

美国冲压发动机研制概况

王 树 声

本文所介绍美国冲压发动机研制情况是79年3~4月我国燃气轮机和空气喷气发动机热物理代表团在美国参观访问总结报告的一部分内容。

冲压发动机是空气喷气发动机的一个类别，主要作导弹或无人驾驶飞行器如高空侦察机和靶机的动力装置。它利用高速飞行时冲压作用来压缩进口空气与燃料燃烧，所以它没有涡轮喷气发动机的压气机和涡轮等旋转部件。它的工作范围很宽广，见图1，但工作区域也有一个限度。在高空飞行时，空气压力低，如马赫数也小，就不能有效燃烧。在高马赫数时，如飞行高度低，则因空气量大，负荷大，滞止压力和温度都高，根据材料能承受的强度，这也有一个限度。

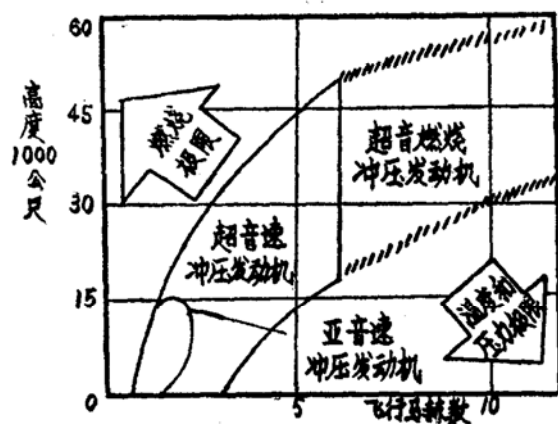


图1 各类冲压发动机的适应范围

自从法国人 René Lorin 于1913年首先提出冲压发动机设计思想后，法国、英国做了很多这方面的工作，德国在第二次世界大战初期也做了重要贡献。美国在冲压发动机方面起步较迟，但发展较快。1941年7月西屋电气公司 Stewart Way 博士首先写出报告指出冲压发动机应用于飞机的可能性。同时，NACA、C. I. T.、M. I. T. 等学校和科研机构作了许多理论和实验工作。1942年 Roy B. Marquardt 在加利福尼亚州范努斯(Van Nuys)组成一个研制冲压发动机的公司，称为马夸特公司。马夸特原在南加州大学任教，1945年完全脱离南加州大学，专门从事冲压发动机发展工作，该公司制造了第一台美国的亚音速冲压发动机用于靶机上，其后研制了 RJ43-MA 超音速冲压发动机，用于地空导弹“波马克”上。1944年11月约翰·霍普金斯大学应用物理研究所承担了大蝗蜂计划(Bumblebee Program)，后来发展设计了舰空导弹“黄铜骑士”所用的冲压发

动机。迄今为止，“波马克”和“黄铜骑士”是美国装备作战部队采用冲压发动机作为动力装置的两种导弹，现已先后退役。“黄铜骑士”正在改作靶机使用。

近廿年来，美国冲压发动机的发展有一段起落过程。在六十年代，因为美国国防部选择了固体火箭作为战略性运载工具和短程战术武器的动力，所以有计划地持续发展冲压发动机技术的工作无形中断。当时由于没有看到近期作战的用途，研制工作只能处于作技术储备的状态。在七十年代初期，又由于国防予算的减少，工业活动急骤下降，冲压发动机研制能否搞下去成了一个问题。在此时刻，国防部主管研究和工程的负责人成立了一个专门小组，由国防部使用部门的代表所组成，来决定这项独特的工业的前途和命运。这个小组的结论是：在将来的年代里，冲压发动机推进是有生命力的，并且具有与其他类型发动机相竞争的条件。在1973年6月6日专门小组的报告中指出：“在今后十年里，国防部着手发展的两种或三种导弹，将以冲压发动机作为首先选择或唯一可用的动力装置。”1978年2月美国国防部负责研制与装备的付部长威廉·佩里在向国会所作1979财政年度研制与装备计划报告在导弹推进一节中指出：“重点仍将放在为中、远程导弹发展性能很高的冲压喷气推进系统”。由此可见，美国国防部当前对冲压发动机推进技术的重视。

虽然六十年代美国冲压发动机发展处于低潮阶段，但预先研制并没有停顿。早期的“波马克”用的冲压发动机是RJ-43-MA-7，后来改进为RJ-43-MA-11。而马夸特公司为洛克希德公司的X-7A试验飞行器发展的先进的冲压发动机RJ59，它的飞行速度超过了马赫数4。约翰·霍浦金斯大学应用物理研究所为海军研制“黄铜骑士”之后，又接着研制了“台风”型号，它的马赫数接近5，也成功地进行了飞行试验。RJ-59和“台风”代表了美国发展到试飞阶段的一些最先进的普通超音速冲压发动机。

但是，早期这些冲压发动机性能虽好，应用作战武器非常有效，但体积较大，不是很紧凑的，因为面发射的导弹并不严格地限制发动机大小和外形。尤其用冲压发动机作动力装置的飞行器需用固体火箭作为助推器，以迅速获得一定速度，在此速度下，冲压发动机才能够起动工作。火箭助推器的布局无论是与冲压发动机串列或并列，都增加了阻力和重量。而机载或舰载导弹因可用容积有限，要求发动机体积小，即使地面发射的导弹也有存放问题。自从电子器件小型化，电路微型化，弹上设备体积很小，发动机体积就成了主要矛盾了，所以在七十年代初期，美国就大力发展小体积的冲压发动机。后来，由于战术导弹大批生产的需要，成本问题也很尖锐，现在美国进一步发展低成本冲压发动机。所以总结美国发展冲压发动机的过程有三个基本要求，就是：高性能，小体积、低成本。

对于这三方面的要求，通用冲压发动机的设计方案已不能满足，尤其是用冲压发动机作为宇宙航行飞行器的动力装置之一，在飞行高度和速度范围方面要求更为宽广了。近年来，国内外常用“组合发动机”这个名词，但对“组合发动机”这个名词的定义是各不相同的。美国最近的趋势将组合发动机这个名词定义为发动机高度使用范围为海平面到大气层，而速度马赫数自0到20左右。如果部分满足时，例如：高度0~20公里，速度马赫数为2~10的发动机则称为半组合发动机。关于组合式冲压发动机的方案，美国有许多专利，还有许多在绘图板上正在进行设计。但总的不外两方面：一是结构上的组合，二

是热力循环上的组合。所谓整体式火箭——冲压发动机(IRR)就是结构上组合,这种结构上组合是将续航用的冲压发动机与固体火箭助推器合在一起,再一种是将冲压发动机与导弹弹体合在一起。埃及在第四次中东战争使用苏联制造的 SAM-6 型地空导弹就是在结构上三合一的整体式火箭——冲压发动机。在热力循环上组合方案很多,美国在这方面有许多设计。在第四届国际空气喷气发动机会议上有几篇论文,可供参考。

但是在发展 IRR 初始阶段,美国所走的道路与苏联不同,苏联的 SAM-6 导弹续航冲压发动机采用固体推进剂的燃气发生器的贫氧燃气再与冲压空气进行补燃,而同时期的美国空中发射的小体积发动机(ALLVRJ)和空军低空短程导弹(LASRM)都是仍用液体燃料作为冲压发动机的化学能源。但近年来,美国不但研制固体火箭——液体冲压整体式发动机,而且还在研制固体燃料冲压发动机,也是整体式发动机,其方案是燃烧室中固体药柱分两种配方,内侧为固体助推器药柱,外侧为固体冲压发动机药柱。由于作为冲压发动机时固体燃料消耗率主要依赖于发动机内的空气流量,所以必须注意药柱的燃速同所需的弹道相适应。

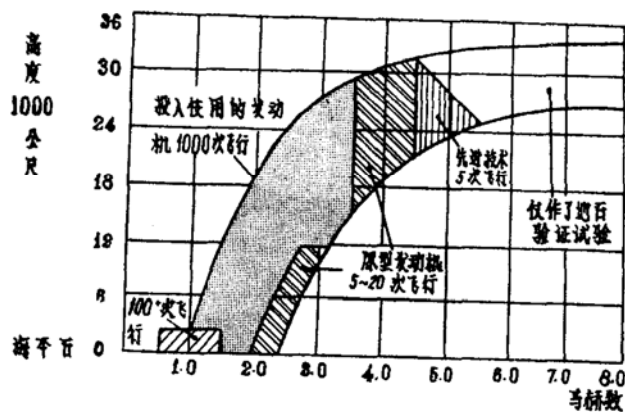


图2 冲压发动机技术概况(1959~1979)

图2表示了1950~1977年美国冲压发动机技术的基础。

当前美国冲压发动机研制计划项目很多,总的说来,都是国家提出的。除少数用于宇宙航行的,如航天飞机所用组合发动机的研制任务,由国家航空和航宇局(NASA)提出外,其余大多数都是军事任务,一般是根据国防部的方针政策,由陆、海、空军各自提出具体项目。这些研制任务中多数系海军和空军提出,陆军只有少数任务。

美国海军用的导弹由两个单位主管,一是海军航空系统司令部,一是海军海上系统司令部,所以导弹用的冲压发动机研制任务也由这两个司令部根据需要下达,科研单位有海军武器中心,冲压发动机技术指导则为约翰·霍浦金斯大学应用物理研究所,该研究所承担很多研究任务,冲压发动机只是其中一小部分,但他们有研制“黄铜骑士”和“台风”的丰富经验,现正进行整体式冲压发动机和超音燃烧冲压发动机的研究工作。美国空军用的导弹由空军司令部下达,冲压发动机技术也有赖特,帕迪森空军基地的空气推进研究所冲压发动机分部作为科研抓总单位。

图 3 表示了美国现在进行的,用冲压发动机动力装置的飞行器研制和发展计划。“火炬”是海军用超音速靶机 (图 4), $M = 2$, 它用以逼真地模拟苏联反舰巡航导弹 (如 M 数为

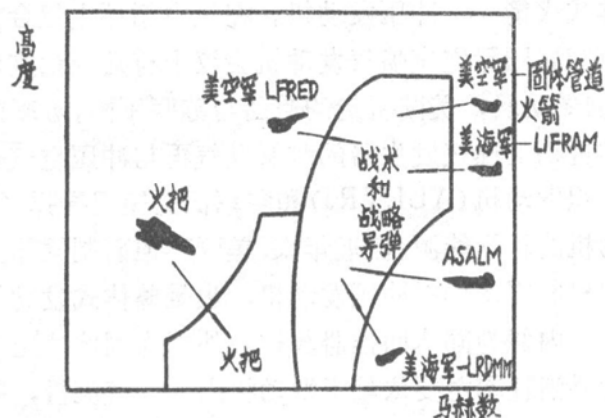


图 3 当前几项主要的有关冲压发动机的研究规划

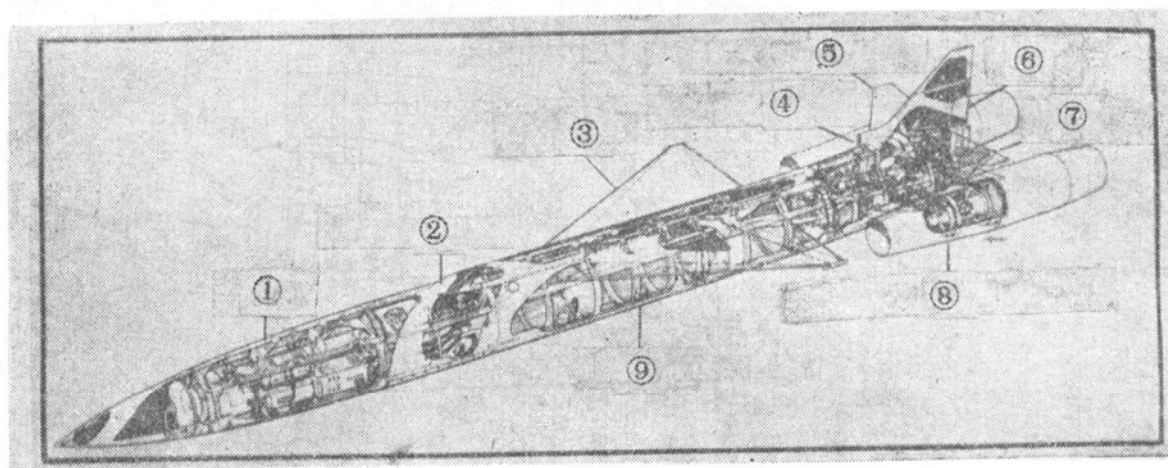


图 4 “火炬”超音速靶机部视图

图 4 中的说明： 1: 负荷 2: 回收系统 3: 三角型 4: 冲压空气涡轮
5: 差动升降舵 6: 方向舵 7: 阻力伞 8: 双正冲波冲压发动机 9: 油箱

1.4 的 SS-N-9“海妖”舰对舰导弹, 或者 M 数为 2 的 AS-3“袋鼠”空对地 (舰) 导弹) 的大小、速度和作战性能要求。此靶机兼具有面发射和空中发射的能力, 并能在许多飞行状态下、从低空到高空作超音速飞行。研制成功后, 将为近代高级靶机。此靶机所用冲压发动机是马夸特公司研制的, 推力约为 2268 公斤, 具有正激波进气道, 具有能工作三次的寿命。“火炬”靶机采用两台外挂式冲压发动机, 因为考虑若采用单台大推力发动机, 会产生推力偏心问题。

美国战略和战术导弹采用冲压发动机技术总的趋势是用 IRR 方案, 由于美国战略和战术导弹战术技术要求是速度要高, 射程要远, 而 IRR 技术是满足此要求的动力装置中优越方案之一。

战术导弹方面, 空军的固体管道火箭用于先进的空对空导弹。管道火箭的比冲见 5 图, 它的工作原理现类似苏联的 SAM-6, 采用固体推进剂燃气发生器, 由于采用固体推进

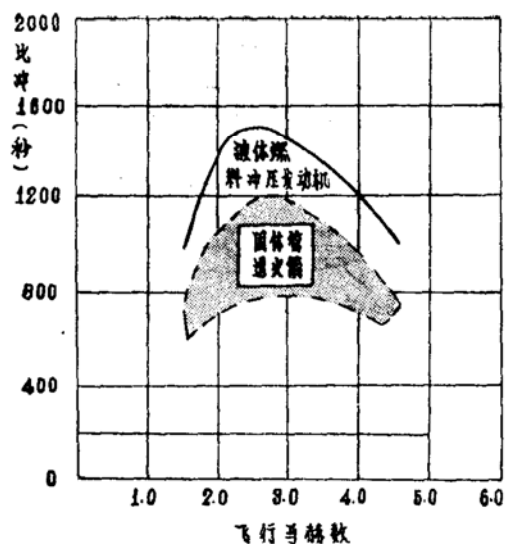


图 5 不同类范发动机比冲

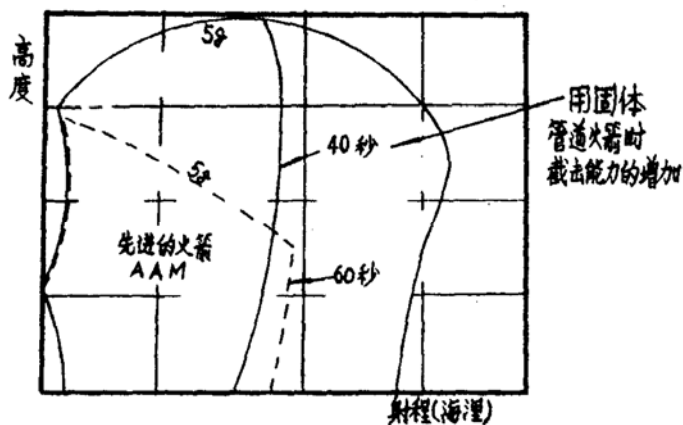


图 6 以固体管道火箭做动力装置与普遍火箭作动力装置的空空导弹的比较

剂燃气发生器，由于采用固体推进剂，就不必有燃油泵和燃油调节装置，结构大为紧凑，它用于作为拦截的短程空对空导弹，不但提高飞行高度而加大射程（图6）。但远程拦截的空对空导弹，由于工作范围宽广，高度包括低空、中空和高空，因此采用煤油型燃料，以便推力调节。采用整体式冲压发动机作为远程拦截空对空导弹见图 7。此种导弹适用于现在装备 AIM-7（麻雀）导弹能力的 F-14，F-15 和 F-18 飞机上。使用这种整体式火箭—冲压发动机推进系统大为改进拦截能力，可以对付低、中、高空超音速导弹和飞机的威胁。图 8 表示了整体式火箭——冲压推进的先进的拦截用空对空导弹 AIAAM 与正在服役的“不死鸟”导弹对比。众所周知，“不死鸟”空对空导弹在射程上是很远的，但 AIAAM 射程比它还远，而高度也大为提高。这个导弹设计成功将具有拦截高性能飞机和近代高级导弹的能力。

IRR 技术不但用于战术导弹，而且用于战略巡航导弹，典型的使用是先进战略空中发射导弹 (ASALM) (图9)。现有远程巡航导弹均用涡轮喷气发动机作动力装置，多为亚音速的，易为敌方导弹拦截，即使飞得很低，在雷达盲区内，但地面部队可以发现並加

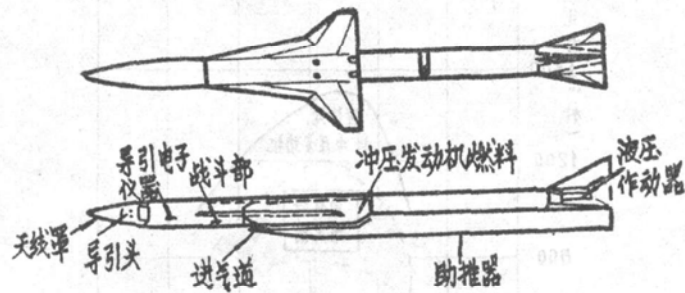


图 7 用冲压发动机技术的先进拦截空空弹

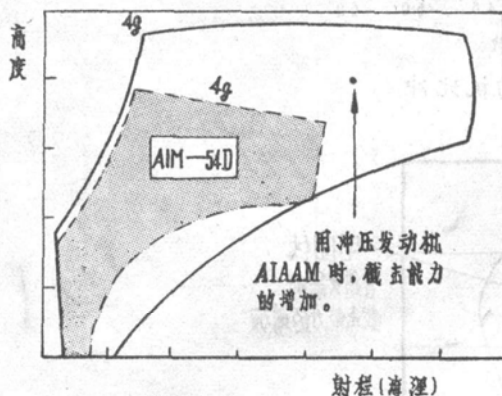


图 8 以冲压发动机作动力装置的空空导弹与 AIM-54D“不死鸟”导弹能力比较。

以射击。美国采用 IRR 技术的 ASALM 是超音速的，因此本身生命力强。此导弹的设计是装在波音 B-52 轰炸机和通用动力公司 FB-111 战斗轰炸机上，现可用作空对空导弹，也可用作空对地导弹，并可作高空、低空或高低空混合弹道飞行。由于这种导弹是在高空作超音速飞行，故可作远程空对地导弹。作为轰炸机上空中发射的巡航导弹，与现在用双脉冲固体火箭发动机作动力装置的短程攻击导弹 (SRAM) 相比，大小差不多，但航程远得多。如发展为空对空导弹，可作为轰炸机对付空中侦察机和高性能截击机的手段。

此导弹已经过多次飞行试验，可在 1979 年内进入批准阶段。

以上这些计划项目所用冲压发动机的具体研制单位主要有联合技术公司的化学系统分公司、马夸特公司以及沃特公司。马夸特公司是最早搞冲压发动机研制的，当前仍是美国这方面领先单位之一。虽然该公司有一段时期搞宇宙航行精密控制用的固体火箭发动机，但冲压发动机技术仍在发展，例如 1974 年 7 月~1975 年 3 月期间曾接收 NASA 的任务研究设计了单级进入轨道的飞行器。近几年来正为空军和海军研制具有机密性的火箭—冲压组合发动机，自称将为超音速战略导弹和一次使用的战术武器创造新纪元。

沃特公司是灵·特姆科·沃特 (LTV) 公司的一分公司，最早从事空中发射的小体积冲压发动机 (LVRJ) 的研制，该发动机于 1976 年完成第五次也是最后一次飞行试验，其技术将用于高性能的战术空对面导弹中。



图 9 先进战略空中发射导弹

去。

在承担美国空军和海军关于冲压发动机研制任务中，能与马夸特公司竞争的是联合技术公司的化学系统分公司。联合技术公司的前身是联合飞机公司，它是规模很大的航空工业组织；它下面的化学系统分公司从事冲压发动机研制。化学系统分公司的前身是联合技术中心，它的最大计划是成批生产直径为 3.048 米、分段式固体火箭助推器，也是最早从事固液混合式火箭发动机试验研究单位。它依靠联合技术公司内部各分支机构协作，在完成海空军的研制任务方面能力很强。各分支机构分工如下：化学系统分公司负责冲压发动机研制的领导工作，即总体、总装和销售工作，联合技术研究中心提供在飞行中有关气动力，燃烧和火焰稳定方面的各种数据，汉米尔顿标准分公司提供燃油系统的各种数据，泼莱特、惠特耐发动机分公司提供先进的制造工艺。化学系统分公司把冲压发动机研制的领导班子分成液体燃料和固体燃料两个系统，另外还有主管研究和工程事务的领导。

总结美国近年来冲压发动机研制情况，可以看出：现代冲压发动机或整体式冲压发动机是很有前途的一种动力装置，它为导弹或无人驾驶飞行器提供了在超音速续航下远距离飞行能力。同装有涡轮喷气发动机的导弹相比，装有冲压发动机的导弹能够更快地飞至目标；同装有火箭发动机的导弹相比，重量要轻得多，且始终有动力做机动飞行。另外，由于冲压发动机结构简单，在使用寿命期间，需要维护工作量极少，这些都使生产成本和地面勤务费用大为降低。因此发展趋势是：

1. 研制活动在一个长时期中断后，正在恢复活力，以满足各种先进导弹任务的需要，前途非常广阔。

2. 使用范围可用于各种空域，无论是高空、低空或高低空混合弹道；现可空中发射，也可面发射，故可作远程，高速空中发射多用途（空对空、空对面）导弹，先进的面发射拦截导弹，远程、低空突防无人驾驶飞行器和低成本、一次使用投放系统的最好动力装置以及航天飞机单级进入轨道的动力装置。

3. 设计要求高，基本三个要求：高性能，小体积，低成本。

4. 继续发展研究超音燃烧冲压发动机，供更先进高超音速无人驾驶飞行器之用。但必须指出，超音燃烧存在问题较多，不但燃烧机理有许多问题，更主要是试验设备和测试技术较为复杂；因此，美国从六十年代初期就开始研制，但到现在为止，还没有一架超音燃烧冲压发动机在空中飞过，估计在近两年内也不会有突跃的进展。