

中国民用航空局飞行标准司

咨询通告

编号：AC-91-FS-2013-18

下发日期：2013年8月15日

编制部门：FS

批准人：万向东

# 航空器驾驶员 低温冰雪运行指南

# 目 录

1、目的 .....	4
2、适用范围 .....	5
3、参考资料 .....	5
4、低温天气航空器运行 .....	6
4.1 目的 .....	6
4.2 讨论 .....	6
4.3 低温天气下航空器准备 .....	6
4.4 航空器的运行 .....	9
5、结冰条件下的飞行 .....	18
5.1 与结冰有关的大气条件 .....	18
5.2 结冰的影响，保护和探测 .....	26
5.3 飞行运行 .....	52
5.4 与飞行阶段相关的结冰注意事项 .....	56
5.5 总结 .....	70
6、大型飞机地面除冰 .....	72
6.1 简介 .....	72
6.2 清洁飞机的概念 .....	75
6.3 除冰和防冰液 .....	81
6.4 除冰和防冰程序 .....	89
附件一 定义 .....	100
附件二 积冰检查单 .....	105

附件三 防冰液使用表格指导 ..... 116

# 1、目的

低温和冰雪是影响航空安全的一个关键问题。事故数据表明，适航认证不允许进入结冰条件的飞机如果进入结冰条件飞行，容易发生致命后果；经过适航认证可以进入结冰条件的飞机也在结冰条件下发生了一些严重问题。造成这些事故的原因通常是由于当事飞行员缺乏对飞机限制以及在低温和结冰条件下性能的了解、错误理解飞机系统结冰的认证、对结冰这一术语的误解，以及人为因素等。因此减少飞机低温冰雪事故的第一步就是教育。

本咨询通告为飞行员提供一般性的指南，不作为规章强制要求，不取代机型在特定的飞机飞行手册（AFM）或具体的飞行员操作手册中提到的具体信息，也不是建立一个最低标准。本咨询通告提供的指南和程序仅供咨询，但是，运营人将会发现此信息能够进一步确保安全操作与运行。

第四章主要为飞行员在温度变化很大的低温天气中如何运行航空器提供背景知识和指南，包括极端低温的一些情况介绍。

第五章包含了在结冰条件下安全飞行的重要信息，以及遭遇结冰条件如何避免或脱离的信息。

第六章包括保证大型飞机在结冰条件下安全运行的建议，以及发展完善大型飞机除冰程序的指南。

## 2、适用范围

本咨询通告适用于按照 CCAR-91 部、CCAR-135 部和 CCAR-121 部运行的飞行员和运营人。

第四章适用于所有航空器的飞行员和运营人；第五章适用于飞机的飞行员和运营人；第六章则适用于大型飞机（5700KG 以上）的飞行员和运营人。

## 3、参考资料

《Cold Weather Operation Of Aircraft》（FAA AC-91-13C）

《Flight In Icing Conditions》（FAA AC-91-74A）

《Large Aircraft Ground Deicing》（FAA AC-120-58）

《运输类飞机适航标准》（CCAR-25）

《地面结冰条件下的运行》（AC-121-50）

## 4、低温天气航空器运行

### 4.1 目的

本章向在温度变化很大的低温天气中如何运行航空器提供背景和指引。

### 4.2 讨论

A.航空器和航空器部件设计只限于在特定温度范围内运行。如果该温度范围信息不容易获取，运营人必须咨询厂家以便在极端寒冷天气运行中做好预防。

B.经验证明长期在该区域运行的运营人和机务的建议有很大的价值。

### 4.3 低温天气下航空器准备

#### 4.3.1 绝热防止热损失（活塞发动机）

在极端低温情况下，如果可能，所有的滑油管路，滑油压力管，以及油箱都应当经过合适的绝热检查以防止可能的滑油冻结。绝热材料需使用防火材料，并且由有经验的机械放行人员安装。

#### 4.3.2 隔板和冬季盖板

一些制造商推荐隔板、冬季盖板和滑油冷却器盖板。除非航

空器制造商提供了使用批准，否则需要局方的批准才能使用。

### **4.3.3 润滑油和油膏**

在低温天气下使用的润滑油和油膏是非常重要的。只能使用厂家指定的润滑油和油膏。

### **4.3.4 滑油通气孔（活塞发动机）**

当准备低温天气时，曲柄轴箱通气孔需要特别的考虑。冻结的通气孔线路会导致众多的问题。当曲柄轴箱内滑油蒸发冷却，它们会在通气管线路中凝结，并在凝结后堵住管路。在飞行前特别注意确保通气系统没有结冰。如果必须改变系统，需要经过局方的批准。

### **4.3.5 软管夹具、软管、液压装配和封严**

在低温天气准备时的一个重要阶段是检查所有的软管夹具、软管、液压装配和封严。在替换不可用的部件之后，确保所有的夹具和装配都按照制造商低温天气规定的要求进行适当的调整。

### **4.3.6 座舱加热器**

许多航空器都装备有座舱加热器罩，其包在排气系统的消音器或者其他部分外。必须对加热系统进行彻底的检查，以减少一氧化碳进入驾驶舱或者客舱的可能。有许多事故调查表明一氧化碳可能是造成事故的原因。

### 4.3.7 操纵索

由于热胀冷缩，操纵索应当按照航空器制造商的规定进行适当的调整。

### 4.3.8 滑油压力控制的螺旋桨

滑油凝结可能导致螺旋桨控制困难。为螺旋桨和顺桨系统安装再循环滑油系统，将有助于飞机在极端低温气候下运行。以训练为目的进行螺旋桨顺桨时需要注意，确保在系统里的滑油（因低温）凝固之前螺旋桨没有顺桨。

### 4.3.9 谨慎监控电池

液体电池和干电池在低温天气下均需要特定的考虑。

A. 液体电池。如果飞机需要停在外场，液体电池需要被完全充电或者从飞机上移除以避免由于低温导致电力丧失和确保电池不冻结。

B. 干电池。干电池通常在航空器上应用在以下两个方面：紧急灯光和/或移动电台，以及应急定位发射机。上述类型设备上安装的由制造商推荐的干电池不会因为冻结导致电力丧失。

### 4.3.10 轮舱和机轮整流罩

在融雪条件下，滑行和起飞过程中泥浆和融雪将会甩入轮舱中。如果在随后的飞行中泥浆和融雪发生结冰，将会导致起落架操作问题。在起飞后循环收放起落架可以作为一个预防的程序。尽管如此，对于可收放起落架来说，最安全的措施是避开这些污

染表面。推荐移除固定式起落架航空器上的机轮整流罩以防止结冰物质锁定机轮或者刹车。

## 4.4 航空器的运行

### 4.4.1 飞行前检查

在极端温度下进行全面的飞行前检查是非常重要的。在极端低温下，特别是当航空器在外场并且存在恶劣天气时，必须对航空器和设备进行彻底的飞行前检查。

A.燃油污染。在寒冷天气下燃油很有可能被污染。现代加油设备一般都配备有良好的过滤设备，油料公司也试图为你的航空器提供纯净的燃油。然而，即使燃油品质良好、预防措施到位，如果你的航空器温度高于外部环境且油箱不处于全满状态，寒冷的气温将使油箱内冷凝出水。

B.加油设备。在寒冷气候下的另一个危险是使用临时加油设施。燃油桶（罐）即使经过炼油厂密封，铁锈和某种污染物也可能通过某种方式进入燃油箱。作为预防措施，我们建议：

- 1) 使用现代加油设施的燃油并在着陆后尽快加注燃油。
- 2) 确定加注的是正确等级的燃油。
- 3) 如没有使用 1) 中所描述的燃油，应当在燃油进入油箱之前进行过滤。注意：不要试图用麂皮类的物品过滤燃油中的水分，因为一旦饱和，麂皮无法吸附水分。有很多可用的商业过滤装置。

4) 使用煤油及其他涡轮发动机燃油需要特别的预防措施和过滤。制造商可以提供处理这些燃油的全部细节。

C. 航空器油滤和储油槽。燃油油滤和储油槽（包括各油箱储油槽）应当安装有快速放油口。应该放出足够的燃油至透明容器中以观察燃油是否受污染。为所有的储油槽放沉淀，包括每一个独立的储油槽。当温度改变特别是温度接近结冰范围时应当格外小心。油箱里的冰随着温度的上升会变成水，并通过过滤器进入汽化器或燃油控制器使发动机停车。温度下降到严寒，水会冻结在管路和过滤器中——造成堵塞和燃油泄漏。

D. 航空器预热。低温可能会导致发动机润滑油粘度变化，电瓶可能会失去高效性，仪表可能会延迟显示。由于以上原因，在低温情况下起动前预热发动机和座舱是必要的。在预热过程中应当特别注意避免火灾。以下预防措施建议：（涡轮发动机使用合成滑油，因此，1）也适用于这种类型的设备。）

1) 如果可能的话，将航空器存放在加温的机库进行预热。

2) 只使用状态良好的加热器，在加热器运行时不要给其加油。

3) 在加热过程中，不要离开航空器，并保持灭火器在位。

4) 避免热导管的热风直接吹入航空器易燃的部分：如装饰材料，帆布发动机罩，燃油、滑油和液压线路。

5) 当使用便携式加热炉加热，建议将加热炉通向发动机的管道中加入金属丝网，以防止燃烧的碳进入航空器或发动机舱。

## E. 发动机起动

1) 在中等低温的天气下，发动机未经预热也可能成功启动。这种情况下的启动应该十分注意：滑油会部分凝结，通过起动机或者手动起动发动机会存在困难。

2) 容易产生燃油过量注入，这些过量的燃油会冲洗汽缸壁，可能会造成汽缸壁划伤。这同样会导致汽缸压缩不良造成热起动。过量的燃油注入也会导致航空器失火。好的做法是在起动时做好防火准备。

3) 另一个造成低温起动问题的是发动机的火花塞电极结冰。当这种情况发生时，发动机只会运转几个循环然后停车。燃烧产生的热量无法让燃烧产生的水分继续升温，这一点点的水凝结在火花塞电极并使其短路。唯一的补救方法是加热。当无大的可用热源时，必须从发动机取出火花塞，然后将其加热到没有多余的水分。

4) 长时间的怠速时，发动机可能因为没有足够的热量保持火花塞不被污染而造成停车。在这些情况下造成的发动机停车经常发现有火花塞被冰覆盖，所以应避免长时间怠速。

5) 涡轮发动机经过夜晚会在内部积累冰，从而在起动时阻止旋转。如果出现任何转子锁定指示，异常噪音或低转速，应停止起动。这是基本的程序。应当了解，任何低温天气启动时转子都可能冻结，应警惕并在损坏发动机前停止起动。当天气预报有雪、冰、或雨夹雪，如果航空器暴露在这些天气下，应当为喷气发动

机各出口也安装护盖。

**F.清除冰、雪和霜。**所有翼面和控制面，以及静压系统传感端口上的所有的冰、霜和雪应清除。可以使用酒精或除冰混合物或者在加热的机库中融化这些污染物。如果污染物融化掉，确保水不会流入操纵面铰链或缝隙，否则航空器在外场的时候会再次冻结。

**G.吹雪。**如果一架航空器停在吹雪的地区，应特别留意航空器上的开口部位，这些部位可能会进入雪导致冻结而阻碍操纵。在飞行前这些开口部位应当是没有雪和冰的。这些开口部位包括：

- 皮托管和静压传感系统
- 轮舱
- 加热器的进口
- 汽化器进气口
- 尾轮区域，特别是在雪会冻结升降舵和方向舵控制的区域
- 燃油通气口

**H.雪橇操作。**雪橇安全索和减震绳应当小心检查。特别留意雪橇前部的绳索。如果雪橇的前部安全索或减震绳在起飞中断开，雪橇前部会掉落到接近垂直位置严重影响航空器的气动效率，并造成着陆危险。

**I.灭火瓶。**灭火瓶在冬季应该特别注意。CO<sub>2</sub>灭火瓶应该保持充满状态，最好选取干粉灭火瓶。

#### 4.4.2 滑行

A. 在深雪和压实的雪或冰上操作机轮是困难的，刹车效应一般较差。

B. 寒冷天气操作过程中，应特别注意回避沿跑道两边的雪堆，它们可能是冻结的。

C. 由于雪橇可能没有刹车，在顺风 and 侧风滑行以及转弯时，飞行员应该格外小心。

#### 4.4.3 起飞

在寒冷天气起飞有一些明显的优势，但也会导致特殊问题。需要记住以下几点：

A. 不要对增压式或涡轮式发动机过度增压。使用与当时的压力高度和环境温度相适应的功率表来确定适当的进气压力或发动机压力比（EPR）。应在操作自然吸气式发动机时留意，每低于标准大气温度  $6^{\circ}\text{C}$ ，输出功率大概增加百分之一左右；在  $-40^{\circ}\text{C}$ ，即使转速和进气压力不超过限制，发动机也可能产生超过额定功率百分之十的功率。

B. 对于多发航空器，必须记住关键发动机失效最小控制速度（VMC）是根据标准海平面的大气温度确定的。因此，在寒冷天气起飞，VMC 将高于公布的数值，除非对动力设定进行了低压力高度修正。

C. 对于活塞式发动机，根据需要使用汽化器加温。在某些情况下，利用加热使燃油汽化是必要的。在极冷的温度下汽油很不

容易汽化。使用汽化器加温，不要将油气混合物加热到等于或者稍低于结冰温度，这种情况可能会引起汽化器结冰。精确的油汽混合气温度计在寒冷天气运行时是非常有帮助的。在有些极冷的天气情况下，起飞中使用汽化器加温是正确的选择。

D. 如果存在结冰条件，使用飞机飞行手册中列出的防冰和除冰设备。如果航空器是涡轮动力的，在大多数情况下使用引气会影响航空器的性能，应使用合适的功率图表。

#### 4.4.4 爬升

装有活塞式发动机的航空器爬升时，密切关注气缸头温度。用于寒冷天气运行安装的挡板减少了流经的冷却空气和可能存在的逆温，会导致以正常上升速度爬升时发动机过热。如果气缸头温度接近极限，增加空速或打开整流罩导流片，或者同时采用两种方法。

#### 4.4.5 航路

##### A. 天气

寒冷气候下天气变化很大。在偏远地区，气象站一般都很少并且之间相隔很远，因此，需要依赖飞行员的报告。

##### 1) 阵雪

阵雪在寒冷气候下是普遍存在的。飞入阵雪时可能很快失去目视参考，飞行员应准备进入仪表飞行。

##### 2) 白洞效应

白洞效应是另一种风险，很多出色的飞行员都是它的受害者。这种情况下飞行员视野范围内没有差异明显的地面参照物。显然，可视范围越小，就越有可能产生白洞效应。然而，在能见度良好的情况下也会发生白洞效应。当发生白洞效应时应当立即转入仪表飞行，为应对这种情况，飞行员应该从训练和航空器设备两方面做好准备。

### 3) 预期或存在结冰条件

如果预期或存在结冰条件，应当及时使用除/防冰设备使其可以按设计运行。例如，防冰设备是防止冰的形成，而不是作为除冰使用。

## B. 生存装备和生存服

1) 如果计划飞经的地区在发生迫降时会存在生存问题，则应当准备生存装备。生存装备取决于不同的需求、温度和航路。市场或运行基地中可以购买或租赁各种生存装备。最重要的生存装备是航空器成员的衣服。生存服应尽可能穿在身上或放在手边，这样一旦航空器迫降并发生火灾生存服不易丢失。

2) 在人烟稀少的地区，一旦发生事故，正确使用应急定位发射机可以帮助搜救队找到你。

## 4.4.6 下降

A. 发动机操作。下降过程中，用大功率保持发动机温度可能会存在困难。方法之一是使用比正常更大的动力，可能需要放出起落架或者襟翼以保持空速在适当的（但不超过机型限制）范围

内。也可能需要汽化器加温帮助燃油气化使其富油。在下降过程中，涡轮动力航空器经常要求放出减速板/襟翼/起落架以产生阻力。这保证了足够的功率向防/除冰设备供应引气的同时保持所需的空速。

#### B. 吹雪和冰雾

1) 吹雪会给着陆造成危险，整个飞行过程中应该密切注意目的地机场的天气。如果天气形势表明要起风，则存在吹雪发生的可能，应当准备备选方案（如从目视飞行转入仪表飞行或选择备降航路、机场）。

2) 冰雾会在静风温度或低于 $-32^{\circ}\text{C}$ 情况下形成。它最有可能形成在人口稠密的地区。

3) 这两种天气可以伴随着晴好的航路天气非常迅速地形成。仔细检查预测天气并留意这两种天气可能性。

### 4.4.7 着陆

A. 寒冷的天气运行中着陆道面会是非常危险的。注意如跑道两侧的雪堆和标识不明显的跑道等其他危险。应该获取机场跑道道面条件的信息，但如果无法得到，降落前应在机场上空盘旋观察积雪或其他障碍物。

B. 雪橇轮。雪橇轮组合很受欢迎并且非常方便，然而，必须注意要根据目的地机场现有跑道状况做出适当的选择。

C. 刹车效应可能是差。如果航空器配备可反桨或反推装置，使用它们可能会因吹雪导致前方能见度降低。在未经处理的道面

上低速前行时使用反推会导致外来物损伤问题。

D. 在冻雨或冻雾中着陆后，如果怀疑有积冰，可以暂缓收上襟缝翼等操纵面，待到位后再确认是否可以收上这些操纵面，以防止结构损伤。

#### 4.4.8 航后

航后需要注意的一些项目：

A. 向油箱注入合适等级的航空燃油，特别是航空器停在一个加温的机库里。

B. 如果航空器要留在外场，应当按照厂家手册要求安装发动机护罩和空速管套。

C. 如果天气预报是雪或“晴朗和寒冷”，尽量使用机翼蒙布。

D. 如果航空器停在外场建议锁定或者固定操纵面。建议进行飞机系留。

E. 稀释发动机滑油时应严格遵循制造商的建议。

F. 在活塞式发动机关车时，一个好的做法是断开油路并运转汽化器使其变干，这减少了第二天早上发动机预热时发生火灾的危害。

## 5、结冰条件下的飞行

本章包含了在结冰条件下安全飞行的重要信息，以及遭遇结冰条件如何避免或脱离的信息。飞行员必须通过查阅 AFM 或具体的飞行员操作手册，确定所驾驶的飞机在结冰条件下飞行是否经过适航认证。确认可以在结冰条件下飞行的飞机，应安装了适当的除、防冰设备并且工作正常。飞行员要理解并遵照执行结冰条件下飞机厂商提供的限制和程序。

如果飞机不允许在结冰条件下飞行，每一次飞行都应制定详细的计划，以避免结冰条件。飞行计划应避免温度接近或低于冰点的云或降水。在飞行中，飞行员应当监控可用信息，同时注意有些情况下可能需要改变飞行计划以避免结冰条件。如果无意中进入了结冰区，飞行员应采取适当的动作马上脱离结冰区，必要时与空中交通管制员（ATC）联系，并宣布紧急情况。

### 5.1 与结冰有关的大气条件

#### 5.1.1 飞机结冰条件

A. 几乎所有飞机结冰都发生在过冷的云中。当外界温度低于 0°C 时，过冷云中存在液滴。当外界温度接近 0°C 时，云中基本上都是这种水滴，很少或基本没有冰粒出现。随着温度降低，云中可能出现相当数目的冰粒。实际上，随着固态水的增加，液态水含量会减少，这是因为冰粒的增加是通过水滴减少获得的。在

温度低于 $-20^{\circ}\text{C}$ 时，云基本上就是由冰粒组成的。

B. 一般情况下，当存在较多的冰粒和较少的液滴时，机体积冰的可能性会降低。这是由于冰粒容易从机身表面弹开，而过冷水滴反倒容易冻结和附着。因此，当温度在  $0^{\circ}\text{C}$  附近时最容易结冰，这时（云体）水含量充足，而在温度低于 $-20^{\circ}\text{C}$ 时，结冰的可能性就大大降低了。

C. 例外的情况是，当机体表面通过热防冰系统加温（或当空速超过大约 250 节时，在飞机滞点附近产生动力增温）时，冰粒会在撞击机体后融化并在相对温度较低的后部机体表面上重新冻结。

D. 冰点附近的较高液态水含量不是唯一需要考虑的因素。实验表明在外界温度接近冰点时，总温也许高于冰点，造成在滞点附近没有结冰，但是水会沿着机翼向后冻结，可能会冻结在防冰系统保护区外并形成冰脊。总温在 $-5^{\circ}\text{C}$ 到  $+2^{\circ}\text{C}$ 之间时应引起飞行员的警觉。飞行员应当清楚驾驶舱内温度仪表显示的是外界大气温度还是总温。

E. 云中的液态水含量越高，飞机表面积冰的形成就会越快。此外，液滴的尺寸同样很重要。与小尺寸液滴相比，大尺寸液滴惯性较大，受飞机附近的气流影响相对较小，与飞机表面发生更多的碰撞。

F. 每个过冷云体都包含有大量不同尺寸的液滴，最小的直径在 1 到 10 微米之间，通常不超过 50 微米（人类头发的平均直径

大约是 100 微米)。选择一个有代表性的液滴尺寸，使用结冰术语就是 MVD（水滴中值体积直径 Median Volume Diameter）。该尺寸被描述为：较小水滴和较大水滴的中间值。有结冰适航认证的飞机允许在 MVD 最高达到 40 微米的层状云和 MVD 最高达到 50 微米的积状云中飞行。即使具有在结冰条件下运行认证的飞机，也未进行在包含有大量 MVD 大于 100 微米液态水滴的云中飞行的评估。但这样的情况有时会遇到，由此引发的事故和事故征候都有记录，这些液态水滴被称为云中的冻毛毛雨或云中的 SLD（过冷大水滴）。

G. 飞机在云层下的冻毛毛雨（液滴直径在 50 到 500 微米）或冻雨（液滴直径大于等于 500 微米）中同样会遇到 SLD（过冷大水滴）。这些液滴的尺寸大于任何飞机在结冰条件下运行定义中的液滴尺寸，在这样的冻毛毛雨和冻雨中飞行会发生事故和事故征候。大尺寸液滴能在防冰系统保护区的后方引起积冰。

### 5.1.2 云的种类和飞机结冰

A. 许多因素会使空气上升，包括对流、地形抬升或锋面的抬升。随着空气的上升会出现绝热膨胀和冷却。如果气团达到了它的饱和点，气团内的水汽就会压缩产生液滴从而形成云。云中的水滴一般比较小，平均直径为 20 微米，数量上也比较少，所以它们能够被云内很小的气流抬升到高处。

B. 如果上升的空气湿润（水蒸气丰富）且抬升有力，那么云中的液态水含量就会充足，有时甚至是大尺寸的液滴。液态水含

量越多，结冰越快；水滴尺寸越大，结冰的范围越大。由于液滴到达云顶必然是经历了最多的抬升，所以通常云顶的液态水含量和尺寸最大。然而，如果云顶的温度足够低（低于约 $-15^{\circ}\text{C}$ ），冰粒通常将开始形成，这将使液态水耗尽。

C. 下面描述的是几种类型的云和与飞机结冰相关的危害。

#### 1) 层状云

(i) 分层形成，覆盖广泛。形成的抬升过程常是平缓的，因此层状云很少有高含量的液态水。在层状云中的冰层垂直厚度很少超过 900 米，因此飞机高度改变几百米就可以脱离结冰区。

(ii) 受湖泊影响的层状云是特别的，因为层状云在湖泊上形成时可获得大量水汽使得其液态水含量可能较高。

(iii) 毛毛雨大小的水滴偶尔会出现在层状云中，飞行员应当时刻注意观察以找到指示这些水滴可能存在的线索。

#### 2) 积状云

(i) 强有力的对流会形成积状云，有很高的液态水含量。如果飞机穿过积状云会迅速结冰。因为积状云的水平范围有限，所以很容易避开它们。由于积状云是垂直发展的，会存在垂直厚度达数千英尺的、具备结冰条件的区域，但是该区域的水平尺度不及层状云。

(ii) 积状云（包括积雨云和雷暴在内的云体）中的上升气流强烈，导致这些云中的液态水含量非常高。因此，结冰的风险显著增加，应该避开这样的云。雷雨云砧能从核心开始蔓延至数

公里远，其主要成分是冰晶。当这些冰晶碰到航空器时，不会附着在未加热的表面，但是会被加热的表面融化后并附着在其上，然后向后蔓延并重新冻结。云砧的冰含量很高，冰晶的吸入导致了非指令的推力减少。

### 3) 地形云，波状云和卷状云

(i)潮湿的空气沿着山脉一侧抬升就形成了地形云。随着气团的抬升，气团冷却形成云。因此云中含有大量的水，在有些情况下，是大尺寸的液滴。

(ii)波状云常以其波浪状的云顶作为识别特征，有很高的液态水含量。沿着波状云连续飞行会引起机身结冰。

(iii)卷状云，出现在非常高且冷的高度，完全由冰晶组成。飞过这些云不会引起结构结冰，但会存在经过加热或动力增温的表面融化后再次冻结形成积冰的可能。

## D. 冻雨和冻毛毛雨

1) 当雨水下落经过低于冰点的气层时会形成过冷的冻雨。通常而言，温度随着高度增高而降低，但是当暖气团覆盖了冷气团时就会产生逆温层，冻雨的形成就需要这种逆温层。沿着暖锋就会出现暖气团超过冷气团的情况。当飞入冻雨中时，通常意味着在较高的高度有暖空气（高于 $0^{\circ}\text{C}$ ）。

2) 冻雨滴常被定义为直径大于等于 500 微米（0.5 毫米）的雨滴。其典型的直径是 2 毫米，很少能发展到尺寸大于 6 毫米，因大尺寸容易破碎。典型的云滴直径为 20 微米（0.02 毫米），

雨滴和云滴直径相差大约 100 倍（参见图 2-1）。液滴质量会影响液滴能撞击到距离飞机滞点（前缘表面）以后多远的位置。典型的冻雨质量是云滴的 1,000,000 倍。正因为此，冻雨在机身表面形成的结冰区域比普通的过冷云形成的大得多。

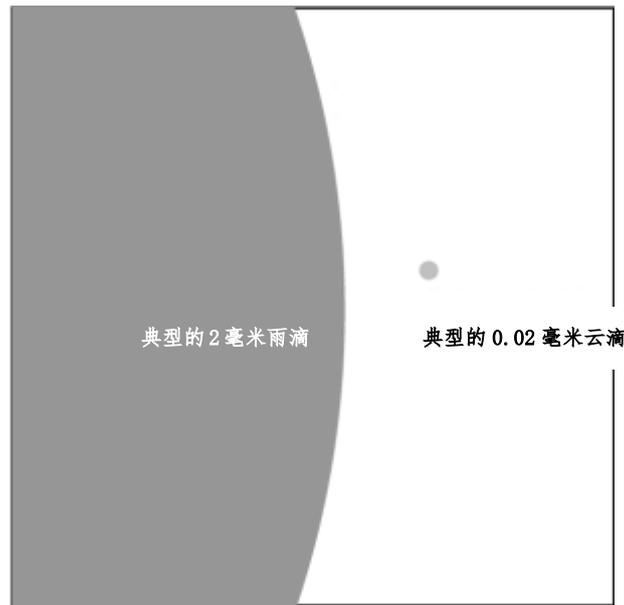


图 2-1 液滴尺寸比较

3) 冻毛毛雨可以通过与冻雨相同的过程形成。它由直径小于 500 微米（0.5 毫米）、大于 50 微米（0.05 毫米）的过冷液态水滴组成。

4) 然而，冻毛毛雨更多的时候是通过碰撞合并过程形成。经过凝结后，云中有一些液滴直径增大至大约 30 微米，这些液滴开始积淀并快速下降以便于和一些更小的液滴碰撞。如果液滴合并，会得到更大的液滴，也更有机会俘获更小的液滴。靠近云顶通常有更大的液滴，因此在适宜条件下，该过程通常能在过冷云顶附近产生毛毛雨大小的雨滴。虽然统计结果不一，但是有些研究指出在非对流云中，80%以上的冻毛毛雨是通过碰撞合并

过程形成的。因此，在冻毛毛雨中飞行，飞行员不能假设在飞机上方存在一个暖层（气温高于 0°C）。

5) 典型的云滴和毛毛雨滴在直径上差大约 10 倍，在体积和质量上，差大约 1000 倍。毛毛雨滴更大的惯性和冲击效率将导致超越正常云滴结冰界限的结冰现象。当过冷云中存在毛毛雨滴时，会形成一种冲击层，对于一些飞机而言，可能导致极快且危险的失速速度和阻力的增加，对其他飞机而言，会导致横滚控制不正常。这些情况可能由形成的冲击层的粗糙度、形状和范围引起。这就是之前所述的 SLD（过冷大水滴）结冰的一个例子。

### 5.1.3 锋面

A. 当不同温度、压力或相对湿度的气团相遇，锋就形成了。如果锋面移动的时候暖空气取代冷空气，称为暖锋；如果移动的时候冷空气取代暖空气，称为冷锋。当一个较暖气团在两个冷气团之间，并被迫抬升到更高的高度上，就形成了锢囚锋。在所有三种情况下，都会发生显著的上升运动。如果温度低于零度并有足够的水汽，结冰条件就形成了。

B. 暖空气沿着暖锋向上逐渐滑过冷气团，形成易于结冰的层状云（见图 2-2）。在冷锋中，冷空气在暖空气下方，并迅速抬升暖空气从而导致积状云的形成，如果被抬升的空气是潮湿的，积状云中会带有大量液态水。上文所述的以冻雨和冻毛毛雨方式形成的 SLD（过冷大水滴）通常就出现在锋面附近。

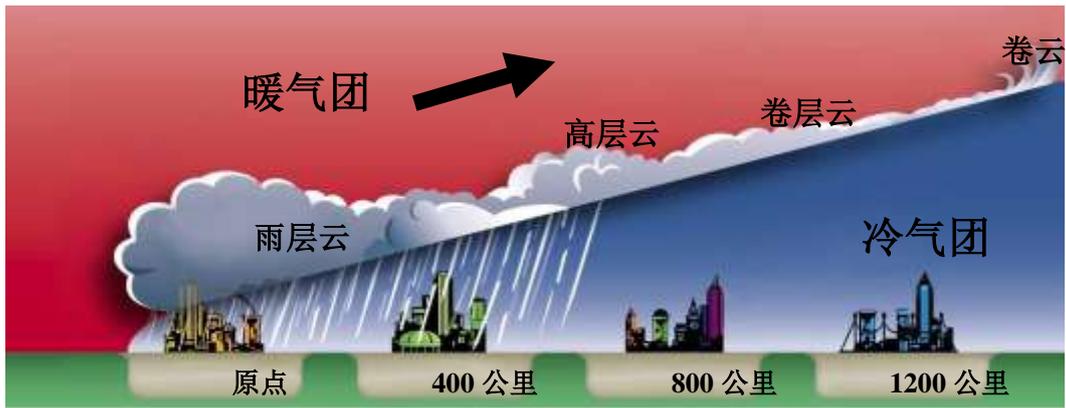


图 2-2 暖锋

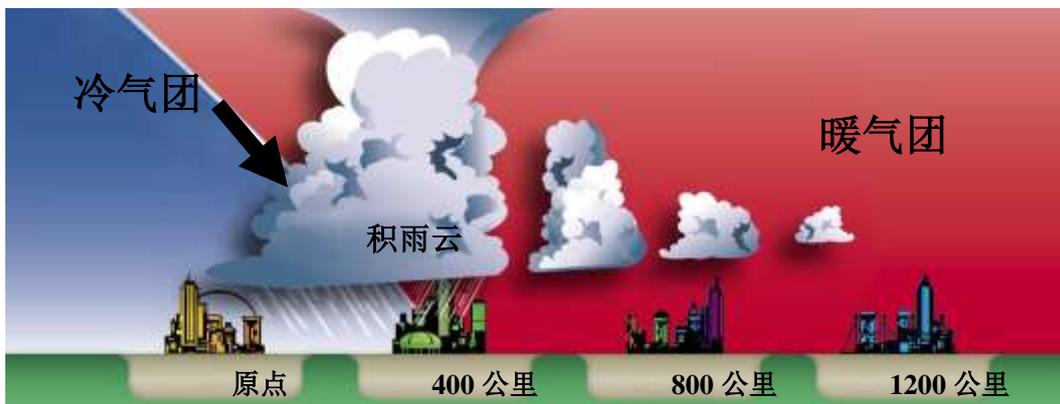


图 2-3 冷锋

C. 由于存在结冰以及与锋面相关的其他危险天气，如果可能，最好避免进入锋面。穿越锋面飞行，应选择最短的路径，而不是沿着锋面飞行，以便减少在可能的结冰条件下的飞行时间。

#### 5.1.4 对流天气和冰晶

A. 对流天气容易形成冰晶，一些涡轮发动机的设计都表现出了对这种冰晶的敏感性。气团显著抬升（上千米）以及水汽在不稳定大气中的凝结是对流天气的特点。对流天气能够产生以下部分或者全部现象：强风切变、湍流、闪电以及强降水或冰雹。对流天气涵盖了从孤立雷暴或积雨云，到对流复合体或飚线以及热带风暴或飓风。它的水平尺度可以延伸数百公里，垂直高度可

以达到 15,000 米以上。对流天气系统，尤其是与热带天气和锋面系统有关联的，能够获得大量水汽并通过对流将水汽带到高空并形成冰晶。在对流系统消散以后，这些冰晶会以云的形式维持一段时间。

B. 传统的机载雷达可能探测不到这些冰晶。这些冰晶通常不会积累在机体表面或者形成雷达反射回波，但是当它们大量存在时，仍然会积累在涡轮发动机气流通道里温暖的表面上，这种积累会最终导致发动机故障或停车。

C. 干的冰晶，尤其是在 7500 米以上形成的，不能形成明显的雷达回波。干的冰晶粒子比雨滴的雷达反射率小 20 倍，所以很难被探测到。接近对流天气时，云和低于 10 摄氏度的温度能够较好的指示冰晶存在的可能性。请参照 AFM 程序。

## **5.2 结冰的影响，保护和探测**

### **5.2.1 结冰的形成**

飞行中的飞机结冰可以分为结构结冰或者进气道结冰。结构结冰指的是在飞机表面或者部件形成冰，进气道结冰指的是在发动机的进气系统结冰。

#### **A. 结构结冰**

当过冷水滴冲击到飞机结构和表面并且冻结时，冰就形成在上面。小的和/或者狭窄的物体能够很好地收集水滴，冰形成的速度最快。这就是为什么在飞行员视线范围之内的一个小的突起

物可以用来当做“结冰探测器”。它一般是飞机首先结冰的一部分并且相当厚度的冰会在上面形成。飞机的水平尾翼比机翼更容易结冰，因为水平尾翼对气流呈现出一个更薄的表面。根据冰的结构以及外表，冰的类型可以分为明冰、雾凇，或者是毛冰。冰形成的类型不同取决于它形成时的大气和飞行条件。

1) 明冰。明冰是由过冷水滴相对较慢的结冰形成的一种光滑透明的冰（见图 2-4）。术语“明冰”和“雨凇”在结冰的本质上是同一种类型的。这种类型的冰比雾凇更厚，更硬，而且有时更透明。伴随着积累的增多，明冰可能会形成“喇叭状”（见图 2-5）。温度接近冰点，大量的液体水，大飞行速度以及大的水滴都有助于明冰的形成。

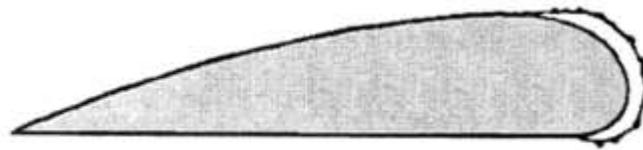


图 2-4 明冰

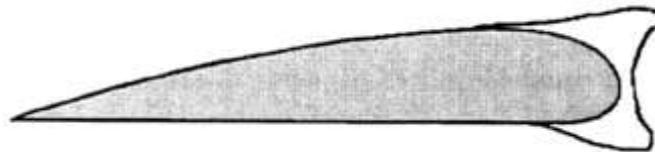


图 2-5 形成喇叭状的明冰

2) 雾凇。雾凇是当过冷云滴冲击飞机时，瞬时的或非常快的结成的一种粗糙的、浑浊的、不透明的冰（见图 2-6）。很快的结冰速度导致在冰的表面形成气泡，看起来不透明而且使得它多孔并且易碎。伴随着积累的增多，雾凇会在机翼上形成流线型

的延伸。低温、少量的液体水、低速、以及小的云滴有利于雾凇的形成。

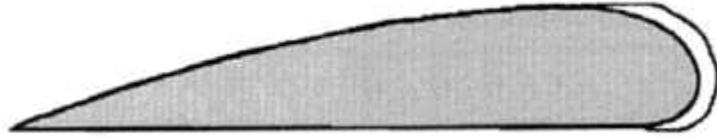


图 2-6 雾凇

3) 毛冰。毛冰是在相同的表面形成的明冰和雾凇的混合物。从气动角度看，它在冰的位置、尺寸、形状以及粗糙度方面是最重要的。这将会在本章稍后讨论。

#### B. 进气道结冰

1) 进气系统里结冰会减少进入燃烧室的空气量。活塞式发动机进气道结冰最常见的例子是汽化器结冰。大多数飞行员熟悉的一个现象就是潮湿的空气流过汽化器文氏管时会冷却。这个过程导致的结果是，冰可能会形成在文氏管壁和节流阀上，阻碍气流进入发动机。这种现象会发生在温度 $-7^{\circ}\text{C}$ 和  $21^{\circ}\text{C}$ 之间。这个问题可以通过使用汽化器加温来解决，它可以使用发动机自身的排气作为热源来融化冰或者防止冰的形成。燃油直喷式发动机比较不容易结冰，但是如果发动机的气源被冰堵塞，仍然会受到影响。万一正常的系统发生故障，制造商提供了一个备用气源可以选择。

2) 在涡轮发动机提供动力的飞机中，被吸进发动机的空气在进气口产生一个低压区，它会降低空气温度，使其比周围空气的温度低。在边缘的结冰条件下（也就是可能结冰的条件下），

这种温度上的降低可能足够导致发动机进气口结冰，分散进入发动机的气流。另一种危险的情况是冰可能破碎并被吸入运转的发动机，这会导致风扇叶片的损坏，发动机压缩机失速，或者燃烧室熄火。当使用了防冰系统，被防冰系统融化的回流水仍然会重新冻结在进气口没有保护的表面，如果过度的话，会减少进入发动机的气流量或者改变气流流向，这能够导致压缩机或者风扇叶片振动，极有可能损坏发动机。涡轮发动机的另外一个问题是冰会导致发动机仪表出现错误的读数，特别是积累在用来设置推力级别的探头（举个例子，发动机进气口温度或者发动机压缩比探头）上的雪和冰晶。

3) 冰也可能积累在发动机进气口部分和发动机的一级或二级低压压气机。这通常不会影响到直线式发动机气流进气口。然而，在涡轮螺旋桨发动机里有一种带有急弯的或者设计用于防鸟击的进气口部分，因此，冰会积累在进气道弯曲部分的气动滞点。部分没有积累在这些区域的冰有可能随着气流进入发动机，并很可能导致发动机运转有困难甚至动力丧失。因此，在这些类型的发动机中，按照 AFM 要求使用防冰或者除冰就非常重要。过冷水滴有在涡轮发动机的进气口、风扇和前几级压缩机结冰的趋势。冰晶，如果大量出现时，会有在后几级的压缩机部分结冰的趋势。冰的增加会最终吸入并且损坏压缩机，或者导致发动机喘振或者熄火。这些情况都在最初的发动机适航审批中分析并且测试。这些测试旨在验证涡轮发动机在这些条件下的耐受性。

## 5.2.2 翼型结冰的一般影响

本章节的两个图表描述了翼型上的结冰污染的影响方面的重要信息（对本咨询通告，翼型指机翼或者尾翼的横截面）。

1) 图 2-7 表示了冰是如何影响翼型的升力系数的。在很小的迎角下，结冰对升力系数几乎没有影响。因此在迎角相对较小的巡航阶段，机翼上的结冰对升力影响很小。然而，最大升力系数( $C_{Lmax}$ )会随着结冰而显著减小，并且结冰下的失速迎角也大大减小。当进近阶段减速并且增加迎角时，飞行员会发现原先在巡航阶段对升力影响很小的机翼上的结冰，现在会导致失速发生在较小的迎角和更大的速度下。即使在机翼前缘有一薄层冰，尤其是粗糙的薄冰，会显著增加失速速度。对于外型大的冰，尤其是喇叭状的，升力会在较小的迎角的情况下减小。根据不同的翼型，如果冰累积在正常保护区域后面（例如由于大水滴的冲击和回流形成的），升力会减小得更多。

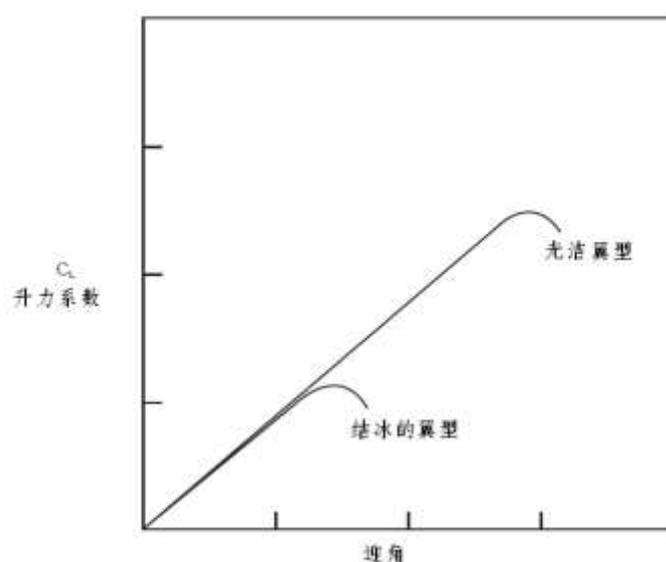


图 2-7 升力曲线

2) 图 2-8 表示了冰是如何影响翼型的阻力系数的。注意，尽管在迎角非常小的情况下，影响也很显著。

一块相对较小的积冰可能会导致失速从而使  $CL_{max}$  和失速迎角显著减小， $CL_{max}$  减小 30% 也很常见。大的喇叭形积冰可能会导致  $CL_{max}$  减小 40% 到 50%。

随着积冰的形成阻力会稳步增加。机翼阻力增加 100% 是常见的，对于大的喇叭形积冰可能会增加 200% 或者更多。

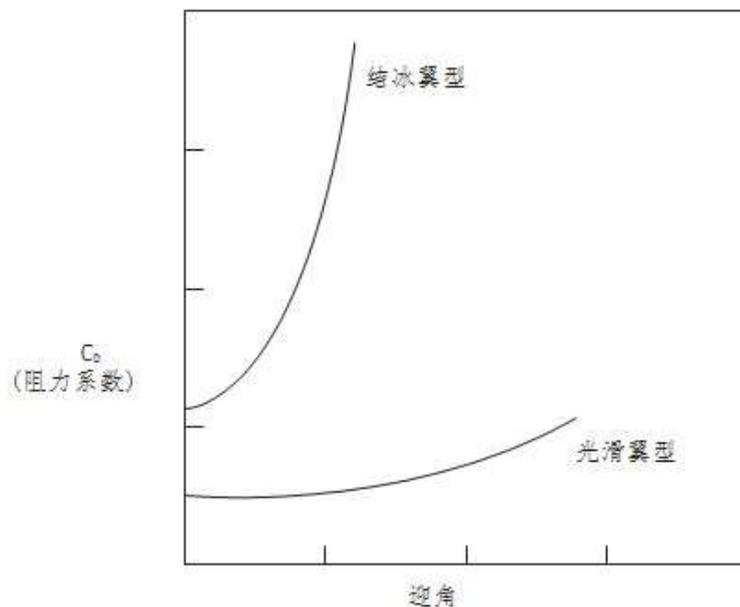


图 2-8. 阻力曲线

翼型积冰可能存在其他影响，而这些曲线中并未显示出来。即使在翼型失速前，积冰仍可能导致作用在翼型上的压力发生变化从而影响后缘上的操纵面。此外，在起飞、进近和着陆阶段，许多飞机的机翼都是拥有 3 个或更多翼型的多元翼型。积冰可能会以不同的方式影响不同的翼型并影响这些翼型交汇部分的气流流向。

### 5.2.3 机翼积冰的影响

机翼积冰的影响取决于机翼是否装有防冰保护设施以及提供的防冰保护的种类和程度。

A. 无防冰保护的机翼。没有防冰保护机翼的飞机不能获取在结冰条件下飞行的适航认证，但仍可能在不经意间遇到结冰条件。由于翼型是机翼的一个横截面，所以上述有关翼型的结论都适用于沿翼展方向结冰的机翼。结冰导致阻力增加和速度损失，因此要求飞行员增加推力以保证相同的速度。（飞机其他部分结冰也会导致阻力增加）。遭遇这种情况的时间越长，阻力增加越多；即使增加推力，仍有可能无法保持速度。对于进入结冰区时间较长的情况而言，机翼上的积冰会导致  $CL_{max}$  减小约 30%。根据经验法则，失速速度增加的比例大约是  $CL_{max}$  减小的一半，所以失速速度可能会增加 15%。如果飞机的推力相对有限（这是许多没有防冰保护的飞机可能遇到的情况），则可能很快接近失速速度，进入非常危险的境地。类似情况也适用于拥有结冰条件下飞行的适航认证但机翼防冰系统失效的飞机。

B. 机翼除冰。建议在探测到结冰时就开启除冰系统。因为在气动除冰带系统工作周期之间仍会有一些残余积冰附着，所以机翼永远不会是完全“清洁的”。残余积冰的数量随着空速的增加或温度的减小而增加。对于典型的小型飞机的空速来说（在风洞实验中验证在小于 145 节验证空速的情况下），可能需要多个工作循环才能有效地除冰。在冰开始脱落之前，气动除冰看上去不

起任何作用。

1) 强烈建议在气动除冰带上使用冰附着抑制剂；推荐的产品和使用时间间隔参考 AFM 或维护手册。在除冰系统工作循环之间可能会形成积冰，称为中间循环冰，这类结冰是不可轻视的。在许多结冰事故和事故征候中，速度损失和失速可以在短短几分钟内出现。积冰会导致  $CL_{max}$  减小从而导致失速速度增加。

2) 失速速度的增加更多地出现在高迎角特性的进近和着陆阶段，因为此时飞机操纵更接近于  $CL_{max}$ 。因此在脱离结冰条件的一段时间里，飞行员仍应该考虑继续使用除冰系统以保证机翼尽可能地清洁并把对失速速度的影响降到最低。如果直到进近阶段的后段之前都无法脱离结冰条件或在使用了除冰系统后机翼上仍存在积冰，则飞机的失速速度可能会增加，此时可以适当调整进近速度。具体参考 AFM 或飞行员操作手册的指导。

3) 中间循环冰也会在装备电热除冰系统的飞机上形成。在这类系统的保护区后形成回冰是很典型的。

### C. 机翼防冰

1) 防冰系统设计的目的是保证某个表面在遭遇结冰条件下完全无冰。机翼的防冰保护系统通常是将发动机的热引气引到机翼前缘的内表面实现的，这类系统常见于涡扇运输机和喷气公务机上，而涡桨或活塞式发动机则没有。即使在运输和公务喷气机上，也经常有沿翼展方向的部分不能被防冰系统保护。对于这类飞机防冰认证的一个很重要的部分就是检查被保护的区域是否

足够大且选择是否恰当，以保证出现在非保护区域的结冰不会对飞行安全产生影响。

2) 防冰系统的作用是使冰升华或融化。在较新设计的版本上，大翼防冰系统可能由于设计原因使冰融化，形成回冰。这种冰的影响在 CCAR-25 部附件 C 结冰条件的认证中已做评估。要注意的是，额外的积冰还会在回冰上继续积累。

#### 5.2.4 结冰对横滚操纵的影响

A. 本章是对前一章节的延续，在副翼前边的大翼上的结冰会影响横滚控制。副翼一般位于接近翼尖的位置，由于大翼的设计使得失速从翼根处开始一直向外延伸。这样，失速的情况就不会影响到副翼的横滚控制。然而，翼尖通常比机翼的其他部分更薄，因此他们更容易积冰。翼尖结冰会导致翼尖部分的机翼出现部分失速，这将影响到副翼，进而影响横滚操纵。

B. 在 SLD（过冷大水滴）条件下飞行，如果积冰在除冰带的后边形成一道冰脊，该冰脊又刚好位于副翼前，即使翼尖部分的机翼没有因此而失速，也很有可能影响气流并干扰副翼的正常工作。

没有助力控制飞机的飞行员会感觉到副翼上的一个不平衡的力突然改变副翼控制的力，这被称为“副翼抢夺”。如果飞行员能够调整这个不寻常的力，副翼在偏转时仍基本有效。另一种情况是，尽管并不需要额外的控制力，副翼的操纵效率仍可能大幅下降。

### 5.2.5 平尾结冰

A. 因为重心在压力中心之前，所以大部分飞机的机翼都会产生一个低头力矩。平尾的作用在于通过提供“向下的”升力（见图 2-9）以抵消这个力矩。这种构型的结果是使机翼远离失速的危险，如放襟翼或增加空速可能会增加平尾的负迎角。如果平尾结冰，则可能在襟翼部分或全部放出后出现失速（见图 2-10）。

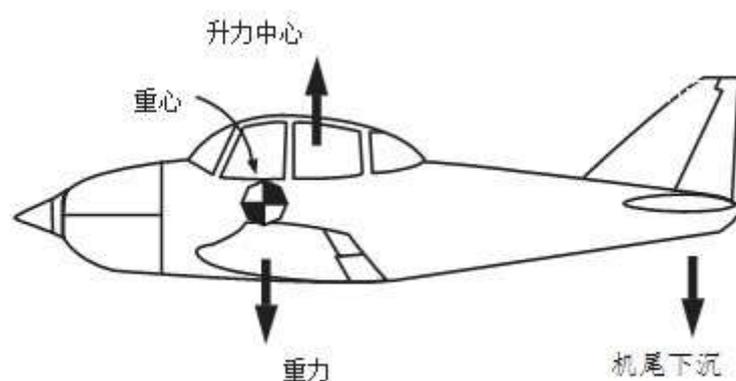


图 2-9 机尾下沉力矩

B. 由于平尾通常比机翼薄，因此平尾更容易结冰。对于大多数飞机，飞行员看不到平尾，也不能观察到平尾的除冰系统工作情况，因此警告飞行员存在平尾失速的可能性是很重要的，特别是在进近和着陆阶段。无襟翼着陆应与 AFM 的程序保持一致并充分考虑避免平尾失速。我们将在后续章节详细讨论平尾失速。

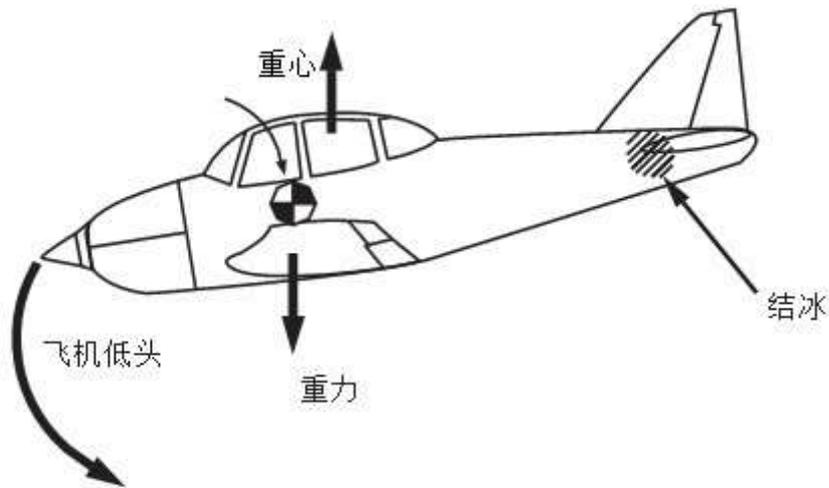


图 2-10 由于平尾失速导致的转弯

C. 在一些涡扇运输机上平尾没有防冰保护。但这些飞机的平尾通常很厚因此不易结冰。此外这些飞机都受到广泛的认证测试和分析以确保平尾的安装位置在极端的迎角下即使存在大量积冰仍不易失速。

### 5.2.6 螺旋桨结冰

螺旋桨桨叶积冰会减小推力，它的气动原因和机翼积冰时升力损失、阻力增大的原因相同。大量的积冰现象通常出现在螺旋桨的旋转机构和内径上。然而，在一次怀疑存在 SLD（过冷大水滴）结冰的飞行测试（图 2-11）中，积冰出现在桨叶的整个翼展上。这导致飞机在 1 分 25 秒内空速损失了 50 节。飞机机身有少量结冰，而螺旋桨没有结冰指示。因为螺旋桨桨叶积冰会增加桨叶阻力，恒速螺旋桨的调速装置调节桨叶距以保持转速（RPM）。在驾驶舱内 RPM 或扭矩的指示没有变化。

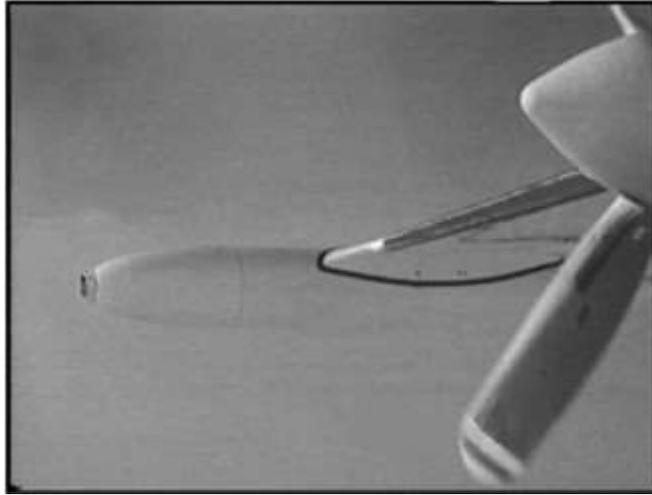


图 2-11 在 SLD（过冷大水滴）条件下，螺旋桨除冰系统工作时螺旋桨结冰

### 5.2.7 天线结冰

因为天线的尺寸和形状，它们不会与飞机蒙皮紧紧贴合因此容易迅速形成积冰。此外，天线本身也缺乏内部的防冰或者除冰保护能力。在结冰条件下飞行时，天线上的积冰可能会导致天线震动或者影响无线电信号。除了因为震动导致的信号干扰（经历过的飞行员将其描述为“狼嚎”）外，积冰还可能造成天线损坏。如果结冰的天线折断还可能导致通信或导航系统失效，甚至进一步造成飞机的其他区域损坏。

### 5.2.8 冷却入口结冰

一些类型的电子设备在工作时产生显著的热量因此需要独立的冷却源，这类冷却源经常使用外部空气。这些冷却入口易于结冰却不一定作为飞机结冰保护系统的一部分进行加热，飞行员需要查询相应飞机的 AFM 以确定冷却入口是否存在结冰保护。

### 5.2.9 关键系统结冰的影响

A. 皮托管。皮托管是很容易受到结冰影响的，因为即使少量的结冰也能够阻塞冲压空气的进气口。这将影响到空速指示器，同时也是大多数飞机都装备了皮托管加热系统的原因。皮托管加热通常是通过在进气口周围缠绕加热线圈实现的。如果皮托管阻塞而和它相连的排水口未堵塞，冲压空气将不能流进皮托管系统。此时已经进入系统的空气会通过排水口排气，系统内剩余的空气将会降至环境（外部）压力。这种情况下，空速指示器指示将降至零，因为空速指示器探测不到冲压空气压力和静压的区别。如果在飞行中皮托管、排水口和静压系统都堵塞了，速度的变化将会因为压力被困在系统内而不指示。而如果静压系统未堵塞，空速指示器指示将高于实际空速。在较低高度，空速指示器指示将低于实际空速。

B. 静压孔。许多飞机都有保护静压孔的加热系统以确保皮托管-静压系统无冰。

如果静压孔被堵塞，空速指示器仍将可用但指示将不准确。当高度高于静压孔阻塞的高度时，空速指示器指示将低于实际空速。低于阻塞高度时，空速指示器指示将高于实际空速。困在静压系统内的空气使高度表保持在发生堵塞时的高度，垂直速度指示器将保持在零。

对于某些小型飞机而言，其上通常还有一个应急的备用静压源。如果备用静压源是在飞机内部通风的，而飞机内部的静压通

常低于外界的实际静压，选用这种静压源可能导致如下的仪表指示误差：

- 高度指示高于正常值
- 指示空速高于正常值
- 垂直速度指示器瞬时指示爬升

### C. 失速警告系统。

1) 失速警告系统向飞行员提供必要的信息。失去这类系统会加剧已存在的危险状况。这类系统涵盖从复杂的失速警告片到简单的失速警告开关的一系列系统。失速警告片（作为失速警告系统的一部分称为“迎角探测器”）在许多飞机上都可以找到。迎角探测为机组提供迎角指示或将迎角数据反馈至计算机来解释这些信息，同时还可以在迎角超过限制时提供失速警告。这些设备包括一个楔状的绕水平轴自由移动的失速警告片，这个警告片连接到传感器上，传感器将警告片的移动转换成电信号发送给飞机的飞行数据计算机。通常情况下，警告片通过电加温防冰。警告片加热器工作时，传感器也被加热以防止水分冷凝在热交换器上。如果警告片结冰则可能将错误的信号传送至诸如抖杆或失速警告的设备上。如果失速指示器打开或者开关冻结，使用失速警告喇叭的飞机可能不会提供任何失速指示。

2) 因为机翼污染会减小升力，即使是可用的、无冰的失速警告系统也很有可能无效，因为翼型上有冰导致机翼在较低的迎角失速。失速可能发生在失速警告之前，引发俯仰或横滚不正常。

在结冰条件下，飞行员必须严密监控飞机速度。在近年进行过结冰条件适航认证的飞机上，失速警告可能已经被证明在满足认证要求的结冰条件下，一旦这些防冰系统启动就能提供足够的警告。而在诸如存在类似 SLD（过冷大水滴）等超出 CCAR-25 部附件 C 中的气象条件下是否能提供足够的失速警告却是没有经过验证的。

### C. 风挡

1) 使用防冰一般是为了在结冰条件下的飞行中让机组能够看到外界。在高性能飞机上需要复杂的风挡以防止鸟击并承受增压载荷，风挡加热元件通常是一层导电的薄膜或者细金属丝，给这些加热元件通电使其工作为风挡加温并防止冰的形成。

2) 在较低高度较低速度运行的飞机通常装有其他的风挡防冰/除冰系统。有一种系统是在风挡上安装了一个电加热盘为飞行员提供一个窄带状的清晰视野区域。另一种系统是在风挡的底部的较低处使用一个条状喷嘴喷洒除冰液防止冰的形成。

### D. EPR 探头（涡扇发动机）

1) 冰晶也可以阻塞或冻结涡扇发动机的发动机压力比探头，导致不可靠的和错误的推力指示。这些指示可能误导飞行员相信发动机正在提供比实际推力更大或更小的推力从而导致他们不恰当地调整油门。

2) 爬升和巡航过程中 EPR 探头被并阻塞的情况有可能出现。喷气式飞机的飞行员应该为结冰条件下起飞/复飞计算一个备用

的 N1 设置作为对 EPR 的交叉检查。在厚厚的云中飞行时启动发动机短舱防冰通常可以防止积冰堵塞。

#### E. 总温探头

1) 冰晶可以阻塞或冻结某些飞机的总温探头。这种结冰更容易出现在机身上的探头位置。如果总温探头结冰，指示温度会错误地上升至 0°C 并保持。在这种条件下，一些飞机系统会警告飞行员各温度探测器探测到的环境温度存在差异从而指示冰晶存在。

2) 总温探头结冰是在对流天气系统区域出现涡轮发动机推力损失的前兆。

### 5.2.10 结冰条件下飞行的适航认证

“经过结冰条件飞行适航认证”的飞机通过广泛的程序以确保它可以在 CCAR-25 部附件 C 中指定的结冰包线包含的结冰条件下安全飞行。这一过程通常包括大量的分析（在今天都由先进的计算机模拟完成）、风洞测试、干空气测试、模拟结冰环境测试和自然结冰条件下飞行测试。其目的不仅仅是验证飞机的防冰功能，而且要验证飞机在结冰包线内的所有环境下都有令人满意的性能和操纵品质。

#### A. 包含的方面

1) 结冰包线主要基于不同种类的层云和积云等过冷云。该包线指定了在特定温度和高度范围内预期的最大含水量和雨滴尺寸。该包线基于当代的研究并于 20 世纪 50 年代制定，之后的

研究和这个包线基本保持一致。

2) 据统计, 该包线包含关于层云和积云研究计划遇到的全部情况的 99.9%。

#### B. 未包含方面

1) 飞行员要牢记 99.9%不是 100%, 因此在特殊条件下保持警惕永远是明智的。

2) 包线基于的云测量一般来说是不包含 SLD (过冷大水滴) 条件的。研究表明, 过冷云中的过冷大水滴 (特别是在云中高悬的冻毛毛雨) 比想象的更常见。

3) 在实际飞行中, 可能在云下遭遇冻雨或者冻毛毛雨。这两种结冰条件都不在结冰包线范围内。

4) 在存在对流天气系统的高海拔区域, 可能存在大量的冰晶。尽管新的结冰包线已经初步升级, 但目前这些条件都不在结冰包线范围内。

### 5.2.11 结冰适航认证的意义

A. 结冰适航认证是一个庞大的过程。它包括测试和分析来检查飞机能够在结冰包线涵盖的条件下长时间安全飞行。例如, 认证包括的测试和分析表明飞机可以在显著的结冰条件下坚持长达 45 分钟。然而, 经认证的飞机的飞行员在结冰条件不应该随意操作, 尤其是长时间在这种条件下运行时。未经认证的航空器也非常有可能遭遇不正常条件, 例如有时在包线之外的液态含水量会迅速增加, 这会导致在保护面后形成回冰或积冰。

B. SLD（过冷大水滴）可能会导致液滴撞击在保护面后形成积冰。这些表面可能非常容易结冰，而且只要飞机在结冰条件下就有可能持续积冰。需要注意的是结冰条件可能发展的非常快并且可能很难立即发现。例如，即使积冰率可能相当缓慢，仍可能在几分钟内于关键表面上形成一层薄的极其粗糙的积冰，这可能是非常危险的，特别是在进近和着陆阶段。

注意：并非所有的结冰适航认证都一样。

### 5.1.12 没有通过防冰适航认证的飞机上的防冰设备

A. 所有飞机都需要为其推进系统增加防冰保护来避免遭遇意外的结冰，几乎所有的飞机都有皮托管加温和备用静压源。

B. 一些没有结冰条件飞行适航认证的通航飞机也在其大翼和平尾上安装了防冰保护系统以在意外遭遇结冰时提供额外的安全余度。这些系统仅用于应急。

C. 推荐没有结冰条件飞行适航认证但装备有这类“非危险”除冰/防冰设备的飞机应尽快脱离结冰条件，必要时联系 ATC。

D. 这类系统和经过完全适航认证的系统的差别是显著的。飞机性能是未知的，在结冰条件下失速警告极有可能不在失速前出现，可能出现由于积冰导致的操纵面卡阻，以及对于已知结冰条件的系统功能要求可能不会出现在这些“非危险”系统中。

### 5.2.13 防冰系统

防冰系统以在结冰条件下飞行时不允许飞机或特定的飞机

系统结冰为原则工作。通常情况下，防冰是通过电加温、热引气或化学制剂实现的。尽管飞机防冰系统的操作应严格遵守 AFM 或飞行员操作手册，但有一条很好的经验值得借鉴，就是在易于结冰的条件下一旦遭遇可见水汽就立即打开防冰系统。这会防止任何可见冰的堆积。

A. 电加温系统。电加温系统通常使用在较小的区域如天线、静压孔、温度探头、皮托管和风挡。

B. 热引气系统。

1) 热引气系统用于飞机的较大区域，如发动机短舱和大翼前缘。引自涡扇发动机的热引气是喷气运输机和公务喷气机的发动机短舱和大翼防冰保护的常用手段。热引气被分配到包含一个直接安装在飞机蒙皮后的多孔管的“短笛管”。这种热引气系统能够有效防止积冰。

2) 热引气系统的一个缺点就是用于大面积防冰的引气来自发动机，这减小了可用推力，可能会影响飞机的爬升性能（特别是多发涡桨、涡喷和涡扇飞机在一台发动机不工作时的爬升性能）。这也就是此类系统在小型涡扇飞机上很少见的原因。

3) 飞行员应该记住在巡航和下降期间开启防冰可能需要比平时更高的发动机推力以保证有足够的引气供应给防冰系统并防止发动机喘振/失速（参见 AFM 以查询适当的设置）。

4) 此外，在某些情况下某些飞机的热引气系统可能不会将撞击的水滴完全蒸发，这将导致形成回冰。这种情况可能发生在

不工作的那台发动机上，这也可能是你的 AFM 要求下降时的最小发动机推力设定的原因。

### C. 化学系统

化学系统使用化学制剂降低飞机表面水的冰点并减小这些表面的摩擦系数以防止冰附着。这类化学制剂包括异丙醇和乙二醇。

## 5.2.14 除冰系统

A. 除冰系统的操作理念和防冰系统不同，因为除冰系统允许在使用前存在一定量的积冰。冰可以在两个工作周期间形成，且每周期后都会残留一定量的残冰，因此大翼和平尾永远都不会是完全“清洁”的。如果系统操作得当，在翼型上形成的中间循环冰和附加的阻力增量都会限制在一定范围内。

B. 因为飞机的其他部分包括翼展的一部分没有防冰保护，这些地方的阻力还会增加。这些都在防冰认证的范围内，飞行员根据 AFM 或飞行员操作手册的操作程序执行就可以保证安全飞行。残冰和除冰系统工作循环之间的积冰会对  $CL_{max}$  造成一些影响，但注意这些影响只有在大迎角时才显著。

1) 在典型的巡航迎角，结冰对升力的影响很小。在较高迎角的进近和着陆阶段， $CL_{max}$  的减小会转换成失速速度的增加。因此，飞行员应该在脱离结冰条件后的进近阶段循环使用除冰系统，以保证大翼尽量清洁且对失速速度的影响最小。

2) 如果直到进近阶段的后期都无法脱离结冰条件或在使用

了除冰系统后机翼上仍存在积冰，则飞机的失速速度可能会增加，此时可以适当调整进近速度。具体参考 AFM 或飞行员操作手册的指导。通常，除冰通过使用电子冲击系统、电加温系统或气动除冰系统完成。

### C. 电子冲击系统

1) 电子冲击系统通过使用脉冲能量在飞机蒙皮表面产生迅速的弯转力矩破坏积冰的连接点来除冰。

2) 碎冰被气流吹走。

### D. 电加温系统

1) 电加温系统通过给表面加热使温度升至冰点以上破坏积冰连接点来除冰。碎冰被气流吹走。表面允许降温至再次结冰，然后再次加热除冰，系统循环工作。这类系统常见于螺旋桨和直升机主旋翼上，现在也被引用到大翼和平尾前缘上。

2) 螺旋桨除冰是通过使用内置加热线圈的橡皮套破坏桨叶积冰的附着力完成的。有时由于可用电力有限，桨叶交替加热。为避免由于离心力甩掉（单侧）螺旋桨上的冰导致的不对称，交替时应对称加热。通常有这种系统的飞机上，最容易被螺旋桨甩掉的冰击中的机身部分的蒙皮都被加强。然而，由积冰造成的最初的不平衡和除下的冰撞击机身的高噪音容易引起乘客不安并分散机组的注意力。

### E. 气动除冰带

1) 如图 2-12 所示的气动除冰带包含连接到飞机关键面（如

大翼、水平和垂直安定面的前缘)的橡胶管。这些橡胶管既可能是弦向的也可能是展向的。气动除冰带在正常操作期间是折叠收起的,通过真空泵抽吸避免流过大翼的气流中断。当系统在飞行中开启,一个计时活门选择性的间歇膨胀全管或半管破冰然后流过大翼的气流将碎冰吹走。

2) 早期的气动除冰带操作的问题是可能会形成“冰桥”。它是由一层具有足够塑性的薄冰形成的。当除冰带扩大时,随着变形的冰变硬和吸附额外的冰,除冰带对于清除“冰桥”可能是无效的。避免出现这种问题的建议是等到这层冰达到预定厚度后再开启除冰带除冰。这个厚度有不同的规定 6mm、12mm、甚至 25mm。

3) 在 20 世纪 90 年代中后期完成的研究表明对于现代的除冰带设计几乎没有形成冰桥的记录。另外,自 1999 年以来由 FAA 主导的几次结冰风洞测试表明现代的除冰带设计没有出现形成冰桥。对于除冰带设计的限制可以追溯到 1/4 个世纪甚至更久之前。此外,人们认识到 12mm 厚的冰层(特别是粗糙的),对飞机的性能、稳定性和控制有显著影响。因此,一些制造商建议一旦遭遇结冰马上打开除冰带而不是等到积冰达到一定厚度。2005 年的研究表明以典型空速下飞行的、装有现代除冰带设计的通用航空飞机,其除冰带不是每次膨胀都会除掉冰。飞行员应严格依照 AFM 或飞行员手册的要求使用气动除冰设备。

4) 根据结冰条件和空速的不同,大致需要 4 到 25 分钟的时间除冰(在 $-30^{\circ}\text{C}$ 的极冷温度下时间可能会更长),即使一看到结

冰就打开除冰带并且每分钟循环一次，情况也是如此。要等到形成 6mm 或 12mm 的冰时再打开防冰带，过早启动和频繁使用防冰系统都是收效甚微的。在使用包括气动除冰带在内的任何可用的除冰系统时，残冰和中间循环冰都是固有的。正确地使用除冰带对于将结冰影响降到最低是非常有必要的。2005 年的测试表明正确的使用冰附着抑制剂改善了较低温度下的除冰情况。建议使用制造商推荐的冰附着抑制剂。

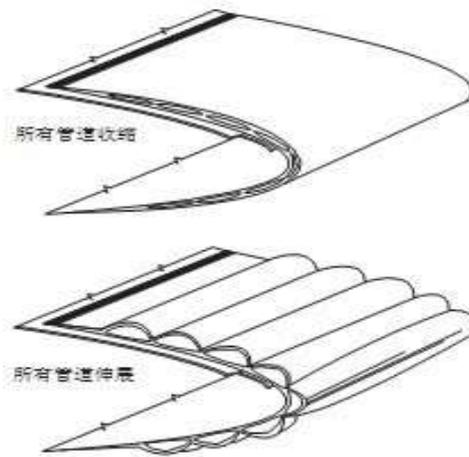


图 2-12 大翼除冰带

### 5.2.15 维护注意事项

有些防冰或除冰系统是非常有效的，而其他的可能需要很多维护来保持有效。例如，气动除冰带容易被很多东西损坏且需要仔细检查。气动除冰带的橡胶受到大气污染的腐蚀，会开裂及失去弹性。冰附着抑制剂应符合维护手册要求并适用于除冰带。任何未经飞机或除冰带制造商推荐的产品都应获得局方的批准。剩下的问题还包括由外来物撞击导致的缺陷，分层或撕裂。气动除

冰带上的针孔或撕裂处在系统真空时会进水，随后水分冻结造成系统失效。在发现除冰带缺陷后，飞行员需要得到维修人员对于除冰带的评估。

- 1) 机组需要时刻确保飞机的防冰和除冰设备在可用状态。
- 2) 飞机的 MEL 需要详细考虑设备和放行的关系。

## 5.2.16 结冰探测

### A. 电子探测

1) 许多现代飞机都装备了电子结冰探测器。常见的一种结冰探测器包括一个以固定频率震动的探头。当探头结冰，探头的振动频率会因为探头上冰的质量增加而改变，驾驶舱中的指示灯亮起。这些探测器在很短的时间内就能被激活（通常一分钟），之后探头电加温融化积冰。之后这个过程循环往复。如果飞机在持续结冰条件下飞行，冰会持续的在探头上形成，驾驶舱的指示灯保持恒亮。

2) 飞行员应查询 AFM 或飞行员操作手册来决定防冰系统是“咨询系统”还是“主系统”。这两个系统的不同之处在于系统的冗余和认证所需要的测试。大多数的飞机有“咨询系统”，这就意味着飞行员有义务去发现积冰并且保证防冰系统是工作的。甚至对探测到结冰系统会自动工作的防冰系统也要这样。

3) 当前，尽管新系统正在不断发展，也还没有电子探测系统能可靠地探测到冰晶。

### B. 目视

一些重要的突起的位置也可以作为结冰的指示。通常有一些没有保护的突起或表面能够被机组看到，比如风挡雨刷、吊舱或者着陆灯，它们因为倾向于最先结冰所以能用来作为结冰的参考。如果没有前文提到的机组可以看到的突起物，制造商可能会专门提供一个。这些结冰探测器又叫结冰探头，在驾驶舱中可一览无余。通常它们比机体表面或者较大部件更易结冰。如果冰开始在这样的结冰探测器上积聚，飞行机组应该认定飞机的剩余部分也正在结冰并采取合适的措施。这些探测器仅用于在潜在的结冰条件飞行时为飞行员提供目视参考。在接近结冰温度时飞行员应该监控关键表面，因为在形成可视冰之前，冰可能会先在关键表面积聚。

### 5.2.17 SLD（过冷大水滴）条件的目视线索

如果知道存在 SLD（过冷大水滴），大多数无助力控制和机身除冰系统的飞机应该请求改变航路或高度以脱离该区域。这一行动对于其他飞机而言也是适用的。下面罗列出的线索是为无助力控制飞机和装备气动除冰带的飞机作为判断 SLD（过冷大水滴）条件的指示而发展的。最令人关注的是可能会发现积冰出现在某个常见的堆积区域（如大翼前缘）的后部，这种“尾部积冰”有时是由于液态水多于 SLD（过冷大水滴）引起回流而导致的结果。然而，过多的回冰也会有同 SLD（过冷大水滴）一样的影响，因此飞行员采取同样的措施是合适的。这些线索是：

A. 在机翼的上部或者下部、除冰带工作区域的后部可能可以

看到结冰。这些结冰包括，不规则、锯齿形的积冰或者发现冰片从飞机上脱落。在夜间运行期间，应当利用足够的照明观察所有区域。大多数飞机除冰带的最后 25mm 是不工作的。

B. 不受加温保护的螺旋桨桨毂积冰的后限表示结冰超出正常限制范围，通常也表示积冰区会延伸回到桨叶上。

C. 侧窗没有加热的部分可能开始积聚分散的颗粒状的冰晶，或者形成透明或不透明的冰层覆盖整个窗户。这种积冰也可能伴随着窗户上其他的积冰形式，例如冰脊。这些积冰形式在飞机暴露在 SLD（过冷大水滴）条件下几秒钟到半分钟就会形成。

D. 如果在机身通常不易被积冰覆盖的区域看见像手指或羽毛一般的积冰，说明积冰的覆盖范围非常广。飞机的性能可能会降级。当结冰条件存在时飞行员应当保持警惕，同时要密切监控飞机性能的任何改变，这是飞机积冰的征兆。

注意：当如下情况被观测到时，飞行员应该对上面所列出的积冰保持警惕：

- 当外界大气温度低于+5°C 时存在可见水汽或毛毛雨。
- 当外界大气温度低于+5°C 时水滴飞溅的影响。

1) 当飞进或飞越报告有降水并且温度接近冰点的地表时，也应该保持和在穿过存在 SLD（过冷大水滴）条件区时一样的警惕，例如雨、冻雨、雨夹雪、冰雹、毛毛雨、冻毛毛雨或者雪。然而，飞行员应该了解即使地表没有任何 SLD（过冷大水滴）降水，高空也可能存在 SLD（过冷大水滴）。因为当前的天气信息

有可能忽略 SLD（过冷大水滴），所以了解和寻找在飞机上的线索是非常重要的。

2) 虽然飞行员应该知道一般的线索，但也有一些特殊线索是在特殊机型上的 SLD（过冷大水滴）积冰特征。飞行员应参照飞机的 AFM 或飞行员操作手册上对这些线索的描述。

## 5.3 飞行运行

### 5.3.1 飞行中可用信息

A. 对空气象广播。飞行员在飞行过程中，可以收到空管部门的对空气象广播信息，包括机场天气报告和预报。

B. 飞行管制部门。为机组提供例行和特殊空中报告。

C. 航空公司运行控制部门。飞行机组可以通过指定的公司频率或通过机载飞机通信寻址和报告系统（ACARS）与公司运行控制部门进行联系，以获取天气信息。航空公司运行控制部门可以转播获得的机场危险天气报告和预报给飞行机组。

D. 机载气象雷达。利用机载气象雷达探测雨滴。当温度等于或接近冰点时，应该避开雷达上显示的降水区域。然而，机载气象雷达不能有效探测毛毛雨、云中的小水滴或冰晶，因此不能依靠气象雷达来发现冻毛毛雨、云中的结冰区和冰晶，这些冰晶通常集中在强对流天气系统的附近。

### 5.3.2 飞行员策略

如果飞机没有适航认证可以在结冰区飞行，或者不是按照

CCAR-91.1027 进行认证，这种情况下禁止飞入结冰区。然而，即使飞机按照规章可以在结冰条件下运行，也不应当视为飞行员完全有权进入任何可能造成结冰的气象环境中。

A. 层状云结冰。由于在层状云中，结冰条件往往被限制在一个比较薄的层，无论是上升或下降，都是脱离云中结冰区的有效方法。

1) 爬升可以使飞机上升到仅由冰晶组成的较冷的云。这些对结构结冰通常不构成太大的威胁，因为冰晶不可能黏附在未加热的机体表面。

2) 爬升可能使飞机飞越已有的云而进入另一个高度，在这个新的高度，根据当时的条件，机体表面的冰可能会升华或消失。下降可以让飞机下降到冰点以上空气中，在云中或云以下，这种情况下，冰会融化。

B. 积云结冰。积云中可能会产生危险的结冰条件，因为积云有时液态水含量非常高。因此，不建议飞入一系列的积云或在积云中执行等待。然而，因为这些云层在水平方向上通常不延伸很远，所以云中遇到结冰的时间不会很长，云的周围结冰条件会减轻。

### C. 雪

1) 一般来说，雪本身不会产生结冰的危险，除非雪开始附着到飞机表面。如果雪开始附着，这种情况下要视为遇到结冰，因为雪的积累会导致冰的形成，没有任何飞行器有资格在这种罕

见的情况下飞行。如果发生这种情况，飞机应在 ATC 的协助下尽快脱离结冰区。

2) 然而，正如第 5.2 节所述，SLD（过冷大水滴）条件的视觉线索，冻毛毛雨可以和雪共同存在。如果你正飞入或飞越已知的降雪区，有一点很重要，有雪不一定意味着不存在结冰条件。更详细信息，请参见以下段落。

#### D. 冻雨，冻毛毛雨

1) 当雨水通过低于冰点的空气层时会形成冻雨，因此，可以通过爬升到较暖的空气层来脱离冻雨。

2) 由于冻毛毛雨是在碰撞合并过程中形成的，飞行员不应该假设飞机飞行高度以上存在一个温暖的空气层。一旦遇到冻毛毛雨，无论是垂直或水平方向，飞行员应尽快脱离结冰区。有三种方法脱离结冰区，第一，上升到一个冻毛毛雨不是很强烈的高度，第二，下降到较暖的空气层，第三，水平转弯，脱离冻毛毛雨区域。

#### E. 冰粒

冰粒本身对机身结冰是没有危害的。然而，地面观测到冰颗粒可能表明在更高的高度存在的 SLD（过冷大水滴），所以要避免进入这些区域。

#### F. 冰晶

冰晶会大量地存在于强对流天气附近的高高度区域。涡轮发动机可以吸入一些冰晶体，最终导致推力损失。因此，应当避免

飞入强对流天气附近的云，并且发动机短舱防冰系统应打开。具体信息，请参阅飞机的 AFM。

## G. 与 ATC 通信

如果飞机没有批准在结冰条件下飞行却无意中遇到了结冰，管制员不会知道飞机是否有资质或有装备在结冰条件下飞行，也不知道结冰条件的严重性，更不知道飞机安装了什么样的除冰和防冰设备。因此，当务之急是把情况详尽地告知 ATC，并尽快改变高度或者航线，以脱离结冰条件。

1) 飞行员在通讯中应着重描述当时的结冰条件，是否需要改变目前的航线和高度，并且如果必要的话，是否需要选择一个备降场。在一些拥挤的空域中，随着无线电通讯繁忙程度的增加，遇到结冰条件的飞行员在飞行的安全性受到损害之前可能没有及时地接到退出结冰区的通知。

2) 在这种情况下，飞行员应向 ATC 宣布进入紧急状态，告诉管制员正在采取什么样的行动以应对紧急情况。如果有资质在结冰条件下飞行的飞机遇到了冻雨或冻毛毛雨，机组人员应告知 ATC，不要试图在这种条件下继续飞行。最终保障飞行安全的权力和责任掌握在飞行员手上。

3) 因此，当飞行员判断指令会导致不安全的情况时，应当毫不犹豫地拒绝管制员的指令。要做出正确的决策，飞行员应该有尽可能多的信息，包括对飞机及其系统能力的了解，和对当前及未来的天气情况的判断。

## 5.4 与飞行阶段相关的结冰注意事项

以下内容描述各个飞行阶段的结冰注意事项。本章主要针对取得结冰条件飞行认证资格的飞机的安全飞行，以及脱离结冰条件的时机进行论述。以下内容只是做飞行计划时需要考虑的与结冰相关内容的示例。飞行员需要查阅相应机型经局方批准的 AFM 或飞行员操作手册作为检查单。

### 5.4.1 飞行前

任何飞行准备的第一步都是获知详尽的天气情况。这在有可能发生结冰的天气条件下尤其重要。在获得了气象简报后，要特别标记出以下内容。

#### A. 结冰层

飞行员应该在气象图上找出结冰层，这样可以有助与飞行员在遭遇结冰问题时制定一个应急计划。

#### B. 气象情报

这些报告将警示飞行员中等或严重的结冰区域。发布的重要气象报表示有和雷暴无关的严重结冰环境。只要重要气象情报中涵盖对流信息，都要考虑严重结冰条件的存在。

#### C. 降雨

在降雨预报中了解降雨的位置和类型有助于避开由于对流区域造成的严重结冰。

#### D. 结冰条件下需要考虑一些额外的注意事项

1) 在决定飞行航路时，在地图中标记出沿途机场，以便在需要备降场时使用；

2) 在决定飞行航路时，考虑飞机的爬升性能和航路最低高度，尤其是在山区。因为飞机的爬升性能会在结冰状况下降级，参考 AFM 是否有相关的降级数据；

3) 飞行前确定脱离结冰条件的策略，确定爬升或下降是否可行；

4) 在选择备降场时，如果飞机已经发生结冰，可能需要更大的进近速度，因此需要更长的跑道长度；

5) 在夜间或能见度低的情况下，考虑带着一个高强度的手电筒用于确定飞机上结冰的位置；

6) 考虑有一台无线电收发机作为备份以防由于天线结冰和/或折断引起的通信失效；

7) 如果飞机总重接近最大总重量，爬升性能将会降级，这可能增加飞机在结冰条件下的飞行时间；

8) 结冰所造成的额外的阻力需要更大的推力来克服，因而增加了燃油消耗量并可能需要额外的燃油；

9) 在执行飞行前检查时，从飞机表面去除所有霜、雪和冰，因为即使很少量的这类物质都可能对机翼的空气动力性能产生不利影响。将飞机停在温度较高的机库是去除霜、雪、冰的一种好方法；然而，飞行员应该确保飞机从机库拖出来的时候是干燥的，以防止水分在飞机表面重新冻结。

E. 即使空气温度在零度以上仍然可能在飞机上结霜。如果飞机曾在温度低于零度的环境中飞行过,燃油将形成冷浸泡。在飞行中或着陆后,将会在机翼上形成冰和霜,原理类似于冷的饮料罐上产生的凝结物。某些机型相对于其他机型而言可能更容易由于冷浸泡而产生结冰。晴朗的夜晚下将飞机停在外场时,由于辐射冷却可能导致飞机表面温度低于零度。如果有水分存在,飞机表面将会形成霜。

F. 霜、雪或冰也可以通过使用冰点抑制剂去除。参阅第六章,其中包含了防冰液的正确使用方法和各种环境条件下提供的有效保护时间表。根据设计要求,当飞机的速度达到抬轮速度时防冰液将会脱落,因此,当飞机离地后防冰液将不再提供任何保护。即使存在冻毛毛雨和轻型冻雨的保护时间,取得在结冰条件下飞行认证的飞机并没有得到在冻毛毛雨或冻雨中飞行的评估。

G. 在选择使用防冰液时应该谨慎。因为 II 型和 IV 型防冰液是不适合在抬轮速度低于 110 节的飞机上使用的,防冰液的不完全脱落会导致升力损失和操纵问题。查阅 AFM,看看 II 型、III 型或 IV 型防冰液的使用是否被批准。在某些情况下,对于起飞程序或外界最低温度可能会有限制。如果 AFM 中未提及防冰液的使用,咨询飞机制造商。

H. 确保没有积冰会干扰到操纵面的运作、刹车、或转弯系统。检查皮托管加温、皮托管进气口和失速警告系统。检查防冰除冰系统的正常工作状况。对于那些包含液体的系统,确保你看到液

体是沿着整个前缘面板分布的，可能需要数分钟的准备时间（来确认含液体系统工作正常），尤其是当该系统已经没有任何使用一段时间后。不要认为任何污染物，甚至雪，将在起飞时被吹掉。湿雪可能不会被吹掉，并且在雪下面可能会有一层冰。

#### 5.4.2 滑行

每次都要按照 AFM 或飞行员操作手册做除防冰系统的飞行前检查。

A. 当在雪或冰上滑行时，为飞机周围留出额外的空间并且用更慢的速度滑行。刹车时小心以免产生打滑。

B. 停住时，比正常提早使用刹车，因为这时使飞机停下需要的距离更长。在进行起飞前发动机试车时，需要在飞机前方留出额外的空间；因为飞机可能会在冰上滑动。小心测试刹车效应，确保没有任何雪或冰附着在刹车系统的零部件上。

C. 如果飞机安装有机轮整流罩，雪有可能积聚在其内，并可能在飞行中冻结。确认所有操纵面可以偏转到最大位置，并且若可以，检查汽化器加温工作正常。

D. 如果飞机没有安装风挡除/防冰系统，将除霜装置打开并保持高位，这可以防止飞行过程中风挡结冰。

#### 5.4.3 起飞和爬升

根据飞行员操作手册或 AFM 中飞机制造商的建议，对于小型或特定轻型飞机来说，推荐在爬升时使用刹车并且循环收放起落

架。这样做可以甩落那些在滑行和起飞阶段积累的雪、泥或冰。

A. 确保空速表工作正常并且皮托管加温打开。由于 ATC 的限制或其他飞机的影响，爬升不可能一直是快速的。

B. 在结冰条件下，飞机在初始爬升阶段更容易结冰，因为低速往往会转化为大迎角。这就将飞机的下部和机翼暴露在了结冰条件下，导致比巡航过程中更严重的结冰。

C. 结冰的形成可能不会被飞行员发现或无法探测到，所以在自动驾驶接通的爬升过程中飞行员应该特别警惕。不建议在结冰条件中使用垂直速度（VS）模式爬升。

D. 对于没有自动油门的飞机，随着结冰的形成，自动驾驶系统将会尝试保持垂直速度而不管速度，导致飞机进入潜在的失速风险。飞行员的监控十分关键，要确保飞机在当前的外部环境条件和构型下的最小速度不被突破。

#### 5.4.4 巡航

只要防冰系统正常工作并且飞机在结冰条件下的暴露程度没有超过它的保护范围，经过结冰条件下飞行认证的飞机可以应对最严重的结冰情况。然而，如果可以通过改变高度和微量航迹调整来脱离结冰条件，显然更明智。在遭遇了任何结冰情况时，飞行员都应该小心监控飞机的状态。

A. 飞机上一些没有结冰保护的区域会产生结冰，尽管这些区域的结冰不会危害飞行安全，但却有可能增加相当的阻力，以致需要更大的推力来维持飞行速度。

B. 除冰区域的剩余冰或中间循环冰有类似的效果。在这些情况下,通常建议增加飞机推力,因为飞机速度的减小会增加迎角,这对于大多数飞机而言,将在结冰条件中暴露更多的未经防冰保护的底面区域而造成积冰。如果因为任何原因(防冰保护失效,在极端结冰条件下不适当地使用防冰系统等)而使飞行员无法通过增加推力保持速度,应该马上脱离结冰条件。

C. 安装了飞行除冰系统的飞机,在机翼上总是会有积冰残留,或在某个特定的阶段出现中间循环冰。

D. 巡航阶段的空速会对自然结冰的过程起到很大的影响。巡航阶段的大空速会增加积冰产生的速率。然而如果空速足够快,冲压作用会使飞机表面温度升高并融化一部分冰,还能防止这些区域形成积冰。但通常而言,只有非常高性能的飞机才可以达到这个速度。在飞行过程中,定期确认防冰或/和除冰系统工作正常。在飞行途中,有一个定期重新评估的脱离计划是十分必要的。

E. 即使遭遇结冰的时间短并且结冰情况不严重,飞行员也应该特别有意识地注意飞机的状态。结冰条件下巡航结束后形态的改变,例如放出扰流板或襟翼等,需要小心操作。因为飞机上的积冰在巡航阶段影响很小,但是在其他构型下会有很大的潜在危害。记住在正常的巡航构型和速度下,机翼和水平尾翼通常处于适中的迎角,并不太可能失速。然而在构型改变并且机动飞行时,机翼和水平尾翼(特别时襟翼放出后)可能处于非常极端的迎角状态下,以至剩余冰或中间循环冰可能导致失速发生在比光洁形

态更小的失速迎角下。

F. 此外，在结冰条件下应谨慎使用自动驾驶仪。与其他阶段一样，巡航阶段也是如此。自动驾驶接通，会掩盖由于结冰引起的气动力变化所导致的飞机操纵特性的改变，这种改变是飞行员在手动飞行时能发现的。对于依赖气动配平的飞机，自动驾驶会掩盖本应在之前的阶段被发现的控制异常现象。如果飞机没有安装操纵助力系统，当超过了自动驾驶控制力后情况将会更加严重。自动驾驶将突然断开，飞行员会突然面对意想不到的操纵偏转量。

G. 在结冰条件下飞行员可以考虑周期性的断开自动驾驶。如果由于工作负荷过大而无法完成，飞行员应该紧密监控自动驾驶的非正常配平，配平速率，或飞机的姿态。如果在没有接通自动油门的情况下积冰增加，自动驾驶会尝试保持高度而不管速度，导致飞机进入潜在失速风险。

H. 飞行员对空速的监控至关重要。这可以确保飞机至少维持在当时的环境和构型下所需的最小飞行速度。曾经发生过在几分钟之内空速就从巡航速度减小到失速速度的事例。

I. 在对流天气系统中或在其附近操作涡轮发动机时应特别注意。因为在结冰条件下，即使机身和结冰探测器没有任何显示，冰晶依然可能会在发动机内累积。这可能会发生在非常低的环境温度和高高度条件下。如果怀疑存在冰晶，应该使用短舱和发动机的防冰系统。

#### 5.4.5 下降阶段

A. 在下降进入云团之前，飞行员都应该尽可能地保持在云层顶部。这对于使用引气防冰的高性能飞机是很困难的，在不使用气动减速板和其他类似设备的情况下，其大升力特性已经增加了下降距离，而为提供防冰所需的引气对发动机的推力需求增加，可能会进一步导致下降率的减小。结果可能是飞机下降得更平缓，增加了飞机暴露在结冰环境中的时间。

B. 在结冰条件下，如果要在此飞行阶段改变飞机构型，飞行员应该小心操纵并时刻注意飞机的状态。具体内容参考之前章节。

C. 在飞机改平时，飞行员要确保有足够的推力用于维持合适的速度，特别是在接通了自动驾驶的情况下。

#### 5.4.6 等待

A. 在等待过程中，相对较慢的速度和相对较低的高度将导致飞机更容易产生积冰。

B. 关于使用自动驾驶应注意的事项，前面所述的内容，同样适用于结冰过程中和结冰后的等待飞行。

C. 在结冰条件下或在脱离结冰条件后，如果进入等待之前或在等待过程中需要改变构型（例如放出襟翼），飞行员应该在构型改变过程中或改变后准备好应对飞机任何不正常的状态。如果构型改变对飞机有不利的影响，飞行员应该使飞机回到原来的构型。参考以上的讨论。

D. 对襟翼的使用请参考 AFM。许多 AFM 禁止在结冰条件保持襟翼长时间处于放出状态。

#### 5.4.7 进近和着陆

A. 正在结冰条件下或在结冰条件下飞行之后，当操纵飞机构型至着陆形态时，飞行员应该警惕飞机的意外运动。通常，冰在巡航阶段聚集，那时机翼和水平尾翼很可能处在一个相对较小的迎角下，也处在一个对于结冰有相对容忍度的构型。积冰对于巡航的影响较小时，可能会使飞行员轻易地认为飞机有应对结冰状态的能力。

1) 结冰状态下放出起落架可能会产生更多的阻力。襟缝翼应该逐档放出，每放出一档都要小心监控飞机的状态。

2) 如果发生异常现象，最好不要继续放出襟缝翼，甚至可能要视偏离正常性能的严重情况而收回襟缝翼。

3) 此外，在进近之前，应该收起除冰带。因为它们可能会增加失速速度，并且在着陆过程中也不建议使用这些系统。飞机接地后，由于起落架可能有积冰，飞行员应该做好方向不受控制的准备。

B. 另一个进近和着陆中涉及到的问题是前方能见度。风挡除冰和防冰系统可能已经故障或者无法应对某些严重积冰情况。飞行员都知道应该透过侧窗飞行，或在小型通用飞机上，尝试用某些工具（例如：绘图仪，信用卡等）清除前窗积冰。

C. 在进近和着陆阶段，飞行员的工作负荷可能很大。自动驾

驶可以有效地降低飞行员工作负荷。但是飞行员应该对这种优点与在结冰条件下或在结冰条件下飞行之后使用自动驾驶带来的危险进行衡量。在进近和着陆阶段由于结冰条件下低高度飞行造成的自动驾驶意外脱开是十分危险的。

D. 事故统计数据显示，大多数的与结冰相关的事故发生在飞行的最终阶段。成因包括：构型改变、低高度、机组高负荷和推力设置不足。失去对飞机的控制也是一个主要原因。结冰污染可能导致机翼失速、结冰污染水平尾翼失速（ICTS）、或者横滚非正常姿态。

E. 机翼失速和横滚非正常姿态可能发生在飞行的任何阶段。然而，有效统计数据显示水平尾翼失速（ICTS）在进近和着陆之前极少发生。正因为水平尾翼在进近大襟翼设置下易发失速，许多 AFM 对结冰条件下的最大襟翼使用有相关限制。如果你的飞机没有类似限制，当在机翼和水平尾翼上存在结冰时，最好以高于正常的进近速度执行无襟翼着陆。然而，因为更高的进近速度，所以在此程序中可能需要更长的跑道距离。

F. 如果飞机上存在结冰，在着陆拉平过程中，应使用比平时更大的推力。许多非致命的结冰事故归咎于拉平时的失速。

#### **5.4.8 机翼失速**

A. 当机翼被冰污染时，通常会在更小的迎角失速，因而失速速度更大。即使只有少量的冰，特别当表面粗糙时，可能会产生一样的影响。如果机翼上存在结冰建议增加进近速度。进近速度

的增量取决于飞机的型号和积冰的多少。飞行员应该参考 AFM 和飞行员操作手册。

B. 增加着陆速度会导致着陆距离增加；所以如果可能，飞行员应该考虑使用更长的跑道来满足增长的滑跑距离。

C. 关于结冰污染导致的机翼失速的讨论要比以下水平尾翼失速（ICTS）的讨论短许多，这并不是因为 ICTS 更常见。数据显示由于结冰污染而导致的机翼失速产生的事件和事故在结冰条件下更加常见。然而，飞行员对机翼失速的判断和改出已经进行了完善的训练，但是由于大多数飞机水平尾翼在清洁状态下发生失速的概率极小，所以并没有对水平尾翼失速科目进行训练。但是应当清楚地认识到，即使飞行员对清洁机翼的失速判断和改出进行了完善的训练，但是这和由结冰污染而导致的机翼失速往往是不同的。结冰污染导致的机翼失速需要相当大的下俯操纵量，这并不适用于清洁机翼失速。由于结冰污染造成的机翼特性可能明显降级，而且有可能导致严重的横滚操纵问题。

D. 正如结冰影响，保护和探测中所讨论的，积冰的形成可能在两机翼上是不平均的；因此，更薄的外侧机翼往往更容易形成积冰并且可能首先失速。由于副翼前方的机翼积冰，可能会导致副翼效力减弱。

#### **5.4.9 结冰污染的水平尾翼失速（ICTS）**

A. 水平尾翼失速（ICTS）的基本气动特性已经在结冰影响、保护和探测里做了简短的描述。水平尾翼失速（ICTS）将会在水

平尾翼的结冰量已经足够导致负迎角和失速时发生。

B. 在没有放出襟翼时，此迎角很难达到。就当前所掌握的资料来看，几乎没有水平尾翼失速（ICTS）事故征候发生在巡航阶段（襟翼通常没有放出）。然而，水平尾翼存在结冰且又同时使用了襟翼时，原来只会产生微小阻力并没有太大影响的结冰，此时将导致水平尾翼失速或处在接近失速的危险状态。

C. 在结冰条件下，如果准备使用襟翼，那么飞行员需要小心监控飞机是否有抖动或有机翼失速的征兆。最初使用襟翼时不要完全放出。如果使用襟翼之前没有抖振，使用襟翼后的振动和抖动通常更可能意味着水平尾翼失速而不是机翼失速。因为使用襟翼之后，机翼正迎角减小而远离失速，然而水平尾翼的负迎角会增加，因而更接近失速。特别是在此飞行阶段，飞行员应该善于发现关于水平尾翼失速（ICTS）的一些征兆。

- 1) 升降舵控制瞬间波动，震荡或震动；
- 2) 不正常的机头向下配平变化；
- 3) 任何其它反常的俯仰变化（可能导致飞行员修正过度诱发震荡）；
- 4) 升降舵效力减小或失去；
- 5) 升降舵气动力突然改变（如果没有限制，操作将导致机头向下）；
- 6) 突然非指令的机头下俯；

注意：上述大部分的征兆在自动驾驶接通时相对不容易被发

现。如果发现这些征兆，飞行员应该遵守以下的指导。

1) 襟翼常常会改变到达尾翼的气流，应该马上将襟翼收到到之前的状态，并且应该适当地控制机头向上；

2) 为了满足收襟翼条件，空速应该适当增加；

3) 对于飞机的构型和状态应该使用足够的推力。(针对某些机型的设计，在大速度时设定大推力可能会对水平尾翼失速 (ICTS) 状态造成不利的影响，参考飞机制造商在 AFM 和飞行员操作手册中关于此内容的建议)；

4) 如果条件允许，即使在阵风环境中，机头下俯的控制也应该缓慢；

5) 如果正在使用气动除冰（例如除冰带等）系统，系统应该循环数次以清除水平尾翼积冰。

D. 注意，一些水平尾翼失速 (ICTS) 改出的方法与机翼失速改出的方法相反，因此辨别究竟是哪种失速非常关键。如果因为某些原因（可能由于结冰保护系统失效）机翼和水平尾翼都产生了大面积或粗糙的积冰，实施进近和着陆时要特别小心。

E. 使用襟翼可以使飞机机翼在更小的正迎角下飞行，降低了机翼失速的风险，然而在这种情况下，水平尾翼的负迎角将会更大，会更接近失速的状态。同样的，对于任何固定的襟翼设定，低速将导致机翼更接近失速，而高速将导致水平尾翼更接近失速。因此关于襟翼的使用和空速都有限制的操纵范围。

F. 飞行员应该熟悉 AFM 和飞行员操作手册中的任何指导。如

果 AFM 中有结冰条件下的最大襟翼限制，通常是因为飞机容易受到水平尾翼失速（ICTS）的影响。如果遵守了襟翼使用限制，水平尾翼失速发生的几率将比机翼失速更低。

G. 针对于某些机型的设计（取决于构型）增加推力将会增加水平尾翼失速（ICTS）发生的可能性，但是对于其他机型而言却不是如此。飞行员应该参考 AFM 或飞行员操作手册。

H. 当水平尾翼失速（ICTS）或机翼失速可能发生时，应该避免侧滑或前滑等不协调的飞行状态。并且到了一定程度后，禁止侧风着陆，因为侧风对俯仰控制会产生不利的影晌并且可能削弱飞机的方向控制。

I. 顺风着陆下，飞行员可能需要更多的突然的下俯操纵，如果可能应该避免。如果飞机机翼和尾翼有积冰，遵守使用限制或不使用襟翼是明智的，这将会导致更大的进近速度。在此程序下由于更大的进近速度，所以可能需要更长的跑道距离。

#### **5.4.10 横滚非正常姿态**

A. 在飞机遭遇积冰特别是在过冷大水滴（SLD）条件下时，副翼前方的积冰可能会导致横滚的非正常姿态，在进近和着陆阶段的低速状态下，这样的异常现象会带来很大的操纵困难。飞行员可以使用以下方法补救。

1) 增加空速以减小迎角或者如果速度达到或低于 VFE(最大放襟翼速度)，放出第一档襟翼。如果飞机正在转弯，应该改平。

2) 设置合适的推力，并监控空速和迎角。

3) 如果襟翼已经放出，不要收回，除非确定机翼上表面的结冰消失。在恒定的速度下，收回襟翼会增加机翼的迎角。

4) 通过目视观察两侧机翼，证实机翼结冰保护系统工作正常并且对称。如果存在故障，遵照制造商的操作指南执行。

注意：这些程序和机翼失速改出程序类似，并且在某些方面和水平尾翼失速（ICTS）改出程序相反。

B. 在此状态下使用了不正常的程序将会严重地加剧横滚非正常姿态。正确的辨别飞机状态和使用合适的程序是必要的。在结冰条件下飞行或在结冰条件下飞行之后，飞行员对任何可能性都保持高度的警惕是非常重要的。

## 5.5 总结

A. 许多事故涉及飞机的结冰污染。起飞事故通常由地面阶段关键部位的除冰/防冰系统故障导致。本飞行员指南主要集中讨论飞行中的结冰形成，对于所有固定翼飞行员都有所帮助。在飞行过程中遭遇任何结冰，即使是微量的，都是危险的。本指南指导飞行员关于了解飞行中结冰的潜在危害，以及避免这些危害的方法，和怎样有效地应对潜在危害。

B. 如果驾驶没有经过在结冰条件下飞行适航认证的飞机，飞行员应该避免在结冰条件下飞行。本指南提供了如何脱离结冰条件，以及在无意识情况下飞机结冰后如何迅速安全改出的指导。

C. 经过在结冰条件下飞行认证的飞机可以在认证评估的结

冰条件下安全飞行，但是一定要对结冰有足够的重视程度。即使飞机遭遇了短期微量的糙面冰也是非常危险的。

D. 飞行员应该熟悉和认真执行 AFM 或飞行员操作手册所有关于结冰条件下飞行的指导。在结冰条件下飞行或在结冰条件下飞行之后，防除冰系统的正常工作和对于最小速度的监控至关重要。空速会减小得非常迅速，并且在没有自动油门的飞机上，自动驾驶不会保持飞机速度。监控飞机空速并且不要在结冰条件下依赖失速警告系统。对于一些结冰条件，飞机在认证过程中是没有经过评估的，比如云团中或低于云团的过冷水滴环境，在这些环境下飞行是非常危险的。飞行员应该对 AFM 和飞行员操作手册中与这些条件相关的各种信息非常熟悉，包括识别在这些危险条件下飞机的特定征兆。

## 6、大型飞机地面除冰

### 6.1 简介

局方法规禁止在大翼、螺旋桨、操纵面、发动机进气口、以及飞机其他关键的表面粘着有雪、冰或霜的情况下起飞。此规定是清洁飞机概念的基础。仅当机长（PIC）确认飞机所有重要部件没有积冰污染时可以起飞，否则严禁尝试起飞。

清洁飞机概念与安全飞行运行密切相关。机长对确认飞机是否清洁以及飞机是否处于能够安全飞行的状态负最终责任。机长应经过适当培训并从有资格的地面人员处得到飞机是处于适航状态的信息。航空界一致的意见是确保飞机在易积冰条件下安全起飞的一个关键要素，是在距起飞较短的时刻目视和/或物理检查飞机关键表面和部件。

除冰程序通常是通过热的防冰液（FPD）溶液除冰，然后使用更为粘稠、冰点更低的溶液实施防冰。现今广泛使用多种类的防冰液，这些多种类的防冰液都有各自的特性以及不同的操作方法。近些年发展出的防冰液，例如标识为国际标准化组织（ISO）II型的防冰液，如按照飞机厂商的推荐使用，能够保持更长的时间并能提供更高的安全裕度。

若使用不当，防冰液会对飞机性能、稳定性以及操纵造成不良影响和形成有潜在危险的变化。

地面除冰和防冰程序主要因飞机的型号、飞机积冰类型以及

防冰液的型号而不同。所有的飞行员必须熟知飞机厂商推荐的程序。这些程序可在飞行机组手册（AFM）或者维护手册，或者专用的飞机服务手册中找到。大部分飞机厂商提供飞机除冰和防冰推荐程序。

此处包含的信息目的是阐明基本原理并为飞行员和其他人员提供快速指引。飞行员必须参照飞机相关的特殊程序。

以下条目提供关于飞机除冰和防冰程序的要点：

- 大部分与积冰相关的事故是因为起飞前飞机没有除冰引起。

- 除冰程序的目的是将飞机还原为清洁形态，防止由于污染物干扰引起的空气动力特性或机械操纵能力降低。

- 对飞机是否完成除冰的判断是除冰程序一个完整的组成部分。

- 飞机的机长为飞机的安全负最终责任。

- 机长有必要彻底理解除冰和防冰程序以及为保证飞机清洁适航规定的必要程序。

- 由于热能可用于融化冰、雪或凝结的霜，因此在除冰程序中热的防冰液溶液、水，或两者混合物都比未加热的溶液更为有效。

- 未加温的防冰液或水溶液，特别是 ISO II 型，由于最终剩余浓度最高，在防冰程序中更为有效。

- 最终防冰层的冰点温度应尽可能低。推荐的最低环境温度

与冰点裕度的关系表 3-1 所示：

表 3-1 最低环境温度与冰点裕度的关系

溶液类型	OAT 范围	裕度
ISO I 型	所有温度	10°C
ISO II 型	高于-7°C	3°C
ISO II 型	低于-7°C	7°C

•未稀释的 ISO II 型防冰液含有不少于 50%的乙二醇，冰点最低为-32°C。

•与传统的 ISO I 型防冰液相比，ISO II 型防冰液作用时间更长久（轻度沉淀时持续至少 45 分钟）。

•执行地面防除冰程序时或在程序结束之后应随时或立刻执行除冰/防冰检查。

•在起飞滑跑前需要执行飞行前检查。飞行员可能需要有资格的地面人员协助完成飞行前检查。

•必须考虑除冰或防冰液上方的冰、霜或雪对飞机的黏附。这种条件下禁止起飞。

•地面除冰使用的防冰液不可用于且不提供飞行中的积冰防护。

•运输机厂商提供的飞行测试表明，大部分 ISO II 型防冰液在空速达到抬轮速度（VR）时从升力面流光。有些大型飞机会出现性能降低，可能需要重量或其他的起飞补偿。对于小飞机来说该性能降低会造成大的影响。

•在飞行中可能有一些防冰液残余。飞机厂商需要判定这些残余对飞机性能或空气动力平稳区域操纵性能影响较小或者无

影响。但是，这些残余应定时清除。

- 由于其它飞机执行了除防冰程序，地面可能会有一些防冰液残余，要特别留意这些废液的湿滑特性，可能会对刹车和转弯带来严重影响，应避免这些区域或者要求有关部门清除残余废液。

## 6.2 清洁飞机的概念

### 6.2.1 清洁飞机的概念

测试数据表明，大翼前缘及上表面的冰、雪或霜的表面厚度与粗糙程度与中或粗砂纸相近，会减小大翼升力约 30%并增加阻力 40%。

升力与阻力的变化会大大增大失速速度，减小可控性，并会改变飞机的飞行特性。更厚或更粗糙的冻结污染会对升力、阻力、失速速度、稳定性以及操纵造成更大的影响，在气动面关键部位的粗糙所带来的影响最大。翼面空气动力性能的不利影响可能会使得飞机突然偏离给定指令的飞行航径，并可能在出现警告之前出现这样的偏离。因此，在机长按照规章要求确认飞机所有关键表面没有粘附冰、雪或霜之前，禁止尝试起飞。

现今已查明至少 30 种因素会影响到冰、雪、霜是否会聚集使飞机表面粗糙、影响防冰液的防冰能力。这些因素包括外界温度、飞机表面（蒙皮）温度、防冰液型号/温度/浓度、相对湿度、风速及风向。由于多种因素会影响到飞机表面冻结污染物的沉

积，故应考虑到用于除冰、防冰或者两用的防冰液的防冰特性不能持续较长时间，因此有必要在起飞前近距离检查。

航空业现已发展出多种技术以遵守清洁飞机的概念。航空界公认，为保证飞机在易积冰条件下的安全飞行，最主要的方法是通过目视或物理方法检查飞机关键表面以确认飞机起飞前清洁。无论使用何种除冰和防冰措施，这种方法是最有效的。

### 6.2.2 飞行员为保证飞机清洁的工作

A. 熟知飞机表面粗糙对飞机性能和飞行特性带来的不利影响。

B. 熟知你的飞机所使用的地面除冰和防冰工作以及程序，无论此程序是由你的公司、服务承包方、固定操作员，还是其他人执行。

C. 仅当你对地面服务机构的除冰工作和质量控制程序熟悉时方可进行除冰与防冰程序。

D. 熟知你的飞机的重要区域，确保这些区域已妥善的除冰、防冰。

E. 确保在除冰程序开始之前已采取合适的防范措施，以防止对飞机部件与蒙皮造成损坏。

F. 确保在飞行前已进行全面的除冰/防冰后检查，即使此项检查可能是其他组织或人员的职责。

G. 熟知飞机上配备的积冰防护系统的功能、能力、限制以及工作状况。

H. 如有需要或有要求, 执行与除冰或防冰相关的额外除冰后检查。

I. 注意防冰液的保持时间受到多种因素的影响, 因此防冰液除冰或防冰处理有效时间 (保持时间) 只能预估。

J. 熟知会缩短防冰液有效时间的变量以及这些变量带来的影响。

K. 确保在距飞机滑行至起飞位置之前尽可能短的时间执行除冰和防冰程序。

L. 在确认所有积冰沉积物被清除之前, 禁止起动发动机或转动桨叶。转动部件甩出的冰粒可能会损坏飞机或者对地面人员造成伤害。

M. 注意有些操作会使得冰晶、雪、水滴再次产生。

N. 注意在临近其他飞机的位置执行程序会使雪、其他冰晶, 或者水滴吹到重要的飞机部件上, 或者会引起干雪融化并再次冻结。

O. 若在滑行时观察到有雪或雪泥溅到飞机的重要区域, 例如大翼前缘, 禁止起飞。

P. 若没有明显的证据表明飞机清洁, 禁止起飞。

### 6.2.3 除冰/防冰后检查

在地面除/防冰程序时或之后应当随时或立即执行除冰/防冰后检查。需要检查的区域取决于飞机的设计并应当包含在除冰后检查单中。检查单至少应包括飞机厂商推荐的所有项目。总的

来说，一个此类型的检查单包括以下项目：

- 大翼前缘、上表面，以及下表面；
- 垂直及水平安定设备、前缘、上表面、下表面，以及侧面；
- 增升装置，例如前缘缝翼以及前缘或后缘襟翼；
- 扰流板和减速板；
- 所有的操纵面；
- 螺旋桨；
- 发动机进气口、灰尘颗粒分离器，以及过滤器；
- 风挡以及其他目视所需的窗口；
- 天线；
- 机身；
- 裸露的仪器设备，例如迎角探头、皮托静压管探头，以及静压探头；
- 燃油箱和重力加油口；
- 冷却装置和辅助动力装置（APU）空气进气道、进气门，以及排气门；
- 起落架。

一旦通过除冰后检查确认飞机清洁并已施加适当的防护措施，飞机应尽快放行起飞。此程序在污染或者高湿度（温度露点差值小）的环境下尤为重要。

#### 6.2.4 起飞前检查

强烈建议在飞机即将使用现用的跑道起飞或者开始起飞滑

跑时目视进行飞行前检查。需要检查的飞机部件因飞机构型而不同。在一些飞机上，可以从驾驶舱或客舱中目视整个大翼和部分尾翼。在另一些飞机上，这些操纵面距离太远，只能看到大翼部分上表面。只有上单翼型飞机能够看到大翼下表面以及飞机起落架。驾驶舱和客舱能够提供飞机最大可见范围，对于不可见的部分，一些操作者的检查方法是目视检查大翼表面、前缘、发动机进气口，以及其他飞机部件。在飞行前检查中，机长可以请求经训练有资格的地面人员协助检查。

若飞机有任何表面未经防冰液处理，机长或者其他机组成员需要寻找并检查任何融雪迹象和可能存在积冰。此外，任何由滑行引起的积冰也需要清除。若飞机已经由防冰液处理，飞机表面应呈光泽、平滑、潮湿的状态。若飞行前检查发现有冰、雪或霜污染，飞机需要返回做额外的除冰程序，若条件允许，做额外的防冰程序。

现场执行上述飞行前检查需要机长和其他机组人员熟知地面除冰程序以及危险标志。除冰后检查应确保地面除冰和防冰程序依照统一标准周密执行，并且从驾驶舱或客舱中看不到的重要表面同样清洁。飞行前检查为飞行员提供飞机没有积冰污染的最终证明。

起飞前检查后的起飞决定同样由机长负责任。

#### 6.2.5 清洁飞机所需的条件

CCAR-91.1027 规定在飞机大翼、螺旋桨、或者操纵面上粘

附有雪、冰或霜时禁止起飞。此项规定即为通常所说的清洁飞机的概念。带有冻结污染的飞机，会出现大范围、不可预测并且与飞机自身设计密切相关的飞机性能的降低与飞行特征的改变。这些改变的大小对飞机有重大影响。除非机长已按照法规规定确认飞机所有关键部件没有冰、雪或霜，否则严禁尝试起飞。

在易积冰条件下完成地面操作之后的飞行安全包含清洁飞机的概念。要理解清洁飞机的所需条件，需要具备以下知识：

- 冰、雪或霜对飞机性能和飞行特性的不利影响，通常表现为推力衰减、升力减小、失速速度增大、配平变化、以及飞机失速特性和操纵性能的改变；

- 飞机地面除冰和防冰有多种方法可用，包括防冰液的使用及效力；

- 在变化的天气条件下这些程序的功能和限制；

- 飞机的重要区域，例如大翼和尾翼；

- 认知安全起飞的最终保证取决于清洁飞机的确认。

#### 6.2.6 冻结污染

在地面，冰、雪或霜形态的冻结污染会在飞机的外表面堆积。飞机表面污染物堆积的类型是决定使用哪种类型的除冰/防冰程序的一个重要因素。

起飞前需要清除飞机上的冰、雪和霜。粉状干雪可以通过在飞机表面吹冷空气或氮气清除。重的湿雪或冰可以通过加热的防冰液和水或者使用扫帚或刷子等机械方式清除。

使用防冰液也可以清除飞机表面的冻结污染。大型运输飞机有多种防冰液可供使用。

## 6.3 除冰和防冰液

### 6.3.1 除冰和防冰液

通过多年的经验总结出的通用程序,是在飞机起飞前除冰和防冰。现已发展出多种地面除冰和防冰技术。这些技术最大的共同点是在地面除冰程序中使用防冰液,并通过防冰液形成保护层延缓冰、雪或霜的形成以达到防冰目的。商用的飞机除冰防冰液以乙二醇或丙二醇作为基质。现今使用的防冰液具有通过图 3-1 所示的晶相图或冻结图表最佳定义的特性。这些溶液的整体特性见表 3-2 描述。

注:通常,商用防冰液的冻结特性基于其制造厂商提供的纯溶液(未经稀释的混合物)。

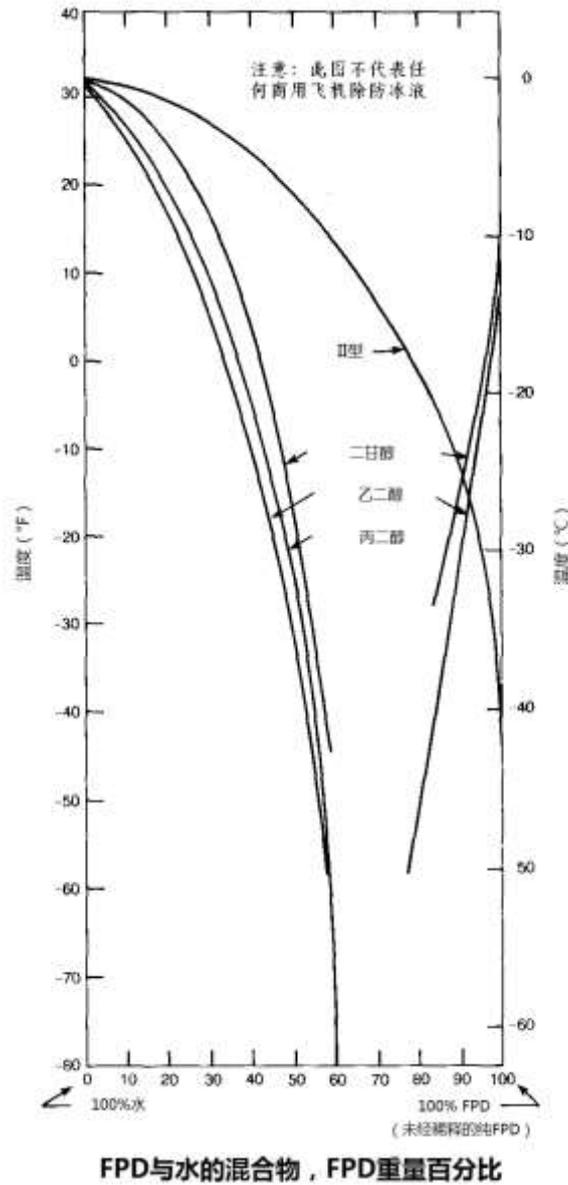


图 3-1 乙二醇水溶液相图

使用防冰液为飞机除冰的基本原理是降低水的固（冰）-液两相冰点。防冰液极易溶于水；但是冰与防冰液接触时，不易溶解防冰液（FPD）或融化。当冰、雪或霜在飞机表面堆积时，固相会被一定量的防冰液反复溶解。热混合液的热能会大大加快此进程。当冰溶解时，防冰液与水混合，稀释防冰液。随着防冰液的稀释，所得的混合液开始流失。若冰没有完全溶解，则需要执

行额外的防冻程序，使防冰液覆盖满飞机表面。当所有的冰溶化时，所得的液体即为水与防冰液的混合液。温度稍微降低时，形成的保护膜就会冻结（开始结晶）。

表 3-2 商用防冰液的整体特性

通用名称	主要有效成分	黏度	主要用途	备注
ISO I 型	丙二醇/二甘醇/乙二醇	低	除冰	OAT < -10°C (14°F) 时禁止使用未经稀释的丙二醇基防冰液。可能会导致飞机性能的改变。
ISO II 型	添加聚合物增稠剂的丙二醇/二甘醇/乙二醇	高或低	除冰和防冰	用于 VR > 85 节的飞机；相对于 I 型防冰液，防冰保护时间大大延长
ISO III 型	添加聚合物增稠剂的丙二醇/二甘醇/乙二醇	低	除冰和防冰	提供更好的空气动力性能（容易流掉），是设计用于小型通勤飞机和低抬轮速度飞机的
ISO IV 型	添加聚合物增稠剂的丙二醇/二甘醇/乙二醇	高	除冰和防冰	可比 II 型除防冰液提供更长的保持时间

### 6.3.2 国际标准化组织（ISO）商用防冰液

ISO 商用防冰液最初被称作 AEA I 型和 II 型。这两种型号的防冰液经 ISO 标准根据其特性认证为 ISO #11075，“飞机除冰/防冰牛顿液 ISO I 型”和 ISO #11078，“飞机除冰/防冰非牛顿液 ISO II 型”。

#### A. ISO I 型防冰液

这些乙二醇含量至少 80% 的防冰液因其相对较低的粘度而被认为是“不可增稠的”。ISO I 型防冰液可用于除冰和防冰，但其防冰保护的能力非常有限。

#### B. ISO II 型防冰液

这些乙二醇含量至少 50%的防冰液在添加增稠剂后会呈现除一种更黏稠的状态，能够在飞机表面保持直至起飞，因此被认为是“可增稠的”。ISO II 型防冰液可用于地面除冰和防冰，与 I 型防冰液相比，在飞机易积冰的条件下能够提供更好的防冰、雪或霜的保护。

ISO II 型防冰液针对 VR 大于 85 节的飞机的除防冰设计。与其他除冰或防冰液一样，除非得到飞机厂商许可，否则无论抬轮速度是多少，都禁止使用 ISO II 型防冰液。由于具有高黏度以及假塑性，ISO II 型是有效的防冰液。这些防冰液设计旨在地面操作或短停期间能在飞机大翼上保持，从而提供一定的防冰保护，而在起飞时极易从飞机上流下。当这些防冰液受到剪切应力时，例如起飞滑跑期间，其黏度急速降低，使得液体从大翼上流下，并且对飞机的空气动力性能的几乎不会产生不利影响。

ISO II 型防冰液的防冰能力取决于其假塑性，不合适的除冰/防冰设备或操作会改变假塑性。测试表明，若使用的设备不当，ISO II 型防冰液的防冰能力会损失 20%-60%。

### C. ISO III 型防冰液

与 II 型防冰液特性相似，III 型防冰液是经过黏化处理的液体，当它做为 I 型液体的可能替代品时，可以提供更长的保护时间。

III 型防冰液可以提供更好的空气动力性能（容易流掉），是设计用于小型通勤飞机和低抬轮速度飞机的。III 型防冰液既可以

用做一步除防冰操作的单一液体，也可以和 II/IV 联合使用，作为两步除防冰操作的第一步骤液体来使用。

#### D. ISO IV型防冰液

IV型防冰液中含有至少 50%的乙二醇并有增稠剂，因其具有形成保护膜的特性而可以对飞机再次积冰提供额外的保护。

IV型防冰液可比 II 型防冰液提供更长的保持时间，它既可以用做一步除防冰操作的单一液体，也可以与 I 除防冰液联合使用，作为两步除防冰操作的第二步骤液体来使用。

### 6.3.3 防冰液的特性

#### A. 防冰液的化学组成

商用防冰液属于乙二醇或丙二醇族。各个厂家的防冰液的确切成分属于专利。有些商用防冰液不包含乙二醇或者乙二醇衍生物，例如加有少量添加剂和水的二甘醇，理解这一点是非常重要的。由于一些特殊客户的需要，防冰液厂商会依照其要求预混合防冰液水溶液。在使用防冰液溶液之前，必须要仔细检查其物料编号确认防冰液的成分，并通过质量控制检查确定提供的防冰液符合客户的要求。防冰液厂商可以提供质量控制检查建议的所需设备和方法。希望飞行员理解有效的质量控制的重要性。

#### B. 防冰液的冻结特性

防冰液用于飞机之前，使用者有必要知道并理解其冻结特性。这些特性可以通过了解防冰液采购的规格和容差以及质量控制检查来判断。防冰液需要经厂商预混合（用水稀释）或供应方

混合。为了保证明确防冰液的冻结特性，使用前需要分析最终混合液样品。

### C. 防冰液的使用浓度

若使用前要采取合适的防护措施，例如以上概括的措施，则需要知道防冰液成分，例如乙二醇，与水混合的浓度或比例。需要注意到防冰液的浓度是影响其除冰效果的一个关键因素，它关乎防冰液的有效时间（保持时间）。

附件中表 3-3、3-4 和 3-5 分别列出了 ISO I 型、ISO II 型和 IV 型防冰液受天气条件和 OAT 影响时所能保持的时间的关系。

在无降水的条件下禁止使用纯（100%）乙二醇或者纯丙二醇液体。以下是关于此项注意的解释。

乙二醇的冰点比水和乙二醇的混合溶液高得多。

全浓度（未稀释）的丙二醇在温度低于 $-10^{\circ}\text{C}$ 时甘醇的浓度达到了 88%。这时的粘稠性是相当高的。研究发现，这种形式下的丙二醇液体能够导致升力损失大约 20%。除非飞机制造商特别推荐，不建议在未经稀释的状态下使用丙二醇防冰液。

### 6.3.4 温度裕度

总体上保持时间随着温度裕度的扩展而增加。因此，如果可以选择，使用温度裕度。温度裕度越高，要求使用越多甘醇。这样就增加了成本，并且增加收集和处理防冰液溢出和流走的负担。防冰液的混合和随之而来的裕度必须在考虑了以下根据优先权列出来的几个因素后决定。

- 安全
- 环境的影响
- 成本

对于 ISO I 型液，防冰液冰点的裕度应该越大越好，但不应该低于 10°C。

对于 ISO II 型液，冰点裕度不应低于国际标准组织推荐的。国际标准组织当前推荐的是周围温度低于-7°C的为 7°C，周围温度高于-7°C的为 3°C。6.3.5 影响保持时间的可变因素

这部分列出了某些会影响防冰液效果，尤其是当液体被降雨稀释这种情况的主要可变因素。这些主要可变因素包括：

- 飞机部件的倾斜角度，外形和表面粗糙程度；
- 周围环境温度；
- 飞机表面（表层）温度；
- 防冰液运用程序；
- 防冰液水溶液（浓度）；
- 防冰液薄膜层厚度；
- 防冰液温度；
- 防冰液类型；
- 接近其他飞机，设备或者结构的操作；
- 降雨类型和降水率；
- 防冰液的存在；
- 辐射冷却；

- 飞机表面的残余水汽；
- 相对湿度；
- 太阳能辐射；
- 风速和风向。

### 6.3.6 健康因素

飞行员必须清楚除冰和防冰液对健康潜在的影响，以保证在除冰和防冰的过程当中采取合适的防护措施，并更好保证乘客和飞行机组的身体健康。在除冰和防冰的过程当中应关闭所有客舱空气入口，以便将乘客和机组从所有防冰液的蒸汽中隔离开。暴露在防冰液的蒸汽或者悬浮微粒中都可能对眼睛造成短暂的刺激。在通风性差的区域暴露在乙二醇中将导致鼻子和喉咙刺激、头痛、恶心、呕吐和眩晕。

所有甘醇在跟眼睛或者皮肤接触的时候都会引起刺激。尽管这种刺激被描述为“微不足道的”，化学制造商建议避免皮肤与防冰液接触，并在执行正常除冰操作时穿戴保护性衣服。

甘醇和二甘醇对于人类具有中度毒性。吞食少量的甘醇或二甘醇可能导致腹部不适和疼痛，眩晕，并对中央神经系统和肾脏造成影响。因为防冰液中的甘醇和水以及其他添加剂可以产生充分的稀释，除冰人员不太可能吸收接近致命剂量（90ml 到 120ml 纯甘醇）的防冰液。关于对健康的影响以及对任何商用防冰液应采取的合适安全保护措施，这方面的详细信息位于该液体的材料安全数据表格中，该表格可从液体制造商获得。对于提供除冰或

者防冰服务的操作者也应进行记录存档。

## 6.4 除冰和防冰程序

### 6.4.1 除冰和防冰程序

根据飞机表面累积物类型以及飞机型号的不同，飞机在地面的除冰和防冰操作程序也相应不同。飞机运营人普遍使用相类似的程序，并且是以飞机制造商建议的程序作为基础的。而飞机制造商建议的程序反过来又是基于液体制造商、发动机制造商和国际标准组织所建议的程序的。

飞行员的训练可以通过使用手册、影片和一定程度上的现场观察。机长完全理解有效的除冰和防冰程序是非常有必要的。既然机长负责保证关键飞机表面在起飞前无冰、雪或者霜，那么就要求每年所有飞行员复习一次这些程序，以保持除冰和防冰方法的最新知识。飞机可以通过任何合适的人工方法进行除冰，包括使用水、防冰液、或者防冰液和水的溶剂。加热这些液体增加了除冰的效果；然而，防冰的过程当中，未加热的液体更加有效。国际标准组织的 II 型液比 I 型液在提供防冰保护上更加有效。

除冰和防冰的过程可以由一步或者两步来完成。这取决于预先确定的惯例、常见的天气情况、使用的防冰液的浓度，以及可用的除冰设备设施。

一步的程序通过使用一种加热的防冰液混合物，或者某些情况下也可以使用未加热的防冰液混合物。这个过程当中，残余的

防冰液薄膜层提供一种非常有限的保护。这种保护的加强可以通过在除冰过程中使用冷却液体或者使用可以冷却热液体的技术手段。

两步的程序包括了除冰和防冰。除冰通过使用热水，或者防冰液和水的混合物。当决定使用何种液体时要考虑外界天气情况和要从飞机上清楚的积累物的类型。第二步防冰涉及了在飞机关键表层使用国际标准组织的 II 型液和水的混合物。

当除冰过程中使用加热的水时，第二步必须在再次结冰发生之前就完成——一般情况下是在开始除冰步骤之后的 3 分钟内。如果需要，这个过程可以一个步骤一个步骤来完成。如同任何一种除冰或防冰液，国际标准组织的 II 型液只有在飞机制造商允许的情况下才可以使用。国际标准组织的 II 型液是设计来用在  $V_r$  超过 85 节的飞机上。这是为了在起飞过程中保证该液体充分的吹脱。

附件中的表格 3-6 和 3-7 就包括了由国际标准组织发展起来的建议。

国际标准组织的 II 型防冰液在任何情况下都不能以浓缩（未掺水）的形式应用在飞机的以下区域：

- 皮托头和迎角传感器；
- 操纵面的凹槽；
- 驾驶舱侧窗和前机身；
- 机头下方雷达罩的底部；

- 静压口；
- 进气口；
- 发动机。

由于防冰液与降水或者融化的冰混合而在飞机表面产生的残余液体的冰点必须不低于附件中表 3-6 和表 3-7 中的值。

#### 6.4.2 除冰/防冰代码的推荐使用

地面除冰,防冰并由合格人员检查之后提供给飞行机组的信息必须包括最终使用的液体覆盖层的类型、液体的混合(容量百分比)、以及运用时间。这个可以通过四个参数组成的代码提交给飞行员,例如以下的例子。

参数 A 详述 I 型液或者 II 型液

参数 B 详述液体/水混合物中液体的比例(比如, 75/25=75%液体和 25%水)

参数 C 详述最终开始除冰/防冰步骤的当地时间(比如, 13:30)

参数 D 详述日期(日期,书写的月份,年)(比如, 2013.12.31)

这些参数推荐在记录保持中使用,在飞行机组通告中可以选择使用。

以下是除冰/防冰信息版式的例子:

- II 型液 - 100/0 - 11:00 - 2013.3.16
- II 型液 - 75/25 - 13:30 - 2013.4.20
- I 型液 - 70/30 - 09:42 - 2013.2.17

### 6.4.3 飞机表面的除冰

一架飞机在容易产生结冰（图 3-2）的天气下必须进行系统的除冰和防冰。每架飞机的表层都要求通过特定的技术来获得清洁飞机。

机翼是飞机产生升力的主要操纵面，为了有效操作必须保证机翼无污染物。随着高空风结霜、雪、或者冰的累积，机翼上方气流特性改变，从而减小了升力，增加阻力，增大了失速速度并改变了俯仰力矩。重量的增加比较轻微，其产生的效果次于表面粗糙导致的效果。

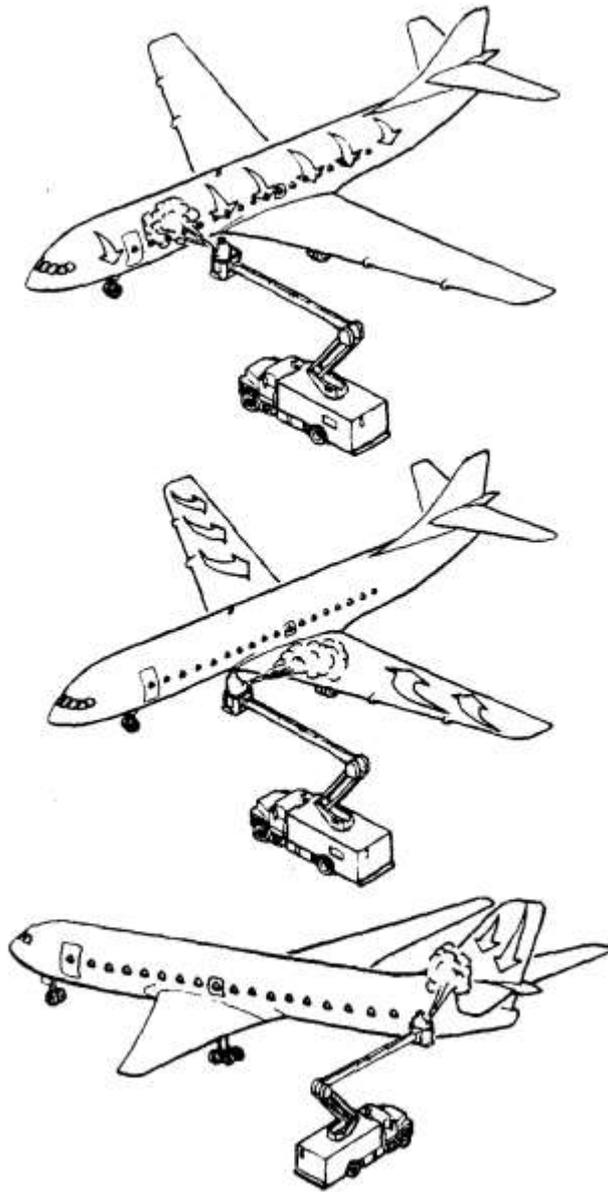


图 3-2 在容易产生结冰情况下的系统除冰

在大部分飞机上，机翼防冰必须从翼尖前缘开始，往后方内侧展开。这个过程避免了增加外侧机翼部分的雪载荷。这种载荷在某些大雪的天气情况下可能产生对机翼产生过大的压力。这种方法减小了冰或积雪扫进空隙的可能性。

如果在某些区域比如襟翼滑轨和操纵面空隙中存在结冰，可能有必要从机翼后缘往前喷洒。同时，在某些天气条件，或者停

机坪状况下，也是有必要从机翼后缘开始喷洒。

机翼可放出的操纵面（比如，前缘缝翼和后缘襟翼）在登机口处或者过夜时应收回，以避免积累霜、雪、或者冰。操纵面在要求除冰和防冰的天气情况下放出后，应该进行目视检查，以保证操纵面，轨道，铰链，密封处，和作动器在收回前不受任何污染。襟翼和缝翼在除冰时收回不会吸收防冰液的保护薄膜层，在降水或者结霜的情况下可能会结冰。最恰当的缝翼和襟翼管理程序可咨询飞机制造商来确定。

操纵面空隙和缺口密封处必须进行检查以保证干净以及合适的排水。如果操纵面结合处确实收集有污染物，必须将其清除，防止密封处冻结以及阻碍操纵面的移动。

机身除冰和防冰必须从上到下。人工清洁机身上部而不是喷洒，要求人员在除冰时谨慎不要损坏伸出的设备（比如，天线）。首先用加热的防冰液喷洒上部分，这允许液体往下流，对机身侧边进行加温，并清除污染物。这应用在对飞机的窗户和风挡的除冰上也是有效的，因为直接喷洒在这些表面上会导致热量冲击，从而导致窗户破裂或出现裂纹。

对于中心线安装在后方和发动机安装在机身的飞机来说，对机身上方的除冰尤其重要。冰或者雪进入到发动机可能导致压缩机失速或者对发动机造成损坏。

飞机雷达罩或者机头必须进行除冰，防止起飞过程中积雪或者积冰投射到机组的视野范围内。这个区域同时包括了导航和引

导设备；因此必须保证其没有累积物以保证这些传感器的恰当运行。

同时，必须采取特定的预防措施来保证滑行或者起飞时残液不进入敏感仪器或者流过驾驶舱窗户。

为保证恰当操作，货舱门和登机门也必须进行除冰和防冰。所有的铰链和滑轨必须检查没有累积物。尽管在地面时累积物可能不会对操作造成妨碍，但在飞行高度时可能会结冰，并阻碍飞机在目的地的正常操作。冻结的累积物也可能对货舱门和登机门的舱口造成损坏或者泄漏。

沿着机身分布的传感器洞孔和探头在使用防冰液时要求谨慎。直接喷洒到这些开口和随着产生的残留液会导致错误的仪表读数。同时，使用时保护盖没有取下来，也会产生错误的仪表读数。

#### 6.4.4 发动机区域除冰

发动机区域和 APU 的除冰应该尽可能使用少量的防冰液。APU 上的防冰液会在客舱引起烟雾和水汽。发动机进气区域在关车后必须马上检查是否存在结冰。发动机在冷却时以及使用插销和覆盖之前必须清除聚集物。必须清除水的聚集防止压缩机冰冻。在插销上使用一层薄的防冰液可以防止插销冻结在发动机舱。

发动机风扇或者压缩机叶片上面的液体残留物会降低发动机性能或者导致失速或喘振。除此之外，也这增加了甘醇蒸汽通

过发动机引气系统进入飞机的可能性，或者增大了进入的甘醇蒸汽量。

大部分涡轮喷气发动机和涡轮螺旋桨发动机的制造厂家建议，某些飞机飞行手册也要求，地面运行时推力手柄定期地前推至 N1 转数在 70%到 80%之间。这样可以防止形成冰，而形成冰会导致推力减小，风扇或压缩机的空气动力不平衡，或者诱发过多的冰脱落。飞行员必须清楚这些运行程序，并遵循适应该飞机的程序。

#### 6.4.5 明冰现象

某些飞机在机翼上表面整体油箱附近形成了明冰。这种冰在很多情况下难以观察到，除非徒手去触摸或者使用特殊用途的结冰探测器。这些现象主要发生在飞机在高高度飞行足够时间，燃油冷浸在油箱中，并且飞机在下雨或高湿度的目的地机场时油箱仍然有足够的剩余燃油接触到机翼上层。机翼上层的霜冻在相对高湿度的情况下也可能结冻。

在任何一种情况下，机翼上表面形成的冰或雪在起飞前必须清除。起飞前要增加表面温度防止形成冰。这可以通过加暖和的油来实现。

这种类型形成的明冰会引起飞机性能改变，在抬轮或起飞期间导致挣脱迸发，在某些型别飞机上导致发动机损坏，这主要是针对发动机装在后面的飞机。

#### 6.4.6 在离场跑道终端除/防冰

在离场跑道终端除冰和防冰具备明显的优势。这体现在：

- 减少除/防冰和起飞之间的时间；
- 促进防冰液在除冰混合中的再循环；
- 减少潜在的环境影响；
- 促进了离场时在当前环境条件下正确运用防冰液/水比例。

这项惯例在有合适的设备和有合格的实施人员的时候多被鼓励使用。它不应该被用来代替起飞前检查，除非刚刚好就是在起飞前操作了这项惯例。

#### 6.4.7 贯彻清洁飞机概念的技术

建立训练项目来持续更新飞行员在以下几个方面的认知：冬天运行的危害，冰的形成对飞机性能和飞行特性的不利影响，防冰保护设备的恰当使用，地面除冰和防冰程序，地面除冰或者防冰之后的起飞前程序，以及在容易产生飞机结冰的条件下的运行。

为维护人员或者其他执行飞机除冰的人员建立训练项目来保证相关人员对于以下内容具备充分的认知：冰的形成对飞机性能和飞行特性的不利影响，关键构件，每个型别飞机的特定地面除冰/防冰方法，以及地面除冰和防冰设备的使用，包括非正常操作情况的探测。

建立质量保证项目，保证购置到的和在使用的防冰液具备合

适的特性，保证使用恰当的地面除冰和防冰程序，保证检查所有关键区域，保证离场前飞机的所有关键部位都是清洁的。

对于地面除冰活动做好充分的计划。保证在预报气象条件下具备合适的供应和设备，保证责任已具体划分并被充分理解。这也要包括维护服务合约。

密切监控天气情况以保证计划的信息在地面除冰或者防冰过程中以及随后的飞机运行中是有效的。防冰液的类型以及浓度，除冰或者防冰程序，以及离场计划都要做相应的修改。

从驾驶舱可见的除冰或者防冰区域优先执行，这样飞行员在起飞前检查的时候能确保飞机的其他区域是清洁的。首先除冰或者防冰的区域一般情况下都是先结冰的。

对积冰首先被清除的区域使用两步除冰流程，其次飞机所有关键部件涂上一层合适的防冰液混合物，来延长防冰的效果。

确保充分协调地面除冰和防冰的流程，这样可以在起飞前提供最后处理方案。

如可行，提供并使用起飞位置附近的除冰点执行除冰、防冰、最后检查，来缩短除冰和起飞之间的时间。

在降水时使用多台除冰车，以便取得更快速和统一的处理。

使用飞机制造厂家批准使用的防冰液。有些液体不一定跟飞机材料和成品相容，也有些液体的特性会影响飞机性能和飞行特性，或者导致飞行操纵面不稳定。

在气动除冰带上使用的替代品（为了提高除冰性能），须经

飞机制造厂家批准使用。

使用在常见天气条件下可以尽可能长时间推迟形成冰的防冰液的类型和浓度。

## 附件一 定义

**绝热冷却：**是气团冷却的一个过程。当气团在上升的过程中，压力随着海拔升高而降低。压力的降低使气团体积膨胀，因为没有能量的增加，气团冷却以保证能量平衡。

**明冰：**明冰是光滑、透明或半透明的积冰，是由较大的过冷水滴以相对比较慢的速度冻结形成。术语“透明”和“光滑”基本上被用于同种类的积冰，但是也有人认为“透明”仅限于用于缺少棱角和附着于翼型上的薄冰。

**冷锋：**以冷空气取代暖空气方式移动的任何非锢囚锋。

**对流：**对流是大气主要在垂直方向上的运动，引起大气特性交错和混合。

**积云：**积云常被定义为以分离的拱形或塔状形式存在的云。积云是以上升云丘的形式垂直地发展，在膨胀云丘的上部好像花菜，被阳光照射的这部分云体通常是雪白明亮的。而底部可能相对阴暗且几乎是水平的。

**冻毛毛雨：**毛毛雨在地面以降水、空中以液态水滴存在的，其直径大于 0.05 毫米小于 0.5 毫米。冻毛毛雨是气温低于 0°C（过冷）的毛毛雨，仍以液态的形式存在，在地表或空中冻结在接触物上。

**冻雨：**雨在地面以降水、空中以液态水滴存在的，其直径

大于 0.5 毫米。冻雨是气温低于 0° C（过冷）的雨，仍以液态的形式存在，在地面或空中冻结在接触物上。

**锋：**锋是两个气团的分界。可被分为冷锋，暖锋，锢囚锋和静止锋。

**严重结冰：**快速积累的冰需要最大程度上使用结冰保护系统以使机身上的积冰减到最少。供参考的典型积冰速度为外侧机翼每小时大于 7.5 厘米。飞行员需要考虑立即脱离这种环境。

**冰晶：**高浓度的冰晶常被发现在对流天气系统附近，能在涡轮发动机中增加使得功率损失。通常冰晶并不能被传统的结冰探测器或机载雷达探测到，并且不会依附于机身外表面。在层云和卷云中的浓度较低，对涡轮发动机不会造成威胁。

**结冰包线：**这些结冰包线可以在 CCAR-2 部附件 C 中找到，用于飞机在结冰条件下飞行的认证。其中详细说明了依据高度、温度、液体含水量（LWC）和由中值体积直径（MVD）描述的液滴粒径的大气结冰情况。包线使用了平均有效直径（MED），但这等同于在当时包线建立时用于设备和当前假设的中值体积直径。有两种结冰条件：连续最大值和间断最大值。连续最大值用于层云，间断最大值用于卷云。

**撞击：**液滴在飞机表面的碰撞和附着。撞击率是给定大小的液滴冲击一个特定的表面的速率。通常大液滴的撞击率要

高于较小液滴，比如天线。

**轻度结冰：**这种结冰速度需要偶尔循环使用手动除冰系统以减少机身上结冰的形成。供参考的典型结冰速度为外侧机翼为每小时 0.6 到 2.5 厘米。飞行员应考虑脱离这种环境。

**液体含水量 (LWC)：**在单位云量内的所有液体水滴的总含水量。讨论 LWC 常使用每立方米空气中含水总量。

**中值体积直径：**中值体积直径是在一个云体区域一半的液态水所包含的是小水滴，一半是大水滴。

**毛冰：**毛冰指的是雾凇和明冰同时出现，或形成有雾凇和明冰两种特征的结冰。

**中度结冰：**中度结冰的速度需要频繁地循环使用手动除冰系统以减少机身上结冰的形成。供参考的典型结冰速度为外侧机翼为每小时 2.5 到 7.5 厘米。飞行员应尽快脱离这种环境。

**锢囚锋：**由冷锋追上暖锋使暖空气上升高于地表形成了锋。当一个气团被挤在两个冷气团之间被迫上到更高的高度这就形成了锢囚（或锋面锢囚）。

**地形云：**由气流沿着上坡地形并被绝热冷却而形成的云称为地形云。

**外界大气温度：**测量或指示大气温度修正了压缩和热摩擦，也被称为真正的大气温度。

**雾凇：**粗糙、浑浊、不透明的冰，由小的过冷水滴瞬时冻结而成。

**槽型结冰：**冻结的或重新冻结的水离开有防冰保护的表面去到未受保护的表面上所形成的冰称为槽型结冰。

**极严重结冰：**冰快速累积以至于结冰保护系统不能除掉积累的冰，在通常不容易形成结冰的位置结冰，例如受保护表面的尾部区域或制造商确定的其它区域。必需从这种环境中马上脱离。

**滞点：**滞点是在表面上局部气流速度为零的点。最大结冰收集系数带接近这一点。

**静止锋：**静止锋是基本很少或没有移动的锋，由两个相反作用力的气团达到平衡所形成。

**层云：**形成有相同底层层次的云称为层云。层云以不规则破碎云块出现并可能伴随有毛毛雨，雨或雪。

**升华：**冰没有变成液态而直接变成水蒸气的过程。

**过冷大水滴（SLD）。**直径超过 50 微米（0.05 毫米）的过冷液滴。SLD 条件包括冻毛毛雨滴和冻雨滴。

**总温：**运动升温使总温（TAT）温度高于静温。TAT 接近机翼前缘温度，机翼前缘也会出现冲压温度上升。

**微量结冰：**结冰是可见的。结冰累积的速度稍大于升华

的速度。供参考的典型结冰速度为外侧机翼小于 6 毫米每小时。飞行员在情况变得更糟之前应考虑脱离结冰条件。飞行员应该意识到任何结冰，即使是少量的，都有潜在的危险。

**暖锋：**以暖空气取代冷空气方式移动的任何非锢囚锋。

**白洞效应：**一种由于大朵浓密云团覆盖住积雪而产生的极地大气状况，此种情况下来自上空的光线几乎与从下界映射的光线相等，特征为没有阴影，辨认不清地平线，只能认出非常黑的物体

**假塑性：**是指流体的粘度随剪应变率的增加而减小。拥有此种性质的流体属于非牛顿流体，其剪应力与剪应变率之间的关系可通过幂律函数来表示。熔岩、番茄酱、生奶油、血液、颜料、指甲油等都有假塑性。又称为剪切稀化。

## 附件二 积冰检查单

以下检查单包含特殊除冰项目，这些项目要在可能的结冰条件时予以考虑。该检查单的目的是为飞行员提供更多信息。该检查单不能代替或取代 AFM 或飞行员操作手册。

### 1.1 未经适航认证或未配备足够设施在结冰条件下运行的航空器

#### 1.1.1 飞行前

A. 永远要获取飞行前天气简报。评估云的类型、云底高和云顶高、降水类型、结冰等级和飞行员报告。检查相关的对流重要气象资料 (SIGMETS);

B. 在飞行包中加入下列设备，如具备闪光功能的高强度手电筒、全新的备用电池和无线电收发器;

C. 在飞行前计划中，确定一些沿飞行航路备降机场以备遇到计划外天气时使用。如果可能的话，选择跑道足够长的机场;

D. 要知道如何脱离结冰条件（比如，爬升或下降到较温暖的地方，或做一个 180 度转弯等);

E. 在飞行前检查的时候，清除航空器上所有的冰、霜、雪;

F. 检查皮托管加热是否工作正常;

G. 检查皮托管/静压孔开口处、放油阀、失速警告传感器

以确保它们没有被冰堵塞；

H. 清除刹车片轮毂整流罩上积累的冰和雪；

I. 从外部检查操纵面，防止冰雪造成卡滞；

#### 1.1.2 滑行/起飞/飞行中

A. 滑行时小心地使用刹车，防止打滑；

B. 确保汽化器加热或备用气源工作正常；

C. 检查操纵杆、操纵舵面能在全操纵行程内运动自如；

D. 配备涡轮发动机的飞机：在滑行中进行甩脱积冰时，请按照 AFM 程序要求，执行常规涡轮发动机试车；

E. 起飞后，如果厂家商建议的话，可以周期性地收放起落架以清除轮舱内沾染的积雪或泥浆；

F. 在飞行过程中，监测发动机转速。转速下降或管道压力的下降可能表明进气道结冰。如果需要的话，使用汽化器加热或备用气源；

G. 如果在飞行中遇到冰，立即脱离结冰区；

H. 使用目视判断冰的形成。如果机翼上有积冰形成，则可能平尾和垂尾也有积冰；

I. 对任何性能或操纵的降级保持警觉，这些可能是积冰的标志；

J. 由结冰引起的尾部失速和机翼失速，在改出程序上是相反的；

K. 如果使用自动驾驶仪，在工作量许可时，定期脱开自

动驾驶，手动飞行，以确定可能的操纵变化或由积冰造成的卡阻；

### 1.1.3 进近和着陆

A. 当改变飞机的形态的时候，要准备好可能会出现意外的姿态变化。如果飞机的性能特征发生变化，回到原先的形态；

B. 如果在水平尾翼上结冰的情况下着陆，使用一个较高的进近速度，执行无襟翼着陆。可能的话，使用长跑道；

C. 接地时，谨慎使用刹车，以防止打滑；

## 1.2 经适航认证或配备足够设施以在结冰条件下飞行的活塞式飞机

### 1.2.1 飞行前

A. 永远要获取飞行前天气简报。评估云的类型、云底高和云顶高、降水类型、结冰等级和飞行员报告；

B. 在飞行包中加入下列设备，如具备闪光功能的高强度手电筒、全新的备用电池和无线电收发器；

C. 在飞行前计划中，确定一些沿飞行航路备降机场以备遇到计划外天气时使用。如果可能的话，选择跑道足够长的机场；

D. 要知道如何脱离结冰条件（比如，爬升或下降到较温暖的地方，或做一个 180 度转弯等）；

E. 在飞行前检查的时候，清除航空器上所有的冰、霜、

雪；

F. 检查皮托管加热和静压孔加热是否正常；

G. 检查皮托管/静压孔开口处、放油阀、失速警告传感器以确保它们没有被冰堵塞；

H. 循环打开除冰/防冰系统，检查工作是否正常；

I. 清除刹车片轮毂整流罩上积累的冰和雪；

J. 从外部检查操纵面，防止冰雪造成卡滞；

### 1.2.2 滑行/起飞/飞行中

A. 滑行时小心地使用刹车，防止打滑；

B. 确保汽化器加热或备用气源工作正常；

C. 检查操纵杆、操纵舵面能在全操纵行程内运动自如；

D. 配备涡轮发动机的飞机：在滑行中进行甩脱积冰时，请按照 AFM 程序要求，执行常规涡轮发动机试车；

E. 起飞后，如果厂家商建议的话，可以周期性地收放起落架以清除轮舱内沾染的积雪或泥浆；

F. 防冰/除冰系统的正常操作，请参阅 AFM 或飞行员操作手册。但在温度距离冰点还有一定距离的时候，一看到水气便应立即打开防冰系统。除冰系统应当在发现积冰的第一时间启动；

G. 使用目视判断冰的形成。如果机翼上有积冰形成，则可能平尾和垂尾也有积冰；

H. 对任何性能或操纵的降级保持警觉，这些可能是积冰

的标志；

I. 由结冰引起的尾部失速和机翼失速，在改出程序上是相反的；

J. 如果使用自动驾驶仪，在工作量许可时，定期脱开自动驾驶，手动飞行，以确定可能的操纵变化或由结冰造成的卡阻；

### 1.2.3 进近和着陆。

A. 当改变飞机的形态的时候，要准备好可能会出现意外的姿态变化。如果飞机的性能特征发生变化，回到原先的形态；

B. 如果在水平尾翼上结冰的情况下着陆，使用一个较高的进近速度，执行无襟翼着陆。可能的话，使用长跑道；

C. 接地时，谨慎使用刹车，以防止打滑；

## 1.3 涡轮螺旋桨飞机

### 1.3.1 飞行前

注：专业飞行机组飞行复杂的、高性能的飞机应该始终参考 AFM 或飞行员操作手册和公司的指导材料。这些资料是进入结冰条件下的飞行程序的权威。

A. 地面除冰作业，请参阅公司手册；

B. 永远要获取飞行前天气简报。评估云的类型、云底高和云顶高、降水类型、结冰等级和飞行员报告；

C. 在地面结冰条件下，飞行前对飞机积冰情况的检查必

不可少。对于部分航空器，触摸检查是强制性的，并且这种方法有助于检测明冰。通过与检查面的物理接触，能够发现肉眼不容易看见的细小污染物。请参阅 AFM 或飞行员操作手册来决定您的航空器是否强制要求触摸检查；

D. 清除航空器上所有的冰、霜、雪；

E. 检查皮托管加热和静压孔加热是否正常；

F. 检查皮托管/静压孔开口处、放油阀、失速警告传感器以确保它们没有被冰堵塞；

G. 循环打开除冰/防冰系统，检查工作是否正常；

H. 清除刹车片轮毂整流罩上积累的冰和雪；

I. 检查涡轮发动机的进气口，并清除发动机吊舱入口、排水口以及风扇叶片附近的任何积冰；

### 1.3.2 滑行/起飞/飞行中

A. 滑行时小心地使用刹车，防止打滑；

B. 检查操纵杆、操纵舵面能在全操纵行程内运动自如；

C. 起飞后，如果厂家商建议的话，可以周期性地收放起落架以清除轮舱内沾染的积雪或泥浆；

D. 防冰/除冰系统的正常操作，请参阅 AFM 或飞行员操作手册。但在温度距离冰点还有一定距离的时候，一看到水气便应立即打开防冰系统。除冰系统应当在发现积冰的第一时间启动；

E. 使用引气的功率设置应当遵循飞行员操作手册或者

AFM 相关章节；

F. 配备涡轮发动机的飞机：在滑行中进行甩脱积冰时，请按照 AFM 程序要求，执行常规涡轮发动机试车；

G. 使用目视判断冰的形成情况，并适时检查除/防冰系统保护区域后方的积冰情况；

H. 要对机翼上的积冰引起足够重视，这些可能会造成操纵问题；

I. 如果有使用机翼防冰系统的必要，则平尾和垂尾也可能积冰；

J. 由结冰引起的尾部失速和机翼失速，在改出程序上是相反的；

K. 如果使用自动驾驶仪，在工作量许可时，定期脱开自动驾驶，手动飞行，以确定可能的操纵变化或由积冰造成的卡阻；

L. 使用空速游标来辅助监控速度的变化；

### 1.3.3 进近和着陆

A. 当改变飞机的形态的时候，要准备好可能会出现意外的姿态变化。如果飞机的性能特征发生变化，回到原先的形态；

B. 确定是否有冻雨或冻毛毛雨的报告，禁止飞入这些区域。地面观测到的冰颗粒表明高高度可能存在冻雨冻或毛毛雨区，所以要避免进入这些区域。当温度在冰点附近的时候，

地面观测到的任何形式的降水表明高高度可能存在冻性降水，要警惕可能存在严重结冰条件；

C. 如果在结冰的情况下着陆，使用一个较高的进近速度，可能的话，使用更长的跑道；

D. 如果已经结冰，拉平时不要完全收光油门，使用比平常更高的平飘速度，使用长跑道；

E. 在转入五边进近之前启动除冰带；

F. 接地时，谨慎使用刹车，以防止打滑；

## 1.4 喷气飞机

### 1.4.1 飞行前

注：专业飞行机组飞行复杂的、高性能的飞机应该始终参考 AFM 或飞行员操作手册和公司的指导材料。这些资料是进入结冰条件下的飞行程序的权威。

A. 由于涡轮喷气飞机的性能允许飞机绕过或快速通过飞行中遇到的结冰区，结冰威胁也更多地体现在起飞阶段，因此应特别注意地面除冰；

B. 地面除冰操作，请参考公司的程序；

C. 确保防冰液不要喷入发动机、辅助动力装置（APU）、皮托管进气口、探头开口或静压口；

D. 不要把热防冰液喷到冷的风挡上；

E. 防冰液烟雾是有毒的。如果喷洒时机上有乘客，要关闭所有外部通风口；

F. 永远要获取飞行前天气简报。评估云的类型、云底高和云顶高、降水类型、结冰等级和飞行员报告；

G. 在地面结冰条件下，飞行前对飞机积冰情况的检查必不可少。对于部分航空器，触摸检查是强制性的，并且这种方法有助于检测明冰。通过与检查面的物理接触，能够发现肉眼不容易看见的细小污染物。请参阅 AFM 或飞行员操作手册来决定您的航空器是否强制要求触摸检查；

H. 确保航空器上的冰、霜和雪被全部清除；

I. 确保通过加温保护的各种飞行信息预警传感器、迎角传感器、皮托管/静压孔等正常工作；

J. 检查皮托管/静压孔开口处、放油阀、失速警告传感器以确保它们没有被冰堵塞；

K. 循环打开除冰和防冰系统，检查运行是否正常；

L. 清除刹车片轮毂整流罩上积累的冰和雪；

M. 检查涡轮发动机的进气口，并清除发动机吊舱入口、排水口以及风扇叶片附近的任何积冰；

#### 1.4.2 滑行/起飞/飞行中

A. 检查操纵杆、操纵舵面能在全操纵行程内运动自如；

B. 防冰/除冰系统的正常操作，请参阅 AFM 或飞行员操作手册。但在温度距离冰点还有一定距离的时候，一看到水气便应立即打开防冰系统。除冰系统应当在发现积冰的第一时间启动；

C. 使用引气的功率设置应当遵循飞行员操作手册或者 AFM 相关章节；

D. 配备涡轮发动机的飞机：在滑行中进行甩脱积冰时，请按照 AFM 程序要求，执行常规涡轮发动机试车；

E. 使使用目视判断冰的形成情况，并适时检查除/防冰系统保护区后方的积冰情况；

F. 要对机翼上的积冰引起足够重视，这些可能会造成操纵问题；

G. 如果有使用机翼防冰系统的必要，则平尾和垂尾也可能积冰；

H. 由结冰引起的尾部失速和机翼失速，在改出程序上是相反的；

I. 如果使用自动驾驶仪，在工作量许可时，定期脱开自动驾驶，手动飞行，以确定可能的操纵变化或由积冰造成的卡阻；

#### 1.4.3 进近和着陆

A. 当改变飞机的形态的时候，要准备好可能会出现意外的姿态变化。如果飞机的性能特征发生变化，回到原先的形态；

B. 确定是否有冻雨或冻毛毛雨的报告，禁止飞入这些区域。地面观测到的冰颗粒表明高高度可能存在冻雨或冻毛毛雨区，所以要避免进入这些区域。当温度在冰点附近的时候，

地面观测到的任何形式的降水表明高高度可能存在冻性降水，要警惕可能存在严重结冰条件；

C. 如装有除冰带，在转入五边进近之前启动除冰带；

D. 依据飞行员操作手册和 AFM，如果机身已经结冰，使用较高的进近速度进行着陆，可能的话，使用更长的跑道；

E. 如果已经结冰，拉平时不要完全收光油门，使用比平常更高的平飘速度，使用长跑道；

F. 接地后，在结冰情况下谨慎使用刹车。

## 附件三 防冰液使用表格指导

这个附件包括了应用防冰液 I 型液和 II 型液的引导（以表格的形式）以及对持续时间的建议材料。这个信息随着补充数据的获得会持续进行改进。这些引导仅用于航空公司做为批准的地面除/防冰项目的一部分或结合使用。

表 3-3 ISO I 型混合液作为天气条件及 OAT 的函数时

预计持续效应时间的指南

外界大气温度 (OAT)	不同天气条件下持续效应时间的大约值 (小时: 分钟)						
	霜*1	冻雾	雪	冰冻细雨*2	小冻雨	雨落在浸冷的机翼上	其他*3
0°C(32°F) 以上	0: 45	0: 12 — 0: 30	0: 06 — 0: 15	0: 05 — 0: 08	0: 02 — 0: 05	0: 02 — 0: 05	
0°C至-10°C (32°F 至 14°F)	0: 45	0: 06 — 0: 15	0: 06 — 0: 15	0: 05 — 0: 08	0: 02 — 0: 05	注意: 无持续效应时间指南	
-10°C(14°F) 以下	0: 45	0: 06 — 0: 15	0: 06 — 0: 15				

\*1. 适用于为防止‘活性霜’而对航空器提供保护的天气条件。  
 \*2. 如果不能明确识别为‘冰冻细雨’, 则使用‘小冻雨’的持续效应时间。  
 \*3. 其他天气条件指: 大雪、雪丸、冰丸、冰雹、中冻雨和大冻雨。

注1——选用ISO I 型液/水混合液以使混合液的冰点至少在实际OAT的10°C(18°F)以下。  
 注2——在地面除冰/防冰时使用的ISO I 型液体并不是为了而且也不能够在飞行中提供结冰保护。

注意: 恶劣的天气条件将会缩短保护时间。大降水率或高湿度、大风或喷气发动机的喷射气流都可能使持续效应时间低于上述范围。飞机蒙皮温度低于OAT时, 持续效应时间也可能缩短。因此, 上述时间只能与起飞前检查结合起来使用。

OAT 外界大气温度                      °C 摄氏度    °F 华氏度

表 3-4 ISO II 型混合液作为天气条件及 OAT 的函数时

预计持续效应时间的指南

外界大气温度 (OAT)	用纯液体/水 (体积%/体 积%)表示的 ISO II 型液 的浓度	不同天气条件下持续效应时间的大约值 (小时: 分钟)						
		霜*1	冻雾	雪	冰冻细雨 *2	小冻雨	雨落在浸冷 的机翼上	其他 *4
0°C(32°F)以上	100/0	12:00	1:05-2:15	0:20-1:00	0:30-1:00	0:15-0:30	0:05-0:40	注意: 无持续效应时 间指南
	75/25	6:00	0:50-1:45	0:15-0:40	0:20-0:45	0:10-0:25	0:05-0:25	
	50/50	4:00	0:15-0:35	0:05-0:15	0:05-0:20	0:05-0:10		
0°C至 -3°C(32°F 至 27°F)	100/0	8:00	0:35-1:30	0:20-0:45	0:30-1:00	0:15-0:30		
	75/25	5:00	0:25-1:00	0:15-0:30	0:20-0:45	0:10-0:25		
	50/50	3:00	0:15-0:35	0:05-0:15	0:05-0:20	0:05-0:10		
-3°C至 -14°C (27°F 至 7°F)	100/0	8:00	0:30-1:05	0:15-0:35	0:15-0:45	0:10-0:30		
	75/25	5:00	0:20-0:50	0:15-0:25	0:15-0:30	0:10-0:20		
-14°C至 -25°C (7°F 至 -13°F)	100/0	8:00	0:15-0:20	0:15-0:30				
-25°C(-13°F) 以下	100/0	在-25°C(-13°F) 以下可以使用ISO II 型液, 只要液体的冰点至少低于实际OAT 7°C (13°F)并且满足空气动力学接受标准。在不能使用ISO II 型液时, 考虑使用ISO I 型液 (参见表3)。						

\*1. 适用于为防止‘活性霜’而对航空器提供保护的天气条件。

\*2. 如果不能明确识别为‘冰冻细雨’, 则使用‘小冻雨’的持续效应时间。

\*3. 对低于-10°C(14°F)的天气条件, 无持续效应时间指南。

\*4. 其他天气条件指: 大雪、雪丸、冰丸、冰雹、中冻雨和大冻雨。

注——在地面除冰/防冰时使用的ISO II 型液体并不是为了而且也不能够在飞行中提供结冰保护。

注意: 恶劣的天气条件将会缩短保护时间。大降水率或高湿度、大风或喷气发动机的喷射气流都可能使持续效应时间低于上述范围。飞机蒙皮温度低于OAT时, 持续效应时间也可能缩短。因此, 上述时间只能与起飞前检查结合起来使用。

°C 摄氏度      OAT 外界大气温度      °F 华氏度

表 3-5 ISO IV型混合液作为天气条件及 OAT 的函数时

预计持续效应时间的指南

外界大气温度 (OAT)	用纯液体/水 (体积%/体 积%)表示的 ISO IV 型 液的浓度	不同天气条件下持续效应时间的大约值 (小时: 分钟)						
		霜*1	冻雾	雪	冰冻细雨 *2	小冻雨	雨落在浸冷 的机翼上	其他*4
0°C (32°F) 以上	100/0	18:00	1:05-2:15	0:35-1:05	0:40-1:00	0:25-0:40	0:10-0:50	注意: 无持续效应时间 指南
	75/25	6:00	1:05-1:45	0:20-0:40	0:30-1:00	0:15-0:30	0:05-0:35	
	50/50	4:00	0:20-0:35	0:05-0:20	0:10-0:20	0:05-0:10		
0°C 至 -3°C (32°F 至 27°F)	100/0	12:00	1:05-2:15	0:30-0:55	0:40-1:00	0:25-0:40		
	75/25	5:00	1:05-1:45	0:20-0:35	0:30-1:00	0:15-0:30		
	50/50	3:00	0:20-0:35	0:05-0:15	0:10-0:20	0:05-0:10		
-3°C 至 -14°C (27°F 至 7°F)	100/0	12:00	0:40-1:30	0:20-0:40	0:20-0:55	0:10-0:30		
	75/25	5:00	0:25-1:00	0:15-0:25	0:20-0:55	0:10-0:30		
-14°C 至 -25°C (7°F 至 -13°F)	100/0	12:00	0:20-0:40	0:15-0:30				
-25°C (-13°F) 以下	100/0	在-25°C (-13°F) 以下可以使用 IV 型液, 只要液体的冰点至少低于实际OAT 7°C (13°F)并且满足空气动力学接受标准。在不能使用 IV 型液时, 考虑使用 I 型液 (参见表3)。						
<p>*1. 适用于为防止‘活性霜’而对航空器提供保护的天气条件。</p> <p>*2. 如果不能明确识别为‘冰冻细雨’, 则使用‘小冻雨’的持续效应时间。</p> <p>*3. 对低于-10°C (14°F)的天气条件, 无持续效应时间指南。</p> <p>*4. 其他天气条件指: 大雪、雪丸、冰丸、冰雹、中冻雨和大冻雨。</p> <p>注——在地面除冰/防冰时使用的ISO IV 型液体并不是为了而且也不能够在飞行中提供结冰保护。</p> <p>注意: 恶劣的天气条件将会缩短保护时间。大降水率或高湿度、大风或喷气发动机的喷射气流都可能使持续效应时间低于上述范围。飞机蒙皮温度低于OAT时, 持续效应时间也可能缩短。因此, 上述时间只能与起飞前检查结合起来使用。</p>								

°C 摄氏度      OAT 外界大气温度      °F 华氏度

表 3-6 I 型防冰液使用指南

环境温度 °C	一步除冰/防冰	两步除冰/防冰	
		第一步：除冰	第二步：防冰
≥-3	防冰液与水的混合液应加热至喷嘴处溶液温度大于 60°C，混合液的冰点至少应低于环境温度 10°C	用加热的水或防冰液与水的混合液，喷嘴处溶液温度应大于 60°C	混合液的冰点至少低于外界实际温度 10°C
<-3		防冰液与水的混合液的冰点不应高于环境温度 3°C	
<p>注：①机翼蒙皮的温度可以大大低于外界温度，在此情况下应使用更浓的混合液体（即更多的防冰液）；</p> <p>②一步除冰/防冰对于清洁的航空器使用冷的防冰液防冰；</p> <p>③两步除冰/防冰的防冰液应当在第一步防冰液结冰以前使用，典型的应当在 3 分钟之内。</p>			

表 3-7 II 型防冰液使用指南

环境温度 °C	一步除冰/防冰	两步除冰/防冰	
		第一步：除冰	第二步：防冰
≥-3	加热的 50/50 II 型防冰液	用加热的水或加热的 I 型或 II 型防冰液与水的混合液	II 型防冰液 50/50
-3~-14(含)	加热的 75/25 II 型防冰液	加热的 I 型或 II 型防冰液与水适当比例的混合液，其冰点不超过环境温度 3°C	II 型防冰液 75/25
-14~-25(含)	加热的 100/0 II 型防冰液		II 型防冰液 100/0
<-25	所选择的 II 型防冰液的冰点应至少低于环境温度 7°C。 当不能使用 II 型防冰液时，可以考虑使用 I 型防冰液。		
<p>注：①机翼蒙皮的温度可以大大低于外界温度，在此情况下应使用更浓的混合液体（即更多的防冰液）；</p> <p>②一步除冰/防冰对于清洁的航空器使用冷的防冰液防冰；</p> <p>③两步除冰/防冰的防冰液应当在第一步防冰液结冰以前使用，典型的应当在 3 分钟之内；</p> <p>④当油箱区域机翼下部显示有霜或冰时，不应使用 50/50 II 型防冰液对机翼进行防冰。</p> <p>⑤使用 100%的 II 型防冰液或者 75/25 混合液时，航空器的起飞抬头速度 (Vr) 应当大于 85 海里/小时 (158 公里/小时)。</p>			