

水文地球化学找矿法

中国地质科学院水文地质工程地质研究所编著

限国内发行

地 质 出 版 社

32
472

水文地球化学找矿法

中国地质科学院水文地质工程地质研究所编著

(限国内发行)

地 质 出 版 社

水文地球化学找矿法

中国地质科学院水文地质工程地质研究所编著
(限国内发行)

*

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1977年4月第一版·1977年4月北京第一次印刷

印数1-4,700册·定价0.55元

统一书号: 15038·新200

前 言

水文地球化学找矿方法，是地球化学找矿方法之一，对它的研究和运用比其他地球化学方法要迟得多，在最近二十年才得到比较迅速的发展。由于水文地球化学方法主要以地下水为研究对象，而地下水在有的地方能从几百米以下甚至上千米以下上升到地面，所以此方法与其他地球化学方法相比，具有能反映较大深度的特点。在普查“盲矿体”时，它可以发挥其特有的作用，在有利的条件下，它可以发现几百米以下的矿体。

随着社会主义建设的不断发展，对矿产资源的要求与日俱增。因此，不断地用新的方法和技术寻找深部的“盲矿体”，是地质工作者面临的重要任务。水文地球化学方法在综合地质找矿中也日益成为一个重要的组成部分。

我国在解放后，特别是无产阶级文化大革命以来，在党和毛主席的领导下，随着地质普查勘探事业的发展，水文地球化学方法得到了迅速地发展。从五十年代中期开始，先后在一些金属矿床地区进行了实验研究。在大跃进的年代里，在三面红旗照耀下，水文地球化学找矿方法飞速向前发展，生产和科研均作了许多工作，获得了一定的效果，也积累了大量的资料和宝贵的经验。经过无产阶级文化大革命，水文地球化学找矿方法更进一步得到了新的发展，尤其是在寻找“盲矿体”方面取得了许多新的资料和经验。

遵照伟大领袖毛主席“要认真总结经验”的教导，将我们过去所积累的资料和有关部门的经验，结合我们自己的工作体会，并参考了国内外的有关资料，编写了本书。我们的希望是能或多或少地满足找矿工作者的需要，作为在实际工作中的参考。我们希望找矿工作者在地质找矿时，在适合的具体条件下，能更有效地应用水文地球化学找矿方法，不断总结经验，使其更加向前发展，日臻

完善。

本书在内容上以紧密结合生产实践为原则，并力图概括与水文地球化学找矿有关的基础理论及工作方法。在编写过程中，曾得到广东、湖南、江西、陕西、安徽、江苏等省的地质、冶金等部门及有关方面和有关同志的大力支持和帮助，在此致以谢忱。

由于时间短促，各地尚有很多资料和经验未能收集、总结和编入本书。同时，我们的实践经验不足，水平有限，所以我们恳切地希望大家对本书提出批评意见，并提供新的资料和经验，使水文地球化学找矿工作，经过“实践、认识、再实践、再认识”的反复过程，不断得到发展和提高。

目 录

第一章	绪论	1
第二章	金属元素在天然水中的迁移及水分散晕的形成和分布	5
一、	金属元素在天然水中的分布和迁移	5
二、	金属矿床水分散晕的形成与分布	8
	(一) 硫化物氧化作用对金属矿床地下水化学成分的影响	8
	(二) 硫化物的电化学溶解作用对金属矿床水分散晕形成的影响	11
	(三) 金属矿床水分散晕的特征	16
	1. 矿体水的水文地球化学特征	16
	2. 晕水的水文地球化学特征	21
	(四) 水分散晕出露的特点	21
	1. 矿体位于潜水面以上时(即包气带)水分散晕的特点	22
	2. 矿体一部分埋藏在包气带,另一部分埋藏在饱水带的特点	23
	3. 矿体埋藏在饱水带时的特点	23
	(五) 水分散晕的发育条件	25
第三章	金属矿床水文地球化学找矿标志及其地球化学特性	27
一、	水文地球化学找矿标志的一般特性	27
二、	各个找矿标志的水文地球化学性状	30
	(一) 铜(Cu)	30
	(二) 银(Ag)	35
	(三) 铍(Be)	36

(四) 锌(Zn)	37
(五) 汞(Hg)	38
(六) 铅(Pb)	39
(七) 砷(As)	41
(八) 锑(Sb)	41
(九) 铋(Bi)	43
(十) 钒(V)	44
(十一) 钼(Mo)	45
(十二) 钨(W)	47
(十三) 铬(Cr)	49
(十四) 锰(Mn)	51
(十五) 镍(Ni)	52
(十六) 钴(Co)	54
三、铀矿床的水文地球化学找矿标志	54
(一) 放射性元素的地球化学特征	55
(二) 放射性元素在地下水中的迁移条件	55
1. 铀(U)	55
2. 镭(Ra)	57
3. 氡(Rn)	57
(三) 普查铀矿床的水文地球化学找矿标志及其意义	58
四、作为水文地球化学找矿标志的 SO_4^{2-} , pH 值, 水化学类型及比例系数的应用	60
(一) 硫酸根离子(SO_4^{2-})	60
(二) 地下水的 pH 值的相对降低	62
(三) 地下水化学类型的改变	65
(四) 水的总矿化度	69
(五) 比例系数	69
五、地下水微生物找矿标志	74
(一) 金属硫化矿床中硫杆菌属的分布及其找	

地
1
3
号

矿意义	74
1. 氧化硫硫杆菌(Th. thiooxidans)	75
2. 氧化铁硫杆菌(Th. ferrooxidans)	75
3. 排硫杆菌(Th. thioparus)	75
4. 脱氮硫杆菌(Th. denitrificans)	75
(二) 硫杆菌属的培养鉴定方法	81
1. 样品的采集	81
2. 硫杆菌属的培养鉴定方法	82
第四章 水文地球化学找矿方法在综合地质普查和勘探中的作用	85
一、在比例尺 1:100000—1:200000 的综合区域地质调查和水文地质调查中的作用	86
二、在比例尺 1:50000—1:25000 的综合地质普查找矿中的作用	86
三、在比例尺 1:10000 详查和勘探阶段中的作用	91
第五章 水文地球化学调查结果的研究方法	95
一、水文地球化学背景值的确定方法	95
(一) 比较法	96
(二) 变差曲线法	97
(三) 统计法	101
(四) 垂直图解法	102
(五) 相似法	102
(六) 已知矿区研究法	102
二、水文地球化学异常的解释与评价	103
(一) 水文地球化学异常的概念	103
(二) 产生异常的因素	103
(三) 影响异常分布特征的因素	104
1. 周围环境的碳酸盐度	104
2. 矿体的大小、产状, 矿石的成分及其氧化强度	105
3. 水交替作用的特点	105

(四) 矿异常与非矿异常	105
1. 非矿异常	106
2. 矿异常	107
三、水文地球化学异常的远景评价	110
四、水文地球化学异常与矿体的空间关系	113
(一) 矿体水异常与矿体可能位置的关系	113
(二) 晕水异常与矿体可能位置的关系	114
(三) 由原生分散晕引起的水文地球化学异常 与矿体的关系	114
五、资料整理及综合研究方法	115
(一) 野外工作阶段的资料整理	115
(二) 最后阶段的资料整理	117
(三) 水文地球化学找矿预测图的编制方法	117
1. 中小比例尺(小于 1:100000)的水文地球化学找矿 预测图的编制方法	117
2. 大比例尺详细的水文地球化学找矿预测图的编制 方法	120
3. 水文地球化学剖面图的编制方法	122
第六章 水文地球化学调查方法	126
一、野外调查的准备工作	126
二、野外调查	128
(一) 采集水样的密度和采样点的布置原则	128
1. 在小比例尺(1:100000 和 1:200000)的综合地质调 查中的采样	129
2. 在中比例尺(1:50000 和 1:25000)的调查时的采样	130
3. 在大比例尺(1:10000 或更大比例尺)调查时的采样	131
(二) 采集水样的方法和技术要求	135
(三) 采集水样时的观察和记录	136
三、水的分析	137
参考文献	139

第一章 绪 论

水文地球化学是研究地下水中各种化学成分的形成过程和水的结构的一门学科。具体地说,就是研究地下水中的所有元素、离子、分子和气体的平衡,有机物及微生物,以及各种元素的同位素成分和水的结构;在分析各种元素互相关系的基础上研究化学元素在各种成因类型的水中的迁移、富集过程,以及水与岩石相互作用时化学成分的变化等。

地下水在一定的自然条件下是一种活动营力。在地壳中的一切地球化学作用中,水起着很大的作用。它在自然界的化学作用过程中占有重要地位。地壳中的化学元素都不同程度地溶解于水。化学元素、许多有机物质和气体都是借助于地下水或在地下水中迁移和再分布的。

当地下水与矿体作用时,水就溶解了组成矿体的某些矿物元素,因而使矿体地下水在化学成分上与周围的地下水相比有显著的区别,例如某些矿体元素及矿化组分含量的相对增高, pH 值的降低等等。随着远离矿体,富集了矿体物质的地下水受到外来的正常地下水的稀释,和一部分矿体元素由于地球化学环境的改变而发生沉淀等,使矿体地下水的化学成分逐渐与正常地下水趋于一致。矿体地下水的这种变化是有一定的规律的。所以,我们可以利用这种变化的规律来寻找矿床。利用地下水化学成分变化的规律来找矿的方法,称为水文地球化学找矿方法。

水文地球化学找矿方法是地球化学找矿方法之一,它不同于其它地球化学找矿方法的是利用水分散晕来发现矿体。由于地下水通常循环较深,因此,可以用它来寻找埋藏较深的“盲矿体”,这是水文地球化学找矿的特点之一。

事实证明,水分散晕的形成,不仅是由于矿体物质在水中的扩

散作用的结果，而且更重要的是由于地下水运动的结果。因为在自然界中很少发现原始浓缩的分散晕，而水分散晕常常在沿着地下水运动的方向呈各种形状分布。所以，地下水中某种化学元素的富集及化学成分的变化，在很大程度上决定于地下水的形成、分布和运动等水文地质特征。

水文地球化学找矿是以地质学和地球化学为基础的，因此，它与构造地质学、矿床学、矿物学、岩石学、地球化学等有着密切的联系。

水文地球化学找矿方法，目前正处在发展和完善阶段，对它的应用条件和运用范围尚需继续研究。但是，这种方法的找矿效果及其在地质普查找矿中的作用是可以肯定的。目前，可以运用水文地球化学方法来寻找许多种矿产，具体地说可以用来普查下列矿床：

1. 多金属矿床，例如铜、锌、铅等硫化矿床，由于这类矿床的金属硫酸盐易溶于水，所以能形成清晰的水分散晕；

2. 其它金属及稀有金属矿床，如镍、钼、铬、锂、铷、钒、钴、银、金等矿床；

3. 非金属矿床，如硼、磷等；

4. 放射性矿床，目前主要用来寻找铀矿以及用作医疗用的放射性水和具有工业意义的其它放射性水；

5. 石油及天然气，水文地球化学方法是利用油田水中的某些指示元素和气体，它可以指出地区的含油性或油气的存在，同时还能解决某些地质构造问题；

6. 各种盐类矿床。

水文地球化学方法所能说明和解决的问题还不限于此。上述各类矿床的水文地球化学普查方法也有所不同。本书仅介绍水文地球化学方法寻找金属矿床的基本原理和工作方法。

在水文地球化学方法普查金属矿床方面，在小比例尺地质调查时，可用它来评价区域的成矿特征和划出地区的成矿远景区；在大比例尺地质调查和详查勘探阶段，可用此方法圈定矿体，帮助解

释物探异常及为勘探工程的合理布置和预测矿体深度提供资料。

在运用水文地球化学方法时，不能简单地理解为只是将水化学分析资料同矿体成分的对比，而应当建立在区域的地质、地球化学和水文地质的基础上，严密地和详细地分析和研究它们互相之间的关系和联系，才能正确判断和解释水文地球化学异常。因此，水文地球化学找矿方法最好与地质的、地球物理的和地球化学的找矿方法综合运用，有时也可以与微生物方法和气体测量方法配合使用。

水文地球化学找矿方法具有很多优点，首先是它能以较少的工作量较快地获得资料，对调查区域作出评价。同时它能在有些其他方法效果不好或工作进行比较困难的地方开展工作，并取得效果。例如，在风化层很厚的地区，第四纪地层覆盖较厚地区，强烈切割地区和森林沼泽地区以及矿体埋藏较深的地区，等等，利用地质方法和其它方法难以达到预期目的时，水文地球化学方法仍可发挥作用。

运用水文地球化学方法找矿最适宜的是地形切割较强或中等的地区，水文网发育的山区和丘陵地区，以及冻土带等地区。在地下水出露较多、水的总矿化度较低的地区，运用水文地球化学方法，往往能取得良好的效果。

在一些地形低平地区或平原地区进行地质和水文地质普查钻探时，和在矿床勘探时，采用钻孔水文地球化学找矿，对发现深部矿床和圈定矿体也能起重要的作用。

但是，由于水文地球化学找矿方法是一种新的方法，实际运用和深入研究还不久，所以还存在一些需要解决的问题，以便提高它的作用。例如，与此方法有关的理论需要充实，工作方法尚需改进。水文地球化学还应当用来阐明和估计地下水在金属矿床形成中的作用，而现在对这些问题和地壳深部各带地下水的地球化学研究得尚很不够，这就不利于水文地球化学找矿方法的有效利用。此外，物理、化学分析方法也跟不上实际的需要。

因此，今后需要通过野外实践和室内研究，进一步提高和充实

水文地球化学找矿的理论, 总结和推广行之有效的`工作方法。例如, 矿床水分散晕(特别是深部“盲矿体”的水分散晕)的形成和分布规律问题; 矿体元素在地下水中的富集和运移特征问题; 水文地球化学异常的解释问题(如运用地下水动力学原理及其它数理方法来解释异常, 特别是异常与矿体之间的空间关系问题)等。此外, 新的水文地球化学找矿标志的研究, 例如, 地下水中某些矿体的特征伴生元素作为找矿标志问题, 利用地下水中某些同位素成分作为找矿指示性标志问题等等。工作方法方面, 如野外采样的合理性和水样的处理方法, 提高室内资料整理和综合分析水平, 水的分析方法的改进, 特别是应当研制简便、快速、灵敏度和精确度高的适合于野外直接在水源测定的方法等等。这些问题的解决, 将会使水文地球化学找矿方法的运用来一个飞跃。我们相信, 在不久的将来是一定能够达到的。

第二章 金属元素在天然水中的迁移 及水分散晕的形成和分布

一、金属元素在天然水中的分布和迁移

在天然水中,经常存在着许多阳离子和阴离子,除主要的矿化组份外,还经常含有硅酸,有机酸、金属元素以及其它许多元素。

金属元素在水中的存在和分布,主要决定于它们的迁移程度,即金属元素化合物被地下水从岩石中冲刷转移的能力,也表现在金属元素从水溶液中随时沉淀的可能性,以及经常不断的新的溶解和再沉淀作用。金属元素在天然水中的迁移,除了内在因素外,还受各种外在因素的影响。在内在因素中主要是元素的离子电位。此外,元素的溶解也是一个很重要的因素。根据在蒸馏水中的溶解度,可将元素的化合物划分为下列几类:

1. 极容易溶解的和极容易带出的。溶解度可达几百或几十克/升。属这类的有 K^+ 和 Na^+ (可能还有 Cs^+ 和 Rb^+) 的卤化物,硫酸的、碳酸的、氟酸的、硼酸的和硅酸的盐类。

2. 溶解的(可带出的)。属此类的有 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} 的卤化物、硫酸盐和重碳酸盐类(后五种仅是硫酸盐和胶体的)。

3. 难溶解的(带出弱的)。属此类的有 Sr^{2+} 的硫酸盐, Ba^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} , Ag^+ , 和 SiO_2 的碳酸盐。

4. 最难溶解的(活动性小的)。属此类的有 Pb^{2+} 的碳酸盐, Zn^{2+} 和 Ca^{2+} , Mg^{2+} 的硅酸盐, Cu^{2+} 的碳酸盐, Ba^{2+} , $AgCl$ 的碳酸盐。

5. 不溶解的(稳定的)。属此类的有 Fe^{3+} , Mn^{3+} , Ti^{3+} 和 Co^{3+} 的氢氧化物。

能被地下水带出的不仅是最容易溶解的和溶解的盐类, 而且也有难溶解的和不溶解的盐类。在风化壳中的地下水中(包括氧化带), 能发现四十五种水成元素。

虽然, 在一定的条件下, 作为溶剂的水的性质是一定的, 各种元素的溶解度也应该是一个常数。但是由于溶液的氢离子浓度(pH值)、氧化-还原电位(Eh)、压力、温度、化合物的离解能力、在溶液中存在的外来的和普通离子均属于变数; 同样, 气体(二氧化碳和氧)和溶液中某些离子与另一些离子的化学作用以及溶液中存在的与它们接触的其它离子、物质的分散程度、水的动态等都属于变数, 因而, 溶解度实际上是所有这些数值的函数。而在风化壳的地下水中, 各种元素的含量与它们在蒸馏水中的溶解度相比, 当然就更显得不相符合了。

对金属元素的迁移及其在水溶液中的浓度来说, 气候、地质、地形、水文地质条件等外在因素都能对之产生影响。天然水中硫酸根、氯、有机酸的多少以及溶解在天然水中的气体, 如 O_2 , CO_2 , H_2S 等对金属元素的含量及分布也都有影响。

在未受矿体影响的埋藏不深的地下水中和出露于地表的水流中, 通常, 金属元素如 Ni, Cr, Pb, Ag, Mo 等的含量为 $n \times 10^{-6}$ 克/升; Cu $n \times 10^{-5}$ 克/升; Zn 1×10^{-4} 克/升。在受矿体影响的地下水中, 这些金属元素的含量可增高到: Zn 和 Cu $6-8 \times 10^{-4}$ 克/升; Ag 和 Mo 1×10^{-4} 克/升; Pb, Ni, Cr 1×10^{-5} 克/升。在直接和矿体接触的酸性水中, 含量可高达: Pb $1 \times 10^{-3}-10^{-2}$ 克/升, Cu 和 Zn 1×10^{-1} 克/升或更高。

表 1 是我国南方某些无矿地区及流经矿体的水中金属元素的含量(克/升)。

在表生作用中, 元素的迁移几乎都与水圈有直接或间接的关系。金属元素在地表水或地下水的干渣中的含量, 与其在该区域岩石中含量的比值, 叫做“水迁移系数”(K₀)。K₀ 值愈大, 说明元

表1 我国南方某些无矿地区及流经矿体的水中金属元素的含量(克/升)

元 素	无矿地区背景水中的含量	流经矿体的异常水中的含量
Cu	$n \times 10^{-6} - n \times 10^{-5}$	$n \times 10^{-6} - n \times 10^{-1}$
Pb	$n \times 10^{-6}$	$n \times 10^{-5} - n \times 10^{-8}$
Zn	$n \times 10^{-6} - n \times 10^{-5}$	$n \times 10^{-5} - n \times 10^{-1}$
Mo	$n \times 10^{-7} - n \times 10^{-6}$	$n \times 10^{-5} - n \times 10^{-4}$
As	$n \times 10^{-6} - n \times 10^{-5}$	$n \times 10^{-5} - n \times 10^{-4}$
Ni	$n \times 10^{-6} - n \times 10^{-5}$	$n \times 10^{-6} - n \times 10^{-2}$

素从风化壳中被带出的能力愈强(表2)。

从表2中可以清楚地看出, 氯(Cl)和硫(S)最易从风化壳中被水带出($K_d = n \times 10 - n \times 100$); Ca, Mg, Na, F次之($K_d = n$); Si, Ni, Cu, Co, Mo, Mn较弱($K_d = n \times 10^{-1}$); 最弱的是Fe, Al, Ti, Sc, Zr等, 它们以溶解的状态迁移的能力很弱, 甚至不迁移。

表2 水迁移系数表

元 素 迁 移 系 列	水 迁 移 系 数 值 K_d						
	1000	100	10	1	0.1	0.01	0.001
最易带出的		Cl, Br I, S					
易带出的			Ca, Mg, Na F(Sr, K, Zn)				
活动的			Cu, Ni, Co Mo(?), V(?) Mn, Si, P				
惰性或完全不活动的						Fe, Al, Ti, Sc, Zr, Hf Nb, Ta, Rn, Rd, Re, Ir Pe, Sn	

必须指出, 上述元素在风化壳中以水溶液进行迁移的性质还决定于地质条件和气候条件等。例如在沼泽地区, Fe和Mn容易从风化壳中浸出(在这种情况下, K_d 接近于1); 在硫化矿床氧化

带中,由于硫酸的形成,使 Al 和 Cr 变得易迁移。因此,上述系列在不同条件下是可以改变的。但存在于水晕中的一般都是易带出的以及活动性大的金属元素,如 Cu 和 Zn 等。同样围岩的性质和矿石的成分对元素的迁移也有影响,如产于硅酸盐岩石中的硫化矿床,由于其周围的水的 pH 值较低,有利于 Zn 和 Cu 的迁移,即有利于水晕的形成。若硫化矿床产于碳酸盐岩石中,则会出现相反的结果,因为金属会形成碳酸盐而沉淀。

二、金属矿床水分散晕的形成与分布

金属矿床水分散晕发育在矿体内及矿床周围的地下水和地表水中。当正常地下水即背景水(背景水系指未受矿体影响的,其化学成分主要由区域水文地质条件作用形成的水,也就是化学成分

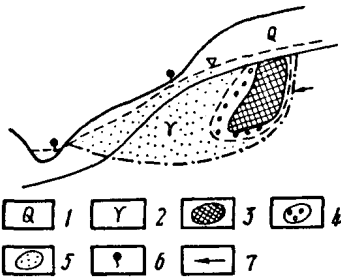


图 1 水分散晕示意图

- 1—第四纪沉积物; 2—花岗岩;
3—矿体; 4—矿体水; 5—晕水;
6—泉; 7—地下水流动方向

分为矿体水及晕水(参见图 1)。

不受矿体及矿床分散晕影响的水)与矿体和矿体周围岩石中的金属矿化的原生分散晕(或次生分散晕)相接触和相互作用时,化学元素从矿物中转入水溶液中,这种转移使水的化学成分发生变化。由于地下水的运动和矿化组分向水中扩散迁移,所以水中化学成分的变化并不局限在矿体及原生分散晕的接触处,而往往扩展得很远(几百米,有时可达数公里)。水分散晕可以划

(一) 硫化物氧化作用对金属矿床地下水化学成分的影响

金属矿床水分散晕的形成是由矿体矿物所引起的。矿体矿物有硫化物、氧化物、碳酸盐、硅酸盐、铝硅酸盐、自然矿物和某些氯