

基于假设检验的特性指标评估方法

郑勇乐*

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘要: 依据民用飞机试飞运营中零部件的故障数据推断该零部件的特性指标,以评估供应商提供的零部件是否满足设计阶段的特性指标要求。研究了假设检验方法在民用飞机零部件特性指标评估工作中的应用,并针对民用飞机研制设计阶段的两类特性指标:望大型特性指标和望小型特性指标,分别给出了基于大样本假设检验方法在民用飞机特性指标评估工作中的应用方法。结合某型设备的故障数据样例,利用提出的假设检验方法,对该设备的望小型特性指标失效率进行了评估。

关键词: 民用飞机;特性指标;假设检验;大样本;指标评估

中图分类号: V267+.4

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用飞机领域是市场竞争激烈的产品领域,飞机的最终用户是航空公司,航空公司追求的目标是飞行安全、运营经济、航班正点。因此,要在民用飞机的竞争中取胜,就必须研制生产出高安全性、可靠性、经济性与维修性的产品。作为一个复杂的产品,飞机由成千上万个零部件组成,这些零部件的可靠性、维修性、测试性等特性指标决定着民用飞机的安全性、可靠性、经济性与维修性的水平,也直接影响着飞机的市场竞争力。

随着我国民机事业的稳步推进与广泛布局,国产民机研制工作正在有序开展,越来越多的民机产品也投入到我国民航事业中。因此,基于试飞运营故障数据的特性指标评估工作提上日程,对于国产民机研制运营工作的重要性与日俱增。基于试飞运营故障数据的特性指标评估,实际上即是根据样本推断总体的水平,而假设检验方法正是一种常用的根据样本推断总体的数理统计方法^[1-2]。利用该方法评估实际运营场景下飞机零部件的特性指标是否满足设计阶段提出的指标要求,能够有效提升特性指标评估的效率,实现产品可靠性、维修性、测试性、运行性的增长,提高型号飞机设计质量、生产

决策等,并最终提升飞机市场竞争力。

1 特性指标

民用飞机研制设计阶段的特性指标是安全性、可靠性、维修性、测试性指标的统称。常用的可靠性指标包括失效率(failure rate,简称FR)、平均故障间隔时间(mean time between failures,简称MTBF)、签派可靠度(dispatch reliability,简称DR)等;常用的维修性指标包括平均修复时间(mean time to repair,简称MTTR)、维修工时(mean maintenance man-hour,简称MMH)、直接维修成本(direct maintenance cost,简称DMC)等;常用的测试性指标包括故障隔离率(fault isolation rate,简称FIR)、故障检测率(fault detection rate,简称FDR)等。

为便于开展各类指标的评估工作,将上述特性指标分为望大型和望小型两类,根据其类别不同选取的假设检验评估方法也会稍有区别。望小型特性指标为指标值越小越好的指标;反之,望大型特性指标为指标值越大越好的指标。常用的望小型特性指标包括失效率、直接维修成本和平均修复时间等;常用的望大型特性指标包括平均故障间隔时间、故障检测率、签派可靠度和故障隔离率等。

* 通信作者. E-mail: zylzh0330@163.com

引用格式: 郑勇乐. 基于假设检验的特性指标评估方法[J]. 民用飞机设计与研究,2024(1):101-104. ZHENG Y L. Evaluation method of characteristic index based on hypothesis testing[J]. Civil Aircraft Design and Research,2024(1):101-104(in Chinese).

2 特性指标假设检验方法

2.1 假设条件

针对所需评估零部件的特性指标,获得的 n 个样本 $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ 必须满足以下两个条件:

- 1) 每个样本都是从目标总体中随机选取的;
- 2) 样本量 n 很大 ($n \geq 30$)^[3]。

2.2 假设检验方法选择

2.2.1 选择原则

假设检验的要素包括原假设、备择(研究)假设、检验统计量、拒绝域,其中原假设和备择(研究)假设构成了一个假设检验的基础,因此必须首先依据评估对象提出原假设和备择(研究)假设。原假设通常表示现状,直到它被证明是错的;备择(研究)假设则是与原假设相矛盾的一个理论^[3]。

任永泰^[4]、李晓红^[5]、徐大申^[6]、詹晓琳^[7]等人对假设检验中原假设的提出原则都进行了相关研究。在民用飞机特性指标评估这一领域,原假设通常是评估对象的特性指标符合要求的假设。由于评估对象不同(大型特性指标或小型特性指标),原假设和备择(研究)假设的表现形式也会有所不同(备择(研究)假设中可能包含“>”或“<”符号)。

望大型特性指标的假设检验评估方法应选择下侧统计检验,备择(研究)假设包含“<”符号;而望小型特性指标的假设检验评估方法则选择上侧统计检验,备择(研究)假设包含“>”符号。

2.2.2 下侧统计检验

对于待评估的望大型特性指标, μ 为该特性指标的总体均值, a 为供应商提供的零部件特性指标的值。该指标的下侧统计检验的原假设、备择(研究)假设分别为:

1) 原假设: $\mu \geq a$ (即供应商提供的零部件符合该特性指标要求);

2) 备择(研究)假设: $\mu < a$ (即供应商提供的零部件不符合该特性指标要求)。

2.2.3 上侧统计检验

对于待评估的望小型特性指标,该指标的上侧统计检验的原假设、备择(研究)假设分别为:

1) 原假设: $\mu \leq a$ (即供应商提供的零部件符合该特性指标要求);

2) 备择(研究)假设: $\mu > a$ (即供应商提供的

零部件不符合该特性指标要求)。

2.2.4 检验统计量

在大样本的情况下,根据中心极限定理样本均值近似正态分布,可以采用 z 检验。不论是选取上侧统计检验还是下侧统计检验,检验统计量 z 的计算方法均如公式(1)所示:

$$z = \frac{\bar{x} - a}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (1)$$

式中: \bar{x} 为样本均值; σ 为待评估特性指标总体的标准差。

若选择检验的显著性水平 α 为 0.05,对于下侧统计检验的拒绝域为: $z < -1.645$;对于上侧统计检验的拒绝域为: $z > 1.645$ 。

显著性水平 α 常用的取值有 0.10、0.05、0.01^[8],其对应的拒绝域如表 1 所示。

表 1 常用显著性水平对应的拒绝域

显著性水平	下侧统计检验	上侧统计检验
0.10	< -1.282	> 1.282
0.05	< -1.645	> 1.645
0.01	< -2.326	> 2.326

2.3 数值计算

依据获得的样本,计算特性指标的样本均值和检验统计量 z 。其中,样本均值 \bar{x} 的计算方法如公式(2)所示:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

式中: x_i 为随机样本。

通常,特性指标的总体标准差都是未知的。对于大样本来说,可以用样本标准差 s 来近似替代总体标准差 σ 。样本标准差 s 的计算方法如公式(3)所示:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

结合公式(3),检验统计量 z 的计算公式(1)可转化为公式(4):

$$z = \frac{\bar{x} - a}{s / \sqrt{n}} \quad (4)$$

2.4 结果

根据检验统计量 z 的数值计算结果,若该数值落在拒绝域内,则拒绝原假设并且得出结论:备择假设是对的,即供应商提供的零部件的特性指标是

不符合要求的。在原假设正确的情况下,假设检验过程导致结论不正确的概率只有 α 。因此,有充分证据表明该零部件的特性指标是不符合要求的,并可据此要求供应商对该零部件的相关特性进行改进,从而提高飞机在该特性上的表现水平。

反之,如果检验统计量的数值计算结果没有落在拒绝域内,则不拒绝原假设,从而保留关于哪个假设正确的判断,维持现状,直到有令人信服的证据表示原假设是错误的^[9]。即认为该零部件的特性指标是满足要求的。

3 算例分析

以某机型民用飞机的结冰探测器故障数据为例,利用本文提出的假设检验评估方法开展该设备的失效率评估工作,结冰探测器失效率的参考设计值为 $55.05 \times 10^{-6}/\text{FH}$ (flight hour),取 $\lambda_0 = 55.05 \times 10^{-6}/\text{FH}$ 。

某机型飞机结冰探测器历年故障数据如表 2 所示。

表 2 某机型飞机结冰探测器历年故障情况

时 间	月飞行时间/ FH	发生次数	失效率/ $1 \times 10^{-6}/\text{FH}$
2012年1月	77 516.48	3	38.70
2012年2月	70 920.96	1	—
2012年3月	69 121.12	2	28.93
2012年4月	70 121.92	2	28.52
2012年5月	78 069.12	2	25.62
2012年6月	76 692.16	4	52.16
2012年7月	77 003.60	1	—
2012年8月	78 923.36	3	38.01
2012年9月	83 593.84	1	—
2012年10月	84 762.40	2	23.60
2012年11月	79 854.96	2	25.05
2012年12月	78 437.20	3	38.25
2013年1月	78 641.48	3	38.15
2013年2月	72 045.96	1	—
2013年3月	70 246.12	2	28.47
2013年4月	71 246.92	1	—
2013年5月	79 194.12	4	50.51

表2(续)

时 间	月飞行时间/ FH	发生次数	失效率/ $1 \times 10^{-6}/\text{FH}$
2013年6月	77 817.16	2	25.70
2013年7月	78 128.60	3	38.40
2013年8月	80 048.36	2	24.98
2013年9月	84 718.84	2	23.61
2013年10月	85 887.40	2	23.29
2013年11月	80 979.96	3	37.05
2013年12月	79 562.20	2	25.14
2014年1月	78 404.48	2	25.51
2014年2月	71 808.96	2	27.85
2014年3月	70 009.12	2	28.57
2014年4月	71 009.92	3	42.25
2014年5月	78 957.12	3	38.00
2014年6月	77 580.16	2	25.78
2014年7月	77 891.60	3	38.52
2014年8月	79 811.36	2	25.06
2014年9月	84 481.84	3	35.51
2014年10月	85 650.40	2	23.35
2014年11月	80 742.96	3	37.15
2014年12月	79 325.20	2	25.21

注:‘-’表示该月数据不符合条件,不计算该月部件失效率。

由于失效率为望小型特性指标,因此选择上侧假设检验方法。原假设、备择(研究)假设分别为:

1) 原假设: $\mu \leq 55.05$ (即供应商提供的零部件符合该特性指标要求);

2) 备择(研究)假设: $\mu > 55.05$ (即供应商提供的零部件不符合该特性指标要求)。

选择 $\alpha = 0.05$ 为检验的显著性水平,则检验统计量 z 的拒绝域为: $z > 1.645$ 。

依据公式(2)计算得到失效率的样本均值为 32.45;依据公式(3)计算得到失效率的样本标准差为 8.53;依据公式(4)计算得检验统计量 z 的值为 -14.98。

因此,在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时,检验统计量 z 的数值结果(-14.98)没有落在拒绝域($z > 1.645$)内,我们不拒绝原假设,这样我们保留关于哪个假

设正确的判断,维持现状,直到有令人信服的证据表示原假设是错误的,则说明该型号飞机的结冰探测器的失效率是满足其指标要求的。

4 结论

1) 简单地从样本统计量的结果直接推断总体水平总是会有误差,而假设检验的数理统计方法则可以在不同的显著性水平上判断数据的显著性差异,从而得出科学的结论。

2) 假设检验的数理统计学方法适用于民用飞机领域各类特性指标的评估工作。

参考文献:

- [1] 马林,何桢. 六西格玛管理[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2007:24-27.
- [2] 马逢时,周暉,刘传冰. 六西格玛管理统计指南: MINITAB 使用指导[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2013:122-123.
- [3] 拉森,法伯. 工商管理经典译丛:基础统计学:第 4 版[M]. 刘超,译. 北京:中国人民大学出版社, 2013: 235-236.
- [4] 任永泰. 关于假设检验中原假设的提出[J]. 大学数学,2005,21(5):121-124.
- [5] 李晓红. 假设检验中原假设的选取问题[J]. 平原大学学报,2006,23(6):122-124.
- [6] 徐大申,李国东,臧鸿雁. 假设检验中的保护原则[J]. 北华大学学报:自然科学版,2004,5(5):395-397.
- [7] 詹晓琳,沈薇薇. 显著性假设检验中原假设的建立[J]. 上海第二工业大学学报,2010,27(2):156-159.
- [8] 王创. 统计假设检验中显著性水平 α 的选择[D]. 兰州:兰州商学院,2013:9-10.
- [9] 麦克拉夫,本森,辛西奇. 商务与经济统计学[M]. 易丹辉,李扬,译. 12 版. 北京:中国人民大学出版社, 2014:234-237.
- [10] 李滢,张惠卿,时涛. 参数检验相关问题分析[J]. 泰山医学院学报,2008,29(2):141-142.
- [11] 安胜利. 假设检验应用中的常见问题及改进方法[J]. 南方医科大学学报,2007,27(3):382-383,389.

作者简介

郑勇乐 男,硕士,工程师。主要研究方向:安全性可靠性数据管理。E-mail: zylzh0330@163.com

Evaluation method of characteristic index based on hypothesis testing

ZHENG Yongle *

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: Based on the fault data of components during civil aircraft test flight operations, the characteristic indicators of the components are inferred to evaluate whether the components provided by the supplier meet the characteristic indicator requirements of the design phase. The application of hypothesis testing method in the evaluation of civil aircraft components characteristic indexes was studied, and for the two types of characteristics indexes in the development and design stage of civil aircraft: large-scale characteristic indexes and small-scale characteristic indexes, hypothesis testing methods based on large samples were respectively given. Combined with the fault data sample of a certain type of equipment, the proposed characteristic index evaluation method was used to evaluate the failure rate of the equipment, and the conclusion that the actual value of the index meets the design value requirements is obtained.

Keywords: civil aircraft; characteristic indexes; hypothesis testing; large-sample; index evaluation

* Corresponding author. E-mail: zylzh0330@163.com