

文章编号:1000-8055(2011)07-1575-08

F100/F110 发动机与 F-15/F-16 战斗机 使用故障的统计与分析

梁春华^{1,2}, 王占学¹, 曹茂国²

(1. 西北工业大学 动力与能源学院, 西安 710072;

2. 中国航空工业集团公司 沈阳发动机设计研究所, 沈阳 110015)

摘 要: 为借鉴国外航空发动机在设计、研制和使用中积累的经验与教训,通过大量的数据统计与分析,描述美国 F-15 与 F-16 战斗机及其装配的 F100 与 F110 发动机在使用中发生的重大故障,归纳并总结这些故障在不同阶段、不同部件、不同影响因素的分布情况与规律. 分析表明:发动机在前 10 年或工作 35 000 h 左右,故障率高,在之后的较成熟期,故障明显减少;无论是否考虑结构完整性,发动机各种故障会出现在整个使用过程中,但按结构完整性大纲研制的发动机的故障率明显低;在部件故障分布方面,发动机叶轮机是最主要的故障源;在影响因子分布方面,设计、维护、保障和使用不当是发动机出现故障的最主要原因.

关 键 词: 故障统计; 故障分析; F100 发动机; F110 发动机; F-15 战斗机; F-16 战斗机

中图分类号: V263.3

文献标志码: A

Statistics and analysis of critical failures of F100/F110 engine and F-15/F-16 fighter during operation

LIANG Chun-hua^{1,2}, WANG Zhan-xue¹, CAO Mao-guo²

(1. School of Power and Energy,

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Shenyang Aeroengine Research Institute,

Aviation Industry Corporation of China, Shenyang 110015, China)

Abstract: With reference to foreign experience on fighter engine design and development, the critical failures of F-15 and F-16 fighter powered by F100/F110 engine during operation were described based on a great deal of data statistics and analysis. The distribution and respective rules of the failures during operation phases, various components and influential factors were analyzed and concluded. The analysis shows that the failure rate of the engine is high within initial 10 years or 35 000 flight hours, then significantly decreases; various engine failures can be exposed during operation, but the failure rate considering the structure integrity is obviously lower than that without considering the structure integrity; the compressor and turbine are main sources of failures; the design, maintenance, support and operation are main influential factors.

Key words: failure statistics; failure analysis; F100 engine; F110 engine;
F-15 fighter; F-16 fighter

收稿日期:2010-07-06; 修订日期:2011-03-09

作者简介:梁春华(1968—),男,辽宁建平人,研究员,博士生,主要从事航空推进系统情报研究工作.

20 世纪 70 年代中期以来,小涵道比涡扇发动机取得了巨大进展,成为战斗机的唯一动力装置.在其发展过程中,不论是 F100, F110, F404, AL31F 等第 3 代战斗机发动机,还是 F119, EJ200, M88 等第 4 代战斗机发动机,也无论是在使用初期(前 10 年左右),还是在相对较成熟的时期,都出现了这样或那样的问题或故障,严重影响了空军的作战与使用^[1-2],成为了战斗机使用中不得不面对的突出问题.本文以配装 F-15 与 F-16 战斗机的 F100-PW-220/229 与 F110-GE-100/129 发动机为例,对在使用过程的故障特征,特别是由发动机引起的故障特征进行了详细分析,以期通过分析,发现典型故障规律,为我国航空发动

机的设计研制、使用维护所借鉴.

1 发动机重大故障是战斗机的主要故障源

按损失与危害的程度,美国空军将战斗机出现的故障分为 4 个等级,如表 1 所列.

根据美国空军安全局《Flying Safety》报道的资料,对 FY94—FY07(为美国 1994—2007 财政年度,下同)美国空军战斗机发生的重大故障和由发动机引发的重大故障的数据进行了统计,如表 2 所列^[3-4].从表 2 可以发现:由发动机引发的战斗机 A 等故障率为 31%;由发动机引发的战斗机坠毁故障率为 26%.

表 1 美国空军飞行故障等级
Table 1 Flight failure class for US Air Force

故障等级	标准
A 等故障	①财产损失超过 100 万美元;或②造成人员死亡或者永久残废;或③飞机坠毁或损伤到很难修理的程度.
B 等故障	①财产损失为 20~100 万美元;或②造成人员部分残废;或③5 人以上住院.
C 等故障	①财产损失为 1~20 万美元;或②造成人员损伤,需要休息 1 个工作日以上.
D 等故障	①财产损失为 0.2~1 万美元;或②造成人员损伤,需要休息 1 个工作日以下.

表 2 美国空军战斗机发生的与发动机相关的重大故障数据
Table 2 Critical engine failures data for US Air Force fighter

财年	空军飞机故障数/次(架)			由发动机引发的故障数/(次(架)/%)		
	A 等故障	B 等故障	损伤战斗机	A 等故障	B 等故障	损伤战斗机
FY1994				/31	6/	/16.7
FY1995	34	20		13/38	7/35	/31.0
FY1996	46	13		/43.0	/37.4	/40.0
FY1997	68			19/28.0	/35.0	/38.5
FY1998	24	13	20	6/25	7/54	4/20.0
FY1999	30		26	9/30		9/34.6
FY2000	25		17			3/17.6
FY2001	24		21	9/37.5		8/38.1
FY2002	35		25	10/28.6		3/12.0
FY2003	31		11	5/16.1		2/18.1
FY2004	32		11	12/37.5		2/18.1
FY2005	33		11	7/21.2		2/18.1
FY2006	18		8	5/27.8		3/37.5
FY2007	18		14	7/38.9		3/21.4
平均值				/31		/26

根据美国空军安全局《Flying Safety》报道的资料,对 FY95—FY07 美国空军战斗机发生的与发动机相关的重大故障的因素分布数据进行了统计,如表 3 所列^[5-36].

从表 3 可以发现:由设计不当造成的占 21.1%,由维护不当造成的占 19.7%,由后勤保障不当造成的占 17.1%,由使用不当造成的占 21.8%,由质量因素造成的占 1.8%,由故障件造

成的占 4.5%,由外来物损伤造成的占 2.5%,由风险管理不当造成的占 1.7%,由未知因素或不确定因素造成的占 9.8%.

根据美国空军安全局《Flying Safety》报道的资料,对 FY98—FY05 美国空军战斗机发生的与发动机相关的重大故障涉及到的部件分布数据进行了统计,如表 4 所列^[20-36].

表 3 美国空军战斗机发生的与发动机相关的重大故障的因素分布
Table 3 Factor distribution of critical engine failures for US Air Force fighter

原因	财年												
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	统计
	故障率/%												
设计	69	30	35.8	38	30	15			14			21	21.1
维护	8	40	14.3	31			34	20	5	43	28.6	14	19.7
后勤			7.1			20	22	70		29	57.1		17.1
使用		15			32	60	11		72	14		58	21.8
质量	8	15											1.8
故障件			21.5	15	19								4.5
外来物						5		10	9			7	2.5
风险			7.1	8	6								1.7
未知	15		14.2	8	13		33			14	14.3		9.8

表 4 美国空军战斗机发生的与发动机相关的重大故障涉及到的部件分布
Table 4 Component distribution of critical engine failures for US Air Force fighter

部件	时间/年度								统计
	FY98	FY99	FY00	FY01	FY02	FY03	FY04	FY05	
	故障率/%								
风扇			33		10	17	21		10.1
压气机	30.5	22	33	13.3		17	30	28.6	21.8
燃烧室					20		7		3.4
高压涡轮	30.5	12		13.3		32	14	28.6	24.8
低压涡轮		22	34	13.3					
加力燃烧室	15	22						28.6	8.3
控制器	8	22			20				6.2
轴承				33.5	40	17	7		12.2
滑油系统	8			13.3		17	7		5.7
外来物	8								1
其他				13.3	10		14	14.2	6.5

从表 4 可以发现故障所涉及的发动机部件包括:由风扇造成的占 10.1%,由压气机造成的占 21.8%,由燃烧室造成的占 3.4%,由涡轮造成的占 24.8%,由加力燃烧室造成的占 8.3%,由控制器造成的占 6.2%,由轴承造成的占 12.2%,由滑油系统造成的占 5.7%,由外来物造成的占 1%,由未知或不确定因素造成的占 6.5%。也就是说,叶轮机部件占 56.7%,是最大的故障源;控制与附件占 24.1%,是第 2 大故障源;燃烧部件占 11.7%,是第 3 大故障源。

由上述数据可知,发动机是美国空军战斗机发生重大故障的主要原因之一,而设计、使用、维护与保障方面的问题是发动机发生故障的主要原因。

2 F-15 与 F-16 战斗机重大故障贯穿整个使用过程

2002 年,美国空军对 F-15 与 F-16 战斗机从投入使用到 FY01 年这段时间在使用中出现的 A 等故障、B 等故障和坠毁飞机的数据进行了统计,如图 1~图 4 所示^[9-36]。

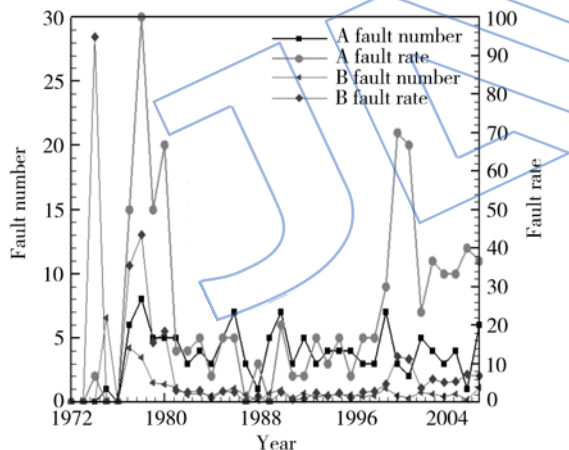


图 1 F-15 战斗机 A 等、B 等故障数及故障率

Fig. 1 Number and rate of class A and B failures for F-15 fighter

从图 1~图 4 可以发现:

1) F-15 战斗机在最初近 10 年(CY72—CY80,飞行时间为 342 965 h)的使用中,故障率很高,降低幅度也较大。其中,A 等故障从 22.02 降低到 4.57;B 等故障从 94.79 降低到 18.30。在之后的 20 多年(CY81—CY07)的使用中,随着使用时间的显著增长,故障率呈现降低的趋势,但降低的幅度已经不明显,如平均 A 等故障率为 2.18,变化幅度为 0.50~3.78。

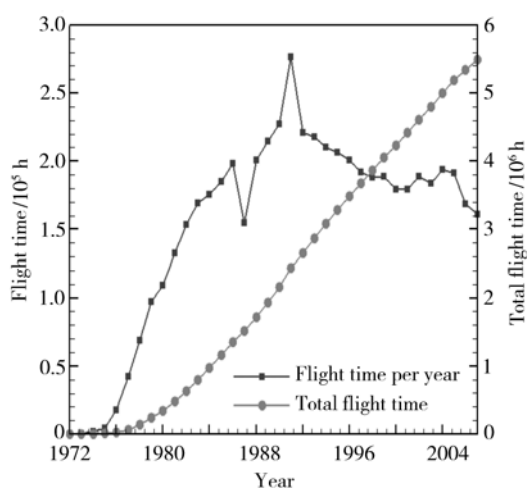


图 2 F-15 战斗机年飞行时间及总飞行时间

Fig. 2 Flight time for F-15 fighter

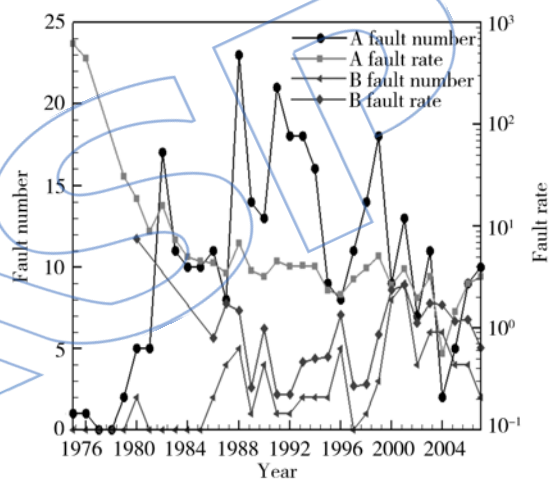


图 3 F-16 战斗机 A 等、B 等故障数及故障率

Fig. 3 Number and rate of class A and B failures for F-16 fighter

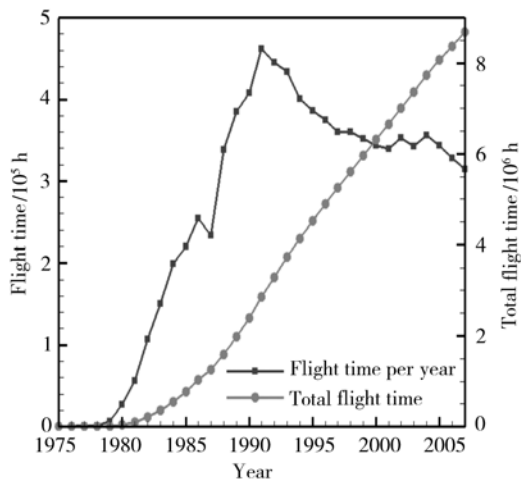


图 4 F-16 战斗机年飞行时间及总飞行时间

Fig. 4 Flight time for F-16 fighter

2) F-16 战斗机在最初近 10 年(CY75—CY83,飞行时间为 350515 h)的使用中,故障率很高,但降低幅度很大,从 621.12 降低到 7.30;在之后的 20 多年(CY84—CY07)的使用中,随着使用时间的增长,故障率呈现降低的趋势,但降低的幅度不太明显,如平均 A 等故障率为 3.49,变化幅度为 0.56~6.80。

总之,F-15 与 F-16 战斗机的故障贯穿整个使用过程,只是在使用的 10 年前或 350000 h 左右,故障率很高,之后逐步降低,但故障仍时有发生。

3 F100 与 F110 发动机重大故障贯穿使用过程的始终

20 世纪 60 年代末到 70 年代初,普惠(PW)

公司成功地为 F-15 与 F-16 战斗机研制了世界上最早的推质比 8 级的双转子加力式涡扇发动机——F100-PW-100/200 发动机。该发动机的跨声速/超声速性能取得了显著提高,但是可靠性和耐久性远远没有达到期望的目标。为此,70 年代中期到 80 年代中期,PW 和通用(GE)公司又分别在 F100-PW-100/200 发动机和 F101-GE-100 发动机核心机的基础上,改型研制了 F100-PW-220 和 F110-GE-100 发动机,取得了性能与可靠性、耐久性的综合平衡。20 世纪 90 年代初,PW 和 GE 公司又陆续改进研制了推力增大型的 F100-PW-229/232 和 F110-GE-129/132 发动机。在投入使用后,F100 和 F110 系列发动机出现了一系列的重大故障,如表 5 和表 6 所列^[5-36]。

表 5 F100 发动机在 1973 年投入使用以来出现的重大故障

Table 5 Critical failures for F100 engine since 1973

时间	故障	时间	故障
1973.10—1979.4	F100-PW-100/200(1100 台, 25×10^4 h), 发生 547 次喘振与悬挂失速、47 次涡轮工作叶片与导向叶片故障、60 次主燃油泵故障、10 次加力燃油泵、轴承故障及电子调节系统故障,造成 F-15 与 F-16 多次重大故障。	FY1994	F100-PW-200 发动机 No. 5 轴承、控制系统和第 3 级风扇盘出现一些问题。F-16/F100-PW-220, 1 次 A 等故障。
1979—1982	F-16/F100-PW-200, 9 次 A 等故障。	FY1995	F-16/F100-PW-200/220E, 3 次 A 等故障。F-15/F100-PW-200/220E, 2 次 B 等故障。F-15/F100-PW-229, 1 次 B 等故障。
1982—1983	F-15/F100-PW-100, 25 次加力燃烧室烧穿故障。F-16/F100-PW-200, 4 次 A 等故障。	FY1996	F-16/F100-PW-220/220E, 1 次 A 等故障和 1 次 B 等故障。F-15/F100-PW-100/220, 3 次 A 等故障和 1 次 B 等故障。
1985	F-15/F100-PW-100, 1 次 A 等故障。F-16/F100-PW-200, 3 次 A 等故障。F-15/F100 和 F-16/F100, 多次 B 等故障。	FY1997	F-16/F100-PW-200/220/229, 4 次 A 等故障(美国 3 次, 韩国 1 次)。F-15/F100-PW-100/229, 2 次 A 等故障。F-15/F100-PW-100, 4 次 B 等故障。
1986	F-15/F100-PW-100, 1 次 A 等故障。F-16/F100-PW-200, 4 次 A 等故障。	FY1998	F-15/F100-PW-100/229, 2 次 A 等故障。F-16/F100-PW-229, 1 次 A 等故障。F-15/F100-PW-100, 5 次 B 等故障。F-16/F100-PW-200/220, 2 次 B 等故障。
1989	F-16/F100-PW-200, 4 次 A 等故障。	FY1999	F-16/F100-PW-220, 5 次 A 等故障。在台湾, F-16A/F100, 5 次 A 等故障。
1990	F-15/F100, 2 次 A 等故障。F-15/F100, 4 次 B 等故障。F-15/F100, 多次 C 等故障。	FY2000	F-16/F100-PW-220, 2 次 A 等故障。
1991	F-16/F100-PW-220, 美国和韩国各 1 次 A 等故障。	FY2001	F-16/F100-PW-220, 2 次 A 等故障。
FY1992	F-16/F100-PW-200, 5 次 A 等故障和 3 次 B 等故障。	FY2006	F-15/F100-PW-220, 1 次 A 等故障。F-16/F100-PW-220, 1 次 A 等故障。
FY93	F-16/F100-PW-200, 2 次 A 等故障, 5 次 B 等故障。	FY2007	F-16/F100-PW-220, 3 次 A 等故障。

表 6 F110 系列发动机在 1986 年投入使用后出现的重大故障

Table 6 Critical failures for F110 engine since 1986

时间	故 障	时间	故 障
1988	F110-GE-100 发动机第 1 级高压压气机工作叶片 3 次出现裂纹.	FY1996	F-16/F110-GE-100, 3 次 A 等故障. F-16/F110-GE-129, 1 次 A 等故障.
1990	F-16/F110-GE-100, 2 次 A 等故障.	FY1997	F-16/F110-GE-100, 3 次 A 等故障和 1 次 B 等故障.
1992	F-16/F110-GE-100, 2 次 A 等故障.	FY1998	F-16/F110-GE-100, 2 次 A 等故障. F-16/F110-GE-129, 1 次 A 等故障.
1985	F-15/F100-PW-100, 1 次 A 等故障. F-16/F100-PW-200, 3 次 A 等故障. F-15/F100 和 F-16/F100, 多次 B 等故障.	FY1999	F-16/F110-GE-100, 3 次 A 等故障. F-16/F110-GE-129, 1 次 A 等故障.
1993	F-16/F110-GE-100, 2 次 A 等故障. F-15E/F110-GE-100, 2 次 A 等故障.	FY2000	F-16/F110-GE-100, 1 次 A 等故障.
FY1994	F-16/F110-GE-100, 3 次 A 等故障. F-16/F110-GE-129, 1 次 A 等故障. F-15/F110-GE-100, 2 次 A 等故障. 在埃及和以色列, F-15/F110-GE-100, 4 次 A 等故障, 致使 350 架 F-15 战斗机停飞.	FY2001	F-16/F110-GE-100, 4 次 A 等故障. F-16/F110-GE-129, 1 次 A 等故障.
FY1995	F-16/F110-GE-129, 2 次 A 等故障. F-16/F110-GE-100, 2 次 A 等故障. F-15/F100-PW-100, 2 次 B 等故障. 在德国, F-16C/D/F110-GE-129, 1 次 A 等故障.	FY2002	F-16/F110-GE-129, 1 次 A 等故障. F-16/F110-GE-129, 1 次 A 等故障.
		FY2005	F-16/F110-GE-100, 1 次 A 等故障. F-16/F110-GE-129, 1 次 A 等故障.
		FY2006	F-16/F110-GE-100, 1 次 A 等故障.

从表 5 可以发现,在 1974—1986 年间,F100-PW-100/200 发动机在可靠性、耐久性、维护性和作战适用性方面出现了大量且严重的问题.这些问题的出现,增加了检查、修理、更换、故障隔离等工作,导致维护人时的储备和维护/补给发动机的超计划供应,甚至造成 F-15 与 F-16 战斗机不得不停飞排故,严重地影响了战时作战能力与使用战备状态.究其原因,这是由当时发动机研制理念不成熟造成的.

1) 在研制理念方面,采用轻质的新材料和显著改进的新设计提高发动机的性能,而没有充分研究新材料与新设计对疲劳或一些耐久性限制特性的敏感性.具体表现包括:设计寿命没有明确规定;预期用法没有明确;正式的结构分析不需要进行;应力和温度几乎不测量;试验循环不结合实际用法确定.

2) 在研制过程中,F100-PW-100/200 发动机,不但采用了没有充分验证的新材料与新设计,而且试验验证的内容、强度、范围又明显不全和不够.

3) 在使用过程中,当 F-15 与 F-16 战斗机进行大的机动动作以及频繁推拉油门杆时,在经历

包括快速变化的温度/转速和应力循环等苛刻工作条件后,部件就很可能出现过早的损坏或失效等故障.

从表 5 和表 6 可以发现,在 1988—2007 年间,F100 和 F110 系列发动机还是故障不断.按一般的逻辑推理,在研制中,充分吸取了 F100 发动机过分强调高性能的深刻教训而严格遵循结构完整性大纲(ENSIP)、又是以 F100-PW-100 发动机和较为成熟的 F101 发动机核心机(1976 年发动机定型,1981 年核心机试验累计 40 000 h 以上,发动机飞行试验累积 7 600 h 以上)为基础和采用的先进技术都经过试验验证、还按对战斗机工作环境的全面理解增加了低循环疲劳、寿命循环试验、高空试验、与使用任务直接相关的严格的 300 h 耐久试验等更加符合实际工作条件的试验验证内容,实现了性能与可靠性、耐久性和安全性综合平衡的 F100-PW-220/229/232 和 F110-GE-100/129/132 发动机在使用中不应该出现过多和/或过于严重的问题.但是,在实际使用中,这些发动机还是持续不断地出现了大量的故障,使 F-15 与 F-16 战斗机的使用倍受发动机故障的困扰,不得不进行大量的排故和改进设计工作,严重地影响

了美国空军的战备完好性。其原因,是尽管在研制中,发动机设计制造商不仅设计精益求精,而且尽量扩展试验内容,加重试验的苛刻度,加长试验时数,通过地面、高空试验模拟外场的极端工作条件下零部件和整机的性能、强度、振动、耐久性、可靠性等,但是,一方面由于发动机设计师为了提高性能将部件设计得尽可能地轻巧使得受力更加复杂,另一方面由于模拟的工作条件终究不能覆盖千变万化的实际工作环境和工作状态,在使用过程中难免出现一些无法预料的问题和故障。

4 结 论

综上所述,可以得到以下结论:

1) 由于涉及学科广泛、技术水平领先、工作环境苛刻、工作状态多变等诸多固有特性,在使用过程中,战斗机发动机在前 10 年或工作 35 000 h 左右,故障次数多,故障率高;在之后的较成熟时期,故障明显减少,但是还是时有发生。

2) 不论是没有考虑结构完整性的 F100-PW-100/200 发动机、还是按结构完整性大纲研制的 F100-PW-220, F100-PW-229, F110-GE-100, F110-GE-129 等发动机,在使用过程中都出现了较多的故障,但是前者的出现数量与频率明显高于后者。

3) 在部件故障分布方面,发动机叶轮机是最主要的故障源,控制系统和附件也是较多出现故障的部件。

4) 在影响因子分布方面,设计、维护、保障和使用不当是发动机出现故障的最主要原因,质量、故障件、外来物损伤等是导致发动机故障的较次要因素。

参考文献:

- [1] 田忠贤,陈光.从国外几起全面停飞事件看发动机研制的艰巨性[J].航空发动机,1995(3):58-62.
- [2] 梁春华,李勇.美国军用涡扇发动机故障缘何这么多[J].国际航空,2002(2):29-31.
- [3] U. S. Air Force Safety Center. FY98 mishap statistics[J]. Flying Safety, 1999, 55(1-2):13-34.
- [4] U. S. Air Force Safety Center. FY01 mishap status[J]. Flying Safety, 2002, 58(1-2):20-50.
- [5] Greenwood R. The Pratt & Whitney F100: a primer on inspecting for 3rd stage LPT blade 6 tip curling[J]. Flying Safety, 2000, 56(8):22-26.
- [6] Greenwood R. Augmentor no-light troubleshooting on the F100-PW-220/220 engine[J]. Flying Safety, 2000, 57(8):10-11.
- [7] Rodwell A. Engine bearing failure; detection improved with new technology[J]. Flying Safety, 2002, 59(8):24-25.
- [8] Holritz R T, Engle R B. F110 compressor failures[J]. Flying Safety, 1992(3):26-27.
- [9] Bradford W D. Engine mishap investigation [J]. Flying Safety, 1986(11):10-12.
- [10] Benninger R, Wagner B. F-16 mishap summary[J]. Flying Safety, 1993(1):14-15.
- [11] Engle R B, Wagner B. F-16 logistics mishap summary[J]. Flying Safety, 1994(1):16-18.
- [12] Burke C K. F-15 eagle mishap review '94[J]. Flying Safety, 1995(1):14-15.
- [13] Wagner W N. F-16 year in review[J]. Flying Safety, 1995(1):16-17.
- [14] Wagner B, Wood D. F-16 engine-related mishap summary [J]. Flying Safety, 1995(1):18-19.
- [15] Wood D. FY95 engine-related mishap summaries[J]. Flying Safety, 1996, 51(2-3):40-44.
- [16] Wood D, Bradford B. FY96 engine-related mishap summaries[J]. Flying Safety, 1996, 52(12)/1997, 53(1):38-42.
- [17] Bradford B, Greenwood R, Bloomfield B. FY97 engine-related mishap summaries[J]. Flying Safety, 1998, 54(2):24-26.
- [18] Bradford B, Greenwood R, Bloomfield B, et al. FY98 engine-related mishap summary[J]. Flying Safety, 1999, 55(4):22-27.
- [19] Bradford B, Rose S, Bloomfield B, Greenwood R. Engine review: FY99 engine-related mishaps[J]. Flying Safety, 2000, 56(1-2):35-43.
- [20] Bradford B, Greenwood R, Maynard J, et al. FY00 engine-related mishap summary[J]. Flying Safety, 2001, 57(1-2):24-27.
- [21] Bradford B, Fehringer T, Greenwood R, et al. FY01 engine-related mishap summary[J]. Flying Safety, 2002, 58(1-2):42-47.
- [22] Bradford B, Fehringer T, Greenwood R, et al. FY02 engine-related mishap summary[J]. Flying Safety, 2003, 59(1-2):46-53.
- [23] Bradford B, Greenwood R, Maynard J. FY03 engine-related mishap summary[J]. Flying Safety, 2004, 60(1-2):22-26.
- [24] McDonald B, Bradford B, Greenwood R, et al. FY04 year in review: engines[J]. Flying Safety, 2005, 61(1-2):48-54.
- [25] McDonald B, Bradford B, Greenwood R, et al. FY05 year in review: engines[J]. Flying Safety, 2006, 62(1-2):44-51.
- [26] McDonald B, Greenwood R, Wolf B. FY06 year in review: engines[J]. Flying Safety, 2007, 63(1-2):44-49.
- [27] Bradford B, Greenwood R, Wolf B. FY07 year in review: engines[J]. Flying Safety, 2008, 64(1-2):42-48.
- [28] Hembree C. FY08 year in review: engines[J]. Flying Safety, 2009, 65(1-2):40-44.
- [29] Hoffart T. FY05 year in review: F-15[J]. Flying Safety, 2006, 62(1-2):18-19.
- [30] Resnik B. FY05 year in review: F-16[J]. Flying Safety, 2006, 62(1-2):20-21.

- [31] Rodent M B. FY06 year in review: F-15[J]. Flying Safety, 2007, 63(1-2): 16-17.
- [32] Hoffart T. FY06 year in review: F-16[J]. Flying Safety, 2007, 63(1-2): 18-21.
- [33] Rodent M B. FY07 year in review: F-15[J]. Flying Safety, 2008, 64(1-2): 14-15.
- [34] Hoffart T. FY07 year in review: F-16[J]. Flying Safety, 2008, 64(1-2): 16-21.
- [35] Rodent M B. FY08 year in review: F-15[J]. Flying Safety, 2009, 65(1-2): 10-11.
- [36] Ferenczhalmay T. FY08 year in review: F-16 [J]. Flying Safety, 2009, 65(1-2): 16-18.

JALSP