

可靠性手册

航空工业部科学技术情报研究所

1984.10.

V267-62
1001-5

可 靠 性 手 册

内 部 发 行

航空工业部科学技术情报研究所
(北京市2560信箱)

书号021

1984年10月

目 录

1. 可靠性术语定义	(1)
2. 概率数据	(3)
3. 可靠性分析的计算机程序(原文缺)	(8)
4. 适航性对可靠性的要求	(8)
5. 可靠性分析方法	(11)
6. 维修费用	(17)
7. 维修大纲指南	(18)
8. 通用信息	(25)

1. 可靠性术语定义

下面列出可靠性工程中常用的术语，并按照1974年12月出版的世界航空公司技术操作术语汇编定义：

容许缺陷表（最少设备表）——一种经批准的、在规定条件下可以在飞行中不工作的设备表。

飞机利用率——（某机队的）一架现役飞机在一天内的平均飞行小时。

注：飞机利用率 = 在某记录期间内，机队累计的总飞行小时被在同一期间内现役飞机的服役天数除。飞行小时可以用飞行小时（空中）或飞行小时（轮挡）表示。

老炼试验——使产品特性稳定的运行试验。

航班取消（技术性）——由于某一已知的或未定的故障及/或缺陷而取消定期航班。

注：多航段航班的任一段或所有航段取消便构成一次航班取消。

状态监视——一种主要的维修过程，在此过程中，对使用中的规定设备的全部总体数据进行分析以指出是否需要分配某些技术资源。状态监视维修不是一种预防性的维修过程，它允许故障出现，而且依赖于对使用经验数据的分析来指出需要进行的适当维修活动。

注：状态监视设备的失效模式对工作安全不产生直接的不良影响。

延迟（技术性）——因设备故障引起的技术性延迟，安全检查及必要的修理活动使得最后起飞推迟到超过预定起飞时间后的一个规定时间，如下述的任一情况：

（I）开始起飞迟于预定起飞时间。

（II）中途检查或回程飞行在地面停留比允许的地面时间长。

（III）飞机因维修而拖延。

注：一次取消取代一次延迟（因延迟后而取消的飞行被认为只是一次取消，而不是一次延迟加一次取消）。

放飞可靠性——放飞不产生延迟（技术性）或取消（技术性）的飞行所占的百分数。

失效模式及影响分析——为了系统地评价一个系统或分系统设计，从部件及基本功能开始进行分析，以确定可能的失效模式并决定这些失效对系统及飞机的影响。

失效模式——产品发生失效的方式。

失效率——用总的失效次数除以在同一期间内所累计的总的设备小时或周数所得的性能数据。通常表示为每1,000设备小时或周数的失效次数。

注：失效率为平均无故障工作时间的倒数。

轮挡飞行小时——在一次飞行中飞机从拿开轮挡滑出到飞行结束回到着陆点挡上轮挡，或回到起飞前的滑出点之间的时数。

注：飞机拉出机窝被认为是轮挡飞行时数的一部分。

飞行小时——机轮离地和机轮着地之间的累计时间间隔。

设备飞行小时——在某一规定的记录期间内，飞机上所有同样的设备累计的飞行时数。

注：设备飞行小时为设备所装飞机的总飞行小时与每架飞机所装设备数的乘积。飞行小时可用飞行小时（空中）或飞行小时（轮挡）表示。

空中停车——飞机在空中飞行的任何时刻出现发动机停车。

瞬时失效率——产品工作到某时刻，在此时刻后的给定的某一小的时间段内，产品失效

的条件概率。

维修性——决定设备维修消耗要求的设计及安装特性，维修消耗包括在用户的使用环境中达到使用目标所需的时间、人力、人员技术水平、测试设备、技术数据以及辅助设施。维修性定量地表示为在一时间阶段内，利用规定的资源及预定的程序能以规定的概率完成维修活动。

状态监视维修——见状态监视。

视情维修——利用反复检查或测试来决定装置、系统或结构部件与连续使用性有关的状态的一种主要维修过程（当产品状态要求时进行修理活动）。

直接维修费用——直接用于维修一个产品或飞机的那些维修劳力及器材费用。

注：不包括综合修理工作、外场修理站维护、行政事务、记录收集整理、监督、工具、测试设备、辅助设施等所需要的间接维修劳力及器材费用。

间接维修费用（其它负担）——不作为直接维修费用考虑的维修劳力及器材费用，但影响计划费用中的总维修费，它包括日常管理、行政事务、记录收集整理、监督、工具、测试设备、辅助设施等所需的费用。

平均无故障工作时间（MTBF）——在某一期间内，累计总的设备飞行小时除以在同一期间内发生的设备失效次数所得的性能参数。

注：总的设备飞行小时可以飞行小时（空中）或飞行小时（轮挡）为基础。

平均拆卸间隔时间（MTBR）——在某一期间内累计设备总的飞行小时除以在同一期间内设备拆卸次数（包括定期及不定期拆卸）。

平均不定期拆卸间隔时间（MTBUR）——在某一期间内累计总的设备飞行小时除以在同一期间内不定期拆卸设备的次数所得的性能参数。

注：总的设备飞行小时可以飞行小时（空中）或飞行小时（轮挡）为基础。

最少设备表——见允许缺陷表。

视情——见视情维修。

随机失效——产品不可事先预测的失效。

余度——为完成某一规定功能所使用的一种以上的手段，完成其功能的每一种手段未必都是相同的。

工作余度——所有余度设备同时工作而不是等到需要时再开始工作的余度。

备用余度——备用设备不工作，等到完成该功能的主设备失效时才开始工作的余度。

不定期拆卸——设备因已知的或未定的故障及/或缺陷而进行拆卸。

拆卸率——以基本周期为单位来表达的设备拆卸次数，基本周期通常为每1,000飞行小时、1,000设备小时、1,000发动机小时，有时也用每100或1,000次起飞。

翻修间隔时间（翻修期）（TBO）——一个设备在两次翻修间允许工作的最长时间。

耗损——使失效率随使用时间增长而增大的损坏过程。

冒烟危险——在1960年到1980年间，飞机在飞行中已发生200起着火/冒烟事件，其中有40起（即一年两起）造成事故。

在40起事故中的大多数事故，空勤人员一直不愿意宣布处于紧急状态，并尽快着陆或开始撤离。

在致命的事故中，冒烟开始总是很小的，因而在损坏飞机之前，空勤人员不可能发现它。

注：此术语引自英国航空公司《空中安全评论》1981年元月。

2. 概率数据

2.1 非技术事件

2.1.1 鸟撞击

飞机每单位迎风面积的鸟撞击概率 = $2.38 \times 10^{-8} / (\text{英寸})^2 \times \text{飞行小时}$ (资料来源：英国欧洲航空公司1967~1969年的季度事故摘要)。

引起飞机重大或致命损坏的鸟撞击或鸟吸入概率 = $1.71 \times 10^{-7} / \text{飞行小时}$ (资料来源：1946~1975世界航空公司的事故摘要)。

下列数据取自英国民用航空局适航性技术札记No.106：

对于1966—1976年间最大重量超过12,500磅的英国注册的飞机：

(a) 不同类别飞机的鸟撞击率为：

活塞式飞机 = 1.55次撞击/5,000个起落；

涡轮螺旋桨式飞机 = 3.22次撞击/5,000个起落；

喷气式飞机 = 3.62次撞击/5,000个起落。

注：每次飞行为一个起落。

(b) 只有1%鸟撞击的重量大于4磅。

(c) 94%的鸟撞击发生在低于800英尺的高度。

(d) 只有很小百分数的撞击发生在速度低于80海里/小时。

2.1.2 冰雹损坏

造成飞机重大损坏或致命损坏的冰雹损坏概率 = $9.6 \times 10^{-8} / \text{飞行小时}$ (资料来源：1946~1975年世界航空公司事故摘要及“飞行杂志”1976年元月24日)。

2.1.3 闪电袭击

造成飞机重大损坏或致命损坏的闪电袭击概率 = $5.4 \times 10^{-8} / \text{飞行小时}$ 。(资料来源：1946~1975年世界航空公司事故摘要及“飞行杂志”1976年元月24日)。

2.2 事件

2.2.1 复飞

根据从英国希思罗机场的空中交通管制及英国航空注册局技术札记No.93得到的数据进行计算所得的平均复飞概率。

复飞概率 = $1.9 \times 10^{-3} / \text{着陆}$

英国航空注册局技术札记No.93记录了总数23,000次着陆，其中有不到50次中断进场并复飞，可能造成的原因如下表所列：

可能造成复飞的原因	事件数	中断进场比例
气候	21	42%
空中交通管制	13	26%
操作	3	6%
结构	1	2%
未知	12	24%

2.2.2 中空相撞

在1960~1975年间,发生了33起中空相撞事件, 包括各种型别的民用运输机(引自世界航空公司事故摘要)。在这期间的安排的飞行小时为 166×10^6 (引自“飞行杂志”1976年元月24日)。

飞机中空相撞的概率 = 2×10^{-7} /飞行小时。在33次事故中,18次是可生存事故,15次是不可生存事故(如果造成相当大数量的旅客及/或空勤人员死亡以及/或者飞机毁坏的事故被认为是不可生存的事故)。

飞机发生不可生存的中空相撞概率 = 9×10^{-8} /飞行小时。

飞机发生可生存的中空相撞概率 = 1.1×10^{-7} /飞行小时。

33起事故中,29起至少发生在一架可运载50名或更多旅客的飞机上,其中11起是不可生存的事故。

对于较大的飞机来说,不可生存的中空相撞概率 = 6.6×10^{-8} /飞行小时,可生存的中空相撞概率 = 1.04×10^{-7} /飞行小时。

33起事故中,19起发生在可运载50或更多旅客的喷气飞机上,其中8起事故是不可生存的。在1960~1975年间,定期的喷气式客机飞行了大约 10×10^6 小时。

对于较大的喷气飞机来说,不可生存的中空相撞概率 = 8×10^{-8} /飞行小时,可生存的中空相撞概率 = 1.1×10^{-7} /飞行小时。

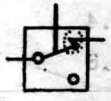
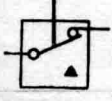
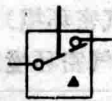
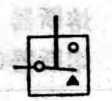
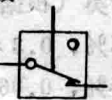
2.3 系统失效率

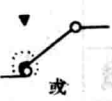
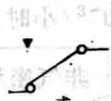
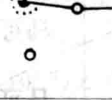
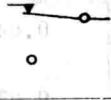
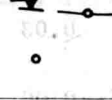
2.3.1 电气元件

元 件	失效率 (10^{-6} /小时)
继 电 器	3.0
二 极 管	1.0
延时继电器	23.0
传 感 器	5.0
电 阻	0.1
电 容 器	0.1
晶 体 管	0.5
开关(失效断开)	2.5
灯具(双灯丝)	1.0
集成 电路	4.0
螺 线 管	0.4

(资料来源: A300B, 1977.6.27; 上述失效率引自军用手册 MIL-HDBK-217A及“三叉戟”技术说明书的数据)

继电器及微动开关

		接点熔结	粘结闭合	接点开路	粘结开路
					
		或 	或 	或 	
元 件	总失效率				
通用微动开关	2×10^{-6}	0.2×10^{-6}	0.2×10^{-6}	0.6×10^{-6}	1.0×10^{-6}
微动开关 (严酷环境)	6×10^{-6}	0.6×10^{-6}	0.6×10^{-6}	1.8×10^{-6}	3.0×10^{-6}
拨动开关	2.3×10^{-6}	0.3×10^{-6}		2.0×10^{-6}	
按钮开关	15×10^{-6}	2.0×10^{-6}		13×10^{-6}	

		接点熔结	粘结闭合	接点开路	粘结断开	线圈开路
						
		或 	或 	或 		
元 件	总失效率					
继 电 器	4.6×10^{-6}	0.2×10^{-6}	0.2×10^{-6}	2×10^{-6}	0.2×10^{-6}	2×10^{-6}

(资料来源: 上述失效率引自美国军用手册 MIL-HDBK-217, “多路传输可行性研究” 1974.10.及法国国营航空航天工业公司。)

断路器

元 件	失效率 (10^{-6} /小时)	资 料 来 源
模压壳体断路器	1.107	美国可靠性分析中心
通用断路器	1.967	美国可靠性分析中心
磁断路器(气密环境)	3.0	马可尼埃里奥特航空电子公司
热断路器(气密环境)	4.0	马可尼埃里奥特航空电子公司
热断路器失效分类 (根据可靠性分析中心的资料, 但有修改):		
短路故障: 43%, 1.72×10^{-6} /小时		
断路故障: 57%, 2.28×10^{-6} /小时		

熔断器

元 件	失效率 (10^{-6} /小时)	资 料 来 源
熔断器 (气密环境)	0.4	马可尼埃里奥特航空电子公司
熔断器 (非气密环境)	0.8	马可尼埃里奥特航空电子公司
气密型熔断器的失效分类 (根据可靠性分析中心资料):		
慢速断开 : 75%, 0.3×10^{-6} /小时;		
超过额定电流: 15%, 0.06×10^{-6} /小时;		
提前断开 : 10%, 0.04×10^{-6} /小时。		

熔断器座

元 件	失效率 (10^{-6} /小时)	资 料 来 源
熔断器座 (气密环境)	0.23	马可尼埃里奥特航空电子公司
熔断器座 (非气密环境)	0.38	马可尼埃里奥特航空电子公司
失效模式:	熔断器开路	

插头座

插头座型别	失效率 (10^{-6} /小时)		资 料 来 源
	气密环境	非气密环境	
压接端接 (每根工 作插针)	0.03	0.04	马可尼埃里奥特航空电子公司
手焊端接 (每根工 作插针)	0.06	0.075	马可尼埃里奥特航空电子公司
机器焊端接 (每根工 作插针)	0.009	0.015	马可尼埃里奥特航空电子公司
熔焊端接 (每根工 作插针)	0.01	0.02	马可尼埃里奥特航空电子公司
绕线端接 (每根工 作插针)	0.015	0.02	马可尼埃里奥特航空电子公司
印刷电路 (每根工 板 用 作插针)	0.045	0.075	马可尼埃里奥特航空电子公司
同 轴 式 (每根工 作插针)	0.40	0.70	马可尼埃里奥特航空电子公司
非 密 封 (每根工 作插针)	0.038	0.05	马可尼埃里奥特航空电子公司
密 封 (每根工 作插针)	0.033	0.044	马可尼埃里奥特航空电子公司
失效分类 (根据可靠性分析中心资料但有修改):			
开路: 69%			
短路: 9%			
断续开路: 20%			
断续短路: 2.5%			

作动器

元 件	失效率 (10^{-6} /小时)	资 料 来 源
直线式作动器	28.8	三叉戟-3
直线式作动器	21.28	可靠性分析中心
直线式作动器	40.29	可靠性分析中心
直线式作动器	86.05	可靠性分析中心
三叉戟-3的失效分类 (根据可靠性分析中心的资料, 但有修改):		
电气短路: 53%, 15×10^{-6} /小时		
断开故障: 14%, 4.17×10^{-6} /小时		
接通故障: 33%, 9.64×10^{-6} /小时		

二极管

元 件	失效率 (10^{-6} /小时)	资 源 来 源
硅功率管 (气密环境)	1.5	马可尼埃里奥特航空电子公司
硅功率管 (非气密环境)	3.0	马可尼埃里奥特航空电子公司
通用硅管	0.68	MIL-HDBK-217B
平均失效率 = 1.73×10^{-6} /小时		
平均失效率分类 (根据马可尼埃里奥特航空电子公司资料):		
开路 60%, 1.04×10^{-6} /小时		
短路 40%, 0.69×10^{-6} /小时		

微动开关 (补充数据)

元 件	失效率 (10^{-6} /小时)	资 料 来 源
微动开关 (气密环境)	7.5	马可尼埃里奥特航空电子公司
微动开关 (非气密环境)	11.0	马可尼埃里奥特航空电子公司
微动开关	1.209	三叉戟-3
失效分类 (根据马可尼埃里奥特航空电子公司资料):		
开路: 90%		
短路: 10%		

热敏电阻

元 件	失 效 率	资 料 来 源
热 敏 电 阻	0.9×10^{-6} /小时	MIL-HDBK-217B

元 件	失效率 (10^{-6} /小时)	资 料 来 源
白 炽 灯	4.478	可靠性分析中心
发光二极管	0.276	可靠性分析中心
氙 灯	0.489	可靠性分析中心
白 炽 灯	1.0	马可尼埃里奥特航空电子公司
氙 灯	0.2	马可尼埃里奥特航空电子公司
白炽灯平均失效率: 2.739×10^{-6} /小时		
发光二极管平均失效率: 0.276×10^{-6} /小时		
氙灯平均失效率: 0.345×10^{-6} /小时		
失效分类: 所有失效均为开路失效		

按钮

元 件	失效率 (10^{-6} /小时)	资 料 来 源
按钮 (非气密环境)	2.5	马可尼埃里奥特航空电子公司
按 钮	2.28	可靠性分析中心
按 钮	2.22	三叉戟-3
三叉戟-3的失效率分类 (根据可靠性分析中心资料, 但有修改): (两极按钮)		
两极都开路: 34.5%, 0.77×10^{-6} /小时		
两极都短路: 25.5%, 0.57×10^{-6} /小时		
一极开路另一极		
良好(两种情况): 7%, 0.15×10^{-6} /小时		
一极短路另一极		
良好(两种情况): 6.5%, 0.15×10^{-6} /小时		
断续失效: 13%, 上述失效率的15%		

3. 可靠性分析的计算机程序 (原文缺)

4. 适航性对可靠性的要求

4.1 有关概率的术语 (参考英国民航适航性要求D1-2-5.1)

(a) 事件

一个事件——包含可能降低适航性水平的一种状态。

(b) 失效 (也称故障)

失效——飞机的一个或多个部件不工作或故障的事件, 例如失去控制。一个失效包括:

(I) 单失效

(II) 在一个系统内组合出现的各种独立失效,

(III) 涉及一个以上的系统的组合出现的各种独立失效, 考虑到:

(Ⅳ) 已发生的任何未被检测出的失效,

(Ⅴ) 在考虑中的失效发生之后可合理地预计到将会进一步发生的这样一些失效。在估计这些接着将进一步发生的失效时, 应考虑直到那时候尚未失效的设备将遇到任何更严峻的工作条件。

(c) 重要事件

重要事件——飞机外界因素(如大气阵风)引起的事件。

(d) 失误

失误——由空勤人员或地勤人员的错误动作造成的事件。

注: 参见相应的欧洲联合适航性要求4.5.0-1页。

4.2 事件概率

4.2.1 名词术语定义(参考英国民航适航性要求D1-2-5.2)

(a) 频繁事件——在某种类型的每架飞机的使用寿命期中, 很可能经常发生的事件。

(b) 相当可能事件

相当可能事件——在某种类型的每架飞机的使用中, 不大可能经常发生的事件, 但在每架飞机总的使用寿命期中, 可能发生几次事件。

(c) 重复发生事件

重复发生事件——包括频繁与相当可能发生的事件的整个范围。

(d) 稀有事件

稀有事件——在每架飞机的总使用寿命期中不大可能出现、但当考虑若干这种类型飞机的总使用寿命期时, 可能出现几次的事件。

(e) 极少事件

极少事件——当考虑某种类型的若干飞机的总使用寿命时, 不大可能发生的事件, 但是还得认为是有可能的。

(f) 极不可能事件——其可能性小到不必认为有可能发生的事件。

注: 参见相应的欧洲联合适航性要求4.6.1-1页。

4.2.2 事件的数值概率(参考英国民航适航性要求D1-2-5.2)

当利用4.2.1的术语来评价是否满足要求过程中采用数值概率时, 下述的近似值可能有助于作为共同的基准值。所引用的概率值应以小时或每次飞行作为基础, 这取决于哪种单位对所要求的评价更合适:

频繁事件: 大于 10^{-3}

相当可能事件: $10^{-3} \sim 10^{-5}$

稀有事件: $10^{-5} \sim 10^{-7}$

极少事件: 小于 10^{-7}

极不可能事件: 虽然对此未给出近似的数值概率, 但是对于比 10^{-7} 小的所有系统引起的灾难性事故的总概率来说, 所使用的数值将比 10^{-7} 要足够小。

注: 参见相应的欧洲联合适航性条例4.6.2-1页。

4.3 影响(参考英国民航适航性要求D1-2-5.3)

影响——由于事件的产生所导致的后果。

(a) 小的影响

空勤人员能够容易对付的影响;它可以包括:

- (I) 小量增加空勤人员的负担,或
- (II) 飞机性能或操纵特性适度地下降,或
- (III) 稍微改变容许的飞行包线。

(b) 重大影响

产生下述情况的影响:

- (I) 大量地增加空勤人员的负担,或
- (II) 飞机性能或操纵特性大大下降,或
- (III) 容许飞行包线的重大修改,但是在不要求空勤人员具有比正常技术水平更高的情况下,不失去继续安全飞行及着陆的能力。

(c) 危险影响

产生下述情况的影响:

- (I) 危险地增加空勤人员的负担,或
- (II) 飞机性能及操纵特性危险地下降,或
- (III) 飞机强度危险地降低,或
- (IV) 机上人员处于危险状态或受伤。

(d) 灾难性影响

导致飞机损坏及/或机上人员死亡的影响。

注:参见相应的欧洲联合适航性条例4.7.0-1。

4. 系统

4.4.1 系统工作 (参见英国民航适航性要求D4-1-6)

(a) 重要事件发生时的系统工作

工作在所要求的性能容限之内的系统或这些系统的组合,在发生重要事件而没有出现失效或失误的情况下,将处于这样的状态,即这些重要事件极不可能引起灾难性事故。

(b) 失效*及重要事件发生时的系统工作

独立工作及与其他系统相关的飞机系统,考虑到重要事件时,应当设计成能满足下述要求:

- (I) 不作为极不可能事件考虑的失效不应导致灾难性影响。
- (II) 作为极少事件考虑的失效可能导致危险影响,假如总的灾难性危险是极不可能的事件。

(III) 作为稀有事件考虑的失效不应导致比重大影响更严重的影响。

(IV) 作为重复发生事件考虑的失效不应导致比小的影响更严重的影响。

(c) 失误

在评价具有监控及警告设备的系统时,应考虑将产生附加危险的空勤人员失误的可能性。

*失效包括:

- (I) 单失效,
- (II) 在一个系统内组合出现的独立失效,
- (III) 涉及一个以上的系统组合出现的独立失效,考虑到:
- (IV) 已发生的任何未被检测出的失效,

(V) 在考虑中的失效发生之后可合理地预计到将会进一步发生的这样一些失效。

在评价接着将进一步发生的失效时, 应考虑到直到那时尚未失效的设备将遇到任何更严酷的条件。

注: 一个系统不仅应包括元件、部件等, 以及诸如导管及电缆之类的连接件, 还应包括动力源诸如电源装置, 以及系统工作所需的设备, 例如副翼及其铰链。

参见相应的欧洲联合适航性条例4.8.0-1页。

4.4.2 满足适航性要求的方法 (参考英国民航适航性要求D4-1附录No.1)

(a) (I) 满足4.4.1 (b) (I), (II)及 (III)的要求应通过对独立工作的系统及其他系统相关的系统的评价来表示。在必要时, 这种评价应通过适当的地面试验、飞行试验或飞行模拟器试验来实现。

评价应包括可能出现的正常工作方式及失效模式、考虑到飞行阶段及工作条件对飞机及机上人员影响的后果、空勤人员对失效及所要求的修理活动的了解、检测失效的能力、飞机检查及维修程序。应考虑到重要事件或失误造成的失效或伴随发生的失效。失效、重要事件及失误的概率可留有余量。

在评价各个系统时, 可考虑以前的类似系统的经验。

评价应考虑系统性能的变化, 作此评价时, 可采用性能的统计分布。

(II) 通常应通过良好的设计及制造工艺来实现4.4.1 (b) (IV) 节的要求, 而不需要准备书面的评价。

(III) 在适航性要求中, 与灾难性影响的要求有关的概率等级不能仅根据估算的数值就得到承认, 除非这些数据可以毫无疑问地被证实。参见4.4.2 (b) 到 (d)。

(b) 当系统或部件被评价具有必要的可靠性量级时, 该系统或部件的单个失效仅可认为是稀有失效, 上述评价基于:

(I) 由具体设备的分析及/或试验证实的类似的设备的使用经验, 或

(II) 由试验证实的设备的详细的工程评价。

(c) 当单失效适用于某一具体的失效模式(如阻塞), 而且根据结构及安装问题可使飞机设计师及英国民用航空局满意, 可证实这样一个失效不需要考虑有实际可能时, 单失效可能仅认为是一个极不可能失效。

(d) 双失效仅可能认为是一个极不可能失效, 当:

(I) 两个失效都被评价为不比稀有事件更可能发生, 或者

(II) 至少有一个失效被评价为极少事件。

(e) 当人们关心的是某一特指的短的飞行阶段时, 在考虑单失效或多失效的概率时, 应注意到这一点。

注: 参见相应的欧洲联合适航性条例4.8.0-2。

5. 可靠性分析方法

5.1 概率绘图

5.1.1 直线图

概率图是一种简单的累积分布, 这种分布经坐标轴变换绘于图上呈一直线。坐标轴的变换方式取决于根据数据特性假设的分布类型。

例如，凡实际的基本分布为指数的场合，其累积分布函数 $F(t)$ 由下式给出：

$$F(t) = 1 - e^{-t/\theta}$$

这里 t ——时间

θ ——平均无故障工作时间

因此
$$Y = \ln \frac{1}{1-F(t)} = t/\theta$$

于是，如果要绘制 $\ln \frac{1}{1-F(t)}$ 相对于失效时间 t 的关系，其结果应为通过原点斜率为 $1/\theta$ 的一条直线。

当把基本分布考虑为正态时，应该采用正态概率纸来绘制 $F(t)$ 与 t 之间关系的概率图。正态概率纸的垂直标度设计得使正态累积分布曲线呈一直线。如果正态假设成立，绘制点便能与一直线拟合。

如果假设基本分布为对数——正态分布，那么 $F(t)$ 与 t 的关系应绘于对数——正态概率纸上。对数——正态概率纸的垂直标度与正态概率纸相同，但 t 轴改为对数标度。如果对数——正态假设是正确的话，概率图将近似于直线。

同样，将基本分布考虑为威布尔分布时，相对于 t 的累积分布函数 $F(t)$ 应绘于威布尔概率纸上。如果假设也成立，则绘制点均紧靠于一直线。

5.1.2 中位数

考虑一项利用十台设备($n=10$)进行的试验，各设备在如下时间后失效：

表 1

失效序号 (i)	失效时间 (t)	$F(t) (=i/n)$
1	12	0.1
2	21	0.2
3	38	0.3
4	70	0.4
5	76	0.5
6	110	0.6
7	135	0.7
8	198	0.8
9	217	0.9
10	380	1.0

试图利用表1的 $F(t)$ 值绘制概率图是不恰当的，因为这些数值只是对一个从大得多的（理论上是无限的）总体中抽出的小子样进行观察的结果。从这些子样数据看出，试验进行380小时以后100%的子样均失效。然而不应该认为，这意味着总体的所有子样到这个时候将会全部失效，因为从道理上讲，总会有小分子子样能继续工作较长时间。同样，在11个小时以前没有一个子样失效，我们也不能判断为到这个时候总体中一个子样也没有失效。因此，表1中的 $F(t)$ 值对于所抽的小子样是有效的，但不代表小子样所属总体的特性。更具体地说，它们过估了失效的真实比例。

为降低对 $F(t)$ 的这种估计偏差，有好几种方法可供使用。在可靠性分析中最通用的方法是中位数法。对于子样为10或大于10的情况，中位数的近似表达式为：

$$F(t) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

5 1.3 中止设备

在可靠性试验中，通常必须考虑如下两种情况下的设备：由于某种原因而不是失效从可靠性试验中拆除的某些设备、或正处于现场使用的某些设备其数据需用来评估专门部件的失效分布。这些尚未失效的设备称为中止设备。

涉及中止设备的问题与每一个失效设备的中位数有关。

用五个设备 ($n = 5$) 进行试验，其试验结果为：

设备序号	使用时间
F1	2200小时失效
C1	3,500小时拆除但未失效
F2	4,400小时失效
C2	4,600小时拆除但未失效
F3	失效

对于设备F1毫无问题地认为，在2,200 小时以后总体的五分之一失效。F1 是第一个失效。

对于设备F2有两种可能性：

(i) F2是第二个失效——也就是设备C1将在F2失效以后才失效。

(ii) F2是第三个失效——也就是设备C1将在F2失效以前就失效。

借助于F2 可能是第二个失效时构成的排列数与F2可能是第三个失效时构成的排列数的比较，可以获得F2失效的“平均序号”，其排列情况如下：

F2可能是第二个失效时的排列方式

F1	F2	C1	F3	C2
F1	F2	F3	C1	C2
F1	F2	F3	C2	C1
F1	F2	C1	C2	F3
F1	F2	C2	C1	F3
F1	F2	C2	F3	C1

排列数为 6

F2可能是第三个失效时的排列方式

F1	C1	F2	F3	C2
F1	C1	F2	C2	F3

排列数为 2

于是F2的“平均序号”为：

$$\frac{(2 \times 6) + (3 \times 2)}{6 + 2} = 2.25$$

也就是F2被记录为第2.25个失效。

为使步骤略为简化，可利用如下关系式：

$$\text{平均序号增量} = \frac{(n+1) - \text{前一失效平均序号}}{K+2}$$

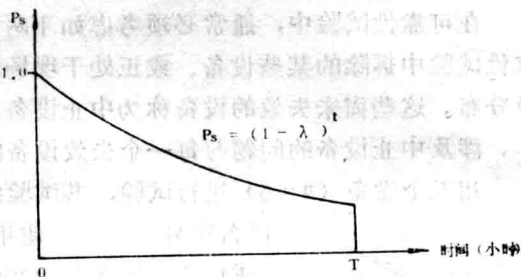
这里 K 为超出当前正考虑的失效的设备数。例如，考虑 F_2 与 F_3 之间的增量为：

$$\text{增量} = \frac{6 - 2.25}{0+2} = 1.875$$

$$\therefore F_3 \text{ 的平均序号} = 2.25 + 1.875 = 4.125$$

5.2 由翻修间隔时间(T.B.O.)和不定期拆卸率计算总拆卸率

假设一个设备具有固定的 T.B.O. (T 小时)，其不定期拆卸率为 λ /小时。如果假定拆卸该设备的分布是随机的，则它的概率密度分布如右图所示：



成功概率定义为在时间 t 内设备不被拆卸的概率。

失效概率定义为在时间 t 内设备被拆卸的概率。

该设备的成功概率 P_s 由如下方程给出：

$$P_s = (1 - \lambda)^t \quad (1)$$

式中 t 为设备完成任务（也就是没有被拆卸）的时间

于是总的平均拆卸间隔时间 $\bar{t}$ 由曲线下部从 $t=0$ 到 $t=T$ 的面积决定，

$$\begin{aligned} \text{即 } \bar{t} &= \int_{t=0}^{t=T} P_s dt \\ &= \int_{t=0}^{t=T} (1 - \lambda)^t dt \quad \text{小时} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{因此 } &= \left[\frac{(1 - \lambda)^t}{1_n (1 - \lambda)} \right]_0^T \quad \text{小时} \\ &= \frac{(1 - \lambda)^T}{1_n (1 - \lambda)} - \frac{1}{1_n (1 - \lambda)} \quad \text{小时} \\ &= - \left[\frac{1 - (1 - \lambda)^T}{1_n (1 - \lambda)} \right] \quad \text{小时} \\ &= \frac{1 - (1 - \lambda)^T}{1_n [1 / (1 - \lambda)]} \quad \text{小时} \\ &= \frac{P_F}{1_n [1 / (1 - \lambda)]} \quad \text{小时} \end{aligned}$$

其中 P_F = 设备的失效概率 ($P_F = 1 - P_s$)

此外，对于小 λ 值：

$$\lambda \left(\frac{1}{1 - \lambda} \right) = \lambda$$