

光电系统伺服稳定平台可靠性定性分析

郑凤翥 宁飞 王惠林 吴雄雄 王冠 赵志草 周云 王乐

Qualitative analysis of reliability on servo stabilization platform of electro-optical system

ZHENG Fengzhu, NING Fei, WANG Huilin, WU Xiongiong, WANG Guan, ZHAO Zhicao, ZHOU Yun, WANG Le

引用本文:

郑凤翥, 宁飞, 王惠林, 等. 光电系统伺服稳定平台可靠性定性分析[J]. 应用光学, 2022, 43(5): 853–858. DOI: 10.5768/JAO202243.0501004

ZHENG Fengzhu, NING Fei, WANG Huilin, et al. Qualitative analysis of reliability on servo stabilization platform of electro-optical system[J]. Journal of Applied Optics, 2022, 43(5): 853–858. DOI: 10.5768/JAO202243.0501004

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.5768/JAO202243.0501004>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

高精度光电跟踪系统中伺服稳定控制算法研究

Servo stabilization control algorithm in high-precision photoelectric tracking system

应用光学. 2021, 42(4): 597–607 <https://doi.org/10.5768/JAO202142.0401005>

大型矩形准直镜柔性支撑系统的多目标优化设计和稳定性分析

Multi-objective optimization design and stability analysis of flexible support system for large rectangular collimator mirror

应用光学. 2021, 42(2): 215–222 <https://doi.org/10.5768/JAO202142.0201002>

差动柔性绳传动惯性稳定平台载荷分析与结构校核

Load analysis and structure checking of inertially stabilized platform based on cable differential transmission

应用光学. 2018, 39(5): 619–626 <https://doi.org/10.5768/JAO201839.0501005>

系留升空平台光电探测目标的坐标转换误差分析

Coordinate conversion error analysis of photoelectric detection targets on tethered lift-off platform

应用光学. 2020, 41(6): 1137–1146 <https://doi.org/10.5768/JAO202041.0601001>

精密柔性传动技术在光电系统中的应用研究

Application of precision flexible drive in electro-optical system

应用光学. 2017, 38(3): 341–347 <https://doi.org/10.5768/JAO201738.0301001>

基于色差分析的不同光源下颜色稳定性研究

Study on color stability under different light sources based on color difference analysis

应用光学. 2020, 41(6): 1247–1254 <https://doi.org/10.5768/JAO202041.0603005>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

文章编号: 1002-2082 (2022) 05-0853-06

光电系统伺服稳定平台可靠性定性分析

郑凤翥, 宁 飞, 王惠林, 吴雄雄, 王 冠, 赵志草, 周 云, 王 乐

(西安应用光学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要: 以两轴四框架光电系统伺服稳定平台为研究对象, 运用故障模式、影响及危害性分析 (FMECA) 以及模糊层次分析法, 对伺服稳定平台的可靠性进行定性分析。在得到伺服稳定平台的关键故障模式和可靠性关重产品清单后, 充分考虑人为主观判断的模糊性, 继续深入分析关重产品对可靠性影响的重要度排序, 以此作为后续可靠性设计和分配的重要参考。

关键词: 光电系统; 伺服稳定; 模糊层次分析法; 可靠性分析

中图分类号: TN206

文献标志码: A

DOI: 10.5768/JAO202243.0501004

Qualitative analysis of reliability on servo stabilization platform of electro-optical system

ZHENG Fengzhu, NING Fei, WANG Huilin, WU Xiongiong, WANG Guan, ZHAO Zhicao, ZHOU Yun, WANG Le

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: Taking the servo stabilization platform of two-axis and four-frame electro-optical system as the research object, the reliability of servo stabilization platform was qualitatively analyzed by using the failure mode, effects and criticality analysis (FMECA) and fuzzy analytic hierarchy process. After obtaining the critical failure modes and the list of reliability critical products of the servo stabilization platform, the fuzziness of human subjective judgment was fully considered, and the importance ranking of the impact of key products on reliability was further analyzed, which could be used as an importance reference for subsequent reliability design and distribution.

Key words: electro-optical system; servo stability; fuzzy analytic hierarchy process; reliability analysis

引言

光电系统是载机的重要任务设备之一, 利用可见光摄像机、红外热像仪、激光测距机等关键光学传感器, 可实现对特定区域、特定景物的远程、高清成像, 而伺服稳定平台是光电系统的骨架、神经, 其可靠性水平将严重影响光电系统的功能、性能。因此, 对伺服稳定平台开展可靠性分析至关重要。故障模式、影响及危害性分析(FMECA)是一种有效的可靠性定性分析方法, 它通过系统地分析, 确定元器件、零部件、设备、软件在设计 and 制造过程中所有潜在的故障模式, 以及每一个故障模式的原因和影响, 并按故障影响的后果对每

一个潜在故障模式划等分类, 以便找出潜在的薄弱环节, 提出改进措施^[1]。然而, 在利用 FMECA 得到关键故障模式及可靠性关重产品后, 在后续的可靠性设计、可靠性指标分配中, 人为主观判断的影响较大。因此, 为降低人为主观判断对设计、分配结果的影响, 提高可靠性定性分析对可靠性设计、可靠性指标分配的指导作用, 在得到可靠性关键故障模式及关重产品后, 将继续深入分析关重产品对可靠性影响的重要度排序。

1 伺服稳定平台 FMECA

伺服稳定平台, 作为光电系统的结构支撑, 为

收稿日期: 2022-05-09; 修回日期: 2022-06-08

基金项目: 173 计划基础研究基金 (2021-XXXX-XX-0812)

作者简介: 郑凤翥 (1988—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事光电总体技术研究。E-mail: zffz19881021@163.com

光电传感器、图像处理单元、减振装置等提供安装平台;同时,在任务计算机板、电源板、伺服接口板、伺服驱动板、电机、旋变、陀螺等组件的协调配合下,响应操控人员指令,驱动光电系统在方位向、俯仰向运动^[2]。

机械结构件虽然采用无限寿命设计,但机械组件的装配精度、磨损等可影响伺服稳定平台可靠性,故本文将机械组件作为单独硬件单元,参与伺服稳定平台 FMECA,并以此为依据,要求在后续可靠性分配中,对其分配相应的可靠性指标。

1.1 故障严酷度类别及发生概率

根据伺服稳定平台的每个故障模式对光电系统的最终影响程度,确定其严酷度类别。光电系统严酷度类别及定义如表 1 所示。

危害度等级严格按照 GJB/Z 1391—2006《故障模式、影响及危害性分析指南》,定性危害性矩

表 1 光电系统严酷度类别及定义

Table 1 Severity category and definition of electro-optical system

严酷度类别	严重程度定义
I	引起光电系统损坏或影响载机飞行安全
II	引起光电系统功能丧失或任务失败
III	引起光电系统性能下降或任务降级
IV	对光电系统无影响,但会导致非计划维修

阵分析时,将每个故障模式发生概率的等级划分为 A、B、C、D、E 五级。

1.2 可靠性关重产品

通过对伺服稳定平台硬件故障模式、影响及危害性分析,伺服稳定平台共 24 个故障模式中,没有严酷度为 I 类的故障,严酷度为 II 类的有 17 个。得到伺服稳定平台可靠性关重件清单如表 2 所示。

表 2 可靠性关重产品清单

Table 2 List of reliability critical products

初始约定层次: 光电系统			约定层次: 伺服稳定平台			
产品标识	产品名称	产品功能	故障模式	故障影响	严酷度类别	危害度等级
10	平台机械组件	为伺服稳定平台其余部件的安装提供支撑	102、运转出现卡滞	任务失败	II	B
			103、机械零件损伤或破坏	任务失败	II	C
20	电机	接收伺服驱动板指令,驱动伺服稳定平台运转	201、电机无法正常驱动	任务失败	II	C
			203、电机运动卡滞	任务失败	II	C
30	旋变	为伺服稳定平台提供精确的角度信息	301、旋变输出角度故障或不正常	任务失败	II	B
40	陀螺	为伺服稳定平台提供精确的角速度信息	401、陀螺自检信号故障	任务失败	II	B
50	电源板	为伺服稳定平台提供电能	501、±15 V 电压输出故障	任务失败	II	B
			502、±12 V 电压输出故障	任务失败	II	B
			503、+5 V 电压输出故障	任务失败	II	B
60	任务计算机板	负责整个光电系统任务控制与有效执行	601、CPU 模块故障	任务失败	II	C
			602、CPU 不工作	任务失败	II	C
			603、CPU 自动复位	任务失败	II	C
70	伺服接口板	对多类传感器进行采样,控制命令、旋变激励信号输出等	701、R/D 通道故障	任务失败	II	B
			704、I/O 通道发生故障	任务失败	II	B
			705、接口电路故障	任务失败	II	B
80	伺服驱动板	接收伺服接口板控制指令,并向电机发送驱动信号	801、PWM 放大器输出异常	任务失败	II	B
			802、使能模块故障	任务失败	II	B

从表 2 可知:平台机械组件 10、电机 20、旋变 30、陀螺 40、电源板 50、任务计算机板 60、伺服接口板 70、伺服驱动板 80 为伺服稳定平台可靠性关重产品,对关重产品对应的关键故障模式应通过

设计改进、使用补偿等措施予以消除。

2 可靠性关重产品重要度分析

虽然,借助 FMECA 得到了伺服稳定平台的可

可靠性关键产品,但受限于技术水平、体积质量、成本控制等,无法对关键产品的每个关键故障模式采用设计改进、使用补偿等措施一一消除。因此,需对关键产品的重要度进行深入分析,将重要度高的关键产品对应的关键故障模式采用设计改进、使用补偿等措施予以消除,对无法通过该措施予以消除的关键故障模式,其对应的关键产品在后续可靠性分配时应分配较高的可靠性指标,以提高伺服稳定平台可靠性。

2.1 模糊层次分析法

模糊层次分析法是基于模糊一致关系和模糊一致矩阵的模糊集合理论,它是在层次分析法的基础上,充分考虑了人为主观判断的模糊性,是一种更好地处理含有模糊性的决策问题的分析方法。该方法的分析思路是:将复杂分析对象分解为目标层、准则层和指标层,对同一层的指标,两两之间的重要程度做出判断,建立判断矩阵,并计算出每一因素对高一层指标重要性程度的权重,得到判断矩阵对应的权重向量,为最优选择提供依据。它能利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化,进而为多目标、多准则和无结构特性的复杂决策问题提供基于数学理论的分析方法^[3-13]。

2.2 重要度分析

1) 建立多级递阶结构

目标层 A 为伺服稳定平台可靠性,准则层 B 为快速性(响应的快速性)、精准性(控制的精准性)、平稳性(运动的平稳性),方案层 C 为平台机械组件、电机、旋变、陀螺、电源板、任务计算机板、伺服接口板、伺服驱动板。建立的多级递阶结构如图 1 所示。

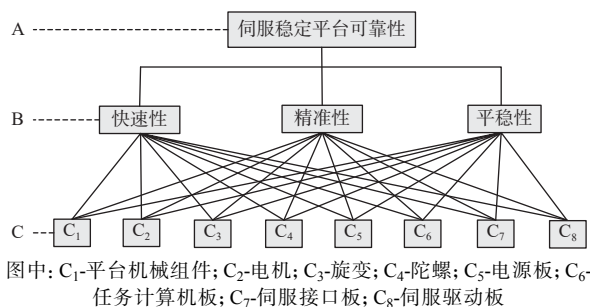


图 1 伺服稳定平台多级递阶结构

Fig. 1 Multilevel hierarchical structure of servo stabilization platform

2) 建立模糊互补判断矩阵

根据已建立的伺服稳定平台多级递阶结构,采用 0.1~0.9 标度法,对 2 个因素的相对重要程度做

出定量表示,得到各级互补判断矩阵如下:

$$P_A = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.6 \\ 0.6 & 0.5 & 0.7 \\ 0.4 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$P_{B_1} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.6 & 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.4 \\ 0.7 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.6 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.4 \\ 0.6 & 0.4 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.4 \\ 0.4 & 0.3 & 0.6 & 0.7 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.4 \\ 0.3 & 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.4 \\ 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$P_{B_2} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.6 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.3 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.6 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.4 \\ 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$P_{B_3} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.6 \\ 0.6 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.6 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.7 \\ 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.6 \\ 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.4 \\ 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

式中: P_A 为 3 个判断准则对伺服稳定平台可靠性影响重要程度的互补判断矩阵,即 A 级判断矩阵; P_{B_i} ($i=1,2,3$) 分别为各方案单元从快速性、精准性和平稳性 3 个判断准则对伺服稳定平台可靠性影响重要程度的互补判断矩阵,即 B 级判断矩阵。

3) 判断矩阵权重向量计算

权重向量的计算采用文献 [14] 中的公式:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)}, (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

利用该公式计算以上互补判断矩阵对应的权重向量如下:

3 个判断准则对伺服稳定平台可靠性影响的权重向量为

$$W_A = (0.333\ 3, 0.383\ 3, 0.283\ 3)^T$$

各判断准则下 8 个方案单元的权重向量为

$$W_{B_1} = (0.126\ 8, 0.141\ 1, 0.110\ 7, 0.114\ 3, 0.132\ 1, \\ 0.119\ 6, 0.121\ 4, 0.133\ 9)^T$$

$$W_{B_2} = (0.132\ 1, 0.137\ 5, 0.139\ 3, 0.112\ 5, 0.116\ 1, \\ 0.112\ 5, 0.121\ 4, 0.128\ 6)^T$$

$$W_{B_3} = (0.141\ 1, 0.144\ 6, 0.130\ 4, 0.128\ 6, 0.114\ 3, \\ 0.105\ 4, 0.112\ 5, 0.123\ 2)^T$$

4) 判断矩阵对应的特征矩阵计算

各判断矩阵对应的特征矩阵按如下公式计算:

$$W_{ij} = \frac{W_i}{W_i + W_j}, (\forall i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 是判断矩阵的权重向量; $\sum_{i=1}^n W_i = 1, W_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, n)$ 。计算得到各特征矩阵如下:

$$W_A^* = \begin{bmatrix} 0.500\ 0 & 0.465\ 1 & 0.540\ 5 \\ 0.534\ 9 & 0.500\ 0 & 0.575\ 0 \\ 0.459\ 5 & 0.425\ 0 & 0.500\ 0 \end{bmatrix}$$

$$W_{B_1}^* = \begin{bmatrix} 0.500\ 0 & 0.473\ 3 & 0.533\ 9 & 0.525\ 9 & 0.489\ 8 & 0.514\ 6 & 0.510\ 9 & 0.486\ 4 \\ 0.526\ 7 & 0.500\ 0 & 0.560\ 4 & 0.552\ 5 & 0.516\ 5 & 0.541\ 2 & 0.537\ 5 & 0.513\ 1 \\ 0.466\ 1 & 0.439\ 6 & 0.500\ 0 & 0.492\ 0 & 0.455\ 9 & 0.480\ 7 & 0.476\ 9 & 0.452\ 6 \\ 0.474\ 1 & 0.447\ 5 & 0.508\ 0 & 0.500\ 0 & 0.463\ 9 & 0.488\ 7 & 0.484\ 9 & 0.460\ 5 \\ 0.510\ 2 & 0.483\ 5 & 0.544\ 1 & 0.536\ 1 & 0.500\ 0 & 0.524\ 8 & 0.521\ 1 & 0.496\ 6 \\ 0.485\ 4 & 0.458\ 8 & 0.519\ 3 & 0.511\ 3 & 0.475\ 2 & 0.500\ 0 & 0.496\ 3 & 0.471\ 8 \\ 0.489\ 1 & 0.462\ 5 & 0.523\ 1 & 0.515\ 1 & 0.478\ 9 & 0.503\ 7 & 0.500\ 0 & 0.475\ 5 \\ 0.513\ 6 & 0.486\ 9 & 0.547\ 4 & 0.539\ 5 & 0.503\ 4 & 0.528\ 2 & 0.524\ 5 & 0.500\ 0 \end{bmatrix}$$

$$W_{B_2}^* = \begin{bmatrix} 0.500\ 0 & 0.490\ 0 & 0.486\ 7 & 0.540\ 1 & 0.532\ 2 & 0.540\ 1 & 0.521\ 1 & 0.506\ 7 \\ 0.510\ 0 & 0.500\ 0 & 0.496\ 7 & 0.550\ 0 & 0.542\ 2 & 0.550\ 0 & 0.531\ 1 & 0.516\ 7 \\ 0.513\ 3 & 0.503\ 3 & 0.500\ 0 & 0.553\ 2 & 0.545\ 4 & 0.553\ 2 & 0.534\ 3 & 0.520\ 0 \\ 0.459\ 9 & 0.450\ 0 & 0.446\ 8 & 0.500\ 0 & 0.492\ 1 & 0.500\ 0 & 0.481\ 0 & 0.466\ 6 \\ 0.467\ 8 & 0.457\ 8 & 0.454\ 6 & 0.507\ 9 & 0.500\ 0 & 0.507\ 9 & 0.488\ 8 & 0.474\ 5 \\ 0.459\ 9 & 0.450\ 0 & 0.446\ 8 & 0.500\ 0 & 0.492\ 1 & 0.500\ 0 & 0.481\ 0 & 0.466\ 6 \\ 0.478\ 9 & 0.468\ 9 & 0.465\ 7 & 0.519\ 0 & 0.511\ 2 & 0.519\ 0 & 0.500\ 0 & 0.485\ 6 \\ 0.493\ 3 & 0.483\ 3 & 0.480\ 0 & 0.533\ 4 & 0.525\ 5 & 0.533\ 4 & 0.514\ 4 & 0.500\ 0 \end{bmatrix}$$

$$W_{B_3}^* = \begin{bmatrix} 0.500\ 0 & 0.493\ 9 & 0.519\ 7 & 0.523\ 2 & 0.552\ 5 & 0.572\ 4 & 0.556\ 4 & 0.533\ 9 \\ 0.506\ 1 & 0.500\ 0 & 0.525\ 8 & 0.529\ 3 & 0.558\ 5 & 0.578\ 4 & 0.562\ 4 & 0.540\ 0 \\ 0.480\ 3 & 0.474\ 2 & 0.500\ 0 & 0.503\ 5 & 0.532\ 9 & 0.553\ 0 & 0.536\ 8 & 0.514\ 2 \\ 0.476\ 8 & 0.470\ 7 & 0.496\ 5 & 0.500\ 0 & 0.529\ 4 & 0.549\ 6 & 0.533\ 4 & 0.510\ 7 \\ 0.447\ 5 & 0.441\ 5 & 0.467\ 1 & 0.470\ 6 & 0.500\ 0 & 0.520\ 3 & 0.504\ 0 & 0.481\ 3 \\ 0.427\ 6 & 0.421\ 6 & 0.447\ 0 & 0.450\ 4 & 0.479\ 7 & 0.500\ 0 & 0.483\ 7 & 0.461\ 1 \\ 0.443\ 6 & 0.437\ 6 & 0.463\ 2 & 0.466\ 6 & 0.496\ 0 & 0.516\ 3 & 0.500\ 0 & 0.477\ 3 \\ 0.466\ 1 & 0.460\ 0 & 0.485\ 8 & 0.489\ 3 & 0.518\ 7 & 0.538\ 9 & 0.522\ 7 & 0.500\ 0 \end{bmatrix}$$

5) 判断矩阵的一致性检验

一致性检验是检验判断矩阵建立是否合理的依据,可用判断矩阵的相容性来检验一致性。矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 和矩阵 $B = (b_{ij})_{n \times n}$ 的相容性指标采用文献 [15] 中的公式计算。

$$I(A, B) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |a_{ij} + b_{ji} - 1| \quad (3)$$

当相容性指标 $I(A, B) \leq \alpha$ 时,认为判断矩阵为

满意一致的。 α 越小表明决策者对模糊判断矩阵的一致性要求越高,一般取 $\alpha = 0.1$ 。

利用上述公式,计算各判断矩阵与其相对应的特征矩阵的相容性指标如下:

$$I(P_A, W_A^*) = 0.055\ 5 \quad I(P_{B_1}, W_{B_1}^*) = 0.081\ 0$$

$$I(P_{B_2}, W_{B_2}^*) = 0.080\ 2 \quad I(P_{B_3}, W_{B_3}^*) = 0.098\ 7$$

由计算可知:每个判断矩阵与其对应的特征矩阵的相容性指标均小于 0.1,认为每个模糊互补判

断矩阵是满意一致的,其权重集的分配是合理的。

因此,有排序向量组成的评判矩阵 R 为

$$R = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 & C_8 \\ \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.126\ 8 & 0.141\ 1 & 0.110\ 7 & 0.114\ 3 & 0.132\ 1 & 0.119\ 6 & 0.121\ 4 & 0.133\ 9 \\ 0.132\ 1 & 0.137\ 5 & 0.139\ 3 & 0.112\ 5 & 0.116\ 1 & 0.112\ 5 & 0.121\ 4 & 0.128\ 6 \\ 0.141\ 1 & 0.144\ 6 & 0.130\ 4 & 0.128\ 6 & 0.114\ 3 & 0.105\ 4 & 0.112\ 5 & 0.123\ 2 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

式中: B_1 为快速性; B_2 为精准性; B_3 为平稳性。

要度的总排序

6)各方案单元对伺服稳定平台可靠性影响重

总排序结果计算如下:

$$B = W_A^T O R = \begin{bmatrix} 0.333\ 3 & 0.383\ 3 & 0.283\ 3 \end{bmatrix} O \begin{bmatrix} 0.126\ 8 & 0.141\ 1 & 0.110\ 7 & 0.114\ 3 & 0.132\ 1 & 0.119\ 6 & 0.121\ 4 & 0.133\ 9 \\ 0.132\ 1 & 0.137\ 5 & 0.139\ 3 & 0.112\ 5 & 0.116\ 1 & 0.112\ 5 & 0.121\ 4 & 0.128\ 6 \\ 0.141\ 1 & 0.144\ 6 & 0.130\ 4 & 0.128\ 6 & 0.114\ 3 & 0.105\ 4 & 0.112\ 5 & 0.123\ 2 \\ 0.132\ 9 & 0.140\ 7 & 0.127\ 2 & 0.117\ 6 & 0.120\ 9 & 0.112\ 8 & 0.118\ 9 & 0.128\ 8 \end{bmatrix} =$$

式中的算子“O”采用模糊数学的加权平均型运算法则(见公式4),它可以兼顾到各方案单元对伺服稳定平台可靠性的影响,更能体现对伺服稳定平台可靠性研究时的全局观。

$$b_j = \min \left\{ 1, \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} \right\}, \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (4)$$

由(4)式得出各方案单元对伺服稳定平台可靠性影响的重要度见表3。

表3 各方案单元对伺服稳定平台可靠性影响的重要度

Table 3 Importance of influence of each scheme unit on reliability of servo stabilization platform

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
0.132 9	0.140 7	0.127 2	0.117 6	0.120 9	0.112 8	0.118 9	0.128 8

结合模糊理论中的最大隶属度原则,确立的各方案单元对伺服稳定平台可靠性影响重要度的排序为: $C_2 > C_1 > C_8 > C_3 > C_5 > C_7 > C_4 > C_6$,对应的方案单元为:电机>平台机械组件>伺服驱动板>旋变>电源板>伺服接口板>陀螺>任务计算机板。

3 结论

本文将传统的FMECA和模糊层次分析法相结合,提出了一种可有效降低人为主观判断对可靠性设计、分配影响的解决思路。在此基础上,以光电系统伺服稳定平台为研究对象,深入分析了关重产品对伺服稳定平台可靠性影响的重要度排序,该重要度排序将作为后续可靠性设计、可靠性分配的重要依据和参考。因此,可将重要度对可靠性设计与分配的指导研究作为后续研究的方向。

参考文献:

- [1] 谢少锋,张增照,聂国健,等.可靠性设计[M].北京:电子工业出版社,2015:140-141.
XIE Shaofeng, ZHANG Zengzhao, NIE Guojian, et al. Reliability design [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2015: 140-141.
- [2] 谭淦年,李全超,张洪伟,等.某航空光电稳定平台方位框架设计分析[J].应用光学,2016,37(3):327-331.
TAN Songnian, LI Quanchao, ZHANG Hongwei, et al. Design and analysis of azimuth-gimbal in aerial opto-electronic stabilized platform[J]. Journal of Applied Optics, 2016, 37(3): 327-331.
- [3] 李凌峰.模糊层次分析法在无线传感网络安全中的应用研究[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2019,34(1):15-21.
LI Lingfeng. Application of fuzzy hierarchy analysis process in wireless network security[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities(Natural Science), 2019, 34(1): 15-21.
- [4] 吴春林,郭三学.基于模糊层次分析法的反恐装备体系作战效能评估[J].装备环境工程,2018,15(11):129-133.
WU Chunlin, GUO Sanxue. Evaluation of operational effectiveness of anti-terrorism equipment system based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Equipemnt Environmental Engineering, 2018, 15(11): 129-133.
- [5] 张霞,朱杰.基于事故树和模糊层次分析法的飞机火灾事故分析[J].安全,2020,41(4):39-43.
ZHANG Xia, ZHU Jie. Analysis on fire accident of airplane based on fault tree and fuzzy analytical hierarchy process[J]. Safety & Security, 2020, 41(4): 39-43.

- [6] 宋真真, 闫光. 基于模糊层次分析法的飞机航线维修风险管理研究[J]. 中国民航飞行学院学报, 2019, 30(2): 71-80.
- SONG Zhenzhen, YAN Guang. Study of aircraft route maintenance risk management based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2019, 30(2): 71-80.
- [7] 陈飞翔, 郭三学, 牛良超. 基于模糊层次分析法的警用非致命空气炮作战效能评估[J]. 装备环境工程, 2019, 16(5): 101-105.
- CHEN Feixiang, GUO Sanxue, NIU Liangchao, et al. Evaluation of operational effectiveness of anti-terrorism equipment system based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Equipment Environmental Engineering, 2019, 16(5): 101-105.
- [8] 刘一鸣, 王德荣, 熊子明, 等. 基于改进模糊层次分析法的某拦截系统防护效能评估研究[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(7): 113-117.
- LIU Yiming, WANG Derong, XIONG Ziming, et al. Research on protection effectiveness evaluation of an interception system based on improved fuzzy analytic hierarchy process [J]. Journal of Ordnance and Equipment Engineering, 2019, 40(7): 113-117.
- [9] 肖力铭, 齐海生, 屈济坤, 等. 基于直觉模糊层次分析法的空中目标威胁评估[J]. 探测与控制学报, 2019, 41(3): 108-111.
- XIAO Liming, QI Haisheng, QU Jikun, et al. Air target threat assessment based on intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process[J]. Journal of Detection & Control, 2019, 41(3): 108-111.
- [10] 杨志远, 王星, 程嗣怡, 等. 基于直觉模糊层次分析法的雷达导引头干扰效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2016, 41(10): 10-20.
- YANG Zhiyuan, WANG Xing, CHENG Siyi, et al. Jamming effectiveness evaluation of radar seeker based on fuzzy analytical hierarchy process[J]. Fire Control & Command Control, 2016, 41(10): 10-20.
- [11] 戴雨轩. 基于模糊层次分析法的数控滚齿轮可靠性评估方法研究[D]. 吉林: 东北电力大学出版社, 2021.
- DAI Yuxuan. Research on reliability evaluation method of CNC gear hobbing machine based on fuzzy analytic hierarchy process [D]. Jilin: Northeast Electric Power University, 2021.
- [12] 颜权. 基于模糊层次分析法的应急通信能力评估[D]. 昆明: 云南大学, 2017.
- YAN Quan. Emergency capability assessment based on fuzzy analytic hierarchy process[D]. Kunming: Yunnan University, 2017.
- [13] 姚升保, 徐敏. 群组决策中三角模糊互补判断矩阵的相容性及方案排序研究[J]. 中国管理科学, 2012, 5(4): 152-156.
- YAO Shengbao, XU Min. Research on compatibility and scheme ranking of triangular fuzzy complementary judgment matrix in group decision making[J]. Chinese Journal of Management Science, 2012, 5(4): 152-156.
- [14] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵的一种算法[J]. 系统工程学报. 2001, 16(4): 311-314.
- XU Zeshui. An algorithm of fuzzy complementary judgment matrix[J]. Journal of Systems Engineering, 2001, 16(4): 311-314.
- [15] 陈华友, 赵佳宝. 模糊判断矩阵的相容性研究[J]. 运筹与管理, 2004, 13(1): 44-47.
- CHEN Huayou, ZHAO Jiabao. Research on compatibility of fuzzy judgment matrices[J]. Operations Research and Management Science, 2004, 13(1): 44-47.