

文章编号: 1674-8190(XXXX)XX-001-07

基于 S3000L 标准的民用飞机结构件修理 级别分析技术研究

吴怡欣^{1,2}, 张晓晶¹, 张雅杰²

(1. 上海交通大学 航空航天学院, 上海 200240)

(2. 上海飞机客户服务有限公司 技术出版物部, 上海 200241)

摘要: 目前我国民用飞机主制造商对于结构件的修理级别决策多采用经验判断的方式, 尤其对于车间修理的决策经验较少, 亟需开展修理级别分析技术研究。修理级别分析不仅是民用飞机部件后勤保障分析的重要环节之一, 也是部件维修手册规划和编制的重要输入, 多数国际主流民用飞机制造商开始采用 S3000L 标准进行后勤保障分析。本文通过研究 S3000L 标准中所提供的修理级别分析(LORA)方法, 结合持续适航文件编制经验制定一套适用于民用飞机结构部件的修理级别分析流程, 并使用实例进行可行性验证。结果表明: 现阶段采用非经济性简单 LORA 分析方法进行结构部件的 LORA 分析更具备可行性, 该分析流程能为国内主制造商开展结构部件维修手册编制工作提供参考。

关键词: 民用飞机; 修理级别分析; S3000L; 结构部件; 部件维修手册

中图分类号: V267

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.XXXX.XX.01

Research on repair level analysis technology for civil aircraft structural components based on S3000L standard

WU Yixin^{1,2}, ZHANG Xiaojing¹, ZHANG Yajie²

(1. School of Aeronautics and Astronautics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

(2. Technical publication department, Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd, Shanghai 200241, China)

Abstract: At present, the main manufacturers of civil aircraft in China often use empirical judgment to make repair level decisions for structural components, especially with limited decision-making experience in workshop repairs. Therefore, there is an urgent need to conduct research on repair level analysis technology. Level of repair analysis is not only one of the important links in the logistics support analysis of civil aircraft components, but also an important input for the planning and preparation of component maintenance manuals. Most international mainstream civil aircraft manufacturers have begun to adopt the S3000L Standard for logistics support analysis. The level of repair analysis (LORA) method provided in the S3000L standard is studied, and a repair level analysis process suitable for civil aircraft structural components is developed in combination with the experience of continuous airworthiness document organization. Practical examples are also used for feasibility verification. The results show that using non-economic simplified LORA analysis method for structural components is more feasible at present. The analysis process can provide reference for domestic main manufacturers to develop structural component maintenance manuals.

Key words: civil aircraft; level of repair analysis; S3000L; structural component; component maintenance manual

收稿日期: 2023-10-27; 修回日期: 2024-01-07

通信作者: 吴怡欣(1992-), 女, 学士, 工程师。E-mail: wuyixin1@comac.cc

引用格式: 吴怡欣, 张晓晶. 基于 S3000L 标准的民用飞机结构件修理级别分析技术研究[J]. 航空工程进展, XXXX, XX(XX): 1-7.

WU Yixin, ZHANG Xiaojing. Research on repair level analysis technology for civil aircraft structural components based on S3000L standard[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, XXXX, XX(XX): 1-7. (in Chinese)

0 引言

根据 AC-91-11 R2《航空器的持续适航文件》^[1]要求,民用飞机为满足持续适航要求,需对可进行离位维修的零部件编写配套的维修程序,这些程序通常由航空器制造厂家以部件维修手册的形式编制提供^[1-2]。修理级别分析(LORA)是飞机维修工程分析的重要环节,各类维修程序都需要通过LORA分析来决定其是否需要维修,在哪里进行维修^[3]。因此,通过LORA分析完成部件的最佳维修场景制定,是规划和编写部件维修手册的重要输入。

国外制造厂家市场化程度高,各主要航空器制造厂家都建立了完善、规范的部件维修手册编制和管理体系,通过实际应用与优化,已十分成熟。国外也很重视LORA分析的理论及应用研究,且其出发点更多在于通过LORA分析提供降低产品全寿命周期维护费用的思路和方法,不仅开发了各类经济性数学分析模型与算法,还不断通过累积的应用经验进行改进和验证^[4]。

国内各民用飞机制造厂家虽然都已经按照局方的要求开展了部件维修手册的编制和管理,但由于缺乏规范的编制和管理经验,因此手册输出质量不太理想,没有取得满意的效果。国内虽然发布了《修理级别分析》^[5]作为分析参考,但对于LORA分析方法的研究和应用更多集中在非经济性分析^[4,6]。民用飞机方面的经济性LORA分析方法研究则多数仅将经济性分析手段作为非经济性分析方法的一种理论补充,未经过实践验证^[7-9]。国内对于经济性LORA分析模型和算法方面的研究多数是基于国外的模型或算法进行改进,需要大量的维修成本数据进行支持,不适用于维修经验不足的场景^[3,10-12]。

国外厂家的先进经验和体系均属于各家公司自身的知识产权或商业秘密,基本无法通过官方渠道直接获得。但是从2005年开始,基于欧洲设备综合后勤保障(ILS)领域缺乏有效的程序规范,欧洲航空航天与防务工业协会制定了《后勤保障分析国际程序规范》^[13]作为行业指导,其目的在于提高系统和设备的保障性与战备完好性、优化寿命周期费用与保障资源,以求在费用、进度、性能与保障性之间达到最佳的平衡^[13-14]。S3000L总共由22个章节组成,其提供的核心内容是各种适用于后勤保障的分析方法,其中第11章“修理级别分

析(LORA)”提供了一种考虑客户支持和运营要求、客户支持能力、产品技术信息、成本以及法律和环境限制,以确定一个最优维护解决方案的方法,从而可定义每个候选项目的拆除、更换、修理、测试、大修、检查或报废时机^[13-14]。这一分析方法对于部件维修手册的编制来说是正向维修分析的第一步,对S3000L标准中的LORA分析方法进行研究,有助于我们了解和学习国外的维修分析业务、流程与方法,吸取成功的经验并应用在部件维修手册的编制体系中^[14]。

飞机结构部件与航空器存在强关联性,其部件维修手册编制的可参考经验较少,更容易存在部件维修手册定位模糊、内容缺失、相关的运行支持能力下降的情况。因此,本文参考S3000L标准中的LORA分析思路,建立一套适用于我国民用飞机结构部件的修理级别分析流程,并结合实际案例进行可行性验证。

1 LORA分析方法流程

S3000L标准中制定的LORA分析过程包括确认LORA候选项目清单、对候选项目进行修理/报废决策、对可修理项目进行分析制定最佳维修等级。

首先是确认LORA候选项目清单,此阶段的目的在于决定后续进行LORA分析的零部件范围,这一范围需平衡考虑分析的工作量和分析结果可产生的效益两方面。若完全参考S3000L标准中的候选项目清单制定方法,清单中的后续分析对象将包含全部的航线可更换单元(LRU)。考虑到结构LRU中存在大量明显不涉及离位维修的对象,如口盖、地板等,在确认结构部件LORA候选项目清单之前增加以结构LRU清单为基础的潜在离位维修可能性的分析流程,可以大量减少后续的分析工作量。

其次是对候选项目进行修理/报废决策,此阶段通过考虑经济和非经济两个因素决策候选项目是潜在的可修理项目还是报废项目,报废项目采用拆卸换新的方式进行维修,不再需要进一步分析。

最后是对可修理项目进行分析制定最佳维修等级,此阶段对潜在的可修理项目进行经济性LORA(ELORA)分析制定最佳维修等级,主要考虑经济成本因素,将潜在的可修理项目划分为报废项目、航线修理项目或车间修理项目。

参考 S3000L 标准中所提供分析方法,再结合考虑部件维修手册的内容特征,形成结构部件 LORA 分析流程如图 1 所示。

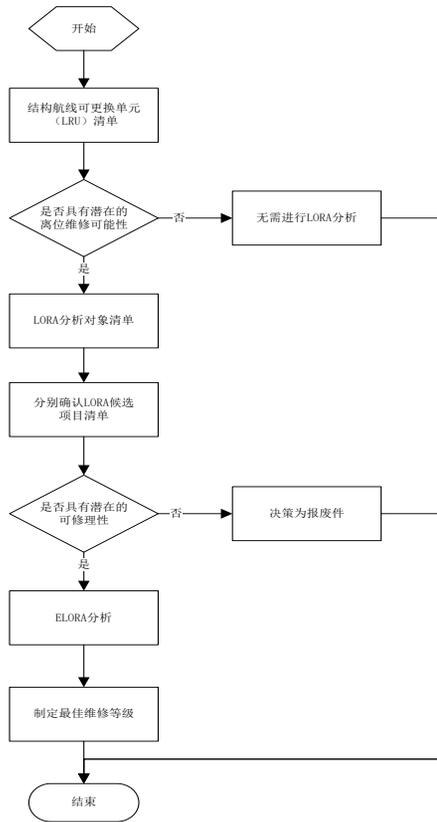


图1 结构部件 LORA 分析流程图

Fig. 1 LORA analysis flow chart of structural components

2 结构部件的 LORA 分析

2.1 确认 LORA 分析对象清单

结构部件的 LORA 候选项目应当从产品结构中最高级别的结构 LRU 部件中选取,这些部件可在飞机上原位直接更换且具备独立功能,如雷达罩、舱门、活动翼面等。对于部件维修手册的编制而言,不涉及离位维修工作的结构 LRU 部件不需要进行进一步的 LORA 分析,这些部件仅涉及航线原位更换或修理,相关的维修内容已在飞机维修手册或结构修理手册中包含。为了从结构 LRU 部件中明确获取需进行 LORA 分析的对象,一般采用以下原则进行确认。

- 1) LRU 部件不包含子级零部件,不作为 LORA 分析对象;
- 2) LRU 部件属于某一 LRU 部件子级,不单独

作为 LORA 分析对象,在其上级 LRU 部件的 LORA 分析中包含;

- 3) LRU 部件所涉及的维修工作均可在原位进行、可采用标准工艺操作或可参照结构修理手册进行,不作为 LORA 分析对象。

典型民用飞机结构部件的 LORA 分析对象清单示例如表 1 所示。

表1 LORA 分析对象清单示例
Table 1 Example of LORA analysis object list

序号	层级	件号	名称	是否可为分析对象
1	0	521100000	前登机门	是
2	0	522100000	应急门	是
3	0	523100000	前货舱门	是
4	0	529200000	APU 舱门	是
5	0	531600000	雷达罩	是
6	0	531600001	雷达罩铰链	否
7	0	531600002	雷达罩撑杆	否
8	0	533300000	客舱地板	否
9	0	534700000	翼身整流罩	否

2.2 确认 LORA 候选项目清单

对所确认的 LORA 对象进行分析,第一步需要确认其 LORA 候选项目清单,这一步骤一方面在于梳理产品结构从而明确需进行 LORA 分析的零部件清单,另一方面则以低成本高效率的方法快速减少候选项,在保障决策结果准确的前提下减少后续分析工作量。所选定 LORA 分析对象自身,及其在产品结构中的所有子级零部件所组成的清单即为其初步的 LORA 候选项目清单。将 LORA 候选项目简单分类为候选项和非候选项,即完成 LORA 候选项目清单。典型的非候选项为仅采用标准施工就可进行分解的项目,这些零部件不需要特殊的资源保障即可进行分解,如螺钉、螺栓、螺母、垫圈等紧固件。同时,为了方便后续分析,LORA 候选项目清单的整理过程不对相同件号的项目进行合并,并且需保留原产品结构中的层级关系。

以前登机门为分析对象示例,其下级产品结构中的螺栓、螺母等标准紧固件记录为非候选项,其余项目均记录为候选项,其他 LORA 分析对象

的子级零部件均可采用此方法进行快速分类。典型的 LORA 候选项目清单示例如表 2 所示。

表 2 LORA 候选项目清单示例
Table 2 Example of LORA candidate list

序号	层级	件号	名称	是否为候选项
1	0	521100000	前登机门	候选项
2	1	521150000	前登机门平行杆机构	候选项
3	2	521150001	支座	候选项
4	2	521150002	接头	候选项
5	2	521150003	衬套	候选项
6	2	521150006	齿形板	候选项
7	2	521150008	堵帽	候选项
8	2	DXG01-001	导向杆	候选项
9	2	MS21042L4	螺母	非候选项
10	2	MS24665-302	开口销	非候选项
11	2	NAS1149F0432P	垫圈	非候选项
12	2	NAS561P3-7	销轴	非候选项
13	2	NAS6204-8	螺栓	非候选项

2.3 修理/报废决策

LORA 分析第二步需对 LORA 候选项目清单中分类为候选项的条目进行进一步的可维修性分析,分析出潜在的可修件,并对候选项作出修理或者报废的决策。

可维修性分析结果通常根据定性和定量综合判断得出,主要考虑因素如下:

1) 如果候选项内部存在 LRU 部件,则将此候选项定为可修零件。

2) 如果技术上不可修理,则将此候选项定为报废件。技术上是否可修理的判断来源于设计层面,这些信息可能来源于工程设计部门也有可能来源于供应商。通常如果候选项内部包含可更换的子级部件,或者候选项的表面漆层等可依据通用工艺修理,可以认定为技术可修。

3) 如果维修明显是不经济的,即候选项的维修成本(包括检查、装运和管理等费用)可能会明显高于购买成本,则将候选项认定为经济不可修。由于分析初期候选项的维修成本很难获取,所以也可以根据相似机型运营经验将经济性判断原则定量为航材采购价格,当航材采购价格大于某一阈值时认定为经济可修。

4) 技术上和经济上均可修理的候选项,可以定为可修零件,否则将此候选项定为报废件。

除了上述正向分析考虑因素外,修理或报废决策还可能由于以下因素作出改变:

1) 考虑到已发生的事件、设计缺陷等因素,对候选项的修理可能造成无法预估的不安全后果,而将候选项定义为报废件。

2) 由于客户需求、供应商合同等因素,而将候选项的决策结果改变。

3) 由于接口设备、联动设备等的配合需求,而将候选项定义为报废件。

修理/报废决策所产生的可维修性分析表示例如表 3 所示。

表 3 可维修性分析表示例
Table 3 Example of maintainability analysis table

序号	层级	件号	名称	信息来源	可维修性分析				修理/报废结论	备注
					候选项内部是否存在航线可维护件	技术上是否可修	部件价格是否大于 2 000 美元	相似机型类似部件是否为可修		
1	0	521100000	前登机门	设计部门	Y	/	/	/	修理	
2	1	521150000	前登机门平行杆机构	设计部门	Y	/	/	/	修理	
3	2	521150001	支座	设计部门	N	Y	N	/	修理	表面喷漆
4	2	521150002	接头	设计部门	N	Y	N	/	修理	表面喷漆
5	2	521150003	衬套	设计部门	N	N	/	/	报废	
6	2	521150006	齿形板	设计部门	N	Y	N	/	修理	表面喷漆
7	2	521150008	堵帽	设计部门	N	N	/	/	报废	
8	2	DXG01-001	导向杆	供应商	N	N	/	/	报废	

2.4 制定最佳维修等级

修理/报废决策结果将生成一个 ELORA 候选项清单,即可维修性分析后定义为潜在可修理件的候选项清单。LORA 分析第三步将对这些候选项进行 ELORA 分析,目的为定义最佳维修等级,即将候选项分类至报废项目、航线修理项目或车间修理项目。

ELORA 分析主要通过使用维修相关的经济成本数据进行分析,如备件、诊断和实施修理必要的支援设备、人员、培训、设施、技术文档、PHST(包装,管理,装卸,运输)和非经济因素,非经济因素诸如部件的可用性、可靠性和可维护性^[13]。由于结构部件的适用机型相对单一,导致运营使用

经验较难累积,因此经济成本数据的获取通常较为困难,且容易存在数据获取不完整、数据量纲不一致、数据可信度存疑等问题,而使用有问题的数据进行 ELORA 分析所获取的最终结果会与实际情况产生较大偏差。

基于经济成本数据的 ELORA 分析方法在结构部件的维修等级制定上适用度不高,若将 ELORA 中主要考虑的限制因素转换为定性分析规则,则可以采用执行性更高的工程分析手段对潜在可修理件进行较为简单的 LORA 分析,并定义最佳维修等级。

将 ELORA 分析的经济限制因素和非经济限制因素转换为简单 LORA 分析限制因素如表 4 所示。

表 4 简单 LORA 分析限制因素^[15-17]

Table 4 Limiting factors of simplified LORA analysis

限制因素	说明
法规	是否存在将候选项限定在特定备选方案的法规 法规包括:维修类民航法规;环境法规;劳动保护法;行业标准等
安全性	将候选项限定在特定备选方案时,是否存在导致危险的因素 导致危险的因素包括:高电压;辐射;极限温度;有毒物质;腐蚀性物质;过大的噪音;爆炸物;超重等
人力与人员	a. 将候选项限定在特定备选方案时,是否存在对熟练工数量或特殊修理资质的人员保障要求 b. 将候选项限定在特定备选方案时,是否存在与其他备选方案相比增加工作负荷的情况
保障设备	a. 是否存在将候选项限定在特定备选方案的特殊工具或特殊测试设备要求 b. 是否由于保障设备的性能要求、安全要求或操作人员要求等使用限制因素而需将候选项限定在特定备选方案 c. 是否由于保障设备的机动性、尺寸或重量等限制因素而需将候选项限定在特定备选方案 d. 是否存在将候选项限定在特定备选方案的其它保障设备要求
设施	a. 是否有特殊的设施要求 特殊设施要求包括:高标准的工作间;保障设备体积;气候限制;腐蚀限制;锻造、铸造、充压;先进校准设备;抗核能力要求等 b. 是否有特殊的修理工艺要求 特殊的修理工艺要求包括:气密装置;修理次数的影响;磁微粒检查;X射线检查等 c. 是否有特殊的测试方法要求 特殊的测试方法要求包括:振动与冲击试验;风洞测试等 d. 是否有特殊的调整要求 e. 是否存在将候选项限定在特定备选方案的其它设施要求
装卸与运输	是否存在将候选项从运营单位送往部件维修机构进行修理的运输限制因素 限制因素包括:重量;外廓尺寸;特殊装卸要求;易损性等
包装与储存	a. 是否由于候选项的尺寸、重量或体积等而对储存有限制性要求 b. 是否有特殊的包装要求 特殊的包装包括:计算机硬件、软件、危险材料等的特殊包装;气候限制材料的特殊包装;易损材料的特殊包装等
完好性	如果将候选项限定在特定备选方案,对完好性是否会产生不利影响
其他因素	

潜在可修理件的简单 LORA 分析即对表 2 中的 9 个限制因素按照顺序逐个进行分析,针对每个限制因素分别判断可修理候选项是否有相关限制:

1) 如果因为 1 个或者多个限制因素,此候选项在航线修理有限制,那么此候选项航线修理有

限制;

2) 如果因为 1 个或者多个限制因素,此候选项在车间修理有限制,那么此候选项车间修理有限制。

根据简单 LORA 分析的结果,可以确定可修理候选项的修理级别,即最佳维修等级,确定原则

如下:

1) 可修理候选项最终确定的修理级别需从无限限制的备选方案中选取;

2) 基于对运营成本的影响性考虑,备选方案的优先级为航线修理>车间修理>报废。

简单LORA分析表示例如表5所示。

表5 简单LORA分析表示例
Table 5 Example of simplified LORA analysis table

序号	层级	件号	名称	限制因素									备选方案			修理级别	
				法规	安全性	人力/人员	保障设备	设施	装卸/运输	包装/储存	完好性	其他	报废	航线修理	车间修理		
1	0	521100000	前登机门	否	否	是,会影响现有工作负荷	否	否	否	否	否	否	否	无限限制	有限限制	无限限制	车间修理
2	1	521150000	前登机门平行杆机构	否	否	是,会影响现有工作负荷	否	否	否	否	否	否	否	无限限制	有限限制	无限限制	车间修理
3	2	521150001	支座	否	否	是,会影响现有工作负荷	否	否	否	否	否	否	否	无限限制	有限限制	无限限制	车间修理
4	2	521150002	接头	否	否	是,会影响现有工作负荷	否	否	否	否	否	否	否	无限限制	有限限制	无限限制	车间修理
5	2	521150006	齿形板	否	否	是,会影响现有工作负荷	否	否	否	否	否	否	否	无限限制	有限限制	无限限制	车间修理

2.5 LORA 汇总报告

LORA分析过程及结果均需记录在LORA汇总报告中,以便对前期分析过程的追溯以及后续迭代数据的更新。LORA分析对象清单中的每一项可分析对象都需有独立的LORA汇总报告,报告应至少包括以下内容:

- 1) LORA候选项清单;
- 2) 可维修性分析表;
- 3) 简单LORA分析表;

4) LORA汇总表,将产生的所有修理级别分析结果进行汇总,示例如表6所示。

表6 LORA汇总表示例
Table 6 Example of LORA summary table

序号	层级	件号	名称	报废/航线修理/车间修理	备注
1	0	521100000	前登机门	车间修理	
2	1	521150000	前登机门平行杆机构	车间修理	
3	2	521150001	支座	车间修理	表面喷漆
4	2	521150002	接头	车间修理	表面喷漆
5	2	521150003	衬套	报废	
6	2	521150006	齿形板	车间修理	表面喷漆
7	2	521150008	堵帽	报废	
8	2	DXG01-001	导向杆	报废	

3 结论

1) 本文提出的适用于结构部件的LORA分析流程能够满足现阶段我国民用飞机主制造商对于结构件的初步维修分析要求。

2) 针对现阶段民用飞机结构修理水平,ELO-RA分析暂时无法成为结构部件修理等级的主流分析方法。

3) LORA分析从正向角度明确了结构件车间修理的维护对象,为主制造商部件维修手册定位提供参考。

本文所提出LORA分析流程产生的车间修理项目可作为部件维修手册的规划输入,为后续结构部件的车间修理方案分析框定范围,从正向分析的角度明确了结构件部件维修手册的使用场景与维护对象,解决部件维修手册、车间维修对象定义模糊问题,对推进主制造商部件维修手册的维修分析工作产生正面影响。

参考文献

- [1] 中国民用航空局. 航空器的持续适航文件: AC-91-11 R2 [S]. 北京: 中国民用航空局, 2018.
Civil Aviation Administration of China. The Instructions for Continued Airworthiness of Aircraft: AC-91-11 R2 [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2018. (in Chinese)

- [2] 孙滨,张磊,谈云峰. 航空器持续适航文件(ICA)的编制和评审要点[J]. 航空维修与工程, 2020(9): 31-36.
SUN Bin, ZHANG Lei, TAN Yunfeng. The development and key points of evaluation on the instructions for continued airworthiness of aircraft[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2020(9): 31-36. (in Chinese)
- [3] 田晶,马小骏,冯蕴雯,等. 水陆两栖飞机涉水结构修理级别分析研究[J]. 航空工程进展, 2021, 12(5): 145-151.
TIAN Jing, MA Xiaojun, FENG Yunwen, et al. Study on level of repair analysis for amphibious aircraft wading structure[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(5): 145-151. (in Chinese)
- [4] 李良峰,陈柏松,王晓伟,等. 国内外修理级别分析对比研究[J]. 装备制造技术, 2011(8): 140-143.
LI Liangfeng, CHEN Baisong, WANG Xiaowei, et al. Compare research on level of repair analysis both in china and abroad[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2011 (8): 140-143. (in Chinese)
- [5] 国防科学技术工业委员会. 修理级别分析: GJB 2961—97 [S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 1997.
National Defense Science, Technology and Industry Commission. Level of repair analysis: GJB 2961—97[S]. Beijing: National Defense Science, Technology and Industry Commission, 1997. (in Chinese)
- [6] 安钊,郭红芬. 复杂装备修理级别分析工程化方法研究[J]. 航空维修与工程, 2007(3): 51-53.
AN Zhao, GUO Hongfen. Complex equipment LORA using in engineering program[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2007(3): 51-53. (in Chinese)
- [7] 王斯怡. 宽体客机的修理级别分析[J]. 通讯世界, 2018 (7): 251-252.
WANG Siyi. Level of Repair analysis for wide-body aircraft [J]. Telecom World, 2018(7): 251-252. (in Chinese)
- [8] 刘巧云,苏茂根. 民用飞机修理级别分析方法研究[J]. 航空维修与工程, 2014(1): 87-89.
LIU Qiaoyun, SU Maogen. Research on level of repair analysis method for civil aircraft [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2014(1): 87-89. (in Chinese)
- [9] 孙峰,朱俊生. 基于 S3000L 标准的民用直升机修理级别分析技术研究[J]. 机电信息, 2020(9): 62-63.
SUN Feng, ZHU Junsheng. Study on level of repair analysis technology for civil helicopters based on S3000L Standard [J]. Mechanical and Electrical Information, 2020(9): 62-63. (in Chinese)
- [10] 薛陶,冯蕴雯,薛小锋,等. 一种飞机修理级别经济性分析模型[J]. 航空学报, 2013, 34(1): 97-103.
XUE Tao, FENG Yunwen, XUE Xiaofeng, et al. An aircraft economic evaluation model for level of repair analysis [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2013, 34(1): 97-103. (in Chinese)
- [11] 吴昊,左洪福,孙伟. 一种新的民用飞机修理级别优化模型[J]. 航空学报, 2009, 30(2): 247-253.
WU Hao, ZUO Hongfu, Sun Wei. A new level of repair analysis optimization model for civil aircraft maintenance[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2009, 30(2): 247-253. (in Chinese)
- [12] 魏效燕,刘晓东. 基于 AHP 方法的军用飞机修理级别分析[J]. 航空维修与工程, 2006(2): 22-24.
WEI Xiaoyan, LIU Xiaodong. Military aircraft's level of repair analysis which based on AHP [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2006(2): 22-24. (in Chinese)
- [13] Aerospace, Security and Defence Industries Association of Europe. International procedure specification for logistics support analysis (LSA): S3000L [S]. Brussels: Aerospace, Security and Defence Industries Association of Europe, 2010.
- [14] 庚桂平. S3000L《后勤保障分析国际程序规范》介绍[J]. 航空标准化与质量, 2013(3): 49-53.
GENG Guiping. Introduction to S3000L "International Procedure Specification for Logistics Support Analysis" [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2013(3): 49-53. (in Chinese)
- [15] 周帆. 民用飞机修理级别分析模型研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2017.
ZHOU Fan. Study on the model of repair level analysis for civil aircraft[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2017. (in Chinese)
- [16] 李鑫,蔡景,左洪福,等. 两级修理模式下民机修理级别非经济性分析研究[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(07): 8-11.
LI Xin, CAI Jing, ZUO Hongfu, et al. Research on level of repair analysis non-economic evaluation for civil aircraft maintenance based on two-level maintenance[J]. Fire Control & Command Control, 2015, 40(7): 8-11. (in Chinese)
- [17] 吴昊,左洪福. 基于改进层次分析法的民用飞机修理级别非经济性分析[J]. 飞机设计, 2008, 28(6): 46-49.
WU Hao, ZUO Hongfu. Level of repair analysis non-economic evaluation for aircraft maintenance based on improved AHP [J]. Aircraft Design, 2008, 28(6): 46-49. (in Chinese)

(编辑:丛艳娟)