基于 STAR-CCM+的汽车前灯热流场分析与优化

Analysis and Optimization of The Internal Heat Flow for Headlight by STAR-CCM+

鲁建立　　赵蕾　　贾友昌
(长安汽车工程研究院，重庆渝北区双凤桥空港大道)

摘 要: 本文应用 STAR-CCM+对长安某车型汽车前灯内部流场进行 CFD 分析，得出在远光灯打开状态下前灯内部空气流动、温度分布，湿度分布情况。根据流动状况和湿度分布情况评估起雾可能性，根据分析结果给出优化方案。

关键词: 前灯、CFD、湿度、起雾、STAR-CCM+

Abstract: The internal flow of a Changan vehicle's headlight was analyzed by STAR-CCM+. With the high beam turned on, the internal flow field, temperature field and humidity field were calculated by CFD. The possibility of fogging in the headlight was estimated, the optimization was given.

Key words: headlight、CFD、humidity、fogging、STAR-CCM+

1 引言

汽车前灯的设计兼顾实用和美观，前灯的使用对汽车正常行车和安全驾驶有着极其重要的作用。现代车灯制造业运用大量先进技术，车灯质量日益完善，但车灯起雾积水仍然是一个普遍存在的问题，这一现象的发生严重影响了车灯质量和外观。车灯出现起雾积水现象是由于设计上的失误导致车灯内部受热不均，空气流动不畅，随着车灯的开启和关闭，车灯内部的温度急剧变化，特别是在淋雨的情况，温度急剧降低使得水蒸气遇冷凝结在车灯配光镜内表面，车灯透镜材料一般为合成树脂，水蒸气在其表面凝结成水珠，严重影响照明。水珠汇集成积水，工作状态下积水又蒸发形成水蒸气造成起雾，起雾现象的存在，又导致车灯内的积水很难排出，形成恶性循环，严重影响灯具的使用寿命。

车灯起雾属于物理现象，因此应该从灯体内部流场、温度场、湿度场的分布来研究，另外雾气的消散还要考虑压力分布。车灯内部是一个有热源的充满空气且连通大气的空腔，随着灯泡的开启和关闭，车灯内部存在着辐射换热和自然对流，其中的流场分布和温度分布最终决定车灯内部起雾和消失情况。

车灯设计中主要考虑灯的光学性能和美观效果，灯体内部的热流动也越来越多的考虑到设计中来，特别是前灯的设计，如果不考虑内部热流动，设计的模型中往往形成狭窄区域，而大多数狭窄区域流动缓慢，温度较低，成为起雾区域。

本文针对起雾现象对长安某车型汽车前灯进行 CFD 分析，分析涉及流动、传热、辐射等方面，计算采用稳态模型，考虑对流换热、灯丝辐射、固体壁面间的辐射、反射，透射。通过分析找出前灯内部容易发生起雾现象的区域，并给出优化方案。

3 计算模型

前灯结构主要包括灯壳、反光镜、装饰框、配光镜、近光灯、远光灯、位置灯和转向灯，灯体内的流动介质为 50%湿度的空气，灯体上有 4 个透气孔，车灯模型如图 1，图 2 所示：

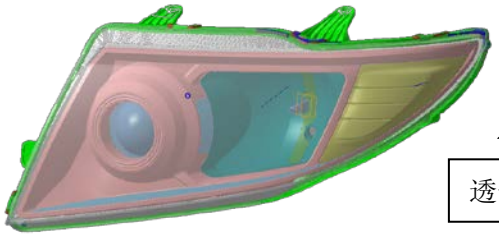

图 1　前灯正面

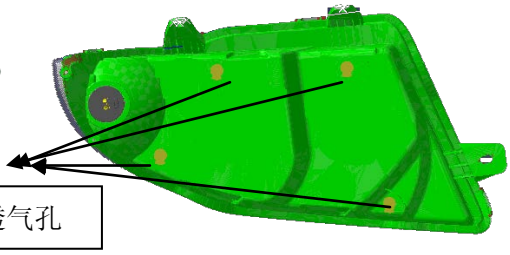

图 2　前灯背面

本次分析仅考虑远光灯开启时的状态，对模型进行适当简化，通过 Hypermesh 生成面网格，应用 STAR-CCM+生成 Trimmer 网格离散计算域。前灯热流场分析的计算域主要包括固体区域和流体区域，各区域间建立接触面边界，为了保证计算精度，对关键区域进行了网格细化，网格总数在 200 万以上。网格模型如图 3 所示：

图 3　计算域体网格模型

3 计算结果及分析

3.1 速度分布结果

图 4 是位于远光灯中心位置 Y-Z 平面的速度矢量图，图中清晰的显示了远光灯作为热源所形成

的车灯内部气体流动过程。灯泡周围气体被加热，温度升高，膨胀上升，沿着反光镜壁面移动，通过反光镜和装饰框的间隙流向灯体后侧，配光镜由于辐射作用，温度升高，加热其表面附近空气，导致壁面附近形成上升气流，气流主要通过配光镜和装饰框的间隙流向灯体后侧。灯体后侧冷空气下沉，从下部的缝隙流向灯体的前部从而形成对流。由图可以明显看出在车灯的右下角区域流速最低，因此该区域容易起雾。

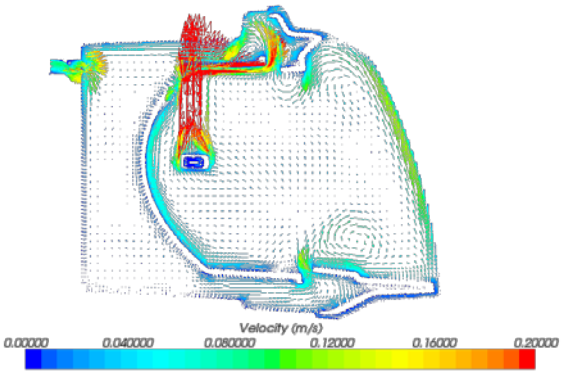

图 4　Y-Z 截面速度矢量分布

3.2 温度分布结果

图 5 是位于远光灯中心位置 Y-Z 平面的温度分布图，图 6 是配光镜表面的温度分布图，截面温度分布同速度分布相似，从图中可以看出被远光灯加热的气体上升到反光镜壁面，沿着壁面流向灯体后侧，加热壁面的同时自身温度逐渐降低，热辐射致使配光镜表面温度升高，配光镜加热其表面附近空气，配光镜上正对远光灯区域温度最高。车灯内存在漩涡，漩涡的作用使得内部温度与壁面温度趋于一致，因此形成了较明显的分层现象。灯体的底部在辐射范围之外，结构狭长，基本无对流导致温度较低。

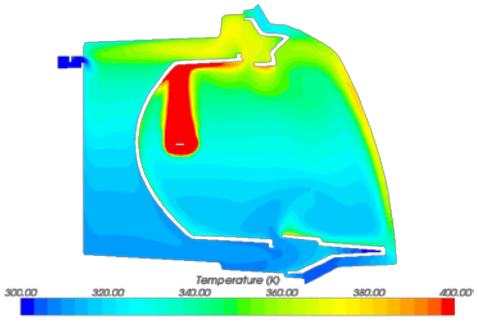

图 5　Y-Z 截面温度分布

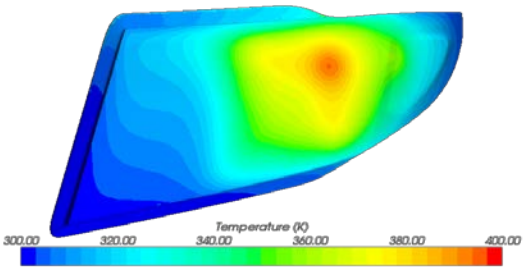

图 6　配光镜表面温度分布

3.3 湿度分布结果

图 7 所示为配光镜内表面湿度分布，配光镜正对远光灯区域流速高，温度高因此湿度较低，而在车灯左下角区域由于流动缓慢，温度低，因此湿度较大。

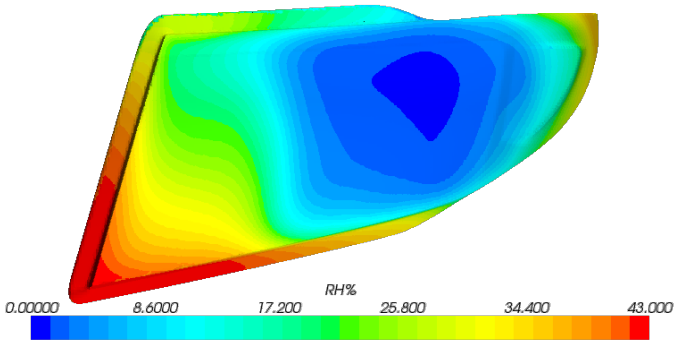

图 7　配光镜内表面湿度分布

灯体左下角既是流动死区，又是温度最低区域，同时湿度最大，必然是车灯容易起雾的区域。

4 优化建议

鉴于以上对车灯的流场分析及温度场、湿度场的分析，发现造成易起雾区域的原因主要是装饰框结构不合理导致存在流动死区。为了提高流动性及降低湿度，建议调整装饰框结构，在图 8 中圈中区域挖孔。

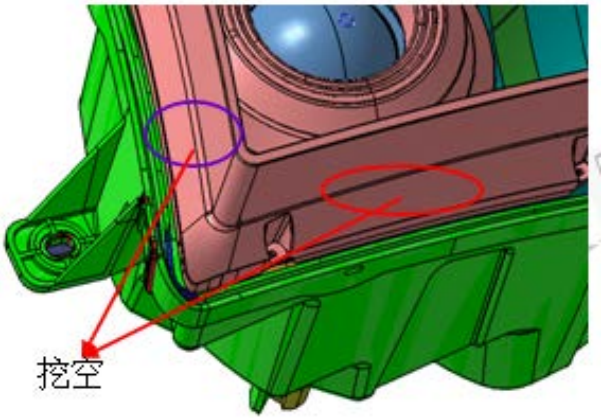

图 8　装饰框改动区域

改进方案计算结果如图 9，图 10 所示：

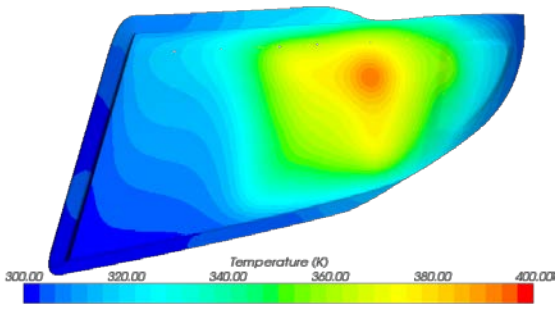

图 9　配光镜内表面温度分布

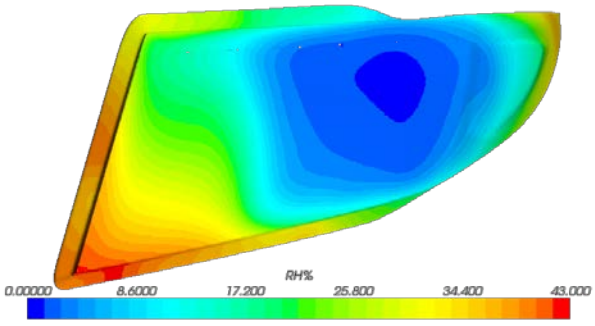

图 10　配光镜表面湿度分布

从优化方案结果中可以看出，优化方案在左下区域的温度比原方案高，湿度较原方案降低了，起雾的可能性降低。

5 结论

本文应用 STAR-CCM+对某款车前灯进行了分析，得知由于灯体内部部分区域流动性差导致该区域空气滞留，低温、高湿，进而起雾。为降低起雾的可能性，采用了修改装饰框结构的方法，改进后的易起雾区域温度得到提高，湿度降低，改进效果显著。

6 参考文献

[1] STAR-CCM+帮助文档

[2] 杨世铭,陶文铨编 《传热学》高等教育出版社 1998

[3] 郝京阳,张剑等 汽车车灯内部流动和传热特性的分析[J] 汽车技术 2003