

应力集中手册

(苏) Г. Н. 萨 文 著
В. И. 杜尔契
张 正 国 译

黑龙江科学技术出版社

Г. Н. Савин, В. И. Тульчий

Справочник по концентрации напряжений

Издательское объединение «Вища школа»

1976

责任编辑: 王天青

封面设计: 窦余申

应 力 集 中 手 册

[苏] Г.Н. 萨 文 В.И. 杜尔契 著

张正国 译

黑 龙 江 科 学 技 术 出 版 社 出 版

(哈尔滨市南岗区分部街28号)

黑龙江省教育厅印刷厂印刷 · 黑龙江省新华书店发行

开本787×1092毫米1/32 · 印张9 8/16 · 字数187千

1983年11月第一版 · 1983年11月第一次印刷

印数: 1—5,000

书号: 13217·077

定价: 1.20元

内 容 提 要

本手册给出了在各种载荷作用下,板、板条、圆盘、轴和其它构件的孔、槽、切口和凹角附近及其横截面变化处应力集中系数的曲线、诺模图与公式,还给出了考虑材料的各向异性、材料的物理非线性和加强构件对应力集中影响的结果,利用它就可以精确地计算构件的强度。全书共有239幅图表。

本手册可供各工业部门的工程技术人员、大、中专学生、研究生、教师、科研和设计人员使用。

译 者 的 话

本手册系根据苏联1976年出版的,由萨文和杜尔契合著的《Справочник по концентрации напряжений》(应力集中手册)译出的。它是萨文教授的新著。他曾在1950年出版过著名的《Концентрация напряжений около отверстий》(孔附近的应力集中)一书。近二十多年来,他在应力集中方面有了许多新的研究成果,现已充分反映到这部新著中来。本手册共分七章。内容包括单个孔和穴附近的应力集中,几个孔附近的应力集中,槽、切口、环形槽、花键和凹角的应力集中。它具有内容丰富、编排系统和使用方便等特点,既可供各工业部门的工程技术人员、科研和设计人员使用,也可供各大、中专院校的教师、学生和研究生参考。

译者是按本手册的俄文和英文翻译的。哈尔滨船舶工程学院费纪生副教授按本手册的德文对译稿作了全面的审校,谨在此深表谢意。

序 言

现代大多数机器构件的极重要的特点，是具有各种各样的孔、槽、切口和凹角等等。如果考虑到构件应在最小的重量下具有高的强度，则精确地计算这些构件的强度的重要性就显而易见了。

众所周知，构件里有了孔、槽、切口和凹角等，就要导致其内部的应力急剧地局部增大，这称为应力集中。研究应力集中的重要方面是理论集中系数 K ，它是在有应力集中时某一点的应力，与没有应力集中时同一点的应力之比值。系数 K 值主要取决于外载荷、构件的物理和几何特性——构件的材料和形状以及削弱该构件使其产生应力集中的孔、槽、切口和凹角等的尺寸与形状。

由于应力集中系数有很大的实用意义，因而有必要把最近几年来在这方面所得到的新的研究成果加以系统地整理。这本手册就是基于这种考虑而编写的。

当读者使用这本手册时，在大多数情况下可以直接从构件受力简图、公式、曲线和诺模图上，得到所需要的应力集中系数。有关上述图的说明在书中给出。

目 录

第一篇 单个孔和穴附近的应力集中

第一章 未加强的孔和穴..... (1)

§1.1 具有圆形孔的半无限大板的拉伸
..... (1)

§1.2 具有圆形孔的板条的拉伸..... (1)

§1.3 具有圆形孔的板的柱面弯曲..... (1)

§1.4 两个集中载荷作用下的圆环..... (1)

§1.5 具有孔的旋转圆盘的应力集中..... (1)

§1.6 具有圆形孔物理非线性的无限大板的
应力集中..... (2)

§1.7 具有椭圆形孔的无限大板的柱面弯曲
..... (3)

§1.8 具有正方形孔的无限大板的拉伸
..... (4)

§1.9 具有矩形孔的无限大板的纯剪切
..... (4)

§1.10 具有卵圆形孔的板条的应力集中
..... (4)

§1.11 具有三角形切口的板条的弯曲..... (5)

§1.12 具有单边浅的椭圆形切口的半无限大

	板的拉伸.....	(5)
§1.13	具有横向圆形孔的圆轴的应力集中	(5)
§1.14	具有旋转椭圆形穴的无限大体的拉伸	(5)
§1.15	具有圆形孔的正交各向异性板条在其 平面内的弯曲.....	(6)
§1.16	具有等边三角形孔的板条的拉伸	(6)
第二章	被加强的孔和穴.....	(6)
§2.1	具有被加强圆形孔的无限大板的纯剪切	(6)
§2.2	具有被加强圆形孔的板条的拉伸	(7)
§2.3	具有非对称被加强圆形孔的无限大板 的拉伸.....	(7)
§2.4	利用外加薄板减小具有圆形孔的板的 应力集中.....	(7)
§2.5	具有被加强椭圆形孔的无限大板的拉伸	(8)
§2.6	具有被加强圆形孔的板在其平面内的 弯曲.....	(9)
§2.7	具有被加强圆形孔的无限大板的柱 面弯曲.....	(9)
§2.8	具有被加强孔的板条的拉伸.....	(10)

§2.9	具有被加强圆形孔的板条的柱面弯曲	(10)
§2.10	具有圆形孔的组合板条的拉伸	(11)
§2.11	矩形板圆形孔的最佳的加强构件	(11)
§2.12	薄壁球形壳的圆形切口的最佳加强构件	(11)
§2.13	具有被加强圆形孔的板条的拉伸 (一)	(12)
§2.14	具有被加强圆形孔的板条的拉伸 (二)	(13)
§2.15	具有被加强椭圆形孔的板条的拉伸	(13)
§2.16	具有被加强正方形孔的无限大板的拉伸	(13)
§2.17	具有被加强等边三角形孔的板的拉伸	(14)
§2.18	具有局部被加强等边三角形孔的无限大板的拉伸	(14)
§2.19	具有被加强圆形孔的无限大板的扭转和弯曲	(15)
第二篇 多个孔附近的应力集中		
第三章	未加强的孔	(16)
§3.1	具有两个圆形孔的无限大板的拉伸	(16)

§3.2	具有两个不同圆形孔的无限大板的二 向拉伸.....	(16)
§3.3	具有两个不同圆形孔的无限大板的拉 伸.....	(16)
§3.4	具有无限多个等距圆形孔的无限大板 的拉伸.....	(16)
§3.5	具有双周期无限多个圆形孔的无限大 板的拉伸.....	(17)
§3.6	具有周期性配置的不同直径圆形孔的 板之拉伸.....	(17)
§3.7	集中力和力矩作用的具有一圈圆形孔 的圆板.....	(17)
§3.8	具有无限多个椭圆形孔的无限大板的 拉伸.....	(17)
§3.9	具有椭圆形孔的无限大板的二向拉伸	(17)
§3.10	具有三个不同形状孔的板条的拉伸	(18)
§3.11	具有两个矩形孔的板条的拉伸.....	(18)
§3.12	具有两个圆形孔的无限大板的纯弯曲	(19)
§3.13	具有卵圆形孔和切口的板条的拉伸	(19)
§3.14	具有一个卵圆形孔和两个圆形孔的板 条的拉伸.....	(19)

§3.15	具有正方形孔的板的拉伸, 其孔的中心位于正方形的顶点.....	(19)
§3.16	具有三角形孔的板的拉伸, 其孔的中心位于正方形的顶点.....	(20)
§3.17	具有几个孔(切口)的板条的拉伸, 其孔的中心位于任意等腰三角形的顶点.....	(21)
第四章	被加强的孔	(22)
§4.1	具有两个被对称肋环加强的圆形孔的板之拉伸.....	(22)
§4.2	具有两个被薄环加强的相同圆形孔的无限大板的拉伸和剪切.....	(22)
§4.3	具有两个被一侧的环加强的圆形孔板之拉伸.....	(23)
§4.4	具有两个不同椭圆形孔的板之拉伸.....	(23)
§4.5	具有椭圆形孔和圆形孔的板的拉伸.....	(24)
§4.6	具有被弹性环加强正方形孔和椭圆形孔的板的拉伸.....	(24)
§4.7	具有一个椭圆形孔和两个对称配置的圆形孔的板之拉伸.....	(25)
§4.8	具有对称配置的一个正方形孔和两个椭圆形孔的板条之拉伸.....	(25)
§4.9	具有三个被加强孔的板的拉伸.....	(26)

- §4.10 具有三个孔的板条的拉伸, 其孔的中心位于等腰三角形的顶点…………… (28)
- §4.11 具有几个被薄环加强的相同圆形孔无限大板的拉伸和剪切…………… (29)
- §4.12 具有几个不同形状孔的板的纯剪切…………… (29)
- §4.13 具有两个正方形孔和两个椭圆形孔的板的拉伸…………… (30)
- §4.14 具有被加强正方形孔和椭圆形孔的板的拉伸…………… (30)
- §4.15 具有周期性重复的一组不同形状孔的板之拉伸…………… (30)
- §4.16 具有无限多个被加强正方形孔的板的拉伸…………… (31)
- §4.17 具有一个中心矩形孔和两个侧向切口的板条的拉伸…………… (32)
- §4.18 具有一个中心正方形孔和两个侧向切口的板条的拉伸…………… (33)
- §4.19 具有中心孔和侧向切口的板条的拉伸…………… (34)
- §4.20 具有一个中心圆形孔和两个侧向切口的板条的拉伸, 它们的中心配置在等腰三角形的顶点…………… (35)
- §4.21 具有两个正方形孔和两个侧向切口的板条的拉伸…………… (36)

§4.22 具有被加强的对称切口板条的拉伸	(36)
-----------------------	------

第三篇 槽、切口、环形槽、花键和凹角的应力集中

第五章 槽和切口	(38)
----------	------

§5.1 具有两个对称切口的梁条的拉伸	(38)
---------------------	------

§5.2 具有一排单侧的半圆形切口的梁条之 拉伸	(39)
-----------------------------	------

§5.3 具有深的双曲线形槽的旋转体之拉伸	(39)
-----------------------	------

§5.4 具有被加强的圆形切口的板条或被加 强的阶梯板条的拉伸	(39)
------------------------------------	------

§5.5 具有两个对称切口的板条的弯曲	(41)
---------------------	------

§5.6 具有两个对称的切口的梁条之弯曲	(41)
----------------------	------

§5.7 具有被加强圆形切口的板条，或被加 强的阶梯板条的弯曲	(42)
------------------------------------	------

§5.8 具有两个对称的深的双曲线形切口的 无限大板（梁）之柱面弯曲 （拉伸）	(43)
---	------

§5.9 具有两个对称的深的双曲线形切口的 无限大板之平面弯曲	(43)
------------------------------------	------

§5.10 具有两个对称的切口的板之柱面弯曲	(44)
------------------------	------

第六章 凹角、T 字形构件和十字形梁条

.....	(44)
§6.1 具有凹角的阶梯梁条的应力集中	
.....	(44)
§6.2 具有圆形凹角的阶梯轴的应力集中	
.....	(44)
§6.3 具有圆形凹角的T字形构件的应力集中	
.....	(44)
§6.4 具有圆形凹角的十字形梁条的弯曲	
.....	(45)
第七章 环形槽、花键和凹角	(45)
§7.1 具有环形槽的轴的拉伸.....	(45)
§7.2 具有环形槽的轴的弯曲.....	(46)
§7.3 具有环形槽的轴的扭转.....	(47)
§7.4 具有键槽的轴的扭转.....	(48)
§7.5 具有键槽或花键的轴的扭转之应力集中	
.....	(48)
§7.6 具有凹角的U形构件的拉伸.....	(48)
§7.7 具有凹角的角形和盒形截面构件的扭转	
.....	(49)
§7.8 曲杆的弯曲.....	(49)
§7.9 螺旋弹簧的应力集中.....	(49)

第一篇 单个孔和穴附近的应力集中

第一章 未加强的孔和穴

§1.1 具有圆形孔的半无限大板的拉伸

§1.2 具有圆形孔的板条的拉伸

a. 孔的位置在中心。

b. 孔的位置在偏心。

§1.3 具有圆形孔的板的柱面弯曲

a. 无限大板:

当 $\frac{d}{h} \rightarrow \infty$, $K \rightarrow 1.85$ 。

b. 板条。

§1.4 两个集中载荷作用下的圆环

a. 力从内部作用。

b. 力从外部作用。

§1.5 具有孔的旋转圆盘的应力集中

主要符号: g —重力加速度; ρ —圆盘物质的比重;
 ν —泊松比, v —圆盘各点的线速度。

a. 孔在圆盘的中心。

应力集中系数 K 依照选取 $\sigma_{nom} = \sigma_i (i=1; 2; 3)$, σ_{nom} —名义应力, 可由三种方式来确定: σ_1 —实心圆盘中心处 ($R_1=0$) 的应力; σ_2 —实心圆盘离其中心的距离为 R_1 处点

的切向应力; σ_3 —当 $\frac{R_1}{R_2}=0$ 时 $\sigma_3=\sigma_1$, 当 $\frac{R_1}{R_2}=1$ 时 $\sigma_3=\sigma_2$ 。

曲线 K_1 很好地适用于较小孔的情形, 而曲线 K_2 很好地适用于当 $\frac{R_1}{R_2} \rightarrow 1$ 的情形。

b. 孔的位置偏心。

σ_{nom} 表示实心圆盘 A 点处的切向应力。

§1.6 具有圆形孔物理非线性的无限大板的应力集中

主要符号: γ —孔的轮廓线; σ 和 τ —其单位为 kg/cm^2 ;

$\lambda=\lambda_1 \cdot 10^6 \text{ kg}^2/\text{cm}^4$, 而 $\lambda_1=\frac{K_* g_2}{G^2(G+3K)}$; K_* 和 G —体积变形模数和剪切模数; g_2 —用引入的切向应力集度 t 来表示的压力函数 $g(t)=1+g_2 t^2$ 的系数。

参数 $\lambda=10.19$ 相应于力学性质为 $K_*=1.305 \cdot 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$; $G=0.461 \cdot 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$; $g_2=7.260 \cdot 10^6$ 的铜合金 (对于纯铜 $\lambda=0.26$; $K_*=1.343 \cdot 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$; $G=0.451 \cdot 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$; $g_2=0.180 \cdot 10^6$); $\lambda=0.055$ 相应于力学性质为 $K_*=1.324 \cdot 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$; $G=0.468 \cdot 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$; $g_2=0.040 \cdot 10^6$ 的铝青铜 (对马丁钢 $K_*=1.786 \cdot 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$; $G=0.853 \cdot 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$; $g_2=0.085 \cdot 10^6$); $\lambda=0$ 相应于应力和变形是线性关系的情形。

a. 板的纯剪切。

沿轮廓线 γ 有关系式

$$\frac{\sigma_\theta}{\tau} = -(4 - 17.38\lambda_1\tau^2)\sin 2\theta - 6.20\lambda_1\tau^2\sin 6\theta$$

b. 具有加强孔的铜板的单向拉伸。

对 $\theta = \frac{\pi}{4}$ 所作的曲线 $L_i (i=1; 2; 3)$, 表示了 σ_θ 依 λ 和 σ 而定的关系。

轮廓线 γ 上的比值 $\frac{\sigma_\theta}{\sigma} \left(K = \frac{\sigma_\theta}{\sigma} \Big|_{\theta = \frac{\pi}{4}} \right)$ 按下述公式确定:

1) 未加强的板 (曲线 L_1)

$$\frac{\sigma_\theta}{\sigma} = 1 - (2 - 4.388\lambda_1\sigma^2)\cos 2\theta - \lambda_1\sigma^2(3.066 + 2.107\cos 4\theta - 0.775\cos 6\theta);$$

2) 实心钢垫圈加强的板 (曲线 L_2)

$$\frac{\sigma_\theta}{\sigma} = \frac{1}{8}[3.728 - (1.352 - 0.219\lambda_1\sigma^2)\cos 2\theta - \lambda_1\sigma^2(7.748 - 1.059\cos 4\theta + 1.316\cos 6\theta)];$$

3) 绝对刚性环加强的板 (曲线 L_3)

$$\frac{\sigma_\theta}{\sigma} = \frac{1}{8}[2.792 + (3.384 - 1.503\lambda_1\sigma^2)\cos 2\theta - \lambda_1\sigma^2(11.595 - 3.179\cos 4\theta + 3.663\cos 6\theta)].$$

c. 板的二向拉伸。

给出的曲线表示了 σ_θ 沿轮廓线 γ 依 λ 和 σ 而定的关系。曲线 L_1 (L_2 和 L_3) 相应于 $\lambda=0$ ($\lambda=0.055$ 和 $\lambda=0.266$)。

d. 板的二向拉伸:

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} = 2(1 - 1.5\lambda_1\sigma^2), \quad 0 \leq \lambda \leq 0.266.$$

§1.7 具有椭圆形孔的无限大板的柱面弯曲

应力 $\sigma_{nom} = \frac{6M}{h^2}$ 。实线相应于较薄板的弯曲情况

($b = \text{常数}, \frac{b}{h} \rightarrow \infty$)，而虚线相应于较厚板的拉伸情况

($b = \text{常数}, \frac{b}{h} \rightarrow 0$)。

§1.8 具有正方形孔的无限大板的拉伸

给出了当板沿 OX 轴拉伸时沿孔的轮廓线的切向应力图。坐标轴与正方形的对角线相重合； r 是正方形孔圆角处之半径。

§1.9 具有矩形孔的无限大板的纯剪切

应力 τ_{max} 发生在矩形孔圆角附近； r 是矩形孔圆角处之半径。

§1.10 具有卵圆形孔的板条的应力集中

$D = 2t + d$ ； h —板的厚度； r —圆角处半径。

a. 板条的拉伸：

$$\sigma_{nom} = \frac{P}{dh}; \quad 1 \leq \frac{t}{r} \leq 4.$$

b. 板条的拉伸：

$$0.1 \leq \frac{r}{H} \leq 0.4.$$

c. 板条在中面内的弯曲：

$$1 \leq \frac{t}{r} \leq 4.$$

应力 $\sigma_{nom} = \frac{0.5DM}{J}$ ， J —削弱最大的横截面积的惯性

矩； σ_{max} 或发生在点 1 处，或发生在点 2 处，依比值 $\frac{r}{d}$ ，