

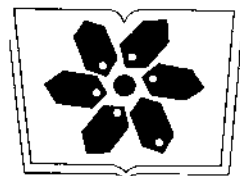


中国的黑色岩系 及其有关矿床

◎ 范德廉 张 焘 叶 杰 等著



科学出版社
www.sciencep.com



中国科学院科学出版基金资助出版

中国的黑色岩系 及其有关矿床

范德廉 张 焘 叶 杰 等著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是黑色岩系与有关矿床的专著,是国家攀登计划、黄金攻关、国家自然科学基金课题和重点课题及中国科学院重点项目等研究的系统总结,是以整体性思维,通过实地调查与室内实验,进行沉积学、地球化学和矿床学的综合研究成果。它界定并划分黑色岩系,确定锰、钡、锡、锑、镍、钼、铀、钒、金、银、铜、铅、锌、分散、稀土等 20 多种元素的富集、成矿与黑色岩系的成因关系,提出缺氧环境成矿的认识。划分成矿作用类型,探讨相关矿床的层控性及成矿系列与序列的形成机制。综合剖析矿床与含矿系发育与时、空分布规律及环境背景,提出矿床预测的准则与指标体系。

本书可供从事地质、矿床、地球化学教学和研究人员阅读,也可供从事找矿、勘探工作的人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

中国的黑色岩系及其有关矿床/范德廉,张焘,叶杰等著. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-014382-5

I. 中… II. ①范… ②张… ③叶… III. ①黑色-岩系-中国 ②黑色金属矿床 中国 IV. ①P587.2 ②P618.306.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 095412 号

责任编辑:谢洪源 刘 萍/责任校对:鲁 素
责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2004 年 12 月第一次印刷 印张: 28 1/4 插页: 8

印数: 1—800 字数: 654 000

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

序

在浩瀚的地质文献与地质名词中,黑色岩系是后起之秀。虽然黑色岩系在许多地区和不少地质时代都有分布,众多矿种及矿床类型产于其中,但由于组成物质颗粒细、成分复杂、有机质发育,在微区、微量、微粒分析大量与普遍应用之前,研究黑色岩系难度较大。另外,一些矿床虽明确无误地赋存于黑色岩系中,但人们在考虑矿床成因或分布规律时却常常忽视了这一空间关系。这样,较长时期以来,固体地球科学对黑色岩系似乎持“敬而远之”的态度。虽不断有研究论文发表,但系统专著却甚少,国内如此,境外也不例外。

以范德廉、张焘教授为首的专家组最近完成了《中国的黑色岩系及其有关矿床》巨著,从而打破了黑色岩系的沉寂局面。立足于中国,首次系统而全面地描述、剖析、比较和讨论在不同时空背景下出现的黑色岩系及以后者为主岩的不同成因类型矿床。需要强调指出的是,对专著涉及的矿床,作者多半都亲临现场,做了多年大量的野外观察、剖面测制等艰苦而细致的工作,这为专著的完成打下了坚实基础。当然,作者也并不疏忽文献资料,从中吸取有益成分。

作者以大量亲身考察的宏观野外工作为基础,进行了多种手段和方法的微观测试。通过微量元素、稀土元素、主造岩元素、稳定同位素等含量及示踪研究,各种元素比值的剖析与应用等,作者也做出了扎实的微观地球化学工作。以充实的宏观与微观的结合,作者论证了黑色岩系型矿床的物质来源与缺氧事件密切相关等理论问题。

专著是我国黑色岩系及有关矿床的系统总结,它的问世也必将激起人们加深黑色岩系钻研的热情。让我们衷心欢迎这本专著的出版和它将引发的讨论与钻研黑色岩系的激情。

涂光炽 ·

2004.6.8

前 言

黑色岩系及其含矿性、超大型矿床成矿作用、环境变化和缺氧事件是当代地学的重要前沿。20 世纪 80 年代中后期,国际上先后兴起“含金属黑色页岩”、“有机质与矿产资源”、“重要环境中的有机质”等国际地质对比计划(IGCP)。国际大地测量学和地球物理学联合会(IUGG)和国际地质科学联合会(IUGS)推出超大型矿床成矿作用的研究项目得到广泛的响应。这些研究,至今方兴未艾。

作者及合作者在涂光炽先生和有关单位与领导的支持和帮助下,从 20 世纪 60 年代就开始黑色岩系中金属矿床的研究。以后作为国家黄金攻关项目和中国科学院的重点项目(桂西北二叠系—三叠系含金性研究,1988~1992)及国家自然科学基金课题(南秦岭下古生代黑色岩系、缺氧事件及成矿作用,4870129,1988~1992),和国家自然科学基金重点课题(生物成矿作用和成矿背景研究,49132050,1992~1996)、国家攀登计划及攀登预选项目的专题(与寻找超大型矿床有关的基础研究:攀登 30-07,1992~1996 及 95-预-25-03-01,1997~2001),系统地进行了黑色岩系及与之有关的各类矿床及超大型矿床的成矿作用、微生物成矿以及环境变化与事件(主要是缺氧环境与事件)及其与成矿关系的研究。本书系统汇总了 50 年研究工作的进展,特别是最新的发现与进展。

作者采用黑色岩系术语并予以定义,是因为在自然界经常遇到的不是单一的黑色页岩,而往往是黑色硅岩、碳酸盐岩和泥质岩的不同比例的岩类组合体系,不同岩类组合反映不同的地质背景和沉积环境,并具有不同的元素组合和含矿性。文献中经常出现的“黑色页岩”仅是黑色岩系中泥质岩的一个小类。黑色岩系反映缺氧的沉积环境,而且缺氧程度有所不同。缺氧环境有不同的层次:全球性、区域性、局部性,前两者多为缺氧事件。黑色岩系是地史上多次重现的特殊沉积体系,其最早出现时代可追溯到新太古代,并有广阔的发育空间。有些黑色岩系可能反映地球系统的重大调整,记录了地球系统的演变及其机制。

过去,黑色页岩的研究主要与油、气等能源、资源有关,因为它既是生油、生气的母岩,又是油、气矿藏。黑色岩系中的金属资源,尽管有的已经被开发利用,但在整体上,过去一般认为它们只具有潜在的经济价值。20 世纪 80 年代以前,黑色岩系及有关矿床的研究甚为薄弱,甚至对那些产于黑色岩系中的金属矿床,一般并不认为其形成与黑色岩系有关。经过我们对百余个国内外典型矿床的调查、研究与对比,确定 25 种元素的成矿与黑色岩系有密切的成因关系,如金、银、锡、锑、锰、铜、铅、锌、铀、钒、镍、钼、硒、碲、铈、镨、磷、重晶石、毒重石等,并常聚集成带,其中不少为超大型矿床。黑色岩系是沉积-成岩矿床的容矿岩和改造、变质成因矿床及一些后生矿床的矿源层,又是改造、变质作用中矿化元素再富集的汇聚体和存储岩。黑色岩系在缺氧环境中形成并具有化学还原性,在沉积-成岩作用阶段中元素的蕴集或淀积和在改造与变质作用阶段中元素的再分配、再富集与重组,均发挥了极其重要的作用。决定了许多矿床的层控性。在地球表层和地壳浅部条件下,

沉积环境变化中许多元素的富集与成矿受控于缺氧环境,甚至包括锰、磷等元素。

本书以中国的黑色岩系和有关矿床的研究为基础,汇总国内外的有关资料,总结对比自元古宙至新生代的黑色岩系与有关矿床的基本特征、形成背景和形成环境的相似性与差异性,力图总结其形成和演化的基本规律,揭示矿质沉淀的基本机制,建立形成模型。

研究确定,与黑色岩系有关矿床的类型和成矿作用是多种多样的,成矿作用具有多种驱动机制,矿床具多样成因模式,其中微生物在矿床形成中起了非常重要的作用。除了硫化铁和许多金属硫化物外,碳酸锰和毒重石-重晶石的微生物成矿作用是重要的例子。

超大型矿床形成的背景与环境问题至今仍是关注的热点。我们总结了地史中成矿作用的演化规律,剖析了成矿的时控性与原因,初步建立了与黑色岩系有关的一些超大型矿床和矿床密集区形成的背景形式,探讨了有关超大型矿床形成的原因与机理,包括黑色岩系的贡献。

地史转折期是地球系统的突变、调整期。通过调整,涌现并起始新的演化阶段,直接影响地球表层系统,包括生态系统,对成矿有重要意义;如早震旦世冰川事件导致的缺氧环境控制了湘潭式锰矿和天台山磷-锰矿床的形成,震旦世-寒武世转折期的大面积缺氧环境控制了许多矿床如磷、重晶石、镍-钴-钒-铂族多元素的形成。

环境变化与缺氧环境不仅直接与资源、能源有关,而且与人类社会的未来生存、安全和持续发展密切相关。据不久前的报道,墨西哥湾三角洲海域发生缺氧环境,造成严重问题。

本书涉及的是非常广泛、极其复杂的问题,我们只对许多重要问题做出一些探索,确定某些规律,提出若干理论认识。我们希望它能引起对这些重要问题更多、更广泛的关注并能促进深入的研究,深化我们的认识。

本书的撰写由范德廉主持,具体分工如下:前言由范德廉、张焘执笔。范德廉撰写第一章到第三章及第五章到第九章;其中第二章第一节,第六章第五节,第九章第四节、第五节及第六节分别由范德廉与叶杰、侯奎、刘铁兵、J. Hein 及饶雪峰共同撰写。另外,刘铁兵执笔第三章第一节和第九章第三节,刘文均执笔第八章第十节和第十二节。张焘撰写第四章,第十章,第十一章,范德廉和张焘撰写第十二章。叶杰负责全书有关资料的准备、表格打印、数据作图和文献编辑等。此外,杨培基、戴永定在锰矿和成岩作用方面也给予了帮助。矿床室主任刘建明研究员在人力、物力方面给予大力支持。

第一作者最早调查的与黑色岩系有关的矿床是湖南湘潭锰矿床,这是 1953 年在侯德封、叶连俊先生指导与带领下,与孙枢、盛乃贤等同志一同进行的。之后,与沈丽琪同志共同考察瓦房子锰矿床。1961~1964 年,张焘与郑楚生在侯德封、涂光炽、叶连俊和李璞先生的领导下,研究了金银寨黑色硅岩型铀-钼矿床;1965 年,在地质部佟诚先生的发起和组织下,叶连俊和李璞先生与张焘、陈先沛考察了 510 地区铀矿床。同年,在涂光炽先生率领下,张焘与郑楚生、李朝阳和张湖考察了陕南铀矿床。1965~1972 年,在涂光炽先生领导和参与下,由张焘组织并参与,开展南秦岭中、西段与黑色硅岩有关的铀矿床考察和 510 地区铀矿研究,参加者有:郑楚生、陈先沛、王庆隆、李朝阳、任锦章、占巴扎布、刘铁庚、侯渭、董振生。范德廉参加了 1966~1967 年对陕南地质和铀矿床的考察研究。

20 世纪 60 年代在涂光炽先生帮助下,开始了下寒武统黑色岩系中镍、钴多元素层的工作。范德廉、尹汉辉、杨秀珍、王连芳、陈南生、肖学军赴我国南方五省进行野外考察及

室内研究。80年代调查秦岭及湘西、湘中、鄂西不同时代与黑色岩系有关的锰、重晶石、毒重石、钡解石、银-钒矿床及浊积岩型金矿床等;参加者有范德廉、王庆隆、杨培基、刘铁兵及研究生王忠诚、饶雪峰、叶杰、刘金钟、詹天卫。90年代在涂光炽、叶连俊先生领导下,主攻与黑色岩系有关的超大型锡-多金属、锑、锰、铀-锆矿床及磷-锰、铀、铜矿床和微生物成矿作用;参加者有范德廉、张焘、叶杰、刘铁兵及研究生潘忠华。其中,叶杰自1983年起参加了全部上述课题的野外考察及室内研究,并以其研究成果获得硕士和博士学位。

专著中扫描电镜照相由张汝藩高级工程师承担,碳、硫关系研究及相应图表由刘铁兵副研究员承担,刘菊英、姜善春研究员进行有机物抽提、气相色谱及色质联用分析。第三章内微量元素蜘蛛图及稀土元素计算和标准化制图由潘棋博士完成,其余各章内的稀土元素计算和标准化制图由叶杰博士完成。

此外,日本北海道大学 Yu. Hariya 和 S. Yui 教授, H. Matueda 副教授, H. Miura 博士及研究生 K. Takahashi, T. Minagawa 以及爱媛大学 H. Momoi 教授参加了瓦房子锰矿床的室内外研究工作(1992.7)。美国地质调查所(Menlo Park) J. R. Hein 博士(IGCP₃₁₈领导人)及研究生 L. M. Benniger 参加了对陕南地区磷-锰矿床及锰矿床的野外考察及室内研究(1992.9)。捷克地质调查所 J. Pašava, B. Krátek, P. Dobeš, I. Vavřík 和 K. Zák 博士参加了大厂超大型锡-多金属矿床的室内外研究工作(1998)。

对上述单位和个人的辛勤劳动和无私援助,我们表示衷心的感谢。

本专著的完成得到国家科学技术部和原国家科学技术委员会基础司,中国科学院地学部、外事局和国家自然科学基金委员会、中国科学院地球化学研究所、地质及地球物理研究所等单位的大力支持,特别是丁仲礼所长的关怀和帮助。工作过程中受到原地质矿产部、有色金属总公司、核工业总公司等系统的矿山、地质队、科研及分析等单位、中国科学院有关研究所及实验室等有关领导及同行的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。对日本北海道大学、美国地质调查所、捷克地质调查所及有关实验室和 IGCP 216、254、318、357、429 项目的领导人和同行给予的关注、支持与合作表示诚挚的谢意。

我们特别感谢叶连俊先生。在锰矿和微生物成矿等方面取得的进展都是与他的指导和支持分不开的。

我们特别感谢涂光炽先生。正是在他的领导和支持下开始了黑色岩系及有关矿床和铀矿床的系统研究,并在他的指导和帮助下取得重要进展。先生在百忙中审阅全书,提出宝贵意见,并为专著写序,更使作者深深感动。

我们感谢不同时期、不同课题的合作者。他们对工作的认真、求实态度和协作、拼搏精神是我们共同地完成每一个任务的动力和基础。这一专著包括了他们的劳动与心血。

我们衷心感谢国家对我们的培养;感谢山东大学地矿系、长春地质学院和北京地质学院的老师们;感谢我们敬爱的导师前苏联科学院 A. Г. 别杰赫金院士的教育和指导。本书是对师长们给予我们的辛勤培育的汇报。

范德廉 张焘

2004.1.20

目 录

序

前言

第一章 概论	1
第一节 黑色岩系的定义	1
第二节 黑色岩系的岩类组合	2
第三节 黑色岩系研究的重要性和前沿性	3
第二章 黑色岩系的岩石学及成岩作用	7
第一节 黑色岩系的岩石学	7
第二节 成岩作用	14
第三章 黑色岩系的地球化学特征	17
第一节 主元素和硫及有机碳	17
第二节 微量元素	23
第三节 分散元素	34
第四节 稀土元素	40
第五节 稳定同位素	48
第四章 中国黑色岩系型矿床的类型和地史分布	49
第一节 中国黑色岩系型矿床的类型	49
第二节 中国黑色岩系型矿床的地史分布	51
第五章 元古宙铜、铁、金、银、铅、锌、黄铁矿矿床及富钾岩石	55
第一节 滇中元古宙铜矿床	55
第二节 滇中元古宙铁矿床	70
第三节 燕山地区中元古代富钾岩石	70
第四节 华北地区中元古代铜、铅、锌矿床	72
第五节 豫南新元古代金、银矿床	73
第六章 晚震旦世—早寒武世银、硒、钒、铜、镍、钼、铀、钍、钷、磷等矿床及富钾岩石 ..	76
第一节 鄂、湘、滇陡山沱期银-钒矿床、铜矿床、磷矿床及富钾岩石	76
第二节 南方各省早寒武世镍-钼多元素富集层及矿床和钒(铀)矿床	105
第三节 湘、黔、川早—中寒武世汞及铅-锌矿床与黑色岩系的成因关系	136
第七章 早寒武世、早志留世的重晶石-毒重石-钡解石矿床	137
第一节 湘黔交界区贡溪一大河边早寒武世重晶石矿床	138
第二节 广西三江板必早寒武世重晶石矿床	151
第三节 陕南紫阳鲁家坪及黄柏树湾早寒武世重晶石-毒重石-钡解石矿床	158
第四节 陕南旬阳神河及安康石梯早志留世重晶石-钡解石矿床	170
第五节 桂中来宾古潭晚泥盆世重晶石矿床	179

第六节 国内外重晶石等矿床的地质特征及成因·····	182
第八章 泥盆纪锡-多金属及锑、铋矿床 ·····	185
第一节 广西大厂矿田泥盆纪锡-多金属矿床·····	186
第二节 广西伍圩箭猪坡早泥盆世铅-锌-锑矿床·····	225
第三节 广西南丹益兰晚泥盆世汞矿床·····	227
第四节 湖南新化晚泥盆世锡矿山锑矿床·····	227
第五节 湖南城步铺头中泥盆世黄铁矿矿床·····	241
第六节 广西晚泥盆世下雷锰矿床和木圭表生锰矿床·····	246
第七节 广西武宣乐梅早泥盆世锌矿床·····	253
第八节 湘桂地区泥盆纪重要矿床的主要特点·····	258
第九章 黑色岩系型锰及锰-磷矿床和微生物成矿作用 ·····	260
第一节 天津蓟县东水厂中元古代高于庄期硼-锰矿床·····	260
第二节 辽宁朝阳瓦房子中元古代铁岭期铁锰矿床的碳酸锰矿石相·····	269
第三节 湘、黔、川、鄂早震旦世湘潭式锰矿床密集区·····	272
第四节 陕南-川东北晚震旦世锰、磷矿床密集区·····	295
第五节 陕南早寒武世天台山磷-锰矿床·····	310
第六节 湘、川地区奥陶纪锰及钴-锰矿床·····	325
第七节 国内外黑色岩系型锰矿床的特征及形成模式·····	343
第八节 微生物成矿作用·····	345
第十章 黑色岩系型铀及铀-锆矿床 ·····	362
第一节 铀元素的地球化学性质与成矿的多样性·····	362
第二节 中国主要黑色岩系型铀矿床·····	362
第三节 黑色岩系型铀矿床及其成矿的控制因素·····	384
第四节 结论·····	392
第十一章 中国黑色岩系型矿床的形成背景、元素汇聚与沉淀机制 ·····	393
第一节 中国黑色岩系型矿床的空间分布与形成背景·····	393
第二节 元素组合体系与元素的汇聚·····	405
第三节 成矿元素的迁移与沉淀机制·····	411
第十二章 缺氧环境成矿 ·····	416
第一节 黑色岩系型矿床的成矿作用·····	416
第二节 黑色岩系型矿床的成因判别准则·····	420
主要参考文献 ·····	422
图版说明 ·····	438
图版	

第一章 概 论

第一节 黑色岩系的定义

黑色岩系是含有机碳($C_{\text{有机}}$ 含量接近或大于1%)及硫化物(铁硫化物为主)较多的深灰-黑色的硅岩、碳酸盐岩、泥质岩(含层凝灰岩)及其变质岩石的组合体系(范德廉等, 1987), 是还原性岩石。应当指出的是黑色泥质岩中的 $C_{\text{有机}}$ 含量较高, 硅岩和碳酸盐岩中相对较低, 特别是它们在受改造或变质的情况下。

缺氧环境是指水体中溶解氧含量低于0.1ml/l的环境, 它限制了多细胞生物的生存。只有微生物, 原则上只有硫酸盐还原细菌可以幸免死亡(Cluff, 1980)。缺氧不能理解为无氧, 而且缺氧的程度也有所不同。Tyson等(1991)根据溶解氧的含量和生物的情况确定了沉积环境的不同缺氧程度, 如缺氧(anoxic)、微氧(suboxic)、弱氧(dysoxic)和氧化(oxic)。Wignall等(1988)和Hatch等(1992)则根据生物相、黄铁矿形态及其硫同位素、黄铁矿化度(DOP)、铀含量、岩石或卟啉中 $n(V)/n(V+Ni)$ 值划分为闭塞静海、缺氧、弱氧化和氧化环境。由于我们所研究的黑色岩系不仅形成于古老的地质时代, 而且经历了不同程度的晚期成岩变化和改造及变质作用, 定量划分其缺氧程度相当困难, 也很难完全与上述划分相对应。但是, 总体来说, 黑色岩系形成于程度不同的缺氧环境中是毋庸置疑的, 而且缺氧环境的含意也是国内外学者认同和应用的。在工作中, 基于上述划分方案, 我们做了适当调整和补充。

作者对黑色岩系的上述定义是通过较长时期的科研实践逐步明确和不断完善的。20世纪60年代中期以来, 从事秦岭志留纪黑色岩系中铀矿和湘西早寒武世镍钼多元素层研究时, 曾将黑色岩系定义为黑色页岩-硅岩组合(范德廉等, 1973)。随着研究内容的不断扩大、研究矿种不断增加, 作者意识到黑色岩系绝不仅限于黑色页岩-硅岩组合, 而应当是生物岩、化学岩、泥质岩组合, 其端元组分为硅岩、碳酸盐岩、泥质岩及它们的变质产物(范德廉等, 1987)。因为从岩类学角度来看, 黑色页岩只不过是泥质岩的一个小类, 即具纹层状而黏土矿物含量 $\geq 70\%$ 的一类泥质岩; 所以, 黑色页岩是不能作为黑色岩系的统称来使用的。另外, 在铀矿研究中也曾发现深灰-黑色砂岩层, 将在第十章中详述, 这里暂不列入黑色岩系中。

我们对黑色岩系的定义与俄罗斯学者提出的碳质建造的含义比较接近。例如Горбачёв等(1981)将碳质建造划分为: ①碳质-陆源建造, ②硅质-陆源建造, ③硅质-碳酸盐-陆源建造, ④硅质-碳质建造, ⑤碳酸盐-碳质建造(又分碳酸盐建造和碳酸盐-蒸发岩建造); Созинов等(1984)则将碳质建造划分为: ①陆源碳质型, ②碳酸盐碳质型, ③硅质碳质型; 与作者对黑色岩系的定义和分类基本一致。但是这些岩类共生组合能否称之为建造是值得商榷的。

黑色岩系内的某些岩类与目前沉积学论文中经常见到的细粒沉积岩(fine grained

sedimentary rocks)和极细粒沉积岩也有相似之处,但是这些名称不仅过长,而且并不能反映其组成和成因,也是不可取的。

国外学者对黑色页岩(black shale)含义的理解很不一致。Vine 等(1969)认为黑色页岩是沉积于海相或盐湖相环境中的黑色细粒沉积岩,它由碎屑、化学及生物沉淀的矿物及有机物组成,其端元组分有黏土岩、粉砂岩、灰岩、白云岩、硫酸钙、燧石、磷块岩、煤。如此众多的端元组分统称为黑色页岩是很难令人接受的。Pettijohn(1975)认为黑色页岩是易剥裂的,富含有机碳($C_{\text{有机}}$ 为 3%~5%)和硫化铁的纹层状岩石,我们基本上同意黑色页岩的这个狭义的定义。

目前对泥质岩(mudrock)的定义比较公认的是指粒径 $< 0.062\text{mm}$ 的碎屑颗粒含量 $\geq 50\%$ 的岩石,它包括粉砂岩(siltstone)、泥岩(mudstone)、黏土岩(claystone)等许多岩类。但人们对其总称有不同意见,以 Blatt(1982)为代表的称之为泥质岩,而 Potter 等(1980)则称之为页岩。我们认为页岩只是泥质岩中具有页理构造的一类岩石,用它作为上述岩石的总称不太合适。因此,我们同意 Blatt 对泥质岩的上述定义。

第二节 黑色岩系的岩类组合

黑色岩系的主要端元组成是黑色硅岩、碳酸盐岩、泥质岩(现在看来可能还应包括砂岩)。它们的变质岩石有黑色石英硅岩、大理岩、板岩、千枚岩、片岩;深变质岩中有机质变为石墨。黑色碳酸盐岩可据方解石、白云石的含量区分为灰岩、白云岩。黑色泥质岩可据粉砂(或黏土矿物)含量划分为粉砂岩和黏土岩等。各类岩石的分类及特征将于下章内详述。

黑色岩系具有不同的岩类组合,它们反映了不同的沉积环境和地质背景。因此,各种岩类组合具有各自特征的岩石类型、岩性序列、结构构造、元素组合和含矿性。我们根据各类岩石的比例,将黑色岩系划分为 10 种岩类组合(范德廉等, 1987)(图 1-1)。Stribony

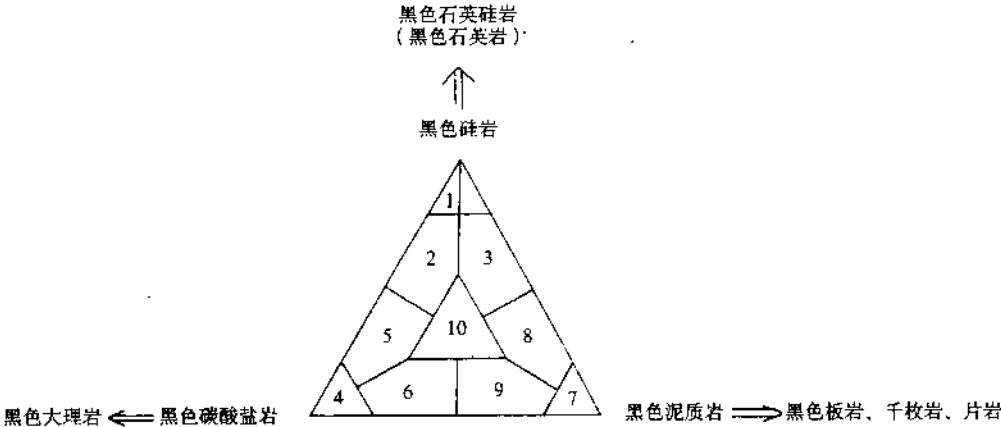


图 1-1 黑色岩系岩石类型及岩类组合图解

1. 黑色硅岩为主;2. 黑色碳酸盐岩-硅岩组合;3. 黑色泥质岩-硅岩组合;4. 黑色碳酸盐岩为主;5. 黑色硅岩-碳酸盐岩组合;6. 黑色泥质岩-碳酸盐岩组合;7. 黑色泥质岩为主;8. 黑色硅岩-泥质岩组合;9. 黑色碳酸盐岩-泥质岩组合;10. 黑色硅岩-碳酸盐岩-泥质岩组合

等(1990)通过化学分析及矿物定量分析将黑色岩系中的细粒沉积岩(粒径 $< 0.02\text{mm}$)划分为20类。图1-2中,上方三角形内的岩石为黑色岩系(有机碳含量 $> 1\%$),下方三角形内的岩石为浅色岩系(有机碳含量 $< 1\%$)。这一分类与我们的分类大致雷同。

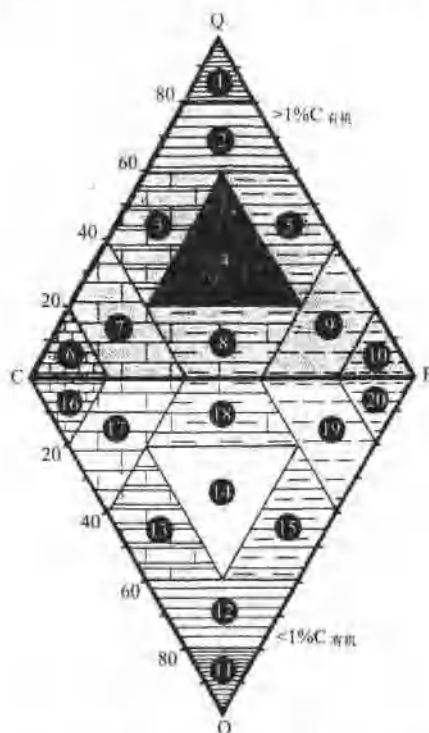


图 1-2 黑色岩系中细粒沉积岩的分类

和命名(Stribony et al., 1990)

Q. 石英; P. 层状硅酸盐矿物; C. 碳酸盐及其他矿物。1. 富有机碳燧石板岩; 2. 黑色硅质页岩; 3. 黑色碳酸盐质-硅质页岩; 4. 黑色页岩; 5. 黑色泥质-硅质页岩; 6. 富有机碳碳酸盐岩; 7. 黑色碳酸盐质页岩; 8. 黑色碳酸盐质-泥质页岩; 9. 黑色泥质页岩; 10. 富有机碳泥质岩; 11. 燧石板岩; 12. 硅质页岩; 13. 碳酸盐质-硅质页岩; 14. 页岩; 15. 泥质-硅质页岩; 16. 碳酸盐岩; 17. 碳酸盐质页岩; 18. 碳酸盐质-泥质页岩; 19. 泥质页岩; 20. 泥质岩

第三节 黑色岩系研究的重要性和前沿性

一、黑色岩系与经济发展、社会进步、国防安全和社会的持续发展有关

(一) 黑色岩系受到瞩目与化石能源有直接关系

黑色岩系是储存于中新生代砂岩系和其他高孔隙度、高渗透性岩石中的超大型油、气田的生油、生气母岩。除中国的实例外,瑞典中一晚寒武世黑色明矾页岩是重要的生油、生气母岩和油气藏(Andersson et al., 1985)。美国阿巴拉契亚盆地泥盆纪查塔努加黑色

页岩(Conant et al., 1961)中赋存有天然气。乌拉尔西坡晚泥盆世的多马尼克岩(黑色钙质页岩)中赋存有石油。中东和西西伯利亚的沥青质碳酸盐-泥质-硅质岩即是生油岩,又是储油岩等等。

(二) 黑色岩系与放射性资源的探索 and 开发利用有关

铀曾一度是玻璃和陶瓷的染料,其子体镭用于诊断癌症,以后铀成为核能资源并用于裂变核武器。在 20 世纪 50 年代黑色岩系就作为铀源探索对象,如瑞典的明矾页岩是世界上第一个作为铀矿开采的对象;而美国查塔努加黑色页岩中的铀则因品位太低,未能开采并转向油、气的探索。越来越多的资料说明许多时代的铀矿床都与黑色岩系有关。如品位高、储量大、矿床群集的不整合面型铀矿床的形成与黑色岩系有关(矿化发育于不整合面、黑色岩系或其破碎带中)。

(三) 众多金属、非金属矿床及超大型矿床的形成与黑色岩系有关

黑色岩系中赋存众多的亲铜、亲铁、分散、铂族、放射性及稀土等元素。较早的报道(Lindgren, 1902)有白垩纪黑色页岩中的 Au 和 Ag 的含量(分别为 3.2×10^{-6} 和 0.17×10^{-6})和世界著名的瑞典黑色明矾页岩中的 U 含量(U_3O_8 为 0.47%)。经过几十年的研究,瑞典中一晚寒武世的黑色页岩不仅富含油、铀而且富含钒和钼,更重要的是相同时代的黑色页岩还广泛分布于波兰、英国和加拿大东部(Andersson et al., 1985)。

世界著名的二叠纪铜-铅-锌(铂族元素)矿床赋存于深灰-黑色白云岩和页岩中,其平均厚度一般几十厘米(25~70cm)。在波兰与德国接壤区共有 9 个矿床,矿层厚达 0.5~4m。其中最大的是波兰的卢宾-波尔科夫-鲁德奈矿床,铜储量达 1800 万 t,品位 1.8%,并富含 Pb, Zn, Mo, V, Ni, Co, Ag, Au 以及铂族元素等(Mayer et al., 1985)。在德国曼斯菲尔德等矿区,自 1200 年即在黑色页岩和泥灰岩中开采富铜矿(Cu 含量 3%),后来又开采较贫矿石(Cu 2.5%±),并顺便开采 Pb, Zn, Mo, V。矿床成因有同生沉积,热卤水及上升洋流等看法。另外,一些国家对自己国土内不同时代的黑色岩系进行了上述金属元素的调查,研究了 Ni, Mo, V, U, Cu 等元素与有机质的关系(Vine et al., 1969)。

20 世纪 80 年代,特别是自 1987 年成立了“含金属黑色页岩”的国际地质对比计划(IGCP254)以来,这方面的报道和交流迅猛增多。涌现出许多与黑色岩系有关的大型、超大型矿床。如在芬兰东部地区,古元古代黑色片岩中赋存有超大型镍、铜、锌矿床-Talvivaara 矿床等(Loukola-Ruskeeniemi, 1992; Loukola-Ruskeeniemi et al., 1996)。非洲最大、质量最好的银矿床(Imiter 矿床)产于摩洛哥的新元古代火山沉积岩系内,含矿系由凝灰岩和黑色页岩组成。北美洲最大的碳酸锰矿床是墨西哥的 Molango 矿床,它产于上侏罗统黑色页岩-灰岩系内。产于相同时代黑色页岩系中的碳酸锰矿床还有匈牙利 Úrkút 矿床(Polgári et al., 2000)。而原捷克斯洛伐克、德国与匈牙利交界地区的碳酸锰矿床则产于下侏罗统黑色放射虫泥灰岩中,其成因与托尔期的大洋缺氧事件有关(Jenkyns et al., 1991; Fan et al., 1992a)。澳大利亚格魯特岛超大型锰矿床(1.5 亿 t 储量)的矿层赋存于沥青质富金属黑色页岩之上(Frakes et al., 1984),可能与中白垩世大洋缺氧事件有

关(实际上是与早、晚白垩世界线附近的阿普第一阿尔必, 森诺曼—土伦期缺氧事件相呼应)。我国的早震旦世湘潭式碳酸锰矿床赋存于黑色岩系中, 并在湘中及湘、黔、鄂交接处形成密集区, 其成因也与缺氧事件有关(Fan et al., 1992a)。世界上铅、锌金属储量大于 2000 万 t 的矿床有 6 个, 其中页岩容矿型的就有 4 个, 如澳大利亚的布罗肯希尔, 麦克阿瑟河和加拿大的沙利文和霍华兹山口等处的铅、锌矿床均与页岩, 特别是黑色页岩有关, 前三者属元古宙。加拿大塞尔温盆地和德国腊梅尔斯伯格和麦根铅、锌矿床产于古生代(奥陶纪、志留纪、泥盆纪)黑色岩系中。近期在加拿大塞尔温盆地内还发现了黑色岩系型镍、锌、铂族元素矿床, 引起国际同行的密切关注。黑色岩系中的金矿床, 如乌兹别克斯坦的穆龙套金矿床, 美国内华达州的金矿床, 以及捷克的 Sucha Rudna 金矿床均具有相当大的规模。

黑色岩系中的大型、超大型金属及非金属矿床在我国也不乏其例。在广西大厂及湘中锡矿等地晚泥盆世黑色岩系中赋存有超大型锡—多金属及铋矿床。在云南临沧盆地第三纪黑色岩系中发现超大型锗矿床。在湘、黔交界地区的早寒武世黑色岩系中赋存有新晃—大河边超大型重晶石矿床, 广西板必重晶石矿床及陕南巴山地区重晶石—毒重石—钡解石矿床以及早志留世神河、石梯重晶石矿床。下寒武统底部黑色岩系中的镍—钼—铂族多元素层广布于我国南方 10 余省内, 其中的钒(铀)矿床可达大型—超大型规模, 如湖南临湘, 江西上饶、都昌、修水一带。下古生界大面积内广泛分布的大型、超大型石煤矿床更是别具一格。在鄂西及湘中地区晚震旦世陡山沱组黑色岩系中发现了大—中型银—钒矿床。另外, 黑色岩系中的金矿、铀矿、铂族元素以及硅酸盐型钾矿床、磷矿床和绿松石等宝石矿床在我国也均有发现, 在此不一一赘述。

黑色岩系型碳酸锰矿床分布于自元古宙至三叠纪的 13 个层位内, 其大、中型锰矿床的总储量占全国锰储量的 48%, 若将其表生锰矿床计算在内的话, 其所占比例则更大(Fan et al., 1992a)。其中赋存于泥盆纪的广西下雷锰矿床具超大型规模, 而木圭锰矿床属大型。

以上所述仅仅是举例而已。现在看来, 与黑色岩系有关的矿床矿种多、品位高、规模大、伴生组分丰富, 许多矿种在世界储量上占有重要份额。

(四) 黑色岩系与环境保护

黑色岩系含有大量金属元素以及硒、硫、砷、汞等, 当其遭受风化作用时, 大量元素被氧化释放, 进入含氧的地表水和地下水, 导致环境的污染, 对健康有害。所以与黑色岩系型矿床在开发利用过程中, 包括开采、运输、存储和选矿等, 都需要采取措施以保护环境。这里还应特别提出的是铀和硒的高含量已导致某些地区人们的血小板降低和人群硒中毒爆发性流行的现象。

二、研究黑色岩系的科学意义

黑色岩系, 可称之为地质历史发展过程中具重现性的时限沉积相, 是地球演化中特定地质环境(缺氧环境)的产物, 是岩石圈、水圈、气圈和生物圈变化和相互作用的结果, 也是

开放的地球复杂动力系统演化的标志和体现。黑色岩系具有多类型和成因多样化特点,不同的黑色岩系反映不同地质背景和沉积缺氧环境。其中生物,特别是微生物对成矿有重要意义。黑色沉积物和黑色岩系的还原性,在很大程度上与有机质(流体和固体)有直接的关系。因此,黑色岩系的研究,可深化认识地球表层或浅部的化学元素的分布规律与机制,特别是揭示地球演化中元素在沉积圈内时间和空间上涌现、聚集的不均一性及超大规模矿床的形成机制,并有助于探索各种类型矿床的成因。特别是环境突变的成因,从而有助于重塑地球演化的历史和过程的认识。

现代海洋研究表明,大洋中的溶解氧主要富集于表层海水中或透光带内,向下由于生物死亡和降解作用,使 O_2 逐渐变为不饱和。从而在中等水深处(约 150~1000m)往往出现海水中的氧含量最低层,即缺氧层。缺氧层在世界较深的海洋中均存在,但在上升洋流发育和生物生产率特别高的海区,缺氧层更加发育。因此,研究地质历史上的缺氧层和缺氧沉积物,对我们了解古海洋环流和环境的变迁,古海水化学成分的演化以及探索构造运动与岩浆活动历史,恢复古地理和古气候等都有重要的意义。

对古生代、中生代黑色岩系的成因及缺氧事件的研究,提出了如下几种模式:①海侵模式:主要强调海平面的上升,透光带变薄而形成缺氧环境。②盆地模式:强调盆地的盐度分层和滞流作用而引起的缺氧环境。它们或是由于温度的升高而形成高盐度、高密度水,促进盆地分层;或由于温度升高而使大洋经向温差变小,缺乏垂相循环而呈现滞流状态。Force(1984)发现,缺氧事件与漫长的没有地磁倒转的平静期一致,该期又与海底快速扩张相吻合。上升的扩张脊把海水排挤到宽阔的大陆架上,降低了地球的反照率,使全球温度上升,环流变弱,形成缺氧环境。③氧最低带模式:主要强调低纬度区,由于生物的高生产率和上升洋流携带的富营养物质很多,这些大量有机物腐解,消耗氧气而形成氧最低带。

但是,缺氧事件的形成要比上述模式更为复杂。许多学者将缺氧事件与洋中脊的活动、火山作用、弧后扩张和大陆裂谷的形成联系起来。Wilde 等(1989)认为由中白垩世到新生代,缺氧环境的形成与强烈的扩张和火山作用有关;活动大洋中脊的上升环流系统对形成热的缺氧流体有重要意义;最大的缺氧效应发生于有强烈活动和扩张的洋中脊造海时期。泛大陆形成时期,洋中脊活动休止,陆地发育,缺氧环境向氧化环境转化。

对中白垩世危机(指早白垩世与晚白垩世界线附近的几个广泛分布的缺氧期,即阿普第一阿尔必、森诺曼—土伦期等)的大力研究中涉及的理论问题就更多了,如缺氧事件与生物灭绝的关系,黑色页岩的韵律性沉积与米兰科维奇提出的由地球轨道变动而引起的古气候旋回的关系,缺氧事件与稀罕事件的关系等。这些研究不仅涉及到地球自身,而且涉及到地球与宇宙的联系,均具有重要的理论意义。

黑色岩系是在缺氧环境或缺氧事件中形成的,它们都是直接或间接的与生命活动有关的,它们也均与生物地球化学元素,如 C, N, P, O, S 及 Fe, Mn, Ca, Ni, Mo, V, U, Ba 等的循环有直接或间接的联系。因此,地质历史上的黑色岩系及与之有关矿床的成矿作用,特别是生物成矿作用,将是生物地球化学体系研究(即研究古气圈、古水圈、古生物圈和岩石圈的相互作用和演化)的重要内容。

综上所述可以看出,黑色岩系的研究具有重要的理论意义和经济价值,它是国际地学界的前沿课题,是应当大力加强研究的。

第二章 黑色岩系的岩石学及成岩作用

第一节 黑色岩系的岩石学

黑色岩系的定义及其十种岩类组合已列入第一章中(图 1-1)。我们将黑色岩系分为三类,即黑色泥质岩、硅岩和碳酸盐岩及它们的火山-沉积型亚类(层凝灰岩等)和它们的变质产物。

众所周知,长期以来泥质岩的研究程度远远落后于砂岩和碳酸盐岩,随着人们对泥质岩在国民经济和科学研究中重要性认识的不断提高,出现并不断增强对其研究的迫切感。Potter 等(1980)在其《页岩沉积学》的序言中说:我们写这本书是因为我们已经感觉到“页岩获得更多研究的时代终于到来了”。Blatt(1982)在其著作《沉积岩石学》中提出:“20 世纪 80 年代是泥质岩的时代”,这里指的是它所获得研究数量的增加和我们对这种迷惑不解的岩石了解程度的加强。Wignall(1994)提出黑色页岩具有重要的经济意义,同时也指出它是所有沉积岩中了解最少的。

由于黑色岩系中有机质含量较高,且多呈分散态分布,或部分聚集呈不连续的条纹,大大增加了在显微镜下鉴定矿物(特别是伊利石等黏土矿物)的难度,也更难准确地估算其含量。因此,我们采用显微镜下观察、X 射线衍射、红外光谱及差热分析等鉴定手段和化学组成计算相结合的综合研究方法确定岩石名称。有时,还采用 X 射线放射照相法来研究黑色岩系的精细结构、构造(范德廉等,1986)。

岩石命名的首要原则是:组成该岩石的矿物和化学成分的含量应 $\geq 70\%$,即硅岩中自生石英(自生 SiO_2)含量,泥质岩中黏土矿物或粉砂(其主元素组成为 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)的含量,碳酸盐岩中方解石、白云石(其主元素组成为 $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{CO}_2$)的含量应 $\geq 70\%$ 。上述两类组合各占约 50%时,可称为硅页岩、泥灰岩等。在岩石中,次要组分占 20%~40%时可冠之以“质”,如泥质硅岩、白云质页岩等。次要组分为 10%~20%时,一般不必参加岩石的命名,但需要强调这类组分时,可冠之以“含”,如强调它是含锰灰岩、含黄铁矿页岩等。岩石的组分确定后,可依岩石和矿物的组构特征对每类岩石命名。黑色岩系各类岩石多呈致密状、条带状、纹层状、叠层状等,后两者多为生物构造;此外,还有其他生物构造。黑色岩系中的矿物多按其粒径来划分,如泥质岩中分为泥晶($<0.005\text{mm}$)和粉砂($0.005\sim0.063\text{mm}$);碳酸盐岩中分为隐晶($<0.001\text{mm}$)、泥晶($0.001\sim0.01\text{mm}$)、粉晶($0.01\sim0.05\text{mm}$)、细晶($0.05\sim0.25\text{mm}$)等;硅岩中分为隐晶($<0.001\text{mm}$)、微晶($0.001\sim0.01\text{mm}$)、细晶($0.01\sim0.5\text{mm}$)、粗晶($>0.5\text{mm}$)等。

黑色泥质岩是黑色岩系中最重要的一类岩石,它包括粉砂岩、黏土岩及凝灰质粉砂岩、页岩和板岩、千枚岩、片岩等。因此,也是黑色岩系中种类最多的岩石。我们将粉砂(粒径为 $0.005\sim0.063\text{mm}$)含量 $\geq 70\%$ 的岩石称为粉砂岩,而黏土矿物(粒径 $<0.005\text{mm}$)含量 $\geq 70\%$ 的岩石称为黏土岩;这些岩石具毫米级纹层或页理的则称为纹

层状粉砂岩和页岩。因此页岩只是泥质岩的一个小类。这里应当指出的是,我们在研究黑色岩系时采纳了 Blatt(1982)关于泥质岩的名称,他将泥质岩分为粉砂岩(粉砂含量>66%)、泥岩(粉砂含量为33%~66%)和黏土岩(粉砂含量为0~33%)。但在岩石学研究过程中,使我们感到二分法更为恰当宜行,即将泥质岩分为粉砂岩(粉砂含量 $\geq 70\%$)和黏土岩(黏土含量 $\geq 70\%$)两类;其具纹层或页理的称为纹层状粉砂岩和页岩。

黑色硅岩也是黑色岩系中的重要岩石类型,但由于其成分比较单纯,种类相对较少。黑色硅岩是由微、细粒自生石英组成的,有的与生物有密切关系,如放射虫硅岩、藻硅岩等;还有的呈结核或条带状产出,如燧石结核和燧石条带等。根据自生石英的粒度可将黑色硅岩分为:隐晶、微晶、细晶硅岩等。黑色硅岩的变质产物称之为黑色石英硅岩,以区别于由碎屑石英砂岩变质而成的石英岩。

由于 SiO_2 除呈碎屑石英和自生石英外还常为硅酸盐矿物(黏土矿物、长石类矿物等)的主要组成部分,因此在给黑色硅岩命名时要特别小心。首先要在显微镜下观察自生石英、黏土矿物(硅岩的主要伴生矿物)和碎屑石英的大致含量。然后要把与黏土矿物相结合的 SiO_2 去掉(以SDO-1样品为标准),如在显微镜下观察未见有石英粉砂或砂粒,我们则称这剩余的 SiO_2 为自生的,当其>70%时称之为硅岩,当其为40%~70%时称之为泥质硅岩,当其为20%~40%称之为硅质页岩。用这样的方法我们将三块 SiO_2 含量>70%的岩石区分为硅岩、泥质硅岩和硅质页岩(表2-1)。因此,不能看到 $\text{SiO}_2 > 70\%$ 的岩石均称之为硅岩,也不能称之为硅质岩。

表 2-1 $\text{SiO}_2 > 70\%$ 岩石的准确命名

岩石	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3/\%$	$\text{K}_2\text{O}/\%$	$\text{Na}_2\text{O}/\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}/\%$	自生 $\text{SiO}_2/\%$
1. 硅岩(Se42)	79.7	1.94	0.03	0.01	~2	~73
2. 泥质硅岩(Sh33)	77.3	6.17	1.63	0.41	~8	~53
3. 硅质页岩(Bj46)	70.3	14.7	3.55	1.83	~20	~10

黑色碳酸盐岩在黑色岩系中的份额相对较少。根据碳酸盐矿物的粒度可分为:隐晶、微晶(或泥晶)、粉晶和细晶碳酸盐岩,其变质产物为大理岩。根据方解石、白云石的含量可分为灰岩和白云岩两大类。岩石中硅、泥等的含量为20%~40%的可细分为硅质碳酸盐岩、泥质碳酸盐岩等。碳酸盐岩多呈致密状、条带状、纹层状等;生物碳酸盐岩如叠层藻碳酸盐岩等也常为黑色岩系中的主要岩石类型。

下面将较详细的对我们所研究的黑色岩系各亚类岩石进行描述,它们的元素组成的分析数据(表2-2~表2-4)取自第五~十章。

一、黑色泥质岩

(一) 黑色粉砂岩^①

在我们研究的泥质岩中,粉砂岩较少,只在鄂西兴山丁家河等地的上震旦统底部见有

^① 为节省篇幅,在对岩石进行描述及相应表内将不再加入“黑色”两字。