

ZHONGGUO NANFANG XIAHANWUTONG
HEISE YANXI BOZU YUANSU DIQIU
HUAXUE JI FUJI GUILU

中国南方下寒武统黑色岩系 铂族元素地球化学及富集规律

易发成 杨 剑



四川出版集团·四川科学技术出版社

CHINESE JOURNAL OF GEOCHEMISTRY
Volume 24, Number 1, February 2001
ISSN 0254-0003 (Print) ISSN 1000-0424 (Online)

中国南方下寒武统黑色岩系 钨钼元素地球化学及富集规律

廖卫成 潘 凯



中国地质大学(北京)地质研究所 北京 100083

ZHONGGUO NANFANG XIAHANWUTONG
HEISE YANXI BOZU YUANSU DIQIU
HUAXUE JI FUJI GUILU

中国南方下寒武统黑色岩系 铂族元素地球化学及富集规律

易发成 杨 剑

四川出版集团·四川科学技术出版社
2009 年·成都

图书在版编目(CIP)数据

中国南方下寒武统黑色岩系铂族元素地球化学及富集规律/
易发成, 杨剑著. - 成都: 四川科学技术出版社, 2008.12

ISBN 978-7-5364-6726-2

I. 中… II. ①易…②杨… III. ①铂族元素矿床-地球化学
-研究-中国②铂族元素矿床-富集-规律-研究-中国 IV.
P618.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 210457 号

中国南方下寒武统黑色岩系铂族元素 地球化学及富集规律

编 写	易发成 杨 剑
责任编辑	周绍传
装帧设计	力 科
责任出版	邓一羽
出版发行	四川出版集团·四川科学技术出版社 成都市三洞桥路 12 号 邮政编码 610031
成品尺寸	170mm × 230mm
	印张 8.125 字数 100 千
印 刷	绵阳西南科大三江印务有限公司
版 次	2009 年 8 月成都第一版
印 次	2009 年 8 月成都第一次印刷
定 价	18.00 元

ISBN 978-7-5364-6726-2

■ 版权所有·翻印必究 ■

■ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

■ 如需购本书, 请与本社邮购组联系。

地址/成都市三洞桥路 12 号 电话/(028)87734035

邮政编码/610031 网址: www.scjks.com

内容简介

本书是研究中国南方下寒武统黑色岩系地球化学及铂族元素富集规律的一本专著,也是较为系统、全面的黑色岩系成岩成矿条件的研究总结。全书共分五章。第一章简述了中国南方下寒武统黑色岩系发育区的地质概况;第二章对黑色岩系的矿物岩石学特征进行了研究;第三章着重讨论了黑色岩系的有机地球化学特征及有机质的富矿机理;第四章重点研究了黑色岩系元素地球化学特征及铂族元素、稀土元素和其他微量元素的来源示踪;第五章系统探讨了黑色岩系多金属元素的富集模式。

本书可供生产、科研单位从事地质和矿产工作的人员及大中专院校有关专业的师生参考。

前 言

黑色岩系是一套富含有机质为特征的海相细粒沉积岩的总称,岩石类型主要是硅质岩、磷块岩、碳质页岩、粉砂岩、石煤、重晶石岩和碳酸盐岩等,其中产出大储量的重晶石、石煤、磷和多金属矿床。我国南方下寒武统黑色岩系广泛分布,涉及南方十多个省(自治区)。黑色岩系不仅是重要的低热值燃料资源,也是多种有用元素(包括铂族元素)的重要聚集岩系,极具经济价值,一直为国内外学者所关注(Fan et al., 1973, 1983, 1984; Chen et al., 1990; Coveney et al., 1991, 1992; Pasava, 1993; Li and Gao, 2000; Mao et al., 2001)。近年来,随着对黑色岩系研究的不断深入,黑色岩系中粘土矿物及其在金属矿化中的作用也逐渐开始引起重视(Kucha, 1982, 1993)。粘土矿物与有机质的相互作用以及多元体系中水-岩作用对金属矿化作用的影响是一个很有挖掘潜力的研究方向。粘土地球化学、有机地球化学、水-岩作用,特别是界面化学作用对贵金属元素地球化学行为的影响也是目前国际地学界较为引人注目的研究课题。把粘土矿物学、有机地球化学、水-岩作用的界面化学理论的系统研究方法引入黑色岩系的研究,探讨有机质参与下的多元体系中界面化学及粘土矿物的形成和转化与有机质的关系及其对铂族元素矿化的作用、黑色

岩系中铂族元素的低温地球化学行为,无疑对揭示黑色岩系中铂族元素的赋存状态、分布规律及铂族元素的低温地球化学特征,具有重要意义,同时也为合理地综合利用黑色岩系奠定理论基础。

20 世纪 50 ~ 60 年代以来,国际地学界对铂族元素的研究一直比较活跃,但对非基性岩中铂族元素,特别是黑色岩系中铂族元素的研究直到 80 年代才开始陆续进行(Orth et al., 1988; Parry, 1989; Lechler et al., 1989; Coveney et al., 1989; Grauch, 1989)。这为黑色岩系及其他沉积岩中铂族元素的存在,为铂族元素矿产地质研究开拓了新的局面。我国南方黑色岩系的研究早在 20 世纪 70 年代便有报道(范德廉等, 1973)。20 世纪 80 年代以来,在波兰、加拿大、美国、捷克、德国等国的黑色岩系中均发现了不同程度的铂族元素矿化(Kucha et al., 1982, 1994; Coveney, 1987, 1991; Hulbert et al., 1992; Pasava, 1993; Schiebr et al., 2001),这也促进了我国黑色岩系的研究,并对黑色岩系中多金属矿化(包括铂族元素矿化)已取得了一批有价值的成果(陈南生等, 1982; Fan et al., 1983, 1984; 范德廉等, 1986, 1987, 2004; 张爱云等, 1987; Chen et al., 1990; Coveney et al., 1992; Murrowchick et al., 1994; 龙洪波等, 1994; 李胜荣等, 1994, 1995, 1996, 2000, 2002; 胡凯等, 1995; 高振敏等, 1997; 李任伟等, 1999; 彭军等, 1999; 吴朝东等, 1999, 2001; 雷加锦等, 2000; 温汉捷等, 2000; 陈孝红等, 2000; 毛景文等, 2001; 储雪蕾等, 2001; 张光弟等, 2001, 2002; 于炳松等, 2002, 2003; 肖启云等, 2002, 2006; 鲍正襄等, 2002; 邢树文等, 2002; 罗泰义等, 2003; 陈永清等, 2003; 王敏等, 2004; 佟景贵等, 2004; 单卫国等, 2004; 江永宏等, 2005; 杨瑞东等, 2005; 杨兢红等, 2005; 陈兰等, 2006; 曾庆辉等, 2006; 耿林等, 2007)。

尽管目前对铂族元素矿化黑色岩系的研究已取得了许多重要进展,但尚存在诸多问题:

(1)含铂族元素黑色岩系地质特征。这是元素地球化学研究的基础。目前研究多侧重于不同岩类的结构、构造、矿物组合特征和岩石化学特征的研究,尤其是其中有机质组分特征。这是前人关于黑色岩系研究最集中的一个领域,积累了较多资料,并均表明含碳岩系中有粘土矿物,在有些地区为钒的载体矿物,但对黑色岩系中粘土矿物的结构特征及其性质,粘土矿物与有机质的相互作用以及对铂族元素矿化的影响的研究尚是很薄弱的环节,因而这也是解决铂族元素共生富集条件的一个重要内容。

(2)黑色岩系中铂族元素矿化作用。目前基本的看法是同生沉积成矿,也有学者提出了多次矿化的观点,但对铂族元素矿化的地质地球化学条件,特别是物理化学条件的研究仍需进一步深入地进行。

(3)铂族元素在黑色岩系中的富集规律。研究铂族元素在黑色页岩中的富集规律应解决如下问题:黑色岩系中不同岩类,不同成矿阶段及不同矿物中铂族元素含量变化特征;铂族元素与其他金属、非金属元素及有机质关系;铂族元素在黑色岩系中活化迁移的强度、元素组合特征及分布特征。目前对不同岩类铂族元素含量及元素的相关性、铂族元素的聚集状态已进行了大量工作,但黑色岩系中铂族元素赋存状态是个关键性的问题,也是当今国际性的重大难题。

贵州和湖南两省是我国南方下寒武统黑色岩系发育的典型地区,黑色岩系剖面序列完整,露头良好。本书通过解剖贵州遵义和湖南大庸不同类型矿化的典型黑色岩系,以查明黑色岩系的物质组成、铂族元素富集规律及元素共生组合特点,探讨有机质参与下的多元

体系中粘土矿物与有机质的相互作用及其对铂族元素赋存状态、聚集规律、矿化作用的影响,揭示黑色岩系中铂族元素的分布规律及矿化特点,无疑具有重要意义。

由于黑色岩系及铂族元素研究涉及内容非常广泛,本书只是一些初步认识及成果,还有许多不妥之处,敬请指正。

研究工作是在四川省教育厅重点科研基金的资助下进行的。本书是西南科技大学黑色岩系科研组研究成果的初步总结,易发成、杨剑共同执笔完成,由杨剑统编定稿。全书除前言和结语外,共分五章:第一章中国南方下寒武统黑色岩系发育区地质概况;第二章黑色岩系矿物岩石学特征;第三章黑色岩系有机地球化学特征;第四章黑色岩系元素地球化学特征;第五章黑色岩系铂族元素富集规律。

在研究及书稿撰写过程中,得到西南科技大学科技处、环境与资源学院、非金属矿研究所的大力支持,测试工作得到中国科学院地球化学研究所,四川石油管理局地质勘探开发研究院,西南科技大学分析测试中心的热情帮助,文中参考和引用了前人的大量研究资料,在此一并致以谢忱!

作 者

目 录

第一章 中国南方下寒武统黑色岩系发育区地质概况	1
第一节 沉积分区与沉积盆地性质	2
一、沉积分区	2
二、沉积盆地性质	2
第二节 深大断裂与多旋回岩浆活动	3
一、深大断裂的发育	4
二、多旋回岩浆活动	4
第二章 黑色岩系矿物岩石学特征	5
第一节 黑色岩系的岩性序列	5
第二节 黑色岩系的矿物岩石学特征	7
一、矿物组合	7
二、岩石化学	10
第三节 黑色岩系演化及金属矿化的阶段性	10
一、沉积期	10
二、成岩期	10
三、后生期	10
四、表生期	11
第三章 黑色岩系有机地球化学特征	12
第一节 有机碳与有机硫	13
一、有机碳	14

二、有机硫	15
第二节 氯仿沥青“A”及族组分与饱和烃气相色谱分析	16
一、氯仿沥青“A”及族组分	17
二、岩石氯仿抽提物中饱和烃气相色谱分析	19
第三节 干酪根与碳同位素	22
一、干酪根	22
二、有机元素	25
三、碳同位素	26
第四节 镜质体反射率	29
第五节 有机质在成矿过程中的作用	34
一、有机质在元素迁移过程中的作用	34
二、有机质在元素聚集过程中的作用	35
第四章 黑色岩系元素地球化学特征	36
第一节 金、银、铂族元素	36
一、金、银、铂族元素的测试分析	36
二、黑色岩系成因与金、银、铂族元素示踪	39
三、金、银、铂族元素的迁移富集规律	43
第二节 稀土元素	47
一、稀土元素的测试分析	47
二、黑色岩系成因与稀土元素示踪	49
三、稀土元素的迁移富集规律	54
第三节 其他微量元素	57
一、微量元素的测试分析	58
二、黑色岩系成因与微量元素示踪	60
三、微量元素的迁移富集规律	63
第五章 黑色岩系铂族元素富集规律	66
第一节 黑色岩系地球化学特征综述	66

一、铂族元素地球化学特征	66
二、稀土元素地球化学特征	66
三、其他微量元素地球化学特征	67
第二节 黑色岩系的元素富集规律	67
一、沉积环境	67
二、元素来源	68
三、介质性质	68
四、成矿温度	69
五、矿化年龄	70
六、元素赋存状态	70
七、多金属元素富集规律	71
结语	72
主要参考文献	74
图版	93

第一章 中国南方下寒武统黑色岩系发育区地质概况

我国南方下寒武统黑色岩系分布广泛,涉及云南、贵州、四川、湖南、湖北、广西、广东、江西、浙江、江苏、陕西等省(区)(图 1-1)。由图可见,荷塘期多元素(Ni、Mo、V、Cu、U、Au、Ag、Pt、Pd 等)富集层的黑色岩系呈 NEE 向延伸,主要出露于贵州—浙江一线。本文主要研究贵州(黔)、湖南(湘)境内的与铂族元素等贵金属矿化有关的黑色岩系。

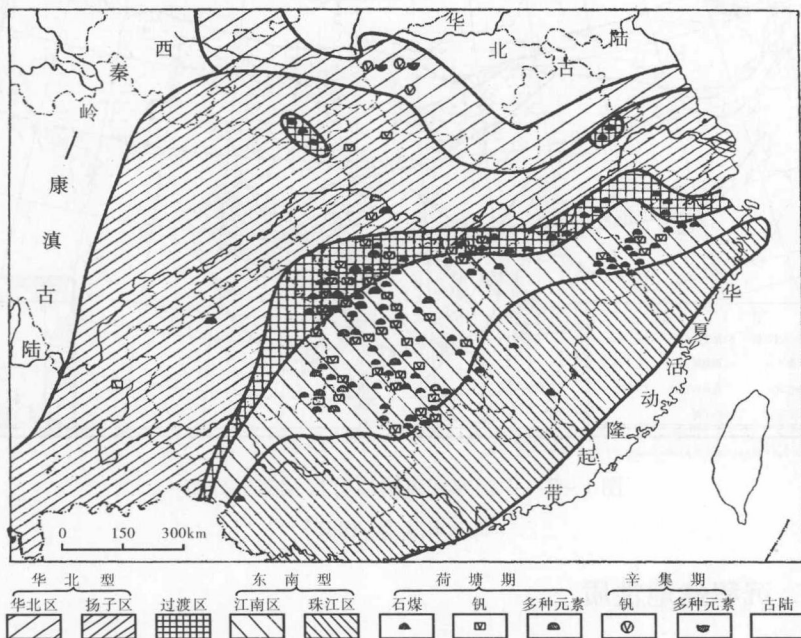


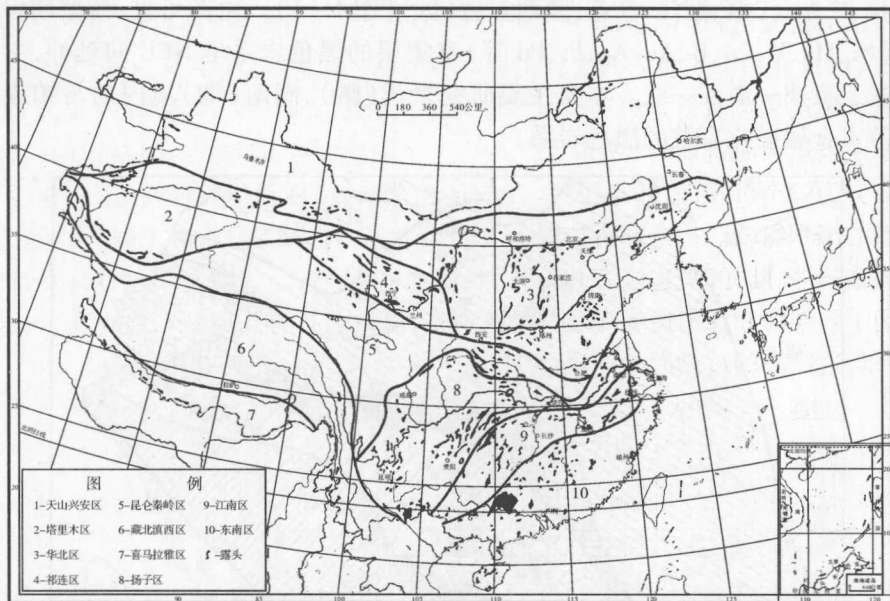
图 1-1 中国南方下寒武统石煤、钒、多种元素矿床分布及生物地理分区

(据卢衍豪,1979)

第一节 沉积分区与沉积盆地性质

一、沉积分区

项礼文等(1981)将我国寒武系分为 10 个一级地层区,即天山兴安区、塔里木区、华北区、祁连区、昆仑秦岭区、藏北滇西区、喜马拉雅区、扬子区、江南区、东南区(图 1-2)。湘黔地区的寒武系属扬子区和江南区及其过渡地区。



本图上中国国界线系按照地图出版社1971年出版的《中华人民共和国地图》绘制

图 1-2 中国寒武系地层分区及露头分布

(据项礼文等,1981)

二、沉积盆地性质

中国南方早寒武世的古地理环境是在南华—震旦纪的基础上发展起来的。在南华纪南沱冰期以后,随着冰川消融,海平面相对上升,扬子海侵扩大,引起

缺氧环境和生物富集,形成了广泛分布于我国南方的震旦纪、下寒武统黑色岩系,其中产出大储量的重晶石、石煤、磷和多金属矿床。黑色岩系岩石类型主要是硅质岩、磷块岩、碳质页岩、粉砂岩、石煤、重晶石岩和碳酸盐岩等。在震旦纪—寒武纪,沿深大断裂发生多期次海底火山喷溢和侵入活动,深部热源物质上涌,与地表水、地下水和海水一道形成热水循环或热水活动(刘宝珺等,1993),这种含矿热卤水是黑色岩系多元素的直接来源。台缘斜坡带藻类、菌类生物繁盛,向海底提供充分的有机物质,并在多元素的迁移聚集过程中发挥着重要作用。黑色页岩形成的水体深度,一种观点认为是浅水成因的(Leckie D A et al.,1990;Jr Coveney R M et al.,1991;O'Brien N R,1990),另一种观点认为是深水的饥饿沉积(Wigmall P B,1994),张爱云等(1987)认为黑色页岩形成于水深200m左右。黑色岩系由拉张裂谷型沉积序列构成,其中Ni—Mo—PGE多金属富集层黑色页岩是海平面上升率向最大值增加阶段的产物,代表我国南方早寒武世最大海进期(吴朝东等,1999)。中国南方寒武系从西北向东南,依次可以分为三个沉积区,即扬子区、江南区和东南区,分别代表稳定、过渡和活动类型的沉积组合。构造环境依次为大陆架、大陆坡、边缘盆地和岛弧,古地理依次为陆表海、陆棚海、边缘海和岛弧海(图1-3)。贵州—湖南黑色岩系发育区属扬子陆架海和江南边缘海及其过渡地带,海体也具有陆架海和边缘海以及陆架海与边缘海的过渡海的性质。

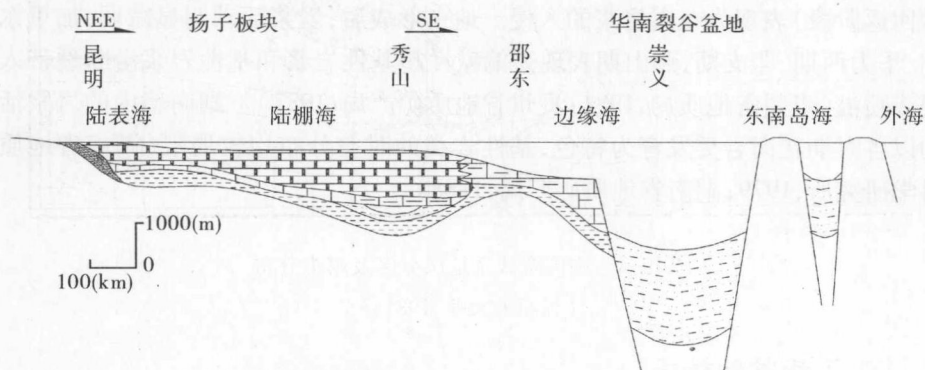


图1-3 扬子板块至华夏地块群寒武纪沉积示意剖面图

(据刘本培等,1996;王鸿祯等,1980)

第二节 深大断裂与多旋回岩浆活动

一、深大断裂的发育

研究区从构造环境上主要处于由稳定区向活动区过渡部位。早在前南华—震旦纪,本区就发育一系列北东向深大断裂(贵州省地质局,1981;贵州省地质矿产局,1987;李胜荣,1994),如松桃—独山断裂即为一规模巨大的超岩石圈深断裂。断裂构造成为含矿物质来源的构造通道,控制了区域地质构造的发展和矿产的分布,并在各种矿产形成方面起着十分积极的作用。

二、多旋回岩浆活动

研究区的多旋回岩浆活动,包括武陵期、雪峰期、加里东期、华力西期、印支期、燕山期等各个阶段的不同性质的岩浆活动。其中,雪峰期和加里东期的岩浆活动对黑色岩系中多元素的富集起着重要作用。贵州境内的岩浆活动形成以喷发岩为主的多种类型的岩浆岩。地史早期岩浆活动强烈,武陵期(元古宙地槽发育阶段)表现为超基性、基性岩浆在海底的多次喷溢,雪峰期(南华纪地槽回返阶段)表现为花岗岩浆的入侵。地台形成后,岩浆活动明显减弱,加里东期、华力西期、印支期、燕山期表现为偏碱性超基性岩浆和基性岩浆沿断裂带入侵或喷溢(贵州省地质局,1981;贵州省地质矿产局,1987)。湖南境内的岩浆活动以各时期花岗岩类发育为特色,基性岩类的时空分布均较局限(湖南省地质科学研究所,1979;湖南省地质矿产局,1988)。

第二章 黑色岩系矿物岩石学特征

第一节 黑色岩系的岩性序列

我国南方下寒武统牛蹄塘组黑色岩系的岩性序列可分为 Ni - Mo - PGE 序列和 V - Cu - U 序列(陈南生,1981;中国科学院地球化学研究所,1981,1982;李胜荣,1994)。V - Cu - U 序列自下而上为:黑色硅(质)岩 → 富 V - Cu - U 黑色碳质粉砂质页岩 → 黑色页岩。由于 V - Cu - U 序列贵金属元素含量不高,本文只对 Ni - Mo - PGE 序列进行了研究。

贵州遵义和湖南大庸下寒武统黑色岩系剖面序列完整,露头良好。根据两地露头剖面观测(图 2-1),黑色岩系的底界(下伏地层)为震旦系顶部灯影组

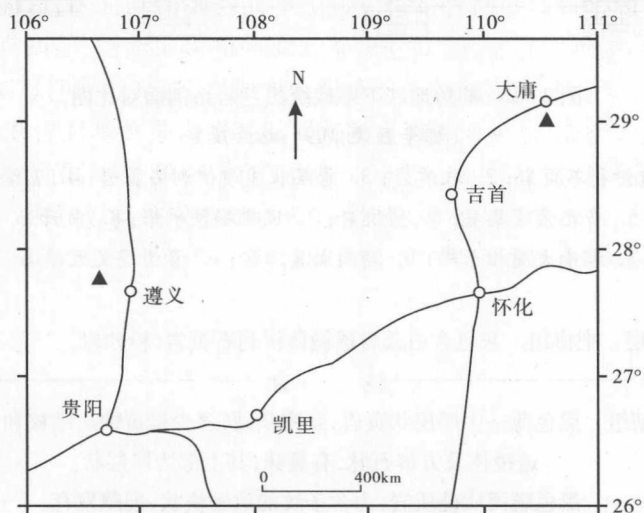


图 2-1 湘黔地区下寒武统黑色岩系剖面位置图

▲ 剖面点