

贵州雪峰至加里东旋回构造演化与区域成矿规律

陶 平¹,陈建书^{1,2,3},白培荣^{1,2,3}

(1. 贵州省地质调查院,贵州 贵阳 550081;

2. 自然资源部基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心,贵州 贵阳 550081;

3. 贵州省战略矿产智慧勘查重点实验室,贵州 贵阳 550081)

[摘 要]以《中国矿产地质志·贵州卷》研究项目为依托,在前人研究基础上,进行了贵州雪峰至加里东构造旋回构造演化及区域成矿规律的系统研究。认为在该构造旋回,随着构造动力从离散(裂解)向汇聚(造山)发展,盆地类型从陆内裂陷(谷)盆地转化为被动大陆边缘盆地,再转化为板内结合带压陷盆地,从而形成了各时期特有的地质建造及多种矿产,尤其是贵州最有特色的锰、磷、重晶石等沉积矿产。这些矿产在各种地质建造及其地质体中呈现出有序分布规律。在此基础上,建立并论述了与沉积作用、浅成中-低温热液作用、岩浆作用有关的矿床成矿系列各一个及亚系列数个,并建立了贵州与南华纪至中寒武纪早期主要矿产的区域成矿模式。这些成果进一步揭示了贵州该旋回中的区域成矿规律。

[关键词]雪峰运动;加里东运动;构造演化;成矿系列;成矿规律;贵州

[中图分类号]P548;P612 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2023)04-344-09

根据陈毓川(2010),区域成矿规律研究就是总结矿床在一定区域内的时、空分布规律及内在联系,而划分成矿旋回、建立矿床成矿系列是其中很重要的研究内容。通过该项研究,可清晰获知一个地区各成矿旋回中的区域矿产时空分布特征,有效反映其成矿规律。

成矿旋回往往与构造旋回相对应,任纪舜(1999)曾将我国区域构造旋回和区域成矿旋回划分为相互对应的十三个旋回及其若干个亚旋回。《中国矿产地质志·贵州卷》研究项目以贵州所经历的主要构造运动及其所导致的区域性角度不整合接触界面为依据,划分出五个构造旋回及成矿旋回,即:武陵旋回、雪峰至加里东旋回、华力西至印支旋回、燕山旋回、喜马拉雅旋回。

本文讨论的贵州雪峰至加里东构造旋回,又

以区域旋回性不整合面为界划分出两个亚旋回,即雪峰亚旋回和加里东亚旋回。各亚旋回的构造演化、地质作用及地质建造各异,详见表1。

由于该旋回的两个亚旋回所处地质背景、地质构造演化阶段的差异,导致其大地构造动力学机制、沉积盆地类型及其所形成的地质建造有较大不同,进而导致其区域成矿作用类型及区域成矿规律也就各有特色。下文以《中国矿产地质志·贵州卷》研究项目为依托,在前人研究成果(冯学仕,2004;胡瑞忠,2007;戴传固,2010;陈建书,2011;陶平,2012;杨明桂,2020;陶平,2021;周琦,2023;Zhang Jiawei et al.,2023)基础上,对贵州雪峰至加里东构造旋回各时期构造演化的构造动力机制、盆地类型及地质建造、区域成矿作用类型及区域成矿规律等作了进一步研究,获得一些新认识。

[收稿日期]2023-09-27 [修回日期]2023-11-10

[基金项目]中国矿产地质志项目(编号:DD20221695、DD20190379、DD20160346)资助。

[作者简介]陶平(1960—),男,研究员,长期从事矿产地质勘查及研究工作。E-mail:645250832@qq.com。

表1 贵州雪峰至加里东旋回构造演化及地质建造简表

Table 1 Brief table of tectonic evolution and geological construction of Xuefeng-Caledonian cycle in Guizhou

地质时代	构造旋回及成矿旋回	动力机制	盆地类型	地质建造				
志留纪	雪峰至加里东旋回	碰撞造山	前陆盆地	陆棚炭砂泥岩建造 (O _{3w} -S _{1s})		滨浅海砂泥岩-灰岩建造 (S _{1x} -S _{1hx})		
奥陶纪			被动大陆边缘盆地	陆棚砂泥岩-灰岩建造 (O _{1m} -O _{2b})	陆内同造山含金刚石钾镁煌斑岩建造 (S _{γE})	台缘-斜坡碳酸盐岩-泥岩建造 (E _{2w} -O _{1h})	斜坡-盆地含钙砂泥岩建造 (E _{2-3d} -O _{2lk})	
寒武纪		7. 台地碳酸盐岩建造 (E _{1q} -O _{1h})		陆棚炭砂泥岩建造 (E _{1-2n} -E _{2j})	斜坡-盆地炭泥岩夹灰岩建造 (E _{1-2n} -E _{4zh})			
震旦纪		台地含磷白云岩建造 (Z _{1d} -E _{1gz})		陆棚硅泥质岩夹白云岩建造 (Z _{1d} -Z _{1l})				
南华纪		雪峰亚旋回	离散	陆内裂隙(谷)盆地	河湖相砂泥岩-冰碛岩建造 (Nh _{2tc} -Nh _{3n})	冰川-浅海杂砾岩及含锰炭泥岩建造 (Nh _{1ca} -Nh _{2d} -Nh _{3lj})		
青白口纪中晚期					滨岸砂泥岩-火山碎屑岩建造 (Qb _{Bzh} -Qb _{Be})	滨岸砂泥岩建造 (Qb _{Xp} -Qb _{Xl})	斜坡-陆棚砂泥岩-火山碎屑岩建造 (Qb _{Xf} -Qb _{Xq})	陆棚泥砂岩建造 (Qb _{Dg})
	陆棚盆地钙-碳砂泥岩建造 (Qb _{Xj} -Qb _{Xw})				裂谷基性-超基岩建造 (ΣNQb ₃)	裂谷基性岩建造 (βQb ₃)	裂谷S型花岗斑岩建造 (γQb ₃)	
			山前砂砾岩建造 (Qb _{3g(fr)})					

备注: S_{1hx}—回星哨组; S_{1x}—新滩组; S_{1s}—松坎组; O_{3w}—五峰组; O_{2b}—宝塔组; O_{2lk}—赖壳山组; O_{1h}—红花园组; E_{4zh}—追屯组; E_{2-3d}—都柳江组; E_{2w}—乌训组; E_{2j}—金顶山组; E_{1-2n}—牛蹄塘组; E_{1gz}—戈仲伍组; Z_{1l}—老堡组; Nh_{3n}—南沱组; Nh_{3lj}—黎家坡组; Nh_{2tc}—铁厂组; Nh_{2d}—大塘坡组; Nh_{1ca}—长安组; Qb_{Bzh}—板溪群鹤家坳组; Qb_{Bzh}—板溪群张家坝组; Qb_{Xl}—下江群隆里组; Qb_{Xp}—下江群平略组; Qb_{Xq}—下江群清水江组; Qb_{Xf}—下江群番召组; Qb_{Xw}—下江群乌叶组; Qb_{Xj}—下江群甲路组; Qb_{Dg}—丹洲群拱洞组; S_{γE}—钾镁煌斑岩

1 雪峰亚旋回构造演化及矿产

1.1 构造演化及地质建造

贵州在新元古代青白口纪中期末的武陵运动结束后,转入雪峰至加里东构造旋回。其中,从青白口纪下江期至中寒武纪早期都表现为离散动力学机制,先后为陆内裂隙(谷)盆地、被动大陆边缘盆地沉积环境。由于雪峰运动在贵州表现隆升造陆特征,在湖南怀化—省内玉屏—天柱—三都

一线以北西隆升为陆,遭受剥蚀,在青白口系与南华系之间形成局部的平行不整合面,故该平行不整合面作为亚旋回界面,即将其下、上分别划分为雪峰亚旋回和加里东旋回。该界面为裂谷盆地向被动陆缘盆地转换界面,至南华纪末期完成向被动陆缘盆地转换。

贵州在雪峰亚旋回的构造演化特征,主要表现为从武陵运动结束之后,即青白口纪中晚期(下江群沉积时期),大地构造动力机制总体为离散背景,表现为夭折裂谷盆地由开启—回返—充填演化历程,主要形成了表2所列的9个地质建造。

表2 雪峰期离散阶段主要地质建造及矿产简表

Table 2 Main geological formations and mineral resources in the divergent stage of Xuefeng period

地质建造	主要地质体及其岩石组合	主要矿产
1. 磨拉石砂砾岩建造 (Qb _{3g(fr)})	芙蓉坝组、归眼组变质砂砾岩、砂质板(千枚)岩组合	建筑用石料
2. 陆棚盆地钙—碳砂泥岩建造 (Qb _{Xj} -Qb _{Xw})	甲路组钙质板(大理)岩、红子溪组砂质板岩、乌叶组炭质板岩组合	饰面用大理石、饰面用板岩
3. 斜坡—陆棚砂泥岩—火山碎屑岩建造 (Qb _{Xf} -Qb _{Xq})	番召组、清水江组变质砂岩、板岩与变质(沉)凝灰岩组合	饰面用板岩、建筑用砂岩
4. 滨岸砂泥岩建造 (Qb _{Xp} -Qb _{Xl})	清水江组、平略组、隆里组变质砂岩、板岩组合	饰面用板岩
5. 滨岸砂泥岩—火山碎屑岩建造 (Qb _{Bzh} -Qb _{Be})	张家坝组、清水江组变质砂岩、板岩夹变质(沉)凝灰岩组合	饰面用板岩
6. 陆棚泥砂岩建造 (Qb _{Dg})	拱洞组板岩夹变质砂岩组合	饰面用板岩

续表

地质建造	主要地质体及其岩石组合	主要矿产
7. 裂谷基性—超基岩建造(ΣNQb_3)	从江宰便一带、黔桂交界洋边山、地虎一带侵入(喷出)于下江(丹州)群基性—超基性岩(火山岩)	蛇纹岩
8. 裂谷基性岩建造(βQb_3)	从江宰便一带、黔桂交界洋边山、地虎一带侵入(喷出)于下江(丹州)群基性—超基性岩(火山岩)	铸石用、建筑用辉绿岩
9. 裂谷 S 型花岗斑岩建造(γQb_3)	从江刚边、归林、隐伏于宰便一带重熔型过铝 S 型花岗斑岩	铜、铀、建筑用花岗岩

备注:关于各个地质建造之间的空间关系详见表 1。

具体而言,武陵造山运动形成的华南陆块再次裂解为扬子地块与华夏地块,在扬子地块南东缘形成南华裂谷,中心位于罗城—龙胜—桃江—景德镇一带(戴传固,2010)。由于裂隙作用,导致青白口系丹州群中下部(甲路组、三门街组)中发育了双峰式岩浆岩组合,在贵州从江及广西龙胜产出了佐证裂谷最大裂隙时期初始洋壳存在的中酸性、基性—超基性侵入岩和丹洲群中枕状玄武岩(细碧岩)火山岩组合(戴传固,2012),其锆石 U-Pb 年龄分别为 761 ± 8 Ma 和 765 Ma、 788 ± 2.6 Ma(葛文春等,2001;曾昭光等,2003)。该时期,贵州中东部处于扬子古陆边缘,从北西向南东分别形成了滨岸—台地相(板溪群)、陆棚—斜坡相(下江群)、斜坡—盆地相(丹洲群)的沉积建造。表现为由粗—细又由细—粗的海进—海退旋回性沉积序列。下江末期,随全球寒冷气候带来的冰冻性海退与地壳差异隆升,发生造陆性隆升性质的雪峰运动,在湖南怀化—省内玉屏—天柱—三都一线以北西造成了板溪群与南华系之间的不整合面,以及不同层位的超覆,在该线以南东。下江(丹州)群与上覆南华系主要呈连续沉积,两者呈整合接触。该界面之下主要形成滨岸砂泥岩建造、斜坡—陆棚砂泥岩,界面之上则主要形成河湖相砂泥岩—冰碛岩建造、冰川—浅海杂砾岩等。

1.2 成矿作用及其矿产

雪峰期的裂谷盆地开启—回返充填阶段,在贵州主要见有沉积作用和变质作用矿产,主要见于黔东南及梵净山地区,形成了表 2 所列的多个与裂隙槽及海相火山作用有关的地质建造及其矿产,这些地质建造在成矿方面主要贡献如下:

(1) 岩石变质作用轻微,可作为工业岩石类非金属矿产,如砂岩、页岩可分别作为建造石材、砖瓦用泥页岩等矿产。

(2) 有较多岩石可经区域变质作用成矿,从而形成饰面石材用板岩(如台江县黄毛饰面用板岩、锦屏县瑶老嘴板岩饰面用板岩)、紫袍玉(红子溪组紫色板岩、粉砂质板岩),大理岩(甲路组)等等。

(3) 上述沉积建造也是浅成中—低温热液型矿床的矿源层(陶平,2012):该亚旋回所形成的矿源层即富含金、锑、铜、铅锌银等有用金属元素的含火山凝灰质陆源碎屑沉积岩,具体可细分为两种矿源层:①下江群甲路组浅变质钙质岩系夹有基性火山岩,意味着当时有多次火山气液活动,携带的矿质进入水体沉淀富集,致甲路组成为矿源层,这可能就是赋存在该层位的地虎铜铅锌金银多金属矿床的矿源层;②青白口系下江群清水江组、番召组、平略组和隆里组:这些浅变质岩系(尤其是清水江组)中若干含火山凝灰质陆源碎屑沉积层中有很高的 Au 丰度,在邻区的冷家溪群和板溪群中也具很高的 W、Sb、Au 丰度,为黔东南天柱—锦平—黎平金矿带和湘西钨锑金成矿带提供了重要成矿物质,也为其在加里东期成矿奠定了基础。

(4) 该时期所形成的岩浆岩建造,即裂谷基性—超基岩建造(ΣNQb_3)、裂谷基性岩建造(βQb_3)、裂谷 S 型花岗斑岩建造(γQb_3),可能形成相应的矿产,如建筑用辉绿岩、花岗岩、蛇纹岩等,勘查开发程度极低。同时,该亚旋回剧烈的岩浆活动,为铜铅锌金银锑等内生矿的初始富集与成矿提供了部分物源、液源与热源。

2 加里东亚旋回构造演化

2.1 构造演化及地质建造

在贵州,加里东亚旋回的构造演化划分为离散阶段和汇聚—碰撞造山阶段,所形成的地质建造详见表 3。

表3 加里东期地质建造及矿产简表

Table 3 Brief table of Caledonian geological formations and minerals

地质建造	主要地质体及其岩石组合	主要矿产
1. 河湖相砂泥岩—冰碛岩建造(Nh ₂ tc - Nh ₃ n):	铁厂组、南沱组砂泥岩、冰碛砾岩组合	铁
2. 冰川—浅海杂砾岩及含锰炭泥岩建造(Nh ₁ ca-Nh ₃ lj):	长安组、富禄组、大塘坡组、南沱(黎家坡)组砂泥岩、冰碛砾岩、炭质板岩夹碳酸锰组合	锰、铁
3. 台地含磷白云岩建造(Z ₁ d-C ₁ gz):	洋水组、陡山沱组、灯影组及织金一带的戈仲武组磷块岩、白云岩组合	磷、稀土、锰、铁、炼镁白云岩、饰面用及化工用白云岩
4. 陆棚硅泥质岩夹白云岩建造(Z ₁ d - ZC ₁ l):	陡山沱组、留茶坡组、老堡组硅质岩夹白云岩组合	重晶石、饰面用白云岩、磷
5. 陆棚炭砂泥岩建造(C ₁₋₂ n-C ₁ j):	牛蹄塘组、明心寺组、金顶山组、箐竹寺组、沧浪铺组炭质泥岩、泥岩、砂岩组合	镍、钼、钒、铀、页岩气、水泥用灰岩
6. 斜坡—盆地炭泥岩夹灰岩建造(C ₁₋₂ n-C ₄ zh):	牛蹄塘组、九门冲组、变马冲组、杷郎组及渣拉沟组炭(硅)质泥岩、泥岩、灰岩组合	钒、重晶石、页岩气、水泥用灰岩
7. 台地碳酸盐岩建造(C ₁ q-O ₁ h):	清虚洞组、高台组、陡坡寺组、石冷水组、平井组、后坝组、毛田组、娄山关组、桐梓组、红花园组白云岩、灰岩夹碎屑岩组合	饰面用及水泥用石灰岩、冶镁白云岩、冶金用及玻璃用白云岩、含钾岩石
8. 陆棚砂泥岩—灰岩建(O ₁ m-O ₂ b)	奥陶系湄潭组、宝塔组	砂泥岩、饰面用石灰岩
10. 台缘—斜坡碳酸盐岩—泥岩建造(C ₂ w-O ₁ h):	乌训组、敖溪组、车夫组、比条组、追屯组、桐梓组、红花园组灰岩、砾屑灰岩、白云岩、粘土岩	饰面用石灰岩、白云岩
11. 斜坡—盆地含钙砂泥岩建造(C ₂₋₃ d - O ₂ lk):	都柳江组、三都组、锅塘组、同高组、烂木滩组、赖壳山组砂岩、泥灰岩、钙质粘土岩、粘土岩建造	砂岩、页岩
12. 陆棚炭砂泥岩建造(O ₃ w-S ₁ s):	五峰组、观音桥组、龙马溪组、新滩组、松坎组炭质页岩、粘土岩、砂岩、泥灰岩	砖瓦用泥岩、页岩气
13. 滨浅海砂泥岩—灰岩建(S ₁ x - S ₁ hx)	石牛栏组、韩家店组、小河坝组、马脚冲组、溶溪组、秀山组、回星哨组、高寨田组灰岩、砂岩、粘土岩、石英砂岩	饰面用灰岩、冶金用及玻璃用砂岩
9. 陆内同造山含金刚石钾镁煌斑岩建造(SXE)	钾镁煌斑岩	金刚石

备注:关于各个地质建造之间的空间关系详见表1。

2.1.1 离散阶段

加里东亚旋回的离散阶段时限为南华纪到中寒武纪早期。在经历雪峰运动,南华纪为离散背景下的夭折裂谷盆地到被动陆缘盆地转换阶段,震旦纪至早寒武纪为离散背景下的被动裂陷陆缘盆地演化阶段,至中寒武纪早期转换为汇聚背景下的被动陆缘压性盆地—中奥陶纪汇聚碰撞—志留纪造山阶段的前陆盆地演化历程。其中,南华纪主要为河湖相砂泥岩—冰碛岩、冰川—浅海杂砾岩及含锰炭泥岩沉积环境;震旦纪至寒武纪早期主要为台地含磷白云岩、陆棚硅泥质岩夹白云岩、陆棚炭砂泥岩、斜坡—盆地炭泥岩夹灰岩等沉积环境。

2.1.2 汇聚阶段

汇聚阶段主要体现于发生于中寒武纪早期的区域性的泛非(桐湾I)运动结束了贵州离散动力学背景,转入汇聚—碰撞演化历程。志留纪末

期发生加里东(广西)造山运动,使华南陆块群重新汇聚拼接,并与冈瓦纳大陆相连,逐渐形成欧亚超大陆,其中扬子、华夏地块碰撞造山形成华南加里东褶皱造山带。在该褶皱造山带中,湖南、桂北发育碰撞型岩浆岩组合,其同位素年龄为415~512 Ma(莫柱荪,1983),反映出该时期构造运动的中心位置位于湘桂地区通道—龙胜一带。加里东期造山带可分为内带、外带和前陆盆地(图1),贵州黎平—从江一线以东区处于内带,向西至雷山地区逐渐变为外带,再向西逐渐变为前陆。其中,内带的前泥盆纪地层发生紧闭线阿尔卑斯型褶皱并局部倒转,而向西至外带和前陆的变形变质强度逐渐减弱,使贵州大部分地区新元古代、早古生代地层发生低绿片岩相—极低区域动力变质作用,发育开阔型阿尔卑斯型褶皱、逆冲推覆断层及过渡型韧性剪切带(戴传固等,2010)。

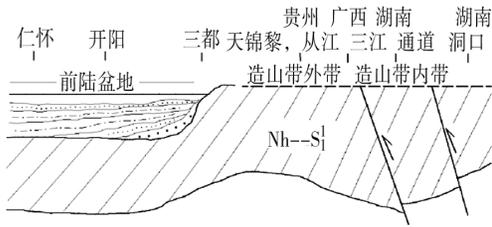


图1 加里东期造山带的构造分带现象

Fig. 1 Tectonic zonation of the orogenic belt in Caledonian (after Dai Chuangu, 2010)

(据戴传固, 2010)

寒武系第二统至志留系沉积环境较复杂,有台地碳酸盐岩、台缘—斜坡碳酸盐岩—泥岩、斜坡—盆地含钙砂泥岩、陆棚砂泥岩—灰岩、陆棚炭砂泥岩等沉积环境。此外,在黔东镇远马坪、麻江、施秉、平阳等地有钾镁煌斑岩侵位,据 Zhang Jiawei, et al. (2023) 其岩体侵位年龄可分为 ca. 488 和 ca. 450 Ma 两期,即寒武纪芙蓉世至志留纪兰多维列世区间内。

随加里东(广西)造山运动的结束,贵州及广大东南地区与扬子陆块联为一体进入统一的华南陆块陆内裂陷—断陷发展演化阶段。

2.2 成矿作用及其矿产

2.2.1 离散阶段

加里东亚旋回的离散阶段的成矿作用大致分为两个阶段:

一是陆缘裂谷盆地向被动陆缘盆地转换阶段,指全球寒冷气候下的南华纪整体离散背景阶段,该时期在雪峰运动造就的古地理格局基础上受深大断裂控制,控制了系列坳盆盆地格局,形成了湖南靖州—我省黎平—从江一线以南东的江口式沉积变质铁矿(富禄组底部),大塘坡沉积时期

发生大规模喷溢沉积成锰作用,产出了中国著名的“大塘坡式”锰矿。

二是震旦纪—中寒武纪早期被动陆缘盆地形成与发展阶段,该时期随海水由南东向北西的大范围海侵,在扬子周缘则表现为向扬子古陆的大范围海侵,形成了不同沉积环境的著名生物化学沉积型磷矿(黔中—襄阳—昆阳)。在贵州由南东向北西由斜坡—混积陆棚—台地形成了磷质结核(条带)—磷块岩型磷矿;受该时期深大断裂、火山活动与海底热水喷流成矿作用控制,形成了许多超大型、大中型磷(稀土)、重晶石、钒、镍、钼等化学沉积型矿床,沉积(烃源岩)页岩气与沉积改造型石煤等。此外,该时期还形成了一部分与蒸发沉积作用或一般海相化学沉积作用有关的矿产,如铁矿、炼镁白云岩、饰面用白云岩、化工用白云岩、水泥用灰岩等。

2.2.2 汇聚阶段

中寒武纪早期转入被动大陆边缘盆地汇聚,至中奥陶纪开启碰撞造山背景演化历程。造就了扬子陆块周缘与汇聚—碰撞造山机制下有关的成矿环境,主要有台地碳酸盐岩、台缘—斜坡碳酸盐岩—泥岩、斜坡—盆地含钙砂泥岩、陆棚砂泥岩—灰岩、陆棚炭砂泥岩等沉积—成矿环境。成矿作用主要是与海相碳酸盐岩及碎屑岩沉积有关的成矿作用——化学沉积、生物化学沉积、机械沉积、蒸发沉积等。形成矿产主要有冶镁白云岩(娄山关组)、冶金用及玻璃用白云岩、饰面用石灰岩、白云岩、含钾岩石及龙马溪组烃源岩(页岩气)等。此外,该阶段尚有钾镁煌斑岩侵入导致形成金刚石矿产。碰撞造山阶段的内生成矿作用,主要与加里东(广西)造山运动的控制的造山带的内带、外带及前陆盆地密切相关,详见表4。

表4 加里东期内生成矿作用及矿产简表

Table 4 Brief table of endogenic mineralization and minerals in the Caledonian period

内生成矿环境	主要成矿作用	主要矿产
1. 加里东期造山带内带	浅变质细碎屑岩内的浅成中低温热液成矿	金(黎平东部)
	浅变质细碎屑岩内的浅成中低温热液成矿	金(天柱—从江)、铜金银多金属(从江)、铋(三都、榕江)、铅锌铜(从江、雷山—镇远)、水晶(天柱)
2. 加里东期造山带外带	新元古界岩石内的区域动力变质成矿	饰面石材用板岩及大理岩、紫袍玉等(黔东)
	碳酸盐岩中的浅成低温热液充填交代成矿	铅锌(镉)(铜仁、普定等)
	沿深大断裂附近发育的钾镁煌斑岩岩浆侵入成矿	原生金刚石矿床(镇远等)
3. 加里东期前陆盆地	前陆拗陷中烃源岩成矿	龙马溪组页岩气(黔北)

(1) 加里东期造山带内带:即黎平东部及湘西地区,主要产出了金钨铋(湘西)、金(黎平东部)等矿产。

(2) 加里东期造山带外带:即除黎平东部外的黔东南大部区域,主要有两种成矿作用及其产物:①在新元古界浅变质细碎屑岩中的 Au、W、Sb、Pb、Zn、Cu 等浅成中—低温热液成矿作用,形成矿产包括金(天柱、锦屏—黎平—从江)、铋(三都、榕江)、铅锌铜(从江、雷山—镇远)、水晶(天柱)等;②新元古界岩石经过区域变质成矿作用,形成板岩饰面石材(从江)、紫袍玉(黔东南)等矿产。

(3) 加里东期前陆盆地环境:即三都—丹寨—凯里一带及其以西地区,主要有两种成矿作用及其产物:①在碳酸盐岩产生浅成中—低温热液成矿作用,形成了铅锌、金、铋等热液矿产,其铅同位素年龄测定结果,方铅矿年龄为 267~762 Ma,大部分样品位于 400~500 Ma。据杨红梅等(2015)、王生伟等(2018)等采用闪锌矿的 Rb-Sr 等时线年龄,分别测得铜仁市卜口场和普定县那雍枝铅锌矿床成矿年龄为 466~483 Ma 和 458.8±2.9 Ma,推断黔中及黔东震旦系至泥盆系中铅锌矿中主成矿期为加里东期;②沿深断裂分布有造山期后隆升伸展环境的板内岩浆活动,生成幔源型钾镁煌斑岩岩体群,分布在麻江隆昌和施秉—镇远一带寒武系中统高台组和娄山关组地层的断裂带中,在镇远马坪产出了原生金刚石矿。

3 矿床成矿系列与区域成矿规律

据陈毓川(2010),区域成矿规律研究就是总结矿床在一定区域内的时、空分布规律及内在联系,划分成矿旋回、建立矿床成矿系列是其中很重要的研究内容。本文前两部分先后论述了贵州雪峰至加里东构造旋回各时期构造演化的构造动力机制、盆地类型及地质建造、区域成矿作用类型及产物等,从而清晰表述了贵州该成矿旋回中的区域矿产时空分布规律。下文将从矿床成矿系列角度进一步论述其区域成矿规律。

矿床成矿系列,是矿床成矿系列研究工作中的基本单位和核心,指在一定的地质历史时期或构造运动阶段,在一定的地质构造单元及构造部位,与一定的地质成矿作用有关,形成一组具有成因联系的矿床的自然组合(陈毓川等,2007)。《中国矿产地质志·贵州卷》在前人(冯学仕,2004;陶平,

2021)等研究基础上,进行了贵州雪峰至加里东旋回所形成的矿床成矿系列的进一步研究。

贵州在雪峰亚旋回因形成矿产较少,发现、勘查及研究程度也很低,所以未建立矿床成矿系列。已建立的矿床成矿系列均为加里东亚旋回中形成,具体包括:(1)与沉积作用有关的矿床成矿系列 1 个,含 2 个亚系列;(2)与浅成中低温热液有关的矿床成矿系列 1 个,含 3 个亚系列;(3)与岩浆作用有关的矿床成矿系列 1 个,含 1 个亚系列。这些矿床成矿系列及亚系列,从矿床自然组合角度进一步表述了贵州在该成矿旋回中的区域成矿规律,详见图 2。

3.1 Pt_3-Pz_1-1 上扬子中东部与新元古代至早古生代沉积作用有关的锰、磷、铁、镍、钼、钒、铀、稀土、重晶石、石膏、石盐、石灰岩、白云岩、砂岩、页岩气等矿床成矿系列

本矿床成矿系列细分为两个亚系列,即:

$Pt_3-Pz_1-1^1$ 黔北—黔东与新元古代至早古生代黑色岩系有关的锰、重晶石、磷、镍、钼、钒、铀、页岩气等矿床成矿亚系列:包括大塘坡式锰矿、大河边式重晶石矿、新华式磷(碘)矿、坝黄式磷(铀)矿、瓮安县厦安磷矿、开阳式磷矿、瓮福式磷矿、松林式磷矿、翁项式页岩气、龙湾式铀矿、注溪式钒矿、遵义式镍钼矿,以及未建矿床式的正页 1 井页岩气、道页 1 井页岩气、遵义市松林团山堡 703 铀矿等矿床(点)。

$Pt_3-Pz_1-1^2$ 黔北—黔东北与震旦纪—志留纪碳酸盐岩及碎屑岩沉积有关的石灰岩、白云岩、冶镁白云岩、页岩、砂岩等矿床成矿亚系列:包括白坡式灰岩、半坡式砂岩、红岩式白云岩矿、棉花坡式页岩,以及未建矿床式的凯里市赖坡冶镁白云岩矿、都匀市桐州化肥用砂岩矿、凤冈县西山含钾岩石矿、遵义市董公寺砖瓦用页岩矿床、剑河县巫门灰岩矿、镇远县火石洞灰岩矿、台江县城西灰岩矿、遵义县老木水白云岩、天柱县马鞍山含钾砂页岩。

综上,在该矿床成矿系列中,针对其主要矿产建立区域成矿模式如下(图 3)。

综观本矿床成矿系列,并结合图 3 可知,本系列中各矿种的形成及分布都有一定联系。以贵州最有特色的矿种为例,锰矿(南华系大塘坡期)、重晶石(上震旦统一寒武统)、磷矿(震旦系—

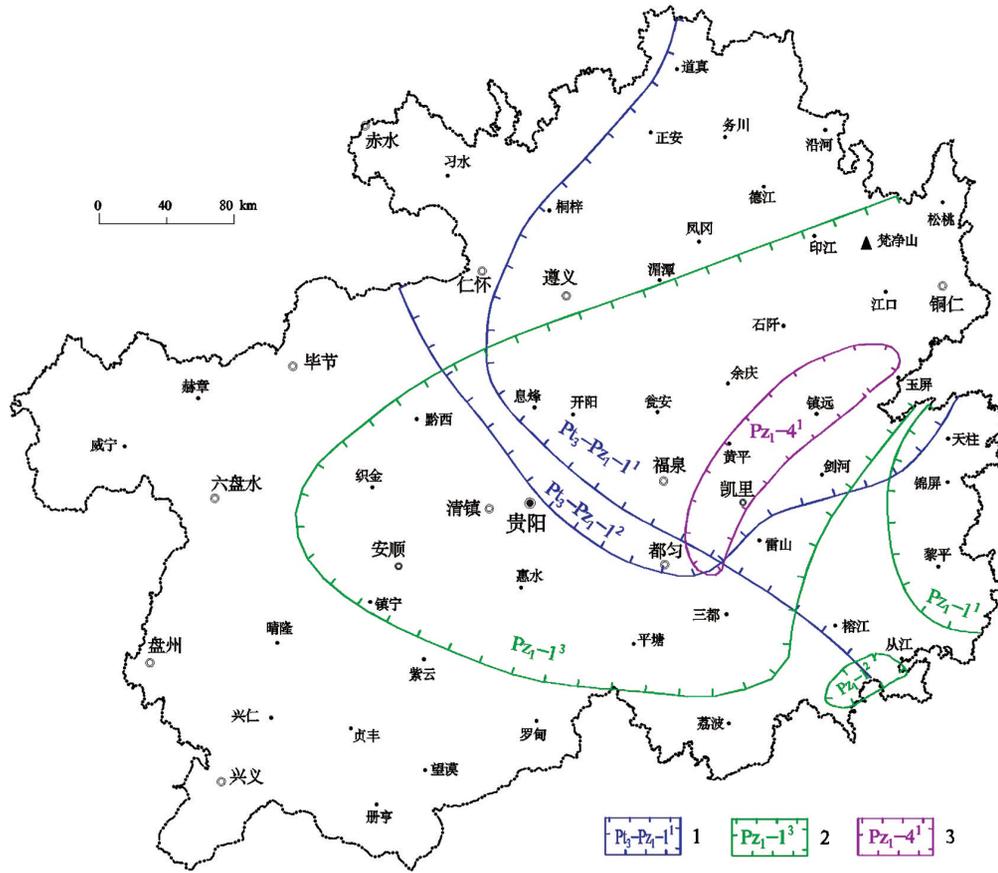


图2 雪峰期—加里东期旋回矿产成矿系列分布图

Fig. 2 Distribution map of mineral metallogenetic series of Xuefeng-Caledonian cycle

1—与沉积作用有关的矿床成矿系列;2—与浅成中低温热液有关的矿床成矿系列;3—与岩浆作用有关的矿床成矿系列。
说明:各亚系列的全称详见正文。

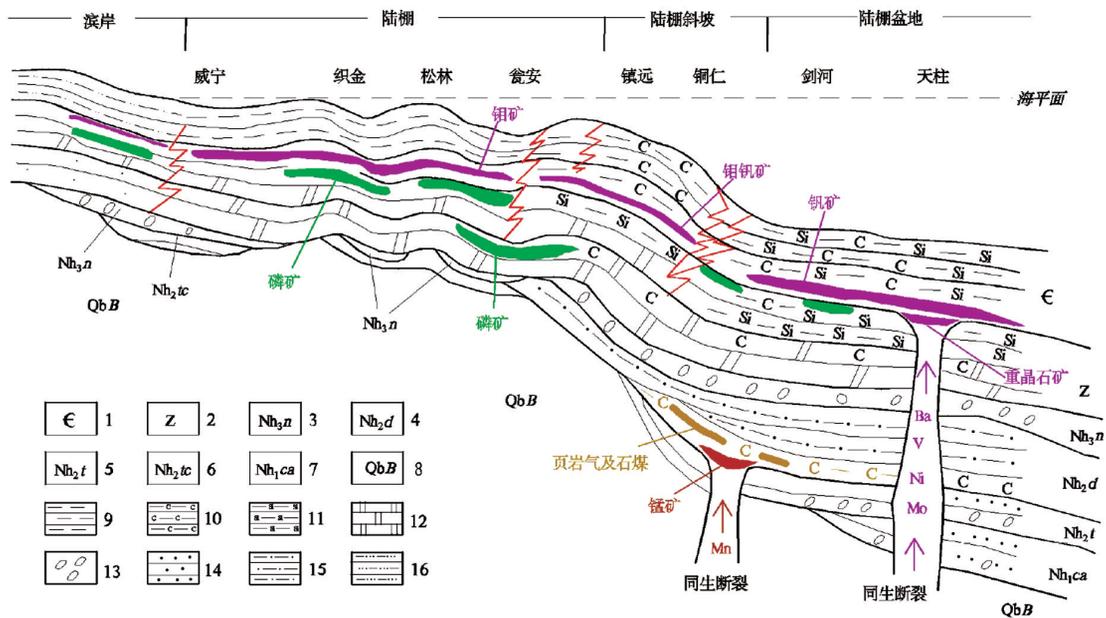


图3 贵州南华纪至中寒武纪早期主要矿产区域成矿模式图

Fig. 3 Regional metallogenetic models of related black rock series from Nanhua period to early Cambrian in Guizhou

1—寒武系;2—震旦系;3—南华系南沱组;4—南华系大塘坡组;5—南华系铁丝网组;6—南华系铁厂组;7—南华系长安组;8—青白口系板溪群;9—粘土岩;10—炭质粘土岩;11—硅化粘土岩;12—白云岩;13—砾岩;14—砂岩;15—粉砂质粘土岩;16—粘土质粉砂岩

下寒武统),都是形成于南华纪—寒武纪之间的与黑色岩系相关的沉积矿产,是离散(裂解)阶段的产物。锰矿主要分布在印江—凯里以东,重晶石主要分布在天柱大河边—湖南新晃中寨一带,磷矿主要分布在织金—开阳—瓮安一带,以及铜仁—都匀地区,它们均与成矿期的岩相古地理密切相关,是在伸展构造体制下被动大陆边缘斜坡上裂陷盆地沉积,其矿物质来源于上地幔或下地壳,是罗尼亚超大陆裂解,南华裂谷盆地形成演化与岩浆活动、含矿流体喷溢等导致锰、重晶石、磷、镍钼钒等大规模成矿作用(Zhou Qi, et al., 2022;周琦,2023)。此外,含矿地层中或附近产有火山岩和凝灰岩层,反映产于裂谷盆地中的高地热场环境;铁锰磷矿床在时间上是依次相接的,铁矿床在南华纪间冰期地层下部的富禄组地层中,锰矿床层位稍高,在大塘坡组间冰期地层中,磷矿床则主要产在南沱冰碛层以上的震旦系地层中。但三种矿床常不在同一地点形成工业矿床,一般是一种矿床伴有另二种矿化或高的元素含量。铁、锰、磷均与SiO₂和生物作用关系密切, SiO₂或为矿石的主要组分,或为矿体的含矿围岩及夹层。锰、磷矿石中常见由生物遗体堆积成的微生物岩,矿石和含矿地层常富含有机质。

3.2 Pz₁-1 江南隆起西段与加里东期浅成中—低温热液作用有关的金、铜、铅、锌、银、砷、锑、水晶等矿床成矿系列

本矿床成矿系列细分为三个亚系列,即:

Pz₁-1¹ 黔东南新元古界浅变质细碎屑岩容矿的金、水晶等加里东期浅成中—低温热液矿床成矿亚系列:包括同古式金矿、金厂式金矿,以及未建矿床式的天柱白土地水晶矿点、江口县大河堰紫袍玉矿点。其中,同古式金矿是造山带的构造调整期形成的与剪切带等构造及流体有关的矿产,产于加里东期形成的背斜轴部及附近浅变质岩系层间石英脉中,赋矿层位有青白口系下江群清水江组(主要)、隆里组、番召组、丹洲群拱洞组、南华系长安组等,这些地层的浅变质细碎屑岩可能为矿源层,而成矿作用主要为加里东构造旋回期末的浅成中—低温热液成矿作用,属于造山型金矿(陶平,2012)。

Pz₁-1² 从江新元古界浅变质岩容矿的铜、金、

银、铅、锌等加里东期浅成中—低温热液矿床成矿亚系列:包括地虎式铜金银多金属矿、翁浪式金矿、牛角塘式铅锌矿、脚皋式铅锌矿、松柏洞式铅锌(银)矿,以及未建矿床式的从江县那哥铅锌多金属矿、江口县牛头山磁铁矿等矿床或矿点。地虎式铜多金属矿与同古式金矿类似,也是加里东期造山带的构造调整期形成的与剪切带等构造及流体有关的矿产,以从江地虎铜金银多金属矿床为代表,赋矿层位为青白口系下江群甲路组,为以加里东期为主的甲路组层间滑脱构造层中的中低温热液成矿。

Pz₁-1³ 黔南—黔东南浅变质细碎屑岩容矿的铅、锌、铜、锑等加里东期浅成中—低温热液矿床成矿亚系列:包括牛角塘式铅锌矿、脚皋式铅锌矿、松柏洞式铅锌(银)矿,以及未建矿床式的江口县牛头山磁铁矿等。

3.3 Pz₁-2 上扬中东部与加里东期钾镁煌斑岩有关的金刚石等矿床成矿系列

该矿床成矿系列至目前仅包含一个亚系列,即:Pz₁-2¹ 黔东南与加里东期钾镁煌斑岩有关的金刚石矿床成矿亚系列。

该亚系列暂仅有一个矿种——金刚石,为江南隆起西段在加里东期与深断裂及金伯利岩、钾镁煌斑岩有关的金刚石成矿作用形成。尽管至目前勘查及研究程度较低,但有找矿意义,故建立一个矿床式,即镇远式金刚石矿,典型矿床为镇远县马坪金刚石床。

4 结论

以《中国矿产地质志·贵州卷》研究项目为依托,在前人研究成果基础上,对贵州雪峰至加里东构造旋回各时期构造演化的构造动力机制、盆地类型及地质建造、区域成矿作用类型及区域成矿规律等作了进一步研究。主要认识如下:

(1)在贵州雪峰至加里东构造旋回的构造演化过程中,构造动力机制经历了从离散(裂解)到汇聚(造山)的过程,盆地类型经历了从陆缘裂陷(谷)盆地——被动大陆边缘盆地——板内压陷盆地的转换过程,从而形成了各时期所特有的地质建造。

(2)由于各构造演化时期成矿条件不同,导致发生了多种成矿作用,形成了多种沉积作用矿产、

岩浆作用矿产及变质作用矿产,尤其是形成了贵州最有特色的锰、磷、重晶石等沉积矿产。这些矿产在各种地质建造及其地质体中呈现有序分布,从而清晰表述了贵州该成矿旋回中的区域矿产时空分布规律。

(3)在加里东构造旋回分别建立了与沉积作用、浅成中—低温热液作用、岩浆作用有关的矿床成矿系列各一个,并在前两个成矿系列中进行了成矿亚系列的划分及论述,并建立了贵州南华纪至中寒武纪早期主要矿产的区域成矿模式。这些矿床成矿系列及亚系列,从矿床自然组合角度进一步表述了在该成矿旋回中贵州的区域成矿规律。

[参考文献]

- 陈建树,蒲元强,石磊,张厚松. 2011. 贵州大河边一带重晶石矿成矿地质背景及找矿潜力[J]. 贵州地质,28(2):86-91.
- 陈毓川,王登红,等. 2010. 重要矿产和区域成矿规律研究技术要求[M]. 北京:地质出版社,1-3.
- 陈毓川,王登红,朱裕生,等. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价:上册[M]. 北京:地质出版社,465-516.
- 戴传固,陈建树,卢定彪,等. 2010. 黔东及邻区武陵运动及其地质意义[J]. 地质力学学报,16(1):78-84.
- 戴传固,王敏,陈建树,等. 2012. 黔桂交界龙胜地区玄武岩—流纹英安岩组合特征及其地质意义[J]. 地质通报,31(9):1379-1386.
- 戴传固,郑启钤,陈建树,等. 2013. 贵州雪峰—加里东构造旋回期成矿地质背景研究[J]. 地学前缘,20(6):219-225.
- 冯学仕,王尚彦. 2004. 贵州省区域矿床成矿系列与成矿规律[M]. 北京:地质出版社:1-91.
- 胡瑞忠,彭建堂,马东升,等. 2007. 扬子地块西南缘大面积低温成矿时代[J]. 矿床地质,26(06):583-596.
- 葛文春,李献华,李正祥,等. 2001. 龙胜地区镁铁质侵入体年龄及其地质意义[J]. 地质科学,36(1)112-118.
- 李三忠,杨朝,赵淑娟,等. 2016. 全球造山带(I:)碰撞型造山[J]. 吉林大选学报(地球科学版)46(4):945-967.
- 莫柱荪. 1983. 南岭地区花岗岩类成因系列的划分问题[J]. 中国区域地质,(01):17-21.
- 任纪舜,牛宝贵,刘志刚. 1999. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用[J]. 地学前缘,6(3):85-93.
- 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等. 1997. 新一代中国大地构造图[J]. 中国区域地质,16(03):2-7+25.
- 陶平,曾昭光,陈启飞,等. 2021. 贵州省矿产资源潜力评价重要矿种区域成矿规律与矿产预测[M]. 武汉:中国地质大学出版社:246-337.
- 陶平. 2012. 黔东南天柱—锦屏—黎平地区金矿构造控矿模式与找矿方向[D]. 武汉:中国地质大学(武汉):18-49+138-146.
- 汪正江,王启宇,杨菲,等. 2022. 扬子西缘泛非造山与绵阳—长宁克拉通裂陷的沉积充填过程研究[J]. 沉积与特提斯地质,42(3):350-367.
- 王生伟,金灿海,张珂,等. 2018. 贵州五指山特大型铅锌矿床闪锌矿的Rb-Sr定年及其地质意义[J]. 沉积与特提斯地质,38(03):77-87.
- 杨红梅,刘重芑,段瑞春,等. 2015. 贵州铜仁卜口场铅锌矿床Rb-Sr与Sm-Nd同位素年龄及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学,39(05):855-865.
- 曾昭光,刘灵,舒永宽. 2003. 贵州宰便—高武地区中新元古代火山岩的发现及意义[J]. 贵州地质,20(3):135-139.
- 周琦,袁良军,吴冲龙,等. 2023. 贵州新元古代锰8重晶石等矿床成矿系列及找矿突破[J/OL]. 地球学报,2023(05):943-954.
- Zhou Qi, Wu Chonglong, Hu Xiangyun, et al. A new metallogenic model for the giant manganese deposits in northeastern Guizhou, China. [J]. Ore Geology Reviews, 2022(149):1-11.
- Zhang Jiawei, Santosh, M., Zhu, Y., et al. 2023. Constraining the timing of deep magmatic pulses from diamondiferous kimberlite and related rocks in the South China Continent and implications for diamond exploration[J]. Ore Geology Reviews, Volume 154, Issue. 2023. 105328.

Tectonic Evolution and Regional Metallogenic Regularity of Xuefeng-Caledonian Cycle in Guizhou Province

TAO Ping¹, CHEN Jian-shu^{1,2,3}, BAI Pei-rong^{1,2,3}

(1. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China;

2. Engineering Technology Innovation Center for Mineral Resources Exploration in Bedrock Area, Ministry of Natural Resources, Guiyang 550081, Guizhou, China;

3. Guizhou Key Laboratory of Strategic Mineral Intelligent Exploration, Guiyang 550081, Guizhou, China)

[Abstract] Based on the research project of “Geology of Mineral Resources of China Guizhou Volume”, on the basis of former studies, the tectonic evolution and regional metallogenic regularity of Xuefeng-Caledonian

(下转第 361 页)

Types and Mineralization of Exogenic and Endogenic Exogenic Mineral Deposits in Guizhou

CHEN Qi-fei, TAO Ping, LI Chao-jin

(1. *Guizhou Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China;*

2. *Engineering Technology Innovation Center of Mineral Resources Explorations In Bedrock
Zones Ministry of National Resources, Guiyang 550081, Guizhou, China*)

[**Abstract**] Based on ‘Geology of Mineral Resources of China Guizhou Volume’, according to the exogenic mineral exploration and studying results of Guizhou in recent years, following the technical requirement of ‘Geology of Mineral Resources of China provincial level’, the exogenic deposit (genetic/industrial) type division of Guizhou province are finished, including level one, two and three deposit. The deposit type, mineral environment, mineralization, ore bearing geological mass, mineral deposit model and major mineral producing area of exogenic deposit in Guizhou province are analyzed, treated and collected. The indistinguishable and controversial mineral species of exogenic mineral in Guizhou province are analyzed and discussed. These studying results will afford some guidance for exogenic deposit research and exploration of Guizhou province.

[**Key Words**] Exogenic deposit; Deposit type; Mineralization; Metallogenic environment; Sedimentary facies; Guizhou

(上接第 352 页)

tectonic cycle in Guizhou are studied. It is considered that in this tectonic cycle, with the development of tectonic dynamics from divergent (fragmentation) to convergent (orogeny), the basin type changed from intracontinental rift (valley) basin to passive continental margin basin, and then changed into intrabasal depression basin. Thus formed the unique geological construction of each period and a variety of minerals, especially the most characteristic sedimentary minerals such as manganese, phosphorus and barite in Guizhou. These minerals show orderly distribution in various geological formations and their geological bodies. On this basis, one metallogenic series and several sub-series related to sedimentation, epigenetic meso-low temperature hydrothermal process and magmatism are established and discussed. The regional metallogenic model of minerals related to the black rock series from Nanhua period to Early Cambrian in Guizhou was established. These results further reveal the regional metallogenic regularity of this cycle in Guizhou.

[**Key Words**] Xuefeng movement; Caledonian movement; Tectonic evolution; Metallogenic series of deposit; Metallogenic regularity; Guizhou province