

莱州湾凹陷烃源岩生烃历史模拟

 姜丽娜^{1,2}

1. 中国石油天然气股份有限公司大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712
2. 中国石油大学(北京); 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

摘要 本文通过运用 IES 盆地模拟的方法, 采用 Easy%R_o 模型, 以单井的热史和生烃史为基础, 从剖面和平面的两方面研究了莱州湾凹陷两套主力烃源岩沙三段和沙四段在不同时期不同区域生烃状态。研究表明, 在明化镇组下段沉积末期 (5.1Ma) 北洼沙三段烃源岩已广泛进入生烃门限, 沙四段烃源岩大范围生排烃; 现今北洼沙三段烃源岩大量排烃, 沙四段烃源岩排烃范围进一步扩大, 北洼中心处已进入生烃高峰。

关键词 莱州湾凹陷; 烃源岩; 盆地模拟; 生烃历史

中图分类号 TE122.1

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.13.007

Simulation of Hydrocarbon Generation History of Source Rocks in Laizhouwan Sag

 JIANG Lina^{1,2}

1. Exploration and Development Research Institute, Daqing Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Daqing 163712, Helongjiang Province, China
2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting; China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract In this paper, the IES basin modeling method and the model of Easy%R_o are firstly used to analyze the single well thermal history and the hydrocarbon generation history. The third member of Shahejie Formation (Es₃) and the fourth member of Shahejie Formation (Es₄) are the major source rocks in Laizhouwan Sag. Based on the study of the single well thermal history and the hydrocarbon generation history, the hydrocarbon states of the two major source rocks in different periods and different areas are discussed. It is shown that the 5.1Ma before the third member of Shahejie Formation (Es_{3m}) source rock goes already at the top oil window and the fourth member of Shahejie Formation source rock is in the stage of the hydrocarbon generation and is discharged into the northern sag. Now the two major source rocks are both in the stage of the hydrocarbon generation and are discharge into the northern sag and the fourth member of Shahejie Formation source rock is at the hydrocarbon peak in the center of the Northern sag.

Keywords Laizhouwan Sag; source rocks; basin modeling; hydrocarbon generation history

0 引言

莱州湾凹陷位于渤海湾盆地济阳坳陷东部, 面积约 1200km²。钻探已揭示凹陷内发育始新统沙四段 (E_{2s4})、沙三段 (E_{2s3})、渐新统沙二段、沙一段 (E_{3s1+2}), 东营组 (E_{3d}), 新近系馆陶组 (N_{1g})、明化镇组 (N_{1m}) 和第四系平原组系 (Q) 地层^[1]。其中沙三段和沙四段是该凹陷的主力烃源岩层位。对于这种小型独立的凹陷来说烃源岩的供给对油气成藏起到了关键的作用。确定莱州湾凹陷不同层位两套主力烃源岩在不同历史时

期的生排烃状态, 是研究该区油气成藏机理的基础, 也是评价和预测不同阶段形成的各种类型圈闭勘探潜力的前提。

盆地模拟是 20 世纪 70 年代末期逐步发展起来的一项盆地分析技术, 20 世纪 90 年代达到发展的鼎盛时期, 近 10 年来盆地模拟在现在油气勘探与石油地质综合研究中发挥着越来越重要的作用。IES 盆地模拟软件生烃史的功能是模拟地下源岩中的有机质成熟史和生烃过程^[1]。由于生烃机制研究比较深入, 因此生烃史的模型是相对成熟的模型^[2]。本文运

收稿日期: 2010-11-12; 修回日期: 2011-03-18

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (90914006)

作者简介: 姜丽娜, 助理工程师, 研究方向为油气藏形成与分布, 电子信箱: jianglina517@163.com

用 IES 盆地模拟软件深入研究莱州湾凹陷沙三段和沙四段主力烃源岩不同历史时期不同区域的生烃状态,为该区油气勘探提供基础。

1 生烃史模拟参数

本文采用 Easy% R_o 模型^[3],模拟莱州湾凹陷单井一维、二维剖面的生烃演化史。IES 盆地模拟软件集成化程度高,通过选择全面、合适的盆地模拟参数,基于烃源岩埋藏史与热史,在此基础上模拟镜质体反射率(R_o ,反映有机质成熟度)随时间的变化,然后通过 R_o 值确定有机质成熟的时间与深度或温度,并划分烃源岩生烃门限和演化阶段。

1.1 埋藏史参数

烃源岩埋藏史是热史、生烃史模拟的基础。埋藏史的恢复包括剥蚀量恢复与压实量校正。渤海海域及其邻区经历过断陷、断拗和拗陷 3 个演化阶段,曾发生过多期反转,以第四纪期间规模最大,但这些构造运动在渤海海域没有形成剥蚀量较大的区域性不整合。如渤海湾陆上凹陷较为强烈的 T_2 (东营组顶)不整合在渤中凹陷很微弱^[4]。因此在研究莱州湾凹陷埋藏史恢复时参照渤中凹陷同样不考虑抬升剥蚀,认为烃源岩是以连续沉降为特征。

压实校正通过沉积骨架体积不变为前提的回剥法实现^[5]。砂、泥岩原始孔隙度分别为 40% 和 60%;砂、泥岩的压实系数分别为 0.0012 和 0.0010165。

1.2 热史参数

沉积盆地形成和演化过程中,盆地的热体制是动态变化的,它既受控于盆地的沉积与埋藏、压实、构造运动、吸放热反应以及地下水和火山岩浆活动,又受盆地底部热流变化影响。盆地动态热体制的研究可归结为盆地热历史的重建或恢复。热史包括热流史和地温史。一般都是在盆地尺度下建立热史模型,即按照地球热力学的方法,按照盆地演化模式,通过假定符合一定数学关系(如线性或指数关系)的古今热流,从而模拟地温史,并将正演的计算结果用实测的现今地温和地球化学温标检验。

盆地尺度上,可利用各种古温标(如 R_o 、磷灰石裂变径迹、黏土矿物等)重建热史。古温标的种类繁多,但利用古温标恢复热史不外乎有随机反演法、古地温梯度法和古热流法 3 种基本方法,3 种方法各有利弊。根据渤海海域盆地的实际地质条件和古温标数据状况,胡圣标等^[6]采用古热流法,对渤海盆地基底大地热流测量以及利用磷灰石裂变径迹及镜质体反射率数据进行盆地热史恢复的研究结果表明,盆地现今热流值为 50—75mW/m²,背景热流值达 63.6mW/m²,而早第三纪沙河街组和东营组沉积时(25—50Ma)盆地古热流值为 70—90mW/m²。渤海盆地现今平均地温梯度为 3.3℃/100m,其中凹陷区地温梯度为 2.5—3.5℃/100m,凸起区地温梯度为 3.0—4.5℃/100m^[7-8]。本文将对 KL10-2-1D、KL11-1-1、KL10-3-1 各井进行单井一维生烃史模拟。综合前人研究成果及具体 3 口井的温度和镜质体反射率标定,给出热史模拟的热流

值参数:断陷期—断拗期(55—24.6Ma),70mW/m²;断拗末期(24.6Ma),60—63mW/m²;断拗末—拗陷末期(24.6Ma—现今),50—58mW/m²。

1.3 生烃史参数

烃源岩生烃作用的关键因素是温度和时间。由于生烃机制研究较深入,因此生烃史模型也是相对最成熟的模型,目前已普遍建立了化学动力学模型和实验产烃率模型,以及成熟度的各种计算模型(时温指数 TTI、Easy% R_o 等)。Easy% R_o 方法基于烃源岩埋藏史与热史模拟生烃史,模拟镜质体反射率(有机质成熟度)随时间的变化;然后通过 R_o 值确定有机质成熟的时间、深度、温度,并划分烃源岩生烃门限和演化阶段。

2 生烃史演化特征

2.1 单井一维生烃史

本次研究选择 KL10-2-1D、KL11-1-1 和 KL10-3-1 井为模拟对象,分别以实测温度(KL10-2-1D 井)和实测镜质体反射率数据(KL10-2-1D、KL11-1-1 和 KL10-3-1 井)进行标定,应用 Easy% R_o 生烃演化模型,模拟了单井的埋藏史、热史和生烃史(图 1—图 2)。

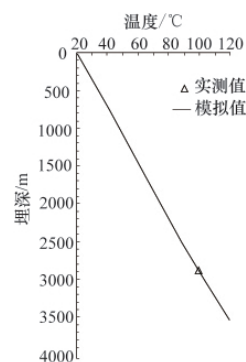


图 1 莱州湾凹陷 KL10-2-1D 井模拟地温与实测值对比

Fig. 1 Comparison of simulation data and measured data of temperature of well KL10-2-1D in Laizhouwan Sag

模拟结果与实测值之间基本吻合,也反映出了莱州湾凹陷自古近纪断陷期至新近纪拗陷期地热场的衰减趋势。因为镜质体反射率剖面是地温场演化及其状况的响应,所以地温场横向上较均一。

莱州湾凹陷在古近纪经历了裂谷发育阶段,热流值高。新近纪以来进入裂后拗陷期,地热场呈衰减趋势。上述 3 口井古地温恢复结果表明热史模拟参数选择合理,按此思路,选取莱州湾凹陷靠近深洼的 KL10-2-1D 井进行生烃史模拟,划分烃源岩演化阶段。由图 3 可以看出,沙四段烃源岩在约 24.6Ma 时全部进入生烃门限($R_o > 0.5\%$),现今沙四段烃源岩基本全部处于大量生排烃阶段($R_o > 0.7\%$);沙三段烃源岩现今也基本进入生烃门限。推测凹陷中心沙四段烃源岩已进入生烃高峰,沙三段烃源岩也开始大量排烃。

2.2 二维剖面生烃史

为了反映莱州湾烃源岩演化上的差异,在单井模拟的基

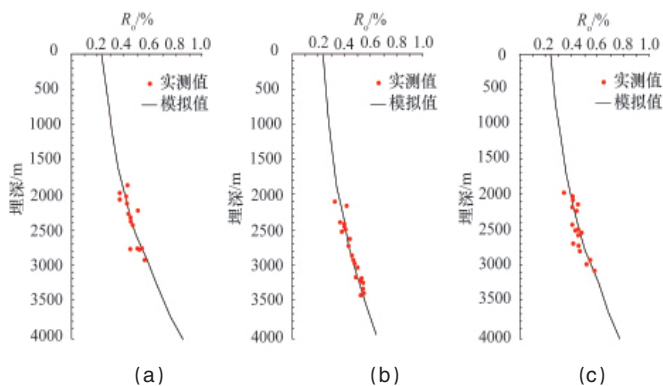


图2 莱州湾凹陷 KL10-2-1D(a)、KL10-3-1(b)、KL11-1-1(c)井模拟 R_o 与实测值对比

Fig. 2 Comparison of R_o simulation data and measured data of well KL10-2-1D (a), KL10-3-1(b), KL11-1-1 (c) in Laizhouwan Sag

础之上,在凹陷中选择了7条二维剖面进行埋藏史、热史和生烃史模拟,研究了烃源岩二维剖面上的热史和生烃史变化,对7条二维剖面绘制了24.6Ma、12Ma、5.1Ma和现今4个关键时刻的镜质体反射率模拟剖面。

现以莱州湾凹陷东西向 W137+88LZ137 剖面生烃史模拟为例,说明该区烃源岩演化特征。东营组沉积末期(24.6Ma,图4(a)),沙三段烃源岩仍处于未成熟阶段($R_o < 0.5\%$),沙四段烃源岩大部分地层已经成熟生烃;馆陶组沉积末期(12Ma,图4(b)),沙三段烃源岩开始进入生烃门限($R_o > 0.5\%$),沙四段烃源岩全部进入了生烃门限且开始大量排烃($R_o = 0.7\%$);明化

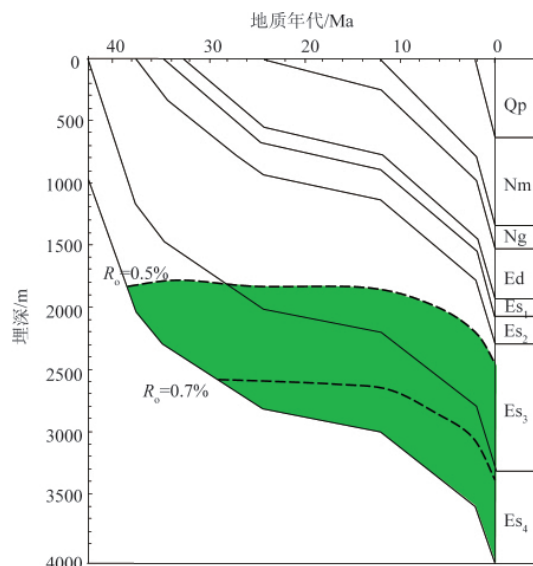


图3 KL10-2-1D 井一维生烃史模拟及主力烃源岩成熟阶段划分

Fig. 3 Simulation of 1D hydrocarbon generation history and identifications of mature phases of major source rocks of well KL10-2-1D

镇组下段沉积末期(5.1Ma,图4(c)),沙三段烃源岩大部分地层进入生烃门限,沙四段烃源岩进一步成熟,大部分地层大量生烃排;从现今的模拟剖面(图4(d))可以看出,沙三段烃源岩几乎全部进入生烃门限下部地层开始大量排烃,沙四段烃源岩几乎全部进入大量生烃阶段。

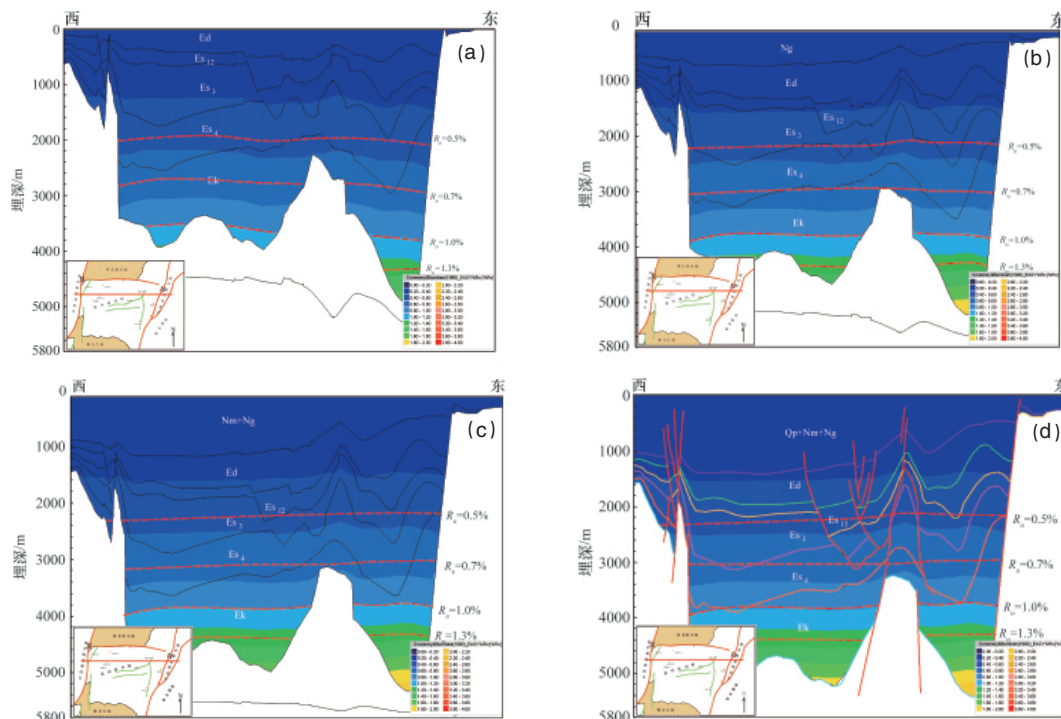


图4 莱州湾凹陷东西向 W137+88LZ137 测线有机质成熟度演化剖面

Fig. 4 Maturity of source rock evolution section in line W137+88LZ137 in Laizhouwan Sag

2.3 平面生烃史演化特征

根据二维剖面上有机质成熟演化模拟,结合莱州湾凹陷已有钻井岩心的烃源岩有机质成熟度分析,通过勾画莱州湾凹陷沙三段和沙四段烃源岩层系顶部镜质体反射率在 5.1Ma 和现今关键时刻的平面展布图,反映莱州湾凹陷有机质成熟度的演化平面特征。

沙三段烃源岩顶面演化特征如图 5 所示,明化镇组下段沉积末期(5.1Ma,图 5(a))北洼烃源岩已广泛进入生烃门限,

凹陷中心开始大量排烃,东北次洼大部分区域进入了生烃门限。现今(图 5(b))北洼中心大面积范围处于大量排烃阶段,东北次洼深洼处也大量排烃,南洼中心进入生烃门限。

沙四段烃源岩顶面演化特征如图 6 所示,明化镇组下段沉积末期(5.1Ma,图 6(a))北洼和东北次洼烃源岩几乎全部进入生烃门限并且凹陷中心大范围生排烃,南洼部分区域进入了生烃门限。现今(图 6(b))北洼和东北洼大量排烃范围进一步扩大,同时南洼进入生烃门限的范围也进一步扩大。

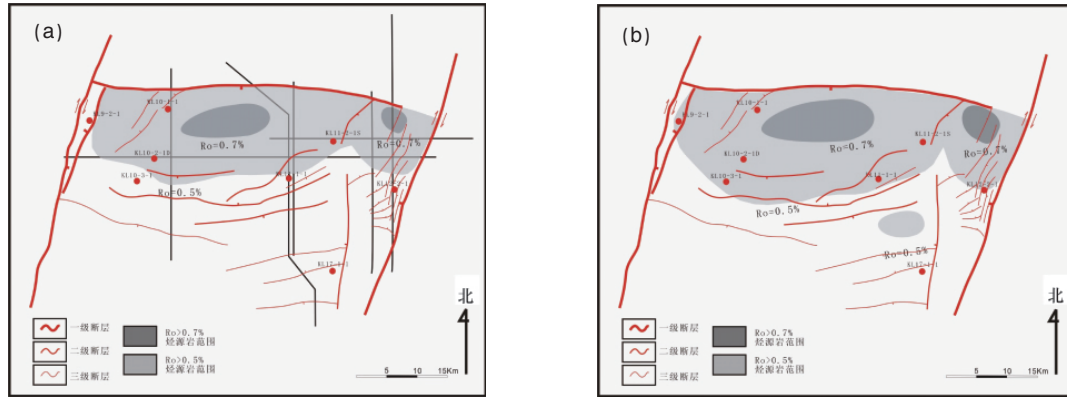


图 5 莱州湾凹陷沙三段明化镇组顶界 5.1Ma 及现今(b)烃源岩成熟度平面演化图

Fig. 5 Maturity of the top of Es_{3m} source rock graphic evolution in 5.1Ma and the Laizhouwan Sag of today

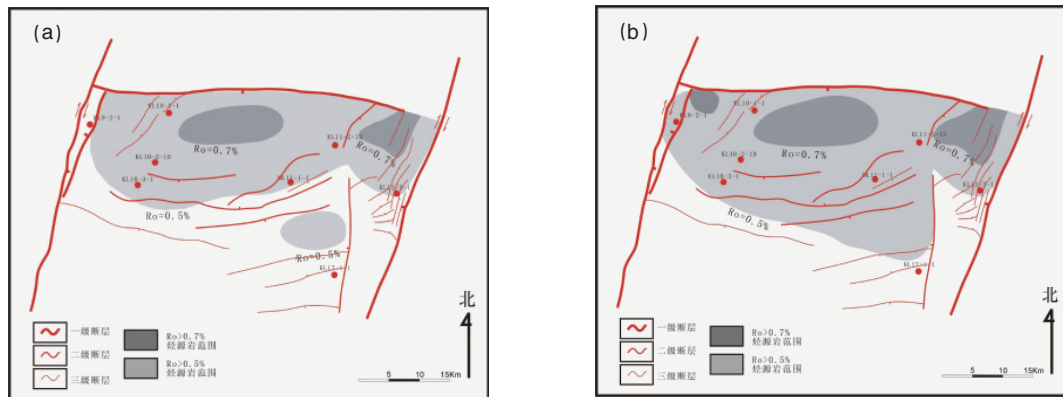


图 6 莱州湾凹陷明化镇组沙四段顶界 5.1Ma 及现今烃源岩成熟度平面演化图

Fig. 6 Maturity of the top of Es₄ source rock graphic evolution in 5.1Ma and in the Laizhouwan Sag of today

3 结论

(1) 剖面上,东营组沉积末期,沙三段烃源岩仍处于未成熟阶段,沙四段烃源岩大部分地层已经成熟生烃;馆陶组沉积末期,沙三段烃源岩开始生烃,沙四段烃源岩开始大量排烃($R_o=0.7\%$);明化镇组下段沉积末期,沙三段烃源岩大部分地层进入生烃门限,沙四段烃源岩进一步成熟;现今沙三段烃源岩下部地层开始大量排烃,沙四段烃源岩几乎全部进入大量生排烃阶段。

(2) 平面上,明化镇组下段沉积末期,北洼沙三段烃源岩已广泛进入生烃门限,凹陷中心沙三段烃源岩已经开始大量排烃,东北次洼沙三段烃源岩大部分区域进入了生烃门限;北洼和东北次洼沙四段烃源岩几乎全部进入生烃门限并且凹陷中心大范围生排烃,南洼部分区域沙四段烃源岩也进入了生烃门限。

现今北洼中心沙三段烃源岩大面积范围处于大量排烃阶段,东北次洼深洼处沙三段烃源岩也大量排烃,南洼中心

沙三段烃源岩进入生烃门限;北洼和东北洼沙四段烃源岩大量排烃范围进一步扩大,同时南洼沙四段烃源岩进入生烃门限的范围也进一步扩大。

参考文献 (References)

- [1] 孙和风,周心怀,彭文绪. 莱州湾凹陷油气成藏动力学特征[J]. 西安石油大学学报:自然科学版, 2009, 24(4): 27-31.
Sun Hefeng, Zhou Xinhui, Peng Wenxu. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2009, 24(4): 27-31.
- [2] 张庆春,石广仁,田在艺. 盆地模拟技术的发展现状与未来展望[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 312-317.
Zhang Qingchun, Shi Guangren, Tian Zaiyi. *Experimental Petroleum Geology*, 2001, 23(3): 312-317.
- [3] Sweeney J J, Burnham A K. Evolution of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics [J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(4): 1559-1570.
- [4] 郭兴伟,施小斌,丘学林,等. 渤海湾盆地新生代沉降特征及其动力学机制探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(3): 273-280.

- Guo Xingwei, Shi Xiaobin, Qiu Xuelin, *et al. Geotectonica Et Metallogenia*, 2007, 31(3): 273-280.
- [5] 杨桥,漆家福. 碎屑岩层的分层去压实校正方法 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 206-210.
Yang Qiao, Qi Jiafu. *Experimental Petroleum Geology*, 2003, 25(2): 206-210.
- [6] 胡圣标,张容燕,罗毓晖,等. 渤海盆地热历史及构造-热演化特征[J]. 地球物理学报, 1999, 42(6): 748-755.
Hu Shengbiao, Zhang Rongyan, Luo Yuhui, *et al. Chinese Journal of Geophysics*, 1999, 42(6): 748-755.
- [7] 肖卫勇,王良书,李华,等.渤海盆地地温场研究[J]. 中国海上油气:地质, 2000, 15(2): 105-111.
Xiao Weiyong, Wang Liangshu, Li Hua, *et al. China offshore Oil and Gas*, 2000, 15(2): 105-111.
- [8] 王良书,刘绍文,肖卫勇,等. 渤海盆地大地热流分布特征 [J]. 科学通报, 2002, 47(2): 151-155.
Wang Liangshu, Liu Shaowen, Xiao Weiyong, *et al. Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(2): 151-155.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·



“中国汽车工程学会 第十四届汽车安全技术学术会议”征文

中国汽车工程学会将于 2011 年 8 月 24—26 日在北京召开“中国汽车工程学会第十四届汽车安全技术学术会议”。

征文内容: 车辆结构耐撞性;乘员保护系统;行人碰撞保护;儿童安全防护;碰撞生物力学;交通事故分析;碰撞预判技术;碰撞相容性;测试分析技术;汽车底盘安全控制;驾驶行为感知与辅助系统;汽车安全多系统协同控制;智能交通系统;整车安全开发流程及体系;国内外汽车安全法规现状及发展。

全文截止日期:2011 年 6 月 15 日

联系电话:010-62792733;电子信箱:acl@tsinghua.edu.cn。

会议网址:www.sae-china.org/News/NewsWeb/ViewNews.aspx?NewsId=L4ICKUXV。

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿:www.kjdb.org。