

Л.К.巴耶夫 著

現 代 的 噴 气 和 火 箭 技 術



U63

國防工業出版社

現代的 噴氣和火箭技術

Л. К. 巴耶夫 著
乐 鑄 譯

國防工業出版社

Л. К. Баев
РЕАКТИВНАЯ ТЕХНИКА
НАШИХ ДНЕЙ

Государственное учебно-педагогическое
издательство министерства просвещения РСФСР

Москва—1956

本書系根据苏联教育出版社
一九五六年俄文版譯出

現代的噴氣式發動機

〔苏〕巴·耶夫

乐 鐸

国防工业出版社

北京市書刊出版業營業許可証

北京西四印刷厂印刷

787×1092¹/₃₂ 3³/₈ 印張

1958年7月第一版

1959年4月第二次印刷

印数: 1,501—6,600册 定价: (10) 0.55元

NO. 1879 統一書号 15034·190

目 录

緒言	4
一 噴气式和火箭式发动机的工作原理	6
二 噴气式和火箭式发动机的种类	9
1 固体燃料火箭发动机	10
2 液体燃料火箭发动机	12
3 冲压式空气噴气发动机	16
4 渦輪噴气式发动机	21
5 脉动式空气噴气发动机	30
三 火箭和噴气式发动机的发展簡史	32
四 現代技术中的火箭	46
1 无后座力炮	46
2 帶翼火箭	58
3 科学武器	61
五 航空噴气及火箭技术	70
1 比声音快的飞行	70
2 苏联最早安装噴气式发动机和火箭发动机的飞机	78
3 現代的航空噴气和火箭技术	85
六 将来的航空噴气及火箭技术	98

緒 言

您坐过飞机没有？要知道您在飞行时所发生的那种难以形容的感觉经常是和速度(往往和高速)的感觉有关的。

……您由輕便的金属梯子登上重型飞机。强大的发动机开始吼叫起来，飞机震顫了一回，就扭轉机身，在混凝土跑道上奔馳，愈来愈快。于是这架带翼的巨机以飞快的速度疾馳起来。飞机终于离开了地面。綠色的飞机場开始急速的后退和下沉。这时飞机已經起飞，开始爬高。

飞机的速度还是繼續在增加。請您瞧一瞧嵌在座仓前壁上几乎靠近天花板的那架仪器。这是空速表，表上的指針已經越过 150 公里/小时的分划，繼續向前移动。地面已經离开很远，相距几百公尺了。虽然現在您觉得地面向后移动得很慢，但是速度的感觉并没有消失。恰好相反，速度正在增加，如果您向窗外望出去，就会看到被冲破的一朵朵的云雾是多么快的往后飞跑，原来飞机已进入云层。

高速度，这就是空运和其他运输工具首先不同的地方。飞机超过其他运输工具的主要优点也就在此。

高速度，就是現代一切技术，包括运输、特别是航空技术的主要发展趋势。

最近十年来，飞机的速度約增加了一倍。这些卓越的成就是由于在航空中采用新式动力装置——噴气式和火箭式发动机而得到的。

发展到这样高速度的新式发动机究竟是怎么样的呢？

噴气式和火箭式发动机对于現代技术，特别是航空技

术带来了什么新的东西呢？它是怎样工作的呢？它究竟依靠什么东西才使飞机获得空前未有的速度？喷气式飞机及火箭的飞行和普通飞机有什么不同？当一见到这种两翼略微下垂并向后仰起的没有螺旋桨的银色飞机时（它在急速地划破天空时发出一种嗡嗡的特别响声），许多人就会发生这类的问题。

本书的任务就是要告诉读者、中学校的学生们关于这种卓越的发明——喷气式发动机，它的作用原理及其在国民经济、科学研究和国防中的应用。

一、噴气式和火箭式发动机的 的工作原理

火箭的作用原理，或如現在所謂反作用原理，并不是一种新的东西，而是在古代就早已知道了的。

俄文“реактивный”起源于拉丁文的“реакция”，这个字的原义是后座或反作用^①。

因此，反作用原理就是以利用后座现象为基础的。原理。每个射击过步枪或手枪的人都知道后座作用。射击时火药气体以极大的力量向各方面挤压；枪身的内壁、子弹的底部以及紧密地卡在閉鎖机上的子弹筒的底部都受到这种压力。加在枪身側壁上的压力始終是均匀一致的。火药燃气对于子弹的作用使子弹沿着枪身运动。而燃气对于閉塞枪身的閉鎖机的作用使之产生后座力。由于子弹从枪身迅速抛射，使枪本身剧烈向后推动，这也就是我們所感觉到的后座力（图1）。

通常这种后座力是很显著的。例如，甚至在发射小手枪时我們也会感到一种严重影响命中率の推力。而枪炮的后座力都非常大，以致必須采用特制的十分复杂和笨重的防后座力装置。

^① “реактивный”一字，从技术上看是“反作用”的意思，但根据所指的具体内容不同，目前国内有两种译法，如指是自带氧化剂的发动机，則譯为“火箭的”；如指的是以空气作为工質的发动机，則譯为“噴气的”。本書除个别地方將“реактивный”譯为“反作用式”外，其他全譯为“噴气式和火箭式”。——校者注

从前大家認為后座力是一种有害的力。真的，它曾經显著地減低了射击的命中率，使枪炮机械发生松动，很快变为不中用的东西。

可是現在人們已經利用这种以前認為有害的力使枪炮在每次射击后能自动装彈，从而把它变为有益的動力了。

也很容易把后座力变为連續运动的能源。实际上，如果我們把大家都熟悉的捷格嘉廖夫式輕机枪放在輕便的小車上，那么当連續射击机枪时小車在后座推

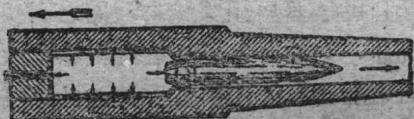


图 1 枪炮的后座現象

力的影响下就向射击方向相反的方面移动，而且將繼續移动，一直到彈盘內只剩下一个子彈筒为止。

对于后座現象和火箭的飞行，根据一个重要的力学定律——牛頓第三定律很容易得到解釋。按照这个定律，一切作用力都会产生大小相等和方向相反的反作用力。这就是說，作用在任何方向的一个力，必然产生大小相等和方向相反的另一個力。

但是应当記住，任何一种运动的进行总是会同时产生反作用力，即后座力。对地面來說也和任何物体一样会发生反作用力。汽車的車輪在运动时被地面推开，輪船的螺旋桨桨叶被水推开，飞机的螺旋桨桨叶則被空气推开。当然，我們不能看見地面的移动，因为地面和物体（比方說，機車和地面）相互排斥的关系是完全不可比拟的。但是，如果站在行将出发的飞机后面，就可以感觉到空气流的强大的“后座力”。

可是在所有这些情况下，要产生运动，必須有使运动的

物体被推开的外界介质。而以反作用原理为基础的发动机则不需要外界介质。火箭发动机产生运动的原因是由于以高速度喷出的燃气流的反冲力。这就是说，火箭发动机在运动时它仿佛是被从其内部喷出的由燃料燃烧所产生的燃气流推开一样。

火箭发动机的最简单的作用原理如下图所示。在一端开口的容器壁用某种方法使之产生高压并不断保持住这种高压，为此，就要在容器里燃烧火药或其他任何燃料，这时容器内的高压迫使燃烧物的燃气流不断地冲向大气，它的速度在容器内部压力愈高和外面压力愈小的情况下也就愈大。又因为燃气的排出是在和气流从出气孔喷出的方向一致的压力作用下进行的，所以也就必然出现另外一个大小相等和方向相反的力。正是这个力使容器向前推进。它被称为反作用推力。

反作用原理以下述例子来说明也许更要简单。在容器内膨胀的气体燃烧物以同样的力量均匀地向各方面挤压。作用在内侧壁上的压力互相平衡。但是由于燃气经过后壁上的出气孔自由地往外喷出，所以作用在正对着出气孔的前壁的压力丝毫也没有得到平衡。就是这种极力膨胀的燃气作用在前壁上的压力使前壁和整个容器一起向前推进（图2）。

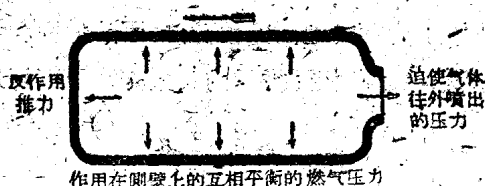


图2 火箭发动机的作用原理

为使燃气质点的速度增加和更有规律地从容器中流出，在容器出气孔外边安装有专用的圆锥形套筒。这种套筒是现代任何喷气式和火箭式发动机必不可少的部分，它的名称叫做喷咀，现在通常称为喷口（图3）。喷气式发动机的喷口和蒸汽涡轮的喷口相似。涡轮内的蒸汽流以很大的速度冲击叶片，显然，如果冲到涡轮叶片的蒸汽不是直接经过出气孔，而是通过喷口，那么蒸汽流的速度就会提高好多倍，同时由蒸汽发出来的能量也将剧烈增加。这种圆锥形喷口已经开始用在喷气式和火箭式发动机里。

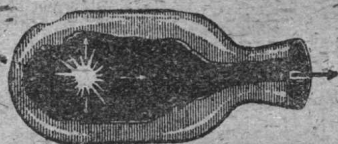


图3 装有喷口的燃烧室

反作用原理在现代技术中应用最广。如超高速度的航行的喷气式飞机，没有炮身的火箭炮弹，高空气象火箭，发电站的反作用式蒸汽涡轮，不怕浅水的喷气式船只——“喷水船”，这些仅仅是根据反作用原理制造的技术设备的一部分而已。

二、喷气式和火箭式发动机的种类

所有应用在现代技术中的反作用式发动机可区分为三种基本类型。现在的反作用式发动机一般是根据其所使用的燃料种类来分类的。

第一类是固体燃料火箭发动机。这类发动机的燃料包括可燃物以及为保证燃烧所必需的氧或含氧量多的其他物质。

第二类是液体燃料火箭发动机。这种发动机的燃料包括任何可燃液体（大部分为煤油或酒精）和液态氧或其他

含氧物質（例如，过氧化氢或硝酸）。为可燃物燃燒所必需的氧或氧的代用物通常称为氧化剂。属于这一类的所有反作用式发动机按照現在通用的術語都称为液体燃料火箭发动机。

第三类就是空气噴气发动机。虽然这种飞机也使用液体燃料，但是它們却属于完全独立的一种特殊类型，因为它們的特点是利用周圍大气中的氧气来作氧化剂。空气噴气发动机本身又分为三种，即冲压式空气噴气发动机、脉动式空气噴气发动机和渦輪噴气式发动机。簡要地認識了噴气式发动机的物理原理和最普通的分类方法以后，我們就可以比較詳細地研究上述各种类型的噴气式发动机了。

1. 固体燃料火箭发动机

最簡單的反作用式飞行器就是大家都知道的普通的烟火火箭。这种火箭就是一个用多层結实的厚紙卷成的輕巧

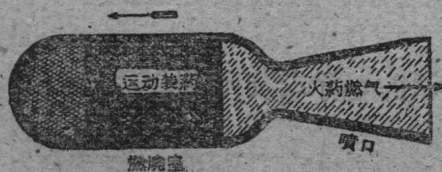


图 4 固体燃料火箭的构造示意图

的圓筒，紙筒的一端紧閉，內部装滿强烈压縮的黑色火药。这种火药燃燒相当緩慢平靜，不会爆炸。装滿压縮

火药的火箭一直飞行到全部“运动”装药燃尽为止（图4）。

現代技术所采用的固体燃料火箭发动机，不是用黑色火药，而是用无烟火药工作的。在这种火箭发动机內，火药在几秒鐘或甚至若干分之一秒內燃尽。这时增加的反作用推力相当大，譬如1公斤无烟火药每秒鐘燃燒所产生的推

力，在有利的条件下（即在发动机的适当构造下）可达200公斤。正因为这样，所以固体燃料火箭发动机只用作短期工作，但同时要产生十分强大推力的装置。

固体燃料火箭发动机在结构方面的特点就是非常简单。它的构成部分只有燃烧室（起着上述容器所起的作用）和扩展到外面的圆锥形短筒——喷口。这种火箭可在喷口点燃火药（利用电气点火装置或其他装置）以进行发射。

固体燃料火箭的全部燃料都装置在燃烧室内。这就是说，燃料的储备量受到燃烧室体积的限制。因此，使用固体燃料的火箭只能在极短时间内工作，所以只具有很短的飞行距离——只有几百公尺到几公里。同时，这种使用火药的强大的动力火箭装置，虽然构造极其简单，但是却十分复杂，而且生产困难。这首先是由于固体燃料火箭发动机的燃烧室和喷口都是在极端困难的条件下，即在高压200~300大气压、温度2,000~3,000°以及流速2,000公尺/秒下工作的。因此燃烧室和喷口的内部表面很快就遭受破坏，于是发动机就成为废物。唯一使发动机不遭受完全破坏的办法就是极力缩短它的工作时间，使它总共只占几秒钟（从0.1至40秒），但是，就在这个时间内它还是几乎完全要成为废品。假如找到用过一次的固体燃料火箭，想把它装上火药再作第二次的发射，那么这个企图一定不会成功。因此，固体燃料火箭就是只能使用一次的发动机。这种火箭的性质使它和另外一些能反复使用的喷气式发动机有重大的区别。

固体燃料火箭的这些性质——工作时间极短和只能使用一次——决定了它的使用范围，如近卫军火箭炮队的没

有炮身的无后座炮——“卡秋莎”，航空火箭弹，使重负载或甚至是过负载的飞机（单发动机与多发动机）起飞容易，并使其滑跑缩减二分之一的起飞火箭。最后还有大家知道的信号火箭和照明火箭（以专用的信号枪发射）以及娱乐用的火箭；当然，莫斯科节日的礼炮，以及当天夜晚天空上閃爍着的五光十色的信号火箭和礼花也是大家所永远忘不了的。

2. 液体燃料火箭发动机

液体燃料火箭发动机（图5a）要比使用固体燃料的火箭完善。这种发动机的重大差别就是全部燃料（可燃物和氧化剂）分别装在专用的箱内。因此，液体燃料火箭发动机的工作时间比固体燃料火箭要久，飞行距离也要大得多。

液体燃料火箭发动机的图解也很简单。从图5a可以看出，这种火箭发动机也是由燃烧室和喷口组成。另外，还有两个彼此分离的箱，各装着燃料的组成部分——可燃物和氧化剂。

无论可燃物，或有严格一定比值的氧化剂，都是在高压下沿专用的导管通到发动机的燃烧室，在那里凭借专用的喷雾器——喷嘴喷出。有高度生产效能的高速泵在液体燃料输入发动机的燃烧室以前产生燃料所必要的压力头（以便克服燃烧室内的压力）以保证发动机可靠的工作。这种泵通常由多转的辅助涡轮发动。

在另外一种液体燃料火箭发动机的结构内，可燃物和氧化剂导入发动机的燃烧室，是依靠装在特别坚固的气瓶里的某一种强烈压缩的惰性气体（不发生氧化）进行的。发动机开动时，这种气体使可燃物和氧化剂从各燃料箱通

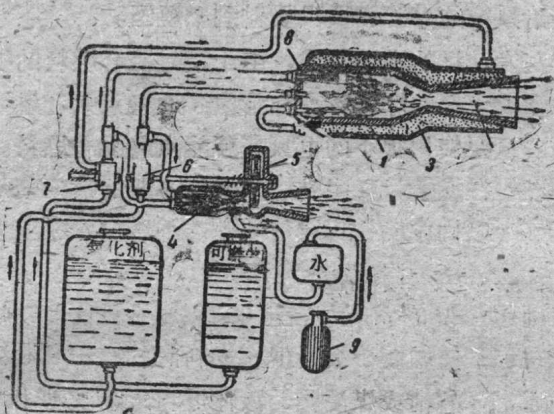


图 5a 液体燃料火箭发动机的构造示意图

1—燃烧室；2—喷口；3—环绕着可燃物并使燃烧室和喷口冷却的散热套；4—辅助涡轮的燃烧室；5—辅助涡轮；6—输送氧化剂的泵；7—输送可燃物的泵；8—喷嘴；9—用来输送水到辅助涡轮燃烧室的压缩气体的气瓶。

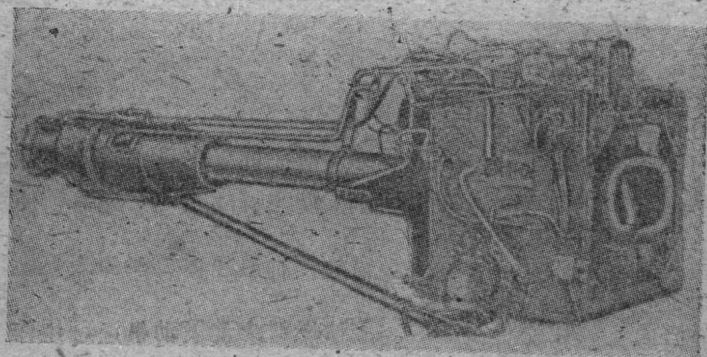


图 5b 航空液体燃料喷气发动机

过供給系統的导管和噴咀噴射到燃燒室。

在发动机的燃燒室內，由于液体組合燃料的噴霧（可燃物和氧化剂）非常稀薄，形成了准备点火和燃燒的混合燃料。只要使用很小的电火花就能点着混合燃料。点着的混合燃料在燃燒过程中随着新燃料不断的噴入便形成熾热的燃气（以构成反作用燃气流）。燃燒室內的压力通常达20~40大气压，温度約为3,000°C，而气体从噴口流出的速度則达2,500公尺/秒。至于液体燃料火箭发动机的推力值，在每秒鐘燃燒1公斤混合燃料時約等于250公斤。

通常以酒精或煤油作为液体燃料火箭发动机的可燃物。值得注意的是，無論液体燃料火箭发动机或空气噴气发动机都可以使用低級廉价的可燃物，它的质量可以比现代强大的活塞式航空发动机要求的质量低得多。

液体燃料火箭发动机比其他类型的反作用发动机还有一个很大的优点，就是它具有巨大的推进功率，但是重量很輕。只要举下列数字就可以得到比較：活塞式航空发动机的比重（即发动机每1公斤推力的重量）为1.5~2.0公斤，可是液体燃料火箭发动机总共只有0.05~0.10公斤，也就是說为前者的 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30}$ 。

这种情形主要决定了液体燃料火箭发动机的使用范围。目前这种火箭发动机用作重型飞机的起飞加速器，使飞机滑跑縮短 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 。另外在制造各种口徑的火箭炮弹方面它的用途也很重要。液体燃料火箭发动机还可用作輕型火箭彈或强大的远程火箭的发动机。用来研究大气高层（同温层）的高空气象火箭也安装着这种火箭发动机。

还有超高速的高空防空歼击-拦截机也是利用轻巧而又强大的液体燃料火箭发动机来开动的（图56）。此外，这种火箭发动机还有一个重要的优点，就是它在结构方面要比活塞式航空发动机简单得多。

可是应当记住，在目前的发展阶段里，液体燃料火箭发动机虽然有它的一切优点，但是也有一个很大的缺点，就是它的燃料（可燃物和氧化剂）消耗量在相等的推力下要比活塞式发动机大几倍。因此，使用液体燃料火箭发动机的飞机，它的续航时间和普通的螺旋桨式飞机相比显然要大受限制。

同时液体燃料火箭发动机与固体燃料火箭发动机都是目前唯一的和外界介质（大气）完全不发生关系的发动机。装置液体燃料火箭发动机的飞行器可在极稀薄的空气层或者甚至在地球大气层以外继续飞行，并使速度发展到能在将来打破地心吸力的束缚而飞驰到宇宙空间的无限远处。

液体燃料火箭发动机的飞行速度愈高，它的有效功率也就愈大，因为发动机的有效系数是随着速度的增加而提高的。

我们以重 100 公斤的火箭发动机为例。这种发动机每秒可以燃烧液体燃料 10 公斤。全部燃料变成气体燃烧产物后以约 2,000 公尺/秒的速度从喷口喷出。

以每秒从发动机喷出的气体的质量乘流出速度即可求得推力的值。

假定算出的发动机的推力约等于 2,000 公斤。

究竟应怎样来求出它的功率呢？

功率取决于每秒内所完成的功。功是以公斤公尺计

量的。若把它化为馬力，应当把用公斤公尺表示的每秒鐘功的值除以75。和力学中任何的功一样，火箭式发动机的功也等于力和在力作用下所进行的路程的乘积。因此，如果安装在飞机上的火箭发动机每秒鐘的功等于推力乘每秒所经过的路程，也就是說等于推力乘速度。那么，火箭发动机的有效功率就是以推力（公斤）乘速度（公尺/秒）测定的，为了把它化作馬力再用75除之，

$$\text{功率} = \frac{\text{推力(公斤)} \times \text{速度(公尺/秒)}}{75 \text{ 公斤公尺/秒}} \quad (\text{馬力})。$$

在上述例子中，火箭发动机的功率可以发展到什么样的程度呢？我們已經說过，这是要看飞机的运动速度怎样来确定。

如果飞机速度等于540公里/小时，那么发动机的有效功率就是4,000馬力。在飞行速度为1,080公里/小时的飞机上的发动机，它的功率达8,000馬力。而在有2,160公里/小时速度的飞机上，火箭发动机的功率将发展到16,000馬力。

因此，飞行愈快，噴气式发动机的效果愈大，它的有效功率也就愈大。例如，使用在上次世界大战的装有液体燃料火箭发动机的远程火箭飞彈，在飞行速度超过5,000公里/小时时它的功率竟发展到50万馬力呢！

3. 冲压式空气噴气发动机

在談到空气噴气发动机时，需要首先談談以下的問題。上述两种发动机都有一个很大的缺点，就是要携带氧化剂的全部儲量，可是空气噴气发动机却从周圍大气中收集燃料燃燒所必需的含氧的空气。問題在于为使1公斤煤油完全燃燒，約需要重量多于它3倍的氧。所以下面的問題