

汽车侧窗污染的试验和优化方法探讨

侯双超, 赵麒

上汽大众汽车有限公司

【摘要】 汽车侧窗污染作为车身外部水管理 (External Water Management, EWM) 的重要组成部分, 对驾驶员的视野安全和舒适性有较大影响。本文探讨了一套试验测试和评价方法, 及 A 柱的优化设计措施的工具包, 能够快速有效地辅助整车工程设计。更重要的是, 在探讨侧窗污染时, 将结构变化对风噪和风阻的影响也考虑在内, 更方便工程参考和应用。

【关键词】 侧窗污染, EWM, 风噪, 风阻, A 柱

Investigation of Test and Optimization Method of Vehicle Side Window Soiling

Hou Shuangchao, Zhao Qi

SAIC Volkswagen Automotive CO., Ltd.

Abstract: As an important part of the external water management (EWM), vehicle side window soiling has a great impact on the driver's visual safety and comfort. This paper discuss a toolkit of testing and evaluation methods, A-pillar optimization measures, to assist developing vehicle quickly and effectively. More important, with discussing the soiling of side mirror, influence of structure change to wind noise and wind drag are also been considered, which is more convenient for engineering reference and application.

Key words: side window soiling, EWM, wind noise, wind drag, A pillar

引言

安全性和舒适性在整车核心竞争指标比例越来越重要。驾驶员通过外后视镜和侧窗间接或直接查看后方、侧方车道的交通信息。特别是暴雨天在高速和交叉路口行驶时, 驾驶员的视野开阔, 不受 A 柱和侧窗雨水遮挡对驾驶安全非常重要。越来越高的碳排放要求, 也要求整车气动风阻更低。高速行驶时风噪占整车声品质比重越来越大, 特别是电动车。因此如何利用优化设计平衡好三者关系显得尤为重要。

本文对侧窗污染进行了研究, 以期在驾驶视野安全性和舒适性、风阻、风噪三者中找一个平衡; 探讨侧窗污染评价方法, 以及不同 A 柱结构对侧窗污染、风噪、风阻的影响趋势; 建立一整套验证方法、设计准则、措施的工具包, 可快速有效辅助整车设计。

1 侧窗污染的评价方法

为了准确评价侧窗污染对驾驶员的影响, 通过污染位置和污染程度两个维度来判断, 如图 1 所示。

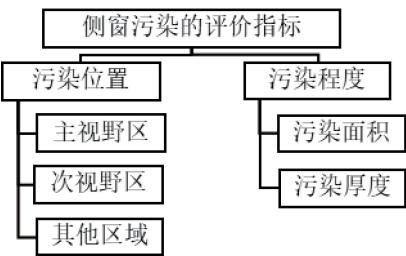


图 1 侧窗污染评价指标

1.1 污染位置评价

污染位置包括: 主视野区、次视野区和其他区域。主视野区为驾驶员通过外后视镜观察后方车辆, 视野经过侧窗玻璃区域。定位方法是眼位到外后视镜区域连线。以左右眼椭圆中心点的中点, 即中心眼点作为始点, 到外后视镜整个镜面矩形轮廓特征点的连线, 透过侧窗玻璃平面的交点连线形成的封闭区域, 即为驾驶员观察的主视野区。考虑到不同身高及坐姿的情况, 95%男性和 5%女性的主视野区并集运算, 对应的主视野范围。

次视野区为驾驶员直接观察旁边车道, 视野经过侧窗玻璃的区域。其定位方法: 眼点位置沿 Y 向形成的一个指定区域。其他区域定义为侧窗上除了主视野区及次视野区的区域, 对驾驶员安全驾驶没有直接影响的区域。如图 2 所示。

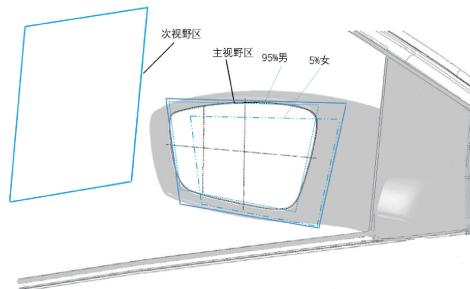


图 2 主视野区和次视野区

1.2 污染程度评价

其中, 污染程度维度包括: 污染面积和污染源厚度。对于同一区域, 水膜面积越大对视野遮挡越严重, 水膜污染面积在视野总区域的占比, 用来衡量视野区域内雨水分布聚集

程度。采用画网格方法^[1]，判断污染区域所占的网格数量，如图 3 所示。当网格划的很细时，可以直接用数网格的方式量化污染面积。

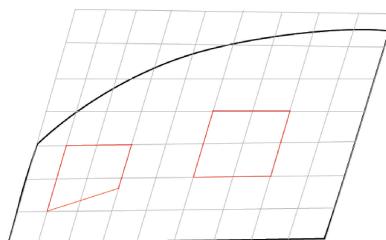


图 3 侧窗污染面积的评价

水膜的厚度越厚，侧窗的透光度和能见度越低，对视野的影响越严重，参考前风窗雨刮质量的评价标准折射率表示，折射率越高，光透过率越低，损伤越大^[2]。在污染面积和污染程度很难人为区分的时候，可以使用该方法进一步量化。

2 侧窗污染的试验

相比于危险的高速驾驶道路试验和不可控的降雨强度，环境风洞可以更好地控制测试变量，特别是空气流速、环境温度、降雨面积和强度。风洞试验台架的搭建考虑点如下。

2.1 水量的确认

相比较于国家标准^[3]基于 12h、24h 总降雨量的定义，团体标准^[4]短时降雨量等级 10min、30min、1h 短时强降雨对车辆的影响更苛刻。降雨量等级划分见表 1，单位为 mm。雨量大小影响能见度，道路交通安全法规定当能见度基低于 50m 时，应尽快驶离高速路。当降雨量强度大于 3.0mm/min 时，能见度已在 50~100 米^[5]。考虑到试验验证极端工况，这里取 4.0mm/min 为侧窗污染评估的降雨量强度。

表 1 短时强降雨的等级划分

等级	10min/mm	30min/mm	1h/mm
短时暴雨	2.0~4.9	4.0~9.9	8.0~19.9
短时大暴雨	5.0~15.0	10.0~30.0	20.0~50.0
短时特大暴雨	>15.0	>30.0	>50.0

2.2 试验速度

试验速度是模拟车辆以指定速度行驶在暴雨里。其中，雨滴的水平初速度即为车辆行驶速度，竖直速度为雨滴自由下落的末速度，考虑到喷嘴距离试验车辆有一段距离，喷嘴压力喷出有初速度，在重力作用下运动到车辆表面时垂直速度也在增加，而雨滴的自由下降速度相对车速并不大^[2]。车辆行驶水平速度，采用水平方向的等速风，模拟车辆相对于雨滴的水平恒速运动。高速行驶日常行驶最高限速 120km/h，雨天最高限速为 80km/h。而城市道路的限速一般为 60~80km/h。因此我们取 60~100km/h 的速度作为研究范围。这和国内外的研究^[2,6,7,8]基于 19~25m/s (70~90km/h) 速度描述一致，且试验速度范围更宽。用来考察污染轻微的边缘工况，可以更好地探究污染开始和消失的位置。

2.3 喷射位置

喷射格栅分布模拟整车雨淋状况，喷嘴的高度至少涵盖前风窗、A 柱、侧窗、前盖、车顶整个区域^[13]。雨水发射器的高度为了更贴合实际，是一个可变高度，与车速和车长相关^[2,9]。仅考虑主驾雨淋情况，可以减少用水，以适应小风洞。喷射起始高度从前盖前沿下角开始即可^[1,10,11]，具体高度根据试验车实际情况。按照喷头的布置位置和数量，根据雨量大小标定，这里不展开。结合风洞的实际情况和各种喷射格栅的优点，相关参数见表 2。

表 2 喷射格栅尺寸和车辆定位参数表

喷射宽度 W/m	喷射起始 高度 H_0/m	喷射离地 高度 H/m	格栅距离 L/m	车辆侧向 位置 P/m
1~2.51	0.5~0.82	3	2	0.5

注：1. 根据试验车辆尺寸和试验工况调整

2. 根据前盖前沿高度定

2.4 车辆的定位和设置

最经济喷射宽度仅包含驾驶员侧^[1,10,11]，即大于 1/2 车头即可。喷射范围要以轮距中心线、外后视镜外沿，车顶的最小包络矩形。为了试验布置方便，直接设定喷射边缘和轮距中心线的距离为车辆侧向位置 P ，并需要确保喷射边缘超过外后视镜外沿，如图 4 所示。喷射宽度 W 设置可变，当考察 A 柱溢流时， W 变小；当考察大型 SUV 车型时， W 变大。

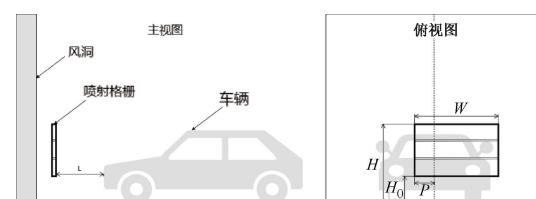


图 4 喷射格栅和车辆定位示意图

刮水器来回摆动也会影响水流的布局和流向，带刮水器运动为更苛刻工况^[7,10]。刮水器运动过程中会将水推至 A 柱，聚集的水越多越厚，越容易流过 A 柱，如图 5 所示。刮水器设为 1 档^[12]。

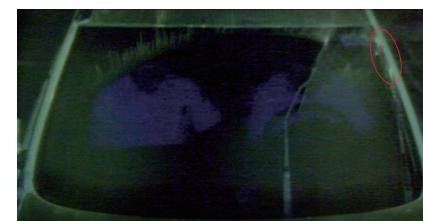


图 5 刮水器运动对侧窗污染的影响

2.5 污染程度的判定方法

该方法用于测量评定污染的流向和区域。若使用粉笔灰^[12]或盐水^[14]来追踪水流的路径，不透明层的模糊侧窗^[17]无法展示 A 柱溢流，而使用荧光粉^[15]和 UV 灯光的配合能更好地实现可视化^[16]，并能用视频录制侧窗的实时情

况。同时，使用UV光还能测量液体的形态和厚度^[18]。

至此，试验方法和评价方案已建立完成。环境风洞试验能够快速对比不同结构的侧窗污染，但也有它的局限性，试验未考虑到侧风和倾斜雨，不同雨滴大小对结果的影响。模拟效果和实际环境工况待进一步对比验证。

3 侧窗污染的A柱结构

侧窗污染的来源包括：直接污染，雨水直接滴落在侧窗上的占比较小^[14]。外后视镜区域，雨水在壳体后部分离时水流飞溅到侧窗区域（主要集中在底部），相比于A柱溢流占比小^[12]，本文不展开；A柱溢流，前风窗雨水由于刮水器作用，堆积在A柱区域，并在风的剪切力作用下翻过A柱流到侧窗上。

3.1 A柱结构影响

A柱结构强度要求高，需要满足安全碰撞法规要求，结构越大越厚越有利；A柱结构加在前风窗和侧窗之间，阻挡了驾驶员的视野，为视觉盲点，结构越小越有利。A柱结构会将前风窗上的气流和水流导至车顶和侧窗，引起风阻、风噪和侧窗水污染变化^[10,11,19,20]。A柱断面结构的变化对侧窗污染，风噪，风阻的影响见表3。

表3 A柱断面结构的效果趋势

	基准示意图 (台阶)		侧窗 污染	风噪	风阻
1	加高台阶		↓	↗	↗
2	深槽		↓	↗	↘
3	斜楔		↓	↘	↗
4	帽沿		↓	↗	

注：↓：降低，↗：上升

由表3可以看出，A柱结构的优化不能同时满足对3个因素都有利的情况，这时就要考虑取舍或折中方案。当然，如上仅是对A柱的断面结构对侧窗污染、风噪、风阻的影响趋势做了对比。实际车型设计中，通过更改台阶、斜楔、台阶的高度及宽度尺寸也有可能产生不同的效果；同时考虑到A柱台阶阶差不均匀，下深上浅的变截面变种和等截面结构对结果的影响也有所不同^[21]。

3.2 A柱结构实例

可以设置断面结构的尺寸推荐值，特别是当同一种结构侧窗污染和风噪的优化冲突时，根据不同优先级设置推荐值，确保3个因素均可接受。更进一步通过变截面的帽沿结构挡水条的设计，可以实现在侧窗污染有所减轻的情况下，风噪差别不大。如图6所示，添加流水条后（图6c），某车型在80km/h的速度下侧窗污染主视野和次视野区域，相较于之前（图6b）都有明显的减轻，但风噪水平（图6a）差别不大。



a)



b)



c)

图6 A柱结构对侧窗污染和风噪影响

同时，在侧窗污染可接受的情况下，尝试优化风噪，某车型更改流水条断面后，如图7所示，风噪在全频段都有较大水平的优化，分贝值最大降低2.5dB。

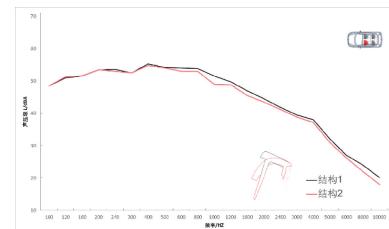


图7 A柱不同帽沿结构对风噪影响

除了A柱造型外，前风窗玻璃和A柱结构之间的缝道a、A柱和车顶的连接槽、车顶和侧围的连接槽、导槽顶条和侧围缝道b，这些结构对侧窗污染也有正向效果^[22]。如图8所示。

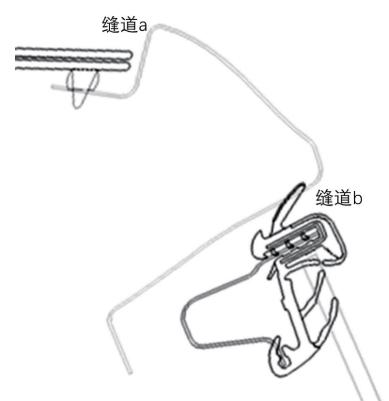


图8 A柱和侧窗的断面

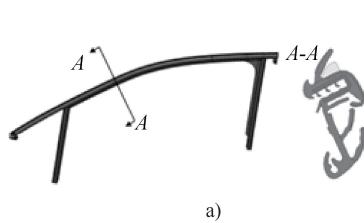
通过标准结构和标准截面的定义，确保结构最大程度的设计合理，即满足声学又满足侧窗污染，在后续通过仿真和试验对结构效果验证和优化。

4 补救措施

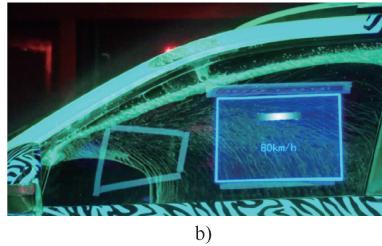
除了在造型阶段和结构设计阶段外，若在零件测试阶段发现问题，仍会有一些简单有效的措施用于补救。例如在流水条内部横向加筋可以将水流分段隔开，阻挡积水在特定位

置翻越 A 柱；在导槽顶条缝道 b 加挡水块，阻断翻越车顶的水流在重力作用下沿缝道回流，加重主视野区的侧窗污染。添加措施后，某车型主视野区域的污染面积（图 9b）比初始状态（图 9a）降低 56%。

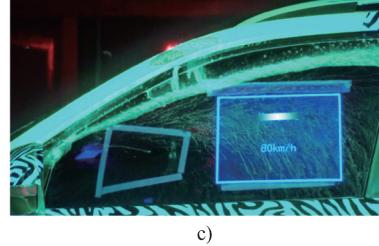
斥水玻璃采用一层含氟化合物的薄膜，提高了水对玻璃的接触角。接触角越大，憎水效果越明显。自洁防水涂层^[23]和防水膜，甚至涂抹肥皂等也是基于这个原理提高疏水效果的。



a)



b)



c)

图 9 导槽缝道 b 更改前后侧窗污染对比

5 结论

本文对侧窗污染的试验和评价方法进行探讨，对试验速度和水量的符合车辆实际行驶工况的苛刻条件、车辆位置和喷射格栅的布置对环境风洞的尺寸要求进行分析。对侧窗污染的评价从多维度展开，评价方法更合理、

客观和量化。

本文还对影响侧窗污染的 A 柱的造型和结构优化进行探讨，从侧窗污染、风噪、风阻全面分析，更加实用；对实际车辆车窗污染的其他实用措施也进行了探讨。在 A 柱的探讨中，涉及的结构尚不完整，结构细节尺寸仍需进一步探索，最终进一步构建标准 A 柱结构。

参 考 文 献

- [1] 廖庚华, 刘开贺, 孙少云. 某三厢车前侧窗雨污问题分析 [C]//2018 中国汽车工程学会汽车空气动力学分会学术年会论文集 [出版地不详: 出版者不详], 2018.
- [2] 辛俐. 重型商用车侧窗区域水污染的 ELM-ELFM 仿真及均衡化控制研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2021.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. 降水量等级: GB/T 28592-2012. [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [4] 中国气象服务协会. 短时气象服务降雨量等级: T/CMSA 0013-2019 [S]. [出版地不详: 出版者不详], 2019.
- [5] 吴建军, 袁成松, 周曾奎, 等. 短时强降雨对能见度的影响 [J]. 气象科学, 2010, 30 (2): 274-278.
- [6] THOMAS H. Experimental and numerical investigation of vehicle soiling processes [D]. Neubrandenburg: Otto-von-Guericke-Universit, 2012.
- [7] 刘江. 基于后视镜造型的汽车侧窗水污染仿真与控制 [D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [8] HAGEMEIER T, HARTMANN M, THEVENIN D. Practice of vehicle soiling investigations: A review [J]. International Journal of Multiphase Flow, 2011, 37 (8): 860-875.
- [9] 辛俐, 高炳钊, 胡兴军, 等. 基于格子玻尔兹曼方法的侧窗水相分析与控制 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2020, 52 (1): 141-147.
- [10] JILESEN J, GAYLARD A, LINDEN T, et al. Update on a-pillar overflow simulation [J]. SAE Technical Paper, 2018-01-0717, 2018.
- [11] ADRIAN P G, MICHAEL F, MARK B, et al. Modelling A-Pillar water overflow: Developing CFD and Experimental Methods [J]. SAE Technical Paper, 2012-01-0588 5 (2): 789-800, 2012.
- [12] BANNISTER M. Drag and Dirt Deposition Mechanisms of External Rear View Mirrors and Techniques Used for Optimization [J]. SAE Technical Paper, 2000-01-0486, 2000.
- [13] KARBON K, LONGMAN S. Automobile Exterior Water Flow Analysis Using CFD and Wind Tunnel Visualization [J]. SAE Technical Paper, 980035, 1998.
- [14] THOMAS L, TIMO K, JOCHEN W. Methodical Investigation of Vehicle Side Glass Soiling Phenomena [A]. FKFS Conference: Progress in Vehicle Aerodynamics and Thermal Management [C]. 2017, 238-251
- [15] KRUSE N, CHEN K H. Exterior Water Management Using a Custom Euler-Lagrange Simulation Approach [J]. SAE Technical Paper, 2007-01-0101, 2007.
- [16] FELIX S, TIMO K, ADRIAN G, et al. Advances in Experimental Vehicle Soiling Tests [J]. SAE Technical Paper, 2020-01-0681, 2020.
- [17] WANG Q L, CHEN X, ZHANG Y C. Unsteady Flow Control and Wind Noise Reduction of Side-View Mirror [J]. SAE Technical Paper, 2018-01-0744, 2018.
- [18] 辛俐, 胡兴军, 张靖龙, 等. 汽车侧窗区域水污染的仿真和优化 [J]. 华南理工大学学报, 2020, 48

- (11) : 72-79.
- [19] FOUCART H, BLAIN E. Water-flow Simulation on Vehicle Panels by Taking into Account the Calculated Aerodynamic Field [J]. SAE Technical Paper, 2005-01-3572, 2005.
- [20] HERVÉ D, MICHAEL H. Aeroacoustics Simulation of an Automotive A-Pillar Rain Gutter [A]. 4th European Automotive Simulation Conference: EASC [C]. 2009, 1-7.
- [21] ADRIAN P G, KERRY K, Duncan A L. Surface contamination of cars: A review [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2017, 231 (9), 1160-1176.
- [22] SANJAY S L, CHIAKI T, Kazuya N, et al. Development of sol-gel processed semi-transparent and self-cleaning superhydrophobic coatings [J]. Journal of Materials Chemistry A, 2014, 2 (15), 5548-5553.