

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2023.02.022

民用飞机结构检查可达性分析研究

郑 蓝*

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘 要: 结构检查的可达性对于航空公司的定检维修相当重要,而针对民用飞机的结构可达性分析的研究相对较少。从适航条款的要求出发,结构可达性可分为目视检查(一般目视检查和详细目视检查)任务、无损检测任务和更换、调整任务,而检查类型任务才是可达性分析的重点。提出了一种结构检查可达性的分析方法,总结了目视检查任务和无损检测任务两种类型任务的检查要求,根据检查任务的检查要求,基于人体实体可达性、结构本体可达性、光照情况和维修资源使用情况四个角度,提出可达性检查等级,可达性检查等级结合检查任务实施的检查门槛值和检查重复间隔,给出可达性分析结论。通过某型飞机详细目视检查任务和无损检测任务的案例分析,可以看出此结构检查可达性分析方法易于操作,并可以给出明确的可达性结论,为可达性措施条款的符合提供了一种分析途径。

关键词: 结构可达性;目视检查;无损检测

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

OSID:



0 引言

维修可达性是反映维修时接近飞机及其系统、设备、部件的难易程度。维修可达性的好坏是维修人为因素中的重要考量因素^[1-2],目前由郑庆^[3]提出了区域到部件细节的 5 个方面可达性评价分析方法,而主流的评价分析方法基于可视性、实体可达性和操作空间可达性三个方面出发,较为成熟^[4-6],但在这些可达性分析评价的研究中,多以系统设备的维修可达性为案例。对于结构维修的可达性研究少之又少。另外抛开维修间隔只谈论维修可达性也是没有实际意义的。从适航条款可达性措施要求出发,结构可达性分为目视检查任务(一般目视检查和详细目视检查)、无损检测任务和更换、调整任务,而检查类型任务才是可达性分析的重点。本文提出了一种结构检查可达性的分析方法,总结了目视检查任务和无损检测任务两种类型任务的检查要求。根据检查任务的检查要求,基于人体实体可达性、结构本体可达性、光照情况和维修资源使用情况四个角度,提出可达性检查等

级,将可达性检查等级与检查任务实施的检查门槛值和检查重复间隔相结合,最终给出可达性分析结论。通过某型飞机详细目视检查任务和无损检测任务的案例分析,可以看出此结构可达性分析方法易于操作,并可以给出明确的可达性结论,为可达性措施条款的符合提供了一种分析途径。

1 结构维修可达性任务来源

1.1 适航条款

飞机结构可达性的要求来自于适航规章 CCAR25-R4 的可达性措施(25.611 条款),条款原文如下:

a) 必须具有措施,使能进行为持续适航所必需的检查(包括检查主要结构元件和操纵系统)、更换正常需要更换的零件、调整和润滑。每一项目的检查方法对于该项目的检查间隔时间必须是切实可行的。如果表明无损检查是有效的并在第 25.1529 条要求的维护手册中规定有检查程序,则在无法进行直接目视检查的部位可以借助无损检查手段来检查结构元件;

* 通信作者. E-mail: zhenglan@comac.cc

引用格式: 郑蓝. 民用飞机结构检查可达性分析研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2023(2):134-138. ZHENG L. Structural inspection accessibility analysis of civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023(2):134-138(in Chinese).

b) EWIS 必须满足 25.1719 条的可达性要求。

其中,对飞机结构可达性的要求主要是 a) 条中必须有措施能够检查主要结构元件和更换正常需要更换的零件,并且这些项目的检查方法对于检查间隔时间必须切实可行。

1.2 任务来源

对于结构可达性,以上 25.611 条款可解读为以下 3 个来源的任务:

1) ALI(适航限制项目)制定的检查任务(以各 PSE 单项梳理检查任务),包括目视检查任务(详细目视检查)和无损检测任务。

2) MSG-3 制定的结构检查任务,包括 SSI 项目的检查任务、非 SSI 项目的检查任务,主要为目视检查任务(详细目视检查和一般目视检查)和无损检测任务。

3) 航线可维护件的更换任务。

这里可以将所有任务分为详细目视检查任务、无损检测任务和更换任务^[7-8]。

由于结构更换任务主要以口盖、面板、整流罩等部件为主,其更换的可达性均较好,所以结构可达性的重点为目视检查任务(一般目视检查、详细目视检查)和无损检测任务。

2 检查任务要求

2.1 目视检查要求

1) 目视检查分类

目视检查是通过人的眼睛或眼睛与简易放大或辅助延伸工具相结合,对工件表面进行观察的检查方法。目视检查分为一般目视检查和详细目视检查。一般目视检查主要为检查明显损伤、故障和不正常的迹象而进行的内部/外部、安装/组件的目视检查。详细目视检查是为了检测损伤、故障或不正常的迹象,对于一个特定的项目、安装和组件进行仔细的检查。对于详细目视检查,一般将其限定在一个较小的区域进行;如果检查较大的范围,通常选择一般目视检查。

2) 检查细节

目视检查主要是用目视的手段检查以下缺陷:因过热导致的变色和烧蚀、表面凹坑或隆起、结构裂纹、腐蚀或变形、复合材料分层或表面损伤。

3) 距离和角度要求

维护人员眼睛到被检查物体的检查路径无中

断。理想的详细检查为眼睛与检查细节距离应在 20~30 cm 之间,应尽可能使用放大镜。详细检查的距离最大不应超过 60 cm。对于表面凹坑或隆起、表面裂纹、表面腐蚀等缺陷形式,详细检查时,检查视线与检查平面的角度不应低于 30°^[9]。

对于不能直接目视检查的区域,允许使用反光镜,但需满足以上距离和角度的要求。

4) 照明要求

目视检查时,应该在正常光照条件下如日光、机库内灯光、手电筒或者落地灯等进行。光照度应不小于 500 lx,必要时应采用辅助照明手段。辅助照明应能照射到检查细节。对于表面凹坑或隆起、表面裂纹、表面腐蚀等缺陷形式,辅助照明的入射角度应在 5°~45°之间,眼睛观察角度应在入射与反射角度之间。

2.2 无损检测要求

1) 超声和涡流检测

无损检测的方式很多,一般常用的手段为超声、涡流探伤等,此类型需手持超声或涡流探头,探头需能垂直于检测部位表面,探头设备一般存在光源,无需他人辅助光源实施检测,检测时最好能同时目视检测对象和无损设备屏幕^[10]。

2) X 射线、磁粉和渗透检测

由于 X 射线对细胞有强烈杀伤作用,需要严格的防护措施,加之检测设备投资大,检测费用较贵,检测过程复杂,周期较长,尤其是较难检测裂纹、分层等点、面型缺陷。因此,X 射线检测不作为优先选择的方法。磁粉和渗透检测,通过黑光灯照明检测部位表面,为避免磁粉或者渗透的显影液对周边结构产生影响,一般应采用离位的检测模式。由于 X 射线、磁粉和渗透的适用场景较少,本文未对此类型检测方法的可达性分析进行研究。

3 结构检查任务可达性分析

3.1 实体可达性

通过目视检查的距离要求可以得知,人眼与结构部件距离需要达到 60 cm 以内,这就需要人的躯干实体可达。

通过无损检测要求,人体手臂需接近结构细节并扫略探头,这也需要人体躯干实体可达。

进行实体可达性分析,设置实体可达性等级,如表 1 所示。

表 1 人体实体可达性

实体可达性等级	判定标准
A	直接可达; 或打开舱门、口盖等后可达
B	拆卸简单的航电设备、机械设备、装饰板、隔音棉; 或断开 EWIS 插头,拆卸少量 EWIS 线缆; 或拆卸少量液压等管路; 或在油箱开口附近即可达
C	拆卸大量航电设备、机械设备; 或拆卸大量 EWIS 线缆; 或拆卸液压等管路; 或拆除大部件(如厨房、盥洗室、发动机、起落架等); 或身体完全进入油箱内部后可达
D	实体不可达

3.2 结构本体可达性

当检查人员实体可以达到结构检查所需位置后,针对被检查结构本体需要开展可达性分析,设置结构本体可达性等级,如表 2 所示。

表 2 结构本体可达性

实体可达性等级	判定标准
A	直接可达
B	本体上有涂胶
C	本体被其他可拆结构遮挡; 本体被其他不可拆结构遮挡,但遮挡结构的厚度在可检范围内
D	本体被其他结构遮挡,且遮挡结构的厚度不在可检范围内

3.3 光照情况

光照对于目视检查任务相当重要,蒋韵尔^[11]的研究中发现 100 lx 光照下发现损伤的可能性远远低于 500 lx 和 1 000 lx 的光照条件下。

对于无损检测,只要有适度照明看清结构情况,具体细节依靠无损设备自身光照即可完成。光照情况判定标准如表 3 所示。

表 3 光照情况

等级	目视检查:判定标准	等级	无损检测:判定标准
A	自然照明	A	有一定照明
B	单人辅助手电照明,且辅助照明角度在要求范围内		

表 3(续)

等级	目视检查:判定标准	等级	无损检测:判定标准
C	需他人辅助手电照明或辅助照明角度不在要求范围内		
D	无照明条件	D	无照明条件

3.4 维修资源使用情况

目视检查时是允许使用放大镜、反光镜、内窥镜。无损检测的探头除标准的直探头和 90°弯角探头外,还可以定制不同角度或者长度的探头,但是用反光镜对观察角度和光源角度要求很高,检查准确度有一定影响,内窥镜和定制探头增加维修工具的储藏并且对检查人员的能力要求高。维修资源使用的判定标准如表 4 所示。

表 4 维修资源使用

等级	目视检查:判定标准	等级	无损检测:判定标准
A	直接目视	A	标准探头
B	需要反光镜		
C	需要内窥镜	C	定制探头
D	无法使用各种检查工具	D	无法使用各种检查工具

3.5 结构检查的可达性分析

对于上述 4 项可达性分析影响因素,得到整个检查的可达性等级,如表 5 所示。

表 5 检查可达性等级

可达性等级	标准
A	全部为 A
B	一项为 B
C	一项为 C,或者两项为 B
D	两项为 C,或一项为 C 且两项为 B
E	两项以上为 C,或一项为 D

根据可达性等级以及实施检查的门槛值和重复间隔值,提出结构检查的可达性分析结果如表 6 所示。

表 6 检查可达性分析结果

可达性等级 维修间隔	A	B	C	D	E
门槛:C 检以内	R	N	N	N	N

表6(续)

可达性等级 维修间隔	A	B	C	D	E
门槛:2C 检以内 间隔:C 检以内	R	R	N	N	N
门槛:D 检以内 间隔:2C 检以内	R	R	R	N	N
门槛:D 检以上	R	R	R	R	N

注:R 为接受,N 为不可接受。

4 案例

某型飞机 C 检间隔为 4 000 FC/7 000 FH/2 Years,D 检间隔为 16 000 FC/28 000 FH/8 Years。该型飞机检查项目如表 7 所示。

表 7 某型飞机检查项目

检查项目	检查方法	检查门槛	重复间隔
前 EE 舱 FR11 框长桁蒙皮搭接	详细目视	24 000 FH/FC	12 000 FH/FC
前 EE 舱 FR11 框连接带板孔边	高频涡流	8 000 FH/FC	2 000 FH/FC
升降舵盒段内部 检查	详细目视	8 年	8 年
前 EE 舱 FR15- 18 框长桁间对 接带板与框内缘 连接孔边	高频涡流	14 000FH/FC	11 000 FH/FC
	低频涡流		3 800 FH/FC

详细目视前 EE 舱 FR11 框长桁蒙皮搭接任务:由于 FR11 框 EE 舱长桁受设备架本体阻挡,需拆卸设备架上设备和设备架上层结构才能拆卸绝热隔声层,实体可达性 C;拆除绝热隔声层可直接目视,结构本体可达性为 A;前 EE 舱内部无法直接使用自然照明,但在拆除设备架上层结构后,可以提供单人辅助照明,光照情况等级为 B;在拆除设备架上层结构后,检查工作无需使用反光镜,可以直接目视,维修资源使用等级为 A。故详细目视前 EE 舱 FR11 框长桁蒙皮搭接任务的可达性等级为 C,结合检查门槛和检查间隔,可达性分析结果为“接受”。

高频涡流前 EE 舱 FR11 框连接带板孔边任务:由于 FR11 框连接带板受到前 EE 舱设备架冷却管路阻挡,需拆卸设备冷却管路和绝热隔声层,实体

可达性 C;被检查结构细节处,无涂胶和其他结构遮挡,结构本体可达性等级 A;前 EE 舱内有一定照明,可以供维护人员看到需要检查的部位,高频涡流检测仪器上自带照明灯珠,故光照情况为 A;受 EWIS 支架的影响,标准的直探头和 90°弯角探头在扫略过程中均会与 EWIS 支架干涉,故需要采用定制探头扫略区域,维修资源使用等级为 C。故高频涡流前 EE 舱 FR11 框连接带板孔边任务的可达性等级为 D。结合检查门槛和检查间隔,可达性结果为“不可接受”,建议对带板形状和材料进行更改,延长检查门槛和检查间隔或者调整布置,使连接带板避开设备架和 EWIS 支架的影响。

详细目视升降舵盒段内部检查任务:由于盒段内部检查仅需要拆卸检查孔螺栓,实体可达性 A;检查盒段内部,主要是表面的腐蚀情况,结构本体可达性为 A;通过检查孔检查,需要使用内窥镜,内窥镜提供辅助照明,光照情况等级为 B,维修资源使用等级为 C。故详细目视升降舵盒段内部检查任务的可达性等级为 C,结合检查门槛和检查间隔,可达性分析结果为“接受”。

前 EE 舱 FR15-18 框长桁间对接带板与框内缘连接孔边涡流检查任务:高频和低频检查接近通道不同,检查结构本体不同。高频涡流,需拆卸 3 段空调管路、管路上的流量传感器、EWIS 分离面及部分线缆,人体实体可达性为 C;可直接接近,结构本体可达性为 A;低频涡流,人体实体可达性为 A,检查细节被 EWIS 支架遮挡,结构本体可达性为 C;光照情况等级为 A,维修资源使用等级为 A,故高频涡流和低频涡流可达性等级均为 C,结合检查门槛和检查间隔,高频涡流检查的可达性分析结果为“接受”,低频涡流检查的可达性分析结果为“不可接受”,应舍去低频涡流检查任务。

5 结论

本文提出了一种结构检查可达性分析方法,结论如下:

1) 首先,根据适航条款要求,结构的可达性分析除了较为容易判定的结构件更换可达性外,就是对 ALI 和 MSG-3 检查任务的可达性分析,也就是对于目视检查任务的可达性分析和无损检测任务的可达性分析。

2) 其次,从距离、角度和照明三个方面总结了

目视检查任务的检查要求;从探头的使用,总结了超声和涡流两大无损检测任务的检查要求。

3) 最后,基于人体实体可达性、结构本体可达性、光照情况和维修资源使用情况,提出了可达性检查等级,将可达性检查等级与检查阈值和检查重复间隔相结合,提出明确的可达性分析结果判定标准。

参考文献:

- [1] 吕川. 维修性设计分析与验证[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 10.
- [2] 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: 51-53.
- [3] 郑庆. 基于虚拟维修的民机可达性设计缺陷分析方法[J]. 民用飞机设计与研究, 2021(4): 100-103.
- [4] 曾毅. 基于维修性设计的可达性分析评价技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007: 6-13.
- [5] 徐达,王宝琦,吴溪. 装备维修可达性综合评价方法研究[J]. 制造技术与机床, 2013(6): 77-80.

- [6] 蒋伟. 基于虚拟人的维修可达性仿真及评价技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009: 55-59.
- [7] 柏文华,左洪福,吴静敏,等. 一种民用飞机结构维修大纲的制定方法[J]. 飞机设计, 2011,31(5): 46-50.
- [8] 柏文华. 民用飞机维修大纲制定的关键技术及方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014: 3-4.
- [9] 彭智伟,石磊,徐矛,等. 目视检测在民用飞机全尺寸结构疲劳试验中的应用[J]. 无损检测, 2016, 38(12): 62-64.
- [10] 陈继伟. 民用飞机结构无损检测方法研究[J]. 科技视界, 2018(21): 29;16.
- [11] 蒋韵尔,黄淑萍,傅山. 环境因素影响复合材料目视检测的试验研究[J]. 中国安全科学学报, 2013,23(11): 157-162.

作者简介

郑 蓝 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机可维修性设计。E-mail: zhenglan@comac.cc

Structural inspection accessibility analysis of civil aircraft

ZHENG Lan *

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

Abstract: The accessibility of structural inspection is very important for the regular inspection and maintenance of airlines, while the research on structural accessibility analysis of civil aircraft is relatively less. From the requirements of airworthiness clauses, structural accessibility can be divided into visual inspection (general visual inspection and detailed visual inspection) tasks, NDT(non-destructive testing) tasks and replacement and adjustment tasks, and inspection type tasks are the focus of accessibility analysis. This paper proposes an analysis method for structure accessibility, and the inspection requirements for visual inspection tasks and nondestructive testing tasks are summarized. According to the inspection requirements of inspection tasks, the accessibility inspection level was proposed based on the four perspectives of human body accessibility, structure body accessibility, lighting condition and the use of maintenance resource. The accessibility inspection level was combined with the inspection threshold and inspection repetition interval of inspection task, and the accessibility analysis conclusion was given. Through the case study of the detailed inspection task and NDT tasks of an aircraft, it can be seen that this structural accessibility analysis method is easy to operate, and can give a clear accessibility conclusion, which can provide an analysis approach for the compliance of accessibility airworthiness clauses.

Keywords: structural accessibility; visual inspection; non-destructive testing(NDT)

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