

# 高效钻杆润滑脂研制及其在川藏铁路勘察中的应用

熊正强<sup>1,2</sup>, 陶士先<sup>2</sup>, 张德龙<sup>2</sup>, 邹志飞<sup>2</sup>

(1.中国地质科学院,北京 100037; 2.北京探矿工程研究所,北京 100083)

**摘要:**针对地质钻探深孔或水平孔失返性漏失时钻具磨损及钻进效率低的问题,以白油、钠基稠化剂与粘结性材料等为原料,采用一步法研制了一种高效钻杆润滑脂,并在川藏铁路昌都段定测勘察水平孔现场应用中取得显著效果,有力支撑服务了川藏铁路大位移水平孔施工。室内评价及现场应用结果表明,该润滑脂具有耐低温(-16℃)、易涂抹、良好的粘附性与润滑性以及高性价比特点,能长时间保护钻具,而且其润滑效果与国外同类产品相当。

**关键词:**高效钻杆润滑脂;地质钻探;水平孔;失返性漏失地层;川藏铁路勘察

**中图分类号:**P634;U212.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)11-0007-05

## Development of high-efficiency grease for drill pipes and its application in Sichuan - Tibet Railway investigation

XIONG Zhengqiang<sup>1,2</sup>, TAO Shixian<sup>2</sup>, ZHANG Delong<sup>2</sup>, ZOU Zhifei<sup>2</sup>

(1.Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2.Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In view of drilling string wear and low drilling efficiency at total loss of return in deep or horizontal geological drilling, a kind of high-efficiency drill pipe grease was developed with the one-step method with white oil, sodium-based thickener and adhesive material as raw materials, and has achieved remarkable results from field use in horizontal holes along the Changdu section of Sichuan - Tibet Railway, which strongly supported the construction of large-displacement horizontal holes on the Sichuan - Tibet Railway. Indoor evaluation and application results showed that the grease has low-temperature resistance (-16℃), easy application, good adhesion and lubricity, and high cost-performance ratio. It can protect drilling tools for a long time, and its lubricating effect can compares to that of foreign products.

**Key words:** high-efficiency drill pipe grease; geological drilling; horizontal hole; return loss formation; Sichuan - Tibet Railway investigation

## 0 引言

在地质调查钻探过程中,当钻遇失返性漏失地层时,由于冲洗液不能返出孔口而无法润滑钻具,导致钻具磨损严重,易发生钻杆折断<sup>[1-2]</sup>;钻机扭矩增大,动力消耗大,影响施工效率。上述问题在深孔及水平孔施工中更为突出,使得钻具使用寿命显著降低,增加事故风险,并制约施工进度。因此,需要使用钻杆润滑脂。

润滑脂是一种稠厚的油脂状半固体,主要由基础油、稠化剂和添加剂等组成。其制备工艺主要分为3步<sup>[3-6]</sup>:(1)皂化过程,脂肪酸和碱在约120℃温度下经皂化反应合成出稠化剂;(2)高温炼制过程,加入基础油,在180~220℃高温反应一段时间,降温再加入抗氧化剂、防锈剂、抗磨剂等添加剂;(3)后处理过程,室温下经三辊研磨机均化研磨成脂。总的来说,现有润滑脂制备工艺较为繁琐。

**收稿日期:**2020-09-30 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.11.002

**基金项目:**中国地质调查局地质调查项目“张家口地区地热资源调查评价(北京探矿工程研究所)”(编号:DD20201102)

**作者简介:**熊正强,男,汉族,1985年生,工程师,地质工程专业,博士在读,从事钻井液材料研究与应用工作,北京市海淀区学院路29号探工楼,xiongzq1012@126.com。

**通信作者:**陶士先,女,汉族,1964年生,教授级高级工程师,从事钻井液材料研究与应用工作,北京市海淀区学院路29号探工楼,13641250082@139.com。

**引用格式:**熊正强,陶士先,张德龙,等.高效钻杆润滑脂研制及其在川藏铁路勘察中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):7-11.  
XIONG Zhengqiang, TAO Shixian, ZHANG Delong, et al. Development of high-efficiency grease for drill pipes and its application in Sichuan - Tibet Railway investigation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(11):7-11.

20世纪80—90年代起,广东有色地质队等单位开展了钻杆润滑脂研制与应用,主要以废机油或沥青、松香酸钠、石蜡和石墨等为原料合成润滑脂<sup>[7-10]</sup>,并在钻探施工中取得了良好的效果。目前,国内研发或生产的润滑脂主要是用在机械的摩擦部件或轴承等中,如钙基润滑脂<sup>[11-13]</sup>、锂基润滑脂<sup>[14-15]</sup>、膨润土润滑脂<sup>[16-17]</sup>、聚脲润滑脂等<sup>[18-19]</sup>,而钻杆润滑脂的产品基本没有。国外有多家公司生产钻杆润滑脂,如瑞典 Pseniu 公司 P.GREASE-5051 产品、美国 Drill Rod Grease 产品与加拿大 VULTREX™ 产品,但价格太昂贵(超过 1600 元/16 kg)。

川藏铁路定测勘察施工过程中,钻遇大量失返性漏失地层,面临钻具磨损及动力消耗大等问题。特别是大位移水平孔,由于无垂深、满眼(钻具与孔壁间隙很小)等原因,钻具磨损与动力消耗问题更加突出。针对昌都段某定测勘察水平孔失返性漏失时钻具磨损及钻进效率低的问题,为克服高原低温环境、满足润滑脂易涂抹、吸附性强、润滑性好、价格低等使用要求,本文通过优选润滑脂组分及改变合成工艺,研制了一种低成本的高效钻杆润滑脂,并在现场应用中取得了显著效果,有力支撑服务了川藏铁路大位移水平孔施工。

## 1 高效钻杆润滑脂研制

高效钻杆润滑脂主要以白油、钠基稠化剂、粘结性材料、弹性石墨、减摩剂等组成。

### 1.1 钻杆润滑脂性能要求

为满足深孔及水平孔钻探施工要求,钻杆润滑脂应具备以下性能:

(1)强粘附性和抗水冲刷性能。能长久吸附在钻杆表面,保护钻具。这就要求选用具有强粘结性的材料和吸附性的添加剂。

(2)良好的润滑性。吸附在钻具表面形成保护性油膜,减少摩擦阻力。这就要求选用合适的基础油和润滑添加剂。

(3)合适的稠度,有利于钻杆涂抹。这就要求控制基础油与稠化剂的比例。

(4)能耐低温,适用温度范围广,满足不同地区施工要求。这就要求选用低凝固点的基础油及其他添加剂。

(5)价格低,性价比高。

## 1.2 高效钻杆润滑脂合成

采用一步法合成高效钻杆润滑脂(见图1),制得的润滑脂为黑色较粘稠的油状液体,耐低温可至 $-16^{\circ}\text{C}$ ,而且具有良好的粘附性、润滑性和抗水冲刷性能。

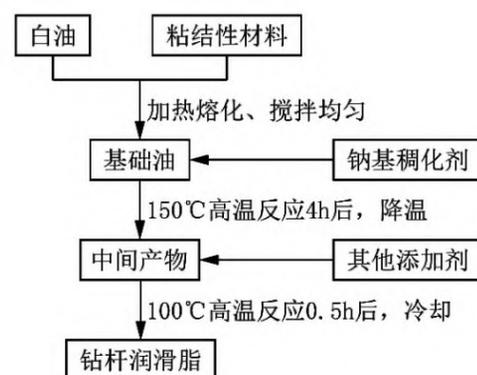


图1 高效钻杆润滑脂合成工艺流程

Fig.1 High-efficiency drill pipe grease synthesis process flow chart

## 1.3 高效钻杆润滑脂性能评价

目前润滑脂性能评价项目主要有锥入度、滴点、滤网分油率、蒸发度、抗腐蚀性能等。由于不具备上述实验条件,根据川藏铁路水平孔施工单位对钻杆润滑脂提出的要求,结合现有实验设备,本文测试评价了钻杆润滑脂的润滑性能、稠度与抗水冲刷性能。

### 1.3.1 润滑性能

采用 OFI 极压润滑仪评价钻杆润滑脂的润滑性能,将不同加量的润滑脂分散在白油中,再测试含润滑脂白油的润滑系数,结果见图2。

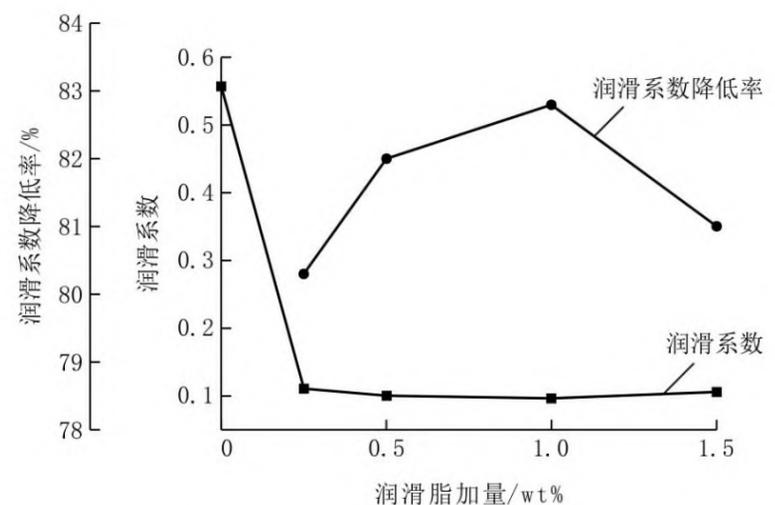


图2 含不同加量润滑脂的白油润滑系数测试结果

Fig.2 White oil lubrication coefficients with different amounts of grease

从图2可看出,单独的白油润滑系数为0.56,说明其润滑效果较差。当在白油中加入0.25wt%钻杆润滑脂后,其润滑系数为0.11,润滑系数降低率达到80.3%。随着白油中钻杆润滑脂用量继续增加,其润滑系数先降低后略微增加,润滑系数降低

率在 81%~82.8% 小范围变化。这充分说明研制的钻杆润滑脂具有优良的润滑性能。

### 1.3.2 稠度

采用 FANN50 SL 测试常温下钻杆润滑脂的稠度,其结果见图 3。

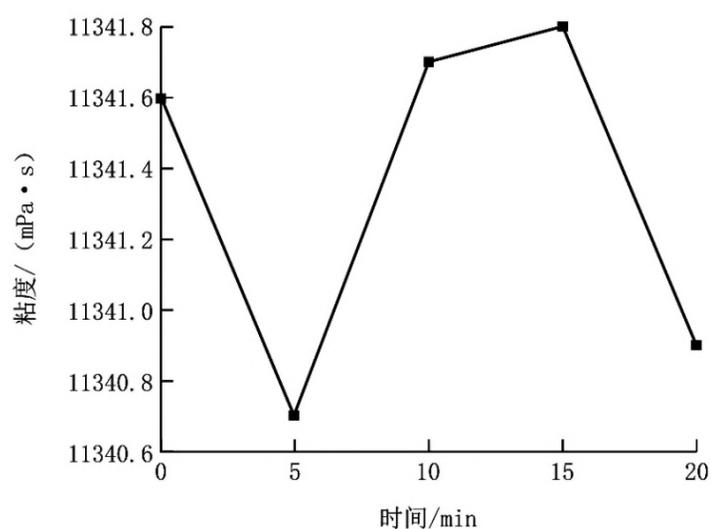


图 3 不同时间下钻杆润滑脂的粘度测试结果

Fig.3 Viscosity of drill pipe grease at different times

从图 3 可看出,研制的钻杆润滑脂粘度大,达到 11.34 Pa·s。随着测试时间的延长,高剪切速率 ( $1021\text{ s}^{-1}$ ) 下润滑脂的粘度基本保持不变。这说明润滑脂具有较高的稠度,且基本不受剪切速率的影响。

### 1.3.3 抗水性

将润滑脂涂抹在高温高压滤失仪用金属盖上,定性评价润滑脂在金属表面的吸附性及抗水性能,具体结果见图 4。

从图 4 可看出,研制的润滑脂粘附性强,易涂抹在金属表面。而且,经自来水冲刷 10 s 后,金属表面的润滑脂损失少,这说明润滑脂具有良好的抗水冲刷性能,不易受冲洗液冲刷的影响。

### 1.3.4 耐低温评价

将钻杆润滑脂放入  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度环境下,观察润滑脂稠度变化,结果见图 5。

从图 5 可看出,润滑脂在  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度放置 7 h 后变成膏状,但未凝固。说明研制的钻杆润滑脂耐



(a) 未涂抹润滑脂的状态

(b) 涂抹润滑脂后的状态

(c) 涂抹润滑脂经自来水冲刷后的状态

图 4 润滑脂粘附性及抗水性定性评价

Fig.4 Qualitative evaluation of grease adhesion and water resistance



(a) 常温下润滑脂的状态

(b)  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度放置 7 h 后润滑脂的状态

图 5 不同温度下钻杆润滑脂的状态

Fig.5 State of drill pipe grease at different temperatures

低温可至 $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 2 高效钻杆润滑脂现场应用

在川藏铁路昌都段定测地质勘察某无垂深水平孔进行了钻杆润滑脂现场应用,该润滑脂克服了高原低温环境下润滑脂硬化导致涂抹困难、附着性差等问题,能长时间附着在钻具表面保护钻具,其润滑效果与现场使用的国外同类产品相当,但价格不及国外同类产品的 $1/4$ 。

### 2.1 钻孔基本情况

设计孔深 $900\text{ m}$ ,钻孔直径 $98\text{ mm}$ ,钻杆直径 $91\text{ mm}$ 。主要采用绳索取心钻进工艺。

### 2.2 地层情况

主要为花岗岩地层,地层较为复杂。 $0\sim 350\text{ m}$ 孔段地层破碎严重; $350\sim 760\text{ m}$ 孔段大部分地层完整,但在 $475\sim 480$ 、 $525\sim 530$ 、 $535\sim 540$ 、 $590\sim 640$ 、 $675\sim 680\text{ m}$ 等孔段存在花岗岩蚀变并夹杂辉长岩,石英含量高。孔深 $256\text{ m}$ 时开始涌水,孔深 $360\text{ m}$ 左右开始漏失。部分岩心照片见图6。



图6 现场取出的部分地层岩心照片

Fig.6 Some cores taken from the formation

### 2.3 应用效果

孔深 $400\text{ m}$ 开始使用钻杆润滑脂,截至发稿时已施工至 $760\text{ m}$ ,共使用了 $450\text{ kg}$ 。未使用润滑脂钻机扭矩为 $20\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,使用润滑脂后在 $40\text{ kN}$ 压

力下钻机扭矩为 $12\sim 13\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,扭矩至少降低 $30\%$ 以上。靠近钻头位置的 $100\text{ m}$ 长度的钻杆需要每次提钻时(钻头寿命 $20\sim 30\text{ m}$ ,工作时间约 $70\text{ h}$ )涂抹钻杆润滑脂 $1$ 次,其他位置的钻杆提钻 $2\sim 3$ 次后涂抹钻杆润滑脂 $1$ 次(见图7)。研制的钻杆润滑脂作用时间略短于现场之前用的国外钻杆润滑脂,但是润滑效果相当。目前,现场已全部使用我们研制的高效钻杆润滑脂施工。



图7 钻进使用后附着在钻杆表面的润滑脂状态

Fig.7 State of grease attached to the surface of the drill pipe after drilling

## 3 结论

(1)通过优选润滑脂原料,采用一步法合成工艺,研制了一种高效钻杆润滑脂。该润滑脂具有良好的润滑性和抗水冲刷性能,而且在 $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温下仍具有良好的可涂抹性,可适用于寒冷地区施工。

(2)高效钻杆润滑脂在川藏铁路昌都段无垂深水平孔应用取得了显著效果,能长时间作用在钻具表面,而且润滑效果与现场使用的国外同类产品相当,但价格不及国外同类产品的 $1/4$ 。

(3)研制的钻杆润滑脂性能还存在一些不足,如不易粘附在较湿的钻杆表面、性能评价还不够全面等,还需进一步完善钻杆润滑脂的配方。

### 参考文献(References):

- [1] 熊正强,陶士先,刘俊辉,等.延迟交联凝胶研制及其在广西某铀矿堵漏应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):140-144.  
XIONG Zhengqiang, TAO Shixian, LIU Junhui, et al. Development and application of delayed crosslinked gel for lost circulation treatment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(4):140-144.
- [2] 石逊,刘江,李红梅,等.水平分支注浆孔卡埋钻事故处理实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):33-38.  
SHI Xun, LIU Jiang, LI Hongmei, et al. Treatment of drill-

- ing sticking and burial in horizontal grouting laterals[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020,47(9):33-38.
- [3] 刘伟,张天胜.利用废油脂制备高滴点锂基润滑脂的研究[J].*润滑油*,2005,20(3):27-29.  
LIU Wei, ZHANG Tiansheng. The study on the preparation of high dropping point lithium grease from waste fat and oil [J]. *Lubricating Oil*, 2005,20(3):27-29.
- [4] 邓颖.高温润滑脂的制备及性能研究[D].北京:华北电力大学,2017.  
DENG Ying. Study on high temperature grease and space grease[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [5] 刘艺,张向军.一种半流体锂基润滑脂的研制[J].*化学工程与装备*,2018(11):26-27,58.  
LIU Yi, ZHANG Xiangjun. Development of a semi-fluid lithium-based grease [J]. *Chemical Engineering & Equipment*, 2018(11):26-27,58.
- [6] 褚铭铭.一种矿物油锂基润滑脂及其制备工艺:中国,111334357A[P].2020-06-06.  
CHU Mingming. A mineral oil lithium grease and its preparation process; China, 111334357A[P]. 2020-06-06.
- [7] 钟炎光,杨克聪.8801 钻杆润滑脂的研制与应用[J].*西部探矿工程*,1992,4(2):11-12.  
ZHONG Yanguang, YANG Kecong. Development and application of 8801 type drill pipe grease[J]. *West-China Exploration Engineering*, 1992,4(2):11-12.
- [8] 于殿奎,李演.钻杆润滑脂在钻探生产中的应用[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2005,32(10):47.  
YU Diankui, LI Yan. Application of drill pipe grease in drilling production[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2005,32(10):47.
- [9] 刘晓春.黑机油复合钻杆润滑脂的研制与应用[J].*新疆有色金属*,2010,33(4):16,18.  
LIU Xiaochun. Development and application of black machine oil composite drill pipe grease[J]. *Xinjiang Nonferrous Metals*, 2010,33(4):16,18.
- [10] 彭振斌,彭铖,巫湘辉,等.新型钻杆润滑脂的研制[J].*科技视界*,2014(16):65-66.  
PENG Zhenbin, PENG Cheng, WU Xianghui, et al. Development of new type of drill pipe grease[J]. *Science & Technology Vision*, 2014(16):65-66.
- [11] 蒋明俊,郭小川.高碱性磺酸盐复合钙基润滑脂的研究进展[J].*润滑油*,2013,28(2):17-21.  
JIANG Mingjun, GUO Xiaochuan. Research advancement of overbased calcium sulphonate complex grease[J]. *Lubricating Oil*, 2013,28(2):17-21.
- [12] 张遂心,王越,刘丽君,等.国内外油田设备润滑脂的研究进展[J].*润滑油*,2014,29(6):5-9.  
ZHANG Suixin, WANG Yue, LIU Lijun, et al. Study and progress of the oil field equipment lubricating grease at home and abroad[J]. *Lubricating Oil*, 2014,29(6):5-9.
- [13] 高宇航,刘虹禹,王佳,等.无水钙基润滑脂的研制及性能评价[J].*石油商技*,2017(4):28-33.  
GAO Yuhang, LIU Hongyu, WANG Jia, et al. Development and performance evaluation of anhydrous calcium grease[J]. *Petroleum Products Application Research*, 2017(4):28-33.
- [14] 成思远,郭小川,蒋明俊,等.复合锂基润滑脂的研究进展[J].*当代化工*,2018,47(1):152-158.  
CHENG Siyuan, GUO Xiaochuan, JIANG Mingjun, et al. Research progress of lithium complex grease[J]. *Contemporary Chemical Industry*, 2018,47(1):152-158.
- [15] 成思远,郭小川,蒋明俊,等.基于 9,10-二羟基硬脂酸的复合锂基润滑脂的制备及性能[J].*石油学报(石油加工)*,2020,36(3):501-509.  
CHENG Siyuan, GUO Xiaochuan, JIANG Mingjun, et al. Preparation and properties of complex lithium grease based on 9,10-dihydroxy stearic acid[J]. *Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section)*, 2020,36(3):501-509.
- [16] 何懿峰,孙洪伟,段庆华.有机膨润土润滑脂机械安定性研究[J].*石油学报(石油加工)*,2014,30(6):1027-1033.  
HE Yifeng, SUN Hongwei, DUAN Qinghua. Investigation on mechanical stability of organobentonite grease[J]. *Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section)*, 2014,30(6):1027-1033.
- [17] 王晶,郭小川,蒋明俊,等.基础油对超微化膨润土润滑脂流变性能的影响研究[J].*功能材料*,2016,47(1):1043-1048.  
WANG Jing, GUO Xiaochuan, JIANG Mingjun, et al. Impact of base oil on the rheological property of ultrafine bentonite grease[J]. *Journal of Functional Materials*, 2016,47(1):1043-1048.
- [18] 刘磊,孙洪伟.聚脲润滑脂的研究进展[J].*化工进展*,2009,28(1):51-61.  
LIU Lei, SUN Hongwei. Progress of research on polyurea grease[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2009,28(1):51-61.
- [19] 孙志强,徐爽,乔传威.滚动轴承用聚脲润滑脂的研制试验[J].*轴承*,2020(7):46-50.  
SUN Zhiqiang, XU Shuang, QIAO Chuanwei. Development test of polyurea grease for rolling bearings[J]. *Bearing*, 2020(7):46-50.

(编辑 周红军)