

# NaCl 溶液在磁场作用后的物理特性变化

韩雪云<sup>1</sup>, 彭玉峰<sup>1</sup>, 马中军<sup>2</sup>

(1. 河南师范大学 物理与电子工程学院; 河南省光电子技术及先进制造工程实验室,  
河南 新乡 453007; 2. 中核集团 404 有限公司, 兰州 735112)

**摘 要:**采用波长连续可调线偏振光透射光谱技术研究了在 0.17 T 静磁场作用下 NaCl 溶液的光学特性的改变,同时利用接触角测量仪测量了经不同强度磁场处理 20 min 后的 NaCl 溶液在硒化锌表面的接触角. 实验研究发现,未经磁场处理过的样品和经过磁场处理的样品相比,它们的透射率及接触角呈现明显差异;入射光的偏振方向不同,同一样品的透射率也不同,入射光为 P 偏振情况下样品的透过率要大于入射光为 S 偏振情况下的透射率;同一磁场作用下,不同浓度的 NaCl 溶液的透射率差异明显;不同磁场强度下,磁场越强,NaCl 溶液的接触角越小,说明溶液内部分子结构状态发生了变化. 本文利用磁场与物质的作用特点简明地解释了经过磁场处理后 NaCl 溶液的透射光谱和接触角所发生的这些变化.

**关键词:**静磁场;偏振光;NaCl 溶液;透射率;接触角

**中图分类号:**O433.4

**文献标志码:**A

文献[1-2]等都对在静态或交变磁场(MF)作用下电解质水溶液的物理化学性质进行了研究,然而磁场影响有时仍然被认为是不可靠的和不可思议的. 原因如下:1) 迄今报告的数据不是定量的并且再现性差;2) 在非磁性材料上产生的现象,目前尚未由电磁学来合理的解释磁场影响的机制. 因此该领域的研究仍然吸引着众多学者.

Eshaghi 和 Gholizadeh<sup>[3]</sup>利用电导测定法研究了磁场对钾离子配合物稳定性的影响,发现经磁场处理后,钾离子配合物的稳定性下降. Holysz 等<sup>[4]</sup>研究了静磁场对水和电解质溶液性质的影响. 该研究表明电解质溶液的导电性在磁场作用后发生了改变. 这种改变取决于溶液中离子水化层的厚度. Murad<sup>[5]</sup>采用分子模拟的方法,理论分析了外加磁场对反渗透膜中水的迁移率. 该研究发现,磁场作用和电场的作用类似,在破坏水和水合离子团簇方面都发挥着重要作用. Chang 等<sup>[6]</sup>利用分子动力学模拟,研究了强度在 0~10 T 的磁场对 NaCl 溶液结构的影响. 结果表明,在低浓度溶液中,随着磁场的增强,水分子的自扩散系数减小,但在高浓度溶液中,自扩散系数随磁场增强而增大. 为了进一步认识磁场对无机盐水溶液作用的本质和特点,有必要作更深入的研究. 本文利用偏振光连续光谱技术研究了在紫外、可见光和近红外波段磁场对氯化钠溶液光学性质的影响;同时,使用接触角测量仪测量了没有经过磁场处理和经过磁场处理试样的接触角. 通过这些研究,为更深入的探讨磁场对物质微观结构的影响机理提供可靠的实验支撑.

## 1 理论基础

离子在静止的溶液中作无规则的布朗运动,总体呈现各向同性. 在磁场的作用下,由于水为极性分子,水溶液中的水分子、水化离子等带电粒子都要受到磁场洛伦兹力的作用<sup>[7]</sup>. 设磁场的磁感应强度为  $B$ ,带电粒子的电荷为  $q$ ,质量为  $m$ ,在磁场中的运动速度  $v$  与磁场方向夹角为  $\theta$ (如图 1 所示). 可以看出粒子所受的洛伦

收稿日期:2015-10-31;修回日期:2016-04-11.

基金项目:国家自然科学基金(61077037)

第 1 作者简介:韩雪云(1980—),女,河南南阳人,河南师范大学博士研究生,研究方向为光学;E-mail:hanxueyun126@126.com.

通信作者:彭玉峰,教授,博士研究生导师,E-mail:yufengp@htu.cn.

兹力  $q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$  仅与垂直于磁场方向上的速度有关. 粒子在与磁场方向垂直的方向上做圆周运动, 而沿着磁场方向粒子匀速运动. 因此, 带电粒子在磁场中的实际运动轨迹为以磁场方向为轴向的螺旋形轨迹(如图2所示), 其螺旋运动轨迹的半径<sup>[8]</sup>

$$R = \frac{mv \sin \theta}{qB} \quad (1)$$

在磁场中的偶极矩为  $M$ , 则其受磁场作用产生的扭矩<sup>[9]</sup>

$$\mathbf{L} = \mathbf{M} \times \mathbf{B} \quad (2)$$

这就意味着, 上述扭矩可能会使溶液中偶极子的磁矩产生定向转动, 从而在某种程度上使溶液变得各向异性.

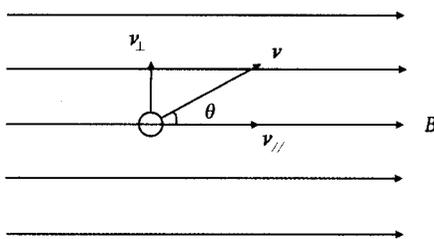


图1 粒子在磁场中的运动方向

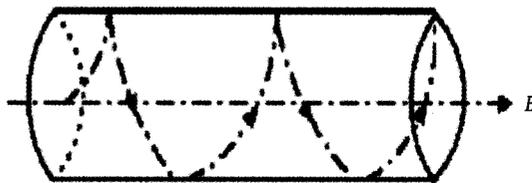


图2 粒子在磁场中的运动轨迹假设水分子

对于电解质水溶液而言, 根据 Kohlrausch 离子独立运动定律<sup>[10]</sup> 可知, 溶液的电导率与浓度的关系可表述为

$$\Lambda = \frac{\sigma}{c} = \Lambda_0 - A\sqrt{c} \quad (3)$$

其中,  $\sigma$  为溶液的电导率,  $c$  为浓度,  $\Lambda_0$  为极稀溶液的摩尔电导率,  $A$  为常数.

根据麦克斯韦方程组可以推得溶液的复介电常数可表示为<sup>[11]</sup>

$$\epsilon^* = \kappa_e + j \frac{\sigma}{\omega} = n^2 + j \frac{\sigma}{\omega} \quad (4)$$

其中,  $\kappa_e$  称为相对介电常数,  $n$  为溶液的折射率. 复介电常数的虚部  $\frac{\sigma}{\omega}$  被称为损耗因子, 用于表征介质对光波传播的损耗. 对于不同浓度的溶液而言, 溶液的电导率不同, 对光波传播的损耗也不同.

## 2 实验方法

### 2.1 样品制备

制备 NaCl 溶液所需的无机盐(分析纯)由天津科密尔化学试剂有限公司提供, 并使用 ALC-110.4 型电子天平进行称质量. 实验中所测纯水及配制溶液所用纯水均由三级 Millipore Q-Plus 185 超纯水系统(基础应用型)制得, 电阻率为  $18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ . 溶液浓度配制范围  $0.3 \sim 1.5 \text{ mol/L}$ , 样品浓度间隔  $0.6 \text{ mol/L}$ . 为避免来自玻璃表面的污染, 所有样品均用聚乙烯瓶盛放.

### 2.2 磁化处理

为了获取不同的恒定磁场, 设计了如图3所示的磁场发生装置. 该装置由磁体、竖板、带滑槽的横板和支架组成. 磁体的材料为钕磁铁, 其有效磁通面积为  $50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ , 平均磁通密度  $5500 \text{ mT}$ ; 横板和竖板的材料是 45 号钢; 支架的材料为不导磁的铝合金, 用来放置样品. 不同强度的磁场可通过调整两个永磁体间的距离来获得, 磁场的大小用特斯拉计测定. 在本实验中, 磁场强度将分别设置在  $0.17 \text{ T}$ ,  $0.13 \text{ T}$ ,  $0.09 \text{ T}$ . 在对样品透射光谱和接触角的测量之前, 所有样品均被放置在磁场中磁化  $20 \text{ min}$ , 并且在透射光谱测量中始终加载磁场. 所有样品的磁化处理均在  $(20 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$  和  $91.6 \text{ kPa}$  条件下进行.

### 2.3 测量方法

测量样品透射光谱所用光谱仪的光源为连续可调线性偏振光, 其输出光谱分辨率为  $0.5 \text{ nm}$ , 光谱采集

范围 350~1100 nm. 测量过程中, 入射光的传播方向垂直于磁场的方向, 并用  $P$  偏振光和  $S$  偏振光分别进行测量.

为了便于比较, 未磁化样品和磁化样品均取  $20\text{ cm}^3$  盛放于石英比色皿中并立即进行测量. 在经过不同磁场强度的磁场处理后, 所有的样品的测量均重复 5 次.

样品在硒化锌表面的接触角采用接触角测量仪(JC2000D1)进行测量, 接触角测量范围为  $0\sim 180^\circ$ , 测量精度为  $\pm 0.05^\circ$ , 每次注射体积为  $3\ \mu\text{L}$ . 基片材料硒化锌在每个样品测量前均使用纯化水进行清洗, 并用等离子体清洗机进行二次清洁. 每个样品重复测量 5 次求平均, 以减小误差.

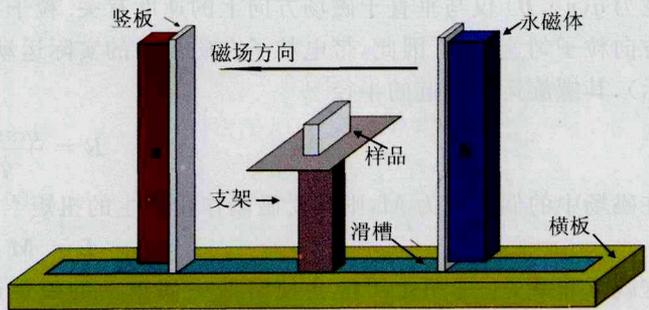


图3 磁场装置示意图

### 3 结果与讨论

经磁场处理和未经磁场处理的  $\text{NaCl}$  溶液的透射光谱如图 4 所示。当入射光为  $P$  偏振光时, 经磁场处理的  $\text{NaCl}$  溶液的透射率要大于未经磁场处理  $\text{NaCl}$  溶液的透射率; 反之, 当入射光为  $S$  偏振光时, 经磁场处理的  $\text{NaCl}$  溶液的透射率要小于未经磁场处理  $\text{NaCl}$  溶液的透射率. 经强度为  $0.17\text{ T}$  的磁场处理后样品的浓度越高其透射率越低, 不管入射光是  $P$  偏振光还是  $S$  偏振光, 如图 5(a)和(b)所示.

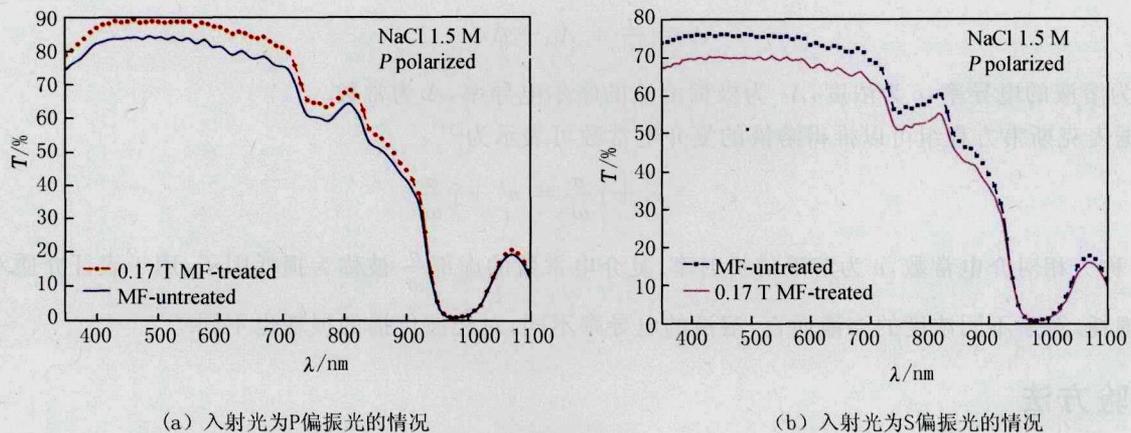


图4 经磁场强度为 $0.17\text{ T}$ 的磁场处理后的 $\text{NaCl}$ 溶液和未经磁场处理的 $\text{NaCl}$ 溶液的透射光谱, 溶液浓度 $1.5\text{ mol/L}$ .

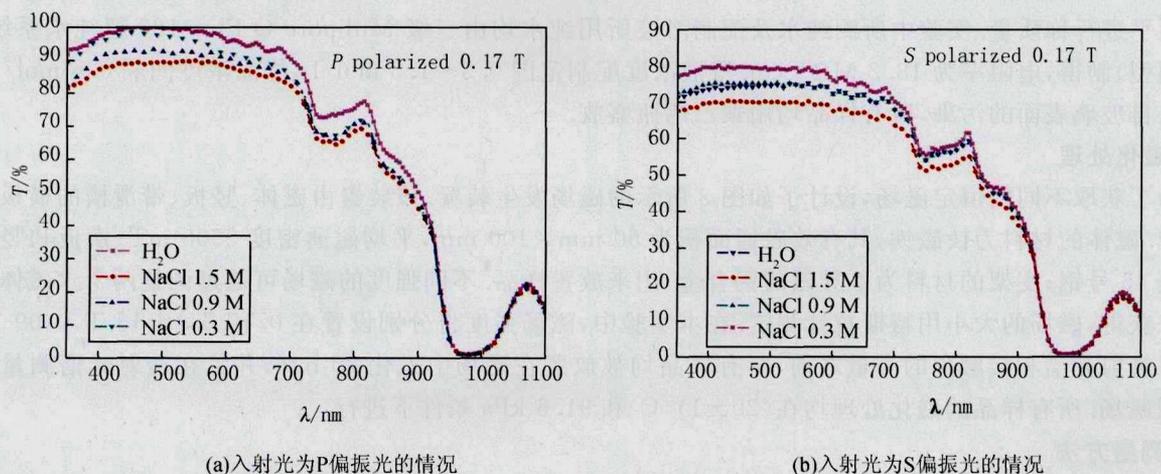


图5 经磁场强度为 $0.17\text{ T}$ 的磁场处理后的水和 $\text{NaCl}$ 溶液( $0.3\text{ mol/L}$ ,  $0.9\text{ mol/L}$ ,  $1.5\text{ mol/L}$ )的透射光谱.

显然,基于上述电磁理论磁场对水的偶极分子发生定向极化作用后,水分子产生了定向排列.离子进入水中后,破坏了原有的液态水结构,一定数量的偶极分子在离子周围取向,使得可以自由移动的水分子减少了.紧靠离子的一部分水分子能与离子一起移动,相应地增大了离子的体积.稍远的水分子也受到离子电场的影响,使水原有的结构部分地遭到破坏.由于洛仑兹力的作用产生了阳离子和阴离子相反的回旋位移,这种运动方式可能会影响离子的热运动,使得它在某些水分子附近停留的时间加长,水分子在离子周围取向的平均时间小于或接近于离子在水分子附近停留的时间,而使离子的水化几率增多,分子的团簇结构被破坏.在磁场作用下,水分子的偶极矩也发生了变化,进而使溶液变得各向异性,由此导致在不同方向上溶液的透射率不同.因此,当入射光的偏振方向不同时,NaCl溶液的透射率也必然不同.溶液的浓度越高,样品中所含离子数目相对就越多,介电常数就越大,对光的损耗就越明显,透射率就越低.因此,不管入射光是P偏振光还是S偏振光,随着浓度的增加,溶液的透射率减小.值得注意的是,在图5中经过相同强度磁场的处理,纯水在P偏振光下的透射率要高于在S偏振光下的透射率,但是和NaCl溶液在P偏振光下透射率相比,S偏振光下最低浓度的NaCl溶液透射率仍然高于水的透射率.经同样实验条件下的多次重复实验,均出现上述现象,该现象有待进一步研究探讨.

从以上研究可知在外加磁场作用下溶液分子团簇状态被改变,微观状态的改变必然会导致它的宏观特性,如表面张力的变化.选取硒化锌界面,测定未经磁场处理和经磁场强度分别为0.09 T,0.13 T,0.17 T的磁场处理后浓度为1.5 mol/L的NaCl溶液在硒化锌界面的接触角,实验结果如图6所示.在经过磁场作用后,很显然磁处理溶液的接触角都比正常溶液的接触角略小,场强越强,接触角越小.与未经磁场处理溶液的接触角相比,经强度为0.09 T磁场处理后的溶液接触角与之相差 $0.392^\circ$ ,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,表明溶液经磁场处理后,其在硒化锌材料的表面上更容易浸润,其原因可能是溶液经过磁场处理后,分子间的成键和团聚状态改变和极化增强造成的.

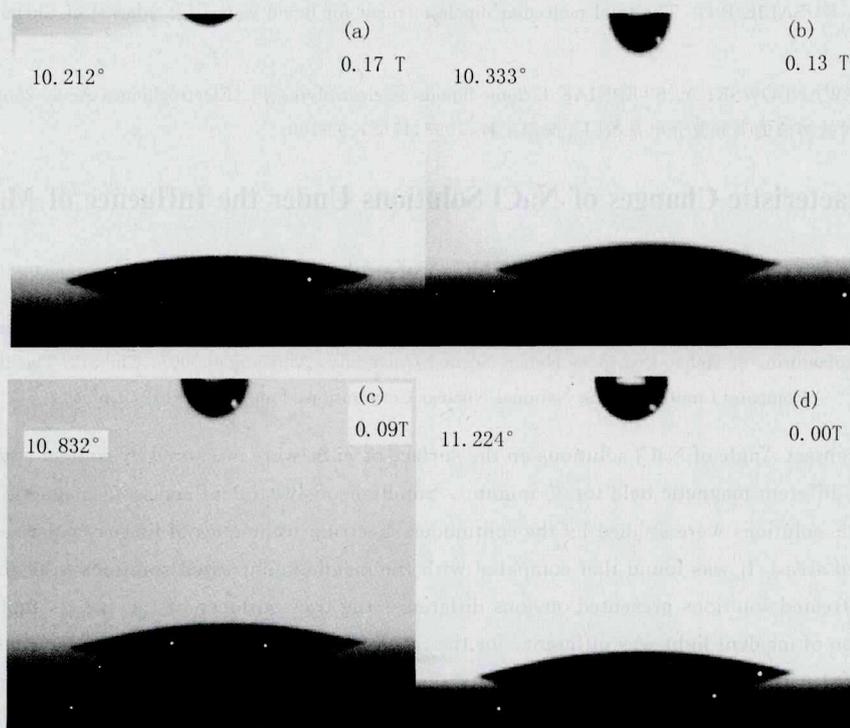


图6 经不同强度磁场处理后的浓度为1.5 mol/L的NaCl溶液在硒化锌表面的接触角

## 4 结 论

本文研究了磁场对NaCl溶液光学性质及其在材料界面浸润性质的影响.实验结果表明,磁场作用后

NaCl 溶液的透射率发生改变;当采用不同偏振方向的人射光源时,经磁场作用后的 NaCl 溶液的透射率呈现明显差异,采用 P 偏振光得到的透射率大于采用 S 偏振光得到的透射率;经相同磁场作用后,溶液浓度越大,其透射率越低;磁场越强,接触角越小,浸润性越明显。引起变化的原因在于,磁场引起了水的偶极分子发生定向极化,电子云发生改变,造成氢键的弯曲和局部短裂,使单个水分子的数量增多;对溶液而言,离子的水化几率增多,分子的团簇结构被破坏。

### 参 考 文 献

- [1] MELEKHOV A P, LAVROUKHINE D V. The application of the temperature wave technique for investigate ion of the influence of the magnetic field on the acoustic properties of water[J]. *Physics Procedia* 2015, 73:193-197.
- [2] SZCZESA A, CHIBOWSKIA E, HOŁYSZA L, et al. Effects of static magnetic field on water at kinetic condition[J]. *Chemical Engineering and Processing*, 2011, 50:124-127.
- [3] ESHAGHI Z, GHOLIZADEH M. The effect of magnetic field on the stability of (18-crown-6) complexes with potassium ion[J]. *Talanta*, 2004, 64(2):558-561.
- [4] HOLYSZ L, SZCZESA A, CHIBOWSKI E. Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions[J]. *J Colloid and Interface Sci*, 2007, 316(2):996-1002.
- [5] MURAD S. The role of magnetic fields on the membrane-based separation of aqueous electrolyte solutions[J]. *Chemical Physics Letters*, 2006, 417:465-470.
- [6] CHANG K T, WENG C I. An investigation into the structure of aqueous NaCl electrolyte solutions under magnetic fields[J]. *Computational Materials Science*, 2008, 43:1048-1055.
- [7] GUO B, HAN H B, FENG C. Influence of magnetic field on microstructural and dynamic properties of sodium, magnesium and calcium ions[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2011, 21(31):s494-s498.
- [8] ATENAS B, PINO L A D, CURILEF S. Classical states of an electric dipole in an external magnetic field; Complete solution for the center of mass and trapped states[J]. *Annals of Physics*, 2014, 350(350):605-614.
- [9] GUBSKAYA A V, KUSALIK P G. The total molecular dipole moment for liquid water[J]. *Journal of Chemical Physics*, 2002, 117(11):5290-5302.
- [10] GALINSKI M, LEWANDOWSKI A, STEPNIAK I. Ionic liquids as electrolytes[J]. *Electrochimica Acta*, 2006, 51(26):5567-5580.
- [11] 吴隆业. 温度升高时盐溶液的高频复介电常数[J]. *海岸工程*, 1998, 17(2):93-100.

## Physical Characteristic Changes of NaCl Solutions Under the Influence of Magnetic Field

HAN Xueyun<sup>1</sup>, PENG Yufeng<sup>1</sup>, MA Zhongjun<sup>2</sup>

(1. College of Physics and Electronic Engineering; Engineering Laboratory for Optoelectronic Technology and Advanced Manufacturing of Henan Province, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 2. The 404 Company Limited, China National Nuclear Corporation, Lanzhou 735112, China)

**Abstract:** The contact Angle of NaCl solutions on the surface of ZnSe were measured by contact angle meter, and the solutions were treated by different magnetic field for 20 minutes. Simultaneously, the influences of magnetic field on optical properties of sodium chloride solutions were studied by the continuous spectrum techniques of linearly polarized light in ultraviolet, visible and near-infrared areas. It was found that compared with the magnetic untreated solutions, the transmittance and contact angle of magnetic treated solutions presented obvious difference; the transmittance of the same sample was different when the polarization direction of incident light was different, for the case of P polarized incident light, the transmittance of the sample was larger, compared with the case of S polarized incident light; under the action of the same magnetic field, the transmittance of NaCl solutions with different concentration were different obviously; the stronger the magnetic field was, the smaller the contact angle of NaCl solution was, it showed that the molecular inner structure of solution has changed. In this paper, the changes of contact angle and transmittance of NaCl solutions that treated by magnetic field were explained by the theory of electromagnetic field interaction with materials.

**Keywords:** constant magnetic field; polarized light; potassium chloride solutions; transmittance; contact angle