

水化学与微生物学

[苏] H·Φ·沃兹娜娅 著

周开君 郑元景 译

李献文 校

中国建筑工业出版社

水化学与微生物学

[苏] H·Φ·沃兹娜娅 著

周开君 郑元景 译

李献文 校

中国建筑工业出版社

本书为苏联高等学校给水排水专业教材，较详细地阐述了水化学和微生物学基础理论以及新概念，天然水和污水的物理、化学性质。扼要介绍了饮用水、工业用水、污水、污泥处理的理论基础、方法和新发展。

本书可供给水排水专业师生和环境保护、水处理的科研、设计、生产部门的技术人员参考。

译者在翻译过程中对原书内容有所删节。

ХИМИЯ ВОДЫ И МИКРОБИОЛОГИЯ

Н.Ф.ВОЗНАЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА»

1979

水化学与微生物学

周开君 郑元景 译

李献文 校

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 11 $\frac{1}{2}$ 字数: 305千字

1983年8月第一版 1983年8月第一次印刷

印数: 1— 8,800册 定价: 1.85元

统一书号: 15040·4520

序

本教材的任务如下:

1. 给予学习者在天然水和污水中所包含的各种物质间进行的有关物理-化学过程的现代概念。
2. 介绍天然水和污水的分析原理和利用分析结果评价水的质量, 确定水的净化方法和决定水对建筑材料和构筑物作用的特性。
3. 向大学生们介绍天然水和污水处理的现代工艺方法和它们的消毒方法。
4. 给予有关水的细菌学和生物学分析和污水生物净化方法的一般概念。

作 者

目 录

序

第一章 水和水溶液	1
一、水	1
水分子的内部结构 (1) 液态水的结构 (2) 水的同位素组成 (3) 水的物理性质 (5) 水的化学性质 (6)	
二、溶液理论	6
分散物系 (6) 气体在液体中的溶解度 (8)	
液体相互溶解度 (10) 液体中固体物的溶解度 (11)	
溶液浓度的表示法 (13)	
三、溶液的一般性质	13
渗透作用 (14) 范特-荷甫定律 (15) 溶液的蒸汽压力 (15)	
电解质溶液的特性 (17)	
四、二元的蒸馏	17
第二章 化学反应动力学	20
一、影响化学反应速度的因素	20
二、反应的级	29
三、化学反应的热力学势能	31
第三章 化学平衡	35
一、在均相物系中的平衡	35
二、离解常数	37
三、强电解质理论	38
四、溶度积	40
五、分配定律	43
第四章 溶液的酸度和碱度 氢指数	46
一、水的电离作用	46
二、有效的酸度和总酸度	48
三、酸-碱指示剂	50

四、缓冲溶液	54
五、溶液pH值的测定方法	57
六、无指示剂的分析方法	58
七、盐的水解作用	61
八、氯的水解	65
第五章 相律	69
第六章 物体的胶体状态	73
一、胶体物系的分类	74
二、获得胶体物系的方法	76
三、胶体物系的性质	77
四、胶体颗粒的构造	80
五、电动现象	84
六、胶体物系稳定性原因	85
七、分散物系的破坏	87
电解质的絮凝作用 (87) 絮凝极限 (88) 絮凝速度 (90)	
在物理因素作用下胶体物系的絮凝 (91) 凝胶和冻胶 (93)	
八、表面现象	94
在液-气界面上吸附 (97) 在两种液体间分界表面上的	
吸附 (98) 在固体表面上的吸附 (98) 吸附的实际应用 (101)	
九、悬浮体	102
十、乳浊液	103
十一、泡沫	105
第七章 氧化-还原过程	107
一、氧化-还原反应	109
二、氧化-还原电势	112
三、露天水体淡水的氧化-还原条件的确定	117
第八章 天然水的特性	121
一、天然水中的杂质	123
水的生物污染 (124) 石油产品对水的污染 (125)	
二、天然水的公共卫生与化学分析	126
三、对水质的要求	144
第九章 水净化的基本过程	148

一、粗粒分散物的去除	148
二、混凝	150
三、水的消毒	159
用氯和含氯物质消毒 (159) 用碘消毒 (164) 水的臭氧 氧化 (164) 用银离子消毒(抑活) (168) 用紫外线消毒 (170) 超声波消毒 (173) 用水的加热消毒 (174)	
四、水的稳定性和腐蚀性的测定	174
碳酸和它的形式 (175) 借助于表计算侵蚀性碳酸的含量 (181) 水的碳酸钙饱和指数 (181)	
五、金属的锈蚀	183
六、海水对混凝土构筑物的作用	187
七、水的脱气作用	188
八、水的嗅和味的消除 (脱臭)	192
九、水的软化和除盐	194
水的硬度 (194) 硬度的测定单位 (196) 用药剂法软化水 (197) 用离子交换法软化水 (200) 用 Na^+ 和 Cl^- 离子交换作用软化 水 (210) 加热法软化水 (211)	
十、用酸净水 (酸化作用)	211
十一、水的淡化	212
蒸馏和冻结 (212) 电化学法 (212) 离子交换法 (214)	
十二、水中铁、锰、硅酸、氟含量的校正	214
十三、水去除放射性物质的净化	221
十四、水的磁处理	223
第十章 生活污水和工业污水的特性	225
一、污水杂质的来源	225
二、污水的公共卫生-化学分析	230
污水的相对稳定度 (230) 污水的BOD (231) $\text{BOD}_{\text{全}}$ 速度常数的 确定 (233) 化学需氧量(COD) (236)	
三、防护地表水不受污水污染的规范 (苏联土壤改良和水经济部 1974莫斯科)	237
四、污水的净化方法	239
悬浮物的去除 (240) 萃取 (241) 吸附 (242) 水蒸汽蒸馏 (蒸 发) (242) 酸碱中和 (244) 浮选 (245) 氯化作用 (246) 污水	

的化学净化(246) 结晶作用(247) 污水的生物净化(247) 污水污泥的发酵(248) 污水辐射净化去除有机污染物(248) 污水沉渣处理的现代方法(249)

第十一章 饮用水和污水微生物学	252
一、普通微生物学发展简史	252
二、细菌形态学	255
三、丝状菌	258
四、微生物的变异	259
五、细菌细胞的结构	260
六、细菌孢子的形成	264
七、细菌的运动	266
八、细菌的繁殖	267
九、细菌的营养	268
十、细菌的化学组成	272
十一、细菌的呼吸	274
十二、在自然界物质循环中微生物的参与	277
十三、超微生物	280
十四、藻类、真菌、原生动物、轮虫、蠕虫和粘细菌	283
十五、外部条件对微生物生长的影响	298
十六、细菌分析、纯菌分离	302
十七、传染病传染的基本途径	304
十八、大肠杆菌的指示作用	306
十九、微生物在自然界的分布	307
二十、按生态特征的水体分类	310
二十一、水体自净的生物因素	311
二十二、对水中微生物施加技术影响的基本措施	313
第十二章 给水净化构筑物中的微生物生命活动	315
第十三章 利用微生物净化污水	317
一、污水净化的好气过程	317
生物滤池(317) 曝气池(320) 活性污泥的生物群体(321)	
曝气池工作流程(323) 曝气池工作的监测(324) 生物塘(328)	
污水土壤净化法(329) 各种好气方法净化污水的效率(330)	

二、污水净化的厌气过程	331
三、净化构筑物	336
化粪池 (336) 双层沉淀池 (337) 消化池 (338) 消化池工作的 监测 (343)	
四、污水排入海中的特性	344
本书所应用的某些单位与国际单位制的关系	354

第一章 水和水溶液

一、水

水分子的内部结构 水分子是由氢和氧组成。从原子构成的现代概念，水分子的电子云布置成不规则的四面体形式。在这种情况下，氧原子在中心，而两个氢原子在立方体一个晶面上相对的两个角上。它们之间的角度为 $104^{\circ}31'$ ，氧原子八个电子中的两个位于原子核附近，另外两个和氢原子相连，而两对不可分的电子偶组成支链，位于和氢电子云相对的反方向（图 1）。电子云的这些支链是负电荷的集中区，它们制约水分子和其它物质间的氢键。可以用电子轨道组的形式来描述水分子，较之用电子云来描述更确切些。

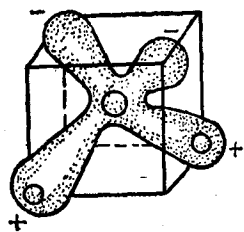


图 1 水分子的电子云

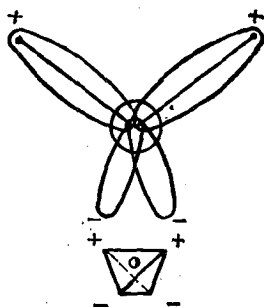


图 2 水分子的电子轨道

在氧的游离原子中，离原子核第二层电子构型是： $2S^2$ 、 $2P_x^2$ 、 $2P_y^1$ 、 $2P_z^1$ ，在此情况下，电子偶 $2S^2$ 电荷密度，按球形分布在电子云附近。而电子 $2P_x^2$ 、 $2P_y^1$ 、 $2P_z^1$ 电荷密度对称地分布于相互垂直的 x 、 y 、 z 轴附近。当两个氢原子 $2P_y$ 、 $2P_z$ 用轨道相连系时， 90° 角度由于静电相斥而增加了，这种搅动导致杂化键结合

的增加。在 S^- 电子的参加下，在通过最大电子密度的化合价状态下，相应分子最小位能的化合价角增加了。 p^- 和 S^- 状态的杂化键结合有助于在氧原子两对不可分电子偶上，电荷的重新分配，有利于电荷从氧原子核向背离质子的方向，不对称的移去。

在电荷分配时发生分子的大偶极矩（1.84德拜）的形成。这个重要参数以及键的角度和长度示于图3。

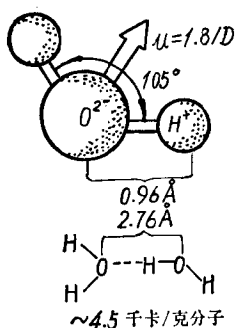


图3 水分子和氢键结构特点略图

如果水分子没有电子云的负电支键和偶极矩，它们就不可能相互作用。

液态水的结构 为了解释在液态状态下，水的反常性质，学者们建立了水结构的各种模型，在许多模型的基础中，液态水被看作结晶物质（液态晶体）。在液态状态下，水的粒子有秩序（结晶）的配置已被试验证实。

假定，在熔化冰时，它的晶格部分被破坏，且这些空洞和冰的透孔结构填满了已被释放的水分子。由于这个原因液态水的密度增加了。学者们统计，在液相，在 0°C 时未结合的、填补空间的分子约占总数的16%。

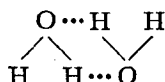
特别有趣的液态水结构模型是瞬时复合体（Мерцающий Кластер）的形式^①（图4），瞬时复合体是由浮在或多或少“自由”的水中由氢键结合的分子组成。瞬时复合体经常存在于流动的水中，在液体的微小部分中与偶然的热变化相对应，不断地形成和破坏，弗兰克和文勒测定复合体的半活期为 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ 秒，与水中松弛过程的时间相对应。这个时间比分子摆动的周期多100~1000倍。

在别尔兰勒和法乌列尔创建的水分子经典理论中，在温度

① 瞬时复合体——含有许多分子的复合体。

$t = 4^{\circ}\text{C}$ 时, 存在最大的密度, 这解释为: 在这个温度下水分子的大部分被连成为石英晶状结构, 而在其它温度下, 它们具有相应密度小一些的鳞石英晶状结构。

对于水分子, 被称为氢键的形成是其特点。氢键的产生可用氢原子与强的负电元素, 例如和水其它分子的氧相互作用的性质来解释。氢原子的这种特性是由以下情况所决定的, 给出自己的唯一的电子和氧组成共价键, 氢仍以几乎没有电子云的很小的原子核形状存在。所以它不受来自其它水分子氧的电子云排斥力, 而且相反地, 吸引氧分子电子云并和它相互作用。双分子(H_2O)₂具有最大的稳定性, 伴随着双分子的形成产生两个氢键:



(氢键用虚线表示)。

应该指出, 根据所采用的概念, 氢键不能看成是纯静电的键。

根据分子轨道法, 氢键是靠分散力、共价键和静电的相互作用所形成。

水的同位素组成 水——两种化学元素的化合物: 氢和氧。这两种元素都有一些同位素。

对于氢已知的有三个同位素: 氕 ^1H 的质量1.007822碳单位、氘 $^2\text{H}(\text{D})$ ——2.0141碳单位和氚 $^3\text{H}(\text{T})$ ——3.017001 碳单位(最

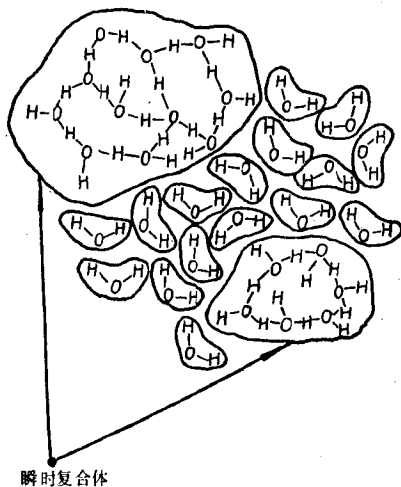


图 4 弗兰克——文勒瞬态复合体式样的液态水结构

后者是在原子核衰变过程中形成的)。在氢同位素的天然混合物中含D0.014~0.015%。

对于氧同样已知的有三种同位素，其质量数为16、17和18。在同位数的天然混合物中，它们相应的比例如下：2670:1:5。

天然水是下列成分的分子不同形态的混合物： $H_2^{16}O$ 、 $H_2^{17}O$ 、 $H_2^{18}O$ 、 $HD^{16}O$ 、 $HD^{17}O$ 、 $HD^{18}O$ 、 $D_2^{16}O$ 、 $D_2^{17}O$ 、 $D_2^{18}O$ 。

符合化学方式 $D_2^{16}O$ 、 $D_2^{17}O$ 、 $D_2^{18}O$ 的水称为重水。而在其组成中含有氚者称为超重水 T_2O 。

重水是在天然水长时间电解情况下被分离出来。它较难为电解所分解并留在电解槽中，因为双氢离子失掉电荷的速度比单氢失去电荷的速度小许多倍。

按其性质，重水明显地区别于普通水。它在3.8°C时结冰，在101.4°C时沸腾，它的密度为1.1059（在20°C时）。在+11°C时，重水具有最大密度。在这种水中盐的溶解度比在普通水中低。重水对动物和植物有机体的生命活动有阻碍作用。在铀的锅炉中重水被采用作为原子衰变的抑制剂。

超重水 T_2O 有以下(近似的)常数：熔化温度+9°C、沸腾温度104°C，密度1.33。

那末，水是9种不同形态分子的混合物，所以取决于它们数量比例，水的所有性质，特别是它的密度不是严格的常数。例如：我们比较了从各种不同水源获得的水的密度数值。

水	在4°C时的密度
雪水	0.9999977
雨水	0.9999990
河水	1.0
海洋水	1.0000015
从动物组织中提取的水	1.0000012
从植物组织中提取的水	1.0000017
矿物结晶水	1.0000024

在不同来源的化学纯水试样密度中这些相对来说不大的差别，已经明显地由量测仪器观察出来。

水的物理性质：纯水是无色（在浅层中）或者浅蓝-绿色（在深层中）无味无嗅透明的液体。

1 毫升被净化后的河水质量，被采用作质量单位称为克。

水的某些物理-化学性质引述如下：

在18°C时的电导率 4.3×10^{-8} 欧姆⁻¹·厘米⁻¹

在760毫米汞柱下结冰温度 0.00°C

沸腾温度 100.00°C

介电穿透度

在0°C时 88.3

在18°C时 81.0

导热性^① 0.00143 卡·厘米⁻¹·秒⁻¹·度⁻¹

水的导热性和其它物质相比是很小的，如：软木塞的导热性为0.1卡·厘米⁻¹·秒⁻¹·度⁻¹；石棉为0.3~0.6；混凝土为2~3；木材为0.3~1.0；砖为1.5~2.0；冰为5.5卡·厘米⁻¹·秒⁻¹·度⁻¹。

小的导热性和大的热容使水被用作热载体。由于高的热容，在冬天它冷却很慢，而在夏天加热慢，这样它在地球上温度的自然调节器。

化学纯水具有一系列性质使它显著区别于其它的天然物体。已知的这些特性被称作水的反常。

1) 在从0到4°C加热时，水的体积不增大，而是缩小，它的最大密度不在结冰点（0°C）而在4°C（较确切是3.98°C）。

2) 水在结冰时是膨胀而不象其它物体那样是压缩，它的密度减小。

3) 水的结冰温度随着压力增加而降低，而不是升高，这是出乎所料的。

4) 和其它物体相比水的比热很高。

5) 由于高的介电穿透常数，水比其它液体具有大的溶解性和离解性。

① 物体的导热性决定于导热系数——在1秒钟内通过厚1厘米和1平方厘米的薄片，在温度差为1°C时的热量，用卡计。

6) 在所有的液体中,水具有最大的表面张力^①——75尔格·厘米⁻² (甘油——65尔格·厘米⁻²、氨——42尔格·厘米⁻²,而所有其余的——低于30尔格·厘米⁻²),除水银以外——436尔格·厘米⁻²。

表面张力和密度决定液体在经过多孔性障碍物过滤时在毛细系统中,能够提升的高度。

所有的反常现象与水分子的构造特性和组成分子的聚合体或缔合分子(H₂O)_n的特性有关。

例如:水的大热容可以用在加热时缔合分子的分解来解释。因为这些分子的分解伴随着吸收能量,在水加热时,热量不仅消耗在提高温度上,而且消耗在缔合分子的分解上。

水的化学性质 水是一种具有相当大反应能力的物质。它与金属和非金属的氧化物相互作用,生成碱性和酸性水化物。水具有两性性质。在和碱相互作用时,它表现如同酸,而和酸作用时就如同碱。活性金属和水相互作用放出氢。例如:在不加热时钾、钠分解水;镁在加热时分解水;而铁在剧烈加热时分解水。由于在水分子中存在电子云负电荷支链的结果,水能够以配合基形式进入配位化合物的成分中,并形成供体-受体键[Cu(H₂O)₄]SO₄·H₂O。

水和某些盐相互作用产生双分解过程(水解作用)。

二、溶 液 理 论

为了有成效地解决关于天然水和污水净化方面的任务,必须了解溶液理论。对本章的研究帮助揭开在水中各种物质间所进行过程的实质;决定在具体条件下水污染杂质的表现;作出各种水质的正确评价,以便选择较为合理的和经济的水处理方法。

分散物系 如果在某种物质(介质)中,另一种物质被分散

① 表面张力——说明液体表面状态的量,其数值等于形成单位表面所消耗的功,用尔格·厘米²测定。

(被分布)成很细微颗粒的形态, 则这个物系称为分散物系。依据被分散物质的聚集状态, 介质可能有分散物系的九种类型(表1)。

分散系的类型

表 1

被分散物质	介 质	假设的代号	例
气 体	气 体	$I + I$	气体混合物
液 体	气 体	$\mathcal{K} + I$	雾
固体物质	气 体	$T + I$	烟
气 体	液 体	$I + \mathcal{K}$	在水中的氧
液 体	液 体	$\mathcal{K} + \mathcal{K}$	在水中的酒精
固体物质	液 体	$T + \mathcal{K}$	盐在水中
气 体	固体物质	$I + T$	在钫中氢溶液
液 体	固体物质	$\mathcal{K} + T$	珠(在碳酸钙中细小的水滴被喷成雾状)
固体物质	固体物质	$T + T$	固体溶液(在固体状态下, 金和银的合金)

分散物系的性质, 首先是它们的稳定性, 强烈地依赖于被分散颗粒的大小。在粗粒分散物系中和分子的大小相比, 颗粒是很大的(大于 1×10^{-4} 毫米)。这些物系是不稳定的, 被分散物质较快地沉降或者上升。这种低稳定的分散物系称为悬浮物。取决于被分散物质的聚集状态, 悬浮物分成悬浮体和乳胶体。

当固体颗粒分散于液体中形成悬浮体, 而乳胶体是由两种不互溶的(分层的)液体组成。

如果物质被破碎至分子状态的规格(1×10^{-6} 毫米), 这些高分散物系是很稳定的, 无论放置多长的时间, 均不破坏。这些物系, 众所周知, 称为分子溶液或者真溶液, 通常简称溶液①。

在悬浮物和分子溶液之间占据中间状态的是胶体物系(从 1×10^{-6} 到 1×10^{-4} 毫米)。在外部条件不变下, 胶体溶液是足够稳定的。

因此, 所有的溶液是由被溶解的物质(简称溶质, 以下均同)和溶剂组成。什么是溶剂, 而什么是溶质经常是难于确定的。假

① 由几个均匀地被相互分散并处于动力学相互作用中的组分组成的、不断地改变成分的, 能量上稳定的、均匀(单相)的凝聚物系称为溶液。

定认为数量多的物质称为溶剂，例如，在10%的酒精溶液中，酒精是溶质而水是溶剂；在含有96%酒精的分散物系中，水是溶质，酒精是溶剂。

分子溶液在化学化合物和机械混合物间占据中间地位。溶液的均匀性和在溶解时热效应的改变使溶液接近于化学化合物。溶质浓度在很广泛的范围内改变的可能性使溶液接近于机械混合物。

在还没有建立决定溶解度的定量的普遍规律时，在实验中找到唯一可遵循的规则是：相似的物质溶解在相似的物质中。从分子构成的现代观点来看，它的意思是：如果溶剂的分子是极性的，则它们将容易溶解极性的和离子性的分子，而难溶解非极性分子，或反之。

气体在液体中的溶解度 气体在液体中的溶解度(吸收作用)是不同的。例如：在通常的条件下，1个体积的水可以溶解0.02体积的氢、400体积的HCl和700体积的NH₃。

大部分气体在较小极性的溶剂中比在水中更易溶解。

气体的溶解度随着温度的降低而增大，随着温度的升高而减小。所以，在液体沸腾时，被溶解的气体从液体中实际上全部除去。

在液体中气体的溶解度服从亨利-道尔顿定律：在恒温下，气体混合物中每一个组分，在该液体中的溶解度和该组分在液体上的分压^①成正比，与气体混合物的总压及其它组分的含量无关(即每一种气体的溶解，正如假设它单独在该体积中存在一样)。这样，水在和空气接触中溶解的氧量与水在0.2大气压下(在空气中氧的分压)和纯氧接触时溶解的氧量一样多。

随着压力的变化，气体的溶解度剧烈变化，这里所谓的气体溶解度是指这种气体在溶液上的该压力下，充满该体积液体的气体质量。

① 分压——每种气体单独所具有的压力。