主要原因; 王学求等(2013b)以中国区域化探全国扫面计划1:20万水系沉积物数据为基础, 系统制作了华南陆块Au元素1:250万地球化学空间分布图, 共圈定了6处巨量Au大规模聚集区, 分别位于西秦岭、松潘、

长江中下游、滇黔桂交界区、湘东-湘西和粤桂交界区。

本文涉及的滇黔桂卡林型金矿区面积约 150000 km^2 ($23.5^\circ\sim26.5^\circ\text{N}$; $103.5^\circ\sim107.5^\circ\text{E}$), 水系沉积物和岩石金测量数据分别来源于中国1:20万区域化探全国扫面计划(Regional Geochemistry-National Reconnaissance, RGNR)和全国地球化学基准计划(China Geochemical Baselines, CGB), 其中水系沉积物样品37513件, 岩石样品241件。利用这些数据绘制滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物和岩石金的地球化学分布图, 将面积大于 1000 km^2 的水系沉积物金地球化学异常圈定为金的地球化学省, 描述这些地球化学省的空间分布和地质特征及其与金矿规模和岩石金含量的时空对应关系。

1 区域地质概况

滇黔桂地区位于华南板块西南缘, 与印支板块的结合部位, 大地构造位置非常特殊。该区横跨右江盆地与扬子克拉通两个构造单元(Chen et al., 2011)(图1), 是我国典型的卡林型金矿区, 又被称为“金三角”地区。

扬子克拉通与右江盆地以紫云—垭都断裂和师宗—弥勒断裂为界, 以北为扬子克拉通, 以南为右江盆地。右江盆地主要指南盘江流域, 是一个较特殊的大地构造单元, 四周以红河断裂、师宗—弥勒断裂、紫云—垭都断裂、凭祥—南宁断裂等深大断裂为界, 形成一个近似“菱形”的界面(图1), 最初被称为“右江再生地槽”, 现在认为是一个在陆壳基底上裂解而成的裂谷盆地(陈懋弘等, 2014)。其下层和中层基底与扬子陆块相似, 上层基底则是晚元古代至早古生代的浅变质岩系(杜远生等, 2009), 早三叠世为被动大陆边缘沉积, 中三叠世沦为陆源碎屑复理石盆地, 印支-燕山期是主要构造变形期并伴有浅层区域变质作用(王砚耕等, 1994)。以沪西—罗平—安龙—贞丰一线的坡坪逆冲推覆构造为界将右江盆地分为西北、东南两个部分: 西北部为台地相浅水碳酸盐岩序列; 东南部为三叠纪盆地相区, 发育一套以含砂岩、页岩夹层的深海相硅质碎屑浊积岩系(索书田等, 1993)。扬子克拉通基底为前震旦系, 具“三层式”结构, 震旦纪以来盖层主要为被

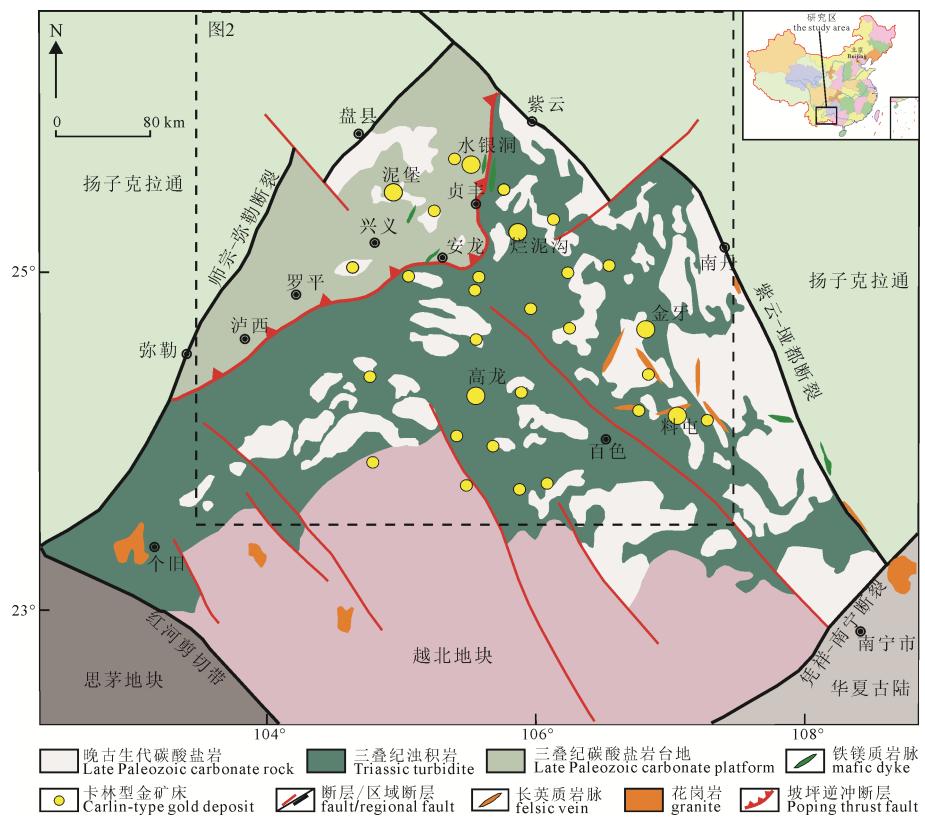


图1 滇黔桂“金三角”区域地质图

(据 Chen et al., 2011; Hou et al., 2016 修编)

Fig. 1 Geological map of the Yunnan-Guizhou-Guangxi “Golden Triangle” area
(modified after Chen et al., 2011; Hou et al., 2016)

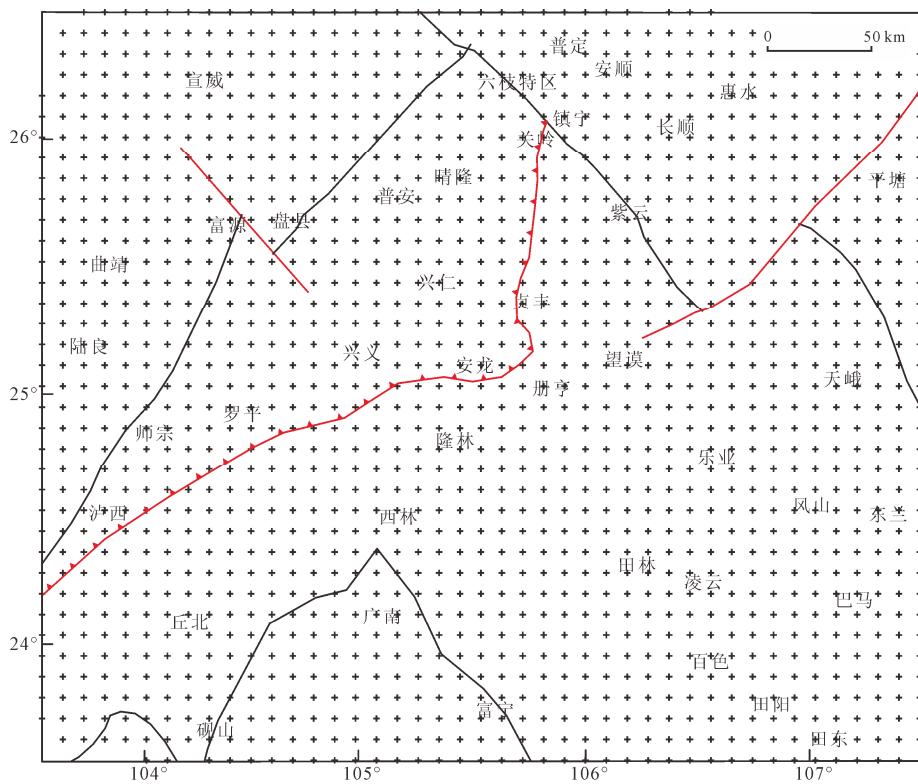


图2 滇黔桂卡林型金矿区区域化探全国扫面计划网格数据点位图

Fig. 2 A map showing sampling locations of grid data in Yunnan-Guizhou-Guangxi region based on the RGNR project

动大陆边缘的浅水沉积, 燕山期地壳表层构造变形较为强烈。

该区大部分卡林型金矿都集中于右江盆地中, 二叠系、三叠系是区内最重要的赋矿地层, 容矿岩

石类型多样，包括砂岩、泥岩、页岩、灰岩、黏土岩等，为一套细粒碎屑岩-泥质岩-薄层碳酸盐岩组合(王硯耕等, 1994; 陈翠华等, 2004; 杜远生等, 2009)。除金矿外还伴生有砷、锑、汞等矿产资源。区内岩浆活动不强烈，岩浆岩出露面积小，在扬子克拉通西南缘发育有大陆橄榄拉斑玄武岩，二叠纪在右江造山带的非造山被动边缘裂陷环境下，形成了偏碱性辉绿岩组合(韩伟等, 2009)，晚白垩世在扬子陆块与右江造山带边缘的造山期后伸展塌陷环境下，形成了偏碱性超基性岩组合(陈懋弘等, 2009; 冯光英等, 2010; Liu et al., 2010)。此外，该区深部还可能存在大规模隐伏岩体(王亮等, 2009, 2015)。

2 数据来源和处理

本文收集了滇黔桂卡林型金矿区区域化探全国扫面计划和全国地球化学基准计划的水系沉积物和岩石金的地球化学测量数据。区域化探全国扫面计划使用水系沉积物作为采样介质，采样密度为 1 km^2 采集1个样品，每 4 km^2 组合成1个样品进行分析，测试了包括金在内的39种元素，Au的检出限为 0.3×10^{-9} (谢学锦, 1979; Xie et al., 1997; 谢学锦等, 2009; 王学求, 2012)。全国地球化学基准计划以 $80\text{ km} \times 80\text{ km}$ 作为中国基准网格(China Reference Network Grid)，每个网格大小相当于一个1:20万图幅，采集了各1:20万图幅内不同时代沉积岩、岩浆岩和变质岩样品，测试包括金在内的76种元素，Au的检出限为 0.2×10^{-9} (王学求, 2012; Wang and the CGB Sampling Team, 2015)。在样品分析测试过程中小于检出限含量的数据虽有时也能报出，但因其置信度不高，只能作为参考值用。

在圈定地球化学省之前，对水系沉积物原始分析数据进行平均化处理，以每1:2.5万图幅(大约1个平均值/ 100 km^2)计算得到一个均值，共得到新的水系沉积物数据1152个(图2)，后文所涉及的水系沉积物数据皆为计算所得新数据。将上述计算得到的水系沉积物数据在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所开发的GeoChem Studio 3.5软件中进行描述性统计；利用Mapgis 6.7软件对数据进行网格化处理，网格化间距为 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ ，网格化模型采用距离幂函数反比加权，搜索半径为25 km，之后运用GeoChem Studio 3.5软件生成地球化学图。地球化学图的编制采用百分位数的分级方法，色阶级数为19级(0.5%、1.2%、2%、3%、4.5%、8%、15%、25%、40%、60%、75%、85%、92%、95.5%、97%、98%、98.5%、99.5%、100%)，以百分位数50%所对应含量作为水系沉积物金的背景值，百分位数85%所对应含量作为异常下限进行金地球化学异常的圈定。

根据滇黔桂卡林型金矿区241个岩石金的测量数据，在Mapgis 6.7中生成岩石金地球化学分布图，利用不同色阶的小圆点来表示金元素所具有的含量级次。色阶级次的划分以百分位数20%、40%、60%、80%进行均匀划分。最后对整个滇黔桂卡林型金矿区以及各构造单元和沉积相内的水系沉积物和岩石金的地球化学测量数据进行统计，计算各中位值和平均值，以中位值作为岩石金的背景值，绘制相关的折线图和箱图，以便进行水系沉积物和岩石金含量的时空分布对比研究。

3 结果和讨论

3.1 水系沉积物金的地球化学空间分布及与矿床规模的关系

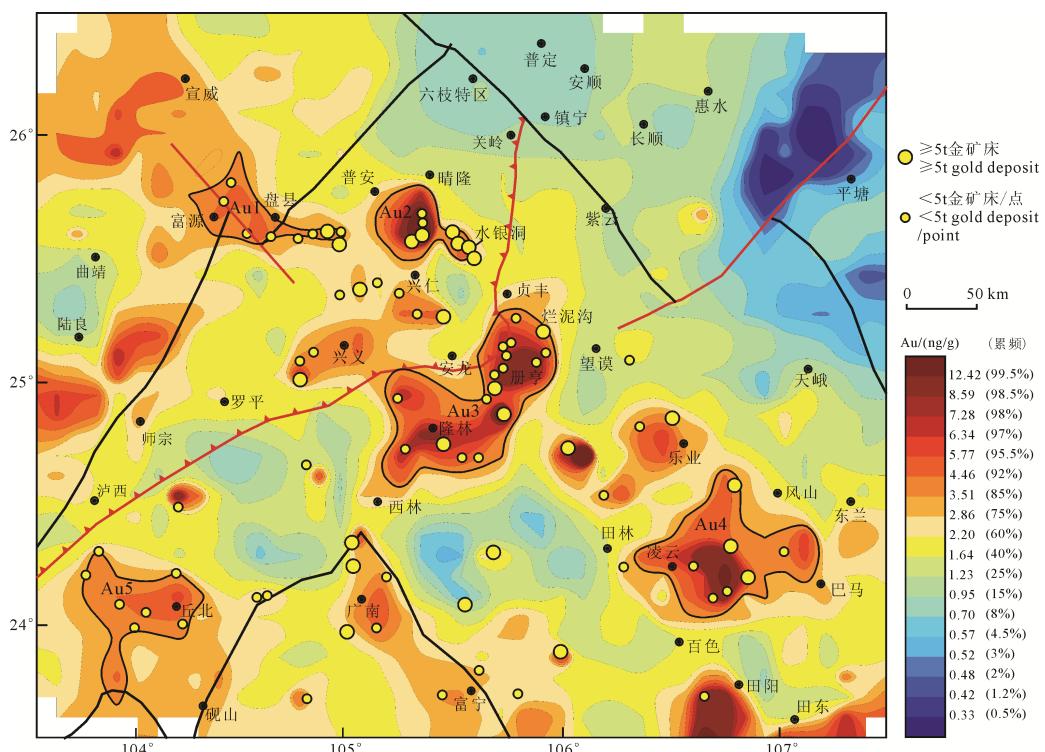
滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物金的背景值为 1.91×10^{-9} ，均值为 2.35×10^{-9} (表1)，明显高于全国的水系沉积物金的背景值(1.32×10^{-9})和均值(2.03×10^{-9})(迟清华和鄢明才, 2007)。以百分位数的85%(3.51×10^{-9})(表1)为水系沉积物金含量的异常下限，并以此为边界圈定金的地球化学异常。研究区金的地球化学异常主要集中在右江盆地内，另外在云南宣威西南部、师宗—陆良一带及越北地块内也有出现(图3)。以面积大于 1000 km^2 的水系沉积物金地球化学异常为标准，在图3中共圈定5处金的地球化学省，各金的地球化学省不仅是卡林型金矿床密集产出的部位，而且与北东向的师宗—弥勒断裂和百色—兴义隐伏断裂有一定的对应关系。将这些金的地球化学省依次以Au1、Au2、Au3、Au4、Au5表示，其参数统计见表2。现将各金地球化学省的空间分布、地质特征及相关的金矿床描述如下：

Au1位于研究区西北部的富源—盘县一带，异常面积 1278 km^2 。该区构造发育，异常处于师宗—弥勒断裂与次级断层的交叉部位，出露地层以二叠系、三叠系为主，区内金矿主要赋存于二叠系峨眉山玄武岩组与茅口组不整合接触面间因区域构造作用形成的构造蚀变带中，容矿岩石主要为角砾状凝灰岩、含凝灰质泥岩等(曾祥平, 2003; 吴小红等, 2013)。该区产出的卡林型金矿包括架底、大麦地中型金矿，炼山坡、干沟、金豆山、胜境关、东堡等小型金矿(曾祥平, 2003; 吴小红等, 2013)。此外还产出有由原生卡林型金矿后期堆积淋滤而形成的红土型金矿，以盘县砂锅厂和鸡密小型金矿为代表(王硯耕等, 2000)。

Au2位于研究区普安-晴隆南部，异常衬度、异常强度最大，异常面积为 1209 km^2 。出露地层以二叠系、三叠系为主，石炭系次之，已知赋金层位20

表 1 滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物和岩石金($\times 10^{-9}$)含量统计参数
Table 1 The statistical parameters of gold concentrations in stream sediments and rocks in Yunnan-Guizhou-Guangxi region

样品类型	样品数	极小值	百分位数							极大值	平均值	标准差
			2.5%	25%	50%	75%	85%	95%	98%			
水系沉积物	1152	0.21	0.50	1.23	1.91	2.86	3.51	5.57	7.28	30.04	2.35	2.03
岩石	241	0.10	0.14	0.28	0.40	0.91	1.19	2.92	3.38	12.13	0.81	1.20



金矿床的储量和位置据侯宗林和杨庆德(1989); 朱赖民等(1998); 刘红和于又华(2001); 何彬彬(2002); 曾祥平(2003); 杨云保(2004); 刘继顺等(2007); 胡瑞忠等(2007); 何邵麟等(2007); Peters et al.(2007); 刘学飞等(2008); 罗刚(2010); 罗寿文等(2010); 廖震文(2010); Liu et al.(2010); 牛翠伟等(2011); 高泽培等(2013); 吴小红等(2013); 赵智贤(2013); 陈懋弘等(2014); 刘建中等(2014); 梁婷等(2014); 刘寅等(2015); 皮桥辉等(2016); 张维乾和左华平(2018)等综合修编。

The reserves and location of gold deposits modified after HOU and YANG (1989), ZHU et al. (1998); LIU and YU (2001); He et al. (2002); ZENG (2003); YANG (2004); LIU et al. (2007); HU et al. (2007); HE et al. (2007); Peters et al. (2007); LIU et al. (2008); LUO (2010); LUO et al. (2010); LIAO (2010); Liu et al. (2010); NIU et al. (2010); GAO et al. (2013); WU et al. (2013); ZHAO (2013); CHEN et al. (2014); LIU et al. (2014); LIANG et al. (2014); LIU et al. (2015); PI et al. (2016); ZHANG and ZUO (2018).

图 3 滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物金地球化学图

Fig. 3 Distribution of gold resources in stream sediments of Yunnan-Guizhou-Guangxi region

余个, 属龙头山赋金地层序(何邵麟等, 2007), 岩性包括粉砂岩、黏土岩、生物碎屑灰岩、沉凝灰岩等。区内产出有卡林型和红土型两种金矿, 滇黔桂地区最大的水银洞超大型卡林型金矿位于该地球化学省东部, 此外还产出有紫木凼、太平洞大型金矿等(王砚耕等, 1994); 由卡林型金矿风(氧)化产物在原地或准原地堆积而成的红土型金矿主要有老万厂大型金矿、王家湾中型金矿, 沙子小型金-银矿等(王砚耕等, 2000)。此外该异常也可能与滥木厂大型铊(汞)、大厂大型锑矿田所伴生的金有关(刘建中等, 2014)。

Au3 位于研究区中部的西林—隆林—册亨—贞丰一线, 异常面积最大, 达 3916 km^2 , 异常规模也最大。该异常位于坡坪逆冲推覆构造安龙—贞丰段

的东南部, 呈北东向, 与构造线方向一致。出露地层以三叠系为主, 寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系次之, 赋金层位主要为中三叠统斜坡到盆地相陆源硅质碎屑浊积岩系, 岩性以砂岩、泥质岩、黏土岩及泥灰岩为主(王砚耕等, 1994), 有少量侵入岩出露。著名的贞丰烂泥沟超大型卡林型金矿位于该地球化学省北部, 此外还产出有中型金矿: 板其金矿、丫他金矿、马雄金矿; 小型金矿: 塘新寨金矿、大沟金矿、板纳金矿、长坪金矿、尾排金矿、弄应金矿、平静金矿、央有金矿、沙子井金矿、德峨金矿、平塘金矿、隆或金矿、天生桥金矿等(刘红和于又华, 2001; 罗寿文等, 2010; 牛翠伟等, 2011)。

Au4 位于研究区东南部的凌云—田林—风山—巴马一带, 异常面积 3189 km^2 , 仅次于 Au3, 出露

表 2 滇黔桂卡林型金矿区金地球化学省统计参数
Table 2 The statistical parameters of gold geochemical provinces in Yunnan–Guizhou–Guangxi region

参数	Au1	Au2	Au3	Au4	Au5
异常点数	11	11	35	27	16
异常面积/km ²	1 278	1 209	3 916	3 189	1 858
异常内中位值/10 ⁻⁹	4.04	3.70	4.32	4.80	3.89
异常内极大值/10 ⁻⁹	6.10	21.67	16.44	11.44	6.34
异常内平均值/10 ⁻⁹	4.28	6.01	5.42	5.08	4.15
异常内标准差	1.24	5.82	3.58	2.56	1.10
异常强度	2.24	3.15	2.84	2.66	2.17
异常衬度	1.22	1.71	1.54	1.45	1.18
异常规模/10 ⁻⁹ km ²	5 469.84	7 266.09	21 224.72	16 200.12	7 710.70
异常规模排序	5	4	1	2	3
地球化学省内部金矿床规模	大型-超大型 中型 小型	4 2 7	1 3 2	1 2 4	1 2

注: 异常强度=异常内平均值/背景值; 异常衬度=异常内平均值/异常下限; 异常规模=异常面积×异常内平均值; 异常规模按从大到小进行排序。

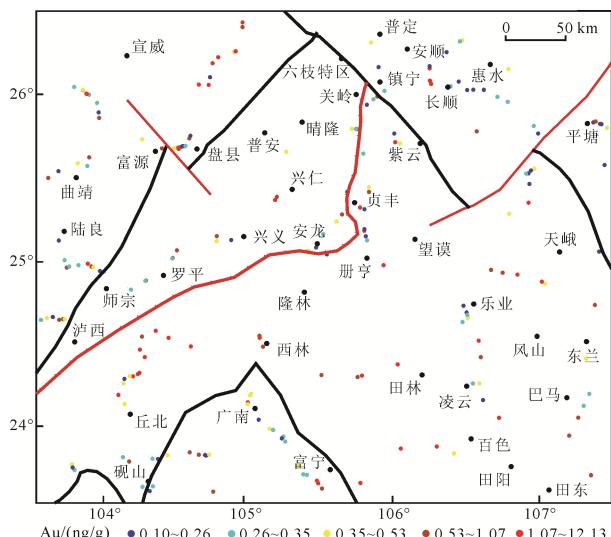


图 4 滇黔桂卡林型金矿区岩石金的地球化学分级点位图
Fig. 4 A graded distribution map of gold geochemistry of rocks in Yunnan–Guizhou–Guangxi region

地层以二叠系、三叠系为主, 泥盆系、石炭系次之, 赋矿层位主要为三叠系百逢组, 赋矿围岩为砂岩、泥岩、泥质粉砂岩、杂砂岩、灰岩等(陈懋弘等, 2014), 有部分侵入岩出露。产出有金牙大型金矿, 明山、料屯中型金矿, 遷楼、龙川、世加、东烈等小型金矿(陈懋弘等, 2014), 其中龙川、世加金矿是一种特殊的卡林型金矿, 其矿体主要产于辉绿岩内部断裂破碎带及与石炭系地层的断裂接触带中, 因此前人又将其命名为辉绿岩型金矿(刘远栋等, 2011, 2013)。

Au5 位于研究区西南部的丘北县西部, 异常面积 1856 km², 异常衬度、异常强度最小。出露地层主要为泥盆系、二叠系、三叠系, 赋矿层位主要为下二叠统阳新组、上二叠统龙潭组及下三叠统洗马塘组, 岩性为粉砂岩、泥岩、生物碎屑灰岩, 炭质

泥质粉砂岩等。该地球化学省内目前尚未发现大中型卡林型金矿, 仅有两个小型金矿床(茶花寨金矿、洗马塘金矿)及一些金矿点(舍得、山恒、松坡头、树皮等)(周机灵和刘晓东, 2013)。

从图 3 中可以看出, 研究区金矿床的形成与金地球化学省之间存在密切的联系。研究区已发现的 10 个大型-超大型、16 个中型和 43 个小型金矿床中, 分别有包括水银洞和烂泥沟两个超大型卡林型金矿在内的 6 个大型-超大型(60%)、9 个中型(56%)和 28 个小型(65%)金矿床产于金地球化学省内部(表 2), Au2、Au3、Au4 的异常强度与其内部矿床规模有明显的对应关系, Au1 和 Au5 范围内主要为中小型金矿, 仍具有一定找矿潜力。上述结果表明地球化学省为大规模金矿床的形成提供了丰富的物质基础, 可以作为潜在金矿区的找矿标志, 有这种大规模矿床的存在一定有地球化学省的存在, 但反过来有地球化学省的存在不一定有矿集区的存在(王学求, 2000; 王学求等, 2007; 师淑娟等, 2009)。这种大范围的地球化学省甚至规模更大地球化学异常的形成已无法用来自矿床或矿体的点源分散进行解释, 它们的形成无疑是元素在地壳中分布的不均匀性的反映(王学求, 2001)。研究区内存在的这些规模巨大的金地球化学省, 能够为该区提供巨量的成矿物质, 是滇黔桂“金三角”地区形成大型、超大型卡林型金矿床的重要条件。

3.2 岩石金的地球化学时空分布特征

滇黔桂卡林型金矿区岩石金的地球化学空间分布图(图 4)上显示红色圆点(百分位数大于 80%)多分布在右江盆地内的丘北县和西林县、富宁县和百色市一带, 在扬子克拉通宣威市东部有部分分布, 在越北地块和右江盆地西北部的碳酸盐岩台地相区

分布的个数较少。迟清华和鄢明才(2007)给出中国各种类型岩石金的丰度值,其中包括中国辉绿岩(0.70×10^{-9})、玄武岩(0.75×10^{-9})、火山碎屑岩(0.53×10^{-9}),中国东部砂岩(1.0×10^{-9})、泥页岩(1.4×10^{-9})、硅质岩(2.0×10^{-9})、石灰岩(0.48×10^{-9})、白云岩(0.43×10^{-9})。研究区采集的岩石样品包括了上述所有的岩石类型,但该区岩石金的背景值仅为 0.40×10^{-9} (表1),除峨眉山玄武岩(1.19×10^{-9})、辉绿岩(1.19×10^{-9})和火山碎屑岩(0.96×10^{-9})外,其余类型岩石的背景值均低于中国东部各类型岩石的金丰度(表3)。

从表3中可以看出整个滇黔桂卡林型金矿区各个时代地层中金的背景值较高的是元古宇(0.69×10^{-9})和三叠系(0.53×10^{-9})。各地层中金背景值较高的岩石有泥岩(1.01×10^{-9})、硅质岩(0.76×10^{-9})、页岩(0.70×10^{-9})、砂岩(0.62×10^{-9}),金背景值较低的为石灰岩(0.29×10^{-9})和白云岩(0.28×10^{-9})。

右江盆地岩石金的背景值(0.43×10^{-9})高于扬子克拉通和越北地块(0.39×10^{-9} 、 0.38×10^{-9}),但差别不大(表3)。右江盆地内岩石金的背景值较高的地层为三叠系(0.57×10^{-9}),金背景值较低的为石炭系(0.33×10^{-9})、泥盆系(0.32×10^{-9})和二叠系(0.30×10^{-9})(图5a),各地层中金背景值较高的岩石有泥岩(1.17×10^{-9})、页岩(1.13×10^{-9})、砂岩(0.65×10^{-9})(图5b,表3),金背景值较低的岩石包括石灰岩(0.30×10^{-9})、白云岩(0.28×10^{-9})和硅质岩(0.37×10^{-9})。三叠系是该区出露的主要地层,不仅出

露面积大,采集样品多,而且金背景值总体较高,该区卡林型主要产于右江盆地内三叠系台地相碳酸盐岩区和盆地相浊积岩系中,主要的容矿岩石包括砂岩、泥岩、页岩、灰岩等。扬子克拉通内岩石金背景值较高的地层为寒武系(1.05×10^{-9})、三叠系(0.51×10^{-9})和二叠系(0.41×10^{-9}),各地层中泥岩(0.86×10^{-9})、页岩(0.44×10^{-9})、砂岩(0.44×10^{-9})的金背景值较高,区内金矿主要赋矿于二叠系峨眉山玄武岩组与茅口组不整合接触面间因区域构造作用形成的构造蚀变带(Sbt)中,矿床规模较小。越北地块内岩石金背景值较高的地层是石炭系(0.43×10^{-9}),泥盆系(0.40×10^{-9})与研究区岩石金背景值持平,各地层中泥岩(0.63×10^{-9})、砂岩(0.51×10^{-9})(表3)的金背景值较高。

3.3 水系沉积物和各类岩石金含量对比研究

滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物和岩石金的背景值分别为 1.91×10^{-9} 和 0.40×10^{-9} ,水系沉积物与岩石金背景值的比值为4.78,显示在次生风化过程中金从岩石到水系沉积物明显富集。研究区水系沉积物和岩石中金含量的频率直方图和箱图(图6)显示水系沉积物和岩石的金分析数据大致具对数正态分布特征。水系沉积物中金含量仅有少量的下部异常值,但有大量连续排列的上部异常值,图3中圈定的5个金的地球化学省正是这些上部异常值的集中体现。岩石中金含量仅有两个上部异常值,这可能与中国基准值计划中岩石样品采集时尽量避开有矿床产出的区域有关(谭亲平和王学求,2017)。

表3 滇黔桂卡林型金矿区及各构造单元内不同地层和岩石金($\times 10^{-9}$)含量统计参数

Table 3 The statistical parameters of gold concentrations in different strata and rocks ($\times 10^{-9}$) in various tectonic units and the whole Yunnan-Guizhou-Guangxi region

	整个研究区			右江盆地			扬子克拉通			越北地块		
	样品数	平均值	背景值	样品数	平均值	背景值	样品数	平均值	背景值	样品数	平均值	背景值
总岩石	241	0.81	0.40	115	0.79	0.43	101	0.89	0.39	25	0.56	0.38
太古宇	1	0.69	0.69	-	-	-	1	0.69	0.69	-	-	-
寒武系	8	0.48	0.32	-	-	-	3	0.85	1.05	5	0.26	0.22
奥陶系	3	0.41	0.33	-	-	-	-	-	-	3	0.41	0.33
志留系	2	0.31	0.31	-	-	-	2	0.31	0.31	-	-	-
泥盆系	29	0.52	0.31	8	0.41	0.32	13	0.42	0.31	8	0.78	0.40
石炭系	28	0.34	0.32	8	0.33	0.33	16	0.29	0.27	4	0.57	0.43
二叠系	36	1.10	0.36	13	0.51	0.30	21	1.54	0.41	2	0.39	0.39
三叠系	116	0.80	0.53	79	0.90	0.57	36	0.61	0.48	1	0.39	0.39
玄武岩	10	1.88	1.19	4	0.69	0.66	6	2.67	2.89	-	-	-
火山碎屑岩	5	0.81	0.54	2	0.72	0.72	3	1.95	1.62	-	-	-
辉绿岩	3	1.67	1.10	1	3.37	3.37	-	-	-	2	0.81	0.81
泥岩	42	1.45	1.01	23	1.67	1.17	17	1.25	0.86	2	0.63	0.63
页岩	21	0.99	0.70	6	1.26	1.13	15	0.88	0.44	-	-	-
砂岩	45	0.77	0.62	25	0.84	0.65	16	0.56	0.44	4	1.12	0.51
石灰岩	86	0.44	0.29	39	0.31	0.30	35	0.64	0.31	12	0.27	0.28
白云岩	26	0.29	0.28	14	0.29	0.28	9	0.24	0.20	3	0.41	0.38
硅质岩	3	0.79	0.76	1	0.37	0.37	-	-	-	2	1.00	1.00

注:“-”表示无数据。

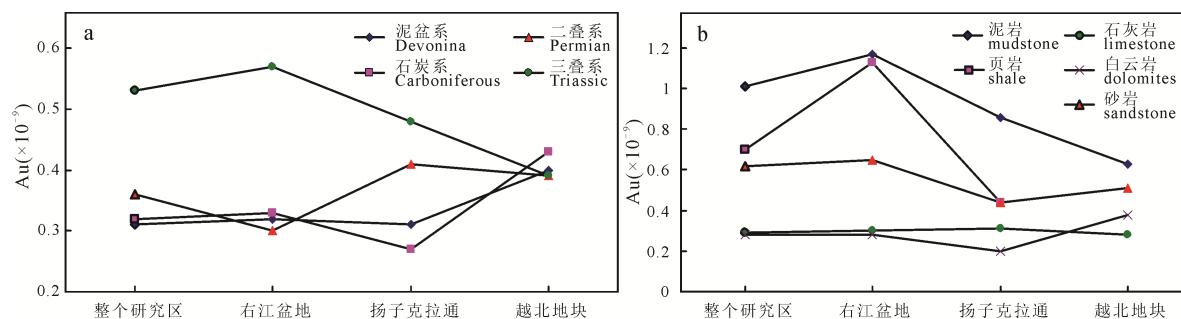


图 5 滇黔桂卡林型金矿区及各构造单元内不同地层(a)及岩石(b)中金背景值变化图

(因各构造单元内其他地层和岩石采集样品太少且不连续,故只选择上述地层和岩石金数据进行绘制)

Fig. 5 The variation trend of gold background values in different strata (a) and rocks (b) of each tectonic unit and the whole Yunnan-Guizhou-Guangxi region (only the above-mentioned strata and rock gold data are selected for drawing because other strata and rock samples collected in each tectonic unit are very insufficient and discontinuous)

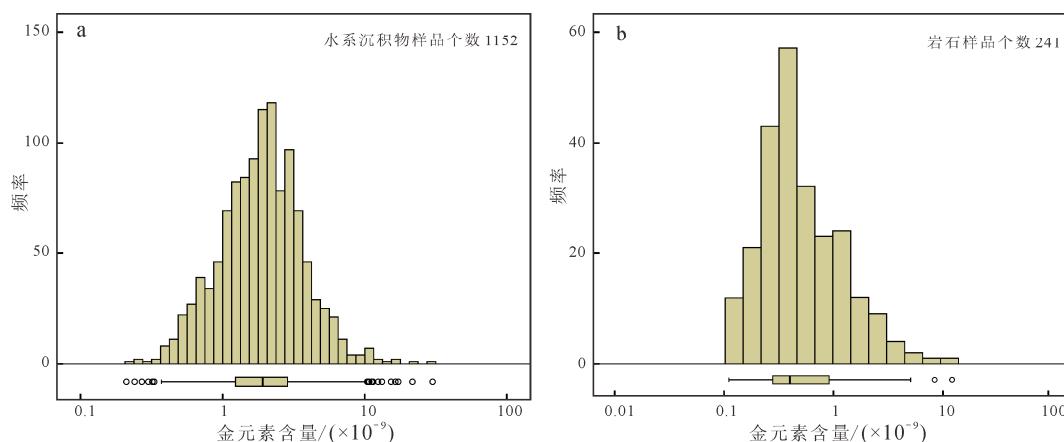


图 6 滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物(a)和岩石(b)金含量频率直方图和箱图

Fig. 6 Histograms and boxplots of gold content of stream sediments (a) and rocks (b) in Yunnan-Guizhou-Guangxi region

由表 4 可以看出水系沉积物金背景值较高的构造单元是右江盆地(1.94×10^{-9})和越北地块(2.53×10^{-9}),而扬子克拉通内水系沉积物金背景值(1.68×10^{-9})较低。总的岩石金背景值在右江盆地中高于扬子克拉通和越北地块,但差别不大,分别为 0.43×10^{-9} 和 0.39×10^{-9} 、 0.38×10^{-9} (表 4)。除越北地块外(样品太少,代表性不强),其余构造单元中水系沉积物金背景值的变化与岩石金背景值变化一致,显示水系沉积物中金的背景值受岩石中金背景含量的制约。

将以泥岩、页岩、砂岩、灰岩为代表的容矿岩石和二叠、三叠系赋矿地层岩石金背景值与对应水系沉积物对比发现,三者金背景值均为右江盆地(0.51×10^{-9} 、 0.47×10^{-9} 、 1.94×10^{-9})高于扬子克拉通(0.39×10^{-9} , 0.44×10^{-9} , 1.68×10^{-9});容矿岩石与对应水系沉积物金背景值在右江盆地西北部的台地相区(0.51×10^{-9} 、 2.05×10^{-9})高于盆地内东南部的盆地相区(0.47×10^{-9} 、 1.96×10^{-9})(表 4)。容矿岩石相较赋矿地层岩石来说,其金背景值与水系沉积物金背景值的变化一致性更显著,水系沉积物中金的含量对容矿岩石具有更明显的继承性。大规模矿床形成的必

要与充分条件是要有巨量成矿物质的供应与聚集,而地球上某些或某种元素高含量的巨大岩块,能为矿床的形成提供必要的物质基础(王学求等, 2007)。研究区所有大型-超大型卡林型金矿均产于右江盆地内,这与右江盆地能提供金成矿所需的矿源层(二叠系、三叠系的陆源碎屑沉积矿源层、碳酸盐岩-黏土岩沉积矿源层及浊流碎屑沉积矿源层)(何邵麟, 1992)关系密切。

滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物和岩石中金的含量与时空分布研究有助于有效判断异常的成因,识别成矿作用的存在,对研究金的区域成矿规律和聚焦找矿靶区具有重要意义。高背景岩石为矿床的形成提供物质基础,不同规模的各种地质过程使成矿元素不断活化、迁移和富集从而形成矿床,地壳演化过程中的不均匀性以及矿床风化产生元素的点源分散促使形成具有多层次套合的地球化学异常(王学求, 2001)。研究区内两个超大型金矿和大部分大中型金矿均位于金的地球化学省内,表明聚焦上述 5 个金的地球化学省是该区重要的找矿方向,各金的地球化学省内具高金背景值的地层或岩石是重点关注的找矿部位。

表4 滇黔桂卡林型金矿区各构造单元及沉积相内水系沉积物和各类岩石金($\times 10^{-9}$)含量统计参数
Table 4 The statistical parameters of gold concentrations of stream sediments and different rocks in various tectonic units and sedimentary facies in Yunnan-Guizhou-Guangxi region

	样品类型	样品数	极小值	百分位数			极大值	平均值	标准差
				25%	50%	75%			
整个研究区	水系沉积物	1152	0.21	1.23	1.91	2.86	30.04	2.35	2.03
	总岩石	241	0.10	0.28	0.40	0.91	12.13	0.81	1.20
	泥岩、页岩、砂岩、灰岩	194	0.10	0.28	0.40	0.92	12.13	0.79	1.23
	二叠、三叠系地层岩石	152	0.10	0.30	0.44	1.01	12.13	0.88	1.35
右江盆地	水系沉积物	761	0.40	1.30	1.94	2.88	30.04	2.46	2.28
	总岩石	115	0.11	0.30	0.43	1.04	8.41	0.79	1.00
	泥岩、页岩、砂岩、灰岩	93	0.11	0.30	0.51	1.09	8.41	0.85	1.05
	二叠、三叠系地层岩石	92	0.14	0.30	0.47	1.09	8.41	0.85	1.06
台地相区	水系沉积物	187	0.63	1.51	2.05	2.69	21.67	2.43	1.98
	总岩石	23	0.14	0.29	0.45	0.67	2.04	0.57	0.46
	泥岩、页岩、砂岩、灰岩	15	0.29	0.35	0.51	0.83	2.04	0.69	0.50
	二叠、三叠系地层岩石	21	0.14	0.28	0.42	0.65	2.04	0.56	0.47
盆地相区	水系沉积物	574	0.40	1.25	1.96	2.96	30.04	2.50	2.37
	总岩石	92	0.11	0.30	0.41	1.09	8.41	0.79	1.09
	泥岩、页岩、砂岩、灰岩	78	0.11	0.29	0.47	1.10	8.41	0.88	1.13
	二叠、三叠系地层岩石	71	0.14	0.33	0.56	1.11	8.41	0.93	1.17
扬子克拉通	水系沉积物	331	0.21	0.96	1.68	2.70	10.10	2.02	1.45
	总岩石	101	0.10	0.27	0.39	0.89	12.13	0.89	1.48
	泥岩、页岩、砂岩、灰岩	83	0.10	0.27	0.39	0.73	12.13	0.79	1.47
	二叠、三叠系地层岩石	57	0.10	0.31	0.44	0.89	13.13	0.95	1.75
越北地块	水系沉积物	60	0.78	2.03	2.53	3.37	5.37	2.72	1.05
	总岩石	25	0.18	0.28	0.38	0.58	3.15	0.56	0.60
	泥岩、页岩、砂岩、灰岩	18	0.18	0.24	0.29	0.46	3.15	0.50	0.68
	二叠、三叠系地层岩石	3	0.28	0.28	0.39	-	0.50	0.39	0.11

注:“-”表示无数据。

4 结论

(1)滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物金的背景值和均值明显高于全国水系沉积物金的背景值和均值,说明该区是重要的金元素富集区;将百分位数85%(3.51×10^{-9})定为水系沉积物金含量的异常下限,以金地球化学异常面积大于 1000 km^2 为准,共圈定5处金的地球化学省,这些金的地球化学省同时也是矿床大规模产出的部位。

(2)滇黔桂卡林型金矿区岩石金高背景值的构造单元为右江盆地,地层为三叠系。绝大多数的卡林型金矿均产于其中,三叠系地层中的泥岩、页岩、砂岩及部分灰岩具较高的金背景值,是金最有利的容矿岩石。这些卡林型金矿的密集产出与其所处岩石、地层及构造单元和沉积相中具有较高的金背景值密切相关。

(3)滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物与岩石金的背景值比值为4.78,显示在次生风化过程中金从岩石到水系沉积物明显富集。各构造单元及沉积相

中水系沉积物金背景值的变化与岩石金背景值变化基本一致,水系沉积物中金的背景值受岩石金背景含量的制约,以泥岩、页岩、砂岩、灰岩为代表的容矿岩石金背景值与水系沉积物金背景值的变化一致性更显著。

Acknowledgements:

This study was supported by National Key Research and Development Program (No. 2016YFC0600600).

参考文献:

- 陈翠华,何彬彬,顾雪祥,刘建明. 2004. 右江沉积盆地演化与微细浸染型金矿床成矿作用关系探讨[J]. 地质与勘探, 40(1): 21-25.
- 陈懋弘,张延,蒙有言,陆刚,刘苏桥. 2014. 桂西北马料屯金矿床成矿年代上限的确定—对滇黔桂“金三角”卡林型金矿年代学研究的启示[J]. 矿床地质, 33(1): 1-13.
- 陈懋弘,章伟,杨宗喜,陆刚,侯可军,刘建辉. 2009. 黔西南白层超基性岩墙锆石SHRIMP-Pb年龄和Hf同位素组成研

- 究[J]. 矿床地质, 28(3): 240-250.
- 迟清华, 鄂明才. 2007. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社: 80-96.
- 杜远生, 黄宏伟, 黄志强, 徐亚军, 杨江海, 黄虎. 2009. 右江盆地晚古生代-三叠纪盆地转换及其构造意义[J]. 地质科技情报, 28(6): 10-15.
- 冯光英, 刘燊, 苏文超, 冯彩霞, 王涛, 杨毓红. 2010. 黔西南碱性超基性脉岩的铂族元素地球化学[J]. 矿物学报, 30(2): 207-214.
- 高泽培, 任运华, 张准. 2013. 云南广南堂上金矿床地质特征及远景预测[J]. 地球学报, 34(增刊1): 76-80.
- 韩伟, 罗金海, 樊俊雷, 曹远志, 张静艺. 2009. 贵州罗甸晚二叠世辉绿岩及其区域构造意义[J]. 地质论评, 55(6): 795-803.
- 韩至钧, 盛学庸. 1996. 黔西南金矿及其成矿模式[J]. 贵州地质, 13(2): 146-153.
- 何彬彬. 2002. 右江沉积盆地演化与微细浸染型金矿床成矿作用[D]. 成都: 成都理工大学: 1-60.
- 何邵麟, 程国繁, 刘应忠, 陈智, 胡从亮, 牟军, 罗明学. 2007. 黔西南金地球化学块体资源潜力与找矿方法研究[J]. 矿物学报, 27(3/4): 477-482.
- 何邵麟. 1992. 试用地质地球化学资料解释黔西南金矿的形成[J]. 贵州地质, 9(2): 150-160.
- 胡瑞忠, 彭建堂, 马东升, 苏文超, 施春华, 毕献武, 涂光炽. 2007. 扬子地块西南缘大面积低温成矿时代[J]. 矿床地质, 26(6): 583-596.
- 梁婷, 王登红, 蔡明海, 黑欢, 黄惠明, 郑阳. 2014. 桂西北矿集区锡多金属矿床成矿规律概要[J]. 地质学报, 88(12): 2443-2463.
- 廖震文. 2010. 滇黔邻区与峨眉山玄武岩有关的铜矿、金矿地质特征对比[J]. 吉林大学学报·地球科学版, 40(4): 821-827.
- 刘彬, 王学求. 2018. 长江中下游地区铜地球化学块体物质来源及其对铜矿集区形成的制约[J]. 矿物岩石地球化学通报, 37(2): 271-282.
- 刘大文, 谢学锦, 严光生, 连长云, 王全明. 2002. 地球化学块体的方法技术在山东金资源潜力预测中的应用[J]. 地球学报, 23(2): 169-174.
- 刘红, 于又华. 2001. 贵州省黄金工业的发展与方向[J]. 黄金科学技术, 9(6): 11-14.
- 刘继顺, 周余国, 韩海涛, 高启芝, 林家勇, 刘德利, 郭军. 2007. 滇东南底砾金矿地质特征及找矿预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 37(4): 652-658.
- 刘建中, 夏勇, 陶琰, 杨成富, 王泽鹏, 谭亲平, 付绍洪, 陈睿, 吴文明. 2014. 贵州西南部 SBT 与金锑矿成矿找矿[J]. 贵州地质, 31(4): 267-272.
- 刘学飞, 王庆飞, 杨立强, 龚庆杰, 张静, 高帮飞. 2008. 秦岭与滇黔桂地区卡林型金矿地质与地球化学特征[J]. 地质科技情报, 27(3): 51-60.
- 刘寅, 胡凯, 韩善楚, 孙泽航. 2015. 右江盆地构造和演化及对卡林型金矿床的控制作用[J]. 高校地质学报, 21(1): 1-14.
- 刘远栋, 庞保成, 付伟, 吴荣华, 张敏, 秦娴. 2011. 桂西北世加金矿稀土元素特征及其成矿指示意义[J]. 矿产与地质, 25(4): 317-323.
- 刘远栋, 庞保成, 张建芳, 荣一萍. 2013. 桂西北世加金矿黄铁矿微量元素地球化学研究[J]. 地质与勘探, 49(3): 475-483.
- 罗刚. 2010. 滇东南地区微细粒浸染型金矿床地质特征和成矿规律研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京): 1-16.
- 罗寿文, 陈开礼, 黄巧. 2010. 广西隆林卡林型金矿地质特征及成因探讨[J]. 地质科技情报, 29(4): 100-105.
- 牛翠祎, 王科强, 李绍儒. 2011. 滇黔桂成矿区金矿资源预测评价[J]. 中国地质, 38(6): 1576-1583.
- 皮桥辉, 胡瑞忠, 彭科强, 吴建标, 韦朝文, 黄勇. 2016. 云南富宁者桑金矿床与基性岩年代测定—兼论滇黔桂地区卡林型金矿成矿构造背景[J]. 岩石学报, 32(11): 3331-3342.
- 师淑娟, 王学求, 宫进忠. 2009. 河北省金的地球化学省与矿集区[J]. 矿物学报, 29(S1): 463-464.
- 索书田, 侯光久, 张明发, 王琨. 1993. 黔西南盘江大型多层次席状逆冲—推覆构造[J]. 地质通报, (3): 239-247.
- 谭亲平, 王学求. 2017. 秦岭地区水系沉积物和岩石金元素时空分布研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 36(5): 824-833.
- 王亮, 龙超林, 刘义. 2015. 黔西南隐伏岩体圈定与金矿物源探讨[J]. 现代地质, 29(3): 702-712.
- 王亮, 张应文, 刘盛光. 2009. 区域重磁资料圈定贵州境内侵入岩体及局部地质构造[J]. 物探与化探, 33(3): 245-249, 255.
- 王学求, 申伍军, 张必敏, 聂兰仕, 迟清华, 徐善法. 2007. 地球化学块体与大型矿集区的关系—以东天山为例[J]. 地学前缘, 14(5): 116-123.
- 王学求, 徐善法, 迟清华, 刘雪敏, 王玮. 2013b. 华南陆块成矿元素巨量聚集与分布[J]. 地球化学, 42(3): 229-241.
- 王学求, 徐善法, 迟清华, 刘雪敏. 2013a. 中国金的地球化学省及其成因的微观解释[J]. 地质学报, 87(1): 1-8.
- 王学求. 2000. 巨型矿床与大型矿集区勘查地球化学[J]. 矿床地质, 19(1): 76-87.
- 王学求. 2001. 地球化学模式及成因初探[J]. 矿床地质, 20(3): 216-222.
- 王学求. 2012. 全球地球化学基准: 了解过去, 预测未来[J]. 地学前缘, 19(3): 7-18.
- 王砚耕, 陈履安, 李兴中, 王立亭. 2000. 贵州西南部红土型金矿特征及其分布规律[J]. 贵州地质, 1(17): 2-13.
- 王砚耕, 索书田, 张明发. 1994. 黔西南构造与卡林型金矿[M]. 北京: 地质出版社: 3-45.
- 吴小红, 程鹏林, 肖成刚, 马健. 2013. 贵州西部玄武岩分布区大麦地金矿成矿地质特征[J]. 贵州地质, 30(4): 283-288.
- 谢学锦, 任天祥, 奚小环, 张立生. 2009. 中国区域化探全国扫面计划纲要[J]. 地球学报, 30(6): 700-716.
- 谢学锦. 1979. 区域化探全国扫面工作方法的讨论[J]. 物探与化探, 3(1): 18-26.
- 谢学锦. 2003. 2020 年的勘查地球化学—从勘查地球化学到应用地球化学[J]. 地质通报, 22(11-12): 863-868.
- 杨云保. 2004. 滇东南地区微细粒金矿成矿讨论[J]. 地质与勘探, 40(3): 31-35.
- 张维乾, 左华平. 2018. 裂谷构造与滇黔桂三角地区金矿关系[J]. 四川地质学报, 38(2): 191-193, 201.
- 赵智贤. 2013. 滇东南斗月金矿成矿规律研究[D]. 昆明: 昆明

理工大学: 7-18.

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

周机灵, 刘晓东. 2013. 云南丘北洗马塘金异常特征及矿化层位[J]. 云南地质, 32(1): 10-13.

朱赖民, 刘显凡, 金景福, 何明友. 1998. 滇黔桂微细浸染型金矿床时空分布与成矿流体来源研究[J]. 地质科学, 33(4): 463-474.

References:

- BOLVIKEN B, KULLERUD G, LOUCKS R R. 1990. Geochemical and metallogenic provinces: A discussion initiated by results from geochemical mapping across northern Fennoscandia[J]. Journal of Geochemical Exploration, 39(1-2): 49-90.
- CHEN Cui-hua, HE Bin-bin, GU Xue-xiang, LIU Jian-ming. 2004. Relationship between evolution of the Youjiang sedimentary basin and metallogenesis of micro-disseminated gold deposits[J]. Geology and Exploration, 40(1): 21-25(in Chinese with English abstract).
- CHEN Mao-hong, MAO Jing-wen, BIERLEIN F P, NORMAN T, UTTLEY P J. 2011. Structural features and metallogenesis of the carlin-type Jinfeng (Lannigou) gold deposit, Guizhou province, China[J]. Ore Geology Reviews, 43(1): 217-234.
- CHEN Mao-hong, ZHANG Wei, YANG Zong-xi, LU Gang, HOU Ke-Jun, LIU Jian-hui. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb age and Hf isotopic composition of Baiceng ultrabasic dykes in Zhenfeng county, southwestern Guizhou province[J]. Mineral Deposits, 28(3): 240-250(in Chinese with English abstract).
- CHEN Mao-hong, ZHANG Yan, MENG You-yan, LU Gang, LIU Su-qiao. 2014. Determination of upper limit of metallogenic epoch of Liaotun gold deposit in Western Guangxi and its implications for chronology of Carlin-type gold deposits in Yunnan-Guizhou-Guangxi “golden triangle” area[J]. Mineral Deposits, 33(1): 1-13(in Chinese with English abstract).
- CHI Qing-hua, YAN Ming-cai. 2007. Handbook of Elemental Abundance for Applied Geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House: 80-96(in Chinese).
- DU Yuan-sheng, HUANG Hong-wei, HUANG Zhi-qiang, XU Ya-jun, YANG Jiang-hai, HUANG Hu. 2009. Basin translation from Late Palaeozoic to Triassic of Youjiang basin and its tectonic significance[J]. Geological Science and Technology Information, 28(6): 10-15(in Chinese with English abstract).
- FENG Guang-ying, LIU Shen, SU Wen-chao, FENG Cai-xia, WANG Tao, YANG Yu-hong. 2010. PGE Geochemistry of alkaline ultramafic dykes in Southwestern Guizhou province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 30(2): 207-214(in Chinese with English abstract).
- GAO Ze-pei, REN Yun-hua, ZHANG Zhun. 2013. Geological characteristics and prospective prognosis of the Tangshang Au deposit in Guangan county, Yunnan province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(Suppl.1): 76-80(in Chinese with English abstract).
- HAN Wei, LUO Jin-hai, FAN Jun-lei, CAO Yuan-zhi, ZHANG Jing-yi. 2009. Late Permian diabase in Luodian, southeastern Guizhou, and its tectonic significances[J]. Geological Review, 55(6): 795-803(in Chinese with English abstract).
- HAN Zhi-jun, SHENG Xue-yong. 1996. Gold deposits in Southwest Guizhou and their metallogenetic model[J]. Guizhou Geology, 13(2): 146-153(in Chinese with English abstract).
- HE Bin-bin. 2002. Evolution of the Youjiang sedimentary basin and metallogenesis of micro-disseminated gold deposits[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology: 1-60(in Chinese with English abstract).
- HE Shao-lin, CHENG Guo-fan, LIU Ying-zhong, CHEN Zhi, HU Cong-liang, MU Jun, LUO Ming-xue. 2007. Resource potential and prospecting methods of gold geochemical blocks in Southwestern Guizhou, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 27(3/4): 477-482(in Chinese with English abstract).
- HE Shao-lin. 1992. A preliminary explanation of Au formation in Southwestern Guizhou by using geological and geochemical date[J]. Guizhou Geology, 9(2): 150-160(in Chinese with English abstract).
- HOU Lin, PENG Hui-juan, DING Jun, ZHANG Jin-rang, ZHU Si-bao, WU Song-yang, WU Yue, OUYANG He-gen. 2016. Textures and in situ chemical and isotopic analyses of pyrite, Huijiabao Trend, Youjiang Basin, China: Implications for paragenesis and source of sulfur[J]. Economic Geology, 111(2): 331-353.
- HU Rui-zhong, PENG Jian-tang, MA Dong-sheng, SU Wen-chao, SHI Chun-hua, BI Xian-wu, TU Guang-chi. 2007. Epoch of large-scale low-temperature mineralizations in Southwestern Yangtze massif[J]. Mineral Deposits, 26(6): 583-596(in Chinese with English abstract).
- LIANG Ting, WANG Deng-hong, CAI Ming-hai, HEI Huan, HUANG Hui-ming, ZHENG Yang. 2014. Metallogenic regularity of tin Polymetallic deposit from Northwestern ore concentration area, Guangxi[J]. Acta Geologic Sinica, 88(12): 2443-2463(in Chinese with English abstract).
- LIAO Zhen-wen. 2010. Comparison of geological characteristics of the copper and gold deposits related to Emeishan basalt in the borders area between Yunnan and Guizhou[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 40(4): 821-827(in Chinese with English abstract).
- LIU Bin, WANG Xue-qiu. 2018. Origin of Cu geochemical domains in the Middle-Lower Yangtze River region and its constraints on the formation of Cu deposit districts[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 37(2): 271-282(in Chinese with English abstract).
- LIU Da-wen, XIE Xue-jin, YAN Guang-sheng, LIAN Chang-yun, WANG Quan-ming. 2002. The Application of Geochemical Blocks Methods to Gold Resources Assessment in Shandong province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 23(2): 169-174(in Chinese with English abstract).

lish abstract).

- LIU Hong, YU You-hua. 2001. The development and direction of gold industry in Guizhou province[J]. *Gold Science and Technology*, 9(6): 11-14(in Chinese with English abstract).
- LIU Jian-zhong, XIA Yong, TAO Yan, YANG Cheng-fu, WANG Ze-peng, TAN Qin-ping, FU Shao-hong, CHEN Rui, WU Wen-ming. 2014. The relation between SBT and gold-antimony deposit metallogenesis and prospecting in Southwest Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 31(4): 267-272(in Chinese with English abstract).
- LIU Ji-shun, ZHOU Yu-guo, HAN Hai-tao, GAO Qi-zhi, LIN Jia-yong, LIU De-li, GUO Jun. 2007. Geological features and ore prediction of Dixu gold deposit in Southeast Yunnan province, China[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 37(4): 652-658(in Chinese with English abstract).
- LIU Shen, SU Wen-chao, HU Rui-zhong, FENG Cai-xia, GAO Shan, COULSON I M, WANG Tao, FENG Guang-ying, TAO Yan, XIA Yong. 2010. Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of alkaline ultramafic dykes from Southwest Guizhou province, SW China[J]. *Lithos*, 114(1-2): 253-264.
- LIU Xue-fei, WANG Qing-fei, YANG Li-qiang, GONG Qing-jie, ZHANG Jing, GAO Bang-fei. 2008. Geological and metallogenic features of carlin-type gold deposits in Qinling and Dian-Qian-Gui areas, China[J]. *Geological Science and Technology Information*, 27(3): 51-60(in Chinese with English abstract).
- LIU Yin, HU Kai, HAN Shan-chu, SU Ze-hang. 2015. Structural evolution of the Youjiang basin and its controlling effects on the formation of Carlin-Type gold deposits[J]. *Geological Journal of China Universities*, 21(1): 1-14(in Chinese with English abstract).
- LIU Yuan-dong, PANG Bao-cheng, FU Wei, WU Rong-hua, ZHANG Min, QIN Xian. 2011. REE characteristics and ore-forming indicator of the Shijia gold deposit in Northwest of Guangxi[J]. *Minerals Resources and Geology*, 25(4): 317-323(in Chinese with English abstract).
- LIU Yuan-dong, PANG Bao-cheng, ZHANG Jian-fang, RONG Yi-ping. 2013. Microelement geochemistry of pyrites from the Shijia gold deposit in Northwest Guangxi[J]. *Geology and Exploration*, 49(3): 475-483(in Chinese with English abstract).
- LUO Gang. 2010. Study for the micro-disseminate gold deposit, geological and metallogenic in Southeastern Yunnan area[D]. Beijing: China University of Geoscience (Beijing): 1-16(in Chinese with English abstract).
- LUO Shou-wen, CHEN Kai-li, HUANG Qiao. 2010. Metallogenic characteristics and genesis of Carlin-Type gold deposits in Longlin region, Guangxi[J]. *Geological Science and Technology Information*, 29(4): 100-105(in Chinese with English abstract).
- NIU Cui-ji, WANG Ke-qiang, LI Shao-ru. 2011. Prediction and evaluation of gold resources in the Yunnan-Guizhou-Guangxi metallogenic area[J]. *Geology in China*, 38(6): 1576-1583(in Chinese with English abstract).
- PETERS S G, HUANG Jia-zhan, LI Zhi-ping, JING Cheng-gui. 2007. Sedimentary rock-hosted Au deposits of the Dian-Qian-Gui area, Guizhou, and Yunnan provinces, and Guangxi district, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 31: 170-204.
- PI Qiao-hui, HU Rui-zhong, PENG Ke-qiang, WU Jian-biao, WEI Chao-wen, HUANG Yong. 2016. Geochronology of the Zhesang gold deposit and mafic rock in Funing County of Yunnan province, with special reference to the dynamic background of Carlin-type gold deposits in the Dian-Qian-Gui region[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(11): 3331-3342(in Chinese with English abstract).
- PLANT J A, BREWARD N, SIMPSON P R, SLATER D. 1990. Regional geochemistry and the identification of metallogenic provinces: Examples from lead-zinc-barium, tin-uranium and gold deposits[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 39(1-2): 195-224.
- PLANT J A, REEDER S, SALMINEN R, SMITH D B, TARVAINEN T, DE VIVO B, PETTERSON M G. 2003. The distribution of uranium over Europe: Geological and environmental significance[J]. *Applied Earth Science: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section B*, 112(3): 221-238.
- REIMANN C, MELEZHIK V. 2001. Metallogenic provinces, geochemical provinces and regional geology-what causes large-scale patterns in low density geochemical maps of the C-horizon of podzols in Arctic Europe?[J]. *Applied Geochemistry*, 16(7-8): 963-983.
- SHI Shu-juan, WANG Xue-qiu, GONG Jin-zhong. 2009. Geochemical province and ore-centralization area of gold in Hebei province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 29(S1): 463-464(in Chinese with English abstract).
- SUO Shu-tian, HOU Guang-jiu, ZHANG Ming-fa, WANG Kun. 1993. The large Panjiang river multi-level sheeted thrust-nappe structure in Southwestern Guizhou[J]. *Geological Bulletin of China*, (3): 239-247(in Chinese with English abstract).
- TAN Qin-ping, WANG Xue-qiu. 2017. Temporal-spatial distributions of gold in drainage sediments and rocks in the Qinling region, China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 36(5): 824-833(in Chinese with English abstract).
- WANG Liang, LONG Chao-lin, LIU Yi. 2015. Discussion on Concealed Rock Mass Delineation and Gold Source in Southwestern Guizhou[J]. *Geoscience*, 29(3): 702-712(in Chinese with English abstract).
- WANG Liang, ZHANG Ying-wen, LIU Sheng-guang. 2009. The application of regional gravity and magnetic data to delineating intrusivie bodies and local geological structures in Guizhou province[J]. *Geophysical and Geochemical Explora-*

- tion, 33(3): 245-249, 255(in Chinese with English abstract).
- WANG Xue-qiu, SHEN Wu-jun, ZHANG Bi-min, NIE Lan-shi, CHI Qing-hua, XU Shan-fa. 2007. Relationship of geochemical blocks and ore districts: examples from Eastern Tianshan metallogenic belt, Xinjiang, China[J]. Earth Science Frontiers, 14(5): 116-123(in Chinese with English abstract).
- WANG Xue-qiu, The CGB Sampling Team. 2015. China geochemical baselines: Sampling methodology[J]. Journal of Geochemical Exploration, 148: 25-39.
- WANG Xue-qiu, XU Shan-fa, CHI Qing-hua, LIU Xue-min, WANG Wei. 2013b. Accumulation and distribution of metallogenic elements in south China continent[J]. Geochimica, 42(3): 229-241(in Chinese with English abstract).
- WANG Xue-qiu, XU Shan-fa, CHI Qing-hua, LIU Xue-min. 2013a. Gold geochemical provinces in China: a micro-and nano-scale formation mechanism[J]. Acta Geologica Sinica, 87(1): 1-8(in Chinese with English abstract).
- WANG Xue-qiu. 2000. Exploration geochemistry for giant ore deposits or world-class camps in concealed terrains[J]. Mineral Deposits, 19(1): 76-87(in Chinese with English abstract).
- WANG Xue-qiu. 2001. Geochemical patterns and their geneses[J]. Mineral Deposits, 20(3): 216-222(in Chinese with English abstract).
- WANG Xue-qiu. 2012. Global geochemical baselines: Understanding the past and predicting the future[J]. Earth Science Frontiers, 19(3): 7-18(in Chinese with English abstract).
- WANG Yan-geng, CHEN Lü-an, LI Xing-zhong, WANG Li-ting. 2000. Feature and distribution of lateritic gold deposits in Southwest Guizhou[J]. Guizhou Geology, 1(17): 2-13(in Chinese with English abstract).
- WANG Yan-geng, SUO Shu-tian, ZHANG Ming-fa. 1994. Structural and Carlin-Type Gold Deposits in Southwest Guizhou[M]. Beijing: Geological Publishing House: 3-45(in Chinese).
- WU Xiao-hong, CHENG Peng-lin, XIAO Cheng-gang, MA Jian. 2013. Metallogenic geologic characteristics of Damaidi gold deposit in basalt distribution area of Western Guizhou[J]. Guizhou Geology, 30(4): 283-288(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jin, MU Xu-zhan, REN Tian-xiang. 1997. Geochemical mapping in China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 60(1): 99-113.
- XIE Xue-jin, REN Tian-xiang, XI Xiao-huan, ZHANG Li-sheng. 2009. The implementation of the Regional Geochemistry-National Reconnaissance Program (RGNR) in China in the past thirty years[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(6): 700-716(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jin, YIN Bin-chuan. 1993. Geochemical patterns from local to global[J]. Journal of Geochemical Exploration, 47(1-3): 109-129.
- XIE Xue-jin. 1979. Discussion on the method of Regional Geochemistry-National Reconnaissance[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 3(1): 18-26(in Chinese with English abstract).
- XIE Xue-jin. 2003. Exploration geochemistry in 2020-From exploration geochemistry to applied geochemistry[J]. Geological Bulletin of China, 22(11-12): 863-868(in Chinese with English abstract).
- YANG Yun-bao. 2004. Mineralization of micro Carlin-Type gold deposits in Southeastern Yunnan[J]. Geology and Prospecting, 40(3): 31-35(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wei-qian, ZUO Hua-ping. 2018. Relation of rift tectonic to gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi triangle[J]. Acta Geologica Sichuan, 38(2): 191-193, 201(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Zhi-xian. 2013. Study on metallogenic regularity of Douyue gold deposit in Southeast Yunnan[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology: 7-18(in Chinese with English abstract).
- ZENG Xiang-ping. 2003. On the orefield geology of Shengjingguan-Dongpu gold deposit[J]. Yunnan Geology, 22(1): 39-46(in Chinese with English abstract).
- ZHU Lai-min, LIU Xian-fan, JIN Jing-fu, HE Ming-you. 1998. The study of the time-space distribution and source of ore-forming fluid for the fine-disseminated gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi area[J]. Scientia Geologica Sinica, 33(4): 463-474(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Ji-ling, LIU Xiao-dong. 2013. Ximatang Au anomaly feature and metallogenesis horizon in Qiubei, Yunnan[J]. Yunnan Geology, 32(1): 10-13(in Chinese with English abstract).