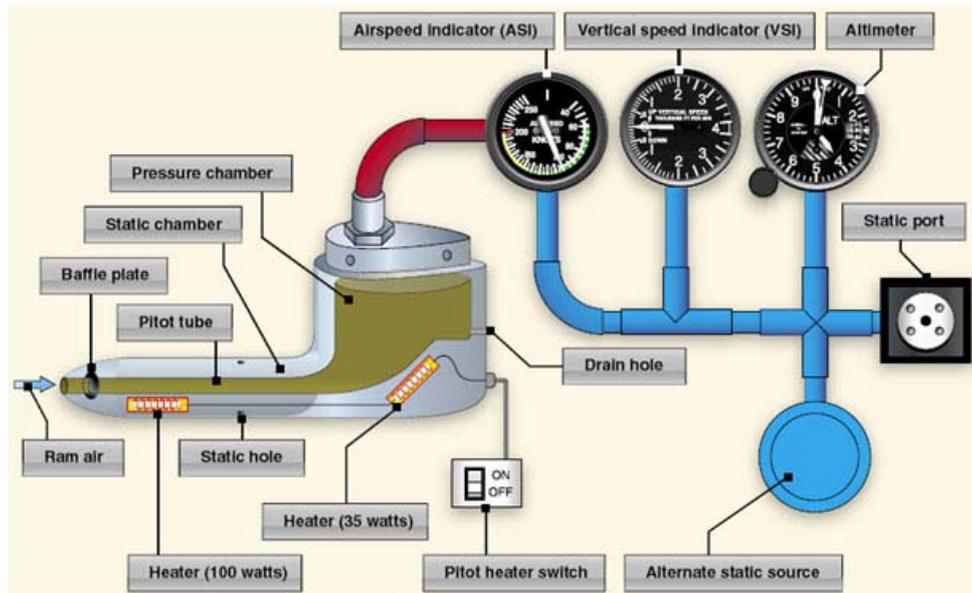


空速管及全静压系统和大气数据系统工作原理



概述

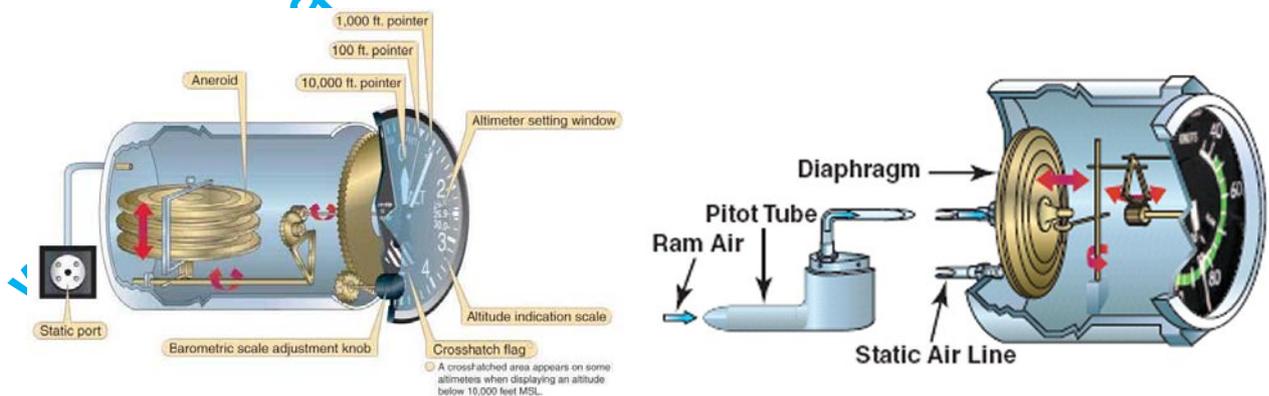
"飞机空速管工作原理是什么？是怎样测量高度和空速的？[空速管](#)也称大气数据传感器，或者皮托管、总压管等，它是测量飞机飞行时周边气流的总压（全压， P_t ）和静压(P_s)等数据，并将测得的静压和全压等大气压力数据传送至飞机大气数据计算机(ADC)和驾驶舱内飞行仪表的装置。

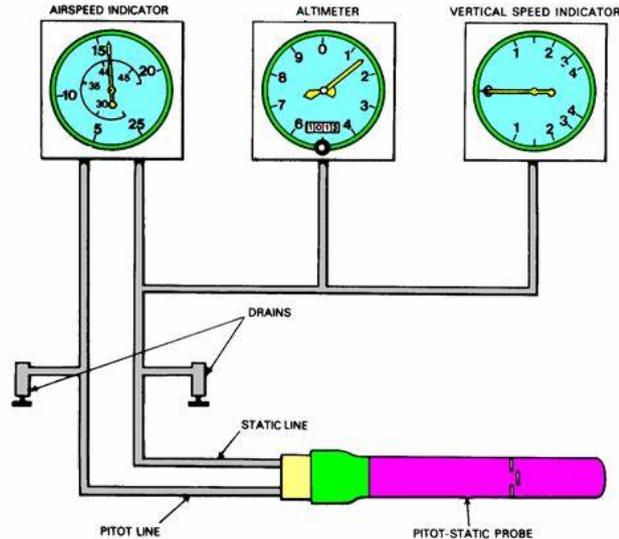
[空速管](#)测量出来的速度并非是飞机真正相对于地面的速度，而只是相对于周围大气的速度，所以称为空速，如果有风，飞机相对地面的速度(称地速)还应加上风速(顺风飞行)或减去风速(逆风飞行)。也是机头雷达罩前空速管，只不过利用安装位置优势缩短空速管长度。尽管空速管技术是目前最成熟、应用最为广泛的大气数据测量技术，空速管直到现在仍然是飞机空速测量的重要手段。

早期的空速管一般是枪式空速管，设置在飞机机头整流罩前，因此也叫“风向标”；后来的[空速管](#)后移，一般安装在战斗机整流罩后的机头侧面。还有的安装在垂尾或者机翼上。之所以安装在这些位置，是因为为了空速管保证测得的气流数据准确，扰流小，安装位置一定要在飞机外面气流较少

受到飞机影响的区域。为了保证测得数据的静压和动压数据准确。出于安全考虑，空速管一般要准备至少 2 套以上，保证有备份。至于空速管工作原理的测速原理，我们可以看到空速管的前端有一个小孔，实际上它由两个同心圆管组成，内圆管为总压管（全压管），外套管为静压管。当飞机向前飞行时，气流便进入空速管前端的小孔，而安装在管子末端的传感器就能感受到气流冲击的力量——这实际上就是一个压力传感器，感受到的压力被称作动压（ Q_c ）。飞机飞得越快，气流冲击力越大，动压(Q_c)就越大。而此时将空气静止时的静压与动压相比，就可以得出压差。早期的压力传感器是典型的机械式传感器，我们称之为膜盒，它实际上是一个用上下两片非常薄的金属片制成的表面带波纹的空心圆形盒子，膜盒通过一根管子与空速管相连，空速管中的气流可以吹到膜盒里，动压造成膜盒金属片发生形变，用一个由小杠杆和齿轮等组成的装置可以将膜盒的变形测量出来并用指针显示，这就是早期的空速管和空速表，也被称作机械式空速管和空速表。当然后来空速管发生了很大变化，出现了电子式空速管，即采用压敏元件来替代机械式膜盒。压敏传感器制造的空速管，比起早期机械式空速管测量更加精确。但必须指出的是，空速管测量出来和空速表显示的速度，不是飞机相对于地面的速度（即所谓地速），而是飞机相对于大气的速度（即所谓空速），地速和空速是通过加减大气的流速（风速）而进行相互换算的。即便是相同的空速，在低空和高空，由于大气密度不同，空速管测量的同一飞行速度下的动压也不一样，同样的空速，在高空中气流更稀薄，动压测量数值更低，因此空速表显示的数值更低；而在低空空气密度高，动压测量数值高，因此空速表显示的数值更高，所以空速表上读出的空速数值，也被称作“表速”(CAS, IAS)。试飞英雄李中华试飞的歼-10“低空大表速”科目中的表速，就是这个东西。所以现代的空速表，一般都有两个指针，一粗一细，其中宽的指针显示的是“表速”，而细的指针显示的则是经过修正的、相当于标准大气压力水平下的真实空速（TAS），这个空速被称作“实速”。空速管是飞机上非常重要的传感器之一，它能显示飞机的飞行速度。而如果空速管出现故障或者结冰阻塞，无法显示出正确的飞行速度读数，甚至会造成机毁人亡的重大事故。

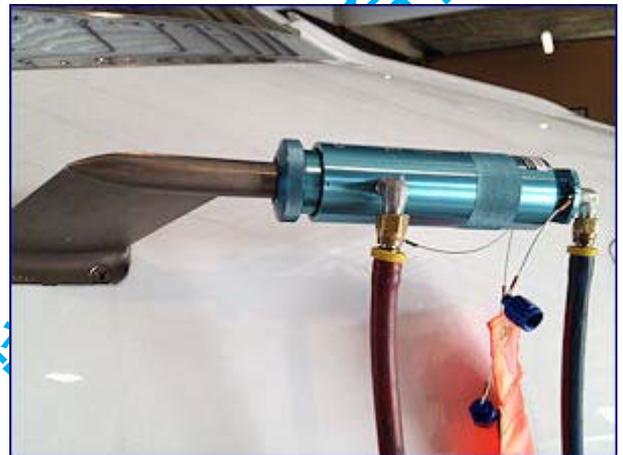
早期的测量静压（ P_s ）和动压（ Q_c ）压力传感器是典型的机械式传感器，我们称之为膜盒。它实际上是一个用上下两片非常薄的金属片制成的表面带波纹的空心圆形盒子，膜盒通过一根管子与空速管相连，空速管中的气流可以吹到膜盒里，动压造成膜盒金属片发生形变，用一个由小杠杆和齿轮等组成的装置可以将膜盒的变形测量出来并用指针显示，这就是早期的空速管和空速表，也被称作机械式空速管和空速表。压敏传感器制造的空速管，比起早期机械式空速管测量更加精确。早期的空速管和气压高度和空速膜盒仪表在一起使用，膜盒系统无需加电就可以使用，这也是膜盒高度表和空速表的最大优势。





这种针状物的学名叫空速管，也叫皮托管、总压管、总-静压管。它是感受气流的总压（也称全压）和静压，并将测得的压力数据传送给大气数据计算机、飞行仪表的装置。空速管这种航空装置主要是用来测量飞行速度的，同时还兼具其它多种功能。空速管是飞机上极为重要的测量工具，安装位置一定要在飞机外面气流较少受到飞机影响的区域，一般在机头正前方，垂尾或翼尖前方。飞机在亚声速飞行时，空气因受机体的扰动作用，在其周围形成了一个飞机绕流场，而空速管探测到的气流静压实际上是飞机绕流场中的静压。空速管测量出来的速度并非是飞机真正相对于地面的速度，而只是相对于大气的速度，所以称为空速，如果有风，飞机相对地面的速度(称地速)还应加上风速(顺风飞行)或减去风速(逆风飞行)。也是机头雷达罩前空速管，只不过利用安装位置优势缩短空速管长度。在当代许多战斗机则是进一步取消了机头空速管，这一特点也在国外多型战斗机的新升级改型中出现。尽管空速管技术是目前最成熟、应用最为广泛的大气数据测量技术，空速管直到现在仍然是飞机空速测量的重要手段。但远期来看随着航空航天技术的发展，新技术的出现以及新飞行器特殊的飞行要求等综合因素下，传统的空速管的新问题和无法满足新需要开始凸显。特别是在当下几个主要军事强国争相发展的高超音速飞行器领域，空速管的上述问题更为突出。在 60 年代，美国国家航空航天局为了满足航天飞机进入大气层时的大气数据测量需求，提出了融于飞行器表面流线的大气数据传感器技术，开始了对嵌入式大气数据传感系统（FADS）的研究，由于嵌入式大气数据传感系统的压力传感器一般置于机体内，这使其更能适应未来高超声速飞行器的恶劣严苛的飞行环境。

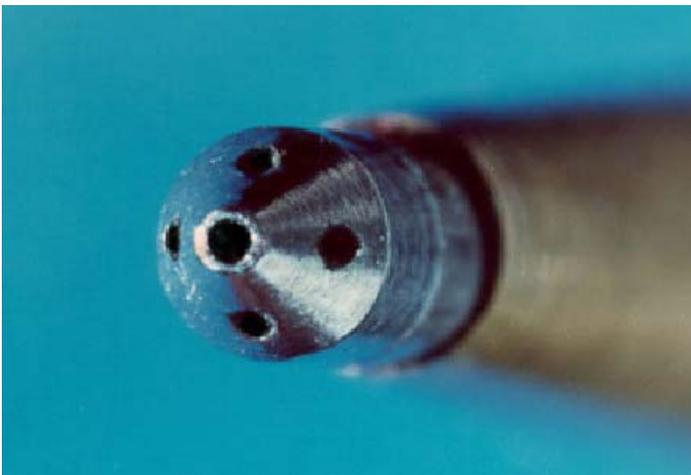
空速管工作原理与空速管的外观结构有关，有的空速管只是测量全压（总压， P_t ），有的空速管上集成了许多静压孔(P_s)，同时也能测量静压值（ P_s ），然后通过大气数据计算机解算成气压高度。根据是否加热除冰，空速管可以分为加热型空速管和不加热空速管。根据外观形状，还可以分为直柄型空速管、旋转头空速管和 L 型空速管。空速管的自动加温功能：一方面，可以保证空速管在高空的低温环境中正常工作；另一方面，在飞机地面维护中经常发生空速管意外加温导致管套烧毁，而不得不更换空速管的事件。



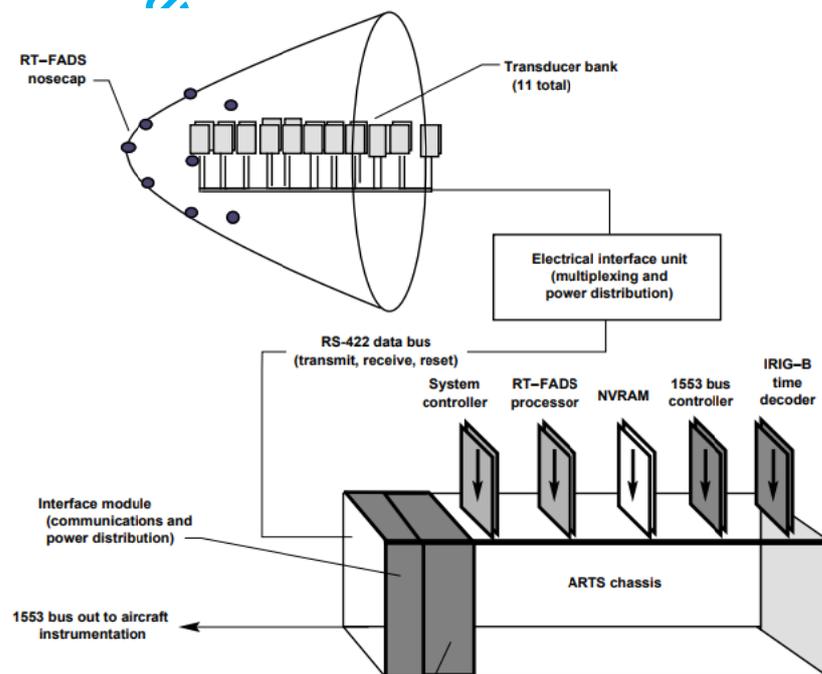
空速管工作原理也与空速管上是否带有风标，即迎角传感器（AOA）和侧滑角传感器(AOS)，此类型空速管主要用来飞机飞行试验的标准空速管，做为飞机上长度较短的空速管主要参考空速管。我们也常常看到有些国外军用飞机上的空速管带有攻角传感器和侧滑角传感器。这种类型空速管的迎角传感器和侧滑角传感器主要原理是电位计和霍尔或RVDT同步器。



目前也有空速管上集成5孔或7孔来测量飞行器的气压高度和空速及迎角(AOA)和侧滑角(AOS), 主要原理利用压力比来测量迎角和侧滑角。



空速管工作原理发展趋势：嵌入式大气数据系统（FADS）和激光空速测量（OADS）目前正在兴起，逐渐替代传统的空速管，安装此类系统的飞机可以达到部分隐形的功能。



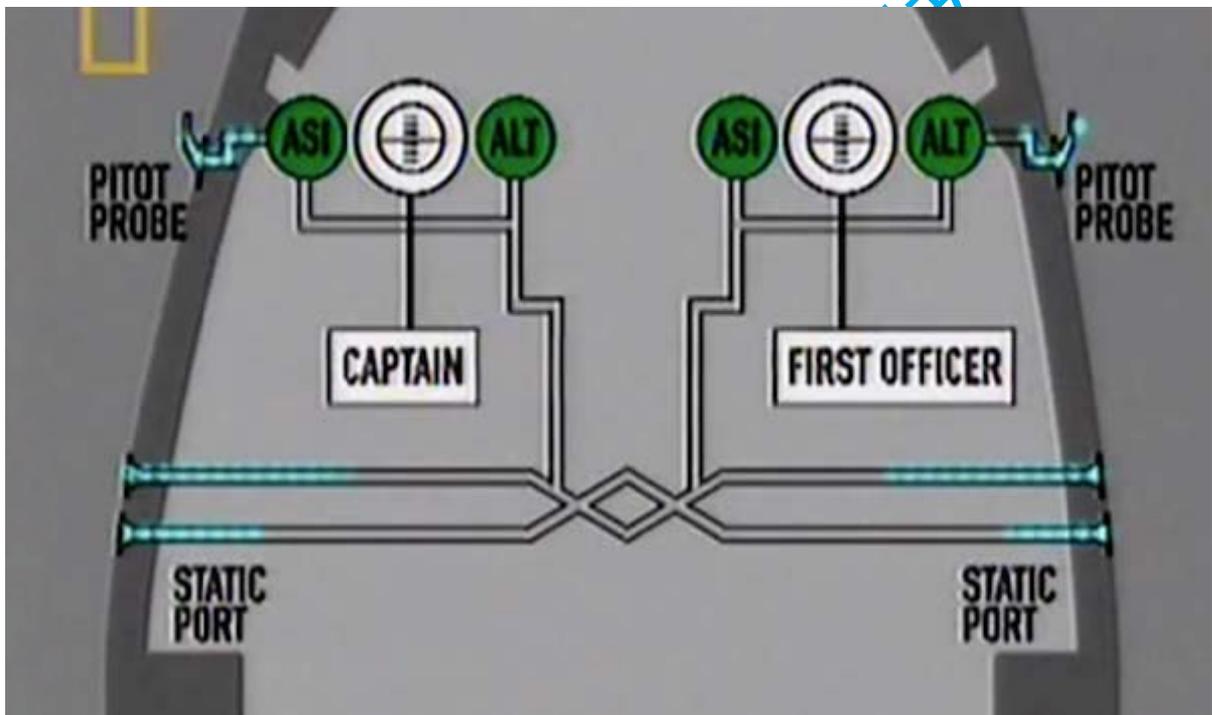
为什么飞机不用 GPS 来测空速，非要利用空速管？因为 GPS 测量的空速是飞机相对于地面的速度，在高山或峡谷等非空旷领域 GPS 信号容易丢失，这时空速管测量的空速就替代 GPS 来测量空速，所以空速管是 GPS 测速的重要补充。同时，空速管测量气压高度和空速还具有 GPS 没有的优势，空速管与膜盒高度表和膜盒空速表配合使用，即使在整个飞机系统断电下，空速管还可以测量气压高度和空速。另一方面，空速管测量的静压和动压或全压数值，是飞机的一个飞行的重要参数，可以直接反映飞机飞行状态，例如飞机的升力是否足够？发动机工作状态等。

对于飞行来说，最重要的飞行参数莫过于高度、速度和升降速度，准确测量这些参数对于判定飞行状态和正确操作飞机都有十分重要的意义。要准确测量这些参数，需要依赖一套完整的全静压系统，特别是其中一个小小的部件——空速管。空速管虽然不起眼，却是飞机上最重要的传感器之一。在 1996 年 2 月 6 日，土耳其伯根航空 301 号班机，一架波音 757 客机，因为空速管被昆虫筑巢堵塞，在从圣多明各机场起飞 5 分钟后坠毁，机上 189 人无一生还。看来这小小的空速管好似隐藏了很深的玄机，那我们就来揭它开背后的奥秘。

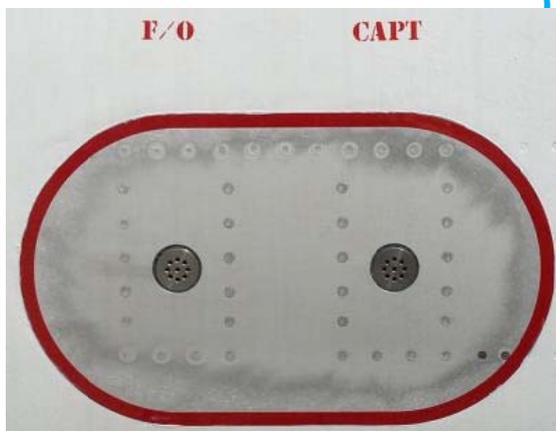
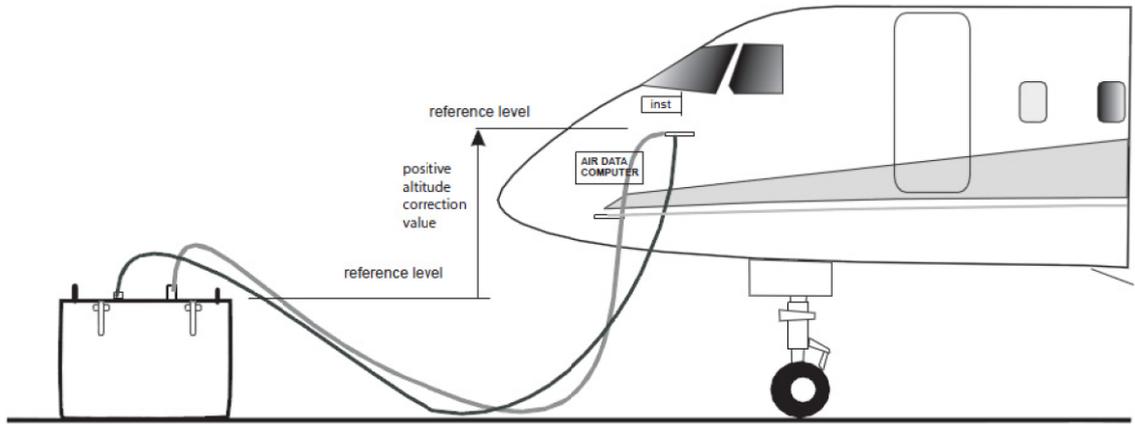
气压高度和空速的解算准则：标准气压高度与指示空速飞行的高度和速度无法直接地测量，却可以通过测量大气参数间接获得。飞机一般在对流层和同温层底层飞行，在这一区间里，大气的压力随着高度的升高有递减的趋势，且每一高度上气压与高度值都存在一一对应关系，那么通过测量当前高度的气压可以间接推算出当前高度值。然而在不同季节和不同地区气压与高度的对应关系并不一致，为了满足飞机仪表标准化需求，必须按统一标准的大气物理性质进行换算，因而国际民航组织（ICAO）制定了国际标准大气（ISA）。国际标准大气（ISA）以北半球中纬度地区大气物理性质的平均值为依据并加以适当的修正而制定，只要以国际标准大气为依据，那么气压与高度之间就有确定的对应关系，由测量的气压值对应得到的高度值就是飞机当前的标准气压高度。标准气压高度是国际上通用的高度，主要防止同一空域、同一航线上的飞机在同一气压面上飞行时两机发生相撞。当气流相对于飞机运动时，在正对气流方向的飞机表面，气流完全受阻，气流的动能转化为压力能和内能，此处的气压会升高。当前高度的真实气压为静压，迎风表面测得的气压为总压，又称全压，全压与静压之差为动压。若不考虑空气压缩性，认为空气的密度和温度基本不变，动压与空速的平方成正比。按照标准大气条件下动压与空速的关系，测量当前动压而得到的空速为指示空速。指示空速又称表速，未经过任何补偿，只是近似反应当前的真实空速。

空速管与全静压系统：空速管是测量当前高度的静压和飞行全压的装置。空速管通常装在机身前部的两侧或者机头正前方，有的机型装在机翼或尾翼上，也有些机型将空速管和测量迎角用的迎角探测器组合安装在机头的两侧。空速管朝向飞机飞行方向安装，以便准确测量相对气流方向的速度。空速管的结构一般由两个同心圆管组成，内圆管为全压管，外套管为静压管。内圆管在前端开有总压孔用来采集迎面气流的全压，外套管在管壁均匀开有一排静压孔用以采集当前高度的静压。需要说明的是，并不是只有空速管可以采集静压，机身两侧还有独立的静压口专门采集静压；另外有些机型的空速管没有静压管，只能采集全压，而用机身两侧的静压口采集静压。空速管内部还有电加温装置，以防止在空速管内凝结的水汽结冰堵塞空速管。使用膜盒压力表测量外套管气压可直接得到静压，测量内外套管的压力差可得到动压，也可以测量外套管的气压变化率得到静压变化率。如果将测量静压、动压和静压变化率的三块膜盒压力表的刻度分别改为标准大气条件下与之对应的高度、速度和高度变化率，那么指针指示的就是当前的标准气压高度、指示空速和升降速度。传统的机械式高度表、速度表和升降速度表的工作原理就是这样的。空速管、静压口、膜盒式仪表以及连接它们的气压管路共同组成了全静压系统。老式的小飞机往往只有一套全静压系统；老式的大型飞机上正副驾驶分别使用各自独立的一套全静压系统，并且两套系统之间有转换开关，以方便一方的全静压系统故障时可以迅速切换至另一套系统。现代飞机全静压系统中使用数字传感器将空速管和静压口采集的气压数据转换为数字信号，使用大气数据计算机（ADC）处理这些数字信号，并用电缆线代替气压管路进行信号传递，并使用数字显示器进行显示。典型飞机有三套独立的 ADC，

正副驾驶各使用一套 ADC 作为各自电子显示器的数据源，另外一套作为备用数据源。然而可以想象，一旦飞机上的电源失效，ADC 及电子显示器就会停止工作，所以现代飞机都会保留一套传统的全静压系统作为备用，使用的是传统的膜盒式气压式高度表和指针式空速表。大气数据计算机：指示高度和指示空速是将静压和总压依据标准大气条件换算得到的，并没有进行修正。一方面大气数据不仅包括全压、静压数据，还包括总温数据；另一方静压口测量的静压并不会完全等于飞机外的静压，飞机的迎角、侧滑、襟翼和起落架位置等因素都会影响静压的测量，因此需要对静压源误差进行校正。大气数据计算机（ADC）会采集以上所有数据进行计算，完成数据的校正。压力传感器、迎角传感器（AOA）、侧滑角（AOS）和大气总温送至 ADC 的信号应当为数字信号。以空速管为例，静压管和总压管感应到的气压信号应当通过 MEMS 压阻式传感器或者硅谐振压力传感器或振筒式压力传感器转换为数字信号再输送至 ADC。同时总温信号、迎角信号、侧滑角信号、以及襟翼和起落架位置信号等都需要输入 ADC 进行运算，最终得到校正后的较为准确的气压高度、空速及升降速度。ADC 计算的数据一方面传送到各仪表，比如在正副驾驶员飞行仪表板上的主飞行显示器上显示，供驾驶员了解当前飞行状态；另一方面通过数据总线传输到其他设备，比如飞行数据记录系统、自动驾驶系统等。



空速管与全静压系统的维护：按照飞机维护手册，当飞机在地面停放时必须将空速管加上保护堵盖，以防进入外来物将空速管堵塞。保护堵盖带有一条鲜艳的红色飘带，印有“起飞前取下”字样，以提醒机务人员在飞机起飞前及时取下。在飞机进行地面清洁或者喷漆时，空速管和静压口都要进行保护。另外静压口和空速管附近的蒙皮区域为气动敏感区域，必须保持光滑无损伤，以免影响全静压的测量精度。另外飞机的整个大气数据系统在指定周期内必须进行测试校准。一般使用动静压测试仪或大气数据测试仪或大气数据模拟器来模拟特定高度和空速下的大气数据特性，即大气的动压和静压，并将模拟的大气与飞机空速管相连接，让飞机全静压系统采集大气数据并进行运算，检查确认驾驶舱仪表的读数与模拟器制造的大气数据特性是否一致，并进行校准。



www.deltatech.com



空速管保护套和静压孔操作时小失误酿成大灾难:我们再来回顾伯根航空 757 客机坠毁的案例。失事的客机曾在圣多明各机场停留了三个星期,这三个星期里飞机的空速管始终未被套上保护盖。而飞机在机场被闲置或等候任务时,必须为空速管加上保护堵盖,机务人员的失误给了当地的胡蜂以可趁之机,这种胡蜂极有可能在这段时间内在空速管内筑巢,造成了空速管的堵塞,因而造成了飞机下次运行时错误的空速显示。飞机升空后,主驾驶空速表读数看似回复正常,但机长并没有确认正副驾驶的空速表读数哪个正确,而是接通了自动驾驶,使得自动驾驶仪按照主驾驶空速表错误的读数引导飞机飞行,在此期间机长始终没有对空速做出正确判断。虽然副驾驶和机械师做出了正确的判断,但副驾驶并没有及时接管飞机,只是在引导机长进行正确操作。而机长慌乱中错误操作飞机,最终造成了飞机失速坠毁。同年的 10 月,秘鲁航空 603 号班机,同样是波音 757 客机,再次上演了这样的悲剧。这次事故的起因是勤务人员在飞机清洁后忘记将覆盖在静压口上的胶带除下,且机长在起飞前检查时也没有发现,导致飞机升空后无法获取准确的静压数值,因而高度、速度信息显示失灵,最终导致飞机坠毁。从这两起空难中我们可以看出,虽然起因是小小的失误,但最终的结果却是由多个人为差错造成的。事故的原因不是单一的,往往涉及许多环节,就类似一条事故链,而只要有人将任何一个环节截断,灾难就不会发生。



在空速管的日常维护工作中,应注意以下内容:

1. 每天航班结束后,将空速管套上防护套,避免小蜜蜂等小虫钻进空速管内。
2. 航前拔出空速管防护套,并认真检查空速管和静压探头有没有被堵塞,确保动压静压管路通畅,并且航后及时套好空速管防护套。
3. 定期吹洗动静压管路,不要摩擦探头表面,否则会损坏探头;皮托探头不能喷漆,如喷漆,来自探头的数据将受影响。
4. 定期进行排水工作。当飞机遇到大暴雨而一直暴露在地面上时,动压静压系统应该完成排水工作,旋转拆下堵盖并推动排水装置里的排水盖使自锁弹簧打开,让储存的液体流出。
5. 做好防冰/除冰。在除冰后为防止冰粒溅入动静压探头,航前进行低加温,定期检查动静压探头防冰加温功能。
6. 洗飞机前用醒目的乙烯粘合剂胶带封住动静探头所有进气孔,防止水气进入。不要让封严伸进动压排水和静压孔中,不要用含有氯化钠的液体或硫磺混合物来清洗探头,不要让杂物进入静压孔中,不要让溶剂、油或润滑脂遗留在探头上。

飞机洗完必须拆下封严物,用干净的水清洗探头表面,以移去污质,然后用软布擦干,否则将导致空速和高度误差,危及飞行安全。

7. 定期进行动静压探头检验/检查，目视检查皮托探头的损坏或排放孔的外来物质，裂开或弯曲变形，确保开口的边缘明显；新的探头裂口深度*大为 0.010 英寸，前尖处损坏不超过 0.025 英寸，皮托管探头进出口的损坏不能超过限度，如超过这些限度，必须更换皮托管探头。

当摸皮托管探头时要小心，不要加太大的重力在探头上，否则，将导致探头损坏或变形，还要确保静压孔周围和动静压探头开口处保持平滑。

除此之外，还应特别注意以下情况已防止意外加温：

1. 在地面模拟飞机处于空中构型时，要拔出 WHC 和 PHC 及风挡和各探头加温的跳开关，以防止风挡和探头加温。

例如：参照 AMM 07-11-00-581-801-A 顶飞机时，在顶飞机前需要执行飞机处于空中构型的准备工作 TASK 32-00-00-860-804-A，就需要拔出 PHC，WHC 及各个探头、风挡的加温跳开关。但应注意的是，由于 WHC 和 PHC 具有实效保护功能，如果先拔出 WHC 和 PHC 的跳开关会导致风挡和探头开始加温。所有在拔跳开关时必须注意顺序，即先将风挡和探头的加温跳开关拔出，*后再拔 WHC 和 PHC 的跳开关。

2. 飞机在地面试车时，必须严格手册要求，将各种空速管和皮托管探头的保护套取下，并拔出探头加温跳开关。

3. 当有任何工作需要拔出 WHC 和 PHC 跳开关时，必须先将各风挡和探头的加温跳开关拔出，然后才能拔出 WHC 和 PHC 的跳开关。

www.delta-tech.cc

黛尔特科技(北京)有限公司