

15吋电加热屏蔽玻璃的制备及性能研究

吕德涛, 李思远, 许晓丽, 张凝玉, 孙继伟

中国电子科技集团公司第三十三研究所, 山西 太原

收稿日期: 2022年3月28日; 录用日期: 2022年4月20日; 发布日期: 2022年4月29日

摘要

15吋电加热屏蔽玻璃可解决机载、舰载显控台低温启动和电磁兼容问题。采用ITO导电玻璃和金属网格膜分别作为面发热加热膜和电磁屏蔽材料, 通过真空高压热复合工艺和OCA贴合工艺将加热膜、外层防护层以及电磁屏蔽层复合成型, 制备了15吋电加热屏蔽玻璃。对15吋电加热屏蔽玻璃的可见光透过率、加热性能、电磁屏蔽效能进行了测试分析, 试验结果表明在 -40°C 环境下, 输入电压24 V时, 加热15 min后, 15吋电加热屏蔽玻璃表面温度可达到 33°C 。

关键词

电加热, 屏蔽玻璃, ITO, 金属网格膜, 屏蔽效能

Preparation and Properties of 15 Inch Electric Heating Shielding Glass

Detao Lv, Siyuan Li, Xiaoli Xu, Ningyu Zhang, Jiwei Sun

No. 33 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Taiyuan Shanxi

Received: Mar. 28th, 2022; accepted: Apr. 20th, 2022; published: Apr. 29th, 2022

Abstract

The 15 inch electric heating shielding glass can be used to solve the problems of low temperature start-up and electromagnetic compatibility of airborne and shipborne display and control consoles. ITO conductive glass was used as surface heating film and metal mesh film was used as electromagnetic shielding material, the heating film, outer protective layer and electromagnetic shielding layer were composite molded by vacuum high pressure thermal composite process and OCA bonding process to prepare 15 inch electric heating shielding glass. The visible light transmittance, heating performance and electromagnetic shielding efficiency of 15 inch electric heating shielding glass are tested and analyzed. The test results show that the surface temperature of 15 inch electric heating shielding glass can reach 33°C after heating for 15 minutes at -40°C and input voltage of 24 V.

Keywords

Electric Heating, Shielding Glass, ITO, Metal Mesh Film, Electromagnetic Shielding Efficiency

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电加热屏蔽玻璃是具有电加热升温功能、屏蔽电磁波功能的透明可视器材[1] [2] [3]。通过直流电源给电加热屏蔽玻璃输入电压，电加热屏蔽玻璃的玻璃面整体发热，可以将热量传递给液晶显示器，能够有效解决液晶在低温环境下扭曲转向变差导致的“黑屏”、“雪花”问题；另外，电加热屏蔽玻璃可以屏蔽液晶屏的公共电极等大功率器件的对外电磁辐射，并提高液晶屏对外界电磁波的抗干扰能力。但兼顾高效面发热性能和高屏蔽效能一直是传统电加热屏蔽玻璃亟待解决的难题。目前电加热屏蔽玻璃的选材和结构多种多样[4] [5]。从电加热功能上划分，有加热丝和加热膜两类，由于用于液晶屏的前面，需要清晰观察液晶屏显示的图形图像，通常采用加热膜，加热膜又包括 ITO 导电玻璃[6]、ITO 柔性薄膜[7]、纳米银柔性薄膜[8]等。从电磁屏蔽功能上划分，有金属丝网[9]、金属网格膜[10]、纳米银柔性薄膜等。

15 吋电加热屏蔽玻璃主要用于机载、舰载等军用装备的显控台，可以实现显控台的低温启动和电磁兼容。本文通过设计 ITO 导电玻璃为加热膜层，以金属网格膜为电磁屏蔽层，制备了兼顾高效面发热、高屏蔽效能、高透光率的 15 吋电加热屏蔽玻璃，并对 15 吋电加热屏蔽玻璃的具体可见光透过率、加热性能、电磁屏蔽效能进行了测试。

2. 实验部分

2.1. ITO 导电玻璃电加热功能设计原理

ITO 导电玻璃电加热具体的计算过程如下：

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{极间}}}, R_{\text{极间}} = \frac{U^2}{P} \quad (2-1)$$

式中， P 为加热功率， U 为输入电压， $R_{\text{极间}}$ 为 ITO 导电玻璃两个电极之间的极间电阻。根据式(2-1)可以确定在额定电压下 ITO 导电玻璃的极间电阻。ITO 导电玻璃的极间电阻并不是 ITO 导电玻璃的自身的固定物理性能，需要根据式(2-2)计算出 ITO 导电玻璃的表面方阻。

极间电阻与方阻的换算关系为：

$$R_{\text{极间}} = R_{\square} \cdot \frac{a}{b} \quad (2-2)$$

式中， R_{\square} 为 ITO 导电玻璃的表面方阻， a 、 b 如图 1 所示为电加热面的宽度和长度。

2.2. 实验试剂及仪器

ITO 导电玻璃选用常州百斯特生产的方阻 $7.2 \Omega/\square$ 、厚度 0.7 mm 的 ITO 镀膜浮法玻璃；胶片选用日本积水生产的厚度为 0.38 mm 的 PVB 胶片；外层防护玻璃选用恒昊光学生产的厚度为 1.1 mm 的钢化玻璃；

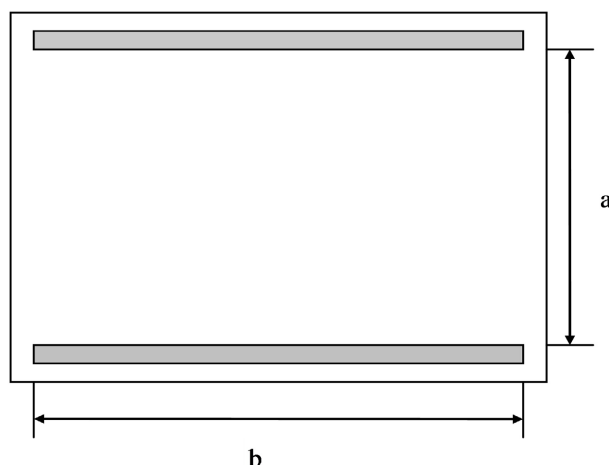


Figure 1. Schematic diagram of heating of ITO conductive glass

图 1. ITO 导电玻璃加热示意图

金属网格膜选用昇印光电生产的带背胶的 250 目的纳米银网格膜；柔性电极为深圳龙海生产的铜电极，表面覆有聚酰亚胺膜，长度 400 mm，宽 2.0 mm。

CNC 异形玻璃磨边加工中心为蚌埠朝阳玻璃机械有限公司 CNC1311 型用于玻璃裁切；丝网印刷机为东莞市昌浩丝移印机械有限公司 HS-700PD 型用于制备汇流条；高压罐为中航泰拓装备有限公司 PY-1 型用于真空高压热复合；OCA 贴合机为佰润邦光电科技有限公司 SY-24 型用于 OCA 贴合；除泡机为中国电子科技集团第二研究所 PG-01 型用于脱泡。

2.3. 制备过程

2.3.1. 裁切

将 ITO 导电玻璃、胶片、外层防护玻璃、金属网格膜裁切成 $318.3 \text{ mm} \times 242.1 \text{ mm}$ 。柔性电极裁切成 315 mm 长。

2.3.2. 制备汇流条

首先在 ITO 导电玻璃的两个平行边距边 2.5 mm 处用网版丝印银浆，宽度 2.0 mm，然后放置于烘箱中 200°C 烘干 4 h。

2.3.3. 真空高压热复合

按“钢化玻璃/PVB 胶片/柔性电极/ITO 导电玻璃”结构合片，柔性电极与 ITO 玻璃表面的银浆汇流条对齐。合片后再将结构件摆放在真空袋中，密封后，抽真空，真空度需达到 -93.0 KPa 。将真空袋随小车推入高压罐中，并设置缓冲温度、热熔温度、保温时间、最大压力及升温升压速率等参数。真空高压热复合工艺曲线见图 2。

2.3.4. OCA 贴合

用 OCA 贴合机将金属网格膜贴在热复合后的电加热玻璃的钢化玻璃一面。然后在除泡机中脱泡，设置脱泡温度 55°C 、压力 500 KPa，升降温速率、升降压速率不做要求。

2.4. 性能测试

采用上海仪电物理光学仪器有限公司生产的 WGT-S 型透光率/雾度测定仪测试电加热屏蔽玻璃的透光率和雾度。

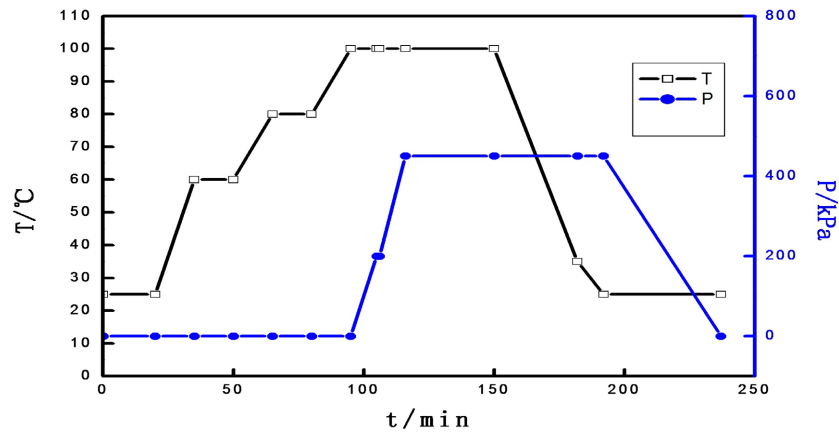


Figure 2. Process curve of vacuum high pressure thermal compounding
图 2. 真空高压热复合工艺曲线

通过高低温试验箱、直流电源、温控仪及温度传感器搭建测试平台测试电加热屏蔽玻璃的加热性能，见图 3，其中高低温试验箱为广州五所环境仪器有限公司 EG-10KA 型，直流电源为艾德克斯 IT6720 型，温控仪为江苏星河电子科技有限公司 XH-W2140 型，温度传感器为江苏星河电子科技有限公司 B 值 3950 K 的 NTC 薄膜热敏电阻型。

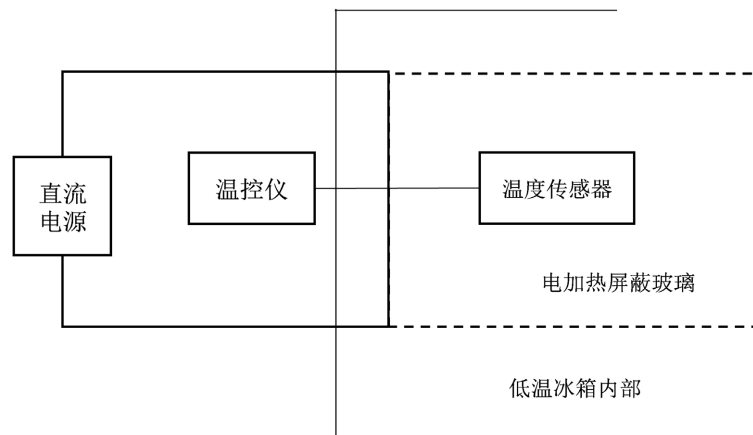


Figure 3. Schematic diagram of heating performance test
图 3. 加热性能测试原理图

电加热屏蔽玻璃的电磁屏蔽效能通过暗室、信号发生器、频谱分析仪、天线搭建测试平台来测试，见图 4，其中信号发生器为德国罗德与施瓦茨 SMP02 型，频谱分析仪为美国安捷伦 E4440A 型，双锥天线为德国罗德与施瓦茨 HK116 型，对数周期天线为德国罗德与施瓦茨 HL223 型，喇叭天线为德国罗德与施瓦茨 HF906 型。

3. 结果与讨论

3.1. 透光率与雾度

透光率/雾度测定仪空测校准后，按照 GB/T 2410-2008 方法 B 将 15 吋电加热屏蔽玻璃放置在透光率/雾度测定仪靠近积分球一侧，经测试(图 5)，透光率为 72.7%，雾度为 4.12%。

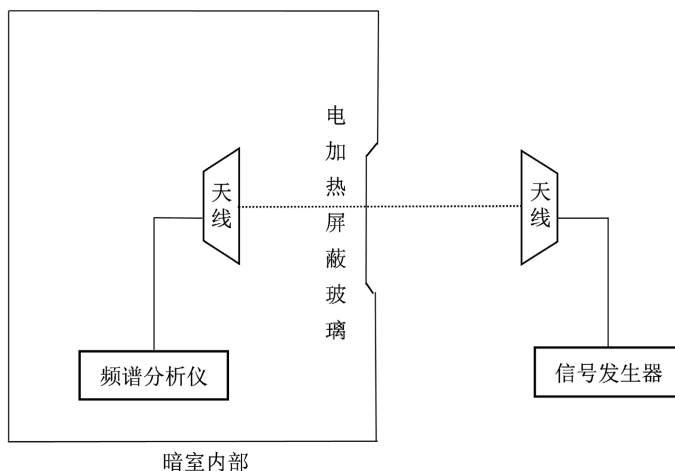


Figure 4. Schematic diagram of shielding effectiveness test
图 4. 屏蔽效能测试原理图



Figure 5. Transmittance and haze test results of 15-inch electric heating shielding glass
图 5. 15 吋电加热屏蔽玻璃透过率、雾度测试结果

由测试结果可知，制备的 15 吋电加热屏蔽玻璃的透光率较高、雾度较低，光学可视性能良好，可应用在显示窗口中，并能够保障显示图像的清晰度。

3.2. 加热性能

3.2.1. 输入电压对加热性能的影响

输入电压可以直接影响加热功率，加热功率越高，升温速率也越快，但功率变大对整机的功耗负担增加，寿命也随之降低，因此需要研究不同电压下的加热性能。

按图 3 搭建低温下加热性能测试平台。通过如下步骤进行测试：1) 将温度传感器探头紧贴在电加热屏蔽玻璃中心区域，将电加热屏蔽玻璃放于高低温试验箱内，温控器和直流电源置于高低温试验箱外部；2) 将直流电源的电极通过引线 with 电加热屏蔽玻璃相连，将电压值设置为 24 V (同理 12 V、16 V、19 V)，试通电以确定电路加热正常，关闭电源；3) 关好高低温试验箱门，将高低温试验箱调节至 -40°C ，进行降温，到温后稳定 1 h，开始试验；4) 同一时间打开直流电源开关和计时器开关，开始对透明窗进行加热，当计时器达到 15 min 时，记录温控器显示温度 T，关闭电源。测试结果如图 6 所示。

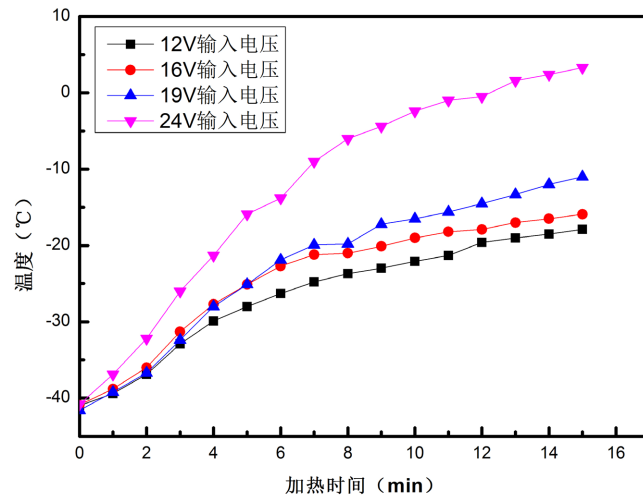


Figure 6. Temperature rise under different input voltages at low temperature -40°C

图 6. 低温 -40°C 下不同输入电压下升温情况

由图 6 可以看出输入电压越高, 升温越快。在 24 V 输入电压下, 加热 15 min 后, 可加热至 4°C ; 在 19 V 输入电压下, 加热 15 min 后, 可加热至 -13°C ; 而 16 V 和 12 V 输入电压下, 加热 15 min 后, 温度刚升至 -20°C 。结合不同液晶屏的低温工作特性, 可以选择合适的输入电压, 例如当液晶屏在 -20°C 下可以正常低温工作时, 可以选择 19 V 的输入电压, 当液晶屏在 -10°C 下才可以正常低温工作时, 可以选择 24 V 的输入电压。

3.2.2. 环境温度对加热性能的影响

电加热屏蔽玻璃利用其电加热性能不仅可以解决液晶屏的低温启动问题, 还可以解决舰载显控台高湿环境下的起雾问题, 因此应研究其在常温下的加热性能。

常温下加热性能测试参考低温下测试平台和测试步骤进行, 测试结果如图 7 所示。

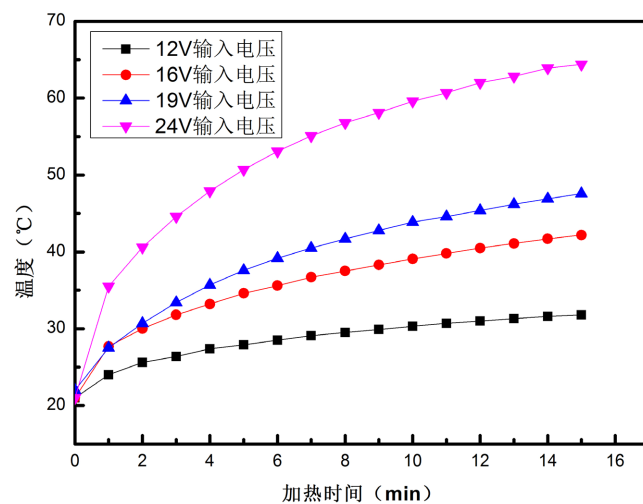


Figure 7. Temperature rise under different input voltages at room temperature

图 7. 常温下不同输入电压下升温情况

由图7可以看出输入电压越高,升温越快。在24 V输入电压下,加热15 min后,可加热至64℃;在12 V输入电压下,加热15 min后,仅加热至31℃;而16 V和19 V输入电压下,加热15 min后,温度都超过40℃。根据海军舰艇的除雾经验,温度超过40℃时可以有效去除视窗表面水雾,因此适当的输入电压为16 V、19 V。

另外,比较了在相同输入电压24 V时,不同环境温度对加热性能的影响,如图8所示。

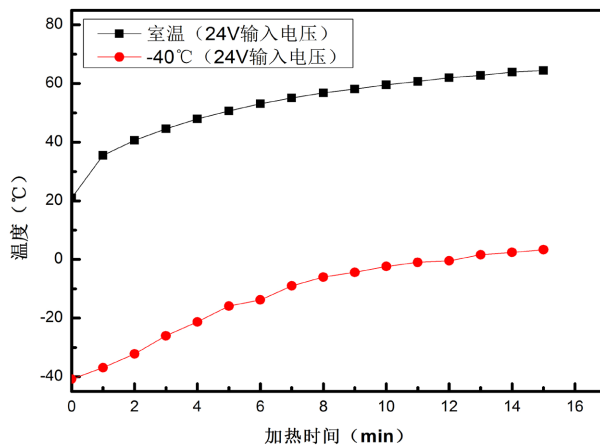


Figure 8. When the input voltage is 24 V, the temperature rises at different ambient temperatures

图8. 输入电压24 V时,不同环境温度下升温情况

由图8可以看出,输入电压24 V时,常温和-40℃环境温度下,加热升温曲线接近平行,升温幅度相近,反映出环境温度对升温速率影响不大。

3.3. 电磁屏蔽效能

按图4搭建电磁屏蔽效能测试平台。取11个测试频点,分别为14 KHz、150 KHz、3 MHz、30 MHz、200 MHz、450 MHz、2 GHz、6 GHz、10 GHz、18 GHz、20 GHz,按照GJB 6190-2008进行测试,测试结果如图9所示。

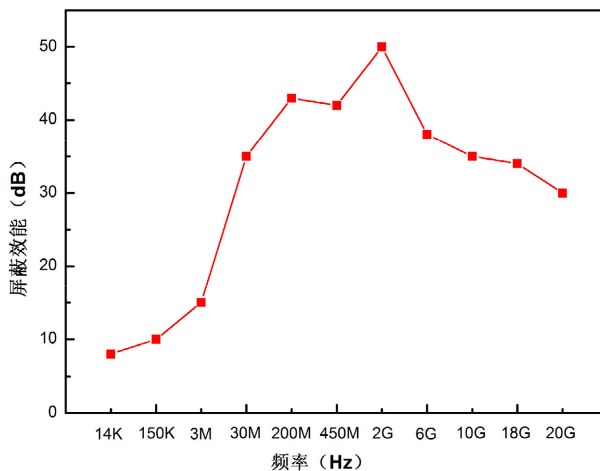


Figure 9. Electromagnetic shielding effectiveness test results

图9. 电磁屏蔽效能测试结果

由图9可以看出, 15吋电加热屏蔽玻璃在30 MHz~20 GHz频段内电磁屏蔽效能较高, 均 ≥ 30 dB, 对于机载、舰载显控台其主要辐射源是液晶显示屏的公共电极, 工作频率主要在30 MHz~200 MHz之间[11], 因此所制备的15吋电加热屏蔽玻璃可以满足显控台的电磁兼容要求。

4. 结论

1) 通过真空高压热复合和OCA贴合工艺制备了15吋电加热屏蔽玻璃, 其透光率为72.7%, 雾度为4.12%。

2) 输入电压越大, 15吋电加热屏蔽玻璃的加热功率越高, 升温速率越快。在 -40°C 环境下, 输入电压24V时, 加热15 min后, 15吋电加热屏蔽玻璃表面温度可达到 33°C 。

3) 常温和 -40°C 环境温度下, 当15吋电加热屏蔽玻璃的输入电压相同时, 加热升温曲线接近平行, 升温幅度相近, 反映出环境温度对升温速率影响不大。

4) 15吋电加热屏蔽玻璃在30 MHz~20 GHz频段内电磁屏蔽效能较高, 可以满足显控台的电磁兼容要求。

参考文献

- [1] 王炜, 龚健, 杨怀京. 高性能电加热电磁屏蔽玻璃的研制[J]. 中国建材科技, 2005, 14(3): 30-32.
- [2] 杨黔刚, 阎秀娟. 一种高绝缘电阻的超薄电加热电磁屏蔽玻璃[P]. 中国专利, CN210501743U. 2020.
- [3] 周贺飞, 兰红波, 李红珂, 等. 基于电场驱动喷射沉积微尺度3D打印制造金属网栅透明电磁屏蔽玻璃的研究[J]. 机械工程学报, 2019, 55(15): 56-63.
- [4] 平柏战, 徐绍艳, 洪斌, 等. 纳米透明电磁屏蔽玻璃的制备及性能研究[C]//中国航空学会. China SAMPE 2008 国际学术研讨会论文集. 2008: 225-229.
- [5] 邱扬. 镀膜玻璃屏蔽性能研究[J]. 西安电子科技大学学报, 1998, 25(1): 131-135.
- [6] 戚祖强, 许生, 陈学康, 等. OLED用ITO导电玻璃的研究进展[J]. 真空与低温, 2005, 11(4): 187-193.
- [7] Liu, Y., Zhao, Z.J., Li, D.L., et al. (2021) Infrared Switching of Self-Heating VO_2/ITO Films for Smart Window. *Materials Science Forum*, **1034**, 123-131. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1034.123>
- [8] 蒲勇, 阮海波, 刘碧桃. 纳米银线柔性透明导电薄膜的制备与研究进展[J]. 电子元件与材料, 2016, 35(11): 54-60.
- [9] 朱永法, 李巍, 何侯, 等. 不锈钢金属丝网上 TiO_2 纳米薄膜光催化剂的研究[J]. 高等学校化学学报, 2003, 24(3): 465-468.
- [10] 齐亮飞, 朱超挺, 杨晔, 等. 金属网格透明导电薄膜研究现状与应用分析[J]. 材料导报, 2015, 29(17): 31-36, 62.
- [11] 张晋芳. 触控与显示驱动集成中的关键问题研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2017.