

文章编号: 2097-1974(2025)03-0085-08

DOI: 10.7654/j.issn.2097-1974.20250312

# 长寿命高稳定性润滑脂性能研究

郑会<sup>1</sup>, 崔佩娟<sup>2</sup>, 黄玉平<sup>2</sup>, 郑再平<sup>2</sup>, 何懿峰<sup>1</sup>

(1. 中石化石油化工科学研究院有限公司, 北京, 100083; 2. 北京精密机电控制设备研究所, 北京, 100076)

**摘要:** 针对有贮存要求的润滑工况需求, 开发了长寿命高稳定性润滑脂, 并考察其理化性能、生物降解性、轴承寿命和流变学等性能。结果表明: 与现用商品润滑脂相比, 长寿命高稳定性润滑脂的钢网分油率更低、高温蒸发损失更小, 说明其具有更好的胶体安定性和挥发性; SRV 试验的磨斑直径更小, 轮毂轴承寿命和 FE9 寿命更长, 说明其具有更优的抗磨性能、润滑性能和氧化安定性; 28 天累计生物降解率为 1.82%, 远低于现用商品润滑脂的 29.19%, 说明其具有更好的贮存稳定性; 流变学试验表明其具有更好结构保持能力。研制的长寿命高稳定性润滑脂综合性能优良, 可用于有长期贮存要求且工况苛刻的长寿命应用环境。

**关键词:** 润滑脂; 长寿命; 高稳定性; 生物降解性; 流变性

**中图分类号:** TE626.4; V19

**文献标识码:** A

## Investigation on the Performance of Long-life and High-stability Lubricating Grease

ZHENG Hui<sup>1</sup>, CUI Peijuan<sup>2</sup>, HUANG Yuping<sup>2</sup>, ZHENG Zaiping<sup>2</sup>, HE Yifeng<sup>1</sup>

(1. SINOPEC Research Institute of Petroleum Processing Co., Ltd., Beijing, 100083;

2. Beijing Research Institute of Precise Mechatronic Controls, Beijing, 100076)

**Abstract:** A long-life and high-stability grease is developed to meet the demand of long-life lubrication condition with storage requirement. The physical and chemical properties, biodegradability, bearing life and rheology of the grease are studied. The results show that compared with the commercial grease, long-life and high-stability grease has lower evaporation loss at high temperature and lower oil separation ratio, which shows that it has better volatility and colloidal stability. The wear scar diameter of SRV test is smaller, and the life of wheel bearing and FE9 is longer, indicating that it has better anti-wear performance, lubrication performance and oxidation stability. The cumulative biodegradation rate in 28 days is 1.82%, which is much lower than 29.19% of the commercial grease. The rheological tests show that it has better structural stability. The developed long-life and high-stability grease has excellent comprehensive performance and can be used in the long-life application environment with long-term storage requirements and harsh working conditions.

**Keywords:** lubricating grease; long-life; high-stability; biodegradability; rheology

## 0 引言

润滑脂由于其独特的性能在国民经济各个行业中有着广泛的应用, 可满足设备的润滑、防护与密封<sup>[1]</sup>。随着机械工业的快速发展, 机械设备运行环境日益复杂, 使用温度越来越高, 运行速度越来越快, 负载量也不断增加, 对所用润滑脂的性能和使用寿命都提出了新的挑战<sup>[2-3]</sup>。

关于长寿命润滑脂, 国内外有相关报道<sup>[4-7]</sup>, 石俊峰等<sup>[8]</sup>对 4 种轮毂轴承润滑脂的流变性能、抗剪切性能、抗水性能和胶体安定性进行考察, 发现采用新型复合锂稠化剂制备的润滑脂综合性能优异, 能够为

轮毂轴承提供良好的润滑, 达到商用车行驶里程的润滑需求。赵军等<sup>[9]</sup>研制了一款旨在延长使用寿命并增强抗磨性的电机轴承润滑脂, 并对使用了 518 h 前后的润滑脂进行考察, 结果表明使用前后润滑脂整体性能变化不明显, 其氧化安定性和抗磨性能仍然较好。王顺顺等<sup>[10]</sup>使用复合稠化剂制备了一款旨在延长使用寿命同时具有低扭矩的轴承润滑脂, 可以为有该需求的密封轴承提供润滑。苗巧娜等<sup>[11]</sup>采用脂肪酸锂稠化复合基础油并加入多种添加剂制备了能够满足有低温、长寿命、低噪声等苛刻工况要求的密封轴承用润滑脂。郑会等<sup>[12]</sup>采用酰胺钠和全氟聚醚复合稠化剂制备了一

种长寿命低挥发润滑脂并进行性能评价。

目前的研究主要集中在润滑脂的使用寿命,但在实际工况中常常涉及长贮存过程,而且贮存场景下设备在全生命周期内不便进行润滑脂的添加和更换,这就要求润滑脂不仅有长使用寿命而且具有较高的贮存稳定性。润滑脂要具备长贮条件,各组分必须稳定,不易挥发,并且能够抵抗环境中微生物的降解,不易与环境因素发生物理化学作用。即各组分挥发性越小越好,生物惰性和化学惰性越大越好,受环境因素的影响越小越好。

为了进一步提升润滑脂的胶体安定性、寿命和贮存稳定性,同时为有贮存要求的长寿命苛刻工况提供润滑解决方案,本研究制备了长寿命高稳定性润滑脂,并考察了其理化性能、生物降解性和流变学性能。

## 1 试验

### 1.1 原料

基础油 PAO 8, 工业纯, 中国石化茂名石油化工有限公司产品, 100 °C 运动黏度 7.83 mm<sup>2</sup>/s, 40 °C 运动黏度 46.88 mm<sup>2</sup>/s, 黏度指数 136, 倾点 -63 °C, 闪点 253 °C。全氟聚醚基础油, 工业纯, 中国石化润滑油有限公司北京分公司产品, 100 °C 运动黏度 27.66 mm<sup>2</sup>/s, 40 °C 运动黏度 93.38 mm<sup>2</sup>/s, 黏度指数 326, 倾点小于 -75 °C。

聚四氟乙烯微粉, 南京天诗新材料科技有限公司产品, 平均粒径 5 μm, 比表面积 6.99 m<sup>2</sup>/g, 熔点 325 °C。十八胺、对苯二甲酸二甲酯、氢氧化钠、N,N-二甲基甲酰胺, 均为试验试剂, 阿拉丁生化科技股份有限公司产品。

### 1.2 润滑脂样品制备

酰胺钠稠化剂制备: 在 150 °C 条件下, 将对苯二甲酸二甲酯与十八胺置于 N,N-二甲基甲酰胺溶剂中回流 8 h, 加入氢氧化钠进行 4 h 皂化反应, 在蒸发除去溶剂之后, 将其洗涤、纯化、干燥, 以获得酰胺钠稠化剂。

酰胺钠润滑脂制备: 常温下, 在 2 000 mL 反应釜中加入 910 g 基础油 PAO 8 和 90 g 酰胺钠稠化剂, 搅拌均匀后缓慢升温, 在 210 °C 进行高温炼制 10 min, 冷却至室温, 三辊研磨机研磨 2 遍。

全氟聚醚润滑脂制备: 常温下, 在 1 000 mL 容器中加入 250 g 聚四氟乙烯微粉和 750 g 全氟醚基础油, 超声 30 min 后, 三辊研磨机研磨 2 遍。

长寿命高稳定性润滑脂制备: 按比例分别称取酰

胺钠润滑脂和全氟聚醚润滑脂, 将二者混合, 向混合物中加入抗氧化剂、防锈剂及极压抗磨剂, 并通过充分搅拌使其达到均匀状态, 用三辊研磨机研磨 2 遍。

### 1.3 分析方法

润滑脂的分析方法见表 1, 试验仪器见表 2。

表 1 润滑脂分析方法

Tab.1 Testing methods for grease

分析方法	分析方法名称
NB/SH/T 0324	润滑脂分油的测定 锥网法
GB/T 269	润滑脂锥入度测定法
GB/T 3498	润滑脂宽温度范围滴点测定法
GB/T 5018	润滑脂腐蚀性试验法
GB/T 7325	润滑脂和润滑油蒸发损失测定法
GB/T 7326 甲法	润滑脂铜片腐蚀试验法
SH/T 0109	润滑脂抗水淋性能测定法
SH/T 0325	润滑脂氧化安定性测定法
SH/T 0338	滚珠轴承润滑脂低温转矩测定法
SH/T 0721	润滑脂摩擦磨损性能的测定 高频线性振动试验机 (SRV)法
SH/T 0773	汽车轮毂轴承润滑脂寿命特性测定法

表 2 润滑脂测试仪器

Tab.2 Testing instruments for grease

仪器名称	生产厂家	型号
润滑脂锥入度测定仪	大连特安技术有限公司	TSY-6004
润滑脂宽温滴点测定仪	大连三鑫科技有限公司	SX-G3494
电热鼓风干燥箱	上海博迅医疗生物仪器股份有限公司	BGZ-140
宽温蒸发损失测定仪	美国科勒公司	K29300
润滑脂抗水淋测定仪	大连特安技术有限公司	DZY-2103
润滑脂低温转矩测定仪	美国科勒公司	K1885
氧化安定性测定仪	美国科勒公司	K10993
轮毂轴承寿命试验机	美国科勒公司	K18595
润滑脂寿命试验机	舍弗勒公司	FE9
摩擦磨损试验机	Optimal 公司	SRV-4
白光干涉仪	德国布鲁克公司	NPFLEX
旋转流变仪	安东帕公司	MCR-301

## 2 结果及讨论

### 2.1 理化性能

酰胺钠润滑脂、全氟聚醚润滑脂和长寿命高稳定性润滑脂(下简称新研脂)理化性能测试结果见表 3。由表 3 可知, 新研脂的 1/4 锥入度低于酰胺钠润滑脂和全氟聚醚润滑脂, 说明其稠度增大; 新研脂的滴点略高于酰胺钠润滑脂, 比全氟聚醚润滑脂高 118 °C; 新研脂钢网分油明显低于酰胺钠润滑脂和全氟聚醚润滑脂; 新研脂的磨斑直径也显著低于酰胺钠润滑脂和全氟聚醚润滑脂。说明新研脂比酰胺钠润滑脂和全氟聚醚润滑脂具有更好的稠度、高温性能、胶体安定性

和抗磨性能，这也说明酰胺钠润滑脂和全氟聚醚润滑脂具有协同增效作用。

表3 润滑脂的理化性能  
Tab.3 Physicochemical properties grease

项目	酰胺钠润滑脂	全氟聚醚润滑脂	新研脂	分析方法
1/4锥入度/(0.1 mm)	69	72	67	GB/T 269
滴点/°C	315	199	317	GB/T 3498
钢网分油率(100 °C, 30 h)/%	2.53	6.38	0.21	NB/SH/T 0324
磨斑直径/mm	0.58	1.20	0.48	SH/T 0204

表4 新研脂和酰胺钠商品脂的理化性能

Tab.4 Physicochemical properties of new grease and sodium acyla commercial grease

项目	新研脂	酰胺钠商品脂	分析方法
1/4锥入度/(0.1 mm)	67	63	GB/T 269
滴点/°C	317	317	GB/T 3498
钢网分油率(100 °C, 30 h)/%	0.21	1.97	NB/SH/T 0324
腐蚀(T <sub>2</sub> 铜片, 100 °C, 24 h)/级	1b	1b	GB/T 7326 甲法
防腐蚀性(52 °C, 48 h)/级	合格	合格	GB/T 5018
蒸发损失(99 °C, 22 h)/%	0.16	0.40	GB/T 7325
蒸发损失(177 °C, 22 h)/%	1.59	2.69	GB/T 7325
水淋流失量(38 °C, 1 h)/%	0.69	1.08	SH/T 0109
低温起动转矩(-30 °C)/(mN·m <sup>-1</sup> )	60.4	78.1	SH/T 0338
低温运转转矩(-30 °C)/(mN·m <sup>-1</sup> )	6.50	14.5	SH/T 0338
氧化安定性压力降(99 °C, 100 h)/kPa	9	15	SH/T 0325

2.2 摩擦磨损性能

按照标准方法SH/T 0721测试两种润滑脂的摩擦磨损性能，试验温度50 °C，负荷200 N，频率50 Hz，冲程振幅1.00 mm，持续时间2 h，新研脂的磨斑直径为0.59 mm，酰胺钠商品脂由于摩擦系数过大无法完成试验。

两种润滑脂试验过程中的摩擦系数见图1。从图1可以看出，酰胺钠商品脂在试验开始后，摩擦系数快速上升，最高至0.659，70 s试验停止，试验过程中新研脂的摩擦系数较为平稳。

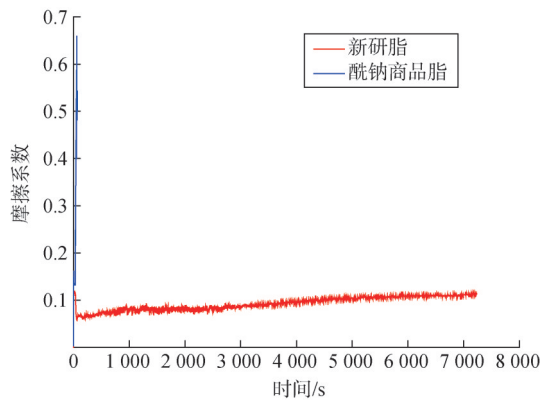


图1 润滑脂SRV试验摩擦系数结果

Fig.1 Friction coefficient results of SRV test of grease

新研脂和现用商品润滑脂（下简称酰胺钠商品脂）理化性能测试结果见表4。由表4可知，酰胺钠商品脂略稠于新研脂；二者滴点相当且均具有较好的防腐防锈性；同时，新研脂100 °C钢网分油率比酰胺钠商品润滑脂低89.34%，99 °C蒸发损失比酰胺钠商品脂低60%，177 °C蒸发损失比酰胺钠商品脂低40.89%，38 °C水淋流失量比酰胺钠商品脂低36.11%，-30 °C起动转矩比酰胺钠商品脂低22.66%，运转转矩比酰胺钠商品脂低55.17%，氧化安定性压力降比酰胺钠商品脂低40%，综上所述，新研脂的胶体安定性、耐高温性、低温性及抗氧化性均优于酰胺钠商品脂。

2.3 磨斑表面分析

利用白光干涉仪对两种润滑脂SRV试验后钢球的磨斑表面形貌进行观察，结果见图2。由图2可见，酰胺钠商品脂试验钢球的磨斑较大且磨痕较深，新研脂试验钢球的磨斑较小且磨痕也较浅。进一步计算新研脂和酰胺钠商品脂的磨损体积分别是3.9×10<sup>5</sup> μm<sup>3</sup>和1.5×10<sup>6</sup> μm<sup>3</sup>，说明新研脂的抗磨性能更优。

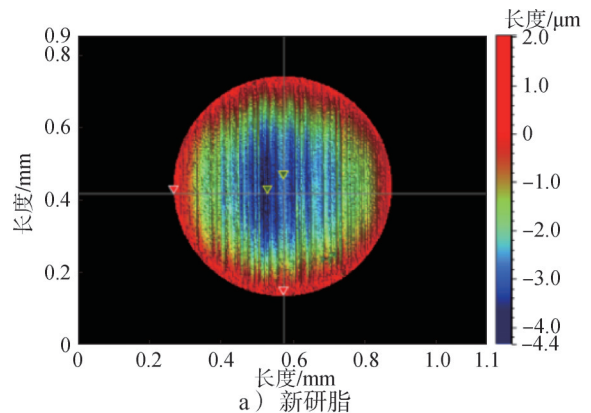
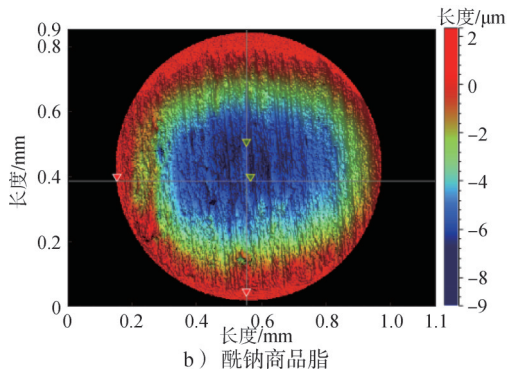


图2 两种润滑脂SRV试验后钢球的磨斑形貌

Fig.2 Wear spot morphology of steel balls after SRV test of two greases



续图2

## 2.4 寿命评价

润滑脂的使用寿命通常通过润滑脂在滚动轴承中的最长使用寿命来评价, 该性能直接关系到轴承的运行效能及使用寿命, 对一次性注油脂并长期运转设备尤为重要<sup>[13-14]</sup>。

### 2.4.1 轮毂轴承寿命考察

轮毂轴承寿命测试是评定润滑脂高温寿命特性直接且有效的方法。按照标准方法 SH/T 0773 测试新研脂和酰钠商品脂的轮毂轴承寿命, 试验结果见表5。从表5可以看出, 与酰钠商品脂相比, 新研脂寿命增加了61.6%, 具有更长的轮毂轴承寿命。

表5 润滑脂轮毂轴承寿命试验结果

Tab.5 Test results of grease hub bearing life

项目	新研脂	酰钠商品脂
轮毂轴承寿命/h	1 228	760

试验过程中电流变化趋势见图3, 两种润滑脂启动电流较高, 磨合阶段后电流趋于平稳。酰钠商品脂运行700 h时电流明显升高, 760 h电流超出断流值, 试验停止。新研脂运行680 h时电流有小幅度升高, 而后电流在小范围内波动, 运行至1 000 h时电流有小幅度升高, 直至试验停止。

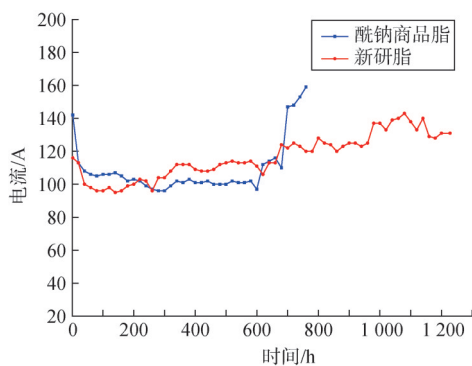


图3 润滑脂轮毂轴承寿命试验电流随时间的变化趋势

Fig.3 The changing trend of life test current with time for grease hub bearings

### 2.4.2 FE9 寿命考察

高温润滑脂须经台架试验验证其可靠性, 以确保使用该润滑脂的机械设备运行的稳定性。舍弗勒公司生产的FE9型滚动轴承润滑脂寿命试验机能够达到DIN 51821的试验要求, 而且该方法已被许多润滑脂产品规范所采纳<sup>[15]</sup>。FE9寿命试验机见图4, 该设备配有5个测试单元, 能够同时进行5组测试。新研脂和酰钠商品脂的试验结果见表6, 试验后轴承状态见图5。



图4 FE9寿命试验机

Fig.4 FE9 life testing machine

表6 润滑脂FE9寿命试验结果

Tab.6 Grease FE9 life test results

轴承号	寿命(160 °C)/h	
	酰钠商品脂	新研脂
1#	12	20
2#	4	21
3#	12	12
4#	5	18
5#	10	48



a) 新研脂

b) 酰钠商品脂

图5 FE9寿命试验后轴承

Fig.5 Bearing after FE9 life test

从表6可以看出, 酰钠商品脂轴承寿命最短4 h, 最长12 h; 新研脂寿命最短12 h, 最长48 h, 均远大于酰钠商品脂。按照GB/T 34987—2017第7.2章节计算新研脂和酰钠商品脂的 $F_{50}$ 寿命分别是25 h和8.5 h。

从图5可以看出，部分润滑脂并没有参与润滑，这可能是在运转初期，在高转速条件下，由于离心作用，部分润滑脂从轴承滚道内被“甩出”，在高载荷和高转速双重作用下，这部分润滑脂难以回到轨道内，这也是酰钠商品脂FE9寿命较短的原因。综上所述，新研脂比酰钠商品脂有更长的轴承寿命。

### 2.5 模拟加速考察

当润滑脂所处的工作环境温度上升时，其氧化速率会随之加快，一般认为环境温度每增加10℃，润滑脂的使用寿命减半。按照常温贮存最高温度为40℃，引入高温变量，当设定温度为140℃时，预计8.5 h高温烘烤相当于贮存1年。将两种润滑脂在140℃烘箱中高温烘烤8.5 h后进行锥入度和滴点测试，测试结果见表7。

表7 两种润滑脂加速试验测试数据  
Tab.7 Accelerated test data of two greases

类别	项目	1/4工作锥入度/ (0.1 mm)	滴点/℃
新研脂	烘烤前	66.9	317
	烘烤后(140℃,8.5 h)	66.2	318
酰钠商品脂	烘烤前	63.1	317
	烘烤后(140℃,8.5 h)	59.9	316

从表7可以看出，加速试验后，新研脂1/4工作锥入度变化率为-1.05%，滴点变化率为0.32%。加速试验后，酰钠商品脂1/4工作锥入度变化率显著大于新研脂，二者滴点变化率相当。

### 2.6 生物降解性试验

润滑脂要具备较长的贮存寿命，各组分需不易被微生物降解，测试两种润滑脂在有氧水环境中的固有生物降解率将有助于判断样品的生物降解性。

试验方法：OECD 化学品测试方法 No.302C 改进的 MITI 试验。

试验机构：上海化工院检测有限公司。

活性污泥接种物：接种物为采自上海各码头、污水处理厂、河流等的新鲜地表水、表土及活性污泥的混合物，试验开始前进行驯化37天，浓度为4 620 mg/L。

试验过程中，两种润滑脂的生化需氧量和生物降解率分别见图6和图7，28天累计生化需氧量和生物降解率见表8，生化需氧量为无量纲单位。

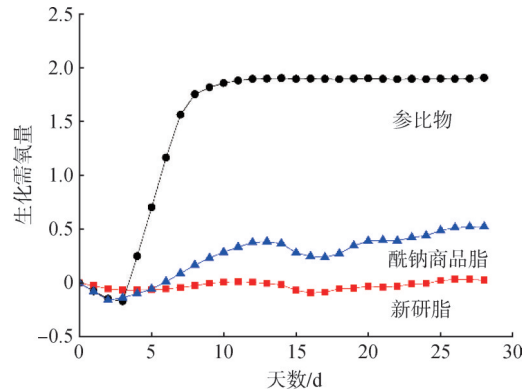


图6 润滑脂生化需氧量曲线

Fig.6 Biochemical oxygen demand curve of grease

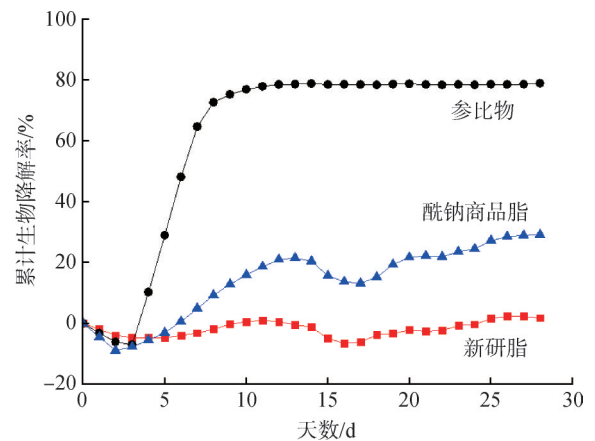


图7 润滑脂累计生物降解率曲线

Fig.7 Cumulative biodegradation rate curve of grease

表8 润滑脂28天生化需氧量和生物降解率

Tab.8 Biochemical oxygen demand and biodegradation rate of grease for 28 days

项目	新研脂	酰钠商品脂	参比物苯胺
生化需氧量	0.025	0.523	1.907
生物降解率/%	1.82	29.19	79.12

从上述图表可以看出，在氧水环境中，酰钠商品脂28天累计生物降解率为29.19%，新研脂28天累计生物降解率为1.82%，仅为酰钠商品脂累计生物降解率的6.24%，可推知新研脂具有更长的贮存寿命。

### 2.7 黏弹模量曲线

当受到外力作用时，润滑脂发生的变形和流动称为润滑脂的流变性。当外力作用较小时，剪切所产生的动能会转变为势能，此时弹性特性可以用储能模量( $G'$ )表示。当剪切作用逐渐增强，储能模量开始下降的点称为屈服点，它标志着线性黏弹区的结束，该点的剪切应力称为屈服应力( $\tau_y$ )。随着剪切作用的进一步增强，剪切动能超出弹性形变，润滑脂将产生不

可逆的形变且开始流动。此时润滑脂的黏性特性可以通过耗损模量 ( $G''$ ) 来衡量。 $G'$ 与 $G''$ 变化曲线的交点称为流动点,对应的剪切应力称为流动应力 ( $\tau_f$ )<sup>[16]</sup>。

用流变仪对两种润滑脂在多种温度条件下的储能模量 ( $G'$ ) 和耗损模量 ( $G''$ ) 进行测量,结果见图8。由图8可知,两种润滑脂模量曲线有相似的变化趋势,即润滑脂模量随应变的增大而减小;新研脂在-30 °C时和25 °C时具有更宽的线性黏弹区,160 °C时,两种润滑脂均没有明显的线性黏弹区。

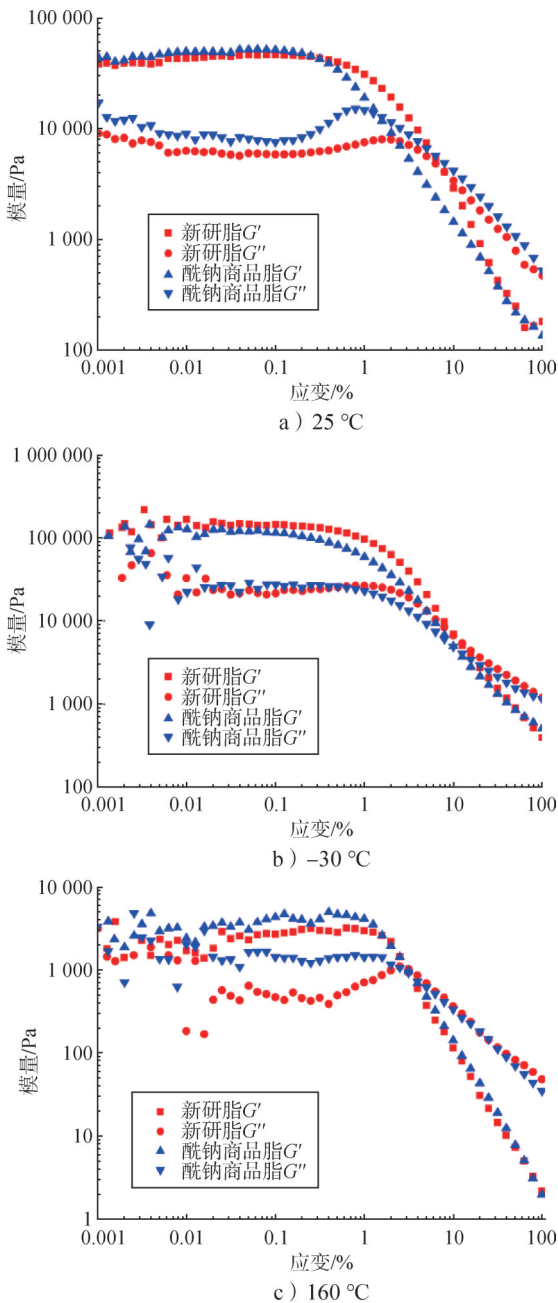


图8 不同恒温条件下润滑脂的黏弹模量曲线

Fig.8 Viscoelastic modulus curve of grease under different constant temperature conditions

两种润滑脂的黏弹性特征参数见表9,可以看出,两种润滑脂在不同温度下的损耗系数 ( $\tan\delta$ ) 都很小,说明在测试过程中润滑脂的弹性占据主导地位。

表9 不同温度两种润滑脂的黏弹性特征参数

Tab.9 Viscoelastic characteristic parameters of two greases at different temperatures

项目	新研脂		酞钠商品脂	
	-30 °C	25 °C	-30 °C	25 °C
屈服点	$G'/Pa$	139 000	45 100	114 000
	$G''/Pa$	23 400	5 930	27 400
	应变/%	0.159	0.199	0.099 8
	$\tau_f/Pa$	224	90.6	117
流动点	$G'$ 或 $G''/Pa$	6 670	4 050	4 910
	应变/%	10	7.94	10
	$\tau_f/Pa$	961	454	697
	流动转变指数( $\tau_f/\tau_y$ )	4.29	5.01	5.96
$\tan \delta$	0.168	0.131	0.240	0.157

### 2.8 恒温低速剪切下的黏度曲线

为了模拟润滑脂在低速运转条件下的工作状态,使用流变仪对不同恒定温度下,剪切速率从0.01 s<sup>-1</sup>增至100 s<sup>-1</sup>过程中润滑脂黏度的变化情况进行了测试,结果见图9。两种润滑脂的起始黏度和终末黏度见表10。

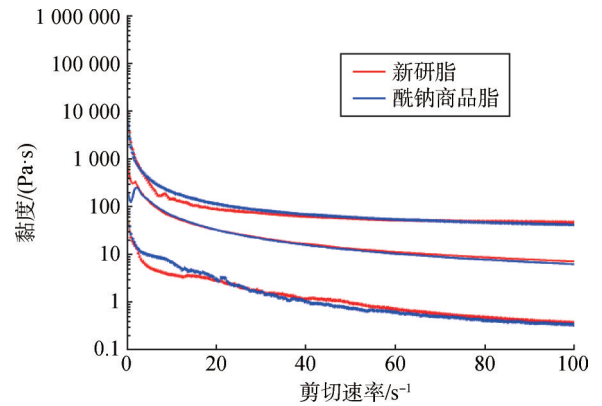


图9 低速剪切下润滑脂的黏度曲线

Fig.9 Viscosity curves of grease at low shear rate

表10 恒温低速剪切前后润滑脂的黏度

Tab.10 Viscosity of grease before and after constant temperature low-speed shearing

项目	新研脂	酞钠商品脂
-30 °C起始黏度/(Pa·s)	120 000	118 000
-30 °C终末黏度/(Pa·s)	47	42.7
25 °C起始黏度/(Pa·s)	806	774
25 °C终末黏度/(Pa·s)	7.12	6.29
160 °C起始黏度/(Pa·s)	549	1 790
160 °C终末黏度/(Pa·s)	0.369	0.336

从表 10 可以看出，两种润滑脂的黏度随剪切时间增长而表现出的趋势大致相同，均表现为随剪切速率的增大而逐渐降低，并最终趋于稳定。 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，新研脂的起始黏度比酰钠商品脂大 1.67%，终末黏度比酰钠商品脂大 9.15%。 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，新研脂的起始黏度比酰钠商品脂大 3.97%，终末黏度比酰钠商品脂大 11.66%。 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，新研脂的起始黏度比酰钠商品脂小 226.05%，终末黏度比酰钠商品脂大 8.94%。说明在低速运转条件下新研脂比酰钠商品脂具有更好的结构保持能力。

### 2.9 触变环

当受到外力剪切时，润滑脂分子会经历定向排列、伸展和解缠绕过程，导致润滑脂黏度随着剪切速率增大而逐渐减小。当剪切速率降低时，分子定向等现象会迅速调整并逐渐恢复，但其恢复速度一般慢于破坏速度，得到润滑脂的触变环曲线。润滑脂触变环面积的大小与其剪切后结构恢复能力成反比，即面积越大，结构恢复能力越弱，面积越小，则结构恢复能力越强。

各温度下样品触变环面积见表 11。两种润滑脂在不同温度下的触变环曲线见图 10 至图 12。在恒定温度下，剪切速率从  $0.01\text{ s}^{-1}$  升至  $4\ 000\text{ s}^{-1}$ ，并以  $4\ 000\text{ s}^{-1}$  的剪切速率持续剪切，然后再从  $4\ 000\text{ s}^{-1}$  逐渐减小到  $0.01\text{ s}^{-1}$ ，分别测定润滑脂的黏度。

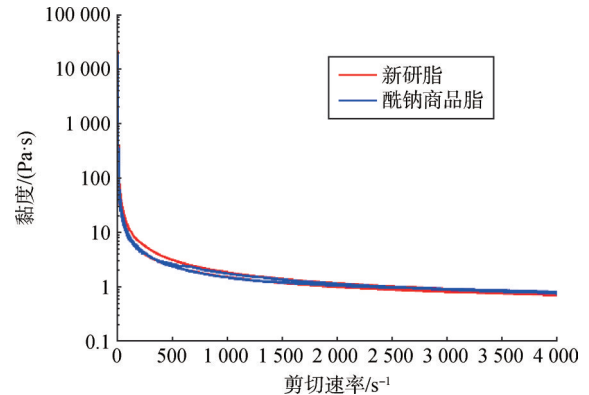


图 11  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  润滑脂触变环

Fig.11 Thixotropic ring of grease at  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

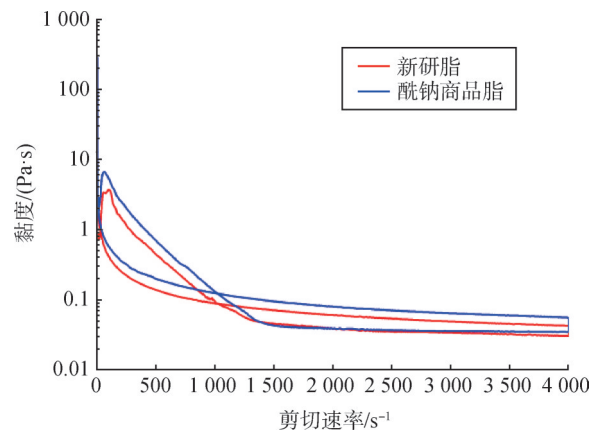


图 12  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  润滑脂触变环

Fig.12 Thixotropic ring of grease at  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$

表 11 各温度下样品触变环面积

Tab.11 Thixotropic ring area of samples at various temperatures

项目	$-30\text{ }^{\circ}\text{C}$		$25\text{ }^{\circ}\text{C}$		$160\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	新研脂	酰钠商品脂	新研脂	酰钠商品脂	新研脂	酰钠商品脂
触变环曲线积分值/Pa	278 684	278 953	1 240	3 887	561	1 025

从表 11 可以看出， $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时两种润滑脂触变环面积相当， $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，新研脂触变环面积比酰钠商品脂小 68.10%， $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，新研脂触变环面积比酰钠商品脂小 45.27%，说明在高速运转条件下新研脂比酰钠商品脂具有更好的结构保持能力。

### 3 结论

针对长寿命有贮存要求的润滑工况需求，开发了长寿命高稳定性润滑脂，研究了长寿命高稳定性润滑脂和现用商品润滑脂的理化性能、轴承寿命、生物降解性和流变学等性能，得到相关结论如下：

a) 与现用商品润滑脂相比，长寿命高稳定性润

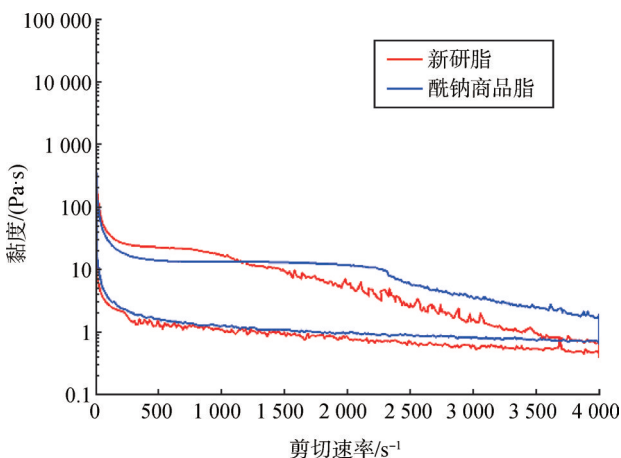


图 10  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  润滑脂触变环

Fig.10 Thixotropic ring of grease at  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

滑脂理化性能更优, 具有更好的胶体安定性、抗水淋性、氧化安定性和更低的蒸发损失。

b) 模拟加速试验后长寿命高稳定性润滑脂的稠度变化明显小于现用商品润滑脂。生物降解性试验后, 长寿命高稳定性润滑脂28天累计生物降解率为1.82%, 现用商品润滑脂28天累计生物降解率为29.19%, 说明在贮存过程中长寿命高稳定性润滑脂更稳定。

c) 流变学试验表明, 与现用商品润滑脂相比, 长寿命高稳定性润滑脂具有更宽的线性黏弹区和更好的结构保持能力。

d) SRV和寿命试验表明, 与现用商品润滑脂相比, 长寿命高稳定性润滑脂具有更好的抗磨性能和更长的使用寿命。

综上可知, 长寿命高稳定性润滑脂综合性能优良, 可以为有贮存要求的长寿命工况提供润滑。

### 参 考 文 献

- [1] 朱廷彬. 润滑脂技术大全[M]. 第3版. 北京: 中国石化出版社, 2005.  
ZHU Tingbin. Technical encyclopedia of lubricating grease[M]. Third Edition. Beijing: Sinopec Press, 2005.
- [2] 姜单单, 辛虎, 李杏涛. 全氟聚醚空间润滑剂[J]. 合成润滑材料, 2021, 48(3): 37-40.  
JIANG Dandan, XIN Hu, LI Xingtao. Perfluoropolyethers space lubricants[J]. Synthetic Lubricants, 2021, 48(3): 37-40.
- [3] 李程志, 何懿峰. 酰胺类润滑脂研究进展[J]. 石油炼制与化工, 2021, 52(8): 122-128.  
LI Chengzhi, HE Yifeng. Research progress of amide grease[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2021, 52(8): 122-128.
- [4] MIKAMI, HIDENOBU. Long life technologies of greases for rolling bearings[J]. Journal of Japanese Society of Tribologists, 2015, 60(5): 308-313.
- [5] CHEN Chen, LIU Yujie, TANG Qiong, et al. Tribological and rheological performance of lithium grease with poly- $\alpha$ -olefin and alkyl-tetralin as base oils[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2023, 56(4): 180-192.
- [6] NADASDI T T. Next generation long-life polyurea greases[J]. NLGI Spokesman, 2001, 65(8): 8-14.
- [7] MIKAMI H. Long life technology for lubricating grease[J]. Journal of Japanese Society of Tribologists, 2008, 53(4): 248-253.
- [8] 石俊峰, 刘建龙, 李兴林, 等. 长寿命轮毂轴承润滑脂的性能分析[J]. 轴承, 2018(7): 31-36.  
SHI Junfeng, LIU Jianlong, LI Xinglin, et al. Analysis on performances of long Life grease for hub bearings[J]. Bearing, 2018(7): 31-36.
- [9] 赵军, 刘婕, 王美川, 等. 长寿命抗磨电机轴承润滑脂的使用性能考察[J]. 石油炼制与化工, 2020, 51(12): 82-84.

- ZHAO Jun, LIU Jie, WANG Meichuan, et al. Investigation on service of long-life anti wear motor bearing grease[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2020, 51(12): 82-84.
- [10] 王顺顺, 孙毅, 刘建龙. 一种低扭矩长寿命轴承润滑脂的研制[J]. 石油商技, 2017, 35(3): 20-25.  
WANG Shunshun, SUN Yi, LIU Jianlong. Development of a low torque and long-life bearing grease[J]. Petroleum Products Application Research, 2017, 35(3): 20-25.
- [11] 苗巧娜, 谷红宽. 一种低温长寿命静音轴承润滑脂的研制[J]. 石油商技, 2015, 33(2): 34-38.  
MIAO Qiaona, GU Hongkuan. Development of a low-temperature long-life silent bearing grease[J]. Petroleum Products Application Research, 2015, 33(2): 34-38.
- [12] 郑会, 周巍峰, 崔佩娟, 等. 长寿命低挥发性润滑脂的性能研究[J]. 石油炼制与化工, 2024, 55(7): 111-118.  
ZHENG Hui, ZHOU Weifeng, CUI Peijuan, et al. Investigation on the performance of long-life and low-volatile lubricating grease[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2024, 55(7): 111-118.
- [13] 王庆日, 赵丽, 高宇航, 等. 锂基润滑脂FE9寿命的影响因素探讨[J]. 轴承, 2021(3): 59-61.  
WANG Qingri, ZHAO Li, GAO Yuhang, et al. Discussion on influencing factors of life for lithium grease FE9[J]. Bearing, 2021 (3): 59-61.
- [14] 颜敏杰, 谢惊春, 安旭鹏. 轴承润滑脂寿命试验方法概述[J]. 石油商技, 2012, 30(5): 29-31.  
XIE Minjie, XIE Jingchun, AN Xupeng. Overview of life test methods of bearing grease[J]. Petroleum Products Application Research, 2012, 30(5): 29-31.
- [15] 颜敏杰, 颜嘉伟, 安旭鹏. 国外润滑脂评价手段的比较[J]. 合成润滑材料, 2013, 40(4): 26-28.  
XIE Minjie, XIE Jiawei, AN Xupeng. Comparisons of abroad greases evaluating means[J]. Synthetic Lubricants, 2013, 40(4): 26-28.
- [16] 何懿峰, 刘邦明, 陈晓伟, 等. 低挥发润滑脂流变性能研究[J]. 石油炼制与化工, 2020, 51(9): 1-6.  
HE Yifeng, LIU Bangming, CHEN Xiaowei, et al. Study on rheology property of low-volatile grease[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2020, 51(9): 1-6.

### 作 者 简 介

- 郑会(1987—), 女, 副研究员, 主要研究方向为润滑油脂及相关添加剂开发。
- 崔佩娟(1983—), 女, 研究员, 主要研究方向为机电传动机构设计与螺旋传动界面复杂工作特性。
- 黄玉平(1967—), 男, 研究员, 主要研究方向为机电传动系统性能调控与稳定性评估。
- 郑再平(1979—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为机电传动系统控制方法。
- 何懿峰(1979—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为润滑油脂及相关添加剂开发。