

航天发射塔回转轴承新型清洗剂研制

王 雷 刘旭亮 岳 强 娄革伟 孙 越

(中国酒泉卫星发射中心, 酒泉, 732750)

摘要: 航天发射塔回转轴承由于尺寸较大、结构复杂等原因, 对其直接进行拆卸保养的难度过大。针对航空煤油等传统轴承清洗液存在清洗不彻底、易燃易爆、人身健康危害等缺点, 本文通过对轴承润滑脂的化学成分分析研究, 配置出了一种新型清洗液, 用于对航天发射塔回转轴承进行清洗。经实验验证, 该清洗液具有易于配置、便于存储、除油率高等特点。

关键词: 航天发射; 回转轴承; 锂基润滑脂; 清洗液

中图分类号: V19

文献标志码: A

文章编号: 1005-2615(2019)S-0113-05

New Cleaning Agent for Slewing Bearing of Space Launch Tower

WANG Lei, LIU Xuliang, YUE Qiang, LOU Gewei, SUN Yue

(Jiuquan Satellite Launch Center of China, Jiuquan, 732750, China)

Abstract: Due to the large size and complicated structure of the slewing bearing of space launching tower, it is difficult to directly disassemble and maintain. Tradition bearing cleaning fluids, such as aviation kerosene, have some disadvantages, such as incomplete cleaning, flammability and explosiveness, and harmful to human health. Therefore, a new cleaning fluid for the spacecraft slewing bearing has been composited by analyzing the chemical composition of bearing grease. The experimental results show that the proposed cleaning fluid is easy-compositing and convenient for storage with a high oil removal rate.

Key words: space launching; slewing bearing; lithium grease; cleaning fluid

航天发射场发射塔架上回转平台、电缆摆杆等主要部件的运转都需要回转轴承作为主要零件实现运动, 这些部件通常尺寸较大, 而且机械系统组成复杂, 检查维护保养困难。航空煤油等传统清洗手段存在清洗效率低、易燃易挥发、对人体健康和周边环境存在较大危害。因此研制一种新型高效的清洗剂对于航天发射塔架大型回转轴承可靠性的提升至关重要。

1 清洗需求

1.1 轴承清洗的要求

图 1 是航天发射台回转平台的支座结构图。可以看到, 支座腔体内部共有上下 2 个轴承, 齿轮、

头盖、承载套、轴承 A、轴套、轴承 B 通过轴自上而下连接, 可从图 1 观察到, 支座上部头盖由于向上开启的行程较短,

且无法完全开启, 所以检修时是无法从上部观察支座腔体内的轴承状态, 支座下部可通过拆卸螺栓将门盖取下, 门盖取下后可看见位于下方的部分轴承。整个腔体是比较密封的, 几乎无法看到腔内状况, 由于内部空间狭小, 且充满黄油等杂质, 内窥工具也很难在内部进行作业检查^[1]。

整个支座固定在距离地面几十米的高处, 且距离人工作业平台较远, 需通过吊篮将人和工具运送上去。而且将轴承拆出检测, 需要将齿轮、头盖等零件逐个拆出, 工程周期长、并且需要投入大量人

收稿日期: 2019-04-09; 修订日期: 2019-06-20

通信作者: 岳强, 男, 助理工程师, E-mail: 1023041117@qq.com。

引用格式: 王雷, 刘旭亮, 岳强, 等. 航天发射塔回转轴承新型清洗剂研制[J]. 南京航空航天大学学报, 2019, 51(增刊): 113-117. WANG Lei, LIU Xuliang, YUE Qiang, et al. New Cleaning Agent for Slewing Bearing of Space Launch Tower [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2019, 51(S): 113-117.

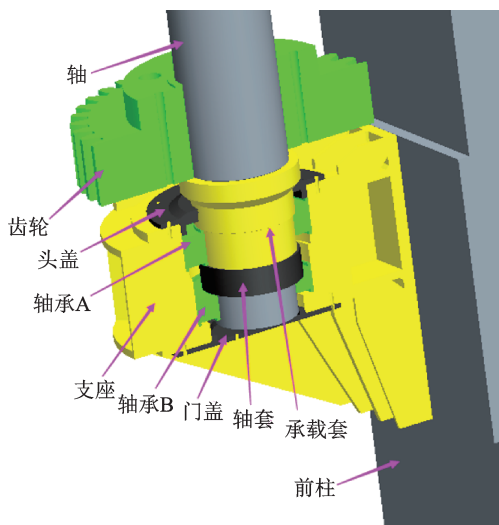


图1 航天发射塔回转平台支座结构图

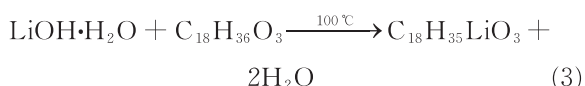
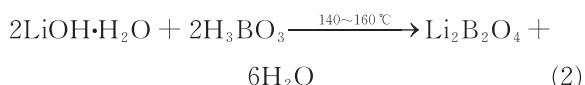
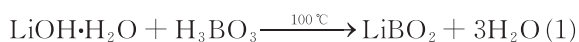
Fig.1 Structure of the space launching tower's slewing platform

力和物力。因此本文拟研制一种清洗性能好、流动性高且清洗后无残留的水基清洗液,结合超声波清洗技术解决回转平台大型轴承的清洗。

1.2 轴承清洗润滑脂的要求

轴承锂基润滑脂由天然脂肪酸(硬脂酸或12-羟基硬脂酸)、氢氧化锂、水及润滑油投入反应经皂化,脱水,稀释皂基加添加剂冷却制成,滴点高于180℃,能长期在120℃左右环境下使用,具有良好的机械安定性、化学安定性和低温性。具有良好的抗水性,可在潮湿与水的环境下使用,稠化能力较强,在添加极压,防锈等添加剂后,制成多效长寿命润滑脂。锂基润滑脂主要由稠化剂、基础油、添加剂3部分组成^[2]。稠化剂有:12-羟基硬脂酸锂皂、二元酸锂皂和硼酸锂盐的复合稠化剂。基础油有:有机脂、合成烃、聚醚、聚硅氧烷、含氟油、磷酸酯。添加剂有:抗氧化剂、防锈剂、极压抗磨剂、金属钝化剂。稠化剂含量约为10%~20%,基础油含量约为75%~90%,添加剂含量在5%以上^[3]。

锂基润滑脂制备反应过程为



故实验应以溶解 LiBO_2 , $\text{Li}_2\text{B}_2\text{O}_4$, $\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{LiO}_3$ 为主要研究方向,基础油的溶解可以采取一般除油清洗剂的配置加入助溶剂以达到锂基润滑脂的溶解清洗工作。

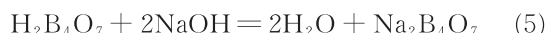
2 清洗液的研制

2.1 基础油溶解液

锂基润滑脂中基础油成分较为复杂,主要是由有机脂、合成烃、聚醚、聚硅氧烷、含氟油、磷酸酯混合而成,而基础油作为锂基润滑脂中含量最高的成分,它是主要研究溶解的物质^[4]。通过其化学成分和性质分析我们采用氢氧化钠、碳酸钠、磷酸盐($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)、硅酸钠、乙二醇四乙酸盐和表面活性物质组成的水性锂基脱脂剂来作为基础油的除油清洗剂,表面活性剂表面张力、乳化性、分散性、增容性、泡沫性和去污力的测定,根据锂基润滑脂的针对性选取IFC、AES、聚醚、OP-10和 ABO_n ($n=8 \sim 10$)通过复配作为本清洗剂的表面活性物质^[5]。同时根据相似者相溶的理论,溶解基础油添加少量松节油和柠檬油(和蒎烯和甲基丙基环己烯),以提高溶解效果。

2.2 稠化剂溶解液

锂基润滑脂中稠化剂是12-羟基硬脂酸锂皂,二元酸锂皂和硼酸锂盐的复合稠化剂。从化学成分分析12-羟基硬脂酸锂皂分子式为 $\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{LiO}_3$ 溶于无水乙醇,不溶于水^[6]。本文选用无水乙醇溶解12-羟基硬脂酸锂皂,其中可适当加入除皂剂,用来提高其溶解能力。二元酸锂皂和硼酸锂盐群属于酸性化学物质,可使用强碱反应生成氢氧化锂,氢氧化锂溶于水,由于氢氧化钠容易制备,成本低廉,且反应生成的钠盐溶于水,同时氢氧化钠强碱溶液可以使基础油皂化、乳化、分散、溶解,并与其发生皂化反应形成可溶于水的脂肪酸盐,这里选用氢氧化钠来溶解二元酸锂皂和硼酸锂盐。因此选用无水乙醇,氢氧化钠和适量除皂剂的混合溶剂作为稠化剂的溶解溶剂^[7]。



$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 和 NaBO_2 具有不溶于一般有机物易溶于热水的特性,可将溶液加热达到令其溶解的目的; $\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{LiO}_3$ 作为有机物有着在60~80℃溶于无水乙醇,不溶于水的特性,所以选用工业无水乙醇作为清洗剂添加剂,破坏 $\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{LiO}_3$ 的晶体结构达到使其溶解的效果。

2.3 添加剂溶解液配置

锂基润滑脂使用的添加剂较为广泛,它对于许多添加剂有着良好的配伍性,常用的添加剂为抗氧化剂、防锈剂、极压抗磨剂、金属钝化剂^[8]。但由于锂基润滑脂中添加剂含量较少,且有机氟化物是目前世界上用于电子清洗,去除粘合剂、抛光剂、油脂、液压油、硅油清除效果和环保效果最好的清洁

材料。所以溶解添加剂,选用氢碳氟化物用来溶解添加剂成分^[9]。

2.4 清洗剂成分

根据上述分析,选用磷酸盐($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)、硅酸钠、乙二醇四乙酸盐、IFC、AES、聚醚、OP-10 和 $\text{ABO}_n(n = 8\sim 10)$,无水乙醇,氢碳氟化物组成新型清洗剂。为提高溶解效率加入适量助溶剂(RQJ)、饱和氢氧化钠溶液、碳酸钠、蒎烯、和甲基丙烯基环己烯。

3 试验分析

3.1 清洗剂成分比例测定

试验仪器、试剂包括:烧杯、玻璃棒、漏斗、滤纸、锂基润滑脂、新型清洗剂、天平、恒温箱、烘干箱。

将上述配置的清洗剂和不同材料混合得到混合溶液,分别于不同温度下进行黄油清洗试验,用于测定该清洗剂的最佳清洗环境。

(1) 试验 1:助溶剂(RQJ) 10 g、新型清洗剂 20 g、黄油 5 g,辅料,水 20 g(表 1);

(2) 试验 2:助溶剂(RQJ) 10 g、新型清洗剂 20 g、黄油 5 g,辅料,水 20 g、无水碳酸钠 3 g(表 2);

(3) 试验 3:助溶剂(RQJ) 10 g、新型清洗剂 20 g、黄油 5g,辅料:饱和氢氧化钠溶液 20 g、无水碳酸钠 3 g(表 3);

(4) 试验 4:助溶剂(RQJ) 10 g、新型清洗剂 20 g、黄油 5 g,辅料:饱和氢氧化钠溶液 20 g、无水碳酸钠 3 g、甲基丙烯基环己烯 3 g(表 4);

(5) 试验 5:助溶剂(RQJ) 10 g、新型清洗剂 20 g、黄油 5 g,辅料:饱和氢氧化钠溶液 20 g、无水碳酸钠 3 g、甲基丙烯基环己烯 3 g、阿尔法-蒎烯 2 g(表 5)。

用实验天平称量锂基润滑脂 5 g 放置在不同成分清洗剂的烧杯中,将烧杯静置在不同温度的水域环境下 10 min,用玻璃棒搅拌直到其不再溶解,用漏斗、滤纸过滤出不溶物,经烘干箱干燥后,称量残余锂基润滑脂。具体步骤为:

- (1) 清洗烧杯,并烘干,然后对实验滤纸进行烘干;
- (2) 水浴锅加热至 80 ℃,并稳定 20 min;
- (3) 量取各材料的质量,进行溶液配比;
- (4) 进行充分搅拌后放入水浴锅加热;
- (5) 过滤完成后,进行烘干;
- (6) 烘干后对滤纸进行称重,并按式(6)计算黄油溶解率。

$$\text{溶解率} = \left(1 - \frac{\text{溶解后黄油质量}}{\text{溶解前黄油质量}}\right) \times 100\% \quad (6)$$

实验条件:常温下与加热状态下均搅拌 5 min,加热为水浴锅加热,水浴锅溶液为水,加热时间为 10 min;过滤,烘干后质量均含滤纸质量;烘干为烤箱烘干,时间为 20 min,温度为 150 min。

表 1 试验 1 在不同温度下清洗剂对黄油的溶解度

Tab. 1 Solubility of the cleaning agent to butter at different temperatures in Test 1

温度/℃	滤纸质量/g	过滤烘干后 质量/g	溶解率/%
25	1.36	4.28	42
40	1.35	4.22	43
50	1.36	4.16	44
60	1.37	4.08	46
70	1.34	3.92	49
80	1.37	3.75	53

表 2 试验 2 在不同温度下清洗剂对黄油的溶解度

Tab. 2 Solubility of the cleaning agent to butter at different temperatures in Test 2

温度/℃	滤纸质量/g	过滤烘干后 质量/g	溶解率/%
25	1.36	4.13	45
40	1.36	4.06	46
50	1.37	3.87	50
60	1.33	3.56	56
70	1.34	3.52	57
80	1.36	3.49	58

表 3 试验 3 在不同温度下清洗剂对黄油的溶解度

Tab. 3 Solubility of the cleaning agent to butter at different temperatures in Test 3

温度/℃	滤纸质量/g	过滤烘干后 质量/g	溶解率/%
25	1.36	3.87	50
40	1.35	3.76	52
50	1.37	3.65	55
60	1.36	3.51	57
70	1.36	3.28	62
80	1.35	3.03	67

表 4 试验 4 在不同温度下清洗剂对黄油的溶解度

Tab. 4 Solubility of the cleaning agent to butter at different temperatures in Test 4

温度/℃	滤纸质量/g	过滤烘干后 质量/g	溶解率/%
25	1.35	3.56	56
40	1.35	3.33	61
50	1.37	3.12	65
60	1.35	2.98	68
70	1.36	2.84	71
80	1.35	2.76	72

表 5 试验 5 在不同温度下清洗剂对黄油的溶解度
Tab. 5 Solubility of the cleaning agent to butter at different temperatures in Test 5

温度/℃	滤纸质量/g	过滤烘干后 质量/g	溶解率 / %
25	1.37	2.21	84
40	1.34	2.13	85
50	1.35	2.02	87
60	1.37	1.89	90
70	1.36	1.73	93
80	1.36	1.65	94

从表 1—5 可以看出,在添加氢氧化钠、无水碳酸钠、甲基丙烯基环己烯、阿尔法-萜烯等辅助清洗材料时,该清洗剂的清洗效率大大提高,同时随着温度的提升,清洗效果也越来越好。

3.2 最佳清洗温度测定

用实验天平称量 6 份锂基润滑脂各 10 g 放置不同温度的新型清洗剂各 100 g 的烧杯中,将烧杯静置在不同水域温度的环境下 10 min,用玻璃棒搅拌直到其不再溶解,用漏斗、滤纸过滤出不溶物,经烘干箱干燥后,称量残余锂基润滑脂,并计算锂基润滑脂的溶解度,如表 6 所示。

表 6 不同温度下锂基润滑脂的溶解度
Tab. 6 Solubility of lithium grease at different temperatures

温度/℃	溶解率 / %	温度/℃	溶解率 / %
25	37.5	60	67.4
40	41.5	70	91.5
50	53.5	80	94.5

可以看出,温度为 70~80 ℃,该新型清洗剂达到最佳清洗效果。

3.3 与传统清洗剂的对比试验

对比航天发射场回转轴承传统清洗剂,实验探究新型清洗剂的清洗效果。

用实验天平称量 5 份锂基润滑脂各 10 g 放置在洗涤剂、煤油、汽油、稀释剂、新型清洗剂各 100 g 的烧杯中(各清洗剂在不同温度下的溶解度如表 7 所示),将烧杯静置在不同水域温度的环境下 10 min,用玻璃棒搅拌直到其不再溶解,用漏斗、滤纸过滤出不溶物,经烘干箱干燥后,称量残余锂基润滑脂,并计算锂基润滑脂的溶解度,如图 2 所示。

可以看出,新型清洗剂不但具有最好的锂基润滑脂清洗效率,而且其作为水基清洗剂具有配置容易,不挥发、不燃烧、不爆炸、便于携带和存储的优点,因此该清洗剂作为航天发射塔回转轴承清洗手段,远超传统清洗剂^[10]。

表 7 不同温度不同清洗剂剂锂基润滑脂的溶解度
Tab. 7 Solubility of lithium grease for different cleaning agents at different temperatures %

温度/℃	25	40	50	60	70	80
煤油	25.2	29.5	46.8	53.8	63.5	68.0
汽油	18.2	21.7	31.2	36.8	39.9	41.5
洗涤剂	13.6	18.2	27.7	31.8	41.8	43.9
稀释剂	17.5	23.9	28.5	32.7	37.7	41.5
新型清洗剂	37.5	41.5	53.5	67.4	91.5	94.55



图 2 不同清洗剂下锂基润滑脂的清洗效果图(从左至右依次为煤油、汽油、洗涤剂、稀释剂、新型清洗剂)

Fig. 2 Cleaning effect of lithium-based grease under different cleaning agents (from left to right, kerosene, gasoline, detergent, thinner, new cleaning agent)

4 结 论

本文研制出一种新型高效的锂基润滑脂专用清洗剂,用于对航天发射塔回转轴承的清洗,克服了采用传统轴承清洗方法时清洗剂易燃易爆、易挥发、效率低等缺点^[11]。本文通过理论和实验分析,得到了该新型清洗剂的最佳配比和最佳清洗温度,同时将该清洗剂与传统清洗方法的清洗效率进行了对比实验,结果表明该新型清洗剂的清洗效率相对于常用的煤油清洗方法提高了 39.0%。该清洗剂具有不挥发、不燃烧、对轴承结构无腐蚀性以及便于存储和携带等优点,但由于其化学成分具有强碱性,对操作人员存在一定的安全隐患,使用该清洗剂时需要采取安全防护措施。

参考文献:

[1] 高祥红, 张伟, 许秀坤, 等. 碳氢清洗剂在轴承清洗线中的应用[J]. 轴承, 2011(7): 32-33.
GAO Xianghong, ZHANG Wei, XU Xiukun, et al. Application of hydrocarbon cleaning agent in bearing cleaning line[J]. Bearing, 2011(7): 32-33.
[2] 付蕾. 复合锂基润滑脂的基础研究[J]. 广州化工, 2012, 40(2): 88-90.
FU Lei. Basic research on composite lithium grease [J]. Guangzhou Chemical, 2012, 40(2): 88-90.
[3] 姚立丹, 杨海宁, 孙洪伟. 复合锂基润滑脂和脲基润滑脂成脂机理的差异[J]. 石油学报, 2010, 26(5): 747-754.

- YAO Lidan, YANG Haining, SUN Hongwei. Differences in the lipid-forming mechanism of lithium complex greases and urea-based greases[J]. *Acta Petrolei Sinica Sinica*, 2010, 26(5): 747-754.
- [4] ISHCHUK Y L, BULGAK V B, STAKHURSKII A D. Influence of composition of complex lithium soap on properties of lubricating grease [J]. *Chemistry & Technology of Fuels & Oils*, 1995, 31(5):241-244.
- [5] DELGADO M A, KUHN E, FRANCO J M. Effect of rheological behaviour of lithium greases on the friction process [J]. *Industrial Lubrication & Tribology*, 2008, 60(1):37-45.
- [6] KANIA L, KRYNKE M, MAZANEK E. A catalogue capacity of slewing bearings[J]. *Mechanism & Machine Theory*, 2012, 58(58):29-45.
- [7] 郭永刚,廖赞姬,李来红. 高温润滑脂的研制[J]. *天然气与石油*, 2007, 25(1):39-42.
- GUO Yonggang, LIAO Zanjì, LI Laihong. Development of high temperature grease [J]. *Natural Gas and Petroleum*, 2007, 25(1): 39-42.
- [8] KANIA L. Modelling of rollers in calculation of slewing bearing with the use of finite elements [J]. *Mechanism and Machine Theory*, 2006, 41(11): 1359-1376.
- [9] 曾晖,陈晓南,陈哲. 润滑脂组成对复合锂基润滑脂微观结构影响的研究[J]. *润滑与密封*, 2011, 36(8): 42-47.
- ZENG Hui, CHEN Xiaonan, CHEN Zhe. Effect of grease composition on microstructure of composite lithium grease [J]. *Lubrication and Sealing*, 2011, 36(8): 42-47.
- [10] JI X, CHEN Y, ZHAO G, et al. Tribological properties of CaCO_3 nanoparticles as an additive in lithium grease[J]. *Tribology Letters*, 2011, 41(1): 113-119.
- [11] CHAIB Z, DAIDIE A, LERAY D. Screw behavior in large diameter slewing bearing assemblies: Numerical and experimental analyses[J]. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 2007, 1(1):21-31.

(编辑:张彤)