

# LED 照明系统在飞机上的应用探讨

任子桥 黄伟 郭平

(四川九洲光电科技股份有限公司 四川 绵阳 621000)

**摘要:**近年来,LED 照明技术处于高速发展阶段,并在诸多领域得以广泛应用。照明系统作为飞机的重要组成部分,不仅关系到飞机能否正常飞行,同时也关系到飞机乘客的生命安全。因此,建立科学合理的 LED 照明系统,为飞机驾驶员提供良好的工作环境具有重要的意义,针对 LED 照明系统在飞机上的应用研究就显得尤为必要。

**关键词:**LED 照明系统;飞机;驾驶舱;应用

## 0 引言

飞机驾驶舱内设置诸多仪表、信号灯、显示屏和导光板等装置,飞机驾驶员主要利用视觉接收外界与仪表信息,并在短时间做出正确判断,操纵飞机正常运行,一旦出现差错将会导致重大飞行事故。据国外飞行事故统计数据发现,由于人为差错导致的空难事件在空难中占比 40%。导致飞机驾驶员人为差错的一个重要原因是驾驶舱照明系统设计不合理,使得驾驶员易产生驾驶疲劳,从而导致操作错误及判读错误。由此可见,设计科学合理的照明系统,为驾驶员提供良好的工作环境、工作条件,可有效缓解驾驶员视觉疲劳,减少空难的产生。

## 1 LED 照明系统优势

### 1.1 使用寿命长

常用的 HID 灯及卤素灯使用寿命通常在 2000 ~ 3000h,LED 灯使用寿命可高达 10000h,若利用 LED 光源,灯具使用寿命高达 20000h,可有效减少飞机更换灯具的次数。此外,飞机长时间使用中,即便环境恶劣,LED 灯具仍可处于正常工作状态,不易损坏。

### 1.2 安全可靠

卤素灯中包含灯丝,因此,卤素灯处于高强度震动状态下时,易出现灯具损坏现象,而 LED 灯具为恒流源,其中不含易爆、易损部件,不会引发电磁感应,具备良好的抗震性能,即便处于飞机震动等恶劣环境中仍可安全、稳定地工作。

### 1.3 环保高效

传统飞机照明系统中所应用的卤素灯发光效率为 17 ~ 33 lm/W,氙气灯、HID 等发光效率为 40 ~ 100 lm/W,大功率白光 LED 灯发光效率达 1200 m/W,所以,相比之下,使用 LED 灯具不仅发光效率高、照明效果好,而且环保。伴随着科学技术的高速发展,LED 照明技术发展空间也将更为广阔,其环保高效的性能可以得到更

大程度的发挥。

## 2 舱内照明系统构成

舱内照明系统由 JZ3035-1 柔性 LED 照明灯(图 1)、漫反射涂装系统两部分构成,涉及顶灯照明、泛光照明、阅读照明等多个区域。JZ3035-1 柔性 LED 照明灯所发出的光经反射率高达 95% 的漫反射涂装系统,可照明舱内区域面积为  $7\text{m} \times 3\text{m} \times 2\text{m}$ ,  $300 \sim 10000\text{Lux}$  为平均照度,均匀度至少达 85%。JZ3035-1 柔性 LED 照明灯主要由航空 PFC 接线盒、柔性 LED 照明灯电源模块、JZ3035-1 柔性 LED 照明灯发光元件(以下简称“发光元件”)几部分构成,利用航空连接组件可靠连接电源模块、发光元件两部分,此种组建模式下可支持电源模块、发光元件的短时间内拆换,利用航空 PFC 接线盒连接各部分发光元件。

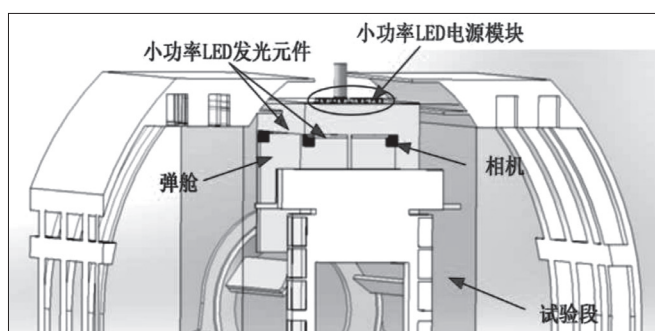


图 1 JZ3035-1 柔性 LED 照明灯示意图

### 2.1 航空 PFC 接线盒

航空 PFC 接线盒应具备一定的自检能力,主要涉及周期自检、上电自检等诸多内容。

(1) 上电自检:接通开关后,航空 PFC 接线盒应自动进行上电自检,并完成故障状态的迅速检测,上电自检时间应保持在 30s 内,上电自检内容主要涉及微控制器、内部逻辑功能、电流测量器、通信、离散输入、程序与循环冗余校验数据、存储卡及监视时钟装置等,故

障检测率达 95%，影响性能的故障检测率达 98%。

(2) 周期自检：航空 PFC 接线盒在运行状态下，需进行连续、不间断地周期自检，此自检功能应独立于设备的其他功能，不依靠操作信号、外部激励信号自动开展。周期自检内容涉及内部通道交联、各通道（涵盖离散的输出及输入）的电压测量、电流、电源模块状态等，故障检测率达 90%，影响性能的故障检测率达 95%。

## 2.2 阅读照明

正副驾驶头顶正上方安装阅读灯，各阅读灯周围安装线性可调节开关，调节过程中灯的亮度不会产生可见的突变现象。以 LED 作为阅读灯光源，白光 5500K 为阅读灯色温，灯正下方 36 英寸位置光强应至少满足 33 fcd，飞行过程中灯的照射视角为可调节的。

## 2.3 顶灯照明

驾驶舱共安装 2 个顶灯，分别为副驾驶与主驾驶，顶灯亮度控制应设置 3 档，即“较亮”“较暗”“关闭”。夜间飞行时适用“较暗”档位，白天飞行时适用“较亮”档位。以 LED 灯为顶灯光源，色温设定为白光 5500K，灯处于“较亮”档位时，顶灯正下方 28in 位置光强应至少满足 61 fcd。

# 3 舱内照明系统设计

## 3.1 小功率 LED 发光元件

因舱内环境复杂多变，加之安装位置窄小，所以，本方案共设计两种类型的可柔性安装的发光元件，两种类型的安装方式发光主体功率一致。第一种类型为圆形嵌入式安装结构，以硅胶垫圈覆盖在前方，依据弧形表面选择可柔性嵌入式方式；第二种类型为柔性长条结构。

分析任务要求发现，针对舱内照明总功率提出要求，需  $\geq 1000\text{W}$ ，并具备 28 套发光元件，可对发光元件数量  $\geq 20$  个的要求充分满足，柔性 LED 照明灯设计以常规航空机载灯具设计为标准，将小功率 LED 工作温度范围设定为  $-40^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$ ，依据 180dB 设计噪声声压级 (SPL)。

### 3.1.1 圆形结构设计

柔性 LED 照明灯发光元件以圆形结构的主体材料 5A06 铝合金作为首选方案，外形及尺寸详见图 2。

圆形 LED 照明灯结构主要包括光学微结构扩散板、灯板 PCB、结构外壳等部分。设计过程中，将结构固定螺孔设置于发光元件结构件底壳中，借助此种方式实现圆形 LED 照明灯与弧形舱内壁的完美贴合。此设计方案已在运 -9、运 -8 货舱三模式照明系统顶灯中得以广泛应用且应用效果良好，180dB 声振环境下仍可正常运行。

此外，为优化并精简布局，尽可能减少灯具数量，实现照明效果最大化，可以采用双排航空柔性发光模组的设计方式，利用 PC 材质光学微结构扩散薄膜覆盖出光区，

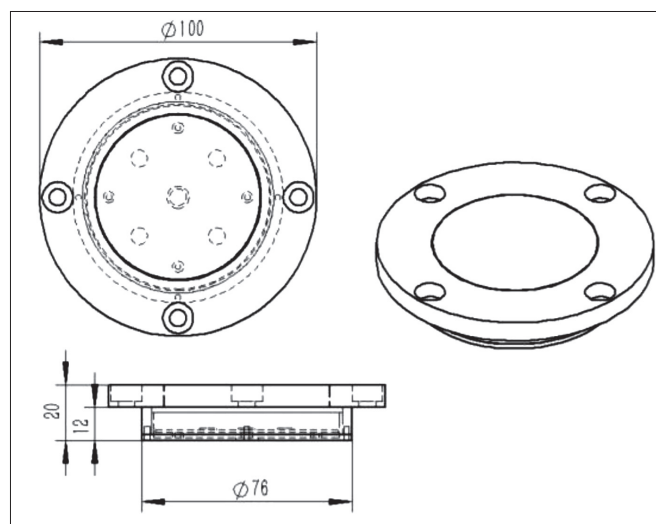


图 2 圆形 LED 照明灯发光元件

以达到增加发光视角的设计目的。PC 材质光学微结构扩散薄膜具备稳定的光学性能，即便长时间处于光源照射环境下也不会产生变形。而为实现柔性安装功能价值的最大化发挥，以 4 个相同的分体式结构主体构成外壳，各分体以线路板中所设计的航空 FPC 线缆实现可靠连接，以此作为灯具整体支撑。此设计总质量为 0.5kg。

### 3.1.2 柔性长条结构设计

结构设计过程中，发光元件主体材料选用超高强度铝合金，具备良好的导热性能，且抗振性能佳，可充分满足航空灯具对于保护性结构材料的要求。

柔性 LED 照明灯主要由 4 部分构成，分别为 PC 材质光学微结构扩散薄膜、改性硅胶上盖、柔性 LED 灯板 PCB 及 AF1410 多层手撕钢。此种设计方式除具备较高强度外，还具备良好的导热性能、强大的抗氧化与耐腐蚀性能以及高品质的表面光洁度。

### 3.1.3 LED 发光元件电路设计

小功率 LED 发光选用恒流及安全低电压驱动方式，分别按照相应的串 / 并连接方式展开布线，以此对发光元件的稳定发光、持续发光加以保障。对电源模块接口（外部接口）选取十二芯航空连接器，为供电模块各组可按照指令规律切换、变化输出的驱动电流提供支持，以此实现发光元件模式、发光元件亮度的随时切换。按照 I 级降额准则设计 LED 发光元件的使用数量，除可实现使用可靠性的增强及使用寿命的延长外，还可实现光效的提升，在充分满足使用需求的前提下将发光元件功率降至最低。

此设计方案优势在于若其中某电路产生断路故障时，剩余通路仍可处于额定工作范围内正常运行，保障灯具的稳定发光、持续发光。将安全低电压恒流驱动作为小功率 LED 灯的工作方式，并将限流分压电阻安装于各路 LED 电路中，保障各路 LED 保持相应电流及电

压,且发光均衡。

分析任务要求发现,针对舱内照明总功率提出要求,需 $\geq 1000\text{W}$ ,并具备 28 套柔性 LED 照明灯,由电源模块功耗、发光元件功耗共同构成柔性 LED 照明灯功率,按照 84% 计算电源模块转换效率,按照 1200W 设计总功率时,各发光元件功率为 36W。

### 3.2 光学器件选型设计

以九洲光电应用至中国商飞公司 ARJ-21 飞机的适航认证成熟产品 9MK417508-10 作为发光元件,以国内外一线品牌 CREE 所研发的业界最小尺寸、高可靠性 LED 灯珠 XD16 作为 LED 灯珠选材,此灯珠具备高可靠性、热阻小及强大的光效等优势,在特种照明领域、深潜领域、航空航天领域等均得以广泛应用。此灯珠在  $135^\circ$  发光角度时单颗 LED 标称功率为 6W,与任务书中单颗 LED 标称功率 $\geq 3\text{W}$ 要求相契合,利用降额设计方式完成 LED 驱动电流的设计,可实现 LED 结温的有效降低,还可实现 LED 灯具可靠性能的增强,延长其使用寿命。除此之外,低功率高光效还可实现光密度的降低,推动均光效果的提升。

#### 3.2.1 LED 发光元件的光路设计

图 3 所示为柔性 LED 照明灯发光元件光线入射示意图,经光路光学处理后,发光器件光线半辐角/半光强角度 $> 140^\circ$ ,充分满足标准中所提出的发光角度 $> 120^\circ$ 的要求。

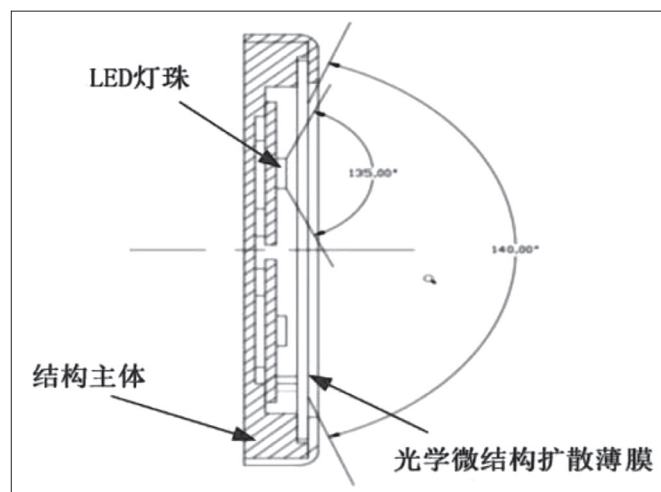


图 3 舱外照明单元发光元件结构设计图

此设计方案的优势在于,利用底发光结构方式设计发光元件,可实现多颗 LED 灯珠均匀混光,出光柔和。此方式借助反射率高达 92% 的高反射率结构主体均匀反射位于底部的 LED 灯光,以正面发光方式实现光效的提升,在灯具中混合多颗 LED 灯珠后,利用扩散板可再次均匀充分混合,进一步增加发光角度,可将由于亮度集中造成眩光的影响降低。除此之外,选用 PC 材质光学微结构扩散薄膜作为发光元件表面材料,因其具

备良好的柔韧性,可伴随光源主体产生弯折,为柔性安装创造良好条件。

#### 3.2.2 LED 发光元件散热设计仿真

散热设计是 LED 灯具设计的重要环节,也是影响灯具寿命的重要因素。出于提高可靠性的考虑,选取中国商飞公司 ARJ-21 飞机的适航认证成熟产品 9MK417508-10 的  $2.0\text{W}/\text{m} \cdot \text{k}$  高导热复合柔性 PCB 基板 (CEM-3),覆铜厚度 2 盎司 ( $35\mu\text{m}$ )。此材料技术具备较高可靠性,不仅具备良好的导热性能,而且具备良好的柔韧性,并能够实现以灯具结构外形为依据,完成柔性 PCB 轮廓的定制,实现表面积的最大化,有助于导热散热效率的提升,满足 LED 发光元件的散热要求。

## 4 结语

综上所述,伴随近几年科学技术高速发展,作为人们出行的重要交通工具,飞机的飞行安全事关每一位民众,驾驶舱照明系统作为影响驾驶员工作状态的重要设备,照明系统设计是否科学、合理则尤为重要。因此,在飞机照明系统设计中引入 LED 照明技术,除了可以缓解驾驶员的驾驶疲劳外,还可辅助驾驶员作出正确判断,保障飞机飞行正常。

### 参考文献:

- [1] 刘武玲. LED 灯光系统在 737NG 机型天空内饰中的应用及其维护 [J]. 中国航班, 2020(10): 1.
- [2] Paul Seidenman, David Spanovich, 李田雨. LED 照明应用持续扩展 [J]. 航空维修与工程, 2019(1): 2.
- [3] Thierry, Dubois. 有效提升市场竞争力手段——LED 照明系统翻新 [J]. 航空维修与工程, 2020(4): 2.
- [4] 陈香艳. 某型飞机驾驶舱照明方案设计 [J]. 科学大众: 科技创新, 2019(3): 1.
- [5] 周莉, 黄顺云, 罗莎, 等. OLED 光源在民机客舱照明中的应用 [J]. 照明工程学报, 2019, 30(1): 5.
- [6] 曾艺. OLED 技术在民用飞机驾驶舱照明中的运用 [J]. 科技视界, 2017(10): 2.
- [7] 曾艺. OLED 技术在民用飞机驾驶舱照明中的运用 [J]. 安阳工学院学报, 2017, 16(6): 4.
- [8] 曾艺. 基于 LED 技术的自适应调光导光板照明及其关键技术 [J]. 科技视界, 2017(6): 2.
- [9] 于子淇, 周壁和, 赵子磊, 等. 飞机新型频闪灯控制策略研究 [J]. 科学技术创新, 2021(11): 4.
- [10] 王裕林, 杨帆, 李飞, 等. 某型飞机 LED 航行灯散热器设计及研究 [J]. 制造业自动化, 2018, 40(3): 4.

**作者简介:** 任子桥 (1982.10-), 男, 四川绵阳人, 本科, 研究方向: 特种照明产品设计与应用。