

DOI: 10.13957/j.cnki.texb.2021.01.016

玻璃镜片度数与透射特性关系仿真研究

莫洪波¹, 严映华², 戴宗贤¹, 尹爱军²

(1. 重庆市计量质量检测研究院, 重庆 401120; 2. 重庆大学, 重庆 400044)

摘要: 防辐射眼镜能够减少环境中电磁辐射对人眼的损伤, 对于眼镜佩戴者的生活质量和健康安全来说具有重要的意义。防辐射眼镜分为镀膜防辐射和通过镜片本身防辐射两种。本文针对镜片防辐射的场景, 基于 CST-Microwave Studio 建立了电磁波镜片透射性仿真模型用以仿真不同度数下电磁波的透射性, 研究了 150 °-600 ° 镜片度数范围内 100 MHz-3000 MHz 频段电磁波的透射特性。研究表明电磁波射入镜片的透射率随电磁波频率和镜片度数的增加而增加, 并且具有波动性。在较低频段内, 镜片的电磁波透射性由于波动性的影响导致透射率随度数增加的趋势不明显; 在较高频段, 透射率随度数增大而增加的趋势明显, 受波动性的影响镜片的透射性呈阶梯增大的趋势。

关键词: 玻璃镜片; 电磁波; 透射特性

中图分类号: TQ174.75

文献标志码: A

文章编号: 1000-2278(2021)01-0130-06

Simulation of the Relationship between Transmission Characteristics and Degrees of Glass Lenses

MO Hongbo¹, YAN Yinghua², DAI Zongxian¹, YIN Aijun²

(1. Chongqing Measurement Quality Examination Research Institute, Chongqing 401120, China;

2. Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Anti-radiation glasses can be used to reduce the damage to human eyes caused by electromagnetic radiation, which is of great significance for the quality of life and health and safety of glasses wearers. There are two types of anti-radiation eyeglasses: anti-radiation eyeglasses with coating and anti-radiation eyeglasses without coating. In this paper, a simulation model was developed by using CST-Microwave Studio to study the variation in microwave transmittance of glass lenses with the degree, over a degree range of 150-600 ° and a frequency range of 100-3000 MHz. It was found that the transmittance was increased with increasing electromagnetic wave frequency and degree of the lens, with a certain degree of fluctuation. In the lower frequency range, the transmittance of the glass lenses had only a slight increase with the degree, due to the influence of the fluctuation. In the higher frequency range, the increase in the transmittance became obvious and the increase followed a step-like pattern, also due to the fluctuation.

Key words: glass lenses; electromagnetic wave; transmittance properties

0 引 言

随着各种消费电子设备尤其是各种屏幕的广泛应用, 电磁环境日趋恶化, 直接影响人体健康^[1,2]。眼睛作为重要的感觉器官, 在电磁辐射作

用下, 眼球的温度易升高, 形成蛋白质凝固从而造成白内障。某些频段的电磁辐射对角膜、房水、玻璃体、视网膜也都有不同程度的伤害。此外, 长期受到低强度电磁辐射的作用, 可引起视觉疲劳、眼干等症状^[3-7]。因此, 如何减少电磁辐射对

收稿日期: 2020-10-21。

修订日期: 2020-11-09。

基金项目: 重庆市质量技术监督局科研资助项目(QZJKY2018010); 重庆市科技重大主题专项重点研发项目(cstc2018jszx-cyztzxX0032); 国防基础科研重点资助项目(JCKY2016209B008)。

通信联系人: 尹爱军(1978-), 男, 博士, 教授。

Received date: 2020-10-21.

Revised date: 2020-11-09.

Correspondent author: YIN Aijun (1978-), Male, Ph.D., Professor.

E-mail: aijun.yin@cqu.edu.cn

眼睛的损伤已经成为一个热点课题。

我国眼镜佩戴者基数大，高中生和大学学生的近视率均已超过七成，小学生的近视率也接近 40%，青少年近视率高居世界第一^[8]，而这个数据还在逐年攀升，另外，还有大量远视、散光、屈光参差等屈光不正人群。有鉴于此，具有辐射吸收功能的眼镜可以用以减少电磁辐射对眼睛的损伤^[9-12]。目前，国家关于镜片防辐射功能的相应标准不完善，检验机构也未对此涉及，且基本上没有检测机构对玻璃镜片的防辐射功能进行检测，相关的玻璃镜片防辐射功能检测仪器也是只具有定性功能^[13, 14]。因此，研究镜片的辐射吸收特性对于完善我国眼镜行业防辐射检测检验具有重要指导意义。

镜片辐射吸收特性研究方面，现有研究多是集中在镀膜对镜片辐射吸收率的影响^[15, 16]。镀膜镜片防辐射的基本原理为光的偏振和干涉。通过镀膜使镜片前后表面产生的不同波长的电磁波互相干扰以消减一部分辐射来实现一定程度的防辐射。由于镜片表面镀膜层易损毁，通过改变镜片本身的材质来实现辐射消减更为有效。

目前，国内针对玻璃镜片辐射吸收特性的研究不足，本文针对通过镜片进行防辐射的场景，通过 CST-Microwave Studio 对不同度数下玻璃镜片电磁辐射传播特性进行仿真研究。本文的研究结果可为规范防辐射镜片的制造市场规范化提供一定参考。

1 理 论

电磁辐射在与镜片作用的基本原理如图 1 所示。假设镜片整体作为电磁波传播介质，外界电磁波射入时会发生反射和透射^[17, 18]。透射的电磁波会作用于眼球继而可能引起疲劳或其他损伤。反射率和透射率由介质特性决定。

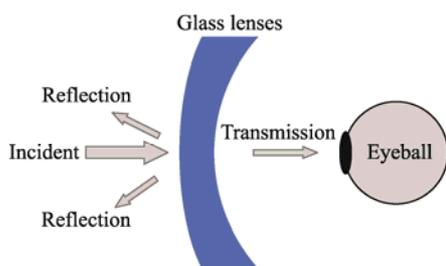


图 1 电磁辐射与镜片作用示意图

Fig. 1 Schematic diagram of electromagnetic wave interacting with the lens

在空气-镜片界面，设空气为介质 A，镜片整体为介质 B，设入射波、反射波及透射波的电场强度分别为 E_r 、 E_f 和 E_t 。对于磁导率 μ 、介电常数为 ϵ 的介质，其对电磁波的本征阻抗 η 见式(1)：

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (1)$$

对于介质 A 和 B，其本征阻抗分别为 η_A 和 η_B 。考虑到介质 A 和 B 交界处的边界条件，有式(2)：

$$E_r + E_f = E_t \quad (2)$$

以及式(3)：

$$\frac{E_r}{\eta_A} - \frac{E_f}{\eta_A} = \frac{E_t}{\eta_B} \quad (3)$$

据此，得出反射系数 F 和透射系数 T ，分别如式(4)和式(5)：

$$F = \frac{\eta_B - \eta_A}{\eta_B + \eta_A} \quad (4)$$

$$T = \frac{2\eta_B}{\eta_B + \eta_A} \quad (5)$$

由公式(2)-(5)可知，在给定入射波的前提下，反射及透射系数由介质的阻抗决定。空气阻抗既定的前提下，透射系数由镜片整体的阻抗决定。镜片度数变化时自身结构发生改变，影响镜片整体的阻抗特性继而影响透射系数。本文通过仿真研究镜片的透射率随度数的变化规律。

2 仿真模型

2.1 仿真模型及参数

本文通过 CST-Microwave Studio 创建仿真模型，其是 Computer Simulation Technology 公司旗下的三维电磁仿真软件。仿真模型整体如图 2 所示，包括激励端、镜片、接收端。激励端激励出电磁波，经与镜片作用后到达接收端，激励端接收到的能量可以用来反应镜片对电磁波的吸收/反射程度。研究不同度数镜片下透射系数的变化以分析不同度数下玻璃镜片电磁辐射透射特性。

仿真背景材料参数为“Normal”，激励端激励信号为高斯信号。镜片材料为玻璃，详细参数如表 1 所示。主要仿真参数入表 2 所示。

仿真时遵循单一变量原则，仅改变镜片度数，其他参数不变，研究度数对透射率的影响。

2.2 镜片度数建模

针对镜片模型，须根据需要的度数(即屈光度)对镜片进行建模。镜片结构图见图 3，镜片的度数有外层屈光度 D_1 和内层屈光度 D_2 确定。

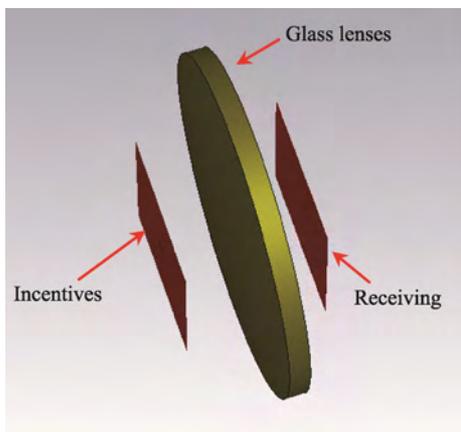


图2 镜片辐射传播特性仿真模型

Fig. 2 Simulation model of radiation propagation characteristics in the lens

表1 玻璃主要参数

Tab. 1 Main parameters of glass

Parameters	Value
ϵ	4
μ	1
Frequency	100 MHz-3 GHz
Thermal conductivity	0.2 W/K·m
Young's modulus	13 GPa
Poisson ratio	0.45
Density	1500 kg/m ³

表2 主要仿真参数

Tab. 2 Main simulation parameters

Parameters	Value
Frequency range	100 MHz-3G Hz
Temperature	20 °C
Diameter	65 mm
Degree	150 °, 200 °, 250 °, 300 °, 350 °, 400 °, 450 °, 500 °, 550 °, 600 °

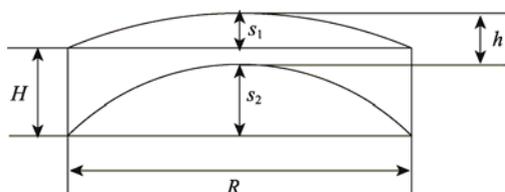


图3 镜片结构图

Fig. 3 Structure diagram of the lens

对于折射率为 n 的材质，给定外侧屈光度 D_1 和所需度数的情况下可得到外侧屈光度 D_2 。设镜片直径 R 、中心厚度 h ，其他参数的计算如下。

外侧曲率半径 r_1 见式(6):

$$r_1 = \frac{n-1}{D_1} \tag{6}$$

内侧曲率半径 r_1 见式(7):

$$r_2 = \frac{1-n}{D_2} \tag{7}$$

矢高 s_1 见式(8):

$$s_1 = r_1 - \sqrt{r_1^2 - (R/2)^2} \tag{8}$$

矢高 s_2 见式(9):

$$s_2 = r_2 - \sqrt{r_2^2 - (R/2)^2} \tag{9}$$

镜片边缘厚度 H 见式(10):

$$H = s_2 - s_1 + h \tag{10}$$

本文中预设的参数及 10 组镜片模型结构参数如表 3 和表 4 所示。

表3 模型预设参数

Tab. 3 Model default parameters

Parameters	Value
n	1.501
h	1.2 mm
D_1	4
r_1	125.25 mm
s_1	4.29 mm
R	65.00 mm

表4 10组镜片模型结构参数

Tab. 4 10 sets of lens model structural parameters

Degree	D_2	r_2 (mm)	s_2 (mm)	H (mm)
150	-5.5	91.09	5.99	2.90
200	-6.0	83.50	6.58	3.49
250	-6.5	77.08	7.18	4.09
300	-7.0	71.57	7.80	4.71
350	-7.5	66.80	8.44	5.34
400	-8.0	62.63	9.09	6.00
450	-8.5	58.94	9.76	6.67
500	-9.0	44.67	10.47	7.38
550	-9.5	52.74	11.20	8.11
600	-10.0	50.10	11.97	8.81

2.3 网格与精度设置

选取时域求解器，网格类型为 Hexahedral，精度为 -40 dB。网格细化程度方面，Cells per wavelength 设为 100。600 °镜片的网格划分如图 4 所示。

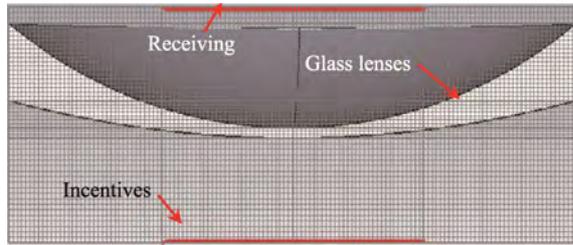


图 4 镜片网格划分示意图(以 600 ° 时为例)
Fig. 4 Schematic diagram of lens mesh division
(take 600 ° as an example)

3 仿真结果与讨论

3.1 电磁整体透射特性分析

设激励端发出的能量为 1，考虑到反射、耗散及接收端的大小，只有一部分能量会到达接收端，因此，以接收端接收到的能量表征镜片的透射率。10 组不同度数镜片下接收端接收到的能量随频率的变化如图 5 所示。

由图 5 可知，透射特性受频率的影响较大。整体而言，随着频率的增大，透射性逐渐增大。这一现象可能是由于频率越大，波长越短，方向性越好。频率越高能量越容易集中在固定大小的接收端上。频率越小，波长越长，则能量更易散失到接收端外的自由空间中。此外，透射性在整体增加的趋势中还有一定的波动性。

3.2 透射性能随度数的变化趋势

图 5(a)显示镜片透射性能与度数的变化关系受频率变化的影响。较低频段下的细化如图 5(b)所示，整体趋势较混乱。在图 5(b)中选取两个频点研究透射性随度数增加的变化趋势，如图 6 所示。

由图 6 可知，在较低频段下，镜片透射性随度数的增加变化趋势混乱，不具有 consistency。此频段下波动的趋势远大于透射性整体上升的趋势。

图 5(c)显示较高频段下透射性随度数的变化整体呈增大趋势，波动现象依然存在。3000 MHz 下镜片的透射率随度数的变化趋势如图 7 所示。从图 5(c)和图 7 可以看出，在 3000 MHz 处透射率随度数增加而增大的趋势是整体增大趋势和波动相叠加的结果。增大趋势整体呈阶梯状，在部分度数下短暂下降(如图 7 中 550 °)。

综上所述，电磁波射入镜片的透射率受电磁波频率和度数的共同影响。透射率整体上随频率增加而增大且具有波动性。在较低频段，透射率

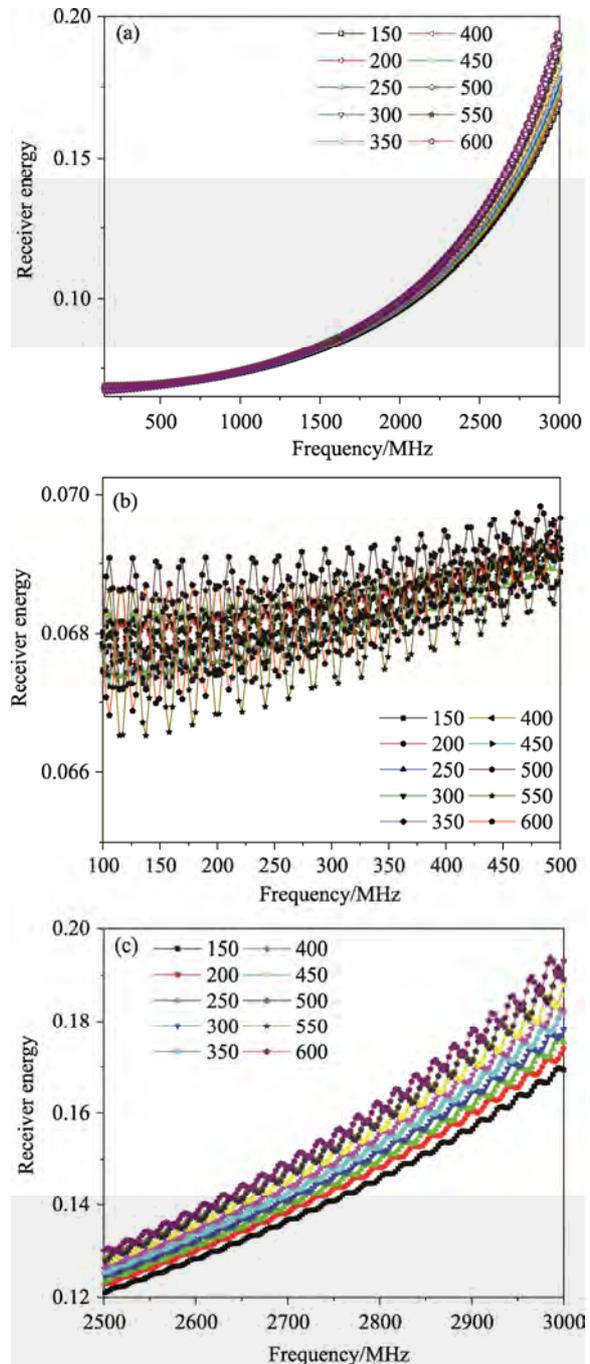


图 5 不同度数镜片下接收端接收到的能量随频率的变化：
(a) 100 MHz-3000 MHz 下整体趋势，(b) 100 MHz-500 MHz
局部细化，(c) 2500 MHz-3000 MHz 局部细化

Fig. 5 Energy received at the receiving end of the lens with different degrees varied with frequency: (a) overall trend over 100-3000 MHz, (b) local refinement over 100-500 MHz and (c) local refinement over 2500-3000 MHz

随频率增加的波动性起主要影响，导致透射率随度数增加的趋势不明显。在较高频段，透射率随度数增大而增加的趋势明显，受波动性的影响整体呈阶梯增大的趋势。

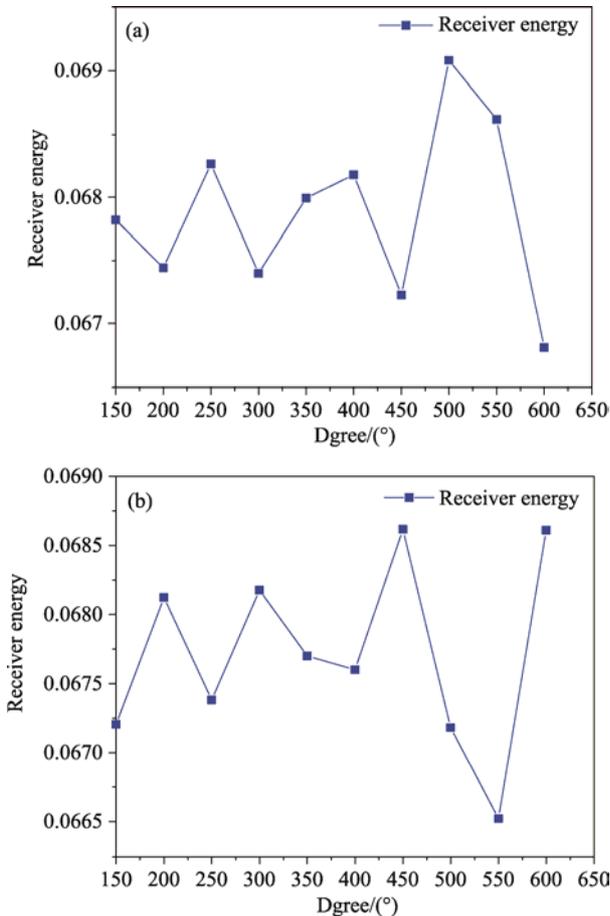


图 6 较低频段下镜片透射率与度数的关系：

(a) 105.8 MHz , (b) 114.5 MHz

Fig. 6 Relationship between lens penetration rate and degree in low frequency range: (a) 105.8 MHz and (b) 114.5 MHz

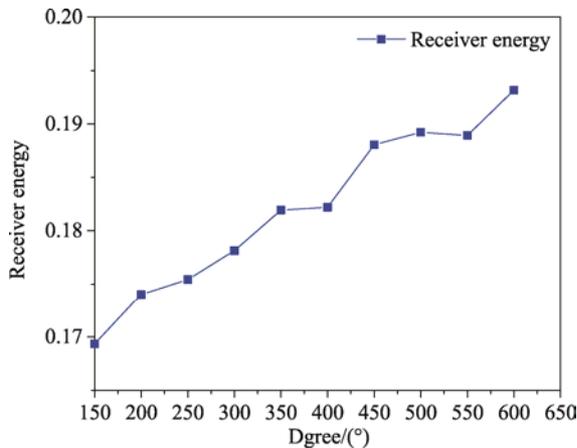


图 7 3000 MHz 下镜片透射率与度数的关系

Fig. 7 Relationship between lens penetration rate and degree at 3000 MHz

4 结 论

以玻璃镜片为对象，通过 CST-Microwave Studio 仿真研究不同度数下玻璃镜片电磁辐射

传播特性，为防辐射镜片的制造和检测提供一定参考。

(1) 玻璃镜片的透射特性受电磁辐射频率的影响较大。玻璃镜片的度数相同时，电磁波射入镜片的透射率随电磁波频率的增大而增大，在 3000 MHz 的频率下，镜片电磁波透射率为 100 MHz 频率下的 2.5 倍左右。

(2) 玻璃镜片的透射特性受玻璃镜片度数的影响且具有波动性。电磁波频率相同时，电磁波射入镜片的透射率总体上随镜片度数的增大而增大。其中在较低频段下波动的趋势较大，在较高频段下透射率随度数增大而增加的趋势明显。在 3000 MHz 下，600°镜片的透射率为 0.19316，150°镜片透射率为 0.169，但受波动性的影响，镜片电磁波透射性整体呈阶梯增大的趋势。

参考文献：

[1] 刘宏欣, 刘玉龙, 江铨, 等. 显示屏蓝光辐射与闪烁率计量标准的研究[C]. 中国光学学会光学测试专业委员会. 第十七届全国光学测试学术交流会摘要集. 中国光学学会光学测试专业委员会: 中国光学学会光学测试专业委员会, 2018: 113.

[2] 马彪, 王亚芳, 崔美娜, 等. 手机、电脑显示屏的发光光谱以及对人眼健康的影响[J]. 大学物理, 2017, 36(5): 70-73.

MA B, WANG Y F, CUI M N, et al. College Physics, 2017, 36(5): 70-73.

[3] 赵晶. 防辐射镜片质量状况及检测方法[J]. 江苏科技信息, 2013, (24): 88-89.

ZHAO J. Jiangsu Science & Technology Information, 2013, (24): 88-89.

[4] 李新华, 王淮庆. 论常见电磁辐射对眼的危害及防护[J]. 中国医学装备, 2008, 5(12): 3-5.

LI X L, WANG H Q. China Medical Equipment, 2008, 5(12): 3-5.

[5] 刘淑娥. 微波对人眼的危害及其防护的物理分析[J]. 物理通报, 2013, (9): 124-127.

LIU S E. Physics Bulletin, 2013, (9): 124-127.

[6] DOMIENIK-ANDRZEJEWSKA J K, CIRAJ-BJELAC O, ASKOUNIS P, et al. Past and present work practices of European interventional cardiologists in the context of radiation protection of the eye lens-results of the EURALOC study [J]. Journal of Radiological Protection, 2018, 38(3): 934-950.

[7] BORDY J M, GUALDRINI G, DAURES J, et al. Principles for the design and calibration of radiation protection dosimeters for operational and protection quantities for eye lens dosimetry [J]. Radiat Prot

- Dosimetry, 2011, 144(1-4): 257-261.
- [8] 周佳, 马迎华, 马军, 等. 中国 6 省市中小学生近视流行现状及其影响因素分析[J]. 中华流行病学杂志, 2016, 37(1): 29-34.
ZHOU J, MA Y H, MA J, et al. Chinese Journal of Epidemiology, 2016, 37(1): 29-34.
- [9] 缪昉闻, 潘瑾, 尹亚玲, 等. 太阳眼镜的性质及其工作原理的探究[J]. 物理实验, 2019, 39(7): 48-52+56.
MIAO Y W, PAN J, YING Y L, et al. Physics Experimentation, 2019, 39(7): 48-52+56.
- [10] 李峻. 太阳眼镜对眼部健康的防护和影响分析[J]. 轻工标准与质量, 2014, (5): 57-58.
LI J. Standard & Quality of Light Industry, 2014, (5): 57-58.
- [11] BANDALO V, FIGEL M, GREITER M B, et al. Performance of the BeOSL eye lens dosimeter with radiation protection glasses [J]. Radiation Measurements, 2020, 31: 106235.
- [12] DAUER L T, HAMADA N, BLAKELY E A. National council on radiation protection and measurements commentary number 26: Impact of revised guidance on radiation protection for the lens of the eye [J]. Journal of the American College of Radiology, 2017, 14(7): 980-982.
- [13] 张翠芳, 林眉德, 王惠平. 解读国际太阳镜标准 ISO12312-1:2013 [J]. 中国眼镜科技杂志, 2014, (13): 138-140.
ZHANG C F, LIN M D, WANG H P. China Glasses Science-Technology Magazine, 2014, (13): 138-140.
- [14] 刘华春. 各国太阳镜标准的差异分析[J]. 中国眼镜科技杂志, 2014, (13): 140-143.
LIU C H. China Glasses Science-Technology Magazine, 2014, (13): 140-143.
- [15] 防辐射眼镜原理[J]. 中国眼镜科技杂志, 2016, (6): 138.
China Glasses Science-Technology Magazine, 2016, (6): 138.
- [16] 朱守群. 中国学生镜片的现状[J]. 中国眼镜科技杂志, 2011, (4): 12-15.
ZHU S Q. China Glasses Science-Technology Magazine, 2011, (4): 12-15.
- [17] YIN A J, REN H J. Modelling and evaluation of HF-RFID signal propagation characterisations under material properties variation [J]. IET Science, Measurement & Technology, 2016, 10(6): 621-625.
- [18] YAO W Q, YIN A J, REN H J, et al. Evaluation of metal plastic deformation using radio-frequency reflection features [J]. IET Science, Measurement & Technology, 2016, 11(1): 97-102.