

# Synthesis and Physicochemical Properties Determination of Magnesium Ionic Liquid

Yongchang Liu, Tingting Liu, Yunkai Kou, Shanliang Mu\*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Linyi University, Linyi Shandong  
Email: 1960704366@qq.com, 1129843654@qq.com, 645349691@qq.com, \*chem@lyu.edu.cn

Received: Dec. 9<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jan. 2<sup>nd</sup>, 2017; published: Jan. 5<sup>th</sup>, 2017

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

With choline chloride magnesium chloride hydrate as raw material, magnesium ion liquid was synthesized by self-assembly reaction. The viscosity, conductivity, density and composition of the ionic liquids were analyzed. The results show that the temperature and composition were the key factors affecting the physicochemical properties of the ionic liquids. With the change of temperature and composition, the viscosity, conductivity and density of magnesium ionic liquids were changed significantly.

## Keywords

Choline Chloride, Ionic Liquid, Physical and Chemical Properties, Magnesium Chloride

---

# 镁基类离子液体制备及物化性质的测定

刘永昌, 刘婷婷, 寇运凯, 牟善良\*

临沂大学化学化工学院, 山东 临沂  
Email: 1960704366@qq.com, 1129843654@qq.com, 645349691@qq.com, \*chem@lyu.edu.cn

收稿日期: 2016年12月9日; 录用日期: 2017年1月2日; 发布日期: 2017年1月5日

---

\*通讯作者。

## 摘要

以氯化胆碱和六水氯化镁为原料, 采用自组装反应直接合成镁基类离子液体。对合成的类离子液体的粘度、电导率、密度和组成的变化关系进行了分析。结果表明合成的温度和组成是影响类离子液体物化性能的关键因素。随着温度和组成的变化, 镁基类离子液体的粘度、电导率、密度均发生显著的变化。

## 关键词

氯化胆碱, 离子液体, 物化性质, 氯化镁

## 1. 引言

离子液体在组成上与通常概念中的盐相近, 而其熔点又接近于室温, 所以又被称为室温熔盐、室温离子液体、室温有机盐等。由于离子液体的优良溶解性能, 经过几十年的发展, 已经应用到诸多研究领域[1] [2] [3]。随着对离子液体研究的不断深入, 研究者们发现有些离子化合物的熔点高于室温但低于水的沸点, 逐渐的人们把熔点低于 100°C 的离子化合物称为离子液体。最近研究者们发现有些有机混合物或有机氢键配体和无机盐形成的液体, 具有离子液体相似的性质, 但并不是完全由阴阳离子组成, 其体系中含有电中性氢键配体, 最初研究者们把这类液体称为离子液体类似物或低共熔溶剂[4]。

目前为止, 关于离子液体的研究报道逐年增多, 但有关含镁类离子液体的研究较少, 张文智[5]初步研究了  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2\text{-DMF}$  类离子液体中镁电沉积过程的动力学特征和该体系中镁电沉积的机理, 结果表明镁的电沉积过程是不可逆的, 且有结晶成核步骤出现。M. Morimitsu 等[6]以  $\text{MgCl}_2$  和  $\text{MgBr}_2$  为镁源在  $\text{AlCl}_3$  型离子液体中电沉积了  $\text{Mg-Al}$ 、 $\text{Mg-Zn}$  合金, 但此体系对水和空气敏感。云美峰等[7]报道了 DMF 中  $\text{Mg}^{2+}$  的电化学性质, 指出  $\text{Mg}^{2+}$  在铂电极上的反应过程受扩散控制并且其成核过程是瞬时成核, 通过计算获得  $\text{Mg}^{2+}$  的扩散系数。杨军等[8]以  $\text{Mg}(\text{CF}_3\text{SO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}]_2$  等镁盐合成了多种含镁类离子液体, 研究了离子液体的组成对其循环伏安、黏度、离子传导性的影响。T. Katase [9]研究了含有  $\text{Mg}(\text{CF}_3\text{SO}_3)_2$  的季铵盐离子液体中水含量与温度、电导之间的关系, 发现离子液体中可溶解水量随温度的升高而降低, 随镁盐含量的增加而升高, 水分含量的升高会导致体系黏度和电导的升高。岳都元等[10]报道了  $\text{MgCl}_2\text{-Gl-ChCl}$  类离子液体的物理化学性质的测定, 结构解析及电化学行为研究。含镁类离子液体相关研究工作刚刚起步, 需要系统、全面的对含镁类离子液体进行研究。

在已有研究的基础上, 本文以氯化镁和氯化胆碱为原料, 通过自组装反应的方式制备了镁基类离子液体, 并进一步分析和测定了镁基类离子液体的物化性质, 可为镁基类离子液体的应用提供基础数据。

## 2. 实验过程

### 2.1. 实验方法

以六水氯化镁和氯化胆碱为原料, 采用自组装反应方法, 一步反应直接合成了镁基类离子液体, 具体的合成过程如下: 分别称取一定质量的六水氯化镁和氯化胆碱于圆底烧瓶中(质量比分别为 1.0:1.0, 1.5:1.0, 2.0:1.0), 控制反应温度为 80°C, 采用电磁搅拌器搅拌 2 h, 待自组装反应结束后趁热将反应产物转移到密闭的容器中静置 48 h, 可得到无色透明的镁基类离子液体。

## 2.2. 材料检测与表征

### 2.2.1. 镁基类离子液体红外光谱分析

采用 Nexus 型红外光谱仪对合成的氯化镁-氯化胆碱类离子液体的结构和组成进行分析。类离子液体采用液膜法测量，液膜厚度 2~3  $\mu\text{m}$ ，KBr 窗片，摄谱范围为  $400\text{ cm}^{-1}$ ~ $4000\text{ cm}^{-1}$ 。

### 2.2.2. 镁基类离子液体物化性质的分析

分别采用采用旋转黏度计、电导率仪和密度仪等设备对所合成的氯化镁-氯化胆碱类离子液体进行物化性质的表征。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 红外光谱分析结果

氯化镁-氯化胆碱类离子液体的红外光谱如图 1 所示，其中 A 为六水氯化镁的红外谱图，B 为合成的类离子液体的红外光谱图。通过对图 1 分析表明，形成类离子液体之后特征峰的位置发生了明显的变化。在合成的类离子液体中，波数  $3500\text{ cm}^{-1}$ ~ $3000\text{ cm}^{-1}$  出现了强的  $\nu\text{O-H}$  振动峰且峰形较宽，这是由于在类离子液体中形成了大量的氢键如  $\text{O-H}\cdots\text{O}$  和  $\text{O-H}\cdots\text{Cl}$ 。在类离子液体合成过程中，氢键可导致氯化胆碱和六水氯化镁中晶格能的降低，从而有助于类离子液体的合成。在所合成的类离子液体中，波数  $1475\text{ cm}^{-1}$  为氯化胆碱的  $-\text{CH}_3$  吸收峰，波数  $953\text{ cm}^{-1}$  的  $\nu\text{C-C}$  吸收峰改变较小，表明类离子液体中氯化胆碱阳离子的结构未发生变化。

### 3.2. 类离子液体粘度分析结果

采用旋转粘度计对合成的不同组成的类离子液体的粘度进行了分析。合成的不同组成的类离子液体其六水氯化镁和氯化胆碱的摩尔比分别为 1:1、1.5:1 和 2:1。镁基类离子液体的粘度随组成和温度的变化如图 2 所示。

对图 2 进行分析表明，合成的类离子液体的粘度随着温度的变化显著，随着温度的升高，类离子液体的粘度呈现逐渐下降的趋势。同时类离子液体的粘度随着类离子液体中氯化镁含量的增加而逐渐减小。类离子液体的粘度随温度和组成变化的主要原因为，随着温度的升高，离子液体中的离子获得的能量增加，离子之间的范德华力和库仑力的作用减小，导致离子液体的流动性增加而粘度减小。当离子液体中氯化镁的含量增加时，在所合成的类离子液体中会形成更多的自由移动的离子，从而导致合成的离子液体的粘度降低。

### 3.3. 类离子液体电导率分析结果

采用电导率仪对所合成的氯化镁/氯化胆碱类离子液体的电导率进行分析，合成的不同组成的类离子液体其六水氯化镁和氯化胆碱的摩尔比分别为 1:1、1.5:1 和 2:1，结果如图 3 所示。

对图 3 进行分析，结果表明合成的类离子液体的电导率范围为  $0.13\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ~ $14.5\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。类离子液体中，随着氯化镁含量的不断增加，其电导率呈现增加的趋势。随着温度的不断增加，类离子液体的电导率呈现不断增大的趋势。造成上述现象的主要原因为所合成的类离子液体是由阴、阳离子组成的，类离子液体的导电性由阴、阳离子的迁移而实现，随着氯化镁含量的逐渐增加，类离子液体中含有的导电离子增多，导致电导率呈现增加的趋势。随着温度的升高，类离子液体中阴、阳离子的运动速率加快，从而导致类离子液体电导率呈现增大的趋势。

### 3.4. 类离子液体密度分析结果

类离子液体的密度受温度的影响显著。以氯化镁与氯化胆碱摩尔比为 2:1 的类离子液体为研究对象。采用密度分析仪测定了不同温度下类离子液体的密度，如图 4 所示。

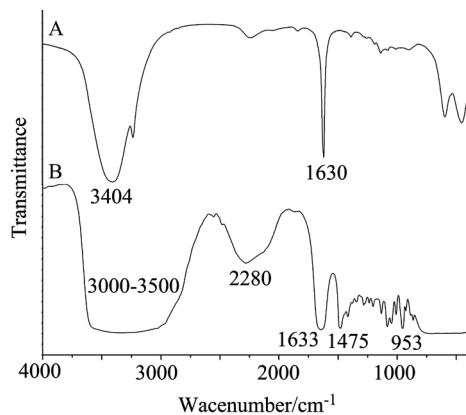


Figure 1. FTIR spectra comparison between  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (A) and  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \cdot \text{ChCl}$  (B)

图 1. 六水氯化镁和镁基类离子液体红外光谱图

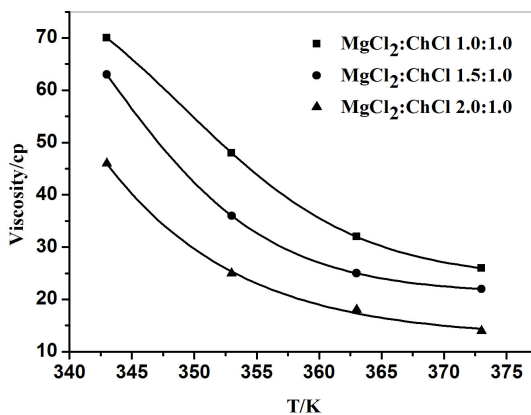


Figure 2. Viscosities change of ionic liquids with temperature and composition

图 2. 类离子液体粘度随温度和组成的变化

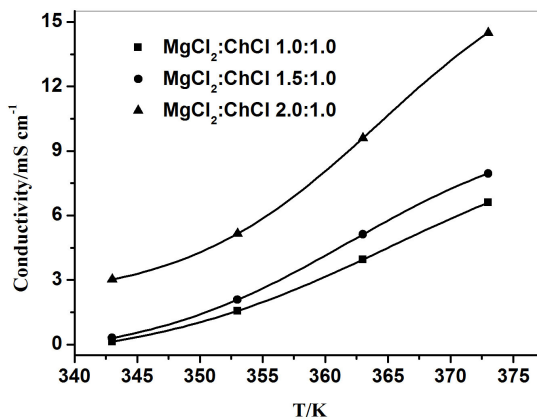
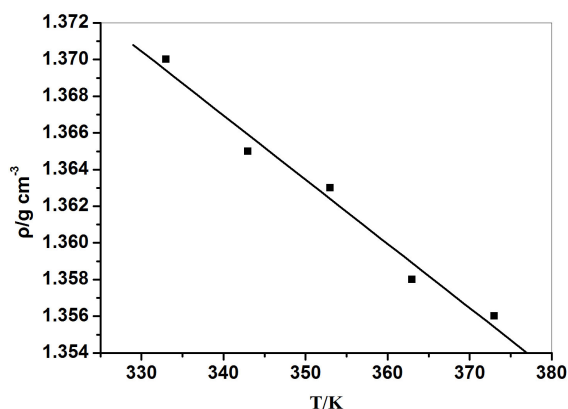


Figure 3. The conductivity of ionic liquids with temperature and composition

图 3. 类离子液体电导率随温度和组成的变化



**Figure 4.** Densities of ionic liquid analogue as a function of temperature

**图 4.** 类离子液体的密度随温度的变化

对图 4 进行分析表明, 在一定的温度范围内, 类离子液体的密度与温度呈线性关系, 随着温度的不断升高, 类离子液体的密度呈现下降的趋势。类离子液体密度随温度的变化关系可为类离子液体的应用提供基础数据。

#### 4. 总结

本文以六水氯化镁和氯化胆碱为原料, 通过自组装反应合成了镁基类离子液体。采用红外光谱分析手段对合成离子液体的结构进行了分析, 结果表明在合成的类离子液体中氯化胆碱阳离子保持了原有的结构。采用粘度分析仪、密度分析仪、电导率分析仪对类离子液体的物理化学性质进行了表征, 结果表明类离子液体的粘度、密度随着温度的升高呈现下降的趋势, 而电导率则呈现上升的趋势。类离子液体中氯化镁的含量对其物化性质产生影响, 电导率随氯化镁含量的增加而增加, 粘度则随氯化镁含量的降低而减小。

#### 致 谢

本研究论文由临沂大学 2015 年大学生创新创业训练计划项目(重点项目, 编号: 201510452012)资助完成, 特此感谢。

#### 参考文献 (References)

- [1] 李颖, 胡双岚, 程建华, 娄文勇. 酸性离子液体催化油酸酯化合成生物柴油[J]. 催化学报, 2014, 35(3): 396-406.
- [2] 李永莲, 林凯城. 新型绿色萃取剂离子液体的应用[J]. 北京工业职业技术学院学报, 2015, 14(2): 30-34.
- [3] 苏轶坤, 姚营, 辛亮亮, 汤皎宁. 在离子液体中用阳极氧化铝模板电沉积制备稀土镧纳米线[J]. 应用化工, 2006, 35(8): 572-574.
- [4] Abbott, A.P., Capper, G., Davies, D.L. and Rasheed, R.K. (2004) Ionic Liquid Analogues Formed from Hydrated Metal Salts. *Chemistry: A European Journal*, **10**, 3769-3774. <https://doi.org/10.1002/chem.200400127>
- [5] 张文智, 徐达锋, 吴锡尊. 镁在 DMF 中电沉积机理的研究[J]. 物理化学学报, 1989, 5(1): 103-106.
- [6] Iwagishi, T., Nakatsuka, Y., Yamamoto, H., Koyama, K. and Shirai, H. (2004) Zinc-Magnesium Alloy Electrodeposition from ZnBr<sub>2</sub>-1-Ethyl-3-Methylimidazolium Bromide Molten Salts with Glycerin. *Electrochemistry*, **72**, 618-623.
- [7] 云美峰, 王建国. 二甲基甲酰胺中 Mg<sup>2+</sup> 的电化学性质[J]. 青海师范大学学报, 2011, 27(2): 42-45.
- [8] Amir, N., Vestfrid, Y., Chusid, O., Gofer, Y. and Aurbach, D. (2007) Progress in Nonaqueous Magnesium Electrochemistry. *Journal of Power Sources*, **174**, 1234-1240. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.06.206>
- [9] Katase, T., Onishi, T., Imashuku, S., Murase, K., Hirato, T. and Awakura, Y. (2005) Water Content and Properties of Aliphatic Ammonium Imide-Type Room Temperature Ionic Liquid Containing Metal Ions. *Electrochemistry*, **73**, 686-

691.

- [10] 岳都元.  $\text{ChCl-MgCl}_2$  型(类)离子液体的制备、表征及电化学应用[D]: [博士学位论文]. 西宁: 中国科学院青海盐湖研究所, 2013.

---

**Hans** 汉斯

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)