

消光漆在光学系统的国内外应用

张建贤 邹永军 徐蕾 陈国敦 卿凤翎

(中国科学院上海有机化学研究所,上海 200032)

文 摘 简单地列举了国内外一些消光漆的应用情况,阐述了消光漆的消光性能指标的测定方法,同时对国内外的一些消光漆的消光性能进行了比较。

关键词 消光漆,消光性能,应用

中图分类号:TN2

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2014.06.021

Matte Coating and Its Application in Optical System

ZHANG Jianxian ZOU Yongjun XU Lei CHEN Guodun QING Fengling

(Shanghai Institute of Organic Chemistry, Chinese Academy of Science, Shanghai 200032)

Abstract In this paper, we simply introduced some applications of the matte paint at domestic and abroad, and expounded the measuring method of extinction performance index, and then compared the values of their extinction performance.

Key words Matte paint, Extinction performance, Application

0 引言

消光漆是消除杂光的一类油漆,是一种在一定的波长范围内强烈吸收光线以消除杂光或降低光线散射现象的油漆或涂料。消光漆的应运而生,最初是消除油漆表面的一定条件下反光问题,之后是解决光学透镜边缘的杂光和散射现象,继而到现在应用于航天领域的光学系统。最近几年,我国的航天科学技术又取得了长足的进步,尤其是新型遥感和高分辨率探测卫星技术的发展,对光学系统提出了更高的要求。而消光漆正是一种消除光学系统的杂光或降低光线散射现象的特殊材料。最理想的消光材料的目标是能够帮助科学家收集到难以获得的测量学数据,或观察到目前难以看到的其他星系中地球般大小的天体。本文着重介绍若干种国内外的消光漆在航天器光学系统的应用情况。

光学系统是作为遥感卫星的重要组成部分,其表面消除杂光主要是通过涂料涂黑或者电镀涂黑的方法,将其表面涂黑。光学系统的消除杂光就是在一定的波长范围内(紫外光波段、可见光波段、近红外波段)强烈吸收光线,以降低系统的杂光和散光现象,

最后得到一个良好的成像效果。涂料涂黑就是通过将消光漆喷涂在光学系统的结构件表面,将其涂黑后起到消除杂光的作用,工艺上操作简单。消光漆在光学系统上的应用,尤其是在航天领域,我国一直走的是自主研发之路。具体的消光漆在我国有黑漆 SR107-S731 (SB-3)、ERB-2B、SH-96、SB-3A、Es 951 等;俄罗斯黑色热控漆有 AK-512、AK-243 等;美国有 Aeroglaze[®] Z 306 黑漆和 3M 公司的 velvet 黑漆;英国国家物理研究室(NPL)研制的超级黑漆。近些年,美国 NASA 的 Goddard Space Flight Center 正开始研制一种多壁的碳纳米管的新型涂层,其效果数倍优于现有宇宙飞船正用的 Z 306 黑漆。

1 国内外消光漆的研究应用

1.1 美国的消光漆

Aeroglaze[®] Z 306 黑漆是美国产的一种聚氨酯黑漆,主要用于空间环境的航天器结构件表面,其特点是高太阳吸收率、低出气率及高辐射性能。Aeroglaze[®] Z 306 黑漆的太阳吸收率(α_s)为 0.95 ± 0.01 ,其法向发射率为 0.90 ± 0.05 。同时,有机涂层在高真空状态下有小分子释出,可能会影响探测器的光学系

收稿日期:2014-09-25

作者简介:张建贤,1977 年出生,高级工程师,主要从事特种涂层的研究和应用工作。E-mail:zjx@sioc.ac.cn

统,Z 306 黑漆的整体质量损失(TML)为1%,其可凝物挥发(CVCM)为0.02%。

3M-101-C10 velvet 黑漆是美国产的另一款高太阳吸收率(α_s)的黑漆,其 α_s 值达0.97。

1.2 英国的 NPL 超级黑漆

英国国家物理研究室(NPL)研制的超级黑漆^[1-2],它是一种低反射率的镍磷黑色涂层。将处理件浸入硫酸镍和次磷酸钠的溶液进行发黑化学处理,产生一种非电镀沉积的镍磷涂层,然后在其表面用硝酸腐蚀处理便产生有超级黑表面结构的涂层。这种超级黑漆在紫外波段和可见光波段有着很低反射率,其中在633 nm的反射率仅0.4%,比传统的黑漆对光线的反射更少,可以最大程度地消除光学系统的杂光和散射光,可提高望远镜的分辨率,对光学器具的制作有重大影响。这种超级黑漆可用于城市路牌标志,在晚上有着更少反射的图案标志而更醒目;亦可用于空间光线探测器(望远镜),如哈勃空间望远镜。

1.3 俄罗斯黑色热控漆^[3]

常用的俄罗斯黑色热控漆有AK-512、AK-243、KO818、1-416等,其黏结剂常有有机硅树脂和丙烯酸树脂为主,其 α_s 在0.90~0.95。其中,AK-512牌号的空问稳定性最佳,俄罗斯的很多航天器采用了这个牌号的黑漆。

1.4 我国消光漆的应用^[4]

我国的消光漆在航天器上的应用,主要是采用黑色有机热控涂层,其特点具有较高的 α_s 和低反射率。其中,SB-3黑漆由于其较高的 α_s 而广泛应用于光学遥感探测器的结构件上,以消除光学系统的杂光或降低光线散射现象。常用的黑色有机热控涂层还有ERB-2B、SH-96黑漆、Es951黑漆等,具体的技术指标及应用情况见表1。

表1 我国的热控黑漆及应用

Tab.1 Performance of black thermal control coating and its appliances in China

牌号	α_s	TML /%	CVCM /%	应用
ERB-2B	0.94~0.96	1.63	0.01	航天器、卫星
SB-3	0.96~0.97	2.34	0.04	航天器、卫星
Es951	0.95~0.97	-	-	地面热、光学系统等
SH96	0.94~0.96	-	-	地面热源、光学系统等
SB-3A	0.97~0.98	-	-	光学系统

特别说明的是,SB-3A黑漆是在SB-3黑漆配方原有组分基础上改进的,不但具有高吸收性能,还有着良好的抗静电性能。其 α_s 高达0.97~0.98;其体积电阻率在 $10^4 \sim 10^6 \Omega \cdot m$,具有很强的消光性能和宇航材料工艺

抗静电性能,已经应用于某类遮光罩上。

1.5 碳纳米管涂层技术

碳纳米管^[5]是1991年被发现的一种新型的碳结构,碳纳米管因其独特的性能(力学性能、电学性能、光学性能、电磁学性能和超导性能等)一直是国际新材料领域的研究热点。理想碳纳米管是由碳原子形成的石墨烯片层卷成的无缝、中空的管体。石墨烯的片层一般可以从一层到上百层,含有一层石墨烯片层的称为单壁碳纳米管,多于一层的则称为多壁碳纳米管。近些年,美国NASA的Goddard Space Flight Center的科学家团队正致力研究应用于空间飞船的一种多壁的碳纳米管的新型涂层(MWCNT coating)^[6-7],称其“Blacker than black”,该涂层的 α_s 的数值在0.9~24 μm 的波长范围内为0.99~0.91,且呈单调降低。这种技术的目标是降低卫星的结构件表面的光线散射和折射,以期数据不受影响,且证明其效果数倍优于现宇宙飞船正用的Aeroglaze[®] Z 306黑漆。这种新材料对光学遥感探测器的材料制作或是个重大的突破。

2 α_s 测定^[8]

对于不透明的热控涂层 α_s 按公式 $\alpha_s = 1 - \rho_s$ 计算,其中 α_s 为太阳吸收率, ρ_s 为太阳反射率。因此,通过测得试样太阳反射率计算出试样 α_s 。试样的太阳反射率按简化公式(1)计算。

$$\rho_s = \sum_{i=1}^n \rho_{\lambda_i} K_{\lambda_i} \quad (1)$$

式中, $i=1 \sim n$, n 为波长200~2600 nm内的测试计算点数目,一般 $n \geq 60$, ρ_{λ_i} 为波长为 λ_i 时试样的相对光谱反射率, K_{λ_i} 为综合系数,即第 i 个波长间隔内辐射能量占全波长范围内太阳辐射能量的百分数。涂层的 α_s 数据越高,说明涂层的 ρ_s 越低,涂层的消光性能越佳。

2.1 测试装置^[9]

测试装置为Perkin Elmer公司生产的LAMBDA 900 UV/VIS/NIR Spectrometer,波长为190~3300 nm,精度为 ± 0.08 nm,仪器主要由光学系统、检测系统及附件(积分球、中心支架、计算机和打印机)组成(图1)。

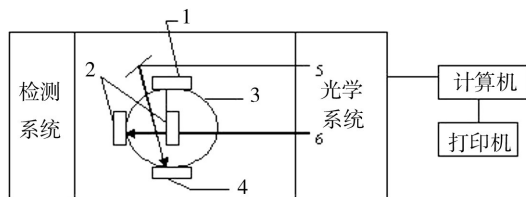


图1 α_s 测定仪器示意图

Fig.1 Diagram of solar absorptivity test apparatus

2.2 涂层的 α_s 测定和数据的比较

待测试片为40 mm正方形的薄铝合金底材涂层试片,在测试前,将两个标准片置于积分球参比孔和

试样孔处,按仪器操作要求进行自检、调试和基线扫描,在仪器正常情况下对试样进行测试。将试样孔处的标准白板取下放上待测试片(相对法),在波长 200~2600 nm 进行扫描,得出试样相对于标准白板的太阳反射率曲线。Aeroglaze® Z 306 黑漆、3M-101-C10 velvet 黑漆、SB-3 黑漆、SB-3A 黑漆、ERB-2B 黑漆的 ρ_s 测试结果见图 2。

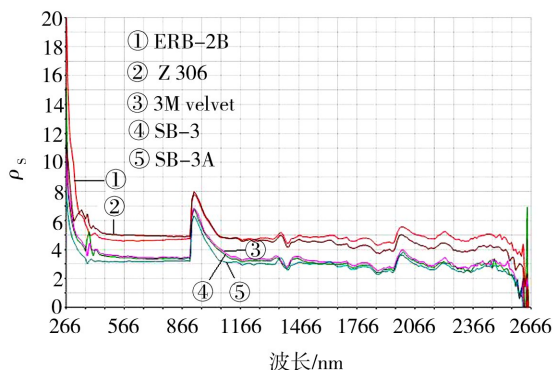


图 2 5 种涂层的 ρ_s 曲线

Fig. 2 Solar reflective curves of five samples

由图 2 可见,ERB-2B、Z 306、3M-101-C10 velvet、SB-3 和 SB-3A 黑漆 5 种涂层的 ρ_s 曲线依次由上而下排列,SB-3A 黑漆的太阳反射率曲线最低,其 α_s 最高,消光性能应该最佳,具体数据见表 2。

表 2 5 种涂层的太阳吸收率

Tab. 2 Solar reflective values of five samples

涂层	α_s	涂层	α_s
ERB-2B	0.95	SB-3	0.97
Z 306	0.96	SB-3A	0.98
3M velvet	0.97		

SB-3 是目前国内使用最佳的消光漆,已经成功应用于各类航天器和卫星的光学系统。而 SB-3A 黑漆 α_s 高达 0.97~0.98;体积电阻率在 $10^4 \sim 10^6 \Omega \cdot m$,具有更佳的消光性能和抗静电性能,在航天航空

领域中有广阔的应用前景。

3 结语

消光漆是一类在一定的波长范围内强烈吸收光线以消除杂光或降低光线散射现象的油漆或涂料,主要应用于航天器和卫星的光学系统,也可以应用于各类光学仪器内部。因此,消光漆作为一种新型的功能材料,在我国的许多领域有着极为广泛的应用前景。

参考文献

- [1] Brown R J C, Brewer P J, T Milton M J. The physical and chemical properties of electroless nickel-phosphorus alloys and low reflectance nickel-phosphorus black surfaces[J]. Journal of Materials Chemistry, 2002(12):2749
- [2] Dury M R, Theocharous T, Harrison N, et al. Common black coatings-reflectance and ageing characteristics in the 0.32~14.3 μm wavelength range[J]. Optics Communications, 2007(270):262-272
- [3] 曾一兵,张廉正,胡连成.俄罗斯空间有机热控涂层的发展现状及动向[J].航天器工程,1998,7(4):31-63
- [4] 张建贤,邹永军,徐蕾,等.黑色有机热控涂层[C].第九届空间热物理专题学术研讨会论文,中国空间技术研究院,2009:425-427
- [5] 徐幸梓,王必本,刘天模.碳纳米管性能的研究进展[J].材料导报,2001,15(11):43-44
- [6] <http://www.nasa.gov/topics/technology/features/new-nano.html>
- [7] Evangelos Theocharous, John Lehman. The evaluation of a pyroelectric detector with a sprayed carbon multi-wall nanotube black coating in the infrared[J]. Infrared Physics & Technology, 2011,54:34-38
- [8] 闵桂荣.卫星热控制技术[M].北京:中国宇航出版社,1991:366-379
- [9] 徐蕾,邹永军,顾新伟,等.热控涂层太阳吸收率的测定[C].第六届空间热物理会议论文集,中国空间技术研究院,2003:374-376

(编辑 李洪泉)

(上接第 87 页)

[3] Lin J, Dean T A, Garrett R P, et al. A process in forming high strength and complex-shaped Al-alloy sheet components [P]. British Patent, Vol. WO2008059242, UK2008

[4] Foster A D, Mohamed M S, Lin J, et al. An investigation of lubrication and heat transfer for a sheet aluminium heat, form-quench (HFQ) process [J]. Steel Res. Int., 2008, 79(11):113-20

[5] Lin J, Balint D, Wang L, et al. Method for forming component of complex shape from aluminum-alloy sheet, involves quenching heated sheets between cold dies in solution and maintaining shape of sheet[M]. Imperial Innovations Ltd (Unlo), 2011: 13

[6] Wang L, Strangwood M, Balint D, et al. Formability and failure mechanisms of AA2024 under hot forming conditions[J]. Mater. Sci. Eng. A-Struct. Mater. Prop., 2011, 528:2648-2656

[7] Mohamed M S, Foster A D, Lin J, et al. Investigation of deformation and failure features in hot stamping of AA6082: Experimentation and modeling[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2011,53:27-38

[8] Li N, Mohamed M S, Cai J, et al. Experimental and Numerical Studies on the Formability of Materials in Hot Stamping and Cold Die Quenching Processes [C]. AIP Conference Proceedings, 2011, 1353:1555-61

[9] Wang L, Lin J, Fakir O E, et al. HFQ forming: a novel lightweight metal forming technology for mass-production[C]. TTP 2013 Conference, 2013

[10] <http://cn.apgroup.com>

(编辑 李洪泉)