



§ 6.3 飞机积冰

飞行事例1



1994年10月31日，当地时间约下午4点，西蒙斯航空公司4184航班，从印地安纳波里斯到芝加哥，飞机在有利于结冰的气象条件下等待了30分钟，突然翻滚并从大约10000英尺的高度坠下，猛冲入ROSELAWN附近的豆子地里，机上68人顷刻死去。

飞行事例2



1986年12月15日，西安管理局An-24-3413号机执行兰州—西安—成都往返航班任务。9时03分从中川机场起飞，9时05分飞机高度2700M，入云，有轻度积冰，9时11分上升到3470M，速度300KM/H，9时15分速度减到195KM/H，9时29分机组要求返航。飞机保持2600米高度飞回中川机场，当时结冰相当严重。9时53分，飞机仍在云中飞行，据气象台报告，云高600M，10时05分飞机降落时，由于下滑高度不正常而复飞，飞机保持约10-20米的高度在跑道上平飞。飞出跑道后，发现前面有一排树，左座又拉了一杆，飞机便带着25-30度的右坡度撞断了15棵树和1根电线杆之后触地。机上旅客37人，死亡6人。

概 述



- 一、飞机积冰的形成 •
- 二、飞机积冰的强度 •
- 三、产生飞机积冰的气象条件 •
- 四、积冰条件下的飞行 •

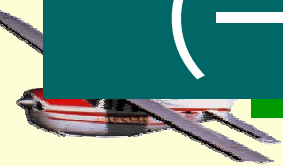


一、飞机积冰的形成

(一) 飞机上聚集冰层的机制 •

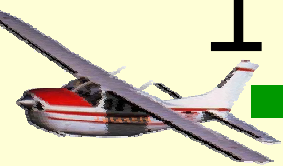
(二) 飞机积冰的种类 •

(一) 飞机上聚集冰层的机制



1. 飞机结冰的原理 •
2. 飞机结冰的过程 •
3. 飞机结冰的基本条件 •

1. 飞机积冰的原理



- 云中存在过冷水滴，过冷水滴是不稳定的，稍受震动，即冻结成冰。
- 当飞机在含有过冷水滴的云中飞行时，如果机体表面温度低于 0°C ，过冷水滴就会在机体表面某些部位冻结，并聚积成冰层。

2. 飞机结冰的过程



- 过冷水滴温度接近 0°C ：

冻结～蒸发～再冻结

- 过冷水滴较小，温度接近 -20°C ：

直接冻结



3. 飞机结冰的基本条件



- 气温低于 0°C ， 飞机表面的温度低于 0°C ， 和有温度低于 0°C 的水滴存在。



(二) 飞机积冰的种类



- 1.明冰 光滑透明、结构坚实。在 $0\sim-10^{\circ}\text{C}$ 的过冷雨中或大水滴组成的云中形成；
- 2.雾凇 不透明，表面粗糙。多形成在温度为 -20°C 左右的云中；
- 3.毛冰 表面粗糙不平，冻结得比较坚固，像白瓷，形成在温度为 $-5\sim-15^{\circ}\text{C}$ 的云中；
- 4.霜 飞机由低于 0°C 的区域进入较暖的区

明冰



明冰



雾 凇



飞机上的雾凇



霜



霜 未饱和空气与温度低于 0°C 的飞机接触时，如果机身温度低于露点，水汽在机体表面直接凝华而成

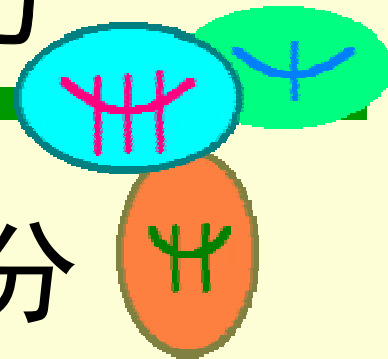
注：霜是在晴空中飞行时出现的一种积冰

二、飞机结冰的强度



- (一) 结冰强度的划分 •
- (二) 影响结冰强度的因子 •
- (二) 高速飞行时的结冰特点 •

(一) 结冰强度的划分



飞机结冰强度等级划分

结冰等级	弱结冰 	中结冰 	强结冰 	极强 
单位时间结冰厚度 (mm/min)	<0.6	$0.6\sim1.0$	$1.1\sim2.0$	>2.0
飞行过程所积冰层厚度 (cm)	≤ 5.0	$5.1\sim15.0$	$15.1\sim30.0$	>30.0

(二) 影响飞机

积冰强度

的因子

1. 云中过冷水含量和水滴的大小
2. 飞行速度
3. 机体积冰部位的曲率半径

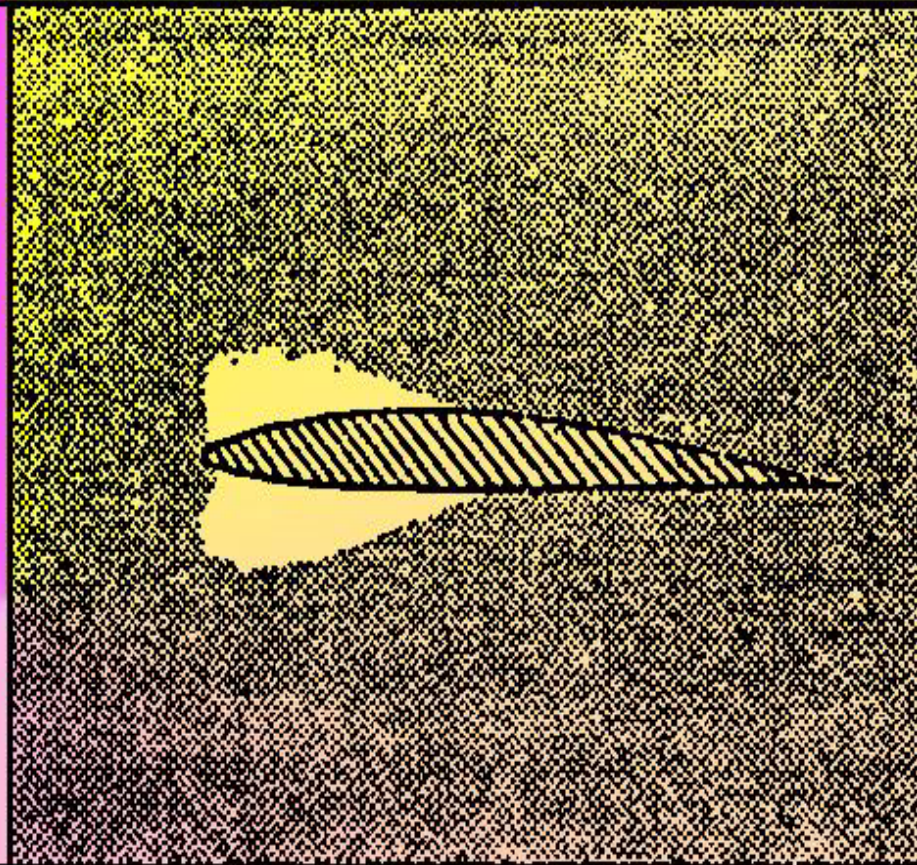
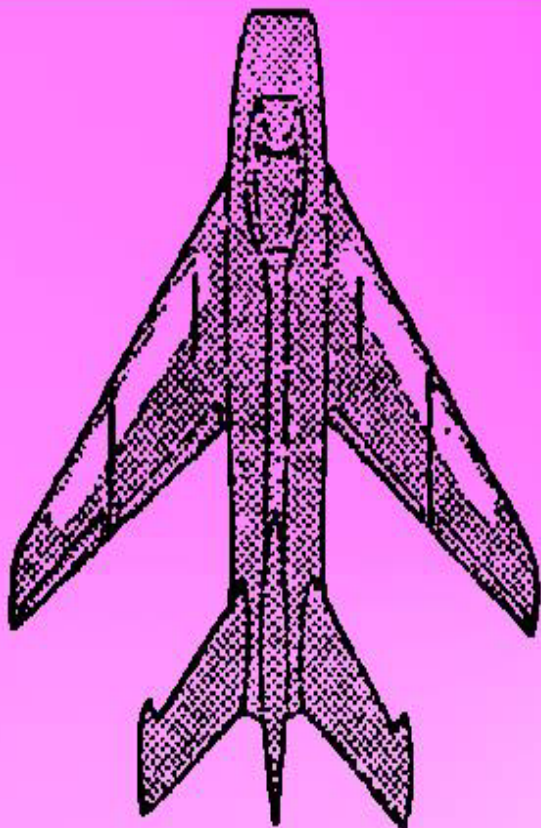
(三) 高速飞行时的结冰特点



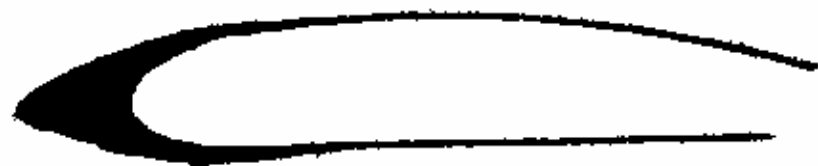
- 速度越大，
结冰越弱
- 容易出现
“槽型结冰”



高速飞行时的结冰特点



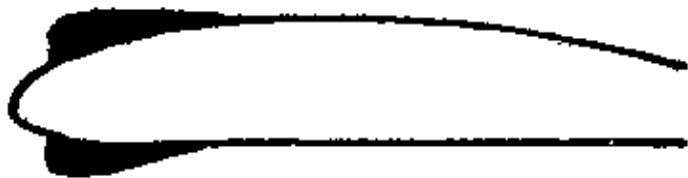
飞机积冰的形状



(a) 楔形



(b) 槽形



(c) 无定形

- 楔形平滑状积冰，往往是明冰，一般表现为沿气流方向的积冰。
- 槽形粗糙冰，它对飞机的空气动力学特征的损害最厉害；
- 无定形起伏状积冰，多为在混合云中飞行时造成，积冰牢固，在长途飞行中有危险



三、产生结冰的气象条件

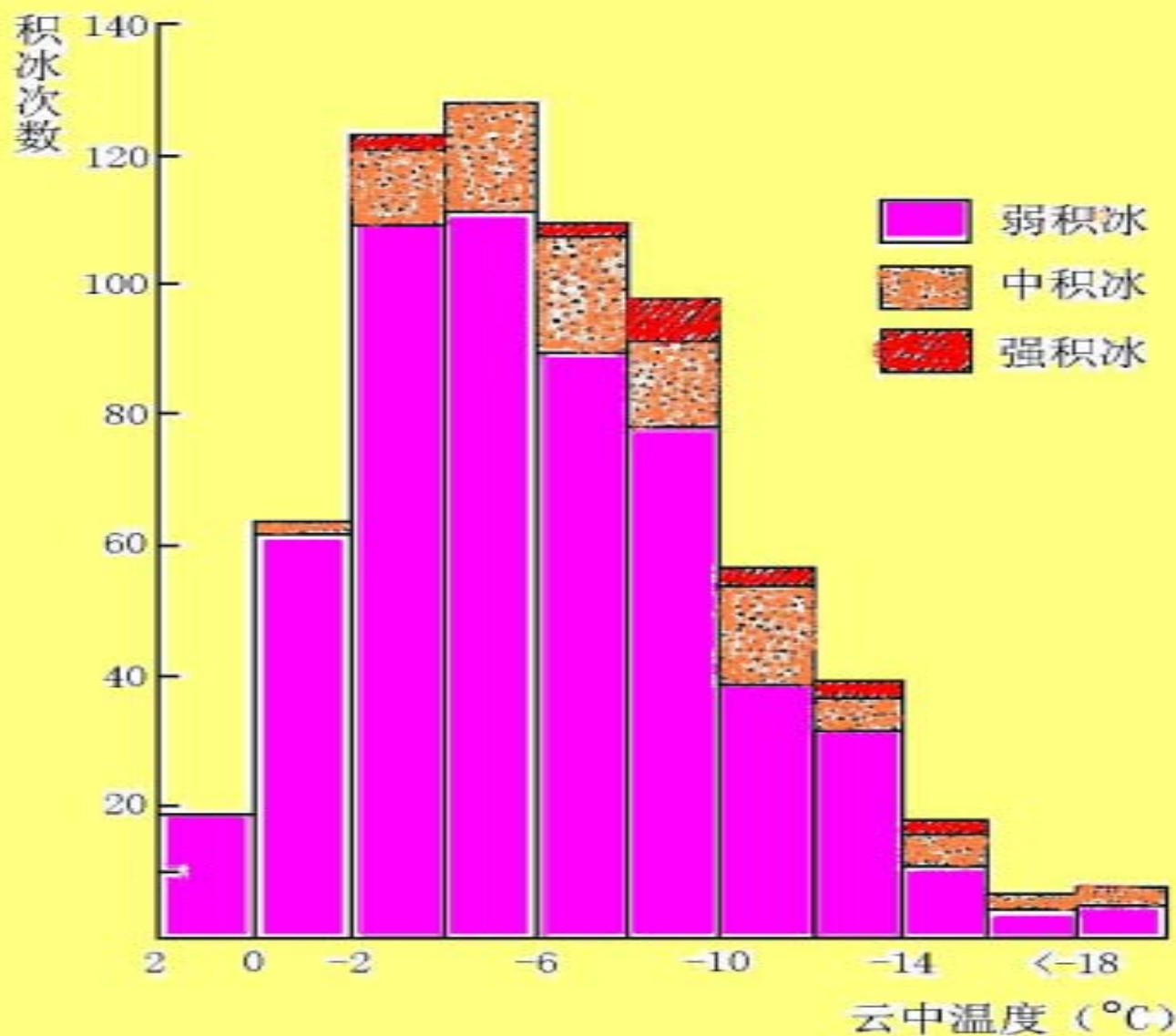
- 1. 飞机结冰与云中温度、湿度的关系
- 2. 飞机结冰与云状的关系
- 3. 飞机结冰与降水的关系
- 4. 容易产生飞机结冰的时间和地区

(一) 结冰与云中温度、湿度的关系

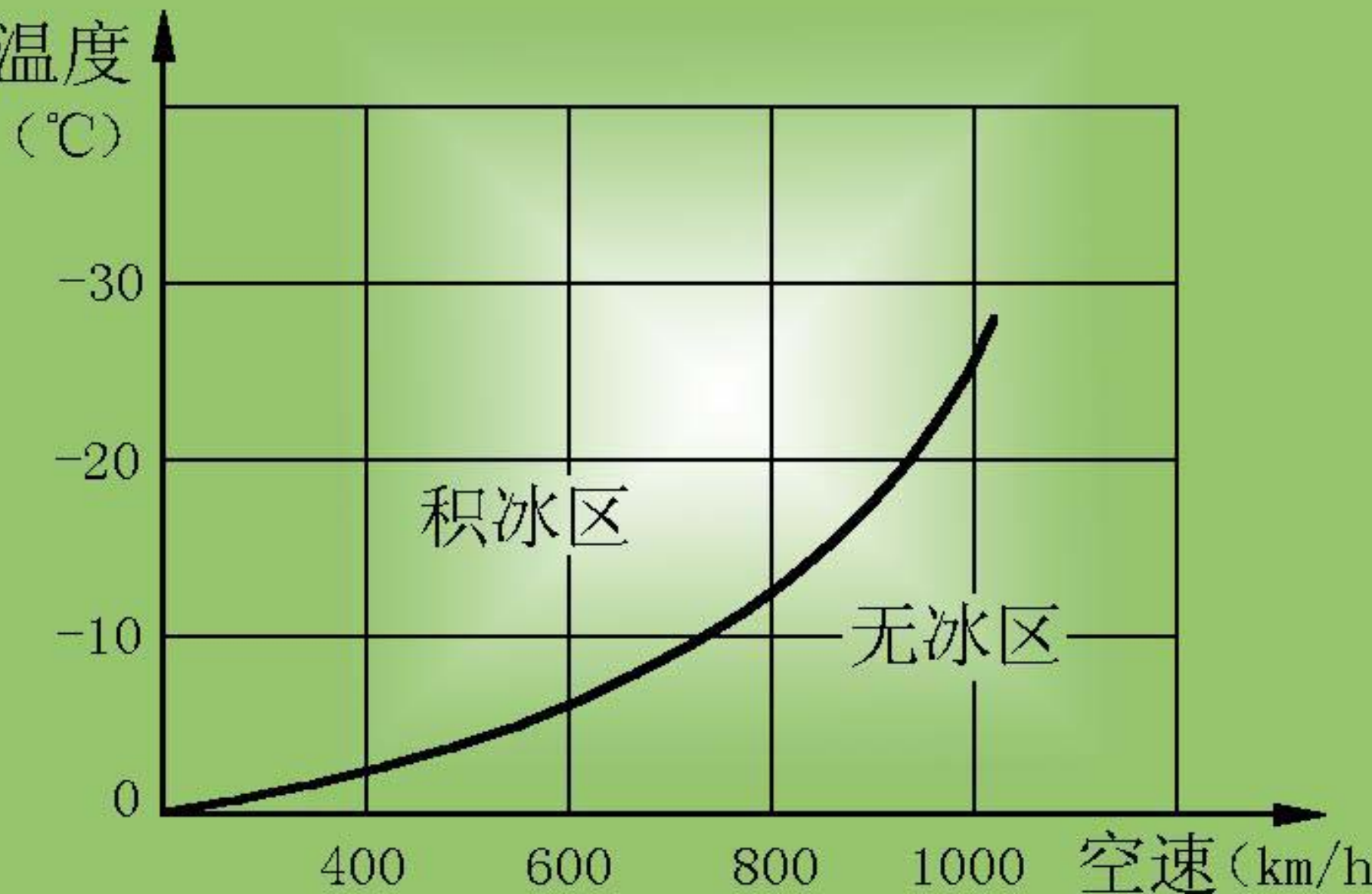


1. 飞机结冰通常形成于 $0^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ 范围内；强结冰多发生在 $-2^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ 范围内；
2. 结冰一般发生在云中温度露点差 $< 7^{\circ}\text{C}$ 范围内，以 $0 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 发生结冰最多；强结冰多发生在温度露点差为 $0 \sim 4^{\circ}\text{C}$ 范围内。

飞机积冰与云中温度的关系



飞机积冰与空速和温度的关系



(二) 飞机积冰与云状的关系



1. 积云和积雨云

通常是强积冰。

最强的积冰多见于将要发展成积雨云的高大浓积云的上半部和积雨云成熟阶段的上升气流区，而且常常积明冰。

飞机结冰与云状的关系



2.层云和层积云（或高积云） 中的结冰

通常为弱结冰或中结冰，云
上部结冰比下部强

层积云中的积冰



- 1982年11月11日我国西北地区出现一次层积云降雪天气.层积云云底高度为500米,温度为-5度,云顶高度为2300米,温度为-12度,云层厚度为1800米,云层均为积冰层.飞机降落穿过云层时,机翼前边已出现中度积冰.



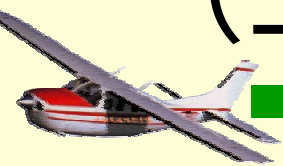
飞机积冰与云状的关系

3.雨层云和高层云中的积冰

通常为弱积冰，积冰强度随高度减弱。

在锋线附近的雨层云中长时间飞行，也能产生强积冰

(三) 飞机积冰与降水的关系



在冻雨和雨夹雪中飞行，
会形成 **强积冰**

(四) 容易产生结冰的时间和地区



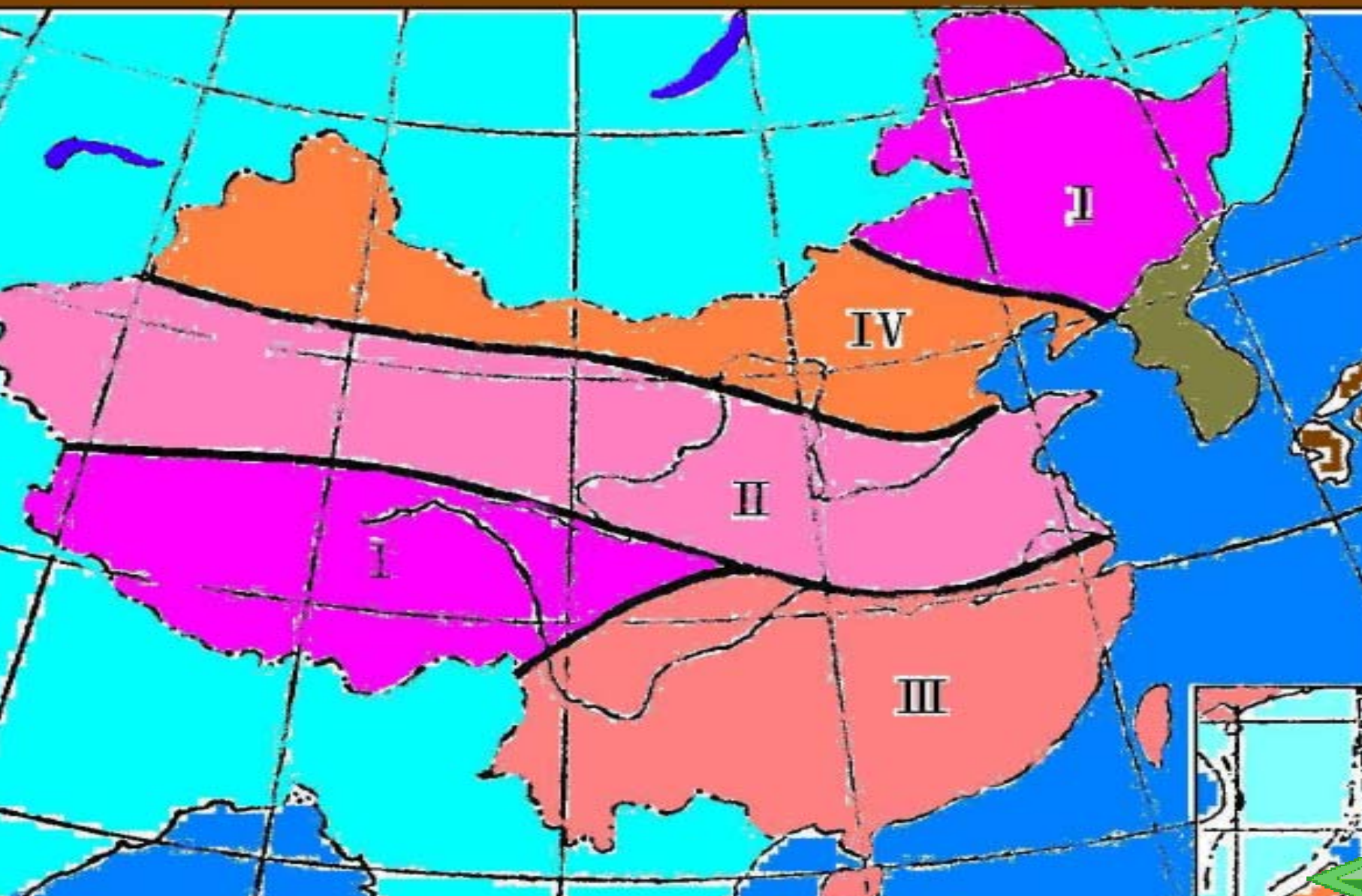
季节：主要出现在冬半年

高度：5000米以下，3000米左右最大

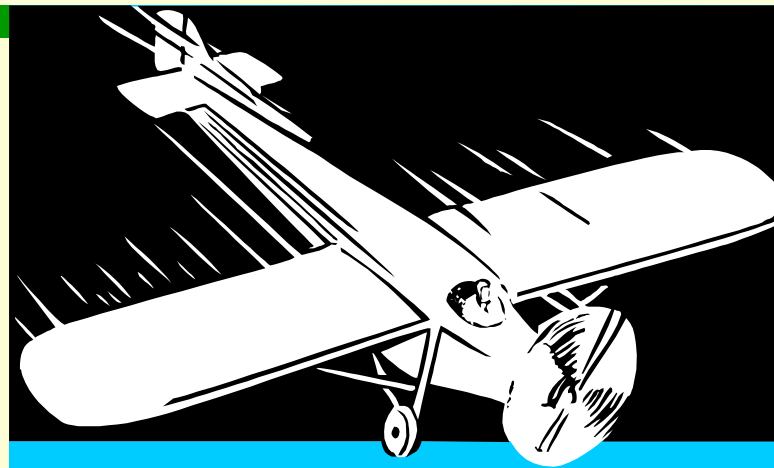
温度： $-4\sim-10^{\circ}\text{C}$ 范围内概率最大。

地区：锋面附近或穿越锋区时结冰的概率较大

我国飞机积冰的气候区划



四、结冰条件下的飞行



(一) 结冰对飞行的影响 ●

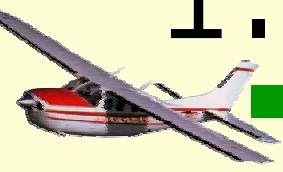
(二) 结冰的预防和处置措施 ●

(一) 结冰对飞行的影响



1. 破坏飞机的空气动力性能
2. 降低动力装置效率，甚至产生故障
3. 影响仪表和通讯，甚至使之失灵

1. 破坏飞机的空气动力性能



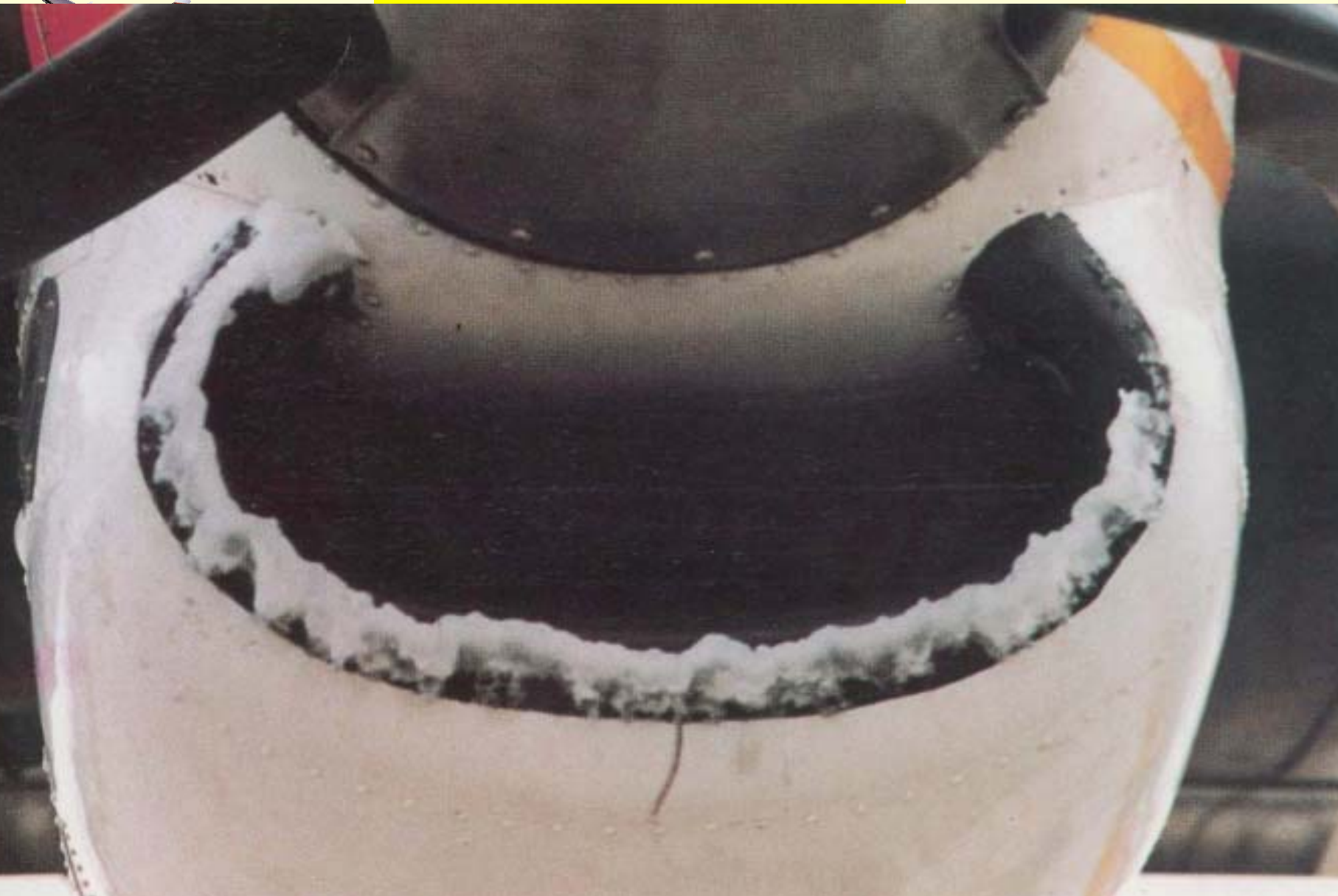
机翼和尾翼结冰，使升力系数下降，阻力系数增加，并可引起飞机抖动，使操纵发生困难。

障

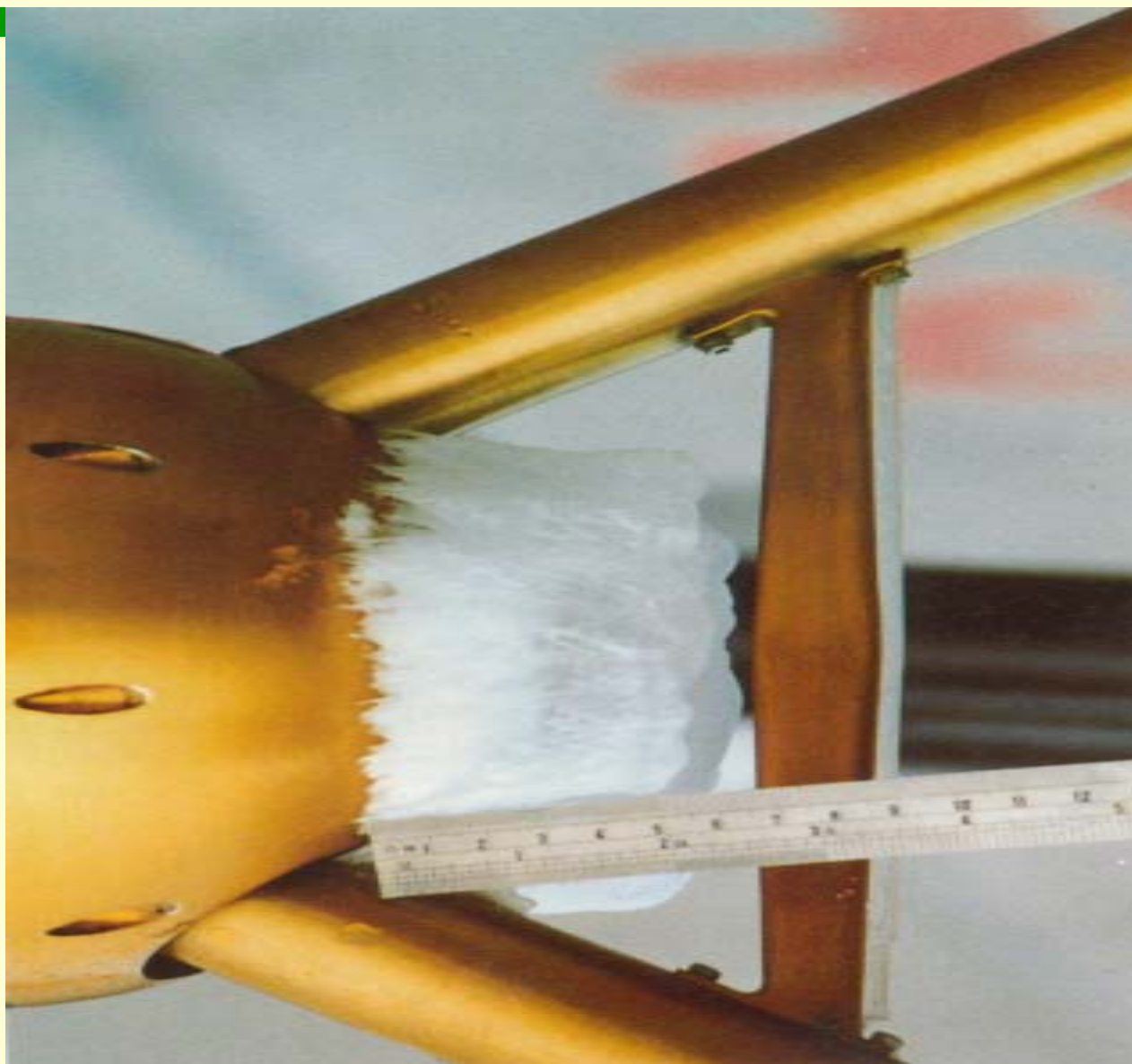


- ✿ 螺旋桨飞机的桨叶结冰，会减少拉力，使飞机推力减小。同时，脱落的冰块还可打坏发动机和机身。
- ✿ 从进气口来的空气进入汽化器，使文氏管内压力和温度降低，当燃油注入气流中来时，温度会进一步降低。文氏管和燃油蒸发引起的双重冷却效应，改变了空气的温度和湿度，使暴露在空气中的进气口结冰。

发动机积冰



发动机积冰

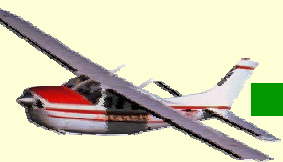


结冰对飞行的影响



- 在空气中湿度较大的区域如雾、云或降水
中，如果外部温度低于 $+15^{\circ}\text{C}$ ，则会在发动机
进气口或汽化器上出现结冰。这样就会使进
气量减少，进气气流畸变，造成动力损失，
甚至使发动机停车。
- 对长途飞行的喷气式飞机来说，燃油结冰是
一个重要问题。长途高空飞行，机翼油箱里
燃油的温度可能降至与外界大气温度一致
——约为 -30°C 。油箱里的水在燃油系统里传
输的过程中很可能变成冰粒，这样就会阻塞
滤油器、油泵和油路控制部件，引起发动机
内燃油系统的故障。

飞行事例1



- 1991年12月27日，在斯德哥尔摩，一架麦道-81型飞机在刚刚起飞之后不久，两台发动机因吸入了从机翼上脱落下来的冰块而停车，飞机紧急迫降，在机场外着陆，机体断为三截，所幸没有人员死亡。



(二) 结冰的预防和处置措施



1. 飞行前的准备工作

- (1) 认真研究航线天气及可能结冰的情况
- (2) 确定避开或安全通过结冰区的最佳方案
- (3) 检查防冰装置，清除已有结冰、霜或积雪

飞行中的措施



- (1) 密切注意积冰的出现和强度
- (2) 及时防冰和除冰
- (3) 脱离积冰区
- (4) 飞机积冰后，尽量保持平飞和安全高度

(2) 防冰和除冰



- 必须记住的是，在飞行中，如果冻结温度很低，汽化器很少出现结冰。当大气温度在 $+10$ 到 $+15^{\circ}\text{C}$ 并伴有降水时，汽化器最容易出现结冰。在这种条件下，无论发动机处于何种工作状态，汽化器都会出现严重结冰。
- 对汽化器结冰的问题，可以通过发动机进气口对汽化器进行加热来解决，把进入汽化器的空气温度加热到 20°C ，汽化器温度将保持在冰点以上。

事故举例2



1982年1月13日美国佛罗里达航空公司的一架B737飞机，因大风雪天气被困于华盛顿国家机场，数次推迟起飞，最后一次在喷洒防冻液后，又在风雪中等待了49分钟，在没有检查机身外表的冰雪是否已彻底清除的情况下就仓促起飞，结果因机翼上严重结冰，达不到足够的上升速率而下掉，撞在桥上后坠入波托马克河中，74人遇难，地面上死亡4人



五、复习与思考题



1. 影响飞机结冰强度的因素有哪些？产生飞机结冰的气象条件如何？
2. 我国最易发生飞机结冰的地区是哪里？
3. 结冰对飞行有什么影响？