

Rock Characteristics and Engineering Logging Identification Method of “Slope Rock Stratum” in the Metamorphic Buried Hill of Block JZ in Bohai Bay Basin

Xiongwei Tan¹, Yu Xu¹, Zhihu Zhang¹, Jianli Wang², Xijia Guo², Guofu Dong¹

¹Engineering and Technology Branch, CNOOC Energy Development Co. Ltd., Tianjin

²Tianjin Branch Company, CNOOC, Tianjin

Email: tanwx2@cnooc.com.cn

Received: Mar. 14th, 2017; accepted: Jul. 6th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

There developed a suite of thinner sandy conglomerate and sandstones (slope rock stratum) over the interface of metamorphic granite buried hill in Block JZ of Bohai Bay Basin. The slope rock stratum was distributed with different thicknesses. Its lateral comparison was poor, by which problems were induced in drilling operations. The lithologic characteristics of the slope rock were analyzed based on core and cuttings data. The rock layer was divided into feldspathic sandstone and lithic sandstone, which indicated that the slope rock stratum was the sandstone of two different geneses. Based on analysis of engineering logging parameters and lithologic response characteristics of the formation, the parameters of drilling engineering are used to establish work index and mechanical specific energy models and combined with other logging means, the slope rock in the buried hill is identified in real-time while drilling. This method is used in several wells in the block with an identification rate of while drilling to 86.7%. It is proven that the method is effective.

Keywords

Slope Rock, Rock Characteristics, Work Index, Mechanical Specific Energy, While Drilling Identification

渤海JZ区块变质岩潜山“坡积岩层”岩石特征及工程录井识别方法

谭伟雄¹, 徐 昱¹, 张志虎¹, 王建立², 郭喜佳², 董国富¹

¹中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津

²中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津

作者简介: 谭伟雄(1981-), 男, 高级工程师, 现主要从事随钻地层评价技术研究工作。

Email: tanwx2@cnooc.com.cn

收稿日期: 2017年3月14日; 录用日期: 2017年7月6日; 发布日期: 2017年8月15日

摘 要

渤海JZ区块变质花岗岩潜山界面之上局部发育一套较薄的砂砾岩和砂岩(坡积岩层)。该坡积岩层厚薄分布不均, 横向可对比性差, 为现场钻井地质作业带来诸多问题。利用岩心、岩屑资料分析坡积岩的岩性特征, 可分为长石砂岩和岩屑砂岩2种岩性, 表明该坡积岩层应为2种不同成因形成的砂岩。通过分析工程录井参数与地层岩性的响应特征, 应用钻井工程参数建立功指数和机械比能模型, 结合其他录井手段, 实现对潜山坡积岩的随钻实时判别。经过研究区多口井的实际资料处理与验证, 随钻识别率高达86.7%, 应用效果较好。

关键词

坡积岩, 岩石特征, 功指数, 机械比能, 随钻识别

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

随着石油钻探认识的不断增加, 具有工业性开采价值的潜山油气藏越来越引起人们的重视。渤海 JZ 区块发现的大型变质岩潜山油气藏与典型的碳酸盐潜山油气藏不同, 其主要靠风化壳和裂缝储集油气。在钻进变质岩潜山的作业过程中, 常常会在潜山界面之上钻遇一层较薄的砂砾岩和砂岩。该岩层特征与潜山及其上覆岩性具有差异性, 由于其主要分布于潜山顶面缓坡区, 故称之为“坡积岩”。坡积岩层横向发育无规律, 预测难度大; 纵向上较薄, 由于随钻测井测量工具和钻头的距离差, 无法及时判断是否钻进坡积岩, 在潜山界面、取心位置和下套管位置的判断上等存在较大困难, 造成钻井风险增大。因此, 为了降低钻井风险, 获取更为精确的地质资料, 笔者在分析坡积岩层的岩石特征和录井工程参数响应特征的基础上, 利用钻井工程参数建立功指数和机械比能模型, 实现了对潜山坡积岩层的随钻判别, 达到了降低钻井地质作业风险的目的。

2. 工区地质背景

渤海 JZ 区块变质岩潜山位于辽东湾辽西低凸起中北段, 西侧以辽西大断层与辽西凹陷相邻, 东侧向

辽中凹陷下倾, 毗邻辽中凹陷中、北洼, 处于油气富集的有力位置[1]。自上而下主要发育新近系明化镇组(N_{1m})和馆陶组(N_{1g})、古近系东营组(E_{3d})、沙河街组一~三段(E_{3s1}、E_{3s2}、E_{3s3}), 基底为上太古界, 缺失古近系沙河街组四段、孔店组, 中生界, 古生界和元古界[2]。变质岩潜山油藏主力产层为太古宇变质岩, 盖层为上覆 E_{3s3} 泥岩, 属风化体块状储集层地貌潜山[3]。

根据岩性特征和裂缝发育特征, 变质岩潜山可分为半风化壳上段、半风化壳下段、基岩等。在研究区内, 潜山上部的风化黏土层通常被剥蚀掉, 在半风化壳之上直接沉积 E_{3s3} [4]。E_{3s3} 沉积特征复杂、相变快、岩性类型多样, 尤其是 E_{3s3} 底部局部发育有坡积岩层。坡积岩层以下为花岗质变质岩, 受长期风化影响, 变质岩上部裂缝及溶洞十分发育, 部分裂缝被充填。

3. 坡积岩层的岩石特征

尽管在油田实施开发钻井作业中, 受作业手段限制, 缺少坡积岩层的测井等资料, 但通过现场岩屑和岩心资料及探井试验资料, 可对坡积岩层进行较为系统的分析。

分别对研究区的坡积段砂岩、E_{3s2} 砂岩和 E_{3s3} 砂岩开展了岩石薄片分析鉴定, 通过三角图(图 1)投点发现, E_{3s2} 砂岩主要落在 V 和 VI 区域, 属于岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩; E_{3s3} 砂岩主要落在 VI 区域, 属于长石岩屑砂岩; 坡积岩层砂岩分为 2 种, 一种是长石含量较多的长石砂岩, 另一种是岩屑含量较多的岩屑砂岩。

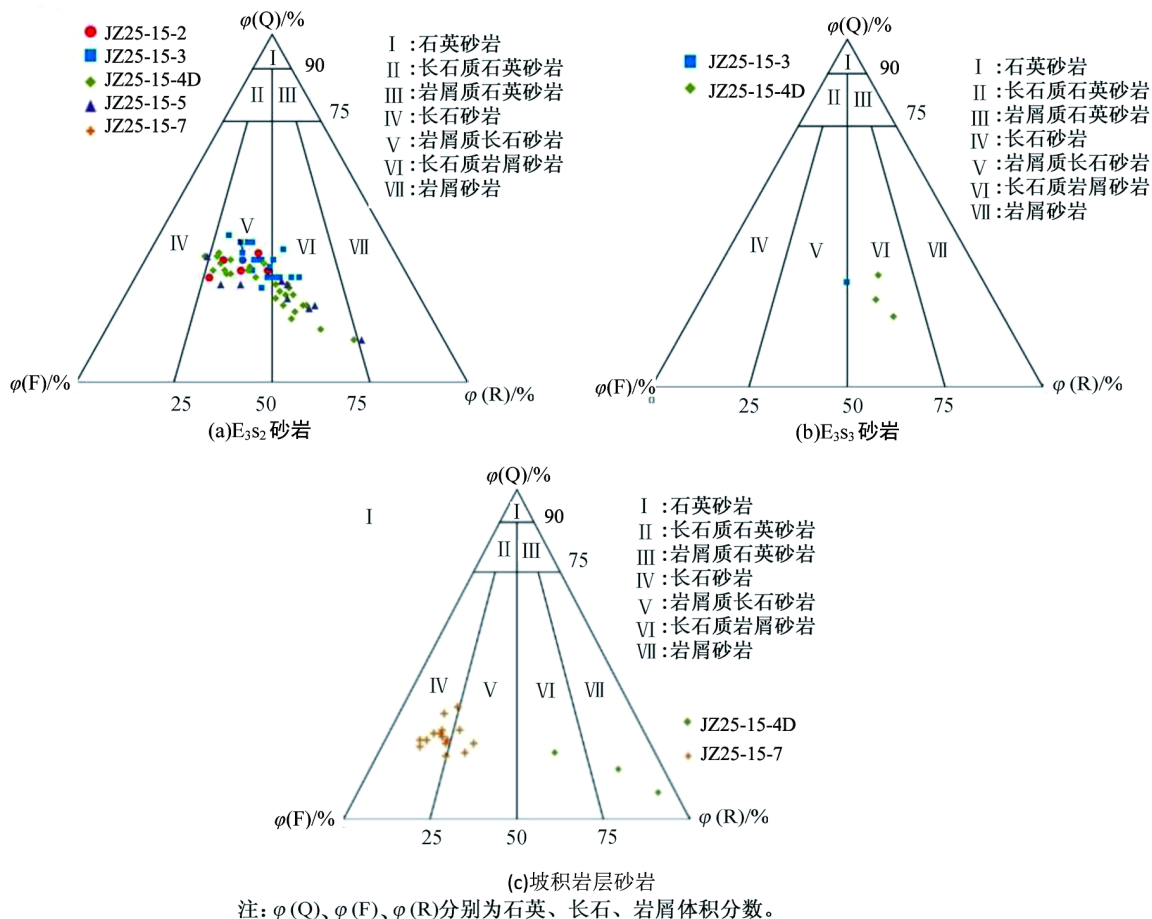


Figure 1. The delta pitch point diagram of sandstones in the studied area
图 1. 研究区砂岩三角投点图

研究区的 E_3S_2 砂岩、 E_3S_3 砂岩以及坡积岩层砂岩的岩石薄片体积分数具有较大差异(图 2)。 E_3S_2 砂岩和 E_3S_3 砂岩的成分及其含量较为一致,以石英、长石为主;相比之下,坡积岩层的长石砂岩和岩屑砂岩的含量差异较大;坡积岩层岩屑砂岩的火成岩岩块体积分数较高,达到了 66%,使得石英、长石的体积分数较低;坡积岩层长石砂岩不含有火成岩岩块,其钾长石比其他 3 种岩石的体积分数平均值都要高。

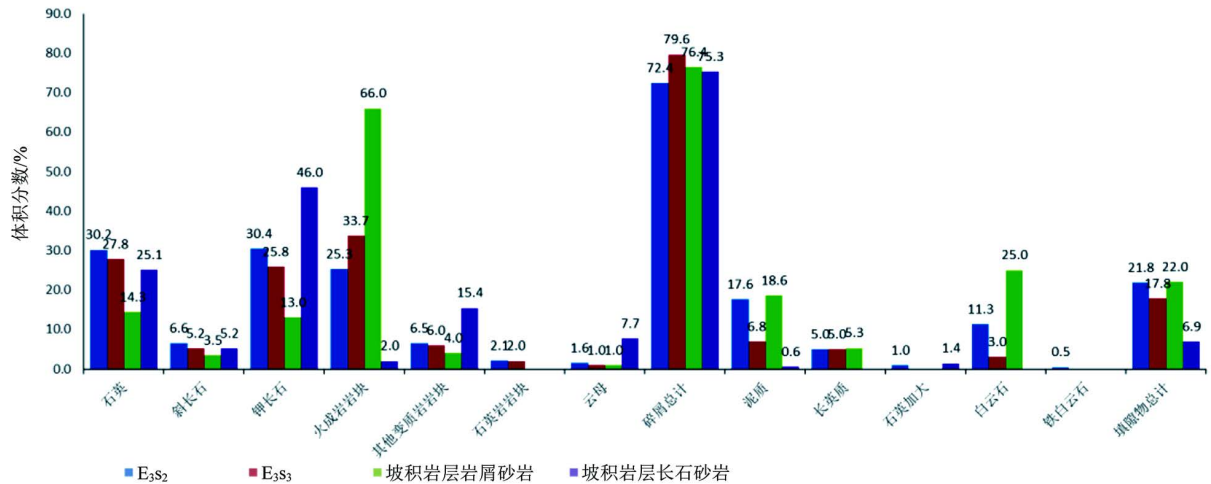


Figure 2. The histogram of sandstone composition and its average volumetric fraction (rock slice identification) in the studied area

图 2. 研究区砂岩成分及其平均体积分数柱状图(岩石薄片鉴定)

图 3 为 E_3S_2 砂岩、 E_3S_3 砂岩以及坡积岩层砂岩的粒度分布图,分析认为坡积岩层岩屑砂岩和长石砂岩的粒度中值要大于 E_3S_2 砂岩、 E_3S_3 砂岩的粒度中值。坡积岩层岩屑砂岩的磨圆度差,有粗粒也有细粒,且分布范围较广;坡积岩层长石砂岩的粒径主要分布在 1 mm 左右,最大 2.6 mm,比岩屑砂岩的分布范围小; E_3S_2 砂岩、 E_3S_3 砂岩粒度较小,在 1 mm 以下。

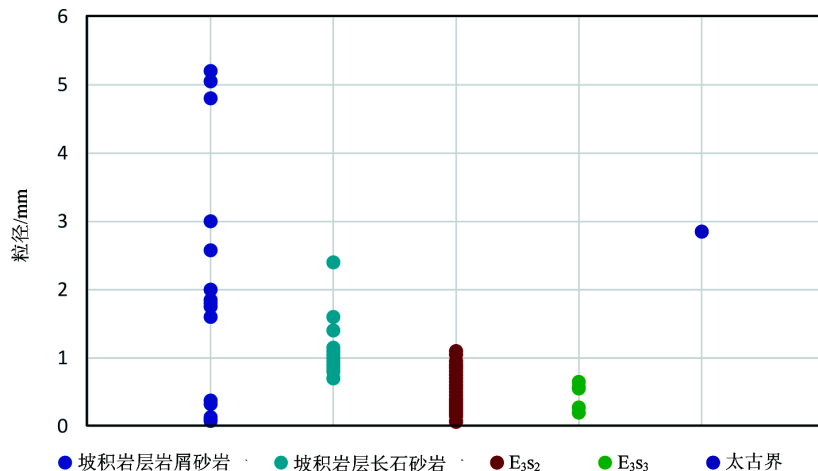


Figure 3. The distribution of sandstone grain size in the studied area

图 3. 研究区砂岩粒度的分布图

通过上述资料可以看出,坡积岩层分为岩屑砂岩和长石砂岩 2 种类型的砂岩;在成分和粒度对比上,岩屑砂岩更趋近于花岗岩,长石砂岩更趋近于正常砂岩,表明该坡积岩层应为 2 种不同成因形成的砂岩,

其中岩屑砂岩的形成与花岗岩存在一定关系。

4. 钻井工程参数识别模型

钻井工程参数具有实时性、连续性的优点, 根据钻井工程参数建立的功指数模型和机械比能模型, 两者能从不同角度反映地层的致密程度, 从侧面反映岩性的变化, 结合岩屑分析结果, 可实现对坡积岩层的随钻识别。

4.1. 功指数模型

钻头钻进过程实际是其做功的过程, 不同强度的地层其做功也有不同。要计算钻头每破碎单位体积岩石所做的功是十分困难的, 目前国内外尚无较好的计算方法。因此需要引入经过变形简化后的计算模型, 该模型的计算结果即为钻头的做功指数, 即“功指数”。功指数与钻头做功大小呈正相关性, 从而可以从侧面反映钻头的做功情况。

钻头破岩做功可简要表述为垂直纵向力做功与水平剪切力做功之和, 纵向力分为静钻压和冲击钻压, 水平剪切力为扭矩, 则钻头每进尺一个单位深度(1 m)所做功为:

$$W_z = (Y_J + Y_C) \cdot RZ + 2\pi N \cdot RZ \quad (1)$$

式中: W_z 为钻头每进尺一个深度单位所做功大小, kJ; Y_J 为静钻压, kN; Y_C 为冲击钻压, kN; R 为转速, r/min; Z 为钻时, min; N 为扭矩, kN·m。

Y_C 目前尚无法获取, 其余参数均可通过综合录井系统监测得到, 因此需对式(1)进行变形, 使之能够直接计算并具应用价值。变形后的功指数表达式为[5]:

$$W_m = \left(Y_J + Y_J \sqrt{\frac{Y_J R}{a b}} + 2\pi N \right) \cdot RZ \quad (2)$$

式中: W_m 为变形后的功指数, kJ; a 为区域经验静钻压值, kN; b 为区域经验转速值, r/min; c 为区域经验系数, 1。

4.2. 机械比能模型

机械比能理论是作为一种用来描述钻头性能的概念而被提出, 它提供了一种实时评价钻井性能的工具。开展机械比能的研究对随钻监测井下工作状态, 随钻岩性分析, 提前预测而避免发生钻井事故, 及时做出合理的钻进参数调整, 提高钻井效率, 降低钻井成本等方面都具有重要意义。在国外, 机械比能理论已广泛应用于钻进过程的监测与预测、钻井工程设计优化、随钻岩性评价等方面, 并取得了很好的应用效果。国内对机械比能的研究相对较少, 主要应用于钻头选型、监测钻头磨损等。

一种完善的机械比能模型应具备的条件是: ① 在岩性不同的地层内钻进, 最小机械比能值应该约等于岩石的抗压强度; ② 模型参数易于测量和计算; ③ 适用范围广, 能很好地适用于各类钻头与各种井型。

通过分析不同模型的优劣, 并结合渤海 JZ 地区的特点, 研究区使用樊洪海模型[6]:

$$E_{MS} = Y_J \cdot \left(\frac{1}{A_b} + \frac{2.91R}{D_b v_{ROP}} \right) \quad (3)$$

式中: E_{MS} 为机械比能, MPa; A_b 为钻头面积, mm^2 ; v_{ROP} 为机械钻速, m/h; D_b 为钻头直径, mm。

4.3. 模型识别规律

通过对渤海 JZ 区块功指数和机械比能曲线响应特征的分析及研究, 确定模型系数, 计算识别特征值范围, 从而达到随钻识别的效果。渤海 JZ 地区的功指数模型系数, E_3d 为: $a = 145$ kN, $b = 125$ r/min,

$c = 0.8$; E_3S_3 (沙河街组)为: $a = 180 \text{ kN}$, $b = 127 \text{ r/min}$, $c = 0.8$; 太古界为: $a = 212 \text{ kN}$, $b = 103 \text{ r/min}$, $c = 0.8$ 。

总结了研究区 E_3S_3 泥岩、坡积岩层、太古界花岗岩的功指数、机械比能曲线变化规律(见表 1)。该区 E_3S_3 泥岩功指数较低, 一般小于 2 kJ; 太古界花岗岩较高, 一般大于 8 kJ; 坡积岩层功指数则呈现出高低值跳跃变化, 一般分布于 1~8 kJ 之间。机械比能与功指数曲线类似, 将其放置同一图道中, 赋予相同刻度, 则 E_3S_3 泥岩段呈填充特征, 太古界花岗岩段呈重叠特征, 坡积岩层段则呈现出曲线填充、重叠交替变化特征。

Table 1. The characteristics of work index and mechanical specific energy identification

表 1. 研究区功指数、机械比能识别特征表

地层	功指数/kJ	功指数、机械比能曲线特征
E_3S_3 泥岩	<2	曲线填充
太古界花岗岩	>8	曲线重叠
坡积岩层	1~8	曲线填充、重叠交替变化

5. 实例应用分析

以 JZ-X1 井为例, 从图 4 中可以看出, E_3S_3 泥岩与太古界花岗岩功指数特征差异明显, E_3S_3 泥岩功指

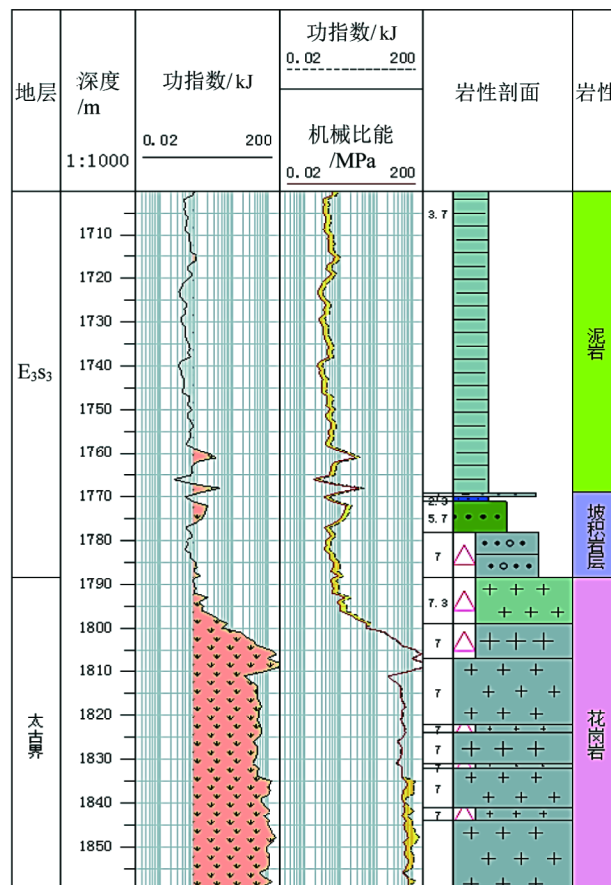


Figure 4. The method of model identification in Well JZ-X1

图 4. JZ-X1 井模型识别方法图

数较低, 平均在 0.6 左右; 太古界花岗岩潜山功指数则较高, 平均在 100 左右; 而坡积岩功指数则出现高、低值跳动的现象, 最高达 8, 最低仅为 1。分析认为, 功指数高、低变化值主要与坡积岩自身的致密程度相关, 坡积岩越致密, 其功指数越高, 坡积岩越疏松, 则功指数越低。将功指数与机械比能曲线放置在同一图道, 赋予相同刻度, 机械比能与功指数曲线形态呈类似特征。机械比能与功指数曲线在 E_3S_3 泥岩段呈填充特征, 在太古界花岗岩段呈重叠特征, 在坡积岩层段却呈现出曲线填充、重叠交替变化特征。

应用该方法对研究区 21 口实际井资料的处理与验证, 随钻识别率高达 86.7%, 表明该方法效果较好, 可用于研究区的坡积岩层随钻识别应用。

6. 结论

1) 渤海 JZ 区块变质花岗岩潜山中的坡积岩层位于 E_3S_3 泥岩与太古界变质花岗岩之间, 分为 2 种类型砂岩, 一种是长石含量较高的长石砂岩, 其特征与正常沉积的砂岩相似, 另一种是岩屑含量较高的岩屑砂岩, 其特征与下覆花岗岩特征相似。表明该坡积岩层应为 2 种不同成因形成的砂岩。

2) 功指数、机械比能曲线组合能够较好地对比坡积岩层进行随钻识别。在 E_3S_3 泥岩段, 功指数呈低值, 功指数与机械比能曲线呈填充特征; 在太古界花岗岩段, 功指数呈高值, 功指数与机械比能曲线呈重叠特征; 在坡积岩层段, 功指数呈高、低值跳跃变化, 且功指数与机械比能曲线亦呈填充、重叠交替变化特征。

3) 功指数模型、机械比能模型构建参数简单、易得, 有利于后期的推广及应用。在潜山界面识别、潜山内部储层储集性能快速识别等方面具有广泛的应用价值。

参考文献 (References)

- [1] 邓运华. 渤海大中型潜山油气田形成机理与勘探实践[J]. 石油学报, 2015, 36(3): 253-261.
- [2] 项华, 周心怀, 魏刚, 等. 渤海海域锦州 25-1 南基岩古潜山油气成藏特征分析[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2007, 29(5): 32-35.
- [3] 邓运华, 彭文绪. 渤海锦州 25-1S 混合花岗岩潜山大油气田的发现[J]. 中国海上油气, 2009, 21(3): 145-150.
- [4] 谭忠健, 项华, 刘富奎, 等. 渤海复杂油气藏测试技术研究及应用效果[J]. 中国海上油气, 2006, 18(4): 223-228.
- [5] 张志虎, 王俊瑞, 邓强, 等. 功指数模型在地质和工程录井中的应用[J]. 录井工程, 2016, 27(2): 1-6.
- [6] 樊洪海, 冯广庆, 肖伟. 基于机械比能理论的钻头磨损监测新方法[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(3): 116-120.

[编辑] 龚丹

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