

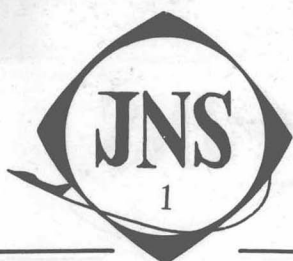


飞机结构耐久性及损伤容限设计手册

第一册

飞机结构耐久性设计

航空航天工业部科学技术研究院



V215-62
1004-12

飞机结构耐久性及损伤容限设计手册

第一册

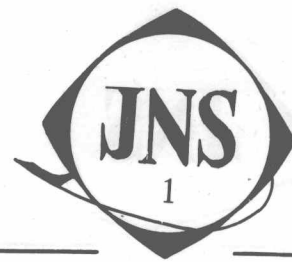
飞机结构耐久性设计



航空航天工业部科学技术研究院

680832

版次	日期	编	校
XF	1989.1		



——内部资料——

发行联系地址：西安市 72 信箱 JNS 手册编制办公室

电 挂：陕西阎良 2076

电 传：Telex: 70072 XAC DD CN

飞机结构耐久性及损伤容限设计手册

第 一 册

飞机结构的耐久性设计

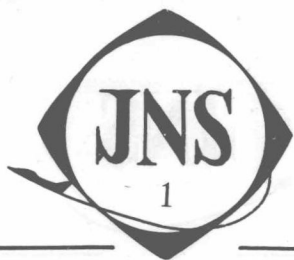
航空航天工业部科学技术研究院

西安飞机工业公司工程发展部印刷厂印刷

1989年第一版 1989年第一次印刷

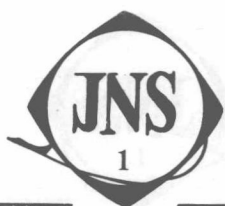
印数： 1 — 1000

版次	日期	编	校
XF	1989.1		



本手册活页装订
请注意有效页次

版次	日期	编	校
XF	1989.1		



编纂委员会名单

主 任： 何文治
副 主 任： 张 耀 郑作棣
委 员： 陈一坚 何庆芝

编委会成员

(以姓氏笔划为序)

总 编： 陈一坚
副 总 编： 李先达 俞树奎 顾伟豪 高忠社 贾国荣
编 委： 王俊扬 仇仲翼 吴学仁 张民孚 曹定国 龚鑫茂 傅祥炯
斯而健
出版编辑： 李奇才

审委会成员

(以姓氏笔划为序)

总 审： 何庆芝
审 委： 马占永 李克唐 吴富民 杨庆雄 张国梁 张 行 赵金德
高占民 高镇同 颜鸣皋

第一册编写人员

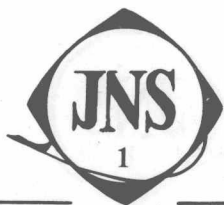
(以姓氏笔划为序)

主 编： 高忠社 主 审： 张国梁 杨庆雄
分工编委： 王俊扬 龚鑫茂
编 校： 丁佐书 王守权 邵永起 肖凤琴 李忆湘 李志鸣
张志毅 周之鵬 冼达龙 钱强武 龚鑫茂 董彩贤
魏省三

版次	日期	编	校
XF	1989.1		



版次	日期	编	校
XF	1989.1		



前 言

随着结构疲劳和断裂力学基础学科的长足进步,飞机性能不断提高的客观需要,对新研制飞机结构设计的要求也日益提高。军用飞机如此,相对长寿命的民用飞机更是如此。当代新研制的飞机结构多已按耐久性及损伤容限的原则指导设计。在这个领域里如何赶上和超过先进水平已成为结构设计师的一项重大的任务。我国正在研制或即将研制的机种中迫切需要一部《飞机结构耐久性及损伤容限设计》的指导性手册,以保证民用飞机研制符合适航规章的最低安全性、以及它的经济性、舒适性和可靠性,对军机而言,则需满足军用规范的要求。这就是编制本手册的主要宗旨。

本手册的编纂是参照国外有关资料,结合我国三十多年来积累的成熟经验,并依据我国材料、工艺的现实水平,做了一些可能的补充。手册所依据的理论经过实践的检验和工程化处理,使其便于应用。该手册以民用飞机设计为主要服务对象,军用飞机也可以参照使用。一般具备中等技术水平的科技人员,经短期培训即能运用本手册进行飞机结构耐久性和损伤容限的设计工作。

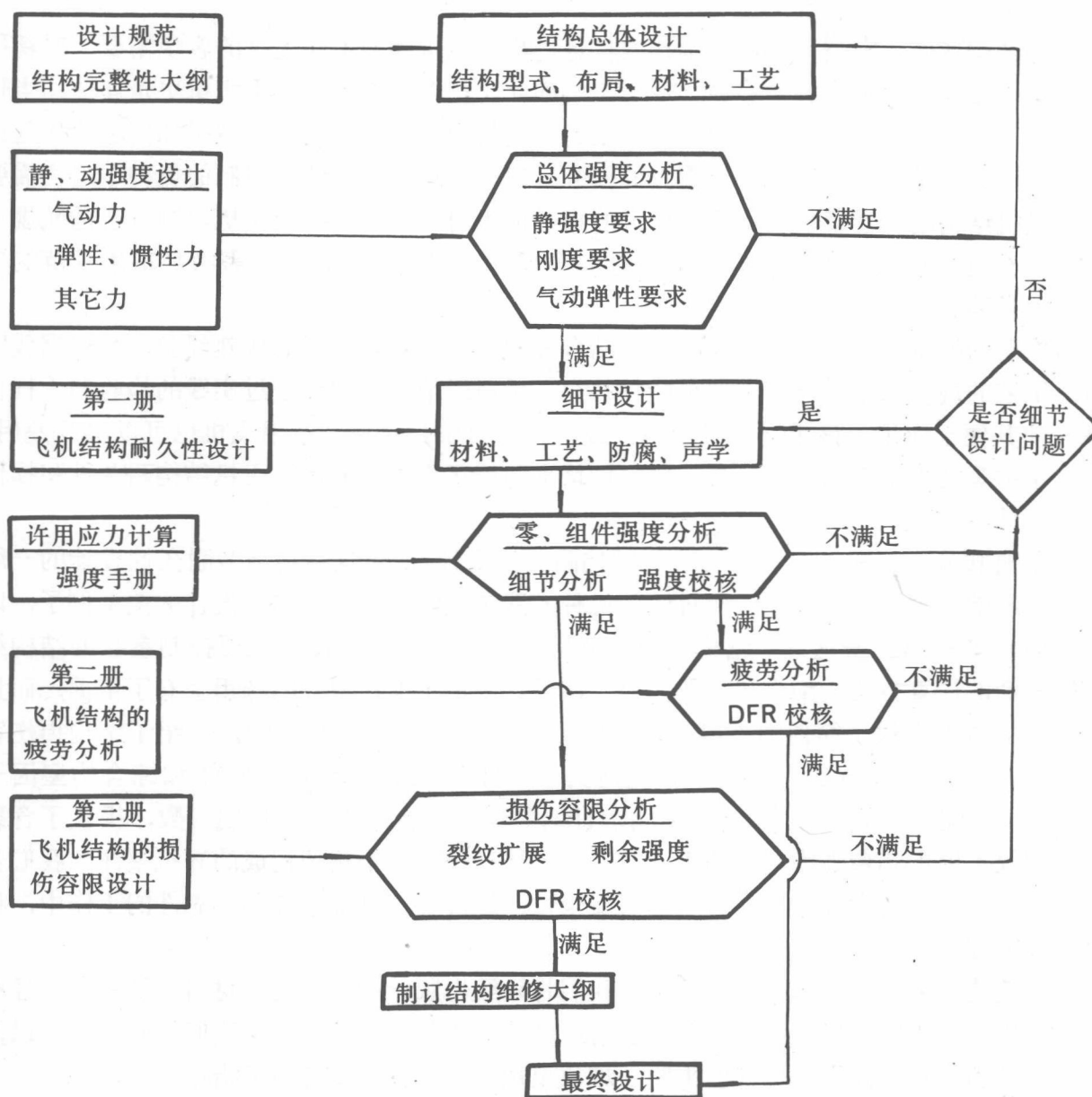
本手册共分为三册。第一册《飞机结构耐久性设计》,包含结构细节耐久性设计的一般原则并系统地介绍了飞机各部件经过国外机种实践考验的飞机结构细节设计的典型例子,以便设计时参考。第二册《飞机结构的疲劳分析》,介绍了以 DFR 为主要控制参数的结构细节疲劳寿命的计算方法。配合第一册内容,使设计人员不但在型式的选用上有了依据,而且在分析计算方面提供了简便的手段。第三册《飞机结构损伤容限设计》,介绍了结构损伤容限设计的基本原理和方法,同时以额定应力 S ,材料裂纹扩展许用值 M 和综合构型因子 Y 、内力再分配因子 C 及几何因子 G 为表征的裂纹断裂特性为基本控制参数,提供了含裂纹结构裂纹扩展和剩余强度计算的工程方法。上述三册是一个相辅相成的有机整体。我们希望本手册在飞机结构设计中,在提高飞机安全性、经济性、可维修性和可靠性的工作中,将起到重大的促进作用。

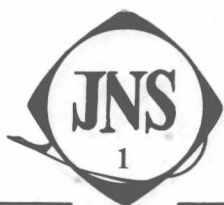
为了使读者能更深入地理解和运用,我们将陆续出版一些编写说明材料。随着设计经验的不断积累,为了便于修改和增补,本手册以活页形式装订发行。由于我们经验不足,以及对原资料的消化和考证受到条件的限制,难免出现错误,恳请读者给予指正。

版次	日期	编	校
XF	1989.1		



飞机结构完整性设计流程图





有效页次

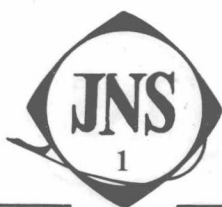
页次	修订日期	页次	修订日期	页次	修订日期	页次	修订日期
00-1~00-2	1989.1	2-47~2-48	1989.1	3-37~3-38	1989.1	3-105~3-106	1989.1
00-3	1989.1	2-49~2-50	1989.1	3-39~3-40	1989.1	3-107~3-108	1989.1
00-5~00-6	1989.1	2-51~2-52	1989.1	3-41~3-42	1989.1	3-109~3-110	1989.1
00-7~00-8	1989.1	2-53~2-54	1989.1	3-43~3-44	1989.1	3-111~4-112	1989.1
0-1	1989.1	2-55~2-56	1989.1	3-45~3-46	1989.1	3-113~3-114	1989.1
0-3~0-4	1989.1	2-57~2-58	1989.1	3-47~3-48	1989.1	3-115~3-116	1989.1
0-5	1989.1	2-59~2-60	1989.1	3-49~3-50	1989.1	3-117~3-118	1989.1
1-0	1989.1	2-61~2-62	1989.1	3-51~3-52	1989.1	3-119~3-120	1989.1
1-1~1-2	1989.1	2-63~2-64	1989.1	3-53~3-54	1989.1	3-121~3-122	1989.1
1-3~1-4	1989.1	2-65~2-66	1989.1	3-55~3-56	1989.1	3-123~3-124	1989.1
2-0	1989.1	2-67~2-68	1989.1	3-57~3-58	1989.1	3-125~3-126	1989.1
2M-1~2M-2	1989.1	2-69~2-70	1989.1	3-59~3-60	1989.1	3-127~3-128	1989.1
2-1~2-2	1989.1	2-71	1989.1	3-61~3-62	1989.1	3-129~3-130	1989.1
2-3~2-6	1989.1	3-0	1989.1	3-63~3-64	1989.1	3-131~3-132	1989.1
2-7~2-80	1989.1	3M-1~3M-2	1989.1	3-65~3-66	1989.1	3-132~3-134	1989.1
2-9~2-10	1989.1	3M-3~3M-4	1989.1	3-67~3-68	1989.1	3-135~3-136	1989.1
2-11~2-12	1989.1	3-1~3-2	1989.1	3-69~3-70	1989.1	3-137~3-138	1989.1
2-13~2-14	1989.1	3-3~3-4	1989.1	3-71~3-72	1989.1	3-139~3-140	1989.1
2-15~2-16	1989.1	3-5~3-6	1989.1	3-73~3-74	1989.1	3-141~3-142	1989.1
2-17~2-18	1989.1	3-7~3-8	1989.1	3-75~3-76	1989.1	3-143~3-144	1989.1
2-19~2-20	1989.1	3-9~3-10	1989.1	3-77~3-78	1989.1	3-145~3-146	1989.1
2-21~2-22	1989.1	3-11~3-12	1989.1	3-79~3-80	1989.1	3-147~3-148	1989.1
2-23~2-24	1989.1	3-13~3-14	1989.1	3-81~3-82	1989.1	3-149~3-150	1989.1
2-25~2-26	1989.1	3-15~3-16	1989.1	3-83~3-84	1989.1	3-151~3-152	1989.1
2-27~2-28	1989.1	3-17~3-18	1989.1	3-85~3-86	1989.1	3-153~3-154	1989.1
2-29~2-30	1989.1	3-19~3-20	1989.1	3-87~3-88	1989.1	3-155~3-156	1989.1
2-31~2-32	1989.1	3-21~3-22	1989.1	3-89~3-90	1989.1	3-157~3-158	1989.1
2-33~2-34	1989.1	3-23~3-24	1989.1	3-91~3-92	1989.1	3-159~3-160	1989.1
2-35~2-36	1989.1	3-25~3-26	1989.1	3-93~3-94	1989.1	3-161~3-162	1989.1
2-37~2-38	1989.1	3-27~3-28	1989.1	3-95~3-96	1989.1	3-163~3-164	1989.1
2-39~2-40	1989.1	3-29~3-30	1989.1	3-97~3-98	1989.1	3-165	1989.1
2-41~2-42	1989.1	3-31~3-32	1989.1	3-99~3-100	1989.1	4-0	1989.1
2-43~2-44	1989.1	3-33~3-34	1989.1	3-101~3-102	1989.1	4M-1	1989.1
2-45~2-46	1989.1	3-35~3-36	1989.1	3-103~3-104	1989.1	4-1~4-2	1989.1

版次	日期	编	校
XF	1989.1		



有效页次

页次	修订日期	页次	修订日期	页次	修订日期	页次	修订日期
4-3~4-4	1989.1	7-0	1989.1	7-67~7-68	1989.1	7-139~7-140	1989.1
4-5~4-6	1989.1	7M-1~7M-2	1989.1	7-69~7-70	1989.1	7-141~7-142	1989.1
4-7~4-8	1989.1	7M-3~7M-4	1989.1	7-71~7-72	1989.1	7-143	1989.1
4-9~4-10	1989.1	7-1~7-2	1989.1	7-73~7-74	1989.1	8-0	1989.1
4-11~4-12	1989.1	7-3~7-4	1989.1	7-75~7-76	1989.1	8M-1	1989.1
4-13~4-14	1989.1	7-5~7-6	1989.1	7-77~7-78	1989.1	8-1~8-2	1989.1
4-15~4-16	1989.1	7-7~7-8	1989.1	7-79~7-80	1989.1	8-3~8-4	1989.1
4-17~4-18	1989.1	7-9~7-10	1989.1	7-81~7-82	1989.1	8-5~8-6	1989.1
4-19~4-20	1989.1	7-11~7-12	1989.1	7-83~7-84	1989.1	8-7~8-8	1989.1
4-21~4-22	1989.1	7-13~7-14	1989.1	7-85~7-86	1989.1	8-9~8-10	1989.1
4-23~4-24	1989.1	7-15~7-16	1989.1	7-87~7-88	1989.1	8-11	1989.1
4-25~4-26	1989.1	7-17~7-18	1989.1	7-89~7-90	1989.1	9-0	1989.1
4-27~4-28	1989.1	7-19~7-20	1989.1	7-91~7-92	1989.1	9M-1~9M-2	1989.1
5-0	1989.1	7-21~7-22	1989.1	7-93~7-94	1989.1	9-1~9-2	1989.1
5M-1	1989.1	7-23~7-24	1989.1	7-95~7-96	1989.1	9-3~9-4	1989.1
5-1~5-2	1989.1	7-25~7-26	1989.1	7-97~7-98	1989.1	9-5~9-6	1989.1
5-3~5-4	1989.1	7-27~7-28	1989.1	7-99~7-100	1989.1	9-7~9-8	1989.1
5-5~5-6	1989.1	7-29~7-30	1989.1	7-101~7-102	1989.1	9-9~9-10	1989.1
5-7~5-8	1989.1	7-31~7-32	1989.1	7-103~7-104	1989.1	9-11~9-12	1989.1
5-9	1989.1	7-33~7-34	1989.1	7-105~7-106	1989.1	9-13~9-14	1989.1
6-0	1989.1	7-35~7-36	1989.1	7-107~7-108	1989.1	9-15~9-16	1989.1
6M-1	1989.1	7-37~7-38	1989.1	7-109~7-110	1989.1	9-17~9-18	1989.1
6-1~6-2	1989.1	7-39~7-40	1989.1	7-111~7-112	1989.1	9-19~9-20	1989.1
6-3~6-4	1989.1	7-41~7-42	1989.1	7-113~7-114	1989.1	9-21~9-22	1989.1
6-5~6-6	1989.1	7-43~7-44	1989.1	7-115~7-116	1989.1	9-23~9-24	1989.1
6-7~6-8	1989.1	7-45~7-46	1989.1	7-117~7-118	1989.1	9-25~9-26	1989.1
6-9~6-10	1989.1	7-47~7-48	1989.1	7-119~7-120	1989.1	9-27~9-28	1989.1
6-11~6-12	1989.1	7-49~7-50	1989.1	7-121~7-122	1989.1	9-29~9-30	1989.1
6-13~6-14	1989.1	7-51~7-52	1989.1	7-123~7-124	1989.1	9-31~9-32	1989.1
6-15~6-16	1989.1	7-53~7-54	1989.1	7-125~7-126	1989.1	F-1~F-2	1989.1
6-17~6-18	1989.1	7-55~7-56	1989.1	7-127~7-128	1989.1	F-3~F-4	1989.1
6-19~6-20	1989.1	7-57~7-58	1989.1	7-129~7-130	1989.1	F-5~F-6	1989.1
6-21~6-22	1989.1	7-59~7-60	1989.1	7-131~7-132	1989.1	F-7~F-8	1989.1
6-23~6-24	1989.1	7-61~7-62	1989.1	7-133~7-134	1989.1	F-9~F-10	1989.1
6-25~6-26	1989.1	7-63~7-64	1989.1	7-135~7-136	1989.1	F-11	1989.1
6-27~6-28	1989.1	7-65~7-66	1989.1	7-137~7-138	1989.1		



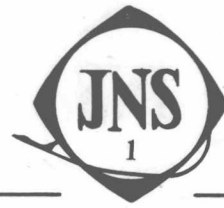
本 册 序 言

本手册第一册《飞机结构耐久性设计》是以典型细节不宜采用和可接受的设计图样来表达结构细节的几何参数、工艺、材料、环境条件、腐蚀防护和排水等方面对抗疲劳设计的影响。所列资料基于结构完整性，以最合理的结构形式，最经济的维护费用满足商用飞机 20 年使用期的要求，是国外机种多年来经过考验的设计经验的积累和总结，手册还包括国内一些机种在使用中暴露的耐久性问题。不宜采用的结构细节尽管在国内外现有飞机结构上还可以见到，但在新型号设计中不再采用。研究、熟悉并继承这些基本经验是新机研制满足耐久性设计的起码条件。然而，设计毕竟是一种创造性工作，以往的经验不可能成为包罗万象的结构大全，一成不变地被当作规范来使用，要有所创新和建立在试验基础上的发展。结构设计人员、应力分析人员如能正确地分析、使用、参考和发展这些成功的实例，避免不正确的设计，本手册将是一种十分有益的指导和启迪，是一部很有实用价值的工具书。

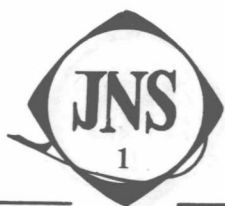
本册中列出的典型细节包括结构型式及各种参数的组合。同样型式不同参数将会有不同的抗疲劳品质。部分细节中列出了该细节的 DFR 值（细节疲劳额定强度）即是此种结合的产物，是从使用经验和试验得出的。DFR 值是与第二册一起，用于评估结构件抗疲劳品质和耐重复载荷能力的一个表征值。也是在 95% 置信度和 95% 存活率，以 0.06 的应力比，承受 10^5 循环载荷时的最大应力值（单位为兆帕）。带“参考”字样的 DFR 只有在该细节的工艺、标准、材料及结构参数等技术要求满足相应文件规定的情况下才能使用。与这些技术要求相对应的国外标准文件和相近似的国内标准文件对照附于本册的末尾供读者参考。无下标的 DFR 用于受拉情况，带下标 j_q 的 DFR_{j_q} 用于受剪情况。

要满足结构完整性要求，耐久性设计是其中的主要环节。耐久性要求有合理的、经济的、最少维护工作量的结构使用长寿命，但不能完全避免由于材料、工艺和初始缺陷而造成的偶然损伤，因而对主要受力构件除了疲劳强度之外还需作损伤容限分析，以保证结构的安全可靠，这将在本手册的第三册中阐述。

版次	日期	编	校
XF	1989.1		



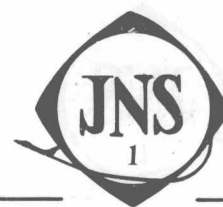
版次	日期	编	校
XF	1989.1		



符 号

A	面积
a	边宽
B,b	宽度
C	外层纤维至中性轴的距离
D	孔径
d	螺栓直径
E	弹性模量
e	边距、偏心距
H,h	高度
I	惯性矩
K_L	载荷放大系数
K_t	应力集中系数
L, l	距离
M	弯矩
P	外载, 间距
P_{zh}	轴向外载
P_{hx}	环向外载
ΔP	压差、局部载荷
Q	静矩
q	剪流
R,r	半径
S	连接件距离, 宽度
T	扭矩, 厚度
t	厚度
V	剪力
W	大开口宽度
X	距离
Y,y	挠度, 偏心距
σ	拉应力
σ_b	抗拉强度极限
σ_{mb}	毛截面拉应力
τ_b	抗剪强度极限
θ	角度
δ	蒙皮厚度

版次	日期	编	校
XF	1989.1		

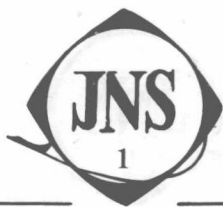


下 标

by	边缘
ch	长桁
ck	参考
db	带板, 垫板
dj	锻件
fb	腹板
j	静
jg	间距
jh	加厚
jp	角片
jq	剪切
jy	挤压
jz	基准
Ij	临界
K	框
Kd	框带板
Kj	框架
m	毛
mp	蒙皮
sj	设计
tt	凸台
yd	圆垫
yt	缘条
yx	有效
xx	下陷
zh	支, 支柱



版次	日期	编	校
XF	1989.1		



第一册 飞机结构耐久性设计

目 录

前言

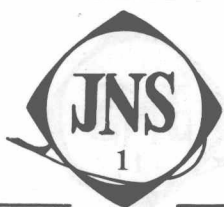
有效页次

本册序言

符号

第一章	飞机结构耐久性设计的一般原则	(1-0)
第二章	结构的一般情况	(2-0)
第三章	机身	(3-0)
第四章	舱门	(4-0)
第五章	旅客窗	(5-0)
第六章	短舱和吊挂	(6-0)
第七章	机翼	(7-0)
第八章	安定面	(8-0)
第九章	起落架	(9-0)
附 录	使用的材料、标准与国外文件对照表	(F-1)

版次	日期	编	校
XF	1989.1		



第一章 飞机结构耐久性设计的一般原则

版次	日期	编	校
XF	1989.1	肖凤琴	龚鑫茂