

水在磁场作用后的特性变化研究

庞小峰^{①②*}, 邓波^①

① 电子科技大学生命科学与技术学院, 成都 610054;

② 中国科学院国际材料物理中心, 沈阳 110015

* E-mail: pangxf2006@yahoo.com.cn

收稿日期: 2008-02-27; 接受日期: 2008-04-16

国家重点基础研究发展计划资助项目(编号: 2007CB936100)

摘要: 用能洞察分子与原子结构及其特性的红外吸收光谱和 Raman 谱, X

射线衍射谱及紫外吸收光谱等现代技术, 并结合测量与分子结构相关的表面能力, 我们检测了磁场处理过水的特性及改变情况. 和纯净水比较, 实验发现磁处理水的光谱特性和力学特性改变, 其中 X 射线衍射强度增强, 磁处理水纳米 Fe₂O₃ 系统的谱线发生移动. 在远、中和近红外区磁处理水的红外吸收光谱和拉曼谱明显不同于纯水, 不但强度增加, 而且有多个谱线发生频移并有一些新的吸收峰出现; 在 2800~5500 cm⁻¹ 的红外吸收谱测定表明磁处理水具有明显的饱和效应和记忆效应, 在 8050 cm⁻¹ 处有一新强峰出现; 紫外光谱吸收强度随时间的增加指数式地增强, 水的温度改变时它的红外吸收变化, 在高温区出现了一个不可逆的吸收过程和多个峰值产生等, 这是从未见过的特性. 同时发现, 与分子结构相关的水的接触角或表面张力在铜和石墨表面上减小, 表面浸润增加. 这些结果使我们能确认, 磁场确能使水磁化, 并具有一定磁性, 分子分布和原子极化改变; 在高温时, 磁处理水出现不可逆温度效应和多个新峰值出现. 从这些实验中我们洞察到水中存在许多水分子的团聚, 它们是磁场作用的靶点, 此时在它们之间存在磁相互作用等很有意义的结果, 这些结果有助于去揭示水的磁化机理.

关键词 磁场 水 红外光谱 紫外光谱 拉曼光谱 X 射线衍射 接触角

水是我们最熟悉的物质之一, 人和动植物的存在和发育都需要大量的水, 工农业生产和人类的日常生活中都离不开水. 可以说, 没有水就没有生命和我们的生活. 但水到底是什么? 它具有什么特性? 这些是值得深思的一个挑战性问题, 需要认真、全面地研究. 在磁场作用后水的特性变化也是一个始终令人感兴趣的问题. 通过对它的研究使我们更好地了解水的特性和洞察的本质. 自上世纪中期以来, 很多人研究过磁处理后水的特性及其机理, 但是水磁化的机理一直未能解决, 因而阻碍了对它的深入研究. 其根本原因是未能揭示出水的分子结构和磁场对水作用的特点及对水分子结构的影响. 很多人的实验证实了磁场能够将水磁化[1~4], 尽管这种磁化的效果较小. 当经磁场处理后, 水的许多特性如介电常数、折射率、对光的吸收率, 挥发性和表面张力等都会发生改变[1~11]. 有些人还利用这些特性变化, 将它应用于锅炉的除垢等之中, 也有实验证实了磁处理的水有助食物消化[12~16], 可见研究磁化水有实用价值. 但是, 由于对水的本质缺乏深入认识, 再加上技术条件和实验设备的限制, 很少人从分子水平上用实验来对它的特性进行全面系统研究. 至此, 磁场对水的作用机理一直未弄清. 这表明水的磁化是一个非常复杂问题, 只有启用新的思维, 应用先进的仪器和合理的实验方法才能解决这些问题. 最近庞小峰等人[15~19] 应用非线性理论和方法, 并结合一些实验结果, 提出了水的磁化的机理和理论. 这一理论认为在水中存在具有 1.8Dabye 偶极矩的水分子通过氢键组成了一些链状和环状的氢键水分子链的团簇结构. 这种结构被水的红外吸收光谱实验所证实. 按照被实验证实了的质子(氢离子)在氢键系统中的传导特性[17~25], 在这些氢键分子链中也存在质子的传递, 在外加磁场作用时, 处于环形氢键链中的质子在磁场的洛仑兹力的作用下能形成环形电荷传导, 从而

形成了像磁体中的“分子电流”，则在它们之间或它们与外加磁场之间存在的相互作用使得这些水分子的分布和自身特性改变，从而引起了水的性质如光学特性和电磁特性的改变。这就是水的磁化及其机理[17~21,25]。在此基础上，并借鉴在冰中质子在氢键链中的传导理论和水中分子分布的特点，建立起了液态水的磁化理论[17]。在这种情况下，很有必要进一步深入和全面地研究水在磁场作用后分子结构和特性的改变情况及所造成的一些现象。另一个方面，若弄清和证实水能磁化，磁化后水的特性定会发生变化，则我们就有可能弄清磁场对人和动植物的生物效应及其机理和特性[25,26]；同时还有助于提高磁化水在医疗和工农业生产等领域中的应用。

1 磁场对水的作用效应

我们首先测量了由外加磁场引起的水的光学特性的变化。实验中所使用的磁处理水是将 20 mL 纯水放置于 4400 Gs (1 Gs = 10.4 T) 的钕铁硼磁铁体的磁场中约 30 min 后得到，在此以后用日本岛津的 UV-2201 紫外光谱仪和石英液体池透射法测定了纯净水和磁处理水的紫外吸收光谱。其测量范围为 220~400 nm，光程 1 cm，缝宽 0.2 μ m。此磁处理水用以上相同方法得到后，将磁处理水注入石英液体池至确定刻度后，迅速采集。它和纯水的结果示于图 1。从图 1 看出，磁场处理水在 220~300 nm 波长范围内的吸收强度明显高于纯净水的，特别是在波长较短时其差别更加明显，其强度随波长的减少按指数规律增加的。同时还发现紫外光的吸收强度随磁场暴露的时间或它的强度的增加而增大，这表明水的磁化效果与外加磁场的强度直接相关，后者越强，则前者也就越大。在图 1 中我们还示出了关于 10, 20, 40, 60 min 时的不同暴露时间的紫外光的吸收强度随外加磁场强度的变化情况。从图 1 看到，尽管每个曲线的值不尽相同，但是它们都以上述同样的规律变化。由此可见，磁处理水的紫外光吸收强度随波长的减少按指数增加的规律是磁处理水的一个固有特性。

我们用 NexusFT-IR670 傅里叶变换红外光谱仪测定了在 400~10000 cm^{-1} 区中的红外吸收光。从在 400~4000 cm^{-1} 的中红外区的光谱中曾发现红外光谱吸收强度随磁化时间的增长而增加，但峰值频率未变化[17,19,20]。在 4500~6500 cm^{-1} 范围内的红外光谱测定后我们[20]发现了水在 5198 cm^{-1} 附近有一个强的吸收峰，它的吸收强度随磁化时间的增加而增大，但此处吸收峰的位置没有改变。在 25 $^{\circ}$ C 和 7000~9000 cm^{-1} 范围内的近红外光谱的结果示于图 2 中。由图 2 看到，在 9340 cm^{-1} 处水出现一个强的吸收峰，但磁处理水的吸收强度明显大于纯水，而峰值频率未观察到移动。这些结果表明在磁场作用后水的特性变化，于是我们能够说水在这种情况下被磁化了。

图 1 磁处理水和纯水的紫外光谱,曲线 1~5 分别为
纯水和处理时间 10, 20, 40, 60 min 的磁处理水的值

图 2 磁处理水和纯水的近红外光谱

我们又用 Raman 谱仪测定了在不同波数范围内用上述方法得到的磁处理水和纯净水的拉曼光谱。它与纯净水在 3000~9000 cm^{-1} 范围内的 Raman 谱分别示于图 3 和 4 中。由此可见，在 3000~9000 cm^{-1} 的波数范围内，磁处理水的拉曼光谱的散射强度明显大于纯水，而且纯净水的 5100 cm^{-1} 附近的馒头峰在磁处理后迁移至了 6250 cm^{-1} 附近，变成了一个强峰，并在 8340 cm^{-1} 附近又产生了一个新尖峰。由图 4 看出，在 20~2000 cm^{-1} 范围内，磁处理水的吸收强度明显大于纯水，但未观察到峰的频移。这些都说明水经外加磁场作用后其拉曼散射特性明显改变。这些大改变不可能认为是实验误差造成，更充分显示了磁处理水的特性迥然不同于纯净水。另外得出，水和磁化水在 3000~4000 cm^{-1} 范围的 Raman 谱是一个大的馒头峰，与蒋毅坚等人[27] 和 Walrafe[28]实验测定的结果相近，如图 3 所示。

我们曾还用北京普析通用仪器公司的 X 射线衍射仪测定了纯水和磁处理水的 X 射线衍射谱[18]，发现磁场处理水的 X 射线衍射强度发生了改变，其最强衍射峰的强度从纯净水的 39417 增加到 42872，而其他两个小峰的衍射强度也有不同程度的增加。与此同时，我们还曾将具有一定磁性的 2 mg 的纳米 Fe₃O₄(颗

粒大小为 100 nm) 颗粒分别加到同为 20 mL 的上述磁处理水和纯水中, 测出了它们的 X 射线衍射谱[18]. 和纯水+Fe₃O₄ 混和物的 X 射线衍射谱比较, 发现不但磁处理水+Fe₃O₄ 混合物的强度增加, 而且衍射峰的位置也发生了明显移动, 两者相差大约 2°C, 而前者与纯水的 X 射线衍射谱相同. 此结果清楚地表明磁处理水因磁相互作用而与纳米 Fe₃O₄ 结合, 而前者没有这种结合, 从而才导致后者的 X 射线衍射谱不同与前者. 于是可确定磁场处理的水确具有一定磁性. 因此从实验上证明在磁场作用后, 水的确被磁化了.

图 3 20~9000 cm.⁻¹ 范围磁处理水和纯水的图 4 20~2000 cm.⁻¹ 范围磁处理水和纯水的拉曼光谱拉曼光谱

以上的实验结果我们重复过多次, 所得的结果都是一致的. 从以上实验结果看出, 磁场的确能改变水的特性, 使水磁化, 从而才引起它的 X 射线衍射谱、紫外光谱、拉曼光谱和红外光谱等不同于纯净水. 如所知, 这些光谱是 X 射线、紫外光和红外光等与水分子中的分子和原子及电子作用后产生的. 相对于纯净水, 它们的变化标志了磁场确实使水分子中的原子和电子的结构与状态及分子的分布、极化状况和原子的磁性发生改变. 这就是磁场对水作用的本质. 但从水的 Raman 谱、红外吸收谱在常温下的峰的频率未发生改变, 仅峰的强度增加, 可是水的分子结构未变化. 因此可用它的峰的强度的增加来标志磁场作用的效果和大小.

2 磁处理水的一些特性

2.1 磁处理水随外加磁场的辐照时间的变化而改变的特性及其饱和磁化效应

我们曾用 NexusFT-IR670 傅里叶变换红外光谱仪测定了在 400~4000 cm.⁻¹ 的中红外区的光谱, 从中发现红外光谱吸收强度随磁场辐射时间的增长而增加, 但峰值频率未变化[18]. 这表明水的磁化效果随外加磁场的增加而增强. 同时, 采用了 ATR 全反射法检测了在 5198 cm.⁻¹ 处的红外吸收峰随辐射时间而变化. 其具体的做法是: 将 2 mL 纯净水在 ATR 附件的 Ge 晶体上铺展开, 将磁场强度为 4400 Gs 的钕铁硼磁铁置于 ATR 附件的样品池上, 磁场方向垂直于水平面, 在不同时间对光谱进行收集. 此时磁处理水的时间从 0~140 min 每隔 10 min 间隔采集红外光谱. 可见在不同辐射时间的红外光谱的吸收峰的位置未改变, 但吸收强度随磁处理时间的增长而有次序地增加[20]. 按此方法测量了 5198 cm.⁻¹ 峰值的强度随磁场作用时间和强度的变化曲线. 其结果示于图 5 中[20]. 由图 5 可见, 在磁场作用后的初始阶段, 5198 cm.⁻¹ 峰的强度随磁场作用时间的增加而增大. 当辐射足够长的时间时, 即时再增加辐照时间, 它的吸收强度也不再发生改变. 则此时水的磁化效应不再随磁场辐射时间的增加而改变, 这表明磁化出现饱和状况. 在图 5 中还一起示出了对于 600, 2000 和 3000 Gs 的不同外加磁场强度作用后的磁处理水的 5198 cm.⁻¹ 的吸收强度随辐射的时间的变化情况. 可见, 不同磁处理水的饱和效应出现的时间是不同的; 外磁场越强, 则饱和效应出现的时间越短. 如 600 Gs 时为 110 min, 2000 Gs 时为 100 min, 在 3000 Gs 时为 90 min, 4400 G 时为 60 min. 它表明饱和磁化效应出现时间是随外加磁场的强度和辐射时间的增加而减少的. 此效应表明水中被磁化单元或“分子电流元”是有限的, 其数目不会随外加磁场的改变而改变. 这是一个非常有价值的结果. 它清楚地表明水中存在一个具有能被磁化的结构单元, 在外加磁场作用于水时就能变成一个小磁体或一个“分子电流元”, 从而使被磁化. 它是我们建立水的磁化理论[15~19]的主要实验事实. 因此这些实验结果有助于认识水的磁化的本质和机理.

2.2 磁处理水的记忆效应

实验表明被饱和磁化了的水在外加磁场被取消时, 其磁化效应不会立即消失, 而会弛豫一段时间. 我们具体记录了示于图 5 中的磁处理水的 5198 cm.⁻¹ 峰在移去外加磁场后的不同时间的红外吸收峰值强度的变化情况, 其结果示于图 6 中. 从图 6 可知, 在移走外加磁场后, 磁处理水的红外吸收强度很快下降, 而后又变得缓慢, 在一定时间, 它的吸收强度就和纯水的吸收强度基本一致. 这就叫做磁处理水的记忆效应. 从图 6 可看见记忆的时间是随外加磁场强度的变化而变化的. 外加磁场强度越大, 其记忆时间越长. 具体讲 600 Gs 时其记忆时间为 40 min, 在 2000 Gs 是为 45 min, 在 3000 Gs 时为 58 min, 对 4400 Gs 时为 60 min. 磁处理水的记忆效应的出现表明水中的被磁化单元或“分子电流元”之间存在磁吸引相互作用[15~19]. 正

是这种相互作用导致了这种记忆效应的出现;而不同外加磁场使磁处理水的磁化单元之间相互作用不同才导致不同的记忆时间.

图 5 磁场强度和作用时间对磁处理水红外光谱图 6 去除磁场后磁处理水的光谱强度随时间变化

2.3 水的温度对磁处理水的效应的影响

我们曾用红外光谱仪研究了上述磁处理水在 300~4000 cm^{-1} 范围内和温度从 25~85 $^{\circ}\text{C}$ 变化时对磁化效果的影响[16]. 实验发现随温度的升高, 它的吸收强度不但降低, 其峰值频率发生了微弱的蓝移.

另外, 利用红外光谱仪和液体池透射法还研究了在过去很少人研究过的对磁处理水在近红外区的吸收特性随水的温度的变化情况. 此时, 将装有 300 mL 纯净水置于磁场中, 在作用 1 h 后用注射器将磁处理水注入液体池(ZnSe), 升温之后再降温, 在不同的温度点采集它的吸收光谱. 实验结果示于图 7 和 8 中, 发现在 8000~10000 cm^{-1} 的范围内, 当温度从 25 $^{\circ}\text{C}$ 升高到 70 $^{\circ}\text{C}$ 时, 磁处理水的吸收峰的强度发生了变化, 其吸收强度先逐渐增加至 50 $^{\circ}\text{C}$ 时在 9340 cm^{-1} 时出现一个极强的高峰, 在此以后又逐渐减少. 而吸收峰的位置总是随温度增加向波数减小的方向移动. 但在温度达到 70 $^{\circ}\text{C}$ 后就开始降低温度, 则吸收强度随温度的降低而增加, 在降低温度时其吸收峰的位置从 9340 cm^{-1} 迁移至 9420 cm^{-1} 左右. 同时还得出一个奇怪的现象, 即在降温时的红外吸收峰的频率值并不与升温时一致. 这种不可逆变化过程示于图 9 中. 另外, 若在 70~90 $^{\circ}\text{C}$ 的区域中时, 由于水的温度升高使水分子热运动加剧, 所以磁处理水的吸收峰分裂为多个峰. 当水的温度从 90 $^{\circ}\text{C}$ 下降到 70 $^{\circ}\text{C}$, 观察到在 85 $^{\circ}\text{C}$ 时峰值个数和峰的位置都不同于上升时在 85 $^{\circ}\text{C}$ 时的值, 如图 9 所示. 磁处理水的上述奇特的红外光谱在这之前是没有人得到过, 更没有人对其发生原因和机理作过解释. 我们重复多次测试, 其结果是一致的. 这些不寻常特征不能不使我们认识到在高温时的磁处理水远不是平常讲的牛顿流体, 似乎呈现出了非牛顿流体特征的征兆. 由此认识到在其中确存在大量的分子团聚结构[23]. 正是这些结构的存在导

图 8 在 25~70 $^{\circ}\text{C}$ 范围升温-降温时吸收峰位置随温度的变化

图 7 磁处理水在 25~70 $^{\circ}\text{C}$ 范围升温(a) 和降温(b) 的近红外光谱

致了以上的不可逆过程和多个吸收峰等现象的出现, 这不能不使我们对水的本质重新加以认识. 由于 1 μm 波长的红外光谱线是由水分子中的成键电子跃迁产生的, 则使我们认识到上述现象是由于在高温时, 水吸收的热能和磁能“转化”为成键电子在高能态的跃迁能. 磁场改变了水分子的分布和原子中的电子状况, 以促成这些成键电子的跃迁特性的变化, 从而在升温 and 降温过程中, 由于磁处理水分子之间的相互作用及分布变化, 便引起了上述不可逆过程实验结果的发生. 当然这种理解值得更加深入地研究.

图 9 磁处理水在 70~90 $^{\circ}\text{C}$ 范围升温(a) 和降温(b) 的近红外光谱

2.4 磁处理水的表面张力等特性变化

从以上研究可知水在外加磁场作用下其水分子的分布和团簇状态的改变必然会导致它的宏观特性, 如表面张力的变化. 我们在国家纳米中心采用 OCA40 Micro 光学视频接触角测定仪(德国 Dataphysics 公司)测量了磁处理水在不同固体表面的接触角, 以考察水分子的团聚和表面张力的变化情况. 测定时注射针的注射速度为 0.5 $\mu\text{L/s}$, 注射体积为 3 μL , 接触角测量的范围为 0~180 $^{\circ}$, 测量精度为 $\pm 0.3^{\circ}$. 选取了石墨、铜和云母 3 种界面, 测定在这 3 个固体表面 5 个不同部位的接触角, 结果取其平均值. 实验结果如图 10~12 所示. 在水经过静磁场作用后, 在亲水性很强的云母表面上, 因为水完全铺展, 接触角几乎等于 0, 所以磁处理水和纯水的差异未显示出来, 其原因是磁处理水同纯水虽然存在差异, 但云母对这两种水的吸引力很大, 便掩盖了由磁场引起的小变化. 但是在疏水性较小的石墨和铜表面上时, 磁处理水的接触角都比正常的水接触角略小, 在铜表面上相差大约 0.4 $^{\circ}$, 在石墨表面相差大约 1.4 $^{\circ}$. 这种宏观特性差异虽然很小, 但其差值已超过了仪器的精度范围, 故其差别不是仪器的误差造成的, 表明静磁场处理水后, 水在石墨和铜两种材料的表面上更容易浸润, 其原因可能是水经过磁场处理后, 分子间的成键和团聚状态改变和极化增强造成的.

图 10 铜表面的接触角

(a) 磁处理水; (b) 纯净水

图 11 石墨表面的接触角

(a) 磁场处理水; (b) 纯净水

图 12 云母表面的接触角

(a) 磁处理水; (b) 纯净水

3 结论

我们测量了水的 X 射线衍射谱, 紫外光吸收谱、红外吸收谱和拉曼散射谱. 这些水的光谱能表征了磁处理水和纯净水的原子和分子结构与状态和特征. 其实验结果多次重复过, 其仪器的精度和分辨率较高. 因此, 数据的可重复性和可信度和准确度较高. 本文中我们改变了思维方法, 用能洞察分子及原子结构及其变化的红外吸收光谱, Raman 谱、紫外吸收光谱和 X 射线衍射谱仪等现代化技术手段, 并结合与分子结构相关的宏观特性如表面张力大小的测试技术对磁场处理水的光学和力学特性变化情况进行全面的研究与测试. 实验证明, 它的特性都发生了明显变化. 其中红外吸收光、Raman 散射、紫外光吸收和 X 射线衍射等的强度显著增加, 并且, 磁场改变了水分子的分布和分子和原子极化特性, 但水的分子结构未发生变化. 在 X 射线衍射实验中还发现磁处理水+纳米磁性 Fe_3O_4 相对于纯净水+ Fe_3O_4 发生谱线移动, 说明磁处理后水具有一定磁性. 在 200~300 nm 的紫外光吸收中发现谱线强度随波长减少指数增加, 表明磁处理水中存在大量如氢键链的团簇结构. 在 3000~4000 cm^{-1} 的中红外区的红外吸收谱存在 6 个吸收峰, 它们在温度和磁场改变时与纯净水时都一样, 总是始终存在, 不随外磁场和温度的改变而改变. 这表明, 这 6 个峰值代表了水的一种固有特性[15~19]. 在 5000~10000 cm^{-1} 的近红外区的红外吸收谱上发现许多新的峰和峰的频率移动. 磁处理水具有一个明显的饱和效应和记忆效应, 表明水中存在确有磁场作用的靶子—磁性单元, 但它们是有限的, 不随外界因素而改变. 在磁场作用时, 它们有相互作用表现出一种顺磁特性. 在 50~90 $^{\circ}\text{C}$ 的范围内不但出现多个峰而且峰的频率和强度变化, 在温度的上升和下降变化时出现不可逆过程等奇特效应. 这再次表明水中存在大量的团簇结构. 这些结果和我们提出的水的磁化理论及其结果是一致的[17~21]. 磁处理水的这些奇特效应有助于揭示水的磁化机理. 我们在从前的文章中就根据在 3000~4000 cm^{-1} 范围内出现的 6 个峰, 从实验和理论的研究[21,26,27], 确认其中的 3666 和 3546 cm^{-1} 表示由水分子的 OH 键对称与反对称振动. 而 3456 和 3281 cm^{-1} 表示氢键水分子链中的 OH 键的对称与反对称振动模. 3181 和 3062 cm^{-1} 表示了环形氢键水分子链中 OH 链的对称与反对称振动模. 后两者就相应于上述所指出的水分子团簇结构. 根据我们[19,20] 和其他研究组[21~24] 在冰中建立的、并被实验证实了的质子电荷在氢键分子链传导的理论得知这里的环状水分子氢键链在磁场中就是象固体中的磁性“分子电流元”或小磁针, 它们就是磁场作用的靶点, 链中质子在磁场洛仑兹力作用下形成了环形电流. 就是水中的“分子电流”, 或它就是上面提到的磁性单元或小磁体[17~21]. 它们与外磁场作用而使水被磁化, 从而使水分子的分布和极化效应发生改变, 以导致磁处理水的特性具有上述不同于纯净水的特性出现. 这是十分有趣的物理现象, 值得进一步深入研究.

致谢衷心感谢国家纳米研究中心江雷研究员和高秀峰老师、四川师范大学材料与化学学院薛卫东教授和中山大学陈健教授的的指导与帮助.

参考文献

- 1 Ohata R, Tomita N, Ikada Y. Effect of a static magnetic field on ion transport in a cellulose membrane. *J Colloid Interface Sci*, 2004, 270: 413—416
- 2 Bour P. Cluster model of liquid water and its IR spectroscopic response. *Chem Phys Lett*, 2002, 365: 82—88
- 3 Ji A C, Xie X C, Liu W M. Quantum magnetic dynamics of polarized light in arrays of microcavities. *Phys Rev Lett*, 2007, 99: 183602—183605
- 4 Li Z D, Li Q Y, Li L, et al. Soliton solution for the spin current in ferromagnetic nanowire. *Phys Rev E*, 2007, 76:

026605-026610

- 5 Higashitani K, Oshitani J, Ohmura N. Effects of magnetic field on water investigated with fluorescent probes. *Colloids Surf A*, 1996, 109: 167—173
- 6 Amiri M C, Dadkhah A A. On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment. *Colloids Surf A*, 2006, 278: 252—255
- 7 Chang K T, Weng C I. The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. *J Appl Phys*, 2006, 100: 043917—043922
- 8 克拉辛,著.毛钜凡,译.磁化水.北京:计量出版社,1982. 78—82
- 9 闫述,郑浩平,张甜.水溶液势对丙氨酸电子结构影响的模拟. *科学通报*,2008, 53(7): 759—768
- 10 李春杰,郑浩平,王雪梅.水溶液分子对丙氨酸电子结构的等效势. *中国科学 G 辑: 物理学力学天文学*, 2006, 36(5): 480—495
- 11 杨达起,杨丽莉.水的磁化和磁化水. *生物磁学*,2000, 3: 20—25
- 12 Higashitani K, Okuhara K, Hatade S. Effects of magnetic field on stability of nonmagnetic colloidal particles. *J Colloid Interface Sci*, 1992, 152: 125—131
- 13 朱元保,颜流水,曹祉祥,等.磁化水的物理化学性能. *湖南大学学报(自然科学版)*, 1999, 26: 21—26
- 14 Coey J M D, Cass S. Magnetic water treatment. *J Magn Magn Mater*, 2000, 209: 71—74
- 15 Fathia A, Mohameda T, Claudeb G, et al. Effect of a magnetic water treatment on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate. *Water Res*, 2006, 40: 1941—1950
- 16 Kneya A D, Parsons S A. A spectrophotometer-based study of magnetic water treatment: Assessment of ionic vs. surface mechanisms. *Water Res*, 2006, 40: 517—524
- 17 Pang X F. The conductivity properties of protons in ice and mechanism of magnetization of liquid water. *Eur Phys J B*, 2006, 49: 5—23
- 18 庞小峰.在水中的纳米水分子的发现和它的特点及实验证实. *原子与分子物理学报(增刊)*, 2006, 23: 1—3
- 19 庞小峰,邓波.在磁场作用后水的特性的改变和它变化的机理. *原子与分子物理学报*,2007, 24: 281—290
- 20 邓波,庞小峰.在静磁场作用后水的光学特性的改变. *科学通报*,2007, 52(9): 999—1002
- 21 Pang X F, Feng Y P. *Quantum Mechanics in Nonlinear Systems*. Singapore: World Scientific Publishing Co, 2005. 557—586
- 22 Pang X F, Müller-Kirsten H J W. Dynamic properties of proton transfer in the hydrogen-bonded molecular systems. *J Phys Condens Matter*, 2000, 12: 885—897
- 23 Pang X F, Feng Y P. Mobility and conductivity of the proton transfer in hydrogen bonded molecular systems. *Chem Phys Lett*, 2003, 373: 392—397
- 24 Davydov A S. *Solitons in Molecular Systems*. Dordrecht: Kluwer Publisher, 1990. 227
- 25 庞小峰. *生物电磁学*.北京:国防工业出版社,2008. 10—56
- 26 庞小峰. *生物物理学*.成都:电子科技大学出版社,2007. 10—56
- 27 蒋毅坚,曹庆九,张鹏程,等.磁化水,自来水和蒸馏水的拉曼散射研究. *光散射学报*,1992, 4: 102—106
- 28 Walrafen G E. Raman spectral studies of the effects of perchlorate ion on water. *Struct J Chem Phys*, 1970, 52: 4176—4198