

飞机前起落架日常维护管理研究

刘 凯

中国民航飞行学院洛阳分院, 河南 洛阳

收稿日期: 2022年10月31日; 录用日期: 2022年12月5日; 发布日期: 2022年12月12日

摘 要

前起落架是飞机主要的承重装置, 在飞机起飞和着落阶段承担着极为重要的使命, 是飞机中不可或缺的核心部件。因此, 飞机前起落架的日常维护管理将直接关系到飞机使用安全, 也影响着整个航空业的健康发展。本文借助LISREL结构方程模型挖掘当前起落架日常管理重点, 并对日常管理要点展开系统性分析, 具有针对性地提出改进建议, 以指导提升飞机前起落架日常维护管理水平。

关键词

前起落架, 日常维护, 液压管, 减震支柱

Study on Daily Maintenance Management of Aircraft Front Landing Gear

Kai Liu

Civil Aviation Flight University of China Luoyang College, Luoyang Henan

Received: Oct. 31st, 2022; accepted: Dec. 5th, 2022; published: Dec. 12th, 2022

Abstract

The front landing gear is the primary load-bearing device of an aircraft, which assumes an extremely important mission during the take-off and landing phases and is an indispensable core component of the aircraft. Therefore, the daily maintenance management of aircraft front landing gear is directly related to the safety of aircraft use, and also affects the healthy development of the whole aviation industry. In this paper, we use LISREL structural equation model to explore the current landing gear daily management priorities, and carry out a systematic analysis of daily management points, and put forward targeted improvement suggestions to guide the improvement of aircraft front landing gear daily maintenance management level.

Keywords

Front Landing Gear, Routine Maintenance, Hydraulic Tube, Shock Absorbing Strut

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

作为飞机架构中最为关键重要的核心组件，起落架对于飞机正常起飞及着落的重要性不言而喻，直接决定了飞机运行的安全。但是，相比于机修环节中关注的发动机、机翼、主起落架等价值高的组件，前起落架的日常维护管理仍存在诸多管理漏洞[1]。以经验主义为主导的管理模式至今仍制约着飞机维修高质量服务的提升，对于前起落架的日常维护管理工作的研究是一个必要且急迫的议题。

考虑到前起落架的日常维护管理工作涉及面广、工作量大、对时间及质量要求高等特点，如何及时挖掘主要影响因素，寻找前起落架的日常维护管理要点及难点，成为影响其工作质量的重要核心之一[2]。因此，本文构建基于 LISREL 结构方程的前起落架日常管理因素挖掘模型，针对现阶段前起落架日常管理中的要点进行量化分析，挖掘出具有代表性且极为重要的影响因素。在对其主要影响因素管理现状分析的基础上，富有针对性地提出改进建议及策略，以提升前起落架的日常管理维护水平，助力航空安全。

2. 基于 LISREL 结构方程的前起落架日常管理因素挖掘

2.1. 数据来源

本研究以飞机前起落架日常维护管理为研究对象，针对维修中所面临的要点及难点实施问卷调查。鉴于本文研究对象的特殊性，拟选取机修维护技术人员作为本次问卷发放的主要对象，并且在样本选择上依据业务量，充分考虑精度和费用等因素。同时，为规避传统 PLS 估计方法，样本量大小与路径系数的低估和载荷系数的高估等缺陷。采用 LISREL 结构方程模型进行样本分析，进而避免因样本量不足而产生不收敛或没有意义解(方差为负数等)的情况，影响模型估计的准确性的问题。

此次样本取样时间选定在工作日，此次调查时间段为 2021 年 10 月 10 日~2022 年 3 月 15 日。此次问卷调查共发放问卷 500 份，回收 471 份，回收率 94.2%，其中有效问卷 452 份，有效率 96%。

2.2. LISREL 模型

LISREL 是线性结构关系(Linear Structure Relation)的缩写，常被用来分析一系列未知系数之间的关系，包括潜在变量和测量变量之间的关系，主要包含测量模型及结构模型模块：

1) 测量模型

LISREL 结构方程模型中，使用观测变量来构建潜在变量的模式就是测量模型。在结构方程模型中，测量模式可以界定为外生潜变量与内生潜变量两类。其测量模型构建方程如下：

$$\begin{aligned} x &= \Lambda_x \xi + \varepsilon_x \\ y &= \Lambda_y \eta + \varepsilon_y \end{aligned} \quad (1)$$

其中， x 、 y 分别为外生潜变量 ξ 和内生潜变量 η 所构成的向量， Λ_x 是 x 在 ξ 上的 $q * n$ 阶因子载荷矩阵，

Λ_y 是 y 在 η 上的 $p*m$ 阶因子载荷矩阵, ε_x 为 $q*1$ 阶测量误差向量, ε_y 为 $p*1$ 阶测量误差向量。

2) 结构模型

结构模型又可称为潜在变量模式(latent variable models)。类似于路径分析模式, 结构模型主要是建立潜在变量与潜在变量之间的关系。其结构模型构建方程如下:

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \tag{2}$$

其中, B 为 $m*m$ 阶系数矩阵, 表示内生潜变量 η 的影响; Γ 为 $m*n$ 阶系数矩阵, 表示外生潜变量 ξ 的影响; η 为 $m*1$ 阶残差向量。

模型中观测变量的协方差结构

$$E(\varepsilon_y) = E(\varepsilon_x) = E(\zeta) = Cov(\eta, \varepsilon_y) = Cov(\xi, \varepsilon_x) = Cov(\varepsilon_y, \varepsilon_x) = 0 \tag{3}$$

记 $\Theta_{e_y} = Cov(e_y)$, $\Theta_{e_x} = Cov(e_x)$, $\Phi = Cov(\xi)$, $\Psi = Cov(\eta)$

由上面的结构模型方程和测量模型方程, 以及 Λ_x 、 Λ_y 、 Γ 、 B 、 Φ 、 Ψ 八个参数矩阵, 可以求得显变量 (y', x') 的协方差矩阵 Σ 如下:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \Sigma_{yy} & \Sigma_{yx} \\ \Sigma_{xy} & \Sigma_{xx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Lambda_y \tilde{B} (\Gamma \Phi \Gamma' + \Psi) \tilde{B}' \Lambda_y' + \Theta_e & \Lambda_x \tilde{B} \Gamma \Phi \Lambda_x' \\ \Lambda_x \Phi \Gamma' \tilde{B}' \Lambda_y & \Lambda_x \Phi \Lambda_x' + \Theta_\delta \end{bmatrix} \tag{4}$$

其中, Σ_{yy} , Σ_{xx} 分别是 y , x 的协方差矩阵, Σ_{yx} 为 y 与 x 的协方差矩阵, Σ_{xy} 为 x 与 y 的协方差矩阵, $\tilde{B} = (1 - B)^{-1}$ 。

在结构方程模型中, 检验模型对数据拟合好坏的关键, 取决于模型隐含的协方差矩阵 Σ 与样本协方差矩阵 S 之间差异的大小。

2.3. LISREL 模型统计结果分析

运用 LISREL 软件, 对问卷调查数据展开统计分析, 挖掘因素之间的关系及相关矩阵, 获取结果如表 1、表 2 所示:

Table 1. Correlation matrix

表 1. 相关矩阵

	减震支柱 X_1	缓冲器 X_2	液压管 X_3	轴承系统 X_4	自动收起设备 X_5	节流活门 X_6
减震支柱 X_1	1	-	-	-	-	-
缓冲器 X_2	0.27	1	-	-	-	-
液压管 X_3	0.35	0.42	1	-	-	-
轴承系统 X_4	0.41	0.21	0.19	1	-	-
自动收起设备 X_5	0.56	0.26	0.58	1	1	-
节流活门 X_6	0.28	0.12	0.23	0.15	0.30	1

Table 2. Summary statistics for standardized residuals

表 2. 标准化残差汇总统计

Smallest Standardized Residual	-1.032
Median Standardized Residual	-0.034
Largest Standardized Residual	2.117

进一步, 获取结构模型计算结果如下:

$$Y = 0.342X_1 + 0.022X_2 + 0.279X_3 + 0.024X_4 + 0.298X_5 + 0.035X_6 \quad (5)$$

据此可知, 在飞机前起落架日常维护管理中, 普遍认为相比于缓冲器、轴承系统及节流活门而言, 减震支柱、液压管及自动收起设备三者因素的重要程度更高, 综合解释度可达 91.9%。因此, 在整个机务维修及日常维护阶段, 应给予此三项重点关注。

3. 飞机前起落架日常管理要点分析

结合上述研究成果可知, 对于飞机前起落架的维护工作的核心工作应聚焦于减震支柱(图 1)、液压管(图 2)、自动收起设备(图 3)三方面构成。

具体来讲, 减震支柱是确保飞机着陆免受或减少地面冲击载荷的重要设备, 从机械原理而言, 属于封闭式液压装置。目前日常维护管理模式多关注于内部 T 型动封严圈支撑环使用寿命及错位、液压油渗漏等问题[3]。而对于造成此类问题的核心问题缺乏足够的分析及研讨, 易浮于表面。



Figure 1. Aircraft front landing gear shock strut
图 1. 飞机前起落架减震支柱

液压管作为一种耗材, 在飞机起飞和着落阶段, 特别是与地面产生较大运动负荷之时往往会面临机械磨损, 据可靠实验报告, 这种磨损在初步阶段多存在于液压管内部, 机修人员无法采用传统手段观测, 需借助于高精密机械设备进行全面检测。因此, 现阶段的液压管维护多采用依赖于设备定位缺陷的方式进行日常管理。这种管理模式所带来的局限性是多依赖于设备检测手段, 而设备的功能性是基于机械结构或金属疲劳测试所开发的, 难以替代其它功能, 容易忽略液压管喇叭口接头、管路等重要设备的人工化管理, 从而带来安全隐患。

从本质上来讲, 飞机前起落架自动收起设备实际上就是一种具备开锁功能的下位锁。当飞机需要起飞或着陆时, 由于起落架是首先与地面接触的设备, 因此必须依靠一套能自动管理升降的联锁装置。可见, 在日常维护过程中, 检查下位锁功能性是否正常是核心任务。以往经验提升机修人员, 机械故障会造成下位锁出现假上锁反应, 影响前起落架收放, 产生极大安全隐患[4]。所以, 现阶段的日常维护工作主要是查看下位锁机械功能是否正常。但是, 对于盖板位置电门故障或被液体和灰尘污染等原因造成的无法解开下位锁仍需要通过其他方面检查获取, 这也是现有检查所轻视的节点。

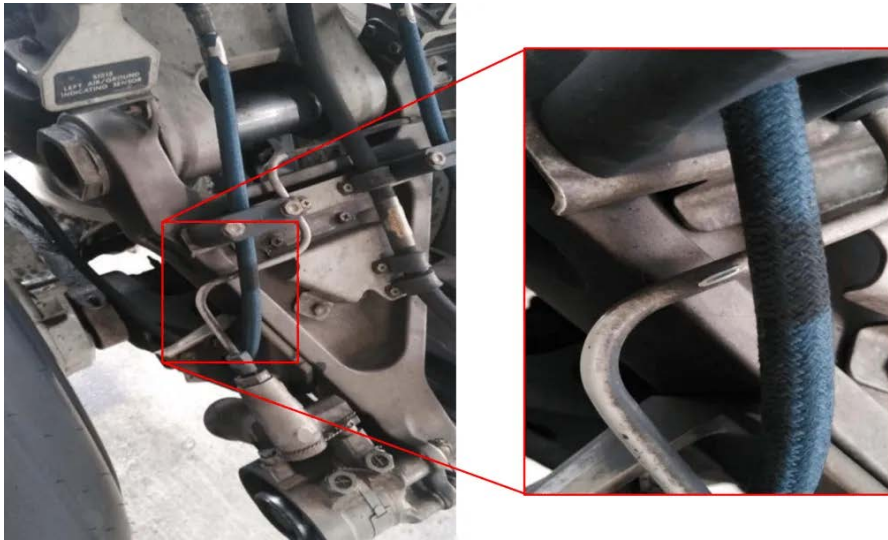


Figure 2. Aircraft front landing gear hydraulic tube
图 2. 飞机前起落架液压管



Figure 3. Aircraft front landing gear automatic retraction equipment
图 3. 飞机前起落架自动收起设备

据此，本文较具针对性地提出如下改进建议。

3.1. 减震支柱日常维护改进建议

对于减震支柱日常维护除正常所关注的内外筒设备外，还应关注支柱内外筒之间的关键性部件，如刮油环等。此外，在日常维护管理过程中要控制减震支柱油气比例，严格按章操作，切勿随意更改最优比例，造成减震性能及关键零部件使用寿命下降，影响飞机安全。针对需拆装维护的部件，应确定重新安装后原安装位置的正确性，严格执行支柱内外筒间检查工作，避免存留异物，对拆装部位带来损伤，从而出现严重渗油故障，降低减震支柱使用性能及寿命。

3.2. 液压管日常维护改进建议

由于起落架与轮舱区液压管结构较为复杂，液压管人工维护应根据前起落架设计图纸操作。特别是要关注交叉、相邻管路铺设情况，这些管路性能状态是无法通过精密机械设备获取的。关注要点要聚焦

于如下几方面：

- 管路是否清洁无杂物；
- 是否按照规范合理安装液压管喇叭口；
- 喇叭口处是否存在不规则细纹。

此外，针对目前液压管所触发的故障缘由应进一步分析，确定是因机械原因所产生的，还是因天气、外物损伤等非机械性原因造成的。根据以往经验，液压管中的液压泵为电机驱动，受 25A 液压泵电源断路器提供电源并控制收放，而液压泵电机线路过热触发热保护断路器动作，会触发电机工作线路断开机制从而产生失效。特别是在科目训练活动中，多次操作收放起落架导致电机内部线路热积聚。特别是空中与地面收放起落架时的液压泵负荷不同，空中因空气动力影响，液压泵负荷较地面静态试验大得多，电机内部会更快更多短时积聚较高的热量，极易产生机械故障(图 4)。因此，针对此现象在日常维护中应适当给予重点关注。

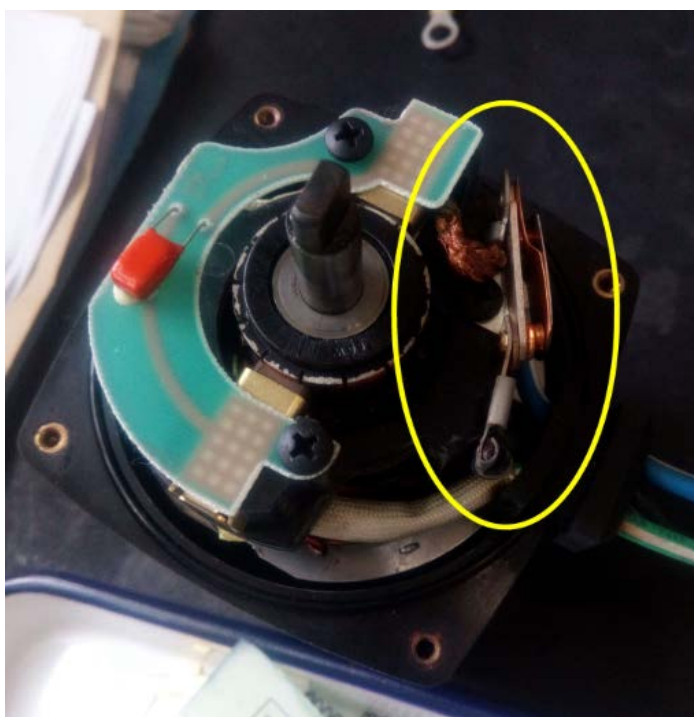


Figure 4. Hydraulic pump thermal protection circuit breaker
图 4. 液压泵热保护断路器

因此，针对液压管日常维护，不仅要确保管路清洁度，还应仔细检查液压管喇叭状态，在确保部件无瑕疵情况下与液压管头紧密贴合。这样可进一步提高液压管路性能，为飞机安全起降提供保障。

3.3. 自动收起设备日常维护改进建议

除检查下位锁功能性外，要基于主起落架下位锁和收上锁作动筒部件作用、功能及活门关系对起落架盖板闭合状态、盖板位置电门、盖板清洁度等方面强化日常检查。这些容易忽略的点都会刺激活门移动到 BAPASS 位，从而影响起落架无法解下锁位。同时，对于自动收起设备的日常检查也应具有针对性的改进，特别是在飞机检查方案中对于起落架多部位展开全方位检查，并设计合理规范的操作流程及指导章程。据此，本文建议改进后飞机检查方案如下：

- 1) 目视检查飞机起落架外观、构型、支柱气压是否正常, 锁钩、电门是否到位, 电瓶电压是否正常, 尾舱导线连接是否正常;
- 2) 目视检查液压泵断路器、起落架收放开关情况, 并测量感应开关电阻;
- 3) 目视检查液压泵电源断路器连接导线、液压泵控制断路器连接导线、起落架收放开关连接导线、放下断路器两端导线和液压泵正线、接地线导线连接是否正常, 并测量继电器电阻情况;
- 4) 地面通电检查指示灯指示情况;
- 5) 顶升飞机, 检查液压油油量情况, 并检查液压泵、液压管路渗漏情况, 并检查起落架收放手柄的连接和操纵情况;
- 6) 正常收放起落架, 检查作动筒收放情况;
- 7) 多次(7~8次)收放起落架(间隔2分钟左右), 检查继电器是否有异常;
- 8) 应急放下起落架, 起落架工作情况。

4. 结束语

飞机安全飞行牵涉到多方面, 对于前起落架的日常维护管理是极为重要的。相比于机修环节中关注的发动机、机翼、主起落架等价值高的组件, 前起落架的日常维护管理仍存在诸多管理漏洞。为此, 本文提出基于 LISREL 结构方程的前起落架日常管理重点因素挖掘, 针对现有管理漏洞提出相应改进建议及策略, 以完善前起落架管理理念及模式, 助力航空安全。

参考文献

- [1] 冯东洋, 姜春英, 鲁墨武, 叶长龙, 李胜宇. 基于 TSFFCNN-PSO-SVM 的飞机起落架液压系统故障诊断[J]. 航空动力学报, 2022(7): 1-11.
- [2] 郭丞皓, 于劲松, 宋悦, 尹琦, 李佳璇. 基于数字孪生的飞机起落架健康管理技术应用[J/OL]. 航空学报: 1-18. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=HKXB20220715006&uniplatform=NZKPT&v=8XwRD3UrBzfqSMB0ZOmYYgNrNbQ6ovzi9mYaM55bfXT5a6EWBrQ-BrvuLMXgFumLz, 2022-07-15>.
- [3] 赵超泽, 许波, 吕少力, 姚静, 魏鹏, 闫莉佳. 飞机前起落架转弯寿命试验台的设计[J]. 液压与气动, 2022, 46(7): 182-188.
- [4] 冯广, 向宗威, 姜义尧, 金军, 余好文, 蒋炳炎. 支柱式前起落架系统刚度与摆振稳定性研究[J/OL]. 航空工程进展: 1-8. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=HKGC20220621000&uniplatform=NZKPT&v=PnAGU0Hj-MgZgbnizOIhxfzdo2bJOSkXI3OgbLp6amQJJr8VKLyszh0sLVx4l-4, 2022-06-23>.