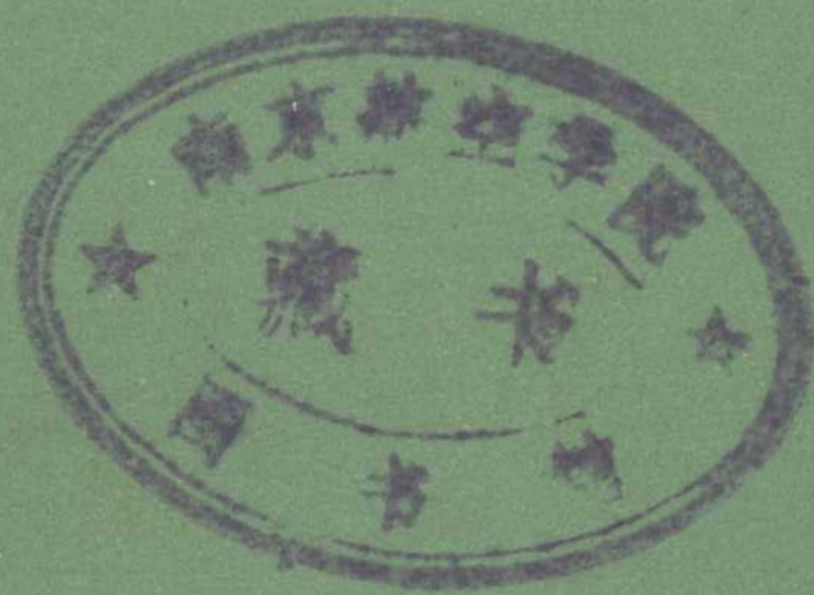


# 导弹结构强度计算手册



国防工业出版社

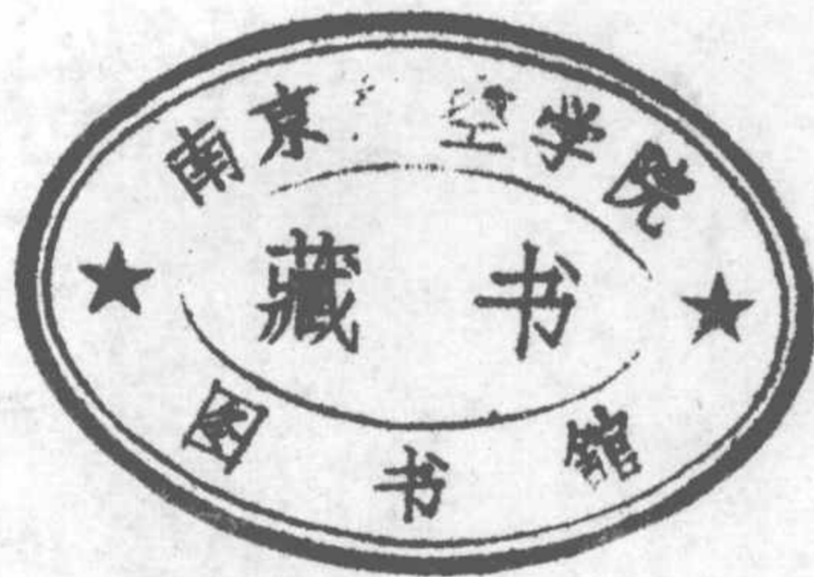
V421-62  
1001

# 导弹结构强度计算手册

《导弹结构强度计算手册》编写组



30326525



导弹结构强度计算手册

《导弹结构强度计算手册》编写组

国防工业出版社

北京

国防工业出版社印刷厂

787×1092 1/16 印张 44 1/4 插页 3 1031 千字

1978年9月第一版 1978年9月第一次印刷 001-2500册

国防工业出版社

337686

## 内 容 简 介

本手册共分三篇。第一篇为强度计算中常用数据、算式及数表。第二篇为材料力学和结构力学中与强度计算的有关部分。第三篇为强度计算方法。第三篇中包括几种壳体结构（单层壳、双层壳、夹层壳、化铣密肋加劲壳、加劲壳等）的稳定性；容器和导管元件的强度计算；复杂结构的计算（主要是有限单元法）；连接件计算；温度和突加载荷对壳体结构强度和稳定性的影响；结构可靠性的设计分析等。有关稳定性的算式，大部分都给出了试验修正系数。

本手册供从事结构设计及结构强度设计工作的人员使用，对有关教学工作者及有关科研工作者亦可参考。



### 导弹结构强度计算手册

《导弹结构强度计算手册》编写组

\*

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

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 44<sup>5</sup>/<sub>8</sub> 插页 2 1031 千字

1978年9月第一版 1978年9月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

统一书号：N15034·1632 定价：5.30元

33788

# 前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在无产阶级文化大革命胜利的基础上，我们伟大祖国的社会主义事业不断取得新胜利，我国国防科研事业也取得了很大的成就，为适应我国国防科研事业发展的需要，我们编写了这本《导弹结构强度计算手册》。

在编写本手册的过程中，我们力图从实际需要出发，充分利用现有的成果和资料，达到系统全面、准确可靠、简洁明了。

本手册共分三篇。第一篇为强度计算中常用数据、算式及数表。第二篇为材料力学和结构力学中与强度计算的有关部份。第三篇为强度计算方法。第三篇中包括几种壳体结构（单层壳、双层壳、夹层壳、化铣密肋加劲壳、加劲壳等）的稳定性，容器和导管元件的计算、复杂结构计算（主要是有限单元法）、连接件计算、温度和突加载荷对壳体结构强度和稳定性的影响，结构可靠性的设计分析等。

由于编者水平所限，定有许多错误不妥之处，我们热情地欢迎读者提出宝贵意见，以便今后进一步改进，使本手册日臻完善。

参加本手册编写工作的有：张俊华、张绪香、吕玉林、王祖光、王龙生、王黎明、吴书祥、洪祖峻、钟复卿、盛祖铭、胡仔溪、周东生、徐孝诚、朱利文、朱风石、陈炯南等同志。

在本手册编写过程中，曾得到周鸣鹂、刘瑞岩等同志的帮助和指导，姚淑云等同志描绘了本手册的大部份图线，其它一些同志也参与了部份的工作和讨论，在此一并致谢。

《导弹结构强度计算手册》编写组

一九七五年十一月

# 目 录

主要参数、符号	1
<b>第 一 篇</b>	
<b>第一章 常用计量单位及其换算</b>	7
§ 1 常用计量单位的名称和代号	7
§ 2 常用计量单位的换算	9
<b>第二章 常用数学计算公式和数表</b>	13
§ 1 代数	13
§ 2 三角	16
§ 3 平面解析几何	19
§ 4 微分	22
§ 5 积分	23
§ 6 级数	30
§ 7 若干近似公式	32
§ 8 矩阵及行列式	33
一、矩阵的算术运算	33
二、矩阵的普遍类型	35
三、矩阵求逆	39
四、矩阵的微分法和积分法	44
五、线性方程组的矩阵形式及其解法	44
§ 9 常用数据表	46
<b>第三章 剖面的几何特性</b>	98
§ 1 基本公式	98
§ 2 剖面的比较数据	99
§ 3 梯形的重心	100
§ 4 圆形实心剖面的计算数据	101
§ 5 圆管的计算数据	103
§ 6 流线型管子的计算数据	112
§ 7 剖面的计算数据	113
§ 8 某些图形的面积、重心位置和对对称轴 $y$ 的惯性矩	121
§ 9 波形板的特性对照表	124
§ 10 物体的体积和惯性矩	124
§ 11 物体的表面积和惯性矩	128
§ 12 挤压型材的计算数据	128

<b>第四章 常用金属材料性能</b> .....	134
§ 1 材料性能的一般概念 .....	134
§ 2 常用黑色金属的性能 .....	136
§ 3 常用有色金属的性能 .....	142

## 第 二 篇

<b>第五章 应力和应变关系</b> .....	151
§ 1 应力 .....	151
§ 2 应变 .....	155
§ 3 弹性极限内的应力与应变关系 .....	156
§ 4 弹性应变能 .....	158
§ 5 弹性极限外的应力与应变的关系 .....	159
<b>第六章 强度设计标准</b> .....	163
<b>第七章 拉伸、压缩、挤压、剪切</b> .....	165
§ 1 拉伸及压缩 .....	165
§ 2 挤压 .....	167
§ 3 剪切 .....	167
<b>第八章 扭转</b> .....	169
§ 1 基本公式 (适用于自由扭转) .....	169
§ 2 闭合薄壁剖面 .....	170
§ 3 扭转时孔和切口对强度的影响 .....	174
§ 4 扭转时的破坏应力及塑性系数 .....	174
§ 5 各种剖面的杆在扭转时的惯性矩及应力 .....	175
<b>第九章 弯曲</b> .....	180
§ 1 弯曲的基本公式 .....	180
§ 2 弯曲的塑性系数 .....	181
§ 3 梁受弯的计算公式 .....	183
§ 4 梁柱计算 .....	203
§ 5 连续梁 .....	219
<b>第十章 曲梁</b> .....	232
§ 1 应力和应变 .....	232
§ 2 求中性线曲率半径的图解分析法 .....	233
§ 3 计算曲梁的公式 .....	233
<b>第十一章 弯曲时的剪切及刚心</b> .....	235
§ 1 基本概念 .....	235
§ 2 刚心 .....	235
§ 3 确定薄壁剖面的刚心 .....	236
§ 4 开剖面的刚心 .....	236

§ 5	闭剖面的刚心 .....	237
§ 6	各种剖面的刚心位置 .....	241
§ 7	求某些剖面受剪时的剪力分布 .....	244
<b>第十二章</b>	<b>刚架 .....</b>	<b>250</b>
§ 1	刚架的计算方法 .....	250
§ 2	单跨不对称的铰支双杆刚架 .....	253
§ 3	基础为铰支的等剖面支柱的矩形刚架 .....	255
§ 4	基础为固支的等剖面支柱的矩形刚架 .....	257
§ 5	双支点的矩形闭合刚架 .....	260
§ 6	弹性基础的矩形闭合刚架 .....	262
§ 7	基础为铰支的支柱剖面不同的不等腰梯形刚架 .....	264
§ 8	由内向外作用的均匀分布载荷有拉杆及无拉杆的矩形闭合刚架 .....	268
<b>第十三章</b>	<b>弹簧的计算 .....</b>	<b>269</b>
<b>第十四章</b>	<b>环形框的计算 .....</b>	<b>275</b>
§ 1	圆弧形等剖面梁的计算公式 .....	275
§ 2	圆环的计算公式 .....	277
§ 3	等剖面圆框的内力及变形图表 .....	287
§ 4	纵向力对等剖面圆形刚框的内力影响图表 .....	335
§ 5	计及弹性支持的隔框的内力图表 .....	348
§ 6	计及弹性支持隔框因集中力及弯矩作用引起的位移 .....	354
<b>第十五章</b>	<b>平板的弯曲计算 .....</b>	<b>364</b>
§ 1	整圆板 .....	364
§ 2	圆环板 .....	367
§ 3	矩形板 .....	370
<b>第十六章</b>	<b>板的稳定性 .....</b>	<b>377</b>
§ 1	各向同性矩形平板临界力的计算 .....	377
§ 2	正交异性矩形平板临界应力的计算 .....	383
§ 3	桁条加劲平板的极限承载能力 .....	385
§ 4	夹层矩形平板临界力的计算 .....	386
§ 5	曲板稳定性 .....	388
<b>第十七章</b>	<b>压杆稳定性 .....</b>	<b>391</b>
§ 1	概述 .....	391
§ 2	等剖面厚壁杆的总体稳定性 .....	391
§ 3	厚壁管的总体稳定性 .....	395
§ 4	铰支变剖面杆件的总体稳定性 .....	396
§ 5	偏心轴向力作用下杆的计算 .....	399
§ 6	等剖面薄壁杆件稳定性计算 .....	400
§ 7	扭转稳定性计算 .....	406

### 第三篇

<b>第十八章 光圆筒壳（非加劲薄壁圆筒壳）的稳定性</b> .....	411
§ 1 光圆筒壳在均匀轴压作用下的临界应力 .....	411
§ 2 短圆筒壳的轴压临界应力 .....	415
§ 3 内压对轴压临界应力的影响 .....	417
§ 4 光圆筒壳在弯矩作用下的临界应力 .....	419
§ 5 轴压和弯矩联合作用时稳定性相关方程 .....	419
§ 6 长圆筒壳轴压塑性临界应力 .....	422
§ 7 光圆筒壳的临界外压 .....	423
§ 8 光圆锥壳的临界外压 .....	427
§ 9 外压和轴压联合作用时的稳定性相关方程 .....	428
§ 10 扭矩作用下的临界应力 .....	428
§ 11 扭矩与其它载荷联合作用时稳定性相关方程 .....	429
§ 12 横向剪力作用下的光圆筒壳 .....	431
<b>第十九章 化学铣切网格整体加劲圆筒壳的计算</b> .....	432
§ 1 线性理论, 中长圆筒壳的轴压临界应力 .....	432
§ 2 正置正交网格整体加劲圆筒壳的轴压临界应力 .....	438
§ 3 斜置对称方格整体加劲圆筒壳的轴压临界应力 .....	448
§ 4 短圆筒壳的轴压临界应力 .....	453
§ 5 内压对轴压临界应力的影响, 弯曲临界应力 .....	458
§ 6 肋条之间蒙皮的局部稳定性 .....	458
§ 7 临界侧压 .....	459
§ 8 轴压和外压联合作用时的相关方程 .....	460
§ 9 爆破压力计算 .....	460
<b>第二十章 加劲圆筒的轴压、外压、扭矩极限载荷</b> .....	461
§ 1 轴压极限载荷 .....	461
§ 2 轴压作用下的加劲圆筒中间框刚度判别式 .....	464
§ 3 加劲圆筒外压极限载荷 .....	465
§ 4 加劲圆筒的扭矩极限载荷 .....	466
§ 5 组合载荷作用下的加劲壳 .....	468
§ 6 薄壁框加强且壳段不失稳的加劲壳临界外压计算 .....	468
<b>第二十一章 双层圆筒壳的稳定性</b> .....	469
§ 1 各向同性双层圆筒壳的临界力 .....	469
§ 2 金属、玻璃钢双层圆筒壳的临界力 .....	471
§ 3 化铣、玻璃钢双层圆筒壳的临界力 .....	471
<b>第二十二章 夹层圆筒壳的稳定性</b> .....	474
§ 1 受轴压、弯矩作用的夹层圆筒壳整体失稳临界值 .....	476



§ 2	受外压作用的夹层圆筒壳整体失稳临界值	476
§ 3	受扭矩、横向剪力作用的夹层圆筒壳整体失稳临界值	477
§ 4	夹层截锥壳整体失稳的临界轴压和临界外压	478
§ 5	表层局部失稳的临界应力计算	479
§ 6	夹层壳临界应力的塑性修正	480
§ 7	联合载荷作用下的相关方程	481
<b>第二十三章 具有弹性核心的圆筒壳的稳定性</b>		482
§ 1	轴压临界应力	482
§ 2	侧压临界值计算	484
§ 3	轴压与侧压组合作用	485
§ 4	受线性变化轴力作用的圆筒壳的临界应力	485
§ 5	扭转临界应力的计算	486
<b>第二十四章 球壳、椭球壳的稳定性</b>		487
§ 1	球壳临界外压	487
§ 2	旋转椭球壳临界压力	487
§ 3	双层球壳的临界外压	488
§ 4	软夹心的夹层球壳临界外压	488
<b>第二十五章 压力容器强度计算</b>		490
§ 1	无矩应力和位移的计算公式	491
§ 2	薄壁容器的有矩应力计算	492
§ 3	受内压圆筒壳隔框的强度计算	497
§ 4	压力容器的破坏压力	499
§ 5	开孔对球壳及椭球壳强度的削弱和加强方案	502
§ 6	厚壁容器计算	507
<b>第二十六章 管路元件计算</b>		509
§ 1	导管接合部位的应力和变形	509
§ 2	连接法兰的计算	517
§ 3	波纹管补偿器	522
<b>第二十七章 集中力的扩散</b>		535
§ 1	等剖面单桁板的计算	535
§ 2	等应力梁单桁板的计算	537
§ 3	任意变剖面梁单桁板的应力分析	538
§ 4	多桁板的单桁代换法	540
§ 5	端框对力扩散的影响	540
§ 6	厚蒙皮结构承受集中力的扩散	543
§ 7	带蒙皮变载荷梁的稳定性	546
§ 8	考虑蒙皮失稳后的近似计算	549
§ 9	放射筋结构的计算	552

§ 10 开口加劲板计算 .....	553
附录27.1 带端框的等剖面三桁板的分析解 .....	556
附录27.2 孤立变剖面梁临界载荷 .....	557
附录27.3 应力估算法 .....	557
<b>第二十八章 突加动载对结构强度和稳定性的影响</b> .....	<b>559</b>
§ 1 突加载荷下钢材强度动特性 .....	559
§ 2 动应力的计算(动荷系数)问题 .....	561
§ 3 筒壳的动临界强度问题 .....	563
<b>第二十九章 温度对壳体结构强度的影响</b> .....	<b>570</b>
§ 1 壳体中几种典型的热应力 .....	570
§ 2 温度对壳体稳定性的影响 .....	572
<b>第三十章 复杂结构的强度计算</b> .....	<b>575</b>
第一部分 有限单元法	
§ 1 概述 .....	575
§ 2 常用元素的刚度矩阵 .....	578
§ 3 座标变换 .....	605
§ 4 结构总刚度矩阵的形成及边界条件的引入 .....	607
§ 5 载荷列阵的形成 .....	610
§ 6 热载列阵的形成 .....	613
各类常用元素的热载列阵	
§ 7 常用元素的等价质量矩阵及结构总质量矩阵的形成 .....	615
一、计算元素等价质量矩阵的公式 .....	615
二、常用元素的等价质量矩阵 .....	616
三、整个结构的等价质量矩阵和集中质量的考虑 .....	624
§ 8 有限单元法的计算机程序 .....	625
一、有限单元法程序梗概 .....	625
二、刚度矩阵的特点、形式与存贮 .....	625
三、线代数方程组的求解 .....	627
四、计算机程序的一例 .....	629
附录一 高斯求积法 .....	640
附录二 面积座标 .....	642
第二部分 其它方法	
§ 9 矩阵力法 .....	643
§ 10 板法 .....	656
§ 11 三力矩方程位移法 .....	663
<b>第三十一章 连接件计算</b> .....	<b>665</b>
§ 1 材料极限应力选取 .....	665
§ 2 铆接件的计算 .....	665
§ 3 螺栓和螺纹计算 .....	668

§ 4	耳片与接头计算 .....	672
§ 5	焊接计算 .....	674
<b>第三十二章</b>	<b>结构可靠性的设计分析 .....</b>	<b>681</b>
§ 1	安全系数设计方法和可靠性设计方法的比较 .....	681
§ 2	可靠性安全系数的引入 .....	682
§ 3	几种结构强度和载荷的变差系数 .....	689
§ 4	可靠性安全系数的应用 .....	690
§ 5	根据试验数据评定结构可靠性 .....	691
..... 第六十二章		
..... 第七		
..... 第十三章		
..... 第一章		
..... 第二章		
..... 第三章		
..... 第四章		
..... 第五章		
..... 第六章		
..... 第七章		
..... 第八章		
..... 第九章		
..... 第十章		
..... 第十一章		
..... 第十二章		
..... 第十三章		
..... 第十四章		
..... 第十五章		
..... 第十六章		
..... 第十七章		
..... 第十八章		
..... 第十九章		
..... 第二十章		
..... 第二十一章		
..... 第二十二章		
..... 第二十三章		
..... 第二十四章		
..... 第二十五章		
..... 第二十六章		
..... 第二十七章		
..... 第二十八章		
..... 第二十九章		
..... 第三十章		
..... 第三十一章		
..... 第三十二章		
..... 第三十三章		
..... 第三十四章		
..... 第三十五章		
..... 第三十六章		
..... 第三十七章		
..... 第三十八章		
..... 第三十九章		
..... 第四十章		
..... 第四十一章		
..... 第四十二章		
..... 第四十三章		
..... 第四十四章		
..... 第四十五章		
..... 第四十六章		
..... 第四十七章		
..... 第四十八章		
..... 第四十九章		
..... 第五十章		
..... 第五十一章		
..... 第五十二章		
..... 第五十三章		
..... 第五十四章		
..... 第五十五章		
..... 第五十六章		
..... 第五十七章		
..... 第五十八章		
..... 第五十九章		
..... 第六十章		
..... 第六十一章		
..... 第六十二章		
..... 第六十三章		
..... 第六十四章		
..... 第六十五章		
..... 第六十六章		
..... 第六十七章		
..... 第六十八章		
..... 第六十九章		
..... 第七十章		
..... 第七十一章		
..... 第七十二章		
..... 第七十三章		
..... 第七十四章		
..... 第七十五章		
..... 第七十六章		
..... 第七十七章		
..... 第七十八章		
..... 第七十九章		
..... 第八十章		
..... 第八十一章		
..... 第八十二章		
..... 第八十三章		
..... 第八十四章		
..... 第八十五章		
..... 第八十六章		
..... 第八十七章		
..... 第八十八章		
..... 第八十九章		
..... 第九十章		
..... 第九十一章		
..... 第九十二章		
..... 第九十三章		
..... 第九十四章		
..... 第九十五章		
..... 第九十六章		
..... 第九十七章		
..... 第九十八章		
..... 第九十九章		
..... 第一百章		

# 主要参数、符号

## 一、有关力学的基本符号

$F, N, T, P$	—力、集中力;
$p$	—内压或外压;
$Q$	—剪力;
$M$	—力矩、弯矩;
$M_n$	—扭矩;
$\sigma$	—应力;
$\sigma_b$	—强度极限;
$\sigma_i$	—应力强度;
$\sigma_s(\sigma_{0.2})$	—屈服极限;
$\sigma_p$	—比例极限;
$\tau$	—剪应力;
$\tau_b$	—剪切强度极限;
$\tau_s$	—剪切屈服极限;
$\varepsilon$	—应变;
$\varepsilon_e$	—弹性应变;
$\varepsilon_p$	—塑性应变;
$\varepsilon_i$	—应变强度;
$\gamma$	—剪应变、比重;
$\Delta, u, v, w$	—位移;
$x, y, z$	—直角坐标;
$q$	—剪流;
$K, k$	—修正系数、积变模量、应力集中系数;
$\mu$	—弹性材料泊桑比;
$\mu_p$	—塑性材料泊桑比;
$E$	—弹性模量;
$E_s$	—割线模量;
$E_t$	—切线模量;
$G$	—剪切模量;
$\delta$	—延伸率;
$\alpha_k$	—冲击韧性;

$K_c$	—断裂韧性;
$n$	—材料硬化指数;
$\alpha$	—线膨胀系数;
$\beta$	—弯曲刚度系数、应力集中系数、折算长度系数;
$\phi$	—刚度参数、应力函数;
$D$	—弯曲刚度;
$B$	—抗拉刚度;
$R$	—应力比;
$U$	—位能、积变能、变形能、总势能;
$A$	—功;
$T, t$	—时间、温度;
$\eta$	—剩余强度系数、修正系数;
$\varphi$	—焊缝强度系数、刚度参数。

## 二、有关动强度符号

$f$	—频率;
$\omega (=2\pi f)$	—圆频率;
$\tau$	—载荷作用时间;
$T$	—振动周期;
$\dot{\varepsilon}$	—应变率;
$K_a$	—动荷系数。

## 三、有关可靠性符号

$C_{VL}$	—载荷变差系数;
$C_{Vt}$	—厚度变差系数;
$C_{Vs}$	—强度变差系数;
$R_0$	—可靠性系数;
$f_R$	—可靠性安全系数;
$P$	—可靠性概率;
$p$	—给定的置信系数(或置信度);

$C_a$	——概率系数;
$\sigma$	——标准偏差;
$\nu$	——自由度;
$U_{1-r}$	——标准正态分布的概率。

#### 四、有关矩阵符号

$[K]$	——刚度矩阵;
$[C]$	——阻尼矩阵;
$[M]$	——质量矩阵;
$\{F\}$	——载荷列阵;
$\{\delta\}$	——节点位移列阵;
$\{F_T\}$	——热载列阵;
$[\phi]$	——座标转换矩阵;
$[S]$	——应力矩阵。在力法中代表广义应力矩阵;
$[D]$	——材料弹性矩阵,表示元素内应力与应变的关系;
$[N]$	——形状函数矩阵,表示元素内任何点的位移和节点位移之间的关系;
$[B]$	——应变矩阵,表示元素内任一点的应变与节点位移之间的关系;
$[H]$	——热应变矩阵;
$\{R\}$	——载荷列阵;
$[f]$	——柔度矩阵。

#### 五、有关几何尺寸符号

$L, l$	——长度;
$s$	——距离;
$b$	——宽度、椭圆短轴;
$a$	——宽度、椭圆长轴;
$y, f, w, \delta$	——挠度、变形量;
$m = \frac{a}{b}$	——椭球壳、长短轴之比;
$R, r$	——半径;
$D, d$	——直径;
$H, h$	——高度、厚度、深度;
$t, \delta$	——蒙皮厚度;

$A, F$	——面积;
$V$	——体积;
$J, I$	——惯性矩;
$e$	——偏心距;
$W$	——截面抗弯系数(或断面系数);

$D$	——抗弯刚度(或弯曲刚度);
$S$	——静矩;
$\alpha, \theta, \varphi$	——倾角、交角、转角;
$\psi$	——相对转角变形。

#### 六、脚注符号

$s$	——使用
$j$	——设计
$p$	——破坏
$h$	——和
$ya$	——压
$l$	——拉
$w$	——弯曲
$n$	——扭转
$lj$	——临界
$my$	——名义
$hf$	——焊缝
$hd$	——焊点
$dl$	——大梁
$ht$	——桁条
$mp$	——蒙皮
$yt$	——圆筒
$pb$	——平板
$fb$	——腹板
$ty$	——凸缘
$zh$	——周缘
$gk$	——隔框
$ll$	——理论
$pj$	——平均
$jx$	——极限
$sy$	——实验
$dn$	——当量

<i>zy</i>	——增压	<i>wd</i>	——尾段
<i>wy</i>	——外压	<i>wk</i>	——尾段壳体
<i>jy</i>	——挤压	<i>z . x</i>	——重心
<i>cy</i>	——冲压	<i>g . x</i>	——刚心
<i>cj</i>	——冲击	<i>j</i>	——静
<i>yx</i>	——有效	<i>d</i>	——动
<i>zh</i>	——折合	<i>jq</i>	——剪切
<i>max</i>	——最大	<i>r</i>	——径向
<i>min</i>	——最小	<i>t</i>	——切向
<i>jb</i>	——局部	<i>su</i>	——塑性
<i>zt</i>	——总体	<i>tan</i>	——弹性
<i>sj</i>	——实际	<i>dp</i>	——垫片
<i>zs</i>	——真实	<i>ls</i>	——螺栓



第  
一  
篇



策

一

篇