

Research on Fault Prediction and Reliability Evaluation of Instrument Landing System Based on Multiple Analysis Methods

Xinquan Qin

Chengdu ATM Engineering Construction Co, Ltd of Southwest Region of CAAC

Email: 411815541@qq.com

Abstract

With the continuous improvement of people's demand for time and efficiency, the frequency of people choosing to take airplanes for daily travel is gradually increasing, leading to enormous pressure and challenges at various airports in China. Only by ensuring the safety of flight can we provide a more stable guarantee for people's safe travel. The instrument landing system, as an important system in the air traffic control system to ensure the efficiency and safety of aircraft operations, provides navigation services for aircraft landing. Proper operation and maintenance of this system can ensure uninterrupted service for the aircraft. The research on fault prediction and reliability assessment of instrument landing systems is therefore even more important. This article first elaborates on the composition of the instrument landing system, and conducts in-depth analysis on the fault prediction and reliability evaluation of the instrument landing system from multiple aspects, hoping to provide corresponding assistance for the operation and maintenance of related equipment and the improvement of airport operation efficiency.

Keywords: *Instrument Landing System; Fault Prediction; Reliability Assessment Research*

基于多种分析方法的仪表着陆系统故障预测与可靠性评估研究

秦新泉

成都西南民航空管工程建设有限责任公司

摘要: 随着人们对时间和效率的需求, 日常出行选择乘坐飞机的频率也在逐步增加, 导致我国的各个机场正在承受着巨大的压力与挑战。只有保证飞行的安全, 才能够为人们的安全出行提供更加稳固的保障。仪表着陆系统作为空管系统中保障飞机运行效率和运行安全的重要系统, 为飞机的着陆提供导航服务。做好这一系统的运行维护, 就能够让飞机获得不间断的服务。仪表着陆系统故障预测和可靠性评估研究也因此更加重要。本文先阐述了仪表着陆系统的组成, 并从多方面对仪表着陆系统故障预测与可靠性评估进行了深入的分析, 希望能够给相关设备的运行维护和提升机场运行效率方面提供相应的帮助。

关键词: 仪表着陆系统; 故障预测; 可靠性评估研究

引言

仪表着陆系统作为现阶段民用航空运输机场应用最广泛且最稳定的引导系统, 具有十分广阔的发展前景。因为仪表着陆系统是飞机进近过程中的重要引导设备, 在能见度较差时, 飞行员主要依靠该系统实施进近着陆程序, 一旦该系统发生故障, 飞机只能备降或返航。随着导航设备的日益增加, 一方面飞行校验存在运力不足的问题, 另一方面, 频繁的飞行校验对大型机场的航班正常率造成了一定的影响。通过使用

这一系统，能够真正保证飞机飞行的安全性。并且由于目前我国民航业正处于飞速发展的状态，在飞机航班量和飞机次数逐渐增加的状态下，仪表着陆系统的运行就能够让飞机更好地满足标准的安全需求，真正推动民航业的高效发展。基于此，本文以多种分析方法为基础，实现了对仪表着陆系统故障预测和可靠性评估的研究，从根源上降低仪表着陆系统出现故障的概率。

1 仪表着陆系统

1.1 系统组成

仪表着陆系统（Instrument Landing System，简称 ILS），也被称为盲降系统，是应用最为广泛的飞机精密进近和着陆引导系统。该系统通过地面发射的两束无线电信号实现航向道和下滑道的指引，建立一条由跑道指向空中的虚拟路径，引导飞机沿正确方向飞向跑道并平稳下降高度，最终实现安全着陆。仪表着陆系统主要由以下几个部分组成：（1）航向信标。负责飞机的横向定位，确保飞机在跑道的中心线上着陆。航向信标台发出与跑道中心线对准的航向面信号。（2）下滑信标。负责飞机的纵向定位，提供飞机下滑路径的垂直引导，帮助飞行员保持正确的下滑角度。下滑信标台发出仰角在 $2.5^{\circ}\sim 3.5^{\circ}$ 之间的下滑面信号。（3）指点信标/测距仪。用于确定飞机距离跑道入口的距离。指点信标通过不同的信号频率和灯光、声音组合，为飞行员提供距离和高度校验信息。测距仪则提供以海里为单位的距跑道斜距离信息^[1]。

1.2 工作原理

仪表着陆系统的工作原理是通过地面设备向飞机发送精确的水平和垂直引导信号。飞机上的机载接收设备接收这些信号，并转化为飞行员可以理解的指示信息（如仪表指针的偏转）。飞行员根据这些指示信息调整飞机的姿态和航向，以确保飞机沿着预定的下滑道飞行，并最终安全降落在跑道上。如图一所示，是仪表着陆系统的地面设施示意图。仪表着陆系统在工作过程中，会严格根据国际民航组织（ICAO）的规定，将仪表着陆系统分为 I 类、II 类和 III 类运行标准，从而采取相应的工作方式。不同类别的运行标准对应着不同的天气条件和跑道视程要求。例如：III 类运行标准允许在极低能见度条件下进行着陆操作。

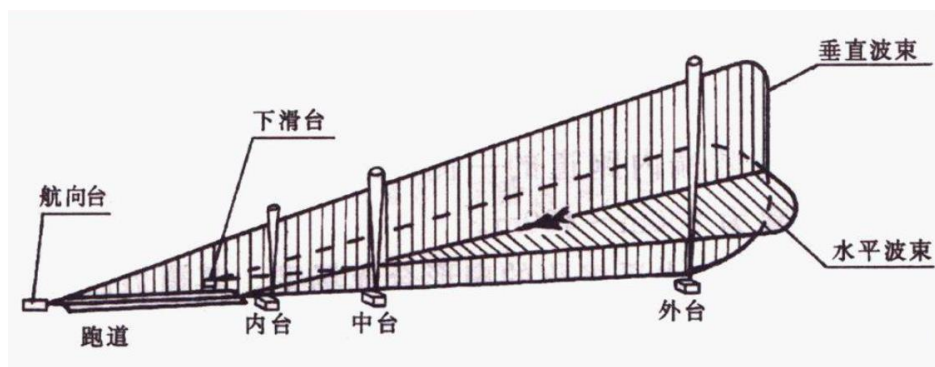


图 1 仪表着陆系统地面设施示意图

1.3 发展历程

仪表着陆系统自 1947 年由 ICAO 确认为国际标准着陆设备以来，经历了不断的发展和完善。其发展历程可以追溯到 20 世纪 30 年代，经过多年的技术改进和完善，最终在 1947 年由国际民用航空组织（ICAO）确认成为国际标准着陆设备。20 世纪 20 年代，飞机主要依赖目视导航。到了 20 世纪 30 年代，随着技术的发展，出现了无线电导航，包括中波四航道无线电信标和无线电罗盘，这标志着飞机导航从目视导航向仪表导航的转变^[2]。50 年代惯性导航系统和多普勒导航系统的出现，进一步推动了导航技术的发展。直至 70 年代，随着全球定位系统（GPS）的发展，使得导航技术更加精确和广泛使用，目前，全世界的仪表着陆系统都采用 ICAO 的技术性能要求。因此任何配备盲降系统的飞机在全世界任何装有盲降设备的机场都能得到

统一的技术服务。在中国，随着民航事业的快速发展和机场建设项目的不断推进，仪表着陆系统得到了广泛应用和普及。

1.4 特点

（1）精准性。仪表着陆系统能在复杂气象条件下提供精确而直观的仪表着陆相关信息，驾驶员只需根据提供的信息进行操作，就能够实现精准的降落。如：在《目视着陆飞机条例 VFR 中》，规定的目视进场条件精确到了米。要求其目视距离超过 48000 米，云层高度大于 300 米。（2）灵活性。仪表着陆系统可根据机场和气象条件选择不同的工作类型。在实际使用仪表着陆系统时，驾驶员可以根据机场的净空条件、决断高度等因素，实现工作类型的选择，确保其符合地面设备的精度和机载接收设备等。（3）规范性。仪表着陆系统可以使用国际通用的标准设备，就能够规范地完成各项工作。（4）安全性。仪表着陆系统作为被国际民航组织确定的“飞机标准进近和着陆设备”，其使用的过程中，能够为驾驶员提供着陆的引导信息。即便在天气条件比较恶劣的情况下，也能够让飞机更加安全地着陆^[3]。

2 仪表着陆系统故障预测与可靠性评估研究

2.1 仪表着陆系统故障预测

仪表着陆系统故障预测属于一种十分先进的维修保障形式，能够结合系统的历史运行状态信息进行故障预测，从而判断系统能否在未来状态完成其功能的能力。仪表着陆系统作为一种电子系统，其故障预测能够有效降低因故障导致的损失以及所带来的影响，实现对其运行状态的预测性诊断。在对仪表着陆系统进行故障预测时，应按照表 1 所示的标准进行诊断。

表 1 诊断标准

等级	决断高	跑道视程
第一类仪表降落系统(CAT I)	>200 英尺(60 米)	550 米以上或能见度 800 米以上
第二类仪表降落系统(CAT II)	100-200 英尺(30-60 米)	350 米以上
第三 A 类仪表降落系统(CATIA)	低于 100 英尺(30 米)或无决断高	175 米以上
第三 B 类仪表降落系统(CATIB)	低于 50 英尺(15 米)或无决断高	50~175 米
第三 C 类仪表降落系统(CATIC)	无决断高	无跑道视程限制

2.1.1 仪表着陆系统的定期维护

定期维护是实现仪表着陆系统故障预测最有效的方法，通过适当的定期维护，能够确保系统处于正常的工作状态，真正预防各种可能存在的问题。在进行仪表着陆系统的定期维护时，应包括以下几方面的内容：（1）供电及接地系统的建设。仪表着陆系统使用的设备供电应足够稳定，具有良好的接地系统。通过这一方面的检查，能够有效避免因电气干扰导致系统的运行受到影响。（2）运行环境条件。对仪表着陆系统所在的运行环境的湿度、温度等多方面内容跟进下检查，确保设备能够处于适当的运行环境下。在这一过程中，还需有效避免因环境因素导致的系统运行出现问题情况，并适当提供系统的运行效率。（3）软件系统维护。通过定期进行软件系统的维护，找出软件中存在的漏洞。及时进行修复，保证系统软件运行的安全性和稳定性。（4）硬件设备维护。仪表着陆系统使用的设备较为高级，在进行设备维护时，要确保设备的清洁度。同时也要及时更换其中存在的老化或损坏的部件，检查连接线中是否存在松动或损坏的情况，将其解决。（5）信号传输设备维护。信号传输设备属于仪表着陆系统中运用的主要设备之一，通过对其进行维护，确保信号传输的稳定性与安全性，达到维护的理想效果^[4]。

2.1.2 基于 GRU 的航向信标故障预测方法

想要对仪表着陆系统进行精准的故障预测，应先实时掌握航向信标的运行状态。做好提前预防和处理故障的工作，避免因故障带来较大损失。基于 GRU（图 2）进行航向信标的故障检测，就能够通过明确航向信标的监控参数和变化趋势，实现故障的预测。

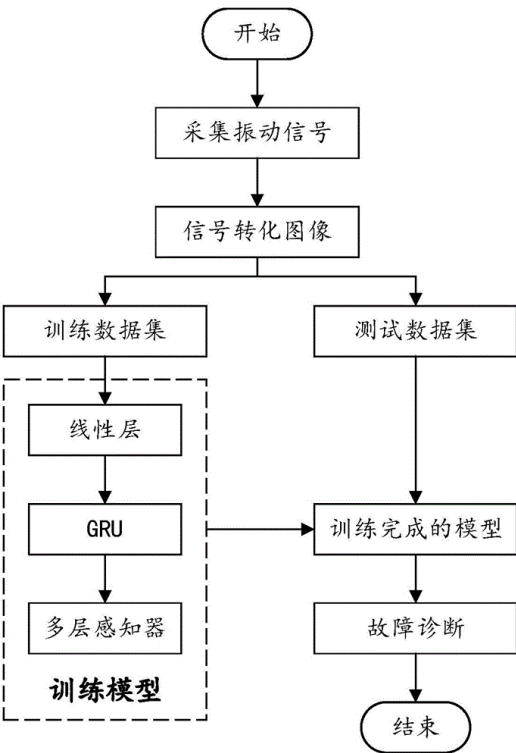


图 2 GRU 故障预测原理

首先，应预先完成航向信标运行数据信号如强度、信号噪声、温度变化、工作电流的收集，通过历史数据的积累，能够构建一个足够大的数据集，以便进行训练。数据预处理阶段，可以进行原始数据的清理和归一化处理，以提高模型的训练效率和预测准确性，在此基础上，可以将数据集划分为训练集和测试集，以评估 GRU 模型的性能。

其次，应通过反向传播算法不断调整权重参数，以最小化预测误差，并使用交叉验证技术有效避免过拟合现象，保证模型的泛化能力。训练完成后，继续使用测试集对模型进行评估，模型达到满意的性能，就可以应用于实际的故障预测中。通过实时监测航向信标的运行状态，将获取的实时数据输入到训练好的 GRU 模型中，模型将根据数据特征发出故障预警，借助该方法可以提前识别潜在故障，还能够为维护决策提供依据，减少停机时间和维修成本^[5]。

2.2 仪表着陆系统可靠性评估研究

仪表着陆系统可靠性评估主要是分析其在规定的条件和条件下，能否执行相关功能。主要分为两大部分，分别是设计可靠性和运行可靠性。这一技术能够实时掌握系统性能变化趋势和整体的可靠性水平，从根源上降低故障发生的概率。仪表着陆系统可靠性评估的方式主要有以下几种。

2.2.1 基于 GO 法的可靠性评估

这一技术是基于 GO 法实现仪表着陆系统可靠性的评估，将决策树作为原理，实现系统原理图和流程图的转变，转化成为 GO 图，实现图形归纳分析。这种技术能够对仪表着陆系统内部的逻辑关系和功能等方面进行直观精准的分析，获得足够科学的结果。基于 GO 法的可靠性评估分析流程如下：（1）定义系统。通过定义被分析的系统和范围，从而确定相应的部件的可靠性指标。再根据系统的结构图，确保指标制定的

科学性，满足实际的评估需求。（2）确定边界。在定义完系统后，就要确定相应的边界。以便于保证系统的正常输入与输出，能够获得相应的数值。通常情况下，系统的输入是外部来源，由运算符表示，输出则是系统状态产生的输出信号。（3）明确准则。对于 GO 法的可靠性评估来说，其主要是依据成功准则。能够确保系统处于正常工作状态的同时，实现精准的信号输出。（4）建立 GO 图。GO 图的建立主要是为了对仪表着陆系统可靠性准确的分析，在保证 GO 图符合相关规则后，进行运算。由于 GO 图的复杂性，在建立的过程中，应先明确单元功能能够确定的操作符类型。并确定将成功作为导向，实现各单元的功能和逻辑关系。之后对操作符和信号流进行唯一的编号，方便后续进行评估。（5）进行评估。完成以上步骤后，就可以根据成功准则和运算结果得出的数据进行分析，从而实现对仪表着陆系统的全方面评估，了解其具体的要求和功能是否满足标准要求。

2.2.2 基于 RCM 法的可靠性评估

将 RCM 理论引入仪表着陆系统的运行维护管理中，开展故障预测和可靠性评估的关键技术研究。这种方法通过分析航向信标的工作原理及可靠性特征量，建立可靠性模型，并确定可靠性数据，为提高仪表着陆系统的持续可靠运行提供科学的理论依据和技术支撑，分析流程如图 3 所示。基于 RCM 法的可靠性评估应用流程如下：（1）识别关键设备和零部件。需要对产品的各个组成部分进行全面的分析，识别出关键的设备和零部件，即对产品功能和性能至关重要的部分。（2）分析功能和故障模式。针对识别出的关键设备和零部件，分析其功能和故障模式，了解它们在正常运行和故障状态下的影响。（3）制定维护策略。在分析功能和故障模式的基础上，制定相应的维护策略。这些策略可以包括预防性维护、条件监控、故障排除等不同方式，旨在最大限度地减少故障发生和维修时间。（4）维护计划实施^[6]。将制定的维护策略转化为具体的维护计划，并在实施过程中进行有效的监控和改进，确保计划的有效性和可持续性。（5）后期跟进。通过实现后期跟进能够帮助快速推进和驱动所有以可靠性为中心的维修（RCM）的任务，后期跟进与上面的分析工作一样重要，关系着仪表着陆系统能否持续处于可靠的状态运行下去。

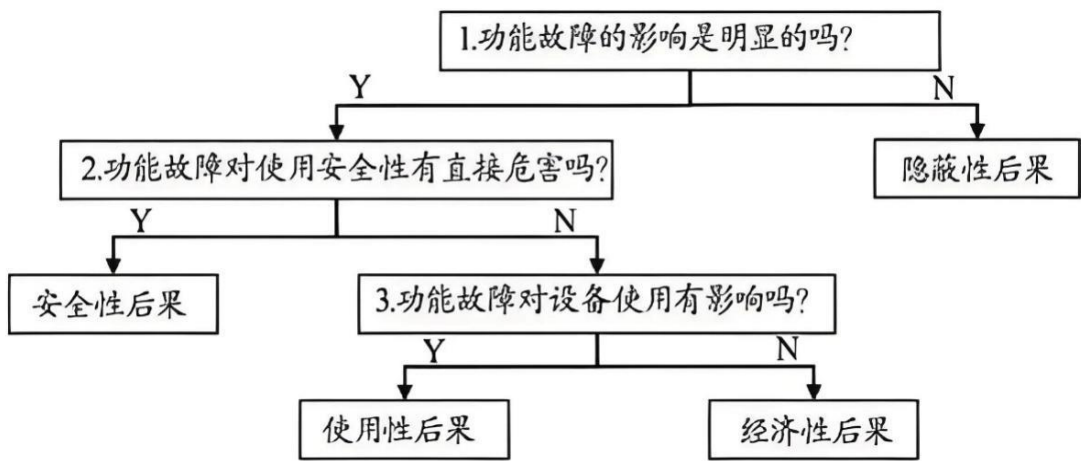


图 3 RCM 法理论分析流程

3 结论

通过实现对仪表着陆系统故障预测与可靠性评估的研究与分析，能够帮助空管、机场以及航空公司朝着更高质量的方向发展。当前飞行航班量和飞行次数正处于日益增加的状态，对仪表着陆系统提出了更高的要求。通过新技术的应用，能够在保证飞机安全飞行的基础上，提前做好故障的预防和处理工作，最大程度地减少维修的次数。这也能够降低空管的保障压力，减少航空公司整体的运行成本，提升机场运行效率，让民航业获得更加可观的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 康天桂,罗诗雨.仪表着陆系统机房零地电压偏高问题分析与整改[J].电气开关,2024,62(01):101-103.
- [2] 吴兵.基于 NM7000B 的仪表着陆系统设备健康管理系统设计[J].无线互联科技,2024,21(01):24-26+37.
- [3] 张强,祁江涛,焦浩博,黄莉莉.基于 GRU 的仪表着陆系统故障预测方法研究[J].航空工程进展,2024,15(03):62-70.
- [4] 李清栋,叶家全,许健.仪表着陆系统下滑信标运行保护区仿真研究[J].系统仿真学报,2024,36(06):1273-1284.
- [5] 张永丽,杨乐,张锐,柳萌.基于 QAR 数据的仪表着陆系统导航信号失效分析[J].民航学报,2023,7(02):47-50.
- [6] 吴岳洲,傅强,郭康.仪表着陆系统干扰现状分析与多径干扰仿真[J].计算机时代,2022,(11):69-72.