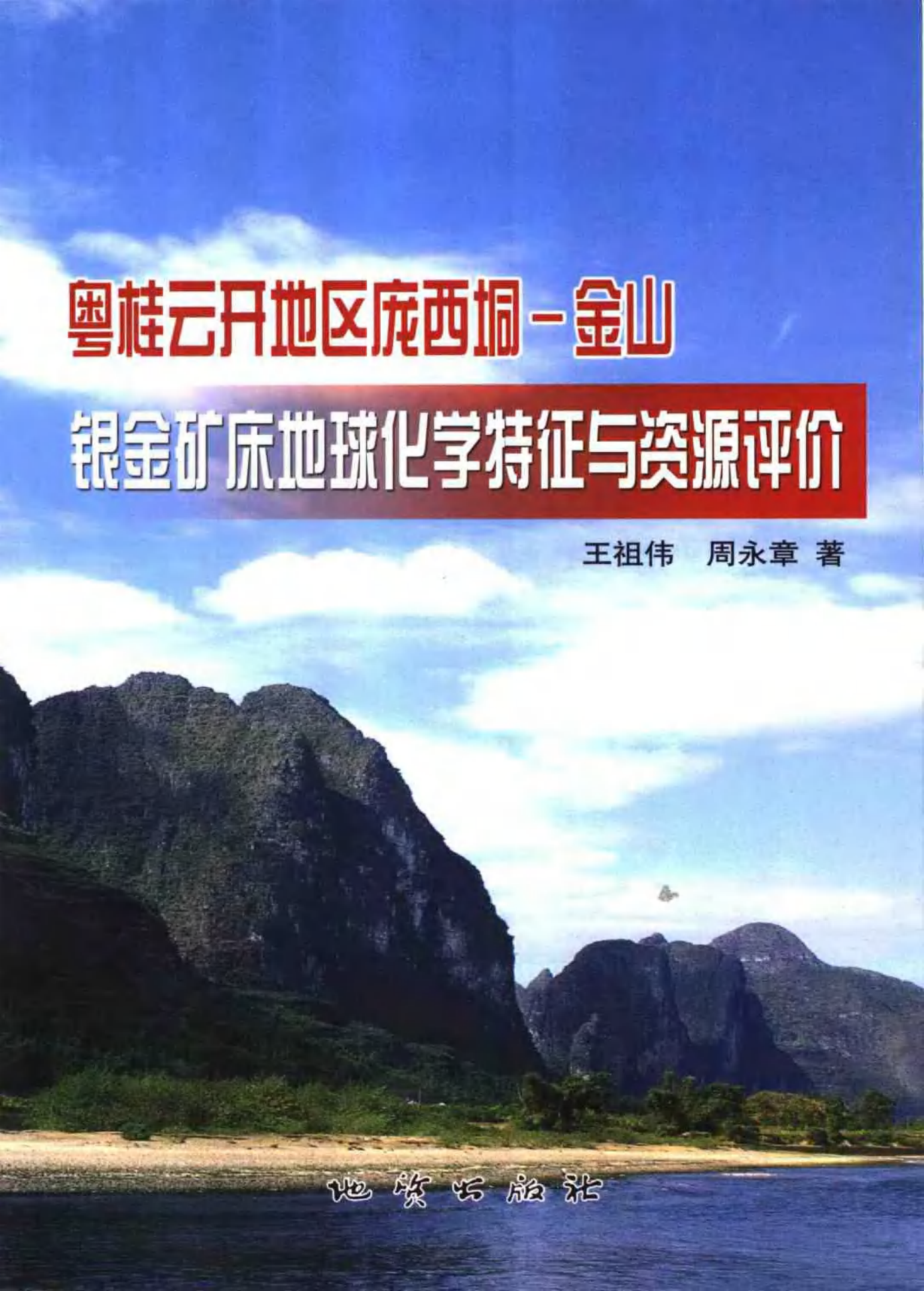




粤桂云开地区庞西垌—金山

银金矿床地球化学特征与资源评价

王祖伟 周永章 著

地质出版社

国家科技部 973 项目专题 高等学校博士点基金
教育部骨干教师及优秀青年教师资助计划 联合资助
天津师范大学学术著作出版基金

粤桂云开地区庞西垌—金山 银金矿床地球化学特征 与资源评价

王祖伟 周永章 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

粤西庞西垌—桂东南金山银金成矿带地处广东廉江县和广西博白县的交界部位,大地构造位置处于云开地体西南缘。该矿带中有规模不同的独立银矿床产出,伴生金、铅和锌等有益组分,是我国十大银矿基地之一。本书系统论述了庞西垌—金山银金矿床的地质地球化学特征、热液围岩蚀变及元素迁移地球化学性状、矿床物质来源及形成机理、银金矿床及外围贵金属资源潜力评价等。对于丰富和发展独立银矿床的成矿理论、寻找银及其他金属矿床具有一定的指导意义。可供成矿理论研究者,从事矿床地质工作的科研、生产人员,以及有关专业大专院校师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

粤桂云开地区庞西垌—金山银金矿床地球化学特征与资源评价 / 王祖伟, 周永章著.
—北京: 地质出版社, 2003.2

ISBN 7-116-03732-2

I. 粤… II. ①王…②周… III. ①金矿床—地球化学—研究—中国②银矿床—地球化学—研究—中国③金矿床—矿产资源—经济评价—中国④银矿床—矿产资源—经济评价—中国 IV. P618.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 096199 号

YUEGUI YUNKAI DIQU PANGXIDONG - JINSHAN YINJIN KUANGCHUANG DIQIU
HUAXUE TEZHENG YU ZIYUAN PINGJIA

责任编辑: 唐子军 郁秀荣

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324557 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京印刷学院实习工厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 6.75

字 数: 160 千字

印 数: 1—600 册

版 次: 2003 年 2 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 20.00 元

ISBN 7-116-03732-2/P·2328

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行处负责调换)

前 言

银位于元素周期表中ⅠB族，第五周期。银具有亲铜亲硫性，与Au、Cu、Pb、Zn等元素的地球化学性质有明显的相似性，常作为伴生元素赋存在有色金属矿床中，是从Pb、Zn、Cu、Au等矿山中回收的有益元素。

银矿床中，独立银矿床很少，大型、特大型者更少。世界许多大型银矿床同时又都是著名的金矿床、铅锌矿床、铜矿床和多金属矿床。长期以来，世界银产量的75%~85%来自有色金属矿山（铜、铅、锌）的副产品。20世纪70年代以后，由于银的价格上涨，各国开始重视独立银矿床的勘查和研究。

在我国，银矿的储量估计为10.7万吨，以银为主的矿床少，约占22%（宋瑞祥，1997），主要为伴生银矿床和含银矿床，产出在Cu、Pb-Zn、Au矿床中。到1988年，我国的银产量全部从有色金属中回收。产量与用量相比，差额较大，供不应求，70年代起大量从国外进口。国家计划委员会、科学技术委员会、地质矿产部会同各有关生产部门1987年和全国地质资料局1989年对银矿保证程度做过分析表明，资源缺口很大，严重不足，属于紧缺矿种（李万亨等，1995）。因此，开展对独立银矿床的研究具有重要的理论和实际意义。

独立银矿床的主要成矿期为前寒武纪、古生代、中—新生代。其中，中—新生代是银矿床最主要的形成时期。独立银矿床包括陆相火山岩、火山碎屑岩容矿的银矿床，海相钙碱性—碱性火山岩、火山—沉积岩容矿的银矿床，碳酸盐岩、夕卡岩容矿的Ag-Pb-Zn交代型银矿床，变质岩、碎屑岩容矿的Ag-Pb-Zn银矿床，前寒武纪火山岩、沉积岩、辉绿岩中的Ag-Co-Ni-Bi-As矿床，含铜砂页岩中的层状银矿床等类型。

国外对独立银矿床的研究主要集中在与中—新生代陆相火山岩—次火山岩有关的Au-Ag矿床。由于银多与金、铅锌、铜矿床共生或伴生，独立银矿床的勘查和研究中主要利用了金、铅锌、铜的成矿理论，并随它们的发展而更新。

粤西庞西垌—桂东南金山银金成矿带地处广东廉江县和广西博白县的交界部位，大地构造位置处于云开地体西南缘，紧靠云开地体西围限断裂岑溪—博白断裂带。该矿带有庞西垌、金山、樟木塘、中苏规模不同的独立银矿床产出，伴生Au、Pb和Zn等有益组分，是我国十大银矿基地之一，被有色和冶金系统定为重点勘查区。矿带中，以庞西垌、金山矿床的储量最大，在我国南

方同类矿床中占有重要的位置。对于它们的研究,将丰富和发展独立银矿床的成矿理论,有助于云开地区乃至整个华南地区贵金属矿床的认识和开发。

庞西垌—金山银金矿床是 20 世纪 70 年代末发现并进行详查的。但早在 1930 年,当地农民在庞西垌—金山断裂带附近的次一级破碎带中发现了含金石英脉,并进行开采。从 1930 年到 1980 年一直以次级破碎带中的金为开采对象。由于“焦家”式金矿床的发现,1979~1985 年广东 704 地质大队对庞西垌—金山断裂带的南段庞西垌矿区进行了普查和详查,提交金属储量 Ag 745.52 吨, Au 1.809 吨, Pb 16585.7 吨, Zn 14097.8 吨; 1978~1985 年广西第六地质大队在庞西垌矿区的北邻金山矿区进行了普查和详查,提交了金属储量 Ag 564.32 吨, Au 1.6698 吨, Pb 6088.99 吨, Zn 5693.06 吨; 1980~1986 年在庞西垌—金山断裂带的北段中苏矿区进行了详查,提交金属储量 Ag 245.92 吨, Au 0.562 吨, Pb 2365.35 吨, Zn 3018.25 吨。庞西垌矿山(廉江银矿)1994 年开始生产,金山矿山(博白银矿)现在边建设边生产。

对庞西垌—金山一带银金矿床的研究始于 20 世纪 80 年代。金然根(1981)研究了庞西垌矿区内次一级断裂带上的高村金矿,指出该矿床具有层控性。钟楚宇(1983)和阮振辉(1983)对庞西垌矿区的控矿因素、成矿条件和成因进行了初步研究。陈辉琪(1987)对庞西垌矿床地质特征和找矿规律进行了初步研究,认为是岩浆热液矿床。刘腾飞(1990, 1992)对金山矿床的地质特征和富集规律进行了探讨,提出了混合岩化热液成因。王鹤年等(1991, 1992)对庞西垌银金矿床的地球化学特征进行了探讨。张乾等(1994)通过对庞西垌矿床的方铅矿、闪锌矿微量元素和稳定同位素的研究,探讨了矿床的物源并提出大气降水流体成矿成因的观点。王正云等(1995, 1996)在研究桂东南金银矿床成矿规律时,涉及到了金山矿床。这些研究从不同侧面探讨了矿床的特征,为进一步研究打下了基础。但对研究区在整个云开地区区域地质地球化学背景中的位置及其对成矿的控制作用缺乏足够的了解,对矿床中广泛存在的热液蚀变过程中元素迁移的地球化学性状研究较少,对矿床的形成机制更是众说纷纭。

针对上述问题,作者在充分吸收利用前人资料的基础上,在国家科技部 973 项目专题(G1999043200-18)、高等学校博士点基金(200055815)和教育部骨干教师及优秀青年教师资助计划(教人司 2001-39)、国家自然科学基金(40073010、49303041)、天津师范大学学术著作出版基金,以及广东省自然科学基金项目(编号:940409)、中国科学院重点项目(编号:KZ952-S1-435)、国家科技部“九五”攀登预选项目专题(编号:95-预-39-V2)的支持下,对庞西垌—金山一带银金矿床的区域地质地球化学背景、矿床地质

地球化学等方面开展了研究。根据研究成果,作者完成了《粤桂云开地区庞西垌—金山银金矿床地球化学特征与资源评价》一书。全书共分6章,第一章、第二章、第三章、第四章由王祖伟完成,第五章、第六章由王祖伟、周永章完成,全书由王祖伟统稿。

研究表明,云开地体基底主体是加里东构造层,是一套原岩以泥砂质为主夹火山岩的沉积变质建造,整体上具有Au、Ag富集的地球化学背景。

庞西垌—金山矿带内有庞西垌、金山、中苏、大沙等规模不等的银矿床(点)产出。带内广泛分布的前寒武纪—寒武纪变质地层建造,具有富Ag、高Ag/Au比值的特点,与云开地体东部高Au/Ag比成反差,这是该区形成以银为特色的贵金属矿床成矿带的重要因素之一。

银金矿床赋存在呈NE向展布的庞西垌—金山断裂带内,以银为主,伴生Au、Pb和Zn等矿化,是典型蚀变构造岩型矿床。矿床在中生代形成,经历了硅化—石英阶段、黄铁矿—石英阶段、多金属硫化物阶段、石英—碳酸盐阶段等演化阶段。其中,贵金属矿化与硅化和黄铁矿—多金属硫化物化关系最为密切。矿体主要是硅化、多金属硫化物化的蚀变岩和部分石英脉。

庞西垌—金山银金矿床是构造变形—热液蚀变—矿化扭结体系。通过提取数学不变量,并以此为基础进行质量平衡定量估计表明,热液围岩蚀变作用导致围岩的质量总体增加。在热液围岩蚀变过程中,贵金属元素(Ag、Au)和矿化指示元素(As、Bi、Sb、Cu、Pb、Zn、Se、Te)等属于不断被带入元素,而亲铁元素(Ni、Co)和多数亲石元素(Nb、Ta、Zr、Hf等)基本保持不变或有弱的亏损或富集。

庞西垌—金山银金矿床是多期多阶段地质地球化学演化的产物。在前寒武纪—寒武纪矿源层形成期间,成矿元素发生了初步的富集。前寒武纪—寒武纪沉积变质建造是成矿物质的主要来源;在加里东区域变质作用过程中,矿源层中的元素经历了活化、迁移,伴随重新分配;在中生代期间,断裂构造、岩浆活动伴随岩石变形和热液蚀变作用,使矿床得以最终定位。

花岗岩不是成矿物质的主要来源,但晚燕山期英桥同熔型花岗岩浆活动对成矿作用起到了非常重要的作用。它为以大气降水为主混有岩浆热液的成矿流体的形成和循环提供了驱动力——热能。

本书应用区域丰度法和分形—储量模型,对研究区及外围的资源远景进行了估计,结果表明Ag具有良好的资源前景。

在本研究开展过程中,得到了中国科学院广州地球化学研究所涂光炽院士的悉心指导,夏斌研究员、王秀璋研究员、杨蔚华研究员、刘友梅研究员、谢应雯研究员、张玉泉研究员、梁华英副研究员、邹再兰副研究员、张海华助理

研究员、单强助理研究员、周汉文博士、李献华研究员、王江海研究员、曹裕波副研究员、丘华宁博士、常向阳助研给予了指导和帮助。刘颖高级工程师、刘海成副研究员、白韵兰高级工程师、胡光黔工程师在实验室工作开展方面给予大力的支持和帮助。广东廉江银矿副矿长吴家勇工程师、技术科李春武科长、温海洋高级工程师及其他技术人员和广西金山银矿李易福矿长、杨海春工程师、广西壮族自治区地质矿产局资料室、广西第六地质队资料室和广东省地矿厅 704 地质队资料室为野外工作的顺利开展及资料的收集给予了很多便利和支持。在此向他们致以衷心的感谢。

目 录

前 言

第一章 云开地体基底地质地球化学特征	(1)
第一节 基底地质特征	(1)
一、地层	(1)
二、变质作用	(4)
三、构造变形作用	(6)
四、花岗岩浆活动	(7)
第二节 基底演化格架	(7)
一、太古宙—古元古代：古老陆核形成和生长	(7)
二、元古宙—早古生代：基底形成阶段	(8)
三、晚古生代—新生代：基底改造阶段	(10)
第三节 云开基底的区域地球化学背景	(10)
一、微量元素	(10)
二、稀土元素	(12)
三、金银成矿元素	(13)
第四节 基底演化与成矿作用	(14)
一、基底形成过程中的成矿作用	(14)
二、基底改造过程中的成矿作用	(15)
第二章 庞西垌—金山银金矿床区域地质地球化学特征	(17)
第一节 区域地质特征	(17)
一、地层	(19)
二、岩浆岩	(19)
三、区域构造	(20)
四、变质作用	(21)
第二节 银金成矿元素区域分布特征	(22)
一、Ag、Au 区域分布	(22)
二、Ag、Au 含量与变质程度的关系	(23)
第三节 晚燕山期英桥花岗岩体地球化学特征	(24)
一、岩性特征与矿物组成	(24)
二、地球化学特征	(25)
第三章 银金矿床地质地球化学特征	(32)
第一节 矿床地质特征	(33)
一、含矿断裂内构造岩岩石学特征	(33)
二、银金矿床矿体特征	(33)
三、银金矿石性质	(35)

四、成矿阶段划分	(37)
第二节 元素地球化学特征	(41)
一、微量元素	(41)
二、稀土元素	(41)
第三节 包裹体地球化学	(45)
一、包裹体特征	(45)
二、成矿物理化学条件	(45)
三、成矿流体成分	(47)
第四节 同位素地球化学	(48)
一、硫同位素	(48)
二、铅同位素	(49)
三、氢氧同位素	(51)
第四章 热液围岩蚀变及元素迁移地球化学性状	(53)
第一节 热液蚀变特征	(53)
一、热液蚀变类型	(53)
二、热液蚀变与构造变形的时空关系	(55)
三、热液蚀变分带	(55)
四、与其他矿床比较	(57)
第二节 采样位置及元素分析结果	(57)
一、采样位置及样品岩石学特征	(57)
二、样品准备及分析结果	(59)
第三节 蚀变过程中元素迁移地球化学性状	(62)
一、热液蚀变过程中质量变化的数学不变量	(62)
二、蚀变过程中元素迁移的地球化学性状	(62)
三、小结	(65)
第五章 矿床物质来源及形成机理	(67)
第一节 成矿物质和成矿流体来源	(67)
一、成矿物质来源	(67)
二、成矿溶液来源	(71)
第二节 矿床形成机理	(71)
一、控矿地质条件分析	(71)
二、矿床形成机理	(72)
第三节 庞西垌—金山矿床对云开基底贵金属成矿作用的启示	(74)
一、庞西垌—金山银金矿床是云开地区的特色成矿类型	(74)
二、庞西垌—金山矿床对云开地区贵金属成矿作用的启示	(74)
第六章 银金矿床及外围贵金属资源潜力评价	(77)
第一节 银矿产资源特征及现状	(77)
一、银的矿产资源特征	(77)
二、银矿产资源现状	(79)
第二节 矿产资源潜力评价的理论基础和方法	(79)
一、理论基础	(79)

二、矿产资源评价和预测的基本准则	(80)
三、矿产资源评价和预测研究的内容和步骤	(81)
四、资源量估算和成矿远景区确定的方法	(81)
第三节 矿床外围廉江—博白地区资源量区域丰度估算法	(82)
一、方法原理	(82)
二、估算结果	(82)
第四节 分形矿床模型及矿区贵金属资源量预测	(83)
一、概述	(83)
二、银金矿床的分形特征	(83)
三、分形矿床模型	(85)
四、资源量预测	(85)
结 论	(88)
参考文献	(90)
英文摘要	(95)

第一章 云开地体基底地质地球化学特征

基底在地质研究中占有极其特殊重要的位置。基底演化过程伴随壳幔物质的相互交换和运移,成矿元素发生分散和聚集,是许多矿产资源得以形成的基础。基底演化的阶段性和不可逆性,导致了成矿作用在时间和空间上分布的特殊规律性。基底本身不仅在形成过程中可以形成矿产,而且可以对后期的地质演化和矿床的形成起显著的控制作用。本工作的研究对象庞西垌-金山银金矿床是云开加里东变质基底的一部分,充分认识云开基底的地质地球化学特征,对于研究庞西垌-金山银金矿床具有十分重要的意义

第一节 基底地质特征

云开地体位于相毗邻的广东西部和广西东南部,北起广东的清远、广宁、四会,南到广东廉江和广西博白,面积约 30000km²,呈北东-南西向展布。云开地体大地构造位置属于加里东褶皱带,东西两侧分别为北东向展布的吴川-四会大断裂带和岑溪-博白大断裂带所限。它是我国重要的贵金属、稀有稀土金属和有色金属矿床的产地之一(图 1-1)。地体内广泛分布的基底变质岩系及其地质地球化学演化过程,在一定程度上控制了金银矿床的形成、类型和分布。

一、地 层

云开地体基底地层主要包括高州杂岩、云开群、震旦系和部分早古生界。

1. 高州杂岩

主要分布在云开地体腹地的信宜-高州一带,被认为是云开地区最古老的地层单位,原岩为基性-超基性岩和泥砂质沉积岩,形成于岛弧环境的弧间或弧后盆地,岩石经历了中高级变质作用和不同程度的混合岩化作用(周汉文,1995)。自下而上划分为 3 个岩组:

(1) 黄岭岩组:由均质混合岩、低压麻粒岩相岩石和强变形片麻状花岗质岩石组成。变质相为麻粒岩相和角闪岩相。原岩是基性-超基性岩和正常沉积岩。

(2) 莞塘岩组:以混合岩化石英云母片岩、云母石英片岩、混合岩为主体。变质相达高角闪岩相。

(3) 新安岩组:由各类片岩、石英岩组成。变质相为高绿片岩相,其原岩以泥砂质岩石为主。

下列同位素年龄支持高州群是本区最古老的地层单位:高州长坡花岗片麻岩锆石 U-Pb 年龄 2038Ma (符力奋,1996),信宜眼球状片麻岩锆石 U-Pb 年龄 1736Ma (简平,1996),信宜怀乡斜长角闪岩全岩 Sm-Nd 模式年龄 2625Ma (庄文明等,1994)。

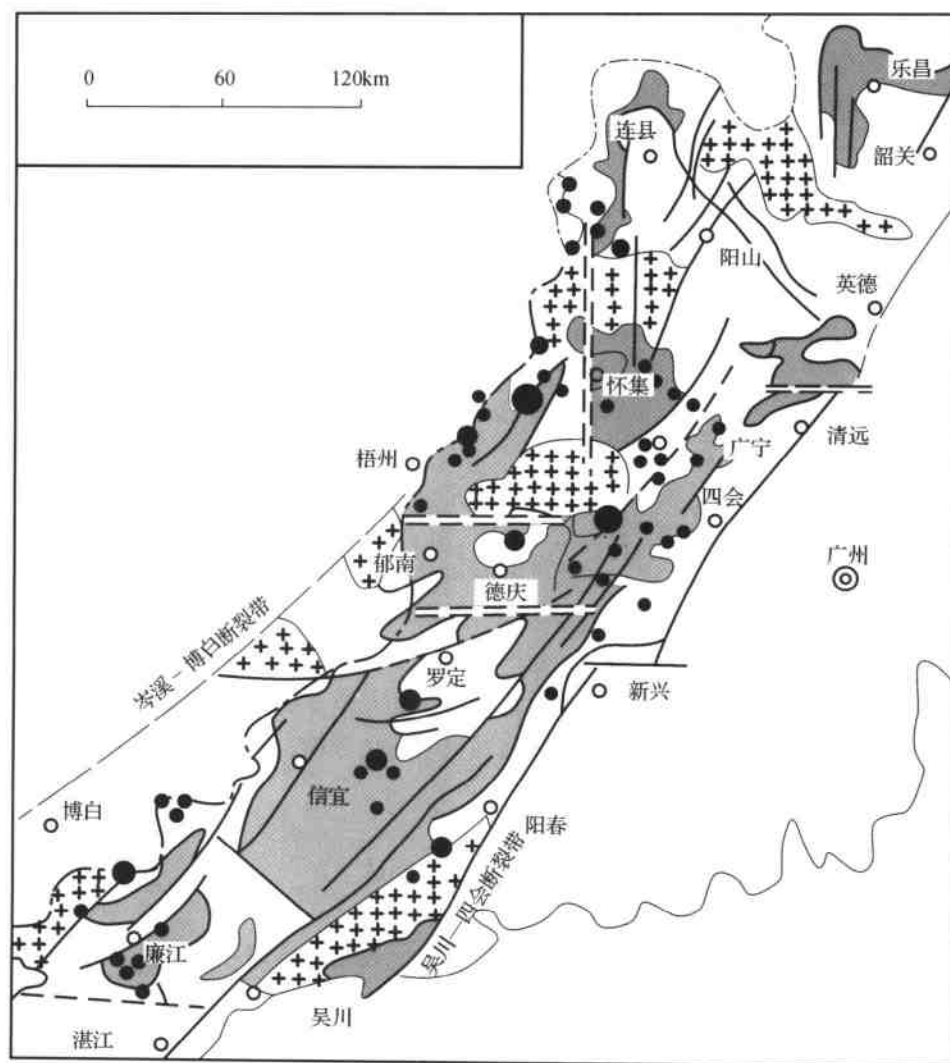
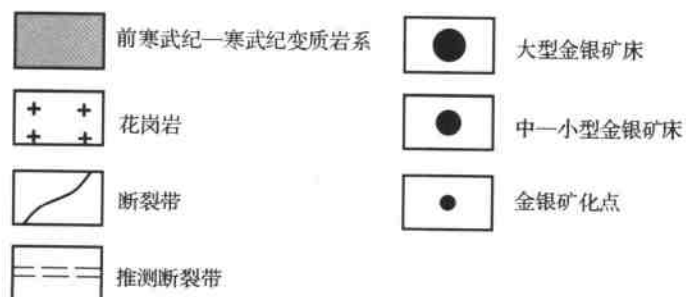


图 1-1 云开金银矿床构造示意图



2. 云开群

云开群环绕高州杂岩分布,二者呈断层接触,分为罗罉组、丰垌口组、蓝坑组(牛唇坳组)和沙湾坪组4个岩组,普遍遭受高绿片岩相-绿帘角闪岩相变质作用,形成于陆缘裂谷至弧盆体系之过渡地带的构造环境(丘元禧等,1996)。

(1) 罗罉组:主要是云母石英片岩、石英岩,夹有稳定的硅铁建造、绿片岩、变质基性火山岩、变英安岩、变粒岩等。原岩为次深海浊流相陆源碎屑建造为主,夹基性-酸性火山建造。

(2) 丰垌口组:整合覆盖于罗罉组之上,为含炭绢英千枚岩和变质杂砂岩。原岩是一套次深海浊流相含炭质泥质碎屑岩系,沉积韵律清楚。

(3) 蓝坑组(牛唇坳组):主要为云母石英片岩、石英云母片岩等岩石,夹条带状磁铁矿层、含铁石英岩及白云质大理岩。原岩以泥质粉砂岩为主,夹长石石英砂岩、灰岩。

(4) 沙湾坪组:以信宜旺沙沙湾坪-怀乡牛下一带为典型。岩石以云母石英片岩为主,夹有石英岩和千枚岩。原岩为由砂泥质碎屑岩组成的类复理石建造。

对于这4个岩组的地层层序存在不同的认识:一种是按岩层产状建立地层层序,从罗罉组、丰垌口组、蓝坑组到沙湾坪组由老到新;一种认为云开地区位于大型扇形背斜或向形构造的一翼,整个为倒转层序,从罗罉组、丰垌口组、蓝坑组到沙湾坪组由新到老。

微古植物化石资料 and 同位素年代学研究表明,云开群属于新元古代,位于震旦系以下(南颐,1994;张仁杰等,1991;李献华等,1993;王鹤年,1993)。

3. 震旦系

与云开群平行不整合接触,底部常以石英岩、含砾石英砂岩平行不整合于沙湾坪组之上。震旦系地层自下而上分为4个组(周国强,1995):

(1) 大绀山组:以云母石英片岩、石英岩为主,夹炭质千枚岩、硅质岩、灰岩、凝灰岩及黄铁矿层。云浮大降坪一带夹有与海底火山喷发和热水沉积成因有关的块状硫化物矿床,见有大量震旦纪的微古植物化石(袁正新等,1995)。

(2) 活道组:为以变泥质细砂岩、粉砂岩为主,夹千枚岩、含炭质千枚岩、灰岩的一套碎屑岩。

(3) 坝里组:为一套以砂板岩为主的复理石碎屑岩建造。

(4) 老虎塘组:为一套夹硅质岩的细砂岩、粉砂岩、板岩,与上覆寒武系整合接触。

在震旦系的顶部与寒武系的交接处,普遍发育一套特征的层状沉积硅质岩,属于典型的古海洋热水沉积建造,表明震旦纪末期存在一个广泛的海洋热水沉积事件(周永章等,1994,1996)。

4. 下古生界

包括寒武系、奥陶系、志留系。寒武系在粤西称为八村群,与震旦系整合接触,是一套由浅变质砂岩-粉砂岩-板岩组成的海相类复理石碎屑岩建造,夹有含黄铁矿或含磷硅质扁豆体、炭质板岩及灰岩透镜体,底部为炭质板岩,地层中古生物化石稀少。桂东南寒武系还出现少量的硅质岩和碳酸盐岩,含有海绵骨针、漂浮三叶虫和薄壳腕足类。

奥陶系-志留系以角度不整合覆盖于寒武系之上。奥陶系以浅海壳相砂页岩沉积为主,岩石主要有石英砂岩、砂页岩夹灰岩等,在底部含有砾岩,地层中含的古生物化石主要有三叶虫、腕足类和珊瑚类等。志留系以深水类复理石含笔石页岩沉积为主。

志留纪末期,云开地体整体褶皱隆起,云开基底形成。泥盆系及以后地层以角度不整合覆盖其上,成为盖层。

二、变质作用

云开地区基底岩石经历了多期变质作用。变质作用以区域变质和区域混合岩化作用为主,局部叠加不同时代热接触变质作用和断裂变质作用。

1. 区域变质作用

根据变质强度,区域变质作用进一步划分为麻粒岩相、角闪岩相、绿片岩相变质作用3种类型。

(1) 麻粒岩相变质作用

麻粒岩相变质作用出现于高州的云炉圩—龙修一带,主要影响高州杂岩。麻粒岩相的特征变质矿物包括紫苏辉石、堇青石、尖晶石、铁铝榴石、黑云母等,存在多世代的变质矿物组合。麻粒岩相变质作用与紫苏花岗岩关系密切,在紫苏花岗岩中存在大量麻粒岩相的岩石包体。

特征变质矿物组合和矿物地质温度计的计算结果显示,麻粒岩相峰期变质作用温压条件为 $P=0.4\sim0.6\text{GPa}$, $T=700\sim800^{\circ}\text{C}$, 退变质条件为 $P=0.4\text{GPa}$, $T=650\sim710^{\circ}\text{C}$, 地热梯度达 $5.4^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。PT 演化显示,经历了峰期变质和地下居留冷却、抬升后的冷却两个重要阶段(周汉文,1995)。

关于麻粒岩相变质作用的峰期年龄,研究认为应发生于前晋宁期及更早(丘元禧等,1996;庄文明等,1995)。

(2) 角闪岩相变质作用

主要见于北流六麻、六靖及高州,在云浮大紺山、广宁石涧地区也有出露。区域分布不均匀,以混合岩、花岗岩为中心,向外变质作用减弱,构成若干热穹隆构造。特征变质矿物为黑云母、夕线石、堇青石、铁铝榴石,构成堇青石—夕线石—钾长石带、黑云母—铁铝榴石带、铁铝榴石—堇青石—红柱石带等由不同变质矿物组成的变质相带(周汉文,1995)。

根据特征变质矿物组合和矿物地质温度计的计算结果,角闪岩相变质作用的温压条件为: $P=0.3\sim0.5\text{GPa}$, $T=550\sim700^{\circ}\text{C}$ 。PT 演化显示,角闪岩相变质岩经历了等压升温变质到地下居留冷却的演化过程(周汉文,1995)。

对广东省高要诗洞—伍和—石涧—河台地区的分析表明(Zhou Y.Z. et al., 1995),震旦纪地层经历了中高级区域变质作用。十字石、夕线石和铁铝榴石是特征变质矿物,古地温梯度为 $30\sim50^{\circ}\text{C}/\text{km}$,片岩形成的温压主区间为 $500\sim670^{\circ}\text{C}$ 和 $250\sim600\text{MPa}$,是中—中低压变质相系的产物。

角闪岩相变质作用至少可分为两期,早期与麻粒岩相变质作用渐变过渡,晚期则形成于晋宁期—加里东期变质作用。

(3) 绿片岩相—绿帘角闪岩相变质作用

涉及云开基底的所有地层,是多期变质作用的产物,有些变质岩中还保留原始沉积结构。特征变质矿物为白(绢)云母、黑云母、绿泥石、十字石、红柱石、蓝晶石、石榴子石、绿帘石、斜长石等。

不同地区的绿片岩相—绿帘角闪岩相变质作用有一定的差异, 从而形成不同的变质矿物组合, 其原因除因区域变质过程中局部热流差异外, 加里东期、燕山期热接触变质的叠加是主要原因。特征变质矿物组合、矿物地质温度计及白云母的 b_0 值的计算结果显示, 云开群变质作用温度为 $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$, 属中—中低压相系 (Zhou et al., 1995; 凌井生等, 1992)。

2. 区域混合岩化作用

本区区域混合岩化作用从晋宁期开始, 一直持续到加里东期。

高州杂岩中的混合岩主要形成于晋宁期。从新桐向云炉方向, 高州杂岩的混合岩依次可见呈北西走向的局部混合岩带、条带状混合岩带、眼球状混合岩带及片麻状混合岩带。混合岩的这种区域分布特征, 是由于深熔作用程度不同造成的, 随着深熔作用的发展和熔体量的增加, 熔体与残留体的作用增强, 混合岩由不均匀向均匀化发展 (陈斌等, 1994)。

在云开群中, 混合岩化作用主要形成变质岩—条带混合岩—片麻状花岗岩—眼球状花岗岩组合, 它们之间呈渐变过渡接触。

加里东期混合岩化作用在空间上多以某一岩体为中心呈环状分布、由中心向外混合岩化作用逐渐减弱为特征。这一中心一般为加里东期深熔型黑云母花岗岩, 在云开大山腹地呈多中心特征。由于混合岩化作用对原岩的选择性, 由中心向外可以见到混合岩化程度不同的岩石交替出现 (周汉文, 1995; 丘元禧等, 1996)。

在粤西河台金矿田外围的诗洞—伍和—石洞地区, 可以清楚地观察到混合岩与正常变质岩具渐变过渡接触关系。从西北到东南依次发育均质混合岩、条痕混合岩、条带状混合岩、片麻岩和混合岩化片岩。它们形成于开放的变质体系中, 主要通过主要化学成分的准原地调整而成, 其中的部分浅成体来自深部地层 (Zhou, 1993)。

由于本区区域混合岩化作用从晋宁期开始, 一直持续到加里东期, 从而使混合岩的归属问题成为争论的焦点。作者认为, 以早期基底岩石为源岩的混合岩, 可以在后期基底形成过程中多期次的构造—热事件中连续形成, 是多期次变质作用的见证, 其地球化学特征由源岩的性质决定, 因此可以归属到源岩的岩层中, 作为一类特殊的岩石进行研究。

云开地区在加里东期后转变为稳定, 上覆盖层沉积。后期叠加了断裂变质作用和接触变质作用。

3. 断裂变质作用

断裂变质作用存在于加里东期及以前时期, 但由于强烈改造与区域变质作用不易区分。在海西—印支期, 断裂变质作用的表现相当明显, 在云开地体的东部、西北部边缘分布尤为集中, 明显受吴川—四会断裂带、罗定—广宁断裂带、岑溪—博白断裂带控制。混合岩化、动热变质、韧性剪切变质等变质作用均沿断裂构造呈线性分布 (莫柱荪, 1983)。如岑溪—博白断裂带中从黄陵到蟠龙有一条由二云母片岩带、石榴子石片岩带、十字石片岩带组成的渐进断裂变质带, 断裂变质带斜切地层走向, 变质程度与地层层序无关。沿上述断裂带以及在云开地体内部叠加有糜棱岩带、糜棱岩化带和碎裂岩带, 在河台地区沿凤村—河台—五村—光宁一线的糜棱岩带中, 金矿赋存于其中。在燕山期及以后, 断裂变质作用以碎裂变质为主。

4. 接触变质作用

接触变质作用在前寒武纪和古生代岩体边部即有发生,但以中生代燕山期花岗岩的接触变质最为突出。燕山期花岗岩浆活动沿断裂分布,在花岗岩体周围引起接触变质作用和同化混染作用,形成由各种角岩、夕卡岩、大理岩组成的热接触变质带。

三、构造变形作用

云开基底的构造变形作用复杂,可划分为3期,分别为前晋宁期、晋宁期、加里东期(彭少梅等,1996)。不同期次有不同的构造形迹。

1. 前晋宁期 (>1400Ma)

在前晋宁期变质过程中,高州杂岩发生了强烈的构造变形,以韧性变形为主,形成各种韧性剪切带、旋转碎斑系、片麻理、透入性流褶皱和无根褶皱等构造形迹。

高州杂岩中的构造变形自下而上可划分为5种构造样式(杨坤光等,1996),分别为:

- (1) 强变形球斑或眼球状混合花岗岩的强弱应变域共存的投入性韧性剪切带;
- (2) 条带状混合花岗岩的片麻理均匀平直变形带。
- (3) 片麻状混合花岗岩的片麻理揉皱变形带。
- (4) 不同类型混合岩的剪切递进变形带。
- (5) 各种变质岩投入性流劈理带。

它们是在较大深度和较高温度下连续变质、变形和混合岩化作用的递进深熔演化结果。应变测量和分析结果反映主期深层剪切及物质运动方向NE向,处于SW—NE向拉伸应力场中。

2. 晋宁期 (1400~800Ma)

晋宁期的构造线方向为近E—W向,处于NNE—SSW向拉伸应力场中(彭松柏等,1995)。晋宁期构造形迹可分解为3个构造带(彭少梅等,1996):

(1) 下变形带

由混合花岗岩、眼球状或钾长球斑深熔花岗岩组成,构造形迹为透入性褶皱和片麻理,并在中深层次流变剪切滑脱带发生部分熔融,形成混合岩、混合花岗岩和花岗岩岩石组合系列。

(2) 中变形带

主体为云开群的混合岩和混合岩化岩石,发生深层次流动变形,形成透入性肠状褶皱群。混合岩中的基体和脉体组成顺层流褶皱和层内不对称褶皱。

(3) 上变形带

宏观变形不明显,顺层流劈理和石英析离体等构造形迹分布于云开群变质岩中。

3. 加里东期 (800~370Ma)

由高侵位片麻状花岗岩和部分混合岩化的折叠层等构造形迹组成,主要涉及寒武纪和震旦纪变质地层,奥陶纪地层和志留纪地层变质变形都很微弱,呈角度不整合覆盖其上。应变分析显示加里东期的构造应力场为S—N向近水平挤压应力场。云开巨向斜的形成和大量同构造花岗岩的侵位,标志云开变质基底最终形成。

四、花岗岩浆活动

云开基底在形成过程中花岗岩岩浆活动强烈,形成前加里东期、加里东期、海西—印支期、燕山期等不同期次的花岗岩。

前加里东期花岗岩:尽管高州群中发育片麻状深熔花岗岩,但尚无确切的同位素年龄数值;有确切同位素年龄数值的花岗岩从晋宁期开始,包括云开大山腹地信宜白石一带的英云闪长质—花岗闪长质—二长花岗质片麻岩(符力奋,1995)、高州—马贵地区的大田顶花岗岩等。

加里东期花岗岩:是云开地体中最为发育的一期花岗岩,主要分布于云开大山的腹地——复式背斜的轴部,岩体展布方向、片麻状构造与区域构造线一致,与围岩呈侵入突变接触,接触变质及岩相分带明显,代表性岩体有大王山、圭岗、石牛头、诗洞、凤村广宁花岗岩等。

海西—印支期花岗岩:沿罗定—广宁断裂带及其邻侧分布,有泗纶、那蓬、云楼岗等岩体,岩体侵入上古生界,并为三叠纪—侏罗纪地层角度不整合覆盖。

燕山期花岗岩:本期花岗岩浆活动强烈,除有中酸性岩浆喷出活动外,以花岗岩侵入为主,有银岩、塘口、锡山、马山、伍村、岗尾、塘蓬等著名花岗岩,其中塘蓬花岗岩以及英桥花岗岩分布于研究区内,英桥花岗岩与银金成矿作用关系密切。

第二节 基底演化格架

一、太古宙—古元古代:古老陆核形成和生长

云开地区是否存在古元古界—太古宇的基底,一直是长期争论的问题。根据已有的同位素数据,作者分析后认为云开地区可能存在古元古界—太古宇的基底。

1. 锆石 U-Pb 年龄证据

(1) 广西陆川清湖和广东廉江平定一带清湖岩体的粗粒角闪二长岩中,锆石 U-Pb 法上交点年龄 $t_1 = 2642 \times 10^6 \text{a}$, 下交点年龄 $t_2 = 154 \times 10^6 \text{a}$ (徐磊明等, 1992)。 $2642 \times 10^6 \text{a}$ 是已报道的云开地区的最大的锆石年龄数据。它表明清湖岩体成岩物质来源可能是太古宇岩石,隐含着云开地区有可能存在太古宇残留。

(2) 高州杂岩—云炉紫苏花岗岩外围黑云二长片麻岩中,锆石 $t_1 = 2038 \text{Ma}$, $t_2 = 374 \text{Ma}$, 实测数据靠近下交点(符力奋, 1987)。 2038Ma 为锆石源岩的可能年龄。

(3) 信宜滩洞、旺沙云开群变质英安斑岩中,磨圆/碎屑单颗粒锆石分层蒸馏 Pb-Pb 法年龄 $2084 \sim 1616 \text{Ma}$ (周国强, 1994), 代表锆石源岩年龄。

2. Rb-Sr 等时线年龄证据

信宜罗罈至罗定分界附近的云开群云母石英片岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $1900 \times 10^6 \text{a}$ (李献华等, 1993)。考虑到 Rb-Sr 同位素体系中岩石变质作用已达高绿片岩相以及各矿物的封闭温度(黑云母为 $300 \sim 350^\circ\text{C}$, 白云母为 $450 \sim 500^\circ\text{C}$, 钾长石为 $320 \sim 450^\circ\text{C}$), 故该数