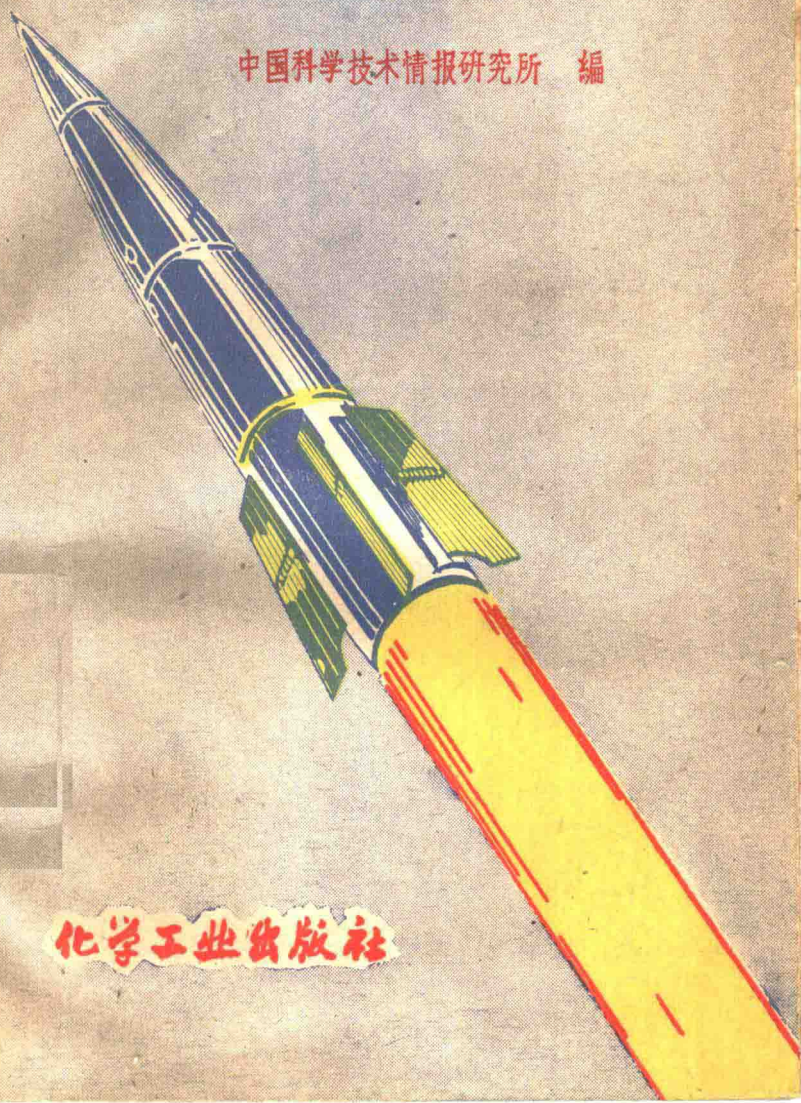


火箭推进剂讲话

中国科学技术情报研究所 編



化学工业出版社

火箭推進劑講話

中国科学技术情报研究所 編

化学工业出版社

(一) 歷 史

火箭是中国人发明的。最初所用的推进剂是火药（火药是由硝酸钾约60%、硫磺约15%及木炭约25%混合而成）。

正式研究火箭的工作，约在1900年左右才开始，此时并由固体推进剂转向液体推进剂的研究。在这方面，以苏联学者乔尔可夫斯基的贡献为最大。他提出用液体燃料，特别是汽油、酒精等来代替火药。同时他也贡献了液体燃料火箭的设计和计算的方法。1903年他发表了著名的“火箭作宇宙航行”的理论基础。至于其他国家对于火箭研究的开始则远远迟于苏联。

对于较小范围的军用火箭，第一次试验是用的双基固体推进剂（主要成分是粉状硝化纤维及粉状硝化甘油，其中甘油含量为15—40%）。

几乎所有在第二次世界大战时所用的军用火箭，都是双基固体推进剂。这些推进剂都是硝化纤维、硝化甘油及一种稳定剂构成的混合物。稳定剂差不多都是N、N'-二乙基对称二苯胺（乙基中定剂）。双基推进剂燃烧速度对于温度和压力的改变有很大的敏感，影响了它的推广。因之，另寻一种既对于燃烧速度、温度和压力的改变敏感不大，而又易于制造的物质来代替就感到特别需要。于是，就又对含有过氯酸钾氧化剂的聚苯基固体推进剂进行了研究。

希特勒德国认识到液体推进剂火箭在军事方面应用的可能性，于是就在1944年研究成功了一种V-2型火箭。这一火箭的推进剂是酒精（混有一些水）及液态氧。

到了第二次世界大战末期，火箭研究者们遂将注意力集中到液体推进剂的火箭上。液体推进剂中所用的氧化剂是液态氧、过氧化氢或者是发烟硝酸。至于所用的燃料，则是汽油、酒精及苯胺或乙基苯胺。自此以后，固体及液体推进剂即得到了广泛应用的基础。

近数年来，氟、硼以及胂类化合物又都被用为火箭推进剂中的燃料或氧化剂，火箭性能更为提高。自从苏联人造卫星上天以后，各国对于火箭推进剂的问题，就更加重视了。

(二) 緒 論

火箭是借推进剂中的燃料燃烧所产生的热能而发射出去的。火箭推进剂一般都含有两种物质，一种是氧化剂，另一种是燃料。所以它的燃料的燃烧，可以不一定在空气中进行。因之，就有可能在大气层以外运行。所以火箭就有它的特点，它与其它发射体不同的特殊之处是：

(1) 火箭带有氧化剂及燃料，其它发射体仅带燃料而无氧化剂。在飞行时后者依靠从空气中取得氧气进行燃烧；

(2) 虽然当大气压降低时，推力多少总有一些增加，但火箭燃料燃烧所产生的推力是相当恒定的，其他发射体推力的变化则相当大；

(3) 火箭燃烧室(或喷嘴)的最大横断面上单位面积的推力，远较其他发射体为大；

(4) 火箭需要大量发射药，消耗于产生推力的燃料与氧化剂的比例，较其他发射体消耗于产生推力的燃料比例为大，不同之处在于火箭箱中带有氧化剂；

(5) 在火箭发动机中，能之转变的发生，较在其他类型的发射体发动机中所需容积较小，且时间较短；

(6) 火箭是能自己把自己送到大气层以上的惟一发动机；

在火箭中尚未起反应的燃料及氧化剂叫做推进剂。假如这一推进剂是液体的，那末就叫做液体推进剂；假如是固体的，那末，就叫做固体推进剂。固体推进剂必须预先混匀。有时液体推进剂或许就是一种单纯的液体，那末，这一推进剂就叫做单推进剂。显然，固体推进剂也是单推进剂。

火箭推进剂最重要物性之一是比推力 (I_{sp})。比推力就是每秒每磅推进剂燃烧时所产生的推力。由于目的是为了尽可能达到每燃烧一磅推进剂可以得到最大的能力。所以, I_{sp} 的值当然希望愈高愈好。比推力与燃烧温度的平方根成正比, 而与燃烧产物的平均分子量的平方根成反比。所以, 为了获得最高的比推力, 就必须设法使反应室内产生最高的温度, 而同时燃烧气体的平均分子量又为最低, 始能达到目的。

表示比推力的方程式如下 (Ft = 总推力以磅秒计及 $F = mc/g$):

$$I_{sp} = Ft/W = F/m = c/g$$

$$c = \sqrt{2gR' \frac{T_c}{M} \times \frac{r}{r-1} \left[1 - \left(\frac{P_e}{P_c} \right)^{r-1/r} \right]}$$

$$I_{sp} = \frac{1}{g} \sqrt{2gR' \frac{T_c}{M} \times \frac{r}{r-1} \left[1 - \left(\frac{P_e}{P_c} \right)^{r-1/r} \right]}$$

$$I_{sp} = 9.8 \sqrt{\frac{T_c}{M} \times \frac{r}{r-1} \left[1 - \left(\frac{P_e}{P_c} \right)^{r-1/r} \right]}$$

式中: I_{sp} = 比推力, 每秒燃烧一磅重的推进剂的推力, 以磅计;

F = 推力, 磅;

t = 由于燃烧所发生推力的持续时间, 秒;

W = 推进剂总重量, 磅;

m = 每秒燃烧推进剂的重量, 磅/秒;

c = 推进剂气体排出速度, 呎/秒;

= 火箭箱中推进剂气体实际排出速度, 呎/秒;

g = 由于地心引力的加速度, 呎/秒²;

$R' = RM$ = 一般气体常数, 1544呎-磅/(磅分子)(°F);

R = 每磅推进剂气体重量的气体常数, 呎-磅/(磅)(°F);

T_c = 燃烧室温度, °R;

M = 推进剂气体的平均分子量;

$$r = C_p / C_v;$$

各种推进剂的 C_p / C_v 值:

过氧化氢与汽油	1.2
过氧化氢与肼	1.22
氧与酒精	1.22
硝酸与汽油	1.23
硝酸与苯胺	1.23
硝酸与氨	1.24
氧与汽油	1.24
氧与肼	1.25
氧与氢	1.26
氟与氨	1.33
氟与肼	1.33
氟与氢	1.33

C_p = 在恒压下推进剂气体的热容量 BTu/(磅)(°F);

C_v = 在恒定体积下推进剂气体热容量 BTu/(磅)(°F);

P_e = 喷嘴出口处推进剂气体的压力, 磅/吋²;

P_c = 燃烧室中推进剂气体的压力。

为了可以得到高性能的推进剂起见, 下列四个条件必须具备:

- (1) 单位重量推进剂(氧化剂加燃料)具有高的反应热;
- (2) 在反应时单位重量推进剂气体体积大大增长;
- (3) 反应产物的 r 值低;
- (4) 推进剂(固体或液体)的比重大。

在 300 磅/吋² 的压力下发射液体推进剂的火箭, 如果推进剂是氢及氟, 它的比推力大部分都在 370 以内; 如果是醇及液态氧, 则比推力即低至 225。固体推进剂的比推力一般都较小, 硝化纤维及

硝化甘油的比推力为230；含硝酸鉀或硝酸銨的混合推进剂則約为170。

最好的推进剂的理論性能，可在极高温下排出原子氢而得到。但原子氢在20大气压及2400°K的温度时，不能大量存在。利用热核子反应使氢热至10,000°K即可发生足以使火箭飞出地心吸力以外的地方，得到极高的推进速度。但是，在目前情况下，火箭推进剂尚在繼續以发出能量較低的化学反应为基础。一般說来，可能的反应是氧化。推进剂中含有燃料及氧化剂各一种。它們在一起反应即生成气体产物并放出能量。所用的推进剂，在理論上，我們业已知道必须具备下列两个起碼条件：（1）推进剂燃烧后的气体产物的最小的分子量；（2）推进剂反应时发出最大的能量。但在实用上，也必須考虑操纵及盛器問題。所以，火箭推进剂的应用問題是不能片面考虑的，应该是全面考虑的，就是，既要顧到理論又要顧到实际。

氧化剂——作为燃料的氧化剂，氧自然是最重要的。氯及氟作氧化剂也有可能。氧可与氢、氮或硫結合。用于液态推进剂火箭的一种重要含氧液态物质是液态氧，紅发烟硝酸，白发烟硝酸，发烟硝酸与发烟硫酸及过氧化氢的混合物。在它們的作用效率方面，并无很多区别。液态氧較其余各种化合物稍好。其他液态氧化剂，例如，液态氯或氟、氟氧化物、氯氢化物或氟化氯、氟化溴等都是毒性积为严重而且不易掌握。因之，对于它們的应用就大大受到阻碍。至于那些惹人讨厌的高分子量溴与所有燃料的气体反应产物，以及氯、氟与碳的反应产物就更不必說了。液体四氧化二氮 N_2O_4 也是一种有效的氧化剂。臭氧及四硝基甲烷，当富含氧时，也是相当难掌握的。

固体氧化剂是若干无机盐类，例如， $NaNO_3$ 、 KNO_3 、 NH_4NO_3 、 $KClO_4$ 以及 NH_4ClO_4 。这些固体推进剂均已在固体推进剂火箭中使用过，虽然鈉盐及鉀盐在形成鈉或鉀的氧化物或氯化物时，常常产

生惹人討厭的白烟。

燃料——由于目前应用原子氢尚不现实，那末，使用过量的液体氢或許就是一种用于火箭发动机中的最好的燃料了。但是，它的沸点及比重过低，以致它的盛器势必过大。虽然如此，无疑的，它仍不失为一种液体推进剂火箭中的比較乐于被人采用的燃料。

由于总希望在盛器中尽可能多带燃料，所以，在选用燃料时，比重就成为一个考虑的重要因素了。比重因素可用未燃的推进剂（燃料及氧化剂）的平均比重乘以比推力即可在方程式中包括进去。所得数值即是比重推力（ $I_a = \bar{I}_{sp} \times d$ ）。

氢气本身，在室温时，不具有产生推力的能。它必須被加热得高温而后产生必需的压力。这加热过程可由氧化部分氢气以生成蒸气来达到。由于液体氢不易操縱，选用另外一种在反应时可以氧化成为气体的低分子量的原素作为火箭燃料，显然也是一种趋势。或者，比較更好一些的办法，是使氢气与其他原素結合来生成比重高的比氢挥发性小的化合物（可能是固体，也可能是液体）。这种化合物，在氧化时，可发生低分子量的气体产物。参照周期表，只有少数几个元素可被考虑作为与氢結合之用。这些元素是：

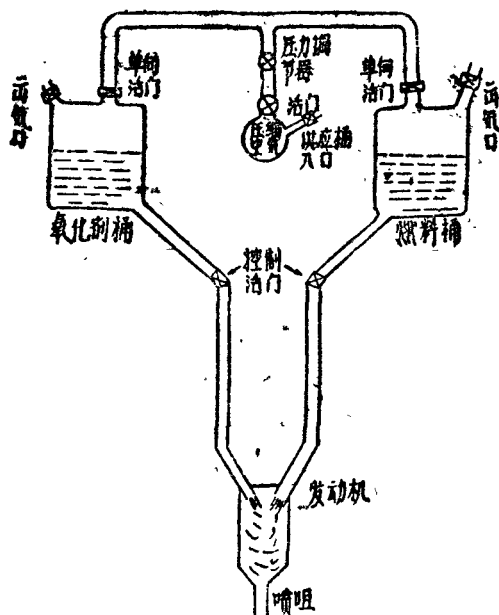
元素.....	鋰	鈉	硼	碳	氮	鋁	鎂	鋅	錳
原子量	7	9	11	12	14	23	24	27	28

所有这些元素，除氮以外，都是固体。它們可与氢結合而释出大量的热。其中两个，鋰及鈉，熔点低，可成液态应用。其余的元素想象固态即可用。但是，所有这些元素的化合物，除硼及碳外，都可由于高度沸騰而完全从噴嘴或气态逃掉，而其他大部分也都是有极高的分子量。这些元素的氧化物是可液化的气体或固体。它們虽然都可燃烧而发生热，但只有鋰、硼、碳、氮及鋁等等的氢化物能，甚至可能被考虑用作燃料。实际上，則只有碳及氮的氢化物可被認為有广泛的用处。业已考虑的两个氮的氢化物是氨及胂。碳的氢化物，也就是碳氢化合物，不仅种类多而且容易大量得到。它們的氢

也常被其他元素，例如，氧、氮或氯或这些元素的化合物所取代来产生液体及固体。它们对于氧显示了宽范围的稳定性及反应热。它们可以满足各种火箭的需要。

火箭发动机——就液体推进剂来说，它的燃烧室若与燃料及氧化剂盛桶比较起来，一般都很小(见图)。在反应时，燃烧室的压力一般均在 300—1000 磅/吋² 的压力范围之内。发动机内的燃料及氧化剂的加入，是在高于这一压力情况下压入，或用泵或应用气体压力压入贮槽。气流入口或为同时进入，所以，在设计时，可考虑气体进入时互相冲击或由激溅板激溅而进。它们可以自燃或者是必须用火花点燃。假如需要的话，发动机亦可间断工作。

就固体推进剂来说，燃料及氧化剂是预先混合在一起而做成固



液体双推进剂发动机示意图

体颗粒。将一个或一个以上的颗粒在装喷嘴以前放入发动机箱中，颗粒无缺口，但它的上面常做一个或一个以上的经线洞是很常见的，这是为了增加燃烧面。显然在火箭中，燃烧室也就是贮藏室，所以，必须设计成可以承受所应受的压力。这一压力对于一个特别的发动机来说，一般是希望变化不大的，它的范围可在500—5000磅/吋²之间。

(三) 液体推进剂

(1) **液氢**——液体氢，除了比重及沸点过低外，是一种突出的液体火箭燃料。它就是有这些不利条件(比重、沸点过低)，但只有它才有送大火箭到地球大气层以外的地方去的可能。它的沸点是 -423°F ，以致不能贮藏超过2—3天。它无毒性，但极易着火，因为它与空气混合在极大范围的混合比例内都可燃烧。它的比重在 -423°F 时仅为0.07。

氢气以特种型式存在，而且是平衡的。但可随温度之不同而变。在常温时相互平衡，正氢约为75%，仲氢约为25%。温度降低，平衡即移向生成仲氢的一方。在 -423°F 时，正氢为0.3%，仲氢为99.7%。当氢凝缩成液体时，从正氢转为仲氢可以进行数日，并在转化时释出足以把它完全蒸发掉的热量。所以，必须采取措施来把此热去掉(吸收)。因为由于液氢连续不断的蒸发所起的蒸气闹，以及由于温度低而伤及泵及管线(脆弱)，用泵输送时，也成问题。在惰性气体压力下，可以很好的在管线中输送。

2:1 分子比的液氢及液氧推进剂与目前可以得到的任何推进剂比较，有最高的比推力，在1500磅/吋²的压力下，约为360磅·秒/磅推进剂。在这种情况下，在燃烧时所形成的蒸气分子的排出速度约为11,600呎/秒。

(2) **碳氢化合物**——从石油得到的脂肪族碳氢化合物是价格最廉而来源极为丰富的火箭液体燃料。较为简单的芳香族碳氢化合

物(苯、甲苯)也易得到,并具有較大的比重,而且一般燃料也可产生較多的热能。所以,它們也可产生較大的推力。

实际上,选择液体燃料用于火箭大部分都是以来源是否丰富以及价格是否便宜为原则。根据这一原则,汽油及石油燃料就成为优先采用的物料了。这种燃料是与液氧或发烟硝酸作为氧化剂一同应用。无论什么时候,采用硝酸时,在正常燃烧的情况下,都是以氮气的形式在燃烧产物中出现。

(3) **甲醇及乙醇**——这两种醇在空气喷射机中以及在火箭中均曾用过。它們可大量生产,但在量及价格方面則不能与石油燃料竞争。如果以燃料与醇作比較,則是燃料約有比醇高两倍的燃烧热,所以,燃料可有較高的比推力。

醇类一个优点是它們可用水稀释。如此,假如可以允許稍为降低比推力的話,即有可能在反应室中降低温度。

100%的乙醇或者是用水稀释的乙醇都是突出的火箭燃料。100%的乙醇及液态氧联合起来是目前正规实用的最有力的液体推进剂。这一推进剂可用于大火箭及小火箭。事实上,甲醇、液氧及水曾在德国的V—2(或A—4)型火箭(一种59000磅推力的大飞弹)中用过。

甲醇及乙醇均可与其他氧化剂,就是 H_2O_2 及发烟硝酸一起应用。用这些氧化剂可以避免处理液氧,但又带来其他严重的处理問題。

(4) **液氨**——氨是可以大量得到的可能作为燃料的化合物,是富于氢并易于燃烧的燃料,但除試驗外,尚未用于火箭。它易于液化,并易在加压下或在低于它的沸点($-28^\circ F$)及常压下保持液态贮存。它的生成热,虽然小,是正的[11.04大卡/克分子(气体)],但由于氨含量,燃烧热是高的。最合适比例的液体氨及液体氧,在300磅/吋²的压力下,可以得到比汽油及液态氧($I_{sp}=242$; $I_d=236$)或乙醇及液态氧($I_{sp}=243$; $I_d=235$)較高的比推力及比重推力($I_{sp}=255$; $I_d=249$)。

(5) **胼**——胼的制造比較困难。在目前來說，它的价格是极昂貴的。它并且多少总有一些毒性。虽然如此，可是它还是值得考虑的一种燃料。它有較高的比重(1.01)，較高的沸点(236°F)。它同液氧燃烧时，可以产生較高的推力，在各种不同的燃料及氧的比例时，它的比推力是： $I_{sp} = 256 - 264$ 磅-秒/磅燃料(在300磅/吋²的压力下)，假如燃料过量时，此值还可較高。

无水胼有高的燃烧热。这不仅是由于它富有氢，而且是由于它在生成时是吸热反应(-12.05大卡/克分子，在298°F的温度时)。它可以同任何氧化剂，例如液氧、过氧化氢、白或紅发烟硝酸、液态氯，起反应而得到高的比推力。它同硝酸及氟可以自燃。它的燃烧火焰并且也不大，而且所排出的气是无烟的。

在需要較高的比推力而从汽油及酒精又不能得到时，除非这种需要不能成为使用可以得到极高比推力的特殊燃料，如液体氢及金属氢化物的借口时，胼才有用。第二次世界大战时，德国人曾将胼与甲醇一起用于飞机的MB-163型喷射发动机中。

最近，在文献上透露了一种較新的名为Hidyne的火箭燃料。这一燃料是60%的二甲胼及40%的二次乙基三胺。它的比推力比氧与酒精高12%。

(6) **苯胺及一乙基苯胺**——这些物质是好的燃料，但較醇及醚所得到的比推力为低(195—200磅-秒/秒，在300磅/吋²的压力下)。它們是与白及紅发烟硝酸一起大量应用，并能用于輕重金屬鋁的火箭发动机中。苯胺在21°F时即行凝結，所以常用糠醇或乙基苯胺来在-40°F或-40°F以下的温度时使它保持液态。这一与糠醇合用的燃料，曾与紅发烟硝酸合起来用于气象火箭中。

(7) **金属氢化物**——金属曾常被認為可作燃料，或者更詳細一点說，它是燃料中的成分。富于氢的金属同氧的燃烧热是高的。大多数的金属氢化物是固体的，但是，其中有少数硼氢化物，例如， B_2H_6 、 B_2H_{11} 及 $Al(BH_3)_3$ 是液体，二硼六氢是气体，它可在

-134°F及大气压下被液化。在300磅/吋²的压力下燃烧时，它們約可产生290磅-秒/磅的比推力。它們与氧的比例如果合适，可以产生极高的火箭速度。

硼氢化物能量較大，能增加飞行距离。最近已有两种这种化合物正在研究用于超音速飞机中作为燃料。其中一种的主要成分是戊硼烷，另一种是癸硼烷。戊硼烷在普通条件下，是液体，比重为0.61，冰点为-47°C沸点为60°C；癸硼烷在普通条件下是固体，比重为0.94，熔点为100°C，沸点为212°C。这两种燃料热值高，除能增加飞行距离外，并能提高飞行高度及增加延續時間。

在目前，这种化合物还是非常昂貴的。

(四) 氧化剂

(1) 液体氧——一直至目前为止，在所有任何試驗过的氧化剂中，液体氧可以产生最高的比推力。液体氧，尽管它的沸点极低(-297°F)，但仍有其一定的实际优点的。它是用于最大体积的液体推进剂火箭中的氧化剂。它較為安全，便于儲藏及掌握，并且既无腐蚀性又无毒性，尚可用較低的成本大量制造。由于它的沸点低，为了避免蒸发的严重損失，必須在点火箭的短時間內装入火箭发动机的氧气貯槽中。因此，由于它在火箭中并不需要長時間的貯藏，所以，特殊的絕热装置是不需要的。它可以貯于鋁、銅合金及不銹鋼的桶中，碳鋼及低級合金鋼在低温时即变脆是不适合的。

(2) 过氧化氢——过氧化氢可以制出接近于100%的純度。它作火箭推进剂用时，一般均含10%的水。假如它含有某些杂质时就不安定。但在沒有分解催化剂存在时，在任何适当的温度下是非常安定的。它可貯于純鋁、硼硅酸盐玻璃或不銹鋼制的容器中。輸送可用某种塑料制的泵及管来进行。它曾被貯存于120,000加倫容积的鋁制槽中。当第二次世界大战时，它曾被德国人采用，最初的浓度是45%，但以后他們用于魚雷以及其它飞行动力中的过氧化氢，其

浓度則提高到85—90%。 H_2O_2 与液氧比較有其决定性的优点的。它的沸点高，因此，即可在火箭貯槽中不用冷却或加压力下能長時間貯存。从水及氧来制 H_2O_2 有极大的負生成热(吸热反应)，就可使它成为一种好的单推进剂。

(3) 硝酸——硝酸曾以各种形式在液体推进剂火箭中用作氧化剂。它是引人入胜的一种氧化剂，原因是价廉不需要冷却，不怕冲击，而且还有大的比重。假如将其倒于易燃的物件上有着火的危险。但如控制得法是很安定的。

所用的硝酸，有白发烟硝酸、紅发烟硝酸以及混酸等形式；紅发烟硝酸含有15%的 NO_2 很难掌握。它可給与燃料以高的比推力，但腐蚀性极强，長時間貯存甚至对不銹鋼也发生腐蚀作用。含6% NO_2 的紅发烟硝酸是容易掌握的，而且烟也很少，可存于不銹鋼的貯槽中，也可存于鋁制貯槽中。

浓度97—100%的白发烟硝酸是一种很好的氧化剂，可貯存于鋁貯槽中。正常的混酸含88%的白发烟硝酸及12%的20%发烟硫酸。它多少有一些发烟，一般它都能使燃料較好的燃烧，但极不易貯存，它甚至对于不銹鋼也有腐蚀性。

所有这些酸与燃料，例如，酒精、苯胺及胍，合用可发生225—250范围以內的比推力。这与液氧与这些物质合用时所得結果差不多相同。另外一方面，它們在比重方面有一个决定性的优点，它們的比重是在1.5—1.6的范围內。缺点是它們有一些毒性。它們可以使有机物质比用液体氧时燃烧較快。此外，它們还有使許多燃料，例如胺类、醇类，特别是糠醇自燃的优点。

(4) 氟——氟在火箭推进剂中用作氧化剂是近年来火箭燃料的发展。它們都是在高温燃烧，煤油在 $3900^{\circ}C$ 时燃烧得到的比推力是282°，氟在 $4010^{\circ}C$ 时燃烧得到的比推力是306；氟及胍一起燃烧或可形成最有力的推进剂之一，因为它在 $4400^{\circ}C$ 的温度时，可以得到316的比推力。三氟化氮加氟(50:50)作氧化剂与氟一起燃烧可以

得到295的比推力；三氟化氯与肼一起燃烧可以得到255的比推力；五氟化溴与氨一起燃烧则可得到240的比推力。大量的液氟或其衍生物都是非常不易掌握的，并且价格昂贵。

(5) 臭氧——臭氧是一种很好的氧化剂。以它作氧化剂可以得到较高的比推力。例如，氢与臭氧就是所有化学推进剂中比推力最高的一种推进剂。它的比推力，当燃烧室压力为 20.414 大气压时，是373，在相同的情况下，氢与氟的比推力则是365。

(五) 固体推进剂

固体推进剂与液体推进剂不同之处是：液体推进剂是用活门控制来装入燃烧室的。貯槽、管綫及活門系統，特别是在无人控制时，是很复杂的。假如其中某一部分操作不当即可影响整个体系。固体推进剂則是全部都在发动机室内，并且一切装置都較简单，失败机会很少。它們用于反坦克火箭炮，枪炮子弹、升压机、以及在其他火箭中用作持久剂。它們可以在使用以前就装封于貯槽中，所以，在地面飞行之前的准备工作非常简单。

固体推进剂的比推力一般总比液体推进剂为低，原因是：部分由于不易混入足够的氧化剂，以致燃料不能完全燃烧；部分由于燃料业已与碳及氢結合的分子中常含有氧，以致它的燃烧热比較它应该产生的燃烧热为小。截至1963年为止，計算出来的固体推进剂的比推力大半都是在170—200的范围之内。最高限度或許是在240左右。这一数字之所以能够达到是由于它与其他具有高燃烧热的物质，例如有机金属，結合之故。

最常见的固体推进剂有双基固体推进剂，主要成分是硝化纖維及硝化甘油和一种稳定剂的混合物（稳定剂一般都是 N,N' -二乙基对称二苯脲（乙基中定剂）以及瀝青基固体推进剂，主要成份是过氧酸鉀，瀝青及一种油料的混合物。

此外，还有一种含有硝酸鈉、苦味酸鉍及一种脲型的热固性

树脂的固体推进剂。它的比推力是170。用特殊橡胶（起着燃料及胶粘剂的双重作用）、硝酸铵氧化剂、催化剂、增塑剂、熟化剂等做成的混合物也是一种固体推进剂。

黑药是我国发明的一种最老的固体推进剂，可用以发射1500米高度的防空火箭。不过，这一应用却是意大利人的发明创造。它们所用的黑药成份是：硝酸钾24，木炭粉5，及硫磺粉0.65的混合物。

固体推进剂有很多类型，现将三种典型的固体推进剂的化学成份（约数）述之如下：

（1）双基固体推进剂

硝化纖維	52%
硝化甘油	43%
附加物	5%

（2）瀝青基固体推进剂

过氯酸钾	76%
瀝青	17%
油料	7%

（3）橡胶基固体推进剂

过氯酸钾	73%
混合燃料	27%

双基推进剂的主要原料是硝化纤维，硝化甘油及某些增塑剂及改进剂等，不加改进剂的这类推进剂的比推力由于科学研究的結果，已达到240—250，如再加改进剂则其值尚可提高。

（六）单推进剂

过氧化氢——100%的过氧化氢是最易控制的一种单推进剂。但是，它的比推力低，仅为146。它可产生最高的温度1750°F。

硝基甲烷——硝基甲烷作为推进剂可发生较过氧化氢为高的比推力（222，在300磅/吋²的压力下），反应室温度也较高。

四硝基甲烷——四硝基甲烷可产生較其他单推进剂較高的計算出来的比推力。一种硝基甲烷与四硝基甲烷按 1:1 比例混合的混合物(是液体)的比推力(計算出来的)是 233 (在 300 磅/吋² 的压力下)。

环氧乙烷——环氧乙烷在 1960°F 的温度时,可以分解而产生下列組成的产物:氢 9.1 容量百分数,一氧化碳 46.6,甲烷 38.4,乙烷 2.0 及碳 3.9。同时,产生极大的热能。

其他单推进剂,例如硝酸甲酯、硝酸甲酯与甲醇或糖醇、硝酸铵以及其他等等物质的混合物,对于震动及热均敏感。这些物质如被选为发展单推进剂的对象,在掌握方面必将遇到意外的危险。

(七) 固体液体合用的推进剂

固体液体合用的推进剂是最新发展的一种推进剂。将液体过氧化氢(氧化剂)与鑄成固体的聚乙烯(燃料)一起放入燃烧室内燃烧。燃烧非常安定。这或者可能适于乘人的火箭之用。不过,这种推进剂尚处于研究阶段,并未正式应用。

(八) 利用原子能动力作推进剂

原子能动力,无疑的是实现宇宙航行最有效的动力。如科学先进国家都很注意此项研究工作。不过,截至目前为止,尚有未克服的困难存在。相信这种困难不久即可克服。

最后值得提起的一种火箭——光子火箭。根据苏联科学院士塞拉克本年二月在西德参加噴气推进学术會議归来所作的报告。西德的噴气推进专家沙格尔博士正在作光子火箭的研究。他依据相对論作了光子火箭的力学报告。光子火箭工作原理是依靠光粒子(即光子)流的噴射。这种火箭照理論上說来,是以极为巨大的光速前进的。当然目前这还是一种理論研究,尚未成为事实。