

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. 費爾斯曼首先提出地球化学測量（制图）法必須独立运用的思想。同时他指出，还在 1924 年中国地質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，苏联开始采用金属測量法，这实际上就是評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“錫和金矿床錫量測量的研究”和 M. Ф. 泽宁的“銅量測量”（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譜分析找寻錫矿的著作。接着陸續发表了許多有关普查和評价金属矿床的金属測量（地球化学測量）法。到 1940 年就采用了銅量、鉛量、錫量、金量、鋇量、鉬量和汞量測量法。

1940年費爾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重要的

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经过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，也发表了許多富有概括性的文章。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. G. 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測法普查(1955年); П. A. 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。其中总結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规律，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状况的材料。

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，必須使地球化学測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，但其潛力尙远未發揮。

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（儘管是近似地）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、Ga、Be、Al、Mn、Cr、Ti、Ba、Sr、F、B、Ra、Th、Br、I、Os、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

徑除电价所得的商 $\pi = \frac{w}{Ri}$

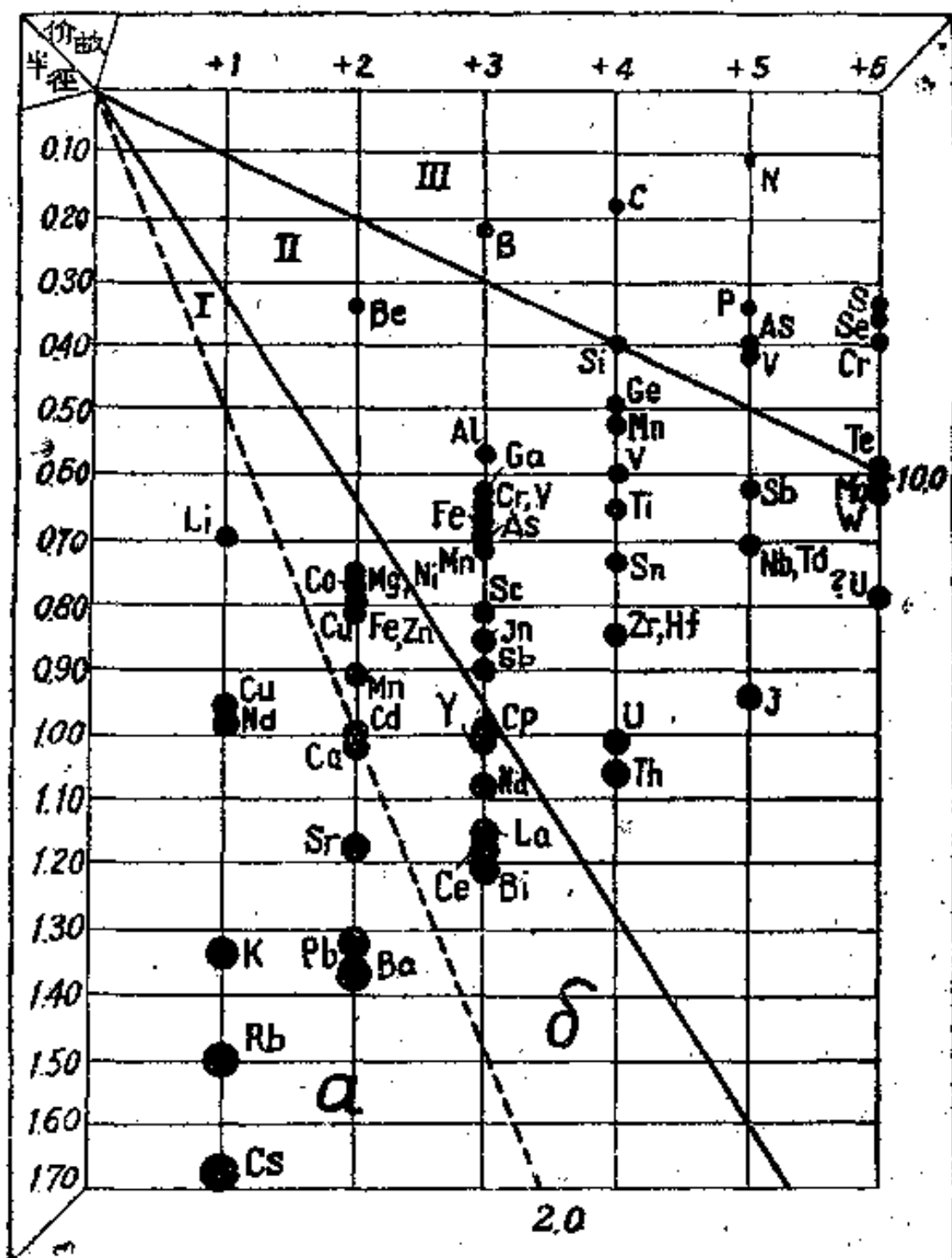


图 1

費爾斯曼把离子电位称为卡尔特里 (Карта)。

哥尔特施密特把卡尔特里值不同的元素分为三組。

① 第一組包括卡尔特里小的(从0.61~2.56)离子,它們能在水介質中水解,并停留在溶液中;

第一組元素又可分兩個亞組:(a)容易搬运的元素,它們的搬运不决定于溶液的 pH 值;(б)在强碱性溶液中呈基性和中性基鹽的氢氧化物形式沉淀出来,而在酸性和中性介質中易于搬运的元素。

本組离子位于表中的左下角,并以适当的虛綫分为 a 亞組和 б 亞組。

(II) 第二組包括能以氢氧化物形式起水解和沉淀作用的离子,其卡尔特里为 2.8 (3) 到 9.7 (10)。

(III) 第三組是卡尔特里值从 9.7 (10) 到 45 的离子。它們易于氧化,并和氧形成絡离子,然后进入水溶液中。

本組元素位于表中右上角。

能影响元素的溶解度,因而也影响了它們迁移能力的可变值是:氢离子濃度 (pH 值)、氧化还原电位 (EH 值)、压力、溫度、化合物电离的能力、溶液中共同离子和外来离子的存在、可溶性气体存在 (碳酸气和氧)、存在溶液中离子之間相互的化学作用及离子与溶液間相互的化学作用、物質的分散程度、水的状态等。

容易看出:个别元素的潛水、水流和蓄水盆地中的含量取决于許多因素。在編制水文地球化学图,尤其在对它进行預測解釋时,必須尽可能的估計到这些因素。

元素的化合物在水中可以呈离子、分子、膠体以及机械

悬浮物的形式，前三种形式之間多少存在着动的平衡。

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给研究工作带来的困难。

金属在水中的含量取决于许多因素，下面我们扼要的探讨一下。

1. 硫化物及其他化合物的氧化产物的溶解度：

这个因素的一般意义已如上述。

2. pH值和pH值的大小：

氢离子浓度能影响到溶液中呈离子状态存在的物质。

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

阳离子	V^{5+} Mn^{4+} Ti^{4+}	Hf^{4+} V^{3+}	Fe^{3+}	Th^{4+}	Al^{3+}	Cr^{3+}	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	6.5-8.5	6.8-8.5	5.5-8.5	10.5	8.5-9	>11	5.3

必须着重指出，当金属的浓度低时(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。当金属的浓度高时，pH值的影响就会扩大，但即使是在这种情况下，它仍不能支配处于胶体、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綫上，氧化作用最强，在那里金属进入水溶液的作用將取决于潜水面变动的情況，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，可能使金属的淋濾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濾作用，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釋，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濾部分，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，则金属在溶液中含量愈高，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長的过程中，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，当黄鉄矿、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。

在干燥的季节里，地下水流迅速的減少，潛水面也下降并离开氧化作用最强的地帶，因此潛水的碱性就变得愈为强烈。这时溶解的鹽类被沉淀出来，而残余的鹽則为粘土所吸附。但残余的鹽到雨季时又可以被水冲刷，再一次重复这种作用。

在中緯度的地区，其特点是雪的复盖层很厚，所以在融雪的季节会同时产生强烈的水交替作用。

在这里，水流中金属含量变化的周期性，是另一种情况。

根据 Ф.А. 馬卡連科的資料，河水能极全面的反映出該地区，在常水量的情况下，地下水流的潛水化学成分。当地表水流速度减少，或在某些区域甚至完全消失时，能反映出被冲刷岩石化学变化的潛水就成为河水补給的主要来源。

因此正确地选择時間对河流盆地进行水文地球化学取样，能使我們得出該区域含矿范围的輪廓。在中国的中部及北部各省，这样的条件是可能存在的。

显然，在地表或地下的水流中，当偶然所采集的水样缺乏金属时，这并不意味着金属矿床的不存在。同样分析的结果若有金属存在亦不能作为匆忙地确定有矿床存在的根据。应该系統的进行水文地球化学采样的工作，并考虑所有上列因素的相互影响，才能得到正确的結論。

水文地球化学的研究廣泛的应用了“背景”及“背景含量”这一概念。

在水中金属(或阴离子)具有平均含量的地区叫做背景。

背景含量就是金属(或阴离子)含量的平均值，在数值

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

时，就很容易圈出一定的范围，在那里 ОКМ 将升高或达到 РКМ。

这范围显然是最有价值进行详细的普查工作。

布罗茨基 (А.А.Бродский) 于1955 年把地下水的组份划分为三组：

(1)集中的组份：依地下水沿岩石运动的程度而集中的硫酸离子和铍即属于这种组份。它们形成在进行水文地球化学调查时易于探索的量，这种量常分佈在几公里的范围内。对于这两种组份，它们的特点是在离开矿体的一定距离内浓度仍相当高，它们的自然背景很易变化，这不仅是决定于矿化作用，且还决定于成岩作用。

(2) 不分散的组份：例如铍产生的分散量很窄而明显，并限于矿化的范围内。但是在多金属的及某些铜的矿床水中，常常可以发现铍的存在。因此应该注意只有当铍的含量很高时，才是铍矿床存在的特征。

(3) 分散的组份：绝大部分造矿元素及化合物都是地下水中的分散组份，而铜为其中最分散的组份，其他元素则占有中间位置。

在第一阶段，水文地球化学研究的任务是：

(1) 详细收集及综合一切已有的水化学和水文地球化学分析资料，虽然是近似的但亦希望取得其迁移系数值。

(2) 对地下及地面的水流进行详细的水文地球化学研究，首先是阐明在该具体地质环境中，集中的、不分散的及分散的元素的迁移系数值及行为。

(3) 阐明各个水流由于通过不同的岩石而引起独特的

特点。

(4) 闡明各个金属的分佈量。

但是，要正确的完成这些任务，还必须了解元素及其他化合物在水中的行为。正如大家知道的，每个元素的行为都取决于很多的原因。

确定每个具体环境中的作用因素，并说明这些因素对所研究金属（元素）行为的影响，以我们的观点看，这都是完全必要的，而且是首要的任务。这些任务完成的好坏，在很大的程度上，将决定水文地球化学研究的最后结果。

下面我们列出某些有关个别元素的资料，其中包括南烏拉尔、北哈萨克斯坦、中哈萨克斯坦的某些矿田，共 23 个矿床。

同时亦引用了上述 H. H. 金兹堡著作中的材料。

1. 鉛。当 18°C 时，在蒸馏水中硫酸鉛的溶解度为 42 毫克/公升；碳酸鉛为 1.1 毫克/公升。当 $\text{pH} = 6$ 时，氢氧化物从溶液中沉淀出来。当其含量很小时，也可能在中性和弱碱性的环境中存在，此时 pH 值甚至可稍高于 7。

甚至在多金属矿床的范围中，鉛在水中含量的变化可以在千分之几毫克/公升到 0 之間。

在上述的及以后将要談到的情况中，使用对该元素最灵敏的方法仍不能测定的含量，称为零含量。

鉛的含量情况（光谱分析时低于 0.003—0.05%，打薩棕法分析时为 0.001%）无论是分析水本身或分析它的残渣时，都很常見。在所有这些情况中，必须确定一个原则，例如：在哈萨克斯坦的一个矿床中，当干燥的季节，潛水面低

于氧化帶时，在矿井内所采的水样，并不是都有金属的存在。而当雨后，潜水面高达氧化帶时，在同一矿井内所取的水样中，都有金属的存在。

鉛的含量：在穿过矿床的矿井及深井的水中，为0.34，0.2，0.15毫克/公升。

在直接与矿床有关的鑽孔水及潛水中，为0.1，0.05，0.25毫克/公升。有时可低至十万分之几到零。

穿过矿体的地表水流，鉛的含量为万分之几，十万分之几到零。

Ag、Zn、Bi是含鉛多金属矿床的典型伴生元素。

在矿床的水中，鉛及典型伴生元素的含量可以由于下述原因发生变化：(1) 由于季节性水交替作用的变化；(2) 由于外来伴生离子的成分，在性質上和数量上的变化；(3) 由于外来的季节性的不含金属的水可能稀釋矿坑水；(4) 由于矿石及圍岩中金属含量的不均匀，潜水面季节性变动而引起潛水对这些金属有次序的冲刷。

下面我們討論一下鋅、銅、鉍它們属于几乎在所有有色及稀有金属矿床中都可遇見的所謂遍在性金属。因为在水中发现它們还不能表示有矿床的存在，要在这方面下結論，还必须詳細地考虑金属的含量，圈定出含量高的地区，并考虑这一地区的地質环境。

2. 鋅。鋅的硫酸鹽溶解度很高， $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 为544,000毫克/公升； ZnSO_4 为366,000毫克/公升。碳酸鹽的溶解度，如 $\text{ZnSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ 为40毫克/公升。

鋅的硫酸鹽及碳酸鹽有很高的溶解度，它大于鉛的溶解

度达40倍，这一特性就决定了它具有很大的迁移能力。

溶液中鋅的化合物，在pH值为3—5时，亦即在弱酸性、中性及碱性的环境中发生沉淀。

在黄鉄矿型銅矿床的矿化水中，鋅的含量可由20—35毫克/公升至700毫克/公升，亦即大大的超过了鉛的含量。

在多金属矿床的水中，鋅的含量为0.2—1毫克/公升，或稍高些。

由于光譜分析对鋅的灵敏度很低，但仍較用化学方法——打薩棕測定鋅好，所以用光譜分析发现鋅时，是鋅有希望存在的标帜。

3. 銅。 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的溶解度=207,000毫克/公升， $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ =2,090毫克/公升，銅的主要碳酸鹽是不溶解的，当pH=5.3—6时二价銅的化合物就从水溶液中沉淀出来。

銅呈硫酸鹽状态时能远距离迁移，但这仅是在酸性和强酸性的介質内才有可能。弱酸性的介質就己能沉淀出銅的主要硫酸鹽，如与碳酸水会合則可引起不溶解的碳酸銅沉淀。

在潮湿气候的水交替作用活动的和酸性介質的条件下，氧化帶中的銅几乎完全被淋失，并且形成銅的稀溶液。

这种成为稀溶液的銅能帶到地表的水流中，但只能迁移不大的距离，这种水与碳酸鹽岩石相遇使銅以碳酸鹽的形式沉淀出来。

在沼泽条件下，在溶液中通常发生銅的富集，在土壤中銅可以形成可溶的和难溶的有机化合物，并且能够少量地保留在土壤中。

在干燥的气候条件下，水的交替现象不多，更加有利于铜在水中的富集。但在这种条件下很快地发育起来的碱性介质阻止了铜在溶液中的富集和迁移。

黄铁矿型铜矿床的水中，铜的含量很高，可从1到20—30毫克/公升，在个别情况下含量能提高到几百毫克/公升。

多金属矿床中的干涸残渣几乎经常含铜达0.01—0.2%。含铜量为零的情况是极少的。光谱分析肯定证明，在石英——钨锰铁矿，石英金矿和辉钼矿类型矿床水的干涸残渣中，有铜的存在。

黄铁矿型铜矿床的水，除了含铜以外，还含有Pb、Zn、Ag和Co，它的特征就是Zn、As的含量很固定、并有Co、Ni、Sb存在，有时还有Ba。

在不同区域中铜和锌硫化物的含量是不同的，各个区域都有特殊的含量。

地 区	含 量 毫克/公升			
	在铅锌矿床中的锌		在铜矿床中的铜	
	背景的	量圈的	背景的	量圈的
外高加索	0.2	0.2~0.5	—	—
阿尔泰	0.01	0.05~0.3	0.004	0.02
萨彦地区和库兹涅茨克	0.001	0.04~0.09	0.001	0.01~0.1
中哈萨克斯坦	0.08	0.3	0.03	0.13
中亚细亚	—	—	0.02	0.05
烏拉尔	—	—	0.03	0.08

上面列出A.A. 布罗茨基所拟定的关于该类矿床的地下水中铜和锌的背景含量及量圈的（即被提高的）含量。对于

中国的各个地区，首先是最有远景的地区，编制这种类似的图表，必将是发展水文地球化学找矿法的一项巨大贡献。

4. 钼。在中哈萨克斯坦的多金属族矿床和围岩的潜水中，经常有非常少量钼（从0.0001—0.0003%到0.0009%）的存在。钼的含量偶然可达0.001—0.006%。钼从溶液中沉淀的pH值是等于8。

在裂隙水的干涸残余物中，经常能发现钼的存在，并且其含量达到0.01—0.03%，这说明基岩中富含钼。在水流中钼的经常出现是与光谱分析对这种元素高度的灵敏性有关，也与它的盐类在中性或是碱性和酸性的介质条件下（虽然钼的盐类从水溶液中发生沉淀的pH值不大）相对地有高的溶解度有关。H.И. 多卢哈诺娃曾确定阿美尼亚钼矿床的溶液中，当pH值的变化从2到8情况下，钼具有停留在这种溶液中的能力。

在中哈萨克斯坦（E.E. 别利亚科娃，1955年）的矿床水中，钼含量的变化是从0.001毫克/公升到2毫克/公升。其背景含量为0.002毫克/升。她确定钼的含量，于pH值为6.2到8.5的范围内，与水中的硫酸盐的含量无关。当碳酸钙的含量大于10%时，会引起钼的沉淀，并且剧烈降低水中钼的含量。

对于阿美尼亚钼矿床来说，在它的分散量范围内的表面水和潜水中，钼的含量为0.001到1.6毫克/公升；在矿化带的裂隙水中，钼的含量为0.07到8.0毫克/公升；以100克的土壤溶于水，则它在水中可溶部分钼的含量为0.015到1.6毫克/公升。

鉬的分散量通常是不大的，一般只是局限于矿床的范围内。同时确定水中硫化物和鉬的含量之間成正比关系，而鉬和鈣的含量之間成反比关系。在矿区中的水，主要是重碳酸鹽水，硫酸鹽——重碳酸鹽水較稀少，而硫酸鹽水則更少，含有大量硫酸鹽和鉬的水，可以預測作为有鉬矿床存在的良好对象。

5. 銀。AgSO₄ 的溶解度为7900毫克/公升；Ag₂CO₃ 为32毫克/公升；AgCl为1.5毫克/公升，pH值为7.5时发生沉淀。

由上面所引用的資料應該預料到硫酸銀在中性，酸性以及弱碱性条件的水中能够迁移得很远。当有碳酸鹽特別是氯化物存在时，則迁移的能力显著减小。銀可被FeSO₄由溶液沉淀下来。

在黄鉄矿矿床的水中，pH 值特別低的情况下，銀的含量达到 200~250毫克/公升，而通常銀的含量是以每立方公尺水中若干毫克为單位，或是 0.001 毫克/公升或者更大一些。如果注意到銅的主要碳酸鹽較銀的碳酸鹽难于溶解，則測定作为含銅黄鉄矿矿床的指示剂的碳酸銀，其重要性就变得显而易见。

在水的干涸殘余物中，銀的含量是从0.01到0.0001%，即在光譜分析的灵敏度范围内（0.0001%）也在打薩棕法的灵敏度范围内（0.00001%）。

实验証明：中哈薩克斯坦的某些多金属矿床水的干涸殘余物中，很少发现銀的含量为百万分之几，十万分之几，更少达到万分之几。显然，对銀的水文地球化学，还須进行大

量的工作收集实际材料并加以综合，以便获得能用到实践中去的可靠规律。

6. 镉。 CdSO_4 在水中的溶解度为2090毫克/公升（30°C的情况下），这样的溶解度是相当高的，但却要比铜和锌的硫酸盐为低。因为镉的氧化比锌快，因此在矿石氧化的最初阶段里，水溶液 $\text{Cd}:\text{Zn}$ 的比值是比氧化的最后阶段要高得多。

镉是锌矿床的特征元素，因此，镉的发现经常表明有锌矿的存在。

在水的干涸残余物中，镉是极少有的。例如在某一个矿区的142分析资料中，镉的发现总共只有5次（H. H. 金兹堡）。在所有这些情况中，镉的含量大约和锌相似。

7. 铋。铋是石英——黑钨矿矿床水中所特有的元素。这些矿床水的干涸残余物光谱分析的结果，得到弱的和非常弱的谱线。

在富含铋矿物的多金属矿床中，矿床水的干涸残余物的光谱分析却没有发现铋的存在。

黄铁矿型铜矿床中（乌拉尔），矿床水的干涸残余物的光谱分析，所得铋的谱线亦很弱。

铋的水文地球化学还必须作进一步的研究。

8. 锡。锡化合物的溶解度很低，pH值少于2时产生沉淀。在水流中，锡的含量不很高。

在花岗岩的裂隙水中为0.003—0.004%；

在石英斑岩的裂隙水中为0.0001—0.009%；

在石英长石斑岩的裂隙水中为0.08%；

在泥盆紀酸性噴出岩的裂隙水中为0.003% ~~以下~~

在黑鎢矿——石英脉的裂隙水中，光譜分析錫的譜綫很弱；

在鉬矿床的裂隙水中为0.003—0.0006%。

在志留紀的砂岩、泥質砂頁岩以及这些岩石的冲积物的水中，分析結果錫的含量极貧。这些水的pH值不低于6.5而且甚至可高达8~8.5。

哈薩克斯坦的六个多金属矿床中，矿床水的干涸殘余物显示有錫的存在。含錫水的干涸殘余物中，几乎經常伴有鉬的存在，例外的情况很少。

9. 钒。钒的水文地球化学是与三种形式的钒有关：(1) 三价钒与含鉄矽酸鹽有类質同象的关系，这种形式的钒在水溶液中活动性极小；(2) 在矽酸鹽氧化时形成第二种形式的钒，其活动性最强；(3) 复杂的絡鹽，即难溶于碱性介質中的Pb、Zn、Cu的钒酸鹽。

五价钒在pH值等于2左右时发生沉淀。

在含钒鋁矿的多金属矿床氧化帶內，也很少发现有钒存在矿床水的干燥殘余物中。

冲刷方鉛矿——重晶石矿床圍岩的冲积水和裂隙水的干涸殘余物中钒的含量从0.003到0.006%。

黄鉄矿矿床（南烏拉尔）的五个水样的干涸殘余物中，有二个含钒为0.007到0.07%。

10. 鉻。鉻是属于活动性弱的元素，但在碱性介質的条件下它以鉻酸鹽的形式进入到溶液中，当超基性岩被风化和鉻尖晶石氧化时，鉻就大量的被帶出。

在多金属矿床中，矿床水的干涸残余物的铬含量通常为0.001—0.003%到0.04—0.6%。

必須着重地提出，在許多情況下，在所研究的水中，極大多數的鉻是由沉積岩來的，其次是變質的噴出岩，而不是基性和超基性岩。

11. 鎳。NiSO₄·7H₂O 在水中的溶解度是 28,000 毫克/公升；Ni(HCO₃)₂ 是 136 毫克/公升。其他形式鎳的化合物實際上是不溶解的。

水中鎳的存在特別決定於 pH 值的大小。當 pH 值為 6.8 時，鎳就從溶液中以水矽酸鹽或氫氧化合物的形式沉澱出來，當 pH 值大於 7 時，鎳已完全不存在於水中。

蛇紋岩岩體中的水中含鎳為 0.025—0.06 毫克/公升到 0.1 到 0.2 毫克/公升。當形成硫酸鹽形式時，鎳的含量可高達 13 毫克/公升。

多金屬礦床水的干涸殘余物中，鎳通常是不存在的，或是從 0.001—0.003 到 0.006—0.009% 同時 pH 值可以達到 8 和 8.5。

黃鐵礦礦床水的干涸殘余物中，在光譜分析時，鎳的譜綫極弱。

黑鎢礦——石英脈礦床和鉬礦床水的干涸殘余物中不含鎳。

12. 鈷。Co(HCO₃)₂ 的溶解度為 93 毫克/公升，CoSO₄·H₂O 為 247 毫克/公升。pH 值等於 6.8 時，鈷的化合物發生沉澱。在超基性岩（其中鈷的含量較鎳低 20 倍）的風化帶中，鈷很快氧化成 Co₂O₃，並從與它共同遷移的鐵和錳的氫氧化

物中沉淀出来。

应该考虑到超基性岩中 $Ni > Co$ ，那末在热液矿床和黄铁矿型铜矿床中则 $Co > Ni$ ，在超基性岩石的水中同样 $Ni > Co$ ，但在黄铁矿型铜矿床的水力中，由于其中钴占优势，因为钴与镍的不同，它不能形成砷酸盐，所以钴的含量在各处皆比镍为高。在某黄铁矿矿床水的干涸残余物中，镍的含量为0.01%，而钴的含量为0.1%。

在氧化作用时，钴能变为不溶解的形式，并且被锰固定下来。在多金属矿床水（哈萨克斯坦）的干涸残余物中，钴的含量非常微小，它比镍的量要小的多，它的含量通常为0.001—0.002%，虽然在矿石或围岩中钴几乎是经常存在的。

13. 砷。在砷矿床的水中，砷的含量从每公升几毫克到几十毫克。

砷是多金属矿床氧化带水中经常存在的元素，但在水的干燥残余物中，由于光谱分析对砷的灵敏度(0.03%)低的缘故，因此很少被发现。

在石英——金矿床（乌拉尔）水的干涸残余物中，用化学分析方法发现砷的含量为0.001到0.009%，而黄铁矿型铜矿床（乌拉尔）水的干涸残余物中砷的含量达到1.7%。

多金属矽酸盐岩矿床和石英——铜矿床水的一些分析，曾确定有砷的痕迹。

14. 汞。在乌拉尔的某些黄铁矿矿床的水中曾确定有汞的存在，特别是在pH值低的情况下，则更有汞的存在。如在pH值为2.45时，汞的含量为0.5到1.1毫克/公升。

曾确定乌拉尔的某些黄铁矿矿床中元素迁移的经验系

列： $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Hg} > \text{Ag} > \text{Au}$

15. 鈾。根据A.И.盖尔曼諾夫和A.A.薩烏科夫的資料，对鈾來說，沒有統一的水文地球化学背景。必須对每一区域、每一季度、每种岩石分別加以确定并考慮到地貌特征以及水文地球化学环境（碱性、中性和酸性）。

鈾在水中的背景含量为 $n \cdot 10^{-8}$ 到 $5 \cdot 10^{-4}$ 克/公升。在干燥气候的地区为 $n \cdot 10^{-5}$ 克/公升。異常含量为 $n \cdot 10^{-3}$ 克/公升。

在高山条件下，同类岩石中鈾的背景为 $n \cdot 10^{-7}$ 到 $n \cdot 10^{-8}$ 克/公升，異常为 $n \cdot 10^{-5}$ 到 $5 \cdot 10$ 克/公升。

16. 鋇和鐳。在溫度 0°C 的条件下 BaSO_4 的溶解度为0.00174毫克/公升； SrSO_4 ——0.1134毫克/公升。

在中哈薩克斯坦多金属矿区的中性和碱性水溶液的干涸残余物中，鐳的含量可达一个單位值或1/10，很少为1/100；而鋇的含量大約要少十倍，即一般为1/100，而很少为1/10。

（同时硫酸根离子会影响到在水中这些元素含量的下降）。在石膏化不存在的情况下，鋇在水中具有較高的含量，可作为含鋇热液金属矿石建造的指示。

17. SO_4 和 Cl 的比值：解决某些类型金属矿床一系列的成因問題时，这两种离子的比值可以作为重要的指示。

根据布罗茨基1956年的資料，这些离子的比值是硫化物参与氯化作用所特有的指示。

$\text{SO}_4 : \text{Cl}$ 的平均系数在一年內不同的月份里可以有所变更。C.P.克拉伊諾夫曾引用以下例子：六月初这个比值为1.5，而到秋天就上升到2.5（1956年）。

假如离子的比值超过背景含量并且在水中发现有銅和鋅

的存在，便可相当肯定的証明有矿床存在。

对含有少量硫化物的矿床来说， SO_4 离子不能作为指示剂，因为在硫化物的矿体之外，也可看到少量的 SO_4 离子。在被氧化的硫化物缺乏的情况下， SO_4 离子的含量和氯离子的含量同时增加；当硫化物存在时，氯离子的含量就不能增加；所以 SO_4 和Cl的比值是硫化物矿床最可靠的指示剂。

在缺乏石膏渍度或鹽渍度的条件下，以及在强的和中等的交替作用的情况下，我们可以采用这种指示剂。在被离子化的水交替条件下， SO_4 离子逐渐集中，并且形成与硫化物的氧化作用无关的巨大的晕圈。

18. 氟。 CaF_2 的溶解度为16毫克/公升。已经証明天然水中经常有氟存在。

在西欧的河水中，氟的含量达0.04—0.31毫克/公升。俄罗斯平原的河水含氟0.14毫克/公升，在该地区的地下水中氟的含量达0.60毫克/公升。

在热水溶液活动强烈的地区，已经証明，氟（和硼）在水中（中哈萨克斯坦）具有较高的含量，达0.72毫克/公升。这类地区的井水中氟的含量高于1.0毫克/公升；在冲积层的水中—1.8毫克/公升；在喀斯特化的石灰岩的水中——1.6到1.9毫克/公升。矿化强度最弱的水含氟量较高，达2.5毫克/公升；而矿化程度较强的矿水含氟量较少，不超过1毫克/公升。

多金属矿床水干涸残余物的含氟量（呈氟化钙形式）为0.3%到2—8%。

在与花岗岩有关的水中，氟的含量较高；而石灰岩和咸

湖（諾沃哈斯基，加里寧）的水却不含氟。

19. 硼。溶解度——15克/公升。

当含硼的矽礫岩（矽硼鈣石和斧石）风化时，在其所生成的产物（粘土）中，是不含硼的，因为硼已被潛水帶到溶液中去。

在中哈薩克斯坦的多金属矿床中，硼和热液成矿作用有关。大部分样品中硼的含量为0.1到1毫克/公升。硼在所有样品中的最低含量为0.01毫克/公升，最高含量为5—10毫克/公升。

与沉积有关的水中經常发现有硼的存在，因此，当我们进行水文地球化学找矿时，必須注意这一点。在韃靼里亞二迭紀的沉积层中硼的含量在0.04到11.2毫克/公升之間。

在金茲堡的論文中，簡要地描述了銻、硒、銻、磷、銻、鉍、鉍和鉍等元素的水文地球化学性質。然而由于它們的找矿标誌尚未得到足够的闡明，因而这里就不再詳述。若是有兴趣的可以參看金茲堡的著作。

四、金属的水文地球化学找矿 的某些基本原理

金属的水文地球化学找矿可分为三个基本阶段

(1) 测定金属或金属及离子綜合体的地区背景；

(2) 查明高于金属（离子）背景含量的異常点、地段或区域；

(3) 查明金属(离子)異常含量的来源以及它們产生的原因和条件。

在水文地球化学找矿的最后阶段,要进行图件的編录及預測的說明。

为了測定背景,最好垂直岩石的走向来取水样。与此同时,还必須作地質編录,編录中至少要反映下列一些問題:水流(地下水、地表水)或水盆地(湖泊、池塘、沼泽)的性質;它們的成因(人工的、天然的);水盆地存在的时间(不久或很早就存在);岩石的岩石学特征(尽可能詳細)并指出它們的成因类型(岩漿成因:深成的、噴出的,沉积变質程度或沉积原因:变質作用的特点);地質構造或構造要素;各种断裂变动的特点;裂隙程度;疏松复盖层的厚度和性質(坡积层,洪积层,冲积层及其他)。还可以包括說明地質环境的其他資料。

盖尔曼諾夫和薩烏科失認為,当測定背景时完全必須估計到下列的情况:(1)該地的地質構造,尤其是不露出地表的岩石成分;(2)該地区的地貌,它有时能来現出某些地質構造的分佈情况,这样一来,我們就可以确定由于水积极作用的结果引起岩石和矿石变动的深度和强度;(3)該地区已知矿石的特性及其成分、透水性、产狀的地質条件和水流的关系等等;(4)水,尤其是異常水的成分所具有总的、化学的,以及含气的特征;(5)水的补給条件;(6)气候条件及其他条件。

金属水文地球化学找矿既可以在沒有疏松岩石复盖层的暴露地区进行,也可以在封閉的地区中进行。

在暴露的地区中，水文地球化学找矿起着辅助的作用，它能帮助其他许多找矿法，如地球化学法，矿物学法，地质构造法等寻找金属矿床。

在近代的具有被强烈切割地形的山区中，采用水文地球化学找矿法可以获得最大的效果。在那里，取样网必须加密，因为许多小水流都分佈距矿体较近的地方。

在这种条件下找矿时，必须经常注意到，水的交替随季节的不同而有显明的变动，因此金属在水中的背景和异常含量也跟着改变。

在封闭的地区，特别是在厚的复盖层中，水文地球化学找矿法是所有地球化学找矿法中最有效的方法。

在有很厚复盖层的封闭地区中，必须采集所有出水点（天然的和人工的）的样品，并逐一加以研究。这些天然的和人工的出水点包括：河流、主要支流和次要支流、泉、井、钻孔和其他矿山坑道，临时的和永久的水池、运河、滞流水沟和流水沟等。发现有远景的地方，如果条件可能，还必须打钻，以加密采样网。

必须指出，与在任何出水点取水样的同时，还要对地质条件进行尽可能详细的鉴定或全面的鉴定工作。

对采取的水样必须进行分析，既分析金属，也要分析阴离子。pH值的测定也是完全必要的。

在野外找寻某种金属时，测定伴生元素的含量极为重要。例如，当普查Pb时，必须测定Zn和Ag；寻找Co时，要测定Ni等。有关伴生元素的综合材料，在上面谈到金属元素的水文地球化学特征时已作陈述。

在可能有热液矿床存在的地区进行普查时，测定硼和氟的含量有很大的作用。

在一切场合下都必须查明铀、镭等放射性元素及其蜕变产物的含量。

综上所述，可以得出重要的实际结论：当为了达到找矿目的而组织水文地球化学研究时，事先完全必须熟悉（尽可能详细）该地区的地质（一切测量情况）、地貌、水文地质和已知的矿产。每个水文地球化学试样采取都应该有一定的方向（沿水文网或路线采取），否则就不可能有正确的分析。必须就每个试样对分析操作人员提出完全精确的指示和要求。

进行水文地球化学找矿时，必须十分细致地考虑能够导致金属及其伴生物在水中具有较高含量的一切因素。

在这方面我们必须引述П. А. 烏道多夫和И. П. 奧魯弗利茵科在西伯利亚西部进行过的金属水文地球化学找矿时，获得了很有意义又富有教益的经验。他们力求考虑到所有的因素，并以此为根据对该地区水的金属含量作出了鉴定。

烏道多夫和奧魯弗利茵科所编制的西伯利亚西部天然水和岩体矿化带分类图已附入报告中作为例子。它是以表格形式编成的，表中考虑到：天然水的类型，它们的埋藏条件（和矿泉的关系），能导致水成分改变的岩石活动性，元素在水中的共生组合以及这种组合与在矿床中共生组合的比较，游离氧在水中的含量，pH值。

我们至诚希望对中国某些矿区，首先是最有远景的地区也能编出类似的图表。因为它们是有效和精细布置地球化学找矿，其中也包括水文地球化学找矿工作的出发点。

本节结束时，有必要指出目前正在研究的最有发展远景的一种找矿法，即测定水中同位素总的成分的方法。

在这方面最早的是 A. C. 烏克隆斯基（烏茲別克斯坦，1953—1954年）的著作，其目的是为了求得测定潛水补給的来源，区别各种成因的水流以及在許增場合下帮助发现沿断层裂縫深处流出的水源的可能性。

可以認為淋濾矿体的水其同位素成分和潛水不同。因此，测定水源总的同位素成分有助于发现有矿体存在的矿区。利用这种方法，即使在金属在离开矿体的迁移道路中已完全沉淀，也能找到重水的水源。

例如：根据热液硫化物矿床与滲透水的同位素成分的不同（前者含 S_{32} 多，后者含 S_{34} 多）所拟定的方法，以及根据测定氢及某些金属的同位素成分所拟定的方法。

十分明显，在今后的水文地球化学工作中，研究和应用这些方法所能取得的效果是难于过高估計的。

五、水文地球化学研究結果的整理

把水文地球化学水样分析的结果填入水文地質图中，就可得到水文地球化学图，在这图中可表现出主导元素或在成因上相互联系的元素組的情况。例如 Cu、Pb、Zn、Ag；Mo、W、Sn、Ni、Co；Hg、Sb。

金属的含量超过其平均含量的程度可用适当的符号或元素本身符号的大小加以表示。

为了表示出金属含量最高的地段或区域，通常采用等量

綫的方法。

水文地球化学图比例尺大小的選擇取決于：(1) 取出的任务；(2) 是否已有适当比例的水文地质图。

上面已經談到，踏勘任务在于編制一百万分之一的水文地球化学图；普查任务則为編制十万分之一和二万五千分之一图；詳測——万分之一，甚至还要大些。

水文地球化学調查工作最后的目的在于确定研究不詳的矿区的前景，以及合理确定并佈置該矿区詳細普查工作。

凡属地球化学找矿範圍內的地方都可采用水文地球化学法。在为厚层的疏松岩石或密集的森林所复盖并且有强烈切割地形的地区，水文地球化学找矿法有着特別重大的意义。

然而亦只有当它和其他地球化学方法相互配合时，才能获得最大的效果。它不能脫离地质学，而是要和地质学取得协调，并受地质学的支配，

水文地球化学法暂时还不是一种具有广泛生产性的方法，在相当大的程度上，它还帶有試驗的性質。尽管如此，其潜力之巨大是十分清楚的。我們的任务是在于如何能于尽短的时期內累积起运用它的經驗，总结它，使它在中国的普查工作中获得广泛的生产上的运用

一九五八年三月十日寫于南京大学地质系岩矿教研組

西伯利亚西部天然水和岩体矿化带的分类表

(据 И. А. 烏道多夫和 И. П. 奧魯弗利茵科)

天然水 类 型	天然水的埋 藏条件 (与矿化源 的关系)	岩石类型 (按天然 水pH值 改变测定)	各种不同类型天然水的特点
1	2	3	4
地表水	矿化带的水	不活泼	pH值为 5.5—7.0; SO_4^{2-} 达 100 毫克/公升; 重金屬含量达 1 毫克/公升; 重金屬离子, (除 鉄、錳离子外) 在水中的共生組合和它們在硫 化矿中的共生組合相吻合; 水中有游离氧存在
		活 泼	pH 值为 7.0—7.5; SO_4^{2-} 为 50—500 毫克/公 升; 重金屬在水中的含量达 0.1 毫克/公升; 重 金屬在水中的共生組合与 其在矿石中組合一 致; 水中有游离存在
	矿化带中 分散流的 水	不活泼	pH 值为 6.5—7.0; SO_4^{2-} 为 10—100 毫克/公 升; 重金屬在水中的含量达 0.5 毫克/公升; 重金屬元素 (除鉄、錳离子外) 在水中的共生 組合大多与 其在硫化矿中的組合相一致; 水中 有游离氧存在
		活 泼	pH 值为 7.0—8.0; SO_4^{2-} 为 50—500 毫克/公 升; 重金屬在水中的含量为 0.005 毫克/公升; 重金屬在水中的共生組合被破坏, 其含量經常 比矿石中少, 水中有游离氧存在
	矿化带或分 散流以外的 水 (即区域 地表水的背 景)		pH 值为 6.5—8.0; 重金屬 在水中的含量为 0.01 毫克/公升; 重金屬在水中的共生組合未 見; 水中有游离氧存在

1	2	3	4
包气带水及潜水	矿化带的水	氧 化 带 不活跃 活 泼	pH 值为 3.0—6.6; SO_4^{2-} 为 10—100 毫克/公升; 重金屬在水中的含量高达 10 毫克/公升; 重金屬 (除鉄、錳离子外) 在水中和在硫化矿中的共生組合一致; 游离氧的含量有限; 由于氧化作用有时水的温度(t°)升高 pH 值为 7.0 或多一些, SO_4^{2-} 达 500 毫克/公升; 重金屬在水中的含量为 1 毫克/公升; 重金屬在水中的共生組合和矿体中不一致; 游离氧的含量有限
		胶結带及原生带 不活跃 活 泼 不活跃 活 泼	pH 值为 6.5—7.0; SO_4^{2-} 达 100 毫克/公升; 重金屬在水中的含量为 0.5 毫克/公升; 它們在硫化物矿石中共生組合; 沒有游离氧 pH 值为 7.0; SO_4^{2-} 达 500 毫克/公升; 重金屬在水中的含量达 0.1 毫克/公升; 它們在水中和在硫化物矿石中的共生組合不一致; 沒有游离氧 pH 值为 6.5—7.0; SO_4^{2-} 达 100 毫克/公升; 重金屬在水中的含量达 0.1 毫克/公升; 它們在水中共在硫化物矿石中的共生組合不一致; 沒有游离氧 这种类型水中的金屬含量的实际資料沒有。
矿化带分散流的水		不活跃	pH 值为 5.0—7.0; SO_4^{2-} 达 100 毫克/公升; 重金屬在水中的含量达 1 毫克/公升; 重金屬 (除鉄、錳离子外) 在水中的共生組合大部分和在硫化矿石中的共生組合相一致; 游离氧的含量有限
矿化带和分散流以外的水 (即区域潜)		活 泼	pH 值为 7.0; SO_4^{2-} 达 500 毫克/公升; 重金屬在水中的含量达 0.01 毫克/公升; 它們在水中和在硫化矿中的共生組合不一致; 游离氧的含量有限

1	2	3	4
水的背景)			pH 值为 6.5—8.0; 重金屬在水中的含量达 0.01 毫克/公升; 重金屬在水中的共生組合未見; 水中有游离氧存在
矿化带和分散流以外的水			pH 值为 7.0—8.0; 沒有有关 SO_4^{2-} 含量的資料; 重金屬在水中的含量达 0.01 毫克/公升; 它們在水中的共生組合未見; 水中沒有游离氧

附 錄

C. P. 克拉依諾夫著作的簡短內容可以作為解決區域成礦的某些問題時，應用水文地球化學研究的例子。

工作區域的岩石大致可以分為二個沉積岩系（自下而上）：

1. 凝灰噴出岩系，主要為輝石玢岩和輝石玢岩凝灰岩，發育在本區的南部。岩系的時代大致確定為上侏羅紀——下始新統。厚度為 800 公尺。

2. 凝灰沉積岩系，時代為中始新統。發育在本區北部。該系分為：（1）下部凝灰沉積層，由凝灰礫岩、凝灰砂岩及凝灰岩組成。該層上部有富含炭質物的薄層。該層岩石位於凝灰噴出岩系的沖刷面上，層厚達 300 公尺；（2）上部凝灰沉積層，由凝灰砂岩、凝灰岩和安山玢岩成互層構成；層厚 200 公尺。

本區岩石彎曲成平緩褶皺，走向北西和南北，傾斜 35° ，在本區內有北西和南北向的某些構造破裂。

本區侵入岩分為兩組：

1. 東南組，雅格坦斯克包括幾個不大的花崗岩，閃長岩和石英閃長岩的露頭。這些岩體的侵入時代為上始新統。

2. 西部組，以烏魯茨基侵入岩體為代表，由淺色花崗岩和石英閃長岩組成。本組侵入岩的侵入時間現在尚未精確確定，僅知凝灰噴出岩系的岩石被本組侵入體截斷，侵入體和圍岩的接觸帶伴同熱液蝕變現象（矽化和黃鐵礦化）。

在工作區域內礦點數目很多，其中最有實際意義的是發育在本區北部凝灰沉積岩系中的層狀礦體；這些層狀礦體可分：

（1）多金屬礦體。他們產於下層中被變質的石灰質凝灰砂岩夾層內；礦體成分以方鉛礦、閃鋅礦為主，少量黃銅礦。

（2）含銅赤鐵礦礦體，產於上部凝灰沉積層的岩石中，基本上由赤鐵礦和黃銅礦組成。

这些层状矿体的特点是受地层和沉积岩的控制，在矿点范围内的破裂是属成矿后期的。

在由凝灰喷出岩系组成的本区南部发育着成脉状矿点，按矿物组成可分为：含铜赤铁矿，含铜黄铁矿，多金属矿，铁锰矿，含铜砷矿和其他矿点。他们都属于热液（高温和中温）形成物。

在该区的这一部分最巨大的是密茨-德卓尔的铜砷矿床，该矿产于南北向的热液蚀变带中。

所有脉状矿点都有巨大面积的热液蚀变现象，主要表现为围岩的砂化和黄铁矿化。

本区的水文地质很简单，发育着普通的裂隙地下水，位于本区中部和东南部的高地是裂隙地下水的补给地区。强烈切割的地形（相对高差大于1000公尺），再加上每年总雨量650—750公厘就使水交替的强度提高，结果使水源数目增多。

本区地下水矿化作用不大，当pH为6.7—7.3时矿化的主要成分含量为每公升毫克

Cl 3.6—5.7	Na 达到10
SO ₄ 8.0—14.0	Mg 达到 5
HCO ₃ 达100	Ca 达到100

无矿地区的地下水中金属元素含量不超过下列数值：

Cu 0.01毫克/公升；Pb < 0.02毫克/公升；As 0.001毫克/公升。

水化学研究法：在被研究地区进行大批的水源采样。某些最重要的成分（SO₄，Cl），采样时直接进行测定，而样品的其余成分可在样品经选择后在实验室内进行。对金属元素的分析，按照一般通用的具下列鉴定灵敏度的方法进行：Cu 0.002毫克/公升，Pb 0.02毫克/公升，As 0.0005毫克/公升。在本区范围内一共曾做了1000多个水源的采样。

在研究过程中确定了：地下水的化学成分随着其围岩的岩石成分不同而改变，并且这种改变最明显的是表现在硫酸离子和金属元素的含量上。

本区的所有矿点，由于氧化作用的结果而使地下水的化学成分发

生变化，这种现象过去已不止一次的被人们用来寻找新的矿点。

矿点的氧化反映在地下水的化学成分上，就是硫酸离子及金属元素含量的增高。矿点的水化学量可沿着地下水流向下伸延100—300公尺。

岩石受到热液蚀变的部分，很易根据凝灰喷出岩系中地下水化学成分的一般背景划分出来。

在脉状矿床的地区中，水化学量的构造可划分如下：

1. 外部：这部分的特点是地下水富含硫酸盐，且其数值稍高于背景。它分佈在围绕矿体很宽的范围中。

水化学量外部的形成与分佈在热液蚀变地区的黄铁矿的氧化作用有关。

2. 内部：这部分位于矿体范围内，并以硫酸离子、金属元素的含量明显的增加为特点。

伴随有热液蚀变的侵入体与围岩的接触带可借水的化学成分中， SO_4 离子及金属元素含量的局部增高，而圈定下来。

由图2可以看出，这里很明显被分为二个异常的地区，其中一个直接分佈在满烏魯茨基侵入体，及与侵入体最邻近的围岩中，这是由于在这个侵入体的接触地带所产生的微弱的热液变质作用的结果。

另一个异常区佔有本区东南部相当大的面积。在西北方，沿着密茨·达卓尔河谷，表现出地下水的硫酸盐含量有明显的增加。

在东南部分相当大范围内异常的发生，可能仅是因为在相应的范围中有受到热液蚀变岩石存在的缘故。应该考虑到，这种异常的表现仅是在较大的范围中硫酸盐含量的增加，故我们可以说，这是水化学量的外部。根据上面的叙述，水化学量的内部应该分佈有个别矿点的明显的水化学量。

在另一些地质构造已知的地区中，研究的结果表明， SO_4/Cl 系数数值的大小与热液变质作用的强度成正比例。

把这一结论应用到我们研究的地区时，则可以认为在东南方，热液变化的强度是随着与雅格坦斯克侵入体接近而增加的。换句话说，在组成列达山斯克岩体南麓的岩石中发育着热液蚀变量，量的方向是

由雅格坦斯克侵入体向西北伸延。

已經闡明了在岩石热液蝕變量的範圍中，有一系列的样品是呈綫狀分佈的，这些样品的特点是在周圍的地下水（如上流或下流部分）中它具有最大 SO_4/Cl 的系数值，这些有极大系数值的样品，可以連成几个平行西北向的帶。在密茨-达卓尔河河谷中，这一系列的帶，又可以被成南北方向并具有极大系数值的样品帶所切斷。这一帶的水中富含硫酸鹽，显然就是伴随有最强烈热液蝕變的構造破裂的反映。

因此，可以得到这样的結論，在研究地区的岩石热液蝕變量的範圍內，分佈有一系列西北方向（方向角为 319° — 330° ）的構造破裂及一个南北方向的破裂（位于密茨-达卓尔河河谷）。應該着重地指出，所有已知的矿点就正是位在这一綫上，且它們的絕大部分都有同样的走向（約 320 ）。現在通过我們的研究闡明了的構造破裂是就地直接观察所不能确定的，从矿点产于破裂構造的規律出发，就可以着手进行踏勘找矿，結果就发现了位在同一綫上的几个补充矿点，这个事实表明了查明破裂構造是有实际用途的，它可以作为进一步找矿的目标。

显然，热液蝕變量的大小与地表侵入岩露头的面积是完全不符的。很可能在深处有相当大的侵入体，这个侵入体在现在地表上的投影，就是我們現在所見到的量。

圍繞着含侵入体的热液蝕變量所占的面积，已較之用肉眼方式研究时所确定面积大得多。

我們上述的例子表明，水文地球化学研究的結果可以用来闡明在被研究的地区中成矿作用的某些特性及提供进一步普查找矿的方向。

当然，借鑒其他地質学研究方法的帮助也可以得到同样的結果，但是水文地球化学方法的價值是在于它能以小量的工作就得出有根據的結論，因为地下水的化学成分反映了所有的事实，并且大大的平均了这个事实，这样当应用其他研究方法时所发生的巨大的偶然率在这里变小了。

列达山斯克岩体南部地下水中硫酸盐含量图

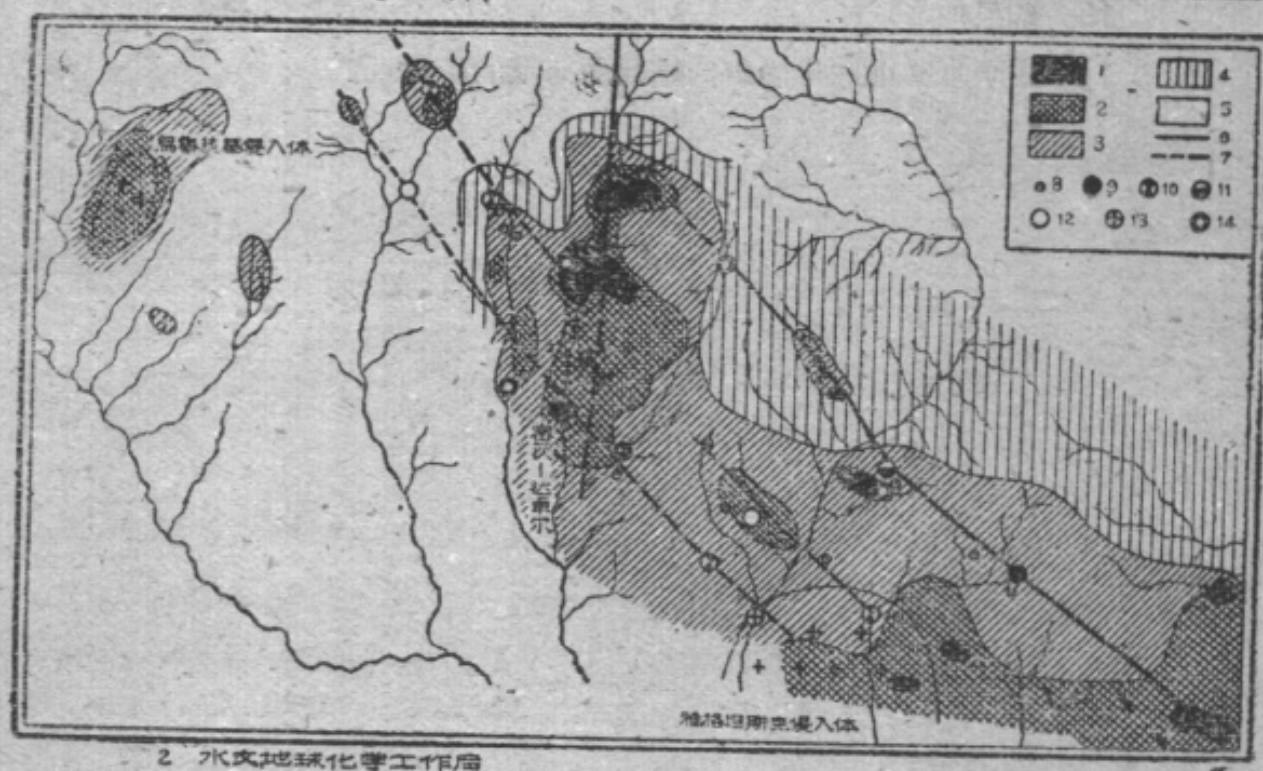
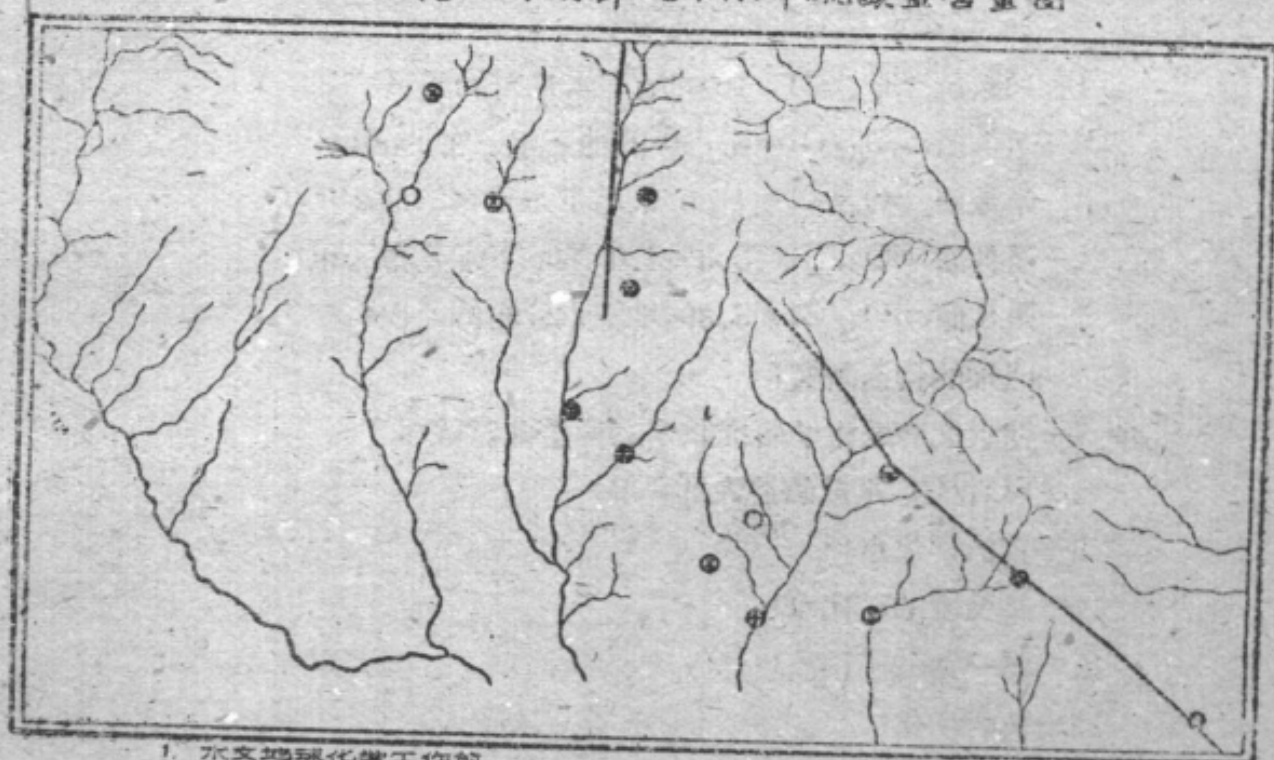


图 2. 列达山斯克岩体南部地下水中硫酸盐含量图

上图——水文地球化学工作前

下图——水文地球化学工作后

