

准噶尔盆地西北缘侏罗系稠油形成机制分析

蔡东梅¹, 王志章²

1. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712
2. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

摘要 为揭示准噶尔盆地西北缘侏罗系稠油形成机制, 对稠油物理性质、族组分特征及其分布规律等分析, 并结合该区侏罗系油气的运移和成藏过程的研究, 恢复侏罗系原油的稠变历史。研究表明, 侏罗系的稠油是二叠系的原生气藏由于构造运动的破坏, 油气发生二次运移, 在运移过程发生氧化、生物降解等作用而稠化, 在侏罗系超覆地层中聚集成藏, 后期由于构造运动和地层水的水洗作用, 形成了现在的稠油分布格局。

关键词 准噶尔西北缘; 稠油; 分布规律; 形成机制; 演化

中图分类号 TQ050.4*25

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.07.005

Genetic Mechanism of Jurassic Heavy Crude Oil in the Northwest Margin of Jugar Basin

CAI Dongmei¹, WANG Zhizhang²

1. Exploration and Development Institute, Daqing Oilfield Limited Liability Company, Daqing 163712, Heilongjiang Province, China
2. College of Geoscience, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract To reveal the genetic mechanism of Jurassic heavy crude oil in the northwest margin of Jugar Basin, the physical property, group composition and distribution rule of heavy crude oil are analyzed, and researches on hydrocarbon migrating and accumulating in the Jurassic period of this area are associated with, the heavy oil evolution is recovered. The studies manifest that primary oil gas pool in Permian Formation has been superposed and deformed by tectonic movements, thus the hydrocarbon has occurred second migration and accumulated into the overlap Jurassic Formation. In the process of the migration and accumulation, the hydrocarbon has become thicker in according with oxidation and biodegradation, and in the later stage through the virtue of tectonic movement and watered affection, the distribution of heavier crude oil has formed. Heavy oil is favorable for the formation of reservoir and the formation is a quite complicated procedure involving complex geological and geochemical function, therefore, the research on its genetic mechanism plays an important role in the exploration and exploitation.

Keywords the northwest margin of Jugar Basin; heavy oil; distribution rule; genetic mechanism; evolution

0 引言

稠油作为一种非常规油气资源已备受国内地质学家的关注, 在中国松辽盆地、渤海湾盆地、准噶尔盆地以及塔里木盆地发现了大量的重质稠油资源。据估计, 待发现的稠油资源量达 $250 \times 10^8 \text{t}$, 显示了稠油资源的广阔勘探前景。但由于水

洗氧化、细菌生物降解、差异运移、高温热解以及气洗脱沥青等作用^[1-4], 原油逐渐发生稠变, 一直制约着该区稠油的开发。

准噶尔盆地侏罗系稠油勘探是新疆油田“十二五”油气勘探的一个重要领域, 油田储量达 $6528.5 \times 10^8 \text{t}$, 前人对稠油成因等进行了一些有益的探讨^[5], 有效地指导了油气的勘探。

收稿日期: 2012-02-20; 修回日期: 2012-03-02

基金项目: 新疆油田公司项目

作者简介: 蔡东梅, 工程师, 研究方向为油气田开发地质, 电子信箱: cdm_19820126@yahoo.com.cn; 王志章(通信作者), 教授, 研究方向为油气田开发地质、油气藏描述及预测, 电子信箱: whx3998@vip.sina.com

但随着勘探程度的不断深入,需要进一步深化稠油形成机制的认识,以期油气勘探提供更为坚实的理论基础。为此,通过探讨准噶尔盆地风城油田稠油的物化性质、分布规律,揭示稠油的成因,进一步结合烃源岩生排烃史和构造演化史,讨论稠油形成演化的过程。

1 地质背景

准噶尔盆地位于哈萨克斯坦古板块、西伯利亚古板块和塔里木古板块交汇部位,是在海西期基底隆起上发育,又经印支、燕山与喜马拉雅运动多期改造的大型含油气盆地,自下而上发育石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系八道湾组、三工河组、侏罗系齐古组和白垩系吐谷鲁群地层,其中二叠系风城组烃源岩在晚二叠世末期进入生烃门限,晚侏罗纪至早白垩纪开始大量排烃,经过稠变作用形成了准噶尔盆地西北缘大量稠油资源。

2 稠油特征分析

2.1 物性特征

准噶尔盆地西北缘的稠油主要分布在风城油田的侏罗系,该区的原油具有明显的“三高四低”特点,即胶质含量、酸值和原油黏度高,原油含蜡量、含硫量、沥青质含量和凝固点低。地面原油密度(20℃)分布于 0.9158—1.004g/cm³,原油黏度分布于 0.242—718Pa·s,变化范围大,属于中质稠油至超稠油。原油密度与原油黏度呈指数关系,即随着原油密度逐渐增大,原油黏度呈指数增长(图 1(a))。齐二段的原油密度、黏

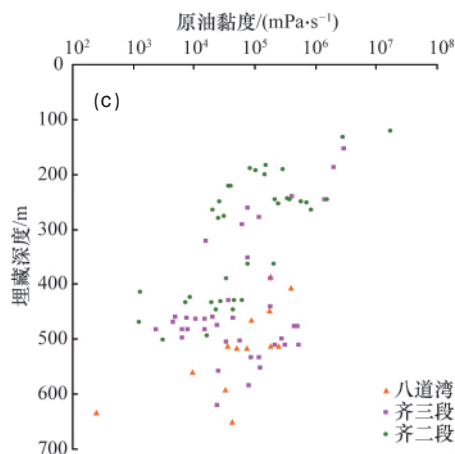
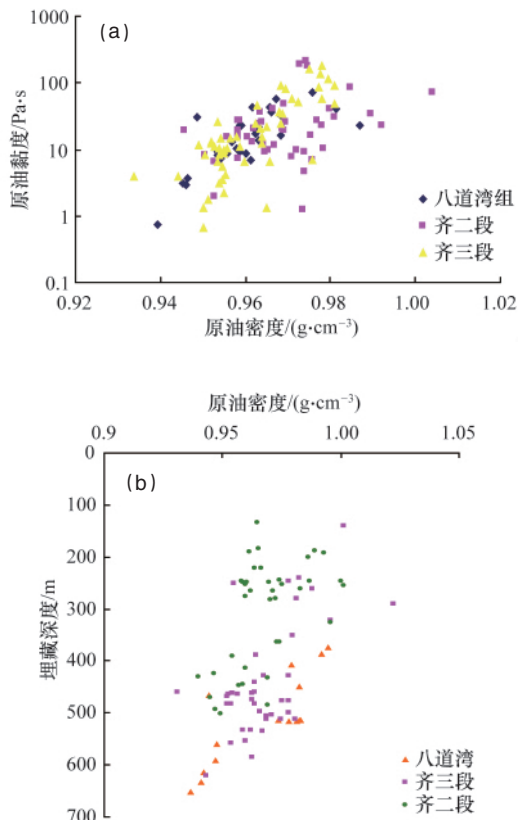


图 1 准噶尔盆地西北缘风城地区原油物性垂向变化和关系图
Fig. 1 Physical properties of crude oil with depth variation and their correlation in the Fengcheng area for the northwestern margin of Junggar Basin

度要高于齐三段、八道湾组,原油物性总体上随着埋藏深度的增加,变化不明显,但整体趋势逐渐变好(图 1(b),(c))。

原油在平面上的分布规律也比较明显,以八道湾组为例,具有明显的“中间低,两侧高”的特点。北部靠近不整合面附近和南部地区在油水边界附近,原油的密度和黏度出现高值区,此外,不同的断块原油物性分布呈现明显的分区,并且在断层附近原油的密度和黏度出现高值(图 2)。

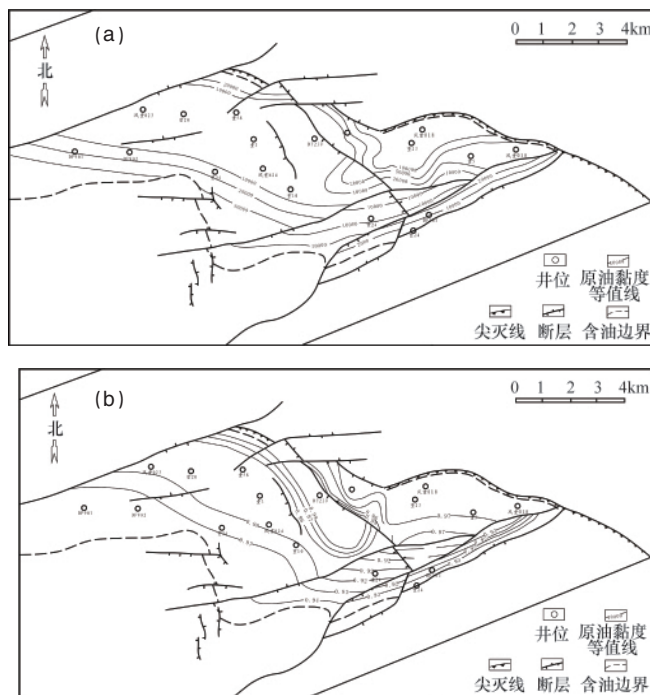


图 2 准噶尔盆地西北缘风城地区侏罗系八道湾组原油密度和黏度平面分布规律
Fig. 2 Planar distribution laws of crude oil density and viscosity in the Jurassic Badaowan Formation in the Fengcheng area for the northwestern margin of Junggar Basin

2.2 族组分特征

风城地区原油的族组成特征表现为非烃和沥青质含量高,饱和烃和芳香烃含量低的特点。饱和烃含量变化在 25.9%—47.2%之间;芳香烃的含量主要集中在 16.3%—26.5%之间;胶质、沥青质总含量较高,大部分集中在 30%左右。该区稠油族组分含量与黏度存在一定的相关性:(1)稠油的黏度与烃类的百分含量在趋势上呈反比关系(图 3(a));(2)风城地区稠油的黏度随非烃类百分含量的增加而呈指数函数关系升高(图 3(b)),而且胶质和沥青质的含量是影响稠油黏度的最主要因素。

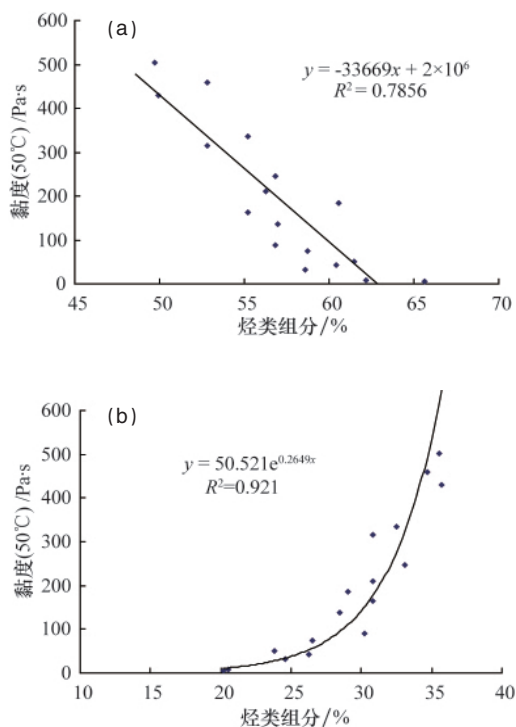


图 3 准噶尔盆地西北缘风城地区原油黏度与族组分关系
 Fig. 3 Relationship between crude oil viscosity and group component in the Fengcheng area for the northwestern margin of Junggar Basin

3 稠油形成机制

准噶尔盆地西北缘的侏罗系地层具有形成重质稠油藏的地质条件,重质稠油以次生型为主,其形成受控于生物降解作用、氧化作用及水洗作用等地质因素。但是这些只是对表面现象的静态描述,稠油的特征及分布规律(形成过程)与油气的运移和成藏是密不可分的,只有对该区的热史、生烃史、排烃史以及后期的构造运动等动态的特征进行分析,才能探讨稠油形成的不同地质作用过程。

3.1 成藏过程分析

稠油的形成与演化与油气的运移和成藏密不可分,并且受到构造活动的控制呈阶段性,不同的构造演化阶段其油气

成藏地质作用存在着明显的差异,阐明构造运动对研究区热史、生烃史、排烃史(成藏史)的控制作用,是建立稠油形成地质作用过程的重要基础。

准噶尔盆地曾发生过 3 期大的构造运动:二叠纪的晚海西运动、中生代的印支—燕山运动和新生代的喜马拉雅运动。这 3 次构造运动控制着整个盆地的热史,随着地质历史时期的演化,地温梯度呈逐渐减小趋势,在石炭纪末期地温梯度较高,达 43.3°C/km,二叠纪末减小为 36.3°C/km,三叠纪末为 33.8°C/km,侏罗纪末为 28.4°C/km,白垩纪末为 24.8°C/km,第三纪末与现今相似,为 22.8°C/km^[6-7]。

海西运动时期,二叠系地层产生了大量的断层,这些断层形成了大量的构造圈闭。根据前人油源对比的结果,准噶尔盆地的风城地区稠油的油源主要源于玛湖凹陷风城组烃源岩^[8],受埋藏史和热史的控制,该套烃源岩中侏罗世进入生油高峰—湿气热演化阶段^[9-10],与海西运动时期形成的圈闭相匹配,以上三叠统区域盖层组合,形成了二叠系的原生油藏;早白垩世时期,即燕山运动时期,侏罗系地层剥蚀,形成不整合圈闭,由于构造运动,沟通二叠系和侏罗系储层的断裂发生开启,破坏了二叠系的原生油气藏,油气运移至推覆体上盘高断块以及上覆的超覆地层,在侏罗系地层圈闭中发生聚集,形成次生油气藏。喜山运动发生在新生代时期,由于构造运动不剧烈,断层活动强度较小,对油气分布的格局并没有影响,但局部改变了各断块的埋深和封闭程度。

3.2 构造演化控制了稠油的稠变过程

通过该区的成藏过程分析,结合前文对稠油特征及其平面分布规律的研究,认为该区的原油共经历了印支—燕山期氧化阶段、燕山期菌解和水洗阶段、喜山期局部改造 3 个阶段的稠化作用。

第一阶段:印支—燕山期氧化阶段。

印支期至燕山期时,准噶尔盆地西北缘地区构造运动剧烈,八道湾组超覆不整合,中侏罗统遭受不同程度的剥蚀,齐古组超覆不整合于三叠系或下侏罗统及残存的中侏罗统之上,在西北缘地区的侏罗系地层中形成了大量的岩性和构造圈闭。到了侏罗纪末期,构造活动强度大为减弱,但主断裂仍在活动。印支期形成的油藏遭受破坏,油气沿断裂和不整合面发生再次运移。石油自下而上向浅层运移的过程中,由于穿越断层呈阶梯状运移,沿着运移的方向,不是发生层析作用,而是发生氧化作用,致使原油的轻组分不断分离并使其一部分散失,重组分相对增多,导致原油相对密度增大;再者,油气沿断裂从深部向浅部运移过程中,由于温度压力的降低,气体或轻质组分不断发生挥发扩散,加之甲烷运移能力强,致使运移距离愈长的母体原油愈稠、愈重。

风城地区侏罗系稠油,在该阶段随着深度的增加,原油的密度和黏度逐渐变大(图 4(a))。这也是在现阶段,风城地区的稠油在不同的层位上原油物性存在明显差异的原因,齐古组原油密度、黏度要高于侏罗系八道湾组(图 1(b),(c)),

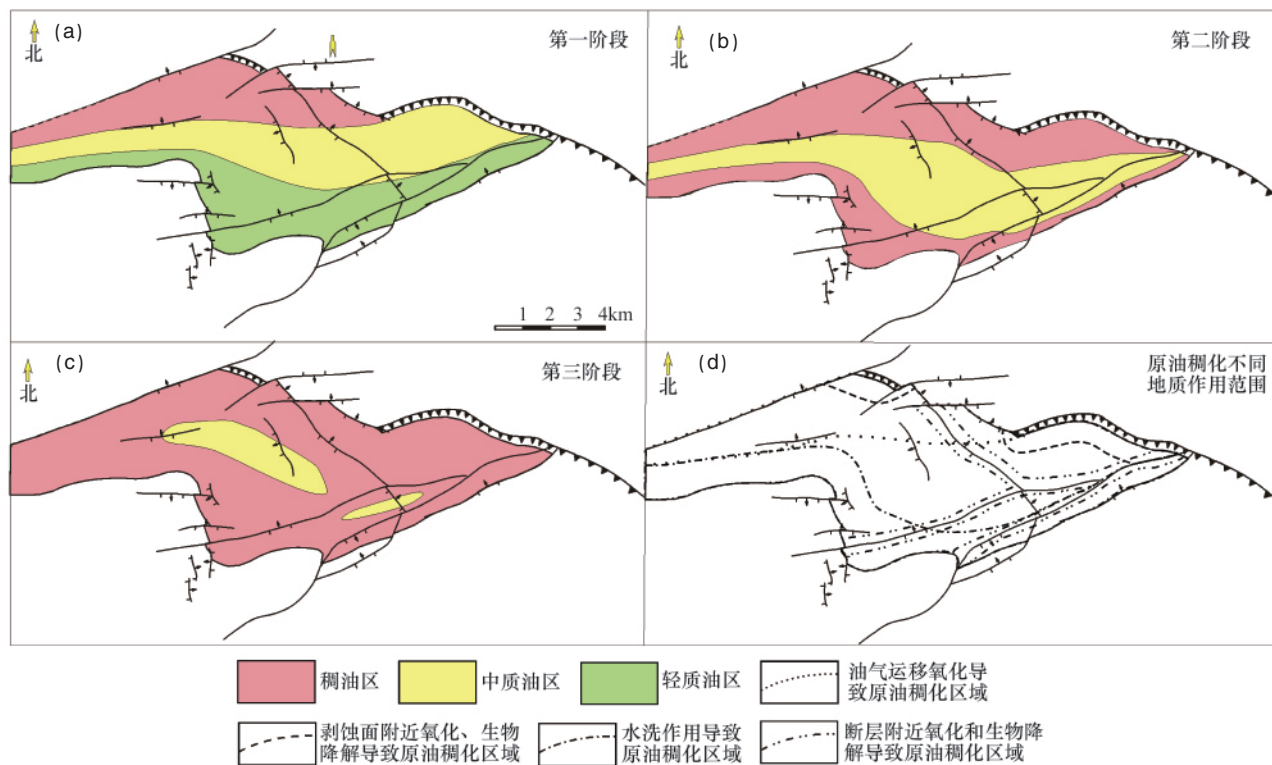


图 4 准噶尔盆地西北缘风城地区八道湾组原油稠变过程图

Fig. 4 Evolution process of crude oil densification in the Jurassic Badaowan Formation in the Fengcheng area for the northwestern margin of Junggar Basin

体现了原油物性形成了沿构造分布的格局。

第二阶段:燕山期菌解和水洗阶段。

侏罗系稠油油藏形成后,靠近不整合面和断层附近的原油埋藏较浅,封闭条件较差,温度较低,原油不断遭受生物降解作用,细菌选择性地消耗了低碳组分,造成高碳组分富集的结果,致使重组分增多,原油密度、黏度和胶质含量增大,含蜡量不断降低。此外,油水边界附近,地层水较为活跃,含烃未饱和的地层水沿油水界面运移,有选择性地吸收并带走可溶烃,使原油被水洗而稠变,密度和黏度增大。

风城地区侏罗系的稠油,在该阶段原油物性形成了中间好,两边差的分布格局(图 4(b))。这在原油现今的物性分布图上也有所体现,在油水界面和不整合面附近,原油的密度和黏度明显要高于其他地区。

第三阶段:喜山期局部改造阶段。

喜山运动时期,构造运动较弱,只是局部地区构造运动强烈,使侏罗系内部泥质隔层遭受了剥蚀,使已经稠变的原油又经历了成藏后阶段的再次稠变,使稠油性质愈加黏稠,并且部分改变了稠油沿构造分布的格局。

风城地区侏罗系的稠油,在该阶段在断层附近以及局部断块原油的物性也变差(图 4(c)),纵向上,原油随深度变化的规律并不明显(图 1(b),(c))。

综上所述,准噶尔盆地侏罗系原油稠化为不同的地质作

用的综合结果,不同的地质作用过程不仅发生的时期不同,发生的构造部位也不同;原油运移过程中的氧化作用导致原油稠化的区域主要发生在风城地区的构造高部位地区,水洗作用导致原油稠化主要发生在油水边界附近,生物降解作用导致原油稠化主要发生在盆地的三级大断层以及剥蚀面附近(图 4(d)),这样就形成了现今的稠油分布格局。

4 结论

分析准噶尔盆地西北缘地区侏罗系稠油特征及其稠变过程,得到以下几点结论。

(1) 准噶尔盆地西北缘侏罗系的稠油在平面上的高值区主要分布在超覆不整合面和油水边界附近,纵向上随着深度变化的规律不是很明显,但整体趋势变好。

(2) 胶质和沥青质的含量是影响稠油黏度的最主要因素,原油的黏度随非烃类百分含量的增加而呈指数函数关系升高。

(3) 准噶尔盆地经历 3 次大的构造运动,这 3 次构造运动控制着原油生成、运移和成藏的过程,进而控制着稠油的稠变历史。

(4) 二叠系的原生油藏在燕山期由于构造运动,遭到破坏,发生二次运移,形成准噶尔盆地西北缘侏罗系的稠油,后期局部构造运动和地层水对原油的稠化也起到一定作用。

参考文献 (References)

- [1] Aitken C M, Jones D M, Larter S R. Anaerobic hydrocarbon biodegradation in deep subsurface oil reservoirs[J]. *Nature*, 2004, 431: 291-294.
- [2] 范铭涛, 杨智明, 田宝忠, 等. 青西油田稠油及沥青成因探讨 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 40-41.
Fan Mingtao, Yang Zhiming, Tian Baozhong, et al. *Oil Exploration and Development*, 2004, 31(1): 40-41.
- [3] 李素梅, 庞雄奇, 高先志, 等. 辽河西部凹陷稠油成因机制 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(S1): 138-149.
Li Sumei, Pang Xiongqi, Gao Xianzhi, et al. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 38(S1): 138-149.
- [4] 冯子辉, 廖广志, 方伟, 等. 松辽盆地北部西斜坡区稠油成因与油源关系[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 25-28.
Feng Zihui, Liao Guangzhi, Fang Wei, et al. *Oil Exploration and Development*, 2003, 30(4): 25-28.
- [5] 毛新军, 黄立良, 樊向东. 准噶尔盆地乌夏地区稠油生物降解特征[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(24): 444-447.
Mao Xinjun, Huang Liliang, Fan Xiangdong. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(24): 444-447.
- [6] 蔡忠贤, 陈发景, 贾振远. 准噶尔盆地的类型和构造演化[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 431-440.
Cai Zhongxian, Chen Fajing, Jia Zhenyuan. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 431-440.
- [7] 邱楠生, 杨海波, 王绪龙. 准噶尔盆地构造-热演化特征 [J]. 地质科学, 2002, 37(4): 423-429.
Qiu Nansheng, Yang Haibo, Wang Xulong. *Scientia Geologica Sinica*, 2002, 37(4): 423-429.
- [8] 王绪龙, 康素芳. 准噶尔盆地腹部及西北缘斜坡区原油成因分析[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(2): 108-112, 169-170.
Wang Xulong, Kang Sufang. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1999, 20(2): 108-112, 169-170.
- [9] 石昕, 张立平, 何登发, 等. 准噶尔盆地西北缘油气成藏模式分析[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(4): 460-463.
Shi Xin, Zang Liping, He Dengfa, et al. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(4): 460-463.
- [10] 吴孔友, 洪梅, 聂振荣. 乌夏断裂带侏罗系油气成藏主控因素 [J]. 新疆石油地质, 2007, 28(4): 434-436.
Wu Kongyou, Hong Mei, Nie Zhenrong. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(4): 434-436.

(责任编辑 吴晓丽)

·学术动态·



“中国材料大会 2012 学术年会”征文

由中国材料研究学会、太原理工大学承办的“中国环境科学学会 2012 年学术年会”于 2012 年 7 月 13—18 日在太原市召开。

征文范围如下。(1) 能源与环境材料: 先进能源材料与技术; 热电材料与应用; 绿色建筑材料; 环境功能材料; 光催化材料及在能源与环境中的应用; 太阳能能源材料与技术。(2) 功能与电子材料: 生物材料; 功能晶体材料; 电子材料; 多铁性材料; 超导材料与应用技术; 智能材料; 纳米和超细晶体材料; 先进陶瓷材料。(3) 高性能结构材料: TiAl 合金及先进结构金属间化合物材料; 材料先进制备加工技术; 先进空天材料及其损伤与防护; 先进镁合金及其应用; 高温合金; 先进钛合金材料技术与应用; 非晶合金与高熵合金。(4) 材料模拟、安全与评价; 材料物性多尺度模拟和计算; 材料表面与界面; 材料教育论坛。

论文截止日期: 2012 年 7 月 5 日。

联系人: 陈辉。

电话: 010-68710443。

传真: 010-68722033。

电子信箱: c-mrs@163.com。