

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.04.005

抽油杆扶正块材料性能对比实验

胡文笑¹, 贾志新¹, 江少波², 王长俊²

(1. 北京科技大学机械工程学院, 北京 100083; 2. 胜利油田临盘采油厂, 山东德州 251507)

摘要: 为提高抽油杆扶正块材料的使用寿命、降低其井下磨损, 在目前常用的扶正块材料——30% 玻璃纤维 (GF) 增强尼龙 (PA)66 (PA66/30%GF) 中分别添加固体润滑剂二硫化钼 (MoS_2)、石墨、聚四氟乙烯 (PTFE), 或将基体树脂 PA66 分别替换成聚苯硫醚 (PPS) 和聚对苯二甲酰对苯二胺 (PPA), 通过熔融共混制备了 5 种新材料, 将这 5 种新材料与原材料 PA66/30%GF 进行硬度、冲击强度等性能对比实验, 同时模拟抽油井的实际工况设计并自制了往复摩擦磨损试验机, 测试了这 6 种材料的耐磨性。结果表明, 添加固体润滑剂后材料在 $-20, 25^\circ\text{C}$ 和 90°C 下的冲击强度总体上提升明显; 添加 MoS_2 的材料耐磨性最佳, 其次为添加石墨的材料, 而添加 PTFE 的材料耐磨性未有改善。更换基体为 PPS 和 PPA 后, 材料在各温度下的硬度均有所提升, 但冲击强度下降明显, 只有以 PPA 为基体的材料在 90°C 下的冲击强度接近原材料; 以 PPA 为基体的材料耐磨性明显提升, 而以 PPS 为基体的材料与之相反。综合来看, 添加 MoS_2 的材料是最佳的扶正块材料, 可满足一般油井的应用要求, 添加石墨的材料为次选材料, 在 3 km 高温深井段可选择以 PPA 为基体的材料作为替补材料。

关键词: 扶正块材料; 尼龙 66; 聚苯硫醚; 聚对苯二甲酰对苯二胺; 二硫化钼; 石墨; 性能; 摩擦磨损

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)04-0022-06

Comparison Experiment on Performances of Sucker Rod Centralizer Material

Hu Wenxiao¹, Jia Zhixin¹, Jiang Shaobo², Wang Changjun²

(1. School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. Linpan of Shengli Oilfield, Dezhou 251507, China)

Abstract: In order to improve the service life of sucker rod centralizer material and reduce the downhole wear, solid lubricants including molybdenum disulfide (MoS_2), graphite and polytetrafluoroethylene (PTFE) were added to the commonly used centralizer material, 30% glass fiber (GF) reinforced nylon (PA) 66 (PA66 / 30%GF) separately, or the resin matrix PA66 was replaced with polyphenylenesulfide (PPS) and poly(p-phenylene terephthalamide) (PPA) respectively, the five new materials were prepared by melt blending. The comparison tests of hardness, impact strength etc. were done for these five new materials and raw material PA66 / 30%GF. At the same time, based on simulating the practical conditions of the pumping wells, a self-made reciprocating friction wear tester was designed and created for testing the wear resistance of the six materials. The results show that the impact strength of the material at $-20, 25^\circ\text{C}$ and 90°C are obviously improved generally after adding the solid lubricants. The wear resistance of the material added with MoS_2 is the best, followed by the material added by graphite, while that of the material added by PTFE do not improve. After replacing the matrix with PPS and PPA, the hardness of the materials at each temperature are improved but the impact strength are reduced obviously, except that the impact strength of the material with PPA matrix at 90°C is close to that of the raw material. The wear resistance of the material with PPS matrix decreases significantly, while that the material with PPA matrix is significantly improved. Taken together, the material added by MoS_2 is the best centralizer material and can meet the application requirements of general oil wells, the material added by graphite can be used as alternative material, in the 3 km deep high-temperature well section, the material with PPA matrix can be selected as the substitute material.

Keywords: centralizer material; polyamide 66; polyphenylenesulfide; poly(p-phenylene terephthalamide); molybdenum disulfide; graphite; property; friction and wear

通讯作者: 贾志新, 博士后, 教授, 主要研究方向为智能制造装备及其可靠性技术、工程材料及难加工材料加工技术、特种加工等 E-mail: jiazhixin1997@163.com

收稿日期: 2018-01-14

引用格式: 胡文笑, 贾志新, 江少波, 等. 抽油杆扶正块材料性能对比实验 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(4):22-27.

Hu Wenxiao, Jia Zhixin, Jiang Shaobo, et al. Comparison experiment on performances of sucker rod centralizer material[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(4):22-27.

随着油田的不断开发发展,油层开采越来越深,抽油井也随之越来越深,抽油杆及油管破坏失效问题已成为制约采油生产的重要因素之一^[1],它不但直接影响采油井的生产效率,使大量油管、抽油杆直接报废,同时也是抽机井维护作业工作量居高不下的主要因素^[2]。现在大多数油田采用注塑杆,即在抽油杆上注射尼龙(PA)扶正块,这一方面避免了抽油杆与油管壁的直接接触,并且PA扶正块硬度低于油管壁,在摩擦过程中PA扶正块首先受损,这样不仅保护了抽油杆,也保护了油管壁,另一方面PA扶正块价格低,生产制造容易^[3-4]。

PA66具有较高的拉伸强度和冲击强度,与其它塑料相比,抗腐和抗磨性能卓越,而玻璃纤维(GF)具有质轻、拉伸强度高、耐磨损、耐腐蚀等优点,用GF增强PA66可以明显改善PA66的性能,因此,GF增强PA66广泛应用于各个行业^[5]。现阶段扶正块材料主要为质量分数为30%的GF增强PA66(PA66/30%GF)复合材料,但扶正块工作环境恶劣,长期在高温,腐蚀的原油环境中经受摩擦冲击,常常因为单边快速磨损和高温老化变脆而失效,失去扶正作用,最终使抽油杆偏磨导致躺井。因此为了降低扶正块的失效率,延长扶正块的工作寿命,扶正块材料的改进显得尤为必要。为此,笔者主要采用两种办法:一种是更换树脂基体,选择一种更适合抽油环境的树脂材料;另一种是在PA66中加入固体润滑剂,增强耐磨性。

在基体选择方面,聚苯硫醚(PPS)由于本身特殊的刚性分子结构,具有超高的力学性能,拉伸强度明显高于通用塑料,在空气中430~460℃以上才开始分解,热稳定性好,耐高温,并且还具有优良的耐腐蚀性、耐老化性和阻燃性,是六大特种工程塑料之一,所以PPS优越的性能非常符合抽油井高温、腐蚀、高度摩擦的环境^[6];聚对苯二甲酰对苯二胺(PPA)号称高温PA,在热、电、物理及耐腐蚀方面都表现良好,综合性能优异,最重要的是在高温环境下工作时,能保持高强度和高刚度,并且尺寸精度和稳定性极佳,同时易成型加工,物理性能性受吸水率影响也比较小,因此被认为是未来以塑代钢的最佳选择^[7]。抽油井深井井底温度高达90℃以上,且腐蚀性较大,PPA材料良好的特性非常适合用作扶正块材料。

固体润滑剂具有优良的自润滑性能,作为添加剂与聚合物基体复合后可提高聚合物的摩擦性能

从而广泛用于摩擦领域。加入固体润滑剂后,在摩擦工作中,固体润滑剂常常在聚合物表面形成转移膜,大大提高了摩擦润滑性,从而提高了材料的耐磨性能。常用的固体润滑剂主要有石墨、二硫化钼(MoS₂)和聚四氟乙稀(PTFE)粉末^[8-10]。

关于抽油杆扶正块材料,近几年也有人进行过相关研究^[11-14],但将填充改性及树脂基体替换综合考虑以筛选出更适用于扶正块材料的研究应用还较少。笔者在PA66/30%GF复合材料中分别添加MoS₂、石墨和PTFE,制成3种新的复合材料,同时将PA66/30%GF复合材料中的PA66基体替换为PPA或PPS,制成两种新材料,将这5种新材料与原PA66/30%GF复合材料进行性能对比实验,其中模拟抽油杆实际工况自制了往复式摩擦磨损试验机,对这6种材料在实际工况下的耐磨性进行了测试,并测试了与实际工况联系最为密切的冲击性能、硬度及密度等性能,旨在通过贴近实际的性能测试优选出性能更好的扶正块材料,为实际生产提供借鉴。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA66:A3WG7,德国巴斯夫集团;

PPS:1130T6,日本宝理公司;

PPA:PXM-03072,美国阿莫科公司;

PTFE:JTF-305,浙江衢州万能达科技有限公司;

高纯度MoS₂:粉体,48 μm,上海在邦化工有限公司;

石墨:299,粉体,75 μm,青岛市平度富康石墨加工厂;

无碱GF:市售。

1.2 主要仪器及设备

双螺杆挤出机:TH-35型,科倍隆科亚南京机械有限公司;

撬装式集成注塑一体机:HL11800B型,东营市众磊石油技术有限公司;

冲击试验机:JB-50型,济南东测试验机技术有限公司;

邵氏D硬度计:数显D型,上海艾测电子科技有限公司;

往复式摩擦磨损试验机:自制;

扫描电子显微镜(SEM):ZEISS EVO®18型,卡尔·蔡司股份公司;

电子天平:精度0.001 g,上海瑶新电子科技有限公司;

限公司。

1.3 试样制备

按表 1 材料配方称取相应原材料,在挤出机上造粒,以 PA66 为基体的复合材料挤出温度控制在 250℃左右,以 PPS 或 PPA 为基体的复合材料挤出温度控制在 350℃左右。将制得的粒料加入注塑机制备标准试样,以 PA66 为基体的复合材料和以 PPS 或 PPA 为基体的复合材料注塑工艺如下:干燥温度分别为 90,160℃,干燥时间分别为 2,6 h,建议水分含量 ≤ 0.2%;料筒后部温度分别为 270,310℃,料筒中部温度分别为 280,320℃,料筒前部温度分别为 290,330℃,喷嘴温度分别为 300,340℃,模具温度分别为 80,160℃。

表 1 扶正块材料配方

原 料	材料代号					
	材料 A	材料 B	材料 C	材料 D	材料 E	材料 F
树脂基体	PA66	PA66	PA66	PP66	PPS	PPA
增强纤维	无碱 GF	无碱 GF	无碱 GF	无碱 GF	无碱 GF	无碱 GF
润滑剂		MoS ₂	石墨	PTFE		

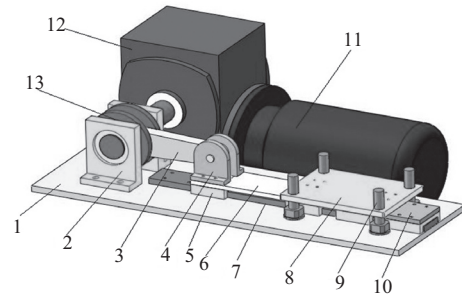
注:树脂基体与增强纤维的质量比为 70/30,润滑剂用量为树脂基体与增强纤维总质量的 5% 左右。

1.4 测试与表征

(1) 耐磨性测试。

扶正块在抽油管内做往复运动,与管壁接触摩擦,长时间后会导致磨损失效。目前现行标准所采用的摩擦磨损试验机与扶正块的实际工况并不相同。为了贴近扶正块实际工况下的摩擦磨损现象,设计并自制了往复式摩擦磨损试验机,如图 1 所示,同时根据 GB/T 3960-2016《塑料滑动摩擦磨损试验方法》对扶正块的摩擦磨损试验方案进行修改设计。试验机的工作原理是电机 11 输出转速,传递到减速箱 12,经由减速装置,将转速转化为转矩,输出到曲柄轴 13 上;曲柄轴 13 连接连杆 3,连杆 3 连接滑块 5,通过曲柄滑块机构将旋转运动转化为往复直线运动;承重板 8 用于承受加载重力,将重物放置在承重板上,靠重力压紧试样和摩擦片 10,试样与摩擦片之间相对滑动,产生摩擦。试样固定位置在承重板的底部,承重板底部设计有固定试样的卡槽用于放置试样并通过螺栓拧紧卡条来紧固试样。简要的磨损试验过程如下:首先称量相同体积试样的质量 m_1 ,然后在承重板上放置重物,使其对试样施加 600 N 载荷,然后在自制的往复式摩擦磨损试验机上试验 4 h 后称量试样磨损后的质量 m_2 ,利用式 (1) 计算磨损率。

$$\text{磨损率} = [(m_1 - m_2) / m_2] \times 100\% \quad (1)$$



1—基础底板;2—轴承座;3—连杆;4—铰支座;5—滑块;
6—连接板;7—导轨;8—承重板;9—立柱;10—摩擦片;
11—电机;12—减速箱;13—曲柄轴

图 1 往复式摩擦磨损试验机示意图

(2) 其它性能测试。

采用精度为 0.001 g 的电子天平测试试样的密度,试样尺寸为 10 mm × 12 mm × 150 mm;

邵氏 D 硬度按 GB/T 2411-2008 测试;

冲击强度按 GB/T 1451-2005 测试。

(3) SEM 表征。

先对试样的摩擦磨损表面进行清洗、干燥,然后对表面进行喷金处理,采用 SEM 对其形貌进行观察,拍照,扫描电压为 20 kV。

2 结果与讨论

2.1 密度分析

表 2 为 6 种扶正块材料的密度。由表 2 可知,材料 B、材料 C 及材料 D 的密度均比材料 A 大,这是因为,一方面 MoS₂、石墨和 PTFE 的密度均比 PA66 大,另一方面,固体润滑剂和 PA66 的结合可能较为紧密,材料中的空洞或空隙较少,材料较为密实,从而可以避免腐蚀并液渗入材料内部。PTFE 的密度较 MoS₂ 和石墨粉低,但材料 D 的密度高于材料 B 和材料 C,这可能是由于 PA66 和 PTFE 均为高分子材料,所以结合更紧密的缘故。可以看出,添加固体润滑剂后材料密度有所增大,但提高幅度只有 2% 左右,对抽油杆负重影响不是很大,可以忽略,所以单就密度而言,添加固体润滑剂的方法是可行的。

表 2 6 种扶正块材料的密度 g/cm^3

项目	材料代号					
	材料 A	材料 B	材料 C	材料 D	材料 E	材料 F
密度	1.373	1.392	1.387	1.406	1.614	1.388

替换基体后材料 E 和材料 F 的密度均比材料 A 大,但材料 F 密度的增加幅度很小,而材料 E 密度增加幅度较大,达到 17.55%,这表明同体积的扶正块,将 PA66 替换为 PPA 后,对抽油杆的负重大幅增加。

2.2 冲击强度分析

冲击强度的实际意义在于揭示材料的变脆倾向,是反映材料面对冲击负荷的抵抗能力,而抽油杆处于复杂的工作系统中,受到的冲击负荷较大,因而扶正块的冲击强度显得尤为重要。表3为6种扶正块材料在低温(-20℃)、常温(25℃)和高温(90℃)下的冲击强度。

表3 6种扶正块材料在不同温度下的冲击强度 kJ/m²

材料代号	温度/℃		
	-20	25	90
材料A	40.73	49.52	81.32
材料B	48.83	65.44	81.42
材料C	45.96	64.09	90.12
材料D	41.03	61.70	97.18
材料E	20.03	27.31	32.17
材料F	29.54	32.69	80.12

由表3看出,在低温-20℃时,添加固体润滑剂后,相对于材料A,材料B、材料C和材料D的冲击强度均有所提高,而替换树脂基体后材料的冲击强度均明显变小,这可能与树脂基体本身的特性有关。但一般扶正块工作环境都是在井下,工作过程中的温度都高于常温,井底更是高达90℃,只有在室外冬季搬运过程中可能处在温度较低的环境,但室外搬运过程对冲击强度的要求不高,所以低温下的冲击强度并非重要性能指标。

在常温环境下,添加固体润滑剂后,相对材料A,其它材料的冲击强度都明显提升。而替换树脂基体后,材料的冲击强度均明显降低。

在高温90℃下,添加固体润滑剂后,材料B的冲击强度提升幅度极小,近似等于材料A,而其它两种材料的冲击强度均有所提升。替换树脂基体后,材料E的冲击强度下降明显,而材料F的冲击强度仅略低于材料A,与材料A相差不大。

可以看出,添加固体润滑剂后,总体上材料在各温度下的冲击强度均有所提升。这是因为一方面,固体润滑剂中的无机填料在PA66基体中起成核剂功能,使材料的结晶细化、均匀;另一方面,材料受到外力冲击时,无机填料颗粒可能会引发银纹,消耗能量,从而在一定程度上提高了材料的冲击强度;PTFE本身具有良好的冲击强度,和PA66相容性良好,也在一定程度上提高了材料的冲击强度,在低温和常温下,其提高的幅度最小,但在高温下,其提高幅度最大。

由于扶正块长时间工作环境是高于常温的环境,而添加固体润滑剂后材料的常温韧性明显提高,并且高温的冲击韧性也相对提高或不低于原材料,

这易于生产中的控制监测,因而比较适合油田的使用环境。将PA66替换为PPS后,材料在各温度下的冲击强度均较低,而替换为PPA后,材料在高温下的冲击强度非常接近原材料,但其它温度下的冲击强度明显低于原材料,所以单就韧性而言,特殊情况可在3 km以下深井高温段将其作为替补材料。

2.3 硬度分析

硬度是衡量材料抵抗外界物体入侵能力的指标。扶正块工作环境中,原油中含有很多杂质,超强的硬度可以抵抗泥沙对扶正块的磨蚀。表4为6种扶正块材料在低温(-20℃)、常温(25℃)和高温(90℃)下的硬度。

表4 6种扶正块材料在不同温度下的硬度(邵氏D)

材料代号	温度/℃		
	-20	25	90
材料A	89.60	82.00	80.92
材料B	85.47	80.96	76.72
材料C	86.07	81.44	78.84
材料D	85.47	85.80	79.76
材料E	91.07	88.52	89.44
材料F	92.33	92.56	91.28

由表4看出,在低温-20℃时,添加固体润滑剂后的3种材料硬度相对材料A都有所下降,但幅度不大;替换基体后的两种材料硬度都有所增高,但幅度也较小。

常温时,添加MoS₂和石墨的材料硬度相对材料A略微下降,添加PTFE的材料硬度相对材料有所升高,但幅度较小;替换基体后的两种材料的硬度明显提升。

高温90℃时,添加固体润滑剂的3种材料硬度相对原材料都有所下降,下降幅度较小;替换基体后的两种材料硬度明显升高。

总体来说,材料B、材料C、材料D各个温度的硬度和材料A相比变化均不是很大,说明固体润滑剂对材料硬度的影响很小;由于PPA和PPS本身硬度高,改变基体后,材料E和材料F的硬度在各个温度上均明显高于材料A。

2.4 耐磨性分析

表5为6种扶正块材料在自制的摩擦磨损试验机上摩擦4 h后的磨损情况。由表5看出,在3种固体润滑剂中,PTFE使材料的磨损率略有上升,而MoS₂和石墨使材料的磨损率明显下降,其中添加MoS₂的材料磨损率最低,为0.076%,与材料A相比降低了71.4%,其次为添加石墨的材料,其磨损率相比材料A降低了46.2%。磨损率的大幅降低在实

际生产中意义重大,其可成倍减少扶正块数量及维修下井的工作量。在树脂基体上采用 PPS,材料的磨损率相对材料 A 成倍增加,而采用 PPA 后,材料的磨损率降低非常明显,为 0.068%,与材料 A 相比降低了 74.4%。综合密度、冲击强度、硬度和磨损率,可以看出,材料 B 的密度、高温 90℃时的冲击强度以及各温度下的硬度均与材料 A 相差不大,而常温时的冲击强度和耐磨性提升显著;材料 C 耐磨性也有较大提升,但不如材料 B 明显,除高温 90℃时的冲击强度有所提升外,其它性能与材料 B 相差不大;材料 F 的耐磨性提升也非常显著,且其各温度下的硬度均明显高于材料 A 且高温 90℃时的冲击强度非常接近材料 A,但其常温下的韧性较低;材料 D 的耐磨性一般,而材料 E 的耐磨性较材料 A 下降严重,且密度大幅增加。由此可以认为材料 B 是应用于扶正块的最佳材料,次选材料 C,而材料 F 可应用 3 km 以上深井井底的高温环境。

表 5 6 种扶正块材料的磨损情况

材料代号	磨损前质量 /g	磨损后质量 /g	磨损质量 /g	磨损率 /%
材料 A	13.171	13.136	0.035	0.266%
材料 B	13.095	13.085	0.010	0.076%
材料 C	13.261	13.242	0.019	0.143%
材料 D	13.418	13.380	0.038	0.283%
材料 E	15.594	15.506	0.088	0.564%
材料 F	13.290	13.281	0.009	0.068%

图 2 为 6 种扶正块材料摩擦磨损表面的 SEM 照片。由图 2 看出,材料 B 和材料 C 明显比材料 A 磨损小,材料 A 中的 GF 出现明显磨损,说明纤维在起抗磨损作用;而材料 B 和材料 C 表面比较平坦,与材料 A 相比未出现严重磨损。这可能是因为石墨和 MoS_2 增强了材料的强度,并且 PA66 大分子受到石墨和 MoS_2 的限制作用,之间不易发生脱离,所以,石墨和 MoS_2 填充 PA66 的磨损率较低;另外,石墨和 MoS_2 本身是良好的润滑剂,在摩擦过程中,石墨和 MoS_2 很容易吸附在对磨面上,形成一层转移膜,减少磨损。对于材料 D,可以看到其磨损表面凹凸不平,这可能是由于 PTFE 本身强度低于 PA66,减弱了材料的强度,摩擦过程中在 PTFE 处出现裂痕,加速磨损。对于材料 E,虽然 PPS 的硬度较高,但从图 2 可明显看出其表面出现磨损沟壑,说明以 PPS 为基体的材料强度在抽油杆这种往复摩擦环境中可能产生大幅降低的现象,从而使材料的磨损率提升明显。而材料 F 的表面平整,纤维也未见明显破损,说明以 PPA 为基体的材料本身耐磨性较好,并且和纤维结合紧密,故其磨损率明显降低。

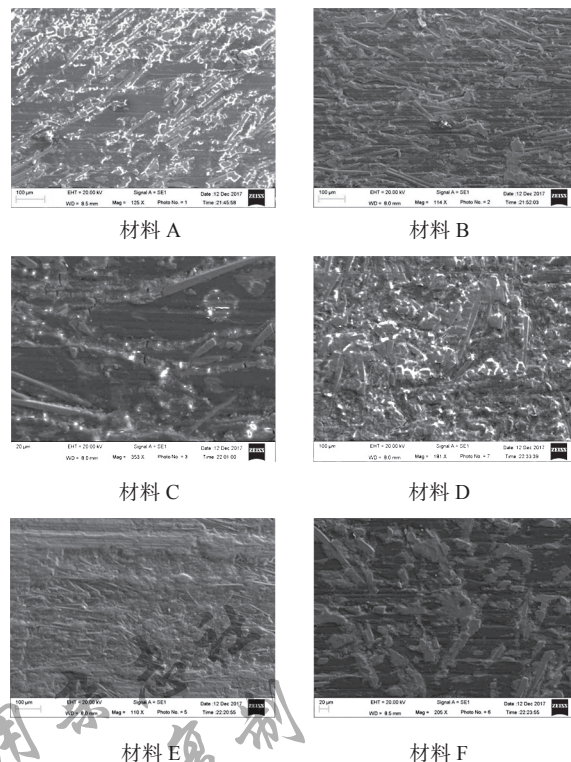


图 2 6 种扶正块材料摩擦磨损表面的 SEM 照片

3 结论

(1) 向 PA66 / 30%GF 复合材料中加入固体润滑剂 MoS_2 、石墨和 PTFE 或将 PA66 替换为 PPS 和 PPA,均会使材料的密度增大,其中以 PPS 为基体的材料密度增幅最大,其它材料的密度与 PA66 / 30%GF 复合材料相比变化不大。

(2) 添加固体润滑剂后,材料在低温、常温和高温下的冲击强度总体上均有所提升;将 PA66 替换为 PPS 后,材料在各温度下的冲击强度降低明显,替换成 PPA 后,材料在高温下的冲击强度基本不变,但其它温度下的冲击强度下降明显。

(3) 添加固体润滑剂后,材料在各温度下的硬度变化不大,比较稳定;将 PA66 替换为 PPS 和 PPA 后,材料在各温度下的硬度均有所提升。

(4) 添加 MoS_2 的材料和以 PPA 为基体的材料的耐磨性最好,其次为添加石墨的材料。

(5) 综合考虑,添加 MoS_2 的材料为综合性能最好的扶正块材料,可满足一般油井的应用要求;添加石墨的材料可作为次选材料;在 3 km 以上深井井底高温段可将基体为 PPA 的材料作为替补材料。

参考文献

- [1] 张铁汉. 基于磨损寿命预测的定向井抽油杆扶正器配置优化设计 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016.

Zhang Tiehan. Configuration optimization design of directional

- well rod string centralizers based on the prediction of wear life[D]. Qinhuangdao:Yanshan University, 2016.
- [2] 黄茜. 高强度抽油杆防腐防脱器研究与应用[J]. 工程技术: 全文版, 2017(2):00200.
- Huang Xi. Research and application of high-strength sucker rod corrosion protection device[J]. Engineering Technology: Full-text Version, 2017(2):00200.
- [3] 史辛欣. 抽油机旋转综合保护器的应用分析[J]. 化学工程与装备, 2016(4):85-87.
- Shi Xinxin. Application analysis of pumping unit rotary comprehensive protector[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2016(4):85-87.
- [4] 谢东睿. 聚驱抽油机井扶正器的优化布置[J]. 化学工程与装备, 2016(4):123-125.
- Xie Dongrui. Optimized arrangement of centralizer for poly flooding pumping unit[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2016(4):123-125.
- [5] 宋天骄, 孟红霞, 田淑芳. 碳纤维连续抽油杆的研究与应用分析[J]. 内蒙古石油化工, 2015(17):16-20.
- Song Tianjiao, Men Hongxia, Tian Shufang. Study and application analysis of the carbon fiber continuous sucker rod[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2015(17):16-20.
- [6] 袁霞, 孙义红, 安玉良, 等. 碳纳米管/碳纤维增强聚苯硫醚复合材料研究[J]. 化学与粘合, 2015, 37(1):11-14.
- Yuan Xia, Sun Yihong, An Yuliang, et al. Preparation and properties of polyphenylene sulfide composite enhanced by CNTs / carbon fibers[J]. Chemistry and Bonding, 2015, 37(1):11-14.
- [7] 孟成铭, 郭建鹏, 杨涛, 等. 连续长碳纤维增强 PPA 的制备及性能的研究[J]. 塑料工业, 2013, 41(9):32-34.
- Meng Chengming, Guo Jianpeng, Yang Tao, et al. Study on preparation and properties of LFPPA composites[J]. China Plastics Industry, 2013, 41(9):32-34.
- [8] 郑梯和, 谭玉宝, 刘爱学, 等. 固体润滑 MC 尼龙的制备与性能研究[J]. 塑料工业, 2016, 44(6):26-29.
- Zhen Tihe, Tan Yubao, Liu Aixue, et al. Preparation and properties of solid lubricating MC nylon[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(6):26-29.
- [9] 谢莹. 固体润滑剂改性 PA6 / GF 复合材料力学与摩擦学性能研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- Xie Ying. Study on mechanical and tribological properties of glass fiber-reinforced polyamide 6 composites filled with solid lubricants[D]. Changsha: Central South University, 2013.
- [10] 李跃文. 玻璃纤维增强尼龙 66 改性研究进展[J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2017(3):96-100.
- Li Yuewen. Advance of improvement research of glass fiber reinforced polyamide 66[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2017(3):96-100.
- [11] 芦会来, 李隽. 抽油杆扶正器的应用及分析[J]. 油气井测试, 2003, 12(5):61-63.
- Lu Huilai, Li Jun. Application and analysis of sucker rod centralizer[J]. Well Testing, 2003, 12(5):61-63.
- [12] 郭庆时, 刘丹丹. 抽油杆扶正器专用材料的研究进展[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(12):81-83.
- Guo Qingshi, Liu Dandan. Research progress on special material of sucker rod centralizer[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(12):81-83.
- [13] 王晓刚, 范伟光, 李红今, 等. 混杂纤维增强 PA66 复合材料扶正器的研究[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(1):30-34.
- Wang Xiaogang, Fan Weiguang, Li Hongjin, et al. Investigation on hybrid fiber reinforced PA66 composite centralizer[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(1):30-34.
- [14] 杨海洋, 陆逢, 王全兵, 等. 固体润滑剂对玻纤 PA66 复合材料摩擦磨损性能的影响[J]. 塑料工业, 2016, 44(10):100-103.
- Yang Haiyang, Lu Feng, Wang Quanbing, et al. Friction and wear properties of PA66 composites filled with different solid lubricants[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(10):100-103.

优惠销售中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合 2000 ~ 2017 年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会, 共编辑、出版了 18 本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术, 以及文献综述、评论等, 突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》, 以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘, 现以优惠价格 (含邮费) 销售, 欢迎订阅。

1. 2004 ~ 2017 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》, 优惠价 400 元 / 套。

2. 2000 ~ 2017 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘, 优惠价 300 元 / 盘。本光盘除收录 2000 ~ 2017 年 18 本《论文集》的全部内容外, 还包括约 3 400 人次的会议代表通讯录。

邮局汇款

收款地址: 山东济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位: 《工程塑料应用》杂志社

邮 编: 250031

电 话: (0531)85878223 85878057 85878278

传 真: (0531)85947355

银行汇款

户 名: 山东非金属材料研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

帐 号: 1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>