

磁场处理对于水缔合度的影响

物理系 曾锦川

提要: 本文从实验和相关能量的计算两个方面论证磁场的作用必将导致水的缔合度增大, 而不是减小。

一、前 言

水的磁化效应, 是在第二次世界大战期间, 比利时工程师 Vermeiren 发现的。从 1945 年起, 由他发明的“CEPI”水处理装置, 在全世界获得专利。目前磁处理水在工农医等各方面已得到广泛的应用, 然而水的磁化机理这个带根本性的问题, 至今尚未得到解决。说法很多, 但就其内容可归纳为层次不同的三个方面: 即经磁场处理之后, 水分子之间的作用机构或缔合度发生变化, 分子内部结构发生变化, 甚至核结构发生变化, 或兼而有之。

液态水的结构, 目前乃是一个十分复杂而深奥的研究课题。从微观结构上看, H_2O 分子属于极性分子, 分子中正、负电荷重心不相重合, 其电偶极矩为 1.84×10^{-18} 静电单位, 键角为 $104^\circ 40'$, 键长约为 0.96 埃。处于液态下的水分子并非全部呈单分子状态, 大多是由几个或几十个 H_2O 分子通过氢键缔合而成的分子簇团, 低温时分子簇团增大 (即缔合度大)。如 Nemethy 与 Scheraga 于 1962 年由计算得知, 在 $0^\circ C$ 、 $20^\circ C$ 和 $100^\circ C$ 时, 相应地水中每个簇团平均 H_2O 数目分别为 64.96、38.37 和 11.70^[1]。由于“缔合度”是表征水分子簇团和水中杂质离子水合簇团的大小, 并直接关系到水的一系列物化性质的重要问题, 因此最近围绕“经磁场处理之后, 水的缔合度究竟是增大还是减小”这个问题报导的资料很多, 争论相当激烈。美国方面 1978 年报导了 Clemoon 大学的学位论文, 他们的研究认为水流过磁场后缔合度没有发生变化。日本矿业会设有“磁处理委员会”, 其所属研究单位的观点是, 经磁场处理之后水分子簇团“聚合度”增加。以 Klassen 为代表的一部份苏联学者认为水磁化后缔合度增大, 即氢键缩短而能量增强^[2]。而以 В. И. МИНЕЙКО 为首的另一些人则坚持认为, 磁场的作用将导致水缔合度减小^[3]。其主要论点是磁场作用于运动电荷的洛伦茨力能够扯断氢键, 使一部份水分子从缔合体中解脱出来, 呈单分子状态, 因而缔合度减小。与此相反, 本文将从实验和理论论证磁场的作用将导致水的缔合度增大, 而不是减小。

二、能量的估量

以下从磁场可能提供的能量, 以及扯断氢键、电离水分子等效应所需能量的计算, 来判断究竟什么效应可能实现, 什么效应不可能实现。

1、磁场可能提供的能量

由电磁学理论可知,在磁化过程中,磁场可以通过以下两种方式做功,从而对水系统提供能量。

(1) 磁场电力之功 A_F

运动电荷在磁场中所受的 Lorentz 力可表为

$$F = KqVB \cdot \sin(\vec{V} \cdot \vec{B}) \dots\dots\dots(1)$$

式中 q 表示运动电荷的电量, V 代表在磁感强度为 B 的磁场中电荷的运动速度。对于 SI 单位制而言,比例系数 $K = 1$ 。由于受力 F 的方向始终垂直于电荷的运动方向,因此对每一个单个运动电荷来说,洛伦茨力做功等于 0,但对于正负电荷重心不相重合的水分子整体而言,由于正负电荷受力反向,分子电矩增大,电势能提高(图 1),此时磁力做功不等于零,其量值可由下式确定。

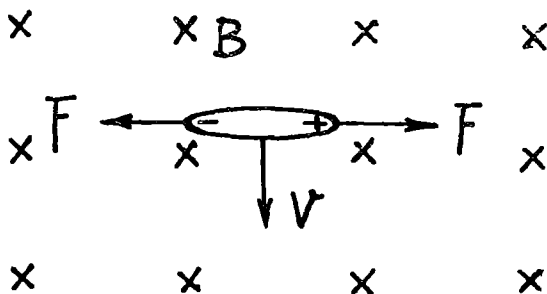


图 1. Lorentz 力示意图

$$A_F = \int_0^L F \cdot dl = \int_0^L KqVB \cdot \sin(\vec{V} \cdot \vec{B}) dl \dots\dots\dots(2)$$

设均匀磁场中 $B = 10^4$ 高斯 $= 1.0$ 韦伯/米², 水在磁场中流速 $V = 1.0$ 米/秒, 流水垂直切割

磁力线, 则 $\sin(\vec{V} \cdot \vec{B}) = 1$, 这样 qVB 可提到积分号外。令 $K = 1$, 并设正负电荷在 Lorentz 力作用下拉伸的距离 $L = 10^{-10}$ 米, 同时以 $q = 1.6 \times 10^{-19}$ 库伦代入(2)式, 可得 A_F 的数量级为 10^{-29} 焦耳, 相当于 10^{-10} eV (电子伏特)。

(2) 磁转矩之功 A_μ

设水分子等效电流在磁转矩作用下, 电流回路的法线与 B 方向的夹角, 由原来的 θ 位置旋转到 $\frac{\pi}{2}$ 位置(此时令其势能为 0)的过程中, 磁转矩之功可由下式计算

$$A_\mu = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \tau \cdot d\theta = \int_0^{\frac{\pi}{2}} ISB \cdot \sin\theta \cdot d\theta = -ISB \cdot \cos\theta \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} \quad (3)$$

$$\text{其最大值 } A_{\max} = ISB = \mu \cdot B \dots\dots\dots(4)$$

式中 τ 表示磁场作用于电流回路的磁转矩, $\mu = I \cdot S$ 代表通电流为 I 面积为 S 的电流回路的磁偶极矩。对于水分子, A_{max} 的数量级可用以下方法进行估量, 电子的轨道磁偶极矩 μ_l , 以常态氢原子的电子轨道(半径 $r = 5.1 \times 10^{-11}$ 米)为例, 可算得 $\mu_l = 9.1 \times 10^{-24}$ 安培·米², 而电子的自旋磁偶极矩 $\mu_s = 9.3 \times 10^{-24}$ 安培米²[4], 将 μ_l 或 μ_s 之值代入(4)式, 并设 $B = 1.0$ 牛顿/安培·米, 可得 A_{max} 的数量级为 10^{-24} 焦耳, 相当于 10^{-5} eV。

2、各种效应的能量

氢键能量 E_H , 大家清楚, 水分子之间是通过氢键缔合起来成为分子簇团的。氢键能量 $E_H = 4.5$ 千卡/克分子。^[5]通过换算可得, 每个水分子平均氢键能量为 0.195 eV。此量值远远大于 A_F 与 A_μ , 可见磁场可能提供的能量是多么微不足道, 这一点能量根本不可能将氢键扯断从而使水的缔合度减小。

电离能 E_d 把中性的水分子离解成氢离子和氢氧根负离子所需的能量 $E_d = 55.71$ 千焦克分子⁻¹(25℃, 1大气压)^[6]。通过计算可得, 每个水分子电离成正负离子约需能量为 0.578 eV。此量值与 E_H 属同一数量级, 因此哪种认为磁场提供的能量足以使水分子电离从而促使水的电导率提高的论点是与事实不相符的。

电子结合能 E_e 从水分子中剥离一个价电子所消耗的能量 $E_e = 13.0$ eV。^[7]此量值比 A_F 大 10^{11} 倍, 由此可见欲籍洛伦茨力做功而将价电子从水分子中剥离下来的设想是不现实的。

最低振动跃迁能 E_v 约为 0.2 eV, 而转动跃迁能 E_r 约 5×10^{-3} eV。^[8]这说明磁场提供的能量也不可能改变水分子的振动能谱和转动能谱。

三、实验的启示

现在通过几个具有代表性实验数据, 来分析讨论磁场的作用究竟是导致水的缔合度增大还是减小。这些实验可分为以下三个方面。

1、平衡态与表面态参量的测定

水的平衡态与表面态的主要参量如密度、温度、声速和表面张力等。

超声波在水中的传播速度, 1979年我们是利用测量精度较高的HS—771环鸣声速仪测定的。实验方框图如下:

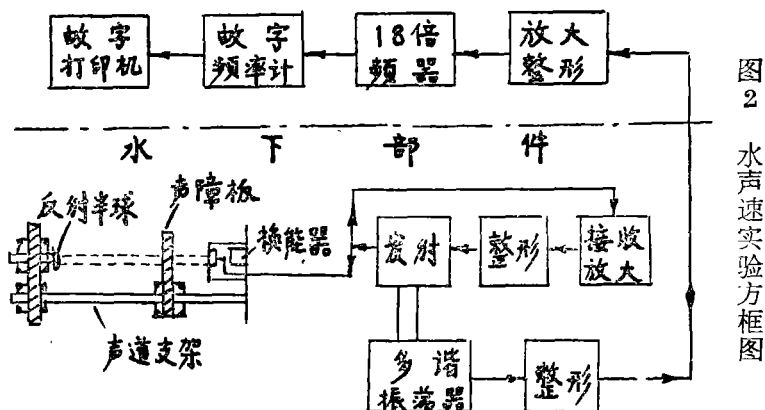


图2 水声速实验方框图

多谐振荡器产生一个略低于最小声速环鸣频率的矩形波,经整形放大后触发脉冲发生器,使换能器发出一短促声脉冲,经水传播至反射半球面再返回,由同一换能器接收该脉冲,放大整形后,再触发反射器并同步多谐振荡器,如此重复循环。声速 c 与环鸣频率 f 的简单关系式为 $c = F \cdot L$,适当选择反射声程的有效距离 L ,并加以 L 倍频,则频率计显示的频率可以直接表示所测声速的绝对值。

本实验在以下测试条件下,测得超声波在水中的传播速度列入表 1 中。

供试水样:二次蒸馏水

磁化时水流速度:1.0m/sec

水流切割磁力线次数:8次

表 1 水声速测定记录表

磁 场 (Oe)	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	10	12	14	16	18	20	22	24
	声 速 (m/Sec)								
2000	V	1,446.58	1,454.02	1,461.50	1,468.46	1,475.01	1,481.36	1,487.36	1,492.01
	ΔV_1	-0.81	-0.94	-0.96	-1.05	-1.12	-1.12	-1.06	-1.03
6000	V	1,446.12	1,453.65	1,461.02	1,467.89	1,474.80	1,481.03	1,487.30	1,491.68
	ΔV_2	-1.27	-1.31	-1.44	-1.62	-1.33	-1.45	-1.12	-1.36
0	V	1,447.39	1,454.96	1,462.46	1,469.51	1,476.13	1,482.48	1,488.42	1,493.04

表 1 揭示:(1)、在磁化前后的纯水中,声速均随温度的升高而近乎直线式地增大^[9]。这个规律与1977年刊登于“美国声学杂志”的 Del Grosso 如下方程是相吻合的。

$$C(\text{m/sec}) = 1402.388 + 5.03711 \cdot t - 5.80852 \times 10^{-2} \cdot t^2 + 3.3420 \times 10^{-4} \cdot t^3 - 1.47800 \times 10^{-6} \cdot t^4 + 3.1464 \times 10^{-9} \cdot t^5 \dots\dots\dots (5)$$

此为迄今被世界各国公认为比较准确的适用于 1 个大气压的纯水声速方程式,式中 t 为摄氏温标。^[10]

因温度升高意味着水的缔合度减小,于是本实验表明在缔合度较小的水中声速必定增大。

(2) 计算可得表 1 中速度增量的平均值 $\overline{\Delta V_1}$ 和 $\overline{\Delta V_2}$ 分别为 -1.01 和 -1.36,均为负值。这说明在相同温度下,不论磁化场强如何,超声波在磁化纯水中的传播速度总是比在非磁化纯水中小。

结合以上两点表明,经磁场处理过的纯水其缔合度总是增大的。

此外,在1978年,我们曾对二蒸水和泉州自来水的表面张力进行测定,结果是:在以磁强 $H = 500 \text{ oe}$,流速 $V = 1.00 \text{ m/s}$,三次切割等磁化条件下,二蒸水在 20.0°C 时的表面张力系数 $r = 73.60 \text{ dyn/cm}$,而未经磁化的二蒸水,在相同温度下 $r_0 = 72.84 \text{ dyn/cm}$,磁化

之后 r 增加 0.76 dyn/cm 。对自来水测定的结果同样是磁化后 r 增加。 r 增加意味着水的缔合度增大。因为纯水 r 是随水温的降低（即缔合度增大）而增大的。^[11]

1978年，我们还进行水的密度测定，发现用2000 oe磁化的纯水，其密度比磁化以前增大了 0.00996 g/cm^3 。苏联Klassen教授通过实验证明纯水磁化后其密度增加百分之几。^[12]水的密度增大，同样证明了磁场的作用导致水的缔合度增大。

2、迁移过程主要参量的测试研究

粘度和电导率（或介电系数），是水溶液迁移过程的主要参量。二者均与溶液中分子簇团的大小有关，并反映出溶质离子与溶剂分子的相互作用。然而，前者主要表征溶剂后者表征溶质的迁移性质。

1978年，我们曾利用恩格勒粘度计，测定纯水的粘度，结果如表2所示

表2 水的粘度测定记录表

磁场强度 (oe)	流 速 (m/sec)	水 量 (cm ³)	滴定时间 (sec)	粘 度 ($\frac{\text{dyn} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2} \times 10^{-2}$)	粘度增量 ($\frac{\text{dyn} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2} \times 10^{-2}$)
2000	1.0	100.00	27.3	1.050	+0.027
1000	1.0	100.00	27.0	1.038	+0.015
0		100.00	26.6	1.023	0

实验表明，不论用2000或用1000(oe)磁场处理过的纯水，其粘度均有所提高。

据资料报道，Klassen教授测定的结果是，磁化之后水的粘度增加3%，Lielms J. 与Лич ГИИ Н.Н 曾分别从实验和理论计算证明磁化后水的粘度增加。^{[13]、[14]}粘度增加是水缔合度增大的表象。

至于磁场对水的介电常数的影响，也是一个重要问题。由以上图1可见，在Lorentz力的作用下，水分子的正负电荷重心距离增大，因而分子电距随之增大。由Crausius—Mosotti—Debye公式可得，介电常数 ϵ 与分子电距 μ 之间的关系式为^[16]

$$1 - 3\epsilon^{-1} = \frac{4 \pi N_0 d}{3 M} \cdot \left(\alpha_D + \frac{\mu^2}{3 K T} \right) \dots\dots\dots (6)$$

式中 N_0 为阿佛加得罗常数， d 表示介质密度、 M 是分子量， K 为玻尔兹曼常数， T 表示绝对温度， α_D 为分子形变极化率。式(6)表明，若 μ 增大则必然 ϵ 增大。经理论计算，磁场可使流水的介电常数改变10~20%^[16]。

实验方面，根据国外许多资料报导，所取得的结论是比较一致的，即磁场的作用必将导致水的介电常数增大^{[17]、[18]、[19]}。

从上述粘度和介电常数实验可以得到启示：磁场不仅作用于水，同时也作用于水中杂质离子，磁化以后水的粘度提高，介电常数增大，同样是从溶液的迁移过程这个侧面，证明磁场可能促使水系统的缔合度增大。

3、能量传递实验结果分析

上述各实验仅限于水溶液系统内部所发生的效应,然而,分析研究水的吸收光谱、比热以及水对于超声波的吸收等能量传递过程,往往能够比较准确可靠地判断磁化之后水的结构及其缔合度是否发生某种变化。

紫外吸收光谱分析 紫外线的吸光现象是以原子外层轨道所发生的作用为条件,并取决于化学键的结构、温度及所处的状态。图3曲线是我们利用 SPECORD UV VIS分光光度计作紫外消光实验的结果之一。

检测条件:

水样: 三蒸水

水温: 15.5℃

磁场: $2 \times 10^3 \text{ oe}$

流速: 0.5m/s

切割次数: 1次

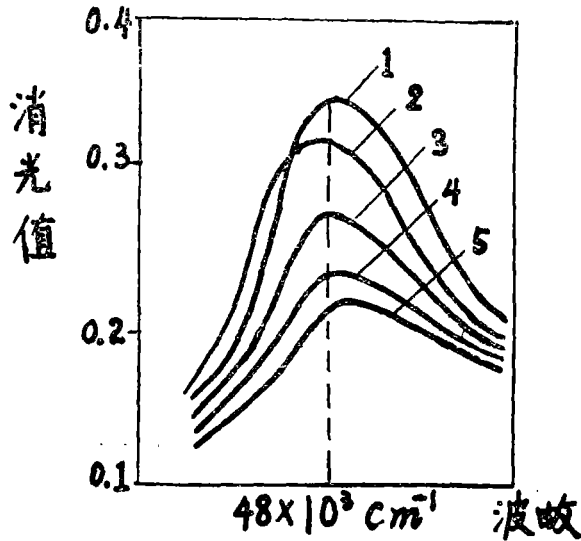


图3、紫 外 消 光 曲 线

曲线标志:

1 ~ 冰冻过的磁化水

4 ~ 沸腾过磁化水

2 ~ 冰冻过未磁化水

5 ~ 沸腾过未磁化水

3 ~ 未冰未沸未磁化水

结果分析:

(1) 预先冰冻过的水,保留较多的大分子簇团;水沸腾时一部份大分子簇团被破坏。因此这两种处理过的水,虽然最终到达同温度,前者缔合度仍然大于后者。缔合度增大会引起吸光作用增加。这个推论正与上述消光曲线相吻合,曲线1、2的消光值大于曲线4、5的消光值,这就证实冰冻过的水比沸腾过的水缔合度大。

(2) 由消光曲线不难看出,经磁场处理之后纯水的消光值提高,从而证明磁场的作用将导致水的缔合度增大。

(3) 消光曲线显示,磁化前后光密度峰值位置不变(即波长不变)表明磁场并未改变簇团中分子间的相互作用模式,尽管这些分子簇团的大小在磁化前后不相等。

此外,我们还做了杂质的消光实验。在三蒸水中加入 NaHCO_3 等杂质,在与上述相同

的检测条件下,作紫外吸收光谱实验,结果仍然发现磁化后的这些溶液的光密度峰值提高,从而证明磁场也能够促使水中这些杂质离子的水合簇团增大。

国外也有报导过,水经磁化后,其红外线和紫外吸收峰增大的情形。^{[20]、[21]}

四、结 语

通过以上各种有关能量计算表明,磁场可能提供的能量,远远不足以破坏水分子之间相互作用机构——氢键。因此磁化的结果,水的缔合度不可能减少。既然如此,缔合度增大是否可能?从上述实验得到启示,答案是肯定的,磁场可以促进水分子簇团和杂质离子水合簇团的缔合度增大。其机制问题主要是,一方面由于水是极性分子(如图1),在洛伦茨力作用下,分子中正负电荷受到反向的拉力而距离扩大,致使分子电矩增大,电性增强。因此,有更多的水分子由于电性力增大而互相连接起来,使分子簇团增大。另一方面,由于分子电矩增大,就有更多的水分子被吸引到杂质离子周围,使水合分子数增多,杂质水合簇团增大。

经磁场处理过的水其缔合度增大,就可以解释或预料水溶液一系列物化性质的变化。由于缔合度增大,水在流动时摩擦阻力必然增加,而且杂质离子作定向移动的阻力也会增加,因而造成水的粘度提高及电导率下降,由于缔合度增大,根据能量按自由度均分定则可知,水溶液的比热也会增大,同时还可能引起水溶液对光能和声能的吸收增大,等等。

参 考 文 献

- 1、R. A. Horne, MARINE CHEMISTRY中译本(1976), 20.
- 2、ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРТИКА(1970) № 8.
- 3、Водные Ресурсы(1974) № 4, 80~88.
- 4、D. Halliday, R. Resnick Physics Part I, (1966) 313.
- 5、6、R. A. Horne, MARINE CHEMISTRY中译本(1976) 6, 307.
- 7、A. N. ВАЧИНСКИЙ著, 阎喜傑译《物理学手册》, (1957), 231.
- 8、李国栋,《磁场处理水的若干物理问题》, (1979), 3.
- 9、华侨大学磁化水科研组,《磁化水部份物理参数测试研究报告》, (1979), 9~20.
- 10、吴家仁,“海洋科技”, 11期, (1978), 209.
- 11、Handbook of Chemistry and physics 55th (1974~1975), F-43
- 12、日本“化学”, (1971), 26, № 12, P35~37.
- 13、Lielmezs J. et al., Z. phys. Chem., 99(1976), 117.
- 14、ЛИЧАГИН Н. Н. ВЧЕШ. УЧЕБ. ЗаВод Сер. ФИЗ., 17 (1974), 2.
- 15、曾锦川,《农用磁化水的测试技术》, (1978), 二期, P65.
- 16、Joch K. M. et al., J Indian Chem. Soc., 43(1966), 620.
- 17、J. App. phys. (1974), 45, № 5, 1962~1964.

18. 日本“化学”，(1971)，26，№12，P35~37。
19. ж. Тех. ФИЗ. (1965)，35，№12，2245。
20. Klassen. V. I. et. al, Dokl, phys, Chem., 183 (1968)，921.
21. ИВаНоВа, Г. М., Всб, “Вопр, Теор. Н. Прак. МаГНИТ.
обрабоТ, ВодЫ И. Вод. СИсТеМ”，(1971)45.