

# 航空发动机与 航空润滑油



HANGKONGFADONGJIYU  
HANGKONGRUNHUAYOU



主编 赵升红  
执笔 徐敏

中国石化出版社  
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

2616500

V23

11

航空油料应用丛书

# 航空发动机与航空润滑油

赵升红 主编

徐敏 执笔



中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书是航空油料应用丛书之一,系统介绍了航空润滑油品种体系,包括:航空发动机对航空润滑油的性能要求、航空润滑油的性能设置、国外航空润滑油的主要品种和发展、我国航空润滑油的主要品种。考虑到读者对整个航空油料品种体系了解的需要,本书还以附录的形式介绍了喷气燃料品种与发展、航空润滑脂品种与发展、航空特种液品种与发展。通过本书的阅读,读者将会获得对整个航空润滑油品种较为全面的了解。

本书可满足管理部门对油料科研立项、研究部门对油品技术发展、航空部门对油品设计选用、使用部门对油品质量把关、维护部门对技术问题解决的学科知识需要,是机关领导、科研人员、管理干部和广大部队油料技术官兵培训、进修、自学的一本专业参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

航空发动机与航空润滑油 / 赵升红主编.  
—北京:中国石化出版社,2012.3  
(航空油料应用丛书)  
ISBN 978-7-5114-1450-2

I. ①航… II. ①赵… III. ①航空发动机—研究  
②航空器—润滑油—研究 IV. ①V23②V317.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 036427 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京宏伟双华印业有限公司印刷

\*

787×1092 毫米 16 开本 8 印张 125 千字

2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

定价:40.00 元

# 序 言

与一般的后勤物资不同，航空油料是航空装备整体不可分割的一部分，对装备的设计和效能起着至关重要的作用。航空油料对航空装备的从属性决定了航空油料的指标设置和品种发展从属于航空装备的功能设计和技术变革，亦即航空装备的结构设计和技术参数决定了航空油料的性能和品种发展；反过来，航空油料的性能特征和品种类型也制约着航空装备的结构设计和任务实现。因此，作为航空油料研究工作者，在着手研制航空油料和解决油料应用问题时，仅仅依靠掌握的航空油料知识是远远不够的，还必须对装备结构、任务需求和用油特点等具有比较清晰的认识。

航空润滑油是航空油料中最重要的品种之一，其在发动机内工作的长期性、对部件影响的累积性和导致飞行事故的灾难性，决定了它必须具有良好的高温安定性、低温流动性、持续润滑性和材料适应性等特征，技术含量最高、安全风险最大。本书根据笔者从事航空油料工作 20 多年的工作体会，拟从航空发动机对航空润滑油的要求为切入点，系统探索航空润滑油的性能特点、品种类型和发展规律。

本书由赵升红主编，徐敏执笔，可供从事航空油料研究、生产、管理、使用的广大工程技术人员和大专院校师生阅读参考。

编 者

# 目 录

第一章 飞机发动机的发展及对航空润滑油的要求 .....	( 1 )
1.1 航空发动机对润滑油的要求 .....	( 1 )
1.1.1 对活塞式发动机润滑油的要求 .....	( 1 )
1.1.2 对涡轮喷气发动机润滑油的要求 .....	( 2 )
1.1.3 对涡轮风扇发动机润滑油的要求 .....	( 3 )
1.1.4 对涡轮轴发动机润滑油的要求 .....	( 3 )
1.1.5 对涡轮轴发动机润滑油的要求 .....	( 4 )
1.2 航空润滑油的性能对航空发动机设计的影响 .....	( 5 )
1.2.1 航空润滑油的使用特点 .....	( 5 )
1.2.2 热氧化安定性 .....	( 6 )
1.2.3 耐热点温度能力 .....	( 7 )
1.2.4 自燃点 .....	( 7 )
1.2.5 蒸气压 .....	( 8 )
1.2.6 高温黏度 .....	( 8 )
1.2.7 低温性能的影响 .....	( 8 )
1.3 各代飞机发动机(涡轮喷气/涡轮风扇)使用的典型航空润滑油 .....	( 9 )
1.3.1 早期涡轮喷气发动机润滑油 .....	( 10 )
1.3.2 第一代加力涡轮风扇发动机润滑油 .....	( 12 )
1.3.3 第二代加力涡轮风扇发动机润滑油 .....	( 12 )
1.3.4 第四代飞机使用的涡轮轴发动机润滑油 .....	( 13 )
1.4 未来的飞机发动机润滑油展望 .....	( 14 )
第二章 航空润滑油的主要类型与性能 .....	( 16 )
2.1 航空润滑油的质量等级 .....	( 16 )
2.2 航空润滑油的品种类别 .....	( 17 )
2.2.1 烃类油 .....	( 17 )
2.2.2 酯类油 .....	( 18 )
2.3 基础油的分子结构与润滑油性能的关系 .....	( 26 )
2.3.1 与黏度的关系 .....	( 26 )
2.3.2 与黏度指数的关系 .....	( 29 )

2.3.3	与熔点或凝点的关系 .....	( 30 )
2.3.4	与蒸发性的关系 .....	( 31 )
2.3.5	与氧化安定性的关系 .....	( 34 )
2.3.6	与热安定性的关系 .....	( 35 )
<b>第三章</b>	<b>俄美航空润滑油的发展 .....</b>	<b>( 35 )</b>
3.1	俄罗斯航空润滑油的发展 .....	( 35 )
3.1.1	活塞式发动机油 .....	( 35 )
3.1.2	喷气发动机润滑油 .....	( 36 )
3.1.3	涡轮发动机合成润滑油 .....	( 39 )
3.1.4	涡轮发动机半合成润滑油(ИПМ-10) .....	( 45 )
3.1.5	直升机高极压酯类合成润滑油 .....	( 47 )
3.1.6	直升机传动系统润滑油 .....	( 49 )
3.1.7	新一代酯类合成润滑油(ИТС-225) .....	( 51 )
3.2	美国航空润滑油的发展 .....	( 52 )
3.2.1	活塞式发动机油 .....	( 52 )
3.2.2	喷气发动机润滑油(MIL-L-6081) .....	( 54 )
3.2.3	酯类合成润滑油 .....	( 57 )
3.2.4	直升机高极压润滑油 .....	( 65 )
<b>第四章</b>	<b>我国的主要航空润滑油品种 .....</b>	<b>( 69 )</b>
4.1	活塞式发动机润滑油 .....	( 69 )
4.2	喷气机润滑油 .....	( 71 )
4.3	4109 合成航空润滑油 .....	( 73 )
4.4	928 合成烃航空润滑油 .....	( 74 )
4.5	4050、925 合成航空润滑油 .....	( 75 )
4.6	926 合成航空润滑油 .....	( 77 )
4.7	4450 合成烃航空齿轮油 .....	( 80 )
4.8	18 号双曲线齿轮油 .....	( 81 )
<b>附录 I</b>	<b>喷气燃料发展 .....</b>	<b>( 82 )</b>
1.1	国外喷气燃料发展 .....	( 82 )
1.1.1	俄罗斯喷气燃料 .....	( 82 )
1.1.2	美国喷气燃料 .....	( 83 )
1.2	国产喷气燃料发展 .....	( 86 )
<b>附录 II</b>	<b>航空润滑脂发展 .....</b>	<b>( 90 )</b>
2.1	国外航空润滑脂 .....	( 90 )
2.1.1	俄罗斯航空润滑脂 .....	( 90 )

2.1.2 欧美航空润滑脂 .....	( 97 )
2.2 国产航空润滑脂 .....	( 103 )
<b>附录Ⅲ 航空液压油及特种液发展 .....</b>	<b>( 106 )</b>
3.1 国外航空液压油发展 .....	( 106 )
3.1.1 俄罗斯航空液压油 .....	( 106 )
3.1.2 美国航空液压油 .....	( 108 )
3.2 国产航空液压油 .....	( 112 )
3.3 航空冷却液发展 .....	( 116 )
<b>参考文献 .....</b>	<b>( 117 )</b>

# 第一章 飞机发动机的发展 及对航空润滑油的要求

## 1.1 航空发动机对润滑油的要求

不同类型的航空发动机结构和工作特点是不一样的，因此，对航空润滑油的要求也不相同。

### 1.1.1 对活塞式发动机润滑油的要求

航空活塞式发动机的活塞是在冷却的缸套中作往复活动而推动曲轴带动螺旋桨旋转，润滑油的主要润滑部位是活塞和曲轴，其工作原理见图 1-1。由于汽缸的间隙较大，为了保持足够的油膜，必须要使用大黏度的润滑油。由于冷却后缸体的温度并不高，一般在  $150^{\circ}\text{C}$  以下，因此润滑油的工作温度环境并不恶劣，直接使用大黏度的石油馏分就可以满足使用，一般是使用  $100^{\circ}\text{C}$  黏度为  $20\text{mm}^2/\text{s}$

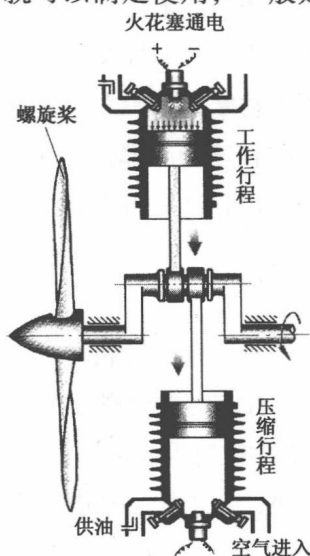


图 1-1 活塞式发动机工作原理





左右的渣油型馏分润滑油。

### 1.1.2 对涡轮喷气发动机润滑油的要求

喷气发动机的工作原理是利用燃烧产生的高温气体膨胀，高速从喷管中喷出而产生反作用力。为了使足够的空气进入发动机，必须对空气压缩，就必须有压气机，带动压气机旋转还必须有高压涡轮。

支撑压气机、涡轮至少有三个轴承：一个为压气机前轴承，位于进气道前端；一个为压气机后轴承，位于压气机后、燃烧室前；一个为涡轮轴承，位于燃气涡轮前、燃烧室后，涡轮喷气发动机的主要润滑部位就是这三个轴承，它们的位置如图 1-2 所示。

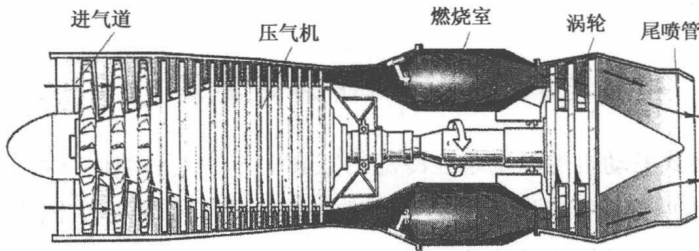


图 1-2 涡轮喷气发动机支撑轴承位置

一般而言，采用滚动轴承摩擦系数很小，产生的热量很小，只需要很少的润滑油就可以满足润滑要求。但由于涡轮喷气发动机轴承承受的负荷大，使滚子产生弹性变形大，滚动时出现了滑动摩擦，产生大量的热量；转速越大，产生的热量越多，涡轮喷气发动机转子的转速一般都在 12000 ~ 25000r/min 之间，将产生大量的热量。另外，还有燃烧室传导过来的热量、密封空气泄漏带来的热量。这些热量叠加，就使得轴承的温度大大升高，这就要求涡轮发动机的润滑油必须具有良好的高温性能。

对于涡轮喷气发动机，由于发动机推力相对较小，涡轮前燃气温度为 700 ~ 1000℃，轴承温度约为 150℃ 左右，要求润滑油能够承受 80 ~ 120℃ 的高温就已足够，50℃ 黏度为 8mm<sup>2</sup>/s 左右的矿物型润滑油就能够满足要求。

而对于加力涡轮喷气发动机，由于加力燃烧室使燃气温度的升高，需要润滑部位的热负荷增加，轴承温度上升为 170℃，要求润滑油的高温能力达到 150℃，这就要求使用 100℃ 黏度为 3mm<sup>2</sup>/s 左右的双酯油。



### 1.1.3 对涡轮风扇发动机润滑油的要求

简单而言，涡轮风扇发动机可以看作是由一台涡轮喷气发动机、一个外壳和风扇组成。因此需要润滑的部位与涡轮喷气发动机基本相同，只是由于功率大部分由风扇产生，涡轮前燃气的温度更高、涡轮转速更大，轴承的温度也就更高，使得润滑系统的工作温度比涡轮喷气发动机高得多。

涡轮风扇发动机的轴承温度一般在  $260^{\circ}\text{C}$  以上，要求润滑油的高温能够达到  $175 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，必须要求使用  $100^{\circ}\text{C}$  黏度为  $5\text{mm}^2/\text{s}$  的多元醇酯油。

涵道比为 5.0 的高涵道比涡轮风扇发动机如图 1-3 所示。

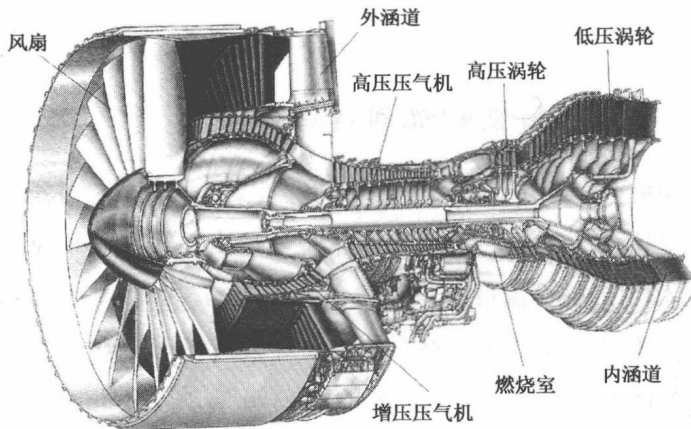


图 1-3 涵道比为 5.0 的高涵道比涡轮风扇发动机

### 1.1.4 对涡桨发动机润滑油的要求

涡桨发动机可以看作是把涡轮风扇发动机的外壳去除并把风扇改成螺旋桨组成。由于螺旋桨的转速很慢 ( $1000\text{r}/\text{min}$ )，必须把涡轮的转速减小到螺旋桨适合的速度，这就使得涡桨发动机内必须有一个减速装置，所以润滑油的主要润滑部位除转子轴承外，还必须润滑该减速器，如图 1-4 所示。

由于涡桨发动机减速器的传动功率大，最大接近  $11000 \sim 15000\text{kW}$ ，齿轮承受的接触负荷大 ( $11000 \sim 12000\text{N}$ )，因此润滑油需要承受的负荷大。可见，对于涡桨发动机更大的问题不是高温，而是高压。为了保持足够的油膜厚度，就必须使用比涡轮喷气发动机黏度更大的润滑油，一般要求使用  $100^{\circ}\text{C}$  黏度为  $7.5\text{mm}^2/\text{s}$

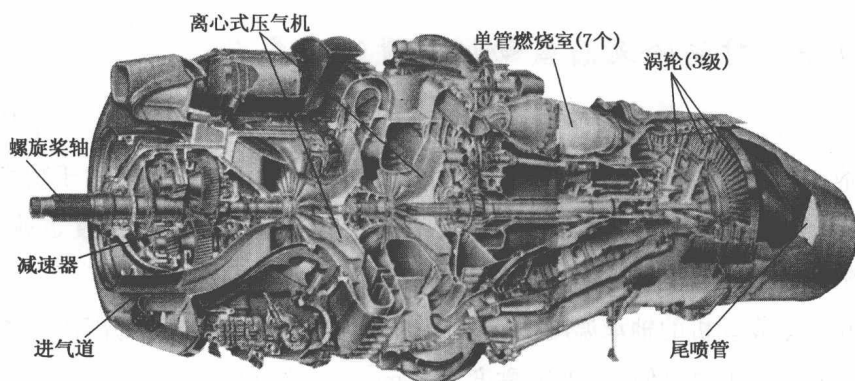


图 1-4 定轴式涡桨发动机

的混合油或专用油。

### 1.1.5 对涡轮轴发动机润滑油的要求

涡轮轴发动机可以看作是涡桨发动机的螺旋桨换成旋翼，并把转轴输出的功率转向。由于涡轮轴发动机的功率完全靠转轴输出，涡轮的转速更高(10000 ~ 40000r/min)，轴承的工作温度也就比涡桨发动机高。另外，涡轮轴发动机经内部减速器减速后还要经过主减速器减速，内部减速器的减速比不如涡桨发动机大，也即是负荷比涡桨发动机要小。因此，涡轮轴发动机润滑油的工作特点是温度比涡桨发动机高、负荷比涡轮风扇发动机大，必须要求使用高温性能较好的黏度较大的 100℃黏度为 5mm<sup>2</sup>/s 的多元醇酯油。

涡轮轴发动机结构原理如图 1-5 所示。

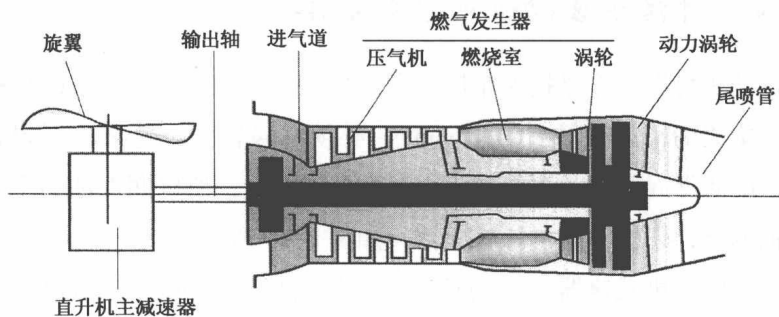


图 1-5 涡轮轴发动机结构原理



## 1.2 航空润滑油的性能对航空发动机设计的影响

### 1.2.1 航空润滑油的使用特点

同其他应用场合一样，航空发动机润滑油也具有双重作用——润滑和带走热量。Williams 指出高速飞机涡轮发动机润滑油的主要使用特点有：

- (1) 飞机空间和质量的限制，不允许使用大尺寸的轴承，为了把振动降至最低，轴承间隙要求尽可能小；
- (2) 高空环境促进了润滑油的蒸发；
- (3) 长期暴露于高温下，润滑油变质快等。

从表 1-1 可以看出，飞机速度对温度具有显著影响。

表 1-1 速度对温度的影响

℃

巡航速度	M. 0.9	M. 2.2	M. 3.0	M. 4.0
油箱润滑油温度	150	180	260	260 ~ 370
回油温度(最大)	200	285	330	
轴承腔空气温度	260	350	535	700
轴承温度	260	260	315	

航空润滑油的降解并非由于热的影响，而主要是由于氧化和水解的作用。与活塞式发动机不同，涡轮发动机中的润滑油在正常使用条件下不容易被燃料燃烧产物污染，然而即使采用特殊的密封设计，润滑油在高温下也容易被空气搅动而发生降解，当有青铜、钢、铝、镁、铬等具有氧化催化作用的金属存在时，这一现象更为严重。

航空润滑油的降解表现为黏度增加、酸值增大和生成沉积物等各个方面。

黏度对散热速率有很大影响，太高的黏度会降低冷却效果，从而使润滑油的温度升高、降解加速。对于黏度增加到何种程度才能导致危害，取决于润滑系统的情况，Bedell 认为，黏度在增大至原来的三倍以内时，对散热效果影响还不至于造成危害。

酸值的增大说明润滑油发生了降解。经验表明，合成航空润滑油的酸值是降解发生的标志之一，但酸值增加不一定会引起不良后果，高酸值的润滑油甚至有



更好的抗磨性。在合成航空润滑油中加入某些酸性产物，并没有引起金属构件的腐蚀，最常见的腐蚀是由于润滑系统中的杂质或水引起的。

沉积物的产生是降解最严重的后果，沉积物不仅会聚集于润滑油回路中影响流量，而且还会堵塞小孔甚至滤网，阻止润滑油的流动，中断润滑过程，导致严重后果。应该说，不是黏度和酸值的增加，而是沉积物的产生决定了润滑油的使用寿命。

### 1.2.2 热氧化安定性

由发动机热力学计算发现，在所有的参数中，润滑油的主体氧化安定温度（是指润滑油在长期的氧化环境中不出现严重氧化降解的最高温度）对发动机的质量、价格和性能的影响最大。发动机润滑油的回油温度与热量的产生、吸收和转移相关，而这些因素又直接受到润滑油的热力学性能、流量、燃料在燃料/润滑油换热器中的温度和流量以及轴承腔结构（包括外形、表面积、热屏蔽、隔热形式和隔热板厚度、以及冷却空气等）的影响。在超音速巡航状态下，由于高速度以及先进飞机上的电子系统和液压系统产生热量，燃油也将承受更大的热负荷，燃油的携热能力将大大下降，从润滑系统出来的润滑油的回油温度必然会升高。

目前，涡轮发动机使用的润滑油基本上都是满足美军标 MIL - L - 7808、MIL - L - 23699 或相应规范的酯类油或合成烃类油，即 II 型油。这些油在 250℃ 左右就开始分解，最高使用主体温度在 160 ~ 180℃ 之间，一般要求在 150℃ 以下工作，即使是采用最好的基础油和添加剂配方，也难以突破 230 ~ 240℃ 的难关。20 世纪 80 年代，材料科学的进展已经使得齿轮、轴承和密封件等部位在更高的温度和更大的速度下工作成为可能，发动机润滑油已经到了最高使用温度极限。

为了保证发动机润滑系统中润滑油的主体温度不至于太高，常常采用大量冷却空气来冷却：一路是从低压气机来的空气冷却轴承腔；另一路是从高压气机来的空气冷却涡轮，这路空气先是内部冷却，然后气流再通过叶片上的几排小孔从叶片表面流过，在叶片上与从燃烧室流出的热气之间形成一层冷却空气膜。这样一方面一部分压缩空气不能做功，浪费了燃料的使用效率；另一方面，冷却系统的采用还增大了发动机的重量和体积，增加了燃料的消耗。

提高润滑油的氧化安定性，扩大主体使用温度，不仅能够减少润滑系统的重量和复杂性，还能够减少从发动机内转移的热量，从而减轻对燃油施加的热负



荷,提高燃油的使用效率。

例如,对于 IHPTET 第二阶段发动机润滑系统的热分析表明:如果润滑油的主体使用温度能提高到  $332^{\circ}\text{C}$ ,则能够满足整个飞行包线的任务要求,并能够减少整个机械部件 12% 的重量(包括采用更轻的轴承材料、润滑油流量降低 50% 所带来的润滑油系统重量降低以及去除隔热装置等)。如果润滑油的主体温度限制到  $277^{\circ}\text{C}$ ,则虽然能够满足飞行任务的要求,但部件重量减少的目标达不到;为了避免油温过高,需要有隔热装置和冷却空气;另外,为保证 100% 的润滑油流量,油泵、油管 and 换热器都将换用大尺寸的。而如果主体温度低于  $277^{\circ}\text{C}$ ,那么飞机执行任务能力(包括飞行速度、留空时间、载荷和作战半径)都将受到影响。

### 1.2.3 耐热点温度能力

除润滑油的主体温度外,热点温度也很重要,因为润滑油在热点区域会产生极度的沉积。涡轮发动机的润滑系统中,最热的区域是后轴承腔中的反转轴承保持架和腔体的后壁,这些热点是由邻近的燃气温度、腔体内部产生的热量、前密封空气的漏入和燃油吸热有限所引起的。对于 IHPTET 第二阶段发动机,此处的最高温度是  $353^{\circ}\text{C}$ 。为了控制热点温度不至于太高,发动机必须采取隔热和增大润滑油流量等措施,这将大大增加发动机的重量。

发动机热力学计算表明,润滑油在轴承腔密封件上的工作温度要比回油温度高得多。由于 II 型酯类油的热点温度最高设计极限只有  $232^{\circ}\text{C}$ ,第二代加力涡轮风扇发动机为了控制的热点温度为不超过  $200 \sim 230^{\circ}\text{C}$ 。而 IHPTET 第二阶段的发动机如果要达到设计要求,润滑油必须在夹带空气的条件下在  $400^{\circ}\text{C}$  时工作 24 ~ 48h 后无明显沉积和腐蚀。

### 1.2.4 自燃点

自燃点是衡量润滑油在有氧条件下发生着火和燃烧危险性的一个重要指标。目前常用的 II 型油的自燃点相对较低( $370 \sim 420^{\circ}\text{C}$ ),为了防止轴承腔发生着火,发动机润滑系统中有一套专门用于冷却轴承腔的缓冲空气系统。该缓冲空气把相对较冷的空气从低压气机引出,然后送到后轴承腔中,在与轴承腔中的油/气混合物混合和冷却之前,先冷却轴承腔的外壁,使其温度大大低于 II 型油的自燃点。



显然，缓冲空气系统的引入增加了润滑系统的复杂性和重量，以及为减少缓冲空气泄漏而对主密封的改进。

使用自燃点低的润滑油，对于新一代发动机来说损失将会更大。新的发动机轴承腔内、外压力都将升高，需要的缓冲空气压力将更高，缓冲空气只能从高压气机引出而不是低压气机。因为高压气机的空气比低压气机温度高，该空气在用于冷却油/气混合物之前还必须经过冷却，需要附加气/气或燃油/气换热器，进一步增加润滑系统的复杂性和重量。另外，从高压气机的出来的空气没有全部用于做功，其中的一部分只起冷却作用，发动机的功率受到损失。

### 1.2.5 蒸气压

蒸气压是反映润滑油蒸发损失的一个重要指标。高的蒸气压主要会引起：润滑油的耗油量增大、自燃的危险性增大、燃油/润滑油换热器的体积增大、润滑油箱中泡沫增多和油泵发生气阻的可能性增大等。

Ⅱ型酯类油在最大主体温度下(约 $180^{\circ}\text{C}$ )的表观蒸气压为 $13.3 \sim 133\text{Pa}$ ，在发动机中的耗油速度不大于 $0.5\text{L/h}$ 。根据使用经验，润滑油在最大主体工作温度下的蒸气压不大于 $1330\text{Pa}$ 认为是可以接受的。但根据发动机中蒸气压与油耗的关系可知，蒸气压为 $1330\text{Pa}$ 的油耗将是蒸气压为 $266\text{Pa}$ 下的两倍以上。因此，一般规定在最大主体工作温度下的蒸气压最大不应超过 $266\text{Pa}(2\text{mmHg})$ 。

### 1.2.6 高温黏度

航空发动机的主轴承在高温、高速和高应力的条件下工作，最常见破坏形式为疲劳磨损。为了防止疲劳磨损引起的剥落，润滑油必须具有足够的油膜厚度，以保证在最大工作温度下能够有足够的弹性流体动力润滑能力。

一般认为，在最大主体工作温度下润滑油的黏度不应小于 $1.0\text{mm}^2/\text{s}$ 。但如果润滑油中具有性能良好的摩擦性能改进剂，使得轴承和齿轮的寿命增加，高温黏度的要求可以适当放宽。

### 1.2.7 低温性能的影响

润滑油的低温性能是指在典型寒冷气候条件下必须保证能够顺利泵送。换言之，就是在低温下有足够的润滑油流到摩擦部件去润滑和冷却机件，并保持部件





的温度低于材料的临界热极限温度。台架和发动机试验表明：如果没有增大泵的动力，要使发动机能够顺利冷启动，润滑油在启动温度下的黏度必须小于  $15000 \sim 20000 \text{mm}^2/\text{s}$ 。

早期的润滑油只要保证飞机在  $5^\circ\text{C}$  以上能够起飞就已足够，到了二战时期发展到  $-25^\circ\text{C}$ ，现今则要求低于  $-54^\circ\text{C}$ 。

如果润滑油出现低温流动性不足，通常通过两种方法进行弥补：一是使用稀释剂对润滑油进行稀释，当温度升高时，稀释剂蒸发；二是使用加热装置对润滑油进行加热，使油箱和油管中的润滑油黏度降低到可泵送的数值。但每一种方法的采用都会引起飞机的可维护性和状态的损失，特别是对于需要迅速起飞的战斗机和截击机影响更加明显。第一种方法使用稀释剂后，需要将发动机空转一段时间，以便在飞机起飞前稀释剂能够得到充分的蒸发；每次飞行结束后，还必须对发动机进行维护，以补加消耗的润滑油并冲入新的稀释剂。第二种方法需要使用地面设备，一些简易机场特别是战时的跑道上是无法保障的。

润滑油的低温性能不好，将对飞机的可维护性、有效飞行时间和飞机的重量都有明显的影响。

总之，任何发动机对润滑油都有一定的最低主体使用温度、最高自燃点和最佳黏度等的要求。如果润滑油不能满足这些要求，就必须对发动机的设计进行改进，这样就会增加发动机润滑系统的重量、价格和复杂性，使得飞机的飞行速度、作战半径、格斗时间和载荷受到影响。

### 1.3 各代飞机发动机(涡轮喷气/涡轮风扇)使用的典型航空润滑油

前面已经对各种型号的发动机进行了详细的介绍，现将各代战斗机代表机型和发动机的性能总结情况列于表 1-2 和表 1-3，图 1-6 是涡轮前燃气温度的升高情况。

表 1-2 典型喷气战斗机的主要性能

断代	机种	$M_{\text{最大}}$	$M_{\text{巡航}}$	升限/m	爬升率/(m/s)	航程/km	作战半径/km
第一代	F-86	0.90	0.85	1500	61	2400	800
	米格-17	0.99	0.90	1660	80	1340	400





续表

断代	机种	$M_{最大}$	$M_{巡航}$	升限/m	爬升率/(m/s)	航程/km	作战半径/km
第二代	F-104	2.15	0.90	1770	200	3500	1000
	米格-21	2.05	0.90	19500	190	1480	680
	米格-23	2.35	0.90	18200	210	2500	960
第三代	F-15	2.35	0.90	19000	320	4300	2000
	F-16	2.00	0.90	18000	300	3200	925
	米格-29	2.30	0.90	17500	320	2100	
	苏-27	2.35	0.90	18500	320	4000	1760
第四代	F-22	2.00	1.50	19000	350	4840	2177
	米格 1.42	2.60	2.00			4000	
	C-37	2.3				3300	

表 1-3 各代加力涡轮风扇发动机的主要性能参数

断代	发动机	推力/ kN	加力推力/ kN	耗油率/ (kg/10N·h)	推重比	涡轮前温度/ K	函道比	代表机型
涡轮喷气	J33	22.6				1000	—	P-80
涡轮喷气 加力	J57		75.6			1300	—	F-100
第一代	TF30				4.54	1400	1.0	F-111
第二代	F100	66.7	111.2	0.67	8.0	1670	0.70	F-15、 F-16
	F110	70.6	121.6	0.75	7.3	1640	0.87	F-15、 F-16
	M53	54.9	71.0	0.85	6.3	1500	0.30	幻影 2000
	AJL-31Φ	76.2	122.6	0.79	7.11	1660	0.60	苏-27
	PD-33	50.0	81.4	0.79	6.82	1530	0.49	米格-29
第三代	F119		132.0	0.60	10	1900	0.20	F-22
	AJL-41Φ	80.1	120.1			1850		米格 1.42

### 1.3.1 早期涡轮喷气发动机润滑油

装载在第一代战斗机上的早期涡轮喷气发动机由于推力小、涡轮前温度不高、低温启动要求低，要求润滑油的主体使用温度不超过 80℃、低温启动温度不低于 5℃，一般矿物油就能够满足使用要求，常用的是不加添加剂的