

MIL—A—87221

# 飞机结构通用规范

航空工业部飞机强度规范编写办公室

1987.10

V215-65  
100J

(T-65)

# 军 用 规 范

## 飞 机 结 构 通 用 规 范



30268424

航空工业部飞机强度规范编写办公室

1987.10

647107

## 出版说明

本译文为美国军用规范《飞机结构通用规范(MIL-A-87221)》；是1985年2月28日颁布使用的新规范。

该规范是根据使用需要规定了有关飞机机体结构的设计要求和验证要求。该规范的内容与美国已颁布的军用飞机强度和刚度规范有些差别；该规范中涉及定量要求的内容均留下空格，供填写附加资料，当飞机结构特性没有附加资料时本规范不能作为订立合同之用。因而更加体现规范的指导性。规范、附录所留空格可供承包商和用户更好地协商；使本规范的使用更具有灵活性。空格的填写根据使用需要、构形情况及其限制和包括在附录中的资料来完成。

该规范的附录为《飞机结构手册》。附录中的第30节与规范中的第3节和第4节相对应，且序号和标题一致；第30节重述了规范的每一要求和有关验证，并提出每一要求和验证的必要理由、指导、经验教训，为采购部门使用MIL-A-87221提供资料。附录飞机结构手册中列举的数据、背景材料和经验教训是十分丰富和珍贵的。

本译文对我国从事飞机设计、试验、研究和航空装备的科技工作者以及航空院校师生都有一定的参考价值。

本译文是由马保林、汤吉晨、胡昌荣、王仲燕、谢婉玲、申燕平、张忠民、何 涇、秦国兴、黄舜琪、陈昭灼、王裕昌、钟德均、管佩芳、屈见忠、王 记、王根元、林 海、张克荣、王公镛、杨学勤翻译、校对的，全文由赵令诚、龚尧南、方宝瑞、俞 树 奎 审校，由张永河编辑。

由于我们的水平有限，时间仓促、经验不足、在翻译、校对、编辑过程中难免还会有一些问题存在，望读者将使用中发现问题及建议函告我们。

航空工业部飞机强度规范编写办公室

1987.10

# 目 录

|        |                   |       |
|--------|-------------------|-------|
| 1      | 范围.....           | ( 1 ) |
| 1.1    | 范围.....           | ( 1 ) |
| 1.2    | 适用范围.....         | ( 1 ) |
| 1.3    | 使用.....           | ( 1 ) |
| 1.4    | 更改.....           | ( 1 ) |
| 2      | 有关文件.....         | ( 2 ) |
| 2.1    | 政府文件.....         | ( 2 ) |
| 2.2    | 其它出版物.....        | ( 2 ) |
| 2.3    | 优先顺序.....         | ( 2 ) |
| 3      | 要求.....           | ( 2 ) |
| 3.1    | 详细结构准则.....       | ( 2 ) |
| 3.2    | 一般参数.....         | ( 2 ) |
| 3.2.1  | 机体构形.....         | ( 2 ) |
| 3.2.2  | 货物.....           | ( 2 ) |
| 3.2.3  | 有效载重.....         | ( 2 ) |
| 3.2.4  | 重量分布.....         | ( 2 ) |
| 3.2.5  | 重量.....           | ( 2 ) |
| 3.2.6  | 重心位置.....         | ( 3 ) |
| 3.2.7  | 速度.....           | ( 3 ) |
| 3.2.8  | 高度.....           | ( 4 ) |
| 3.2.9  | 飞行载荷系数.....       | ( 4 ) |
| 3.2.10 | 地面受载参数.....       | ( 4 ) |
| 3.2.11 | 限制载荷.....         | ( 5 ) |
| 3.2.12 | 极限载荷.....         | ( 5 ) |
| 3.2.13 | 变形.....           | ( 5 ) |
| 3.2.14 | 使用寿命和服役使用.....    | ( 5 ) |
| 3.2.15 | 大气.....           | ( 6 ) |
| 3.2.16 | 化学、热和气候环境.....    | ( 6 ) |
| 3.2.17 | 功率或推力.....        | ( 6 ) |
| 3.2.18 | 飞行操纵和增稳装置.....    | ( 6 ) |
| 3.2.19 | 材料和工艺.....        | ( 6 ) |
| 3.2.20 | 最后加工.....         | ( 6 ) |
| 3.2.21 | 非结构涂层、保护膜和铺层..... | ( 6 ) |

|          |                 |        |
|----------|-----------------|--------|
| 3.2.22   | 可能的故障.....      | ( 7 )  |
| 3.2.23   | 雷击.....         | ( 8 )  |
| 3.2.24   | 外来物损伤.....      | ( 8 )  |
| 3.3      | 设计和构造参数.....    | ( 8 )  |
| 3.3.1    | 舱门和壁板.....      | ( 8 )  |
| 3.3.2    | 增压舱舱门和斜板机构..... | ( 8 )  |
| 3.3.3    | 斜板.....         | ( 8 )  |
| 3.3.4    | 货舱地板.....       | ( 9 )  |
| 3.3.5    | 透明件.....        | ( 9 )  |
| 3.3.6    | 尾部缓冲器.....      | ( 9 )  |
| 3.3.7    | 尾钩.....         | ( 9 )  |
| 3.3.8    | 通气口和放气口.....    | ( 9 )  |
| 3.3.9    | 内舱.....         | ( 9 )  |
| 3.3.10   | 装甲.....         | ( 9 )  |
| 3.3.11   | 加油设备.....       | ( 9 )  |
| 3.3.12   | 纲索.....         | ( 9 )  |
| 3.3.13   | 机体轴承和滑轮.....    | ( 9 )  |
| 3.3.14   | 紧固件.....        | ( 9 )  |
| 3.3.15   | 整体油箱和管路.....    | ( 9 )  |
| 3.3.16   | 核武器固定.....      | ( 9 )  |
| 3.3.17   | 其它设计和构造参数.....  | ( 9 )  |
| 3.4      | 结构受载情况.....     | ( 10 ) |
| 3.4.1    | 飞行受载情况.....     | ( 10 ) |
| 3.4.1.1  | 对称机动.....       | ( 10 ) |
| 3.4.1.2  | 非对称机动.....      | ( 10 ) |
| 3.4.1.3  | 航向机动.....       | ( 10 ) |
| 3.4.1.4  | 规避机动.....       | ( 10 ) |
| 3.4.1.5  | 其它机动.....       | ( 10 ) |
| 3.4.1.6  | 紊流.....         | ( 10 ) |
| 3.4.1.7  | 空中加油.....       | ( 10 ) |
| 3.4.1.8  | 空投.....         | ( 10 ) |
| 3.4.1.9  | 速度和升力控制.....    | ( 10 ) |
| 3.4.1.10 | 空中刹车机轮.....     | ( 11 ) |
| 3.4.1.11 | 起落架的放下和收起.....  | ( 11 ) |
| 3.4.1.12 | 增压.....         | ( 11 ) |
| 3.4.1.13 | 其它飞行受载情况.....   | ( 11 ) |
| 3.4.2    | 地面受载情况.....     | ( 11 ) |
| 3.4.2.1  | 滑行.....         | ( 11 ) |
| 3.4.2.2  | 转弯.....         | ( 11 ) |

|          |                     |        |
|----------|---------------------|--------|
| 3.4.2.3  | 打地转.....            | ( 11 ) |
| 3.4.2.4  | 刹车.....             | ( 11 ) |
| 3.4.2.5  | 起飞.....             | ( 11 ) |
| 3.4.2.6  | 着陆.....             | ( 12 ) |
| 3.4.2.7  | 装有滑橇的航空器.....       | ( 12 ) |
| 3.4.2.8  | 维护.....             | ( 12 ) |
| 3.4.2.9  | 地面风.....            | ( 12 ) |
| 3.4.2.10 | 撞毁.....             | ( 12 ) |
| 3.4.2.11 | 其它地面受载情况.....       | ( 12 ) |
| 3.5      | 气动声学耐久性.....        | ( 12 ) |
| 3.5.1    | 结构-气动声学 .....       | ( 12 ) |
| 3.5.2    | 系统-气动声学 .....       | ( 13 ) |
| 3.5.3    | 内部噪声.....           | ( 13 ) |
| 3.6      | 振动.....             | ( 13 ) |
| 3.6.1    | 结构-振动 .....         | ( 13 ) |
| 3.6.2    | 推进装置.....           | ( 13 ) |
| 3.6.3    | 系统-振动 .....         | ( 13 ) |
| 3.6.4    | 乘坐品质.....           | ( 13 ) |
| 3.7      | 气动弹性稳定性.....        | ( 13 ) |
| 3.7.1    | 气动弹性.....           | ( 13 ) |
| 3.7.2    | 气动伺服弹性.....         | ( 14 ) |
| 3.7.3    | 阻尼.....             | ( 14 ) |
| 3.7.4    | 破损安全稳定性.....        | ( 14 ) |
| 3.7.5    | 余量.....             | ( 14 ) |
| 3.7.6    | 环境影响——气动伺服弹性.....   | ( 14 ) |
| 3.8      | 要求的结构生存力——核武装.....  | ( 15 ) |
| 3.9      | 要求的结构生存力——非核武器..... | ( 15 ) |
| 3.10     | 强度.....             | ( 15 ) |
| 3.10.1   | 金属材料.....           | ( 15 ) |
| 3.10.1.1 | 材料性能.....           | ( 15 ) |
| 3.10.1.2 | 铸件.....             | ( 16 ) |
| 3.10.1.3 | 锻件.....             | ( 16 ) |
| 3.10.1.4 | 晶粘方向.....           | ( 16 ) |
| 3.10.1.5 | 环境影响——强度.....       | ( 16 ) |
| 3.10.1.6 | 组配系数.....           | ( 16 ) |
| 3.10.1.7 | 支承系数.....           | ( 16 ) |
| 3.10.2   | 非金属材料.....          | ( 16 ) |
| 3.10.3   | 内力.....             | ( 16 ) |
| 3.10.4   | 应力.....             | ( 16 ) |

|          |                     |        |
|----------|---------------------|--------|
| 3.10.5   | 静强度.....            | ( 16 ) |
| 3.10.6   | 期中强度放飞.....         | ( 17 ) |
| 3.10.7   | 最终强度放飞.....         | ( 17 ) |
| 3.10.8   | 结构修改.....           | ( 17 ) |
| 3.11     | 耐久性.....            | ( 17 ) |
| 3.11.1   | 疲劳裂纹/损伤 .....       | ( 17 ) |
| 3.11.2   | 腐蚀防护.....           | ( 17 ) |
| 3.11.3   | 热防护保证.....          | ( 17 ) |
| 3.11.4   | 磨损.....             | ( 17 ) |
| 3.11.5   | 有限寿命结构.....         | ( 18 ) |
| 3.12     | 损伤容限.....           | ( 18 ) |
| 3.12.1   | 缺陷尺寸.....           | ( 18 ) |
| 3.12.2   | 剩余强度和损伤扩展限度.....    | ( 18 ) |
| 3.12.2.1 | 缓慢裂纹扩展结构.....       | ( 18 ) |
| 3.12.2.2 | 破损安全多路传力结构.....     | ( 18 ) |
| 3.12.2.3 | 破损安全止裂结构.....       | ( 19 ) |
| 3.13     | 部队管理.....           | ( 19 ) |
| 3.13.1   | 数据采集系统装置.....       | ( 19 ) |
| 4        | 验证.....             | ( 19 ) |
| 4.1      | 详细结构准则.....         | ( 19 ) |
| 4.2      | 一般参数.....           | ( 19 ) |
| 4.3      | 设计和构造参数.....        | ( 20 ) |
| 4.4      | 结构受载情况.....         | ( 21 ) |
| 4.5      | 气动声学耐久性.....        | ( 22 ) |
| 4.6      | 振动.....             | ( 22 ) |
| 4.7      | 气动弹性稳定性.....        | ( 23 ) |
| 4.8      | 要求的结构生存力——核武器.....  | ( 24 ) |
| 4.9      | 要求的结构生存力——非核武器..... | ( 24 ) |
| 4.10     | 强度.....             | ( 24 ) |
| 4.10.1   | 金属材料.....           | ( 24 ) |
| 4.10.2   | 非金属材料.....          | ( 25 ) |
| 4.10.3   | 内力.....             | ( 25 ) |
| 4.10.4   | 应力.....             | ( 25 ) |
| 4.10.5   | 静强度.....            | ( 25 ) |
| 4.10.6   | 期中强度放飞.....         | ( 26 ) |
| 4.10.7   | 最终强度放飞.....         | ( 26 ) |
| 4.10.8   | 结构修改.....           | ( 26 ) |
| 4.11     | 耐久性.....            | ( 26 ) |
| 4.11.1   | 疲劳裂纹/损伤 .....       | ( 26 ) |

|        |                  |        |
|--------|------------------|--------|
| 4.11.2 | 腐蚀防护.....        | ( 27 ) |
| 4.11.3 | 热防护保证.....       | ( 28 ) |
| 4.11.4 | 磨损.....          | ( 28 ) |
| 4.11.5 | 有限寿命结构.....      | ( 28 ) |
| 4.12   | 损伤容限.....        | ( 28 ) |
| 4.12.1 | 缺陷尺寸.....        | ( 28 ) |
| 4.12.2 | 剩余强度和损伤扩展限度..... | ( 28 ) |
| 4.13   | 部队管理.....        | ( 28 ) |
| 5      | 包装.....          | ( 29 ) |
| 6      | 说明.....          | ( 29 ) |
| 6.1    | 定义.....          | ( 29 ) |
| 6.2    | 数据要求.....        | ( 33 ) |
| 6.3    | 负责的工程办事机构.....   | ( 34 ) |

## 附 录

|        |                 |        |
|--------|-----------------|--------|
| 10     | 范围.....         | ( 35 ) |
| 10.1   | 范围.....         | ( 35 ) |
| 10.2   | 目的.....         | ( 35 ) |
| 10.3   | 用途.....         | ( 35 ) |
| 10.4   | 格式.....         | ( 35 ) |
| 10.4.1 | 要求/验证的一致性 ..... | ( 35 ) |
| 10.4.2 | 要求/验证的配套 .....  | ( 35 ) |
| 10.5   | 指导.....         | ( 35 ) |
| 1.2    | 适用范围.....       | ( 35 ) |
| 1.2.1  | 计划.....         | ( 35 ) |
| 1.2.2  | 飞机.....         | ( 36 ) |
| 1.2.3  | 飞机结构.....       | ( 37 ) |
| 10.6   | 责任工程局.....      | ( 37 ) |
| 20     | 参考文件.....       | ( 37 ) |
| 20.1   | 政府文件.....       | ( 37 ) |
| 20.2   | 其它文件.....       | ( 40 ) |
| 30     | 要求和验证.....      | ( 44 ) |
| 3.1    | 详细结构准则.....     | ( 47 ) |
| 4.1    | 详细结构准则.....     | ( 51 ) |
| 3.2    | 一般参数.....       | ( 52 ) |
| 4.2    | 一般参数.....       | ( 53 ) |
| 3.2.1  | 机体构形.....       | ( 53 ) |
| 4.2.1  | 机体构形.....       | ( 56 ) |

|          |                   |        |
|----------|-------------------|--------|
| 3.2.2    | 货物.....           | ( 56 ) |
| 4.2.2    | 货物.....           | ( 57 ) |
| 3.2.3    | 有效载重.....         | ( 58 ) |
| 4.2.3    | 有效载重.....         | ( 58 ) |
| 3.2.4    | 重量分布.....         | ( 58 ) |
| 4.2.4    | 重量分布.....         | ( 59 ) |
| 3.2.5    | 重量.....           | ( 60 ) |
| 3.2.5.1  | 最大无燃油重量.....      | ( 60 ) |
| 3.2.5.2  | 最小飞行重量.....       | ( 60 ) |
| 3.2.5.3  | 正常飞行重量.....       | ( 60 ) |
| 3.2.5.4  | 最大飞行重量.....       | ( 60 ) |
| 3.2.5.5  | 正常着陆重量.....       | ( 60 ) |
| 3.2.5.6  | 最大着陆重量.....       | ( 60 ) |
| 3.2.5.7  | 最大地面重量.....       | ( 60 ) |
| 3.2.5.8  | 最大离地重量.....       | ( 60 ) |
| 3.2.5.9  | 最大起落架顶起重量.....    | ( 60 ) |
| 3.2.5.10 | 最大机体顶起重量.....     | ( 61 ) |
| 3.2.5.11 | 起吊重量.....         | ( 61 ) |
| 3.2.5.12 | 其它重量.....         | ( 61 ) |
| 4.2.5    | 重量.....           | ( 62 ) |
| 3.2.6    | 重心位置.....         | ( 64 ) |
| 4.2.6    | 重心位置.....         | ( 65 ) |
| 3.2.7    | 速度.....           | ( 66 ) |
| 3.2.7.1  | 最大平飞速度.....       | ( 66 ) |
| 3.2.7.2  | 俯冲速度.....         | ( 67 ) |
| 3.2.7.3  | 限制速度.....         | ( 67 ) |
| 3.2.7.4  | 机动速度.....         | ( 68 ) |
| 3.2.7.5  | 起飞、进场和着陆限制速度..... | ( 68 ) |
| 3.2.7.6  | 离地限制速度.....       | ( 69 ) |
| 3.2.7.7  | 接地限制速度.....       | ( 69 ) |
| 3.2.7.8  | 滑行限制速度.....       | ( 70 ) |
| 3.2.7.9  | 阵风限制速度.....       | ( 71 ) |
| 3.2.7.10 | 可能故障限制速度.....     | ( 71 ) |
| 3.2.7.11 | 其它速度.....         | ( 72 ) |
| 4.2.7    | 速度.....           | ( 72 ) |
| 3.2.8    | 高度.....           | ( 73 ) |
| 3.2.8.1  | 最大飞行高度.....       | ( 73 ) |
| 3.2.8.2  | 机动高度.....         | ( 73 ) |
| 3.2.8.3  | 最大地面高度.....       | ( 73 ) |

|          |                    |         |
|----------|--------------------|---------|
| 4.2.8    | 高度.....            | ( 73 )  |
| 3.2.9    | 飞行载荷系数.....        | ( 74 )  |
| 3.2.9.1  | 正常飞行重量载荷系数.....    | ( 74 )  |
| 3.2.9.2  | 最大飞行重量载荷系数.....    | ( 74 )  |
| 3.2.9.3  | 起飞、进场和着陆载荷系数.....  | ( 74 )  |
| 3.2.9.4  | 高阻力载荷系数.....       | ( 74 )  |
| 3.2.9.5  | 可能故障后的航空器载荷系数..... | ( 74 )  |
| 3.2.9.6  | 其它飞行载荷系数.....      | ( 74 )  |
| 4.2.9    | 飞行载荷系数.....        | ( 76 )  |
| 3.2.10   | 地面受载参数.....        | ( 76 )  |
| 3.2.10.1 | 着陆下沉速度.....        | ( 77 )  |
| 3.2.10.2 | 着陆侧风.....          | ( 77 )  |
| 3.2.10.3 | 着陆横滚、偏航和俯仰姿态.....  | ( 78 )  |
| 3.2.10.4 | 在不连续凸起和凹坑上滑行.....  | ( 78 )  |
| 4.2.10   | 地面受载参数.....        | ( 79 )  |
| 3.2.11   | 限制载荷.....          | ( 79 )  |
| 4.2.11   | 限制载荷.....          | ( 82 )  |
| 3.2.12   | 极限载荷.....          | ( 82 )  |
| 3.2.12.1 | 有人航空器.....         | ( 82 )  |
| 3.2.12.2 | 无人航空器.....         | ( 82 )  |
| 4.2.12   | 极限载荷.....          | ( 83 )  |
| 3.2.13   | 变形.....            | ( 83 )  |
| 4.2.13   | 变形.....            | ( 84 )  |
| 3.2.14   | 使用寿命和服役使用.....     | ( 84 )  |
| 3.2.14.1 | 典型的使用机场或基地.....    | ( 85 )  |
| 3.2.14.2 | 重复载荷源.....         | ( 86 )  |
| 3.2.14.3 | 其它要求.....          | ( 97 )  |
| 4.2.14   | 使用寿命和服役使用.....     | ( 98 )  |
| 3.2.15   | 大气.....            | ( 98 )  |
| 4.2.15   | 大气.....            | ( 99 )  |
| 3.2.16   | 化学、热和气候环境.....     | ( 99 )  |
| 4.2.16   | 化学、热和气候环境 .....    | ( 100 ) |
| 3.2.17   | 功率或推力 .....        | ( 101 ) |
| 4.2.17   | 功率或推力 .....        | ( 101 ) |
| 3.2.18   | 飞行操纵和增稳装置 .....    | ( 102 ) |
| 4.2.18   | 飞行操纵和增稳装置 .....    | ( 102 ) |
| 3.2.19   | 材料和工艺 .....        | ( 103 ) |
| 4.2.19   | 材材和工艺 .....        | ( 104 ) |
| 3.2.20   | 最后加工 .....         | ( 104 ) |

|           |                    |       |
|-----------|--------------------|-------|
| 4.2.20    | 最后加工 .....         | (105) |
| 3.2.21    | 非结构涂层、保护膜和铺层 ..... | (105) |
| 4.2.21    | 非结构涂层、保护膜和铺层 ..... | (106) |
| 3.2.22    | 可能的故障 .....        | (107) |
| 3.2.22.1  | 轮胎故障 .....         | (107) |
| 3.2.22.2  | 推进系统故障 .....       | (108) |
| 3.2.22.3  | 雷达天线罩故障 .....      | (109) |
| 3.2.22.4  | 检查舱门及其构件 .....     | (110) |
| 3.2.22.5  | 结构或机械故障 .....      | (110) |
| 3.2.22.6  | 液压系统故障 .....       | (111) |
| 3.2.22.7  | 发动机支撑结构故障 .....    | (112) |
| 3.2.22.8  | 飞行操纵系统故障 .....     | (112) |
| 3.2.22.9  | 透明件故障 .....        | (113) |
| 3.2.22.10 | 快速减压 .....         | (113) |
| 3.2.22.11 | 其它故障 .....         | (115) |
| 4.2.22    | 可能的故障 .....        | (115) |
| 3.2.23    | 雷击 .....           | (115) |
| 4.2.23    | 雷击 .....           | (117) |
| 3.2.24    | 外来物损伤(FOD) .....   | (117) |
| 4.2.24    | 外来物损伤(FOD) .....   | (125) |
| 3.3       | 设计和构造参数 .....      | (125) |
| 4.3       | 设计和构造参数 .....      | (126) |
| 3.3.1     | 舱门和壁板 .....        | (127) |
| 4.3.1     | 舱门和壁板 .....        | (128) |
| 3.3.2     | 增压舱舱门和斜板机构 .....   | (128) |
| 4.3.2     | 增压舱舱门和斜板机构 .....   | (129) |
| 3.3.3     | 斜板 .....           | (130) |
| 4.3.3     | 斜板 .....           | (131) |
| 3.3.4     | 货舱地板 .....         | (131) |
| 4.3.4     | 货舱地板 .....         | (132) |
| 3.3.5     | 透明件 .....          | (133) |
| 4.3.5     | 透明件 .....          | (134) |
| 3.3.6     | 尾部缓冲器 .....        | (135) |
| 4.3.6     | 尾部缓冲器 .....        | (135) |
| 3.3.7     | 尾钩 .....           | (136) |
| 4.3.7     | 尾钩 .....           | (137) |
| 3.3.8     | 通气口和放气口 .....      | (137) |
| 4.3.8     | 通气口和放气口 .....      | (138) |
| 3.3.9     | 内舱 .....           | (138) |

|          |                 |         |
|----------|-----------------|---------|
| 4.3.9    | 内舱 .....        | ( 138 ) |
| 3.3.10   | 装甲 .....        | ( 139 ) |
| 4.3.10   | 装甲 .....        | ( 139 ) |
| 3.3.11   | 加油设 备.....      | ( 139 ) |
| 4.3.11   | 加油设备 .....      | ( 140 ) |
| 3.3.12   | 钢索 .....        | ( 140 ) |
| 4.3.12   | 钢索 .....        | ( 142 ) |
| 3.3.13   | 机体轴承和滑轮 .....   | ( 142 ) |
| 4.3.13   | 机体轴承和滑轮 .....   | ( 143 ) |
| 3.3.14   | 紧固件 .....       | ( 143 ) |
| 4.3.14   | 紧固件 .....       | ( 146 ) |
| 3.3.15   | 整体油箱和管路 .....   | ( 146 ) |
| 4.3.15   | 整体油箱和管路 .....   | ( 148 ) |
| 3.3.16   | 核武器固定 .....     | ( 148 ) |
| 4.3.16   | 核武器固定 .....     | ( 148 ) |
| 3.3.17   | 其它设计和构造参数 ..... | ( 149 ) |
| 4.3.17   | 其它设计和构造参数 ..... | ( 168 ) |
| 3.4      | 结构受载情况 .....    | ( 168 ) |
| 4.4      | 结构受载情况 .....    | ( 169 ) |
| 3.4.1    | 飞行受载情况 .....    | ( 170 ) |
| 3.4.1.1  | 对称机动 .....      | ( 171 ) |
| 3.4.1.2  | 非对称机动 .....     | ( 172 ) |
| 3.4.1.3  | 航向机动 .....      | ( 173 ) |
| 3.4.1.4  | 规避机动 .....      | ( 174 ) |
| 3.4.1.5  | 其它机动 .....      | ( 174 ) |
| 3.4.1.6  | 紊流 .....        | ( 175 ) |
| 3.4.1.7  | 空中加油 .....      | ( 180 ) |
| 3.4.1.8  | 空投 .....        | ( 182 ) |
| 3.4.1.9  | 速度和升力控制 .....   | ( 183 ) |
| 3.4.1.10 | 空中刹车机轮 .....    | ( 183 ) |
| 3.4.1.11 | 起落架的放下和收上 ..... | ( 184 ) |
| 3.4.1.12 | 增压 .....        | ( 185 ) |
| 3.4.1.13 | 其它飞行受载情况 .....  | ( 185 ) |
| 4.4.1    | 飞行受载情况 .....    | ( 186 ) |
| 3.4.2    | 地面受载情况 .....    | ( 187 ) |
| 3.4.2.1  | 滑行 .....        | ( 188 ) |
| 3.4.2.2  | 转弯 .....        | ( 188 ) |
| 3.4.2.3  | 打地转 .....       | ( 189 ) |
| 3.4.2.4  | 刹车 .....        | ( 190 ) |

|          |                    |         |
|----------|--------------------|---------|
| 3.4.2.5  | 起飞 .....           | ( 190 ) |
| 3.4.2.6  | 着陆 .....           | ( 191 ) |
| 3.4.2.7  | 装有滑梯的航空器 .....     | ( 192 ) |
| 3.4.2.8  | 维护 .....           | ( 193 ) |
| 3.4.2.9  | 地面风 .....          | ( 194 ) |
| 3.4.2.10 | 撞毁 .....           | ( 195 ) |
| 3.4.2.11 | 其它地面受载情况 .....     | ( 198 ) |
| 4.4.2    | 地面受载情况 .....       | ( 199 ) |
| 3.5      | 气动声学耐久性 .....      | ( 200 ) |
| 4.5      | 气动声学耐久性 .....      | ( 201 ) |
| 3.5.1    | 结构-气动声学.....       | ( 201 ) |
| 4.5.1    | 结构-气动声学.....       | ( 202 ) |
| 3.5.2    | 系统-气动声学.....       | ( 205 ) |
| 4.5.2    | 系统-气动声学.....       | ( 206 ) |
| 3.5.3    | 内部噪声 .....         | ( 206 ) |
| 4.5.3    | 内部噪声 .....         | ( 207 ) |
| 3.6      | 振动 .....           | ( 207 ) |
| 4.6      | 振动 .....           | ( 208 ) |
| 3.6.1    | 结构-振动.....         | ( 211 ) |
| 4.6.1    | 结构-振动.....         | ( 212 ) |
| 3.6.2    | 推进装置 .....         | ( 212 ) |
| 4.6.2    | 推进装置 .....         | ( 213 ) |
| 3.6.3    | 系统-振动.....         | ( 213 ) |
| 4.6.3    | 系统-振动.....         | ( 214 ) |
| 3.6.4    | 乘座品质 .....         | ( 215 ) |
| 4.6.4    | 乘座品质 .....         | ( 215 ) |
| 3.7      | 气动弹性稳定性 .....      | ( 216 ) |
| 4.7      | 气动弹性稳定性 .....      | ( 216 ) |
| 3.7.1    | 气动弹性 .....         | ( 235 ) |
| 4.7.1    | 气动弹性 .....         | ( 244 ) |
| 3.7.2    | 气动伺服弹性 .....       | ( 247 ) |
| 4.7.2    | 气动伺服弹性 .....       | ( 248 ) |
| 3.7.3    | 阻尼 .....           | ( 248 ) |
| 4.7.3    | 阻尼 .....           | ( 249 ) |
| 3.7.4    | 破损安全稳定性 .....      | ( 249 ) |
| 4.7.4    | 破损安全稳定性 .....      | ( 250 ) |
| 3.7.5    | 余量 .....           | ( 250 ) |
| 4.7.5    | 余量 .....           | ( 251 ) |
| 3.7.6    | 环境影响——气动伺服弹性 ..... | ( 251 ) |

|            |                |       |
|------------|----------------|-------|
| 4.7.6      | 环境影响——气动伺服弹性   | (251) |
| 3.8        | 要求的结构生存力——核武器  | (252) |
| 4.8        | 要求的结构生存力——核武器  | (254) |
| 3.9        | 要求的结构生存力——非核武器 | (255) |
| 4.9        | 要求的结构生存力——非核武器 | (257) |
| 3.10       | 强度             | (258) |
| 4.10       | 强度             | (258) |
| 3.10.1     | 金属材料           | (259) |
| 4.10.1     | 金属材料           | (259) |
| 3.10.1.1   | 材料性能           | (260) |
| 4.10.1.1   | 材料性能           | (260) |
| 3.10.1.2   | 铸件             | (261) |
| 4.10.1.2   | 铸件             | (262) |
| 3.10.1.3   | 锻件             | (262) |
| 4.10.1.3   | 锻件             | (263) |
| 3.10.1.4   | 晶粒方向           | (264) |
| 4.10.1.4   | 晶粒方向           | (264) |
| 3.10.1.5   | 环境影响——强度       | (264) |
| 4.10.1.5   | 环境影响——强度       | (265) |
| 3.10.1.6   | 组配系数           | (265) |
| 4.10.1.6   | 组配系数           | (266) |
| 3.10.1.7   | 支承系数           | (266) |
| 4.10.1.7   | 支承系数           | (267) |
| 3.10.2     | 非金属材料          | (267) |
| 4.10.2     | 非金属材料          | (268) |
| 3.10.3     | 内力             | (270) |
| 4.10.3     | 内力             | (271) |
| 3.10.4     | 应力             | (271) |
| 4.10.4     | 应力             | (271) |
| 3.10.5     | 静强度            | (272) |
| 4.10.5     | 静强度            | (282) |
| 4.10.5.1   | 研制试验           | (283) |
| 4.10.5.2   | 全机静力试验         | (284) |
| 4.10.5.2.1 | 试验件            | (284) |
| 4.10.5.2.2 | 全机与分离部件        | (285) |
| 4.10.5.2.3 | 试验加载           | (286) |
| 4.10.5.2.4 | 加载的简化和组合       | (286) |
| 4.10.5.3   | 首飞前的功能验证试验     | (287) |
| 4.10.5.4   | 强度验证试验         | (288) |

|            |             |         |
|------------|-------------|---------|
| 4.10.5.5   | 验证试验后的检查和分析 | ( 288 ) |
| 4.10.5.6   | 破坏载荷试验      | ( 289 ) |
| 3.10.6     | 期中强度放飞      | ( 289 ) |
| 4.10.6     | 期中强度放飞      | ( 290 ) |
| 3.10.7     | 最终强度放飞      | ( 290 ) |
| 4.10.7     | 最终强度放飞      | ( 291 ) |
| 3.10.8     | 结构修改        | ( 292 ) |
| 4.10.8     | 结构修改        | ( 292 ) |
| 3.11       | 耐久性         | ( 293 ) |
| 4.11       | 耐久性         | ( 293 ) |
| 3.11.1     | 疲劳裂纹/损伤     | ( 294 ) |
| 4.11.1     | 疲劳裂纹/损伤     | ( 295 ) |
| 4.11.1.1   | 分析          | ( 296 ) |
| 4.11.1.2   | 试验          | ( 297 ) |
| 4.11.1.2.1 | 研制试验        | ( 297 ) |
| 4.11.1.2.2 | 耐久性试验       | ( 298 ) |
| 3.11.2     | 腐蚀防护        | ( 302 ) |
| 4.11.2     | 腐蚀防护        | ( 303 ) |
| 3.11.3     | 热防护保证       | ( 303 ) |
| 4.11.3     | 热防护保证       | ( 304 ) |
| 3.11.4     | 磨损          | ( 304 ) |
| 4.11.4     | 磨损          | ( 305 ) |
| 3.11.5     | 有限寿命结构      | ( 305 ) |
| 4.11.5     | 有限寿命结构      | ( 306 ) |
| 3.12       | 损伤容限        | ( 306 ) |
| 4.12       | 损伤容限        | ( 307 ) |
| 3.12.1     | 缺陷尺寸        | ( 308 ) |
| 4.12.1     | 缺陷尺寸        | ( 314 ) |
| 3.12.2     | 剩余强度和损伤扩展限度 | ( 316 ) |
| 3.12.2.1   | 缓慢裂纹扩展结构    | ( 318 ) |
| 3.12.2.2   | 破损安全多路传力结构  | ( 319 ) |
| 3.12.2.3   | 破损安全止裂结构    | ( 323 ) |
| 4.12.2     | 剩余强度和损伤扩展限度 | ( 324 ) |
| 3.13       | 部队管理        | ( 329 ) |
| 3.13.1     | 数据采集系统装置    | ( 330 ) |
| 4.13       | 部队管理        | ( 333 ) |
| 40         | 数据要求        | ( 333 ) |
|            | 缩略语         | ( 336 ) |

|      |                                                                   |         |
|------|-------------------------------------------------------------------|---------|
| 图-1  | 一架战斗机空对空导弹重量—不平衡包线 .....                                          | ( 54 )  |
| 图-2  | 一架战斗机空对空导弹重量—惯性包线 .....                                           | ( 55 )  |
| 图-3  | 轰炸机和运输机各项重量的百分数 .....                                             | ( 63 )  |
| 图-4  | 速度在50节及其以下的低速度, 离散的 $(1 - \cos)$ 凸起和 $(\cos - 1)$ 凹陷——单和双激励 ..... | ( 80 )  |
| 图-5  | 速度在50节以上的高速度, 离散的 $(1 - \cos)$ 凸起和 $(\cos - 1)$ 凹陷——单和双激励 .....   | ( 81 )  |
| 图-6  | 铺砌机场跑道粗糙度 .....                                                   | ( 94 )  |
| 图-7  | 半铺砌机场跑道粗糙度 .....                                                  | ( 95 )  |
| 图-8  | 未铺砌机场跑道粗糙度 .....                                                  | ( 96 )  |
| 图-9  | 对称飞行的 $v-n$ 图 .....                                               | ( 172 ) |
| 图-10 | 滑橇载荷分布 .....                                                      | ( 193 ) |
| 图-11 | 主轮距方向的分布 .....                                                    | ( 193 ) |
| 图-12 | 牵引载荷 .....                                                        | ( 194 ) |
| 图-13 | 机翼带翼尖油箱和鳍时的速度-阻尼曲线 .....                                          | ( 222 ) |
| 图-14 | 翼尖油箱和鳍气动力对速度-阻尼曲线的影响, 飞行增稳控制弹性系统/偶极子格网法(圆柱形油箱) .....              | ( 223 ) |
| 图-15 | 对某一常规机翼和某一超临界机翼的计算和测量的颤振特性比较 .....                                | ( 243 ) |
| 图-16 | 某一超临界机翼的计算和测量的颤振特性比较 .....                                        | ( 245 ) |
| 图-17 | 测量的颤振边界和频率与包括准定常修正的计算结果的比较 (B-机翼弯曲, R-机翼转动) .....                 | ( 246 ) |
| 图-18 | 静力试试的破坏分布 .....                                                   | ( 275 ) |
| 图-19 | 飞机和五个主要部件第一次静力试验破坏 .....                                          | ( 276 ) |
| 图-20 | 飞机辅助结构和飞行操纵系统第一次破坏 .....                                          | ( 277 ) |
| 图-21 | 破损安全多路传力非独立结构首次检查间隔 .....                                         | ( 321 ) |
| 图-22 | 破损安全多路传力独立结构首次检查间隔 .....                                          | ( 321 ) |
| 图-23 | 破坏安全多路传力结构后继检查间隔 .....                                            | ( 322 ) |
| 图-24 | 破损安全止裂结构首次检查间隔 .....                                              | ( 325 ) |
| 图-25 | 破损安全止裂结构的后继检查间隔 .....                                             | ( 327 ) |
| 表-1  | 机体和起落架结构破坏事故 (1968~1978) .....                                    | ( 48 )  |
| 表-2  | 按照破坏的起因、部件和类型对破坏事故所作的分类 .....                                     | ( 49 )  |
| 表-3  | 起因于起落架和机翼的事故 .....                                                | ( 50 )  |
| 表-4  | 生产飞机的重量增长率 .....                                                  | ( 64 )  |
| 表-5  | A、F、TF类飞机机动载荷系数谱, 各任务段每1000飞行小时累积出现频率 .....                       | ( 87 )  |
| 表-6  | C运输类 (货运机) 机动载荷系数谱, 各任务段每1000飞行小时累积出现频数 .....                     | ( 88 )  |
| 表-7  | C突防类 (货运类) 机动载荷系数谱, 各任务段每1000飞行小时累积出                              |         |

|                                                     |         |
|-----------------------------------------------------|---------|
| 现频数 .....                                           | ( 89 )  |
| 表-8 B I 类轰炸机机动载荷系数谱, 各类任务段每1000飞行小时累积出现<br>频数 ..... | ( 90 )  |
| 表-9 B I 类轰炸机机动载荷系数谱, 各类任务段每1000飞行小时累积出现<br>频数 ..... | ( 91 )  |
| 表-10 T类教练机机动载荷系数谱, 各类任务段每1000飞行小时累积出现<br>频数 .....   | ( 92 )  |
| 表-11 每1000次着陆下沉速度累积出现频数 .....                       | ( 93 )  |
| 表-12 飞机重心处经受的载荷系数 ( Nz ) 每1000次跑道着陆累积出现频数 .....     | ( 93 )  |
| 表-13 热环境温度值 .....                                   | ( 100 ) |
| 表-14 紊流场参数 .....                                    | ( 177 ) |
| 表-15 牵引情况 .....                                     | ( 194 ) |
| 表-16 顶起载荷 .....                                     | ( 195 ) |
| 表-17 座椅撞毁载荷系数 .....                                 | ( 198 ) |
| 表-18 破坏的发生与破坏载荷的关系 .....                            | ( 274 ) |
| 表-19 莱特-帕特森空军基地静力试验主要部件第一次破坏 ( 1940~1948 ) .....    | ( 278 ) |
| 表-20 莱特-帕特森空军基地静力试验飞机第一次破坏 ( 1940~1948 ) .....      | ( 279 ) |
| 表-21 莱特-帕特森空军基地静力试验主要部件第一次破坏 ( 1950~1976 ) .....    | ( 280 ) |
| 表-22 莱特-帕特森空军基地静力试验飞机第一次破坏 ( 1950~1976 ) .....      | ( 281 ) |
| 表-23 莱特-帕特森空军基地静力试验操纵系统构件的第一次破坏 .....               | ( 281 ) |
| 表-24 莱特-帕特森空军基地静力试验辅助结构 ( 其它 ) 的第一次破坏 .....         | ( 282 ) |
| 表-25 初始缺陷假设 .....                                   | ( 309 ) |
| 表-26 结构灾难性破坏之前, 初始缺陷增长终止情况下的连续损伤假设 .....            | ( 310 ) |
| 表-27 在使用检查中, 初始缺陷尺寸的假设 .....                        | ( 310 ) |
| 表-28 剩余强度载荷 .....                                   | ( 317 ) |
| 表-29 关于使用中可检结构的无需修理最小服役使用期飞机 .....                  | ( 319 ) |
| 表-30 破损安全结构服役中的后继检查间隔 .....                         | ( 323 ) |