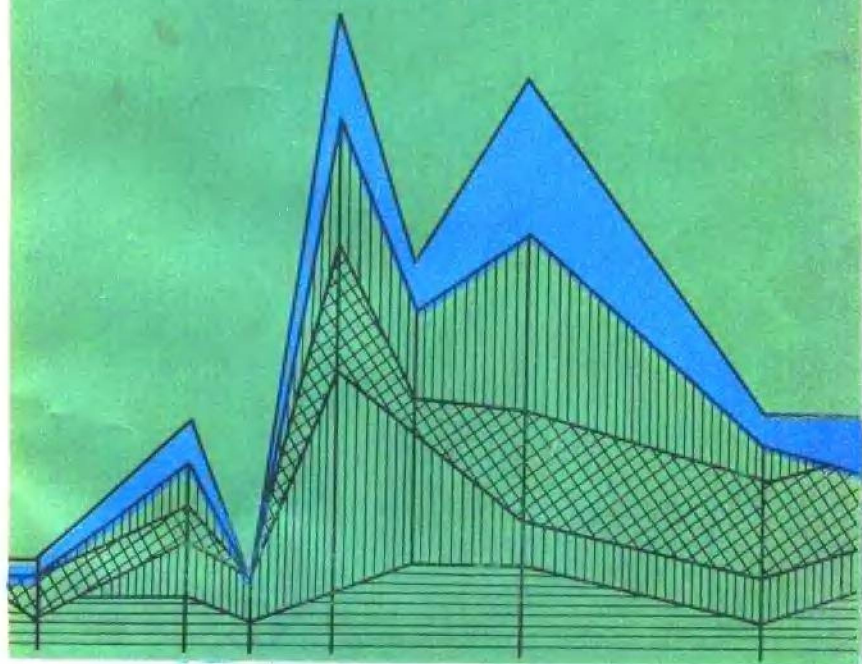


水文地球化学

〔苏〕K. E. 比契叶娃 著



水文地球化学

——地下水化学成分的形成

〔苏〕K. E. 比契叶娃 著

彭立红 译

刘祖植 校

地质出版社

内 容 概 要

本教程论述了研究地下水化学成分形成的自然历史分析法、模拟实验法和分类法。特别重视元素在水中的迁移、各种地质条件下的地下水——包括潮湿和干旱地区的潜水、陆源碎屑岩类、碳酸盐类和硫酸盐类岩层里的层间水——的化学成分形成作用的特征。最后从成因和实用目的的角度概述了水文地球化学分带性和区域水文地球化学。

本书适用对象：高等院校和中等专业学校地质专业和地理专业的学生，从事水文地球化学问题研究的水文地质工作者和地质工作者。

К. Е. ПИТЬЕВА

ГИДРОГЕОХИМИЯ

(ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

ПОДЗЕМНЫХ ВОД)

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА 1978

水文地球化学

——地下水化学成分的形成

〔苏〕К. Е. 比契叶娃 著

彭立红 译

刘祖植 校

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑：朱庆陞

地质出版社出版

（北京西四）

地质印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：850×1168¹/₃₂印张：10⁵/₁₆插页：2 字数：267,000

1981年11月北京第一版·1981年11月北京第一次印刷

印数1—3,180册·定价2.30元

统一书号：15038·新684

前 言

历来科学研究工作者就面临着一些与确定地下水化学成分有关的问题。出现这些问题是生产的要求需要满足：要求高质量的水和良好的饮用水，要求利用能治病的地下水和能熬盐的地下水，如此等等。因此，需要研究地下水中各种不同的化学元素、气体成分、有机质以及一般的矿物组分。

在十八世纪初叶所从事的水化学成分调查中，不仅研究地表水，而且还研究地下水。到了十九世纪末期，各地质学会所组织的调查被加强了，并获得显著的发展。在他们的工作中，很大注意力是放在地下水的化学成分上，其中包括深刻地论述了俄罗斯一系列地区的水文地球化学特征。这一时期所盛行的研究工作是与地下水按化学成分分类，与物理—化学研究中理论基础的独立分不开的。

以后，水文地球化学研究便与石油工业的高速发展联系起来。出版的著作涉及到一系列的水文地球化学理论问题，如所周知的奠基者是В. И. 维尔纳茨基 (Вернадский)。他在包括了天然水形成历史在内的奠基性研究中，地下水按化学成分分类、其演化特征以及基本水文地球化学规律，都开始得到了反映。从出现М. Е. 维尔纳茨基的研究的时候起，随着水文地球化学问题在实际运用中的发展，水文地球化学便作为水文地质学中的一门独立分支学科被划分出来。

到苏维埃政权建立的年代，许多国民经济部门建立了，它们成功地发展都要求从深度上和广度上去查明地下水的化学成分。在1921年，苏联科学院成立了世界上第一个水文化学研究所，着重研究包括地下水在内的天然水的化学成分。研究各种不同自然区域地下水化学成分形成理论问题的，还有苏联科学院地质研究

所的同行们。为解决水文地球化学问题，还在苏联地质部地质研究所、水文地质-工程地质研究所的下面专设了水文地球化学研究室。除此之外，在关于水文地球化学诸问题的研究上进行广泛协作的研究所还有：全苏地质勘探研究所、全苏石油地质研究所、全苏天然气研究所、全苏石油研究所等。全苏地质部和各加盟共和国地质局还经常进行一些水文地球化学的专题研究，这些课题涉及到利用地下水的国民经济各个部门。全苏卫生部的科学规划中列有普通水文地球化学专题。许多高等院校的学者对发展地下水化学成份的研究方面取得了很大的成就，它们是：莫斯科大学、列宁格勒大学、莫斯科地质勘探学院、列宁格勒矿业学院、莫斯科工业学院、托姆斯克工业学院，等等。

在现代，水文地球化学研究在利用地下水的领域更是发展迅速：1)在寻找饮用水和工业用水方面；2)在利用地下水作为矿产、热源和为着医疗目的而利用地下水方面；3)在寻找金属-非金属矿产（固体矿床和液体矿床）方面；4)在找寻从岩石中地下淋滤出的贵重元素方面；5)在地下处理危害生物的工业企业废液方面；6)在找寻地下蕴藏的天然气方面；7)在改良土壤方面；8)在注水加压开采石油和天然气方面；10)在解决各种工程问题方面。

根据水文地球化学理论问题对于许多国民经济部门的重要性，目前一些学者则把水文地球化学看做是一门独立学科，专门研究地下水化学成分、以及它们在天然的和人为的因素影响下在时间上和空间上所发生的变化。按照我们的意见，水文地球化学——乃是研究地下水化学成分及其生成方式的、水文地质学里的一个分支。

如下地质学科：地史、大地构造、沉积岩石学、岩石学、矿物学——都是水文地球化学的基础学科。

水文地球化学与其它一些水文地质学分支，特别是地下水动力学和区域水文地质学联系密切并相互渗透。水动力条件在很大程度上决定着地下水化学成份的形成。譬如，物质在水里浓度的增加是朝着水流动方向进行的；地下水的离子成分在具体的含水

层发生变化，是因为这些水是由其它另外的含水层里流过来的，在地下水流速不同的地段上，尽管其它条件相同，而地下水仍然具有不同的化学成分，如此等等。水文地球化学与区域水文地质学的密切关系，通过各种不同的水文地质构造表现得最为充分：在不同类型水文地质构造中形成在水文地球化学方面独具特征的地下水。譬如，褶皱山区和结晶基岩区的地下水多为淡水，而自流盆地的多属咸水和盐水。水文地球化学与地球化学、化学、物理化学有着一定的关系。应按地球化学的观点，去确立地下水中化学元素迁移的基本类型，去确定化学元素迁移的内在因素，去阐明地下水与岩石之间相互作用的特征。在化学和物理化学研究基础之上，建立地下水化学成分的形成过程，进行诸如硫酸根、重碳酸根离子等的均衡计算，推导元素在地下水里迁移的公式，等等。

为了定量评价水文地球化学过程，数学在水文地球化学中获得广泛的运用。

水文地球化学作为一门学科是在一些最新科学成就基础上发展起来的。水文地球化学的研究课题包括着问题的许多方面，涉及地壳被研究部份的水文地球化学状态、区域水文地球化学规律性的特点、地下水化学成份的形成。根据莫斯科大学地质系的教学大纲，水文地球化学包含着两个独立部份：第一部份是普通水文地球化学，第二部份是地下水化学成份的形成。

本通用教程即为第二部份。地下水化学成份形成的一些主要理论问题，是从地下水的如下定义中引导出来的，即：地下水是指一个复杂的自然系统，这个系统的特征是其化学性质与水动力性质既统一又相互制约，它们的化学性质与水动力性质是依据系统的特殊性、含水介质和环境介质的特殊性来确定的。含水介质——首先指岩石，以及岩石本身所固有的岩性、地球化学性质、渗透性、含水特征和其它一些水理性质。环境介质——指大气圈、生物圈及其它。“地下水”系统在其化学性质与水动力性质方面的统一性和相互制约性，表现为这些性质由于其中一个的变化而引

起另一个的变化。本教程包括下列章节：地下水化学成分形成的研究方法；地下水化学成分形成问题的理论基础；元素在不同水文地球化学类型中分布的规律性；区域水文地球化学规律性以及处于不同埋藏条件下地下水化学成份的形成；水文地球化学理论概述。

本教程着重致力于研究：旨在帮助恢复地下水化学成份形成历史这样一类问题。这类问题包括：各种自然因素（气候—地形、地质构造—大地构造、水热动力、区域的漫长演化及其它）在地下水化学成份形成中所起的作用；岩性及地球化学性质、岩石的水理性质在地下水化学成份形成中占有的地位和所起的作用；离子在不同成份的水里分布的规律性；在各种地质因素的影响之下，微量元素在不同水文地球化学介质中分布的规律性；地下水中物质成份的来源及其形成的物理—化学过程。

元素的迁移问题占显著地位；尤其研究了那些对应于各种埋藏条件下的地下水里元素迁移过程。在本教程里占特殊地位的是给出了关于确立模拟实验法的概念，用模拟实验法来重现离子在区域岩石—溶液系统中迁移的规律性，这个系统又是处在运动和静止状态之中的、处在压力、温度和岩石的初始渗透性等条件不断地变化之中的。书中还引用一些资料来说明：处在不同自然环境中的含水岩组，其水文地球化学性质、地球化学性质和水动力性质彼此之间具有既相互联系又相互制约的特征。

本教程还研究了潜水和层间水化学成份的形成。潜水化学成份的形成是分区阐明的：分为潮湿气候地台区、干燥气候地台区、褶皱山区和结晶基岩区。最具特殊意义的问题是干旱地区淡水和矿化水的形成。在对层间水化学成份形成的论述中，我们阐明了：不同成份地下水分布的规律性，地下水化学成份形成过程及其主要的、次要的影响因素，不同成份地下水在不同构造区、不同岩性—岩相的岩层中的赋存规律，热动力条件和水动力学条件对地下水化学成份形成的影响。

本教程还研究了水文地球化学分带性和水文地球化学分区问

题。

问题的大量性和多样性，带来了水文地球化学规律性问题和地下水化学成分形成问题的复杂性和多学科性，也就有必要采用大量课题的综合研究观点来解决这些问题。目前所进行的一系列研究课题，数量虽然多，但多有争议的，故要寻求最客观解决问题的途径。这些研究课题是：关于地下水化学成分的形成、地下水按化学成分分类，关于确立地壳剖面上的水文地球化学类型，以及确定地下水的分带特征，等等。上述课题中的某一些，目前仍被重视不够，这和它们尚处在形成阶段有关。其中已被注意到的研究课题有：地下水化学成分的形成之诸影响因素、水文地球化学分区原则、地下水按化学成分形成条件的分类。

在水文地球化学研究上发表著作和论文卓有成就者有：М. Е. 阿尔托夫斯基 (Альтовский)、Т. П. 阿法拉舍聂夫 (Афанасьев)、Е. А. 巴尔斯 (Барс)、А. Н. 布涅叶夫 (Бунеев)、А. А. 勃罗特斯基 (Бродский)、М. Г. 瓦利亚什科 (Валяшко)、М. С. 加里泽 (Галицын)、И. В. 戈尔什科夫 (Горшков)、А. И. 格尔马洛夫 (Германов)、М. И. 热依提尼索 (Зайдельсон)、И. К. 扎依采夫 (Зайцев)、Н. К. 依格纳托维奇 (Игнатовил)、В. В. 克拉西泽娃 (Красинчева)、И. Г. 基辛 (Киссин)、С. Р. 克拉依诺夫 (Крайнов)、В. А. 克罗托娃、Ф. А. 马卡连科、Н. А. 马林诺夫、А. М. 奥弗琴尼科夫 (Овчинников)、Е. В. 波索霍夫 (Посохов)、К. Е. 比契叶娃 (Питьева)、А. И. 西林-别克丘林 (Силин-Бекчурин)、С. И. 斯米尔诺夫 (Смирнов)、Д. С. 索科洛夫 (Соколов)、Г. М. 舒卡列夫 (Сухарев)、А. Н. 托卡列夫 (Токарев)、С. А. 夏弋阳茨 (Шагоянц)、В. М. 什维茨 (Швец)、А. В. 舍尔巴科夫 (Щербаков) 等人。

将天然水化学问题纳入自己编写的论著和教材的有：苏联科学院通讯院士О. А. 阿列金《普通水文化学》(1948年)和《水文化学基础》(1970年)、还有Г. А. 马克西莫维奇《大陆水的化学地理》

(1955年)。

对地下水化学成份形成条件和性状作过研究的还有下列著作●：A. M. 奥弗琴尼科夫《水文地球化学》(1970年)、K. E. 比契叶娃《地下水区域地球化学基础》(1969年)、E. B. 波索霍夫《地下水化学成份的形成》(1966年、1969年)和《普通水文地球化学》(1975年)、B. A. 普里克朗斯基 (Приклонский) 和Ф. Ф. 拉甫杰夫 (Лавтев)《地下水的物理性质和化学成分》(1949)。

有关苏联地区性的地下水化学成份方面的论述还散见在如下一些区域水文地质学术文献上：Г. Н. 卡明斯基 (Каменский)《地下水形成问题》(1953年)；Г. Н. 卡明斯基、M. M. 托尔斯季欣娜 (Толстихина)、H. И. 托尔斯基欣《苏联水文地球化学》；O. K. 朗格 (Ланге)《苏联地下水》(1953—1963)；A. M. 奥弗琴尼科夫《普通水文地质学》(1965年)；B. A. 苏林 (Сулин)《包括油田水在内的天然水，其化学成份的形成条件和分类基础》(1948年)；K. E. 比契叶娃《滨里海北部古生界的地下水》(1971年)。

● 还应把B. C. 萨玛丽娜 1977年发表的《水文地球化学》一书包括进去。该书突出特色是把地下水质与健康联系起来进行研究。进入八十年代，在苏联倍受推崇——译者。

译 者 的 话

国民经济生活许多部门对地下水质及其形成规律，日益提出越来越多和越来越高的要求，诸如作为矿产原料的工业水的找寻、水化学找矿勘探、油气田水化学、同位素水化学、环境与健康（尤其是医学地质）的研究……等，迫切需要对这方面的资料进行介绍和总结。一门新的学科便从水文地质学和地球化学中独立发展出来，专门研究地下水化学成分的形成，这门学科便是水文地球化学。

本书是苏联莫斯科大学新近出版的一本教材，书中比较系统地论述了有关水文地球化学的基本概念、基础理论和研究方法。重点放在元素在水中的迁移及各种地质条件下地下水化学成分的形成。区域水文地球化学是以高加索—中亚为背景举例论述的。

本书的缺点是作者站在地球化学家的角度而不是站在水文地质学家的角度来论述和研究地下水化学成份的形成的；译者的经验得知，不首先查明影响因素，是很难弄清地下水质形成规律的。因此对地下水化学成分形成的各种影响因素——自然地理因素、地质因素、水文地质因素、物理—化学因素、物理因素、生物因素——的论述较简略。水文地球化学发展方向也未作展示。定量研究基本上未作介绍，而这正是目前西方水文地球化学发展的显著特点。

本书译完后，刘祖植同志作了校正，朱庆隆同志作了审校，沈照理同志对个别字句提出了宝贵意见，译者在此一并致谢。加之原版印刷错误甚多虽然尽量作了修正，但限于译者水平，错误定难避免，敬希读者指正。

目 录

译者的话

前言

第一篇 地下水化学成分形成的研究方法

第一章	自然历史分析法	3
第二章	模拟实验法	31
第三章	分类法	45
第一节	地下水按矿化度分类	46
第二节	地下水按矿化特征分类	58
第三节	地下水按实用目的分类	79

第二篇 地下水化学成分形成问题的理论基础

第四章	元素的迁移及基本作用	86
第一节	元素在地下水中迁移的概念	86
第二节	在不同的水文地球化学条件下所呈现的地下水 化学成分的形成作用	95
第五章	地下水化学成分形成的物质来源和影响 因素	120
第一节	地下水物质成分的来源	121
第二节	气候——地貌因素	133
第三节	地质和水文地质因素	136
§ 3·1	地质构造-大地构造因素	136
§ 3·2	热动力因素	152
§ 3·3	水动力因素	157
第四节	在人为活动影响下地下水化学成分的变化	162
第六章	地下水按化学成分形成条件进行分类	172

第三篇 元素在不同类型水中分布的规律性

第七章	常量元素在不同成分的地下水中分布的规律性	188
第八章	Br、B、I、Li、Sr、Rb、Cs 在地下水里分布的规律性及其工业意义	201
第一节	Br、B、I、Li、Sr、Rb、Cs 在天然水中的分布状况	201
第二节	Br、B、I、Li、Sr、Rb、Cs 在地下水中的形成	206

第四篇 区域水文地球化学规律性和不同类型地下水化学成分的形成

第九章	潮湿气候地台区潜水化学成分的形成	229
第一节	决定水化学成分特征的潜水埋藏条件	229
第二节	水文地球化学规律性, 水化学成分的形成及其影响因素的确定	232
第十章	褶皱山区和结晶地块潜水化学成分的形成	238
第一节	决定水化学成分的潜水埋藏条件	238
第二节	水文地球化学规律性, 水化学成分的形成及其影响因素	240
第十一章	干旱地区潜水化学成分的形成	243
第一节	决定潜水化学成分的地下水埋藏条件	243
第二节	区域性分布的咸水、透镜状产出的淡水和盐水的 水文地球化学规律性及其化学成分的形成	245
第十二章	陆源碎屑岩类和碳酸盐类岩层中层间水 化学成分的形成	253
第一节	自流盆地边缘部分水化学成分的形成	253
第二节	自流盆地倾没部分水化学成分的形成	259
第三节	自流盆地最深陷部分水化学成分的形成	268

第十三章	硫酸盐类岩层的层间水化学成分的形成	276
第十四章	卤化物类岩层里的层间水化学成分的形成	281
第一节	氯化钠水的形成	281
第二节	氯化镁水的形成作用与影响因素	285

第五篇 水文地球化学中的一些理论问题

第十五章	水文地球化学的分带性；概念，认识的发 展和问题的现状	293
第十六章	水文地球化学分区	301
第一节	一般概念	301
第二节	按成因指标的水文地球化学分区	304
第三节	按实用目的的水文地球化学分区	312
参考文献		

第一篇 地下水化学成分 形成的研究方法

地下水化学成分的形成 并不是一个单一的问题，它包括着许多问题的各个不同方面。因此，认识它的方式，即这个问题的解决方法，也是多种多样的。最重要的方法有：自然历史分析法、模拟实验法和分类法。

自然历史分析法 这个方法乃是通过可对被观察到的水文地球化学及其它自然因素作综合区域调查、来研究地下水化学成分形成（水中元素的来源如元素进入水里的途径）的方法。这个方法是历史的，因为地壳里地下水的绝大部分按其本性是在过去年代里形成的；这个方法是自然的，因为它是用一些天然物质材料来研究的。由于地下水化学成分是在过去年代里形成的，当然就应该注意研究从前进行过的过程。“过去年代”在很多情况下，是指整个地质世纪，在另一些情况下，仅限于一百年、几十年甚至几年。然而，所有这些情况就目前而言，某种一定的水化学成分类型的形成已是既成事实了。换句话说，在查明地下水化学成分形成途径时应该遵循如下原则：“不论是昨天形成的还是今天形成的，都已经成了历史”。现在才形成的地下水是非常罕见的现象。干旱地区产出的淡水透镜体便是一例，淡水成分的形成是在某些季节时间段内，特别是在降水季节（春季和秋季）。干旱地区呈透镜体产出的盐水不能算是现代形成的水体，因为水里含有的盐分是经过漫长的时期聚积的。即便是大部分能很快得到更新的地下水，诸如湿润气候条件下地台区的潜水、褶皱山区和基岩区的潜水，其化学成分也不是瞬时就能形成的，它们的形成是一个漫长而复杂的过程。

自然历史分析法 是水文地球化学中运用最广的方法，这一方法使有效地解决地下水化学成分的形成问题成为可能。此外，通过对水文地球化学的影响因素的自然历史分析，可以解决某些水文地质问题，诸如地下水中物理-化学作用对形成岩石渗透性的影响问题。自然历史分析法最好与其它的方法一起综合运用，以便将地下水作为一个地质整体来恢复其演化途径。

模拟实验法 这个研究地下水化学成份形成途径的方法，是藉助于水文地球化学模拟——水文地球化学介质比拟研究来进行的。这个方法在水文地球化学中是比较新的，还处于不断完善阶段。

分类法 类和亚类里参数汇总的逻辑区划——在水文地球化学中具有重大的意义；争对分类法已经作了很多工作。在地下水按化学成份系统化方面，分类法得到了最广泛的运用。应当将地下水按化学成份形成条件分类与按化学成份分类区别开来。地下水按形成条件分类——是地下水化学成份成因研究的最后阶段之一。它是在划分地下水成因类型或系统化时推导出来的研究方法。这一部份研究汇总纳入水文地球化学理论概述部份。

在运用上述三种方法中的任何一种方法时，其研究工具都要用到数学、统计学、图解法和实验室分析。

自然历史分析法能够成功地独立运用于很多地下水化学成份形成问题的研究上。地下水按化学成份分类法常常是与自然历史分析法、与模拟实验法综合运用。根据实用目的，地下水分类法常被作为一种独立的研究方法。模拟实验法不能作为一个单独方法使用，而总是同自然历史分析法一起，被运用来评价地下水化学成分的形成。

第一章 自然历史分析法

在水文地球化学里,一些最复杂的地下水化学成分形成问题,是运用自然历史分析法来研究的。自然历史分析法相应的主要任务是:1)研究水化学成分形成的诸因素;2)确定水化学成分形成的诸物理—化学作用;3)揭示水中诸元素的来源。解决这些任务要作大量的水文地球化学研究工作,其中最重要的工作是:查明区域水文地球化学的规律性特征,划分垂直剖面上的水文地球化学垂直剖面类型。

为解决地下水化学成分形成问题的研究工作,是专题性的研究,而又常常是单独进行的。不过在解决这些问题时,需收集大量的水文地球化学资料,而这些资料是要通过如下其它一些形式的研究才能获得:诸如水文地质填图、为饮用水和工业用水的水资源评价而进行的水文地质普查与勘探工作。

在第一阶段,根据文献资料研究测区的气候、地貌和地质条件,推测这些条件影响地下水化学成分形成而可能出现的一些特征。以此制定野外工作大纲和拟定下阶段工作的基本任务。

在第二阶段,在野外进行实际资料的获取:采集地下水、气体,岩石的样品供化学分析式其它形式分析用;地下水化学成分的动力观测;抽水过程中的水文地球化学观测;野外分析水中异变常量组分(碳酸根离子和重碳酸根离子)、pH值;等等。在缺乏水文地质图的情况下,应当研究水文地质条件(地下水的埋深、含水组的厚度、水温、补给条件等)。在野外调查过程中,先编制水文地球化学实际材料图,在图上用不同符号标出各种水点(钻孔、泉点等)。还用符号或颜色在图上表明水质分析类型——全分析、简分析、微量元素分析、气体组分分析,等等。图上还要反映一些水文地质实际材料——岩矿分析和化学分析取样点、地

下水静水位测量点、地下水引用压力计算点、具有岩层孔隙度和渗透系数资料的那些点位，等等。

第三阶段，主要是实验室分析，分析地下水、岩石、气体的样品，对水文地球化学资料及其它有关资料进行整理分类。实验室分析被用来测定地下水中的常量、中量和微量元素的含量，测定可溶性气体和有机物的含量，以便阐明地下水化学成分（全分析或简分析）特征。测定岩石的岩矿性质、地球化学特征、水提液的成分和微量元素（溴、硼、锶……等）及有机物的含量，等等。对水文地球化学实际材料、岩石成分和水文地质条件材料，进行资料整理如分类还包括：地下水按化学成分分类、编制地下水化学成分图表、岩石的组分和物理性质图表，还要编制有关水文地质条件的资料卡片。对区域调查的每一个水点进行与水质分类相一致的水文地球化学类型的划分。然后，地下水按相似的化学成分进行分类：分类次序从重碳酸盐到氯化物、从钙离子到钠离子。水化学资料要编制成表。表内应有下述资料：水的总矿度资料（离子总量或以干固残渣表示）、常量和微量离子成分的含量、pH值、水的特殊性质（硬度、放射性等）。在组的范围内、地下水的化学分析是按总矿化度增加方向；在总矿化度类似范围内，再按采样深度或者其它标志作进一步细分。表里还要写上地下水的化学成分公式。

在第四阶段，要对地下水化学成份的形成问题和预测它们的实际意义作出回答。这一阶段研究工作的重要任务之一，是查明地下水化学成份在平面上和剖面上的空间变化，而且还要确定空间上水文地球化学规律性的基本特征。查明水文地球化学规律的空间分布特征，是研究水中的物质来源、地下水化学成份形成的影响因素和形成过程的基础。首先应确定影响地下水化学成份形成的因素，这些因素当然也是水文地球化学规律性的决定因素。确定这些因素是通过对一系列自然条件的研究来进行的。同时以此出发，并非所有的自然条件对该水文地球化学类型都是影响因素，仅仅是影响该水文地球化学环境形成的才是那些影响因素。