

飞机风挡玻璃防雨剂

崔广智*

一、引言

飞机在雨中飞行时,由于风挡玻璃积水使能见度下降,给飞行带来困难。风挡雨刷虽是一种传统的排雨装置,但在高速航行的飞机上,由于其刮水频率远不及雨水的冲刷速度,风挡表面会形成紊乱、半透明的雨水滞留膜,使风挡能见度大大降低。水上飞机在海上起飞和降落时,风挡或尾炮塔玻璃溅水后,经气流作用,海水迅速干燥,玻璃上残留盐迹,严重影响空勤人员视线。目前,国外航空公司大多采用六十年代定型的、通过密闭喷洒系统(图1)使用的“波音”防雨剂^[1,2],我国引进的大、中型客机(波音或三叉戟)均设有此系统。为了防盐迹的特殊需要及合理利用机舱有效空间,喷洒型防雨剂在水上飞机及小型飞机(如歼击机等)上使用是不恰当的;同时,为扭转喷洒型防雨剂依赖进口的局面,我们研制了两种类型防雨剂。

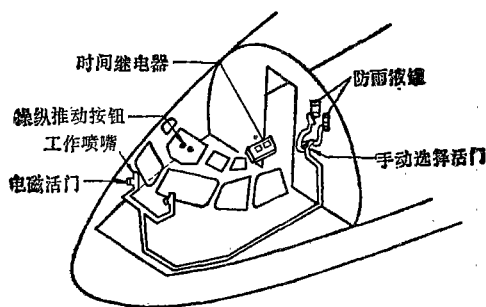


图1 波音型飞机防雨系统略图

对防雨剂的主要技术要求:

1. 应能保证在大、中、小雨中(或在海水的冲击中)透过风挡玻璃具有良好的能见度,防雨膜对水的接触角不小于 90° ;
2. 使用后应具有优良的光学性能;
3. 对风挡表面应具有较强的结合力;
4. 对飞机所用材料(铜、铝合金、镁合金、不锈钢、密封胶及蒙皮漆等)不应有任何侵蚀、破坏作用;
5. 在贮存及使用中不燃烧;
6. 在 $-55\sim 70^\circ\text{C}$ 下应是稳定的,贮存期不少于一年。

二、涂敷型防雨剂的研制

为了满足上述技术要求,必须研究具有低表面能的涂敷材料。

从表面能(附着功)为接触角函数的Young方程看出:

$$W_A = \gamma_{LV} (1 + \cos\theta)$$

接触角 θ 越大,液滴在固体表面上的附着功 W_A 越小。众所周知,由于范德华引力的作用,使相互接触的液体与固体之间产生吸引力,但要使玻璃涂层表面上的液滴接触角 $\theta=180^\circ$ (即 $\cos\theta=-1$)是不可能的。所谓憎水,只是一个相对的术语,通常认为接触角大于 90° 就算是非润湿的固体表面了^[3],而把液体可在固体表面上自由扩展($\cos\theta=1$)时液体的表面张力称之为涂敷表面的临界表面张力。显然,具有表面张力高于临界表面张力的液体,在涂敷表面

* 参加研究工作的有:张凤翻、李佩兰、孙秀娟、徐振宗、吴茜薇同志。

上会形成具有一定接触角 θ 的液滴。大量研究资料表明,多种含氟化合物的表面膜具有较低的临界表面张力,特别是含氟化合物的表面膜中 CF_3 —基团的存在,可得到具有很低临界表面张力(6达因/厘米)的表面。然而,具有这样低的表面张力的非含氟化合物液体,几乎是没的。水的表面张力为72达因/厘米,显然不能润湿含氟化合物的涂敷表面。

有关研究表明,起憎水作用的表面化学基团,应由对水分子吸引力最小的、低表面能的结构组成,憎水基团一般为氟碳基团和长链饱和烃基团。从国外文献看到,含有七氟异丙基(CF_3) $_2\text{CF}$ —结构的化合物具有较低的临界表面张力,所提供的抗污染性,相当于六至七个氟化碳原子。

对硅玻璃表面红外吸收光谱的研究证明^[3],玻璃上具有反应活性的 Si—OH 基团。为使防雨剂(憎水剂)分子和玻璃表面产生较强的结合力,在憎水剂的分子中除应含有高度憎水基团外,还须含有极性基团(如 —Cl , —OH , —NH_2 或 —OR 等),以使憎水剂分子对固体(玻璃)表面产生强吸引力,即涂层通过极性单元附着到玻璃上,憎水基团则由于分子的取向作用而处在涂层的外表面,形成透明的分子膜层。当雨水淋在玻璃上时,由于水与玻璃相互吸引力大大减小,水在玻璃上形成的水珠仅复盖了玻璃表面的一部分,水珠之间的区域是干燥的(见图2)。这样,涂有防雨剂的风挡玻璃,在雨中飞行时,由于高速气流的作用,使打到风挡玻璃上的水滴形成连续的细雨丝,自下而上地掠过风挡。

我们经试验选择并合成了具有较强反应特性的烷基硅烷化合物(结构示意式如下)作为风挡玻璃表面排雨(海水)处理剂^[4]

$\text{R}_f\text{O}(\text{CH}_2)_n\text{SiY}_p(\text{Yq})$ (简称七氟异丙基烷基硅烷)

式中 R_f —含有七氟异丙基的短烃基; Y —含卤素,烷氧基(OR),芳氧基,酰氧基;
 $p=1\sim3$; $q=0\sim2$; $n=2\sim6$ 。

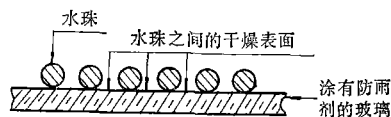


图2 水在涂有防雨剂玻璃上的状态示意图

1. 防雨剂组成

防雨剂由一定比例的氟代烷基硅烷在不燃溶剂(F113)中的均相透明溶液组成,其代号为FY-1。

2. FY-1型防雨剂性能

(1) 憎水性: 防雨剂涂膜对水的接触角 $\theta < 103^\circ$ 。

(2) 耐水性: 涂有防雨剂的玻璃在海水里浸泡30天后,所测接触角与浸泡前相同。

(3) 耐磨性: 在涂有防雨剂玻璃上加载0.56公斤/厘米²,行程200毫米,于白绸布上摩擦1000次后,接触角 $\theta < 100^\circ$ 。

(4) 高低温影响: 涂有防雨剂的试片,在 $-55 \pm 2^\circ\text{C}$ 及 $100 \pm 2^\circ\text{C}$ 温度下,分别停放20小时后,测定接触角,与试验前同。

(5) 对光学性能影响: 对已涂敷防雨剂的光学玻璃试片进行透光率和折射率的测定,其结果与未涂敷防雨剂试片相同。

(6) 可燃性: 防雨剂用浸煤油的 20×5 毫米双层滤纸为火源点燃,防雨剂不被引燃。

(7) 对密封胶影响: 经汽油洗涤的XM-28胶片,测定邵氏硬度后,用防雨剂每隔15分钟润湿1次,润湿3次后,停放24小时,再用溶剂汽油洗涤,然后检查其表面有无变色、溶胀、发粘现象,并再次测定邵氏硬度。结果表明无任何影响。

(8) 贮存稳定性: 防雨剂于封管中贮存三年后测定接触角 $\theta < 103^\circ$ 。

(9) 耐污染性: 在涂有防雨剂的无机玻璃试片上喷洒防冰液乙醇,以15分钟为间隔,共喷洒3次,停放24小时后,测定接触角 $\theta < 103^\circ$ 。

(10) 有效性及耐久性

试验设备：亚音速雨风洞，试验框架与风向呈45°夹角（图3），试靶距试片200毫米。

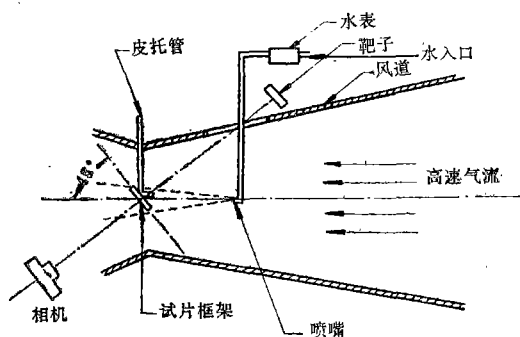


图3 雨风洞装置示意图

试验条件：a. 风速400公里/小时，雨量25.4毫米/小时；b. 风速240公里/小时，雨量51毫米/小时。

试验结果：按试验条件a试验10小时，风挡能见度良好（见图4）；在同样条件下空白试验能见度摄影记录见图5。按试验条件b试验16小时，风挡能见度良好；试验16小时后，防雨膜逐渐破坏，能见度变差。

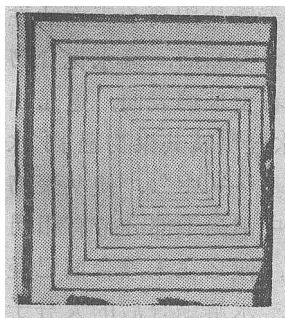


图4 风速400公里/小时、雨量25.4毫米/小时试验10小时的能见度摄影记录

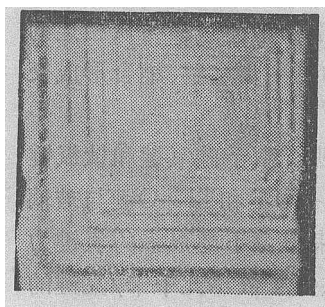


图5 风速400公里/小时、雨量25.4毫米/小时下空白试片能见度摄影记录

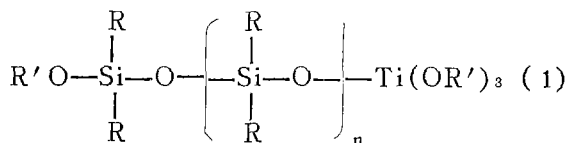
三、国产喷洒型防雨剂的研制

目前国外航空公司使用的防雨剂，大都为美国“波音Ⅲ型”防雨剂。以硅珩钛共聚物为基础组分的防雨剂，这几年投入航线使用以来，享有较高声誉。在此基础上，国外还试图在有机氟领域中进一步提高它的排雨性能及水解稳定性，也已取得了一些进展。喷洒型有机硅化合物已列入国外军用标准^[2]。结合我国具体情况，我们也开展了这方面的试验研究工作。

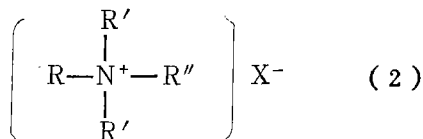
1. 防雨剂组成

为满足技术要求，防雨剂应由疏水化合物（结构式1）、表面活性剂（结构式2）、不燃溶剂，以及作为喷洒动力的低沸点氟利昂或压缩气体以一定比例混合而成，代号PF-1。

总成比重 $d_{25}=1.513$ ，粘度 $\nu_{25}=0.51$ 厘沱。



式中 R—短烷基；R'—长烷基。



式中 R—长烷基；R'及R''—短烷基；X—卤素。

2. 防雨剂性能

（1）憎水性：PF-1型防雨剂在K8光学玻璃试片上涂膜对水的接触角 $\theta < 100^\circ$ 。

（2）可燃性：将防雨剂充于直径 $\phi=100$ 的培养皿中，另再将防雨剂喷洒到铝板上，以浸煤油的20×5毫米双层滤纸为火源点燃，无论防雨液或防雨膜均不燃烧。

（3）对玻璃光学性能的影响：将涂有防雨剂的K8光学玻璃试片，用积分球透光仪和阿贝折射仪进行测定，透光率及折射率与空白试片同。

(4) 对飞机结构材料的影响:

1) 对金属材料的影响: 把 $35 \times 12 \times 2$ 的 LY12、ZM5、T2、30CrMnSiA 金属试片, 放入 PF-1 防雨剂中, 在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 条件下浸泡 72 小时后, 试片重量变化 > 0.0003 克, 未发现变色及腐蚀斑点。

2) 对蒙皮漆的影响: 把 $80 \times 60 \times 1$ 的喷漆铝合金试片, 用 PF-1 防雨剂喷涂 3 次, 每次间隔 15 分钟, 停放 24 小时后, 用溶剂汽油清洗干净, 观察表面状态并测定漆膜强度。试验结果表明, 13# 热固型丙烯酸磁漆 (灰色及草绿色)、环氧聚酰胺磁漆 (天兰色) 试片表面未发现变色、起皱现象, 附着力等级与空白试片同 (均为 1~2 级)。

3) 对座舱密封胶的影响: 把 $30 \times 30 \times 2$ 的 XM-28 硫化密封腻子试片, 依照 2) 项试验条件处理后, 观察表面状态并测定邵氏硬度。试验结果表明, 试片表面不变色, 不发粘, 邵氏硬度与空白试片同 (均为 52)。

4) 对有机玻璃的影响: 在一悬臂式试验装置上, 标准有机玻璃试片与 PF-1 防雨剂接触, 同时使其处于应力状态下 (应力 $S = 1.41$ 公斤/毫米², 载荷到支点距离为 204 毫米), 试验 6 小时后, 检测产生银纹倾向。试验结果表明, 2# 航空有机玻璃 (HG6-127-66) 未见银纹产生。试验方法详见参考文献 [5]。

(5) 温度交变影响: 将一定容量的防雨剂装入耐压容器中, 于 $70 \pm 2^\circ\text{C}$ 保持 1 小时, 降至室温, 再于 $-55 \pm 2^\circ\text{C}$ 保持 1 小时, 如此循环 5 次后, 测定接触角与试验前相同 ($\theta < 100^\circ$), 而且外观仍为均相透明。

(6) 贮存稳定性: 防雨剂于室温条件下贮存 1 年后, 其涂膜接触角不变, 无分相变色等现象。

(7) 有效性及耐久性: 模拟飞行降雨条件, 对 PF-1 型飞机风挡玻璃防雨剂进行有效性及耐久性试验。试验于亚音速雨风洞中进行。试验装置同图 3。

试验条件 a 为风速 400 公里/小时, 雨量 25.4

毫米/小时。

试验结果: 在无机玻璃试片上雨雾寿命* 不少于 40 分钟; 在有机玻璃试片上雨雾寿命不少于 30 分钟。

试验条件 b 为风速 240 公里/小时, 雨量 51 毫米/小时。

试验结果: 在无机玻璃试片上雨雾寿命不少于 2~5 分钟。

* 从喷洒防雨剂到试靶中心区图象模糊的时间称为雨雾寿命。

四、比较与讨论

雨雾试验 (有效性及耐久性试验) 为地面模拟飞行状态评价防雨剂的重要手段, 我们对国内外两类防雨剂的雨雾试验结果作了比较, 并初步探讨了在玻璃上的附着机理。

化学分析表明, PF-1 喷洒型防雨剂的基础组分与美国波音 III 型防雨剂相同。据报导, 波音 III 型防雨剂在模拟风速 240 公里/小时, 雨量 25.4 毫米/小时条件下, 雨雾寿命为 2~5 分钟。PF-1 型防雨剂与它相同。

在防雨剂中, 由于季铵盐阳离子表面活性剂的存在, 在雨水中一经喷洒后, 疏水化合物便迅速地形成防雨膜附着于玻璃表面, 这是由于上述结构式 (1) 疏水硅珩钛共聚物遇水水解时首先失去部分烷氧基 ($-\text{OR}'$), 使共聚物带正电荷, 表面活性剂中阳离子部分带有相同的电荷, 由于同性相斥, 使之在未缩合前已经达到良好的分散。这样, 水解缩合后的大分子产物在风挡上不致产生堆积, 影响疏水性及透光率。当然, 这种化学作用还包括与钛相连的烷氧基 ($-\text{OR}'$) 的进一步水解、缩合形成交联疏水膜的过程。

结构化学研究表明, 由于硅氧键和钛氧键的半极性性质, 使得 Si—O 键和 Ti—O 键与玻璃表面的 —OH 基形成束缚力不是很强的氢键力或偶极力, 这样聚硅珩分子依靠几千卡/克键的氢键能和玻璃产生一定的吸引力而附着于玻璃

表面。

七十年代,美国洛克希德-乔治亚研究室为克服喷洒型防雨剂使用寿命短而研制了一种长寿命的涂敷型防雨剂—— α - ω -双卤代聚硅氮烷^[3]。该防雨剂涂片在模拟风速240公里/小时、雨量51毫米/小时条件下,雨雾寿命为3小时。在同样条件下,FY-1型的雨雾寿命为16小时。为什么雨雾寿命会产生如此大的区别呢?

对于 α - ω -双卤代聚硅氮烷及七氟异丙基烷基硅烷,由于与硅原子相连的Si-Y键的存在,使得硅氮烷聚合物单元较容易和玻璃表面形成主价键合。

据研究,硅酸盐玻璃表面的羟基(OH)的浓度在单位面积上是一定的。由于 α - ω -双卤代聚硅氮烷比七氟异丙基烷基硅烷分子大得多,这样在涂敷硅氮烷的单位玻璃表面上所剩余的羟基要比涂敷七氟异丙基烷基硅烷时单位玻璃表面上剩余的羟基多。换言之,七氟异丙基烷基硅烷和玻璃的羟基反应形成主价键的总数目比硅氮烷多。从而说明了FY-1型防雨剂和玻璃的结合力比硅氮烷防雨剂要牢,雨雾试验结果和这一推理是吻合的。

此外,从上述讨论及雨雾试验结果看到PF

-1(或波音Ⅲ)喷洒型防雨剂雨雾寿命短是与其化学结构有关的,那么是否该型防雨剂就无使用价值呢?

正是因为它不同于涂敷型防雨剂的使用方式即在雨中飞行时可随时启用。喷洒后的防雨剂所形成的疏水膜使用寿命终了时,可再次启动喷洒使用。鉴于其随机性强,又有良好的使用性能,所以至今仍被广泛应用。

五、应用与鉴定

FY-1型防雨剂适用于装有无机玻璃风挡的各类机种在雨天飞行时排雨,以及供水上飞机风挡及尾炮塔玻璃防海水、防盐迹污染,能有效地改善飞行能见度。该防雨剂研制成功以来,已先后在各类机种上经雨中滑跑、空中试飞试用,其部分结果见表1。

三叉戟飞机涂有防雨剂的和未涂的风挡在中雨条件下俯冲飞行时能见度摄影比较见图6。图7为该机于中雨条件下着陆时于塔台的摄影图象。

空军某师在试用FY-1防雨剂后总结了有无防雨措施时风挡能见度观察资料见表2。

表 1

机 种	使用 部 位	飞行速度 公里/小时	能 见 度			寿 命 月	飞行小时	备 注
			小 雨	中 雨	大 雨			
杜 124	风 挡	800	清 楚	清 楚	模 糊	6	200	
伊 尔 18	风 挡	600	清 楚	清 楚	模 糊	6	200	
三 叉 戟	风 挡	900	清 楚	清 楚	模 糊	6	200	
1*水上轰炸机	风挡及尾炮塔玻璃	400	积盐减少,目标清楚			3	199 架次	*
2*水上轰炸机	风挡及尾炮塔玻璃	400	积盐减少,目标清楚			6	199 架次	
1*轰 炸 机	风 挡	—	清 楚	清 楚	模 糊	3	—	*
2*轰 炸 机	风 挡	—	清 楚	模 糊	—	5	—	*
1*歼 击 机	风 挡	起飞抬前轮	清 楚	清 楚	—	2	—	*
2*歼 击 机	风 挡	起飞抬前轮	清 楚	清 楚	—	2	—	*

* 从涂敷FY-1型防雨剂之日至遇雨飞行日,不标志使用寿命。

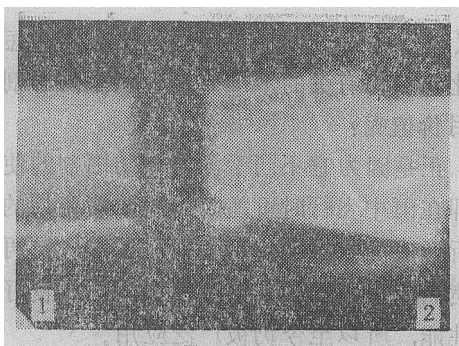


图 6 三叉戟1E飞机于中雨俯冲飞行时
风挡能见度摄影

- 1.左风挡未涂防雨剂,地面景物不能见;
- 2.右风挡涂有防雨剂,地面景物清晰可见。

表 2

雨 量	能 见 度		
	使用雨刷	使用FY-1 型防雨剂	雨刷及防雨 剂均不用
小	对观察稍 有 影 响	观 察 清 楚	观察模糊
中	观察模糊	观察较清楚	严重模糊
大	严重模糊	模 糊	不 能 见

PF-1 喷洒型飞机风挡玻璃防雨剂适用于具有密闭喷洒系统的各类飞机风挡(无机或有机)玻璃供雨中飞行时排雨,改善飞行能见度。该防雨剂自1978年起在华东及中南地区进行了雨天飞行试验,试验机——三叉戟1E,飞行条件:积雨云高70~100米,机场上空及云中雨量为小、中、大雨。

飞机在雨中经15小时82架次飞行证明,前风挡一经喷洒PF-1防雨剂,风挡玻璃立即由模糊转向透明,雨水在风挡上呈细雨丝状,由下而上掠过风挡,改善了视线,提早观察到跑道。在大、中雨中飞行,每隔8~10分钟起动喷洒1次,防雨效果更明显;在小雨中飞行,喷洒1次,使风挡获得良好能见度的时间更长。

1979年5月和1980年5月分别召开了由空军、海军、民航、五机部、三机部领导机关以及部队和厂、所参加的FY-1型和PF-1型防雨剂鉴定会,通过了科研成果鉴定及转厂生产

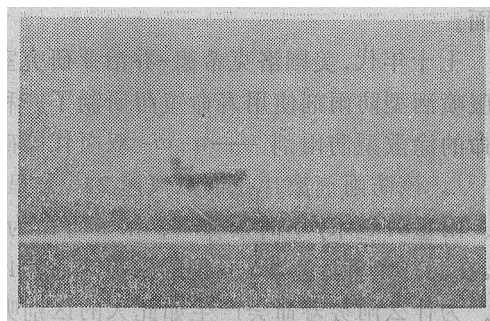


图 7 三叉戟1E飞机于中雨条件
着陆时于塔台摄影

技术鉴定,主要结论是:

1.FY-1涂敷型防雨剂,经各类机种试用,在中、小雨天飞行,基本满足使用要求,在大雨中飞行,能改善能见度。

2.FY-1型防雨剂涂膜,具有良好的光学性能、耐磨性及耐海水性,施工工艺简单,便于部队使用和维护。

3.PF-1型防雨剂,相当于美国波音Ⅲ型防雨剂,经运输机试用表明,能满足使用要求。

4.FY-1型及PF-1型防雨剂制备工艺可行,产品质量稳定,原材料立足于国内。

FY-1型防雨剂已转由浙江省绍兴市东湖化工厂批生产;PF-1型防雨剂由我所生产供应。

致谢

两型防雨剂在研制中曾得到北京大学吴瑾光同志、航空兵某师机务处主任王春林同志及三叉戟1E飞机空勤组的热情支持,同时还得到我所通风组、红外光谱组等同志大力协助,在此一并致谢。——作者

参 考 文 献

- [1] Keith Gunnar, In-flight rain repellents for aircraft windshields, S.A.E-751B.
- [2] 崔广智,飞机风挡玻璃用防雨剂,国外航空, No.9, 1978.
- [3] Mallenicks, O.J., SAMPE Quarterly, Vol.3, No. 1, 1971, 41.
- [4] Pittman, A.G., USP 3420793, 1969.
- [5] MIL-W-6882F.