

GEOTECTONIC GEOCHEMISTRY

大地构造地球化学

黄瑞华 著

地质出版社

北京)

大地构造地球化学

黄 瑞 华 著

地 质 出 版 社
· 北 京 ·

内 容 提 要

本书从构造地球化学这门边缘新学科的角度,论述了大地构造地球化学;并以历史-因果论大地构造学及地洼理论为指导,阐明了地槽阶段、地台阶段和地洼阶段的地球化学特征及其演化原因和形成机制;阐明了中国大地构造地球化学分区及其特点与分布规律。以及大地构造成矿作用及槽台洼三个基本构造单元的一些成矿元素丰度问题,并指出了大地构造地球化学的找矿意义。此外,本书还简略介绍了各大地构造学派的大地构造地球化学及其研究情况。

本书可供从事地质工作的生产、教学和科研人员参考,并可作为高等院校高年级学生、研究生的构造地球化学方面的参考教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大地构造地球化学/黄瑞华著. -北京:地质出版社,1996.4

ISBN 7-116-02120-5

I. 大… I. 黄… III. 大地构造学;地球化学 N. P54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 03591 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:白 铁 王 俊

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:11.75 字数:300 000

1996 年 4 月北京第一版·1996 年 4 月北京第一次印刷

印数:1—700 册 定价:20 元

ISBN 7-116-02120-5
P·1593

前 言

“大地构造地球化学”是“构造地球化学”的一个研究分支,是大地构造学和地球化学之间相互渗透和融合形成的一个边缘新学科。对这个新学科领域的探讨,不仅可以推动构造地质学、大地构造学、地球化学、构造成矿学及构造成岩学等学科的发展,而且还可以促进各大地构造学派朝着这个新学科领域开拓和发展。同时,各大地构造学派对地球化学的研究,又推动了大地构造地球化学及构造地球化学等学科的发展。可见,学科发展和学派发展是相辅相成的,可以相互促进和相互补充。

需要说明的是,在岩石分类上,笔者没有完全按第 28 届国际地质大会地科联火成岩分类学分委会推荐的火成岩分类及术语进行分类。如金伯利岩按“分委会”意见应归入煌斑岩类岩石中;超基性岩一词应统称为超镁铁质岩。笔者在岩石的分类定名上沿用了传统下来的方案,是觉得它们仍有现实意义。

本专著是在作者历年来的构造地球化学和大地构造地球化学研究的基础上,并纳入了作者有关科研成果,经总结、深化编写而成的。它的出版得到长沙大地构造研究所所长基金和国家科学技术委员会的资助。

本书学术指导为中国科学院院士、长沙大地构造研究所名誉所长陈国达教授。在书稿编写过程中,曾得到了郭文魁院士、杨开庆研究员及黎彤、刘英俊、何绍勋、吴延之、刘家远等教授,以及张湘炳研究员、王伏泉副研究员等人的热情帮助和支持;书中插图由蔡淑芝同志清绘,在此一并表示感谢。书中参考和引用了相当多的文献资料,由于篇幅所限,除部分列出外,不能一一列出,特在此致歉和致谢。

本书初稿承蒙张本仁、吴延之、刘家远等教授,姚振凯、邓诗锴研究员,杨诗瑞高级工程师,刘德良教授等人审阅,他们提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢。

根据学者、专家们的意见和建议,笔者进行了认真的修改、补充和订正。由于作者水平所限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

希望本专著的问世,能够对大地构造地球化学的发展起到抛砖引玉的作用。

作 者

1994. 2. 13

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 构造地球化学分科概述	(1)
第二节 大地构造地球化学	(11)
第二章 地槽阶段的地球化学	(17)
第一节 元素在地槽阶段中的丰度和集散特征	(17)
第二节 岩浆作用的元素组合在空间分布上的特点	(31)
第三节 成矿作用中造矿元素的集中特点	(32)
第四节 地槽区发展过程中的元素组合分配	(34)
第五节 地槽区内部构造的元素分配	(36)
第六节 地槽阶段的一般地球化学特征	(37)
第三章 地台阶段的地球化学	(38)
第一节 岩浆作用的元素组合特征	(38)
第二节 元素在峨嵋山玄武岩中的分布特征	(39)
第三节 成矿作用中造矿元素的集中特点	(42)
第四节 外生成矿元素组合在时、空上的富集	(43)
第五节 地台区成矿元素分配的差异性	(44)
第六节 地台区粘土岩化学组合的演化	(45)
第七节 地台区的一般地球化学特征	(45)
第四章 地洼阶段的地球化学	(47)
第一节 元素在地洼阶段的丰度和集散特点	(47)
第二节 岩浆作用的元素组合在空间上的分布特点	(71)
第三节 造矿元素在地洼区内的集中特点	(72)
第四节 地洼区发展过程中的元素组合分配	(73)
第五节 地洼区内部构造的元素分配	(75)
第六节 地洼区元素分配的差异性	(77)
第七节 地洼阶段的一般地球化学特征	(78)
第五章 大地构造地球化学演化及其原因	(80)
第一节 大地构造地球化学演化	(80)
第二节 大地构造地球化学演化原因	(80)
第六章 大地构造成矿作用	(86)
第一节 成矿大地构造类型(阶段性)	(86)
第二节 大地构造成矿作用的演化	(87)

第三节	大地构造成矿作用的专属性	(87)
第四节	大地构造成矿作用的差异性	(88)
第五节	大地构造成矿作用的继承性	(89)
第六节	大地构造成矿作用的控制性	(89)
第七节	大地构造成矿作用的多因复成性	(90)
第八节	大地构造成矿作用的生因性	(91)
第七章	中国大地构造地球化学分区	(92)
第一节	大地构造地球化学分区原则	(92)
第二节	地槽型构造地球化学区	(94)
第三节	地台型构造地球化学区	(95)
第四节	地洼型构造地球化学区	(96)
第五节	中国大地构造地球化学区的分布特征	(106)
第八章	个别元素的大地构造地球化学	(108)
第一节	锡的一些大地构造地球化学特征	(108)
第二节	金的一些大地构造地球化学特征	(120)
第九章	各家大地构造地球化学研究概述	(138)
第一节	板块构造地球化学	(138)
第二节	地质力学的地球化学研究	(149)
第三节	多旋回构造的地球化学问题	(157)
第四节	断块构造地球化学研究	(158)
第五节	镶嵌构造地球化学研究	(159)
第六节	各家大地构造地球化学研究的展望	(159)
第十章	地壳基本构造单元的元素丰度	(161)
第一节	地槽区的化学元素丰度问题	(161)
第二节	地台区的化学元素丰度问题	(164)
第三节	地洼区的化学元素丰度问题	(165)
第十一章	大地构造地球化学的找矿意义和靶区选择	(167)
第一节	大地构造地球化学的找矿意义	(167)
第二节	大地构造地球化学与成矿预测	(167)
第三节	大地构造地球化学与靶区选择	(170)
尾 语		(171)
参考文献		(172)
英文摘要		(175)

CONTENT

PREFACE

CHAPTER 1 INTRODUCTION	(1)
1. Survey of tectonogeochemical branches	(1)
2. Geotectonic geochemistry	(11)
CHAPTER 2 GEOCHEMISTRY OF GEOSYNCLINAL STAGE	(17)
1. Features of element abundance and enrichment-dispersion in geosynclinal stage	(17)
2. Features of element association of magmatism in spatial distribution	(31)
3. Concentrated features of ore-forming element in metallization	(32)
4. Allotment of element association during development processes of geosynclinal region	(34)
5. Element allotment in internal structure of geosynclinal region	(36)
6. Some geochemical features of geosynclinal stage	(37)
CHAPTER 3 GEOCHEMISTRY OF PLATFORM STAGE	(38)
1. Features of element association of magmatism	(38)
2. Distribution feature of element in Emei mountain basalt	(39)
3. Concentrated Characteristics of ore-forming element in metallization	(42)
4. Spatial and Chronological enrichment of element association of exogenetic mineralization	(43)
5. Allotment difference of metallogenic element of platform region	(44)
6. Evolution of chemical component of clayrock in platform region	(45)
7. Some geochemical features of platform stage	(45)
CHAPTER 4 GEOCHEMISTRY OF DIWA(GEODEPRESSION) STAGE	(47)
1. Features of element abundance and enrichment-dispersion in diwa stage	(47)
2. Features of element association of magmatism in spatial distribution	(71)
3. Concentrated features of ore-forming element in diwa stage	(72)
4. Allotment of element association during developmental processes of diwa stage	(73)
5. Element allotment in internal structure of diwa stage	(75)
6. Difference of element allotment of diwa region	(77)
7. Some geochemical features of diwa region	(78)
CHAPTER 5 EVOLUTION AND ITS REASON OF GEOTECTONIC GEOCHEMISTRY	(80)
1. Evolution of geotectonic geochemistry	(80)
2. Evolutional reation of geotectonic geochemistry	(80)
CHAPTER 6 GEOTECTONIC METALLIZATION	(86)

1. Geotectonic typys of metallization (stage nature)	(86)
2. Evolution of geotectono-metallization	(87)
3. Specialization of geotectono-metallization	(87)
4. Difference of geotectono-metallization	(88)
5. Inheritance of geotectono-metallization	(89)
6. Controlled nature of geotectono-metallization	(89)
7. Polygenetic compound nature of geotectono-metallization	(90)
8. Generation of geotectono-metallization	(91)
CHAPTER 7 DIVISION OF GEOTECTONO-GEOCHEMICAL REGION IN	
CHINA	(92)
1. Principle of geotectono-geochemical division	(92)
2. Tectono-geochemical region of geosynclinal type	(94)
3. Tectono-geochemical region of platform type	(95)
4. Tectono-geochemical region of diwa type	(96)
5. Distributive feature of geotectono-geochemical region in China	(106)
CHAPTER 8 GEOTECTONO-GEOCHEMISTRY OF MONO-ELEMENT	(108)
1. Some geotectono-geochemical features of tin	(108)
2. Some geotectono-geochemical features of gold	(120)
CHAPTER 9 GEOCHEMICAL STUDING SURVEY OF DIFFERENT GEOTE-	
CTONIC THEORY	(138)
1. Geochemistry of plate tectonics	(138)
2. Geochemical study of geomechanics	(149)
3. Geochemical problems of multicyclic tectonics	(157)
4. Geochemical study of fault-block tectonics	(158)
5. Geochemical study of mosaic structure	(159)
6. Look ahead of geotectonic geochemical study	(159)
CHAPTER 10 ELEMENT ABUNDANCE OF EARTH'S FUNDAMENTAL	
TECTONIC ELEMENT	(161)
1. Problem of element abundance of geosynclinal region	(161)
2. Problem of element abundance of platform region	(164)
3. Problem of element abundance of diwa region	(165)
CHAPTER 11 EXPLORATARY SIGNIFICANCE OF GEOTECTONIC GEOCHE-	
MISTRY AND SELECTING OF TARGET AREA	(167)
1. Exploratory significance of geotectonic geochemistry	(167)
2. Geotectonic geochemistry and metallogenic prognosis	(167)
3. Geotectonic geochemistry and selection of target area	(170)
REMAINING REMARKS	(171)
REFERENCES	(172)
ABSTRACT (English)	(175)

第一章 绪 论

大家知道,国内外都十分关注和重视构造地球化学的理论研究和实际应用。作为构造地球化学一个分支的大地构造地球化学,在论述地壳运动和元素运动之间关系及机理,以及在矿产预测、找矿方向及找矿地域的确定、靶区优选等方面,又有它自己不同于一般的指南意义。

为了更好地论述大地构造地球化学以及了解它在构造地球化学中的意义,首先有必要对构造地球化学的分科作一简略概述。

第一节 构造地球化学分科概述

关于构造地球化学的分科问题,笔者曾进行过论述。为了比较详细和精确地阐明构造地球化学的现象、作用、过程和机制,我们偏重于从构造地质学角度来进行划分,并结合当前国内外研究构造地球化学的现状,大致可以将其划分为十五个方面:

- (1)微构造地球化学;
- (2)裂隙构造地球化学;
- (3)褶皱构造地球化学;
- (4)断裂构造地球化学;
- (5)不整合构造地球化学;
- (6)环形构造地球化学(包括旋扭构造地球化学);
- (7)火成岩构造地球化学(包括接触构造地球化学);
- (8)沉积岩构造地球化学;
- (9)成矿构造地球化学(包括矿田、矿床和矿体构造地球化学);
- (10)深部构造地球化学;
- (11)地震构造地球化学;
- (12)大地构造地球化学(包括区域构造地球化学)。由于大地构造学派很多,故不同的大地构造学派都可以根据自己的构造观点来探讨构造地球化学问题,阐明大地构造地球化学规律。这样就有了地洼构造地球化学、板块构造地球化学、多旋回构造地球化学、镶嵌构造地球化学、地质力学构造地球化学、断块构造地球化学等;
- (13)宇宙构造地球化学;
- (14)实验构造地球化学;
- (15)应用构造地球化学。

下面我们逐一概略阐述。

一、微构造地球化学

微构造地球化学是研究显微构造与化学现象之间生因关系等问题的学科。近年来,它特别引起人们的注意,进行了颇多的研究工作。

1. 板岩劈理片的微化学

例如,显微镜下超薄片研究板岩中折劈理与微化学的关系表明:所发育的折劈理主要是在结晶过程中形成的,而压力溶解和机械旋转促进了结晶过程。折劈理实质上是由富层状硅酸盐区域(不溶性矿物集中)和富石英区域(颗粒增生)体现出来。富石英区域主要由绿泥石、云母和石英,以及少量的钠长石和碳酸盐组成。而富层状硅酸盐区域的物质却要比富石英区域致密得多,可作为非溶解物质在压力溶解(溶解转化)过程被动集中的一个征兆。富层状硅酸盐区域内的云母晶体比富石英区域内的云母晶体有着较多的多硅白云母,即伴随着 Al^{3+} 被 Si^{4+} 的置换,增加了 Al^{3+} 被 Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 的置换。富石英区域有着较多量的绿泥石,而富层状硅酸盐区域有着相对少量的绿泥石,并且绿泥石中,相对于富石英区域的,又有着较多的富 Al 颗粒和较少的富铁颗粒(S. H. White 等)。

2. 张折劈理的微化学研究

J. H. Behrmann 在研究低级糜棱岩中的白云母微构造和微化学时,选择了受过剪切的 A 型白云母残斑晶作了电子探针分析,分析的元素重量百分比数据显示出张折劈理存在的信息。在张折劈理中,硅含量减少了 3% 以上,微剪切带中的钾有减少 1%—2% 的趋势,铝减少为原始含量的一半,而铁在原始平均含量为 3% 的基础上得到了明显的增加。

3. 矿物的微构造化学

I. Allion 在论述伴随剪切带内花岗岩变形的微构造及化学转变时指出,其更长石和正长石的变化,相对于原来的颗粒而言,增加了钠,失去了钙和钾。这表明变形期间,元素有近范围内的重新分布。

F. 波杰斯等在研究剪切斜长岩的微构造和微化学时,观察到部分斜长石变为钠长石,而且所有的长石颗粒均具有富钠的环圈。

K. R. Mclay 指出:受到剪切的方铅矿,随着其扭折和变形以及在核部边缘上的动力重结晶作用,导致颗粒的提纯。

4. 微构造与元素的成矿富集

笔者等在江西省洪水寨地区,探讨微构造与锡、钨富集的关系时得出,锡、钨元素在应力强度相对强和相对弱的区域内含量低,趋于分散,而在应力强度相对处于中等的区域内则含量高,趋于富集。而且钨元素比锡元素在应力稍大的环境中更易富集。这对大多数 W、Sn 共生的矿床常出现下钨、上锡的分带现象又提出了一种解释,反向分带现象亦可作这种解释,即与生成时的应力环境有关。

二、裂隙构造地球化学

主要研究肉眼可见的节理、片理、劈理等与伴生的化学现象之间的关系。

1. 压力溶解与裂隙脉的形成

A. Beach 作了变形硬砂岩中压力溶解和裂隙脉形成的地球化学研究,并把压力溶解所迁移的物质与沉淀在脉中的物质进行了地球化学对比,研究表明:①压力溶解和脉的形成同时出现在简单剪切变形带内,且劈理发育紧密地结合着脉的生长。压力溶解使得不溶性矿物相对富集,故间隔劈理或剥离劈理可以称之为“压力溶解劈理”。②伴随压力溶解出现矿物反应,产生菱铁矿、石英和粘土矿物,粘土矿物的发育是由于长石、绿帘石受压溶劈理作用所致。③石英的压力溶解沿着不连续的劈理面出现,并且劈理面的出现是由于不溶性矿物集中的结果;④虽然在压力溶解劈理存在的区域内,硅表现为减少,而铁和钙却表现为变富。但是断面浓度表明,石英脉中含有的硅要比围岩中由于压力溶解所失去的硅更多; Fe_2O_3 和 CaO

在剪切带内部的浓度要比由于压力溶解而迁移到脉附近的 SiO_2 的富集来得更高。因此,在剪切带内由压力溶解所引起的硅的重新分布,不能说明脉中所有的石英,或者铁和钙所增高的浓度。⑤因此推测,物质经由一种孔液流相,从一个外部源地被带入到剪切带,即带入到剪切带内的有 Si 、 Fe 、 Ca 、 CO_2 、 H_2O 等。

2. 劈理发育期与成矿元素的活化、富集

M. J. 格列逊等在研究澳大利亚中维多利亚含金板岩带中变沉积岩内劈理发育期间金的活化作用时指出, Ti 、 Zr 、 Y 和 Ir 的含量,在劈理层中的含量要比在邻近的非劈理层中高二倍。而根据含金板岩中变沉积岩内劈理发育的不均匀程度,可以大致估计与在沉积岩变质作用期间有关的 Au 、 Ag 、 As 、 Sb 、 Cu 、 Zn 的含量。并认为,从页岩、粉砂岩、杂砂岩中释出大量的金(劈理化前金平均含量是 5.0×10^{-9} ,在变形变质期间只释放出 0.53×10^{-9} 的金),但它们不象是金矿床中金的来源。说得更恰当一些,金大概是从有着较高含金量的岩石中获得的。

R. J. Knipe 指出,在劈理发育时,化学过程和机械过程都是重要的,所有化学反应,都受到变形的影响。

由以上可见,裂隙构造变形和裂隙构造产生过程的化学变化是孪生的。裂隙构造提供了元素分异(富集和分散)的场所,裂隙构造产生过程中,发生了元素的重新组合。这个方面的研究,为矿床矿质来源的研究提供了一个方向。其实,层控矿床类型之一,实质上是构造成矿。由此推论,我们在灰岩地区所见的许多方解石脉,砂岩地区所见的许多石英脉,并非是岩浆热液作用形成,而是在构造作用下,诱发其它因素,共同作用下形成的。

三、褶皱构造地球化学

B. B. 别洛乌夫认为,地壳内物质沿层面的重新分配是褶皱作用的基础。即自下而上的构造压力集中并扩散在成层岩层的各部分内,和岩石形变的抵抗作用在一起引起岩层的不均一垂直压缩和材料沿层面的重新分配,这种分配就是褶皱作用的基础。很显然,褶皱作用中的物质塑性流动是非常发育的。

由于褶皱构造中不同部位的应力状况存在着差异,因此在物质成分上的分布也存在着差别。以铁石英岩在褶皱构造的不同要素中物质成分的变化为例:根据化学分析、矿物学和工艺研究,以及层和颗粒的工艺岩石学测定资料,查明铁石英岩物质成分的变化取决于它们在褶皱构造中的位置。这种关系表现为:①在整个含铁石英岩段中,小褶曲核部的铁含量要比翼部贫,平均贫3%;② Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 在褶皱核部要比在翼部高;③核部富碳酸盐;④褶皱核部的磁铁矿比翼部少4.8%;⑤褶曲核部石英含量要少4.1%;⑥矿层厚度在向斜核部要比翼部厚;⑦含铁石英岩中磁铁矿和石英的颗粒,在褶曲核部的要比翼部的大一些。

褶皱构造的不同部位,对不同成分的岩浆也起着一定的控制作用。即在褶皱构造作用控制下,酸性岩大都形成于拉伸带,即背斜鞍部或向斜槽部;基性岩大都形成于压缩带,即背斜、向斜的核部;而中性岩一部分形成于压缩带,一部分形成于拉伸带,占据中和面上下两方面的褶皱核部的空间。这种构造对岩浆岩的控制规律,推而广之,还可表现在较大的构造,即复背斜和复向斜等较复杂的中型构造,以至大地构造单元的正负单位。例如,地穹和地洼,地穹隆起区酸性岩浆岩发育,地洼盆地基性岩浆岩发育。

由上可见,一般在背斜部分较集中相对密度小、半径大和活泼性较强的元素,向斜部分较集中相对密度大,半径小和活泼性较差的元素。例如,湘西古丈县万岩溪基性超基性岩呈

岩床状,基本上为顺层侵入体,与地层一起经受了褶皱构造运动。在岩床的背斜部分,钠长伟晶岩体特别发育,钠长石晶体可达5cm左右,显然集中着Si、Na、K和稀有元素等。而在岩床向斜部分,则不发育钠长伟晶岩,基本上为基性岩类,显然集中着Fe、Mg、Cr、Ni等元素。显而易见,同褶皱构造运动的岩浆岩体,其分异、岩相、岩石类型分布,以及元素的分布,与褶皱构造的应力场特征有关。

由于褶皱构造常由成岩层岩石构成,而且背斜侵蚀显现明显,因此,由地层所显现的地球化学晕,与背斜构造相吻合。因此,地球化学晕在一定程度上可反映出褶皱构造。

四、断裂构造地球化学

断裂构造地球化学的正确称谓应为断层构造地球化学,由于习惯,才称作断裂构造地球化学。由于断裂构造与成矿关系密切,所以断裂构造地球化学的研究受到地质工作者的特别重视,这种研究对找矿勘探和成矿预测有着直接实际的意义。

近年来,国内外对断裂构造的地球化学问题进行了广泛而又深入的研究。

通过研究使我们认识到断裂构造地球化学系研究断裂构造形成、演化、发展和衰亡过程中所产生的地球化学作用和地球化学现象,以及对物质组分的生成、迁移、富集和控制作用,同时也研究地球化学过程对构造断裂形成机制的制约和影响。简言之,断裂构造地球化学就是研究断裂构造与地球化学的关系及其时空规律性的学科。研究它能有效地寻找矿体和矿床等。

不同规模、不同性质的断裂构造带所控制的沉积盆地,例如张性盆地和压性盆地,在沉积物的元素成分类型上以及外生成矿元素的富集上,存在着明显的差别。

不同性质、不同深度的构造断裂的形成,以及断裂构造的变形强度和不同部位,对岩浆成分、生成、演化和分异起着重要的作用,从而生成不同种类、不同成分的岩浆岩。因此,可以根据火成岩的物质成分特征(所谓应力元素和应力元素组合)来推论断定断裂构造的环境、性质和深度等(即所谓应力岩石和应力岩石组合)。

断裂构造活动与成矿溶液活动息息相关。故在断裂构造处常形成地球化学异常和矿床。因此,矿床存在的本身,就可被看作是一个大的、非常醒目的地球化学异常。按这种异常规模、范围、特征、组合等,可以推定断裂构造的性质、规模和深度等。例如,巨型矿床的存在常可作为深部断裂构造存在的标志。

断裂构造活动过程中,其化学作用非常复杂,有塑性流动、压力溶解、重结晶作用、元素的动力分异、断裂变质作用、水解和脱水作用、去硅作用、脱碳和成碳作用、氧化和还原作用、核反应、物质的带出和带入等。所以对断裂构造岩不仅要进行地质的、物理(力学等)的研究,而且还应该进行岩石化学、矿物化学、微量元素、稀土含量、同位素组成、同位素年代学等方面的研究,即进行地球化学的研究。一些研究表明,断裂构造的应力环境与其所影响达及范围内的元素和元素共生组合的分配,存在着密切的关系。如随着断裂构造内应力的递增和递减,有些元素作相应的或相反的有规律的分配,在不同性质的断裂构造中或同一断裂构造而不同应力部位中,不同元素作不同规律性的分配;在不同深度的断裂以及同一断裂的不同深度,元素的赋存状况也显示差别。所以运用地球化学标志(应力元素和应力元素组合等)来研究断裂构造的性质、期次、组合和剥蚀深度等,以及断裂构造的产生、发展、演化等,是非常有意义的。

由于断裂构造作用引起元素的聚散,当元素的聚积程度超过工业品位,并具有一定规模

时,则形成矿床。这种成矿作用可以称为断裂构造成矿作用,它是构造成矿作用的类型之一。断裂构造成矿作用为我们开阔了找矿思路,明确了新的找矿方向,增添了找矿远景地段。例如,某一著名内生金属矿山的主要断裂构造的地球化学研究表明,断裂构造在主要成矿元素的再富集方面起着重要作用,根据这种断裂成矿作用,我们积极提出建议,结果在以前认为无希望的断裂构造地段,找到了新的、富而多的 Sn、Pb、Zn 矿体。

内生成矿作用通常均产出有断裂构造地球化学异常标志,研究这些异常特征,是寻找和追索隐伏或半隐伏矿床的有效方法,同时也是研究成矿溶液来源、运动和演化的可行途径。

断裂构造地球化学作用与影响所及的岩石类型、组分等有关。化学作用在一定的程度上受原有矿物相的选择性分解作用所控制,在同种岩石或不同种岩石中,不同元素和同一元素有着不同的亏损和富集情况。因而,在断裂构造中,元素的分配不是简单地均匀化作用,或递增、递减的关系,而是一个复杂的过程。如有些被认为是不活动元素,但在断裂构造作用下,这些元素却变得比较活动;与之相反的情况也是有的。

断裂构造的地球化学作用,使得在断裂构造中产生了一套在地球化学、矿物化学、矿物相、结构构造等上与众不同的岩石。可见,断裂构造作用可以生成岩石,这种成岩作用可以称之为断裂构造成岩作用,它是构造成岩作用的类型之一。

断裂构造还会引起水、气、矿液、地下水、油气等的物理场和化学场的变化和破坏等。

断裂构造的地球化学作用,并不是简单地由应力或机械力所产生的。其实,伴随着断裂构造的孕育、产生、演化、衰亡的过程,不仅有应力作用,而且还会有热、电、磁、重力、光、声等的作用(以上可总称物理场),而且还有化学环境,如氢离子浓度、氧化还原电位等的变化(可总称为化学场)。由元素及其本身性质(物质场)以及断裂构造的物理场、化学场,才决定了断裂构造的地球化学特征。

五、不整合构造地球化学

M. B. 阿尔盖拉尼对英国等地一些不整合面的地球化学进行了研究后指出:① SiO_2 浓度的增加与硅化作用的增加相对应。② K_2O 与 Al_2O_3 的变化曲线在趋向上相似,这反映了分解的铝-硅酸盐及高岭石的存在,高岭石可能在不整合面上富集。③沿不整合面及含铁风化层 Fe_2O_3 含量增高,这是由于氧化还原成岩作用的增强所致,而且由于持久暴露使沉积物逐渐变红。④ MgO 的存在是不整合面附近白云石化的标志。⑤ CaO 曲线可作为砂岩中新导入亮晶方解石胶结物的显示。该曲线与 MgO 曲线对比,易于鉴定地下的脱白云石化带,这种脱白云石化带常见于在不整合面附近。⑥ P_2O_5 的存在是碳酸盐岩受磷酸盐化作用的标志,磷酸盐化作用需要有机物与盛行的还原环境相结合,不整合面附近 P_2O_5 的缺乏是不存在还原环境的间接证明,这提示了不整合面出露时期的氧化环境。⑦Sr是碳酸盐岩及砂岩胶结物良好的成岩标志,不整合部位Sr值的增加可能是新导入的胶结物堵塞了孔隙空间所致。而Sr的消减则表明已发生了白云石化及脱白云石化作用,通过溶解及沉淀(而不是固态扩散)作用导致了Sr的损耗。

不整合构造是薄弱面,当遭受构造变动时,易产生滑动、破碎和错动。它本身构成了低压应力、低化学位能场所。因此,成矿物质较易往这儿迁移、富集而形成矿床。例如,衡阳盆地金鸡岭铜矿和柏坊铜矿的一些铜矿床,就生成在这些地段,显示出构造因素是生成矿床的主导因素。

六、环形构造地球化学

环形构造是物质从地壳深处向地表迁移的一种形式,它显现出地球内部物质的旋转性,说明物质趋向于以最小的表面张力的形状进行运动。而这种旋转,深部的可能受地幔物质的涡流状运动所控制。

典型的环形构造由旋扭力和垂直应力形成,具有环形断裂、放射状断裂,甚至环形褶皱等构造形迹。例如,帚状构造、莲花状构造等。

O. N. 斯连北克(1981)在研究岩石圈旋转构造时指出:在旋转构造挤压区及下伏的变质带中富集较小的离子和原子半径的元素,形成晶体化学上的致密结构;而在较小挤压区和上覆变质岩中富集有较大离子和原子半径的元素和密度较小的封闭体矿物。

张治洮(1981)指出:新疆磁海矿田内杂岩体的不同岩相是由于旋转构造的动力分异造成的,中心偏酸性,外圈偏基性。

环形构造往往是成矿元素富集场所,并显现规律性分布,如江西某旋转构造,成矿物质聚集在收敛段1/3处;又如木龙沟旋转构造,铁的主要储量集中在砥柱靠近旋回层收敛的一侧和旋回层附近收敛地段,而Zn与Cu依次离砥柱较远区,Pb在旋转构造展布范围以外的附近地带。

七、火成岩构造地球化学

火成岩的岩石类型,矿物成分和地球化学特征,与它侵入的构造环境和生成时的构造应力环境十分密切。

A. 哈克(1896,1906)早就指出,大西洋型和太平洋型岩石这两大类火成岩与全球最重要的大地构造单元有着密切的关系。B. B. 别洛乌索夫(1953)认为:“对于地台现在发生着隆起和破碎作用的那些地方的巨大断裂地区说来,大西洋式的岩浆可作为其特征”,并指出太平洋式的岩类一般是褶皱地区所特有的。之后,T. F. W. 巴思(1962)强调指出,太平洋型和造山运动之间的关系,大西洋型和非造山活动之间的关系。

其实,以往有关花岗岩的成分特征分类,具有一定的构造含义。“钙碱性”花岗岩是火山弧岩浆作用的产物,“碱性”和“过碱性”岩浆与板块内部的环境有关,而“过铝”花岗岩主要是在大陆碰撞期间由沉积岩的深熔作用造成的。S型花岗岩被推断为大陆碰撞的产物,而I型花岗岩则被推断为科迪勒拉型环境和造山期后隆起的产物,A型和M型花岗岩分别包括了非造山环境和大洋岛屿环境下生成的花岗岩。

板块构造学说在探讨与火成岩成分的关系上,做了许多研究工作。

莫尔指出,从俯冲带向大陆内地,安山岩的含钾量逐渐增高,以及美国西部新生代火成岩的钾钠含量的比率,由西(海洋)向东(大陆)逐渐升高。迪肯逊和哈萨顿统计了美国太平洋海岸20多个火山地区的岩石化学成分及地震震源的深度,求出含钾量与震源深度的关系,名为 k/n 比率;以及含钾量与俯冲带(深海沟)到震中距离的关系,名为 k/d 比率。

在玄武岩的地球化学特征研究上,板块学说划分了岛弧玄武岩、洋中脊玄武岩和板内玄武岩等。M. R. 帕雷特和D. A. 葛斯特指出,原始的岛弧玄武岩和洋中脊玄武岩的主要元素组分是相似的,而同板内海洋玄武岩有显著的不同。相对于正常的洋中脊玄武岩和板内玄武岩而言,岛弧玄武岩的特征是富集了大离子的亲石元素,而高场力的离子(例如Zr, Nb, Hf)数量则较少。

I. M. Rooke 把非洲13个花岗岩体划分为二组:造山组和非造山组。他指出Si、 Fe^{+2} 、K和 H_2O^+ 的平均数值在二组花岗岩中没有什么显著的不同,而同种主要元素和一些微量组

分则显示出较大的变化:Al、Ca、Mg、Sr 含量在造山岩石内是低的,而 Fe^{3+} 、Na、Mn、Ga、Li、Nb、Y 和 Zr 含量高,并相对浓集,显示有一个较大的波动范围。造山杂岩之间的变化,比起非造山杂岩的而言,变化是较小一些。

W. L. Petro 等研究了挤压性和张裂性板块边界深成岩套主要元素的化学特征后指出,深成岩的主要元素成分能用来区分它们的构造位置。他所列的准则如下:①分异指数和标准矿物斜长石的频率分布表明,单峰(中性)分布是挤压性岩套的特征,单峰酸性是两可的。②张裂性岩套的钙碱指数介于50—56之间,而挤压性岩套的钙碱指数的变化范围是60—64,中间范围(56—60)是两可的。③张裂性岩套的 *AMF* 三元图与挤压性岩套的对比,数据点沿 *FM* 边较分散。富含碱金属的张裂性岩套的特点是数据在平行 *AF* 边的方向上分散。④过碱性岩石是张裂性岩套所特有的,而挤压性岩套往往含有过铝质岩石的频率较高。准铝质岩石在两类岩套中都常见。

B. H. 多夫加尔和 B. A. 舍罗基赫对不同大地构造位置的辉长岩和正长岩有关组合的岩石化学特征研究表明:化学成分差别见于地槽和非地槽辉长岩之间,部分见于地槽和非地槽似长石正长岩类之间,在碱度和暗色度上出现的差别具有一定的方向性。

火成岩体类型、成分与所处的构造位置也存在着密切关系。例如,科迪勒拉造山带,从靠大洋一侧向内陆,花岗质岩基成分发生有规律变化, SiO_2 和 K_2O (或 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)含量逐渐增高,而 CaO 、 MgO 和 FeO 的含量逐渐降低。

J. A. 皮尔斯(1984)按侵入构造环境,把花岗岩分为4类:洋脊花岗岩、火山弧花岗岩、板内花岗岩、碰撞带花岗岩。并运用痕量元素等成分进行了判别,指出洋脊花岗岩的特征是大多数元素的标准化值都接近1;火山弧花岗岩的特征是 K、Rb、Ba、Th 以及 Ce、Sm 比 Ta、Nb、Hf、Zr、Y 和 Yb 富集;板内花岗岩的共同特征是从 Hf 到 Yb 的丰度值接近标准化值, K、Rb 和 Th 的丰度值高;碰撞带花岗岩的特征是同期的则 Rb 含量特别高。

由上可见,火成岩构造地球化学主要是研究火成岩的物质成分(主元素、微量元素、稀土元素、同位素等)与地质构造(构造阶段、运动类型、构造环境、应力环境等)之间关系的学科。

八、沉积岩构造地球化学

沉积岩的岩石类型、矿物成分、地球化学类型与沉积盆地的构造环境有着密切的关系。

Crook (1974)和 Schwab(1975)指出富石英的岩石在岩石大多数上来自岩浆岛弧的火山成因来源区,石英含量中等的岩石主要与主动大陆边缘或其它造山带伴生。

M. R. Bhatia 认为,可以根据砂岩的主要元素成分来解释大陆边缘和大洋盆地的性质,并指出自大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘到被动边缘,砂岩的 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 、 TiO_2 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 递减,而 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}$ 则递增。大洋岛弧砂岩的特征是高丰度的 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 Fe_2O_3 和高含量的 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$,低丰度的 SiO_2 、 K_2O 和低 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 、 TiO_2 和高 SiO_2 、 K_2O 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 区别于大洋岛弧型砂岩;活动大陆边缘型砂岩的特点是高 SiO_2 、 K_2O ,低 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 、 TiO_2 , $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \approx 1$;被动边缘型砂岩通常富 SiO_2 ,而 Al_2O_3 、 Na_2O 、 CaO 、 TiO_2 则减少, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$,表明其经历反复循环和高度成熟。

九、成矿构造地球化学

这方面的研究,与其它方面的构造地球化学难以划分一个非常明显清楚的界限,因为其它方面的构造地球化学研究都或多或少地涉及到成矿问题,这里仅就成矿构造地球化学类

型一个方面,进行归纳。

成矿构造地球化学的研究,主要包括两个方面:一方面是成矿作用或成矿过程中的构造地球化学条件和构造地球化学作用。这一方面,在其它方面的构造地球化学中已有涉及,不在此多述;另一方面就是成矿构造地球化学类型的问题。

隆起区和拗陷区的成矿类型、作用等是有区别的(А. И. Перлибман, 1979)。按富集元素特点,前者为亲石—亲铜类型或称为硅铝质类型;后者为亲铜类型和亲铁类型,或称为铁镁质型和铁型。此外还有碱性—亲石类型,或称为碱性类型,以产于隆起区为主,拗陷区次之。

隆起构造的硅铝质类型分为二种情况:①陆源的,具有稀有金属花岗岩(类)的矿化作用,例如湘源地区;②陆源—碳酸盐的,具有稀有金属—硫化物—花岗岩类矿化作用。湖南香花地区的成矿构造地球化学类型,即属于此类。

拗陷构造的亲铜类型(或铁镁质型)为碳酸盐—陆源的,具有硫化物—硫盐—基性的矿化作用;亲铁类型或镁铁质类型为喷发的,具有硫化物—基性—超基性矿化作用。

碱性—亲石类型或碱性类型,通过构造的最深带,具有稀有金属矿化特征。

一个地区的构造历史背景如何,往往对成矿起着一定的作用。例如 В. А. Обруцев 及其继承者查明的外贝加尔块状构造中,锡矿床和钨矿床常赋存在前侏罗纪时期,稳定地下沉,而中生代时上隆的地区;萤石矿床则赋存于古生代和中生代上升的地区。

总之,成矿构造地球化学类型的划分,一般可分为4类:①亲石型构造地球化学类型;②亲铜型构造地球化学类型;③亲铁型构造地球化学类型;④碱性型构造地球化学类型。自然,还存在着它们之间的过渡或混合类型。

十、深部构造地球化学

一些地球化学问题以及有些规模巨大、成分复杂的地球化学异常,无法用地壳构造特征来解释。因此,迫使人们注意到地球的深部构造。

不同厚度的地壳聚积着不同的元素。例如,较薄的地壳富集 Au 和 Cu,中等厚度的地壳富集 Pb 和 Zn,较厚的地壳富集 W 和 Sn。

同一元素在不同厚度的地壳中,行为、性状有异。例如 Sn,在地壳厚度较薄的地方(30km 左右),呈现出亲硫性,或亲铜性;而在地壳厚度较大的地方(40km),则呈现出亲氧性。

不同成分性质的地壳类型,富集的元素亦有差异。例如,硅镁质型地壳,富集元素有 Cr、Ni、Co、Pt、Ti、V、Au 等,而硅铝质型地壳,富集的元素则为 W、Sn、Bi、Mo、Pb、Zn 等。

莫霍面的起伏与火成岩的成分呈现出相关性。慢凹区以分布 S 型花岗岩为主,慢隆区主要分布 I 型花岗岩;慢凹区酸性火山岩表现出强烈的 Eu 亏损,慢隆区的火山成岩总碱量及 Na/K 值均较相邻慢凹区为大。

深部构造决定着成矿元素的聚积,例如浙江,上地幔构造凹陷为 W、Sn、Au、Ag、Hg、Sb、U 异常的集中分布区;上地幔隆起区则主要出现 Cu、Mo 异常区;Pb、Zn 异常区分布在慢凹与慢隆的过渡带。

特别要注意的深部构造是根部进入到上地幔的深断裂,它们绵延几百至数千公里,宽达几十公里,存在时间以纪和代来计算。通过深断裂,上地幔和地壳深部同地壳表面发生联系。深断裂有着星体特征,是“直通的”,即切割了地壳的各种各样的构造,因此,М. Л. Фаворская (1974)等称之为“穿透构造”。一些穿透构造对巨型矿床起着“聚矿构造”的作用。

产在穿透聚矿构造中的规模最巨大的内生金属矿床,实质上是与上地幔物质成分密切相关的地球化学异常。因此,巨型金属矿床可作为“地球化学异常”来研究,它是深部构造的指示,这种指示就像出现玄武岩和超基性岩浆作用一样,具有决定性意义。

聚矿构造断裂系统控制着特殊的岩浆作用,因此聚矿构造是特殊的深部渗透带。

我国东部的东北地洼区和华北地洼区分界的白云鄂博—开原深断裂为穿透性聚矿构造,沿着深断裂带自西向东分布有白云鄂博(稀土)、黄岗梁(Sn)等超大型矿床,而且还分布有大型的S、Cu、Pb、Zn、Au等矿床。

深部构造带还可以整个西非的活化带为例,它延伸数千公里,穿过了不同年龄(从太古宙到古生代)的岩石。在整个的区间内,以碱性花岗岩类的中生代地块最为特征,这些地块富含稀有元素、W、Sn等。

水氦组分的含量可以作为深部构造的地球化学信息,即利用水氦的水化学异常来解决地质构造问题。例如,前苏联爱沙尼亚共和国,利用水中氦测量,在 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 范围内,获得很好的线异常,成功地圈定了深大断裂,与物探和地质原来的推断十分吻合,并又新发现了几个新的深部构造带。

十一、地震构造地球化学

震源区位于地壳深部或是上地幔甚至更深。在每一次大地震之前,均出现大量地球化学场的前兆异常,这种地球化学的前兆异常是由震源区的物理化学过程所决定的。因此,开展这些部位的应变和物质组成变化关系的研究,是地震构造地球化学的基础理论课题之一,而这也是深部构造地球化学和大地构造地球化学的基本理论问题之一。

地震构造地球化学观察,一般是以水氦为主,但对水氦异常,一定要确定它的正常值变化,排除干扰因素,才能判断出是否为真正的异常,才能更有效地突出地震异常。氦是惰性气体,来源于地下深处,在地震构造作用的地应力影响下,可以从地应力大的深层地下水挤向地应力小的地壳浅处,导致浅层地下水中氦含量增加。活动性断层使岩石破裂,新生成的破裂面其化学活性非常强烈,在较低温度下由于接触反应而析出氢气,且逸出氢的同位素比(D/H),具有较低值(470‰—770‰)在大、中地震前,还出现CO₂等的前兆异常。

此外,观测的地球化学内容还有水中离子、稳定同位素、放射性同位素、氧化还原电位、酸碱度等。

十二、大地构造地球化学

大地构造地球化学的问题将在下面予以阐述,在此顺便阐明一下与大地构造地球化学关系非常密切的区域构造地球化学。前者范围较大、概念抽象一些;后者范围较小、概念具体一些。

区域构造地球化学是研究区域构造(构造分区、构造带等)与化学元素及其同位素之间时空分布规律、生因关系等方面的一门学科。

区域性的壳幔结构、原始组成不均,决定了元素分布的不匀。例如浙江省,Sn元素基本上集中于温州—金华断裂带一线之南西侧,而北东侧,至今未见有锡元素富集的现象。

区域构造发展历史不同,元素分布也显出差异。因为在不同的构造发展阶段进行着不同的地球化学过程,有着不同的地球化学条件和地球化学特性,故在不同构造发展阶段的区域,有着不同的元素分配状况。

元素的分布特征与区域基底构造性质有关,如果是古老地台基底,则亲铁元素发育,分