

文章编号: 1674-8190(2021)02-106-06

基于成本收益理论的 A 型飞机改装翼梢小翼 经济性分析

丁松滨, 范佳凤, 马腾宇

(南京航空航天大学 民航学院, 南京 211106)

摘要: 改装翼梢小翼可以有效降低诱导阻力, 减少飞机燃油消耗和尾气排放, 提高飞机经济性的同时保护环境; 然而翼梢小翼通常价格昂贵, 在进行翼梢小翼改装项目时, 需要对翼梢小翼进行经济性评估。以 A 型飞机改装翼梢小翼为例, 运用成本收益理论, 建立 A 型飞机改装翼梢小翼经济性评估模型, 分析平均航段距离、飞机平均日利用率、付款方式、贴现率等因素对翼梢小翼投资回收期的影响规律。结合实例评估分析某航空公司 A 型飞机改装翼梢小翼的经济性, 为航空公司改装翼梢小翼预先的投资回收期计算分析提供参考依据。

关键词: 翼梢小翼; 成本收益理论; 投资回收期; 贴现率; 平均航段距离

中图分类号: [V2-9]; V224

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2021.02.12

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Economic Analysis of A-type Aircraft Modified Winglets Based on Cost-benefit Analysis

DING Songbin, FAN Jiafeng, MA Tengyu

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

Abstract: The winglet can effectively reduce the induced drag, fuel consumption and exhaust emissions, meanwhile, it is eco-friendly and profitable. However, an economic evaluation is necessary before carrying out the winglet modification project, due to its cost. Based on the cost-benefit analysis, an economic evaluation model of A-type aircraft modified the winglet is established. The influences of the average flight distance, daily utilization rate of the aircraft, the payment method and the discount rate on the winglet's ROI (return on investment) are analyzed. Finally, the case analysis will be given, combined with the evaluation of feasibility and finance, which provides a reference for airlines to modify the winglet.

Key words: winglet; cost-benefit analysis; return on investment; discount rate; the average flight distance

0 引 言

面对世界性的环境问题,我国民航业采取积极措施,深入全面推进节能减排,加强飞机排放源头治理^[1];与此同时,应对不断上涨的燃油价格,航

空公司为控制成本,对飞机的燃油效率提出更高要求。对大部分运输机而言,在低速飞行或巡航的过程中,诱导阻力高达总阻力的 30%~40%^[2],翼梢小翼通过耗散机翼翼尖涡来减少飞机的诱导阻力,提高飞机升阻比,有效减少燃油消耗和尾气

收稿日期: 2020-06-11; 修回日期: 2020-09-07

通信作者: 范佳凤, 1263513181@qq.com

引用格式: 丁松滨, 范佳凤, 马腾宇. 基于成本收益理论的 A 型飞机改装翼梢小翼经济性分析[J]. 航空工程进展, 2021, 12(2): 106-111, 121.
DING Songbin, FAN Jiafeng, MA Tengyu. Economic analysis of A-type aircraft modified winglets based on cost-benefit analysis [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(2): 106-111, 121. (in Chinese)

排放^[3]。翼梢小翼在减少环境污染的同时,提高飞机的经济性,可为航空公司降低飞机直接运营成本,赢得竞争优势。

J. M. García-Fornieles等^[4]提出对复杂的投资项目进行不同生命周期成本管理,并以飞机改装项目为例,说明了对飞机改造工程收益成本管理的重要性;O. J. Hill^[5]利用历史数据对军用飞机改装进行了经济性分析,并研究了军用飞机老化对经济性的影响;P. Clark^[6]提出在进行飞机投资项目评估时需要考虑货币的时间价值,认为净现值法和内部收益率是合适的方法;付维方^[7]通过投资回收期方法获得服务通告对飞机运营的经济性影响评价指标,以决定是否进行服务通告改装投资,为航空企业的维修改装决策提供了有效的技术支持;陈建平^[8]从产值角度、利润角度和资金角度分析了船舶常规修理和改装的经济性,达到使其效益最大化的目的;旺再洪^[9]利用STOW模型和对比分析法对飞机改装项目建立了评估管理体系,从质量安全、管理制度等方面对航空公司改装项目管理提出了改进措施。虽然目前国内外对改装项目经济性的相关研究仍较少,但足以体现对改装项目进行经济性评价的必要性。受全球性的新冠疫情影响,很多航空公司面临财政问题,提高飞机的经济性,降低航空公司的直接运营成本,维持现金流的平衡对航空公司具有重大意义。

翼梢小翼作为飞机的气动部件之一,投资成本高,占用资金大,改装复杂,因此航空公司对改装翼梢小翼进行经济性评估至关重要。本文针对飞机改装翼梢小翼带来经济效益的同时需要权衡资金投入与回收周期的实际问题,利用成本收益理论,根据翼梢小翼的特性,结合市场特征,建立飞机改装翼梢小翼经济性评估模型,以期为航空公司提供参考依据,降低投资风险。

1 成本收益理论分析

投资项目的经济性是评估方案的核心^[10]。项目经济性评价指标根据指标特性可分为:比率性指标、时间性指标、价值性指标。比率性指标主要指投资收益率;时间性指标包括静态投资回收期 and 动态投资回收期;价值性指标主要有净现值、净年值等^[11]。翼梢小翼为多年期项目,需要考虑资金时间价值的影响,选择动态评价指标更符合实

际,更为合理。本文采用动态投资回收期结合投资收益率和净现值评估飞机改装翼梢小翼的经济性,以期为航空公司提供参考意见。

1.1 经济性评价指标

(1) 投资收益率

投资收益率^[12](ROI)指项目净收益占整个项目投资成本的比率,其计算公式如式(1)所示,投资收益率的高低代表着项目收益的好坏。投资收益率属于静态指标,综合评价投资项目整体的盈利能力。

$$ROI = \frac{\bar{A}_{\text{net}}}{C} \times 100\% = \frac{\bar{A} - C}{C} \times 100\% \quad (1)$$

式中: \bar{A}_{net} 为年平均净利润; A 为年平均总利润; C 为年平均投资成本。

当项目收益率高于企业自定期望收益值时,表示该项目具有较好的经济效益,企业选择投资;反之,企业放弃项目。

(2) 净现值

净现值(NPV)指投资项目中预估未来现金流入(收益)和未来现金流出(成本)间的差值,如式(2)所示; i 为贴现率,反映所估计现金流的风险函数,是公认的获利能力指标^[13]。净现值考虑到资金的时间价值,既表现项目的收益性又体现了资金的流动性,属于动态评价指标。

$$NPV(i, n) = \sum_{t=1}^n \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t} - C_0 \quad (2)$$

式中: t 为时段; R_t 为第 t 时段末的现金流入量; C_t 为第 t 时段的现金流出量; C_0 为初始投资成本。

一般认为当NPV结果为正值时,项目可以收益;NPV结果为负值时,项目不可行。

(3) 动态投资回收期

动态投资回收期(PP)指投资项目收益总额达到项目总投资成本的时间,投资回收期相比投资收益率参考了资金的时间价值^[14]。投资回收期^[15]计算公式如式(3)~式(4)所示。

$$P = A_{\text{net}} \left[\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right] = A_{\text{net}} \left(\frac{P}{A_{\text{net}}}, i, n \right) \quad (3)$$

$$(P/A_{\text{net}}, i, n) \leq P/A_{\text{net}} \quad (4)$$

式中: P 为投资总成本现值; A_{net} 为年净利润; i 为贴现率; n 为投资回收期。

航空公司改装翼梢小翼的收益受翼梢小翼寿

命的限制,对航空公司而言,在翼梢小翼寿命一定的情况下,投资成本越早回收,收益年限就越长,经济性越好。

1.2 模型建立

本文基于成本收益理论(Cost-benefit Analysis)对飞机改装翼梢小翼进行经济性评估,利用现有数据估算翼梢小翼改装执行成本(包括部件材料成本、人工成本、进口关税增值税、占用场地成本、机身预留成本、贷款利息、部件维修成本)和改装收益(包括燃油节省费用等)^[16]。此外,由于飞机部件维修成本、实际改装翼梢小翼所涉及的局方要求和航空公司的机队运行数据无法获得,改装导致适航审查费用、维修费用、停机期间的运营损失不进行估算。利用净现值、投资回收期、投资收益率来评估翼梢小翼的收益情况,探索改装翼梢小翼的经济性规律,以期为航空公司改装翼梢小翼提供参考依据。飞机改装翼梢小翼经济性评估模型如图 1 所示。

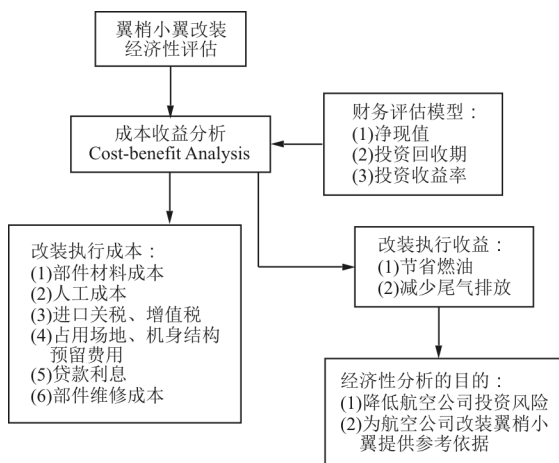


图 1 飞机改装翼梢小翼经济性评估模型

Fig. 1 Economic evaluation model of aircraft modified wingtips

2 翼梢小翼改装经济性影响因素分析

翼梢小翼的节油效果在飞机巡航阶段表现显著,但在起降阶段并不理想^[17],这使得翼梢小翼的经济性受飞机的平均航段距离所影响。此外,飞机的平均日利用率和贷款方式等对飞机改装翼梢小翼项目收益也有影响。在探索影响规律时,采用投资回收期,既可表示改装翼梢小翼项目支出

的全部费用通过运营成本的节约补偿所需的时间,也可以充分表现资金时间价值的影响。

2.1 飞机运行参数对经济性的影响

根据现有的市场数据估算翼梢小翼的投资成本和投资收益,计算平均航段距离对翼梢小翼投资回收期的影响关系,并结合当前国内民航市场特征,给出航空公司改装的建议。

(1) 不同平均航段距离和日利用率下投资回收期

某系列 A 型飞机改装融合式翼梢小翼,购买单价约为 588.6 万元;进口关税和增值税为翼梢小翼购置费用的 5.0%,约为 29.5 万元;改装人工费为 25 万元;A 型飞机改装翼梢小翼需要 6 天^[18],场地费和机身预留费约 70 万元。则改装一架翼梢小翼前期支出总费用约为 713.1 万元。

翼梢小翼在起降阶段的减阻效果并不明显,故其节油效果受飞机平均航段距离的影响。根据波音公司通过多年收集翼梢小翼用户反馈^[18],总结出节油百分比与飞机平均航段距离的关系,如图 2 所示,可以看出:当平均航段距离为 500~2 000 km 时翼梢小翼节油百分比为 1%~3%,当平均航段距离超过 2 000 km 时,翼梢小翼节油百分比比较高且集中在 3%~4.5%。

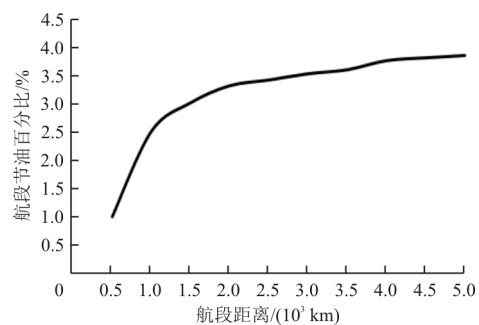


图 2 航段距离与节油百分比关系图

Fig. 2 Diagram of the relationship between segment distance and fuel saving percentage

根据现有市场数据,A 型飞机耗油量约为 2.5 t/h,航油单价为 5 000 元/吨,假设飞机平均航段距离为 k ,对应的节油百分比为变量 a ,飞行时间为 b h,一年飞行天数为 360 天。则飞机改装翼梢小翼后每年节省燃油价格 A_1 为 450 ab 万元,飞机改装翼梢小翼总成本 P_1 约为 713.1 万元,当贴现率为 10%,根据投资回收期公式(3),不同平均日利用

率下,不同航段距离的翼梢小翼投资回收期如图 3 所示,可以看出:在贴现率约为 10% 的情况下,翼梢小翼的投资回收期在 5~12 年,当飞机平均日利用率低于 8 h 时,平均航段距离低于 1 200 km 时,翼梢小翼的投资回收期较长。

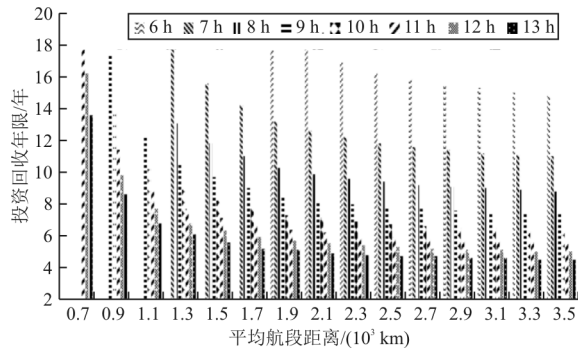


图 3 不同平均日利用率和航段距离下投资回收期
Fig. 3 The ROI under different average daily utilization rate and segment distance

(2) 平均航段距离对投资回收期的影响

假设该架飞机的平均日利用率为 9.2 h,翼梢小翼节油收益为 4 140a 万元,当贴现率分别为 8%、9%、10%、11%、12% 时,代入投资回收期公式(3),得到平均航段距离与投资回收期关系如图 4 所示。

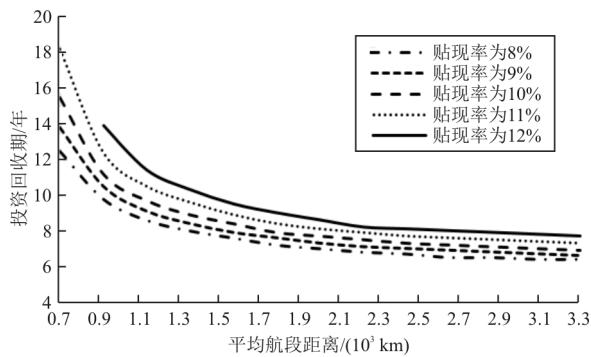


图 4 平均航段距离与投资回收期关系
Fig. 4 Relationship between average segment distance and ROI

从图 4 可以看出:在不同的贴现率下,飞机平均航段距离越大,其改装翼梢小翼投资回收期越短,翼梢小翼经济性越好;当平均航段距离大于 2 000 km,投资回收期趋于稳定,约为 6~8 年;当平均航段距离在 1 200~2 000 km,每提高 200 km 航程,回收期可缩短 5%~10%;当平均航段距离不足 1 200 km,每增加 200 km 航程,回收期可缩短约

10%~20%,投资回收期受飞机平均航段距离影响较大,且翼梢小翼投资回收期较长,项目投资风险较大。

(3) 平均日利用率对投资回收的影响

假设该架飞机平均航段距离约为 1 500 km,翼梢小翼节油效率为 3.00%,假设平均日利用率为 b ,翼梢小翼每年节省燃油收益 A_2 为 13.5b 万元,改装成本 P_2 为 713.1 万元,当贴现率分别为 8%、9%、10%、11%、12% 时,代入投资回收期公式(3),则平均日利用率与投资回收期的关系如图 5 所示。

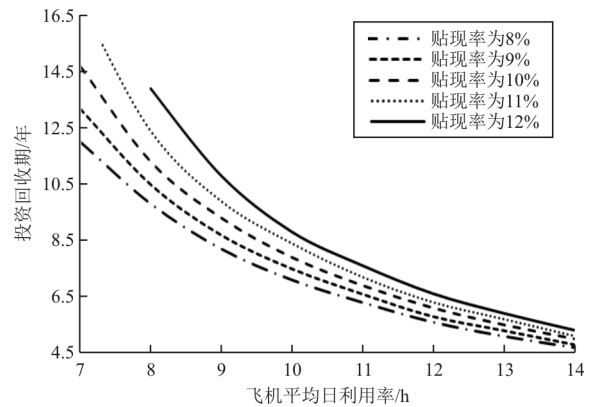


图 5 飞机平均日利用率与投资回收期的关系
Fig. 5 Relationship between average daily utilization rate of aircrafts and ROI

从图 5 可以看出:飞机平均日利用率越长,翼梢小翼投资回收期越短;当飞机平均日利用率低于 8 h,投资回收期往往高于 10 年,但日利用率每提高 1 h,回收年限可缩短约 20%;当飞机平均日利用率在 9~12 h,投资回收期集中在 6~9 年,平均日利用率每提高 1 h,回收期可减少 10%~15%,且受贴现率影响较小,收益稳定,值得投资。

2.2 付款方式对翼梢小翼经济性的影响

航空公司在改装翼梢小翼项目时,通常对几十架飞机同时改装,成本高昂,为保障公司现金流正常,会采用贷款等方式降低投资项目的风险。某航空公司对其所属 20 架 A 型飞机改装翼梢小翼,根据估算,总成本约为 14 262 万元。这 20 架飞机平均航段距离约为 1 500 km,节油效率可达 3%,平均日利用率为 9.36 h,平均每年飞行天数约为 360 天。据悉,每架飞机为安装翼梢小翼每小时

消耗燃油约 2 500 kg, 油价为 5 000 元/吨, 则 20 架飞机改装翼梢小翼后年平均收益为 2 517.2 万元。该航空公司向银行提出贷款, 贷款每期支付本息公式如公式(5)所示^[19]。

$$P = \frac{L}{\left[1 - \frac{1}{(1+i)^n}\right] \times (1/i)} \quad (5)$$

式中: P 为每期向贷款银行所需支付的本息总额; L 为贷款总额; i 为利息; n 为还款总次数。

假设贴现率为 10%, 银行贷款年息为 6.1%, 当航空公司采用不贷款方式、贷款比例为 20%、40%、60%、80%, 贷款周期分别为 1~9 年等不同付款方式时, 根据贷款公式(5)和投资回收期公式(3)计算, 得到翼梢小翼投资回收期结果如图 6 所示。

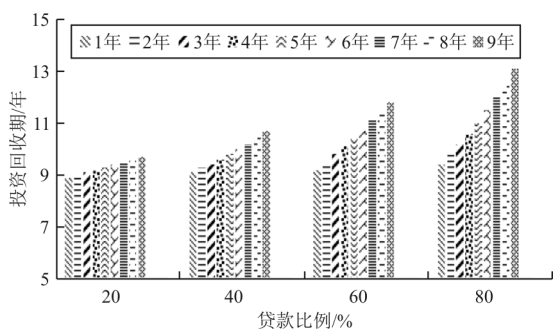


图 6 不同付款方式下翼梢小翼投资回收期

Fig. 6 The ROI of wingtips under different payment methods

从图 6 可以看出: 航空公司选择不同的贷款比例下, 贷款周期分别为 1~9 年时的投资回收期, 在贷款比例低于 50% 时, 投资贷款年限对投资回收期的影响较小, 改装翼梢小翼项目在 8~11 年即可回收投资成本; 当贷款比例高于 50% 时, 投资回收期受贷款年限影响较大, 回收期在 9~13 年, 此时, 航空公司选择贷款周期不高于 5 年, 改装翼梢小翼项目投资回收期比较短, 收益较好。

综上, 在贴现率为 10% 时, 贷款周期低于 5 年或贷款比例低于 60%, 翼梢小翼项目投资回收期不高于十年, 项目风险降低, 收益更好, 同时一定金额的贷款可以为航空公司分担财物风险, 保证现金流, 为公司其他项目投资保留资产, 从而创造更多收益。

3 案例分析

为了提高飞机经济性, 减少运营成本, 某航空公司计划为机队中 38 架某系列 A 型飞机改装翼梢小翼, 并邀请 APB 公司进行技术分析。

3.1 改装成本与节油减排分析

据悉, 翼梢小翼购置单价为 588.6 万元, 进口关税约为 5%, 改装人工费为 25 万元, 机身预留费用为 70 万元, 则 38 架 A 型飞机改装翼梢小翼所需费用为 27 095.14 万元。该航空公司选择贷款 60%, 贷款利率为 6.1%, 贷款年限为 5 年, 根据公式(5), 项目前期投资为 10 838.056 万元, 每年本息还款 3 869.88 万元, 故 38 架 A 型飞机改装融合式翼梢小翼总成本为 30 187.45 万元。

该公司改装的 38 架飞机平均航段距离为 1 600 km, 由 APB 公司判定预计节油效果可达 3.1%, 每架飞机每小时消耗燃油 2.5 t, 安装翼梢小翼后每小时节省燃油约 77.5 kg。其中, 15 架 A 型飞机平均每天飞行小时约为 8.7 h, 平均每年飞行 360 天; 23 架 A 型飞机平均日利用率为 9.6 h, 平均年飞行天数为 360 天。这 38 架某系列 A 型飞机安装翼梢小翼后每年共计节省燃油 9 801.27 t, 每年减少排放约 27 702.63 t 二氧化碳。飞机燃油价格约为 5 000 元/吨, 38 架飞机每年为公司减少燃油成本可达 4 900.64 万元, 如表 1 所示。

表 1 某公司 A 型飞机改装翼梢小翼成本收益减排分析

Table 1 Analysis of the cost, benefit and emission reduction of A-type aircraft modified wingtips

项 目	数 值	
	15架飞机	23架飞机
平均日利用率/(小时·天 ⁻¹)	8.7	9.6
飞行天数/天	360	360
平均航程距离/km	1 600	1 570
平均节油百分比/%	3.1	3.1
未安装翼梢小翼前每小时耗油量/t	2.5	2.5
单架飞机年平均节油量/t	242.73	267.84
38架 A 型飞机年平均节油总量/t	9 801.27	
38架 A 型飞机年平均减少二氧化碳排放量/t	27 702.63	
38架 A 型飞机改装翼梢小翼年平均收益/万元	4 900.64	
38架 A 型飞机改装翼梢小翼总成本/万元	30 187.45	

3.2 经济性分析

(1) 投资回报率分析

航空公司改装翼梢小翼为多年期项目,总投资为30 187.45万元,每年平均收益为4 900.64万元。根据投资回报率公式(1),某公司投资38架A型飞机改装翼梢小翼投资回报率为16.2%,投资回报率较高,值得投资。

(2) 净现值分析

某航空公司改装38架翼梢小翼项目为多年期项目,预估项目周期为8年,每年预计平均收益为4 900.64万元,其中,前5年扣除银行本息还款年末现金流入1 030.762万元,后3年每年年末现金流入4 900.64万元;前期支出成本10 838.056万元;代入公式净现值公式(2),得出在不同贴现率下,38架某A型飞机改装翼梢小翼净现值,如表2所示,可以看出:净现值大于0,项目收益。

表2 A型飞机改装翼梢小翼净现值和投资回收期
Table 2 The NPV and ROI of wingtips of a series of A-type aircraft

贴现率/%	38架A型飞机		15架飞机 投资回收期/年	23架飞机 投资回收期/年
	净现值/万元	投资回收期/年		
8	22 242.57	8.8	9.6	8.3
9	24 596.71	9.4	10.3	8.8
10	27 162.33	10.0	11.0	9.4
11	29 961.68	10.7	12.2	10.1

(3) 投资回收期估算

某航空公司为38架A型飞机改装翼梢小翼总成本为30 187.45万元,每年预计收益为4 900.64万元,根据投资回收期公式(3),该公司改装翼梢小翼投资回收期如表2所示。

综上所述,某航空公司为38架A型飞机改装翼梢小翼项目投资回收率较高,为16.2%;净现值大于0;投资回收期根据不同的贴现率,约为8~10年,该项目收益良好,投资回收期较短,有较好的经济性,且具有环保效益。

其中,15架A型飞机平均日利用率为8.7 h,平均每架飞机每年收益为121.365万元,23架A型飞机平均日利用率为9.6 h,每架飞机每年可节省燃料费为133.92万元;每架飞机改装翼梢小翼成本为794.61万元。代入公式(3),得不同平均日利用率的飞机改装翼梢小翼的投资回收期(表2),即平均日利用率8.7 h的飞机改装翼梢小翼投资回

收期大于平均日利用率9.6 h的飞机。飞机的平均日利用率影响着飞机改装翼梢小翼的经济性,飞机平均日利用率越高,翼梢小翼的经济性越好。

4 结 论

(1) 结合航空公司的实际运营,基于成本收益理论和方法,提出了飞机改装翼梢小翼经济性的评估模型,通过案例分析,证明该模型可行。

(2) 所改装飞机平均航段距离越长投资回收期越短,飞机日利用率越高投资回收期越短。随着飞机平均航段距离越大、飞机日利用率越长,翼梢小翼投资回收年限缩短率逐渐将低,最终趋于稳定。

(3) 加装翼梢小翼利于保护环境和提高飞机运营的经济性,是航空公司提高市场竞争力的一项有效措施。

参 考 文 献

- [1] 中国民用航空局. 中国民用航空发展第十三个五年规划[R]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2016. Civil Aviation Administration of China. The 13th five-year plan for China's civil aviation development[R]. Beijing: National Development and Reform Commission, 2016. (in Chinese)
- [2] ZHANG M, WANG Y. Generation mechanism and reduction method of induced drag produced by interacting wingtip vortex system[J]. Journal of Mechanics, 2017, 2: 1-11.
- [3] 孙贺亮. 大型民用客机翼梢小翼气动设计研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2008. SUN Heliang. Aerodynamic design of winglets and winglets of large civil passenger aircraft[D]. Beijing: Beihang University, 2008. (in Chinese)
- [4] GARCIA-FORNIELES J M, FAN J S, PEREZ A. A cost engineering approach to manage unplanned work - an example from aircraft modification[J]. AIAA Journal, 2003, 147(8): 1121-1129.
- [5] HILL O J. Aircraft modifications: assessing the current state of air force aircraft modification and the implications for future military capability[M]. USA: AIAA, 2006.
- [6] Clark P. Buying the big jets[M]. USA: Ashgate Pub Co., 2007.
- [7] 付维方. 基于贝叶斯的服务通告改装经济性决策方法[J]. 控制工程, 2015, 22(2): 322-327. FU Weifang. An economic decision approach for service bulletin modification based on Bayes[J]. Control Engineering of China, 2015, 22(2): 322-327. (in Chinese)
- [8] 陈建平. 船舶常规修理和改装的经济性分析[J]. 江苏船舶, 2008, 25(6): 25-27. CHEN Jianping. Economic analysis of ship routine repair and modification [J]. Jiangsu Shipbuilding, 2008, 25(6): 25-27. (in Chinese)

(下转第121页)