

车灯起雾原因及解决方案探讨

徐鑫鹏, 昌进, 郝珊珊

(常州星宇车灯股份有限公司, 江苏常州 213022)

摘要: 水蒸气遇冷在灯罩内表面凝结形成雾气, 不仅严重影响车灯的外观, 而且给汽车行驶带来安全隐患。对车灯起雾的原因进行分析, 指出车灯起雾与灯内湿度、温度场分布及凝结核密切相关, 并由此提出应对措施, 为解决车灯起雾问题提供参考。

关键词: 车灯; 起雾; 原因; 解决方案

Discussion on Causes and Potential Solutions of Automotive Lighting Fog Forming

XU Xinpeng, CHANG Jin, HAO Shanshan

(Changzhou Xingyu Automotive Lighting Systems Co., LTD., Changzhou Jiangsu 213022, China)

Abstract: Water vapor is condensed into fog in the internal surface of lens by cold air. It not only affects the lamps appearance seriously, but also brings hidden danger to driving. The reasons for fog forming were analyzed. It was pointed out that it is closely related with humidity, temperature field distribution and condensation nucleus in the lamps. Thus countermeasures were put forward to provide references for solving the fog problem of lamps.

Keywords: Automotive lighting; Fog forming; Causes; Solutions

0 引言

随着汽车工业的不断进步, 人们对汽车行驶可靠性的要求也越来越高。汽车车灯作为汽车照明和信号传递的工具, 对汽车行驶安全性有至关重要的影响, 而车灯的起雾问题已经成为影响车灯使用寿命和照明质量的重要因素, 每年因起雾问题引起的车灯售后索赔率居高不下, 一直困扰着众多汽车厂以及灯具制造厂。车灯起雾主要是由于灯内的水蒸气遇冷凝结成小水滴附着在灯罩内表面, 如果不及及时排出这部分水分, 会导致灯内积水, 不仅影响车灯外观, 而且使车灯的照明效果大打折扣, 甚至损坏车灯电子部件, 严重影响汽车的行车安全。车灯起雾问题涉及光学、材料和热物理等多方面的问题^[1], 这也为解决车灯起雾问题带来了诸多困难。文中对车灯起雾的原因进行分析并提出解决方案。

1 车灯起雾原因

1.1 车灯进水

由于车灯密封不良导致环境中的水汽大量进入灯体内部, 当车灯内部温度低于这部分水汽的临界饱和温度时, 就会形成水珠吸附在灯腔内, 并且逐渐累积形成积水。车灯工作时由于内部温度升高, 灯内积水受热蒸发在灯罩内表面低温区析出形成较严重的水雾现象。引起车灯进水的主要因素有以下两点:

(1) 车灯用零部件如后盖、灯泡座、调光螺杆、护套、透气盖等密封件尺寸超差导致灯具自身密封性的质量问题。

(2) 顾客在使用过程中车灯受到外部猛烈撞击致使灯罩开裂, 以及擅自改装车灯致使胶槽部位受损等引起的密封性问题。

1.2 车灯起雾

车灯起雾是指在灯泡热驱动下, 灯内水蒸气不断向低温区

域流动、聚集, 当低温区域累积的水蒸气达到饱和时就会以小液滴的形式析出并附着在灯罩内表面, 而这部分小液滴与灯罩材料折光指数的差异致使灯罩外观上呈现白色水雾状。车灯起雾一般与灯内湿度、温度场分布及凝结核有关:

(1) 灯内湿度

如图1所示, 据有关试验分析和验证, 灯内水分主要有3个来源: ①反射镜、饰圈等材料表面吸附着不可见的水分子, 点灯或者外界温度升高时, 车灯内部温度上升, 反射镜、饰圈等材料的表面温度升高, 会释放出这些水分子; ②如果车灯没有透气孔或透气孔偏少, 点亮时由于灯内压力增加或者过高, 有可能破坏灯罩同壳体间的连接部分以及插头处, 造成密封不良。当车灯熄灭后, 灯内压力突然降低, 灯外的空气会从车灯线束连接的插头处被吸入灯内, 如果外部的空气湿度较大, 湿空气就会在灯内聚集^[2]; ③在遇到暴雨天气或洗车时, 外部水分有可能在灯具壳体上透气组件外围挡筋内积累, 逐渐填满透气组件与外围挡筋的缝隙, 形成间歇性的“水密”结构, 此时透气组件不但起不到透气作用, 而且当灯具内部压力降低时, 这部分水分有可能从透气组件被吸入灯内, 致使灯内湿度过大。

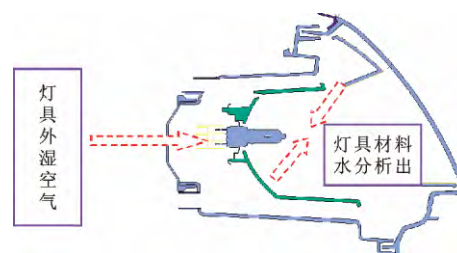


图1 车灯内部水分主要来源

收稿日期: 2014-06-30

作者简介: 徐鑫鹏 (1986—), 男, 硕士, 研究方向为有限元分析计算、灯具雾气分析与试验。E-mail: xuxinpeng@xyl.cn。

(2) 灯内温度分布

在点灯和外界环境作用下，如果造成车灯内热传导、热辐射及热对流量交换的不平衡，灯具会出现温度分布不均的现象，温差过大的话容易导致空气中的水分在低温区域凝结，如图2所示。

图2所示。

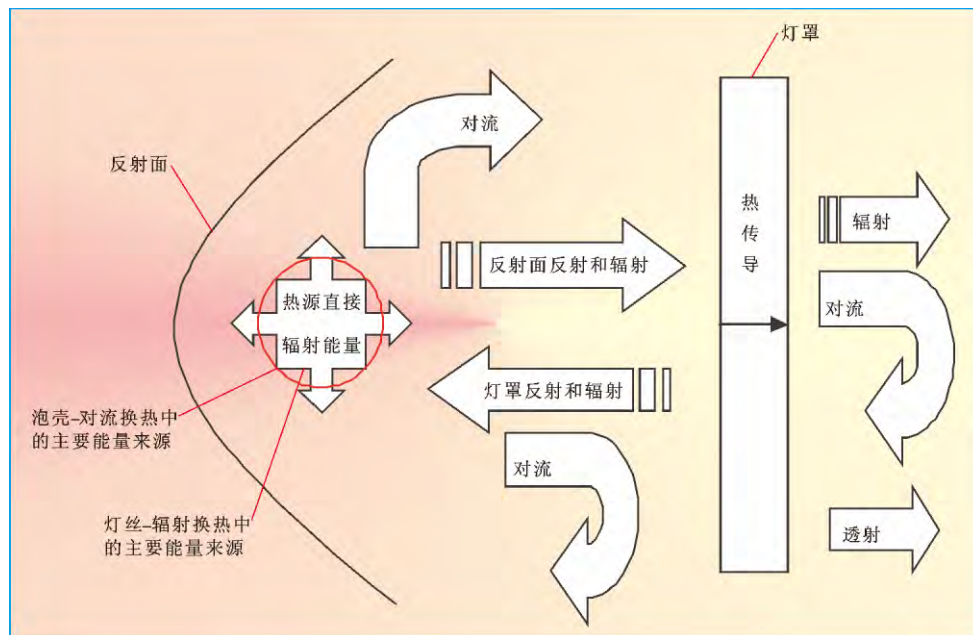


图2 车灯工作热交换示意图

(3) 凝结核

灯内存在凝结核是车灯起雾的又一重要因素。在车灯内部的空气中，凝结核相对较少，水蒸气不易凝结。而车灯零部件表面的凹凸起伏不但可以吸附水蒸气，而且提供了凝结核，使得液滴初始半径较大，水蒸气就可能在这些凹凸起伏处凝结成液滴，并不断扩展为水雾。

湿度、温度及凝结核3个因素的综合作用，促成了起雾现象的出现。稳定起雾出现准则^[3]见公式(1)：

$$R \geq \frac{2\sigma T_s}{h_{LG}\rho_L(T_s - T_L)} \quad (1)$$

式中： R 为液滴半径； σ 为液滴表面张力； T_s 为水蒸气饱和温度； h_{LG} 为汽化潜热； ρ_L 为液滴密度； T_L 为液滴温度（近似于环境温度）。

2 车灯起雾解决方案

由于车灯雾气的形成与灯内湿度、灯内温度场分布及车灯零件表面的凝结核有直接关系，所以要解决车灯的雾气问题需要从以下几方面考虑。

2.1 降低灯内湿度

由车灯密封问题（进水）导致灯内湿度过大，引起的起雾问题需要通过优化车灯自身密封结构和规范用户车灯使用方法来规避。对于密封良好的车灯，降低灯内湿度通常可以从车灯

零件材料选用、透气组件选择及灯内安装除湿装置3个方面考虑：

(1) 选择车灯零件材料时尽量不使用含水率高的材料，例如：前照灯透镜支架、灯泡座等零件尽可能避免使用PA系列材料，可选用含水率相对较低的材料代替。车灯常用材料吸水率见表1。

表1 车灯常用材料吸水率

材料	吸水率/%
BMC	0.1 ~ 0.45 (镀膜后)
PC	0.15
PBT	0.1 ~ 0.5
亚克力 (PMMA)	0.15
ABS	0.2 ~ 0.45
PP	0.2
PA66	0.7 ~ 1.1

(2) 选择合适的透气组件可以促使车灯与外界进行充分的气体交换，加速灯内气体流动，能有效降低灯内的湿度，从而降低起雾风险。目前透气组件已经广泛应用在车灯上，前照灯甚至会同时使用多类透气组件，所以如何选择合适数量与合理布置的透气组件对车灯的防雾性能及灯具成本至关重要。首先，车灯上使用透气组件必须具备防水功能，以防止外界水汽

通过组件进入灯内；其次，要确定所选透气组件的数量，以前照灯为例可以参考图 3 所示试验方法进行确定。



图 3 车灯透气组件选用数量试验装置

选择一只密封性良好（通过水密或者气密试验）的试验前照灯，在壳体上只开一个透气孔，将这个透气孔紧密连接在橡胶导管的一端（确保不漏气），橡胶导管另一端放入充满水的烧杯中，且烧杯倒置，烧杯外侧水面没过整只烧杯。试验装置连接完成后点亮车灯所有功能灯（远近光一体只点近光），由于灯内气体在光源的热驱动下开始膨胀，灯内压力不断增大，气体逐渐从灯腔内通过橡胶管流向烧杯，烧杯中开始收集气体，当车灯工作稳定后，灯内与烧杯内气体压力达到平衡状态，烧杯中气体体积不再变化，达到恒定，记录此时烧杯中收集到的气体体积 V ，以及从开始有气体出现到气体体积恒定所需要的时间 t ，然后按照公式（2）推算车灯所需透气组件的数量：

$$N = \frac{V}{Q \cdot t} \tag{2}$$

式中： N 为需要透气组件的数量； Q 为每只透气组件的透气量； V 为烧杯中收集到的恒定气体体积； t 为烧杯中开始有气体出现到气体体积恒定所需要的时间。

确定透气组件数量后，按照尽可能使组件间 Z 方向落差足够大和 X 方向靠近灯罩的原则在壳体上进行布置，如图 4 所示。

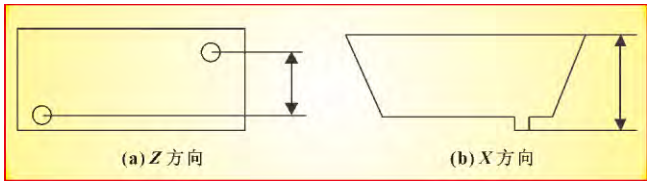


图 4 车灯透气组件布置方案

（3）灯内安装除湿装置能有效降低灯内的湿度，从而降低雾气产生的风险。目前国内一些汽车厂已经把该方案列为车灯起雾的解决方案，例如海马一款前照灯内部安装除湿装置，比较其安装前后对灯内湿度变化及灯具雾气表现的影响。

在图 5 所示 4 个位置（1、2、3、4）同时安装 4 根湿度传感器，测试淋雨试验后灯内湿度。从表 2 可以看出：没有除湿装置灯内最大测试湿度为 75.78% RH，而安装除湿装置后灯内最大测试湿度仅为 29.99% RH，湿度下降幅度较明显。结合图 6 和图 7 淋雨试验的结果，没有除湿装置的灯具尖角出现雾气，

而安装除湿装置的灯具未见雾气产生，由此可见安装除湿装置能有效降低雾气产生的风险。

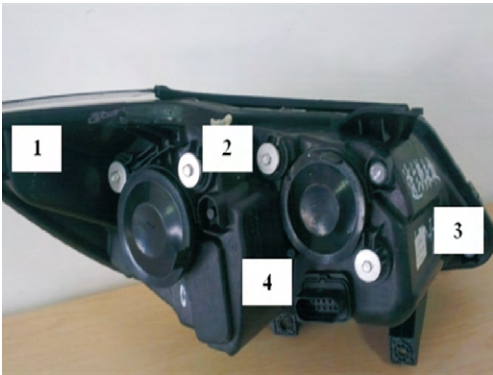


图 5 湿度传感器安装位置

表 2 安装除湿装置前后灯内湿度测试结果

方案	相对湿度/% RH			
	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4
无除湿装置	42.56	22.93	75.78	51.36
有除湿装置	24.18	7.57	29.99	25.57



图 6 无除湿装置灯具淋雨试验结果



图 7 安装除湿装置灯具淋雨试验结果

但是这种方法也存在较大的弊端,使用的除湿装置一般都会随着吸湿量的增加而趋于饱和,饱和后又会释放自身吸收的水分到灯内,加速车灯出现雾气,所以一般要求除湿装置安装在灯内方便拆卸的位置,例如壳体后盖内,可以定期拆卸下来进行干燥处理,以便其保持高效的除湿作用。

2.2 平衡灯内温度场

车灯的结构根据其用途的不同而有较大差异,每种车灯内部的腔体形状也各异,车灯内灯罩的低温区是形成车灯结雾的一个重要原因,而车灯内部分区域的温度是否较低取决于是否有光线对此处灯罩有加热作用,以及是否有热气流流经此处。在灯具设计时,一般要求提高灯罩局部区域的温度,降低灯罩温差来降低雾气产生的可能性。通常可以从以下几个方面进行预防:

(1) 在对某些车灯进行造型设计时,为了起装饰性作用,往往有狭窄区域无灯内光源对其灯罩内表面有明显的加热作用,导致该区域灯罩内表面温度较低,如图8所示,因此在设计时应尽量避免该狭窄区域的出现。

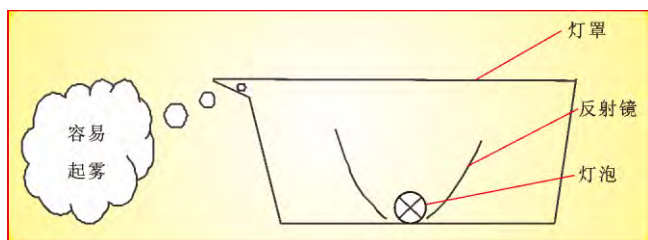


图8 车灯狭窄区域示意图

(2) 根据车灯光源对灯罩的照射分布,调整反射镜结构,



图10 使用防雾涂层前后基材表面水滴接触角

由于防雾涂层是在透明材质上喷涂,如有质量缺陷将无法通过打磨及抛光后重复喷涂等手段进行处理,相对来说产品报废率较高,同时防雾涂层的喷涂环境要求较高,这样一来相对于其他解决方案将增加较多的车灯成本。这个措施往往在其他方法效果不理想时作为后备方案实施^[4]。

3 结束语

车灯起雾主要与灯内湿度、温度场分布以及凝结核有关,因此要解决车灯起雾问题也需要从这3方面入手,限制其中一个方面或多个方面条件的出现,从而有效避免车灯雾气的

形成。利用反射镜的反射作用将光线照射到灯罩内表面局部区域,提高局部区域的温度,如图9所示。

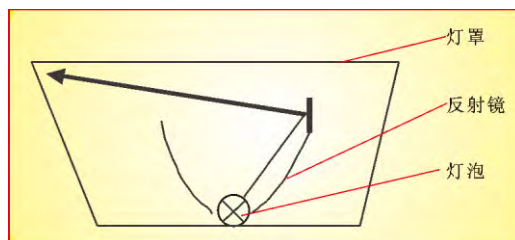


图9 调整反射镜示意图

(3) 对流传热是灯内热量传递的一个重要途径,因此加强灯内对流也可以提高局部灯罩内表面的温度。一般通过增大车灯主要零部件(灯罩、饰圈、壳体)间隙、对壳体相邻面间进行倒圆角处理以及使用透气组件来促使灯内进行充分对流传热。

在设计车灯时,采用上述预防经验时应该结合车灯内部CAE热分析,平衡内部温度场,尽量避免灯罩内表面温度梯度过大,从而降低车灯出现雾气的可能性。

2.3 减少凝结核

车灯内部零件表面的凹凸不平为起雾提供了凝结核,以目前的车灯制造工艺要实现零件表面零凝结核的难度较大,通常采用在灯罩内表面喷涂防雾涂层的方法来减少灯罩内表面凝结核数量,提高灯罩内表面的表面能。其作用机制是使水滴平铺在基材表面(表面接触角变小),形成一层很薄的水膜,阻止水滴在基材表面凝结,减少光线在水滴表面的散射,增加光线透过率,如图10所示。

形成。

参考文献:

- [1] 徐小平,黄宝陵,顾毓沁,等. 汽车车灯雾气形成的分析研究[J]. 工程热物理学报 2001 22(S1): 62-64.
- [2] 何浩,何志军,晋雷,等. 汽车灯具用防水透气组件应用分析[J]. 汽车零部件 2013(3): 80-81.
- [3] 李均,孙林. 新型汽车灯具防雾设计及应用[J]. 江西科学, 2011 29(2): 253-256.
- [4] 周昱,许建荣,黄益. 汽车外饰灯具雾气成因及解决对策[J]. 汽车工程师 2011(6): 53-55.