

导弹发射装置滑轨表面 MoS_2 干膜防护高温 高速两相燃气流应用研究

肖 军¹, 周惠娣², 李铁虎¹, 张秋禹¹, 陈建敏²

(1 西北工业大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710072;

2 中国科学院兰州化学物理研究所 固体润滑国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 选用多种 MoS_2 干膜润滑材料, 对滑轨式武器发射系统的高能有烟发动机两相燃气流高温烧蚀、熔融残渣的高速热冲蚀以及粘渣-烧蚀耦合破坏作用进行有效的润滑和防护试验, 分析了烧粘现象和残渣组成, 采用发动机试车台模拟试验及国军标环境条件试验评估了多种 MoS_2 干膜润滑材料的防护特性。结果表明: 国产 MoS_2 干膜防护涂层兼有一定的润滑及防腐蚀功能, 能显著改善滑轨表面的润滑性能和抑制高温高速燃气流的烧粘-腐蚀破坏作用; 滑轨表面烧粘-腐蚀程度与发动机推进剂的铝粉性质及含量(残渣量)直接相关, 各种防护涂层的主要破坏形式为烧蚀、热冲蚀以及粘渣破坏, 由于残渣含腐蚀物, 有必要在烧粘后及时清洗并施行二次防护, 其中热固型 MoS_2 干膜的防护性能优于常温固化型 MoS_2 干膜, 但由于燃气严重的热冲蚀, 还需采用常温快速固化的 MoS_2 干膜进行现场修补。

关键词: 滑轨; 发动机燃气; 烧粘-腐蚀; MoS_2 干膜; 润滑与防护

中图分类号: TH117.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-0595(2003)05-0435-06

导弹发射时, 滑轨式武器发射系统的高能有烟发动机在发射瞬时产生 2 000~3 000 、5~7 Ma 超音速两相燃气流, 导致高温烧蚀、熔融残渣的高速热冲蚀以及粘渣-烧蚀耦合破坏(以下简称“烧粘”); 而烧蚀粘渣表面在湿热或盐雾环境中又可以发生腐蚀, 这些因素均可以导致武器发射系统的故障和装备使用寿命降低^[1]。由于滑轨表面烧粘-腐蚀工况苛刻, 对其表面进行润滑防护难度很大, 加之涉及敏感技术, 目前国内工程领域尚未开发成功有效的防护技术。现有的多种涂层仅能承受几次高温燃气冲刷, 而在低温环境(如结冰)和战备短暂时间限制等因素要求开发快速简便的防护材料和技术。

MoS_2 干膜润滑技术业已广泛应用于宇航、卫星及导弹等特殊场合。与润滑脂相比, MoS_2 干膜具有耐负荷、使用温度宽、寿命长、不沾灰尘和雨水、不易变质、防腐蚀性能好等优点, 尤其适用于机载导弹经几个吊挂点与滑轨连接、有动配合间隙要求、承载和过载大的发射装置的润滑及防护需要^[2]。针对燃气两相流瞬时高温烧蚀、高速热冲蚀、粘渣-腐蚀和损耗快等特殊使用工况以及部队战备的特点, 我们在考察多

种 MoS_2 干膜润滑涂层对发射装置滑轨表面的润滑和防护作用的基础上, 研制成功了适用于滑轨表面高温高速燃气烧粘-腐蚀防护的 MoS_2 干膜润滑剂。

1 实验部分

1.1 试验材料

所用固体膜润滑材料有: HM-501 型(试样 1)、HM-200 型(试样 2)、HQ-1 型(试样 3)、金属有机钛(试样 4)、PTFE 及 PI 膜(试样 5 和试样 6)、改性氢酚及钼酚 MoS_2 (试样 7 和试样 8)、830(试样 9, 北京航空材料研究院提供)、PES(试样 10)、PEF(试样 11)、HC-1(试样 12, 长春防腐材料研究所提供)。除特别说明外, 所有试样均为自行研制。

按照优选组成称取 MoS_2 粉体、稀土化合物、防锈添加剂、表面活性剂及粘合材料, 用混合溶剂研磨分散, 经过理化测试合格后密封包装, 即得到待测 MoS_2 涂料。

试验所采用的试片分别为: LY12CZ 试片, 包括 50 mm × 100 mm × 6 mm 或者 50 mm × 200 mm × 6 mm (a 型) 和 100 mm × 200 mm × 2 mm (b 型) (下

基金项目: 国家杰出青年基金资助项目(59925513)。

收稿日期: 2003-01-26; 修回日期: 2003-04-28/联系人肖军, email: xiaojun6267ff@vip.sina.com.

作者简介: 肖军, 男, 博士研究生, 高级工程师, 目前主要从事特种润滑涂层应用以及腐蚀控制和防护等研究。

同), 经过硫酸阳极氧化和 $K_2Cr_2O_7$ 填充处理; LCXCS 试片(a 型), 经过硬质阳极氧化和热水填充处理; LY12CZ-MoS₂-1 试片(材质及尺寸同试片 b), 在其 1/2 面积区域喷涂 PEF 型 MoS₂ 干膜(200 下固化 1.5 h), 在其另外 1/2 面积区域喷涂 PES 型常温固化 MoS₂ 干膜; LY12CZ-MoS₂-2 试片(材质及尺寸同试片 b), 底层喷涂 PEF 型高温固化 MoS₂ 干膜, 表层喷涂常温固化 PES 型 MoS₂ 干膜干膜; LY12CZ-0 空白试样(a 型), 经过灰色阳极化和硅油填充处理 此外, 针对试片、试片和试片的不同区域, 在其 MoS₂ 干膜表面分别涂覆各种改性 MoS₂ 宽温防护脂(厚度约 1 mm), 以分析“双重保险”式防护效果

1.2 性能测试

采用美国产 SE-600-5-5 型程序环境条件试验箱进行交变湿热、高低温冲击试验; 采用 YL-40C 型离心式盐雾腐蚀试验箱进行盐雾试验; 采用英国 LDS 公司制造 V964LS 型电磁振动台进行振动试验; 采用自行研制的 SCTMN-8 型发动机综合模拟试验装置进行发动机台架模拟试验; 采用日本 SHIMADZU 公司产 XRF-1800 型荧光 X 射线分析仪分析烧粘残渣的组成

利用发动机试车台烧粘试验来模拟表面受高温、高速两相燃气流破坏的实际状况 将一块无色透明有机玻璃板[100 mm × 50 mm × (1~2) mm, 纵横交错刻画 100 等份]置于烧蚀试件表面进行目视检查, 综合考虑烧蚀、粒子流冲蚀与粘渣破坏, 分 5 级评定涂层的防烧粘效果, 具体评价标准如下: 1 级为涂层完好, 允许轻微变色或沾染烟尘, 无起泡、脱落、残渣; 2 级为烧粘部位明显变色、起泡、脱落或粘渣面积 $A \leq 10\%$; 3 级为烧粘表面起泡、基底暴露, 粘渣面积 A 处于 $10\% \sim 30\%$ 之间; 4 级为烧粘表面炭化、起泡、脱落(露底), 粘渣面积 A 处于 $30\% \sim 60\%$ 之间; 5 级为烧粘表面发生严重炭化、脱落、粘渣面积 $> 60\%$ 。

为了综合评估 MoS₂ 干膜在使用环境中的防护性能, 我们参照多种国军标方法评价相应 MoS₂ 干膜的润滑和防护效果, 其包括: GJB150 3 及 GJB150 4 高温和低温试验; GJB150 5 温度冲击试验(高温 75 ± 2 , 24 h; 低温 -60 ± 2 , 24 h, 转换时间 5 min); GJB150 9 交变湿热试验(高温 60, 低温 30, $RH = 95\%$, 1 次/24 h, 240 h); GJB150 11 盐雾试验(5% $\pm$ 1% 中性 NaCl 溶液, 35, 240 h); GJB150 16 第五类环境条件振动试验

2 结果与讨论

2.1 各种干膜涂层对滑轨的润滑作用

所采用的几种滑轨表面阳极氧化膜、烧粘(残渣)表面及干膜涂层的摩擦系数测定结果列于表 1 可以

表 1 经各种涂层涂覆后滑轨表面的摩擦系数

Table 1 Friction coefficients of slide track surface coated with various coatings

Item	Coating	Friction coefficient
1	PES	0.25~0.30
2	PEF	0.10~0.18
3	HC-1	0.15~0.25
4	Brush MoS ₂	0.12~0.30
5	Hardened anodic oxidized Al	0.60~0.70
6	Slide track with ablation residue	-

看出, 干膜涂层能够有效地降低滑轨表面的摩擦系数, 减轻导弹吊挂与滑轨表面接触点之间在高负荷大过载($6 \sim 8 \text{ m/s}^2$)条件下的摩擦系数, 改善装备的使用性能, 延长使用寿命 其中自制 MoS₂ 干膜的摩擦系数居中, 而烧粘残渣使表面摩擦系数显著增大, 残渣积累则可导致滑轨与吊挂之间动配合间隙减小甚至引发卡咬故障

2.2 发动机试车台综合模拟试验

为了考察各种干膜的防护性能, 分别针对 5 种典型固体发动机, 选用 11 种干膜试样在自制 SCTMN-8 型发动机综合模拟试验装置上进行多批次点火试验, 试验结果列于表 2 其中, 发动机铝粉含量、燃气温度及速度排序为: C、L > B > A > W, 直径排序为 C > B > A, W > L. 试验结果表明: 试件粘附的残渣量与发动机装药的铝粉含量和性质直接相关, 无烟(W)、少烟(A)型发动机的残渣很少, 而不同尺寸高铝粉装药的 L(小)和 C(大)型发动机的烧粘程度严重, 对同种发动机, 不同干膜试样粘渣程度差异较大, 多数干膜难以承受大功率 C 型发动机高温燃气的烧粘破坏, 当 C 型发动机烧粘时间延长 1 倍时, 所有试样均出现 100% 的粘渣或被烧毁, 此外, 钢试件表面的粘渣少于阳极氧化铝合金表面; 热固型 MoS₂ 干膜涂层的防烧粘效果优于常温固化型 MoS₂ 干膜, 这可能是因为热交联提高了干膜的粘结强度; 粗糙表面更容易粘渣, 因此, 在加工和发射后除渣时, 有必要保持滑轨表面洁净光滑; 高铝粉发动机(C, L)的热冲蚀破坏比烧蚀作用更为突出, 这亦可以由材料的热模拟(无冲蚀作用的氧乙炔烧蚀试验)和冷模拟(无烧蚀作用的高速吹砂侵蚀试验)试验结果得以证实, 在热模拟

和冷模拟试验中表现良好的干膜(试样 8)的抗燃气烧 的涂层(如无机高温干膜 HM -501)烧粘后减薄明显、粘性能好, 粘渣少, 热模拟效果好而冷模拟效果较差

表 2 发动机试车台烧粘综合模拟试验结果

Table 2 Simulated ablative-adhesive test results of various coatings at rocket motor test station									
Coating	Curing condition				A ablative-adhesive class				
					W	A	B	C	L
HM -501	150	/0 5 h+	175	/1 5 h	1	1~ 2	2~ 3	4	3~ 4
HM -200	100	/0 5 h+	175	/1 h	-	1	1~ 2	3	3
HQ -1	120	/0 5 h+	175	/1 h	1	1	2	3	2~ 3
Organo-titanium	0 5 h, RT				1	1	1~ 2	3	3
PTFE	Sintered at 300				-	1	1~ 2	2~ 3	2~ 3
Brush MoS _{2A} P	0 5 h, RT				1	1	1	1~ 2	1~ 2
Brush MoS _{2B} P	0 5 h, RT				1	1	1	1~ 2	1~ 2
PES	RT				1	1~ 2	2~ 3	5	4~ 5
HC-1	165	/1 h			-	1	1~ 2	2~ 3	2~ 3
830	1h, RT					1	2	3	5
PEF	200	/1 h			1	1	1	1~ 3	1~ 3
Anodic oxidized Al surface		-			1	2~ 3	4	5	5

Note: AP is ammonia phenolic; BP is barium phenolic
注: AP 表示氨酚; BP 表示钡酚

粘渣显著, 反之, 虽然无/少烟发动机(W, A)的冲蚀和烧蚀作用同时减轻, 但烧蚀破坏作用更明显; 烧粘程度同 MoS₂ 干膜的厚度有关, 较厚的干膜抗热冲蚀能力较强, 粘渣较少, 在滑轨表面受严重热冲蚀的部位简单快速地刷涂试样 7 和试样 8 后, 相应的 MoS₂ 干膜厚度比其它试样的增加, 粘渣较少, 有机钛干膜干燥较快, 但膜厚小且脆性较高, 难以承受 C、L 型发动机高密度超音速熔融残渣的热冲蚀, 试件表面粘渣严重; 在 MoS₂ 干膜表面涂覆常规硅基或 MoS₂ 润滑脂(试片 和试片), 对 W 型及 A 型发动机燃气具有双重保护效果, 但对 C、L 型发动机燃气的防护效果不明显 此外, 表面状态和种类不同的涂层在高温、超音速两相燃气流瞬时作用下的破坏形式存在差别, 如热固化 MoS₂ 干膜、聚四氟乙烯(PTFE)或硅酮涂层等主要破坏形式为热冲蚀; 而阳极氧化膜、金属镀膜、转化膜、普通涂料或耐高温漆的等的主要破坏形式为粘渣、烧蚀及热冲蚀

2 3 国军标环境条件试验

表 2 所列出的干膜试片均通过了国军标规定的高低温、温度冲击、交变湿热(10 天)、盐雾(10 天)试验, 且涂层表面完好. 而带残渣铝试片在交变湿热环境中 72 h 后开始发生腐蚀, 表现出典型的点蚀特征(见图 1), 不锈钢试片亦发生点蚀. 盐雾试验 2~ 3 天后粘渣部位出现腐蚀并逐步加重(10 天后大蚀斑直径约 2~ 5 mm), 而 MoS₂ 干膜表面完好, 未发生腐蚀. 同时将粘渣试片用无水乙醇清洗后再涂敷 MoS₂

干膜, 经过湿热试验后试片未见腐蚀迹象. 此外, 所有涂覆干膜的试片均通过振动试验. 因此, 多数 MoS₂ 干膜适用于发射装置对机载导弹发动机(尤其是 W、

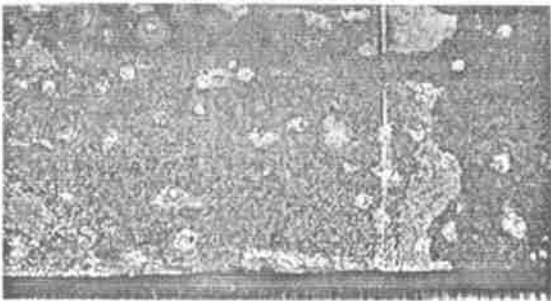


Fig 1 Picture of surface with residue and corrosion pits in humid environment (4/5 real size)
图 1 a 型残渣试件 湿热点蚀照片(4/5 实物尺寸)

A、B 型) 燃气烧粘防护及日常维护.

2 4 成膜工艺

成膜工艺工艺参数主要包括成膜温度、干燥时间、膜厚以及材料有效期等, 其对 MoS₂ 干膜在发射装置上能否获得应用至关重要. 国外军机载导弹发射装置样机一般采用表面经阳极化处理后喷涂热固型 MoS₂ 干膜的硬铝型材(2024 铝合金), 而国内大多采用强度高达 500~ 600 MPa 的 Al-Zn-Mg-Cu 系 LCXCS 超硬铝合金型材, 这种超硬铝合金的主要组成为 α η(MgZn₂)、T (Al₃Mg₃Zn₃)、S (Al₂CuMg). 工程应用时必须防止加热可能导致的因铝合金强化相消失或转变而造成的性能恶化. 为此, 我们分别从

国内外两类型材上取样,在常温及 130~200 等 8 个温度段内,分别经 2 h 和 3 h 加热(随炉冷却)后测定拉伸强度 σ_b 、屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 及伸长率 δ_{10} ,结果发现发射装置铝合金构件允许的最佳热成膜温度处于 130~150 范围内

使用经验和防烧粘研究结果表明,热固型 MoS_2 干膜(国外军用样机用 Molykote 3400A)的附着力强、耐久性较优,可承受 2~3 次(A、B 型)燃气烧粘,防护效果明显优于常温固化型 MoS_2 干膜;而每次发

射后经补涂常温固化型 MoS_2 干膜还可以延长使用寿命。干膜的使用次数随发动机类型不同而有所不同。鉴于燃气的高温烧蚀和超音速熔融残渣热冲蚀等耦合破坏作用,性能优异的热固型干膜亦会在若干次烧粘后因大量损耗而失去防护作用;而受部队战备和训练场所控制条件和设施所限,难以采用热固性干膜进行修复。部分热固型和常温固化干膜的成膜条件列于表 3。可见,热固型干膜适用于出厂前涂覆,PES 和有机钛等常温固化型 MoS_2 干膜则可用于修补和部

表 3 各种干膜材料的成膜工艺

Table 3 Curing conditions for various bonded solid lubricant films

Coating	Process	Curing condition		Adhesive
HM-501	Baking, spraying	150	/0.5 h+ 175 /1.5 h	Inorganic silicate
HM-200	Baking, spraying	100	/0.5 h+ 190 /1 h	Organosilicone epoxy resin-butadiene nitrile
HQ-1	Baking, spraying	120	/0.5 h+ 190 /1.5 h	Polyether sulfone
Organotitanium	Room temperature spraying		0.5 h, RT	Organotitanate
PTFE	Baking, spraying		Sintering	PTFE
Brush MoS_2	Room temperature spraying/brushing		0.5 h, RT	Modified phenolic resin
PES	Room temperature spraying		0.5 h, RT	Epoxy resin
HC-1	Baking, spraying	160	/1 h	Phenolic resin-epoxy resin
830	Room temperature spraying		1 h, RT	Acrylic acid
PEF	Baking, spraying	100	/0.5 h+ 200 /2 h	Phenolic resin-epoxy resin

队现场使用。自制(刷涂) MoS_2 涂层在常温下快速固化成膜,单次刷涂干膜可达到使用厚度,因而在相关军用装备烧粘防护等方面具有广阔应用前景。

2.5 高温、超高速烧粘-腐蚀机理分析

从理论上分析,烧粘-腐蚀源于发动机高能复合推进剂装药。高速空-空导弹的发动机大多采用由氧化剂(过氯酸盐)、主燃烧剂粉体(铝粉)、合成橡胶粘合剂以及晶体高爆炸药等组成的装药^[3]。这种推进剂燃烧时产生高温(约 2 000~3 000)、超高速(速度 > 5 Ma)两相(气相夹杂大量腐蚀性熔融残渣)射流;在高温和大量超音速热粒子流的撞击和侵蚀下,常规镀层及涂层等防护膜均难以承受冲蚀磨损及粘附烧蚀的耦合破坏作用^[4,5],从而在冷却后的滑轨表面留下一层坚固、难以清除的残渣(见图 1)。经 X 射线荧光分析和 EDS 能谱分析结果表明,残渣主要由氧化铝(Al_2O_3)及含氯和硫的腐蚀产物组成。扫描电子显微镜分析表明,残渣多孔,其在湿热环境下易使铝合金或高强不锈钢基体产生典型的点蚀破坏^[6,7]。

2.6 靶试结果

对待测发射装置样机分别涂覆 MoS_2 干膜试样 11 和试样 12 进行发射试验,同时在导轨表面分区域

现场喷涂或刷涂常温固化型干膜试样 7 和试样 10,并对照国外同类军用发射装置进行实弹发射考核试验。结果表明,空中单次发射后滑轨表面不粘渣或仅形成少量可快速清理的粘渣(对比图 2 和图 3)。收集外露钢制件并与试片同批进行环境条件考核,相应的试验结果同模拟试验结果吻合。因此可以认为,自制的 MoS_2 干膜的防烧粘性能基本达到研制要求。但对于高残渣量的发动机(C 型),在涂覆干膜样品的试片表面仍有粘渣,且多数样品经存放后发生沉淀分层,难以再次分散,尤其是喷筒内的 MoS_2 沉淀后难以快速有效地分散等,这还需进一步加以改进。

3 结论

a. 国产 MoS_2 干膜防护涂层兼有一定的润滑及防腐蚀功能,能显著改善滑轨表面的润滑性能和抑制高温高速燃气流的烧粘-腐蚀破坏作用。

b. 滑轨表面烧粘-腐蚀程度与发动机推进剂的铝粉性质及含量(残渣量)直接相关。各种防护涂层的主要破坏形式为烧蚀、热冲蚀以及粘渣破坏。由于残渣含腐蚀物,有必要在烧粘后及时清洗并施行二次防护,其中热固型干膜的防护性能优于常温固化型干

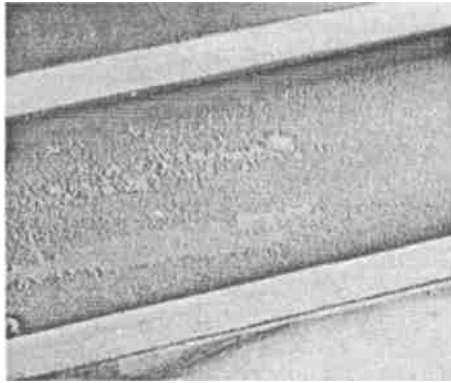


Fig 2 Picture of a slide track surface with corrosive residue(1/4 real size)

图2 粘附燃气残渣铝合金滑轨表面照片(1/4实物尺寸)

膜,但由于燃气严重的热冲蚀,还需采用常温快速固化的 MoS_2 干膜进行现场修补。

c MoS_2 密度大、易于沉降,沉降后难以再分散,且多数干膜样品难以简便快速地形成较厚涂层,不利于现场操作,有必要通过改善材料结构和调整配方以促进其应用推广。

参考文献:

- [1] Xiao Jun (肖军), Shi Baoren (石宝仁), Guo Xiangsheng (郭湘生). Applied study on anticorrosion of missile launcher at coastal area (沿海部队导弹发射装置防腐蚀应用研究)[J]. Marine Equipment (海军装备), 1998, (9): 38-41.
- [2] Zhou Hui di (周惠娣), Hu Li tian (胡丽天), Chen Jian m in (陈建敏), et al Preparation and Tribological Behavior of a Bonded

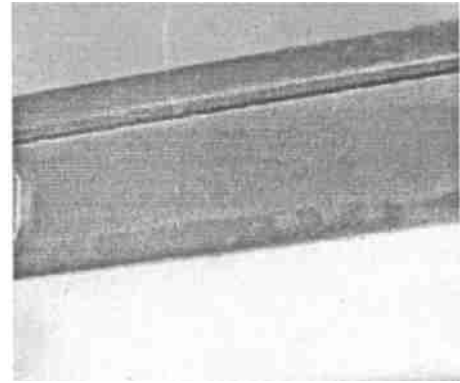


Fig 3 Picture of slide track surface protected with MoS_2 coating(1/4 real size)

图3 MoS_2 防护无残渣铝合金滑轨表面照片(1/4实物尺寸)

Solid Lubricating Coating for Application at High Specific Pressure (一种高比压润滑涂层的研制及其摩擦学性能研究)[J]. Tribology (摩擦学学报), 2001, 21 (5): 393-395

- [3] 侯林法 复合固体推进剂(导弹与航天丛书)[M]. 宇航出版社, 1994.
- [4] 王祝堂 铝材及其表面处理手册[M]. 江苏科学技术出版社, 1997.
- [5] 朱相荣, 王相润 金属材料的海洋腐蚀与防护[M]. 国防工业出版社, 1999.
- [6] Slikkerveer P J, it'tVeld F H. Model for patterned erosion[J]. Wear, 1999, 233-235: 377-386.
- [7] Lindsley B A, Marder A R. The effect of velocity on the solid particle erosion rate of alloys[J]. Wear, 1999, 225-229: 510-560.

Protection of Ablative Adhesion and Erosion of Slide Track of Missile Launcher by High-Temperature Two-Phase Exhaust Using MoS_2 -Based Bonded Solid Lubricant Film

XIAO Jun¹, ZHOU Hui-di², LI Tie-hu¹, ZHANG Qiu-yu¹, Chen Jian-min²

(1. Department of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2 State Key Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The ablation and erosion of high temperature (2 000~ 3 000) and ultra-high speed (> 5Ma) two-phase exhaust on the slide track surface of a missile launcher, together with the corrosive action of the ablation residue on the slide track surface in humid and salt mist environment, account for the breakdown and decreased service life of the launcher. Thus it is imperative to ensure the requirement for war readiness and logistics by applying effective lubrication and protection treatment to the weapon launching system with a motion clearance. Accordingly, various molybdenum disulfide-based bonded solid lubricant films were investigated for such protective purposes. The causes and features of the ablation and corrosion by the

exhaust and ablation-adhesion residue were discussed as well. The results of a series of environmental condition tests and simulating tests on an engine bench tester indicated that the ablation and corrosion degree of the slide track of the missile launcher was dependent on the engine type and the type and amount of the detonative, while it was effectively abated by coating the slide track surface with various MoS_2 -based bonded solid lubricant films. A special MoS_2 -based bonded solid lubricant film was successfully developed for the lubrication and protection of the slide track, which passed the missile field-launching test and might find promising engineering applications in the related military fields.

Key words: slide track; rocket motor exhaust; ablation-corrosion; MoS_2 bonded solid lubricant film; lubrication and protection

Author: XIAO Jun, male, born in 1962, Ph. D. candidate, Senior Engineer, e-mail: xiaojun6267ff@vip.sina.com.

欢迎订阅 2004 年度

《润滑与密封》杂志(双月刊)

《润滑与密封》杂志是中国科协主管,中国机械工程学会、广州机械科学研究院、原广州机床研究所联合主办的摩擦学分会会刊,创刊于 1973 年,是中文核心科技期刊。

《润滑与密封》主要介绍摩擦、磨损、润滑、密封的基础理论研究、试验成果及应用情况。内容主要包括:机械设备用的润滑油、添加剂、润滑系统及润滑方法;机械加工用的润滑剂及冷却液;动、静密封结构的设计,密封件及密封材料的制造及应用;与摩擦学和密封技术相关的测试仪器及试验设备。另外,还报道相关领域的专题综述、技术讲座、国内外发展动态及市场最新信息。

《润滑与密封》是万方数据网期刊,中国期刊光盘版期刊,也是中国科技论文统计用期刊,被美国工程信息公司(EI)定为 Ei Page One 数据库收录期刊。也是《美国工程索引》《中国学术期刊文摘》摘录用期刊以及美国化学文摘的源刊。单月 15 日出版,国内外公开发售,邮发代号 46-57,每册定价 8.00 元,96 页,全年 48.00 元,全国各地邮局均可订阅。也可随时向编辑部订阅。

《润滑与密封》的发行量大,是摩擦学科研工作者、设备维修的保养人员、管理人员、企业管理干部、经营销售人员、大专院校师生的得力助手。欢迎广大读者订阅、投稿。

地址:广州黄埔茅岗路 828 号《润滑与密封》编辑部 邮编:510700

电话:(020)32389600,32389823-3451 传真:(020)32389600

电子信箱:webmaster@gmERI.com

开户银行:工商银行广州黄埔支行 帐号:3602001309200039285

户名:广州机械科学研究院

汇款摘要请注明订《润滑与密封》杂志