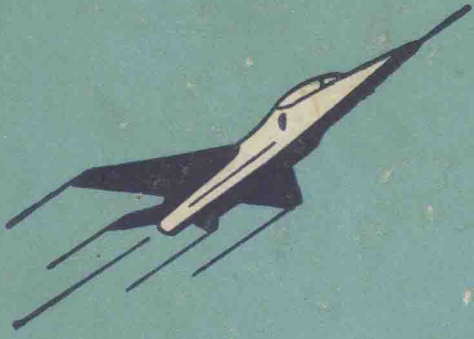




第三册

强度计算

(上册)

国防工业出版社

飞机设计手册

FEIJI

SHEJI

SHOUCE

飞机设计手册

第三册

强度计算

(上册)

《飞机设计手册》编辑委员会 编



国防工业出版社

内 容 简 介

飞机设计手册第三册——强度计算，包括五篇，共三十一章，分上、下两册出版。

上册为静强度部分，包括三篇，共十八章，第一篇基础部分，第二篇结构稳定，第三篇若干强度计算问题。

下册包括二篇，共十三章，第四篇疲劳，第五篇振动。

本手册主要供飞机设计、强度计算人员使用，亦可供其他部门的结构强度人员参考。

封面题字：郭沫若

飞 机 设 计 手 册

第 三 册

强度计算

(上 册)

《飞机设计手册》编辑委员会 编

*

国防工业出版社 出版

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印张 54¹/₂ 插页 2 1269 千字

1983年4月第一版 1983年4月第一次印刷 印数：0,001—4,000册

统一书号：N15034·2276 定价：9.00元

出版说明

1965年我们曾经组织编写出版了《飞机设计员手册》，目前已不能满足航空工业现代化发展的需要，为此，我们重编了《飞机设计手册》。

各册编写组在深入厂、所、院校和使用单位的基础上，经过广泛调研，搜集资料，初步总结了我国飞机设计、试验、生产和使用的经验，同时，也参考了国外有关的资料。为了确保书稿质量，手册初稿编成后，请有实践经验的同志参加了审稿工作，广泛征求了意见，并进行了反复修改。

根据需要，《飞机设计手册》共分八册。第一册为符号、公式、数表、算法；第二册为飞机设计的一般技术要求；第三册为强度计算；第四册为重量重心计算；第五册为飞机零件设计；第六册为标准；第七册为材料、热处理、表面处理；第八册为成品、附件汇编。

本手册可供飞机设计、科研、教学等方面的人员参考使用。由于编者水平所限，错误和不足之处在所难免，诚恳地希望读者批评指正，以便再版时增补和修改。请将意见寄往三机部三〇一所（飞机设计手册联络组）。

《飞机设计手册》编辑委员会

一九八一年

前 言

飞机设计手册第三册（强度计算）包括五篇（共三十一章），分上、下两册出版，上册三篇（共十八章）：第一篇基础部分（六章），第二篇结构稳定（六章），第三篇若干强度计算问题（六章）；下册二篇（共十三章）：第四篇疲劳（七章），第五篇振动（六章）。

一九六五年出版的飞机设计员手册第四册《强度计算和重量计算》，对于我国飞机设计起了良好的作用。本册在编写过程中吸取了其有用部分，同时广泛搜集了有关资料。在取材上尽量照顾了设计计算和校核计算两方面的需要。对疲劳和振动，我们初次进行试编，并包含了空测和地面试验的部分内容，供读者参考。

由于飞机结构强度内容广泛，除本册内容外，还需要辅以专用标准程序或结构分析系统等，以便对飞机部件等做校核计算。但后者的篇幅较大，本手册没有编入。再有热强度部份目前条件不够成熟有待以后增编。

参加本册编写的单位有六二三所，一七二厂，六〇一所，六〇二所，六〇三所，六〇五所，三二〇厂，六十一所，五一二厂，北京航空学院，西北工业大学，南京航空学院等。

本册主要供飞机设计、强度计算人员使用，亦可供其他部门的结构强度人员参考。

由于编写人员技术水平所限，在内容上谬误之处在所难免，敬请读者指正，提出修改和补充意见，以便再版时修订。

《飞机设计手册》编辑委员会
第三册编写组

目 录

符号	1
----------	---

第一篇 基础部分

第一章 几何特性

第一节 基本公式	5
第二节 剖面的比较数据	6
第三节 某些图形的面积、形心位置和对 y 轴的惯性矩	7
第四节 几何特性表	9
一、平面形状	9
二、各种形状的细长杆件	17
三、立体形状	20
四、薄壳	25
第五节 典型剖面的特性数据	26
一、梯形形心	26
二、圆形实心剖面的计算数据	27
三、圆管的计算数据	28
四、波形板的特性比较	37
第六节 薄壁开口剖面的限制弯曲扭转特性	38

第二章 材料力学

第一节 拉伸和压缩	42
一、基本公式	42
二、强度条件	43
第二节 挤压	44
第三节 剪切	45
一、基本概念	45
二、基本公式	45
三、剪切强度极限	45
第四节 扭转	46
一、基本概念	46
二、自由扭转时的基本公式	46
三、闭合薄壁剖面杆在自由扭转时的应力及变形	51
四、扭转时的破坏应力及塑性影响	55
五、开口薄壁杆件在约束扭转时的应力和变形	56
第五节 弯曲	59

一、基本概念	59
二、基本公式	60
三、各类梁在受弯时的计算公式表	61
四、有轴向载荷的横弯曲	81
五、连续梁	94
六、弹性地基梁	107
七、梁的复合弯曲	108
第六节 曲梁	112
一、基本计算公式	112
二、曲梁中性轴半径 ρ 的计算	113
第七节 接触应力	114
一、基本概念	114
二、基本计算公式	114
三、强度条件	120
第八节 应力和应变	120
一、应力	120
二、变形	122
三、应力和变形之间的关系——虎克定律	123
四、平面应力和应变的测定	124
第九节 强度理论	125
一、基本概念	125
二、四个强度理论	126

第三章 结构力学

第一节 桁架	129
一、桁架的几何不变性及不可移动性	129
二、静定桁架的解法	129
三、静不定桁架	132
第二节 刚架	133
一、刚架计算方法	133
二、等剖面刚架内力计算公式	138
第三节 拱	161
一、任意外形对称三铰拱的内力、支反力计算公式	162
二、二次抛物线拱	163
三、圆拱	169
四、有大弧高及固定基础的拱	173
第四节 薄壁结构	175
一、工程梁方法	175
二、力法和矩阵力法简介	196
三、集中力的扩散	204
第五节 梁和刚架的极限载荷计算（极限载荷法）	209
一、概述	209

二、梁的弯曲	209
三、刚架的极限载荷	222

第四章 弹性力学

第一节 弹性力学基本方程	225
一、平衡微分方程	225
二、协调方程	226
三、物理方程	226
四、弹性力学基本方程组	226
第二节 平面问题	227
一、平面应力和平面应变	227
二、平面问题基本方程、应力函数解法	228
三、直角坐标解平面问题	229
四、极坐标解平面问题	231
第三节 能量原理和近似解法	235
一、能量原理	235
二、能量原理的变分证明	237
三、基于能量原理的近似解法	239

第五章 板 与 壳

第一节 薄板小挠度	244
一、圆板和圆环板	244
二、矩形板	255
三、其他形状的板	266
四、正交各向异性板	270
第二节 薄板大挠度	274
一、承受轴对称载荷作用的圆板	274
二、承受均布载荷作用的矩形板	281
三、有初挠度的板	287
四、大挠度板的一些实验结果	288
第三节 圆柱壳	288
一、承受轴对称载荷作用的圆柱壳	289
二、承受非轴对称载荷作用的圆柱壳	295
第四节 受轴对称载荷作用的旋转壳	299
一、无力矩方程及其解	299
二、一般微分方程及其解	300
三、球壳计算	304
四、锥壳计算	306

第六章 结构分析的有限元素法

第一节 概述	308
--------------	-----

第二节 典型元件的刚度方阵及应力矩阵	310
一、基本矩阵及其相互关系	310
二、几种典型元件在统一坐标下的刚度方阵	311
三、几种典型元件在自身坐标下的刚度方阵	320
四、坐标转换	348
第三节 计算模型与原始数据准备	349
一、计算模型	349
二、原始数据的准备	350
三、典型结构的刚度矩阵形式	350
第四节 线性代数方程组的典型解法	352
一、初等变换法的基本思路	352
二、程序中的解题过程	354
第五节 若干问题的处理方法	354
一、对称性的利用	354
二、线性相关问题及副自由度的处理	355
三、边界条件问题	356

第二篇 结 构 稳 定

第七章 杆件的总体失稳、拱的稳定性、梁的侧向失稳

第一节 等剖面杆件	358
一、临界应力方程	358
二、支持系数	359
三、切线模量 E_t	361
四、设计曲线	361
第二节 等剖面管件	364
第三节 变剖面杆件	366
一、剖面向根部均匀减缩的柱	366
二、具有短的削弱段的铰支柱	368
三、阶梯式剖面柱	369
四、变剖面短柱	372
第四节 具有弹性约束端的柱	373
第五节 具有弹性侧向支持的柱	375
第六节 具有偏心 and 初曲度的柱	376
第七节 作动筒的压缩稳定性	378
第八节 拱的稳定性	380
一、均匀受压圆拱	380
二、抛物线拱	381
三、坦拱	381
第九节 梁的侧向失稳	382
一、概述	382

二、狭长矩形剖面梁	382
三、等突缘工字梁	385
四、非对称工字梁	387

第八章 各向同性平薄板的稳定性

第一节 矩形平薄板的弹性失稳	389
一、轴压	389
二、剪切	395
三、纯弯	397
四、弯曲和压缩	399
五、纵向压缩和横向压缩（或拉伸）	403
六、剪切和正应力（压缩或拉伸）	408
七、纯弯曲与剪切	409
八、横向压缩、弯曲和剪切	409
九、双轴压缩和纵向弯曲	410
第二节 各向同性平薄板的塑性失稳	412
一、塑性临界应力方程	412
二、屈服范围内的应力-应变关系	413
三、塑性模量与塑性泊桑比	414
四、塑性修正曲线	415
第三节 平行四边形板的稳定性	416
一、纵向压缩	417
二、剪切	417
三、横向压缩	419
四、复合载荷	420
第四节 其它各向同性平板的稳定性	429
一、变载荷和变厚度的轴向压缩板	429
二、变载荷和等厚度的轴向压缩板	429
三、在均匀压缩载荷作用下的变厚度矩形板	430
四、在压缩载荷作用下的平行四边形格板	432
五、三角形板	433
六、梯形板	435

第九章 型材的稳定性

第一节 概述	439
第二节 型材的局部失稳	439
一、力矩分配法	440
二、临界应变法	441
三、弯边和圆头的影响	445
四、组合型材的局部失稳临界应力	445
第三节 型材的压损强度	446
一、概述	446

二、压损应力的计算方法	447
三、弯边和圆头的影响	452
第四节 型材的总体失稳	454
第五节 弯曲失稳和局部失稳的混合	457
第六节 弯扭失稳	457
一、具有两根对称轴的剖面	458
二、具有一根对称轴的剖面	459
三、具有非对称剖面的型材	462

第十章 各向同性壳体和曲板的稳定性

第一节 概述	463
第二节 在轴压载荷作用下的圆筒壳	463
一、临界应力方程	463
二、塑性修正	466
三、内压的影响	466
四、设计曲线	467
第三节 在纯弯曲载荷作用下的圆筒壳	468
一、临界应力方程	468
二、设计曲线	469
三、内压的影响	470
第四节 在纯扭载荷作用下的圆筒壳	470
一、临界应力方程	470
二、设计曲线	472
三、内压的影响	472
第五节 在横向剪切作用下的圆筒壳	473
第六节 在外压作用下的圆筒壳	473
一、临界应力方程	473
二、塑性修正	475
第七节 复合载荷作用下的圆筒壳	475
第八节 薄壁截锥壳	478
一、轴压	478
二、弯曲	479
三、扭转	479
四、外压	480
五、复合载荷	481
第九节 椭圆筒壳	482
一、轴压	482
二、弯曲	482
三、扭转	482
第十节 各向同性圆柱形曲板	483
一、轴压	483

二、剪切	485
三、弯曲	488
四、外压	489
五、压缩和剪切	489
六、轴压和侧压	490
第十一节 在均匀外压作用下的球面曲板	492

第十一章 加筋平板的稳定性

第一节 加筋平板的总体失稳	493
一、轴压	493
二、剪切	496
三、弯曲	499
四、弯曲和剪切复合	500
第二节 加筋平板的局部失稳	501
第三节 纵向加筋平板的压缩强度	511
一、概述	511
二、“整体”加筋短板的压损强度	512
三、铆接加筋短板的强度	514
四、加筋平板的柱强度	517
五、有效宽度	518
六、计入有效蒙皮宽度的筋条的压损强度和柱强度	520
第四节 正交各向异性加筋平板的总体失稳	521
一、概述	521
二、轴压	521
三、双轴压缩	522
四、剪切	522
五、弹性常数	523

第十二章 加筋壳体和加筋曲板的稳定性

第一节 加筋圆筒壳	526
一、概述	526
二、板屏失稳强度	526
三、总体失稳应力的计算	530
四、框的刚度准则	533
第二节 正交各向异性加筋圆筒壳的总体失稳	535
一、概述	535
二、轴压	535
三、弯曲	536
四、外压	536
五、扭转	537
六、弯曲和压缩	539
七、弹性常数	539

第三节 加筋截锥壳的总体失稳	544
一、轴压	544
二、扭转	545
第四节 加筋柱形曲板的总体失稳	546
一、概述	546
二、轴压	547
三、外压	549
四、剪切	549
五、轴压与内压	550
六、轴压与剪切	551

第三篇 若干强度计算问题

第十三章 框 的 计 算

第一节 概述	552
第二节 普通框计算	553
一、圆形普通框的计算	553
二、椭圆形普通框的计算	554
第三节 刚性框计算	557
一、力法的计算步骤	557
二、能量法的计算步骤	558
第四节 等剖面圆形刚性框的计算公式和计算图线	558
第五节 等剖面椭圆形及其它形状刚性框的计算公式和计算图线	592
第六节 弹性框计算	604
第七节 等剖面圆形弹性框的计算图线	608
一、基本假设	608
二、符号规定	608
三、图线的应用	609
四、例题	630
第八节 水密框计算	632
一、作用在水密框上的载荷	632
二、受框平面载荷时水密框的计算	633
三、受横向载荷时水密框的计算	634

第十四章 接头和连接件计算

第一节 铆钉连接的计算	638
一、铆钉的剪切强度	638
二、铆钉的挤压强度	640
三、铆钉的抗拉强度	642
第二节 螺栓、螺纹的计算	645
一、螺栓的抗拉强度	645

二、螺栓的抗剪强度	645
三、螺栓的挤压强度	647
四、螺栓同时受拉受剪的强度	647
五、螺纹的计算	647
六、拧紧力矩及初应力的计算	648
第三节 焊接件的强度计算	650
一、计算原则	650
二、在静载荷作用下焊缝的破坏应力	650
三、焊缝的计算	654
四、补焊件的强度计算	665
五、点焊件的强度计算	666
六、滚焊件的强度计算	670
第四节 胶接点焊件的强度计算	672
一、计算原则	672
二、强度条件	672
三、胶焊件破坏剪力 S_{fA} 的确定	672
四、常用点焊胶的机械性能	673
第五节 胶接件的强度计算	673
一、计算原则	673
二、胶接件的强度条件	674
三、 τ_0 和 P 的确定	674
四、常用胶粘剂的老化性能	675
五、常用胶粘剂的耐介质性能	677
第六节 连接接头计算	677
一、接头耳片的计算	677
二、接头的计算	679

第十五章 张力场计算

第一节 概述	685
第二节 平面张力场	685
一、完全张力场	685
二、不完全张力场	687
第三节 曲面张力场计算	699
一、完全曲面张力场计算	699
二、不完全曲面张力场的计算	701
三、复合载荷作用下的曲面张力场计算	705
四、局部强度校核	707

第十六章 夹层结构计算

第一节 概述	709
第二节 夹层结构主要刚度参数	710

一、夹芯剪切模量	710
二、夹芯法向拉压模量	711
三、弯曲刚度	711
四、剪切刚度	712
五、拉压刚度	713
第三节 夹层梁与夹层板的弯曲	713
一、夹层梁的弯曲	713
二、矩形夹层板的弯曲	719
三、各种情况下无限长板的计算	729
四、圆形夹层板的弯曲	730
五、正三角形夹层板的弯曲	731
第四节 夹层柱、夹层环、夹层板与夹层壳的总体稳定性	731
一、夹层柱轴压失稳	731
二、夹层环的外压失稳	732
三、无限长夹层板的失稳	733
四、矩形夹层板的失稳	737
五、圆形夹层板的失稳	747
六、夹层圆柱曲板的稳定性	747
七、夹层圆筒壳的失稳	754
八、夹层圆锥壳的失稳	762
九、冠状夹层壳的失稳	763
第五节 夹层结构的局部稳定性	765
一、面板起皱	765
二、蜂窝夹芯上面板的孔间失稳	767
三、剪切皱折	768
第六节 塑性影响	769
一、单一载荷情况	769
二、复合载荷条件	771

第十七章 大开口计算

第一节 刚框加强长开口壳体开口区的正应力与剪流	773
一、正应力	773
二、剪流	775
第二节 影响区的附加正应力与附加剪流	780
一、附加正应力	780
二、附加剪流	781
第三节 刚框加强短开口壳体开口区的剪应力与正应力	781
一、剪心的确定	781
二、剪应力	782
三、正应力	783
第四节 刚框加强壳体带闭室开口计算	783
一、符号	784

二、规定	786
三、计算步骤	787
第五节 刚框加强壳体带闭室开口影响区内力计算	808
一、符号	808
二、自身平衡力的计算	809
三、影响区内力计算	810
四、开口影响区长度的计算	814
五、影响区内力 $S^{(2)}$ 和 $q^{(2)}$ 的估算	814
六、计算方法的应用	815
第六节 计入框弹性影响的开口计算方法	823
一、矩形开口圆柱形壳体纯扭时, 框弹性对应力分布的影响	823
二、简化计算方法	825
三、计算与试验结果的比较	835

第十八章 小开口和口盖口框计算

第一节 梁腹板开口的计算	837
一、型材加强的开口	837
二、环加强的开口	838
第二节 半硬壳式结构小开口计算	839
一、受力分析及工程计算方法	839
二、圆形加强开口计算的经验公式	844
第三节 口盖与口框计算	845
一、承受局部气动力的口盖	845
二、承受剪力的口盖、口框	846
三、承受均布拉(压)力的口盖、口框	848
四、长桁被切断情况的口盖、口框	849
五、复合受力情况的口盖、口框	850
参考书目	850

符 号

一、基本符号

A	剖面面积 振幅 加速度 功 系数	C_d	孔流量系数
a	板边长 正三角形边长 半径 距离 椭圆长半轴 裂纹长度 加速度 单位体积功 轮腿刚度特性的斜率 系数	c	几何尺寸 支持系数 粘性阻尼系数 比例系数
B	宽度 带宽 几何矩阵 夹层板拉压刚度 双力矩 常数	D	直径 位移 板和壳弯曲刚度 结构广义弹模方阵 累积循环比或总损伤
B_0	载荷状态矩阵	d	直径 桁条间距
B_1	单位状态矩阵	E	弹性模量 能量
b	板边长 半径 宽度 距离 椭圆短半轴 魏勃斜率参数 系数	E_s	割线模量
C	机翼平均几何弦长 夹层板剪切刚度 扭转刚度 紧固件柔度系数 应力强度因子降低系数 常数	E_t	切线模量
		e	偏心距
		F	面积 力 广义节点力列阵 板柔度系数 母体方差估计量的比值
		F_0	原始柔度矩阵
		F_s	F 的接受限度
		f	挠度 拱高 有效铆钉偏距 体积力 频率 柔度影响系数 摩擦系数 安全系数
		f_d	自然频率
		f_0 或 f_n	固有频率
		G	剪切模量 重量