

# 星空顶衬的设计和出光效果研究

丁 兰

泛亚汽车技术中心有限公司, 上海

收稿日期: 2022年6月16日; 录用日期: 2022年8月1日; 发布日期: 2022年8月8日

## 摘 要

传统顶衬上的发光零件主要有前排车顶控制台和后排阅读灯等,为了提升高端车型客户的车内感知体验,可以在顶衬上增加星空效果。用大量点光源的出光效果来模拟真实星空的繁星闪烁,将带有LED光源的控制模块布置在顶衬背面,从光源处引出的光纤起导光作用。多根光纤组成的多个亮点可以设计组合成各种不同的图案。LED光源颜色不同,可以得到不同颜色的星光,营造良好的智能座舱环境,带来极致的驾乘坐享体验。

## 关键词

星空顶衬, 设计, 制造工艺, 出光效果

# Study on Starry Sky Headliner Design and Lighting Effect

Lan Ding

Pan Asia Technical Automotive Center Co., Ltd., Shanghai

Received: Jun. 16<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 1<sup>st</sup>, 2022; published: Aug. 8<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

The lighting parts on the traditional headliner mainly include the front roof console and rear reading lamps, etc. in order to improve the in car perception experience of high model customers, we could add starry sky effect on the headliner. The lighting effect of a large number of point light sources simulates the stars in the real sky. The control module with LED light source is arranged at the headliner backside, and the optical fiber led out from the light source plays the role of light guide. Multiple bright spots composed of multiple optical fibers can be designed as different patterns. Different colors of LED light source can get different colors of starry sky light to create good intelligent environment and bring ultimate driving experience.

## Keywords

Starry Sky Headliner, Design, Manufacturing Process, Lighting Effect

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

“两点一线”是当今社会最常见的生活方式,如果说家庭和公司构成了生活的第一空间和第二空间,汽车座舱就是名副其实的第三空间。随着自动驾驶技术的快速发展,良好的座舱空间可以更好地帮助驾乘人员享受美好生活。

体验作为未来车企突破产品同质化、传递自身品牌理念的切入点,已经逐渐成为国内外各车企的必争之地[1]。以“用户体验和客户思维”为核心,座舱场景化正在逐渐渗透到传统产品的设计中。

未来,车辆将更懂使用者,更能满足个性化的需求,体现使用者的自我意愿。抬头仰望闪耀星空,是生活在繁华都市的人们内心最真实的愿望。同时也是打造产品差异化、提升用户体验的重要方向[2]。

目前市场上的星空顶衬,除了豪华品牌劳斯莱斯有小批量手工生产,只能在售后和改装市场进行手工加装,其质量和效果参差不齐,其他中高端品牌暂无量产车型有这一配置。也就是说,现在还没有能满足工业化大批量生产要求的星空顶衬技术方案,行业内也没有可以参考的经验及文献,本文结合量产车星空顶衬的实际开发过程进行阐述,对星空顶衬的设计方案及出光杂色问题进行研究,便于读者进行参考研究。

## 2. 星空顶衬概述

星空顶衬主要是在传统顶衬上布置大量的点光源,用其出光效果来模拟真实的满天繁星。同时,从车内应用场景的角度出发,预设不同的情景模式,丰富车内客户的情感体验。通过实物对比可以发现,在深色仿麂皮面料的顶衬上增加星空效果,可以营造出更加接近真实的星空效果,更能提升高端车型客户的豪华感知体验。

本文介绍的星空顶衬的总成示意图如图 1,实际点亮效果图如图 2 所示。星空效果可以包含各种图案、流星,烟花等,配合星星的常亮、呼吸和交替闪烁等效果,可以得到丰富的车内场景。另外,还可以预设各种星座、节日、品牌 LOGO,文化元素等图案,甚至满足私人定制的个性化需求。

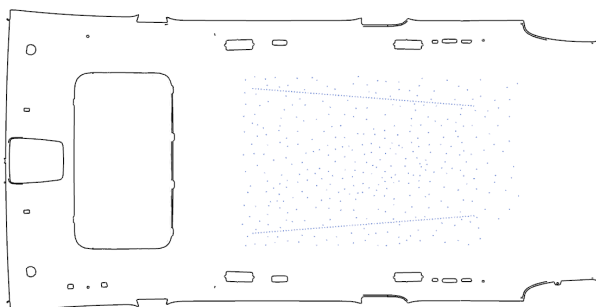


Figure 1. Starry sky headliner assemble diagram  
图 1. 星空顶衬总成示意图

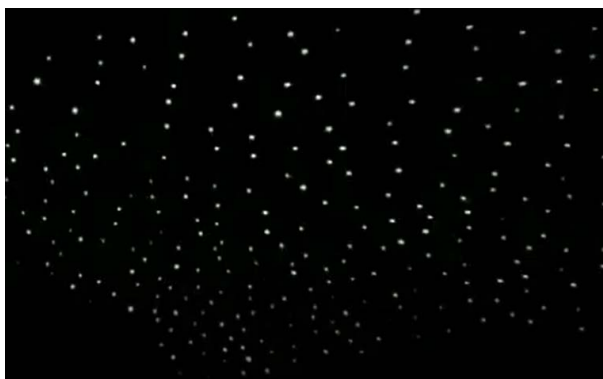


Figure 2. Starry sky headliner lighting effect picture  
图 2. 星空顶衬点亮效果图

### 3. 星空顶衬设计方案介绍

星空顶衬总成的结构爆炸图如图 3 所示。

星空顶衬总成由控制模块、连接头、透光连接组件、光纤、顶衬五部分组成，作为一个总成件交付再进行装配。将 LED 光源高度集成到一个控制模块里，用连接头将传导光的光纤固定到控制模块上，在顶衬面料上打孔并安装透光连接组件，将每根光纤分别固定到透光连接组件上，就可以得到星空顶衬。

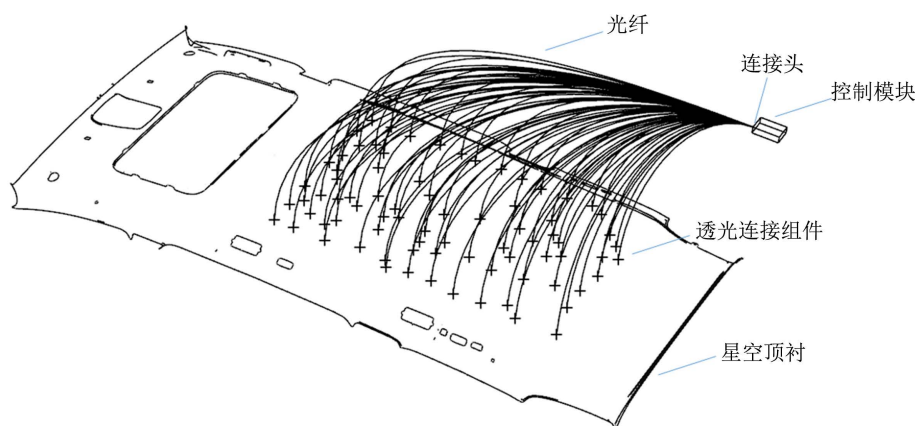


Figure 3. Starry sky headliner assembly structural explosion diagram  
图 3. 星空顶衬总成结构爆炸图

下面介绍星空顶衬总成的主要部件。

#### 3.1. 控制模块

##### 3.1.1. 控制模块的功能

控制模块用于控制星空顶衬的出光效果，实现灯光开关、亮度调节、图案选择、模式控制等功能。

控制模块还需要满足存储和记忆的功能，存储和记忆的内容主要包括有用户选择的各种应用场景和该场景下的颜色以及亮度，流星的开启和关闭状态以及流星的频率等，实现 LED 颜色和亮度在各自不同状态下的自由切换。

控制模块内部的 LED 数量较多，需要满足散热功能。结合工作时的最高温度，计算电路的功率和工作电流，评估电路板上的电子元器件能否正常工作。如果电路板工作温度过高，可以考虑增加金属散热片，以此来降低控制模块内部的温度。

### 3.1.2. 控制模块的结构

控制模块爆炸图如图 4 所示, 模块由 PCB 主板、PCB 灯板, 透镜, 控制模块面板、控制模块底板、散热片和控制模块外壳、底板等子零件组成, 子零件之间的固定采用卡接和螺钉等方式。采用了模块化的设计, 将以上的各部分集成封装为一个控制模块, 便于管理、安装及更换。

星空顶衬和整车的通讯方式选用 LIN 通讯, PCB 主板上布置 LIN 收发器和 MCU, 负责接收来自 BCM (Body Control Module 车身控制模块) 的 LIN 信号并进行 LIN 诊断, 同时要驱动内部的 PCB 灯板。

控制模块的 PCB 灯板, 按照光源的分组要求布置有多颗 LED, 每颗 LED 光源发出的光, 通过透镜、连接头和光纤等子零件传导和固定, 光最终显示在顶衬表面, 实现星星点点明暗不一的效果。创新的采用 LED 光源与光纤配合的方式, 同一颗 LED 的光要传导到多根光纤, 最终仅使用了 20 个 LED 光源就能控制几百个亮点。节省 LED 光源的使用, 极大地降低了成本。要注意的是, 同一组的多根光纤对应的星星是同步实现亮度和颜色变化的。所以, 理论上 LED 数量越多, 星星分组越多, 流星和烟花效果越流畅, 能实现的图案越多, 应用场景也越复杂, 客户主观感受就会越好。但要兼顾实现效果和成本平衡, 达到使用最少的 LED 光源数量, 实现最佳的显示效果。图 5 是控制模块的分组示意图。

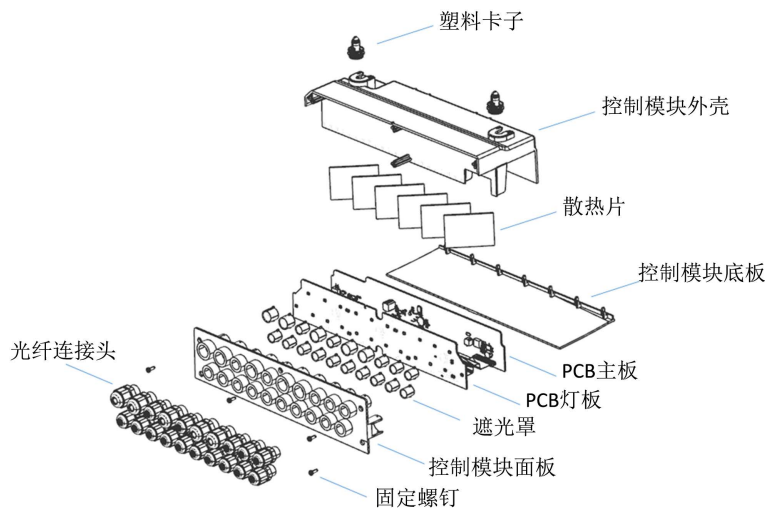


Figure 4. Control module explosion diagram  
图 4. 控制模块爆炸图

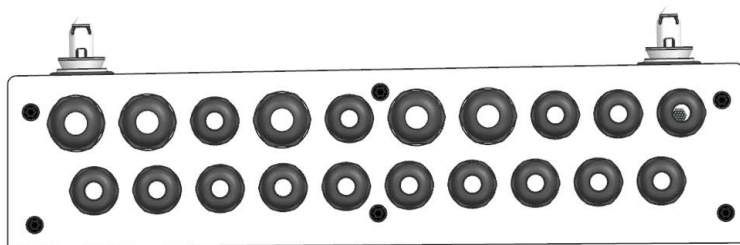


Figure 5. Control module group diagram  
图 5. 控制模块分组示意图

### 3.2. 光纤连接头

光纤连接头主要用于固定连接控制模块和光纤, 每颗 LED 对应的光纤束需要提前打磨并且修剪整齐, 并用胶水进行预固定。光纤连接头示意图如图 6, 由连接头外壳、内圈和基座三部分组成。其中, 连接

头内圈建议选用 TPE 材料。

安装时，先将连接头的基座固定到控制模块的外壳上，再装入接头内圈，最后再将带有光纤束的连接头外壳固定到接头基座上。安装时要注意将光纤束贴紧控制模块的面板，以免影响出光效果。由于空间受限，接头上的螺纹在旋紧时需要用到定制工具。

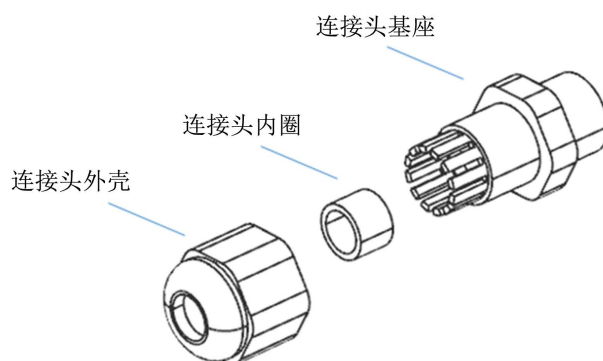


Figure 6. Fiber connector

图 6. 光纤接头

### 3.3. 透光连接组件

#### 3.3.1. 透光连接组件的作用

星空顶衬的出光，主要依靠 LED 光源发出的光经光纤传导后末端发光，发光点高度与顶衬面料齐平效果较好。考虑到量产零件制造过程中产生的公差，可能存在光纤末端的发光点凸出或者凹进面料表面的问题。

发光点凸出面料表面会影响外观并且容易扎手形成针刺感，会对客户主观感受造成损失。发光点凹进面料表面则会影响出光效果。透光连接组件主要就是要解决光纤穿透面料后的扎手问题，并且有利于控制工业化批量生产的产品一致性。示意图如图 7。

透光连接组件可以采用 PC 或 PMMA 材料，为了保证好的透光效果，零件壁厚尺寸设计在 1 mm 以内。

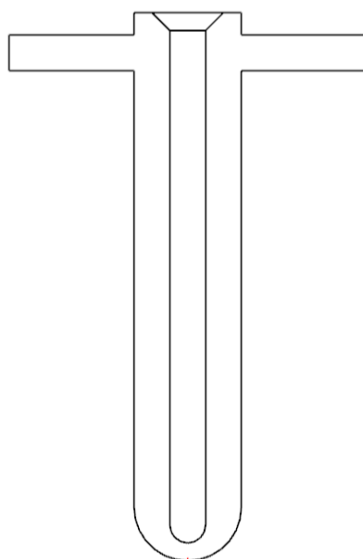


Figure 7. Section of light transmission connection

图 7. 透光连接组件剖面图

### 3.3.2. 透光连接组件的安装和固定

星空顶衬制造时先在顶衬上开孔，然后将透光连接组件从顶衬背面按入顶衬开孔内，再将光纤插入透光连接组件，并且涂胶固定。示意图如图 8。

所有的发光点都安装完成后，需要将光纤分组理顺集束成线簇捆绑并且固定好，通过光纤连接头连接到控制模块内。另外，还可以在顶衬背面的星空区域粘贴隔热材料，起到保护作用。

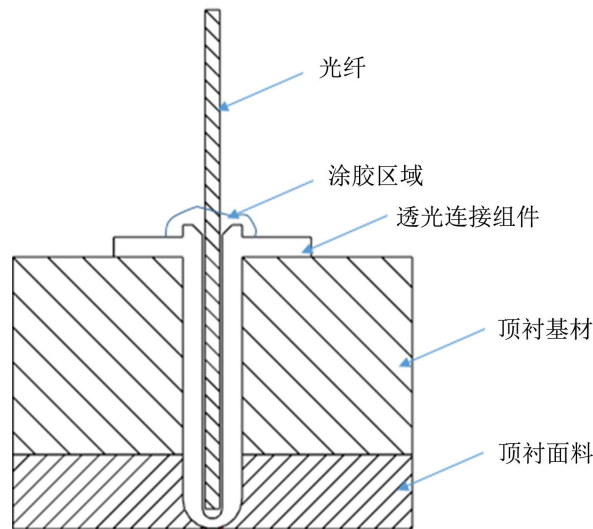


Figure 8. Description of connection and installation method for light transmission connection & headliner & fiber

图 8. 透光连接组件与顶衬及光纤的连接安装方法说明

## 4. 星空顶衬的制造工序

星空顶衬的安装方法较传统顶衬更加复杂，生产工序大致如下图 9 所示：

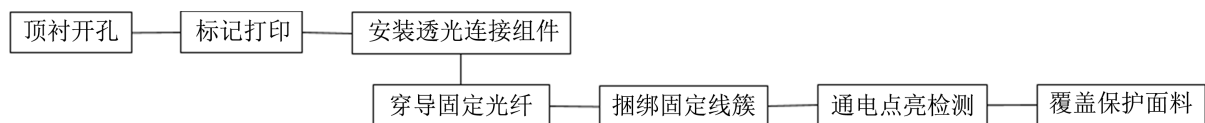


Figure 9. Manufacturing process diagram

图 9. 制造工序图

具体制造和安装过程如下：首先，将仿麂皮顶衬固定，用机器人打孔，并对每个孔根据分组不同进行不同颜色的喷墨标记。接着将为了避免外观扎手而设计的透光连接组件逐一插入。然后再按照分组进行人工裁切和装配光纤，并用胶水将光纤和透光套管固定。完成一个孔位后，再执行下一个孔位的操作。如果设计的场景多，光纤分组复杂，最后还需要人工对每组光纤进行逐一整理和固定。

通电点亮检测时，需要检查每个要求的场景是否按照预设要求实现，另外，还需要检测星点的亮度和颜色。如果检测通过，覆盖并粘贴保护材料。否则，需要对有问题的星点进行返修和重新检测。

针对星空顶衬的安装制造工艺和具体的产量需求，可以结合实际情况开发自动化的工装和装配设备，例如开孔穿光纤和打胶固定的可移动机械臂，以满足工业化批量生产一致性的要求。

## 5. 星空顶衬的出光效果研究

为了丰富车内用户的感知体验，控制模块内的光源一般使用 RGB 三色灯[3]，设计前期需要输入色



坐标作为颜色定义，如何做到目标定义要求，成为影响出光效果的关键。杂色是本文主要讨论的问题。

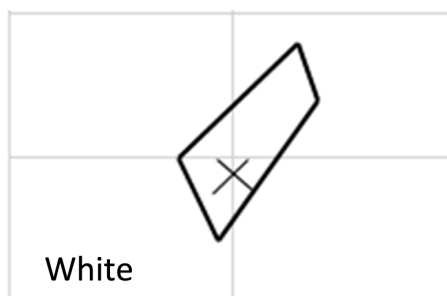
杂色，就是实际显示的颜色和定义的颜色不同，比如，定义要求白色，实际显示偏红的颜色，如图 10 所示。



**Figure 10.** Mixed light  
**图 10.** 杂色

光学上定义颜色，主要用色坐标。色坐标是色度学的重要内容之一，光源的色坐标测量是研究光源特性的方法之一。色坐标测量的基本原理是根据光源的光谱分布由色坐标的基本规定进行计算而得出的。

常用的颜色坐标，横轴为  $x$ ，纵轴为  $y$ 。有了色坐标，可以在色度图上确定一个点，这个点精确表示了发光颜色。即：色坐标精确表示了颜色。例如，星空顶常用的白色，定义  $x = 0.409$ ， $y = 0.394$  另外，会再定义 4 个点的色坐标，形成方框，即为色坐标公差范围，如图 11。实际测量的色坐标落入框内，即满足要求。



**Figure 11.** Color coordinate tolerance  
**图 11.** 色坐标公差

出现杂色问题，就是实际测量的 LED 颜色坐标落在了色坐标公差方框外。一般从光源 RGB 三色灯和光的传导两方面考虑。

RGB 三色灯，由红色、绿色和蓝色三个独立的灯珠构成。常见有四个引脚，一个公共端和三个颜色控制端。三个颜色任意组合可以产生其他颜色，如红色和绿色同时亮，蓝色不亮则是黄色；三色都亮则产生白色。RGB 三色灯的分离设计原理，导致白色容易产生杂色问题。

RGB 三色灯实现白光是以红绿蓝三色混光而成，在透镜的表面通常会做一些浅皮纹，利用漫反射原理，把光线投射到皮纹表面并向各个方向反射。在星空顶衬的控制模块内部，RGB LED 光源发出的光线进入模块内部，在透镜上经过多次反射、折射、散射及吸收后透过透镜，传导到光纤。所以，内部反射空间越大，漫反射发生的次数越多，混色就会越均匀。

如图 12(a), 当光线反射空间较小时, 因距离较近, 反射次数少, 光线集中在中心距离, 而且中心区域 RGB 都能够到达, 所以可以混出白色, 但是边缘不能全部得到所需的 RGB, 所以在边缘 LED 灯珠对应颜色会占主导, 且中心和边缘的亮度对比差异较大。

如图 12(b), 当光线反射空间较大时, 因距离较远, 反射次数多, 大多数区域都得到了 RGB 三色, 所以中间能得到的白色区域比图 12(a)的大, 而且中间和边缘的亮度也较均匀。

也就是说, 增大光线反射空间, 可以减少杂色, 混色更均匀。

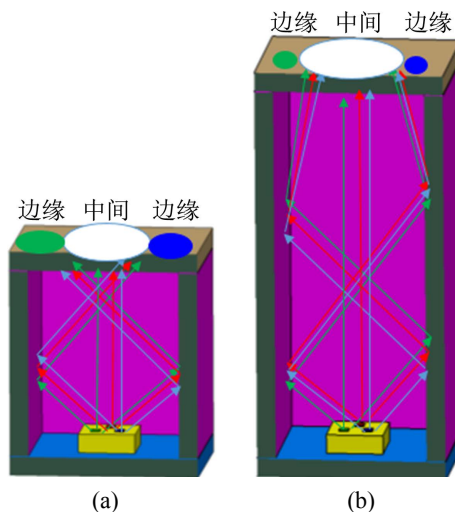


Figure 12. (a) Light in small reflection space; (b) Light in large reflection space

图 12. (a) 光线反射空间小; (b) 光线反射空间大

基于以上分析和原理, 为了解决星空顶衬的杂色问题, 重新进行了透镜设计, 最大限度的利用了模块内部空间, 达到了混色均匀呈现白光的目的。如图 13 所示。

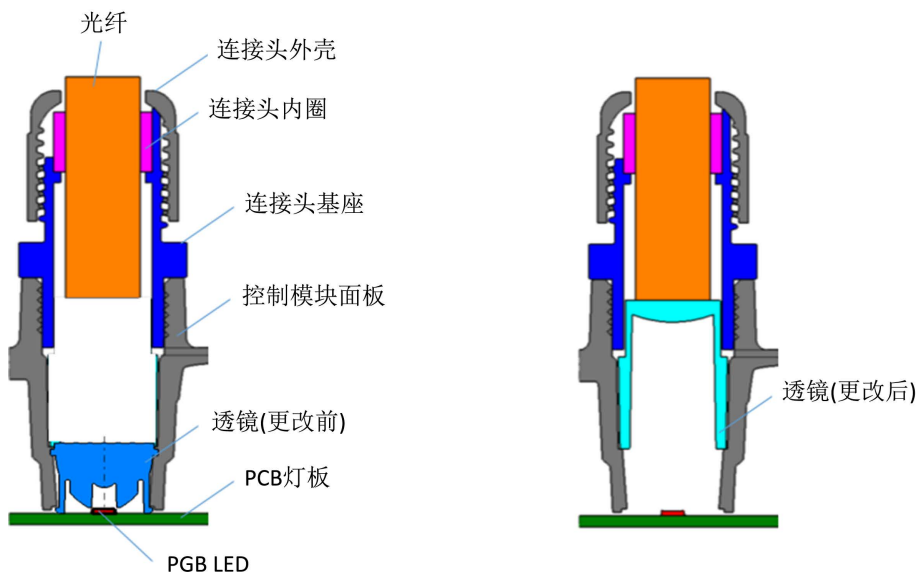


Figure13. Change before/after for lens assembly structure sectional drawing  
图 13. 更改前后透镜装配结构剖面图



更改了透镜的设计后, 实测色坐标值落入了公差方框内, 满足了目标定义要求。如图 14 所示。

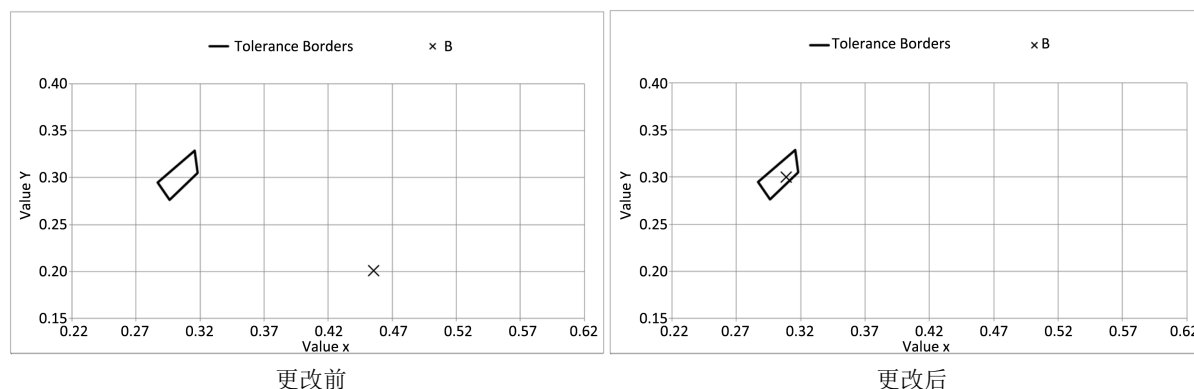


Figure 14. Change before/after for comparison of measured color coordinates

图 14. 更改前后实测色坐标对比

最终, 通过更改透镜设计, 杂色问题得以解决。如图 15 所示。



Figure 15. Mixed light issue solved

图 15. 杂色问题解决

## 6. 结语

本文介绍了一种车辆星空顶衬技术的量产实现方式及出光效果的研究。

实现方式上主要有:

- 1) 模块化设计, 将控制器、散热器、LED 灯源模组、透镜等集成为一个控制模块, 便于管理、安装及更换。
- 2) 创新的采用 LED 光源与光纤配合的方式, 仅使用 20 个 LED 光源控制几百个亮点。节省 LED 光源的使用, 极大地降低了成本。
- 3) 采用透光组件的方式, 解决发光点凸出面料表面导致的外观扎手的问题。有利于控制工业化批量生产的产品一致性。

为提高乘客的体验感受和车辆的一致性, 针对出现的杂色问题, 提出了充分利用内部反射空间的透镜设计方案, 通过了零件光学测试和整车灯光评审。

随着车辆和人们丰富的生活场景愈渐紧密地融合, 用户对于互娱的诉求也逐渐加强。星空顶衬提供了一种客户在车内即可感受璀璨星空的情境体验, 多种不同的应用场景也力求满足客户在不同环境下的情感需求。未来, 随着新技术的迭代开发, 星空顶衬上的星光景象会使客户的每一段旅程都成为一次神奇的体验。

### 参考文献

- [1] 蒋逸明. 体验设计助力汽车行业突围创新困局[J]. 上海汽车, 2020(9): 1-4.
- [2] 崔卫国. 智能座舱的下一个五年[J]. 上海汽车, 2021(2): 13-16.
- [3] 陈小龙, 孔逊之, 等. 一种多模式的氛围灯控制模块[J]. 汽车零部件, 2017(2): 15-19.