

基于自然光采光用户调研的产品设计

黄赛, 刘键, 杜嘉宁
(北京工业大学, 北京 100124)

摘要: **目的** 随着中国城市人口数量的逐渐增加, 在人口密度高的地区, 大量居民住在排布密集的高层楼房、老旧楼房、地下室和半地下室中。高层住宅排布密集导致房屋相互遮挡、老旧楼房存在设计缺陷、地下室或半地下室没有采光窗口。诸多因素导致居住环境存在一个问题: 室内自然采光差。基于此通过设计法试图设计一款可以改善室内自然光环境的产品, 应用物理方法提高室内光环境质量, 美化室内视觉环境。**方法** 通过对城市居民进行问卷调研和走访调研, 结合图表分析现状及问题成因, 明确用户痛点; 建立 KANO 模型分析用户需求。根据用户需求设计产品, 并通过 DIALux 光学模拟验证产品可行性。**结论** 设计了一款可以改善居室弱采光环境的产品: 产品悬挂于室内墙壁, 通过增强光线在室内的照射面积提高照度, 达到改善弱采光环境的目的。

关键词: 光环境; 室内采光; 室内装饰; 光的反射

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)06-0126-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.06.018

Product Design Based on Investigation of Natural Light Environment

HUANG Sai, LIU Jian, DU Jia-ning
(Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

ABSTRACT: With the gradual increase of urban population in China, a large number of residents live in dense high-rise buildings, old buildings, basements and semi basements in areas with high population density. The dense arrangement of high-rise residential buildings leads to mutual shielding, design defects of old buildings, and no lighting window in basement or semi basement. Many factors lead to a problem in these living environments: poor indoor natural lighting. Based on this, the work aims to design a product that can improve the indoor natural light environment through the design method, so as to improve the indoor light environment quality and beautify the indoor visual environment by physical methods. Through questionnaire survey and interview survey, the current situation and the causes of the problem were analyzed in combination with charts, to clear the pain points of users. AKano model was established to analyze user requirements. Products were designed according to user requirements. The feasibility of the product was verified by Dialux optical simulation. A product that can improve the weak lighting environment is designed. Product suspended on the indoor wall can improve the weak lighting environment by enhancing the illumination area in the room.

KEY WORDS: light environment; indoor lighting; interior decoration; light reflection

随着中国城市人口数量的逐渐增加, 城市人口密度和住房密度都随之增加。以北京为例, 北京市人口约为 2 170.5 万人, 城市占地面积为 1.641 2 万平方公里, 人口密度为 1 323 人每平方公里。为了解决密集

人口的居住问题, 越来越多的高层建筑和密集建筑拔地而起, 城市居住密度也随着人口密度而逐渐增高, 因此, 在人口密度高的地区, 大量居民住在排布密集的高层楼房、老旧楼房、地下室和半地下室中。高层

收稿日期: 2020-08-05

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目 (20YJC760034); 国家教育部优秀青年教师基金

作者简介: 黄赛 (1981—), 女, 河南人, 北京工业大学讲师, 主攻传统手工艺保护与传承创新、工业设计。

通信作者: 刘键 (1987—), 男, 山东人, 博士, 北京工业大学副教授, 主要研究方向为产品服务系统设计。

住宅排布密集导致房屋相互遮挡、老旧楼房存在设计缺陷、地下室或半地下室没有采光窗口。诸多因素导致居住环境存在一个问题：室内自然采光差，甚至有些居住环境需要一天 24 h 依靠灯光照明。

有限的居住条件使多数居民无法享有应有的采光权^[1]，即不动产的所有人或使用人享有从室外获取适度光源的权利。许多建筑也无法满足宜居住宅的日照需要：大寒日不少于 2 h，冬至日不少于 1 h（旧区改建的项目内，新建住宅日照标准可酌情降低，但不应低于大寒日照 1 h）的相关国家标准^[2]。因此，以自然光环境为基础，通过用户调研，了解弱采光居住环境中居民的用户需求，以需求为向导，设计改善室内采光的产 品，解决困扰城市居民的采光差问题，为居住者提供更好的自然光环境。

1 从用户出发的采光产品

在房屋中的设计更加应该注重人机工程学，关照用户的生活。传统的房屋设计通常仅满足了用户的一般居住的需求，存在很多不利于健康的缺陷，居住者需要努力适应不完善的房屋设计。设计者应该用好的设计去适应使用者的习惯，为他们提供有利于健康的生活环境。

市场现有的采光产品，以光导管和光导纤维日光传输系统为主。此类产品通过对日光的追踪收集、传导和漫射，将户外的日光引入室内，达到提高室内自然光照度的目的。此类产品具有较好的日光传输效率，造价相对较高，安装时需要改变原有的房屋结构或在建筑中预留光线传导装置的所需空间，普遍适用于农业种植采光、地下公共场所采光或独立建筑的采光。在普通城市居民中，此类产品使用率低，虽然具备改善室内自然光环境的作用，但是与用户实际使用情景不符。

现有的采光产品根据光学原理设计研发，提供给有采光需求的用户，用户需要改变自身的使用习惯去适应产品。在设计中，尝试从用户出发，通过调研和分析，明确用户需求，设计出能够更好地适应用户使用习惯和使用情景的采光产品^[3-4]。

2 用户采光需求调研与分析

2.1 调研概述

调研主要采用了问卷调查和走访调研两种形式，分析用户采光概况和采光习惯，并结合 KANO 模型分析用户需求。

通过问卷对不同居住环境的居民进行调研，了解居民家中的采光情况、造成采光不足的原因和照明工具使用情况等，并从中提取产品受众。

通过走访调研居住在弱采光环境的居住者，了解其房屋采光不足的成因和采光不足对其带来的影响，

表 1 问卷调研用户的居住采光概况
Tab.1 Overview of residential lighting of questionnaire survey users

居住采光概况	选项	人数	百分比/%
9 点至 16 点主要照明方式	灯光照明	19	11.73%
	自然光照明	126	77.78%
	自然光不足不开灯	17	10.49%
白天开灯的情况	一直都开	8	4.94%
	阴雨天	26	16.05%
	读写工作时	79	48.76%
	天黑才开	49	30.25%
房屋位置	楼房高层	69	42.59%
	楼房中层	69	42.59%
	楼房底层（1~2 楼、半地下室）	3	1.86%
	平房或独栋建筑	21	12.96%

深入用户生活日常，从中找到用户间的共同点。

2.2 问卷分析

问卷调研用户的居住采光概况见表 1。其中 22.22% 的住户明确表示居住环境有采光不足的问题（9 点至 16 点自然光无法满足照明需求），存在部分居民全天都需要人工照明的情况。多数居民家中的自然采光无法满足读写时需要的光线照度，48.76% 的居民需要在进行读写时使用人工照明。

存在采光不足问题的居民比例与住在平房或低矮楼层的居民比例重复度较高，经合理推断，有采光问题的居民多数居住在楼房中下层或地下室、半地下室^[5]。

综上所述，在受访居民中，确实存在居民家中采光不足的现象，这些现象多出现在居民楼中下层，具有普适性，因此，上述调研能证明居住环境采光差的问题普遍存在。

用户对于采光环境的认知见表 2。在对于采光差成因的调查中，居民认为最主要的几项原因分别是：房屋朝向不好、被周边建筑或树木遮挡和房屋户型结构不好，由此可见造成采光环境差的原因与房屋建筑本身有关。在房屋建成之初或后续城市建设中造成的问题，基本无法通过用户个人使现状产生改变。

由于无法从根源解决问题，多数采光不足的用户选择通过开灯来弥补自然光的不足。人工光源虽然能够满足日常生活对照明的需求，但是对用户的心情造成了负面影响，并且会有一定程度的能源浪费。多数住户认为，与灯光不同的是，充足的自然光会给人正向的心理暗示^[6]。

用户对采光产品的需求见表 3。通过分析可以了解用户家中已有灯具的情况以及用户对于改善光环境产品的普遍雷区。在受访用户中，除了基本的照明光源外，使用壁灯的用户居多，壁灯具有占地小和装饰性强的特点；使用自动感应灯和智能灯的用户人数

表2 用户对于采光环境的认知
Tab.2 Users' cognition of lighting environment

问题	用户感受	被选次数	排行
用户认为造成采光问题的原因	被周边建筑或树木遮挡	84	2
	房屋朝向不好	103	1
	房屋户型结构不好	66	3
	窗户过少或太小	53	4
	装修问题(房屋色调、装饰等)	17	5
	地形不好(山地或盆地等)	12	6
	天气原因	3	7
采光差对居住环境的影响	影响心情	126	1
	工作生活不便	54	4
	影响卫生(发霉等)	90	2
	影响作息节律	37	6
	费电	48	5
	影响室内温度	65	3
	无影响	2	7
用户如何解决采光问题	忍耐(存在问题但无法解决)	37	2
	白天开灯	84	1
	清除窗口遮挡物	20	5
	搬家	25	4
	无所谓(存在问题但不想解决)	7	6
	无采光问题	30	3
用户认为自然光与灯光的区别	无区别	1	6
	自然有温度	82	2
	自然光与灯光颜色不同	47	3
	自然光可以杀菌 ^[5]	45	5
	自然光具有明暗周期变化	46	4
	自然光使人心情好	131	1

表3 用户对采光产品的需求
Tab.3 Users' demand for lighting products

问题	选项	被提次数	排行
灯具使用情况	自动感应灯	28	5
	智能灯(可通过APP控制)	35	4
	装饰灯	47	3
	壁灯	60	1
	都不用	50	2
不希望出现的状况	只有照明功能	35	6
	占地较大	101	1
	自动感应(不需要人为开启)	30	7
	需要连接手机APP	28	8
	需要人为开启(关闭时产品不发挥功效)	36	5
	附加功能过多	48	4
	外观不美观	76	3
	安装繁琐	87	2

并不多。由此可见,在选择照明或改善光环境的装置时,用户对于功能性和装饰性的需求要高于对科技程度的需求。用户对于占地大、安装麻烦和外观不够美观的装置较为排斥。以上分析结果在改善采光的装置设计中可以作适当参考。

综上所述,通过问卷调研明确了居民对于改善室内自然采光的需求是切实存在的,并愿意购买有效的产品。从产品的角度分析,在采光产品中,大部分用户更倾向于美观、简单和有效的产品,反之,过于复杂和专业性过强的产品则不利于用户在日常生活中的使用。

问卷调研采用网络问卷形式,样本容量262份,受访用户中66%来自北京,23%来自天津,4%来自广东,其余用户分别来自黑龙江、浙江和四川等地区。

2.3 走访调研分析

用户张先生居住在居民楼底层半地下室,在房屋东西两侧有用于通风和采光的窗户。张先生家由于楼层过低,窗口常年被杂物遮挡,其居住环境自然采光极差。在无杂物遮挡的情况下,张先生居住的房屋只

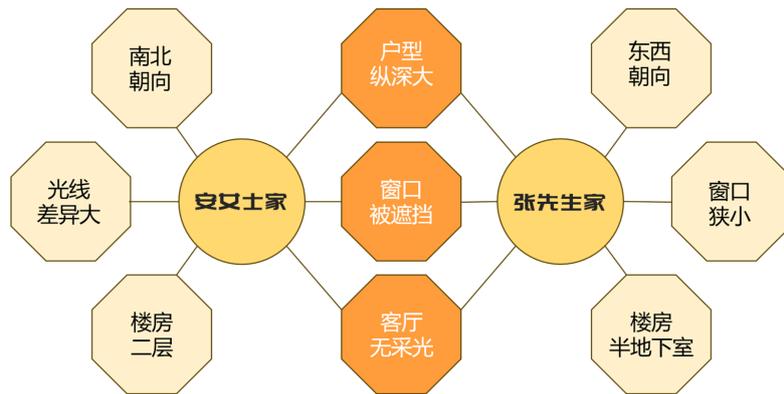


图 1 走访调研用户居住概况

Fig.1 Overview of visiting and investigating users' residence

在每天正午有 2~3 h 较好的采光，并且自然光仅在在有窗口的房间，无法照进位于居室中部的客厅。张先生认为采光问题基本无法解决，在光线相对较好的卧室，白天无读写需求时不需要人工照明，然而客厅需要人在灯开，全天依靠人工照明。

用户安女士居住于居民楼 2 层，房屋南北朝向，北面全天无阳光直射，并且紧邻高层建筑，房屋窗户处于建筑阴影中，需要人工照明；向南的房间则有相对较长的时间有阳光直射，其住房也因此形成了巨大的照度差异，使用户在居住上有诸多不便。

走访调研用户居住概况见图 1。造成弱采光的原因是由于遮挡或房屋位置结构问题等不可抗力。用户家中有限的自然采光往往因为户型和光线传播时的损耗，无法在室内广泛传播，造成了有限的人户自然光只能达到局部照明的效果。用户的核心生活区往往远离窗边的自然采光区，光线无法传播到离窗口更远的地方，使得室内的采光无法被有效利用。

不可抗的建筑建构问题，加之室内采光无法被有效应用，造成了大部分城市居民家中自然光环境不理想。

2.4 KANO 模型分析

通过上述调研分析，拟定在设计中减去繁琐的交互元素和电子元件，去除了产品使用过程中“开”与“关”的概念，同时，将产品的交互简化为手动调整，增强天然材质的装饰感，降低科技感，并建立 KANO 模型：

用户对产品交互方式的需求见表 4，通过分析得

知，减少繁杂交互方式的用户满意系数为：

$$SI = \frac{A + O}{A + O + M + I} = 65.12\% \quad (1)$$

设置较繁杂交互用户的不满意系数为：

$$DSI = -\frac{M + O}{A + O + M + I} = -54.62\% \quad (2)$$

减少繁杂交互时，用户满意系数 SI 大于 60%，满意度较高，用户更期望较为简单的交互方式；而设置较为复杂的交互（如通过连接局域网和手机蓝牙等）时用户不满意系数小于 -50%，表明过于复杂的交互会增加产品使用时的步骤，用户不希望所有产品都必须插电并且连接网络才能正常使用。

3 改善居室弱采光的产品设计

3.1 优化设计与用户需求

自然采光是室内采光的重要组成部分，在最初的设计理念中，应通过技术手段，最大程度地将室外的自然光引入室内，因此，在最初设计方案中，采用了更为复杂的光学原理，更加注重光学效果的呈现，而忽视了审美表现，装置的结构也更加繁琐，希望将光线更大程度地引入室内。虽然这一方案能够保证较好的光照效果，但是忽略了用户群体的接受程度。同时，自然光的引入，也并不是“越多越好”，例如在狭长的走廊末端设计自然光的引入，则会造成眩光，使光环境与视觉环境更加糟糕^[7]。

表 4 用户对产品交互方式的需求

Tab.4 User's demand for product interaction mode

	喜欢	理所当然	无所谓	勉强接受	很不喜欢
具备条件	0%	0%	8%	19%	35%
不具备条件	3.1%	0%	10%	0%	17%
增强采光需接通电源	1.7%	0%	5%	0%	0%
连接网络	0%	0%	1.2%	0%	0%
通过手机 APP 调整	0%	0%	0%	0%	0%

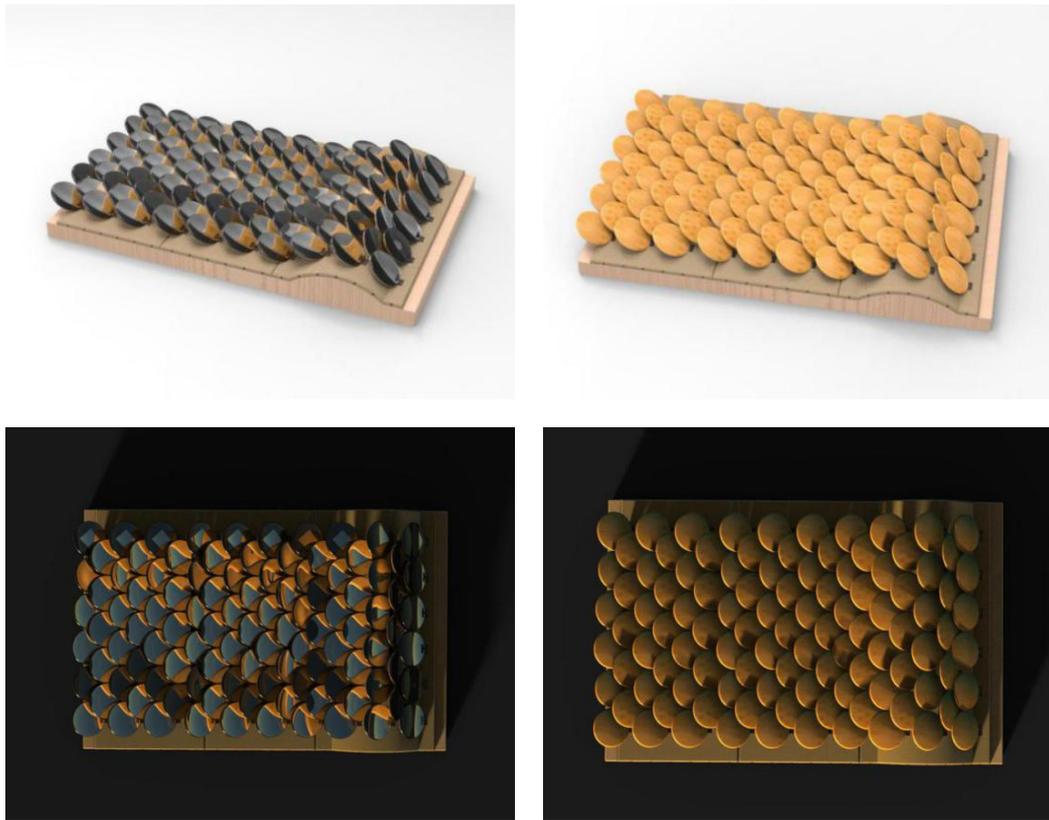


图2 产品外观效果
Fig. 2 Product appearance

在后续修改中,通过 KANO 模型分析,明确了“通过简单的方式实现目标效果”的设计思路。同时,改善弱采光环境除了要增强室内光线的照度(光照面积与光照强度),也需要满足用户的审美需求,成为具有功能的装饰品。

影响室内光环境的因素较多,需要考虑到不同的用户之间使用环境的差异,因此将装置结构拆分为可调整的模块化设计,给予用户根据自身需求“二次设计”的机会,使产品能够更大程度地满足用户的需求。“简单、有效、美观、可变”,是将用户需求与室内光环境特点结合后提炼出的设计理念。

3.2 产品外观与设计说明

此室内装饰是悬挂于墙面的,具有装饰作用的改善弱采光环境的装置。产品外观效果见图 2a—b。通过反射,使照射进室内的自然光更大程度地向住宅深处传播,达到增强采光照度的目的。用户可以通过简单的交互改变装置形态,产生不同的视觉效果,产品外观效果见图 2c—d,产品使用情景效果见图 3。根据使用场景的不同,可以对装置进行调整重组。

纵向爆炸图见图 4,产品的主要结构纵向可分为三个部分:反射圆片见图 5,用于实现功能,每个圆片都可以绕底部的轴进行独立转动,多个圆片组合可以对光线进行多角度反射;连接结构见图 6,用于连

接反射圆片与结构骨架的轴与柔性材料,连接圆片的轴内含于柔性材料中;底层结构框架见图 7,用于支撑形状的框架,对装置整体形态起到固定的作用。

产品横向拆分见图 8,可以拆分为两个边框和三个板块,板块和边框间通过榫卯结构连接^[8],拆分简单,安装后结构稳固,不同板块间可以调换位置,形成三种不同形态见图 9。

三个板块包含平面板块与曲面板块。平面板块可以大面积地反射光线但是反射角度有限;曲面板块由于隆起的弧面,具有较大的反射范围,但是强度有限。用户可以根据住宅户型调整组合形态,以达到最好的使用效果。

考虑到调研中的用户需求,将装置的安装位置选择在墙壁上,既避免了占用室内过多的空间,又保证了有足够的高度可以对光线进行反射。在安装时,用户可根据需求组合不同板块,然后通过无痕钉即可将装置悬挂在墙面合适位置。

在交互模式的设计上,装置没有使用电子元件和复杂的交互模式,而是通过用户的拨动改变装置形态,将一切回归到最简。选择此方式,可以最大程度地简化装置的使用过程。

3.3 材质的选择

反射圆片爆炸图见图 10,装置中用于实现功能



图 3 产品使用情景效果
Fig.3 Scenario of product use

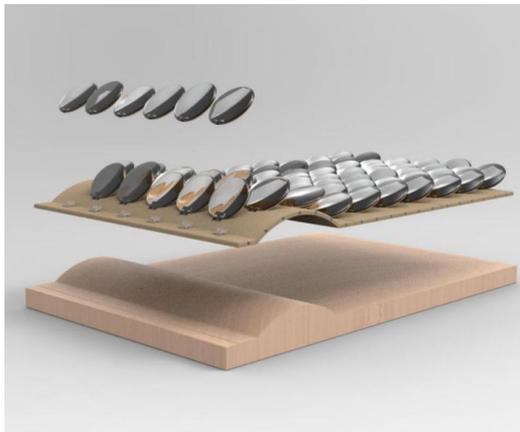


图 4 纵向爆炸图
Fig.4 Longitudinal exploded view

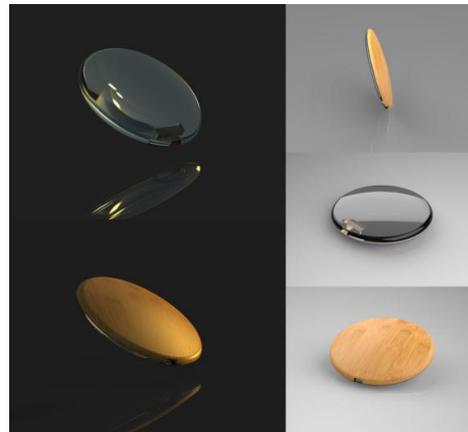


图 5 反射圆片
Fig.5 Reflecting disc

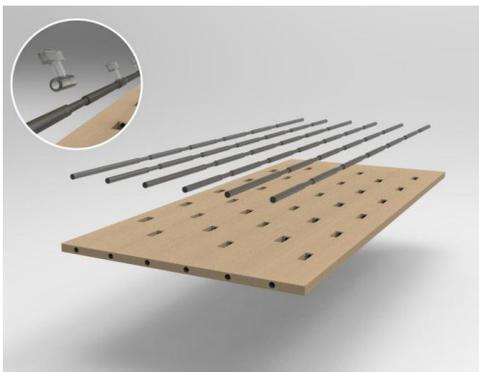


图 6 连接结构
Fig.6 Connection structure



图 7 底层结构框架
Fig.7 Bottom structure frame



图8 横向拆分

Fig.8 Lateral exploded view



图9 三种不同形态

Fig.9 Three different forms

表5 相关反射材料反射率

Tab.5 Reflectance of related reflective materials

材料类型	总反射率	镜面反射率	漫反射率
(纯度 99.99%) 抛光镜面氧化铝	90%	80%	10%
(纯度 99.85%) 抛光镜面氧化铝	90%	70%	20%
亮白色上光金属片	80%	40%	40%



图10 反射圆片爆炸图

Fig.10 Exploded view of reflecting disc

的反光圆片部分主要由三种材质制成:首层采用与玻璃折射率相近但是不易损坏的透明亚克力材料,形成凸面镜;中层采用反光材料抛光氧化铝(相关反射材

料反射率见表5),形成高反射率的反射层,可高效反射太阳光;底层采用了竹材料,竹材料为天然材料,生长周期短,可塑性较强,在我国家居制品中有悠久的历史^[9]。同时,抛光后的竹材料对光线的反射率低于反光材料,具有一定的反射光线作用。

连接层采用柔性材料(如图6),内部排列金属轴,连接反光圆片与结构框架的同时避免二者发生碰撞。

结构框架部分由浅色原木材料制成(如图7),木质材料与反射圆片的竹材料均为天然材料,在视觉效果上,二者相辅相成,原木材质在结构强度和质量上也更适合作为受力框架。

3.4 原理与结果验证

增强室内弱采光环境的室内装饰,主要采用了光线的镜面反射与漫反射原理,将进入室内的自然光通过多组不同角度的镜面反射或漫反射,改变传播方向,使光线向室内传播。

用户可以根据不同时间装置周围环境的光照强度改变圆片角度,进而改变光线传播方向和反射强度,避免在日光直射反光材料时可能造成的光污染问题。

经DIALux软件进行照度模拟分析,模拟照度对比图见图11,采光系数对比见表6。安装产品后,房间内照度达到500~1000 lx的区域面积增加,采光系数均大于无产品时。因此,此装置可以提升自然采光照面积,提高房间采光系数,具有改善弱采光环境的功能。

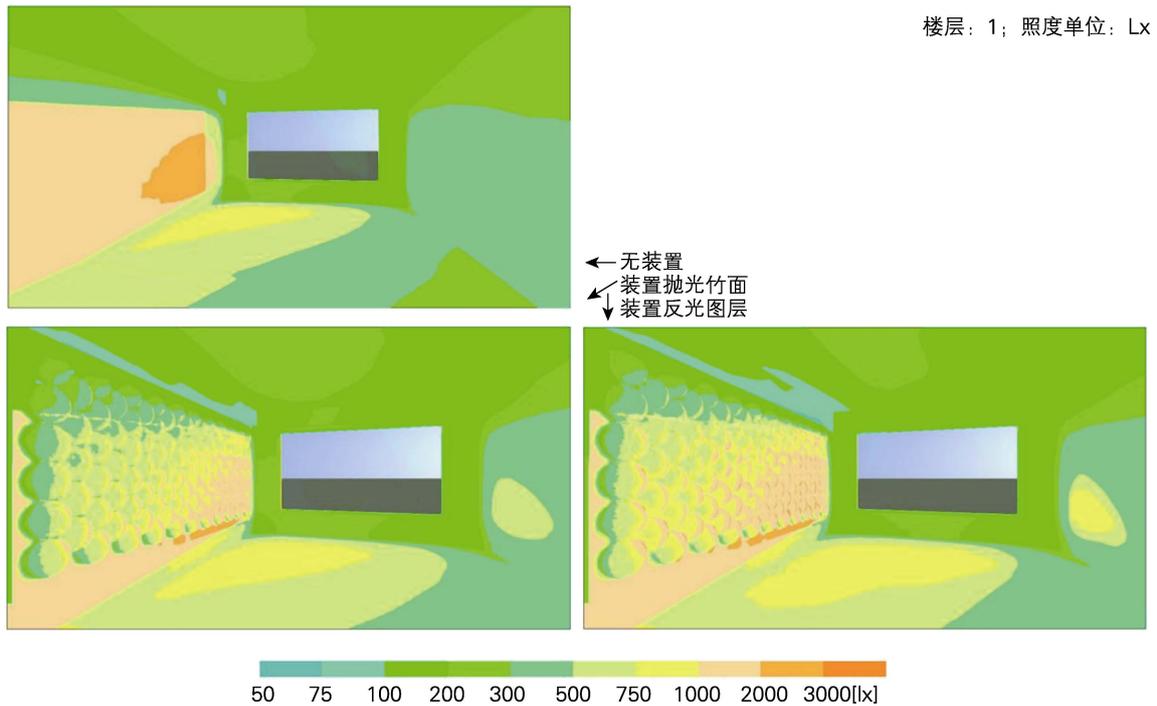


图 11 模拟照度对比图

Fig.11 Comparison of simulated illuminance

表 6 采光系数对比

Tab.6 Comparison of lighting coefficient

项	平均值	最大值	最小值	备注
无装置模拟 房间采光系数/%	2.208	10.256	0.393	日光信息 位置: 北京 (39.90° N 116.40° O)
反射材质拟 房间采光系数/%	2.308	10.263	0.461	天空种类: 晴朗 (直接日照)
抛光竹面拟 房间采光系数/%	2.231	10.261	0.403	天顶辉度: 489 cd/m ² 环境条件: 整洁 污染情况: 中到高交通流量, 灰尘量低于 600 mg/m ³ 污染因子: 0.80

3.5 尺寸

在装置中, 反光圆片的最大半径为 30 mm, 最厚处 7 mm。由于产品通过用户拨动反光圆片进行交互, 所以圆片大小根据人体手掌大小, 选择了触感较为舒适的尺寸。装置整体厚度 (垂直于安装平面的高度) 约为 50~60 mm, 所占墙面总面积为 970 mm×405 mm, 根据居室面积不同可以定制不同尺寸大小。

经试验, 产品安装平面与采光处光线直射夹角保持在 15°~60°区间内, 有较好的反射效果。同时根据用户空间使用面积可以调整产品的大小和在室内固定的位置, 不同的户型采光需要因地制宜的匹配, 跟随光照方向调整使用该产品, 形成动态反射扩大产品使用功效。

4 结语

光环境因素是住房是否宜居的重要标志, 也是住

房环境中较难改变的因素。良好的自然采光有利于住户的身心健康, 室内光环境也被越来越多的用户重视。用户群体多为普通城市居民, 通过调研明确其主要需求, 使产品美观且方便有效^[10]。

改善弱采光环境的室内装饰利用多角度的光线反射和不同材料对光线反射率的差异, 实现了在一定范围内增强自然采光光照面积, 改善了弱采光房屋的光环境与视觉环境。制造安装成本低, 适用范围广, 适合普通居民使用。该室内装饰通过增大已入户的自然光照射面积达到增加照度的目的, 经软件模拟实验证实有效, 在改善弱采光房屋光环境和房屋室内装饰中都能得到较好的应用。

参考文献:

- [1] 新华网. 中华人民共和国民法典[EB/OL]. (2020-06-02) [2021-03-01]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202006/>

- 75ba6483b8344591abd07917e1d25cc8.shtml.
Xinhuanet. Civil Code of the People's Republic of China[EB/OL]. (2020-6-2)[2021-3-1]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202006/75ba6483b8344591abd07917e1d25cc8.shtml>.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50180-2018, 城市居住区规划设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB50180- 2018, Standard for Urban Residential Area Planning and Design[S]. Beijing: Published by China Architecture & Building Press, 2018.
- [3] 彭冲. 现代室内光场景的人性化解析[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
PENG Chong. Humanized Analysis of Modern Indoor Light Scene[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2006.
- [4] Peter Hartman, Lucia Mankova, Peter Hanuliak, et al. Evaluation of Indoor Daylight Focused on the Human Circadian System[J]. Applied Mechanics and Materials. 2019(887): 511-518.
- [5] 王丽君, 梁海荣. 关于太阳光杀菌作用的实验探究[J]. 生物学, 2012, 37(12): 29-30.
WANG Li-jun, LIANG Hai-rong, Experimental Study on the Bactericidal Effect of Sunlight[J]. Biology, 2012, 37(12): 29-30.
- [6] 姚舜禹. 浅谈自然光设计对博物馆公共空间心理环境的营造——以苏州博物馆为例[J]. 福建建筑, 2015(10): 17-20.
YAO Shun-yu. Brief Discussion about the Psychological Environment's Building in Public Space of Museum with Natural Light Design: Taking Suzhou Museum as An Example[J]. Fujian Architecture & Construction, 2015(10): 17-20.
- [7] 香港房屋协会. 香港住宅通用设计指南[M]. 香港: 香港房屋协会, 2005.
Hong Kong Housing Society. Universal Design Guidebook for Residential Development in Hong Kong[M]. Hong Kong Housing Society, 2005.
- [8] 李娟. 传统榫卯结构的现代化传承研究[J]. 艺术科技, 2019, 32(6): 297.
LI Juan. Study on the Inheritance of the Modernization of the Traditional Mortise Structure[J]. Art Technology, 2019, 32(6): 297.
- [9] 李娟. 传统榫卯结构的现代化传承研究[J]. 艺术科技, 2019, 32(6): 297.
LI Juan. Study on the Inheritance of the Modernization of the Traditional Mortise and Mortise Structure[J]. Art Technology, 2019, 32(6): 297.
- [10] 阳佩良, 杨春宇, 梁树英, 等. V光气候区冬季在校大学生抑郁情绪研究[C]. 2019年中国照明论坛——半导体照明创新应用暨智慧照明发展论坛: 中国照明论坛, 2019.
YANG Pei-liang. YANG Chun-yu, LIANG Shu-ying, et al. Study on Depression of College Students in Winter in V-light Climate Area[C]. 2019 China Lighting Forum-Innovative Application of Semiconductor Lighting and Smart Lighting Development Forum: China Lighting Forum, 2019.