

大口径镜面镀膜与镀膜系统配置

吕立冬^{1,2}, 李新南¹

(1. 中国科学院南京天文光学技术研究所, 江苏 南京 210042; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 对大口径镜面特别是对大口径天文望远镜镜面的镀膜时, 镀膜系统的配置对膜层性能的预期指标的的实现起着非常重要的作用。整个镀膜系统的配置, 一般都需要根据镜面的尺寸、镀膜方案以及相关工艺参数等来专门设计制造镀膜机。本文在借鉴了国内外大口径镜面镀膜的系统配置实践经验的基础上, 针对 LAMOST 子镜的特点以及镜面在更新镀铝膜时对膜层的各项性能指标的要求, 分析并初步提出了相应的具有可行性的镀膜系统的配置方案。

关键词: 大口径镜面; 镀膜; 工艺参数; 系统配置

中图分类号: TH74; TB43

文献标识码: B

文章编号: 1002-0322(2009)02-0026-03

Large-aperture mirror coating and configuration of coating system

LV Li-dong^{1,2}, LI Xin-nan¹

(1. Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: During the coating of large-aperture mirror especially that is applied to astronomical telescope, the configuration of coating system is very important to satisfying the expected performance indices of thin film coating. Generally, the configuration of coating system is to be designed specially according to the size of mirror, coating scheme and relevant technical parameters. With various experience at home and abroad absorbed for large-aperture mirror coating and taking account of the characteristics of the LAMOST sub-mirror coating, the requirements of various performance indices of film coating when updating the Al film layers of the sub-mirror are analyzed. A preliminary plan of configuration of coating system is thus proposed, which is regarded as feasible.

Key words: large-aperture mirror; coating; technical parameters; system configuration

镀膜设备是为了镀膜生产服务的, 因此镀膜系统的设计就必须适应镀膜生产的具体工艺, 而不是改变生产工艺来适应镀膜机。这一点在对大口径镜面特别是对大口径天文望远镜镜面镀膜方面显得尤为突出。在电阻丝热蒸发沉积镀铝方面, 我们可以从美国 MMT 望远镜 6.5 m 主镜、麦哲伦工程 6.5 m 镜面、哥伦比亚工程 8 m 镜面的镀铝以及日本 Subaru 望远镜 8.2 m 主镜的镀铝等实践中总结出非常成熟的系统配置方法。出于对望远镜镜面光学性能和机械性能的更高的要求, 人们也不断开创着各种复杂工艺镀银的实践。随着镀膜技术和制造技术的发展, 天文望远镜镜面镀银已经有了巨大的进步, 磁控溅射、离子束辅助沉积等一些先进的镀膜工艺已投入到

了镀银的实际应用当中。KECK 望远镜和 GEMINI 镜面全部完成银膜层的替换, 为新的沉积工艺下的大口径天文望远镜镜面镀膜系统的设计开辟了崭新的道路。本文在借鉴了国内外大口径天文望远镜镀膜的成功经验的基础上, 根据 LAMOST 子镜的具体特点和膜层性能要求, 提出相应的镀膜系统的配置方案, 为下一步的实验调试做好了准备。

1 LAMOST 子镜的特点与镀膜机尺寸的选择

1.1 LAMOST 子镜的特点

LAMOST 子镜是对角线长为 1.1 的正六边形镜面, 其中 M_A 子镜为平面镜, 厚度为 25 mm, M_B 子镜为球面镜, 厚度为 75 mm。由于 LAMOST 子

收稿日期: 2008-03-04

作者简介: 吕立冬(1982-), 男, 四川省邻水县人, 硕士生。

联系人: 李新南, 研究员。

镜背部都安装有精密的复杂的机电部件,所以不能用传统的立式镀膜机来对它进行膜层的更新。图1给出了镀膜机的大致结构。其中,中间部分是镀膜室,镀膜前对它抽到 10^{-6} mbar 的高真空,两边是隔离室,它将镜子后面的机电部件与镀膜室隔离,镀膜时对它抽到 10^{-2} mbar 的低真空。我们采用单面镀铝的聚酯薄膜对进行真空隔离,薄膜的一端与镀膜室内壁连接,另一端与镜子侧面相连。

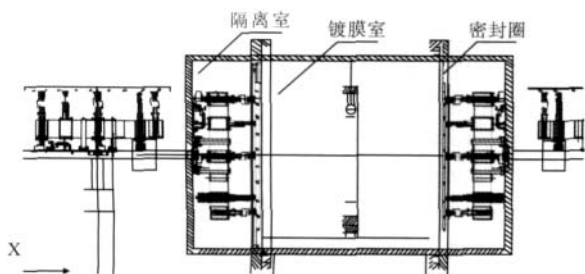


图1 LAMOST子镜专用镀膜装置

Fig.1 Schematic of coating setup for LAMOST sub-mirrors

1.2 镀膜机尺寸的选择

由于我们采用的是电阻丝热蒸发镀铝,因此,钨丝的形状、尺寸特别是钨丝的个数对镀膜机的直径起着决定作用,而源基距决定了镀膜机的身长,这也就是说蒸发沉积系统的布局决定镀膜机的尺寸。因此,必须对蒸发沉积系统建立相应的数学模型,计算并分析膜层的性能。根据计算,我们选择源基距离为80 cm,选择12个钨丝按间隔为30度的形式分布在半径分别为110 cm的圆周上,同时,设计了简易圆孔形挡板,计算得出膜层的均匀性为4.2%,这很好的满足了均匀性要低于5%的要求。图2给出了沿对角线方向的膜层厚度分布曲线。

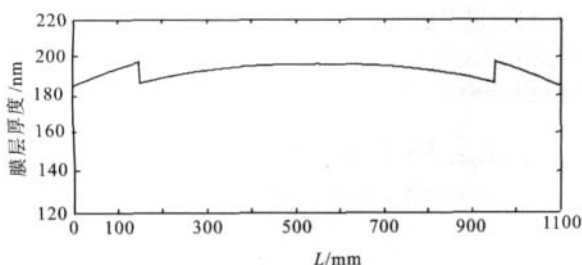


图2 沿对角线方向的膜层厚度分布曲线

Fig.2 Thin film thickness distribution along diagonal

在满足膜层性能的要求下,将源基距离选择为80 cm,缩小系统尺寸,这样可以降低对真空系统的要求,同时也能节省成本。

2 真空系统的配置

真空系统的配置需要考虑真空室的尺寸、所

需的真空度、抽速以及真空的维持等。由图1可知,由于镜子前后被隔离成高真空与低真空室,因此真空系统应对镀膜室和隔离室抽低真空,以保证镜子前后两面的压力差最小,以防止隔离层受到破坏,另外还要单独对镀膜室抽高真空。因此,用机械泵和罗茨泵的组合就能很好的快速的实现抽低真空的要求,然而在对镀膜室抽高真空时,泵的配置则需要比较细致的考虑,这方面的经验我们可以从MMT 6.5 m主镜和Subaru 8.2 m主镜镀膜的成功经验中轻易获得。分子泵和低温泵来是抽高真空的理想组合,同时附加相应的冷阱就可以很好地防止返流并有效地消除水汽。图3为美国MMT天文台总工程师J.T.Williams来南京时针对真空系统配置给出的建议。这种方案继承了MMT 6.5m主镜镜面热蒸发镀铝的真空系统配置的思想,同时几乎所有大口径镜面热蒸发镀铝真空系统配置都使用这种方法。这是实践经验的总结,非常具有参考价值。

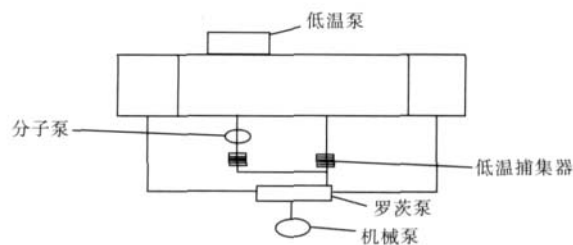


图3 真空系统配置示意图

Fig.3 Configuration of vacuum system

3 监控系统

镀膜机的监控系统一般的可分为:压强监控、膜厚监控、温度监控。于是在真空室以及真空系统相应的位置应当合理设置热偶规管和电离规管来精确测量压强。对压强的精确测量能准确评价真空系统的好坏,同时有助于真空隔离方法的选择。温度监控要求能实时反映镀膜室内温度的变化,以便及时采取措施确保膜料分子的沉积在最佳的温度条件下进行。在膜层厚度监控方面,镀金属膜一般选用石英晶体振荡微天平(QCM),目前国内使用得最多的也就是MDC-360石英晶体膜厚仪。石英晶体的放置需要经过一定的计算选择合适的位置,使其能准确的反映镜面上膜层的厚度以及膜层的沉积速率,以便于对蒸发系统进行功率调节,从而最终确定工艺参数。

4 其他设备

对大口径天文望远镜镜面镀膜,镀膜机系统

的设置除了一些大的子系统外,还应该设计一些与之配套的设备。其中夹具、吊装、翻转及转运机构以及离子源和检漏设备等必不可少。大口径镜面本身重量很大,因此在设计夹具的时候一定要保证对镜面有良好的支撑和固定作用,保证镜面的安全。对 LAMOST 子镜来说,夹具的设计还应考虑到 M_A 子镜和 M_B 子镜部套互换性、高低真空隔膜的密封性以及子镜进出镀膜机的灵活性。同时还要合理地安排吊装机、转台、导轨以及液压升降台,使镜面能安全地、轻巧地进入镀膜机。

离子源的是蒸镀金属膜的系统中必不可少的设备。在对大口径镜面镀膜时,离子源一般用于对镜面的清洁。在这点上选用霍尔离子源就能很好地完成清洁任务。当然也可以自行设计离子源,比如日本 Subaru 8.2 m 主镜镀铝就是自行引入了离子轰击棒,使它与气体产生辉光放电来清洁镜面。

检漏设备比较常用的有氦检漏仪或质谱仪,这两者都能很好的满足真空检漏的要求。检漏过程非常重要,对于大尺寸的镀膜机真空性能的稳定是成膜质量的关键。

5 总结

对于大口径镜面镀膜,镀膜系统的配置必须根据镜面的尺寸和特点、镀膜工艺以及膜层的预期性能等量身打造。本文根据 LAMOST 子镜镜面自身的特点,按镀膜系统各个部分的组成阐述了镜面的尺寸以及镀膜方案对镀膜机尺寸的选择、真空系统的设置以及监控系统和装夹机构等的具体要求,提出了一个具有可行性的镀膜系统的配置方案,为镀膜机的制造和镀膜实验做好了准备。

参考文献

- [1] Yukiko Kamata, Toshio Sato, Tomio Kanzawa. Evaluation of the Thin Films for Mirror Coating at Subaru Telescope. Proc. of SPIE, 2003, 4837 :878-876.
- [2] Yukiko Kamata, Saeko S. Hayashi, Takeshi Noguchi, etc. Coating Experiment with 1.6m Vacuum Evacuation Chamber Proc. of SPIE, 1998, 3352 :526-536.
- [3] Saeko S. Hayashi, Yukiko Kamata, Toio Kanzawa, etc. Status of coating of Subaru telescope", Proc. of SPIE, 1998, 3352 :454-458.
- [4] Tomio Kurakami, Masami Yutani, Tomio Kanzawa, etc. Mirror Coating 2003 in SUBARU Telescope. Proc. of SPIE, 2004, 5494 :574-583, 2004.
- [5] Clark D, Kindred W, Williams J T. In-situ Aluminization of the MMT 6.5m Primary Mirror. Proc. of SPIE, Vol. 6273, pp. 1-13, (627305).
- [6] Barry A. Sabol, Bruce Atwood, J. M. Hill, etc. Evaporation coating systems for very large astronomical mirrors. Proc. of SPIE, vol. 1236, pp. 940-951.
- [7] Schneermann M, Groessi M. Design and performance of the VLT 8 meter coating unit. Proc. of SPIE, Vol. 2871, pp. 136-125.
- [8] Kindred W. Re-Evaluation of Aluminum Thickness Distribution on the MMT 6.5m Primary Mirror using New Software. MMT Internal Technical Memorandum #04-4, Nov. (2004).
- [9] Min-Ho Junga, Sangwoong Yoone, Eun-Soon Chung, etc. Analysis of Solvent Effect to Control the BARC Coating Uniformity. Proc. of SPIE, Vol. 5376, pp. 703-710.
- [10] Mancini D, Cortecchia F, Ferruzzi D, Marra G, et al. VLT Survey Telescope (VST) The VST Optical Performance. http://www.na.astro.it/~twg/twg/papers/twg_vst_2.pdf
- [11] Ermanno F. Borra, Omar Seddiki, Roger Angel, etc. Deposition of metal films on an ionic liquid as a basis for a lunar telescope. nature, Vol. 477, June 2007.
- [12] 潘栋梁, 熊胜名, 张云洞, 等. 行星夹具膜厚均匀性的计算[J]. 强光与粒子束, 2000, 12(3):277-280.
- [13] 刘缠牢, 梁海锋, 蔡长龙. 脉冲电弧源的发射特性建模[J]. 真空, 2006, 43(5):6-8.
- [14] 潘栋梁, 熊胜名, 张云洞, 等. 大口径镀膜机膜厚均匀性分析[J]. 应用光学, 2001, 21(1):33-38.
- [15] 徐力, 吕江. 真空镀膜膜厚均匀性的理论分析[J]. 天津理工学院学报, 1999, 15(增刊):102-104.
- [16] 顾培夫. 薄膜技术[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 1990.

《真空技术标准汇编》和《真空技术标准应用专集》出版发行

全国真空技术标准化技术委员会和中国标准出版社编辑的《真空技术标准汇编》、全国真空技术标准化技术委员会编辑的《真空技术标准应用专集》已分别由中国标准出版社和原子能出版社出版。

《真空技术标准汇编》收集了截止 2007 年 12 月底批准的国家标准和 2006 年底批准发布的行业标准共 51 项。本汇编包括基础标准、试验方法标准和产品标准,在真空工业和国民经济发展中起到了重要作用,为真空行业产品的策划、设计开发、生产、检验、质量控制、贸易等方面提供了重要依据。

《真空技术标准应用专集》主要包括真空技术标准研究与应用的文章,对标准的使用进行解读,同时包括我国真空工业发展情况、国内外真空技术标准概况与标准相关的法律法规、常用标准目录等内容。

两册书互相配套使用,适用于真空行业的科研、设计、生产、检验、维护方面的人员和大专院校相关师生使用,也适用于应用真空技术的各类专业人员使用。

两册书共 278 元,可与全国真空技术标准化技术委员会联系购买。(邮购信息网址: www.cnvacuum.org)

(全国真空技术标准化技术委员会供稿)