

世界航空燃料 规格及进展

付 伟 李 明 陶志平 编

SHIJIEHANGKONGRANLIAO
GUIGEJIJINZHAN

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

世界航空燃料规格及进展

付 伟 李 明 陶志平 编

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

世界航空燃料规格及进展 / 付伟, 李明, 陶志平
编. —北京: 中国石化出版社, 2011.7
ISBN 978-7-5114-0954-6

I. ①世… II. ①付… ②李… ③陶… III. ①航空器-
燃料 IV. ①V31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 118938 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内大街 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.cn

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 7.25 印张 172 千字

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

定价: 25.00 元

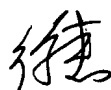
序一

中国的炼油工业自 20 世纪 50 年代起步，在我国广大炼油行业员工的共同努力下，工艺技术水平逐渐赶上国际先进炼油水平，并自主创新了 DCC、MIP 等炼油工艺，已经并正在被全球同行所认可。近十年来在制定相关燃料规格标准时，通过大量行车和台架试验、总结大量数据的基础上，结合我国使用情况和环保需求、现有炼油工业的特点，为出台一系列汽柴油的标准提供了科学的数据基础。在航空燃料生产方面，我国已经有半个多世纪的历史，规模产量逐年上升，仅中国石化在 2010 年就生产了 1000 多万吨的 3 号航煤。但我国航空工业技术水平与发达国家相比仍有不小差距，除了活塞发动机使用的航空汽油标准与国外同类标准略有不同外，我国的喷气燃料标准基本上延续了世界上东、西方主流航空发达国家的技术指标，两者结合就形成了我国喷气燃料标准的技术要求。

近年来，由于原油来源范围的扩大和航空油料需求数量的快速增长，我国的喷气燃料生产工艺主要采用了加氢裂化和加氢精制工艺，加氢航煤占总产量的 90% 以上，使得我国炼油行业生产航空喷气燃料时的原油适应性提高，生产工艺水平达到国际先进水平。由于航空燃

油料产品研究、质量管理和标准管理多年，同时代表国内航空油料行业参加相关国际航空组织，讨论和修订国内外航空燃料规格指标，经验丰富，对航空燃料的规格和发展方向有深入的理解和独特的认识。通过阅读和理解本书，对提高我国航空燃料标准执行和质量管理水平有帮助作用，并对航空替代燃料有更加深刻的理解和认识。

中国石油化工股份有限公司科技开发部副主任



料用途的特殊性，几十年来我国对其质量控制制定了严格的管理制度，对航空燃料生产、分析、调和、流通等多个环节的管理和操作人员进行认真的质量管理教育，提高认识，以杜绝航空燃料质量事故。

我国关于航空燃料工艺生产方面的文献和专著在上世纪八、九十年代较多，但还没有一本专注于航空燃料规格和质量控制方面的书籍。《世界航空燃料规格及进展》一书从喷气燃料规格发展的历史、指标设置与航空器性能的关系、世界各国现有标准、航空汽油的历史和现状、航空替代燃料的进展和航空添加剂及专用设备六个方面进行了系统的论述，从一个多世纪的航空燃料发展的时间维度和二十多个东、西方主流航空发达国家的空间维度两个方面对比了世界航空燃料规格的差异和发展方向，对于将来航空替代燃料的各种技术和工艺路线进行了全面阐述，同时从质量管理的角度，对涉及航空燃料全过程质量管理容易忽视的环节（如添加剂和过滤分离器）进行论述。该书以航空燃料的标准为中心，以航空燃料的质量管理为主线，视野开阔，系统全面，数据翔实，不失为一本我国航空燃料生产技术人员、质量管理人员和航空油料公司相关人员极为有用的参考书。

国产航空（舰艇）油料鉴定委员会作为我国航空油料生产技术和质量管理的权威专业机构，长期以来一直对我国境内所有航空油料生产企业的工艺技术和油料质量进行多方位的协调和管理。三位作者在该组织从事航空

序二

我以非常欣喜的心情拜读了这部《世界航空燃料规格及进展》整洁、清晰的手稿。今天当这部著作能得以出版问世，终于呈现在读者们面前时，的确是令人感到异常欣慰的。这里，应作者的意愿在卷首写下几段话，也是为了表达对作者辛勤劳动所获得的学术成果的祝贺之情。

伴随着中国航空运输业的高速发展，我国已于2004年成为全球第二大航空燃料消耗国，并且在过去几年和未来较长一段时期内，保持年均增长超过10%的快速发展。航空燃料从炼制生产、运输、储存直至加入航空器整个过程，都已达到较高的技术水平和管理水平。国内消耗的航空燃料从上世纪90年代中期开始，已经从单一国产资源走向国产资源与世界各地进口资源相互混合的格局，而且在中国大陆已经为世界各地近二百多家航空公司提供航空燃料加注服务，中国航空燃料已经和世界航空燃料市场融为一体。所以不但要求中国航空燃料从生产到运输、储存、飞机加注等供应链环节的技术管理标准与世界标准接轨，也要求相关从业人员熟悉、掌握世界各地航空燃料的规格和标准。

作为中国国产航空(舰艇)油料鉴定委员会的成员单位，

中国航油集团经过几年的持续快速发展，已经站在了一个新的历史起点上。目前中国航油已经成为国内标准的倡导者、先行者，国际标准制订的参与者、跟随者。

付伟、李明和陶志平三位同志都是中国航空油料行业的专家，长期从事航空燃料的研究和管理工作，关注国内航空燃料技术和管理的发展，参加跟踪国际航空燃料领域的活动。可以说，该书在深度和广度上都达到了较高的学术水平和实用价值，不仅为航空油料行业的人员提供了丰富的专业知识、信息和综合分析的工具，而且也能使广大读者在更好地了解当今世界成熟的化石类航空燃料技术发展、标准和性能的同时，也可以了解世界正在走向一个可持续发展的、与环境友好的新能源时代，因此值得一读。另外还结合中国的实际情况，介绍了国产航空（舰艇）油料鉴定委员会对航空燃料添加剂的要求，以及航空油料净化设备的基本情况。

我们期待着该书的出版发行，在探索和建立中国航空喷气燃料和可持续航空生物燃料的进程中发挥应有的作用。

中国航空油料集团公司副总经理/
研究员级高级工程师

前 言

想像力是人类不断进步的强大动力之一。作为在地面生存的物种，人类的生存环境基本上是一个沿着地面和水面的二维空间，人类进化的方向也是按照平面适应性发展，例如人类的双眼、双臂、双腿都是平行排列。但作为万物之灵的人类，总有向往三维空间的梦想，其中飞行自古至今都是人类三维梦想的主题。从中国古代神话飞天遁地的神仙到希腊神话伊卡洛斯的翅膀，从孔明灯到达芬奇的飞行器，诞生了各种各样的奇思妙想，试图实现人类的这个梦想。过去人类飞行探索失败的主要原因是缺乏高效、可靠、轻便的推进手段，但是 19 世纪 60 年代内燃机的诞生及进步使空中推进逐步成为现实，它给人类提供了一种可以克服地心引力的简单可靠并可在空中携带的动力。

早期的飞机发动机与汽车发动机基本相同，也使用相同的燃料。随着飞行速度和高度、飞机有效载荷和飞行安全等各方面要求的提高，航空发动机也在大功率、轻量化和高稳定性方面不断发展，进而产生了专用航空发动机和专用航空汽油(AVGAS)。在 20 世纪 30 年代末期，为满足更大功率质量比的要求诞生了涡轮发动机，也就是我们常说的喷气发动机。随后十几年航空汽油的

需求量大幅降低，其在航空燃料中的统治地位让位于航空涡轮发动机使用的航空煤油，即专用航空涡轮燃料——喷气燃料。

航空的动力来源于石油燃料，这绝对不是偶然的，而是航空飞行各种因素要求的必然结果。液体燃料比气体燃料具有更高的能量密度，比固体燃料更易于处理和流通。而在各种液体燃料中，石油炼制出的液态烃类混合物实现了能量、性能、实用性和经济性的完美统一。

伴随着飞机发动机技术的进步，航空燃料的规格也随之跳跃式地发展。但这个过程并不是单向的，有时新技术的出现反而使规格指标要求降低。从飞机诞生之日起，航空汽油一直在追求高辛烷值，但在航空涡轮发动机诞生并发展起来后，活塞式飞机对大功率活塞发动机的需求急剧下降，航空汽油的辛烷值要求也略有降低。对于喷气燃料来说，规格的发展也不是平铺直叙的，出现了宽馏分、大密度、高闪点等不同规格特点的喷气燃料，而以美军为代表的西方军用喷气燃料规格则在通用易得和性能之间走过了一条几十年的弯路。

规格与质量是分不开的，规格的最终结果就是产品的质量。早期的航空燃料规格往往只要求石油产品炼制完成后目的馏分的直接性能指标。但几十年的操作运行经验表明，在生产环节之后的调和、运输再到机场油料加注系统的质量管理对最后加注到飞机的航空燃料质量有不可忽视的作用，因而航空燃料规格的发展也伴随着

规格表注和附录中对质量管理要求的逐步细化、丰富和完善。

本书主要以航空煤油和航空汽油的规格为中心，以航空油料质量管理为主线，系统论述了航空燃料及其规格发展的历史，阐述了航空燃料规格与航空发动机性能的关系，列举了世界主要国家和地区使用的航空燃料规格和标准，并对航空替代燃料的现状和发展趋势进行了初步的探索。除了航空燃料产品的规格要求，还论述了从炼厂到飞机的储运加注系统过程中保证质量和清洁性的要求和注意事项。

目 录

第一章 世界航空涡轮燃料发展历史和现状	(1)
一、西方航空涡轮燃料规格发展沿革	(2)
1. 西方军用喷气燃料规格发展历程	(3)
2. 民用喷气燃料规格简述	(5)
二、前苏联地区航空涡轮燃料规格	(6)
三、中国航空涡轮燃料规格	(7)
1. 1 号喷气燃料	(8)
2. 2 号喷气燃料	(10)
3. 3 号喷气燃料	(12)
4. 4 号喷气燃料	(13)
5. 5 号喷气燃料	(15)
6. 6 号喷气燃料	(17)
四、世界航空涡轮燃料的消费趋势	(19)
第二章 航空涡轮燃料性能及指标	(23)
一、能量含量	(23)
二、燃烧性质	(25)
三、稳定性	(26)
1. 储存安定性	(26)
2. 热安定性	(27)
四、润滑性	(28)
五、流动性	(29)
1. 黏度	(29)
2. 冰点	(30)
六、汽化性	(31)
七、抗腐蚀性	(31)

八、洁净性	(32)
1. 固体污染物	(32)
2. 水	(33)
3. 表面活性物质	(33)
4. 细菌	(34)
九、安全特性	(36)
1. 闪点	(36)
2. 导电性	(37)
十、排放	(37)
第三章 航空涡轮燃料规格和分析方法	(41)
一、主要航空涡轮燃料规格简介	(42)
1. ASTM D1655	(42)
2. Def Stan 91 -91	(43)
3. AFQRJOS 联营系统航空燃料质量检查单	(43)
4. IATA 航空涡轮燃料规格	(44)
5. ASTM D 6615	(44)
6. GOST 10227	(44)
二、世界航空涡轮燃料规格	(46)
1. 联合检查集团 (JIG)	(46)
2. 国际航空运输协会 (IATA)	(53)
3. 美国规格	(56)
4. 美国管道公司规格	(59)
5. 美国管道公司规格 (续)	(62)
6. 美国军用规格	(64)
7. 美国军用规格 (续)	(67)
8. 巴西规格	(70)
9. 加拿大规格	(72)
10. 加拿大规格 (续)	(75)
11. 澳大利亚军用规格	(77)
12. 法国规格	(79)

13. 日本规格	(82)
14. 日本军用规格	(84)
15. 中国规格	(86)
16. 俄罗斯规格	(89)
17. 俄罗斯规格 (续 1)	(91)
18. 俄罗斯规格 (续 2)	(93)
19. 瑞典规格	(95)
20. 英国规格	(97)
21. 委内瑞拉规格	(101)
22. 飞机发动机生产商的规格要求	(102)
23. 飞机发动机生产商的规格要求 (续)	(105)
24. 阿拉伯 JetA - 1 + 型喷气燃料的要求	(107)
25. 美国替代航空涡轮燃料规格	(111)
三、分析方法简介	(116)
第四章 航空汽油的发展历史和现状	(129)
一、西方国家航空汽油的发展沿革	(129)
二、前苏联航空汽油的发展沿革	(141)
三、中国航空汽油的发展沿革	(145)
第五章 航空替代燃料	(148)
一、煤液化喷气燃料	(149)
1. 直接液化	(150)
2. 间接液化	(155)
二、气体合成喷气燃料	(159)
1. GTL 生产工艺	(160)
2. 天然气合成油国内发展	(163)
三、生物喷气燃料	(164)
1. 生物喷气燃料简介	(164)
2. 生产工艺	(166)
3. 生物质液化生产喷气燃料技术	(171)
4. 其他喷气燃料技术	(174)

5. 含合成烃类喷气燃料规格	(174)
6. 替代喷气燃料的生命周期温室气体排放	(175)
7. 世界和我国替代喷气燃料的发展和现状	(182)
第六章 喷气燃料添加剂及专用设备	(186)
一、国际上批准认可的添加剂	(187)
1. 抗静电添加剂	(187)
2. 金属钝化剂	(187)
3. 抗氧化剂	(188)
4. 防腐剂（润滑提高剂）	(188)
5. 油料系统防冰添加剂（FSII）	(189)
6. 热氧化安定性提高剂（只允许军用喷气 燃料使用）	(190)
7. 示踪剂 A	(190)
8. 杀菌剂	(190)
二、我国喷气燃料添加剂	(195)
三、喷气燃料过滤分离器	(196)
附录一 IATA 航空涡轮燃料规格指导材料 第Ⅲ部分： 洁净性管理和燃料质量	(199)
附录二 国产喷气燃料添加剂生产管理规定（暂行） ...	(205)
参考文献	(211)

第一章 世界航空涡轮燃料 发展历史和现状

世界航空燃料主要有两大类：航空汽油(AVGAS)和航空涡轮燃料(AVTUR, 也称为喷气燃料), 分别适用不同类型的飞机发动机。航空汽油用于活塞式航空发动机, 航空煤油适用于航空涡轮发动机。航空活塞式发动机与一般汽车发动机工作原理相同, 只是功率更大, 同等功率下自重更小, 因而发动机对航空汽油的规格指标和车用汽油就有类似之处, 如抗爆性、馏程、燃烧特性、腐蚀性、流动性等等。现在这种发动机只用于一些辅助机种, 如直升机、通讯机、气象机等, 所以相应的航空汽油的用量也大大减少。随着航空工业和民航事业的发展, 民航的大型客机的动力装置逐步被涡轮喷气发动机代替。这种发动机推动飞机飞行的动力是燃料燃烧转变为高温燃气并喷出产生的推力, 使用的燃料称为喷气燃料。由于国内外普遍生产和广泛使用的喷气燃料多属于煤油型燃料, 所以通常称之为航空煤油, 简称航煤。

有文字记载的喷气推进试验可以追溯到公元前1世纪, 当时埃及人希罗发明了一种用蒸汽推动球体旋转的玩具(图1.1)。南宋时期, 中国人万户利用47只自行设计的“飞龙”火箭捆绑一起, 带着他飞向空中, 最终箭毁人亡, 这是人类历史上第一个喷气推进的载人飞行试验。16世纪, 意大利人雷昂纳多·达芬奇画了一幅飞行推进的想像图,

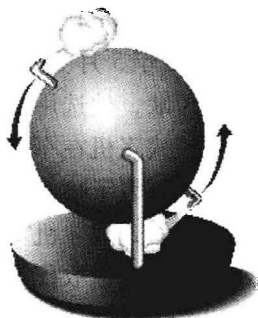


图1.1 希罗的玩具(球中的水受热, 蒸汽从管口喷出, 球向着蒸汽喷出相反的方向旋转)

在图中他用一股热空气驱动机器工作。17 世纪以后，许多发明家开始设计开发简单的涡轮驱动机器。

航空燃料的发展伴随着飞机发动机的发展而演化，所以首先看一下飞机推进器的发展历史：

1232 年，中国人冯凯发明火箭；

1903 年，美国怀特兄弟发明活塞式航空发动机；

1939 年，德国人 Hans von Ohain 发明航空燃气涡轮(喷气)发动机；

1942 年，德国发明脉冲式喷气发动机；

1945 年，英国发明涡轮螺旋桨发动机；

1946 年，法国发明冲压式喷气发动机。

20 世纪 30 年代，世界主要发达国家在认识到螺旋桨飞机的先天不足后，不约而同的将目光转向了喷气推进，1936 年美国加州理工学院成立了著名的“喷气推进实验室”，而德国和英国则更进一步，同时相互独立研发实用的飞机涡轮发动机。1939 年德国人 Hans von Ohain 制造出了世界上第一架航空燃气涡轮(喷气)发动机，当时他选用汽油做原料，并于 1939 年 8 月 27 日在 Heinkel He178 型飞机上首次进行了飞行试验。1930 年英国的 Frank Whittle 获得了涡轮发动机的专利，他研制的飞机涡轮发动机，于 1941 年 5 月 14 日在 E28/32 型飞机上作首次飞行。由于当时汽油短缺，他选用了照明用的煤油。由于战争的原因，速度更快的喷气式飞机在军事上迅速得到应用。在第二次世界大战后期德国首先部署了喷气动力的梅塞施密特 262 战斗机，同期英国的第一种喷气式战斗机“流星”也开始试飞。第二次世界大战后，喷气式战斗机迅速取代了螺旋桨战斗机。到 20 世纪 50 年代初期的朝鲜战争，螺旋桨战斗机基本已经退出了历史舞台。

一、西方航空涡轮燃料规格发展沿革

战争是先进技术的催化剂，诞生于第二次世界大战的喷气式