

夹层板和壳结构稳定性 分析手册

国防工业出版社

夹层板和壳结构稳定性 分析手册

〔美〕 R. T. 萨林斯等 著

薛克兴 杨汉祥 译校

国防工业出版社

内 容 简 介

本手册详细论述了夹层板和壳的结构稳定性分析方法，包括了航空空间应用中经常遇到的各种结构形状和载荷条件。给出了分析夹层板和壳结构稳定性的设计方程和曲线，并根据有用的试验数据进行了修正。还给出了应力超过材料比例极限的塑性修正方法。

本手册可供飞行器设计、科研人员使用，也可供船舶、建筑、机械等方面有关人员参考。

MANUAL FOR STRUCTURAL STABILITY ANALYSIS OF SANDWICH PLATES AND SHELLS

R. T. Sullins

NASA CR-1457

*

夹层板和壳结构稳定性 分析手册

[美] R. T. 萨林斯等 著

薛克兴 杨汉祥 译校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₃₂ 印张8 168千字

1976年6月第一版 1976年6月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

统一书号：N15034·1502 定价：0.84元

目 录

符号	7
第一章 引言	19
1.1 概述	19
1.2 破坏型式	20
第二章 局部失稳	24
2.1 蜂格内的屈曲 (面板呈窝状波形)	24
2.1.1 具有蜂窝夹芯的夹层	24
2.1.2 具有波纹夹芯的夹层	28
2.2 面板皱损	36
2.2.1 具有实心或泡沫夹芯的夹层 (反对称皱损)	36
2.2.2 具有蜂窝夹芯的夹层 (对称皱损)	40
2.3 剪切皱折	46
2.3.1 基本原理	46
2.3.2 设计方程	48
第三章 平板的总体失稳	54
3.1 矩形板	54
3.1.1 概述	54
3.1.2 边界单向轴压	56
3.1.3 边界剪切	68
3.1.4 边界弯矩	75
3.1.5 其他单一载荷条件	81
3.1.6 复合载荷条件	81
3.2 圆板	97
3.2.1 单一载荷条件	97
3.2.2 复合载荷条件	97

3.3 具有开口的壁板	97
3.3.1 装围框的开口	97
3.3.2 没有围框的开口	98
第四章 圆柱壳的总体失稳	108
4.1 概述	108
4.2 轴压	110
4.2.1 基本原理	110
4.2.2 设计方程和曲线	118
4.3 纯弯	123
4.3.1 基本原理	123
4.3.2 设计方程和曲线	126
4.4 侧向外压	127
4.4.1 基本原理	127
4.4.2 设计方程和曲线	133
4.5 扭转	137
4.5.1 基本原理	137
4.5.2 设计方程和曲线	141
4.6 横向剪切	146
4.6.1 基本原理	146
4.6.2 设计方程和曲线	147
4.7 复合载荷条件	147
4.7.1 概述	147
4.7.2 轴压加弯曲	148
4.7.3 轴压加侧向外压	151
4.7.4 轴压加扭转	161
4.7.5 其他复合载荷	165
第五章 截头圆锥壳的总体失稳	181
5.1 轴压	181
5.1.1 基本原理	181
5.1.2 设计方程和曲线	182
5.2 纯弯	183

5.2.1	基本原理	183
5.2.2	设计方程和曲线	184
5.3	侧向外压	185
5.3.1	基本原理	185
5.3.2	设计方程和曲线	187
5.4	扭转	188
5.4.1	基本原理	188
5.4.2	设计方程和曲线	189
5.5	横向剪切	191
5.5.1	基本原理	191
5.5.2	设计方程和曲线	192
5.6	复合载荷条件	193
5.6.1	概述	193
5.6.2	轴压加弯曲	194
5.6.3	静止液体的均匀外压	196
5.6.4	轴压加扭转	201
5.6.5	其他复合载荷	204
第六章	圆顶形壳的总体失稳	221
6.1	概述	221
6.2	外压	222
6.2.1	基本原理	222
6.2.2	设计方程和曲线	228
6.3	其他载荷条件	231
第七章	夹层块壳的失稳	234
7.1	圆柱形曲板	234
7.1.1	轴压	234
7.1.2	其他载荷条件	241
7.2	其他几何形状的板	241
第八章	开口对夹层壳总体失稳的影响	244

第九章 夹层板和壳的非弹性特性	245
9.1 单一载荷条件	245
9.1.1 基本原理	245
9.1.2 设计方程	246
9.2 复合载荷条件	252
9.2.1 基本原理	252
9.2.2 建议的方法	254

夹层板和壳结构稳定性 分析手册

〔美〕 R. T. 萨林斯等 著

薛克兴 杨汉祥 译校

国防工业出版社

内 容 简 介

本手册详细论述了夹层板和壳的结构稳定性分析方法，包括了航空空间应用中经常遇到的各种结构形状和载荷条件。给出了分析夹层板和壳结构稳定性的设计方程和曲线，并根据有用的试验数据进行了修正。还给出了应力超过材料比例极限的塑性修正方法。

本手册可供飞行器设计、科研人员使用，也可供船舶、建筑、机械等方面有关人员参考。

MANUAL FOR STRUCTURAL STABILITY ANALYSIS OF SANDWICH PLATES AND SHELLS

R. T. Sullins

NASA CR-1457

*

夹层板和壳结构稳定性 分析手册

[美] R. T. 萨林斯等 著

薛克兴 杨汉祥 译校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₃₂ 印张 8 168千字

1976年6月第一版 1976年6月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

统一书号：N15034·1502 定价：0.84元

目 录

符号	7
第一章 引言	19
1.1 概述	19
1.2 破坏型式	20
第二章 局部失稳	24
2.1 蜂格内的屈曲（面板呈窝状波形）	24
2.1.1 具有蜂窝夹芯的夹层	24
2.1.2 具有波纹夹芯的夹层	28
2.2 面板皱损	36
2.2.1 具有实心或泡沫夹芯的夹层（反对称皱损）	36
2.2.2 具有蜂窝夹芯的夹层（对称皱损）	40
2.3 剪切皱折	46
2.3.1 基本原理	46
2.3.2 设计方程	48
第三章 平板的总体失稳	54
3.1 矩形板	54
3.1.1 概述	54
3.1.2 边界单向轴压	56
3.1.3 边界剪切	68
3.1.4 边界弯矩	75
3.1.5 其他单一载荷条件	81
3.1.6 复合载荷条件	81
3.2 圆板	97
3.2.1 单一载荷条件	97
3.2.2 复合载荷条件	97

3.3 具有开口的壁板	97
3.3.1 装围框的开口	97
3.3.2 没有围框的开口	98
第四章 圆柱壳的总体失稳	108
4.1 概述	108
4.2 轴压	110
4.2.1 基本原理	110
4.2.2 设计方程和曲线	118
4.3 纯弯	123
4.3.1 基本原理	123
4.3.2 设计方程和曲线	126
4.4 侧向外压	127
4.4.1 基本原理	127
4.4.2 设计方程和曲线	133
4.5 扭转	137
4.5.1 基本原理	137
4.5.2 设计方程和曲线	141
4.6 横向剪切	146
4.6.1 基本原理	146
4.6.2 设计方程和曲线	147
4.7 复合载荷条件	147
4.7.1 概述	147
4.7.2 轴压加弯曲	148
4.7.3 轴压加侧向外压	151
4.7.4 轴压加扭转	161
4.7.5 其他复合载荷	165
第五章 截头圆锥壳的总体失稳	181
5.1 轴压	181
5.1.1 基本原理	181
5.1.2 设计方程和曲线	182
5.2 纯弯	183

5.2.1	基本原理	183
5.2.2	设计方程和曲线	184
5.3	侧向外压	185
5.3.1	基本原理	185
5.3.2	设计方程和曲线	187
5.4	扭转	188
5.4.1	基本原理	188
5.4.2	设计方程和曲线	189
5.5	横向剪切	191
5.5.1	基本原理	191
5.5.2	设计方程和曲线	192
5.6	复合载荷条件	193
5.6.1	概述	193
5.6.2	轴压加弯曲	194
5.6.3	静止液体的均匀外压	196
5.6.4	轴压加扭转	201
5.6.5	其他复合载荷	204
第六章	圆顶形壳的总体失稳	221
6.1	概述	221
6.2	外压	222
6.2.1	基本原理	222
6.2.2	设计方程和曲线	228
6.3	其他载荷条件	231
第七章	夹层块壳的失稳	234
7.1	圆柱形曲板	234
7.1.1	轴压	234
7.1.2	其他载荷条件	241
7.2	其他几何形状的板	241
第八章	开口对夹层壳总体失稳的影响	244

第九章 夹层板和壳的非弹性特性	245
9.1 单一载荷条件	245
9.1.1 基本原理	245
9.1.2 设计方程	246
9.2 复合载荷条件	252
9.2.1 基本原理	252
9.2.2 建议的方法	254

符 号

a ——板长，吋。椭圆的长半轴，吋；

a_R ——圆柱形曲板的轴向长度，吋；

a_p ——图 7.1-1 所示的平板长度，吋；

b ——板宽，吋。椭圆的短半轴，吋；

b_R ——圆柱形曲板的周向宽度，吋；

b_f ——波纹夹芯的节距，吋；

b_p ——图 7.1-1 所示的平板宽度，吋；

C_L ——方程 (4.7-25) 定义的长度参数，无量纲；

C_o ——方程 (4.2-21) 及 (6.2-19) 定义参数，无量纲；

C_p ——受侧向外压的夹层圆柱壳的屈曲系数 无量纲；

D ——夹层壁或夹层板的弯曲刚度 =

$$\frac{\eta(E_1t_1)(E_2t_2)h^2}{\lambda(E_1t_1 + E_2t_2)}, \text{ 吋-磅};$$

D_q ——夹层壁或夹层板的剪切刚度 = $h^2(G_{xz})/t_c$, 磅/吋；

d ——夹层壁或夹层板的总厚 ($d = t_1 + t_2 + t_c$), 吋；

E ——杨氏模数，磅/吋²；

E_c ——在垂直于面板方向夹芯的杨氏模数，磅/吋²；

- E_f ——面板的杨氏模数, 磅/吋²;
 E_s ——面板的割线模数, 磅/吋²;
 E_t ——面板的切线模数, 磅/吋²;
 E_1, E_2 ——分别为面板 1 和 2 的杨氏模数, 磅/吋²;
 e_t ——方程 (9.2-2) 定义的应变强度, 吋/吋;
 F_v ——横向剪力, 磅;
 $(F_v)_{cr}$ ——临界横向剪力, 磅;
 F_c ——面向夹层强度(夹芯面向压缩强度、夹芯面向拉伸强度和夹芯-面板面向胶接强度三者中的较低值), 磅/吋²;
 G_c ——夹芯的横向剪切模数, 磅/吋²;
 G_{ca} ——垂直于面板并且平行于壁板侧边 a 的平面内的夹芯剪切模数, 磅/吋²;
 G_{cb} ——垂直于面板并且平行于壁板侧边 b 的平面内的夹芯剪切模数, 磅/吋²;
 G_f ——面板的弹性剪切模数, 磅/吋²;
 G_{ff} ——垂直于面板并且平行于载荷方向的平面内的夹芯剪切模数, 磅/吋²;
 G_s ——面板的割线剪切模数, 磅/吋²;
 G_{xz} ——垂直于面板并且平行于圆柱壳旋转轴的平面内的夹芯剪切模数, 磅/吋²;
 G_{yz} ——垂直于圆柱壳旋转轴的平面内的夹芯剪切模数, 磅/吋²;
 h ——夹层结构两块面板中面之间的距离, 吋;
 K ——各向同性(非夹层)平板的屈曲系数, 无量纲。
 在边界压缩(K_c), 边界剪切(K_s) 或边界弯曲

(K_b)的情况下, 表示矩形夹层平板的屈曲系数, $K = K_F + K_M$;

K_F ——平板理论屈曲系数, 取决于面板刚度和板的长宽比, 无量纲;

K_M ——平板理论屈曲系数, 取决于夹层弯曲和剪切刚度、板的长宽比及作用载荷, 无量纲;

K_c ——夹层圆柱壳在轴压作用下和夹层圆顶形壳在外压作用下的屈曲系数, 无量纲;

K'_c ——夹层短圆柱壳在轴压作用下的屈曲系数, 无量纲;

K_p ——方程(4.4-2)定义的参数, 无量纲;

K_s ——受扭转作用的夹层圆柱壳的屈曲系数, 无量纲;

K_b ——方程(2.2-4)定义的参数, 无量纲;

k ——屈曲系数, 无量纲;

k_x ——压应力作用在 x 方向的屈曲系数, 无量纲;

k'_x ——压应力作用在 x 方向的载荷系数, 无量纲;

k_y ——压应力作用在 y 方向的屈曲系数, 无量纲;

k'_y ——压应力作用在 y 方向的载荷系数, 无量纲;

L ——全长, 吋;

L_e ——有效长度, 吋;

M ——作用的弯矩, 吋-磅;

M_{cr} ——临界弯矩, 吋-磅;

$M.S.$ ——安全裕度, 无量纲;

N_{cr} ——临界压缩载荷, 磅/吋;

n ——屈曲周向全波数, 无量纲;

- P ——轴向载荷，磅；
- P' ——方程 (5.6-32) 定义的等效轴向载荷，磅；
- P_{cr} ——临界轴向载荷，磅；
- $(\bar{P}_{cr})_{\text{经验}}$ ——轴压单独作用时，临界轴向载荷的经验下限值，磅；
- p ——外压，磅/吋²；
- p_{cr} ——临界外压，磅/吋²；
- $(p_{cr})_{\text{试验}}$ ——临界外压的试验值，磅/吋²；
- $(\bar{p}_x)_{CL}$ ——仅在封闭端面受外压作用的圆柱壳的经典理论临界压力，磅/吋²；
- p_y ——仅在圆柱壳侧面作用的外压，磅/吋²；
- $(\bar{p}_y)_{CL}$ ——仅在侧面受外压作用的圆柱壳的经典理论临界压力，磅/吋²；
- Q ——表达式 (2.2-2) 关于 ζ 的相对最小值，无量纲；
- q ——方程 (2.2-3) 定义的量，无量纲；
- R ——夹芯剪切模数正交异性的程度 = G_{ca}/G_{cb} ，无量纲。中面的半径，吋；
- R_b ——方程 (4.7-9) 定义的应力比，无量纲；
- $(R_b)_{CL}$ ——方程 (4.7-5) 定义的应力比，无量纲；
- R_c ——在本手册有关章节中定义的载荷、应力或压力的比值，无量纲；
- $(R_c)_{CL}$ ——在本手册有关章节中定义的应力比，无量纲；
- R_e ——有效半径，吋；
- R_i ——与下标 i 有关的特定载荷的应力或载荷比，无量纲；