

文章编号:1674-8190(2014)01-033-05

我国民用支线飞机技术水平的测度分析

董莉莉,曾小舟

(南京航空航天大学 民航学院,南京 210016)

摘要: 为了定量研究我国民用飞机技术水平与世界先进水平的差距,从安全性、经济性与舒适性三方面出发,构建民用支线飞机技术水平的测度指标体系。以各个时期世界典型支线飞机数据为样本,采用回归分析法,利用 SPSS 软件建立支线飞机技术水平的测度模型。以我国典型支线飞机性能数据为基础,根据此测度模型,对我国民用支线飞机技术水平进行定量研究。结果表明:我国民用支线飞机 Y7-100 的综合技术水平落后同期世界先进水平 10.22 年,ARJ21-700 落后 7.83 年;我国民用飞机技术水平已有明显提高,与世界支线飞机先进水平的差距在缩小。

关键词: 民用支线飞机;性能数据;指标体系;测度分析;技术差距

中图分类号: F224

文献标识码: A

Measure Analysis of the Technical Level of Civil Regional Aircraft in Our Country

Dong Lili, Zeng Xiaozhou

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to study the technology gap of civil regional aircraft between China and other countries, the measure index system of the technical level of the civil regional aircraft is built from three aspects of safety, economy and comfort. Taking the date of typical regional aircraft in the world as samples, using regression analysis method by SPSS software, a measure model is built to measure the technical level of civil regional aircraft in the world. Then, on the basis of the performance data of Chinese typical regional aircraft, using the measure model, the technical level of civil regional aircraft in our country is analyzed. Results show that the comprehensive technology level of the civil regional aircraft Y7-100 is behind the world's advanced level in the same period for 10.22 years, and the comprehensive technology level of ARJ21-700 is behind the world's advanced level in the same period for 7.83 years. Civil aircraft technical level has been improved obviously in our country, and the gaps in civil regional aircraft between China and the world's advanced level is shrinking.

Key words: civil regional aircraft; performance data; index system; measure analysis; technology gap

0 引言

自 1966 年测绘仿制安-24B 设计 Y7 飞机以来,我国民用运输机经历了仿制和绘制、改型研制、自主研制三个阶段,先后研制出 Y5、Y7、Y8、Y12、新舟 60、ARJ21 等一系列民用飞机产品,民用飞机

技术水平得到了快速发展。但是我国民用飞机技术水平与世界先进水平还有不小的差距。定量研究我国民用飞机技术水平与国际水平的差距,对促进我国民用飞机技术进步有着重要的意义。

目前国内外定量测度飞机综合技术水平的文献不多,主要集中在军用歼击机方面,民用飞机领域几乎空白。这类文献对歼击机综合技术水平测度的思路基本相同,通过选取歼击机具有代表性的技术参数作为测度指标,建立回归模型来定量比较歼击机的技术水平^[1]。近年来,研究方法的更新主

收稿日期:2013-09-17; 修回日期:2013-10-30

通信作者:董莉莉, donglili1206@163.com

要体现在针对歼击机的技术发展特点,加入一些可反映新技术要求的新的测度指标和数据样本,使得新建的测度模型能更好反映歼击机的综合技术水平,而在理论上没有大的创新^[2-4]。

本文借鉴军用飞机技术水平的测度方法,根据民用支线飞机的运营要求,建立支线飞机技术水平的测度指标体系,以世界各个时期具有代表性的支线飞机为数据样本,构建一个世界支线飞机技术水平的回归模型,以此测度我国支线飞机的综合技术水平。

1 民用支线飞机技术水平的测度模型

以反映民用支线飞机运营技术水平的性能指标作为自变量,代表飞机综合技术水平的首飞时间指标作为因变量,采用多元线性回归,建立民用支线飞机技术水平测度模型。

1.1 测度指标体系的建立

民用飞机自问世以来,与军用飞机追求高飞行性能、高机动性不同,强调飞机的安全性、经济性与舒适性,即以装载更多、耗油更少、飞得更快、旅客更加安全舒适等为发展目标。安全性、经济性、舒适性是民用飞机设计中的三要素,始终驱动着民用飞机技术的不断发展。而在过去的一百年里,民用航空业在空气动力学、推进系统、结构与材料、操纵系统和航空电子等技术领域取得的巨大进步,实现了高涵道比涡扇发动机、超临界机翼、复合材料及航空电子设备等先进航空技术在民用飞机上的逐步应用,使得飞机载客量、巡航气动效率、燃油消耗、直接使用成本等方面得到了大大改善。民用飞机安全性、经济性和舒适性水平最能体现民用飞机技术发展水平。因此,建立以民用飞机安全性、经济性和舒适性为考量标准的技术测评指标体系,符合民用飞机运营特点。

(1) 基于安全性的技术测度指标

民用飞机安全性直接关系到航空旅客的生命安全,是飞机设计制造中考虑的首要因素。为了确保民用飞机的安全运营,民用飞机从总体设计到生产制造再到使用维修等过程都受到严格的适航管理。飞机的飞行安全受到许多因素的影响,通常可归类为人为因素、机件设备、自然因素和其他因素四类。对飞机失事原因的统计分析得知,由于机组

人员导致的事故占66%,飞机机械故障导致的事故占13%,气象(飞行条件)导致的事故占8%^[5],表明人为因素是影响飞机飞行安全的主要因素。

为了降低人为因素对飞行安全的威胁,飞机设计致力于通过飞行操纵系统和航空电子技术对飞机飞行姿态和飞行轨迹等实现数字化控制,给飞行人员提供精准的前方天气、运行环境、目的地机场等方面的情报信息^[5],提高飞行中人、机、环境三方面的互动,以此减轻驾驶员长期、紧张的工作负担,有效降低人为因素对飞行安全的影响。因此,选取飞机操纵系统和导航系统技术水平指标共同度量飞机的安全性。

$$\text{飞机的安全性} = \text{飞机操纵系统技术水平} \times \text{飞机导航系统技术水平} \quad (1)$$

① 飞机操纵系统技术水平取值标准

飞机操作系统的发展经历了简单机械操纵、助力操纵、增稳和控制增稳操纵、电传操纵这四个阶段,其中前三阶段都是以机械系统为主体。从机械操纵系统发展到电传操纵系统是飞机操作系统的一个飞跃。根据不同操作系统技术水平差距,将代表民用飞机操纵系统最先进水平的多余度电传操纵系统的技术系数取值为1.0,电传操纵系统的技术系数取为0.9,简单机械操纵、助力操纵、增稳和控制增稳操纵的技术系数分别取值为0.5、0.6、0.7^[6]。

② 飞机导航系统技术水平取值标准

早期飞机靠目视导航,然后发展了仪表导航系统、无线电导航系统、伏尔导航系统、多普勒导航系统、惯性导航系统、塔康导航系统、奥米加导航系统及全球定位导航系统。为了保证飞机导航的可靠性,民用飞机上一般都装有一套以上的导航设备。设飞机导航系统技术水平的最高值为1.0,根据飞机导航系统的精确程度,将只装无线罗盘系统的导航技术水平取值为0.5,增设伏尔导航系统取值再增加0.1,增设测距设备或类似设备取值增加0.1,再增设多普勒导航设备取值再增加0.1,增设惯性导航设备取值继续增加0.1,增设卫星导航装置则取值再增加0.1^[6]。

(2) 基于经济性的技术测度指标

民用飞机的经济性是指飞机固定成本下所提供的运输能力,这直接关系到航空公司的运营效率和市场竞争力。飞机运输能力可以通过飞机设计

中与经济性相关的参数来间接反映,主要有飞机空重、最大起飞重量、载油量、载客人数、最大航程等指标。

飞机最大起飞重量与飞机空重的比值反映飞机的运载能力,其值越大,表明飞机的结构效率越高,载人载物能力越强,其经济性也就越高;在一定载油量下的满载最大航程及载重量反映飞机的运营能力,其值越大,表明飞机的耗油特性越好,飞机的经济性越高。运载能力与运营能力从两个不同侧面反映飞机经济性,综合经济性可表示为两者的乘积。

$$\text{飞机的经济性} = \text{运载能力} \times \text{运营能力} \quad (2)$$

$$\text{运载能力} = \frac{\text{最大起飞重量}}{\text{飞机空重}} \quad (3)$$

$$\text{运营能力} = \frac{\text{载客人数} \times \text{满载最大航程}}{\text{载油量}} \quad (4)$$

(3) 基于舒适性的技术测度指标

民用飞机的舒适性是指在客舱空间、空气质量、温度、湿度及飞行速度等因素综合作用下旅客所产生的主观感受。旅客获得客舱空间反映飞机客舱宽敞度,舱内的气压、空气质量等代表客舱环境。飞机客舱越宽敞,客舱环境控制越注重人体感觉,则客舱旅客就会觉得越舒适。飞机飞行速度越快,旅客的飞行时间越短,旅客的飞行感受越好。因此,民用飞机给旅客带来的总体舒适性可表示为客舱宽敞度、客舱环境、飞机最大平飞速度共同作用的结果,用三者的乘积来表示。

$$\text{飞机的舒适性} = \text{客舱宽敞度} \times \text{客舱环境} \times \text{最大平飞速度} \quad (5)$$

客舱宽敞度用平均每个旅客所获得的客舱空间来表示,客舱总体空间为客舱长度、宽度及高度三者的乘积,那么客舱宽敞度表达式为

$$\text{客舱宽敞度} = \frac{\text{座舱长度} \times \text{宽度} \times \text{高度}}{\text{座位数}} \quad (6)$$

客舱环境舒适度的取值以旅客的人体感受为前提,包括客舱气压、温度、噪音及休闲娱乐设备装备,最好环境取值为 1.0,不同技术水平产生的客舱环境舒适程度的划分如下:

若客舱为气密舱取值为 0.5,客舱装有增压统取值增加 0.1,再装有空调系统取值再增加 0.1,若客舱内装有增稳降噪设备取值增加 0.1~0.2,装有休闲娱乐设备取值增加 0.1^[6]。

(4) 机型哑变量指标

根据发动机的类型,民用支线飞机可分为涡桨支线飞机和涡扇支线飞机,而同一时期的涡桨支线飞机与涡扇支线飞机在其安全性、经济性、舒适性三方面本身存在着很大的差异。因此,需在所建立的测度指标体系中加入无纲量的哑变量——机型变量,从而使得建立的指标体系更合理。涡桨支线飞机,机型变量可取值为 1;涡扇支线飞机,机型变量取值为 0。

(5) 首飞时间指标

首飞时间是指飞机首次试飞成功的时间。借鉴国内外学者对歼击机的研究经验,选取首飞时间来代表支线飞机的综合技术水平,即用首飞时间的估算值表示飞机自身的综合技术水平,用该飞机首飞时间的实际值表示同期的世界支线分析的先进水平,那么首飞时间的估算值与实际值间的差值代表该飞机综合技术水平与同期世界先进水平的差距。考虑到世界民用支线飞机的发展是 20 世纪 60 年代开始的,则将飞机首飞时间的值取从 1960 年 1 月起至飞机实现首飞时的月数,如肖特 330-200 的首飞时间为 1977 年 8 月,综合性能水平的值为 $212((1977-1960) \times 12 + 8 = 212)$ 。

1.2 样本的选取

根据上文所建立的测度指标体系,从《世界民用飞机手册》^[7]、《世界飞机手册 2000》^[8]及《世界飞机手册 2011》^[9]中选取世界 30 种民用支线飞机的相关参数作为数据样本。这 30 种机型几乎包括了 20 世纪 60 年代以来各代支线飞机主流机型,能够代表各个时期世界民用支线飞机的技术水平。

1.3 模型建立

对 30 种代表机型的原始数据,运用式(1)~式(6)计算飞机安全性、经济性和舒适性三个综合指标值。由于这三个指标具有不同量纲,用极值法对其进行归一化处理,得到三个综合指标的归一值。利用 SPSS 软件对样本数据进行线性回归分析^[10],获得如下测度模型:

$$Y = 224.657X_1 + 297.152X_2 + 155.699X_3 + 67.917X_4 - 89.476$$

$$t_1 = 2.394, t_2 = 4.835, t_3 = 2.156, t_4 = 3.328 \quad (7)$$

式中: Y 为首飞时间指标值; X_1 为安全性指标值; X_2 为经济性指标值; X_3 为舒适性指标值; X_4 为机型指标值。

对该模型进行相关检验,结果如表 1 所示。

表 1 回归分析的检验值

Table 1 Test value of regression analysis

观测值	检验值($\alpha=0.05$)
$R^2=0.910$	$T; t_{\alpha}/2=2.060$
$f=62.873$	$F; f_{\alpha}=2.76$
$d_w=1.548$	$DW; d_L=1.14, d_U=1.74$

从表 1 可以看出:观察值 t_1, t_2, t_3, t_4 均大于临界值 $t_{\alpha}/2$,表明回归系数存在显著意义,模型自变量 X_1, X_2, X_3, X_4 都有存在的意义;由观察值 $f=62.873$ 远大于临界值 f_{α} ,表明选用的自变量指标对因变量有解释力,回归模型有显著性意义;自变量与因变量的相关系数为 0.910,接近于 1,表明回归模型具有较高的拟合优度;观察值 $d_w=1.548$, $d_L < d_w < d_U$,序列无相关性,表明扰动项不存在序列相关。可见,该测度模型通过了 5%置信水平下的 F 检验、 t 检验和 DW 检验,且模型拟合优度高。

回归模型中自变量 X_1, X_2, X_3 回归系数均大于 0,表明飞机的安全性、经济性、舒适性与飞机的技术水平正相关,这一点符合技术进步促使飞机性能提高的事实。自变量 X_1, X_2, X_3 回归系数的大小表明飞机这三方面性能对技术水平发展的依赖程度,飞机经济性的提高对技术进步要求最大,其次是安全性,最后是舒适性。而自变量 X_4 的系数为正,表明涡扇支线飞机在安全、经济性与舒适三方面体现出整体性能要高于涡桨支线飞机,与实际相符。

以上分析结果表明,此模型具有较高的可信度,可以用于世界民用支线综合技术水平的估算。

2 我国民用支线飞机的技术水平测评结果

以我国研制的 Y7-100、新舟 60、新舟 600、ARJ21-700 四种具有代表性的民用运输机机型数据为基础,利用上文的民用飞机技术水平测度模型,得到我国支线飞机所具备的综合技术水平及与世界先进水平的差距,如表 2 所示。

表 2 我国民用支线飞机的综合技术水平

Table 2 Comprehensive technology level of civil regional aircraft in our country

机型	发动机类型	首飞时间	综合技术水平/月	同期世界先进水平/月	与世界先进水平比较/年
Y7-100	涡桨	1986.7	196.34	319.00	-10.22
新舟 60	涡桨	2000.3	372.52	483.00	-9.21
新舟 600	涡桨	2008.10	492.06	586.00	-7.83
ARJ21-700	涡扇	2008.11	493.00	587.00	-7.83

注:“与国际先进水平相比”代表了各机型自身具备的综合技术水平与当期世界先进水平的差距,正值代表领先,负值代表落后。

总体而言,我国民用支线飞机的综合技术水平一直落后于世界先进水平,但从 Y7-100 落后先进水平 10.22 年发展到 ARJ21-700 仅落后 7.83 年,表明我国民用支线技术水平与世界先进水平的差距在不断的缩小。

从新舟 60 的综合技术水平领先 Y7-100 飞机 176.17 月(14.68 年)到新舟 600 领先新舟 60 飞机 119.54 月(9.96 年)可以看出,我国民用飞机技术水平在不断提升。Y7-100 与新舟 60 的首飞时间相差 13.6 年,综合技术水平相差 14.6 年,平均每年综合技术水平增长 1.0735 年;新舟 60 与新舟 600、ARJ21-700 的首飞时间相差 8.5 年,综合技术水平相差 9.96 年,平均每年综合技术水平增长 1.172 年,可见我国民用飞机技术水平提升速度在加快。

3 结论

运用国内外学者对航空军品综合性能评估的研究思路和方法,建立了世界民用支线飞机技术水平的测度模型,定量研究了我国民用支线飞机的综合技术水平,测度表明我国民用支线飞机技术水平在不断提升,与世界先进水平的差距在不断缩小,目前具有最高综合技术水平的 ARJ21-700 仍然落后世界先进水平 7.83 年。

由于本文是首次将回归分析的方法用于民用飞机综合技术水平测评中,在测度指标的选取方面难免存在着不足之处,有待在今后的研究中不断发展和完善。此外,新研究理论的应用也是此类研究发展的重要方向。

参考文献

- [1] Stanley W L, Miller M D. Measuring technological change in jet fighter aircraft[R]. A Project Air Force Report; Pre-

- pared for the United States Air Force R-2249-AF, United States; Rand Corporation, 1979.
- [2] 张德荣. 当代歼击机综合性能的定量比较[J]. 航空科学技术, 2007(5): 23-26.
Zhang Derong. Quantificative compare of combination property of up to date fighter[J]. Aeronautical Science and Technology, 2007(5): 23-26. (in Chinese)
- [3] 金树颖. 典型国家歼击机综合性能的量化分析[J]. 沈阳航空工业学院学报, 2008, 25(4): 76-78.
Jin Shuying. Quantitative analysis of typical national fighter comprehensive performance [J]. Journal of Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, 2008, 25(4): 76-78. (in Chinese)
- [4] 金树颖. 歼击机综合性能评价的数学模型及应用[C]//探索 创新 交流——第三届中国航空学会青年科技论坛文集(第三集). 北京: 中国航空学会, 2008.
Jin Shuying. Mathematics model of comprehensive performance of fighters and use[C]//Explore innovative communication the third BBS corpus of the third youth science and technology of Chinese society of aeronautics and astronautics. Beijing: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, 2008. (in Chinese)
- [5] 李伟, 姚海林. 影响民用飞机飞行安全各因素的综合分析[C]//大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会 2007 年年会论文集. 北京: 中国航空学会, 2007.
Li Wei, Yao Hailin. The comprehensive analysis of various influence factors of civil aircraft flight safety[C]//Proceedings of the annual meeting of Chinese society of aeronautics and astronautics of large aircraft key technology top BBS in 2007. Beijing: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, 2007. (in Chinese)
- [6] 张毅. 民用客机总体方案评价准则研究[J]. 西北工业大学学报, 2006, 24(6): 791-794.
Zhang Yi. Evaluation standards of the overall plan of civil aircraft[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2006, 24(6): 791-794. (in Chinese)
- [7] 张庆伟, 林左鸣. 世界民用飞机手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.
Zhang Qingwei, Lin Zuoming. World airliner handbook [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [8] 中国航空信息中心《世界飞机手册》编写组. 世界飞机手册 2000[M]. 北京: 航空工业出版社, 2001.
Drawing board of *World airliner handbook* in China aviation information center. World airliner handbook 2000[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [9] 中国航空信息中心《世界飞机手册》编写组. 世界飞机手册 2011[M]. 北京: 航空工业出版社, 2011.
Drawing board of *World airliner handbook* in China aviation information center. World airliner handbook 2011[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [10] 张晓桐. 计量经济学[M]. 天津: 南开大学出版社, 2003.
Zhang Xiaotong. Econometrics[M]. Tianjin: Nankai University Press, 2003. (in Chinese)

作者简介:

董莉莉(1989—),女,硕士研究生。主要研究方向:民航经济分析。

曾小舟(1965—),男,博士,副教授。主要研究方向:民航经济分析。

(编辑:赵毓梅)

(上接第 17 页)

- 社, 2009.
Fang Changde. Development study of aviation engine[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [6] 宋双文. 中小型航空发动机燃烧室现状和发展趋势[R]. CSAA 2004-PSE-009, 2004.
Song Shuangwen. Combustor actuality and development trend of medium-minitype aviation engine[R]. CSAA 2004-PSE-009, 2004. (in Chinese)
- [7] 蔡建兵, 皮星, 申余兵. 中小型燃气涡轮轴发动机的技术特点分析[C]//中国航空学会发动机 2011 年学术研讨会论文集. 北京: 中国航空学会, 2011: 111-122.
Cai Jianbing, Pi Xing, Shen Yubing. Analysis of technical characteristics of medium-minitype turboshaft-engine[C]//The 2011 academic annual meeting of Chinese Society of Astronautics and Aeronautics. Beijing: Chinese Society of Astronautics and Aeronautics, 2011: 111-122. (in Chinese)
- [8] Ruffles P C. Aero engines of future[J]. The Aeronautical Journal, 2003(6): 307-321.
- [9] 廉筱纯, 吴虎. 航空发动机原理[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2005.
Lian Xiaochun, Wu Hu. Principles of aeroengine[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2005. (in Chinese)
- [10] 黄传跃, 陈国华. 重型直升机技术发展的启示[J/OB]. (2012-01-31)[2013-08-18]. http://www.cannews.com.cn/zghkb/html/2012-01/31/content_31272.htm.
Huang Chuanyue, Chen Guohua. Inspire of technical development of heavy helicopter[J/OB]. (2012-01-31)[2013-08-18]. http://www.cannews.com.cn/zghkb/html/2012-01/31/content_31272.htm. (in Chinese)

作者简介:

蔡建兵(1973—),男,博士,研究员。主要研究方向:航空发动机总体性能。

胡柏安(1965—),男,博士,研究员。主要研究方向:航空发动机结构强度。

(编辑:赵毓梅)