

一种试验箱硫化锌光学窗口玻璃的温控设计

高斌, 赛建刚, 王亚军, 高博, 段炯

(中国科学院 西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119)

摘要: 光电产品在试验箱内进行低温试验时, 因试验箱内低温环境, 会带来硫化锌光学窗口玻璃结霜结露, 严重影响光电产品的光学测试。文章从硫化锌光学玻璃物理特性入手, 对光学窗口玻璃建立控温模型和仿真分析。分析表明光学玻璃窗口侧面加热, 可实现口径小于 330mm 的光学窗口玻璃外表面温度高于露点温度, 避免光学窗口结霜结露的发生。经过热控实施和试验验证, 该控温方式有效, 为此类光学窗口玻璃的控温提供了一种手段。

关键词 硫化锌;光学窗口玻璃;温控;试验箱

Temperature Control Design of Zinc Sulfide Optical Window Glass for Temperature Test Chamber

Gao Bin, Sai Jiangang, Wang Yajun, Gao Bo, Duan Jiong

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

Abstract: When photoelectric products are tested at low temperature in the test box, due to the low temperature environment in the test box, frost and dew will be brought to the glass of zinc sulfide optical window, which will seriously affect the optical test of photoelectric products. Based on the physical characteristics of zinc sulfide optical glass, the temperature control model and simulation analysis of optical window glass are established. The analysis shows that the surface temperature of optical window glass with diameter less than 330mm is higher than the dew point temperature, and the occurrence of frost and dew can be avoided by heating the side of optical glass. Through the implementation of thermal control and experimental verification, the temperature control method is effective, which provides a means for the temperature control of such optical window glass.

Keywords: Zinc sulfide; Optical window glass; Temperature control; Temperature test chamber

1 引言

随着型号产品质量的要求提高，各类产品都需要进行高低温试验。作为光电类产品，也需要在试验箱内低温环境下进行光学指标的测试。为了实现红外光电产品同时覆盖可见光产品的测试需要，一般都选择硫化锌光学玻璃作为光学测试的窗口。

试验时，随着试验箱内温度的降低，试验箱侧壁的光学窗口玻璃温度也逐渐下降。当其外表面温度低于实验室露点温度时，就会产生结露。当其外表面温度低于 0°C 时，就会出现白霜。此时硫化锌光学窗口玻璃已无法满足产品测试要求。

经调研，一般采取表面镀导电加热膜加热和表面吹热风的方式来解决光学窗口外表面的结霜结露的问题^{[1][2]}。因硫化锌光学玻璃表面还需要镀增透膜，因此通过使用加热膜的方式会影响原有膜层，不推荐采用。而采用表面吹热风的方式能否实现对硫化锌光学玻璃的加热，文章中对此展开研究。文章中的研究课题为某光电产品温湿度试验箱自研项目，其光学窗口玻璃直径 330mm，厚 30mm，材料为 ZnS。

2 模型建立与仿真

2.1 模型建立

光学玻璃通过硅橡胶接触安装在光学法兰内，接触面积小，其导热系数为 0.27 W/(m·°C)，远小于光学玻璃的导热系数，因此在建模时不考虑其接触传热影响。

试验箱运行时，试验箱内光学窗口玻璃表面传热主要以空气的强迫对流为主，辐射次之。参考试验箱研制标准，试验箱内风速： $\leq 1.7\text{m/s}$ 。通过传热学计算，在 -50°C 到 20°C 范围，内表面的表面换热系数波动不大，经计算，选取 $13.4\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

光学窗口外表面所处的试验室为自然对流状态，经计算，其表面换热系数选取 $6.7\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

模型选取的光学窗口玻璃内外环境分别为：箱体内 -50°C、实验室 20°C，所选用的其他物性参数见表 1 所列。

表 1 所选用的玻璃参数

材料	密度 kg/m ³	导热系数 W/(m·°C)	比热容 J/(kg·°C)	发射率	太阳吸收比
硫化锌玻璃	4080	25.1	469	0.90	0.90

使用仿真软件建立了光学窗口玻璃的模型，定义材料参数、对流换热系数、辐射系数，进行网格划分，见图 1 所示。对光学玻璃侧面加热时，选取的热载荷为恒温。

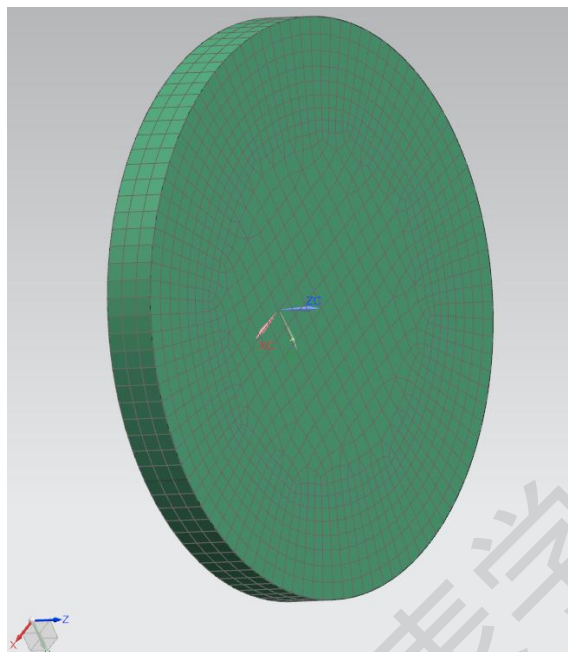


图 1 光学窗口玻璃仿真模型及网格划分

2.2 光学玻璃无加热的仿真

模型无热载荷，通过仿真，在没有任何措施的情况下，光学玻璃外表面温度为 -21.53°C ，其温度分布见图 2 所示。当外表面吹加热氮气（ 40°C ）情况下，外表面换热系数选取 $13.4\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，经仿真外表面温度为 -5.27°C ，其温度分布见图 3 所示。这两种情况，光学玻璃外表面温度均匀。

由此可以看出，在光学玻璃外表面吹加热氮气的时候，其外表面温度明显提升，但是还远低于露点温度。该方法无法脱离氮气气源，操作不方便。

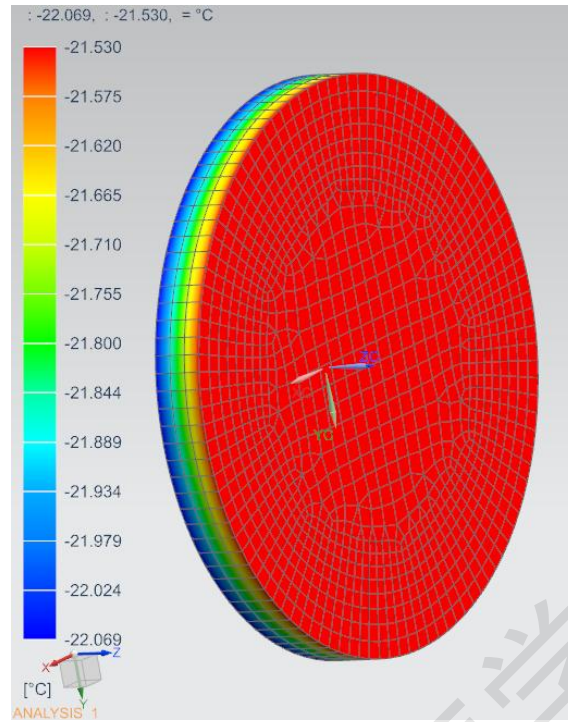


图 2 光学玻璃自然状态下温度分布

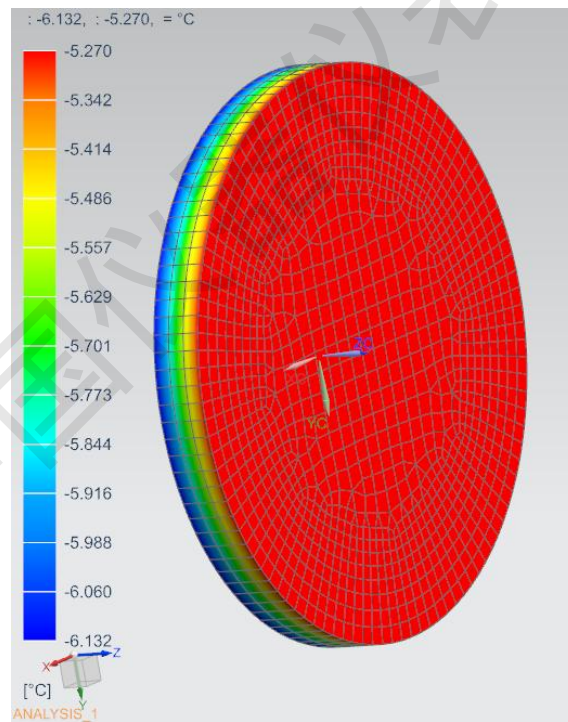


图 3 光学玻璃外表面加热氮气吹扫的温度分布

2.3 光学玻璃侧面加热的仿真

在玻璃窗口侧面提供加热并进行控温。经过仿真，光学玻璃侧面控温 25°C 时，光学玻璃出现镜像温差，中心点温度最低，见图 4。外表面中心温度为 15.28°C ，高于实验室的常

见环境条件的露点温度，因此不会在玻璃表面结露结霜。光学玻璃内表面中心温度为14.59°C，轴向温差 $<1^{\circ}\text{C}$ 。玻璃边缘温度升高，光学玻璃整体温度提升明显。

采取该控温措施后的温度分布，进行光学玻璃面形和传递函数仿真计算，对测试产品的误差较小，能满足测试需要。

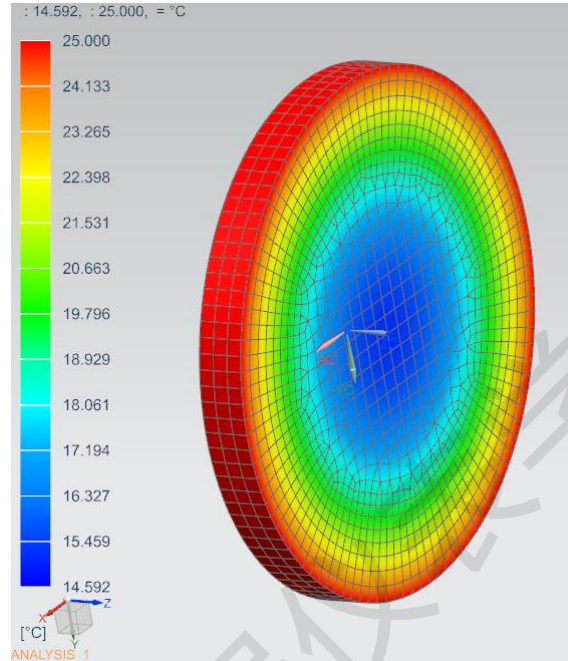


图4 光学玻璃侧面加热控温的温度分布

3 热控实施

在玻璃侧面安装薄膜型电加热器，该加热器依据玻璃侧面尺寸定制，由多片串联组成，粘贴时均匀分布。加热器使用硅橡胶与玻璃侧面良好贴合，加热器外接温控仪。法兰安装照片见图5所示。



图 5 直径 330mm 光学玻璃窗口安装照片

4 试验验证

试验箱内低温运行时，通过温控仪设定光学玻璃侧面不同的目标温度，对光学玻璃的温度进行实时监测。试验箱在低温-50℃长时间运行时，光学玻璃侧面温度设定为 25℃，在无加热氮气吹扫情况下，玻璃表面温度无结露情况，达到了设计要求，见图 6 所示。在试验箱低温下进行的光学调试与测试工作，光学指标均满足要求。

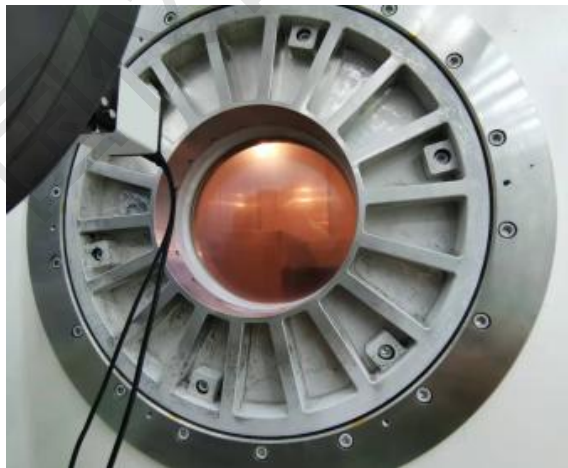


图 6 低温保持中光学玻璃效果照片

5 结论

通过硫化锌光学玻璃窗口的模型建立、参数选取和不同状态下的温度仿真和试验验证，使用侧面加热控温的方式，即可实现对口径 330mm 硫化锌光学玻璃窗口的控温，其温度范

围接近室温，光学指标经比对测试，满足光学测试的指标要求。该控温设计，也为其他光学窗口的控温提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 张海民,高斌,赛建刚等. 一种防止光学窗口结霜的吹扫装置和带有吹扫装置的光学窗口:
CN 202021483953[P]. 2021-04-20.
- [2] 张扬.一种接触式光学窗口镜面除霜系统: CN201620606715.6 [P]. 2016-06-21.

中国仪器仪表学会