

# 民用飞机风挡雨刷除雨系统设计

周景锋\*

中航工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

**摘要:** 基于CCAR-25中风挡除雨系统的适航性要求, 考虑到型号工程实际情况, 系统论述了民用飞机风挡雨刷除雨系统的设计过程和取证方法, 包括降雨气象条件和飞行条件的选择、关键视野区和刮刷范围的确定、风挡雨刷除雨系统设计要点以及风挡雨刷除雨系统适航符合性验证方法, 这对于民用飞机风挡雨刷除雨系统的设计具有一定的参考意义。

**关键词:** 民用飞机; 风挡雨刷; 除雨; 适航

**中图分类号:** V244.1+5    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-5453 (2016) 09-0036-04

飞机风挡除雨系统对于保障飞机飞行安全具有重要意义。飞机在降雨气象条件下飞行时, 座舱风挡玻璃的外表面会遭遇雨水的冲击, 清晰度或能见度将下降; 严重时, 可完全丧失透明性, 驾驶员将无法观察机外情况, 这在飞机起飞和着陆时是比较危险的。因此, 民用飞机的前风挡上一般都设有除雨装置。

目前, 风挡除雨的方式有4种: 风挡雨刷、喷气吹拂、喷洒排雨剂和涂敷防水涂层<sup>[1]</sup>, 对于大多数民用飞机, 都是采用风挡雨刷和其中的一种或两种相结合的方式。风挡除雨系统的设计输入与降雨气象条件、飞行条件和关键视野区等密切相关; 设计过程主要涉及刮刷区域和刮刷频率的确定、预紧力计算和停放位设计等; 设计结果最终需要相关试验予以验证用以满足相应的适航性要求。本文主要从适航取证角度对风挡雨刷除雨系统的设计进行详细的研究。

## 1 设计条件

### 1.1 适航要求

民用飞机风挡除雨系统设计需满足CCAR-25第25.773(b)条要求: “对于降水情况, 采用下列规定: (1) 飞机必须具有措施使风挡在降水过程中保持有一个清晰的部分, 足以使两名驾驶员在飞机各种正常姿态下沿飞行航迹均有充分宽阔的视界。此措施必须设计成在下列情况中均有效, 而无需机组成员持续关注: (i) 大雨, 速度直至1.5VSR1, 升力和阻力装置都收上。”<sup>[2]</sup>

### 1.2 降水气象条件

飞机风挡除雨系统通用规范GJB5190-2003第3.2.1.2条降雨条件对除雨系统设计有明确的指标要求: “工作降雨强度规定为48mm/h, 设计降雨强度规定为39mm/h”, 并对雨情进行了分类<sup>[3]</sup>, 美国汽车工程师协会SAE AIR1168/4也对雨情做了规定<sup>[4]</sup>, 雨情分类如表1所示。

表1 雨情分类  
Table 1 Rainfall condition

雨情	GJB5190-2003		SAE AIR1168/4
	降雨强度 / (mm/h)	雨滴平均直径 / mm	雨滴平均直径 / mm
小雨	1.00	0.45	
中雨	4.00	1.0	
大雨	15.00	1.5	1.5
暴雨	40.00	2.1	2.3
淫雨	100.00	4.0	

CCAR-25第773(b)条对降水情况规定为大雨, 且无降雨强度和雨滴平均直径的定义; SAE AIR1168/4考虑了大雨和暴雨两种雨情; GJB5190-2003全面地规定了小雨、中雨、大雨、暴雨和淫雨5种雨情。GJB5190-2003和SAE AIR1168/4的差别在于暴雨条件下的雨滴平均直径不同。

综合考虑, 建议民用飞机风挡除雨系统设计选择的降水情况为大雨和暴雨, 暴雨情况下选择的雨滴平均直径为2.3mm。

收稿日期: 2015-12-17; 退修日期: 2016-01-06; 录用日期: 2016-01-22

\* 通讯作者. Tel.: 029-86832209 E-mail: jingfeng\_zhou@163.com

引用格式: ZHOU Jingfeng. Windshield wiper rain removal system design of civil aircraft [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27(09): 36-39. 周景锋. 民用飞机风挡雨刷除雨系统设计 [J]. 航空科学技术, 2016, 27(09): 36-39.

### 1.3 飞行条件

根据适航条款 CCAR-25 第 773(b)(1) 条规定,风挡除雨系统设计时一方面需要考虑飞机的各种正常姿态,主要关注滑行、起飞、进场和着陆等状态,其中起飞和着陆状态为风挡除雨系统设计的关键,因为飞机在起飞和着陆状态下,飞行高度较低,大雨条件下视野受限所致;另一方面需要考虑在速度直至 1.5VSR1 和干净翼型情况下能保证驾驶员有充分宽阔的视界。

### 1.4 关键视野区

适航条款 CCAR-25 第 773(b)(1) 条要求在降水情况下,应使飞机的风挡玻璃具有一个清晰的范围,以保证飞行和着陆的安全。条款虽对视界范围和程度提出了要求,但清晰度和保证清晰的范围并没有定义。

HB7496-1997 第 4.7 条降雨和起雾时的视野中对关键视野区的定义:“清除的最小范围为设计眼位的左、右各 15°,向上到预期使用中以最陡航迹进场时看到跑道,向下到第 4.3 条规定的视野限制的最低值”<sup>[5]</sup>。关键视野区作为风挡除雨系统最主要的设计输入条件,需根据民用飞机驾驶舱视野要求分析得到,并通过虚拟 3D 评估(考虑飞机的各种运行情况如起飞、进近和着陆的情况)、模拟器试验和飞行试验确定。

### 1.5 其他条件

飞机风挡除雨系统设计中,除考虑降水情况、飞行条件和关键视野区外,还需综合考虑如风挡结构和外形(平面玻璃和曲面玻璃),风挡材料(考虑加温、磨损等),发动机引气可用性(采用喷气吹拂除雨系统时需考虑),飞机空间(从外部维护还是内部维护)、重量、电源等资源可用性,以及除雨系统的代偿损失。

## 2 风挡除雨系统设计

### 2.1 除雨方式选择

风挡除雨的 4 种方式各有利弊,且单独一种除雨系统难以满足飞机在所有飞行状态的除雨要求,通常需采用 2~3 种除雨系统可以达到除雨最佳要求。依据适航要求,参考国内外民用飞机风挡除雨方式(见表 2),可以看出国内外民用飞机采用的除雨方式以风挡雨刷为基础,以喷洒排雨剂或涂敷防水涂层的方式为补充,喷气吹拂由于对发动机引气需求量大和风挡表面过热可能使风挡损坏或破裂,故很少采用。本文主要对风挡雨刷除雨方式进行研究。

### 2.2 刮刷区域

在总体布局确定关键视野区后,基于满足气动力要求

表 2 国内外民用飞机风挡除雨方式

Table 2 Windshield rain removal mode of civil aircraft

飞机型号	风挡雨刷	喷气吹拂	喷洒排雨剂	涂覆防水涂层
Y7,Y8, Y12,ARJ21	✓			
A319, A320, A321, A330, A340	✓		✓	✓
A380	✓			
B757, B767, B787	✓		✓	
B777	✓			✓
B737, B747	✓		✓	✓

的前提下,结合布置和结构,通过分析确定风挡雨刷的合理刮刷范围。刮刷范围过大,刷片和刷臂的长度增加,雨刷的重量增加,大大降低了飞机的经济性;刮刷范围太小,将不能完全覆盖关键视野区,影响飞机飞行的安全性。对前风挡不同的形式(如曲面或平面),由于曲面风挡刮刷的面积和预紧力比平面风挡都要大,这不但引起雨刷结构更加复杂,电机重量和用电需求增大,而且不易刮净,所以关键视野区和刮刷范围所采取的确方式也不一样。因此,确定刮刷范围应和风挡雨刷的设计同步进行,同时考虑到风挡雨刷在结构设计和安装上能否实现,避免出现刮刷范围不满足关键视野区要求的情况。

## 3 风挡雨刷除雨系统设计

风挡雨刷除雨系统主要由风挡雨刷、抬起片和止档等组成,设计的重点在于安装方式选择、停放位设计、刮刷角度、刮刷频率和预紧力的确定。

### 3.1 安装方式

风挡雨刷安装方式分为机外和机内安装两种。从外部安装时维护拆卸方便,但需较大的安装口盖,重量增加,且会破坏密封,安装时需要重新涂胶密封;从内部安装时结构开孔小,重量轻,仅需考虑驾驶舱操纵台下的空间是否方便维护。

### 3.2 停放位设计

风挡雨刷停放位设计通常有两个位置可选:一是在靠近左、右风挡相连接的中间隔档处竖直停放;二是在左右风挡的下边沿平行停放。

停放位设计原则,首先要求对飞行员视线的遮挡越小越好,其次必须充分考虑预紧力和气动力的平衡。对于刷臂较长或是双支臂结构的雨刷,能得到较大的刮刷面积,但其风阻很大,特别是在与风挡下沿平行的位置,高速气流会产生很大的向上的抬升力,使刷臂难以稳定的停靠,因此,

刷臂较长或是双支臂结构的雨刷,是采用竖直的复位位置,虽然对视线的影响较大,但保证了停放位置的稳定。由于单刷臂结构相对风阻较小,可采用与风挡下沿平行的复位位置,对视线的影响较小。但对飞行速度高的民用飞机来说,刷片和刷臂的长度并不小,其风阻仍然较大,刷片仍有可能被气流抬起,造成停止位置不定,还会干扰飞行员视线,故需要设计止档,有效防止刷臂在不工作时受气流扰动造成的漂浮,保证飞行员的视线不受影响;同时需设计抬起片,在停止位刷片刚好从风挡玻璃上抬起,可避免刷片和玻璃间的积沉积沙,防止玻璃的损伤;另外,在夏季风挡玻璃可能会因日晒产生高温,刷片在停放位置不与玻璃接触,可防止高温灼伤刷条的刃口,避免过早老化。

### 3.3 刮刷角度

按照确定的风挡外形和结构数模,为满足刮刷区域要求,可初步确定刮刷角度,选取刷片长度,计算刮刷面积,检查刮刷面积是否能覆盖关键视野区,刮刷区域大,固然视野好,但是较长的刷臂刷片带来更大的风阻,不但要求雨刷器的电机功率大,在一定程度上,也会增大飞机的燃油消耗,可经过迭代建模,综合考虑关键视野区、停放位和安装方式,进而确定刮刷角度。

### 3.4 刮刷频率

刮刷频率通常设置两档或三档,两档为高速和低速;三档为高速、低速和间歇。一般来说,为保证相同的清除量,刮刷频率应随着降雨量和飞行速度的增大而增加,但刮刷频率的增加是有限的,一方面降雨量达到一定程度时,机械雨刷会来不及刮除风挡上的积水,另一方面,过快的刮刷频率会给空乘人员带来不适感,当雨刷刮刷频率超过每分钟350次时,风挡雨刷的来回摆动闪烁就会影响驾驶员视野并分散注意力。实际上,风挡雨刷除雨系统仅可在大雨以下和限于1.5VSR1以下速度使用,在暴雨和更高的飞行速度时,通常采用喷洒排雨剂系统或涂敷防水涂层来提高能见度。考虑到较高的刮刷频率和高速飞行下的风阻,风挡雨刷除雨系统所需的驱动功率会大大提高,体积重量也将增加,目前风挡雨刷刮刷频率的设计上限为每分钟340次。

### 3.5 预紧力

预紧力主要用于克服气流对刷臂的抬升力,实际上如果单靠提高预紧力来克服气流对刷臂刷片的抬升是不合适的。因为预紧力的增加,会使刷条与玻璃有恰当的贴合,对应的刷片胶条硬度也要增加,而柔软的刷片唇部是保证刮净率的重要条件,胶条硬度的增大,一方面会影响刮净率,

另一方面还会加快刷条的磨损,也要求增大驱动电机的功率。故通常在刷臂刷片的设计上,会考虑风阻的影响,通过改变刷臂刷片的形面(必要时增设绕流翼),以减小气流的抬升力,降低刷片的预紧力,在飞机低速飞行时,设计的预紧力就能满足要求,随着速度增高,气流对刷臂刷片的压力抵消了升力,从而保持预紧力基本不变。同时在停止位,刷臂的抬起片抬起刷臂,使得刷臂压力增大,同时抬起片限定了刷臂的移动,保证了刷片刷臂在停止位置的稳定性。

根据机头结构数模和风挡雨刷外形数模建立有限元模型、在计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)软件中导入气动力数据计算所需的预紧力,再综合考虑国内外风挡雨刷设计经验来确定预紧力。

## 4 适航符合性验证

风挡除雨系统的适航符合性验证方法<sup>[6]</sup>通常包括说明性文件MC1、试验室试验MC4、地面试验MC5、飞行试验MC6和设备合格性MC9。

MC1通常采用风挡除雨系统设计图纸和适航符合性报告来表明。MC4需采用雨风洞试验进行验证。但由于雨风洞试验对设备的要求高,费用大,试验难度大,通常建议采用等效降雨强度的试验方法<sup>[7]</sup>进行。试验室试验需在模拟降雨条件下的各种飞行姿态下进行,试验前要求进行预紧力、停放位等检查,试验中需进行刮刷区域、刮刷频率和清晰度的检查,试验后需进行预紧力的检查。MC5主要用于进行风挡除雨系统的机上地面试验,试验内容主要包括刮刷频率和预紧力的测试,挂刷区域和清晰度的评估。MC6是民用飞机在进行风挡雨刷除雨系统适航取证时的一种行之有效的方法,是在真实降雨条件下,飞机在各种飞行姿态下风挡雨刷和驾驶员视界的检查,如刮刷范围能否覆盖关键视野区,刮刷频率能否保持视界清晰,雨刷运行过程中刷片的预紧力是否经得起气动力的影响等。MC9作为设备鉴定,主要采用功能性能试验、环境适应性试验、可靠性试验、供电兼容试验和电磁兼容试验等试验室试验的方法,同时也需提供相关设计文件 and 安全性评估报告。

## 5 结束语

飞机风挡除雨系统用于保证在降雨条件下的飞行安全。本文主要从工程角度对风挡雨刷除雨系统进行了设计,从取证角度对风挡雨刷除雨系统的适航符合性验证方法进行了研究。考虑到飞行试验的安全性,在飞行试验前

需先进行试验室和机上地面试验。为了验证风挡雨刷除雨系统在降水条件下是否能够满足设计要求,验证系统设计的合理性和正确性,需要进行大量的雨风洞试验和飞行试验。

#### AST

#### 参考文献

- [1] 裘燮纲,韩风华. 飞机防冰系统 [M]. 北京: 航空专业教材编审组, 1985.  
QIU Xiegang, HAN Fenghua. Aircraft anti-icing system [M]. Beijing: Aeronautic Specialty Textbook Read and Edit Group, 1985. (in Chinese)
- [2] 中国民航总局. CCAR-25-R4: 民用航空适航条例第 25 部运输类飞机适航标准 [S]. 中国: 中国民航总局, 2011.  
Civil Aviation Administration of China. CCAR-25-R4: Civil aviation regulation of China part 25 airworthiness standards: transport category airplanes[S]. China: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [3] 辛旭东,董鹏生,郭耀东. GJB5190: 飞机风挡除雨系统通用规范 [S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 2003.  
XIN Xudong, DONG Pengsheng, GUO Yaodong. GJB5190: General specification for windshield rain removing system[S]. Beijing: Military Standard Press Department of National Defense Science and Technology Industry Commission, 2003. (in Chinese)
- [4] Ac-9c Aircraft Icing Technology Committee. ASAE AIR1168/4: Ice, rain, fog, and frost protection[S]. SAE International, 2004.
- [5] 宋占成,李茂新,耿素英. HB7496: 民用飞机驾驶舱视野要求 [S]. 北京: 航空工业出版社, 1997.  
SONG Zhancheng, LI Maoxin, GENG Suying. HB7496: Civil pilot compartment view requirement[S]. Beijing: Aviation Industry Press, 1997. (in Chinese)
- [6] 曹继军,张越梅,赵平安. 民用飞机适航符合性验证方法讨论 [J]. 民用飞机设计与研究, 2008(4):37-41.  
CAO Jijun, ZHANG Yuemei, ZHAO Pingan. Discuss the validation method of regulatory compliance for civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2008(4):37-41. (in Chinese)
- [7] 王向转,刘斌慧. 飞机风挡雨刷系统地面试验方法研究 [J]. 民用飞机设计与研究, 2011,4:28-30.  
WANG Xiangzhuan, LIU Binhui. Study of the ground test method for aircraft windshield wiper system[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2011, 4:28-30. (in Chinese)

#### 作者简介

周景锋(1978—)男,硕士,高级工程师。主要研究方向:适航技术。

Tel: 029-86832209

E-mail: jingfeng\_zhou@163.com

## Windshield Wiper Rain Removal System Design of Civil Aircraft

ZHOU Jingfeng\*

AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

**Abstract:** Based on airworthiness requirement of CCAR-25 windshield wiper rain removal system, taking account of engineering practice, the design procedure and certification method was discussed, typically involving the choice of precipitation conditions and flight conditions, determination of the key visual field and wiper range, design element and airworthiness compliance means of windshield wiper rain removal system. This paper can be used as a reference for the design of windshield wiper rain removal system for civil aircraft.

**Key Words:** civil aircraft; windshield wiper; rain removal; airworthiness

Received: 2015-12-17; Revised: 2016-01-06; Accepted: 2016-01-22

\*Corresponding author. Tel. : 029-86832209 E-mail: jingfeng\_zhou@163.com