

地球化学异常评价 文集

吴昌荣 编



中国地质学会勘查地球化学专业委员会出版

1989



地球化学异常评价文集

吴昌荣 编



中国地质学会勘查地球化学专业委员会出版

一九八九年三月 秦皇岛

内 容 简 介

本文集是一本地球化学异常评价方面的专门材料,它从不同侧面阐述了地球化学异常的形成机理、模式特征、解释评价、推断预测的思路、程序、方法;介绍了成功与失败的案例等。一定程度上反映了文集作者多年教学、科研、生产的成果。

本文集理论结合实践,内容丰富新颖,从中可了解到本学科领域的发展概貌。本书可供地质、冶金、有色、核工业等部门化探工作人员、找矿勘探的地质、物探人员使用,也可供地质院校有关专业师生参考。



地球化学异常评价文集

吴昌荣 编

中国地质学会勘查地球化学专业委员会出版

责任编辑 赵善仁

河北抚宁印刷厂印刷

(河北秦皇岛市)

开本787×1092 1/16 印张 11.5 字数276千字

1989年3月第一版 1989年3月第一次印刷

印数0001~2000册 定价6.00元

前 言

化探方法的地质效果和经济效果是举世公认的。目前，国内的地矿、有色、冶金（包括黄金）、石油、煤炭、建材、核工业等各大系统，几乎都把化探视为重要的手段而普遍用于地质勘查中，解决找矿及基础地质问题。近年来，金矿勘查的实践证明，化探也是寻找黄金等贵金属矿产最有效的方法之一。据统计，在上述各大系统的地勘费中，用于化探的比重在逐年增加，投入化探的工作量在逐年增多，发现各类地球化学异常也呈直线上升。但在化探工作中困扰我们的最大的难题，依然是化探异常的解释、评价、验证、追踪，即区分矿异常的问题。为了提高解释、评价化探异常的学术水平，提高化探工作的地质（经济）效果，加速我国化探事业的发展，中国地质学会勘查地球化学专业委员会于1988年8月在秦皇岛海滨，举办了“地球化学异常评价学习班”，聘请谢学锦、张本仁、欧阳宗圻、邵跃、吴锡生等化探界知名的专家、教授，分专题进行了讲课。参加学习班的120多名学员（来自地矿、冶金、有色、黄金、核工业、地质院校各系统），一致反映内容丰富、效果很好。为使同行们了解学习班上讲授的内容，我们根据讲稿、讲课提纲和录音磁带，整理成《地球化学异常评价文集》一书，内部出版发行，以便获得完整的资料，在化探实际工作中更好地起到参考、指导的作用。

《地球化学异常评价文集》的出版，得到了东北工学院秦皇岛分院部分同志的大力协助：物化探系化探教研室赵善仁同志在录音整理中，耗费了大量的时间和精力；高太忠同志清绘了全部图件；物化探系分析室江永贞同志承担了全书校对。他们为本书的出版，作出了积极的努力。

编 者

地球化学异常评价文集

目 录

1. 区域地球化学异常评价……………谢学锦 (1)
2. 成矿成晕理论与地球化学异常评价……………张本仁 (8)
3. 矿区地球化学异常评价及实例……………邵 跃 (48)
4. 提高地球化学异常评价水平的途径……………欧阳宗圻 (60)
5. 区域地球化学异常评价中的几个问题……………吴传璧 (98)
6. 金矿床地球化学异常评价……………李 惠 (107)
7. 多元统计在地球化学异常评价中的应用……………吴锡生 (130)
8. 区域化探异常评价程序与方法……………吴昌荣 (157)

区域地球化学异常评价

谢 学 锦

这次讲课主要讨论区域化探异常的评价问题。至于局部异常评价问题，后面还有许多同志要详细论述。当然，区域化探异常评价的讨论，有许多方面也适用于局部异常。

一、地球化学探矿(化探)研究的现状

地球化学探矿有三个组成部分，即：野外采样、测试分析、异常评价。

1、野外采样

野外采样的研究最为领先，目前已能满足区域化探的要求。

区域化探的野外采样工作，开始侧重于区域性岩石测量，但后来很快就认识到岩石测量对区域性化探并不是最好的方法，因为组成岩石的成份是很不均匀的。后来，区域性化探工作就转向水系沉积物地球化学测量。

水系沉积物测量不仅用于研究区域远景，而且用来找矿以及解决许多基础地质问题。这一方法具有样品代表性强，效率高，成本低等特点，从而成为目前世界各国全国性填图计划中使用的标准方法。

由于全世界大面积填图的需要，在各种特殊环境中，研究了特殊的区域化探采样方法。在这个方面，过去集中研究冰积物复盖地区。这个问题解决后，现在重点已转移到干旱荒漠地区及风化淋滤甚深的地区，同时，在采样物质的研究上也取得了数次重大突破。

野外采样研究工作的另一个重大进展，就是从高密度到低密度，再到超低密度。地矿部区域化探全国扫面使用 $1\text{点}/\text{km}^2$ 的密度，当时许多人担心太稀，现在则认为是较高的密度了。在一些较大的国家，现在都用十几平方公里、几十平方公里、甚至几百平方公里一个点的密度。例如，北欧三国的联合填图计划所用密度是 30km^2 一个点。而芬兰的全国性填图计划所用密度则低到 300km^2 一个点。所以在某种意义上，我们可以认为，整个化探的历史就是一个放稀密度的历史。放稀密度使一切现代化技术都引入化探，从而促进了化探的发展。

综上所述，可以看出，化探的三个组成部分中，野外工作的各方面技术是遥遥领先的。

2、测试分析

测试分析的研究落后于野外采样方法的研究，它还不能满足区域化探多元素分析、多元素成图及多元素解释推断的要求。

五十年代，西方快速比色方法仅测定一些单项指标，而苏联的半定量光谱分析声称分析数十种元素，实则大部分元素检出限也不符合化探工作的要求。六十年代，西方开

始使用快速半定量光谱方法,其中美国地质调查所Myers的六阶梯减光板半定量光谱法能扫描68种元素。苏联在测试分析方面没什么大的进展。这一时期,西方的突出成就是用原子吸收法代替比色法作单项元素的分析,效率与精度都有很大的提高。六十年代后期到七十年代,西方开展区域化探,认识到高精度多元素分析的重要性,因而开始使用快速定量光谱分析方法,随后使用直读光谱分析法。七十年代后期到八十年代初,进入多元素分析时期,开始使用X-射线荧光光谱、ICP光谱及中子活化方法,用计算机或机器人辅助操作,使分析工作高度自动化。现在,许多人认为多元素分析问题已经解决,而实际上并没有彻底解决。主要问题是许多关键性元素的检出限远远达不到要求,准确度还不够高,存在各种各样的偏倚,使得数据难以对比。

3、异常评价

异常评价只有建立在前两者发展完善的基础上,才可能发展完善。要真正做好异常评价工作,仅研究单元素是远远不够的,必须有一个多元素的思路。而现有能进行多元素分析的仪器及分析方法,对地壳中丰度最低的十余个“关键性元素”都得不到满意的结果,其检出限太高,信息量不够。另外,不同地区、不同分析结果中尚有严重的偏倚,无法对比,因而,作不出高水平的全面的综合研究。这两个问题一直没有解决。

1987年提出的国际地球化学填图计划,把解决上述两个问题提上了日程。我国区域化探全国扫面计划一开始就重视这两个问题。这项计划已取得的大量资料为进一步发展完善异常评价提供了条件。现在的问题是需要领导部门的远见与增加投资来开展这项工作。

二、地球化学异常评价的参数

地质找矿法主要研究矿化露头的品位、矿化体的规模与矿床经济价值的相关性。化探法则主要研究化探异常的强度、异常的面积及规模与矿床经济价值的相关性。可是,长期以来人们对区域性异常与地球化学省及其关系并无深刻认识,因为大规模的地球化学填图工作还没展开,即使展开了,某些关键性元素的检出限也未达到要求。所以,迄今未能取得较多的区域性异常与地球化学省的资料。

我们认为,评价化探异常不能只评价局部异常,而首先要评价区域性异常,因为大的矿床与区域性异常有关。如果区域异常有几百平方公里的规模,一般对应大矿;而几十平方公里的区域性异常,有可能对应着中型矿床。

1、单元素(成矿元素)参数

强度:包括绝对强度和衬度两项指标。其中强度指标是不稳定因素,易受地表许多因素干扰而致相对增强或减弱。

面积:是相对稳定的参数。异常评价不仅要注意浓集中心的面积,更重要的是必须重视区域性异常的面积。例如,某地区有一断裂带,断裂带上一有金矿点,以前工作重点放在此处,但没有或只有很弱小的异常,找不到矿。后来工作重点放在附近金元素的区域异常中,一举找到了大型金矿。

规模:就是强度乘面积。可用三种不同的表达方式来衡量:①面金属量(AP)—— $AP = (\bar{C}_a - \bar{C}_b) \times S$, 其中 $\bar{C}_a$ 为异常样品含量平均值, $\bar{C}_b$ 为背景样品(含量低于异常下限的样品)含量的平均值, S为异常面积。②规格化面金属量(NAP)—— $NAP = \frac{\bar{C}_a}{\bar{C}_b} \times S$, 这是我们提出来的表示元素规模的参数,它对于不同元素的异常可以对比,也

到小排列。若某元素排在第一位，且占的比例特别大，则这个元素为主成矿元素，而别的成分可能没有什么经济价值，同时也标志这个矿很可能出露地表了。如果这个异常的前缘元素占的比例较大，说明这个矿还有一定埋深。

多元谱图：它实际上是一种图解。可用各种各样的方法做，例如既可用上述讨论过的方法做，也可以用下面的方法作。首先把元素分成若干组，如亲硫的元素、亲石的元素等；而亲硫元素又可分成高温、中温、低温，这样既可以做一个很长的元素谱，也可以做一个很短的元素谱。统一规定后，每张图上的异常都可以拿来对比。这里不但可以对比异常，而且可以对比不同的地质单元、不同的岩性特点等等。

相似性：元素组合的一些数据也可以拿来对比，例如多元统计的相似性方法（判别分析、聚类分析及因子分析等）。这些统计学方法可用NAP作参数。若用异常强度做参数，意义是不大的。

④区域元素分带

分带评价值 $\left(= \frac{\text{前缘元素累加或累乘值}}{\text{成矿元素或尾部元素累加或累乘值}} \right)$ ：用这个指标可以判断异常所

反映的矿体的剥蚀深度。

相对元素相规模（RFM）：

$$RFM = \frac{FM_1}{FM_1 + FM_2} \quad \left(\text{或} \frac{FM_2}{FM_1 + FM_2} \right)$$

式中：FM₁——在硫化物相中的元素规模；FM₂——在氧化物相中的元素规模。根据RFM值的大小可以判断矿床的剥蚀程度。

⑤诊断性元素

诊断性元素就是含量特别低的元素，例如Au、Pt、Tl、Re。我们在许多地区都能找到区域性规律，这就是一个矿床的价值可以用诊断性元素来评价。例如一个多金属矿中出现了金，这个矿床的价值就不一样。大的铜镍矿与小的铜镍矿中铂的含量就不一样，所以铂的含量可以指示铜镍矿的大小。不同的斑岩铜矿中铼的含量也是不同的。这些诊断性元素也可以作为我们评价异常的参数。

⑥诊断性矿物

诊断性矿物是指能反映其类矿床价值的特征矿物。它也许对我们的异常评价十分重要。例如与基性岩有关的一些大金矿，它的云母主要是铬云母，所以铬云母的含量可以用来评价金矿的价值。

⑦相关性

若能写出一个异常元素组合相关关系的表达式，画出一个相关的关系图，反映它和不同元素异常空间上迭加的相关关系，就会对我们的异常评价起到重要的作用。

除上述提到的参数外，近年来，用Pb同位素的方法来评价多金属矿床越来越受到重视。此外，还用许多元素对比值（如K/Na、Li/Mg）或挥发性元素的存在与否等指标来判断成矿的有利环境。我们要开阔思路，充分利用一切有用的地球化学评价参数，力求得到更多的找矿信息。

三、参数表达方式

在地球化学异常的解析推断中，数据表达得好，就易于看清问题，启发思路。在各

种不同的参数中，既有原生的，也有次生的，还有不同级次的（如单个参数是一级的，长度乘面积是二级的，再进行加减乘除就是三级的了）。要把这些参数用得好，用得合理，其表达方式就显得非常重要。在这方面我们有几种较好的方法推荐给大家使用，如RESMA系统（快速评价筛选多元异常，谢学锦）。它能使异常与背景分开，在此基础上，还可以让异常与各种地质情况（岩浆岩、构造、矿源层等）分别套起来。这里既可以把各种异常都画进反映某一地质情况的底图中，也可以把单元元素的异常重迭画在一起，还可以画 MAV_1 、 MAV_2 多元异常。例如在矿源层与异常套起来的这张图上，就有可能清晰地看出一些规律，如离矿源层多远的地方有利于成矿，或者原来认为是矿源层的地方，现在看起来并没有多大可能等等。这样你就会萌发出许多思路来，这对于建立区域成矿模型、指导异常评价及找矿有很大启示和帮助。

RESMA系统的目的，就是希望把多元素信息比较清楚地展现在使用者面前。然后，根据使用者的经验来进一步推断解释。这个系统的第一步工作就是作出一张背景与异常的分量图。首先要做一个连续的背景面（不是一个数值，是一个起伏变化的面）。方法是用移动平均。过去使用这种方法时，大窗口开得太小，结果做出的剩余把异常的许多成分都混到背景里了，使异常变成非常零碎的小块。过去，窗口开 36km^2 ，后来开 100km^2 ，都太小。窗口要开多大，与区域性异常大小有关。在我的系统里规定开到 400km^2 ，但这样的窗口对许多大的区域性异常还是不够的。所以我采取把高的背景稍为削平一点的办法，在一幅图内提取出一个临界值来。这个临界值的求法就是将整幅图求平均值，求标准离差，把大于平均值加三倍离差（ $\bar{x} + 3\sigma$ ）的数据全都消掉，再计算平均值、标准离差，再消一次。如此不停地消，消到第 n 次，没数据可消了，最后得出的平均值（ $\bar{x}_n$ ）加一倍或两倍标准离差（ σ_n ）就可以作为临界值了。然后，做移动平均时开一个 400km^2 的窗口，窗口里面所有数据凡是大于 $\bar{x}_n + 2\sigma_n$ 或小于 $\bar{x}_n - 2\sigma_n$ 的都相应地用 $\bar{x}_n + 2\sigma_n$ 或 $\bar{x}_n - 2\sigma_n$ 代替。这样就可以作成背景面（图1-1）。从图上可以看出，对于跳跃起伏的实测数据，若参照消掉前的背景，所得异常零乱，不连续，而且常常伴随很大的负异常，这个负异常是假的，给评价带来了困难。若参照消掉后的背景，这个异常变得很清晰，很大。所以，我们对特别高、特别大（几百平方公里）的区域异常适当削平一点是很有必要的。

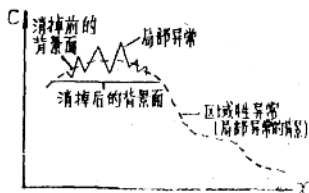


图1-1 $\bar{x} \pm 3\sigma$ 以外数据消掉前后的背景面与异常的关系

上述参加计算的数据不是原始含量而是衬度。但临界值还是含量，以它作为一个背景面。以背景面求得的剩余就是异常了。为了研究负异常，可将每一点的数据除以背景值，得出的就是衬度。用衬度表示，正、负异常都能显示出来，否则负异常含量低，无法研究。另外，用衬度计算NAP值也很方便，将它直接乘以面积就可以了；如果能确定密度（采样点均匀分布），则直接乘以点数就更简单。

RESMA系统的第二步工作就是把全区各种不同异常组合起来，求出元素组合表达式。对于每一张图，要看清它的元素组合非常困难，仅靠人的记忆是不够的。我们用电

子计算机计算,规定只要多元元素异常的重迭率达到50%就可组合在一起,最后得出多元素异常串(元素组合)。

四、异常评价方法与程序

(一) 异常评价的思路

- 1、清除假异常。假异常一般是内生与表生因素造成的。
- 2、挑出离群值。把它作为异常对待。
- 3、直观评价。关键在于作好各种解释推断图件。
- 4、分类与评价。①仅仅依靠地球化学参数;②地球化学参数与地质因素结合。既可以用直观经验方法,使用经验公式;又可以建立数学模型,如回归方程、判别方程、相似性等。

(二) 异常评价程序

A、区域性异常评价应遵循的原则

- 1.要与采样、分析联系起来。若采样合理、分析正确,异常评价就变得比较简单。有时仅根据异常面积、强度等简单的参数就能把问题解决。反之,如果采样、分析不正确,即使以后用很多深奥的学问来研究也是徒劳的。
- 2.解释推断要反复深化。通过异常排序,排在前面的把握性较大的异常,可以用比较简单的方法直接检查,而排在后面的把握性不大的异常用较复杂的办法反复分析研究。
- 3.应遵循解释推断与具体工作穿插进行,主观方法与客观方法轮番使用的双向推理过程。这一过程就是用几个参数、某一公式或某种方法进行解释推断,得出的结果再判断它对还是不对,然后决定下一步工作。这样一些思路将来最好是用计算机人工智能来解决。
- 4.应分矿种、分层次进行评价。

(1) 第一层次按地表露头矿的评价准则作第一批筛选。我在《区域化探》那本书提出的准则看来仍然有用,只是现在可以给这些准则数字化了。这些准则是:①面积;②强度;③规模;④组合特征;⑤分带特征;⑥地球化学省;⑦有利地质环境;⑧与已知矿床的相似性。前五项准则对于浓集中心及区域性异常都要分别考虑。用这些参数(准则的数字化)可建立经验公式,但最合理的办法还是排序计算总分。最显著的异常也许简单地根据异常规模就可选出来。

(2) 第二层次是评价隐伏矿。也可以用上述准则,但更要重视组合及分带特征。这样就可把第一层次评价中排在后面的异常提到前面来。对隐伏矿的分带,不妨多用几个参数择优确定。同时,与已知隐伏矿的相似性也是十分重要的指标。

(3) 第三层次是评价有利的地质环境。可以先做一些解释推断图,然后建立区域成矿模型。例如成矿与岩浆岩的关系如何;与那些构造最密切、最有利;与那些矿源层有关等等。经过上述分析研究,就可将这些有利的地质因素定量化。在此基础上,把整个异常图打成若干格子(格子大小约为 100km^2),分别计算每一单位格子的地质环境有利因素,得出一个数值。这样我们就可以看出那一个带是最有利的成矿地带。再以这张图为背景,将异常绘在上面,我们就知道那些异常是最有利的。最后结合前面两个层次得出的结果,作出自己的判断。这也许比提出经验公式(往往是根据不足的)更合理一些。

B、详查中异常评价应遵循的原则

1.详查中地质、地球物理、地球化学的结合要比区域性异常评价中这三者的结合重要得多。这时化探资料更加依赖地质及地球物理资料来解释评价。

2.化探详查技术在最近十年里有很大发展，有很多新方法可以用来解决各种地质问题，如水化学方法、地电化学法、生物地球化学方法等。在详查中，使用这些新方法，会起到很好的作用。

3.详查需要一套很好的评价分散矿化及剥蚀深度的方法。要总结一些例案，从中得出一些评价异常的新方法、新技术。

五、金矿评价的一些特殊问题

在我国，找金主要靠化探。近几年来，用化探找到了许多金矿。在我国区域化探中一定要分析金，并要求金的分析灵敏度达到0.2ppb，这比国外50ppb的灵敏度高多了。这样我们就能发现金的低弱区域性异常，这对于找金及异常评价都有重要意义。

另一个问题，就是原生金颗粒到了水系沉积物就向两极分化，出现一些粗颗粒，还有一些非常细的颗粒。天然条件下，金的颗粒既可以一层层地沉淀再生长成较大的颗粒，也可以被粘土矿物吸附变成非常细的颗粒。为了避免这些影响，我们只考虑2~6ppb之间的低含量。即使第一次分析结果为100ppb，第二次分析结果为8ppb，我们也认为它有价值。因为2ppb作为区域异常，6ppb就是浓集中心了。做移动平均时我们不要用平均值，特别不要用算术平均值，最好用中位数。我们在异常评价中不要被个别高含量点所迷惑，而要重视异常面积和离散度这些参数。

判断金异常指示的矿体是不是盲矿，要在附近已知金矿上取得一些资料后才能对比确定。在这方面可以研究Au矿的存在形式，分析Au是在氧化物中还是在硫化物(如黄铁矿)中，是在大颗粒中还是在小颗粒中等等。金的存在形式在近矿地段与远矿地段也是不一样的。判断金矿的剥蚀程度仅靠元素分带是不够的，必须结合Au矿的存在形式去研究，另外还要开辟一些新的思路来解决这个问题。

异常评价方法，程序尚在探索发展和完善之中，上述讨论仅是一些设想，供同志们参考。

录音整理 赵善仁

审阅修改 吴昌荣

成矿成晕理论与地球化学异常评价

张 本 仁

(中国地质大学地球化学系)

前 言

当前勘查地球化学前进中遇到如何进一步深入发展的问题。这在国内勘查地球化学发展方面显得尤为突出。我认为这里存在的最大的困难或问题就是如何将地质语言同地球化学语言相互沟通起来。现在由地球化学测量所获得的异常图同地质图相对照时,对简单明显的地质情况尚能沟通,例如Ni、Co、Cr高值区反映基性岩类分布区等;而情况稍复杂时,元素含量、组合与地质对象之间的关系就难于理解,缺乏相互沟通的桥梁,结果异常评价往往只能是就异常评异常。若要顺利地把地质信息转变为地球化学信息,将地球化学信息转变为地质信息,就要在地质与化探之间架设一座能够相互沟通的桥梁,请出一位高级翻译。这桥梁或翻译就是地球化学。

地球化学实质是研究地球物质化学运动形式的科学。她是地学的基础学科之一,是地质化的化学。当前,构造地质(研究地球物质的力学或机械运动形式)、地球物理(研究地球物质的物理运动形式)和地球化学(研究地球物质的化学运动形式)的综合研究及联合作战已经成为解决任何地质问题的发展趋势,再加上数学地质处理上述三种形式运动的数量关系,构成了地球科学与地质学全部四个基础。

现代地球化学已经参与解决许多地球科学与地质学问题,如前寒武纪地壳发展演化问题,古板块构造问题,岩石成因、地层对比及成矿规律等。在解决上述问题,特别是解决成矿成晕及异常评价问题时,应注意发挥地球化学独立学科的优势。地球化学自身有其独特的方法论与方法学,故不应降为地质学方法的附属。地质学不等于地球化学,地质加化探也不等于地球化学。上述提到的现行化探中存在的突出问题——元素等值线图与地质图之间的“语言不通”,异常评价就是地质前提加上就异常评异常——就在于未很好发挥地球化学学科的优势。

要发挥地球化学学科优势,掌握具体的地球化学理论和方法固然重要,但更重要的是要有地球化学思维——会应用地球化学的观点来看待地质课题、地质作用、地质现象、地质环境与条件等。地球化学基本观点起着方法论的作用,具有战略性的意义。不掌握地球化学的基本观点(方法论),地球化学具体的理论、方法就不能充分发挥优势,其结果仍是“地质学头脑”加“地球化学数据”。

因此,这次讲课的内容分三个方面:(1)地球化学的基本观点(思路);(2)成矿成晕的地球化学分析;(3)改变异常评价的可能途径。

第一章 地球化学基本观点

根据现代地球化学基本思想与个人在实践中的体会,初步总结出以下几个地球化学

基本观点。这些观点可能有助于今后地球化学作用的充分发挥。

一、地球化学系统的观点

地球化学研究对象不能简单理解为研究地壳、地球中的化学元素，而应扩大到地球化学系统。地球化学的任务应是研究各种地球化学系统的组分、作用和演化，其中也包括系统内部每种元素的迁移与演化。

元素活动不是孤立的，而是受一定系统控制的，所以：（1）由于实验室与工厂的体系与地球化学体系的不同，所以元素化学行为常常也不同于地球化学行为。例如Li、Na、K、Rb、Cs在化学性质上是相似的，只是在碱性强弱上有一些量的差异而没有质的不同，故属于碱金属；然而，它们在地球化学行为上却有很大差别：Na和K为造岩元素，形成大量造岩矿物；Li、Cs为稀有元素，只在少数特殊条件下形成独立矿物；而Rb为分散元素，在地壳中未发现它的独立矿物。（2）不同地球化学系统中元素行为不同。例如在大陆地表系统——淡水中， SO_4^{2-} 低，Sr、Ba具有相同的活动性；而在海洋系统——咸水中， SO_4^{2-} 高，Ba的溶解度小，属活动性小的元素，Sr的溶解度大，仍是活动性大的元素。因此，根据沉积岩中Sr/Ba比值可区分它是陆相沉积还是海相沉积。

地球化学系统观点的实际意义是：

1、研究局部问题时应考虑全局；研究矿床、矿带时要考虑区域地球化学系统特征。例如东秦岭Mo矿带，Mo矿丰富、Cu矿很少就是由大体系（区域岩石圈）的特征决定的。我们在东秦岭计算了上地壳的丰度，Mo在北秦岭矿带所在的上地壳中只有1.85 ppm，在秦岭槽区只有0.96 ppm，与整个地壳丰度1.1 ppm（维，1962）相比，本区地壳并不明显富Mo。我们又采用以下两种途径初步研究了秦岭地区上地幔的情况：（1）应用变质拉斑玄武岩、变质玄武岩、辉长岩、辉绿岩等幔源基性岩类的地球化学资料，来间接粗略地反映深部（上地幔）的地球化学特征。从表2—1可看出，本区内凡是幔源

表2—1 东秦岭基性岩和中性岩中Mo、Cu、Pb、Zn的平均含量

岩石类型	地层单位或产状	同位素年龄(百万年)	元素平均含量			
			Mo	Cu	Pb	Zn
变质玄武岩	太华群(24)	2600	5.2*	34	5	80
安山岩	熊耳群上组(40)	1320	6.7	14	35	105
	熊耳群中组(34)		4.6	14	39	127
变质拉斑玄武岩	宽坪群(11)	1108~1404	9.3	43	20	205
辉长岩	元古代岩墙(33)	734	2.5	4	7	98
辉绿岩	太古代基底岩墙(33)		8.2	24	20	336
闪长岩	元古代岩株(21)	510	4.6	22	33	274
变质拉斑玄武岩	雁岭沟组(81)	<600	3.4	59	13	110

* 44个样品的平均值。样品数在表中第2列括号内给出。

的岩浆岩都是富Mo贫Cu的。（2）按林伍德（A.E. Ringwood, 1975）地幔岩模型，利用基性岩和超基性岩数据，进行加权（1:3）平均求得本区上地幔元素含量（见表2

—2)。从表中可以看出, 本区上地幔富Mo、Pb, 贫Cu。因此, 本区Mo、Pb可以形

表2—2 东秦岭基性岩、超基性岩、上地幔元素含量与世界丰度对比

岩石类型	元素含量 (ppm)							备注
	Cu	Ti	Co	Ni	Cr	Pb	Mo	
本带超基性岩	20.4	<60	133.5	2313.3	3259.6	74.0	11.5	* 据维诺格拉多夫, 1982
世界超基性岩*	20	300	200	2000	2000	0.1	0.2	
本带基性岩	77.2	3876	31.4	58.5	7104	80.9	10.8	
世界基性岩*	100	9000	45	160	200	8	1.4	
本区上地幔	34.6	1007	108	1750	2462	75.8	11.3	
世界上地幔	40	2500	161	1540	1550	2	0.5	
球粒陨石*	100	500	800	13500	2500	0.2	0.6	

成优势矿产, 而Cu矿则很少。说明本区的成矿专属性是由深部而不是由浅部地球化学特征决定的。由此可见第一个观点的重要性。在从事矿床矿带工作时, 必需具有系统的观点, 充分考虑区域地壳或岩石圈的地球化学特征; 而在研究区域问题时, 则需具有全球观点。

2. 分析元素活动迁移规律或研究成矿成晕问题时, 要联系特定地球化学系统特征。例如, 对于热卤水成因的同生沉积层控型矿床, 就不能按照一般典型热液矿床的研究方法来研究。

二、地球物质的化学运动形式与其它运动形式相互转化与彼此制约的观点

因为各种运动形式是统一物质运动的组成部分, 它们既是密切联系, 又是相互转化、相互制约的。例如, 构造运动可以改变应力场和热力场, 从而导致地球化学运动——变质分异与物质部分熔融及其相伴的元素再分配。反之, 放射性元素的丰度与分配(地球化学因素)又决定着地球的能源与热场分布, 影响与诱导构造运动。

这个观点的实际意义为:

1. 研究地球化学问题一方面要考虑地质构造和地球物理研究成果, 另一方面也不能忽视地球化学的学科优势与反作用(地球化学研究能反过来促进地质问题的解决——相互转化的观点)。例如板块构造理论就主要是地球物理学与地球化学研究成果促成的。又如我们在豫西应用基岩地球化学测量数据, 编了Ni、Cr、Co、Ti、V 全乘地球化学图, 为解决大地构造分区提供了证据(图2—1)。原来人们对华北地台南缘和秦岭褶皱系北缘两个大地构造单元界线的具体位置有争议。从我们所作的图上可明显看出, 在黑沟断裂南侧出现上述元素的高含量区, 而该断裂以北则为该元素组合的低含量区。南、北两部分地壳的地球化学特征的明显不同表明, 两个大地构造单元的分界更可能是黑沟断裂(图中该元素组合高含量区的北部边界), 而不大可能为陶湾群地层分布区的北界。所以要正确处理地球化学与其他学科间的关系, 既不夸大也不缩小地球化学学科的作用。

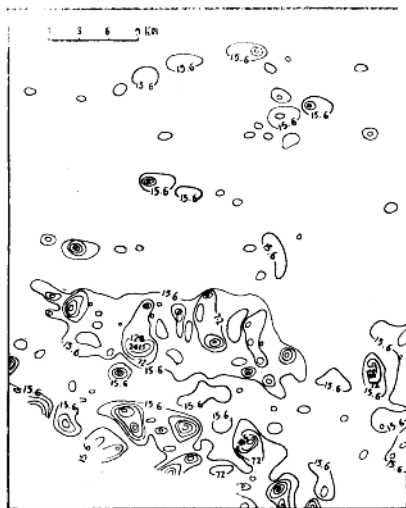


图2—1 豫西基岩测量Ni、Cr、Co、Ti、V含量等值线图

2、善于将地质问题、地质作用、地质因素、地质环境与条件转化为地球化学问题、作用、因素、环境与条件，以发挥地球化学优势。例如：（1）成矿问题。如按大地构造背景及成矿地质控制因素（构造、岩浆岩、围岩等）的地质学思路与方法来研究，就无法发挥地球化学的优势。要有利于发挥地球化学学科优势，就必须将成矿问题转化为成矿物源、物质运输、浓集机制和控矿的地球化学因素、环境来研究。（2）构造控矿因素（地质因素）转化为地球化学障来对待。因为断裂和剪切带实质为降压带、构造岩粒度变细有利促进化学反应、构造裂隙沟通和引起成矿溶液与多种成份围岩的相互作用，并促使不同来源的溶液混合等。（3）碳酸盐地层—(Mg, Ca)[CO₃]，为强碱弱酸盐类，能水解调整溶液pH，起着pH缓冲剂的作用。任何溶液在碳酸盐岩层中停留一段时间后，其pH总会变为8.2±，故可视为碱性障。

3、善于将地球化学数据——元素组合、浓度、比值和相关性等转化为地质信息。这就需要地球化学知识，学会转化的方法。一般说，因子分析是解决这一转化问题的方法，但应用要正确、恰当，否则就不会取得好的效果。

有了运动形式相互转化与制约的观点，地球化学就能沟通地质与地球化学数据间的关系，解决地球化学图与地质图是两张贴不起来的“皮”的难题，为异常评价开辟新的途径。

三、历史地球化学观点

由于地球能源（由早期放射性能高至现今逐渐减少）、大气圈、水圈、生物圈、岩

石圈、大陆地壳是不断演化发展的，所以地球化学作用也是不断向前发展的。

1. 沉积岩与沉积矿产的演化

大气圈和水圈的化学演化见表 2—3。从表中可以看出，大气圈从早期火山气体成

表 2—3

大气圈和水圈的化学演化

(据陈福, 1978年)

同位素年龄 (亿年)	50	40	30	20	10	0
地质时代	前太古代	太古代	早元古代	中元古代	震旦纪	显生代
大气性质	原始火山气圈	大气圈的演化 稠密CO ₂ 气圈 弱氧化的CO ₂ 气圈				N ₂ -O ₂ 型气圈
主要气体组成	H ₂ O CO ₂ HCl H ₂ S SO ₂ CH ₄	CO ₂ H ₂ O (N ₂ HCl H ₂ S SO ₂ ...)		CO ₂ H ₂ O N ₂ O ₂ (HCl SO ₂ ...)		N ₂ 79% O ₂ 21% H ₂ O — CO ₂ 0.03%
总大气压	≈90	≈7	≈11	≈3	?	≈1.5
Pco ₂ (大气压)		5	10	2	?	1
海水平衡pH	海水性质的演化 ←————— I —————→ ←————— II —————→ ←————— III —————→ 1-2 3 4 4.6 5(<5.5) 6 6.7 8.4					
氧化-还原条件	还原	还原至弱氧化—————氧化作用逐渐增强—————→				
海水离子浓度	Fe ²⁺ Mn ²⁺ Cu ²⁺ Pb ²⁺ Zn ²⁺ Mg ²⁺ Ca ²⁺ 浓度逐渐降低 Na ⁺ K ⁺ Cl ⁻ SO ₄ ²⁻ ΣCO ₂ 浓度逐渐升高					
主要矿物共生组合	Si(OH) ₄ ↓ Fe(CO) ₃ ↓ Al(OH) ₃ ↓	FeOH ₃ ↓ MnCO ₃ ↓ 白云岩 (硝酸盐)	白云岩 →表生层状硅酸盐 鲕状赤铁矿	白云岩 表生层状硅酸盐 鲕状赤铁矿 石膏	灰岩 层状硅酸盐 石膏 盐类	
海洋沉积物出现的历史顺序	碎屑石英沉积 非晶质SiO ₂ 胶体沉积 Fe(OH) ₃ 胶体沉积 条带状铁建造 Al(OH) ₃ 胶体沉积 FeCO ₃ ↓ MnCO ₃ ↓ 白云岩 CaCO ₃ ↓ 钙质生物 抱球虫软泥 红层建造 鲕状赤铁矿 表生层状硅酸盐 石膏 食盐					

分逐渐演化成为具有氧化特性的厚度较大的氮—氧大气圈。海水也由原来的强酸性转变为现代的弱碱性 ($\text{pH} = 8.4$)。铁的成矿特征也随着大气圈、水圈的演化而变化。在地球上出现游离氧以前, 大气圈与水圈中 PCO_2 很高, 铁可呈 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ 大量溶解于水中。随着大气圈中游离氧的产生和聚集, 水圈中的低价铁开始氧化, 进而形成难溶的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, 导致沉积条带状铁建造矿石在前寒武纪中后期的大量形成 (特征矿物组合为非晶质 SiO_2 —磁铁矿)。随着后来大气圈、水圈游离氧的进一步增多, 地球表面处于较为氧化的环境, 铁在地表基本呈高价状态, 不易溶于水, 只能呈 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体被水搬运, 并在近岸浅海处沉积。因此, 从元古代晚期就形成具有新特征的鲕状赤铁矿—鲕绿泥石—菱铁矿的沉积铁矿。再晚, 随着地表氧化条件的进一步增强, 则形成古生代—中生代的湖相—沼泽相沉积铁矿石。要是没有历史地球化学观点与理论为指导, 就很难理解铁的外生成矿作用在地史过程中的上述规律性的演化。

在地史过程中, 沉积岩也是在发展变化的 (图 2—2)。早期地壳主要是由基性水下喷发岩组成, 然后逐渐出现硬砂岩、粘土岩 (由基性喷发岩风化形成)。后来有花岗岩出现, 才能形成长石砂岩。碳酸盐岩石到元古代才能出现, 因为太古代大气圈与水圈中 CO_2 含量高, Mg 、 Ca 等均呈易溶 (Mg 、 Ca) $[\text{HCO}_3]_2$ 形式存在, 所以碳酸盐无法沉淀。只有到了地面 CO_2 浓度降低的时候碳酸盐才能按 $(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons (\text{Ca}, \text{Mg}) [\text{HCO}_3]_2$ 反应沉淀。由于海洋初期 Mg 高 (所有风化区都是以基性岩为主), 所以, 元古代主要形成白云岩, 后来古生代才转变为以石灰岩为主 (这时陆壳偏酸性, 富 Ca , 贫 Mg), 只有在大陆泻湖蒸发环境中才有白云岩沉积。

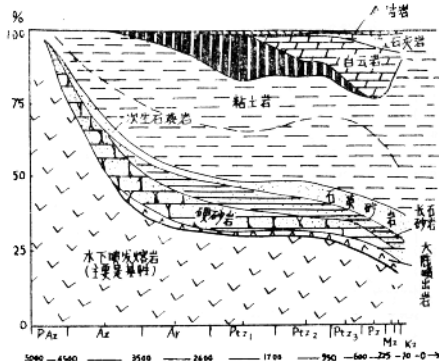


图2—2 大陆地区不同成分沉积岩和火山喷发岩分布比率和演化示意图

沉积岩石圈在地球化学特征上也是变化的。苏联罗诺夫等研究了世界一些大陆侵蚀地区沉积岩的地球化学特征, 并发现化学成分在地史中具有如下的演化规律 (图 2—3):

- (1) Al_2O_3 、 Na_2O 、 Fe 和 MgO 含量从早到晚逐渐降低;
- (2) K_2O 从地球存在的早期向元古代上升, 至元古代末期达最高值, 以后从古生代开始一直呈现下降趋势;
- (3) CaO 从地球早期向元古代下降, 至元古代早期达最低值, 以后一直上升至中、新生代恢