

金平—黑水河裂谷演化及 基性岩浆成矿作用

JINPING—HEISHUIHE LIEGU YANHUA JI JIXING YANJIANG CHENGKUANG ZUOYONG

秦德先 张学书 等著

地质出版社

云南省国际合作项目（编号：2002GH11）“应用 GIS 及遥感技术
对中越交界红河走廊矿产资源潜力和技术经济前景的评价”及 资助
经济地质学家协会 SEG2004 年度学生研究基金

金平—黑水河裂谷演化及 基性岩浆成矿作用

秦德先 张学书 念 红 王 峰 燕永锋 洪 托 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书主要是基于地幔热柱成矿理论中与幔源基性—超基性岩有关的岩浆型铜镍矿床的系统综合研究,建立了金平—黑水河裂谷内岩浆型铜镍硫化物矿床的成矿演化模式,并以此圈定了金平—黑水河裂谷内的找矿靶区,指导找矿实践。

本书可作为生产科研人员及相关院校师生的学习参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

金平—黑水河裂谷演化及基性岩浆成矿作用/秦德先等著. —北京:地质出版社, 2008. 12
ISBN 978-7-116-05904-7

I. 金… II. 秦… III. ①大陆裂谷—研究—西南地区
②铜矿床: 硫化物矿床—成矿作用—研究—西南地区
③镍矿床: 硫化物矿床—成矿作用—研究—西南地区
IV. P542 P618. 201

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 185935 号

责任编辑: 李 军 孙亚芸

责任校对: 郑淑艳

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508(邮购部); (010)82324569(编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张: 16.25

字 数: 395 千字 彩版: 24

印 数: 1—700 册

版 次: 2008 年 12 月北京第 1 版·第 1 次印刷

审 图 号: GS(2008)2083 号

定 价: 52.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-05904-7

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序

《金平 - 黑水河裂谷演化及基性岩浆成矿作用》一书，是昆明理工大学矿产地质研究所主持的中越国际合作项目的部分研究成果，作者以地幔热柱等新的成矿理论为指导，通过大量的野外调研、室内测试及综合研究编撰而成。

该书首次提出金平 - 黑水河裂谷的观点，并系统论述了裂谷的地质构造 - 岩浆及成矿作用发展演化特点，为扬子克拉通西缘的研究提供了一个新的工作思路；并且以地幔热柱理论为指导，对金平 - 黑水河裂谷内二叠纪/三叠纪玄武岩、基性 - 超基性侵入岩的地质、地球化学特征与峨眉山大火成岩省 (ELIP) 其他岩区的基性 - 超基性岩浆岩进行了成因对比分析，得出了金平 - 黑水河裂谷玄武岩及基性 - 超基性岩为地幔热柱成因，属于 ELIP 扬子克拉通西缘基性岩浆作用的一部分的结论；同时根据地幔热柱成矿理论，总结论述了金平 - 黑水河裂谷内与地幔热柱作用及基性岩浆作用有关的成矿系列，与世界主要铜镍矿床进行了对比分析，建立了金平 - 黑水河裂谷内岩浆型铜镍硫化物矿床的成矿演化模式，以此圈定金平 - 黑水河裂谷内金平地区的铜镍硫化物矿床的找矿靶区，指导找矿实践。

该书研究范围及成果具有很强的探索性及前瞻性，提出了新的理论观点及研究思路，获得了丰硕的研究成果，其成果及结论至少对金平 - 黑水河地区今后的研究起到了借鉴的作用，所引用的资料和研究成果具有新颖性，值得地质同行阅读。

中国工程院院士



2008 - 11 - 18

前 言

本书应用地幔热柱等现代成矿理论与方法，野外与室内、地表与坑下、宏观与微观结合进行了大量研究工作，主要完成了金平地区晚二叠世玄武岩剖面的实测研究，对玄武岩、白马寨铜镍矿床及相邻地区类似的岩浆型铜镍硫化物矿床的含矿岩体进行了系统的岩石学、岩石化学、地球化学、地球物理等方面的综合研究及区域地质对比研究；对主要铜镍矿床的地质特征，矿石矿物学和矿床地球化学特征，微量、稀土元素、铂族元素和同位素地球化学等进行了系统的研究，获得了如下的主要成果：

1) 首次提出金平—黑水河裂谷的概念，结束了长期以来中、越交界地区地质研究相互割裂的局面，将金平地区与越南相邻地区具有相似地质演化特征的黑水河地区联成一个整体，并将其作为扬子克拉通西缘的一部分对其地质及构造演化发展特征进行了系统的论述，并且以成矿系列为主线对裂谷内的成矿作用进行了全面系统的论述，划分了成矿系列与矿床类型，对重要代表性矿床进行了综合性论述。

2) 首次以地幔热柱理论为指导对金平—黑水河裂谷内 P/T 玄武岩、基性—超基性侵入岩的地质特征、稀土元素和微量元素地球化学特征、同位素 (Pb, Rb, Sr, Sm, Nd) 地球化学、铂族 (PGE) 元素地球化学等方面进行了全面的论述，并将其与峨眉山大火成岩省 (ELIP) 其他岩区的基性—超基性岩浆岩进行了成因对比分析，得出了金平—黑水河裂谷玄武岩及基性—超基性岩为地幔热柱成因、属于 ELIP 扬子克拉通西缘基性岩浆作用的一部分的结论，同时根据地幔热柱成矿理论总结了与地幔热柱作用及基性岩浆作用有关的矿床成矿系统和成矿系列。

3) 首次对金平—黑水河裂谷内与基性岩浆作用有关的成矿系列及其重要代表性矿床的地质特征进行了详细的论述，选取越南黑水河版福铜镍矿及中国金平白马寨铜镍矿两个典型矿床实例为代表对裂谷内岩浆型铜镍硫化物矿

床的地质特征、同位素 (Pb, Ar) 地质特征、矿床地球化学、地球物理特征等方面进行了全面的论述, 同时对白马寨铜镍矿的成岩成矿时代进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄测定, 并以此为依据结合岩矿鉴定成果和矿床地球化学特征对白马寨铜镍矿床的成矿后期改造成矿特征进行了综合论述。

4) 系统论证了金平 - 黑水河裂谷内与基性 - 超基性侵入岩有关的岩浆熔离型铜镍矿床的地质特征、岩浆分异成矿演化特征以及晚二叠世玄武岩的岩石化学特征、稀土元素特征和两者的微量元素特征、同位素特征, 并论证了两者之间的成因联系, 同时将其与本地区及中国和世界类似矿床进行了地质特征、地球化学特征等方面的分析对比, 并以地幔热柱成矿理论为基础总结了金平 - 黑水河裂谷内岩浆型铜镍硫化物矿床的成岩成矿综合演化模式。

5) 利用多元成矿信息理论对金平 - 黑水河裂谷成矿带岩浆型铜镍硫化物矿床的区域成矿地质背景、区域成矿地球化学、地球物理及遥感地质特征进行了全面的论述, 总结出了区内岩浆型铜镍硫化物矿床勘查找矿的地球物理、地球化学及地质勘查模型, 并以多元地学信息为基础对该区寻找与基性 - 超基性侵入岩有关的铜镍硫化物型矿床进行了靶区定位预测。

总之, 本书主要是基于全新的地幔热柱成矿理论的、与幔源基性 - 超基性岩有关的岩浆型铜镍矿床的系统综合研究, 建立了金平 - 黑水河裂谷内岩浆型铜镍硫化物矿床的成矿演化模式, 并以此圈定金平 - 黑水河裂谷内的找矿靶区、指导找矿实践。但是, 由于有关峨眉地幔热柱及其成矿作用的具体矿床的研究还较少, 而且由于地幔热柱成矿作用的研究是一项开拓性的综合性研究工作, 研究内容多、范围广、难度大, 并且这类研究在金平 - 黑水河裂谷地区尚属首次开展, 具有很强的探索性及前瞻性, 加之作者知识水平有限, 书中难免存在不当之处, 敬请各位专家和同行批评、斧正。本书可用作大专院校学生及生产、科研单位同仁在该区及相似地区进行地质找矿及科研的参考书。

目次

序

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 镍资源概况	(1)
第二节 我国镍矿资源储量	(2)
第三节 我国镍矿供应现状和前景	(4)
第四节 金平-黑水河裂谷研究历史及现状	(4)
第五节 关于本书研究中涉及的有关事项的注释	(6)
第二章 重要成矿理论	(9)
第一节 成矿系列及其研究评述	(9)
第二节 地幔柱成矿理论及其研究现状	(14)
第三节 峨眉山大火成岩省岩浆作用及其成矿效应	(25)
第三章 金平-黑水河裂谷地质演化特征及成矿系列	(38)
第一节 扬子大陆边缘构造演化特征	(38)
第二节 古特提斯特征	(40)
第三节 金平-黑水河裂谷地质演化	(42)
第四节 金平-黑水河裂谷成矿系列	(52)
第四章 金平-黑水河裂谷基性岩浆作用	(74)
第一节 裂谷基性岩浆喷发作用	(74)
第二节 裂谷基性-超基性岩浆侵入作用	(98)
第三节 裂谷基性-超基性岩形成环境讨论	(122)
第五章 金平-黑水河裂谷岩浆型铜镍硫化物矿床及其比较地质特征	(126)
第一节 岩浆型 Cu-Ni-PGE 硫化物矿床成矿系列	(126)
第二节 金平白马寨铜镍 (PGE) 硫化物矿床地质特征	(135)
第三节 越南版福铜镍 (PGE) 矿床地质特征	(163)
第四节 金平-黑水河裂谷铜镍 (PGE) 矿床的比较地质特征	(172)

第五节 金平—黑水河裂谷岩浆型铜镍（PGE）矿床的成因模型	(187)
第六节 结论	(196)
第六章 岩浆型铜镍（PGE）硫化物矿床的成矿预测	(201)
第一节 成矿预测标志	(201)
第二节 金平地区岩浆型铜镍（PGE）硫化物矿床靶区定位	(207)
第三节 靶区验证	(224)
后 记	(226)
参考文献	(227)
英文摘要	(242)
附 图	(251)
图 版	(259)

Contents

Preface

Foreword

Chapter 1 Introduction	(1)
1.1 Brief summary on the nickel resources	(1)
1.2 Nickel resources and reserves in China	(2)
1.3 Current situation and prospect of nickel supply in China	(4)
1.4 Study history and current situation on the Jinping-Song Da rift	(4)
1.5 Remarks on some issues related to the research works on this book	(6)
Chapter 2 Major metallogenetic theories	(9)
2.1 Review on Metallogenetic Series	(9)
2.2 Mantle Plume-related Metallogenesis	(14)
2.3 Magmatism & Mineralization in the ELIP	(25)
Chapter 3 Geological evolution of the Jinping-Song Da rift and Metallogenetic series	(38)
3.1 Tectonic evolution of the west margin of the Yangtze craton	(38)
3.2 Characteristics of the Tethyes	(40)
3.3 Geological evolution of the Jinping-Song Da rift	(42)
3.4 Metallogenetic Series in the Jinping-Song Da rift	(52)
Chapter 4 Mafic magmatism in the Jinping-Song Da rift	(74)
4.1 Mafic magma eruption in the rift	(74)
4.2 Mafic intrusions in the rift	(98)
4.3 Discussion on the origin of the mafic-ultramafic rocks in the Jinping-Song Da rift	(122)
Chapter 5 Magmatic Cu – Ni (PGE) sulfide deposits in the Jinping-Song Da rift and their comparative characteristics	(126)
5.1 Metallogenetic series of the magmatic Cu – Ni – PGE sulfide deposits	(126)

5.2	Geological characteristics of the Baimazhai Cu - Ni (PGE) sulfide deposit	(135)
5.3	Geological characteristics of the Ban Phuc Cu - Ni (PGE) sulfide deposit	(163)
5.4	Comparative characteristics of the Cu - Ni (PGE) sulfide deposit in the Jinping-Song Da rift	(172)
5.5	Genetic model for the magmatic Cu - Ni - PGE sulfide deposits in the Jinping-Song Da rift	(187)
5.6	Conclusions	(196)
Chapter 6 Exploration Targeting for the magmatic Cu - Ni - PGE sulfide deposits in the Jinping area		
6.1	Mineralization indicators for exploration targeting	(201)
6.2	Target-positioning of the magmatic Cu - Ni - PGE sulfide deposits in the Jinping area	(207)
6.3	Testing Results of Exploration targets	(224)
Postscript		(226)
References		(227)
Abstract		(242)
Appendix Figures		(251)
Plates		(259)

第一章 绪 论

镍是银白色金属，密度为 $8.8 \sim 8.9\text{g/cm}^3$ ，摩氏硬度为 5，熔点 1452°C ，沸点 3075°C 。镍金属具有良好的机械强度和延展性，难熔，在空气中不氧化。盐酸、硫酸、有机酸和碱性溶液对镍的侵蚀极慢，只有稀硝酸是镍的强侵蚀剂，强硝酸能使镍表面钝化而具有抗腐蚀性。镍是一种十分重要的有色金属原料，其主要用途是制造不锈钢、高镍合金钢和合金结构钢，被广泛用于飞机、雷达、导弹、坦克、舰艇、宇宙飞船、原子反应堆等各种军工制造业。在民用工业中，镍常被制成结构钢、耐锈钢、耐热钢等大量用于各种机械制造业。镍还可用于陶瓷颜料和防腐镀层。镍钴合金是一种永磁材料，广泛用于电子遥控、原子能工业和超声工艺等领域。在化学工业中，镍常用作氢化催化剂。近年来，在彩色电视机、磁带录音机和其他通讯器材等方面，镍的用量也正在迅速增长。

第一节 镍资源概况

全球镍资源中，红土型约占 55%，硫化物型为 28%，海底铁锰结核中的镍占 17%。其中，海底铁锰结核由于开采技术及对海洋有污染等因素，目前尚未实际开发。

红土型矿床因为高压酸浸技术（PAL）的日趋进步，在澳大利亚正被开采利用，古巴、危地马拉、印度尼西亚、菲律宾的几个红土矿正在考虑采用酸浸法进行开发。硫化镍资源以其品位高、易处理和分布集中等特点，仍是利用最广泛的镍资源类型。

据 2006 年统计，世界镍储量为 $6400 \times 10^4\text{t}$ ，储量基础为 $1.4 \times 10^8\text{t}$ （表 1-1）。

表 1-1 各国镍储量、产量简表

Table 1-1 The nickel reserves and production in the world

国家和地区	产量/ 10^4t		储量/ 10^4t	储量基础/ 10^4t
	2005 年	2006 年		
澳大利亚	18.9	19.1	2400	2700
博茨瓦纳	2.8	2.8	49	92
巴西	5.2	7.42	450	830
加拿大	19.8	23	490	1500
中国	7.7	7.9	110	760
哥伦比亚	8.9	9	83	110
古巴	7.2	7.38	560	2300
多米尼加共和国	4.6	4.6	72	100
希腊	2.32	2.4	49	90

续表

国家和地区	产量/ 10^4t		储量/ 10^4t	储量基础/ 10^4t
	2005 年	2006 年		
印度尼西亚	16	14.5	320	1300
新喀里多尼亚	11.2	11.2	440	1200
菲律宾	2.66	4.2	94	520
俄罗斯	31.5	32	660	920
南非	4.25	4.1	370	1200
委内瑞拉	2	2	56	63
津巴布韦	0.95	0.9	1.5	26
其他	2.5	2.5	210	590
世界	149	155	6400	14000

(资料来源: USGS, 2006)

第二节 我国镍矿资源储量

一、我国镍矿资源储量及利用状况

新中国成立以来,我国发现的镍矿床主要有岩浆铜镍硫化物型矿床和风化淋滤次生富集红土型镍矿两类,与世界镍矿类型相比,缺少科马提岩铜镍硫化物型矿床和超镁铁质侵入体与花岗岩类侵入体接触带的矽卡岩型镍矿床。著名的代表性矿床分别在甘肃金川白家嘴子和云南元江－墨江。先后探明了一批大、中型镍矿产地,如20世纪50年代有云南元江－墨江(大型)和四川会理力马河(中型),60年代有甘肃金川白家嘴子(特大型)、吉林磐石红旗岭(中型)和云南金平白马寨(大型),70年代有陕西略阳煎茶岭(大型)、青海湟中元石山(中型)和吉林通化赤柏松(中型),80年代有新疆阿尔泰喀拉通克(大型),90年代有新疆哈密黄山(大型)。

2002年,我国查明镍资源储量 $814.61 \times 10^4\text{t}$,基础储量 $299.81 \times 10^4\text{t}$ (其中储量 $257.95 \times 10^4\text{t}$),资源量 $514.80 \times 10^4\text{t}$ 。查明资源储量分布在20个省(区)的产地中(表1-2),主要集中在甘肃,约占全国查明资源储量的56%(基础储量约占全国的85.3%);其次分布在新疆、云南、吉林、四川和青海等5省(区),合计查明资源储量占全国的35%(基础储量约占全国的12.3%);余者散布在湖北、陕西、江西、福建、广西、湖南、内蒙古、黑龙江、浙江、河北、海南、贵州和山东等13个省(区),合计查明资源储量占全国的9%(基础储量约占全国的2.4%)。

2002年,全国已开采利用镍矿 $606.87 \times 10^4\text{t}$,约占全国查明资源储量的74.50%;其中基础储量 $276.75 \times 10^4\text{t}$,占全国基础储量的92.31%。主要开采矿区是甘肃白家嘴子Ⅰ和Ⅱ矿区、吉林红旗岭一号和七号岩体、新疆喀拉通克一矿区及哈密黄山矿区和黄山东矿区。

表 1-2 截至 2001 年中国镍矿储量地区分布

Table 1-2 Distribution of nickel reserves by 2001 in China

省或自治区	镍矿储量/ 10^4 t	占总量的比例/%
甘肃	485.3	61.9
新疆	90.9	11.6
云南	69.8	8.9
吉林	34.5	4.4
湖北	26.7	3.4
四川	25.9	3.3
其他	51	6.5
合计	784	100

2002 年, 全国可利用镍矿 96.50×10^4 t (表 1-3), 约占全国查明资源储量的 11.85%; 其中基础储量 23.06×10^4 t, 占全国基础储量的 7.69%。可利用镍矿产地中较重要的是甘肃白家嘴子铜镍矿Ⅲ矿区、新疆哈密黄山铜镍矿区和新疆喀拉通克二矿区。

表 1-3 中国镍金属储量分布及品位

Table 1-3 Nickel reserves distribution and ore grade in China

矿床		镍金属储量/ 10^4 t	矿石平均品位/%
含 Ni > 0.8% 的 硫化镍矿床	甘肃金川镍矿	485.3	1.06
	吉林磐石镍矿	24	1.30
	四川会理镍矿	2.75	1.11
	青海化隆镍矿	1.54	3.99
	云南金平镍矿	6.3	1.17
	小计	519.89	
含 Ni < 0.8% 的 硫化镍矿床	新疆喀拉通克、黄山铜镍矿	127	0.58 ~ 0.88
	陕西煎茶岭镍矿	28.2	0.55
	四川胜利沟镍矿	4.93	0.53
硅酸镍矿	云南元江镍矿	52.6	0.80
总 计		732.62	

(资料来源: 中国有色金属工业协会, 2002)

二、我国镍矿远景资源量

20 世纪 70 年代末到 80 年代固体矿产一轮区划和 1993 年二轮区划中, 新疆、甘肃和吉林等省区对镍矿远景资源量进行了总量预测, 三省区的预测远景资源量为 1789×10^4 t。全国预测远景资源总量在 2000×10^4 t 以上。

新疆主要镍矿远景区在萨吾尔-二台-淖毛湖、哈尔立克和库鲁克塔格。新疆二轮区划提出了 A 类Ⅳ级远景区 3 个: 富蕴县沙尔布拉克-喀拉通克、哈密土墩和特克斯箐布

拉克铜镍成矿带。甘肃主要镍矿远景区在北山和龙首山铜镍成矿带。根据二轮区划,龙首山地区有 A 类 V 级远景区 1 个、B 类 V 级远景区 6 个,远景资源预测表明尚有发现新的大型镍矿产地的可能。但上述两轮找矿规划中,对中国西南包括云南、四川等地镍成矿远景的预测研究涉及较少。近年来的研究表明,在中国西南峨眉山玄武岩分布区域的周边存在类似于俄罗斯诺里尔斯克的与大规模溢流玄武岩有关的硫化铜镍矿床的成矿条件,具有寻找大型硫化铜镍矿床的远景潜力。

第三节 我国镍矿供应现状和前景

新中国成立以来,我国镍矿山经历了从无到有的过程,先后建成、扩建和在建的骨干矿山有四川会理力马河(已基本采完)、甘肃金川白家嘴子、吉林磐石红旗岭、通化赤柏松、云南金平白马寨、新疆阿尔泰喀拉通克、新疆哈密黄山东和黄山镍矿。

1959 年,我国矿山开始生产镍,当年产量仅 100t;而 2004 年达到 7.148×10^4 t。45 年来,我国矿山共生产镍 90.19×10^4 t,产量年均增长率为 15.67%。当前,我国矿山产镍最多的为甘肃金川,产量约占全国产量的 89.8%;吉林红旗岭、通化赤柏松、云南金平白马寨、新疆喀拉通克、新疆黄山东和黄山合计产量约占全国产量的 10.1%。由于没有新发现的大型资源基地,只能靠原有的生产矿山增加生产能力来提高国内的产量。

从中国镍矿的成矿地质条件看,应将吉林红旗岭、中秦岭、新疆东部穹塔格和哈密、阿勒泰及塔里木盆地北缘等地区作为重点勘查地区,特别应抓紧新疆东部地区的镍矿勘查和矿山建设,力争形成新的大型镍矿生产基地。甘肃金川是中国最大的镍生产基地,产量占全国的 80% 以上;但是由于储量过于集中,受开采条件和冶炼技术等条件的制约,产量难以大幅度提高。因此,应积极改善外部条件,加强采矿方法研究,强化金川镍矿的开发利用,以提高金川矿区的产量,满足中国镍的需求。

中国 2001 年镍储产比为 158,而全球镍储产比为 46。如果按全球镍储产比计算,中国镍年产量可达到 17×10^4 t。可见,中国镍产量的提高是有一定潜力空间的。

第四节 金平—黑水河裂谷研究历史及现状

金平—黑水河裂谷位于中国云南金平至越南山萝省黑水河一带,空间上呈北西向沿藤条河—黑水河流域展布(图 1-1)。据目前可查证的文献资料,关于金平—黑水河裂谷的系统研究较少,研究区我国境内在新中国成立前仅对 3 家河砂金矿作过调查,系统地质工作始于 1950 年以后。至 1970 年前,云南省地质局 15 队(金平地质队)先后对金平棉花地、牛栏冲铜镍矿、长安冲—铜厂铜钼矿、白马寨和营盘街铜镍矿进行了勘探或评价,并对有关的含矿超基性岩和周围地区的区域地质特征进行过初步的研究,同时对哀牢山变质岩带及铜厂地区的地层、岩石、构造和矿产分布作了较详细的调查研究;云南省地质矿产局物探队对金平地区的基性—超基性岩体作了初步工作,并完成了 1:20 万航磁测量工作。1962 年,中国科学院地质研究所吴利仁对白马寨至营盘街地区的超基性岩体及其含矿性

进行了较细致的研究工作；云南省地质矿产局区测队进行了 1:100 万凭祥幅 (F-48) 云南部分的区域地质矿产调查，对测区的区域地质和矿产进行了系统、全面的调查研究；云南省地质矿产局第二区测队普查分队对哀牢山变质带中的铜铁矿进行了系统的调查。1972 年和 1975 年，云南省地质矿产局第二区测队先后完成了金平、河口幅、元阳和大鹿马幅 1:20 万区域地质调查报告。上述基础性地质调查及矿床勘查工作，积累了十分丰富的地质矿产基础资料，初步建立了测区的地层层序，初步查明了区内岩石、矿产分布及地质构造的大体轮廓，并对一些重要矿产地进行了详细勘查，提交了相应的勘探报告（如铜厂—长安冲铜钼矿、白马寨铜镍矿、牛栏冲铜镍矿和马鞍底—棉花地钨钛磁铁矿等矿床）。

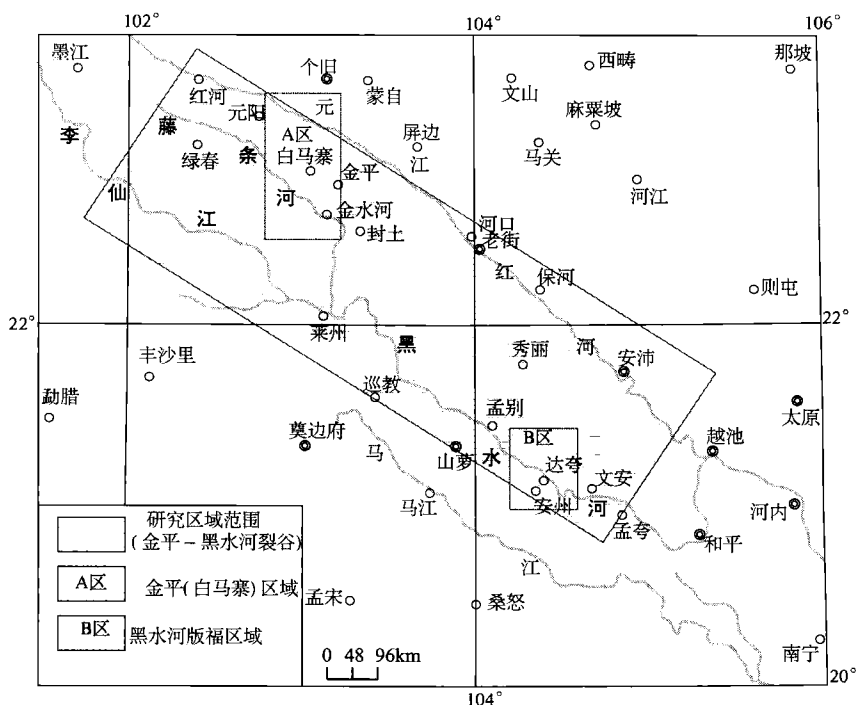


图 1-1 研究区区域图及黑水河裂谷位置

Fig. 1-1 Sketch map showing the location of the study area and Song Da rift

(据文献 [1] 编制)

20 世纪 80~90 年代，云南省地矿局及有色地质局先后对金平地区进行 1:20 万及 1:10 万分散流扫面工作，局部加密进行过 1:5 万次生晕详查工作，并对金平铜厂—长安冲一带的金矿（次生富集红土型及细碎屑岩型金矿）、水源镍矿、龙脖河铜矿及哀牢山成矿带铜铁矿进行过勘查工作；此外，武警黄金 10 支队对大坪金矿进行过详细勘查。20 世纪 90 年代后期至今，云南省地矿局及有色地质局以及其他勘查单位均加强了对金平地区铜镍、金的勘查工作，新发现了铜厂茶叶坪—银厂坪子红土型金矿及长安冲细碎屑岩型金矿。同时，由澳大利亚西部矿业公司 (WMC) 与云南省地矿局和云南省有色地质局合作在金平地区进行了大规模的铜镍勘查找矿工作，对金平三家厂—营盘街—新安里一带实施了超低空航空电磁测量。

区内地质研究工作较早的有 20 世纪 60 年代中科院吴利仁对白马寨—营盘街一带超基性岩的含矿性及矿化特征作的初步的研究^[2]。此后,云南省有色地质局在对滇东南地区进行区带找矿的研究中,对金平地区的地质演化和矿产特征有过总结性的研究评述。此后,诸多学者对本区进行过不同程度的研究,或在其他区域性研究项目中对本区有所涉及,主要有中科院贵阳地化所、广州地化所朱炳泉等、中国地质大学肖龙等、香港大学 Zhou Meifu 等、西澳大利亚地质调查所的 Pirajno Franco 博士、刘肇昌、李兴振、任治机等,他们从不同角度不同程度地进行了分析研究。

关于金平地区的大地构造归属,各学者均有不同看法,多数认为该区沉积建造、构造岩浆活动特征等可与丽江台缘对比,应为扬子板块的边缘增生带,但各学者给金平地区的定名均不太一致。刘肇昌等称之为金平陆架地体,属金沙江—藤条江海西—早印支板块结合带的一部分,将之归并于藤条河板块结合带中^[3];任治机等将金平地区与哀牢山带合并称为哀牢山变质地体^[4]。

通过对金平地区、越南黑水河地区及大理—丽江地区的沉积建造及生物特征、岩浆活动特征和古地理的分析对比研究,作者认为该地区为一个统一的奥陶纪—早三叠世扬子板块边缘裂陷海槽——本书称之为扬子克拉通大陆边缘裂谷,分为大理—丽江段和金平—黑水河段两部分,两部分之间为局部深海槽分隔,或者由于后期构造活动导致两部分之间地层缺失而无法连接。本书的研究重点为金平—黑水河裂谷及其内的海西期基性岩浆作用,以及岩浆型铜镍硫化物矿床与基性—超基性岩浆作用之间的成因联系。

第五节 关于本书研究中涉及的有关事项的注释

本书选题以金平—黑水河裂谷为背景,但越南境内有关的资料不系统,工作程度相对于中国境内要低很多,而且越南较少向外界公布其地质工作成果资料,两次赴越南对版福及辛铜矿进行考察时,因版福铜镍矿为一新西兰公司(AMR)所有,该公司不允许外界人员进入其矿产地并不准采样,因此所取得的实际资料有限,因而在本书的研究及论述中仍以金平—黑水河裂谷带的金平段为主,对越南境内的论述仅以收集到的资料及少量样品的测试分析结果为限进行推断分析。

本书中除特别注明出处的文献来源外,均为作者本人及本研究课题的工作成果。除引用数据外,本书研究所用样品均为作者亲自采自野外现场,样品的一般加工、光薄片磨制等均在昆明理工大学进行,外送测试样品中岩石化学成分、微量元素、稀土元素及 Pb, Rb, Sr, Sm, Nd 及硫同位素由中国地质调查局宜昌地质矿产研究所进行;铂族元素的测试分析由中国地质科学院国家地质实验测试中心进行,Ar 同位素年龄测定由桂林矿产地质研究院及中国科学院广州地球化学研究所联合进行。

本书研究过程中所使用的主要测试分析方法的操作过程如下:

1) 铅同位素测定方法:称取 50~100mg 的岩矿样品于聚四氟乙烯烧杯中,加入 HF 和 HNO₃ 混合酸分解样品,蒸干,加入 6mol/L 的 HCl 混合酸介质溶液,将已转化成混合酸介质的样液,通过 AG-1×8 (200-400 目) 阳离子交换柱,用 5~8mL, 0.1mol/L 的 HBr 淋洗杂质,再用 5mL, 0.5mol/L 的 HCl 将树脂转型,最后用 5mL, 6mol/L 的 HCl 解

吸 Pb。Pb 同位素比值的测定在 MAT-261 可调多接收质谱计上完成。监控 Pb 同位素比值测定用的 NBS 国际标准物质的测定值²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 为 0.9142 ± 5 ，NBS981 证书值：²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 为 0.9146 ± 3 。同位素分析样品的制备均在净化工作柜内完成，所用试剂和水均经聚四氟乙烯或高纯石英亚沸蒸馏器蒸馏，与样品同时测定的全流程 Pb 空白本底为 5×10^{-10} g。

2) 钐-钕同位素分析流程：称取两份已碎至 200 目的全岩样品，一份用于测定 Sm 和 Nd 浓度，一份用于测定¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 值。在氟塑料密封溶样器中用 HF-HClO₄ 将样品分解，分解前在测定浓度的那份样品中加入 (¹⁴⁵Nd + ¹⁴⁹Nd) 混合稀释剂，元素分离采用 $\phi 6 \times 100$ mm 的 Dowex50 $\times 8$ 的阳离子树脂交换柱，HCl 作淋洗液，收集含 Sm 和 Nd 的一次解析液。采用 HDEHP 交换柱进一步分离（不加稀释剂测定钕比值的那份一次解析液）Nd，收集含 Nd 部分的解析液。将两份解析液进行质谱测定。Sm 和 Nd 化学分离流程均在超净化实验室中进行，Nd 的全流程本底为 2×10^{-10} g，质谱分析在装有可调多接收器的德国产 Finnigan/MAT261 多接收质谱计上完成，计算机自动处理数据。采用国际标准样 NBS987 和本实验室标准 ZkbzNd 控制仪器工作状态，国家一级标准物质 GBW04419 (Sm-Nd) 监控分析流程。GBW04419 全岩 Sm (10^{-6}) 为 3.03 ± 0.04 ，Nd (10^{-6}) 为 10.10 ± 0.12 ，¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 为 0.512725 ± 0.000007 。

3) Ar-Ar 法同位素年龄测试在英制 MM-1200 型惰性气体同位素质谱仪上进行，⁴⁰Ar 的本底值为 10^{-14} moles，³⁶Ar，³⁷Ar，³⁸Ar 和 ³⁹Ar 的本底值为 10^{-16} moles，样品经过快中子照射后，经放射性冷却后的样品装入全不锈钢超高真空提取、纯化系统，真空度为 1.33×10^{-6} Pa；由电子轰击炉进行各阶段的加热和温度的控制。各阶段析出的气体经海绵钛、蒸发纯化后，再转入质谱仪，进行各 Ar (³⁶Ar，³⁷Ar，³⁸Ar，³⁹Ar，⁴⁰Ar) 同位素峰值的静态分析。采用的参数：快中子照射总通量为 1.3×10^{18} n/cm²， $J = 0.0109655$ ，实验采用的标准样品是北京房山黑云母花岗岩。

4) 铷-锶同位素测定方法：准确称取 50 ~ 100 g 样品于聚四氟乙烯封闭溶样器中，加入适量的 (⁸⁵Rb + ⁸⁴Sr) 混合稀释剂和氢氟酸及高氯酸混合酸分解样品，Rb 与 Sr 和其他杂质的分离采用 AG50 $\times 8$ 阳离子交换技术，Rb 和 Sr 含量采用同位素稀释质谱法测定，⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位素比值由质谱计直接测定，同位素分析在 MAT-261 可调多接收质谱计上完成。在整个同位素分析过程中，用 NBS987 和 NBS607 标准物对分析流程和仪器进行了监控。NBS987 的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位素组成测定值为 0.710233 ± 54 (2σ)，相对于证书值 0.71034 ± 26 (2σ) 的相对偏差小于 0.015%；NBS 长石标准物质与样品平行测定多次的平均值分别为：Rb， 524.30×10^{-6} ；Sr， 65.46×10^{-6} ；⁸⁷Sr/⁸⁶Sr， 1.200048 ± 52 (2σ)，Rb 和 Sr 含量及同位素比值与证书值在测定误差范围内完全一致。同位素分析样品制备的全过程均在净化实验室内完成，与样品同时测定的全流程 Rb 和 Sr 空白本底为 5×10^{-10} 和 2×10^{-10} g。

5) 硫同位素测定方法：硫化物单矿物样与氧化亚铜在真空状态下加热进行氧化（全岩样品或其他非硫化物单矿物经强酸溶解并析出硫后再进行氧化处理），生成二氧化硫，用气体同位素质谱计分析硫同位素组成。质谱仪为德国产 MAT-251。本方法测定硫同位素组成，其 $\delta^{34}\text{S}$ 测定值的精度好，为 $\pm 2\text{‰}$ ，重复样品分析的相对双差小于 $\pm 0.5\text{‰}$ ，其精确度由标准物质的分析结果间接给出，一般情况下为 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

6) 铂族元素的测定方法：采用铈试金富集与等离子质谱测定铂族元素含量。分析步骤如下：将试样与碳酸钠、硼酸钠、硼砂、玻璃粉、硫黄及面粉混合，倒入坩埚中，加入