

波音民用飞机外形凹坑损伤的 检查及评估

Dent Damage Inspection and Evaluation for Boeing Civil Airplanes

周广洲 / Zhou Guangzhou

(山东太古飞机工程有限公司, 济南 250107)

(Taikoo (Shandong) Aircraft Engineering Co., Ltd., Jinan 250107, China)

摘要:

介绍了凹坑的形成原因以及评估因素, 针对波音民用飞机比较容易产生凹坑的区域如机身蒙皮、发动机前缘、缝翼前缘、水平安定面前缘、垂直安定面前缘等, 结合基地大修时的维护经验分析了相关的检查、评估处理方法, 并给出后续监控的建议。

关键词: 凹坑; 允许损伤; 检查; 评估

[Abstract] The formation reason and evaluation factors of the dent are introduced. Combined with overhaul experience, the related dent damage inspection and evaluation methods for the areas that are prone to dent, such as fuselage skin, engine lip skin, slat leading edge, horizontal stabilizer leading edge and vertical stabilizer leading edge are analyzed and the supplemental control suggestion is presented.

[Key words] Dent; Allowable Damage; Inspection; Evaluation

0 引言

凹坑是一种外形凹进部件原始轮廓且部件的横截面积无改变的结构性损伤。凹坑的边缘平滑, 通常由外物体碰撞引起, 飞行中的鸟击、维护时的工具碰撞等都会造成飞机部件出现永久性的凹陷或突起。由于部件的轮廓变化, 会增加飞行阻力、降低飞行性能, 造成飞机不正常的振动等。另外, 凹坑区域会形成应力集中, 从而影响到部件的抗疲劳性能。因此, 对于凹坑损伤必须了解其允许的范围以及后续的处理要求, 确保飞机结构性安全。

1 凹坑的评估因素

1.1 凹坑尺寸

凹坑尺寸包括凹坑的长度、宽度和最大深度。凹坑长度是指从凹坑一端到另一端的最长距离, 用字母 L 表示; 宽度是指垂直于凹坑长度方向上的最长距离, 常用字母 W 表示 (有些区域使用字母 A 表示, 比如平尾或垂尾前缘); 最大深度是指凹坑偏离

原始轮廓的最大距离, 用字母 Y 表示。通常凹坑的最大深度 Y 必须小于规定的值, 但对于凹坑的长度和宽度一般不作限制要求, 如图 1 所示。

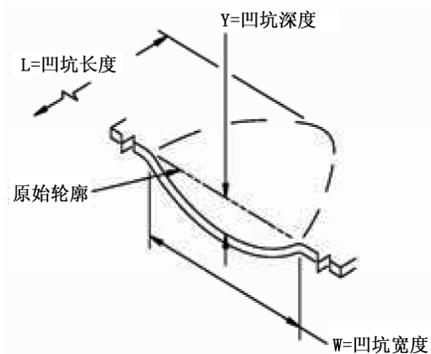


图 1 凹坑尺寸定义

1.2 凹坑波浪度

波浪度是指凹坑的宽深比 W/Y (或 A/Y), 这个比值是评估凹坑时一个非常重要的参数, 是凹坑损伤程度的重要判断依据。波浪度的大小直接反映了凹坑的尖锐程度, W/Y 值越小表示凹坑越尖锐, 应力集中越大, 超出允许标准的可能比较大; W/Y

值大,则表示凹坑相对平缓。在波音民用系列飞机里一般要求 $W/Y \geq 30$, 如果小于这个值, 需要修理或后续检查等特殊处理。

1.3 凹坑允许损伤的一般要求

凹坑区域必须是光滑的, 没有锋利的褶皱、凿痕或裂纹, 不能有撕开、松动或缺失的紧固件。除非有特殊说明, 否则凹坑只允许出现在单独的蒙皮空腔里, 不允许出现在隔框、桁条或加强筋等内部结构上。

2 凹坑的分类

定检维护中发现的凹坑是必须开出非例行工作卡进行记录的, 按照凹坑的性质可以将其分为以下四类。

(1) 不需要修理的凹坑。这种凹坑在允许损伤范围内, 不需要做任何修理和后续检查。

(2) 不需要修理, 但需要后续检查的凹坑。此类凹坑虽然不需要修理, 但要在规定的飞行间隔(飞行小时/循环)内进行检查。如果在检查期间发现凹坑加大或出现裂纹等其他损伤则需要立即修理。

(3) 需要定期检查, 并要在规定的时限内完成修理的凹坑。这种凹坑不需要立即修理, 但要在规定的飞行间隔内重复检查, 并在规定的时间内完成永久修理。如果在检查期间发现凹坑加大或裂纹等其他损伤等需要立即修理。

(4) 需要立即修理的凹坑。此类凹坑在飞机下次飞行前必须进行修复。

3 典型区域凹坑的检查及评估

定检中对凹坑的处理程序是:

(1) 去除凹坑区域漆层, 进行详细的目视检查。

(2) 无损探伤进行检查, 以确定有无隐藏裂纹。如果发现裂纹应当立即进行修理, 如果没有则执行下一步。

(3) 轻轻打磨凹坑区域并进行防腐处理。

(4) 参考具体的手册章节进行评估。若没有超标就恢复漆层, 若超标则按照结构修理手册修理或寻求波音提供修理方案。除非有特殊说明, 任何凹坑都要满足允许损伤的一般要求(参照 1.3 节)。

在大多数情况下维护手册中并没有规定要对凹坑进行无损探伤检查, 但是凹坑区域可能会隐藏目视检查无法发现的微裂纹, 所以在条件允许的情

况下应尽量对凹坑区域进行无损探伤检查。

3.1 机身蒙皮

机身蒙皮上的凹坑首先要满足凹坑允许损伤的一般要求。如果在大气数据传感器非常关键区域的蒙皮出现凹坑, 则必须依据结构修理手册相关章节将凹坑修整恢复到飞机原始轮廓以满足气动光滑性的要求。

机身蒙皮在整体上划分为三个区域, 如图 2 所示。区域一为增压冠状区域, 在机身站位 BS259.5 到后隔框、桁条 S10L-S10R 之间; 区域二为增压非冠状区域, 是在机身站位 BS178 到后隔框之间、除去增压冠状区域之外的区域; 区域三是从后隔框向后的非增压区域。这三个区域内要求凹坑 $W/Y \geq 30$, $Y \leq 0.125\text{in}$, 如果凹坑的尺寸超出限制, 需要满足表 1 的要求或直接修理。

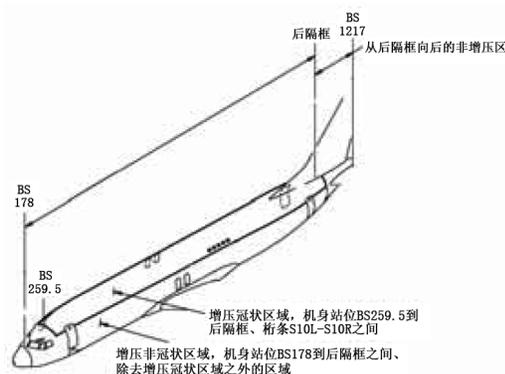


图 2 机身蒙皮的三个区域划分

表 1 超标凹坑在三个区域内的限制要求

	区域一	区域二	区域三
是否填充	不可以	不可以	不可以
普通凹坑的检查间隔 T(飞行循环)	若飞机执行过 SB737-21-1149, 则 $T \leq 2500$; 若未执行过该 SB, 则 $T \leq 5000$	若飞机执行过 SB737-21-1149, 则 $T \leq 2500$; 若未执行过该 SB, 则 $T \leq 5000$	$T \leq 5000$
油罐效应(Oil Can)凹坑的检查间隔 T(飞行循环)	若飞机执行过 SB737-21-1149, 则 $T \leq 400$; 若未执行过该 SB, 则 $T \leq 800$	若飞机执行过 SB737-21-1149, 则 $T \leq 400$; 若未执行过该 SB, 则 $T \leq 800$	$T \leq 800$

3.2 发动机前缘蒙皮

此区域的凹坑是不允许填充的。在满足凹坑允许损伤的一般要求下, 每四分之一的前缘蒙皮组

件内(发动机前缘蒙皮由四部分蒙皮对接组成)最多允许出现两个凹坑,相邻两个凹坑之间的距离至少 15in,凹坑尺寸要求 $W/Y \geq 30$, $Y \leq 0.125in$, $W \leq 4in$, $L \leq 4in$ 。

如果凹坑尺寸超出上述限制,在保证相邻两个凹坑之间的距离至少 15in 的前提下,凹坑区域可以有褶皱但最长不能超过 3in,且凹坑限制 $W/Y \geq 30$, $Y \leq 0.25in$, $W \leq 4in$, $L \leq 4in$ 。在这种情况下飞机最多可以再飞二个飞行循环。

3.3 缝翼前缘

这个区域要满足凹坑允许损伤的一般要求且 $W/Y \geq 30$, $Y \leq 0.125in$ 。如果缝翼前梁前部蒙皮的凹坑 $Y > 0.06in$ 或前梁后部蒙皮的凹坑 $Y > 0.1in$,或者凹坑之间(或凹坑和其他损伤之间)的距离小于 $0.5D$ (D 为两个损伤的最大尺寸),或者单一缝翼上的损伤多于 10 个,凹坑必须要填充或修整。

如果对凹坑进行了填充或整形,则每 400 飞行小时的间隔内要进行检查,若发现裂纹或损伤加大的情况,必须在下次飞行前对缝翼进行修理。

3.4 水平和垂直安定面前缘

凹坑首先要满足允许损伤的一般要求,凹坑边缘距离孔的边缘至少 1in 且 $A/Y \geq 30$,注意 Y 值的变化对凹坑区域是有一定影响的。参考表 2。

表 2 凹坑的限制和要求(单位:in)

凹坑深度 Y	凹坑允许的限制 (相邻肋组成的区域称为一个腔)
如果 $0.5 \leq Y < 1.0$	出现凹坑腔的两侧各 5 个腔内不能有损伤,这个腔内不能有其他损伤。
如果 $0.4 \leq Y < 0.5$	出现凹坑腔的两侧各 3 个腔内不能有损伤,这个腔内不能有其他损伤。
如果 $0.3 \leq Y < 0.4$	出现凹坑腔的两侧各 2 个腔内不能有损伤。
如果 $0.2 \leq Y < 0.3$	出现凹坑腔的两侧各 1 个腔内不能有损伤。

3.4.1 凹坑允许损伤的特殊条件

波音把水平和垂直安定面前缘的允许损伤均分为四个区域,如图 3 所示,每个区里对凹坑的限制和要求是不同的。

(1)区域 1 内凹坑允许存在,但如果凹坑超出 $A/Y \geq 30$, $Y \leq 0.06in$ (水平安定面前缘)或 $Y \leq 0.125in$ (垂直安定面前缘)的限制,则需对凹坑进行填充。

(2)区域 2 内凹坑允许存在,但要在 5 000 飞行小时内进行检查。波音建议在 5 000 飞行小时或 18 个月内根据先到的原则完成对凹坑的修理。如果

凹坑超出 $A/Y \geq 30$, $Y \leq 0.06in$ (水平安定面前缘)或 $Y \leq 0.125in$ (垂直安定面前缘)的限制,则需要对凹坑进行填充。

(3)区域 3 内凹坑允许存在,但必须对凹坑进行填充并使用 3M-436 铝箔或等效的胶带进行密封。采用每 400 飞行小时的间隔进行检查,如果发现裂纹或损伤加大需要在下次飞行前进行修理。波音要求在 5 000 飞行小时或 18 个月内根据先到的原则完成对凹坑的永久性修理。

(4)区域 4 内凹坑允许存在,如果凹坑 $Y < 0.5in$ 则直接对凹坑进行填充;如果凹坑 $Y \geq 0.5in$,则先填充一半深度的凹坑,等填充材料完全固化后再填充剩余区域,使用 3M-436 或等效的胶带进行密封且每天都需要检查,如果检查中发现裂纹或损伤加大则必须在下次飞行前进行修理。波音要求区域 4 内凹坑在 90 天内要完成修理。

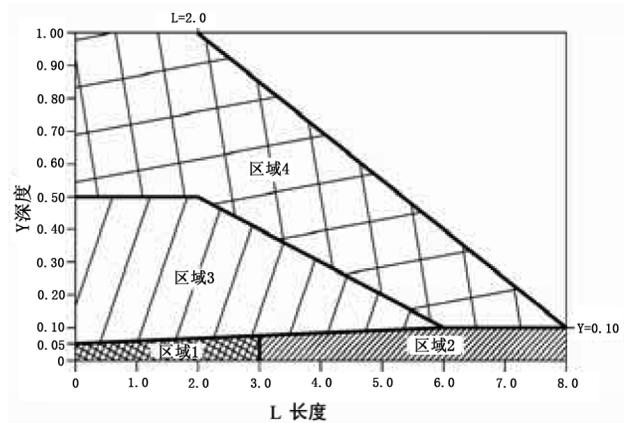


图 3 前缘的允许损伤限制(单位:in)

注意,相邻的多个凹坑可以视为一个凹坑损伤区域,相邻凹坑的间距要小于等于单个最大凹坑长度的 1.5 倍,这个损伤区域的长度为最外侧两个凹坑边缘的距离。如果凹坑深度大于 $0.5in$,则损伤区域的长度为近似一条线上的所有凹坑长度之和。

3.4.2 垂直安定面前缘站位 STA204 以下区域

这个区域要满足凹坑允许损伤的一般条件。同时凹坑边缘距离孔的边缘至少 1in,凹坑的边缘距离其他损伤区域至少 $4D$ (D 为损伤的最大尺寸),且 $A/Y \geq 30$, $Y \leq 0.125in$ 。

4 方便凹坑后续监控的建议

有些凹坑是需要后续的监控并定期检查的,很多航空公司会把这个工作放在航后或配合定检来做,但由于外在条件改变、工作人员能力等原因,有

些位置的凹坑仅通过工卡的记录去确定位置比较困难或核实位置的时间比较长,且随着飞机老龄化,凹坑也会越来越多,控制起来也就比较困难。这里,建议航空公司针对飞机上的凹坑编写控制程序,在飞机上采用凹坑周围喷涂绿圈(Green Mark)或黄圈(Yellow Mark)的方法进行标识,并制做凹坑布局图。其中,绿圈标识表示此位置凹坑已经进行过评估,不需要后续监控;黄圈标识表示此位置凹坑需要后续的监控,适合时应当及时进行修理。这样做会更加方便航线或定检中对凹坑的监控,配合凹坑布局图可以实现更加准确、快速的凹坑定位,有利于工作开展和飞机凹坑的持久监控。

5 结论

在维护手册特定章节的特定部件,对凹坑的允

(上接第 59 页)

的误差 $e_2 = \frac{1 \times 10^{-3} \text{V}}{7.875 \text{V} - (-7.901 \text{V})} \times [35^\circ - (-35^\circ)] = 0.004^\circ$ 。按 A 类评定,用极差法计算,查极差系数表得极差系数 $d_n = 2.85$,则 $u_2 = \frac{e_2}{d_n} = 0.001^\circ$ 。

(4) AD598 引入的标准不确定度分量 u_3

AD598 线性误差为 0.05% FS,引入的误差 $e_3 = 0.05\% \times [35^\circ - (-35^\circ)] = 0.035^\circ$,设该分布为均匀分布,置信因子 k_3 取 $\sqrt{3}$,则 $u_3 = \frac{e_3}{k_3} = 0.020^\circ$ 。

(5) AD 转换器引入的标准不确定度分量 u_4

根据 AD 转换器技术指标,其绝对精度为 $\pm 2 \text{mV}$,引入的误差 $e_4 = \frac{2 \times 10^{-3} \text{V}}{7.875 \text{V} - (-7.901 \text{V})} \times [35^\circ - (-35^\circ)] = 0.009^\circ$ 。

设该分布为均匀分布,置信因子 k_4 取 $\sqrt{3}$,则 $u_4 = \frac{e_4}{k_4} = 0.005^\circ$ 。

(6) 环境温度变化引起的标准不确定度分量 u_5

AD598 的增益温漂 α 为 50ppm/ $^\circ\text{C}$,按环境温度最大偏离标准温度 $\Delta t = \pm 10^\circ\text{C}$ 估计,在评定点 T 处,环境温度变化引入的误差 $e_5 = \Delta t \times \alpha \times T = 10^\circ\text{C} \times 50 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \times 10^\circ = 0.005^\circ$,按均匀分布考虑,取包含因子 $k_5 = \sqrt{3}$,则 $u_5 = \frac{e_5}{k_5} = 0.003^\circ$ 。

(7) 合成标准不确定度 u_c

以上各分量独立且互不相关,则测试通道在

许条件可能会有不同的规定,但是其基本原理及评估方法是一致的。在实际维修过程中,应当对凹坑进行仔细的测量、对比和判断。有时较厚蒙皮区域的类似凹坑形状的损伤可能是由外物敲击引起,但如果内表面轮廓没有变化,那这个损伤可以认为是局部横截面发生了变化,不能采用凹坑的评估方法进行处理。总之,对于凹坑损伤应当清晰明了其本质,才更有利于做好飞机结构的维护工作。

参考文献:

[1] Airframe and Powerplant Mechanics Airframe Handbook AC65-15A.

10°时的合成标准不确定度为:

$$u = \sqrt{u_0^2 + u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.028^\circ$$

(8) 扩展不确定度 U

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.028^\circ = 0.056^\circ (k=2)$$

由以上数据可知,扩展不确定度值小于测量范围 70°、RVDT 数据采集系统最大允许误差的 1/3,即小于 $(70 \times 0.6\%) / 3 = 0.117^\circ$ 。

6 结论

目前国内还没有 RVDT 传感器数据采集系统校准方面的规范,本文通过对其校准方法的研究,结合不确定度分析,结果表明该方法合理有效,为该类专用测试设备技术指标的确定提供了校准依据,有助于规范地开展 RVDT 数据采集系统的校准工作。

参考文献:

[1] 李稷. RVDT 传感器仿真电路的设计与研究[J]. 民用飞机设计与研究,2011,2:56-59.

[2] 罗幼果,李醒飞. 基于 AD598 的位移传感器的误差研究[J]. 电子测量技术,2007,30(7):189-191.

[3] 刘文杰,张茂青,杨正,等. 线性差动变压器专用集成电路 AD598 及其应用[J]. 电测与仪表,2000,37(11):45-46.

[4] 马建. 数据采集与处理技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,2005.

[5] 国家质量技术监督局. JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表示[S]. 北京:中国计量出版社,1999.