

中等专业学校教学用书

水 化 学

О. А. 阿列金著



中国工业出版社

中等专业学校教学用书



水 化 学

O.A.阿列金著
袁 龙 蔚译



中国工业出版社

本书系按照苏联“陆地水文学”专业水化学教学大纲编写的，适于作为水文气象学院和水文气象中等技术学校以及高等学校地理、地质、生物等各专业水化学课程的教学用书。全书共分两篇计十二章，第一篇包括八章，它叙述了天然水化学成分的基本概念及其形成过程，也叙述了河流与湖泊的水化学基本动态。第二篇包括四章，它介绍了天然水的研究方法及水分析操作原理与方法。

О.А.АЛЕКИН
ГИДРОХИМИЯ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД—1952

* * *

水 化 学

(根据水利电力出版社纸型重印)

*

中国工业出版社出版(北京修麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社印刷二厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 850×1168 毫米·印张4 $\frac{1}{2}$ ·字数133,000·插页1

1957年10月北京第一版

1961年5月北京新版·1961年5月北京第一次印刷

印数0001—1030·定价(10)0.78元

统一书号: 15165·8 (水电—6)

序 言

对生命和人类的实践活动來說，水具有極端重要的意义。

在社会主义的計劃經濟中，水利經濟問題具有特殊的意义。沃尔霍夫水电站、德聶伯水电站、斯維尔水电站、雷宾斯克水电站、斯大林白海波罗的海运河、莫斯科运河及斯大林五年計劃的其他許多建設，都需要解决复雜的水利經濟問題。

在修建巨大的水电站、运河、灌溉系統和排水系統的建設規模空前宏偉的今天，苏联学者和生產者的龐大隊伍正在解决着綜合利用水利資源的更大規模的問題。伏尔加河、阿穆达里亞河、德聶伯河及許多其他河流上的共產主义的偉大建筑工程，使國家的巨大动力資源得以利用，使能灌溉更多的至今仍干旱的土地，从而保障了穩定的收成。斯大林改造大自然計劃的實現（計劃規定要根本地改建各別地区的河流網和湖泊網），要求更深入地和多方面地研究我國的水利对象。

水化学成分及其变化的研究，是研究水利对象时的重大問題之一。在許多情況下，水的質量（它决定于水的化学成分）是各种水体的利用問題中必須解決的問題。此外，水化学成分的知識使我們能够更充分地了解水体中發生的各种純粹物理过程（水体的动力学，冻结作用，蒸發作用等等）。

所以，天然水化学成份的研究，在現在已經成为研究海洋、河流、湖泊及地下水时所必須涉及的各种問題之一。这样，包括在水文学科中的水化学，使得我們能够更充分地了解水体中發生的过程。研究水体的專家，只有了解天然水化学，才能够完善地評定和利用水利对象。

现在，苏联各个講授有关水的經濟利用課目的專業学校，都以不

同形式或時間進行水化學的研究。

在水文氣象學院和中等技術學校，以及大學的地理系、地質系、生物系和其他的科系里，都把水化學作為專門課程來講授；在運輸、建築、土壤改良和其他高等學校里，它是作為專門課程的一章來講授的。

作為水文氣象中等技術學校教科書的本書，是與水化學的教學大綱（根據“陸地水文學”專業的要求編寫）相符合的。與著者在1948年出版的“普通水化學”不同，本書對所觀測現象的化學方面敘述較少，同時全書敘述特點是盡量照顧了教科書的要求。

在本書的第一部分，著者就當前的問題向學生介紹了天然水化學成份的基本概念，介紹了這些化學成份的形成過程和河流與湖泊的水化學基本動態。與陸地水文學課程大綱相符合，本書主要地研究了河流，而對湖泊的研究則較少。關於地下水和海水的知識也敘述得不多，僅作了一般的介紹。由於認為讀者是具有初步的化學知識（相當於中等學校程度）及對水文學是有研究的，所以在本課程中，照例沒有涉及一般的化學和水文常識。但是，為了更好地研討天然水內發生的過程，本教科書引述了溶液，以及像水這樣獨特和重要物質的結構特性的基本知識。

本書有關水分析的一篇說明了在陸地上進行水化學工作的指示，這些指示是按蘇聯部長會議水文氣象總局水文氣象觀測站網進行初步分析的工作大綱所規定的，水文學家在实际活動中也將遇到這些分析工作。由於水化學的實習課程的教學時數有限，所以只向學生們介紹那些水化學的測定方法，這些方法能在短期內掌握到以後能夠獨立的應用的程度。這樣是合理的。編寫本書的這一篇時，參考了水文氣象站網所用的水化學工作指南和須知。

目 錄

第 一 篇

关于天然水化学成分的基本知識

第一章 前 言	(1)
1. 水化学和它的意义	(1)
2. 水化学發展史的簡述	(3)
第二章 作为溶剂的水的性質	(7)
1. 溶 液	(7)
2. 水分子的結構特性	(9)
3. 固体物質的溶解度	(11)
4. 气体的溶解度	(16)
5. 表明溶液濃度的公式	(18)
6. 溶液中的离子平衡	(20)
7. 質量作用定律	(23)
第三章 天然水的化学成分	(26)
1. 天然水成分的复雜性	(26)
2. 决定天然水成分的因素	(27)
3. 天然水的化学成分	(32)
4. 分析时数值的表示方法	(44)
5. 水按化学成分的分类	(47)
第四章 河流的水化学	(50)
1. 一般特征	(50)
2. 最主要离子的动态	(50)
3. 生物原生質的动态	(59)
4. 有机物質的动态	(60)
5. 溶解气体和氫离子的动态	(61)
6. 河流內水成分的不均一性	(63)
7. 苏联領土上河流的水化学特征	(67)

8. 溶質徑流	(72)
第五章 湖泊的水化学	(76)
1. 湖泊水化学成分形成的一般条件	(76)
2. 淡水湖和半咸水湖	(81)
3. 咸水湖	(87)
第六章 地下水化学成分的簡要知識	(91)
第七章 海水化学成分的簡要知識	(93)
第八章 实际用水时水化学成分的意义	(95)
1. 經濟—生活用水	(96)
2. 工業—技術用水	(102)
3. 水对混凝土的侵蝕作用	(104)

第 二 篇

天然水的研究方法

第九章 水体水化学研究的基本原理	(107)
第十章 水文气象局水文观测站網的日常水化学工作	(111)
1. 工作大綱和工作組織	(111)
2. 水文年變化学圖表的繪制	(114)
第十一章 分析操作原理	(116)
1. 化学分析	(116)
2. 容量分析概要	(117)
3. 容量分析所用仪器	(119)
4. 容量分析所用溶液	(120)
5. 比色分析法簡述	(123)
第十二章 在水源附近直接進行的水化学測定	(125)
1. 水源附近的水化学工作組織	(125)
2. 水的物理性質測定	(127)
3. 水样的采取和封存	(128)
4. 氫离子濃度(pH)的測定	(129)
5. 二氧化碳(CO ₂)的測定	(134)
6. 碳酸鹽离子(CO ₃ ²⁻)的測定	(136)
7. 溶解氧的含量測定	(138)

第 一 篇

关于天然水化学成分的基本知識

第 一 章

前 言

1. 水化学和它的意义

在我們周圍的物質世界中，水有着特殊的意义。我們是这样的習慣于这种十分需要的物質，以致往往不了解它所具有的意义。其实，水的作用是这样的巨大，以致在缺乏它的情况下，地球的面貌就会是完全变成另一个样子。

水是地球上分布最廣的物質之一。聚集在海洋中大量的水占有廣大的面積，超过陸地面積的三倍以上。河溪的水貫穿陸地的整个表面，而潛水和地下水則透入組成地殼的土壤和岩石內很深。

大气中的水蒸汽是影响当地气候的最重要因素之一，也是决定降雨量和蒸發量以及阻止热輻射的最重要因素之一。海洋中的巨大水体（对气候有很大的影响）是地球上热平衡中的最重要因素。因水循环而發生的內陸徑流是改变地球面貌的最主要原因之一，这种地貌的改变是由于露在地面的岩石的風化、冲刷和迁移而引起的。

水是出現生命的必要条件；生命就是在水中开始發展起來的。水是一切生物的組成部分，所以，沒有它地球上也不会存在任何一种生物。所有植物都要死亡，动物甚至最小的微生物也要消失。地球就將

是死的……。

水的巨大意义也表现在人的日常实际活动中。海、河和湖都被利用来运输、养鱼、供水、修建水电站、灌溉。在我们的社会主义计划经济中，水利经济问题具有特殊的意义。

在天然条件下，水不是纯净的化合物，而是一种溶液。对每种水为对象来说，天然水具有不同的、独特的化学成分。

在天然条件下，水具有溶解各种物质的能力，这种能力决定了它在地貌演变过程中、及在有生命存在于水中和实际利用中的特殊作用。

由于水具有溶解物质能力，故使得岩石破坏，这种破坏的岩石在溶解状态下随河水流入海洋和湖泊内。这样，当水蒸发时，就形成厚的沉积岩层。各种各样土壤的形成，干燥地区内的盐类沉积以及土地肥沃或不肥沃都和水的溶解物质能力有很大关系。

除了溶解物质以外，天然水还含有离子和气体，没有这些就不可能在水体内存在有生命。在这方面，水和土壤可以等量齐观，土壤的肥力完全决定于其中所含的营养物质（氮、磷、钾等的化合物）。水内没有上述这些溶解物质，水体就是死的：它就不能孕育各种漂浮生物、水生植物和鱼。

水的成分可以决定水本身的物理性质及其所进行的作用特性：冰点、蒸发量、密度、颜色、透明度、渗透能力等。

水的化学成分在实用方面的意义也是很大的。在利用各类供水（日常生活供水、工程给水及运输供水）的水利对象时，必须考虑到水的化学成分。修建水工建筑物时，了解水的化学成分是重要的，以便采取防止混凝土被水腐蚀的措施。水的化学成分说明了灌溉时所利用水的质量，养鱼时水池产量的评定等都和水的化学成分有关系。在许多情况下，水的化学成分的鉴定决定利用这种水利对象作为国民经济目的的可能性或改良水质的必要性。

现在，由于伟大的共产主义建设的实现，许多水化学特性问题必须解决。属于这些问题的有：干旱地区水与各种盐渍度土壤的相互作用，水库、水池及渠道重新形成的水的质量测定，新建和改建水库的未来水化学情况等等。

为解决其他科学研究水体时所發生的許多問題，水化学的知識是非常需要的。对于水文学來說，水化学知識可以借助它解决地下水及河水的起源問題、水在湖泊及海洋內混合程度問題、海洋內水流起源問題等等。

研究咸水湖和礦泉时，水的化学成分有特別重要的意义，咸水湖和礦泉的特性完全决定于其水的离子成分和气体成分。对于地球化学、土壤学、地質学以及其他在不同程度上与水圈研究有关的科学來說，水化学的資料也是必要的。

以上所述說明了有專門学科來研究天然水化学成分的必要性。这种研究天然水化学成分及其在周圍介質內所進行的物理作用和生物作用相互影响并随時間与空間而变化的科学課目就是水化学（或称天然水化学）。

水化学是地殼化学（地球化学）中的一部分。不同于地球化学的是水化学研究溶解于水內的物質。由于溶液內的化学作用進行比固体状态的礦物內的化学作用要快得多，所以水化学主要注意的是天然水內随時間而發生的化学成分改变，也就是水体的水化学情况。同时，在研究具体水利对象（河流、湖泊、水庫等）的化学时，决不能認為水的化学成分与地理环境以及水文条件無關。所以，在这种情况下，水化学就好像是天然水科学（水文学）中的一部分。

水对生命过程的特殊作用及天然水的研究同时牽扯到各种科学和实用的課目，很难在水化学和相近課目之間划分出清楚的界限。在現階段上，水化学的發展是与其相近課目有关的，可以按下列几部分來研討：第一部分研究作为溶剂（其中含有气体、鹽类和膠体）的天然水，第二部分探討天然水化学成分的形成条件；第三部分研究調查的方法（觀測站的选择、工作技術、分析方法等）；第四部分探討湖水、河水、海水、地下水的化学成分及其动态；第五部分包括水的实际利用問題（供水、工業用水、混凝土拌和用水等）。

2. 水化学發展史的簡述

研究天然水的化学成分在很早以前就开始了，并按照实践的要求

和相近科学的發展而逐漸深入。

但是，水化学作为科学課目的產生及其成为独立的科学課目的过程却比較迟，它在很大程度上是苏維埃水化学家的工作所促成。

关于天然水复雜成分的知識在煉金術时期就已經知道，但是根据当时生產力發展情况和科学水平，它还是很有限的。在那个时候，化学还没有定量分析的操作方法，关于天然水成分的最初知識是非常簡單，并且一般地只局限于定性的鑒定。

毫無疑义，天然水化学的進一步研究是与偉大的俄國学者 M.B. 罗蒙諾索夫（1711~1765年）和法國 A. 拉瓦節（1743~1794年）的工作分不开的，他們奠定了化学的定量基礎。

正确地，我們可以認為 M.B. 罗蒙諾索夫是俄國的第一个地球化学家和水化学家。

他不僅只研究人造溶液，他还力圖認識自然界中存在的化学过程。在其“論地層”的著作中，他指出岩石圈內鹽类的循环：“不可否認，淡水、雨水及河水把不少的鹽泉和岩鹽的鹽水帶入海洋內。但这也就是以前从海洋中取走的鹽类又回到海洋里來……”。

在同一著作中（后面几頁）他清楚地表述了地球表面上鹽类分布与当地湿度关系的極重要情况：“……不可否認，砂和其他某些物質（實質上，它們在这个时候已經具备海洋含鹽度）可以使得鹽类因地表水（就是河水及雨水等）的冲洗而失去……”。

关于像复雜溶液一样的天然水及其成分与周圍介質的关系，关于在水循环过程中鹽类的运行，关于識別礦藏成分的方法，M.B. 罗蒙諾索夫的学說是大大地超过了較后一些时期地球化学方面的發展。

十八世紀末期，在俄國國內工業（首先是礦厂）的發展及与國外貿易的加强，刺激了对國家天然資源的研究。在 M.B. 罗蒙諾索夫自然哲学思想的一般影响下，俄國科学院進行了廣泛的研究。

例如，在俄國的欧洲地区、西伯利亞和高加索廣大面積上進行了研究并收集了地理、地質和水文地理方面極為丰富查勘材料，得出了关于俄國河流、湖泊及地下水的水化学的初步概念〔这里包括俄國学者 И.И. 列彼欣（1768~1772年），П.С. 帕拉斯（1768~1773年），

И.Г.格麥林(1768~1774年)及Н.Я.奧澤列茨科夫斯基(1785, 1805, 1814年)等的勘查]。

在外國同一時期內,Р.波义耳、Т.別尔格曼及А.拉瓦節研究了海水和礦泉的化学成分,并建立了化学成分的分类。在十九世紀,Т.湯姆遜、Г.佛格爾、И.佛尔哈麥尔及俄國О.Е.科采布、Э.К.林茨和И.Ф.克魯晉什捷尔納的勘探,逐漸查明了以后才被証实的海水化学成分。Г.聖克列尔-捷維尔(1848年),Е.彼利戈(1811~1890年)等研究了河流。

水的化学分析方法,是十九世紀初期研究礦水時,俄國А.Н.謝列尔院士以及德國弗列澤尼烏斯的著作提出的。在十九世紀,用礦水來治病(這是需要測定礦水成分的)對於水化学的發展有重要意义。也就是从这个时期开始作了很多次的天然水分析。应当提到,十九世紀中叶俄國學者佛明以及其他研究者作过的高加索礦水的多次分析。

在十九世紀後半時期,工業生產普遍上升引起的科学蓬勃發展,也影响到关于天然水化学成分知識的進展。十九世紀及二十世紀初期,技術的發展对各种工業(首先是对蒸汽动力設備)所利用的水的成分,提出了許多具体要求,这大大地促進了天然水化学的研究。此外,水對於有机界的巨大作用,迫使植物学家以及土壤学家、水生物学家和养魚学家來詳細地研究它的成分。最后,水化学的發展促進了地球化学、水文学、水文地質学及化学課目(無机化学,物理化学,膠体化学和分析化学)的進展。这些与水和水溶液研究有关的科学都積累了天然水化学的丰富資料。

在二十世紀所進行的天然水成分的多次研究更加充实了水化学的科学知識。这些研究确定了水化学分成独立科学課目的必要性。

在水化学發展成独立的科学課目过程中,苏維埃的水化学家起了重大作用。

偉大的十月社会主义革命标志着科学(包括水化学在內)發展上新的、优越的階段。極其深刻的社会改革和生產力的空前迅速增長改变了科学工作的組織形式和方法。在資本主义社会里科学工作特有的渙散性、自發性及隔离性,已經为發展社会主义國家而有計劃的、有

目的來使用科學的全部力量與資料所代替。

所有這些都造成了對蘇聯的科學發展和水化學成就的極其有利條件，在水化學固定成為獨立的科學科目中起了決定性作用。

在世界上，蘇聯是第一個建立了專門的水化學研究所（屬於蘇聯科學院系統）並出版了世界上唯一印刷的水化學機關刊物——“水化學資料”。在世界上，蘇聯是第一個在許多高等學校和中等專科學校里將水化學課程作為獨立的課程來講授。僅在我們國家里出版了系統研究水化學基礎的教材。

任何地方也沒有像在蘇聯所出現的那樣有計劃的大規模的水化學研究。在蘇聯，對河水、湖水和海水化學成分固有特性的廣泛系統地觀測，從1936年在水文氣象局的觀測網就已經進行了。

在蘇聯，許多機關正在不同程度上進行着水化學問題的研究。

從1925年起，榮膺勞動紅旗勳章的國立水文研究所就進行了各種水利對象（海洋、湖泊、河流、地下水）的多年化學研究，以及水的化學分析方法方面的工作。在這個研究所里完成了蘇聯領域內地表水的水化學特性的許多綜合性的研究工作。

無論是在水分析方法方面，或是在水化學知識方面，С.В. 布魯耶維奇領導的全蘇漁業和海洋水文科學研究所（ВНИРО）及以埃里斯曼命名的中央防疫研究院的工作都對水化學的發展具有重大意義。В.И. 維爾納德斯基和 А.П. 威諾格拉多夫領導的蘇聯科學院生物地球化學問題實驗室（現稱為以 В.И. 維爾納德斯基院士命名的地球化學和分析化學研究所），對各種化學元素在水圈內分布的研究進行了多年的工作。В.И. 維爾納德斯基建立的天然水分類，按概括的深度和範圍來說，至今仍是最好的分類，它確定了水的特性與全面綜合了物理條件及地理條件之間的關係。在蘇聯科學院海洋水文學研究所和國立海洋地理研究所最近建成的相應的實驗室，也從事海洋化學的研究。

前蘇聯科學院鹽類實驗室、以 Н.С. 庫爾納科夫院士命名的普通化學和無機化學研究所，以及水流學研究所，都對咸水湖進行了研究，並制定了研究方法。Н.С. 庫爾納科夫領導的鹽質學的蘇維埃學派制定了物理化學分析的方法，利用這種分析方法可以研究咸水湖內

複雜的鹽類平衡。中央療養學研究所的水化學方面革新者 С.А. 舒卡列夫教授的礦水湖和地下水鹽類成分變化研究工作，達到了很高的理論水平。

貝加爾湖沼站的工作，對於認識湖泊的空間分布性及湖水化學成分的周年和晝夜的改變性是有重要意義的。湖沼站站長 Г.Ю. 魏列沙京更把水化學分析的最簡單方法運用到調查工作中。Л.Л. 羅索利莫領導的科辛湖沼站，在湖泊中水化學元素（特別是生物成因）循環方面的研究是很有價值的。

В.А. 蘇林、Г.А. 馬克西莫維奇和 В.А. 科夫德廣泛地總結了天然水化學及其成分成因與物理地理條件的關係。全蘇給水、排污水、水工建築物及工程水文地質科學研究所(ВОДГЕО)，蘇聯科學院動物研究所，蘇聯科學院水生物研究所與地質研究所，各大學校，療養學研究所及許多其他的科學與企業機關也都進行了大量的水化學研究。

實際上，全蘇地質研究所(ВСЕГЕИ)、以 Ф.П. 薩瓦連斯基院士命名的水文地質問題實驗室、以 И.М. 古勃金院士命名的石油研究所等都作過地下水化學的許多研究。蘇聯的大批水文地質學家(Ф.П. 薩瓦連斯基，Н.Н. 斯拉夫亞諾夫，Н.И. 托爾斯齊欣，А.С. 烏克朗斯基等)都作過地下水的水化學研究。

由於偉大的斯大林改造大自然計劃的實現，蘇維埃科學所面臨的新問題，使水化學面臨着至今還未解決的更複雜任務，這些任務的完成將保證作為科學的水化學的進一步發展。

第二章

作為溶劑的水的性質

1. 溶 液

凡是均質物體，其中一種物質成極小顆粒散逸於另一種物質內，均稱為溶液。

通常對溶液的概念，多局限於液態物體，而一般則擴大了這種理

解，認為固体也可能是溶液，例如合金，就可以視為一種金屬在另一種金屬內的均勻分布。

溶液內數量較多的物質稱為溶劑，數量較少的是溶質。根據溶劑的種類，有各種的液體溶液：水溶液、酒精溶液、氨溶液、醚溶液等。

無疑地，水與許多物質相接觸時，就將它們溶解，這是水最重要的特性之一。由於水在自然界中分布得特別廣泛，因而它對有機界的作用更廣泛，所以水溶液是溶液中最重要者。各種固體溶質間的大部分反應就是在水溶液內進行的。所以，在化學上特別注意水溶液，它在化學上占很大篇幅。在此，我們僅簡要地談談化學上這一重要部分的最基本概念，同時僅限於水文化學所研究的固體物質和氣態物質水溶液（溶液的最普遍形式）方面。

根據溶質的顆粒大小分為真溶液和膠體溶液。

凡溶液中溶質處於極端散逸程度（成分子和離子狀）的，都屬於真溶液。同時這種溶液往往還稱為分子—離子溶液。真溶液內所溶顆粒（分子和離子）的粒徑不超過 10^{-7} 公厘。

含較粗顆粒（粒徑在 10^{-7} 公厘以上）的溶液稱為膠體溶液。膠體溶液內溶質的顆粒，已經不是由單個分子組成，而是包括分子和離子的整個組。所以，膠體顆粒的大小（在 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 公厘範圍內）比分子和離子要大得多。在溶質極端細小的程度下，膠體顆粒具有非常大的總表面，因此，它與水分子之間有著密切的相互作用。因此膠體顆粒與溶劑是緊密結合在一起的，而膠體溶液也就是穩定的了。

因離子的存在而發生的膠體顆粒電荷，也有助於膠體的穩定性，這種離子是被顆粒從溶液中吸引（吸附）出來的。膠體顆粒是如此的細小，以致只有用超級顯微鏡才能看到它。膠體溶液可能具有色澤，或是微渾濁（乳光化）的。

在天然水中經常有膠體溶液，但數量很少。例如，各種有機化合物（無論是生物的有機化合物，或是其分解產物的有機化合物）都屬於膠體溶液。有機物質的膠體，在本身成分內含有各種元素（磷、氮、碳、硫等），也是有機物質溶於水中的根源之一。純淨的無機化合物

(例如，鉄的化合物和矽的化合物)也往往成膠体状态存在于天然水中。

液質顆粒粒徑大于 10^{-5} 公厘时，在溶液中已为肉眼所能看到，并且使溶液成渾濁狀。这种情况破坏了溶液的典型特性(它的均匀性)，所以，类似如此的混合物已不属于溶液，而属于極小散逸的机械混合物(懸浮液)。粘土懸浮液可以作为天然水中懸浮液的例子，这种懸浮液在天然水中往往数量很大，特别是冰川补給的河流。这种懸浮液的穩定性極不相同，它取决于顆粒的大小：顆粒越大，混合物越不穩定。極細的懸浮液很穩定，能够許多天不沉淀。較粗的懸浮液(尺寸在 10^{-5} 公厘以上)称为懸移質；在水文学內將在所謂泥石流或固体徑流部分去研究它。

2. 水分子的結構特性

水是一种非常特殊的物体，这主要反映在它的溶解能力上。首先，它的物理性質就顯明地表現了这一点，其中有許多所謂水反常現象的偏差。例如，与其他物質不相同，在冻结时，水不收縮反而膨脹(約膨脹 10%)。水的体積，在 $0^{\circ} \sim 4^{\circ}\text{C}$ 温度範圍內縮小，而温度繼續增高时則增大，因此，水不是在 0°C 时而是在 4°C 时密度最大。在比热容方面也發現同样的情况，它在 27°C 时为最小。其次，我們知道，加大压力时，水的冰点不像一般物体的冰点那样增高，而是降低。我們也知道水还具有許多其他的反常現象。

水的这类反常現象說明了它內部結構的复雜性。的确，除温度变化时水內發生某种重排作用以外，是無法解釋水在 4°C 时密度最大。这僅在了解水的原子和分子結構以后，才能得到解釋。

按照現代的观点，每种物質的原子都是由正电荷的核子組成，核子的周圍帶有按一定軌道高速(接近于光速)旋轉的負电荷顆粒(电子)，这样，就造成了核子的周圍好像电子云。原子核的正电荷(不同元素的原子，其正电荷数不相同)等于旋轉的电子数目。这样，整个原子就是电性中和的(例如，氢原子有一个电子，而氧原子有八个)。分子是原子借其外側軌道上的电子間的相互作用而結成的。这

样，分子就是同时容纳了正电荷和负电荷的复杂系统。

在同一分子内，可以提出这样的点，其中之一是分子内正电荷的静电“重心”，而另一点是负电荷的静电“重心”。它们的位置决定于分子内电荷的数量和分布的均匀程度。当正电荷中心和负电荷中心相合于一点时，分子具有均匀分布的电子，这种电子是形成化合的原子间价键的，而这样的分子称为非极性分子（例如， N_2 、 O_2 、 H_2 等气体的分子）。假若结合原子的电子向某一原子方面转移了一些，则因分子内发生负电荷的不对称，正电荷和负电荷的静电重心就不相合。这类分子具有两个极（正极和负极），它们和磁体一样，在分子周围造成电力场，因此，这样的分子称为极性分子（图1）。

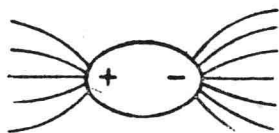


图1 水的极性分子（偶极）

水分子的结构特点之一是氧原子周围的氢原子的不对称分布。它们不是分布在通过氧原子中心的直线上，而是与中心成某种角度（图2）。因此而发生的电荷不对称分布，使水的分子具有极性。和其他物质的大多数分子来比较，水分子的正电荷与负电荷中心间的距离最大，所以，水具有最显明的极性性质。

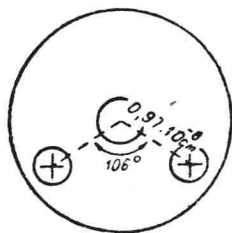


图2 氧原子电子云内氢核子的潜入

当水分子足够接近时，本身的电力场开始彼此作用。在这种情况下，一个分子的正极吸引另一个分子的负极。因而得到两个甚至三个水分子的聚集体（图3）。这种水分子的结组称为贰聚水（ H_2O ）₂和叁聚水（ H_2O ）₃。这类分子聚集体的含量根据温度而改变。在冰内，体积最大的叁聚水分子占多数。相反的，在蒸汽状态下（温度高于100°C时），水主要是由单分子（单水分子）组成，因为在这种温

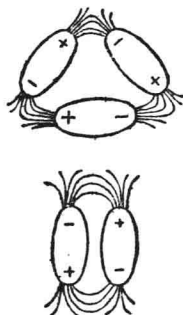


图3 水偶极形成的贰聚水和叁聚水