

水文地質工程地質工作方法小丛书

金属的水文 地球化学找矿法

A.H. 謝洛夫 著

地質出版社

这本小册子是南京大学地质系苏联专家安·尼·洛谢夫应地质部邀请于1958年4月间在矿区水文地质工作经验交流大会上所作的报告，内容非常丰富，书中简单明了地介绍了这种新勘探方法的基本原理，对我国今后在这方面工作的开展和进一步研究提供了极为宝贵的资料。

本报告由地质部水文地质工程地质局供稿。

报告由胡受奚、曹励明、杨美娥、刘文星翻译曹励明校。

水文地质工程地质工作方法小丛书
金属的水文地球化学找矿法

著 者 安·尼·洛 谢 夫

译 者 胡 受 奚 曹 励 明 等

出 版 者 地 质 出 版 社

北京宣武门外永光寺西街3号

北京市书刊出版业营业登记证出字第930号

发 行 者 新 华 书 店

印 刷 者 地 质 出 版 社 印 刷 厂

印数(京)1—5,000册

1958年9月北京第1版

开本 31¹/₂×43¹/₂ 1/32

1958年9月第1次印刷

字数 30,000字

印张 1³/₈

定价 (8)0.15元

统一书号: T15038·438

目 录

前言.....	1
一、研究地球化学方法的发展簡史.....	2
二、金属的水文地球化学找矿法.....	5
1. 和其他找矿法的关系及任务.....	5
2. 实驗室工作的条件	6
三、金属的水文地球化学找矿法某些一般的先决条件	7
四、金属的水文地球化学找矿的某些基本原理.....	28
五、水文地球化学研究結果的整理.....	32
附表.....	34
附录.....	37
参考文献.....	43

金属的水文地球化学找矿法^①

前 言

“找矿方法必须根本改变，因为没有运用新的地球化学思想，我们就不可能很快满足社会主义经济不断增长的需要。”

A.E. 费尔斯曼^②

中华人民共和国发展国民经济的宏伟计划，提出了要在最近几年内在金属的生产方面赶上英国的任务，规定了保证矿产基地这项刻不容缓的工作。

正如杰出的地球化学家费尔斯曼预见到的一样，地球化学找矿法在最近几年中越来越有成效。在苏联，地球化学方法已经运用到所有地质机构的实际工作中去。

第二次世界大战后，社会主义国家以及其它国家中，金属的地球化学找矿方法日益得到广泛的运用。由于地球化学找矿方法运用的范围相当广泛，因此，它们正处在不断丰富和迅速完善的阶段中。

①本文是作者在地质部矿区水文地质工作经验交流大会上的报告，由薛禹群同志代读。

②见地球化学和矿物学找矿法，费尔斯曼选集 1953 年版第二卷 443 页。

一、研究地球化学方法的发展简史

1940年 A. E. 費尔斯曼首先提出地球化学测量(制图)法必須独立运用的思想。同时他指出,还在 1924 年中国地质学家李四光和舒文博,在有关閃長岩侵入体研究的著作中,实际上就很成功地运用了地球化学方法。他們利用氧化物的等量綫,表达了 SiO_2 , Fe_2O_3 和 CaO 在那种閃長岩体中含量的分配情况。根据等量綫的位置,他們得出关于元素在侵入体内分異作用过程的概念,以及关于接触作用、閃長岩体对石灰岩的同化程度和同化作用对鉄矿形成地段的影响等一系列的概念;并非常細致的完成了等量綫图。这就是現代地球化学制图法的先声。

因此,我們很高兴注意到,地球化学制图的思想首先在中国产生并且得到运用。从三十年代起,苏联开始采用金属测量法,这实际上就是评价矿床的地球化学法。有关这种方法最早的著作是 B. Л. 弗列罗夫的“錫和金矿床錫量测量的研究”和 M. Ф. 泽宁的“銅量测量”(1935)。当时还发表了 H. И. 薩弗罗諾夫和 A. П. 索洛沃夫关于利用光谱分析找寻錫矿的著作。接着陸續发表了許多有关普查和评价金属矿床的金属测量(地球化学测量)法。到 1940 年就采用了銅量、鉛量、錫量、金量、鎢量、鉬量和汞量测量法。

1940年費尔斯曼发表了自己的著作“地球化学和矿物学找矿法”。这標誌着金属地球化学找矿发展到了一个新的阶段。

阶段。然而，在这部著作中，水文地球化学找矿法还未作为一个独立的方法提出来。

伟大的卫国战争并没有中断地球化学方法的发展。正是这些年代弗洛罗夫斯卡娅于 1941 年所创立的荧光找矿法被应用到实际的找矿工作中。

战后，地球化学方法运用的规模非常巨大，研究的范围很广，这些研究工作是具有群众性的并获得了显著的效果。同时开始编制有色、微量和稀有金属的地球化学图，比例尺为万分之一到二十万分之一。

最近七年来，采用各种地球化学方法测量的面积达十六万平方公里。从 1948 年至 1953 年利用这种方法采集并分析的样品为九百万个，到 1954~55 年则达到了一千万个。

1955 年苏联地质部发出指示，要求各个地质机构在地质工作的一切阶段中必须研究并推行地球化学方法。

水文地球化学方法的研究和运用比其他方法来得迟一些。1950 年以前，有关这方面的著作为数不多。如 H. H. 希塔罗夫和 E. H. 穆里科夫斯基的硫化矿床矿坑水的地球化学 (1935 年)；A. A. 斯穆罗夫关于乌法列依斯克上部蛇纹岩岩体的地下水的化学变化 (1938)；E. A. 谢尔盖耶夫关于水的研究是找寻多金属矿床的方法 (1946 年)；A. M. 奥弗琴尼科夫关于运用水文地质标志普查矿床的基本原理 (1947 年)，此外还有其他研究个别矿体的著作。

最近几年来，对个别矿床和个别地区的水文地球化学研究工作在不断进行着，与此同时，也发表了許多具有概括性的文章。如 B. B. 阿列索可夫斯基等合著的天然水中微量元

素的集中和分布問題(1956年); A. A. 布罗茨基的金属矿床水文地球化学找矿法(1956年); И. К. 查依采夫关于水文地球化学图解及其在找矿中的意义(1956年); G. C. 克拉依諾夫关于运用水文地球化学方法找寻多金属(1956年); A. M. 奥弗琴尼科夫关于地質普查勘探中的水文地球化学制图法(1956年); A. Г. 戈尔霍夫等合著的水电测法普查(1955年); П. А. 烏道多夫关于西薩洋地区及其他地区中的水文地球化学普查經驗(1956年)等著作。

必須特別強調指出И. И. 金茲堡在1957年所发表的題为“有色和稀有金属地球化学找矿法理論基礎研究的經驗”的專門性論文。其中总结了利用地球化学方法进行普查工作所取得的效果, 闡明了在各种不同的地質、土壤、气候和地形条件下采用这些方法的意义, 試圖揭示并从理論上說明其規律性, 以便作为更合理地組織安排地球化学找矿工作的根据。

这次的报告就引用了該篇論文的材料。

十五年来, 在美国、加拿大、瑞典、英国、芬蘭和德国等国家的文献中, 越来越多的发表了許多著作, 其中包括有各种不同的地球化学找矿法的实验根据, 各种分散量, 較小地区中个别元素的分布規律, 化学分析技术等許多很有价值的材料。

遺憾的是报告人沒有掌握有关能够說明在中国地球化学找矿法的运用狀況的材料。

二、金屬的水文地球化学找矿法

1. 和其他找矿法的关系及任务

为了有效的解决闡明金屬的分佈和集中的規律，这样一个找矿的任务，必須使地球化学测量和水文地球化学的、地質的、地貌的，以及地球物理的測量很協調地配合起来。只有綜合性的工作才能保証获得預期的效果。

在这些綜合找矿法中，水文地球化学找矿方法占有重要的位置，并且早已引起普查工作者的重視。目前，它虽得到廣泛的运用，但其潛力尚远未發揮。

和地球化学及地質普查一样，水文地球化学找矿法的研究归根結蒂为編制各种元素在水文地質网、蓄水盆地及在地下水所有出露地区的分布图，与此同时要把地質学的資料也填入图中去（包括地层学、沉积岩石学、岩石学、構造、矿产，以至矿物出露等資料）。

和其他找矿方法一样，在水文地球化学找矿过程中，一定要解决两个任务：

（一）在研究不够詳細的地区中發現新的矿床。

为此要依靠一百万分之一到二十万分之一的地質图进行踏勘工作和根据十万分之一到二万五千分之一的地質图进行普查工作。

（二）在范围有限的地段中普查金屬，以便：（1）搞清已知矿床扩展的远景；（2）根据水文地球化学样品初步的不

完全的資料揭示該礦區的輪廓。

正確的組織地球化學普查工作應該和地球物理及地質方法結合起來，並且以闡明某些金屬集中的區域為目的，以便佈置勘探工作。

正確的組織和安排水文地球化學的研究工作還包括解決其他一些重要的問題：如闡明礦化作用分佈的一般規律；闡明金屬高度富集的礦田、礦帶（Пояс）、礦條（Зона）的範圍；確定金屬元素有規律的共生組合，指出（即使是近似地）共生組合類型與地層學、沉積岩石學、岩石學、構造等各種地質因素的聯繫。

2. 實驗室工作的條件

地球化學和水文地球化學找礦法需要進行大量的樣品加工。只有在大量而精確分析的基礎上，這些找礦法才能獲得成功，因而實驗室工作的條件必須與地球化學找礦的規模和任務相適應。

在目前地球化學研究的實踐工作中，經常採用下列分析方法：即光譜分析法，化學分析法，比色法，滴定法，極譜分析法、混濁度測定法，放射性測定法，螢光分析法，中子法，同位素測定法等。

精確的分析是水文地球化學研究所必須的，其精確度則取決於分析法本身最大的極限性。

三、金屬的水文地球化学找矿法

某些一般的先决条件

水中某些金屬的存在是其化合物和水一起迁移的結果。水流冲刷了岩石，并成为这些金屬最初的泉源。

金屬在每个水样中的数量和成分不仅是它們从基岩中直接淋濾的結果，也可能是它們多次地从水溶液中沉淀及再溶解的結果。

所有这些复杂的作用都預先决定于元素的性質及其所处介質的特性。

維尔納茨基在他的地球化学著作中把元素分为火成元素和水成元素。他是把能参与地壳中水的均衡作用以及从水溶液中析出时能形成含水矿物的元素划归水成元素，他一共拟定出40种水成元素。

根据金茲堡的資料，則認為風化壳中共存有45个“水成”元素；即H、O、N、Ca、Mg、K、Na、Cl、S(SO₄)、C(CO₂)、Si(SiO₂)、Pb、Zn、Cd、Ag、Au、Cu、Bi、Ni、CO、MO、Sn、V、As、Sb、Se、Te、Ge、Be、Al、Mn、Gr、Ti、Ba、Sr、F、B、Ra、Ta、Br、I、Cs、Rb、Li、In。

这些元素化合物的溶解（亦即迁移的能力）取决于一系列的因素，其中金屬本身的性質和水的性質是經常起作用的因素。

大家知道，元素从风化岩石中析出以及它们后来在溶液中停滯的能力均取决于离子电位值。所谓电子电位即离子半径除电价所得的商 $\pi = \frac{w}{Ri}$

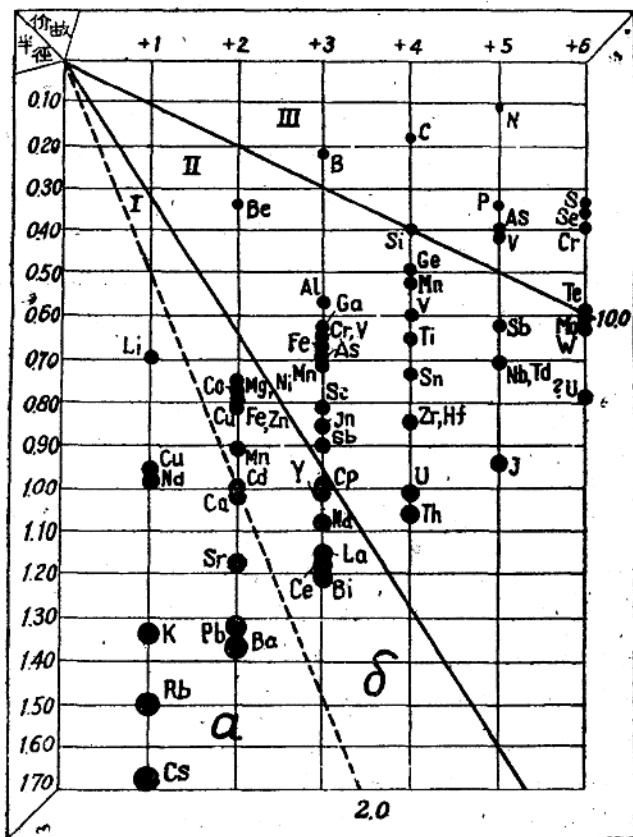


图 1

費爾斯曼把離子電位稱為卡爾特里 (Карта)。

哥爾特施密特把卡爾特里值不同的元素分為三組。

① 第一組包括卡爾特里小的(從0.61~2.56)離子，它們能在水介質中水解，並停留在溶液中；

第一組元素又可分兩個亞組：(a)容易搬運的元素，它們的搬運不決定於溶液的 pH 值；(б)在強鹼性溶液中呈基性和中性基鹽的氫氧化合物形式沉淀出來，而在酸性和中性介質中易于搬運的元素。

本組離子位於表中的左下角，並以適當的虛線分為 a 亞組和 б 亞組。

(Ⅱ) 第二組包括能以氫氧化物形式起水解和沉淀作用的離子，其卡爾特里為 2.8 (3) 到 9.7 (10)。

(Ⅲ) 第三組是卡爾特里值從 9.7 (10) 到 45 的離子。它們易于氧化，並和氧形成絡離子，然後進入水溶液中。

本組元素位於表中右上角。

能影響元素的溶解度，因而也影響了它們遷移能力的可變值是：氫離子濃度 (pH 值)、氧化還原電位 (EH 值)、壓力、溫度、化合物電離的能力、溶液中共同離子和外來離子的存在、可溶性氣體存在 (碳酸氣和氧)、存在溶液中離子之間相互的化學作用及離子與溶液間相互的化學作用、物質的分散程度、水的狀態等。

容易看出：個別元素的潛水、水流和蓄水盆地中的含量取決於許多因素。在編制水文地球化學圖，尤其在對它進行預測解釋時，必須盡可能的估計到這些因素。

元素的化合物在水中可以呈離子、分子、膠體以及機械

悬浮物的形式，前三种形式之間多少存在着動的平衡。

在金属含量极微的情况下(千分之一、万分之一毫克/公升)采用对水分析的找矿法，其灵敏度就感不足；此时，对它的研究就发生了困难。目前地球化学家已能利用最新的分析方法，以克服水中金属含量微小給研究工作帶來的困难。

金属在水中的含量取决于許多因素，下面我們扼要的探討一下。

1. 硫化物及其他化合物的氢化产物的溶解度：

这个因素的一般意义已如上述。

2. pH值和pH值的大小：

氢离子濃度能影响到溶液中呈离子状态存在的物質。

氢氢化物依pH值的大小由溶液中沉淀的次序表列于下(根据A.E.費尔斯曼材料)：

阳离子	V^{5+} Mn^{4+} Ti^{4+}	Hf^{4+} V^{3+}	Fe^{3+}	Th^{4+}	Al^{3+}	Cr^{2+}	Ti^{3+}	Be^{3+}	V^{2+}	Pb^{3+} Zn	La^{2+}	Ni^{3+}	Co^{2+}	Fe^{2+}	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Ca^{2+}	Cu^{2+}
pH	2左右	2.5	3—6	3.5—4	4.5—5.5	5.4	—	5—6.5	6.8	6—7	8.4	6.7—8.5	6.8—8.5	5.5—8.5	10.5	8.5—9	>11	5.3

必須着重指出，当金属的濃度低时(1公升溶液中含0.1~0.01毫克)，pH值的意义就很小，甚至完全没有意义。所以具有不同pH值的水都可以含有各种数量的微量元素。当金属的濃度高时，pH值的影响就会扩大，但即使是在这种情况下，它仍不能支配处于膠体、悬浮和吸收状态的金属。

从水中沉淀及富集。

3. 金属的氧化程度（这些金属常呈不溶解的硫化物状态存在）：硫化物的氧化作用能使金属转变为较易溶解的状态，从而具有迁移的能力。

在潜水面附近即硫化物与空气及水接触的界线上，氧化作用最强，在那里金属进入水溶液的作用将取决于潜水面变动情况，即取决于每个季节。当潜水面下降时，即在干燥的季节里，由于潜水面离开了氧化作用最剧烈的地带，可能使金属的淋滤作用迅速减弱以至完全停止。当潜水面上升时，即在雨季里，氧化带会遭到剧烈的淋滤作用，在溶液中金属的含量是最高的。但是这种现象另一方面亦与水交替作用的特征有关。

4. 水交替作用的特征：水交替作用的加强，一方面导致被溶解金属的稀释，另一方面当水的交替作用强烈时潜水面的位置也较高，潜水的上升，在一定的时间内，停止了氧化作用。在强烈氧化带以上的淋滤部分，水的作用较大，但进入溶液中的金属却减少了。

在进行水文地球化学研究时，必须考虑上述的因素。因在水样（潜水样、河水样）中，没有金属存在并不能说明在这个研究的区域没有金属的来源——矿床存在。取样工作应该按季度系统的进行。特别是在雨季前、雨季、雨季后（或溶雪时）应取样。

5. 含金属的矿物与水的接触面：含金属的矿物（岩石）与水的接触面对金属在水中的含量有很大的影响。很显然，若其接触面愈大，则金属在溶液中含愈高，所以与致

密块狀的硫化物矿石相比較，則硫化物呈分散粒狀的浸染矿石能使水更富含金属。但亦应注意到若把致密块狀的硫化物矿石作为金属的来源，那它能存在的时间就比較長。可能发育于有古矿化作用的区域中，进行水文地球化学评价时，这点有着特殊的意义。分散的硫化物浸染体，从地質年代直到現在这个漫长的过程中，受到水的作用，并被进行了彻底的淋濾作用。但块狀的矿体，虽数量不大，却能繼續不断的把金属帶到水中去，当然，这还需要注意到其他的一些地質因素——含矿岩石的裂隙性、矿体所处的裂隙帶，在风化区域中露头的特点及其他。同时也必須考虑硫化物的成分及其氧化产物的溶解度，当黄铁矿、黄銅矿、毒砂氧化时，能产生酸性溶液，而方鉛矿氧化时，則产生中性溶液。

当其他条件相同时，由于溶解度不同鋅在水中將多于銅，而鉛則少于銅。

6. 气候条件：气候条件与水中金属含量的关系，在威伯 (Вебб) 及米尔曼 (Мильман) 有价值的著論中已加以討論。在尼盖利 (Нигерии) 地方的鉛鋅矿区中，在長久下雨时期內溶液就会大大地稀釋，但当暴雨后却可見到有很高的金属含量。在水流中金属以溶液及悬液状态存在，在干燥的季节里，細小的水流中一般均不含金属。在中国南部的某些省份中亦可能有相同的情况，在那里充沛的雨量集中在一定的季节中下降，且占了一年的大部分时间。

威伯及米尔曼認為在水流中金属鹽类含量的周期性变化，可能与在雨季中潜水面的迅速上升及氧化作用的强烈下降有关。在降雨季节結束以后，潜水面下降了，这时潮湿的

硫化物則迅速氧化，大量的金屬就被帶到流水中。

在乾燥的季節里，地下水流迅速的減少，潛水面也下降并離開氧化作用最強的地帶，因此潛水的鹼性就變得愈為強烈。這時溶解的鹽類被沉淀出來，而殘余的鹽則為粘土所吸附。但殘余的鹽到雨季時又可以被水沖刷，再一次重複這種作用。

在中緯度的地區，其特點是雪的復蓋層很厚，所以在融雪的季节會同時產生強烈的水交替作用。

在這裡，水流中金屬含量變化的周期性，是另一種情況。

根據 Ф.А. 馬卡連科的資料，河水能極全面的反映出該地區，在常水量的情況下，地下水流潛水化學成分。當地表水流速度減少，或在某些區域甚至完全消失時，能反映出被沖刷岩石化學變化的潛水就成為河水補給的主要來源。

因此正確地選擇時間對河流盆地進行水文地球化學取樣，能使我們得出該區域含礦範圍的輪廓。在中國的中部及北部各省，這樣的條件是可能存在的。

顯然，在地表或地下的水流中，當偶然所採集的水樣缺乏金屬時，這並不意味着金屬礦床的不存在。同樣分析的結果若有金屬存在亦不能作為匆忙地確定有礦床存在的根據。應該系統的進行水文地球化學採樣的工作，並考慮所有上列因素的相互影響，才能得到正確的結論。

水文地球化學的研究廣泛的應用了“背景”及“背景含量”這一概念。

在水中金屬(或陰離子)具有平均含量的地區叫做背景。

背景含量就是金屬(或陰離子)含量的平均值，在數值

上的表示（如毫克/公升或%%）。

富集量及分散流都相应地与背景的正异常及负异常的概念相吻合。

背景及背景含量在数量上都能反映出在含矿地区中金属的分佈情况。

在应用水文地球化学方法普查时，迁移系数有着重要的意义，这系数即河流水样干涸残渣中元素（金属）的含量除以河流所通过的岩石中该元素的克拉克含量所得的商。

$$KM_a = \frac{CO_a}{KC_a}$$

KM——迁移系数；

CO——干涸的残渣；

KC——克拉克含量；

a——所研究的含量（金属）。

迁移系数可以反映出岩石的成分（按个别金属的含量）、元素各种化合物的溶解度、在迁移作用中元素集中的顺序，在风化时岩石的分解程度。N.N.金兹堡认为，必须确定金属迁移系数的概念，运系数就是在河水及潜水中元素的含量与在矿田的矿化带中元素含量的比值。

这问题还没有充分的研究，但在水文地球化学普查的工作中，这两个系数比值的重要性现在已表现得很清楚了。金属迁移系数经常大于一般的迁移系数，即 $PKM > OKM$ （PKM代表金属迁移系数，OKM代表一般的迁移系数——译者注）。我们研究矿床中的一部分作为例子，就可以确定在该地理区域中金属迁移系数的大小，以后在进行水文地球化学制图