

原子发动机在 航空中的应用

[苏联] Г. Н. 涅斯捷连柯, А. И. 索包列夫

Ю. Н. 苏什考夫 著



国防工业出版社

原子发动机在 航空中的应用

Г. Н. 涅斯捷连柯、А. И. 索包列夫、Ю. Н. 苏什考夫著

穆明译



国防工业出版社

本书是一本介绍原子动力装置的好的通俗读物，它的前部分着重于介绍原子反应堆的结构、类型、工作状态、调节，以及有关反应堆的其他情况。后一部分着重地介绍了各种可能采用的原子发动机的构造及其示意图。最后对各种可能采用原子发动机的飞机、火箭等也作了叙述，同时插进一些有关未来宇宙航行的资料，全书内容丰富，对增进读者对原子能和平利用方面的知识有所裨益。

本书适用大学生、中学生、机关干部，以及从事其他专业的工程技术人员、部队官兵等广大读者。

ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
В АВИАЦИИ

〔苏联〕Г. Н. НЕСТЕРЕНКО, А. И. СОБОЛЕВ, Ю. Н. СУШКОВ
ВОЕНИЗДАТ 1957

*

原子发动机在航空中的应用

穆 明 译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 4 15/16 107 千字

1960年3月第一版 1964年7月第二次印刷 印数：3,151—4,100册

统一书号：15034·438 定价：（科七）0.70元

目 录

第一章 原子能在航空中应用的前景	5
采用化学燃料和核子燃料的飞机的航程	7
珍惜地球上蕴藏的石油资源	12
获得核子能的两种基本方法	13
地球上的化学燃料和核子燃料蕴藏量的比较	19
对原子航空发动机的初步意见	21
第二章 航空动力装置的核子反应堆	27
航空核子反应堆的基本特点及对它的要求	27
核子反应堆的原理图和反应堆里发生的基本过程	29
核子反应堆的临界状态	33
核子反应堆的不稳定工作状态	38
核子反应堆的调节	43
核子反应堆的类型	46
在建造航空核子反应堆时所遇到的主要困难	59
热交换器	66
第三章 可能采用的原子航空动力装置示意图	72
原子火箭发动机	72
原子空气喷气发动机	75
原子冲压式空气喷气发动机	78
原子涡轮喷气发动机	83
原子动力压缩机式空气喷气发动机	91
原子涡轮螺旋桨式发动机	99
使用核子燃料和化学燃料的复合式动力装置	108
原子航空动力装置的远景结构	111

第四章 带有原子发动机的飞机防射线问题	116
带有原子发动机的飞机的结构特点	124
带有原子发动机的飞机起飞与着陆的特点	128
带有原子发动机的飞机的地面维护的特点	133
第五章 原子能与星际航行	139
已达到的速度和高度	142
达到宇宙速度的两种方法	144
利用核子能还是利用化学能?	146
原子火箭发动机的优点	147
原子宇宙火箭的设计	149
选择达到宇宙速度的程序	153
結束語	157

第一章 原子能在航空中应 用的前景

原子能的发现，及随之而来的制订出它的实际生产和利用的方法，是当代最辉煌的科学成果之一。为了说明这一巨大发现的全部意义，只要提醒这样一点就够了，即不论在那个时代，使机器转动的能源问题都是阻碍或加速技术发展的基本因素之一。

例如，将燃料的能量变为机械运动的蒸汽机的出现，便引起了工业革命，使科学和技术得到了空前的发展。十九世纪末，内燃机的发明则为汽车制造和航空的出现和发展准备下了条件。在二十世纪初，电能则开始起着巨大的作用。

常常是在能够利用某种新能源的条件下，社会生产力便向前飞跃发展。

现在，我们是人类社会生活中使用隐藏在原子核内的能量的新时代的最初见证人。

直到目前，所利用的各种能的主要来源和地球上的生命来源，都是太阳能。原来这种能是在太阳的巨大质体中进行核子转变的结果。科学家认为，在太阳上所发生的氢原子核结合为氦原子核的过程，放出大量的原子（核子）能。现代科学使人们能够在地面上得到和利用原子能，从而为生产力的发展创造了新的条件。

我们正处在一个新的科学技术和工业革命的前夜，按其意义来说，它远远超过了因出现蒸汽和电所引起的工业革命。

根据在工程技术上解决问题的困难程度，原子能在工业

和交通业中的应用分几个阶段。第一阶段，也是较为容易达到的阶段，是建立原子能发电站；第二阶段，是提出和解决建造装有原子动力装置的舰艇；第三阶段，则是解决原子能在航空发动机中的应用问题。这还是在技术上最难实现的一项任务，所以目前还没有完成。要解决这一任务，今后还需付出很大的精力。

然而历史已经证明，新的、更为强大的能源一经发现，那它实际用在特别需要的地方就不是遥远的事了。核子物理学和力能学的飞速发展，原子工业的发展，以及利用固定原子装置的理论和实验研究的经验，使从事制造原子航空动力装置的苏联和国外的科学家有可能从科学的、纯理论性的研究转入设计工程计算和实验。

航空的发展，首先取决于航空发动机制造业的发展。现已达到的飞行速度、高度和距离，在很大程度上取决于航空发动机的完善程度，即取决于发动机的功率、高空性、经济性、工作可靠性、重量指标和外廓尺寸指标。图1所示的是一种非常新奇的图表，它可以反映出国外一些科学家对航空发动机发展过程的想法。从这个图表中可以看出，活塞式发动机，其次是涡轮喷气发动机发展的潜在可能性已在很大程度上被利用了，涡轮螺旋桨式发动机、液体喷气发动机和冲压式发动机则正在蓬勃发展。按照这个图表，1955年可以认为是在最近几年内应出现的原子航空发动机的发展起点。当然，现在还很难断定，原子航空发动机的发展曲线是否像图上所划的那样，如此平稳而又急速地上升；随着所进行的实验的成功或失败、新的发现和其它偶然因素，曲线的一些地方也可能是起伏不平的。

每当讨论制造新型发动机时，总会提出这样的问题：这种发动机比我们现有的各种发动机好在什么地方？我们为什么需要原子航空发动机？

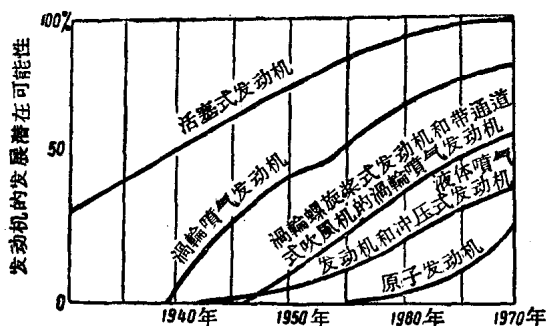


图1 航空发动机的发展曲线图。

在研究了航空技术发展的一般远景、首先是研究了增加飞机航程的前景和供给航空事业以化学燃料的问题之后，便可回答这个问题。

采用化学燃料和核子燃料的飞机的航程

不断增加采用化学燃料的飞机和直升飞机航程的努力，碰到了越来越多的复杂问题，有时甚至碰到不可克服的困难。特别是难以保证使现代的跨音速飞机和超音速飞机具有所希望的航程。飞行速度的增大，首先是依靠航空发动机功率的增加，而大的功率要求大量消耗燃料。足以说明，重量为6~8吨的现代超音速歼击机，每分钟要消耗150~200公斤煤油。也就是说，歼击机飞行一小时就需要9~12吨燃料。要在歼击机上装载这么多的燃料是不可能的，所以采用化学燃料很难增加歼击机的航程和续航时间。

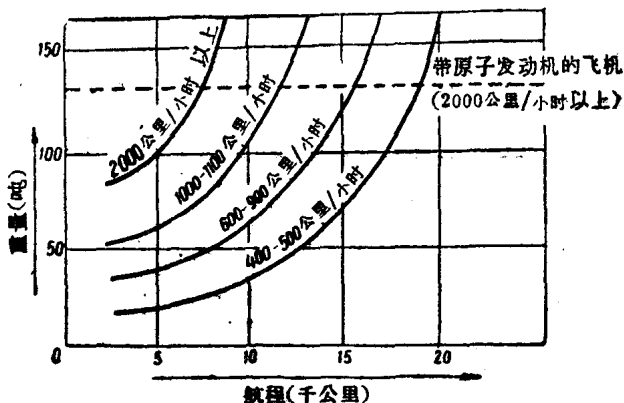


图 2 飞机重量与航程和飞行速度的关系曲线。

设计师们一方面早已知道飞行速度和航程之间的关系，另一方面也知道速度和飞机重量之间的关系。从研究此关系的近似曲线图(图 2)中可以看到，打算在给定的飞行速度条件下提高航程，设计师不得不增加飞机的飞行重量和燃烧剂在总重中的分量。像煤油和汽油这样的现代化学燃料，其热值为 10,000~11,000 仟卡/公斤（每公斤的仟卡数）。这样较低的发热量也限制了飞机、特别是火箭的航程。火箭上除了要有很大的燃烧剂储备量之外，还必需有很大的氧化剂储备量。火箭的燃料（燃烧剂+氧化剂）的发热量共为 2,000~3,000 仟卡/公斤。这就使远航飞行的飞机、尤其是火箭像个飞行油罐一样。现代远程轰炸机的总加油量达到 50~100 吨，甚至更多。这点就足以说明问题了。装有功率大的喷气发动机的新式运输机和客机则需要加注数十吨燃烧剂。

超音速飞机航程的近似计算表明，飞行重量达 100 吨的飞机，在每小时速度为 2,000~3,000 公里时，最大航程为

3,000~5,000 公里。在同样飞行速度条件下，最大重量級（200~250吨）的飞机的航程可达 10,000~12,000 公里，即其活动半徑为 5,000~6,000 公里。装有原子动力装置的飞机的重量，如图 2 所示，与航程和飞行速度的关系不大。从现代的观点来看，首批装有原子发动机的飞机的重量为 100~150 吨，而且这些飞机将具有在地球范围内的任何必要航程。

能不能再增加采用化学燃料的飞机的航程呢？肯定是可以的。近年来，为此目的进行多次飞机空中加油实验。

采用这个办法的想法并不新颖。还在 1929 年，K. Э. 齐奥尔科夫斯基就提出了不用单个火箭而用所谓宇宙火箭列车达到宇宙速度的建议。火箭列车系由数个火箭组成，它们随着燃料的消耗而将剩余的燃料转注给其他火箭，然后，自行脱离，返回地面。这样，火箭列车的最后一节“车厢”，也即最后一级火箭，便可达到宇宙速度。

现代的空中加油便是这种火箭列车思想在航空中的应用。这种办法的实质，在于把飞机分成了两组——基本的和加油的。在离开机场的一定距离上，由加油飞机直接在空中给基本飞机灌注燃烧剂便可增大后者的航程。根据这个例子（图 3）便可研究空中加油的简单方案。我们取三架飞机，其中每一架在全部加满燃料后的最大航程为 3,000 公里。先由两架加满油的飞机——基本飞机和加油飞机——起飞，飞完大约全部航程的三分之一路程，即 1,000 公里时，加油飞机靠特种软管与基本飞机连接起来，并将三分之一煤油灌注给它。加油飞机靠剩下的三分之一燃料返回自己机场，而基本飞机便又重新加满了油，可以向前再飞 1,500 公里，完成战斗任务，再飞回距离自己机场 1,000 公里，即与另一加油

飞机相遇的地方。在这里，尚有三分之二燃烧剂的第二架加油飞机给基本飞机三分之一燃烧剂，并同它一起返回自己机场。这样，有了两架辅助加油飞机，在最理想的情况下，便可将第三架飞机的活动半径增到60~65%。

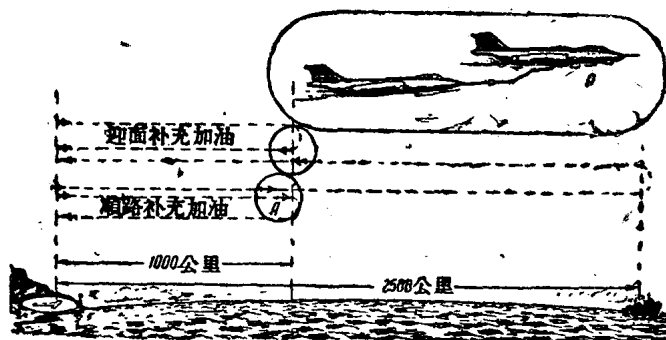


图3 为增大航程而进行的飞机空中加油。

保证飞行着的飞机在预定地点和时间可靠地相遇，以及在飞行条件下的燃料抽吸过程，都要求飞行乘员具有专门的训练和良好的才能。所以在空中给飞机补充加油是一种迫不得已的姑息办法，因为这种办法首先是复杂和耗费大；第二，不能大大增加航程。此外，对超音速飞机来说，空中加油实际上是不可能的。飞机在补充加油前必需转为亚音速，然后，再重新加速到超音速，为此，它几乎要消耗掉给它所补充加注的油量。超音速飞机在速度和高度上的机动飞行大大降低了航程，因为每一次的重新加速和爬高都要大量消耗燃料。

只有在使用核子燃料发动机的情况下，才能不需要任何补充加油而大大增加飞机的航程。因为每单位重量核子燃料所含的能量比每单位重量现代航空燃料所含的能量约大两百

万倍。

装有原子动力装置的飞机的技术航程，即計算航程，已經不再由燃燒剂的儲备量而定，而由发动机本身的寿命，即整个結構最脆弱零件在磨損或損坏前的工作小时数和其他一些像乘員的工作能力等等因素而定。根据某些国外的材料来看，原子飞机一次飞行的航程可确定为90,000~100,000公里，甚至更多一些。这样，飞机在速度上和高度上的机动飞行对航程不会有很大影响，因为在发动机的任何工作状态下，核子燃料的消耗量都会是很小的。

計算表明，飞行重量为120吨的飞机，当其飞行速度为2,000公里/小时和动力装置的效率为20%时，每小时大約要消耗25克鈾235型的核子燃料。因而，作一次环球飞行（20小时飞行40,000公里），这种飞机得消耗500~600克核子燃料。

要用化学燃料来完成这种飞行，则需要1,000多吨煤油——20节鉄路油車。为了加油，飞机得作大約15次中途降落。当然，由于煤油在空中燃燒，則飞行一小时所需要的燃燒剂消耗量也将随着飞机重量的逐漸減輕而减少。但是，因每次中途降落后的連續起飞、爬高和加速，使燃燒剂消耗增加，这个似乎存在的优点也就完全不存在了。

使重型飞机的飞行速度达到超音速，要求发动机装置具有极大的推力和功率。需要的功率約为150,000~200,000匹馬力，甚至更多一些。制造这么大功率的化学燃料航空发动机尚有許多重大困难。而要使原子动力装置获得大的功率，在原則上要比普通航空发动机容易。

制造大功率的原子航空发动机的远景，特別是保証任何航程的远景，自然是非常引人注意的。首先，这对軍事航空

來說是很有誘惑力的，因為那里從不會把增加飛行速度、高度和航程等問題由日程上取消。同樣，對民用飛機——客機和運輸機——來說，也是很誘惑人的。我們在研究原子飛機的一些設計時，將詳細談及這些遠景情況，現在先作出第一個結論：要大大增加現代快速飛機的航程，必需有採用核子燃料的發動機。

珍惜地球上蘊藏的石油資源

在航空發動機中必須利用原子能的第二個重要問題，是地球上石油資源的過度消耗和難於供給飛機以化學燃料的問題。

現代噴氣飛機是使用石油分餾輕產品——高級煤油和汽油——的基本單位之一。把地球上的石油資源大量消耗在運輸動力裝置和力能動力裝置上，從科學上來說，是迫不得已的，是不完全合算的事。石油，對化學工業、油漆塗料工業以及其他許多工業直到食品工業的各種不同部門來說，都是較為貴重的有機原料。偉大的俄羅斯學者 Д. И. 門捷列也夫當把石油稱作“黑色的金子”和指出濫用石油蘊藏量時曾激動地說：“甚至燒鈔票也可以”。

石油的開采、分餾和運輸的成本，從石油中所獲得的航空燃料的成本，是比較高的。況且地球上的石油資源並非是取之不盡的。統計表明，按現代使用地球上的石油的情況，其蘊藏量再過 185 年可能用完。如果考慮到需要用化學燃料的動力裝置的總功率不斷提高，那麼計算表明，再過 25~50 年，石油蘊藏量就要耗盡了。

當然，這樣的計算不能認為是完全正確和完全精確的，

因为对地下的勘探发现了新的燃料资源，但已列出的数字仍能说明地球上的石油蕴藏量是极其有限的。如果能使飞机不用化学燃料而改用核子燃料，那么石油资源的消耗就不会这么厉害了，更多的石油就可用来满足国民经济中其他迫切需要的地方。

说了这些，自然就产生了关于地球上核子燃料的资源、核子燃料的成本及其动力可能性等等问题。

对这些问题，我们现在来试谈一下。但必须注意到，对核子燃料的世界蕴藏量及其动力可能性的阐述和评价过程还远远没有完结。只要研究一下不算太长但却相当宏伟的有关发现各种原子（核子）能源的历史，这个过程的变动情况就很清楚了。

获得核子能的两种基本方法

尽管近几年来原子动力技术有了蓬勃的发展，但直到现在科学还没有足够完整的资料来说明在原子核中起作用的力的性质。

核子力的性质至今还没有被人完全弄明白，这是一个事实，但这并不妨碍实际应用核子能。当时英国物理学家O·汉维萨德曾说：“我是否就因为完全没有了解消化过程我就不吃饭了呢？”可是我们为了说明获得核子能的方法，总不得不简单地谈谈原子核和核子力的性质。

大家知道，原子核由统称为核子的质子和中子组成。核子靠特种核子引力相互靠近地保持在原子核中。这些力具有复杂的性质。目前只可以肯定一点，即核子力不是重力（万有引力）或电磁力。大家知道，核子力是“短作用”力，只

在原子核本身內才能发现。我們比較容易地想像到，組成液滴的流体分子相互是怎样吸引的。核子力在外表上类似流体中分子的內聚力，它在原子核表面上产生类似流体中表面張力的效应。这引起产生原子核的独特的“表面張力”，使核呈球形。核类似带有正电荷流体的液滴。但分子的內聚力比核子力小到几千万分之一。因此，原子核与流体液滴的比較只是概略的近似值。

我們来研究一下原子核和核子力的力能学。在沒有足够的資料能說明核子力性质的情况下，現代科学也可以确定因这些力的存在而引起的核子結合能。

原子核結合能是这样一种能，它可以在克服核子力作用的情况下用来作功，使核分裂成組成原子核的核子。

在相反的过程中，在由核子形成（合成）原子核时，也放出这样的能。这样，就可以把結合能确定为由核子形成原子核时放出的能。

在核子物理学中最广泛采用的能量单位是电子伏（ eV ）。这个能量单位我們要常常用到，所以对‘它必須有一个了解。一电子伏等于任一质点所获得的能量，这个质点的电荷等于在通过一伏电位差的电場时的电子电荷。在实际工作中常常使用由电子伏导出的更大的能量单位：千电子伏（ KeV ）和百万电子伏（ MeV ）。

一个核子所具有的結合能对不同原子量的原子核來說是不一样的（图4）。观测原子量由40到80的原子核，一个核子所具有的結合能为最大。具有这种原子量的有鉄、鎳、氩及其他几种元素的原子核。对重氫來說，一个核子的結合能約为1百万电子伏（ $1MeV$ ）。在輕元素範圍內，一个核子的

結合能量随原子量的增加而迅速增高，达到原子量約为60的元素（鉄、鎳）的最大值（約 875 万电子伏），而后則慢慢减小，取門捷列也夫元素周期表末的元素的值大約为 750 万电子伏。

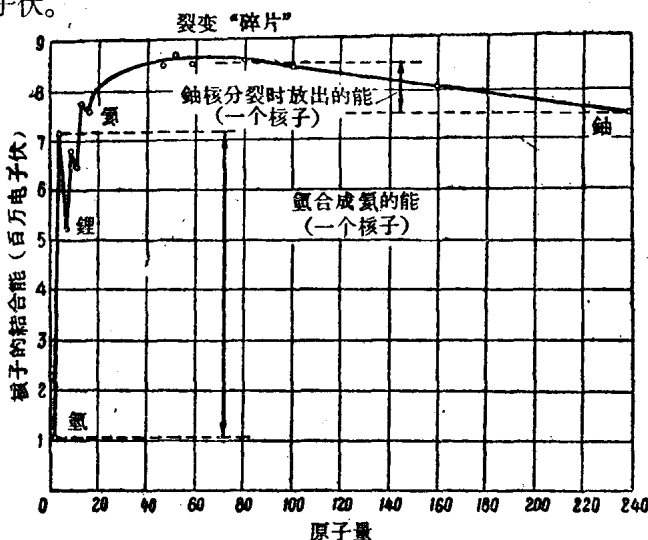


图4 原子核中的一个质点所具有的能与原子量的关系曲线。

从曲线图（图4）上可以看出，最轻元素为一面，而最重元素为另一面，由这两面沿曲线向中心运动时，一个质点的结合能不断增高。结果有两种基本类型的都可放能的核子变化（核子反应）：以所谓热核子反应形式实现的轻元素原子核结合反应和分为平均重量原子核的重原子核裂变反应——分裂反应。

原料重量单位的能的输出量，在轻元素热核子反应时要比在重元素原子核分裂反应时大好几倍。目前，人们已经学会控制分裂反应的经过过程。适于实际利用的可控制的热核

子反应，暂时还没有获得，这是将来的事情。因此，我们将主要研究分裂反应、分裂物质、其资源和动力可能性。

目前，铀是基本的分裂物质（核子燃料）。我们先提一下用来作为运输动力装置“燃料”的铀的基本性能。

铀是明亮的金属，比钢软，比重为18.95，可以进行任何种类的机械加工。其特点是氧化倾向大。铀在 100°C 下就能燃烧，并在氧气中迅速烧尽。在普通化学燃烧反应时铀的发热量是很小的，只不过有1075仟卡/公斤。在惰性介质中的熔点为 1130°C 。这种比较低的熔点和在各种温度条件下都能发生的铀结构的变化，正像我们以后会看到的那样，在给运输动力装置设计高温度的反应堆时要造成许多麻烦。

图5所表示的铀235原子核分裂反应经过是这样的：要穿过原子核的自由中子使核处于受激态，因此原子核的平衡受到破坏，原子核通常被分裂（打碎）成两个不等的“碎片”。这时飞出2~3个新的称为次级的中子。

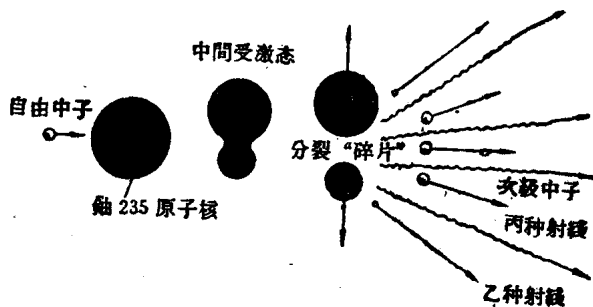


图5 铀235原子核分裂反应。

铀235原子核中所含能（核子能）的一部分变为飞散“碎片”的动能和各种辐射能。核子分裂反应的大概的动力平衡，可用下表来说明：