

# 时入初冬，与你聊聊飞机结冰那些事儿

提起“冰”，大家最先想到的是什么呢？

学霸青年：水在0℃或0℃以下凝结核的固体。

文艺青年：洛阳亲友如相问，一片冰心在玉壶。

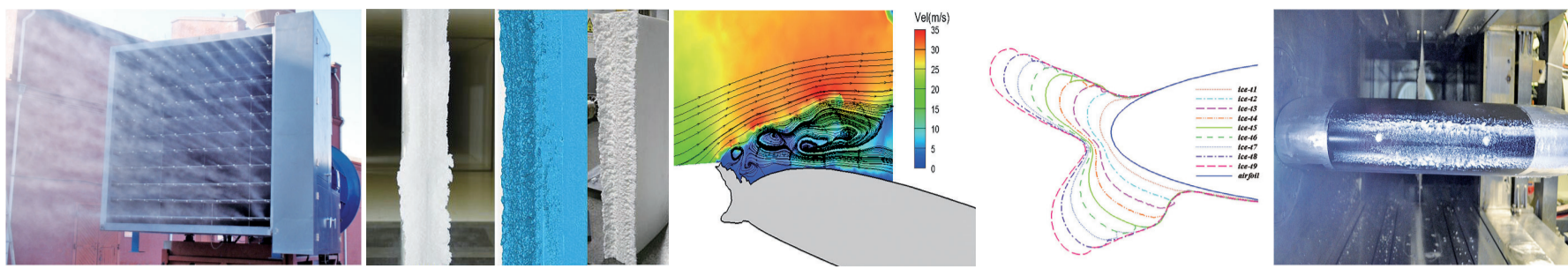
而面对这样的问题，我们航空人多数会想到“飞机结冰”。看到这可能有人会说，飞机是在天上飞，又不是在水里，怎么就结冰了呢？

## 飞机为什么会结冰

在特定的气象条件下，云层中会含有一种水滴，这种水滴虽然温度低于零度，但并没有结冰，仍然以液态水的形式存在，这种水滴叫过冷水滴。当飞机在中低空以亚音速穿越含有过冷水滴的云层时，水滴撞击到飞机的表面，就会发生结冰现象。

## 飞机结冰都有哪些危害

航空业内早就有一个共识，飞机结冰危害很大，应当给予足够的重视。飞机机体结冰主要在飞机的突出部位，飞机结冰后飞机的飞行性能将会受到巨大影响而威胁到飞行安全。如：机翼、尾翼前缘结冰使翼型改变，降低升力，破坏操纵性能。进气道前缘结冰则会导致进气不畅，影响发动机推力，如果冰层破裂，冰块吸入发动机还可能打坏发动机。空速管结冰影响飞机速度表的正确指示。风挡结冰，妨碍飞行员实行目视飞行。天线结冰，影响正常陆空通讯或造成通讯导航信息的中断。由于飞机结冰导致的一次不幸事故，时刻警醒着航空科研人



移动式冰风洞喷雾。

基于激光扫描的三维冰形获取技术。结冰后流动显示与分析。

多步法模拟结冰生成过程。

结冰试验。

员飞机结冰问题研究的重要性。

## 气动院的结冰情结

自2009年起，航空工业气动院逐渐在飞机结冰技术领域开展研究工作，一切从零开始。国内的结冰研究领域那一年才刚刚起步，没有结冰风洞，没有结冰数值模拟软件，缺少结冰方向技术人才。气动院克服诸多困难，自筹经费建设结冰风洞，购买国外先进商用结冰数值模拟软件，有计划有目的地招收结冰方向专业人才，统筹内部技术骨干转战结冰技术，正式成立了飞机结冰技术团队。

气动院飞机结冰技术团队以民航适航为切入点，通过数值模拟与试验技术方向的研究与能力建设，逐步成为国内和国际上飞机结冰研究的重要力量，致力于为客户在结冰数值模拟技术、结冰试验技术、结冰后气动性能评估技术、防除冰系统设计技术、结冰适航符合性验证技术、结冰试验设施研发技术等方

面提供高水平的技术服务；并与国内高校、型号单位以及国外CIRA、NRC等机构开展了技术合作。

## 提升技术能力 打造一流团队

发展结冰风洞试验技术，在地面模拟空中飞机结冰。飞机结冰技术团队一直以来致力于冰风洞试验技术研究，从气动院FL-61风洞建成调试开始到相关试验能力建设，为飞机结冰相关研究提供高水平的研究平台，紧贴适航符合性验证技术，获得了多项国家发明专利。发展结冰数值模拟技术，对飞机结冰过程进行仿真分析。飞机结冰技术团队一方面自主开发飞机结冰计算代码，深入钻研飞机结冰内在机理，已获多项软件著作权。一方面利用国外先进商业软件，为我国民航争取国际飞行许可提供技术支持。

飞机结冰技术团队承担了多项国家科研计划项目，如国家安全重大基础研究项目、民用飞机专项科研项目专题、

装备预先研究项目、国防基础科研项目、中国航空工业集团公司技术创新基金项目 and 航空科学基金项目等。他们的研究成果突出且应用广泛。

## 云雾模拟技术

采用喷嘴均匀地喷出水雾，并且控制水滴大小，含水量多少，就能在地面上模拟出像高空云层中相似的结冰气象环境。飞机结冰技术团队利用这项技术进行了大量的实践，给飞机结冰试验提供了条件。

## 结冰与防除冰试验技术

FL-61风洞主要用于飞机结冰技术团队的结冰与防除冰试验技术的研究。将飞机部件放在结冰风洞的喷雾制冷环境中就会出现结冰现象，获得冰形可以用来进行飞机结冰防护设计和安全事事故分析。如果对部件通电加热或者把发动机里面的热气引过来加热，就能够让飞机部件不再结冰。飞机结冰技术团队与高校合作，利用一些新技术，可以把飞机防冰的能耗降到最低，保证安全

的同时经济省油。

## 结冰影响分析技术

飞机遭遇结冰可能是无规律无征兆的。飞机结冰技术团队有成熟的结冰后飞机性能影响分析方法，弄清了飞机什么部位结什么样的冰，什么样的冰有什么影响，什么部位结什么冰影响最大，可以再现飞机结冰后飞行轨迹，将这些控制率预先接入到飞机操控系统中，就可以告诉飞行员结冰后应该如何操纵飞机，给他们解决很多判断的麻烦。

## 冰形三维扫描与3D打印技术

获取冰形是结冰试验的主要目的之一，目前国内外结冰试验主要通过手绘方法获取冰形，该方法需要破坏冰形，并且效率较低、精度不高，更重要的是手绘方法只能得到二维冰形，无法获取重要的三维信息。飞机结冰技术团队发展了“基于激光扫描的三维冰形获取技术”，实现了冰形的三维扫描，冰形不再是二维的啦。

## 全球首款量子罗盘问世



据英国帝国理工学院官网近日报道，该校研究人员和M Squared公司携手，研制出全球首款用于导航的量子加速度计。这款量子罗盘是不依赖全球定位系统（GPS）的防干扰导航装置，能确定地球上任何地方的精确位置。

今天的大多数导航依赖包括GPS在内的全球卫星定位系统，这些系统会发送和接收来自地球轨道运行的卫星的信号，而新的量子加速度计是一个独立系统，不依赖任何外部信号。这一点尤其重要，因为卫星信号可能遭到封锁、拦截，甚至蓄意破坏或攻击，导致无法准确导航。

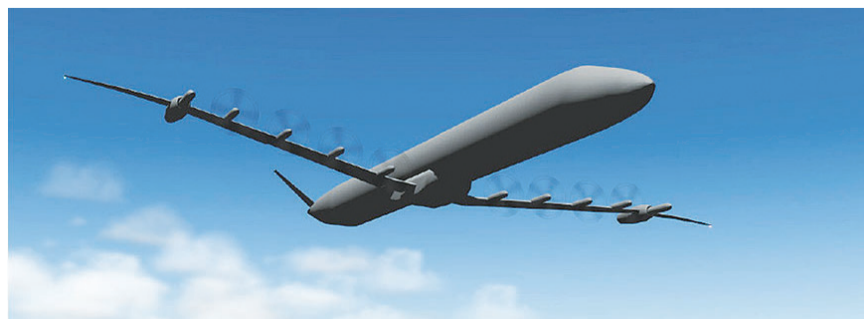
加速度计测量物体速度随时间变化，借助这一变化以及物体的起点，可计算出物体所在新位置。虽然加速度计出现在手机和笔记本电脑等设备中，但它们必须频繁地重新校准，若用于导航，每次最多只能连续工作几个小时。

## 诺丁汉大学将建造飞机高速高功率电推进系统地面试验设施

据美国《航空周刊和空间技术》网站近日刊文，英国诺丁汉大学将开发一套设施，用于飞机高速、大功率电力推进系统的地面试验。这是欧盟“洁净天空2”计划下名为“点燃”（Ignite）项目的一部分。该项目瞄准支线飞机动力系统开展研究，项目周期4年，投资90万欧元。项目团队包括诺丁汉大学电气与电子工程学院、英国航空技术研究所（ATI）以及意大利那不勒斯的Aeromechs公司。

诺丁汉大学电气与电子工程学院助理教授杨涛表示：“该项目将展示高速、大功率发电技术，这些技术对于未来的混合动力和全电动飞机至关重要。Ignite项目实质上是混合动力飞机建立一个发电通道。”地面试验设施将建于诺丁汉大学大戴年校区的航空技术中心。

“Ignite项目正着眼于利用高速旋转机械发电。”杨涛表示，“我们正在关注的功率水平是45千瓦，在35000



个小时。

研究团队在英国国家量子技术展示会上展示了这种可移动、可商用的量子加速度计。它依靠测量极低（接近绝对零度）温度下超冷原子的运动来工作，在这种超冷状态下，冷原子表现为“量子”方式，就像物质和波一样。帝国理工学院冷物质中心的约瑟夫·科特博士说：“当原子超冷时，我们必须用量子力学来描述它们的运动方式，这使我们能制造出原子干涉仪等设备。”

为使原子足够冷并探测它们的特性，需要能精确控制的功能强大的激光器。M Squared公司历时3年研制出了一种用于冷原子传感器的通用激光系统，具有高功率、低噪声和频率可调性等特征，可对原子进行冷却，并为加速度测量提供光学标尺。

研究人员指出，新量子罗盘的设计初衷是为大型车辆、船只等导航，但也可用于寻找暗能量和引力波等基础科学研究。

2013年，量子研究被英国政府确定为优先领域，研究重点是军事技术。此后，通过英国国家量子技术计划，英国政府在5年内对该领域投资了2.7亿英镑。（刘霞）

转/分时过载能力达到90千瓦。这是一个非常高速、高功率密度的发电系统，主要针对小型支线飞机。然而，我们从中获得的知识经验可以扩展到更大功率水平的大型客机上。”

Aeromechs公司首席执行官贝尼亚米诺·韦达表示，与诺丁汉大学团队合作研发Ignite项目有助于“公司在飞机电气系统监控方面的能力提升”。Aeromechs公司曾在“洁净天空”1计划下研发了电力中心，并在ATR72多电飞机上进行了飞行验证。

Aeromechs公司还参与了由意大利教育、大学和研究部资助的Prosib项目，该项目由莱昂纳多集团牵头，团队成员包括那不勒斯、比萨、巴勒莫和都灵大学，以及意大利航空航天研究中心（CIRA）和初创公司SkyBox工程。项目将针对支线飞机和旋翼机平台研究新布局形式和混合电推进架构，Aeromechs公司将负责缩比技术验证机工作。（王元元）

## 飞行员如何驾驶操纵飞机

飞行员坐在驾驶舱里，用手操纵驾驶杆（盘），用脚蹬方向舵来控制飞机的飞行，这就是“一杆两舵”驾驶操纵。除了这种最基本的操纵方式外，还出现了可逆、不可逆助力操纵和电传操纵系统等，从而使飞行更加安全。

## 控制飞机俯仰转弯

简单来说，飞机操纵系统包括对副翼、升降舵和方向舵的操纵。其中，副翼位于机翼后缘靠近翼尖的区域。在大型飞机的组合横向操纵系统中，常常有4块副翼，分别是2块内副翼和2块外副翼。在低速飞行时，内外副翼共同进行横向操纵；而在高速飞行时，外副翼被锁定而脱离副翼操纵系统，仅由内副翼进行横向操纵。当飞行员向左转驾驶盘时，左侧副翼向上偏转，同时右侧副翼向下偏转，导致左侧机翼的升力减小，而右侧机翼的升力增大，产生使飞机向左滚转的力矩，飞机绕纵轴向左侧滚转。升降舵位于水平安定面的后缘，由前推或后拉驾驶杆操控，主要用来操纵飞机抬头或者低头。不同的飞机有不同数量的升降舵。比如，波音737、757、777有2块升降舵，而波音747、767则有4块升降舵。当需要飞机抬头向上飞行时，飞行员就会操纵升降舵向上偏转。反之，如果飞行员操纵升降舵向下偏转，飞机就会低头向下。

方向舵位于飞机垂直安定面的后缘。不同的飞机，其方向舵的数量可能也有所不同。目前，大部分飞机采用单块方向舵舵面，如波音737、757、767和777等，而波音747采用2块方向舵。方向舵主要用来修正

飞机航向和进行小角度转向。当飞行员向前蹬左脚蹬，右脚蹬向后运动时，方向舵向左偏转，机头随之向左偏转。当飞行员向前蹬右脚蹬时，方向舵向右偏转，从而使机头向右偏转。

## 操纵技术不断发展

飞机主操纵系统经历了由简单初级到复杂完善的发展过程，先后出现了机械式操纵，可逆、不可逆助力操纵和电传操纵，并在电传操纵的基础上发展出主动控制技术。

机械式操纵是通过机械传动装置直接偏转舵面的操作系统，飞行员通过舵面上的气动铰链力矩获得力和位移的感觉。机械式操纵系统由于成本较低、可靠性相对较高，所以在飞机上应用的时间最长，且目前仍广泛采用。

随着技术的发展，现代飞机的载重、体积和飞行速度不断增加，舵面气动载荷急剧增高，尤其是大型运输机，舵面铰链力矩非常大。

20世纪40年代末，出现了液压助力系统，舵面由液压助力器驱动，飞行员通过中央操纵机构、机械传动装置控制助力器，这就是可逆助力操纵系统。可逆助力操纵系统虽然有助于解决驾驶杆力过大的问题，但在超高速飞机上会出现杆力反向变化的问题，使飞行员产生错觉而无法正确驾驶飞机。为此，飞机设计师又在系统中增加了人工载荷机构以及其他改善操纵特性的装置，形成了不可逆助力操纵系统。

在不可逆助力操纵系统中，机械连杆装置比较复杂。随着自动控制和微电子技术的发展，又出现了电传操纵系统。电传操纵系统的优点是体积小、重



量轻，便于采用主动控制技术，易于与其他系统交联，可以明显提高飞机的操纵品质和性能，是高性能飞机操纵系统发展的方向，但电传操纵系统必须要解决好系统可靠性这一问题。

## 自动驾驶保障安全

如今，我们在不少影视作品中都会看到这样的镜头：飞行员在驾驶舱里的情形和我们想象的不大一样，不仅没有全神贯注地驾驶飞机，反而是在自动驾驶仪开启后，一边聊天一边喝咖啡。于是，有人担心，飞行员这样真的可以吗？其实，和医生在进行手术时会聊天、讲笑话一样，飞行员在工作中也不是全程都高度紧张，而是会借助自动驾驶设备，让紧张的神经得到放松。尤其是在动辄十几个小时的长途飞行中，自动驾驶系统尤其重要。

和目前部分汽车上采用的自动驾驶技术类似，飞机的自动驾驶是一种通过飞行员操作设定或者由导航设备接收地面导航信号，来自自动控制飞行

## 结冰动态仿真技术

我国北方在步入冬季之际，一夜之间屋檐下便结满了冰柱，可大家知道飞机结冰的速度有多快吗？30分钟机翼上就可能生长3厘米厚的冰角，结冰试验的照片就是飞机结冰技术团队采用结冰动态仿真技术模拟30分钟内的结冰生长过程，别看尺寸虽小，但对飞机的性能影响不容小觑。

## 发挥技术优势 促进共同发展

从2009年开始，结冰团队陆续承担了ARJ21-700、C919、“新舟”700以及航空工业沈阳所、成都所、洪都等单位多个型号结冰计算任务，为型号结冰安全分析、防除冰系统设计、适航取证等工作提供了支持。

2012年与中国商飞上海飞机设计研究院联合研制了“移动式冰风洞”，该设备填补了国内空白，为ARJ21-700飞机适航取证提供了必要条件，该设备的成功研制充分体现了团队的快速响应能力和技术攻关能力。

2018年5月，飞机结冰技术团队完成了运12飞机某部件防除冰适航试验目击，推进了其适航取证进程，也标志着FL-61风洞设备技术资质和试验过程控制标准得到了国内、国外适航审定专家的认可。

随着联合研究和业务合作的不断开展，在为行业伙伴提供优质服务的同时，气动院飞机结冰技术团队的科研和技术能力日新月异，正在逐渐成为更优秀的团队。在未来，这支稳步攀升的科研技术团队团队必为祖国的航空事业做出更大的贡献。（吴渊 朱东宇 宋佳音）

## 2018“中国智能制造十大科技进展”发布

近日，在2018世界智能制造大会上，2018“中国智能制造十大科技进展”发布。

“中国智能制造十大科技进展”以智能制造技术及装备，智能化车间/工厂，智能制造基础、标准、新模式等作为维度，研究分析不同行业、不同企业推进智能制造的实践案例。从创新性、应用性、引领性、未来预期等方面考虑，在智能制造方面具有新颖性或实质性的突破、改进；解决智能制造领域技术难点或行业热点问题；在劳动生产率、投资回报率、对生态环境和生活环境改善的贡献程度；对行业创新能力和竞争力提升有一定贡献。

**筒子纱自动化染色智能制造技术与装备。**山东康平纳与机械科学院协同研发筒子纱数字化自动染色工艺，实现筒子纱染色从原纱到成品的全过程数字化自动生产，完成从手工机械化、局部自动化到全流程数字化、自动化染色的跨越。  
**船海工程机电设备智能制造系统**

**集成。**武汉船用机械打造的船海工程机电设备智能制造系统集成方案，重点开发具有刀具磨损监测与实时调整功能的智能加工单元，防呆防错功能的智能装配单元，高精度复杂构件智能焊接单元。该方案应用于调距泵、起重电机、货油泵等典型船海工程机电设备的制造过程中。

**多机型发动机混线柔性制造。**宝沃汽车打造多机型发动机智能制造生产线，具有高质量、高效率、高柔性等特点，建立工厂制造全流程全要素的泛在感知，实现人/机/物互联互通、全业务的横向集成和智能管理、IT和OT的纵向集成和对能源进行精益化管理。

**家电行业全流程数字化协同制造。**格力电器以基于模型MBD技术为主线，打造家电行业统一的智能制造示范平台。以此为基础，实现基于模型MBE、数据驱动，打造数字化连续的智能制造业务模式。

**传感器产品和工艺数字化设计平台。**上海兰宝传感开发的

SimuLab数字化平台，在整合先进虚拟仿真等“硬技术”基础上，注入传感器设计开发工程师的“软技术”，实现传感器生产的产品虚拟设计、工艺布局动态仿真，极大提升产品研发到生产转换的成功率和设计规划方案的可行性。

**农业全程机械化云管理服务平台。**中国农业院突破的农机耕、种、管、收全程精准测控技术，构建具备信息收集与发布、农机定位与作业检测与监管、农机调度与运维、农事决策管理、数据分析与作业结算等功能的农业全程机械化云管理服务管理平台以及手机APP，形成作业质量在线检测、数量远程监管和补贴在线发放。

**中低压输配电装备智能工厂。**西电集团提出的智能化工厂体系架构模型，纵向打通“ERP—MES—设备控制—生产线控制”，横向打通“设计—工艺—制造—试验”的主线，将数字化模型贯穿于产品全生命周期，构建符合行业的智能化工厂评价指标体系和行业智能化工厂示范平台。

**大型构件多机器人智能磨抛加工技术。**大型构件多机器人智能磨抛加工技术与装备，攻克了“手—眼”快速标定、三维匹配与视觉定位、离线编程、型面误差检测、在线检测软件、磨抛工艺机理等多项关键技术，可保证大型复杂构件型面局部位置精度、有效规避机器人运动干涉，实时反馈系统故障，保障机器人在复杂约束下作业安全性。

**面向生命科学的原位显微分析与操作仪。**南开大学研制的面向生命科学的原位显微分析与操作仪，具有可视化、微创化、定点化、定量化功能，集检测分析与操作于一体等特点。

**数控机床在机测量与智能修正技术。**北京精雕研发的在机测量与智能修正技术，通过精准测量和过程管控，实现了制合一的制造模式，促进工厂检验向智能化转变。该技术保证了数控机床测量精度的准确性和稳定性，助力切削工艺的智能化，大幅提升生产良率和品质管控效率。（边际）