

美苏航空油料发展简史

黎文济 常汝楫 编著

国防工业出版社

43

美苏航空油料发展简史

黎文济 常汝楫 编著

国防工业出版社

(京)新登字106号

内 容 简 介

本书共分两篇。阐述了美国和苏联航空油料,包括航空燃油、润滑油、润滑脂及液压油等的简要发展历史;指出了航空技术的发展对航空油料不断提出的要求和航空油料质量改进对推动航空技术发展的重要作用;提出了为满足航空技术的各种要求,在航空油料研制、生产和应用中所采取的重要措施和实施办法,讨论了航空油料发展的一般规律和今后发展的方向;概述了立足于国情对合理利用石油资源、改进油料质量、促进油品佳化以及开发新油品的重要意义。

本书可供从事航空油料科研、生产及使用的人员参考。

美苏航空油料发展简史

黎文济 常汝楫 编著

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京市大兴兴达印刷厂印装

*

787×1092毫米 32开本 印张6¹/₈ 132千字

1993年4月第一版 1993年4月第一次印刷 印数:00001—2000册

ISBN 7-118-01055-3/V·87 定价:5.60元

前 言

美国和苏联[●]是工业发达国家，也是头号军事大国，这两点在各自的航空油料发展史上都有充分的体现。简而言之，从产品质量，品种配套以及发展规模来看，美苏航空油料都居世界领先地位。了解这两个国家航空油料的发展过程，对缩短我国航空油料与国际先进水平的差距，无疑有积极意义，这就是我们编写这本小册子的主要目的。

在描述美苏航空油料的发展过程时，我们大体把握住以下三条原则。

1. 不采取泛泛地罗列流水帐的方法，而着重介绍发展过程的转折点——美苏两国 40 多年来发展航空油料成功的经验与失败的教训。

2. 不采取孤立地描述航空油料发展的方法，而是以飞机和发动机的发展背景为依托，正确阐明飞机和发动机的发展对航空油料发展的巨大推动作用以及二者的依存关系，使航空油料在发展过程中出现的许多重大问题得到合理的解释。

3. 重点介绍航空油料使用中出现的的问题以及问题的解决，因为这是航空油料发展的又一个推动力。除此之外，我们还从发动机的燃烧系统和润滑系统以及飞机的燃料系统和液压系统的工程设计角度出发，对航空油料的若干理化性质要求，作简要的解释，以加深读者对航空油料规格整体要求

[●] 本文中的苏联或苏指前苏联，下同。

的理解。至于相关的燃油，润滑油和液压油的性质，只在第一篇简介，第二篇不再赘述。

美苏两国的航空油料发展史，深深打上各自国情的烙印。具体来说，航空油料的发展过程，一般取决于本国的资源状况，工业化水平，航空工业的发展规模以及国防战略诸因素。因此，对美苏航空油料发展过程中的经验和教训，特别是先进技术和工艺中的吸收应用和油品系列配套，必须有一个消化的过程，这就是先进经验与我国实际情况相结合的过程，切忌简单从事。当然，对他们失败的教训，也应引以为戒。

本书由空军油料研究所组织编写。由于笔者水平有限，书中差错或错误之处在所难免，恳请读者给予批评和指正。

目 录

第一篇 美国航空油料发展简史

第一章 喷气燃料	2
(一) 燃料规格的演变和系列化	2
1. 飞机涡轮发动机燃料	2
2. 导弹燃料	8
(二) 燃料的性质	12
1. 工程设计对燃料的要求	12
2. 储运过程的质量要求	25
(三) 燃料添加剂	27
1. 抗氧化添加剂	28
2. 金属钝化添加剂	28
3. 腐蚀抑制剂	29
4. 润滑添加剂	30
5. 燃料系统的防冰添加剂	31
6. 静电消散剂	33
7. 热-氧化安定性添加剂	36
8. 消烟剂	37
9. 防火防爆剂	37
(四) 未来的燃料	38
1. 放宽规格燃料	38
2. 高密度燃料	39
3. 低温燃料	43
参考文献	44
第二章 涡轮发动机滑油	45
(一) 飞机和发动机的发展	45
1. 飞机的发展	45

2. 影响液压系统安全的性质	93
3. 影响液压系统工作效率的性质	94
(三) 液压油添加剂	95
1. 氧化抑制剂	95
2. 腐蚀抑制剂	96
3. 粘度指数改进剂	96
4. 泡沫抑制剂	97
5. 抗磨添加剂	97
6. 水解抑制剂	98
(四) 未来的液压油	98
1. 不燃液压油	98
2. 高温液压油	106
参考文献	110

第二篇 苏联航空油料发展简史

第一章 航空燃料 112

(一) 航空汽油发展和变化的历程 112

1. B-70、B-74、B-786和B-78r航空汽油 112
2. KB-70、B-89、B-92、B-95/115和B-95/130等航空汽油 113
3. B-91/115、B-95/130和B-100/130等航空汽油 113
4. 其他航空汽油 115

(二) 喷气燃料发展和变化的历程 118

1. T-1 燃料 118
2. T-2、T-3 燃料 119
3. T-4、TC-1和PT 燃料 121
4. T-5、T-6和T-8 燃料 128

(三) 喷气燃料发展中的几个问题 134

1. 生产多种喷气燃料，满足现代喷气航空的要求 134
2. 利用催化加氢方法提高喷气燃料质量，满足超音速飞机的要求 136
3. 提高加氢精制燃料的氧化安定性，满足燃料使用和储存的要求 140
4. 提高加氢精制燃料的抗磨损性能，保证现代航空发动机工作的可靠性 141
5. 建立喷气燃料质量鉴定评价方法体系，确保燃料生产和应用

2. 涡轮发动机的发展	49
(二) 滑油规格的演变和系列化	55
1. 涡轮喷气发动机滑油 (MIL-L-6081)	55
2. 涡轮发动机合成滑油 (MIL-L-7808)	56
3. 飞机涡轮发动机合成滑油 (MIL-L-23699)	58
4. 飞机涡轮发动机合成防腐油 (MIL-L-8188)	61
5. 飞机涡轮发动机合成基高强度油膜滑油 (MIL-L-25336)	63
6. 飞机涡轮发动机滑油 (MIL-L-9236)	63
7. 飞机涡轮发动机酯基滑油 (MIL-L-27502)	65
8. 飞机涡轮发动机聚苯基醚滑油 (MIL-L-87100)	66
9. 直升机传动系统合成基滑油 (DOD-L-85734)	67
(三) 滑油的性质	69
1. 影响润滑系统工程设计的性质	69
2. 影响润滑系统正常操作的性质	71
(四) 滑油添加剂	72
1. 腐蚀抑制剂	72
2. 氧化抑制剂	73
3. 极压添加剂	73
(五) 未来的滑油	74
1. 近期的 4 厘斯滑油	74
2. 未来的滑油候选液	74
参考文献	79
第三章 航空液压油	80
(一) 液压油规格的演变和系列化	81
1. 飞机、导弹和军械石油基液压油 (MIL-H-5606)	81
2. 飞机非石油基液压油 (MIL-H-8446)	82
3. 飞机磷酸酯抗燃液压油 (MIL-H-83306)	83
4. 飞机合成烃抗燃液压油 (MIL-H-83282)	83
5. 石油基防腐与操作液压油 (MIL-H-6083)	86
6. 防锈、抗燃合成烃基液压油 (MIL-H-46170)	88
7. 石油基超低温液压油 (MIL-H-81019)	88
8. 飞行器石油基高温液压油 (MIL-H-27601)	88
(二) 液压油的性质	89
1. 影响液压系统工程设计的性质	89

第一篇 美国航空油料发展简史

美国航空油料的演变和发展，主要是围绕着喷气发动机及飞机的发展而展开的。鉴于军用和民用产品在许多方面非常相近，也由于篇幅限制，本篇主要介绍军用航空油料。

美军航空油料大体上是 50 年代打基础，60 年代形成比较完整的系列，70 年代开始为新的发展时期作准备，80 年代全面攻关，90 年代将是部分的收获季节，到了 21 世纪的头十年或更晚些，有可能进入新的、全面的发展阶段。当然，这只是大体的、人为的划分。事实上，军用航空油料发展的阶段性，主要来源于飞机和发动机的不同发展阶段；正是飞机和发动机的发展，成为航空油料发展的主要动力。

美国空军以 F-86 为代表的第一代喷气式战斗机是在 40 年代末服役的。第二代战斗机如 F-104，F-105，F-4 等等，是在 50 年代末和 60 年代初服役的。到了 70 年代则出现第三代以 F-15 为代表的所谓“空中优势”战斗机。目前计划在下世纪初服役的则是具有先进战术的战斗机(AFT)，这是美国空军第四代战斗机。除此之外，美国有关部门目前正在执行一庞大计划，研制其他类型的新一代飞机，其中包括高超音速战斗机、运输机和战略轰炸机，旋翼飞机/垂直起落飞行器，等等。以航空滑油为例，由于战斗机从第一代发展到第五代，促使滑油也从矿物油，酯基滑油，发展到高度氟化油或其他非酯基滑油，那末，其他油料，不可避免地也要出现类似地发展过程。

当然，航空油料的发展不仅仅取决于飞机和发动机的发展，资源的合理利用，在很大程度上也能起到左右的作用。除此之外，价格和环境污染，也是不容忽视的问题。

第一章 喷 气 燃 料

(一) 燃料规格的演变和系列化

1. 飞机涡轮发动机燃料

汉斯·冯·奥哈恩首次成功地制成航空燃气涡轮(喷气)发动机,并于1939年8月27日在Heinkel He178型飞机上作首次飞行试验。当时选用汽油作燃料。与此同时,英国的惠特尔也研制了飞机燃气涡轮发动机,并于1941年5月14日在E 28/32型飞机上作首次飞行。由于当时汽油短缺,选用了照明用的煤油。

航空燃气涡轮发动机的早期设计者认为,这种新型发动机比汽油发动机或柴油发动机有大得多的承受能力,可以使用任何燃料。实际上飞机和发动机的燃料系统对燃料的理化性质仍然是非常敏感的,为了保证安全,仍然需要对燃料的性质给予限制和规定。

美国第一个喷气燃料规格是AN-F-32,是在1944年公布的,燃料的代号是JP-1(即喷气推进剂1号),英国第一个喷气燃料规格是RDE/F/KER,也是在第二次世界大战末期公布的。

在喷气燃料使用的初期,军用喷气燃料的标准化是由航空标准化协调委员会(ASCC)实施的。该委员会由美国,英国,加拿大,澳大利亚,新西兰和北大西洋公约组织组成。现在,北约已经有三种喷气燃料标准化:F-34(JP-8),F-40(JP-4)和F-44(JP-5)。国际航空运输协会(IATA)

和其他类似组织也促进了民用喷气燃料的标准化。军用和民用喷气燃料彼此十分类似。下面对美国军用喷气燃料的演变和系列化作简单介绍。

JP-1。规格是AN-F-32，1944年首次公布，1950年改用军用规格：MIL-F-5616。JP-1是煤油型燃料，冰点 -60°C ，高闪点，但原油的平均出油率只有3%。

JP-2。规格是AN-F-34，1945年公布。JP-1由于高闪点和低冰点，大大限制了原油出油率。为了增加产量，JP-2是采用宽馏分，但这样一来，其粘度和可燃性都不符合要求。为此，JP-2只限于试验使用。

JP-3。规格AN-F-58，1947年公布。JP-3属于宽馏分，其蒸气压高，类似航空汽油。由于喷气式飞机比活塞式飞机飞得高，高蒸气压带来的高空损失是个严重问题。在地面，高蒸气压在储运和油料操作过程中也带来一系列问题，为了安全，还要增加油气回收设备。

JP-4。规格MIL-F-5624A，1951年公布。JP-4也是宽馏分，目的是保持高收率和良好的低温起动性以及高空重新点火能力。与此同时，还要缓解高蒸气压带来的问题，规定雷德蒸气压不超出 $13.78\sim 20.68\text{kPa}$ 。直到目前为止，在美国本土或极地飞行，JP-4仍然是空军的主要喷气燃料。在使用的初期，规格允许产品加入裂化组分，为此，规格中的溴值允许不大于30，而JP-1和JP-2规定不大于3.0。裂化组分安定性差，能引起操作问题。1955年，规格用烯烃体积百分数不超过5.0%代替溴值，1966年规格取消了溴值试验。JP-4是宽馏分。其中，有汽油也有煤油，汽油约占50~60%，它的主要优点之一是收率高。以轻质原油计算，JP-4的收率高达40%。

JP-5。规格是 MIL-F-7914，1952 年 3 月 11 日公布，1953 年 12 月 7 日合并入 MIL-F-5624 规格。JP-5 是高闪点（不低于 60°C ）煤油，主要是出于对舰上甲板的安全考虑。另外，它的冰点不高于 -46°C ，比一般煤油型的喷气燃料高，原因是考虑到舰载飞机的飞行时间比较短，而且海洋的反射热不会出现陆地的极低温度。为此，以陆地为基地的海军飞机，多年来也使用 JP-4。

JP-6。规格是 MIL-J-25656，这是 1956 年专门为 XB-70 轰炸机设计的煤油型燃料。原计划使用特殊的硼基燃料以增加飞机航程，以后由于价格问题，放弃了。JP-6 类似 JP-5，不同之处是冰点较低，而且热安定性更好。不过这种燃料实际上并没有被使用，随着 XB-70 轰炸机的研制计划被取消，JP-6 的规格也宣告作废。

JPTS。规格是 MIL-T-25524，全称是航空热安定性涡轮燃料，是 1956 年专门为高空飞行的 U-2 飞机而设计的煤油型燃料。现在 U-2 以及较新型的 TR-1 高空侦察机仍然使用这种燃料。早期批量生产的 JPTS 燃料，经过短期贮存后就出现降解现象，当时采取了两条有效的对策：一是提高对买进的燃料的热氧化安定性要求（在评定燃料热氧化安定性的结焦器试验中，原预热器和过滤器的温度都不高，分别为 149°C 和 204°C ，规格修订后分别提高到 232°C 和 288°C ），同时，还要求燃料加工前的母体（原材料）的热氧化安定性能满足飞机操作温度极限的要求；二是给燃料加入杜邦公司生产的热氧化安定性添加剂 JFA-5，加入量为 $8.5\sim 11.4\text{ g/m}^3$ 。在规格 B 的修正版中还有一项新规定：在燃料批准采购之前，需要进行生产前试验，同时贮存一年后的贮存安定性试验要有满意的结果。

JP-7。规格是 MIL-T-38219, 1970 年首次公布, 1985 年修订到 B。JP-7 是在 60 年代末为空军 SR-71 高空侦察机专门研制的燃料。在规格公布之前, SR-71 飞机的试验燃料是 PF-1, 规格由发动机生产厂提供。

SR-71 飞机是美军迄今为止唯一能以 $Ma = 3$ 巡航飞行的飞机, 而且升限达 30000 m。由于飞机作超音速巡航飞行, 也就是说飞机大部分飞行时间是处于超音速飞行状态, 空气动力热使整个机体产生巨大的热应力, 使大部分燃料的温度超过 149°C 。因此, 首先要求燃料有很高的热安定性和低蒸发度, 例如 JP-7 的热安定性试验规定加热管温度高达 355°C , 而其他军用喷气燃料规格加热管温度一律规定 260°C 。为了确保燃烧室寿命, 要求燃料有很好的燃烧性能, 对净热值也有特殊要求。例如, JP-7 规定净热值 (MJ/kg) 和氢含量分别不小于 43.5% 和 14.4%, 而其他军用喷气燃料分别为 42.8% 和 13.5%。以上这些特殊的要求使 JP-7 的组成受到严格的限制, 其中, 主要是烷烃和环烷烃, 芳烃不大于 5% (其他喷气燃料不大于 25% 体积)。不仅如此, 要达到上述要求, 使用一种馏出物是不可能的, 则需要用多种组分掺兑的办法, 其中, 用特殊的方法除去芳烃。经过以上处理, JP-7 燃料是相当纯洁的烃混合物, 其中硫、氮和氧等不纯物的含量都很低, 燃料的热安定很高, 但润滑性就比较差。为此, 需要在 JP-7 加入 PWA-52 润滑添加剂, 以防止燃料系统燃料泵的磨损。和 JPTS 燃料一样, JP-7 也有生产前的质量要求。

JP-8。规格是 MIL-T-83133, 1976 年首次公布, 1987 年 9 月 3 日修订到 B。JP-8 是煤油型燃料, 非常类似民用的 Jet A-1 燃料。越南战争表明, 空军使用宽馏分的 JP-4

表1-1-1 各种喷气燃料规格要求的比较⁽¹⁾

项 格	JP-1 AN-F -32	JP-2 AN-F-3	JP-3 AN-F-58	JP-4 MIL-T- 5624M	JP-5 MIL-TMIL-T -5624 M	JP-6 JP-TMIL-T -25656 B	JPTS MIL-TMIL-T -38219 B	JP-7 JP-8 MIL-TMIL-T -83133 B
馏程, 初馏点	—	68	—	报告	报告	138	157	182
馏出10%温度不高于	210	—	—	报告	205	177	193	196
馏出20%, 温度不高于	—	—	—	145	报告	—	—	206
馏出50%, 温度不高于	—	—	—	190	报告	218	204	报告
馏出90%, 温度不高于	254	—	204	245	报告	260	238	报告
终馏点温度不高于	300	260	316	270	290	报告	260	288
雷德蒸气压, (38°C) kg/cm ²	—	不大于0.14	0.35—0.49	0.14—0.21	—	—	—	—
闪点, °C	43	—	—	—	60	—	43	60
运动粘度, 测定温度°C	-40	-40	—	—	-20	-40	-40	-20
mm ² /s 不大于	10	10	—	—	8.5	7	12	8
冰点, °C	-60	-60	-60	—	-46	-54	-53	-43.3
密度kg/dm ³ (15°C) 不小于	—	—	0.728	0.751	0.788	0.780	0.767	0.779
不大于	0.850	0.850	0.802	0.802	0.845	0.840	0.797	0.806

芳烃% (体积)	不大于	20	20	25	25	25	25	25	25	25	25	25
烯烃% (体积)	不大于	—	—	—	5	5	5	3	20	5	5	5
溴值	不大于	3	3	30	—	—	—	—	—	—	—	—
硫含量, % (重量)	不大于	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.10	0.30	0.30
硫醇性硫, % (重量)	不大于	—	—	0.005	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
实际胶质, mg/100ml, 不大于		5	5	10	7	7	5	5	5	5	7	7
加速生成胶质, mg/100ml, 不大于		8	8	20	—	—	—	—	—	—	—	—
试验延续小时		16	7	16	—	—	—	—	—	—	—	—
铜片腐蚀, 评级不大于		—	—	—	1 b	1 b	1 b	1 b	1 b	1 b	1 b	1 b
总酸值, mg/(KOH)/g, 不大于		—	—	—	0.015	0.015	—	0.015	—	—	0.015	0.015
净热值, MJ/kg, 不小于		—	—	42.70	42.70	40.20	42.70	42.70	42.70	43.41	42.70	42.70
烟点, mm, 不小于或		—	—	—	20	19	20	25	—	—	19	19
氢含量, 重量%, 不小于		—	—	—	13.6	13.4	—	14.0	14.4	13.4	13.4	13.4
热氧化安定性, JFTOT试验温度°C		—	—	—	200	260	(1)	335	335	260	260	260
试验小时		—	—	—	2.5	2.5	—	2.5	2.5	5.0	2.5	2.5

(1) ASTM CRC燃料结晶器, 218.3/273.9°C, 5 h ASTM D1660.

与海军使用的低蒸发度的 JP-5 比较,前者飞机着火后坠毁的概率几乎是 100%,其损失远大于后者。在地面装运燃料时,煤油型燃料也比宽馏分燃料安全。除此之外,为了减少蒸发损失和环境污染,还要专门为 JP-4 设置油气回收装置。因此,JP-8 是专门为空军研制的、比较安全的煤油型喷气燃料,有适中的蒸发度和冰点(不高于 -47°C)。1979 年,美国驻英空军又把 JP-8 作为主要燃料使用。80 年代末,北大西洋公约组织的主要喷气燃料,开始从 JP-4 转向 JP-8,整个替换工作将于 1992 年完成。美国石油工业部门认为,美国空军的喷气燃料全部转向 JP-8,供应上不成问题,但要有两年的时间作准备。全部改用 JP-8 后,空军每年要追加燃料费用 0.55~1.76 亿美元。另方面,美国购买燃料是以体积计算的,JP-8 的密度远大于 JP-4,而且体积热值还要高 5%,这两项可使空军每年节省燃料费用近 1 亿美元。除此之外,由于 JP-8 比较安全,可以节省设备和人员,折合费用每年可使空军节省 2 亿美元。

当然,改用 JP-8 后并不是有百利而无一害。由于 JP-8 蒸发度比较低,习惯于使用 JP-4 的现有飞机的地面启动和空中重新点火的能力均受影响,需要对现有的发动机进行一些改进和调整。1979~1980 的伊朗革命以及中东持续不断地动荡形势,造成了世界范围的石油短缺,对于依赖进口中东原油的美国来说,整个 JP-8 的替代计划受到明显的影响。

以上是飞机涡轮燃料的演变和系列化的过程。其间这些燃料各自有不同的规格要求,详见表 1-1-1。

2. 导弹燃料

(1) 冲压发动机燃料

RJ-1。规格 MIL-F-25558,1956 年 4 月首次公布。根

据记载, RJ-1 是为远程地对地巡航导弹设计的, 是高沸点煤油馏分。1983 年 3 月宣告作废, 原因是现有的或设计中的导弹都不使用这种燃料。

RJ-2 和 RJ-3。这些燃料在公开文献中没有发现, 很可能是在研制过程中没有取得必要的进展。

RJ-4。^⑦规格 MIL-P-85522, 属喷气发动机推进剂(T-H二聚物), 被称为第一个高密度合成烃导弹燃料。RJ-4 是海军研制的, 在 60 年代中期用于以冲压发动机为动力的青铜骑士舰对空导弹, 其冰点为 -46°C , 这对空中发射的导弹来说是太高了。尽管如此, RJ-4 仍然是地面发射的巡航导弹的主要燃料。1971 年 10 月, 规格修订为 MIL-F-82522A, 冰点进一步提高到 -40°C 。

RJ-5。燃料主要成分是降冰片二烯加氢二聚物的混合物, 采用了壳牌石油公司在 60 年研制 Shellldyne H(产品名称)的生产工艺。这是一种罕见的液烃, 其密度大于水。这种燃料的冰点高, 粘度高, 价格也高, 不能用于空军系统。

RJ-6。这是 RJ-5 和 JP-10 的混合物。混合的结果, 消除了 RJ-5 的冰点问题, 降低了粘度, 也降低了价格, 同时还保留了体积能高的优点。燃料的组成中, 60% 是 JP-5, 40% 是 JP-10, 是先进的空中发射的战略导弹的候选燃料, 并已批量生产且交付发动机生产厂试验。目前只看到空军的暂行规格。

(2) 涡轮发动机燃料

JP-9 和 JP-10。JP-9 是新型的高密度合成烃燃料, 规格 MIL-P-83107, 1977 年首次公布, 不久作了修订, 其中也包括了 JP-10。1981 年规格修订到 B。这种新型燃料现用于空中发射的巡航导弹 (ALCM)。