

# Research on Characteristics and Control Factors of Dolomitic Reservoir in the 7<sup>th</sup> and 9<sup>th</sup> Submembers of Majiagou Formation in the Northern Shaanxi Region

Wenjun Long<sup>1</sup>, Junfeng Ren<sup>2,3</sup>, Zhengliang Huang<sup>2,3</sup>, Hongping Bao<sup>2,3</sup>, Wen Xi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>National Engineering Laboratory of the Exploration and Development of Low Permeability Oil and Gas Fields, Xi'an Shaanxi

<sup>3</sup>Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oil field Company, PetroChina, Xi'an Shaanxi  
Email: 243357442@qq.com

Received: Aug. 13<sup>th</sup>, 2016; accepted: Dec. 29<sup>th</sup>, 2016; published: Feb. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The reservoir characteristics and key control factors in 7<sup>th</sup> and 9<sup>th</sup> submembers of the 5<sup>th</sup> Member (Om<sub>5</sub>) of Ordovician Majiagou Formation in the northern Shaanxi Region were comprehensively analyzed through thin section analysis, X-ray diffraction, physical property analysis and mercury injection test. Study result indicates that the reservoir lithology is mainly powder-fine crystal dolomite, powder-fine crystal particle-sized dolomite and argillaceous powder crystal dolomite. The reservoir pore space is intergranular pore, intergranular dissolved pore and dissolved pore, followed by the gypsum mold holes and micro-fractures. The physical properties of dolomite reservoirs with different lithologies, facies belts and genesis are quite different. The differences of sedimentary microfacies, sequence stratigraphy and TSR reaction (the chemical reactions of alkanes and gypsum) have a controlling effect on the distribution of the reservoirs.

## Keywords

Northern Shaanxi Region, Majiagou Formation, Reservoir Characteristics, Key Control Factor

---

# 陕北地区马家沟组五段7、9亚段白云岩储层特征及主控因素的研究

龙文骏<sup>1</sup>, 任军峰<sup>2,3</sup>, 黄正良<sup>2,3</sup>, 包洪平<sup>2,3</sup>, 奚 雯<sup>1</sup>

<sup>1</sup>长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

<sup>2</sup>低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安

<sup>3</sup>中石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安

作者简介: 龙文骏(1990-), 男, 硕士生, 现主要从事储层地质学方面的学习与研究。

Email: 243357442@qq.com

收稿日期: 2016年8月13日; 录用日期: 2016年12月29日; 发布日期: 2017年2月15日

## 摘 要

通过镜下薄片鉴定、X衍射、物性及压汞测试, 对陕北地区奥陶系膏盐下马家沟组五段7、9亚段的储层特征及主控因素进行了综合分析。结果表明: 目的层岩性主要为粉-细晶白云岩、粉-细晶颗粒白云岩、泥粉晶白云岩; 储集空间以晶间孔、晶间溶孔、溶孔为主, 膏模孔及微裂缝次之; 不同岩性、相带及成因的白云岩储集体, 其物性特征具有较大的差异性, 沉积相带、沉积层序及TSR反应(烷烃与膏岩的化学反应)对储层分布具有一定的控制作用。

## 关键词

陕北地区, 马家沟组, 储层特征, 主控因素

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University 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

## 1. 引言

陕北地区马家沟组五段的7、9亚段( $Om_5^7$ 、 $Om_5^9$ )已发现天然气藏, 为盆地奥陶系膏盐下天然气勘探的主要层系。 $Om_5^7$ 、 $Om_5^9$ 储层整体上物性较好, 白云岩化较彻底, 平面上连片性较好, 储集空间以溶孔为主, 晶间孔次之。受海平面升降及中央古隆起阻挡的影响,  $Om_5^7$ 、 $Om_5^9$ 沉积期环境明显有别于5亚段, 储层类型及空间分布受沉积环境(相控性)、海平面升降(层控性) [1] [2]及TSR反应(烷烃与膏岩的化学反应)控制明显, 造成了二者之间的白云岩化机理的差异, 并最终控制了白云岩储层的空间展布。

## 2. 白云岩储层的岩石学特征

受海平面升降及中央古隆起的阻挡作用控制, 陕北地区奥陶系马家沟组(Om)膏盐下白云岩储层在短期海退期及短期海进期差别明显, 纵向上具有旋回性。岩性上 $Om_5^7$ 、 $Om_5^9$ 以发育粉-细晶白云岩为主, 含少量泥粉晶白云岩。

1) 粉-细晶白云岩: 该类白云岩多呈灰色、深灰色, 以中-厚层为主, 局部发育生物扰动构造、水平纹层。白云石粒度一般为粉晶至细晶, 泥质含量较低, 扫描电镜观察发现部分晶间孔中有少量丝状伊利石等伴生矿物。白云石晶形为半自形或他形, 表面较污浊, 常见具雾心亮边, 多呈镶嵌接触(图 1)。依据是否含有残余颗粒, 又可将其分为粉晶白云岩和粉晶颗粒白云岩 2 种。

2) 泥粉晶白云岩: 该类白云岩在  $Om_5^7$ 、 $Om_5^9$  局部发育, 为褐灰色、灰色甚至黑灰色, 呈纹层状到中层状产出, 其间或发育生物扰动构造。白云石呈泥粉晶结构, 以半自形-自形为主, 晶体间呈镶嵌接触。常见的沉积构造有水平藻纹层、微波状纹层等, 局部可见溶蚀孔隙(图 1)。

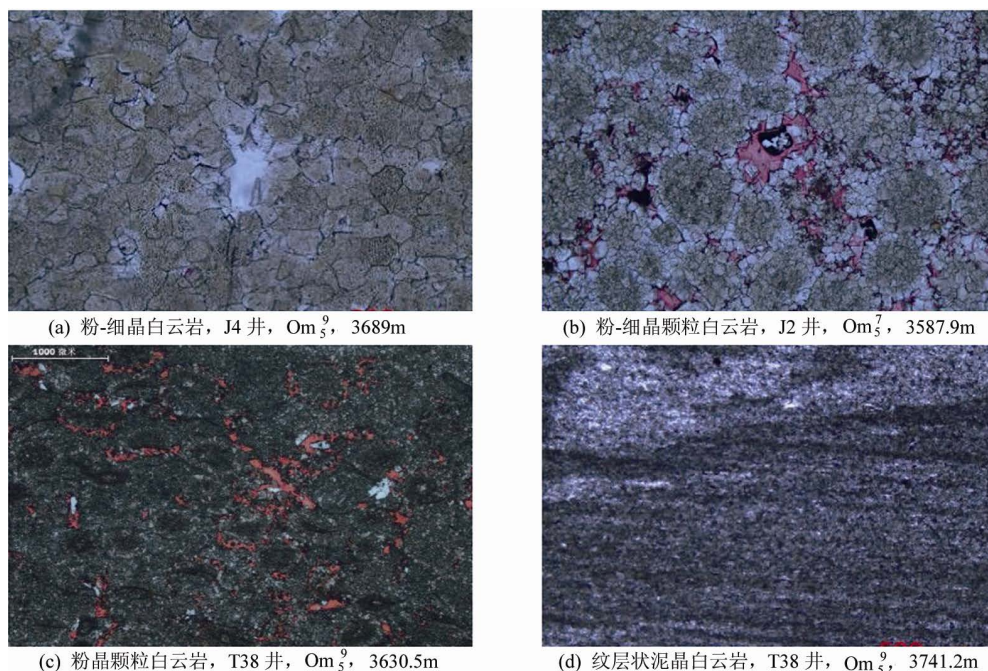


Figure 1. The picture of petrological characteristics

图 1. 岩石学特征照片

### 3. 储集空间类型及结构特征

#### 3.1. 孔隙类型

$Om_5^7$ 、 $Om_5^9$  储层孔隙类型与膏盐下整体一致, 发育粒间孔、粒内孔、晶间孔、晶间溶孔、溶孔、膏模孔及微裂缝(图 2) [3]。通过对其孔隙类型统计表明: 晶间孔占 48.53%, 为主要孔隙类型; 其次为溶孔和晶间溶孔, 分别占 25% 和 13.24% (图 3)。晶间孔主要形成于碳酸盐沉积物发生白云石化作用的同期, 与白云岩的成因密切相关。溶孔、晶间溶孔形成于白云岩化作用后, 因膏质成分遭受溶蚀而形成, 其发育程度取决于岩石结构及其被溶蚀的强度。由于晶间溶孔是在晶间孔基础上发育的, 因此细晶白云岩的晶间溶孔通常较泥晶及粗晶白云岩更为发育[4]。

#### 3.2. 孔喉结构特征

$Om_5^7$ 、 $Om_5^9$  白云岩储层压汞曲线形态为低平斜坡状, 排驱压力为 0.82~1.43 MPa, 主力储层孔隙结构总体表现为孔喉相对较粗、分选较好(图 4)。

通过网络孔隙模型数字化结果分析表明,  $Om_5^7$ 、 $Om_5^9$  储层孔喉主要以微米级为主, 纳米级较少。微米级孔隙半径主要分布于 0.65~3.70  $\mu\text{m}$  (平均为 1.99  $\mu\text{m}$ ), 其中晶间孔占 58%, 晶间溶孔及膏模孔占 23%,

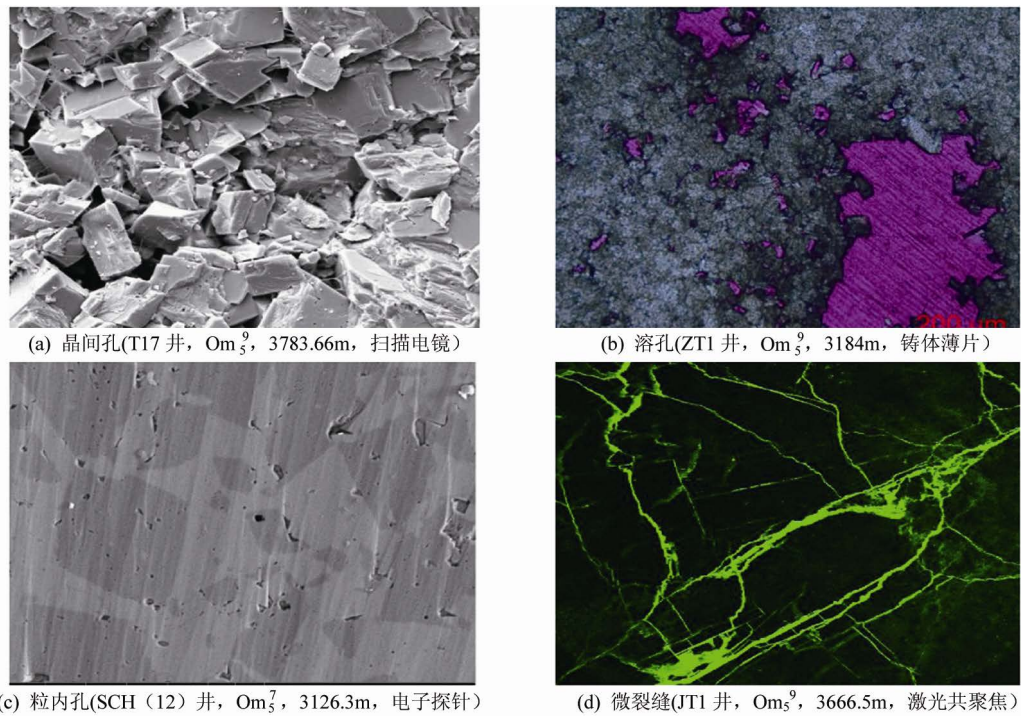


Figure 2. The major pore types  
图 2. 主要孔隙类型照片

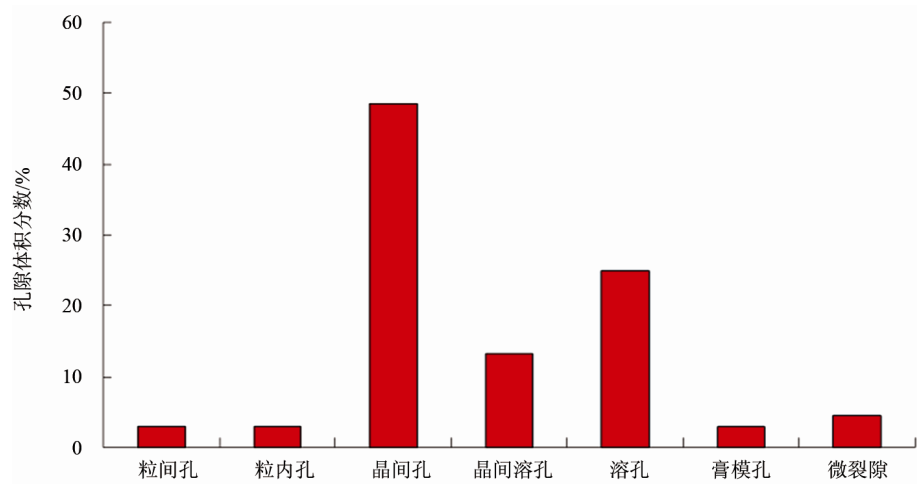


Figure 3. The columnar diagram of pore types  
图 3. 孔隙类型柱状图

溶孔占 19%, 孔隙连通性好。纳米级孔隙半径主要分布于 0.05~0.2  $\mu\text{m}$  (平均为 0.1  $\mu\text{m}$ ), 其中晶间孔占 51%, 晶间溶孔占 37%, 晶内孔占 12%, 孔喉连通性整体较好。

#### 4. 白云岩储层物性特征

Om<sub>5</sub><sup>7</sup>、Om<sub>5</sub><sup>9</sup> 白云岩储层孔隙度为 2%~10% (平均 5.02%), 渗透率为 0.01~10 mD (平均 0.65 mD), 两者相关系数为 0.31, 相关性较差, 后期溶蚀作用形成的次生孔隙对储层物性起到了一定的改善作用(见图 5, 图 6, 图 7)。局部低孔、高渗区的出现说明了储层孔隙连通性相对较好[5]。



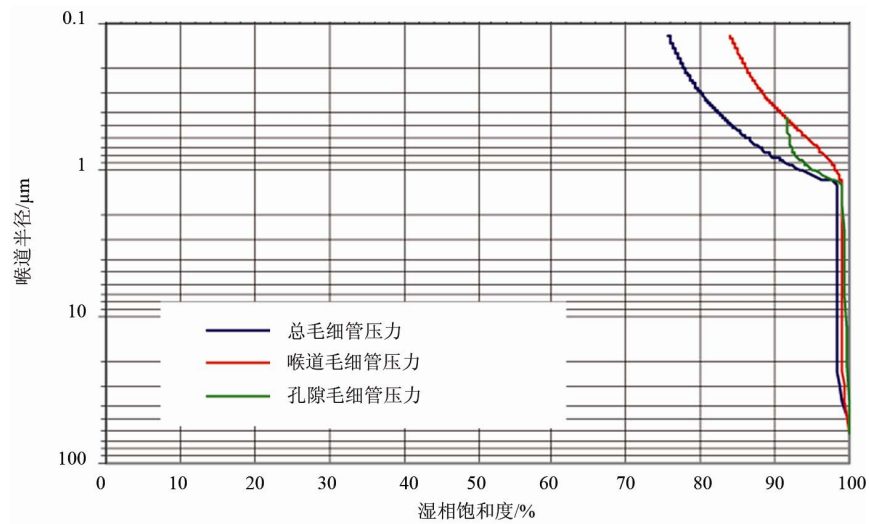


Figure 4. The constant velocity mercury injection curve in Well J4  
图 4. J4 井恒速压汞曲线

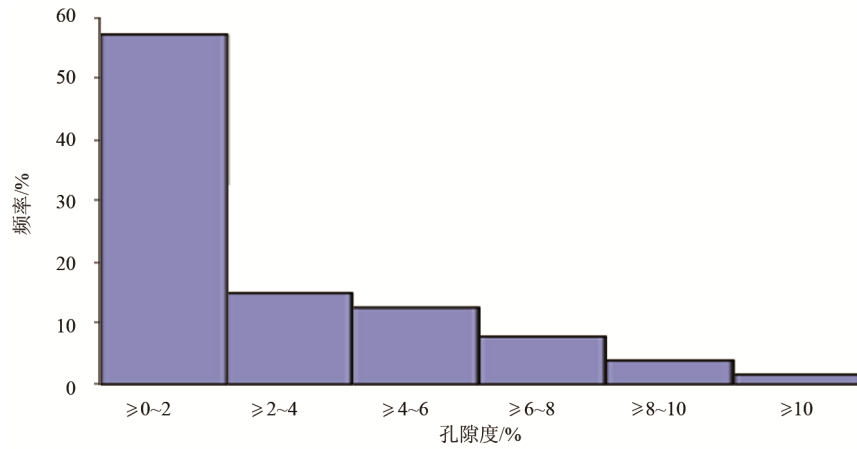


Figure 5. The histogram of porosity distribution frequency  
图 5. 孔隙度分布频率直方图

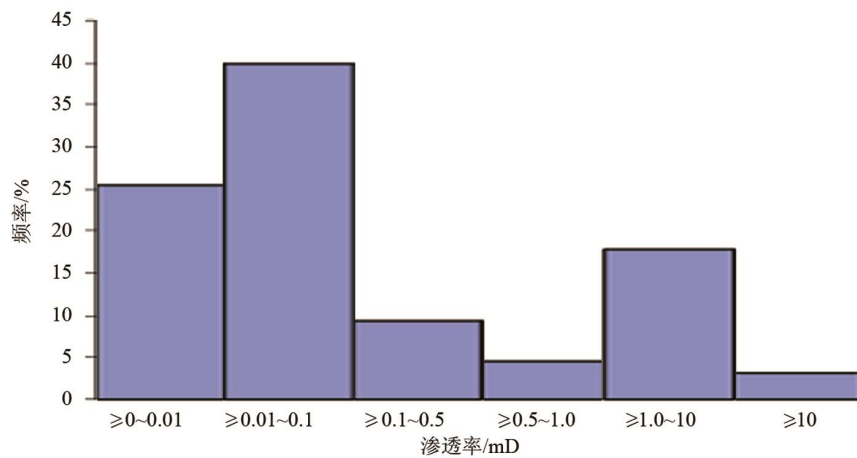


Figure 6. The histogram of permeability distribution frequency  
图 6. 渗透率分布频率直方图

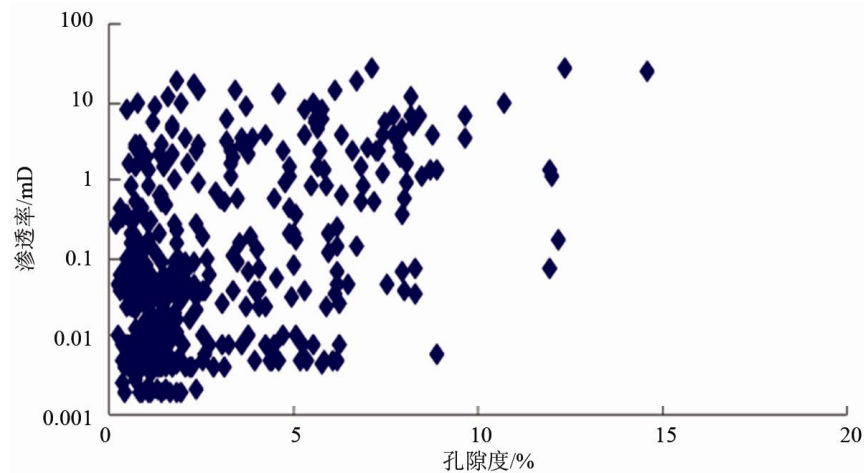


Figure 7. The correlation between porosity and permeability  
图 7. 孔隙度与渗透率关系图

## 5. 白云岩储层主控因素

### 5.1. 沉积相带

不同的沉积相为储层提供了不同的物质基础[6]。研究区储层发育的有利相带主要包括：膏质云坪、含膏云坪、颗粒滩、微生物丘及灰质云坪等微相类型[7]。

潮间颗粒滩微相形成的白云岩晶粒相对较粗，结构更为均一，局部可见残余颗粒轮廓，晶间孔发育，为最有利白云岩储层[8]；潮上云坪微相及潮下藻黏结岩丘微相的白云岩晶粒相对较细，多为粉晶-细粉晶白云岩，储集性能较差。中央古隆起东侧地区由于临近中央古隆起，水动力条件较强，颗粒滩微相最为发育，因此为有效白云岩储层最发育的区域。

膏质成分在风化壳极易溶蚀形成膏溶孔，因此有效膏溶孔型白云岩储层主要发育在盆地中部，靖边以西的潮间含膏云坪的风化壳带，其次盆缘膏云斜坡也具有一定的形成膏溶孔型白云岩储层的基础，也发育少量的有效储层。

### 5.2. 沉积层序

海水升降及转换导致海退期与海侵期的沉积和成岩环境存在差异，因而发生的白云岩化作用也有所不同。海退期，气候炎热，海平面下降，使得盆地中东部地区海水在蒸发作用下浓缩，高盐度卤水中的石膏和其他盐类矿物沉淀，形成大量富镁流体，在潮间带和潮上带交代灰泥等沉积物，形成含较多硬石膏结核及石膏假晶的泥晶白云岩，膏质成分在后期溶蚀，形成膏溶孔；海侵期，海平面上升，不利于富镁流体的生成，但在海侵晚期转换为海退后，蒸发浓缩作用形成的富镁流体构成了白云岩化作用的主体，富镁流体及大气淡水共同作用形成的渗透回流及“混合水”白云岩构成了海侵沉积半旋回的储层主体，发育晶间孔。

### 5.3. 海水振荡和 TSR 反应

通过大量岩心观察， $Om_5^7$ 、 $Om_5^9$  内部存在频繁的海水振荡，可以构成四级甚至五级沉积旋回，这种频繁的海水振荡造成白云岩储层的短暂暴露，膏质成分发生早表生期溶蚀。

古隆起东侧白云岩带形成时相对于乌审旗-靖边地区水体更浅，膏质成分更多，发生在早表生期的溶蚀时间更长，溶蚀孔应更为发育。但通过大量薄片鉴定表明，乌审旗-靖边地区白云岩带溶蚀孔发育

要强于古隆起东侧，这与埋藏后 TSR 反应对盐下储层造成的二次溶蚀有关。

## 6. 结论

- 1) 陕北地区盐下主要储层岩性以粉 - 细晶白云岩为主，含少量泥粉晶白云岩；储集空间主要为晶间孔和溶蚀孔；孔喉结构以微米级为主，亚微米级次之，连通性较好。
- 2) 白云岩储层的主要控制因素为沉积相带、沉积层序、海水振荡和 TSR 反应。

## 参考文献 (References)

- [1] 任军峰, 杨文敬, 丁雪峰, 等. 鄂尔多斯盆地马家沟组白云岩储层特征及成因机理[J]. 成都理工大学学报, 2016, 43(3): 275-281.
- [2] 黄正良, 包洪平, 任军峰, 等. 鄂尔多斯盆地南部奥陶系马家沟组白云岩特征及成因机理分析[J]. 现代地质, 2011, 25(5): 926-930.
- [3] 赵俊兴, 李婕, 卢涛, 等. 苏里格地区马五段储层控制因素与成藏规律[J]. 成都理工大学学报, 2012, 39(4): 389-394.
- [4] 黄正良, 陈调胜, 任军峰, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系中组合白云岩储层及圈闭成藏特征[J]. 石油学报, 2012, 33(2): 119-124.
- [5] 于洲, 孙六一, 吴兴宁, 等. 鄂尔多斯盆地靖西地区马家沟组中组合储层特征及主控因素[J]. 海相油气地质, 2012, 17(4): 49-56.
- [6] 王振宇, 李凌, 谭秀成, 等. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶类型识别[J]. 西南石油大学学报, 2008, 30(5): 11-16.
- [7] 代金友, 铁文斌, 蒋盘良. 靖边气田碳酸盐岩储层沉积 - 成岩演化模式[J]. 科技导报, 2010, 28(11): 68-73.
- [8] 谢锦龙, 吴兴宁, 孙六一, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组五段岩相古地理及有利区带预测[J]. 海相油气地质, 2013, 18(4): 23-32.

[编辑] 邓磊

**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: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)