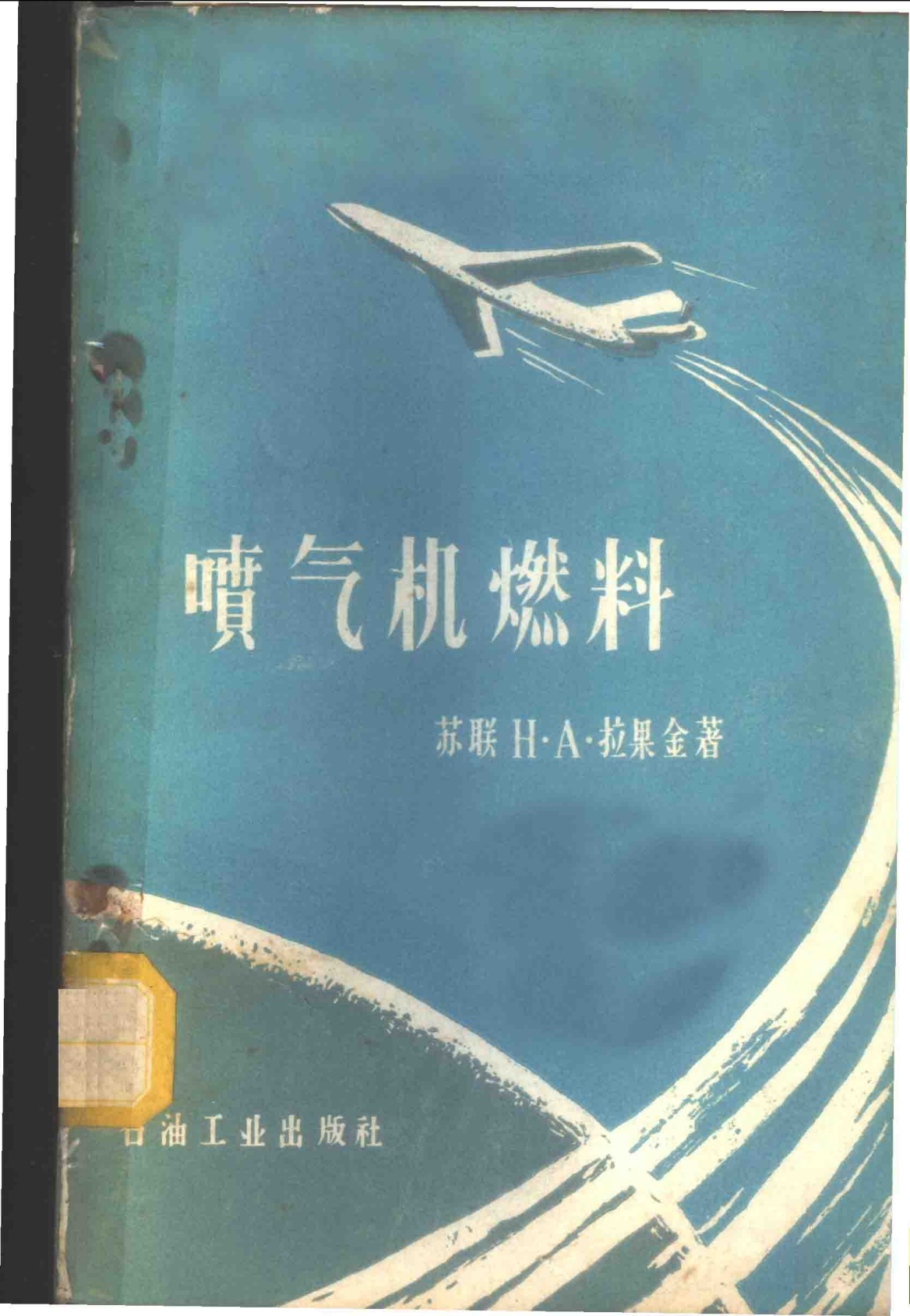




燃料机气噴

苏联 H·A·拉果金 著

石油工业出版社

噴 气 机 燃 料

苏联 H·A·拉果金著

常 汝 辑译

石 油 工 业 出 版 社

內 容 提 要

本書介紹了噴氣機燃料的來源和煉制方法，燃料在燃氣渦輪發動機中的燃燒，蘇聯以及世界上各主要資本主義國家所生產噴氣機燃料的品種；書中還着重敘述了各種噴氣機燃料的理化性能及代用油料；最後還談到了飛機的空中加油、油品的保管及其質量的檢查。為了闡明問題，書中還列有很多試驗數據。

本書可供我國國防和民用航空人員，以及油料管理人員學習和參考。

Н. А. РАГОЗИН

РЕАКТИВНЫЕ ТОПЛИВА

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社（ГОСТОПТЕХИЗДАТ）

1959年莫斯科版翻譯

統一書號：15037·880

噴 氣 機 燃 料

常 汝 輯 譯

石油工業出版社出版（地址：北京六部坑石油工業部內）

北京市書刊出版業營業許可證出字第089號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

850×1168 $\frac{1}{16}$ 開本 * 印張4 $\frac{3}{4}$ * 102千字 * 印1—3,500冊

1960年5月北京第1版第1次印刷

定價(10)0.67元

目 录

引言.....	1
1. 喷气机燃料的来源和炼制方法.....	3
2. 燃料在燃气涡轮发动机内的燃烧.....	8
3. 苏联的喷气机燃料的品种.....	16
4. 外国的喷气机燃料.....	20
5. 喷气机燃料的互换性.....	28
6. 超音速飞机飞行用燃料.....	29
7. 喷气机燃料的燃烧热.....	35
8. 燃气涡轮发动机内的积碳生成.....	42
9. 喷气机燃料的化学安定性.....	48
10. 喷气机燃料的腐蚀性.....	53
11. 喷气机燃料的低温性.....	59
12. 喷气机燃料的“高空性能”.....	67
13. 喷气机燃料的浸水.....	75
14. 喷气机燃料的吸水性.....	79
15. 冰晶体在喷气机燃料内的生成.....	84
16. 飞机的加油.....	90
17. 喷气机燃料在航空站内的保管.....	97
18. 使用喷气机燃料时静电的产生.....	100
19. 喷气机燃料的引火技术性能.....	109
20. 喷气机燃料的质量检查.....	120
参考文献.....	126

引 言

空气喷气发动机在航空中逐渐地取得了广泛的应用，並逐渐地取代着装有活塞发动机的螺旋桨机。

現今，在民运和航空兵中使用的空气喷气发动机极明显的分为两类：1) 涡轮喷气式和2) 涡轮螺旋桨式。

涡轮喷气发动机

涡轮喷气发动机是空气喷气发动机，其全貌见图1。空气在发动机内的压缩是在机械压气机内进行的，压气机由燃气涡轮带动。空气的动力压缩是由于在飞行中涡轮喷气发动机内产生速压头的关系，但在亚音速的飞行中，它是没有很大意义的。

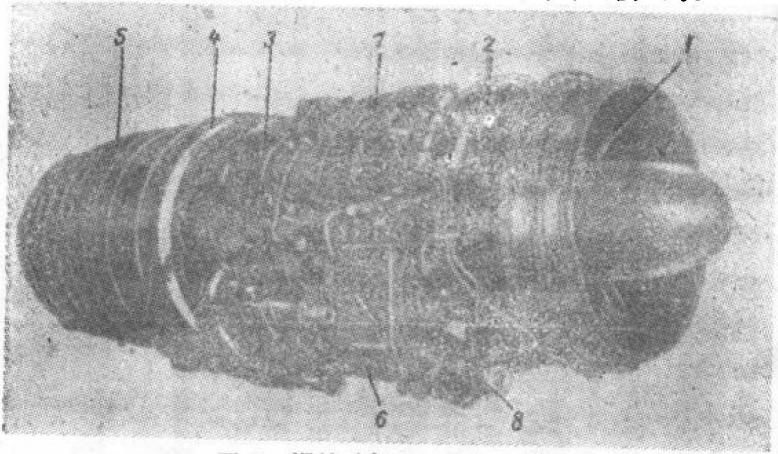


图 1 涡轮喷气发动机的外貌

- 1—发动机的进气部分；2—压气机 外套；3—环 形燃 烧 室外套；
- 4—燃气涡轮外套；5—喷管；6—润滑油箱；7—燃料-润滑油散热器；8—润滑油泵和油滤附件传动右机匣。

在涡轮喷气发动机的燃气涡轮内只利用燃气压力降的部分，况且涡轮所发出的功完全消耗在驱动空气压气机和发动机的辅助机件上。在喷管内与燃气功相适应的主要的压力降部分是用来提高燃气的动能，燃气由喷管流出产生推力〔1，2〕。

現今，在苏联国内和国际航綫上广泛使用装有两台噴气发动机的图-104客机。图-104飞机的飞行高度約10000米，巡航速度約为800—1000公里/小时。

各种类型的渦輪噴气发动机的燃料单位消耗是不同的，其中最好的为每小时0.7—0.8公斤/公斤推力〔57〕。

渦輪螺旋槳发动机

渦輪螺旋槳发动机在其結構上与渦輪噴气发动机极相似。它們之間的主要区别是，渦輪螺旋槳发动机內燃气的膨胀几乎完全是在燃气渦輪中进行，因此，渦輪的功率便大大地超过驱动空气压气机和附件所需要的功率，而燃气渦輪的剩余功率便传递給空气螺旋槳（图2）。

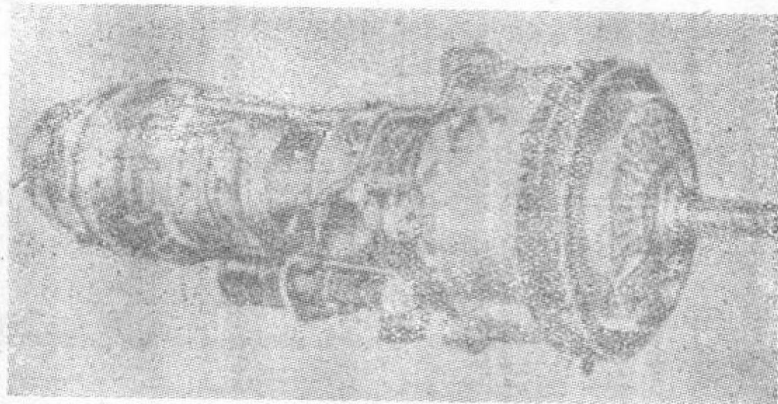


图2 渦輪螺旋槳发动机的全貌

渦輪螺旋槳发动机內因排出燃气而产生的推力是由于利用了渦輪出速的关系，它仅佔发动机全部力推的10—20%。

現在，开始使用的首批渦輪螺旋槳发动机客机有“莫斯科”和“乌克兰”。这些飞机能以約650公里/小时的巡航速度在8000—10000米的高度上完成航行〔58〕。

各种类型的渦輪螺旋槳发动机的燃料单位消耗在200—250克/馬力小时范圍內。

运输机的起飞火箭发动机

在民航和航空兵中，做为辅助而使用的小的工作延續时间的火箭发动机，是为了在起飞时縮短起飞滑跑的长度或增大飞机的有效負荷。为此，而使用液体噴气发动机和火藥发动机。例如，在DC-3飞机上曾使用在14秒内发出450公斤推力的起飞火箭发动机做过試驗。这样当从海平面高度的机场起飞时，使用起飞发动机能縮短飞机起飞滑跑长度29%，在1800米高度的机场起飞时能縮短34%^①。

因此，利用火箭发动机做起飞发动机用是现今在民航中使用該种发动机的唯一領域。

燃 料 的 命 名

仅管噴气航空机已广泛应用，但迄今使用的燃料並沒有规定的名称术语。

在国外，特别是在美国和英国，广泛应用以下的术语：1) jet propulsion fuels—噴气燃料；2) aviation turbine fuels—航空涡轮燃料；3) gas turbine fuels—燃气涡轮燃料，等等。

在苏联广泛使用“噴气机燃料”这一术语，这与所采用的柴油机燃料、航空汽油、汽車汽油等命名相似，我們認為这是正确的，因为这簡明地反映出了最主要的——燃料的使用范围。

在这个小册子中，对于航空上的涡轮噴气发动机和涡轮螺旋桨发动机的各种燃料統称为噴气燃料。

1. 噴气机燃料的来源和炼制方法

噴气机燃料的生产

多数品种的噴气机燃料是由直馏石油炼得，即按沸点的不同將石油分馏成各个不同的馏分。

① D. Sutton. 火箭发动机。外文出版社1952，266—267頁。

分餾的結果，可以从石油煉出以下各種餾分，它們再經過繼續的加工便成了各種商品產品：

- 1) 汽油餾分（航空汽油和汽車汽油）；
- 2) 煤油餾分（航空煤油）；
- 3) 柴油餾分（柴油），等等。

不同產地的石油含有的各種餾分也不相同。在一些石油內多含有汽油餾分和煤油餾分，而在另外一些石油中這種餾分則很少。

用直餾法從不同產地的石油中所制得的燃料，具有不同的化學成分，因而，燃料的物理化學性能也不相同。

例如：從環烷基石油煉出的 $140-280^{\circ}\text{C}$ 範圍內餾出的煤油餾分，其結晶開始的溫度為 -60°C ；而從烷基石油煉出的同樣餾分，其結晶開始的溫度則為 -40°C 和 -40°C 以下。

從前，不是從所有石油中都能煉出結晶開始溫度為 -60°C 的航空煤油T-1。為了煉制這種航空煤油，須從石油中選用含輕質煤油餾分較多的。例如，從含硫的伏爾加石油煉得的TC-1型航空煤油，其終餾點不高于 250°C 。

從上述例子中可以見到，用做燃氣渦輪發動機燃料的煤油餾分的沸騰範圍很窄，因而石油的這種餾分的產率也是較低的。

由於近年來噴氣機燃料的需要激增，這就產生了要大力提高其生產的必要性。近年來的經驗說明，該問題的解決途徑可能有兩條：

1) 通過放寬噴氣機燃料餾分組成的辦法來提高石油煉制燃料的產率（表1）；

2) 燃料的組成不只用石油的直餾產物，而尚加入催化裂化的產物。

為了擴大噴氣燃料的生產，現今在航空上還廣泛使用在 $60-280^{\circ}\text{C}$ 範圍內餾出的寬餾分燃料。這已經不是窄的煤油餾分，而是寬餾分油，其成分中包括汽油、重汽油和煤油。

石油內汽油餾分和煤油餾分的潛在含量

(A.C. 維利克夫斯基 [34])

表 1

石 油	汽油餾分的含量 (初餾 點 04°C , 終餾點 150°C), 佔石油的%	煤油餾分的含量 (初餾 點 150°C , 終餾點 300°C) 佔石油的%
伊申拜油	15	25
圖依馬茲油	10	23
圖依馬茲泥盆紀油	17	24
楚索沃依油	19	19

同是直餾一種石油可以取得比航空煤油 (T-1) 型燃料更多得多的寬餾分燃料 (T-2) [3]。

這種情況可明顯地從表 2 的數據中看到。

石油噴氣機燃料的可能出率與冰點的關係 表 2

燃 料	冰點, $^{\circ}\text{C}$	石油出率, 重量%
航空煤油 (T-1型)	-40	25
	-60	10
寬餾分 (T-2型)	-40	50
	-60	35

噴氣機燃料的化學族分

由石油煉得的噴氣機燃料是由烷烴、環烷烴、芳香烴和不飽和烴組成。

在不同石油煉制的不同品種的燃料內, 這些烴族的比例也不相同, 它取決於煉制燃料的石油的類型 (表 3)。

直馏石油煤油馏分的化学族分

(A.И.巴克拉庚〔4〕)

表 3

馏分馏出温度, °C		烃 类 的 含 量, %		
		芳 香 烃	环 烷 烃	烷 烃
恩巴石油	122—150	3.4	62.7	38.9
	150—200	5.3	91.4	3.3
	200—250	8.7	91.3	0
	250—300	14.3	83.6	2.1
涅比特达格石油	122—150	7.3	62.6	39.1
	150—200	17.4	50.4	32.2
	200—250	17.2	49.7	33.1
	250—300	22.0	36.7	41.3
包利斯拉夫石油	122—150	17.9	40.2	41.9
	150—200	23.8	31.0	45.2
	200—250	22.8	29.8	47.4
	250—300	23.7	20.2	56.1
格罗兹内石油	122—150	5.54	27.66	67.78
	150—200	7.75	27.47	64.28
	200—250	9.63	33.44	56.93
	250—300	14.62	20.49	64.89

对喷气机燃料来说,最好的是烷烃和环烷烃。这些烃有高的化学安定性和相当大的燃烧热。它们在喷气机燃料内是不做限制的。

芳香烃不太希望有,因为它们的重量的燃烧热几乎比烷烃的燃烧热低10%。此外,芳香烃燃烧时有高的积碳生成。最后,芳香

烃还有高的吸水性，还对用于某些运输喷气飞机上涂有软胶的油箱有不良的破坏作用。因而，现行规格允许喷气机燃料内的芳香烃不得超过20—25%（表4）。

在喷气机燃料内不希望有不饱和烃类。在外国的燃料内允许不饱和烃不得超过5%，苏联T-1、TC-1和T-2燃料规格允许燃料的碘值不得超过2—3.5，换算成不饱和烃，则为1.4—2.4%（见表4）。

喷气机燃料内芳香烃和不饱和烃的含量

表4

燃 料	規 格	碘值，克碘 /100克燃料	烴类含量，%	
			不饱和烴	芳香烴
苏联				
T-1	ГОСТ 4138—49	2.0	(1.4) ^①	25
TC-1	ГОСТ 7149—54	3.5	(2.4)	22
T-2	ГОСТ 8410—57	3.5	(2.4)	22
英国				
		溴值		
JP-1B	DERD-2482	5	5	20
JP-5B	DERD-2486	5	5	25
JP-4B	DERD-2488	5	5	25
美国				
JP-1	Mil-F-5616C	5	5	20
JP-3	Mil-F-5624C	5	5	25
JP-4	Mil-F-5624C	5	5	25
JP-5	Mil-F-7914	5	5	25

①括弧内的数字为按碘值的换算数量。

不饱和烃在喷气机燃料内受到严格的限制，是由于这些烃的化学安定性很低。

含有不饱和烃类的喷气燃料长期保管时，会迅速氧化生成胶质物质，这就使得燃料不合于发动机的使用。这些问题的详细讨论

論見“噴气燃料的化学安定性”一节。

2. 燃料在燃气涡轮发动机内的燃烧

可燃物質化合物（燃料）与氧的化学反应，在反应时放出热和光，这便称为燃烧。燃烧不祇是在可燃物与氧化合时发生，而与其他氧化剂化合时亦然。例如，在若干类型的火箭发动机内，可燃物質（煤油）受硝酸氧化时亦会发生燃烧[36]。因此，为了发生燃烧必須有可燃物質、氧化剂和引火火源。

但是甚至当有了全部上述条件后，並不能經常有稳定的燃烧。为了使稳定的燃烧扩展，必須使氧和可燃物質按一定数量的比例混合。如果在空气中含有少量的可燃物質（燃料）的蒸汽，那么則不会发生燃烧。如果混合气中含有的氧不足和可燃物質过多同样肯定不会燃烧。

为了使准备好的可燃混合气发生燃烧，必須有引火火源，引火火源乃是具有足能將一定体积限制的可燃混合气加热到发生燃烧的温度和热量的一切热脈冲（火花）。

在所有类型的发动机内，燃料是在蒸汽状态下燃烧的，又由于燃料蒸汽的燃烧只能在与空气混成混合气时进行，故燃料燃烧的全部時間是混合气生成过程所需之時間加上燃料氧化反应所需之時間。

在混合气生成过程完成于燃料发火之前的一些发动机内（活塞汽化器式），燃烧的速度非常高，因为它仅取决于氧化速度，而与混合气生成速度的关系很小。

在燃气涡轮发动机的燃烧室内，蒸发过程和混合气生成过程並非結束于混合气由火焰焰烛引燃的时刻；而实际上，蒸发过程和混合气生成过程是在燃烧区内繼續进行的。这时燃料蒸汽燃烧的延續時間不仅取决于氧化反应的時間，而尚与混合气生成的時間有关。

实际上，完全燃烧和非完全燃烧是不同的。燃烧后的最終产

物不能再燃烧（碳酸气，水蒸汽，等等），这种燃烧称为完全燃烧。燃烧后的产物尚含有如一氧化碳、碳等化合物杂质，这种燃烧称为非完全燃烧。

燃气涡轮发动机内的蒸发和混合气生成

在燃气涡轮发动机的燃烧室内，燃料氧化的速度（燃烧）大大地超过混合气生成的速度。因而，混合气生成过程的速度和完全性对气流中燃料燃烧的速度有很大的影响。

在50公斤/厘米²和还高的压力下，由离心式喷嘴将燃料喷入涡轮喷气和涡轮螺旋桨发动机的燃烧室。燃料约以30米/秒的速度流出喷嘴的喷口，生成细密的雾化燃料雾粒。

雾化燃料的微小液珠的蒸发速度和混合气生成的条件，在很大程度上取决于送入燃料液珠的加热区内燃气的温度和紊动性。

燃料的馏分组成和蒸汽压，以及雾化的完全性和燃料液滴的大小，这首先与燃料的粘度和表面张力有关；这些在以上过程中起着非常重要的作用。

当其他条件相同时，温度和向雾化燃料滴导热的速度越高，其蒸发速度则越大，燃料蒸汽与空气混合得则越完全。

燃料的馏分组成。为了改善蒸发和混合气生成，最好使用轻馏分的燃料。燃料的馏分组成越轻，其蒸发速度则越高，混合气生成过程也越完善。

从该点看来，燃料90%的馏出温度和终馏点具有特别重要的意义。当燃料的终馏点低于300°C时，会达到迅速的蒸发和良好的混合气生成。

在苏联和国外所使用的现有喷气机燃料的品种，其馏分组成列于表5。

燃料的蒸汽压。燃料的蒸汽压与馏分组成一样，在混合气生成过程中具有重要作用。

在燃气涡轮发动机燃烧室的前端的空气进入燃烧室的入口

噴气机燃料的馏分組成

表 5

燃料馏出 的 %	标准的馏出温度, °C					
	苏 联			英 国 和 美 国		
	T-1	TC-1	T-2	JP-1	JP-4	JP-5
10	175	165	145	180	—	200
20	—	—	—	200	144	—
50	225	195	195	—	188	223
90	270	230	250	—	243	254
終馏点	280	250	280	300	288	288

处；燃料与空气的主要混合过程在这里完成，这里的温度达300℃。在这种温度下，普通航空汽油的蒸汽压达25大气压，而航空煤油型JP-1噴气机燃料之蒸汽压超过5大气压（表6）。

高温下燃料的蒸汽压[5]

表 6

温度 ， °C	飽 和 蒸 汽 压		温度°C	飽 和 蒸 汽 压	
	航空汽油 (100/130)	航空煤油 JP-1		航空汽油 (100/130)	航空煤油 JP-1
	毫米			大气压	毫米
0	80	—	100	1.6	80
20	150	—			大气压
		毫米	315	25	5.6
40	300	10	370	36	11.2
60	500	30	430	47	15.4
80	800	50	450	64	28.0

在油气混合气进入燃烧区的入口处，温度剧烈上升。因而燃料的蒸汽压也剧烈地增大。例如，汽油的蒸汽压在温度450°C下达64大气压。而航空煤油型JP-1燃料约为28大气压。

因此，在高温下喷气机燃料具有很高的蒸汽压，因而高温区内燃料雾化液滴的蒸发速度也达到很大的数值。

燃料的表面张力。用喷嘴将液体燃料液流雾化会使燃料液滴表面尺寸大大增加。将燃料表面尺寸增加1厘米²所必须消耗的功量，为表面能的尺度，并称为表面张力系数，以达因/厘米²计。

燃料的表面张力

表7

燃 料	在下列温度下的表面张力，达因/厘米 ²	
	10°C	40°C
航空汽油	21	19
T-2燃料	22	20
TC-1燃料	24	22
T-1燃料	26	24

表7所示，T-1喷气燃料的表面张力约比T-2燃料的表面张力高15%。因而为了使喷气燃料T-1有细密的雾化，能量的消耗必须比燃料T-2雾化用的大些。

燃料的粘度。当外界条件不变——定值，单体烃类的粘度是其物理特性。喷气燃料的粘度取决于组成燃料的烃类的化学成分，它对喷嘴的燃料液流的雾化有很大的影响。喷气燃料的粘度越低，在产生离心力的作用下液流越易被破坏，其雾化越好和燃料珠也越小。因此，单位蒸发表面（厘米²/厘米³）和蒸发速度也将间接地与燃料粘度有关。

但根据试验，燃料粘度微小变化的影响是很难觉察的，因为

伴有粘度变化的燃料其他物理特性的变化（表面张力等等），会隐蔽粘度对其雾化和蒸发的效能。

当所有其他条件相同时，燃料的粘度越高，其雾化则越坏，单位表面越小和蒸发速度越低。

当温度上升时，燃料的粘度下降（图3），这种粘度变化之大会对气流内液流喷雾（碎裂）或喷嘴喷雾雾化有很大的影响。

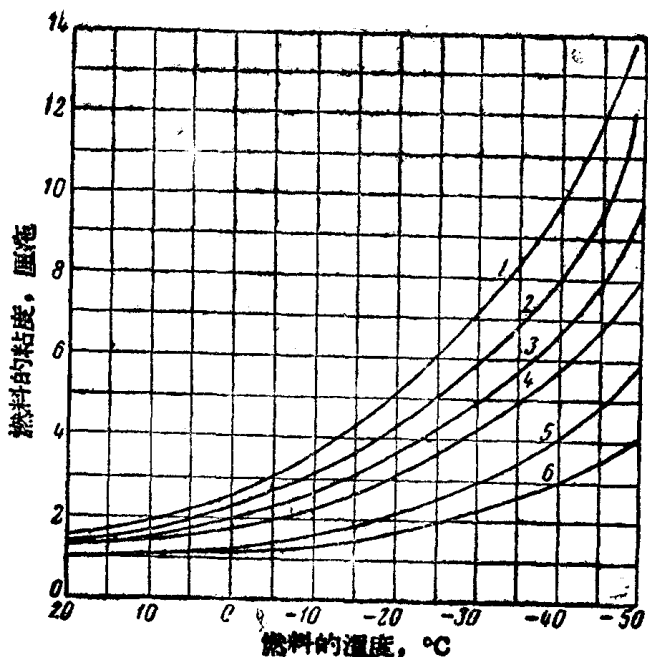


图3 喷气机燃料的粘度与温度的关系

1—T-1燃料；2—JP-1丹麦燃料；3—JP-1英国燃料；4—TG-1燃料；5—T-2燃料；6—JP-4瑞典燃料。

喷气机燃料的元素组成

喷气机燃料实际上是完全由烃类组成。其他元素的含量，例如硫、氮、氧，等等，通常不超过1%。因而，为了实际的计算可以认为喷气机燃料只是由碳和氢组成，而少量的硫、氮和氧在计算中可以不计。

現今已有很准确的計算燃料元素組成的方法，它是通过燃燒稱量的燃料和对燃燒产物的分析。用下列經驗公式可以近似地計算出組分〔30〕：

$$H\% = 26 - 15\rho^{15}; \quad C\% = 100 - (26 - 15\rho^{15}),$$

式中 ρ^{15} —15°C时燃料的密度。

按上式計算的結果列于表 8。

噴气机燃料的元素組成

表 8

燃 料	20°时的密度， 克/厘米 ³	元 素 組 成，%	
		H	C
T-1燃料	0.815	13.8	86.2
TC-1燃料	0.785	14.4	85.6
T-2燃料	0.760	14.7	85.3
航空汽油			
B-95/130	0.710	15.5	84.5

燃燒所需要的空气数量

燃料完全燃燒所必須的空气数量可以根据它的元素組成計算求得。对多数品种的噴气燃料，1公斤燃料燃燒所需要的空气数量变动在14—15公斤之間（表 9）。現有一总的規律，即随着燃料餾分的加重，C:H比值略为上昇，因此，完全燃燒所需之空气数量則稍有下降。为了实用的目的，完全燃燒所需之空气数量可以足夠准确地按下式計算出：

$$G = \frac{2.67C + 8H - O}{0.232},$$

式中 G——燃燒所需要的空气数量，公斤；

C——燃料內的含碳量，%；