

基于抽样评分法的民用飞机电源系统维修性预计

王洁萱*

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要: 民用飞机维修性的好坏直接影响到市场竞争力,是民用飞机成功运营的关键因素之一。维修性预计是民用飞机研制过程中维修性设计的主要工作之一,能够评价设计是否满足维修性要求。抽样评分法作为维修性预计的方法之一,具有样本量小、预计简便、设计初始阶段即可应用的优点。电源系统为飞机的所有用电设备供电,其维修性的好坏直接影响机载设备能否正常运行,对整机的维修性设计起着关键作用。对抽样评分法展开研究,并根据民用飞机维修性设计现状,量化了维修要求的人为因素评分核对表,对抽样评分方法进行了优化。通过抽样评分法对某机型电源系统的维修性进行了预计,评价是否达到维修性设计要求。最后阐述了抽样评分法在民用飞机维修性设计过程中的重要性。

关键词: 抽样评分;维修性;电源系统;预计

中图分类号: V267

文献标识码: A

OSID:



0 引言

维修性预计是在飞机研制阶段对各系统的维修性进行定量评估,依据组成各系统的航线可更换单元的维修性来预计系统及整机维修性,是一个自下而上、从局部到整体、由小到大的一种系统综合过程。将预计的结果与要求的维修性指标相比较,评价设计要求提出的维修性指标是否能够达到^[1-3]。维修性预计主要有功能层次预计法、抽样评分预计法、时间累计预计法^[4-6]。其中,抽样评分预计法是抽取系统或设备中足够的可更换单元,按照核对表对其进行维修作业评分,再用经验公式估算出维修时间^[7]。

在飞机研制过程中通过对飞机系统、子系统和设备的维修性预计,可以评价设计要求的维修性指标是否能够达到。在设计初期通过维修性预计对比不同方案的维修性水平,能够为最优方案的选择及

方案的优化提供依据。在详细设计过程中通过维修性预计可以发现影响系统维修性的主要因素,确定需要优化的方向。但是目前我国现行的用于民用飞机系统和设备的维修性预计方法,多数是直接翻译的美国军用标准,不符合我国民用飞机研制的实际条件,可用性不强,在实际使用维修性预计方法过程中常常遇到困难。

1 抽样评分预计法

GJBZ57-1994^[8]规定的抽样评分预计法抽取设备中足够的航线可更换单元,按照核对表对其进行维修作业评分,再将评分代入经验公式估算出维修时间。抽样评分预计法无需对全部的航线可更换单元进行维修性分析,且可以在设计初始阶段进行初步预计,及时发现维修性设计的薄弱环节,提早采取优化措施。具体维修性预计步骤如图 1 所示。

* 通信作者. E-mail: wangjiexuan@comac.cc

引用格式: 王洁萱. 基于抽样评分法的民用飞机电源系统维修性预计[J]. 民用飞机设计与研究, 2021(1):98-101. WANG J X. Maintainability prediction of civil aircraft electrical power system based on sampling scoring method[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2021(1):98-101 (in Chinese).

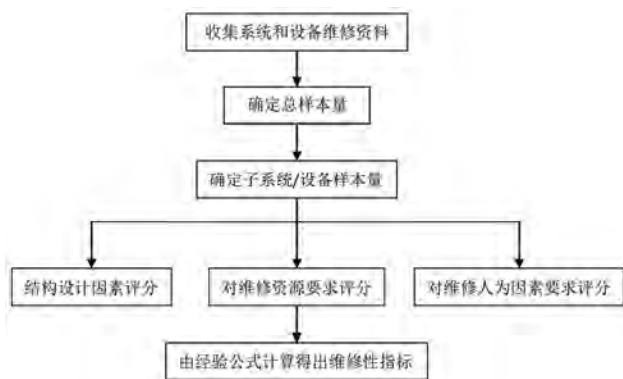


图 1 抽样评分预计步骤

通过上述抽样评分预计法步骤可知,在预计之前,需要掌握系统或设备的结构布局、原理图、布置和维修位置、维修资源清单等维修相关资料。在评分之前,需要对维修过程进行分析,还需考虑合理的故障隔离和诊断步骤。

GJBZ57-1994 规定的抽样评分预计法通过三个核对表分别对维修过程中结构设计因素、维修资源、维修人为因素进行打分,其中对设计要求维修的人为因素核对中,每一项核对因素的计分都分为“0 分、1 分、2 分、3 分、4 分”五档,但每一档的评分标准都不是定量的,不方便计分。以核对因素“力量”为例,“0 分、1 分、2 分、3 分、4 分”分别对应“需要维修人员付出极大的力、需要维修人员付出的力量高于平均值、需要维修人员付出的力量恰为平均值、需要维修人员付出的力量低于平均值、需要维修人员花费很小的力量”,虽然档位和分数划分细致,但非定量的评分标准并不便于对维修的人为因素进行评分,影响预计结果的精度。为了匹配国内民用飞机维修性设计现状,对维修的人为因素要求核对表进行优化,减少评分档位,并进行量化。如将核对因素“力量”,计分为“0 分、2 分、4 分”,分别对应“需要单个维修人员搬起超过 10 kg 的设备、需要维修人员搬起 5 kg ~ 10 kg 的设备、需要维修人员搬起低于 5 kg 的设备”。通过减少评分档位并量化维修人为因素核对表评分指标,可以缩减评分时间、简化评分流程,提高维修性预计的效率与准确度。

2 电源系统基本工作原理

飞机电源系统用于产生并向全机用电设备提供电功率。作为飞机机载设备中的“血液”部分,完成向所有飞机的用电设备供电,对飞机的安全与可靠运行发挥着不可替代的作用^[9]。根据其功能主要

包括直流电源系统、交流电源系统、配电系统和外电源系统。飞机正常运行时,由机载交流电源系统向全机用电设备供电,由 APU 驱动的交流恒频发电机作为辅助交流电源,由 RAT 驱动的发电机作为应急交流电源并可通过变压整流器向直流应急设备供电,机载直流用电设备由 TRU 和蓄电池供电,飞机在地面时由外电源向机载用电设备供电,电源系统具有自检功能并与中央维护系统互联。

电源系统的设备主要有主发电机、APU 发电机、发电机控制器、配电盘箱、静止变流器、主蓄电池等,分别安装在左右发动机短舱、电子设备舱、驾驶舱、货舱和 APU 舱等部位。

随着飞机用电设备的日益增多,综合化程度越来越高,电源系统的可靠性、维修性成了人们日益关注的目标,其性能的优劣成了保障机载用电设备功能正常与否的决定性因素^[10]。根据目前民用飞机维修性设计水平,分配给电源系统的维修性指标为平均修复时间不大于 20 min。

3 确定样本量

规定平均修复时间 \bar{M}_c 的允许误差 k 为 $\pm 25\%$,置信度为 90%,则给定置信度对应的百分位数 $Z_{1-\alpha/2} = 1.645$,令变异系数 $C_x = 1.07$,代入公式(1)计算得到抽取总样本量 N 为 50。

$$N = \left[C_x \left(\frac{Z_{1-\alpha/2}}{k} \right) \right]^2 \quad (1)$$

根据经验或相似机型各子系统中航线可更换单元的数量和故障数,计算得到各子系统相对于总故障次数的百分数,再根据总样本量 50 按比例分配从而得到每个子系统抽取样本量,如表 1 所示。

表 1 各系统样本量

| 系统类别 | 数量 | 故障数/ 10^6 h | 各类单元 每 10^6 h 的 故障次数 | 相对于总的 故障次数的 百分数(%) | 计算的 作业样 本量 | 实际所使 用的作业 样本量 |
|--------|-----|------------------|------------------------------|--------------------------|------------------|---------------------|
| 交流电源系统 | 22 | 462.01 | 10 164.22 | 41.23 | 20.61 | 21 |
| 直流电源系统 | 10 | 93.6 | 936 | 3.8 | 1.9 | 2 |
| 外电源系统 | 2 | 0.05 | 0.1 | 0 | 0 | 0 |
| 配电系统 | 113 | 119.92 | 13 550.96 | 54.97 | 27.49 | 27 |
| 总计 | 147 | | 24 651.28 | 100 | 50 | 50 |

4 作业分析

以飞机主蓄电池的维护为例进行作业分析和评分。飞机蓄电池作为辅助电源,主要用作飞机地面初始上电、机载应急供电电源和 APU 起动电源,一般布置在电子设备舱内^[11]。

主蓄电池故障分析逻辑图如图 2 所示。在故障隔离与测试时,需要用到的特殊工具为充/放电工作台、平衡电阻器、单元抽取工具。由于重量较大,需要双人操作。维护中需要警惕:不要在很热的环境中安装主蓄电池;定期检查主蓄电池容量;在充电站进行主蓄电池充电。

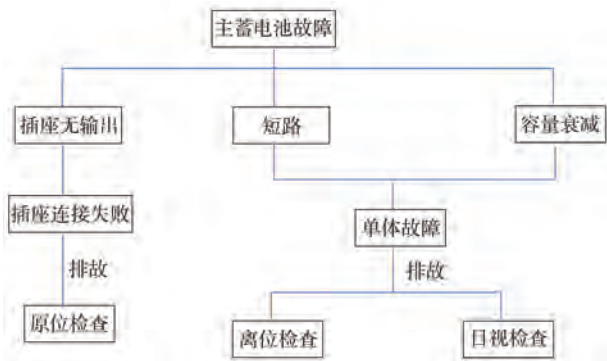


图 2 蓄电池维护逻辑图

5 作业评分与维修性预计

根据核对表对维修作业进行评分,将评分结果填入作业评分表中,见表 2。评分表中 A 为结构设计因素评分;B 为设计要求的维修资源等因素评分;C 为设计要求的维修人为因素评分。将 A、B、C 的总计值代入公式(2),得到蓄电池的平均修复时间 \bar{M}_{ct} 为 14.7 min。

$$\bar{M}_{ct} = \exp(3.54651 - 0.02512A - 0.03055B - 0.01093C) \quad (2)$$

表 2 作业评分表

| 评分项 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 总计 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| A | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 |
| B | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | 12 |
| C | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 8 |

举例说明作业评分表中的计分方法。在核对表 A 中,问题 1 得到 4 分,因为主蓄电池布置于电子设备舱中,空间开敞,不被其他设备遮挡,可达性好,维

修人员可以清楚地看到主蓄电池上面的标签标识并进行维护作业,符合“维修通道对于观察和手工操作都是足够的”。问题 2 得到 2 分,因为其外部卡锁和紧固件为卡带、拉杆和电插头,拆卸紧固件时需用尖嘴钳拆掉保险,并用套筒扳手拆掉螺栓,符合“紧固牢靠、不需要专用工具、稍微旋动即可松开”这三条中的两条“紧固牢靠和不需要专用工具”。核对表 B 中,问题 1 得到 0 分,因为对外部测试设备的要求需要电流表、电压表、密度计、兆欧表,符合“完成维修活动需要四台或更多的测试设备,要确定故障位置需要大量的测试”。问题 2 得到 4 分,因为对主蓄电池进行维护时不离线就能通过测试确定有缺陷的航线可更换单元。问题 3 得到 0 分,因为在维护工作中需要用到的附加器材有进入电子设备舱需要的梯子、电池充放电需要用到充电站等,符合“完成维修工作需要一件以上的附加器材”。完成维修工作需要核对表 C 中,问题 1 得到 0 分,因为蓄电池重约 21 kg,维修作业需要双人操作,且电子舱内空间不够开敞,需要单个维修人员搬起超过 10 kg 的设备,付出的力量和高于平均值。问题 2 得到 0 分,因为主蓄电池较重,且布置在地板下方,需要维修人员蹲姿或者跪姿进行维护工作,腰部腿部受力大,并且故障定位于维护工作繁琐,符合“需要维修人员有极好的耐久性”。

按照相同方法对电源系统样本中其它航线可更换单元进行打分,计算得到每个航线可更换单元的平均修复时间,将每个航线可更换单元的平均修复时间 \bar{M}_{ct} 代入公式(3),得到电源系统的平均修复时间为 17.3 min,与分配给电源系统的维修性指标对比,未超过分配给电源系统的指标 20 min。

$$\bar{M}_{ct} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{M}_{cti}}{N} \quad (3)$$

6 结论

抽样评分法适用于研制阶段维修性预计,在设计完成之前进行粗略估计。如果预计时间超过分配值,则可从结构设计、维修资源、维修人为因素三方面发现影响系统维修的主要因素,确定需要采取的纠正措施,进行优化设计,降低系统或设备的平均修复时间。也可以在研制初始阶段识别出维修性较差的设备,在持续设计进程中重点关注并持续优化这些关键设备的维修性,从而提高整机维修性设计水

平,减少维修成本,提高整机竞争力。本文对维修性预计中抽样评分法进行了分析,对核对评分表进行优化,并给出通过抽样评分法预计电源系统平均修复时间的详细过程,可以在设计初期即对系统的维修性进行预计,为民用飞机维修性设计提供支持。

参考文献:

- [1] 王红征,李国胜. 军用电子设备的维修性预计方法[J]. 兵工自动化,2017,36(12):9-12.
- [2] 郭涛,刘敬明,介党阳. 层次分析法在复杂装备维修预计中的应用[J]. 四川兵工学报,2015,36(3):80-83.
- [3] 郭博智,王敏芹,吴昊. 民用飞机维修性工程[M]. 北京:航空工业出版社,2018:94.
- [4] 李希宁,李忠厚,张奕奕. 基于维修性预计的机车网侧柜设计改进[J]. 铁道机车车辆,2015(5):106-108.
- [5] 张奕奕. 基于时间累计法的机车维修性预计分析

- [J]. 电力机车与城轨车辆,2011,34(6):65-68.
- [6] 宋保维,董博超,梁庆卫,等. 基于层次分析法的维修性预计方法[J]. 鱼雷技术,2011,19(3):226-230.
- [7] 张胜涛,娄寿春,汤阳春. 维修性预计方法运用现状及展望[J]. 航空维修与工程,2006(4):47-49.
- [8] 总后勤部军械供应部. GJB/Z 57-94 维修性分配与预计手册[S]. 北京:国防科学技术工业委员会,1994.
- [9] 刘建英,任仁良. 飞机电源系统[M]. 北京:中国民航出版社,2013:1-10.
- [10] 王国强,严东超. 飞机电源系统维修性概况[J]. 江苏航空,2015(1):17-18.
- [11] 刘泽元. 飞机蓄电池测试技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2015.

作者简介

王洁萱 女,硕士,工程师,主要研究方向:民用飞机维修性设计。E-mail: wangjiexuan@comac.cc

Maintainability prediction of civil aircraft electrical power system based on sampling scoring method

WANG Jiexuan *

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

Abstract: The maintainability of civil aircraft directly affects market competitiveness and is one of the key factors for the successful operation of civil aircraft. The maintainability prediction is one of the main tasks in the civil aircraft development process, which can evaluate whether the design meets maintainability requirements. As one of the methods of maintainability prediction, sampling scoring method has the advantages of small sample size, simple prediction and can be used in the initial stage of design. The power system supplies power to all electrical equipment of the aircraft, and its maintainability directly affects the normal operation of the airborne equipment, and plays a key role in the maintainability design of the whole aircraft. This paper studies on the sampling scoring method, and according to the current status of civil aircraft maintainability design, quantifies the human factor rating checklist for the maintenance requirements. and the sampling scoring method is optimized. In this paper, the maintainability of the electrical power system of a certain aircraft type was estimated by sampling scoring method, and whether it meets the maintainability design requirements is evaluated. Finally, the importance of sampling scoring method in the process of civil aircraft maintenance design was expounded.

Keywords: sampling scoring; maintainability; electrical power system; prediction

* Corresponding author. E-mail: wangjiexuan@comac.cc