

中国几个典型卡林型金矿床 金的赋存状态研究

王奎仁
周有勤、孙立广、任炽刚 著

中国科学技术大学出版社
1994



序

卡林型金矿亦称沉积岩型、微细粒浸染型或“不可见金”型金矿,是近十余年来在我国扬子地块西南缘滇、黔、桂和西北缘陕、甘、川两个三角地带取得重要找矿、评价与科研进展的金矿类型。卡林型金矿成群成带的出现主要见于我国上述两个三角地带及美国西部内华达州及附近地区,而在世界其他地方均属个别产出,少见成群成带分布。

因此,总结卡林型金矿的时空分布规律、产出的地质背景、形成机制、成因及找矿模式,以及评价、选矿、加工等问题的任务便天经地义地落在中国地质、地球化学工作者的肩上。已经和将要有若干上述方面的专著出版,这无疑是可喜的事。

在卡林型金矿实践与理论诸难题中,矿石选矿加工难度之大,在各种金矿类型中是突出的,而这一难题的解决需立足于弄清楚金的赋存状态。这一问题的阐明不仅对矿床评价、矿石加工至为重要,而且,也将为探讨成矿机制提供基础资料。

卡林型金矿原生矿石金矿物粒度极细,常为微米级、次微米级,这给阐明金的赋存状态带来极大困难。本书作者王奎仁等同志克服种种困难,采用综合微束分析方法,对我国两个卡林型金矿的三角地带中的若干典型矿床作了深入、细致的金赋存状态研究,取得了一批有关金的矿物学及地球化学的难能可贵的成果。应当说,以如此多种微束分析手段对卡林型金矿进行系统研究,在当前国外亦属罕见。

祝愿本书的出版进一步推动我国微米及次微米级矿物学研究、金矿石加工及金矿成矿理论工作。

涂光炽

1994. 8. 5

前 言

卡林型金矿床,亦称微细粒浸染型金矿床,是一种重要的金矿类型,主要分布在美国内华达州及其附近地区和我国西南部的滇、黔、桂与南秦岭和阿坝地区。迄今为止,我国已经找到一些大型和特大型的微细粒金矿床,而且有可能找到超大型的微细粒金矿床。

微细粒金矿床的特点是储量大、品位低、金的粒度极细。矿石中的金多呈显微和超显微金产于未氧化矿石中,不但肉眼看不见,在光学显微镜下也难见到,所以又称为“不可见金”。由于其“不可见”,给金的赋存状态研究造成了很大的困难,因而产生了两个方面的问题。第一,金的赋存状态研究不清,给阐明矿床的成因带来了困难。在大多数微细粒金矿床中,金主要赋存在黄铁矿和毒砂等硫化物中,在粘土矿物和有机质中也含有部分金。无论金存在于黄铁矿、毒砂还是存在于其它矿物相中,金的赋存状态资料对于阐明金的来源、搬运形式及金的沉淀机理都是必不可少的。第二,金的赋存状态不清,将直接影响到矿床的评价和勘探,尤其是选冶工艺的确定。也就是说,只有在确定金的赋存状态的基础上,才能对矿床的成因作全面、合理解释;才能确定最佳的选冶工艺流程,提高金的回收率。因此,微细粒金的赋存状态的研究对于此类矿床的开发具有重要意义。

金矿床的勘探和开采与国民经济发展关系重大。随着世界范围的黄金热越来越高涨和我国对黄金需求量的不断增加,微细粒浸染型金矿床将被大规模的开发和利用。因此国家黄金管理局和中国科学院分别将微细粒浸染型金矿床金的赋存状态列为国家攻关项目和中国科学院“八·五”重大项目。本书是在《我国南方几个微细粒金矿床金的赋存状态研究(1990—1994)》的专题报告基础上撰写而成的。该项研究分别得到国家黄金管理局、中国科学院和复旦大学基于加速器的原子物理和原子核物理开放实验室的资助,同时也得到中国科学技术大学结构与成份分析开放实验室部分资助。

该项专题共研究了金牙、高龙、拉日玛和东北寨四个微细粒金矿床。在国内外重要学术杂志上共发表了 18 篇论文。取得了具有国际领先水平的突破性成果、该成果主要贡献和影响如下:

1. 在国际上率先把扫描质子探针用于微细粒金矿床中金的赋存状态的研究,获得了大量能直观反映矿石组成、元素丰度和赋存状态的图谱和定量数据,确定金主要以小于 $1\mu\text{m}$ 的超显微包裹体存在于毒砂、黄铁矿、辉锑矿和雄黄等矿物中,修正了前人关于微细粒金矿床中的金呈晶格金存在的推测。

2. 运用扫描电镜波谱系统研究含金的原生矿石,发现微米级的独立金矿物,准确地测定了它们的粒径大小,提出并证明了在卡林型金矿床中微细粒金有超显微金包裹体和微米级显微可见金两种赋存状态,修正了国际上关于“卡林型金矿床只有超显微金”的观点,将卡林型金矿床金的赋存状态研究提高到一个新水平。对该类型金矿床矿石选冶工艺的确定具有直接指导作用。

3. 首次在卡林型金矿床中发现了含铂汞金矿、汞金矿、铂金矿和锑硒矿、其中含铂汞

金矿和锑硒矿应属于新矿物。

4. 根据扫描质子探针、扫描电镜和电子探针三种微束技术测定主要含金矿物获取的 Au, As, S, Fe 等元素数据, 判定这些化学元素的含量具有明显的线性关系, 并由之指出砷在金的成矿过程中起着重要作用。同时由质子探针和电子探针所揭示的特征微量元素, 对于确定金牙金矿床、高龙金矿床、拉日玛金矿床、东北寨金矿床元素组合各自的基本特征, 从而为合理的解释这些矿床成因问题提供了有意义的基础资料。

5. 在研究成果基础上撰写了 18 篇论文, 受到国内外学术界的极大关注, 不少国内外同行来信来电索取论文抽印本, 以供参考引用。其中有的论文发表后, 立即被收入国际上权威的科学文献索引 (SCI) 和现刊目录 (CC), 有的被收入美国的《The Engineering Index Monthly》中。这表明了该专题研究成果在国际上已引起强烈反响。此外在国内也同样引起强烈反响,《人民日报》(海外版)、《光明日报》、《科技日报》、《中国地质报》、《CHINA DAILY》、《中国科学报》、《安徽日报》对本项成果都作了报道。

1993 年 12 月中旬由安徽省科委主持, 由中国科学院院士常印佛教授任主任委员, 地矿部矿床所王书凤教授任副主任委员的专家评审委员会对该项专题成果组织了省级评审与鉴定。评审委员会一致认为: “微细粒金赋存状态研究成果, 方法先进, 思路新颖, 数据可靠, 论证严谨, 对于该类矿床的深入研究和指导找矿勘探工作均有重要意义, 对国民经济建设亦有较大的潜在效益, 是一项卡林型金矿床金的赋存状态研究领域居国际领先水平的突破性成果。”并建议尽早公开出版, 广为交流。

本专著从课题研究到撰写成书, 都得到了中国科学院院士涂光炽先生、叶连俊先生、陈国达先生、孙枢先生和欧阳自远先生的关心和支持; 中科院黄金办胡寿永先生、祈凤茹先生、张金东先生对专题研究的设计和任务的完成给予了热情帮助; 广西第二地质大队李浦安总工、李正海副总工、韦宗与高工, 中科院广州地新所高计元先生、川西北地质大队李小壮总工, 毛裕年高工及彭达铨工程师在野外调查和采样过程中提供了许多帮助; 质子探针分析得到复旦大学基于加速器的原子物理和原子核物理实验室汤加镛教授等人的关心和支持, 周世俊同志完成了大量的质子探针测试任务; 中国科学技术大学李凡庆同志和洪吉安同志完成了金牙金矿床扫描电镜的大量测试任务; 杨晓勇同志在本书撰写过程中作了一些具体工作; 美国普渡大学电子探针实验室 Henry O. A. Meyer 教授和 Carl Hager 技术员为完成本专著的电子探针分析给予热情帮助和协助, 作者对上述单位和个人表示衷心的感谢!

鉴于微束分析测试技术不断地创新, 人们对微观的认识也将不断地补充与修正。本书若有不妥之处, 敬请地学界同仁批评指正。

作 者

1994 年 6 月

目 录

序	(1)
前 言	(1)
第一章 引言	(1)
第一节 卡林型金矿床及金的赋存状态研究意义	(1)
第二节 美国典型的卡林金矿床主要地质特征	(2)
第三节 中国主要的卡林型金矿床主要地质特征	(7)
第四节 卡林型金矿床金的赋存状态的微束分析研究现状	(13)
第二章 金的地球化学性质	(15)
第一节 金的化学、物理性质	(15)
第二节 金的地球化学性质	(16)
第三节 金的赋存状态	(22)
第三章 微束分析新技术及应用简介	(29)
第一节 概述	(29)
第二节 微束分析新技术的一般特点	(29)
第三节 离子探针	(30)
第四节 质子探针	(31)
第五节 同步辐射 X 射线荧光探针	(35)
第六节 电子显微镜	(36)
第七节 电子探针分析	(38)
第四章 金牙金矿床金的赋存状态	(40)
第一节 矿床地质概况	(40)
第二节 电子探针分析	(43)
第三节 质子探针分析	(47)
第四节 扫描电镜分析	(51)
第五章 高龙金矿床金的赋存状态	(64)
第一节 矿床地质概况	(64)
第二节 电子探针分析	(66)
第三节 质子探针分析	(69)
第六章 拉日玛金矿床金的赋存状态	(70)
第一节 矿床地质概况	(70)
第二节 矿石的矿物组成	(70)
第三节 电子探针分析	(73)
第四节 质子探针分析	(75)
第七章 东北寨金矿床金的赋存状态	(79)
第一节 矿床地质概况	(79)
第二节 矿石的矿物组成	(80)
第三节 电子探针分析	(80)
第四节 质子探针分析	(84)

结束语.....	(85)
主要参考文献	(87)
英文摘要.....	(90)
彩图	(105)

CONTENTS

Chapter 1. Introduction

- 1.1 Carlin—type Gold Deposits and the Significance of the Occurrence of Carlin—type Deposits
- 1.2 Predominant Geological Characteristics of Carlin Gold Deposit in U. S. A.
- 1.3 Predominant Geological Characteristics of Typical Carlin—type Gold Deposits in China
- 1.4 Present of the Microbeam Analysis on the Occurrence of Carlin—type Gold Deposits

Chapter 2. Gold Geochemistry

- 2.1 Chemical and Physical Characteristics of Gold
- 2.2 Geochemical Characteristics of Gold
- 2.3 Occurrence of Gold

Chapter 3. An Introduction to Microbeam Analysis Techniques and Their Utilization

- 3.1 Generalization
- 3.2 General Characteristics of Microbeam Techniques
- 3.3 Ion Microprobe
- 3.4 Proton Microprobe
- 3.5 SXRF Microprobe
- 3.6 SEM
- 3.7 EPMA Analysis

Chapter 4. Occurrence of Jinya Gold Deposit

- 4.1 Geological Setting
- 4.2 EPMA Analysis
- 4.3 Proton Microprobe Analysis
- 4.4 SEM Study

Chapter 5. Occurrence of Gaolong Gold Deposit

- 5.1 Geological Setting
- 5.2 EPMA Analysis
- 5.3 Proton Microprobe Analysis

Chapter 6. Occurrence of Larima Gold Deposit

- 6.1 Geological Setting
- 6.2 Compositions of Ores
- 6.3 EPMA Analysis
- 6.4 Proton Microprobe Analysis

Chapter 7. Occurrence of Donbeizhai Gold Deposit

- 7.1 Geological Setting
- 7.2 Compositions of Ores
- 7.3 EPMA Analysis
- 7.4 Proton Microprobe Analysis

Conclusions

Main References

Abstract with English

第一章 引言

第一节 卡林型金矿床及金的赋存状态研究意义

卡林型金矿床或称微细粒浸染型金矿床,是一种主要产于碳酸盐岩建造中的微细粒浸染型金矿床。发现于 60 年代,1961—1963 年首先在美国西部内华达州尤里卡县卡林镇地区发现,故称之为卡林金矿床,之后在美国西部又相继发现了许多与卡林金矿床相类似的微细粒浸染型金矿床,例如蓝星(Bluestar)、布茨特拉莆(Bootsrap)、科特兹(Cortez)、格彻尔(Getchell)、戈德埃克斯(Gold Acres)、杰瑞特峡谷(Jerret Canyon)、奥吉-平森(Ogee-Pinson)、普瑞布(Preble)、斯坦达德(Standard)等。A. S. 拉德克(Radtke)和 F. W. 迪克森(Dickson)于 1974 年将这一类矿床命名为卡林型金矿床,该类矿床的特点是储量大、分布广、品位低。例如美国的卡林金矿,目前已确定的矿石储量有 5000~6000 万吨,平均品位 7g/T,金的储量为 186 吨,属超大型矿床,但是这类矿床中的金主要为显微和超显微金,不但在肉眼难以见到,而且在光学显微镜下也很难发现,故国外多称“不可见金”。

自 60 年代在美国内华达州发现卡林金矿后,在世界上其它一些国家也陆续找到一些卡林型金矿床,但最集中的分布地区只有两个:一个是美国的内华达州及其附近地区;另一个是中国的西南包括滇、黔、桂、南秦岭和阿坝地区,这与美国的中西部和我国的西南部都有长期大面积发育的碳酸盐岩建造有关(涂光炽,1992)。从我国西南滇、黔、桂金矿床分布区来看,赋存地层从寒武系到白垩系都有,本专著研究的金牙金矿床、高龙金矿床和东北寨金矿床赋存地层均为三叠系,拉日玛金矿床赋存地层为志留系。

美国卡林型金矿床的特征元素组合为 Au-As-Ag-Ba-Tl,我国卡林型金矿床也具有相似的特征元素组合,且常与 Hg, Sb, As 矿带有着空间上的联系,但就具体矿床而言,又有一定的差异。例如,金牙金矿床已发现含铂汞金矿、汞金矿和铂金矿(王奎仁等,1992),表明 Au 与 Pt 和 Hg 之间有密切的关系,其元素组合为 Au-As-Sb-Hg-Pt-Cu-Rb-Sr-Zn;高龙金矿床的元素组合为 Au-As-Hg-Sb-Cr-Mo-Ti-Sr-Cu;东北寨金矿床元素组合为 Au-As-Hg-Sb-Tl-Cr-Cu-Ti-Ca;拉日玛金矿床的元素组合为 Au-As-Sb-Hg-Ba-Se-Zn-Ge-Cu。

除矿床成因和元素组合不同于其它类型矿床外,卡林型金矿床最大的特点是矿石中的金主要呈显微金和超显微金存在,显微金的颗粒一般为 1~10 μ m。而超显微金也称次显微金,其粒度在 1 μ m 以下。从我们所研究的我国典型卡林型金矿床来看,超显微金是主要的,显微金是次要的,有的矿床发现极少量显微金。

在卡林型金矿床中,金是呈显微金和超显微金存在的,特别是超显微金。这样微小的颗粒是赋存在什么矿物中,又是以什么形式存在,是呈单质还是呈化合物,二者比例如何;它在载体矿物中是呈裂隙金,还是呈包裹体金;是呈吸附金还是呈类质同像金(晶格金);

要弄清这些问题到目前为止仍是世界上一大难题,许多矿物学家和地球化学家对此问题都很感兴趣。目前由于很多矿山对微细粒金存在形式不了解,或了解不全面,大量微细粒金白白浪费和流失,给经济建设造成损失。因此查清微细粒金的赋存状态不只是矿物学和矿床成因的课题,而是关系到卡林型金矿床资源的开发与利用,关系到矿床评价、勘探与选冶工艺的确定,同时也是解决选冶回收率的关键。

第二节 美国典型的卡林金矿床主要地质特征

美国卡林金矿床位于林恩构造窗(Lynn Window)东北部的薄层碳酸盐岩地层中。在空间上,卡林金矿和塔斯卡罗拉山背斜以及某些高角度正断层有关。从区域构造角度来看,卡林金矿产在北北西走向的塔斯卡罗拉山背斜核部。虽然也有一些小矿体和金异常出现于背斜的西侧和东侧,但多数矿体集中在背斜核部。

一. 矿带特征

1. 西矿带

西矿带只有一个矿体,沿走向延伸 330m 左右,矿带厚 1~10m 以上沿倾向延伸 120m。矿带的东南端厚度加大,构成一直径为 25~30m、向北倾伏、倾伏角为 70°的椭圆形筒状体。西矿体附近有几组高角度正断层,显然是热液上升的主要通道。通道的边缘也有几条断层,这些断层的特点是其中的石灰岩强烈破碎和角砾岩化,含有较多富含粘土的断层泥。除了该矿带东南端一个筒状矿体外,整个西矿体都位于孔隙度和渗透性很高的地段内。在卡林金矿这一地段内,矿体受构造控制的现象最为明显。

西矿带脉状和筒状矿体中原生矿石含有机碳较少(0.11~0.24%),含 As 222ppm, Sb 52ppm, Hg 22ppm, 贱金属和硼、硒、锑、钨等元素含量偏低,其平均值为: Cu 25ppm, Mo 6ppm, Pb 26ppm, Zn 72ppm, B 54ppm, W 10ppm, Se 1.5ppm, 含 Sb 则小于 0.2ppm; 相反,其钼的平均含量偏高(650ppm)。同时金的平均含量比该矿床其它矿带也稍高,为 8.7ppm。

2. 主矿带

主矿带的中部和东北部有几个大矿体,这些矿体明显地受地层和构造的控制,该矿带的西南部有很多不规则的小矿体,它们长轴方向及其产出位置都说明它们与近南北和北东向高角度正断层关系密切。卡林金矿 50~60% 的储量都集中在主矿带中。

米尔断层是本区的主要高角度正断层,该断层沿主矿坑西壁出露良好。矿体沿该断层分布长达 210~240m。在这一地段内,高角度砾化破碎带将该断层分割成几支。区内的矿体就产在这些北东向断层以及南北向和北东向断层的交汇处。

主矿带地段中最晚的一组高角度正断层的走向为北 40°~60°东,其特征为:①垂直断距不大,一般小于 6m,常变成无明显断距的角砾岩带或剪切带;②断层的边缘有时有强烈的角砾岩化或断层泥化现象;③是主矿带北东、南西两端的重要控矿构造。

主矿带原生矿石以细粒石英和黄铁矿含量变化大,有机碳含量变化大为特征。整个主矿带有机碳含量变化在 0.15~0.85%(wt)之间,但是在该矿带中部的局部地方有机碳含

量特别高,为 1.5~5.0%(wt),这是由于该局部地区的热液作用明显地带入了碳氢化合物,致使有机碳含量上升。而在主矿带的西南部围岩和矿石中有机碳含量则较低。原生矿石中的金的平均品位为 7.1ppm。一部分呈被膜状赋存在黄铁矿颗粒的表面或与碳质共生。一部分呈细粒自然金产出,其中多数呈分散状存在于热液石英和粘土矿物中。原生矿物中除 As(490ppm),Sb(106ppm),Hg(20ppm),Se(0.9ppm)外,还由热液带入微量元素:Cu(36ppm),Mo(7ppm),Pb(49ppm),Zn(193ppm),B(85ppm),W(17ppm),Te(0.4ppm)。排除重晶石脉所含的 Ba 外,该矿带矿石中 Ba 的平均含量为 500ppm,这反应了该矿床 Ba 的含量由西矿带向东矿带递减。

3. 南延矿带

南延矿带是主矿带东端受构造控制的南延部分。该矿带所发现的多数矿床都产在该带的南端。虽然该矿带金矿的储量只占整个卡林金矿的一小部分(<1%),但是区内露头好。为说明矿体、似碧玉岩和高角度正断层之间在空间上的关系,提供了理想的证据。

该区的主矿体和两个小矿体都产在邻近北 40°~50°东走向高角度正断层的石灰岩中。该区特点是有许多高度密集的北东向断层分布,以及有北东向断层与较早的北 20°西-南北向断层交汇区存在。

该矿带所发现的矿体都已氧化,细粒自然金呈星点状产于细粒石英、伊利石和少量高岭石的混合物中。在矿带内部和边缘可见似碧玉岩体内,局部也含少量金,这些金不是呈星散状就是呈被膜状覆于细小的黄铁矿颗粒之上。

该矿带金及其它微量元素的平均含量分别为 Au 3ppm,As 250ppm,Sb 50ppm,Hg 10ppm,W 8ppm,Cu 15ppm,Zn 30ppm,Pb 15ppm,Mo 2ppm。

4. 东矿带

该矿带分两个主要矿体,较大的一个矿体,为一不规则一向沿伸的板状矿体。该矿体向西倾斜,说明矿化带在波波维奇山东侧向深部延伸。波波维奇山东侧的罗伯茨山组上部地层中那些控矿构造的交汇部位应该是有利金矿成矿的部位。

第二个主要矿体,位于东矿带南西端,为一厚而连续的由碳酸盐岩矿化而形成的筒状体,其南西端宽 60m,向东北变为 12m,倾向东北,倾角 30°。

东矿带矿体的形状和产状都反映出成矿完全受地层的控制和影响。从这些矿体出现的位置来看,显然成矿作用又同时受构造的控制,即两组断层和围岩的复合控制。这两组断层为:一组走向北 40°~45°西,表现强烈;另一组走向近南北-北 40°东,表现微弱,二者都错断了较早的断层。

东矿带原生矿石中有机碳含量高,一般为 0.5~1.0%(wt),特富地段可达 8.0%(wt)。金的平均含量为 7.4ppm。原生矿石中的金与黄铁矿以及碳质共生。少量的金赋存在雄黄中,极少量的金呈分散细粒被包裹在细粒热液二氧化硅中。砷及其它微量元素的含量分别为 As 90ppm,Sb 155ppm,Hg 21ppm,Ba 300ppm,Se 1.8ppm,Cu 33ppm,Mo 5ppm,Pb 20ppm,Zn 177ppm,B 84ppm,W 10ppm,Te 0.2ppm。

二. 原生矿石类型特征

1. 正常矿石

它呈灰至深灰色,薄层和纹层状,占整个卡林金矿床中已知的原生矿石 60%,分别占

主矿带原生矿 50%以上,东矿带 30~40%,西矿带全部。正常矿石中的金呈下列形式产出:①主要是和 Hg,As,Sb(筒部还有少量 Tl)一道呈被膜状(厚度 $<2\mu\text{m}$)产于半自形立方体和草莓状热液黄铁矿的表面,估计有 70~80%的金产在这种被膜中;②有少量的金微粒($<1\mu\text{m}$)和金-有机化合物形成分散在基质里的碳质和粘土的混合物中;③单个而分散的自然金微粒还见于热液石英的斑点和夹层中。

新鲜未矿化围岩和原生矿石中的碳质物有以下三种类型:①无定形活性碳;②高分子碳氢化合物的混合物;③性质似腐植酸的有机酸。正常矿石中有机碳平均含量较高,可达 0.5~0.6%(wt),这表明在热液活动期带入了少量有机物(可能包括碳氢化合物)。

2. 硅质矿石

它以含大量氧化硅而碳酸盐很少为特征。矿石呈深灰至黑色,包括具微弱残留薄层和纹层特征的正常矿石至致密块状含金似碧玉岩间的一系列矿石。

原生矿石有 10%左右的硅质矿石,这些硅质矿石通常含 80~90%的石英,5~10%的粘土,1~5%左右的白云石,以及少量的碳质和黄铁矿。

硅质矿石中含微粒自然金,这些微粒自然金呈分散状产在热液石英的斑点内,矿石中大多数金产于热液黄铁矿颗粒的表面。

3. 碳质矿石

它是指有机碳含量特别高的矿化岩石。这些有机碳至少部分是由热液带入的。碳质矿石为深灰至黑色,呈薄层状-纹层状-黑色致密无纹层状,后者常以非晶质碳的形式呈被膜状出现在裂隙中。碳质矿石占原生矿石的 15~20%。

在碳质矿石中,多数非晶形碳和那些包裹在碳氢化合物里的颗粒均呈斑点状和夹层状产出。有机酸与基质中的粘土、石英以及溶蚀残余碳酸盐物质共生。

碳质矿石中多数金与黄铁矿共生。在草莓状黄铁矿和立方体黄铁矿颗粒($<40\mu\text{m}$)表面的被膜中,常含有 Hg,Au,As,Sb 等元素。

4. 黄铁质矿石

它是指黄铁矿含量在 3~10%(wt)的矿化碳酸盐岩石,它呈灰—深灰色。这种矿石占原生矿石总量的 5~10%。

大多数黄铁矿呈半自形、自形立方体(最大为 $0.4\mu\text{m}$),少数呈圆形草莓状。多数 Au 与 Hg,As,Sb 一道产在草莓状和立方体黄铁矿表面的被膜中。与碳质共生的少量 Au 和 Hg 普遍分布在岩石的基质中。

5. 砷质矿石

它是指原生矿石中 As 含量在 0.5~10%(wt)之间,大多数砷以雄黄形式产出,也有极少量呈雌黄和各种不同硫盐矿物的形式产出。砷质矿石占卡林金矿总量的 5~10%。

砷质矿石中的 Au 有四种存在形式:①和 As,Sb,Hg(局部还有 Tl)一道呈被膜状产于草莓状和立方体黄铁矿的表面;②产于与热液石英和雄黄共生的黄铁矿内,其 Au 和 Hg 的含量一般都达检出限;③和 Hg 一道与碳质共生;④电子探针分析表明局部还有少量的 Au 产在雄黄内,Au 是呈自然分散微粒产出或产在雄黄固溶体内尚未确定。

三. 原生矿石矿物学

卡林金矿床原生矿石中出现的矿物有 20 余种。其中硫化物有:黄铁矿、雄黄、雌黄、辉

锑矿、辰砂、硫铊矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等。其电子探针分析结果列于表 1.1；硫盐矿物有：红铊矿(TiAsS_2)、斜硫铊矿(TiHgAsS_3)、硫铊矿(Ti_3AsS_3)、硫铊汞矿($\text{Hg}(\text{Zn}, \text{Ca})_3\text{Ti}(\text{AsS}_3)_8$)、约硫铊矿($\text{Pb}_{13-14}\text{As}_{6-7}\text{S}_{23-24}$)、细硫铊矿($\text{Pb}_9\text{As}_5\text{S}_{12}$)、维硫铊矿、砷铜矿、铜矿、硫铊矿、硫铊矿等，其电子探针分析结果列于表 1.2。此外，还出现石英、伊利石、高岭石、绢云母、重晶石、白钨矿、方解石、白云石、自然金等。

卡林金矿原生矿石中的 Au 呈下列形式产出：①产于黄铁矿表面被膜中；②分散在非晶质碳质的表面；③呈金-有机化合物的形式与有机酸共生；④自然金；⑤呈分散的自然金颗粒或固溶体出现在雄黄中；⑥呈固溶体产于分散的单质砷粒中；⑦少量的呈自然金形式，其粒径一般不足 $10\mu\text{m}$ ，产于热液二氧化硅的小斑点和细脉中，硅质矿石中含自然金最多。

原生矿石的 Hg 有下列形式产出：①产于黄铁矿颗粒表面的被膜中；②于碳质(包括非晶质碳和有机碳)共生；③呈微细粒分散状辰砂产出；④产于其它硫化物及 As-Sb-Tl 硫盐矿物中。

原生矿石中 As 呈下列形式产出：①与 Au, Hg, Sb, Tl 共生，并赋存在黄铁矿表面的被膜中；②产于硫化物和硫盐中；③以自然砷的形式产出。

表 1.1 卡林金矿床矿石中硫化物的电子探针分析结果(wt%)

元素	S	Fe	Au	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Tl	Ag	Bi	Cd
黄铁矿	52-54	45.5-47	.3-.3	<.5	<.6	.6-6.0	.5-1.0	<.1-1.2	.8-.25	<.8	<.5	<.5
雄黄	30.1-30.6	<.3	<.02-.5	<.5	<.5	69.0-69.6	<.5	<.05	<.08	<.06	<.05	<.05
雌黄	39.1-39.4	<.04	<.03	<.05	<.06	59.2-60.1	.5-1.5	<.05	<.06	<.06	<.05	<.05
辉铊矿	27.9-28.6	<.01	<.03	<.06	<.06	.05-1	71.0-72.0	<.05	<.06-3	<.06	<.06	<.06
辰砂	13.6-13.9	<.05	<.03	<.05	<.05	<.05	<.06	86.1-86.3	<.06	<.05	<.05	<.06
硫铊矿	7.0-7.2	<.04	<.04	<.05	<.05	<.05	<.06	<.05	92.7-93.1	<.04	<.06	<.05
方铅矿	13.1-13.5	<.04	<.05	86.3-86.9	<.06	<.04	<.05-.15	.2-.4	<.05	.06-.1	<.05	<.06
闪锌矿	32.8-33.7	.2-.6	<.05	<.04	65.6-67.4	<.03	<.04	.07-.01	<.05	<.04	<.05	.04-.5

表 1.2 卡林金矿原生矿石中硫盐矿物的探针分析结果(wt%)

矿物名称	红铊矿	斜硫铊矿	硫铊矿	硫铊汞矿	约硫铊矿	细硫铊矿	维硫铊矿	砷铜矿	铜矿	硫铊矿
样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	18.8±.2	16.6±.2	12.3±.1	21.5±.5	18.7±.3	18.1±.3	16.4±.1	27.6±.5	25.2±.4	18.8±.5
As	21.6±.1	13.1±.1	9.6±0.1	23.7±.7	12.5±.2	11.1±.3	N.D.	18.8±.4	1.0±0.2	N.D.
Sb	N.D.	N.D.	N.D.	0.5±0.2	N.D.	N.D.	31.2±.2	0.8±0.1	28.4±.6	25.3±.6
Tl	59.5±.1	35.1±.4	78.2±.3	3.1±0.3	0.5±0.1	N.D.	52.6±.4	N.D.	N.D.	N.D.
Hg	N.D.	35.1±.3	N.D.	47.0±.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Pb	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	68.0±.2	7.7±0.7	N.D.	N.D.	N.D.	55.1±.9
Zn	N.D.	N.D.	N.D.	1.8±0.5	N.D.	N.D.	N.D.	3.1±0.4	2.5±0.3	N.D.
Fe	N.D.	N.D.	N.D.	0.2±0.1	N.D.	N.D.	N.D.	3.5±0.3	0.7±0.2	N.D.
Ag	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.9±0.2	0.8±0.2	N.D.
Cu	N.D.	N.D.	N.D.	2.9±0.3	N.D.	N.D.	N.D.	44.8±1.1	42.8±1.1	N.D.
分析次数	5	8	5	5	5	7	10	12	15	8

单位%(wt)表示；N.D.表示未测定；检出限：Ag 0.06, As 0.1, Cu 0.05, Fe 0.05, Hg 0.08, Pb 0.08, Sb 0.05, Tl 0.01, Zn 0.05。除此之外探针分析未在这些矿物中发现其它元素。

原生矿石中的 Tl 呈下列形式产出:产于黄铁矿颗粒表面;产于硫化物及硫盐矿物中。在碳质物中探针分析未发现 Tl。

四. 流体包裹体特征

1. 主期及晚期热液阶段的流体包裹体

在主期及晚期热液阶段中,与黄铁矿、金及其相关元素一起沉淀的石英仅含有 I 型包裹体,这种包裹体的特点是既含气相又含液相,气相含量占包裹体体积的 5~30%,该类型包裹体均一化温度为 152~214℃,平均 182℃;其盐度在石英中为 2.7~4.6%,在方解石中为 2~4%NaCl(mol)。

2. 酸滤氧化作用阶段的流体包裹体

对酸滤阶段形成矿物所测定的包裹体温度数据表明,该阶段热液流体已具有更高的温度,而且伴随沸腾作用的发生其盐度也相应增加。其石英(I型包裹体)测温值为 204~295℃。同时具有较高的均一化温度 II 型包裹体大量出现。这 II 型包裹体的特点是气相体积大于液相体积,气相占包裹体总体积的 50~70%。

五. 稳定同位素特征

矿区内蚀变火成岩全岩样品以及石英、方解石和重晶石的脉体和细脉的 δD 值,全为负值,其值变化在 -160~-139‰ 之间。沉积燧石的 $\delta^{18}O$ 值为 24~25‰,在热液与似碧玉岩保持平衡状态下,所计算出的 $\delta^{18}O$ 值为 -0.2~+6.5‰,这说明矿液系天水所成,而且和富碳酸盐容矿围岩间进行过大量的同位素交换。温度为 175~200℃ 的成矿主期热液阶段,所计算出的成矿流体的 $\delta^{18}O$ 值为 3~5.9‰,这反映矿液受到了围岩的阻隔和矿液中的岩/水比值特高。温度为 250~275℃ 阶段,重晶石脉的 $\delta^{18}O$ 值为 5.4~11‰,这可能反映温度的变化,溶液的沸腾,成矿流体的混合,以及流体和围岩间的交代作用。

氧同位素变化与岩性变化有关,第一种为纹层状泥质白云岩,其岩性对成矿和蚀变作用都有利,这种岩石中方解石的 $\delta^{18}O$ 为 21‰,白云石为 23‰。第二种为纹层状砂质泥灰岩,其岩性对成矿不是太有利,其中方解石的 $\delta^{18}O$ 值近于 13~19‰,而白云石为 24‰。在矿化层中,残余方解石的 $\delta^{18}O$ 值为 14~18‰,这表明这些方解石经历过重结晶且与成矿溶液发生过同位素交换。

上述第一种岩石中,方解石和白云石的 $\delta^{18}O$ 值与矿化层情况相似,方解石为 -1~+1‰;白云石为 -0.1~+1‰,这说明成矿溶液中的 CO_2 是由沉积岩中方解石经溶解再沉淀而成。重晶石脉的 $\delta^{34}S$ 值近于 28~32‰;硫化物中的 $\delta^{34}S$ 值为 4~16‰;容矿围岩的成岩黄铁矿为 11.7~14.3‰;原生矿石、石英细脉中热液黄铁矿为 4.2~16.1‰。绝大部分硫化物中的硫属沉积来源硫,且来自矿床之下的下古生代碳酸盐岩地层中的成岩黄铁矿。硫酸盐硫可能来自深部地层中的浸染状沉积重晶石,或者通过两种硫的平衡分配而与硫化物的硫的来源相同。

总之,通过上述资料,可以表明,该矿床是在第三纪时期,由高角度断裂活动、火成岩活动和热液活动相互配合形成的,属低温热液矿床。火成岩活动为成矿提供热源,而热液中的水可能全部来自大气水,绝大多数成矿物质可能来自矿床之下的深部沉积岩。当温度

和压力下降时,含矿热液沿着主要高角度正断层向上运移,并向有利成矿的破碎薄层碳酸盐岩中渗透。

第三节 中国主要的卡林型金矿床主要地质特征

自 70 年代中期至今,我国卡林型金矿床的普查与勘探工作取得了很大的进展,同时相继在黔、桂、滇、川、陕、甘、湘、鄂等省发现和探明了紫木幽、板其、戈塘、丫他、滥泥沟、金牙、高龙、东北寨、桥桥上、拉日玛、李坝、金山、李家沟、八卦庙等 20 余个大中型金矿床和数十个金矿点,形成了滇黔桂、川陕甘两个金三角区。目前,卡林型金矿床已成为我国一个十分重要的金矿新类型,两个金三角区也是我国今后找金的主要战略区。我国金矿储量的突破可能还要取决于卡林型金矿床的开发与利用,以及进一步的寻找与发现。现将我国主要的卡林型金矿床地质特征列表 1.3 所示,并将它们的主要特点简述如下:

表 1.3 中国主要卡林型金矿床地质特征简表^{①,②}

矿床名称	含矿地层时代	含矿岩性	主要金属矿物	主要脉石矿物	蚀变特征	元素组合	规模
拉日玛	S ₁	硅质板岩、粉砂质板岩	黄铁矿、辉锑矿、辰砂、自然金	石英、绢云母	硅化、绢云母化、重晶石化、黄铁矿化、辉锑矿化	Au-Sb-Hg-Ba-As-Se-Zn-Ge-Cu	大
坪定	D ₂	含碳泥砂质板岩、硅质岩、角砾岩	黄铁矿、辉锑矿、辰砂、自然金、砷酸盐、雄黄、雌黄	石英、绢云母、粘土矿物、方解石	硅化、绢云母化、臭葱石化、粘土化、雄黄化、雌黄化	Au-As-Sb-Hg	中-大
李坝	D ₂	泥质粉砂质板岩、粉砂质泥质板岩	黄铁矿、辉锑矿、毒砂、自然金	石英、绢云母、黑云母、绿泥石、方解石	硅化、绢云母化、黄铁矿化	Au-As-Sb	大
八卦庙	D ₂	泥质粉砂质千枚状板岩、砂质泥质千枚状板岩、铁白云质泥砂质板岩	磁黄铁矿、黄铁矿、金红石、自然金	石英、绢云母、铁白云石、绿泥石	硅化、绢云母化、铁白云化、绿泥石化	Au-As	大
东北寨	T ₁	含碳泥质粉砂质板岩	黄铁矿、雄黄、雌黄、自然金	石英、绢云母、碳质、粘土、碳酸盐	碳酸盐化、硅化、雄黄化、雌黄化、黄铁矿化	Au-As-Hg-Sb-Tl-Cr-Cu-Ti-Ca	特大

续表 1.3

戈塘	P ₂	硅化角砾状粘土岩、硅化粘土质砂质角砾岩	辉锑矿、白铁矿、辰砂、自然金、毒砂、褐铁矿、黄钾铁矾、神华、锑华	石英、绢云母、萤石、高岭石、石膏	硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、黄钾铁矾化、萤石化、辉锑矿化、高岭石化	Au-As-Sb-Hg-Mo	大
紫木冲	P ₂	粘土岩、粉砂质粘土岩、泥质粉砂岩、粘土质砂岩、碳质页岩	黄铁矿、白铁矿、毒砂、褐铁矿、雄黄	石英、绢云母、水云母、碳酸盐	黄铁矿化、硅化、褐铁矿化、碳酸盐化、雄黄化	Au-As-Hg	大
滥泥沟	T ₂	粉砂岩、粘土质细砂岩、砂质粘土质角砾岩	黄铁矿、辉锑矿、辰砂、自然金、神黄铁矿、磁黄铁矿、雄黄	石英、绢云母、水云母、碳酸盐	硅化、碳酸盐化、绢云母化、毒砂化、黄铁矿化、雄黄化	Au-As-Sb-Hg	大
丫他	T ₂	粘土岩、碳质粉砂岩、细砂岩	黄铁矿、辉锑矿、自然金、自然砷、毒砂、雄黄、神黄铁矿	石英、白云石、水云母、碳酸盐	硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、毒砂化、白铁矿化、雄黄化	Au-As-Sb-Ag-Hg	中
板其	T ₂	含碳角砾状粘土岩、岩屑杂砂岩、粘土质砂岩、粘土岩	黄铁矿、白铁矿、毒砂、神黄铁矿、辉锑矿、自然金	石英、绢云母、水云母、碳酸盐、高岭石、重晶石	硅化、高岭石化、碳酸盐化、白铁矿化、黄铁矿化、毒砂化、重晶石化	Au-As-Sb-Hg-Cr	中
高龙	T ₂	粉砂岩、泥质粉砂岩	辉锑矿、黄铁矿、自然金、毒砂	石英、绢云母、白云母、长石	硅化、辉锑矿化、黄铁矿化	Au-As-Sb-Hg-Cr-Mo-Ti-Sr-Cu	中
金牙	T ₂	压碎白云质泥岩、粉砂岩、压碎砂岩	黄铁矿、毒砂、闪锌矿、雄黄、辉锑矿、自然金、铂金矿、含铂汞金矿、汞金矿	石英、白云石、水云母、方解石、叶腊石、绿泥石	硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、雄黄化、方解石化	Au-As-Sb-Hg-Pt-Cu-Rb-Sr-Zn	中一大
逻楼	T ₃	压碎泥质粉砂岩、细砂岩	黄铁矿、毒砂、自然金	石英、绢云母、粘土矿物	硅化、褐铁矿化	Au-As	小
双王	D ₂	钠长角砾岩	黄铁矿、自然金	石英、钠长石、铁白云石	硅化、钠长石化、铁白云石化、黄铁矿化、重晶石化	Au-Hg-As-Ba-Se	特大

续表 1.3

二台子	D ₂	钠长角砾岩	黄铁矿、黄铜矿、铜蓝、蓝铜矿、孔雀石、自然金	石英、钠长石、碳酸盐、重晶石	硅化、钠长石化、铁碳酸盐化、黄铁矿化、重晶石化	Au-Cu-As-Ba-Tl	小
庞家河	D ₃	石英晶屑凝灰岩、凝灰质粉砂岩	黄铁矿、自然金	石英、绢云母、绿泥石、碳酸盐	绢云母化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化	Au	中-大
水磨坪	D ₃	含碳泥质粉砂质板岩、花岗闪长(斑)岩	黄铁矿、雄黄、雌黄、自然金	石英、绢云母、碳酸盐、碳质	绢云母化、硅化、碳酸盐化	Au-As	中-大
七里峡	C ₁	含碳泥质页岩、泥砂质板岩	黄铁矿、辉锑矿、自然金	石英、绢云母、碳酸盐、碳质	碳酸盐化、黄铁矿化、辉锑矿化	Au-Sb	中-大

①据刘东升等,1992。

②本书作者对金牙、高龙、拉日玛和东北寨有关部分作了补充。

一. 赋矿地层岩性特征

赋矿地层都是一套海相沉积碳酸盐岩-碎屑岩建造,矿化主岩主要是细碎屑岩及不纯碳酸盐岩,局部为角砾岩(陕西双王、二台子)。碳酸盐岩与碎屑岩接触部位是矿化最有利部位。碎屑岩主要为粉砂岩、泥质粉砂岩、细砂岩,常见浊积岩沉积的鲍玛系列结构。不同成矿区,由于所处区域地质背景的不同,赋矿围岩又有一定差异。例如,滇黔桂地区以粘土岩、粉砂岩和细砂岩为主,次为不纯的碳酸盐岩;川西北地区以砂岩、板岩、千枚岩为主,次为不纯碳酸盐岩;秦岭地区以砂、板岩为主,次为不纯的碳酸盐岩、火山凝灰岩、硅质岩。金矿化多选择由富含粘土质、粉砂质、有机质的细碎屑岩为容矿围岩,可能是由于这类岩石相对于纯碳酸盐岩的孔隙度高,利于成矿溶液渗透,而富含粘土质、有机质利于金的吸附;富含硫化物则有利于金的赋存。

二. 赋矿地层层位的特征

我国卡林型金矿床从震旦系到白垩系均有产出,但其中奥陶系和侏罗系未见报道。例如早震旦世郭家沟组有李家沟;早志留世跌步群有拉日玛;晚泥盆世余田桥组有石峡;晚泥盆世下东沟组有庞家河;中泥盆世半山组有高家坳;早石炭世袁家山组有七里峡;晚二叠世龙潭组底部有戈塘;晚二叠世长兴组及大隆组、早三叠世夜郎组为紫木圪;早三叠世紫云组为板其;中三叠世新苑组为丫他、滥泥沟;中上三叠世新都桥组(次为泥盆系)有东北寨(详见表 1.3)。从表 1.3 可明显看出,其含矿层位主要集中于三叠系和泥盆系中。但在一个成矿区内,金矿又集中在某一、二个特定的层位,如:滇黔桂地区以三叠系为主,次为二叠系、泥盆系;川西北地区以三叠系、泥盆系为主,次为石炭系和志留系。因此,从某一

特定成矿区考虑,金矿对层位具有一定的选择性。

三. 元素组合特征

我国卡林型金矿床具有与美国卡林型金矿床相似的特征元素组合。我国卡林型金矿床一般元素组合为 Au-As-Hg-Sb-Ba-Ag,有时也有 Tl,例如东北寨和二台子含 Tl;而美国卡林型金矿床元素组合为 Au-As-Hg-Ba-Ag-Tl-W。但对我国具体不同卡林型金矿床来说其特征元素组合稍有差异,见表 1.3 所示。我国卡林型金矿床与美国西部卡林型金矿床所不同的就是美国卡林型金矿床 Tl 含量高,我国仅有两个矿床(东北寨和二台子)发现有 Tl,且 Tl 含量低。而美国卡林型金矿床还有大量的含铊矿物出现,如红铊矿、斜硫砷汞铊矿、硫砷铊矿、硫砷铊汞矿、维硫铊矿等。我国仅在紫木垭金矿床里发现极少量的红铊矿。在此值得提出的是我国卡林型金矿床需要加强对含铊矿物的寻找和加强对铊的分析。总的来说,我国卡林型金矿床与美国西部卡林型金矿床特征元素是十分相似的,因此,这对我们在中国寻找超大型卡林型金矿床是有理论依据的。

四. 与 Hg、As、Sb 矿带有密切的关系

卡林型金矿床常分布在 Hg、As、Sb 矿带中或其旁侧,如黔西南地区沿北盘江构成一条西北向重叠在一起的汞矿带和金矿带,贵州苗龙金矿床就产在汞矿带南延,原为锑矿点;贵州板其金矿就产在汞(锑)矿带南端,原为锑矿点,附近还有砷矿点;桂西卡林型金矿床与桂西锑矿带有着密切的空间联系;秦岭地区卡林型金矿床则与该地区的砷、锑、汞矿有关,其西端还与铀矿密切伴生。金矿与汞、锑、砷、铀矿通常是相距不远的伴生关系,仅有个别的产在同一矿体内(如湖南石峡金汞矿床);美国卡林金矿床也有类似的情况,它产于与一个汞矿带和一个重晶石矿带平行或重叠的金矿带上。

五. 矿石建造及矿石矿物成分特征

根据标型矿物的特征,我国卡林型金矿床的矿石建造有五种类型:①金-毒砂建造:以矿石中富砷为特征,矿床中大量出现毒砂和砷黄铁矿,以广西的金牙和高龙、贵州的板其和丫他,甘肃的李坝和金山等金矿床为代表;②金-雄(雌)黄建造:以矿石中富砷为特征,雄黄和雌黄为标型矿物,以四川东北寨和桥桥上、甘肃的坪定等金矿床为代表;③金-辉锑矿建造:以矿石中出现大量的辉锑矿为特征,如四川的丘洛和拉日玛、湖北的牛山等金矿床为代表;④金-辰砂建造:以矿石中富含辰砂为特征,如湖南衡东石峡、贵州丹寨四相厂等金矿床;⑤金-铜硫化物建造:以金和黄铜矿或黝铜矿紧密共生为特征,以陕西二台子和双王等金矿床为代表。

卡林型金矿床的主要金属矿物为黄铁矿、砷黄铁矿、毒砂、雄黄、雌黄、辉锑矿、辰砂、自然金等。少数矿床里还有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等,有的矿床中有砷黝铜矿、黄铜矿、黝铜矿等。脉石矿物有石英、水云母、方解石、白云石、地开石、重晶石、绢云母、高岭石、萤石、硬石膏、电气石等(详见表 1.3)。