



中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7月5-8日, 2025
福建 厦门

A05-油气田及新能源材料
A05-Materials for Oil & Gas Field and
New Energy

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



A05. 油气田及新能源材料分会

分会主席：张骁勇、周莹、吴传德、池强、张锦钢

A05-01

铝热反应驱动熔蚀射流的动力学调控及其在深地管柱切割中的应用研究

贺川¹

1. 北京理工大学

随着深地油气资源开发的推进，井下管柱在高温高压液相环境中的卡阻问题日益严重，亟需发展高效可靠的切割技术对卡阻部位进行解卡，使卡阻位置以上的管柱顺利升井，从而缩短事故处理周期，提高开采效率。高能射流切割技术利用铝热反应驱动形成高温、高速熔融产物，在熔蚀-侵蚀协同作用下高效切割金属管柱，具有切口平整、切割效率高、无火工品等优势。然而，该技术在深地高温、高压液相环境下面临射流衰减显著、能量转换效率低等挑战，制约了其在实际工况中的切割能力。针对上述问题，我们以高能铝热体系为基础，构建了多元高热反应体系，通过多组分设计与反应动力学调控，有效提升了射流的能量和稳定性；系统揭示了射流动态特性的演化规律与协同调控机制，并研制出适用于深地极端工况的管柱切割工具系统。在此基础上，通过材料特性和喷嘴结构的匹配优化，实现了燃烧化学能向定向射流能量的高效转化，在井深约 1800 m 的液相工况下完成了对典型油管的高效切割验证。

A05-02

非常规油气开采 SEW 高强韧抗挤套管研制

何石磊^{*1,2}、陈洁明^{1,2}、苑清英^{1,2}、杨晓龙^{1,2}、汪强^{1,2}、唐家睿^{1,2}

1. 中国石油集团宝石管业有限公司

2. 中油国家石油天然气管材工程技术研究中心有限公司

为了满足川渝地区页岩气井高地层压力、长水平段及复杂管柱受力等工况对高强度石油管材的要求，在 C-Mn 钢基础上添加并优化 Cr、Mo、Nb、V、B 等元素含量，本文开发了低屈强比高强度 SEW 套管用热轧卷板，并采用“HFW 高频电阻焊+热张力减径+全管体调质热处理”制造工艺，研制开发了一种页岩气开采用 SEW 高抗挤特殊螺纹套管。对试制套管进行机械性能、几何尺寸、抗挤强度及气密封螺纹接头等试验评价，结果表明：试制套管的屈服强度 ≥ 896 MPa，抗拉强度 ≥ 965 MPa，延伸率 $\geq 22\%$ ，0℃下横向平均冲击功 ≥ 80 J，纵向平均冲击功 ≥ 110 J，具有良好的强韧性匹配；试制套管的椭圆度 $\leq 0.5\%$ ，壁厚不均度 $\leq 6\%$ ，其外压挤毁和内压爆破试验值分别高出 API 5C3 标准值 20% 和 40% 以上，具有优异的几何尺寸精度、外压挤毁和内压爆破性能；依据 API 5C5 试验标准，在复合载荷条件下螺纹接头拉/压效率、内/外效率均达到等管体，能够满足中深层页岩气开采用高强度套管服役要求。

A05-03

耐温抗盐磺酸基聚丙烯酰胺共聚物降滤失剂的制备与性能研究

胡洋阳、曾一楠、翟润莎、张建华*

天津大学化工学院

随着我国能源需求的持续增长和浅层油气资源的日趋枯竭，深层及超深层油气资源开发已成为保障国家能源安全的重要战略方向。然而，深层地质环境往往具有高温 (>200 °C)、高压和高盐的特征，对钻井液性能提出了严峻挑战。降滤失剂作为钻井液的核心添加剂，其性能直接影响钻井液的胶体稳定性和滤失量。目前，研究较多且现场应用最为广泛的降滤失剂是磺酸基聚丙烯酰胺共聚物 (AAS)，它是以亲水性单体丙烯酰胺 (AM)、耐盐单体 2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸 (AMPS) 和耐温单体对苯乙烯磺酸钠 (SSS) 共聚所得的聚合物。虽然因磺酸基团的高水合能力和抗盐性，AAS 在高温高盐环境中展现出一定的性能优势，但在超深井极端条件下其分子链仍然存在显著的热降解行为和盐析效应，导致性能劣化，使其难以满足超深井钻井需求。为进一步提高 AAS 在超深井极端条件下的应用性能，亟待揭示其单体组成-链段结构-

应用性能之间的构效关系并建立优化调控机制。本文先通过正交试验和分子结构设计，制备了一系列不同组成结构的 AAS，对其耐温抗盐机制和影响因素进行了深入系统分析，在优化出 AAS 最佳链段组成的基础上，通过在 AAS 链段和网络结构中引入疏水碲合单体、高性能两性离子单体 3-(1-(4-乙炔基苄基)-1H-咪唑-3-胺-3-基)丙烯酸-1-磺酸 (VBIPS) 或者可聚合碳纳米粒子等策略，成功开发出多种适用于超高温高盐环境的磺酸基聚丙烯酰胺共聚物降滤失剂，对其组成结构和应用性能等进行了系统研究，并通过分子动力学模拟 (DFT/MD) 等手段，揭示了聚合物组成-链段结构-耐温耐盐性能-降滤失性能之间的构效关系，为构建耐超高温高盐的高性能降滤失剂提供了新方案和新体系以及优化调控机制，为深层油气安全高效勘探开发提供了技术支持，具有广阔的应用前景。

A05-04

低压交变载荷下固井水泥环物模实验新方法

周继、刘开强*

西南石油大学

地下储能井的低压交变载荷往往会影响水泥环的密封完整性，但目前常见的分析手段均是以水泥圆柱试样为主，难以准确模拟水泥环在井下的实际受力情况。本研究建立了一套水泥环完整性评价装置，提出了一种实验水泥环完整性测试载荷的确定方法，旨在评价固井水泥环在低压交变载荷下的密封完整性，总结复杂工况下固井水泥环的失效形式。研究表明，在套管-水泥环组合体中，套管为主要承载单元，水泥环则进行应力传导，在水泥环一界面的径向应力变化梯度分布不均和周向应力逐步向拉应力转变，导致水泥环一界面易产生周向裂缝，成为微裂纹出现的高风险区。通过以胶乳水泥浆体系为例，进一步开展水泥环完整性评价实验分析发现，即使载荷远远小于水泥石的屈服极限，水泥环处于弹性变化区间内，但在多轮次的低压交变载荷作用下，水泥环仍然产生了微环隙和微裂缝，密封完整性遭到了破坏，出现了气窜流量，与井底实际情况相符。研究结果可以反映固井水泥环在井底低压交变载荷的受力情况，并评价其水泥环密封完整性，得到固井水泥环在低压交变载荷下的失效形式，指导后续水泥环力学性能设计和材料体系研发。

A05-05

油气行业高校新能源学科专业建设探索与实践

武元鹏*

西南石油大学

A05-06

镍基高温复合材料的摩擦学性能研究

刘峰*

西安石油大学

采用真空热压烧结的方法，通过 Ni、Cr、Al₂O₃ 和 SrCO₃ 的组分和烧结温度调控，原位制备含有不同原位内生相 (monoclinic-SrAl₄O₇、orthorhombic-SrAl₄O₇、SrAl₁₂O₁₉、Sr₄Al₁₄O₂₅、Sr₄Al₂O₇) 复配的镍基高温复合材料。研究了不同原位内生相对镍基高温复合材料的宽温域摩擦学性能的影响。结果表明，在 400℃~800℃ 范围内，含有 monoclinic-SrAl₄O₇、SrAl₁₂O₁₉、monoclinic-SrAl₄O₇/orthorhombic-SrAl₄O₇ 和 SrAl₁₂O₁₉/Sr₄Al₁₄O₂₅/Sr₄Al₂O₇ 的复合材料具有低的摩擦系数和磨损率，主要归因于不同化学计量比铝酸锶及其复配与摩擦氧化产物的协同润滑作用。尤其是 monoclinic-SrAl₄O₇、orthorhombic-SrAl₄O₇ 和摩擦氧化产物的协同润滑作用赋予复合材料低的摩擦系数 (0.16~0.33) 和磨损率 (0.80~2.28×10⁻⁵mm³/Nm)。

A05-07

增材制造 18Ni300 钢的微观结构和抗氢脆性能

沈思聪*

西安石油大学

在油气田领域，18Ni300 马氏体钢凭借其优异的力学性能和抗腐蚀性，常被用于制造井下工具、阀门及高压管道等关键部件。这些部件需在极端环境下承受高压力和腐蚀性介质的侵蚀，因而面临重大的氢脆安全隐患。相较于传统制造工艺，增材制造能够更精确地控制金属材料的微观结构，获得明显不同的组织结构，在提升 18Ni300 钢力学性能的同时，能有效改善其抗氢脆性能。本课题组针对铸造与增材制造 18Ni300 钢的微观结构及氢脆敏感性差异展开系统研究。结果表明，增材制造钢材平均晶粒尺寸更小，位错密度更高，初始状态下强度和塑性更佳。经过特定热处理后，增材制造样品晶粒尺寸增大，位错密度和低角度晶界比例降低。在氢脆方面，随着充氢电流密度增加，铸造与增材制造的钢材的氢脆断裂倾向均显著增大。此外，研究表明固溶处理能显著提高 18Ni300 钢的抗氢脆性能；而时效处理后，铸造与增材制造的钢材抗氢脆性能均变差，这反映出氢脆敏感性与热处理工艺紧密相关。相关研究揭示了铸造与增材制造 18Ni300 钢在微观结构和氢脆敏感性上的差异，为油气田关键部件的选材和制造工艺优化提供了依据。

A05-08

高温合金在油气田领域的应用

霍苗*

西安石油大学

在油气田领域，高温、高压、强腐蚀等恶劣工况对材料性能提出了极高要求。高温合金凭借其优异的高温强度、抗氧化性和抗腐蚀性，成为保障油气田设备稳定运行的关键材料。

本次报告将深入探讨高温合金在油气田领域的应用情况。在油气开采环节，深井和超深井钻探时，井底温度可达 150℃ 甚至更高，同时伴有高浓度的硫化氢、二氧化碳等腐蚀性气体以及高含盐地层水。镍基高温合金如 GH4202，因其出色的高温强度与抗腐蚀性能，被广泛用于制造钻头、钻杆以及井下工具。这些部件在高温高压环境下需保持结构完整性，防止因腐蚀和应力导致的失效，以确保钻探作业的顺利进行。在深海油气田开发中，高温合金同样发挥着重要作用。例如，GH4199 合金用于制造管道、阀门和泵浦等关键部件，能够在深海高温高压且富含腐蚀性介质的环境中保持稳定性能，为深海油气开采提供可靠保障。进入油气炼化阶段，设备面临着复杂的化学环境和高温工艺条件。高温合金常用于制造反应器、热交换器、加热炉及压力容器等。以炼化过程中的加氢反应器为例，需在高温、高压以及氢气和硫化氢等介质存在的环境下长期工作，镍基高温合金可有效抵御氢腐蚀和硫化物腐蚀，确保设备安全稳定运行，延长设备使用寿命。然而，高温合金在油气田领域的应用也面临一些挑战，但高温合金在油气田领域前景广阔。

A05-09

单晶有机卤化铅钙钛矿的可控生长及其在光子器件中的应用

郑嘉璐*

西安石油大学

有机卤化铅钙钛矿是一种新型光电材料，在光电领域有许多应用，包括太阳能电池、发光二极管和光电探测器等。然而目前大多数合成方法制备的有机卤化铅钙钛矿是多晶材料，限制了其在需求高精度的光电器件，如激光器和电光调制器等领域的应用。在这个报告中，我将介绍一种合成单晶有机卤化铅钙钛矿的合成方法。在该方法中我们首先合成了一种前驱体材料 (MA) [PbBr₃] · DMF (1)，并将该材料转化为单晶 MAPbBr₃ 微米片。经过测试，其 MAPbBr₃ 微米片在光波导测试中具有超低传播损耗。我们这种单晶有机卤化铅钙钛矿合成方法对于钙钛矿材料在光电器件领域应用提供了一定的研究思路。

A05-10

新型复合阻氢涂层的制备及其性能研究

闫哲*

西安石油大学

A05-11

Research on ResNet Condenser Eddy Current Detection Defect Recognition Based on Adaptive Deep Separable Convolution

Xiangqian Xu*, xiaoyong zhang
Xi'an Shiyou University

Traditional condenser defect detection classification relies only on empirically based signal analysis as well as statistical analysis, which is time-consuming, labor-intensive, and highly subjective. The rapid development of deep learning has significantly advanced defect classification; however, the lack of defect datasets for eddy current testing (ECT) in condensers limits its application. Moreover, the excessive number of parameters and suboptimal classification accuracy further impact classification performance. To address these challenges, we constructed a defect dataset for condenser ECT, containing annotated images of eight defect types. Using ResNet-34 as the baseline network, standard convolutions were replaced with depthwise separable convolutions, significantly reducing the parameter count and computational complexity. Additionally, the integration of the SE attention mechanism enhanced the model's ability to capture complex features. The proposed network was compared with other models, achieving a computational cost of only 568.242M FLOPs and a parameter count of 2.785M, approximately 1/9 of the original network. The model achieved an FPS of 64.48, demonstrating efficient processing speed, and attained a maximum accuracy of 97%.

A05-12

Mo 掺杂碳化铬基金属陶瓷高温氧化及宽温域摩擦磨损性能研究

翟文彦*、吕嘉鳌
西安石油大学

碳化铬基金属陶瓷具有较高的硬度、熔点、优异的高温抗氧化及耐磨损性能，在热喷涂、航空航天领域得到了广泛应用。本报告采用高能球磨与真空无压反应烧结相结合的方法成功制备了原位生成的 Cr_3C_2 -20wt.%Ni 金属陶瓷复合材料，通过掺杂 0~1.5wt.%的合金元素 Mo 来提高金属陶瓷的力学性能，并在此基础上研究了合金元素 Mo 对碳化铬基金属陶瓷高温抗氧化及耐磨损性能的影响，揭示了合金元素 Mo 提高其高温抗氧化及耐磨损性能的作用机制。研究表明：合金元素 Mo 的掺杂量为 1wt.%时复合材料力学性能最佳，其致密度约为 98.8%，硬度为 HRA88.6，抗弯强度为 1200Mpa。掺杂 1.0wt.%的合金元素 Mo 使得磨损面上形成较为致密平整的 Cr_2O_3 氧化层，该氧化层更容易阻碍基体阳离子通过氧化层向外扩散及空气中的 O 向内扩散，从而有效提高了碳化铬基金属陶瓷的高温抗氧化性能。同时，磨损过程中明显降低了试样的裂纹扩展深度，且合金元素 Mo 在高温条件下形成的 MoO_3 起到一定的润滑作用，有效降低了碳化铬基金属陶瓷的摩擦系数与质量磨损率，从而明显提高了其宽温域摩擦磨损性能。

A05-13

深海油井专用高强耐蚀铝白铜合金

程啸林、赵亚军*、赵孟欣、董闯
大连交通大学

Ni 基耐高温合金如 Inconel 718 具有高熔点共格强化 γ' 相[1]，其服役温度可达 800°C。Cu-Ni-Al 合金也产生类似具有高软化温度 γ'/γ 相组织[2]。本文通过 Thermo-Calc 热动力学计算、高温硬度、DSC 差热分析等方法，对 Cu-50at.%Ni3Al 合金固溶制度进行确定，研究固溶处理制度对合金强化相 γ' -Ni3Al 尺寸以及合金硬度的影响。研究表明合金单相区间为 1050°C-1180°C，Cu-50at.%Ni3Al 铸态合金存在大小不一的 γ' 相以及枝晶偏析现象。经过固溶制度为 1050°C、1100°C、1150°C保温 6h，分别以炉冷、空冷、水冷冷却后，由 γ' -Ni3Al 形貌，尺寸及合金的电导率表明，铸态合金粗大的 γ' 相完全回溶及枝晶偏析完全消失。合金在 1050°C-1180°C温度区间内保温 6h，均能达到合金均匀化处理的效果。同时随着固溶处理后，冷却速率的降低， γ' 相平均直径表现为 $d_{\text{炉冷}} > d_{\text{空冷}} > d_{\text{水冷}}$ 。原因是炉冷冷却方式下， γ' 相充分长大，析出相直径为

500-700nm。而空冷情况下，由于冷却速率较快，析出相迅速形核并长大，但形状为多边形立方状，直径为 500-700nm。水冷方式下产生直径为 100-200nm 球状析出相。冷却速率对合金电导率和析出相 γ' -Ni₃Al 相形貌尺寸影响较大[3]。冷却速率越快合金电导率越低， γ' 相在合金基体中越难以长大。通过对固溶制度- γ' 相显微组织形貌研究，当合金处于 1100°C 下固溶，固溶处理后合金冷却速率在 V 水冷 > V 固溶 > V 空冷内，可以调控析出相形貌及尺寸，进而获得尺寸均一、正方度较好的 γ' 相。

A05-14

Study of BiOCl_xI_y/ α -Ni(OH)₂ Heterojunctions and Their Effectiveness in Photocatalytic Degradation of Fracturing Flowback Fluids

Renze Li*

Southwest Petroleum University

The discovery and utilisation of unconventional oil and gas resources has resulted in the extensive application of hydraulic fracturing technology, rendering flowback fluid treatment a significant environmental concern. Fracturing flowback fluid possesses excessive salinity and is resistant to degradation, rendering autonomous wastewater treatment unfeasible; additionally, secondary pollutants and elevated costs hinder collaborative treatment efforts. Photocatalytic technology is esteemed for its energy efficiency, treatment effectiveness, and diminished secondary emissions. Conventional photocatalysts exhibit suboptimal performance, carrier recombination issues, and diminished sensitivity to visible light. The development of efficient and stable heterojunction photocatalytic systems is imperative. Modification of components and optimisation of structure resulted in the hydrothermal synthesis of BiOCl_xI_y composite materials with differing halogen ratios on an α -Ni(OH)₂ substrate. A composite photocatalyst (BiOCl₉I/ α -Ni(OH)₂=5:3) was optimised for the treatment of fracturing flowback fluid and assessed for its efficacy and mechanism of action. SEM, XRD, and XPS analyses demonstrated that Cl/I (9:1) and Bi/Ni (5:3) ratios influence material morphology, electronic band structure, and interfacial characteristics. The actual flowback fluid from the Suzi gas field is processed to reduce COD. In single-factor experiments at pH 8, with a catalyst dosage of 0.8 g/L, a temperature of 20 °C, and an irradiation duration of 90 minutes, COD removal was maximised at 69.78%. Research on degradation mechanisms indicates that the heterojunction interface enhances the separation of photo-generated charge carriers. Radical quenching studies validate that α -Ni(OH)₂ generates reactive oxygen species from oxygen vacancies and hydroxyl defects. Research indicates that “benzene ring opening-carboxylic acid mineralization” adversely affects hydroxypropyl guar gum. Sustainable on-site applications employ an efficient treatment method based on degradation intermediates. Photocatalytic materials exhibit enhanced salt tolerance through halogen gradient doping and modifications in layered structure. A novel paradigm for catalytic material design in industrial wastewater treatment impacts sustainable oil and gas production.

A05-15

三维多孔过渡金属硫化物制备及储锂性能研究

李钊*

西安石油大学

过渡金属硫化物 (TMDCs) 作为锂离子电池的负极材料，相较于石墨烯负极，具有高理论容量、优异的离子扩散动力学、资源丰富及环境友好性等优点。二硫化钼就是其中的典型代表，其中金属相 (1T) 二硫化钼具有高导电性，但其稳定性不佳。而半导体相 (2H) 相二硫化钼具有高的稳定性，但其导电性好。因此，本项目采用环境友好化学气相沉积法制备三维多孔的 1T 相和 2H 相二硫化钼，用于锂离子电池，具有良好的循环稳定性和动力学性能。

A05-16

油气管线焊接结构高性能长寿命焊接制造

路永新*、张骁勇、李霄、强伟、王世清、王洪铎、路浩、张永强

西安石油大学

截至 2024 年，我国油气长输管道总里程已高达 19.5 万公里，其中服役 10 年以上的老旧管道达 12 万公里，占比 61.5%。由于老化等因素影响，近年来管道泄漏事故频发，造成了重大人员伤亡和严重经济损失。为此，本研究聚焦于提升管道焊接结构的安全性及服役寿命，系统开展了 B 型套筒修复技术、高强度耐腐蚀焊材开发以及焊接过程温度场与流场分析等关键焊接制造技术研究。研究成果形成了油气管道焊接结构的高性能长寿命焊接制造技术体系，旨在为保障我国日益增长的庞大管网安全可靠运行提供坚实的技术支撑。

A05-17

固井水泥石养护过程温度变化对其力学性能的影响

杨学松、付建红*、张兴国

西南石油大学

在开采施工中，井筒内产生的巨大温差严重影响了水泥环的力学性能。为了探究温度变化对水泥石力学性能的影响，本文基于 XRD、TG 和 CT 的方法，针对养护温度、降温速率和降温幅度不同的水泥石，从水化产物含量、孔隙结构以及微观结构的角度分析水泥石的破坏形式。结果表明：养护温度在一定范围内升高温度，促进水化反应；超过这个范围养护温度的增加将会破坏水泥石内部稳定的结构，从而使水泥石的强度达到峰值后下降；降温速率的不同对水泥石力学性能的影响不大，大速率较小速率的水泥石抗压强度衰退 16.8%，杨氏模量下降 24.39%；降温幅度的不同对水泥石力学性能的影响很大，大幅度较小幅度的水泥石抗压强度衰退达 128.32%，杨氏模量下降幅度达 89.14%。降温幅度对水泥石强度的影响大的多，究其原因，较大的降温速率主要通过产生更多的孔隙影响水泥石的力学性能，而较大的降温幅度产生了径向裂缝，微孔隙对水泥石的强度影响不大，还会适当增加水泥石的变形能力，而径向裂缝的产生严重影响了水泥石的强度。

A05-18

呋喃环生物基聚合物在新能源材料中的应用研究

易静*

西南石油大学

A05-19

纤维素纳米纤维对水泥浆早期水化过程和微观结构的调控研究

唐文丽、刘开强*

四川省成都市新都区西南石油大学

本研究通过球磨和 2, 2, 6, 6-四甲基哌啶-1-氧自由基(TEMPO)氧化制备了具有不同物理和化学结构的纤维素纳米纤维(CNFs)。然后，采用微量热仪、扫描电镜(SEM)、电导率和显微 CT 等方法研究了 CNFs 与水泥浆体在液固转变阶段的相互作用机理。结果表明结合球磨和 TEMPO 氧化的方法，可有效制取表面含羧基官能团的纤维素纳米纤维，且当氧化剂 NaClO 浓度为 2 mmol/g、氧化 2h 时，纳米纤维表面羧基含量为 0.0856 mmol/g，且纳米纤维的羧基含量随 NaClO 浓度和氧化时间增加而增加。基于水化速率和电导率结果，虽羧基改性的纤维素纳米纤维会降低水泥水化速率，将水泥水化放热峰延后 0.5~2.3h，但含纳米纤维水泥浆液-固相转变阶段的电导率下降速率由 2.805 mS/(cm h)增至 3.543~5.142 mS/(cm h)。固-液两相水泥浆的导电能力主要由孔溶液提供，其电导率降低的主要原因是，水化加速期大量水化产物形成使固相组分的微结构由“分散颗粒”发展为“凝胶网架”，降低水泥浆孔溶液的连通性。结合 Zeta 电位结果，纳米纤维混入水泥浆中，可通过吸附、桥接的方式为早期水化产物的形核和生长提供位置，调控水泥浆的微观结构，加快水泥浆从液固相转变速率。该研究成果为防窜水泥浆体系设计提供新思路。

A05-20

熔融金属/盐催化体系在甲烷裂解制碳材料中的协同机制研究

张瑞阳*

西南石油大学

熔融金属法甲烷裂解技术作为近年来新兴的制氢技术，有效地解决了传统甲烷热裂解或催化裂解高能耗、低转化率以及催化剂失活等问题，避免了甲烷蒸汽重整制氢工艺高碳排放。在制氢的同时还能生产出具有附加值的碳产品，因而受到各方广泛关注。当前，熔融金属甲烷裂解技术研究主要集中在早期的实验阶段，尽管相关金属催化材料研究已取得了阶段性进展，但裂解反应温度普遍较高，原料转化率依然较低，本文针对高温至中低温反应体系，系统研究了熔融金属及熔融盐催化剂在甲烷裂解反应中的催化行为与产物调控规律。通过多组分催化剂设计、反应动力学分析和碳产物表征，揭示了熔融介质对甲烷转化路径的关键作用。研究表明，高温环境下，Cu/Bi 盐融体系在甲烷/氩气体系中展现浓度依赖性活性，且碳产物以厚层石墨和炭黑为主。引入 Cu/In 盐融体系后，产物出现多形貌碳协同生成现象，逐步出现颗粒、片层碳及管状碳共存，且碳产物密度显著降低，表现出定向诱导多维度碳生长的潜力。中低温环境下需突破活性位点缺失瓶颈，尽管单一金属难以活化 C-H 键，但是多元合金（Cu-Bi-Sn、Ni-Mo-Sn 等）却显示出较高的活性，未来可聚焦于非贵金属三元合金设计及载体化多相熔融介质修饰，调控碳材料形貌，使得生成的碳产品向高纯度、高附加值碳材料转变，最终形成低熔点、高活性、低成本、低金属污染的液相介质。

A05-21

Tailoring an abnormal gradient with nano-dislocation networks via hybrid laser-quenching/USR: A breakthrough in wear resistance of steelLei Lei^{1,2}, Shaohu Liu³

1 School of Physics and Optoelectronic Engineering, Yangtze University

2 State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University

3 School of Mechanical Engineering, Yangtze University

Dynamic sealing interfaces of petroleum industry plug valves suffer severe wear-induced failure under extreme conditions. Traditional carburization demands urgent innovation due to interfacial brittleness, multi-step pollution, and lack of automation. This study introduced a Laser Quenching-Ultrasonic Surface Rolling Process (LQ-USRP) hybrid technique, innovatively fabricating a multiscale strengthened layer on AISI 4140 steel characterized by synergistic "anomalous grain gradient-nano dislocation engineering" features. While LQ builds an 800 μm deep hardened layer, thermal boundary effects induce an anomalous grain gradient (surface martensite: 2.74 μm vs. subsurface: 1.58 μm). USRP successfully reverses this defect through high-frequency dynamic strain, implanting a high-density nano-dislocation cell network within the coarse-grained martensite. Synergized with carbon supersaturation solid solution effects, this achieves a breakthrough surface nanohardness exceeding 10 GPa, challenging the classical "coarse-grain softening" paradigm. The 74.4% wear reduction originates from a triple synergistic protection mechanism: (1) Ultra-High Strength Barrier Effect: Nano-dislocation cell pinning coupled with carbon-supersaturated martensite constrains plastic deformation depth to the sub-micron depths, suppressing material loss at its origin; (2) Gradient-Supported Tribo-Oxidation: The graded hard substrate supports the in-situ formation of a stable oxide film, reducing the friction coefficient and preventing direct metallic contact. (3) Wear-Adaptive Strengthening: Wear stress triggers dynamic response (dislocation-cell-catalyzed martensite nanonization and stress-induced ω phase transformation), establishing a self-reinforcing cycle of "damage \rightarrow nanonization/phase transformation \rightarrow hardening". These mechanisms achieve profound coupling through "pre-engineered gradient-hard substrate-supported oxide formation-dynamic adaptive response". This work advances theoretical understanding of non-equilibrium structural evolution under multi-field coupling while delivering an adaptive, transformative, low-environmental-impact surface strengthening solution for petroleum valves and critical engineering components.

Keywords: Laser-ultrasonic hybrid strengthening; Anomalous grain gradient; Nano-dislocation engineering;

Wear-adaptive strengthening.

A05-22

调控金属-氧键提高 $\text{Ba}(\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1})_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$ 氧电极性能

李凯*

西安石油大学

质子传导可逆固态氧化物电池 (P-RSOCs) 能够实现电能和绿氢的相互转换。然而, 低温下空气电极缓慢的氧还原反应 (ORR) 和氧析出反应 (OER) 的动力学严重制约了 P-RSOCs 的大规模应用。本文通过在 $\text{BaCo}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (BCFZY) 晶格中掺入 5% 的 Zn, 形成 $\text{Ba}(\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1})_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$ (BCFZYZ), 以构建高效耐用的 P-RSOC 空气电极。Zn 掺杂能够有效削弱 B 位金属离子与氧离子之间的库仑力, 从而显著增加氧空位浓度和质子缺陷浓度。实验结果表明, Zn 掺杂不仅显著促进了氧空位的生成和水合过程, 还大幅提升了氧/质子表面交换速率和体相扩散速率, 进而显著加速了 ORR 和 OER 动力学。BCFZYZ 电极表现出较低的极化电阻和反应活化能 ($E_a = 1.198 \text{ eV}$)。采用 BCFZYZ 电极的 P-RSOC 在 $650 \text{ }^\circ\text{C}$ 下展现出优异的双功能特性: 燃料电池模式下, 峰值功率密度达到 946 mW cm^{-2} ; 电解水模式, 在 1.3 V 工作电压的电流密度高达 1175 mA cm^{-2} 。此外, 基于 BCFZYZ 的全电池在 120 小时内保持电压稳定, 并在 100 小时循环测试中展现出卓越的可逆性和稳定性。本研究为提升 P-RSOC 电化学性能提供了一种有效的设计策略。

A05-23

天然气催化转化利用材料

曹玥晗

西南石油大学

加快推进天然气及相关资源、能源转化, 实现绿色、低碳生产液体燃料和化学品, 是实现“碳中和”的重要途径。本报告探讨了天然气绿色催化转化利用材料的创新研究与实践, 旨在为构建清洁、高效的能源系统提供理论和技术支撑。报告概述了天然气作为最清洁的化石能源在能源结构转型中的重要地位, 重点介绍了报告人及所在团队在天然气绿色催化转化利用材料方面的最新研究进展, 包括催化材料活性位点的作用机制、催化材料的设计原理、材料的催化转化性能及其在天然气转化中的应用案例。...

仅发表论文

A05-PO01

Research and Application of Annulus Protection Fluid for Gas Storage Caverns

Junlin Liu*

Petroleum Engineering Research Institute of Qinghai Oilfield Company, China Petroleum & Chemical Corporation (CNPC)

To meet the well integrity requirements of old wells and newly commissioned wells in a certain gas storage cavern, the development of a low-temperature and low-corrosion annulus protection fluid system based on clear water was carried out for the first time. Using on-site clear water as the base fluid, systematic analyses were conducted on the ionic composition of the clear water base, physical and chemical properties of pipe materials, and corrosion factors. Based on these analyses, chemical agents were optimized, and a low-temperature corrosion inhibitor formula was successfully developed. Performance evaluation shows that the corrosion rate of this protection fluid system reaches 0.0188 mm/a , which is significantly lower than the standard requirement of 0.076 mm/a , and all indicators meet the production requirements. After verification through pilot experiments, it has been applied 54 times in the old wells of the gas storage cavern, effectively delaying casing corrosion and

ensuring the sealing performance of the annulus. This provides strong support for the safe construction and stable operation of the gas storage cavern, and has important reference significance for the development of annulus protection technologies in similar gas storage caverns.

A05-PO02

庆城油田页岩油压裂技术研究

韩振强*

辽河油田油气工艺研究院

我国页岩油资源丰富，在长庆油田鄂尔多斯盆地已探明出多个页岩油资源，具有非常大的勘探开发潜力，但勘探开发难度较大。本文将阐述页岩油储层改造和高效开发的意义，结合鄂尔多斯盆地长庆页岩油储层的特点，研究页岩油储层改造和高效开发技术，以便能够更好地形成一套适合中国海相页岩油的开采工艺和开发模式，实现我国页岩油的储层改造和高效开发。庆城油田页岩油储层低压、低脆性指数特征明显，是阻碍体积压裂后建立高效驱替渗流系统的重要因素，为此，研究了压裂和渗吸一体化体积压裂技术。建立了页岩油储层类型精细划分方法；利用油藏数值模拟方法，优化了压渗体积压裂技术关键参数。研究表明：I+II类储层改造段数占比 83.6%，产出占比 95.5%，为主要产能贡献段；III类储层产出占比仅 4.5%，对产能贡献有限，因此，应优先改造I+II类储层，选择性改造III类储层；I类和II类储层进液强度最优区间分别为 20~25m³/m 和 15~20m³/m。庆城油田 300 余口页岩油水平井应用了压渗一体化体积压裂技术，单井初期产油量由 9.6 t/d 提高至 18.0 t/d，单井 1 年累计产油量由 2380t 提高至 5256t，单井估计最终可采量由 1.8×10⁴t 提高至 2.6×10⁴t，取得了显著效果。该技术为庆城油田页岩油资源高效动用和效益开发奠定了基础，为其他同类非常规页岩油藏高效开发提供了技术借鉴。

A05-PO03

论文题目

冯大成*、黄茹阳

中国石油集团工程材料研究院有限公司

采用宏观形貌分析、无损探伤、化学成分分析、金相组织检验、力学性能测试及断口形貌分析等方法，对电动机主轴失效机制进行了系统研究。结果表明，主轴失效的主要原因是材料选择不当和热处理工艺欠佳导致的疲劳强度不足。同时，主轴与连接器之间的偏心配合形成台阶状结构，造成局部应力集中，在循环扭转载荷作用下萌生疲劳裂纹并持续扩展，最终导致主轴断裂失效。