

液化天然气(LNG)作为飞机燃料的 可行性及经济性分析

Analysis of the Feasibility and Economy for Liquefied Natural Gas as Aircraft Fuel

余慧玲 曹春泉 / Yu Huiling Cao Chunquan

(中航通飞研究院有限公司,珠海,519040)

(China Aviation Industry General Aircraft Co., Ltd., Zhuhai 519040, China)

摘要:

航空活动产生的二氧化碳等温室气体每年都在增长,欧洲甚至要求对飞往欧洲的民用航班征收碳排放税,而且欧美的航空排放适航标准对航空的气体排放要求也越来越高。为适应全球化的竞争,从二氧化碳排放要求角度,综合国外对新型航空燃料的探讨,介绍并探讨液化天然气(Liquefied Natural Gas,简称LNG)作为航空燃料的经济可行性和可能存在的问题,为国内航空燃料的发展引入一个新的思路。

关键词:飞机燃料;液化天然气(LNG);经济可行性

中图分类号:V228.1

文献标识码:A

[Abstract] Carbon dioxide and other greenhouse gases from aviation activities grow every year. The European even asks for the civilian flights carbon tax from civilian flights, and the requirements of European airworthiness standards for aviation emissions are increasing higher and higher. In order to meet global competition, this article introduces and discusses the economic feasibility and possible problems of liquefied natural gas(LNG) as aviation fuel from the requirements of carbon dioxide emission, integrated to explore new aviation fuels abroad. A new idea is introduced for the development of the domestic aviation fuel.

[Key words] aircraft fuel; liquefied natural gas(LNG); economic feasibility

0 引言

根据政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change,简称IPCC)的统计,航空活动排放的温室气体大概占全球温室气体排放的2.5%,这一比例在1990至2010年期间,以双倍的速度增长。为实现欧盟的减排承诺,欧盟通过立法将航空活动纳入EU-ETS(European Union Emissions Trading Scheme),希望通过这种方式激励航空公司进行温室气体减排^[1]。为此产生了航空碳排放税(Aviation Carbon Emissions Tax),对在航空运输过程中飞机飞行时,燃烧的航空燃油所排放出的二氧化碳进行征税,以达到规制和减少航空燃料的消耗以及二氧化碳排放的目的^[2]。但因多国的强烈反对,欧盟并未成功的实施征税。欧盟委员会于

2012年11月12日建议在2013年秋季之前,暂停实施欧盟单方面采取的对进出欧盟国家的民用航班征收碳排放税的措施。同时希望2013年召开的国际民航组织代表大会能够就解决这一问题达成一个多边协议;若不能达成协议,欧盟将恢复征收航空碳税,不会再提出新的建议^[3]。

虽然欧盟暂时停止对进出欧盟的民用航空器征收碳排放税,但从环境保护角度以及技术发展角度,降低飞机的碳排放水平都是合理的。一旦,欧美新设计的飞机采用更清洁能源作为飞机的燃料,那么碳排放的指标就会成为我国设计生产客机上的一根套索,使我国自行设计生产的航空发动机不能进入民用航空市场。

目前航空器使用的能源,主要还是航空燃油,部分采用生物质的新能源,如乙醇和动植物油等。

截至2012年,全球已进行了27次航空生物燃料试验飞行(不包括部分美国海军战斗机的试飞),所用燃料均是以动植物油(椰子油、棕榈油、小桐子油、亚麻芥油等)或藻类油为原料,采用加氢工艺生产^[4]。国外也考虑过使用液化氢气作为飞机的燃料^[5],但截至目前还未有在民用飞机上实际使用。

国内有很多论述讨论了液化大燃气(Liquid Nature Gas,简称LNG)作为出租车、公交车、轮船等运输工具燃料的使用经济性和可行性;在很多城市,使用LNG的公交车已经行驶了很多年。在航空领域,却尚未有此探讨。国外Laboratory for Aviation and the Environment的Mitch R. Withers, Robert Malina等却已利用C-130H飞机评估了使用LNG作为飞机燃料的可行性和经济性^[6]。

谢彬^[7]论述了中航工业黎明发动机公司利用空军退役淘汰的航空发动机,经过局部改造成为燃气轮机,并在贵州等地区黄磷生产厂使用黄磷生产尾气进行发电的项目。此次改造是由涡轮院于2006年6月启动,2009年12月完成了电站交付。在改造过程中,考虑到地面发电的需要,拆除了航空发动机的一部分设备,但是主要部分,如压气机、燃烧室等均未做特殊改动。1983年3月,黎明公司就与大庆石油管理局签订了共同研制以天然气为燃料、带余热锅炉的燃气轮机热电联供机组的协议,经双方共同努力,该机组于1984年7月试制成功。之后黎明公司先后为大庆、中原、胜利油田提供了十余套这类发电机组。该机组也是由航空发动机改造而成的。燃气轮机的结构与航空喷气式发动机是一致的。因此可见航空发动机从工作原理讲,使用天然气作为燃料进行驱动是可行的。

从我国实际情况出发,从LNG的物理特性、成本等方面论述LNG作为航空燃料的可行性,并分析其中可能存在的问题。

1 LNG的优势

1.1 天然气简介

天然气是一种含有多种烃类气体的混合气,主要由甲烷(CH₄)、乙烷(C₂H₆)、丙烷(C₃H₈)、丁烷(C₄H₁₀)组成,另外还混有少量的更重的烃类,还有少量的非烃类气体,如氮气(N₂)、二氧化碳(CO₂)、硫化氢(H₂S)等。一种典型的天然气组成及其占比如表1所示^[8]。但实际上天然气中各组分的含量会与其产地有关,不同地区开采的天然气其各组分

含量不同,且差别较大。

表1 天然气的典型组成

化合物	摩尔份数
烃类	
甲烷(CH ₄)	0.75 ~ 0.99
乙烷(C ₂ H ₆)	0.01 ~ 0.15
丙烷(C ₃ H ₈)	0.01 ~ 0.1
正丁烷(C ₄ H ₁₀)	0.00 ~ 0.02
异丁烷(C ₄ H ₁₀)	0.00 ~ 0.01
正戊烷(C ₅ H ₁₂)	0.00 ~ 0.01
异戊烷(C ₅ H ₁₂)	0.00 ~ 0.01
正庚烷(C ₇ H ₁₆)及高级烃	0.00-0.001
非烃类	
氮气(N ₂)	0.00 ~ 0.15
二氧化碳(CO ₂)	0.00 ~ 0.30
硫化氢(H ₂ S)	0.00 ~ 0.30
氦(He)	0.00 · 0.05

天然气可以被认为是对环境最为友好的化石燃料,因为在产生相同单位量能量时天然气产生最少的二氧化碳,同时燃烧的高效率也非常适用于联合发电站中。当产生1mmBtu(British Thermal Unit,英制热量单位,1Btu=1.054kJ,1mmBtu是一百万英制热单位,是国际上衡量天然气的主要单位;1mmBtu等于2.52×10⁸Cal,1.054×10⁹J)能量时,天然气产生大约117lb的二氧化碳,煤炭产生超过200lb的二氧化碳,原油则产生超过160lb的二氧化碳^[9]。

随着勘探技术的发展,人类在世界范围内发现了越来越多的天然气,直到2013年,已经探明的天然气可开采量是6.844 595×10¹⁵ft³,其中中东占有40.91%,俄罗斯占有24.54%^[10],如表2所示。

表2 近年天然气的探明储量

(单位:万亿ft³)

区域/年度	2009	2010	2011	2012
全球	6 262.386	6 638.185	6 708.190	6 844.595
俄罗斯	1 680	1 680	1 680	1 680
中东	2 591.653	2 658.273	2 686.373	2 799.977

1.2 LNG的价格优势

能源价格会因为使用方距离能源产地及政治关系等因素有所区别,但国际能源期货价格仍可以

作为价格比较的一个参考,如图1所示。

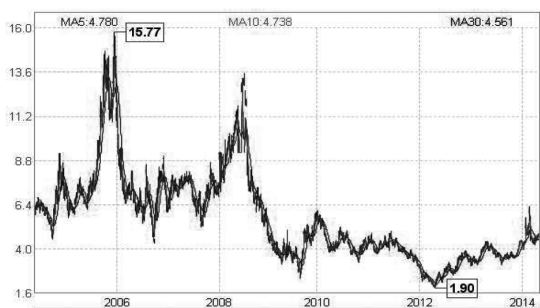


图1 天然气国际期货价格

图1是国际天然气期货价格从2004年到2014年5月间的变化情况^[11]。1mmBtu热量的天然气在2014年5月约为4.76美元。同期原油价格变化如图2所示^[12],2014年5月每桶原油价值约为99.8美元,1桶轻质原油的能量为5.8mmBtu(一桶原油是42gal,1gal约为138690Btu^[13])。如此,对应于1mmBtu能量的原油价值17.2美元,是天然气价值的3.62倍。



图2 轻质原油国际期货价格

上述价格比,比较的是未经处理的原材料能源价格比。从能量密度角度,天然气要作为飞机、汽车、船舶等运输机械的燃料,需要进行压缩,形成液态才便于保存和使用。

目前天然气在汽车上的使用主要有压缩天然气(CNG)和液化天然气(LNG)两种形式。车用CNG是将原料气经脱水、脱硫处理后加压充瓶的气体,属于高压气体。LNG是将天然气脱水、脱硫后,通过深度冷冻后形成的低温液体。CNG汽车应用较早,技术成熟,已在世界范围普遍应用。但相对而言,CNG属于高压易燃易爆气体,有很大的危险性。对于1个60L,盛装压力为25MPa的CNG气瓶,其产生的物理爆炸的能量为3.085MJ。LNG一般常压贮存在绝热性能良好的气瓶中,而且通过流程和结构设计,保证有足够的安全性。同样一个60L的气瓶,LNG的安全装置设定的最高压力为0.9MPa,爆炸的能量为1.304MJ^[14]。所以现在可以

看到城市中使用的公交车和出租车都开始使用LNG作为能源。



图3 进口航空煤油价格

图3引自中国金融信息网,2014年3月进口航空煤油是7030元/吨。一般每千克航空煤油的热值是41840kJ~43510kJ。

国内LNG的价格分为出厂价和零售价两种,目前出厂价约为4700元/吨,零售价在6000元/吨左右,每地略有不同。每千克LNG的热值约为54851kJ。若航空公司与LNG工厂签订协议直接采购,每吨LNG价格肯定会比市场零售价要少很多。这样相同热值时LNG会较航空煤油便宜35%~45%。当然上述价格是波动的,每个时期原油和天然气的价格、人力运输成本等都会有所变化,但基本上还是会认为相同热值下LNG比航空煤油要便宜。

2 LNG作为航空燃料存在的问题

2.1 LNG占用的空间

一般在标准大气压下天然气气体的密度是680g/m³~750g/m³,液化后的密度是0.43kg/L~0.47kg/L;对应的航空煤油是0.73kg/L~0.78kg/L^[15]。按热值换算,每5×10⁴kJ热量下LNG的体积是1.94L~2.12L之间;航空煤油则是1.47L~1.64L之间。一架飞机要用相同的能量从一地飞往另一地,最好的情况下,用LNG飞机的燃油箱要比用航空煤油的燃油箱要大20%;最坏时大44%。同样,每5×10⁴kJ热量下LNG的重量是0.91kg;航空煤油则是1.15kg~1.20kg之间。一架飞机要有相同的能量从一地飞往另一地,最好的情况下,用LNG飞机的燃油重量要比用航空煤油的燃油箱要小21%~24%。

因此若要使用LNG作为飞机的燃料,从重量角度而言少很多,但从存储空间而言,需要增大飞机的燃油箱空间,这样需要增长机翼或者加厚翼面。

2.2 发动机问题

现有航空发动机的燃油是通过燃油泵从燃油箱中抽取后加压喷射进入燃烧室。LNG在油箱中

存储时是 -165°C 的液体状态,压力是 0.45MPa 。航空发动机,以加拿大普惠公司 JT15D 发动机为例,其涡轮前温度是 $1\ 013^{\circ}\text{C}$,燃油泵出口压力为 4.48MPa ^[16]。为满足航空发动机有持续不断的天然气,需要将低温状态下的 LNG 抽取到热交换器中使之气化,然后再增压喷射入燃烧室。为使天然气充分燃烧,需要尽可能使天然气与空气混合。如何抽取液态的 LNG 并加温送入燃烧室,是一个需要着重考虑的问题。

3 结论

通过收集国内外的各项资料,可以确定若以目前常规的航空燃油作为新型发动机的燃料,其有害气体排放将是一个主要问题,随着欧美技术的进步,一旦欧美找到新的燃料或新的发动机技术降低了发动机的排放水平,民用航空市场的准入门槛将会越来越高,用以阻挡中国等后进国家进入。我国在发动机研制水平上一直落后于欧美,但使用天然气的燃气轮机研制已有了一定的技术积累,LNG 作为公交车和出租车的燃料在国内多个大城市已有了较大范围的推广,若能够在未来寻找到合理可行的方案将 LNG 用于新一代的客机,那么燃料的清洁性和相对低廉的价格将有助于我国的新一代客机进入民用飞机市场。

参考文献:

- [1] 赵枫. 论欧盟航空碳管制的法律问题[D]. 上海:华东政法大学,2012:7-8.
[2] 王伟. 论欧盟征收航空碳排放税的不合法性[J]. 法制博览,2012:201-203.

- [3] 欧盟宣布暂停向航空公司征收碳排放费用[EB/OL]. 新华网(广州):2012-11-13.
[4] 胡徐腾. 航空生物燃料技术发展背景与应用现状[J]. 化工进展. 2012,31:1625-1630.
[5] C. Stiller, P. Schmidt. Airport Liquid Hydrogen Infrastructure for Aircraft Auxiliary Power Units[C]. 18th World Hydrogen Energy Conference 2010:423-429.
[6] Mitch R. Withers, Robert Malina, Christopher K. Gilmore. Economic and environmental assessment for liquefied nature gas as a supplemental aircraft fuel[J]. Progress in Aerospace Sciences,2014:17-36.
[7] 谢彬. 某型发动机改燃机项目可行性分析及其实践[D]. 成都:电子科技大学,2009.
[8] Georg Hammer, Roland Kettner, Herte Recknagel. Nature Gas[J]. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry Volume23:740.
[9] The Energy Information Administration reports the following emissions in million Btu of carbon dioxide[EB/OL]. http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=natural_gas_environment
[10] International Energy Statistics [EB/OL]. <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=3&pid=3&aid=6>
[11] <http://finance.sina.com.cn/futures/quotes/NG.shtml>
[12] <http://finance.sina.com.cn/futures/quotes/CL.shtml>
[13] Btu Conversion Factors[EB/OL]. http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=about_btu
[14] 陈叔平,刘志东,刘振全. 车用燃料 LNG、CNG 及汽油的性能比较[J]. 真空与低温,2002,12(8):233-235.
[15] 曲连贺,朱岳麟,熊常健. 航空燃料发展综述[J]. 长沙:长沙职业技术学院院报,2009,6(2):37-41.
[16] 胡晓煜主编. 世界中小型航空发动机手册[M]. 北京:航空工业出版社,2006.

(上接第 67 页)

在被关闭机上通信和监视功能能够,持续飞行了大约 6h,而驾驶舱语音记录器只能记录最近 2h 的录音。因此,即使最终寻找到 MH370 航班的驾驶舱语音记录器,它也难以揭示此次事件发生的全过程。

(2) 增加应急定位发射器的工作时间。应急定位发射器 30 天工作时间难以满足此次失联航班搜救的需求,应考虑增加其电池容量以支持更长的的工作时间。

(3) 实时传输驾驶舱语音和飞行数据。出于空地数据链带宽以及使用成本的考虑,目前不能将整个飞行过程的驾驶舱语音数据和飞行数据实时传

输到地面,但是,可以考虑在飞机上增加一个能够识别出飞机紧急状况的功能,比如在飞机失速、风切变、双发失效等情况下,此功能触发飞机数据链系统,将此时飞机的飞行数据和驾驶舱语音数据发送至地面。从而减小在事故发生后对黑匣子的依赖。

参考文献:

- [1] Robert B. Kerr Honeywell Inc.. Data Communications Management for the Boeing 777 Airplane [C]//14th AIAA/IEEE digital avionics systems conference, 1995.
[2] www.smartcockpit.com, B777 System Summary-Communications.