

机 器 零 件 的 負 荷 能 力 和 强 度 計 算

謝 聯 先 主 編

全 苏 机 器 制 造 科 学 技 術 工 程 学 會 强 度 委 員 會 合 作

吳 克 敏、張 直 明、張 和 豪、林 明 邦 華 中 合 譯



出版者的話

本書敘述了機器零件受靜止應力和變動應力時的負荷能力問題，以及許多標準機器零件（轉軸、圓盤、螺栓等）在強度上的計算。除了計算方法以外，本書中引述了關於機械性能、結構上和工藝上的因素對於強度的影響等參考資料。

本書是機器零件強度計算方面的參考書，供設計計算者和大學生閱讀。

苏联 С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Л. А. Козлов, Р. М. Шнейдерович 著 'Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность' (Машигиз 1954 年第一版)

* * *

NO. 1301

1957 年 4 月第一版 1957 年 4 月第一版第一次印刷
787×1092 $\frac{1}{32}$ 字數 271 千字 印張 10 0,001—7,000 冊
機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價(10) 1.60 元

原 序

为了提高零件的强度和力求減輕零件的重量，为了能採用具有新的机械性能的材料以及能利用对零件性質有重大影响的工艺过程，就必须改进强度計算的方法。强度計算方法的改进，主要在於能更广泛地运用關於零件在靜止載荷和动力載荷下的負荷能力的最新概念。

在靜止应力下，零件的强度，一方面与塑性变形对应力分佈的影响有关；另一方面，在許多情形中，也为載荷引起的位移所限制。运用塑性理論的方法，可以决定零件所能承受的極限載荷（考慮到超出彈性極限后变形和应力的重新分佈），还可以計算相应的位移。从按照条件性的許用应力計算在彈性極限以內的强度，改为按極限載荷計算强度，这一轉变可以反映出零件由於塑性变形的效应而具有的实际負荷能力。同时，載荷引起的位移，也限制了零件能承受的載荷，这在選擇零件应有的尺寸时也很重要。这样，除了要計算零件的强度外，还要計算零件在彈性区域的剛度和彈塑性区域的剛度。

在变动应力下，零件的强度与許多因素的影响都有密切的关系：应力集中，絕對尺寸，表面層的状态，影响表面状态的周圍介質，以及許多其他的結構因素、工艺因素和運轉因素。利用關於应力在零件中实际分佈狀況的数据，运用關於零件疲乏破坏条件的最新概念（联系到表面層的应力状态的类型和表面層的机械性能），並应用關於在非稳态变动应力作用下的疲乏的研究結果，就可以近似計算零件的实际負荷能力。这种計算能反映出零件抵抗疲乏的最主要因素，使我們可以用各种結構方法和工艺方法来提高零件的負荷能力。

本書說明机器零件在靜止应力和变动应力下的負荷能力的确定方法，並根据負荷能力的特性來計算零件的强度。这些方法的应用，用一些實踐中常碰到的、典型的机器零件的計算实例來說明：

直軸和曲軸的計算；渦輪機的高轉速圓盤的計算；螺栓的計算；彈簧的計算。

這些方法也可以用來計算其他型式的機器零件。

本書的材料由作者和全蘇機器製造科學技術工程學會（ВНИИ-ТОМАШ）強度委員會合作收集編成。

本書供機器製造工作者——設計師和計算師參考。

斯·謝聯先

目 次

原序.....	(吳克敏譯) 5
第一章 材料对靜止应力和变动应力的抵抗能力	謝联先 (С. В. Серенсен)(張直明譯) 7
載荷和应力状态的类型	7
材料对靜止应力的抵抗能力.....	12
材料对变动应力的抵抗能力.....	22
材料在不稳定应力状态下的抵抗能力.....	36
第二章 靜止应力下的強度計算	
.....施聶杰罗維奇(Р. М. Шнейдерович)(張直明譯) 42	42
零件在靜止載荷下的極限状态及強度裕度.....	42
零件在材料的塑性状态下的負荷能力.....	51
零件在材料的脆性或低塑性状态下的負荷能力.....	73
第三章 变动应力下的強度計算	(張直明譯) 79
在簡單应力状态下, 应力集中及絕對尺寸对強度的影响.....	
.....柯噶叶夫(В. П. Кораев) 79	79
在不对称循环及复合应力状态下, 应力集中对強度的影响.....	
.....柯噶叶夫 (В. П. Кораев) 98	98
表面状态及表層性質对抗疲能力的影响.....	
.....柯噶叶夫 (В. П. Кораев) 103	103
稳定的变动应力情况下的強度計算.....	
.....柯噶叶夫 (В. П. Кораев) 114	114
不稳定变动应力情况下的強度計算.....	
.....柯茲洛夫 (Л. А. Козлов) 122	122
第四章 轉軸和心軸的強度計算	(張和豪譯) 136
轉軸和心軸的靜止强度和疲乏強度的計算方法.....	
.....施聶杰罗維奇 (Р. М. Шнейдерович) 136	136
C-80 型拖拉机剷掘絞車的減速器主动軸的計算	
.....施聶杰罗維奇(Р. М. Шнейдерович) 150	150
船用蒸汽机的曲軸計算.....	柯茲洛夫 (Л. А. Козлов) 163
自动联合收割机的半軸的計算.....	柯茲洛夫(Л. А. Козлов) 182

1468421

第五章 螺栓連接的計算	
.....施聶杰羅維奇(Р. М. Шнейдерович)(張和豪譯) 187	187
螺栓的靜止強度和疲乏強度的計算方法	187
連桿蓋的連結螺栓的計算	197
壓床拉桿螺栓的計算	200
第六章 圈彈簧和其他撓性原件的計算	
.....柯茲洛夫(Л. А. Козлов)(林明邦譯) 205	205
圈彈簧的疲乏強度和靜止強度的計算方法	205
共振機構中工作彈簧的計算	211
共振式扭轉、拉伸-壓縮疲乏試驗機上的圈彈簧的計算	213
扭桿彈簧的計算	215
減震抗扭圈彈簧的計算	217
振動輸送機的平板彈簧的計算	221
第七章 旋轉圓盤的計算	
.....施聶杰羅維奇(Р. М. Шнейдерович)(林明邦譯) 225	225
旋轉圓盤的靜止強度的計算方法	225
渦輪機圓盤的計算	237
第八章 關於機器零件計算的參考資料... (華吉申譯) 244	244
金屬的機械性能..... 柯噶叶夫(В. П. Когаев) 244	244
關於零件靜止強度的計算.....	
施聶杰羅維奇和柯噶叶夫(Р. М. Шнейдерович和В. П. Когаев) 244	244
關於零件疲乏強度的計算..... 柯噶叶夫(В. П. Когаев) 251	251
表面狀態和表面加強對於零件疲乏強度的影響.....	
.....柯茲洛夫(Л. А. Козлов) 276	276
改變結構對於機器零件疲乏強度的影響	285
附录	
.....(華吉申譯) 303	303
1 截面的幾何特性	303
2 或然率理論、或然率分佈函數的基本原理	308
3 分佈情況的經驗統計和理論統計	313
参考文献	316
中俄名詞對照表	318

机 器 零 件 的 負 荷 能 力 和 强 度 計 算

謝 聯 先 主 編

全 苏 机 器 制 造 科 学 技 術 工 程 学 會 强 度 委 員 會 合 作

吳克敏、張直明、張和豪、林明邦 華中書譯

朱 城、吳克敏校

出版者的話

本書敘述了機器零件受靜止應力和變動應力時的負荷能力問題，以及許多標準機器零件（轉軸、圓盤、螺栓等）在強度上的計算。除了計算方法以外，本書中引述了關於機械性能、結構上和工藝上的因素對於強度的影響等參考資料。

本書是機器零件強度計算方面的參考書，供設計計算者和大學生閱讀。

苏联 С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Л. А. Козлов, Р. М. Шнейдерович 著 'Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность' (Машигиз 1954 年第一版)

* * *

NO. 1301

1957 年 4 月第一版 1957 年 4 月第一版第一次印刷
787×1092 $\frac{1}{32}$ 字數 271 千字 印張 10 0,001—7,000 冊
機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價(10) 1.60 元

目 次

原序	5
第一章 材料对靜止应力和变动应力的抵抗能力	7
謝联先 (С. В. Серенсен) (張直明譯)	7
載荷和应力状态的类型	7
材料对靜止应力的抵抗能力	12
材料对变动应力的抵抗能力	22
材料在不稳定应力状态下的抵抗能力	36
第二章 靜止应力下的強度計算	42
施聶杰罗維奇 (Р. М. Шнейдерович) (張直明譯)	42
零件在靜止載荷下的極限状态及强度裕度	42
零件在材料的塑性状态下的負荷能力	51
零件在材料的脆性或低塑性状态下的負荷能力	73
第三章 变动应力下的強度計算	79
(張直明譯)	79
在簡單应力状态下, 应力集中及絕對尺寸对强度的影响	79
柯噶叶夫 (В. П. Кораев)	79
在不对称循环及复合应力状态下, 应力集中对强度的影响	98
柯噶叶夫 (В. П. Кораев)	98
表面状态及表層性質对抗疲能力的影响	103
柯噶叶夫 (В. П. Кораев)	103
稳定的变动应力情况下的强度計算	114
柯噶叶夫 (В. П. Кораев)	114
不稳定变动应力情况下的强度計算	122
柯茲洛夫 (Л. А. Козлов)	122
第四章 轉軸和心軸的強度計算	136
(張和豪譯)	136
轉軸和心軸的靜止强度和疲乏强度的計算方法	136
施聶杰罗維奇 (Р. М. Шнейдерович)	136
C-80 型拖拉机剷掘絞車的減速器主动軸的計算	150
施聶杰罗維奇 (Р. М. Шнейдерович)	150
船用蒸汽机的曲軸計算	163
柯茲洛夫 (Л. А. Козлов)	163
自动联合收割机的半軸的計算	182
柯茲洛夫 (Л. А. Козлов)	182

1468421

第五章 螺栓連接的計算	
.....施聶杰羅維奇(Р. М. Шнейдерович)(張和豪譯) 187	187
螺栓的靜止強度和疲乏強度的計算方法	187
連桿蓋的連結螺栓的計算	197
壓床拉桿螺栓的計算	200
第六章 圈彈簧和其他撓性原件的計算	
.....柯茲洛夫(Л. А. Козлов)(林明邦譯) 205	205
圈彈簧的疲乏強度和靜止強度的計算方法	205
共振機構中工作彈簧的計算	211
共振式扭轉、拉伸-壓縮疲乏試驗機上的圈彈簧的計算	213
扭桿彈簧的計算	215
減震抗扭圈彈簧的計算	217
振動輸送機的平板彈簧的計算	221
第七章 旋轉圓盤的計算	
.....施聶杰羅維奇(Р. М. Шнейдерович)(林明邦譯) 225	225
旋轉圓盤的靜止強度的計算方法	225
渦輪機圓盤的計算	237
第八章 關於機器零件計算的參考資料... (華吉申譯) 244	244
金屬的機械性能..... 柯噶叶夫(В. П. Когаев) 244	244
關於零件靜止強度的計算.....	
施聶杰羅維奇和柯噶叶夫(Р. М. Шнейдерович和В. П. Когаев) 244	244
關於零件疲乏強度的計算..... 柯噶叶夫(В. П. Когаев) 251	251
表面狀態和表面加強對於零件疲乏強度的影響.....	
.....柯茲洛夫(Л. А. Козлов) 276	276
改變結構對於機器零件疲乏強度的影響	285
附录	(華吉申譯) 303
1 截面的幾何特性	303
2 或然率理論、或然率分佈函數的基本原理	308
3 分佈情況的經驗統計和理論統計	313
参考文献	316
中俄名詞對照表	318

原 序

为了提高零件的强度和力求減輕零件的重量，为了能採用具有新的机械性能的材料以及能利用对零件性質有重大影响的工艺过程，就必须改进强度計算的方法。强度計算方法的改进，主要在於能更广泛地运用關於零件在靜止載荷和动力載荷下的負荷能力的最新概念。

在靜止应力下，零件的强度，一方面与塑性变形对应力分佈的影响有关；另一方面，在許多情形中，也为載荷引起的位移所限制。运用塑性理論的方法，可以决定零件所能承受的極限載荷（考慮到超出彈性極限后变形和应力的重新分佈），还可以計算相应的位移。从按照条件性的許用应力計算在彈性極限以內的强度，改为按極限載荷計算强度，这一轉变可以反映出零件由於塑性变形的效应而具有的实际負荷能力。同时，載荷引起的位移，也限制了零件能承受的載荷，这在選擇零件应有的尺寸时也很重要。这样，除了要計算零件的强度外，还要計算零件在彈性区域的剛度和彈塑性区域的剛度。

在变动应力下，零件的强度与許多因素的影响都有密切的关系：应力集中，絕對尺寸，表面層的状态，影响表面状态的周圍介質，以及許多其他的結構因素、工艺因素和運轉因素。利用關於应力在零件中实际分佈狀況的数据，运用關於零件疲乏破坏条件的最新概念（联系到表面層的应力状态的类型和表面層的机械性能），並应用關於在非稳态变动应力作用下的疲乏的研究結果，就可以近似計算零件的实际負荷能力。这种計算能反映出零件抵抗疲乏的最主要因素，使我們可以用各种結構方法和工艺方法来提高零件的負荷能力。

本書說明机器零件在靜止应力和变动应力下的負荷能力的确定方法，並根据負荷能力的特性來計算零件的强度。这些方法的应用，用一些實踐中常碰到的、典型的机器零件的計算实例來說明：

直軸和曲軸的計算；渦輪機的高薄速圓盤的計算；螺栓的計算；彈簧的計算。

這些方法也可以用來計算其他型式的機器零件。

本書的材料由作者和全蘇機器製造科學技術工程學會（ВНИИ-ТОМАШ）強度委員會合作收集編成。

本書供機器製造工作者——設計師和計算師參考。

斯·謝聯先

第一章 材料对靜止应力和 变动应力的抵抗能力

載荷和应力状态的类型

在作用到机器零件上的力的影响下，零件中發生变形和应力。我們可以用材料力学、彈性理論、塑性理論的方法，以及依靠試驗，来确定零件各个截面中的內力、应力和位移。根据零件的形狀和加置載荷的条件，在零件中可以發生各种不同的应力状态，通常可由主应力的大小和方向及其随時間而变化的情况来表征。在許多情况中，以作用在横截面上的应力来表征应力状态，更为方便，例如以由於弯曲而發生的法向应力和由於扭轉或横剪力而發生的切向应力来表征应力状态。确定零件中的应力状态的計算法和試驗法，在相应的教本、手册、参考書〔39〕中都有敘述。計算零件时，适当地选择計算載荷和研究决定着零件强度的应力状态，是很重要的。因此，在若干情况中，必須綜合研究零件所可能受到的数种不同的載荷、和相应的应力状态。所以在选择零件上的計算載荷时，可能要考慮机器的数种工作情况，例如：始动、正常工作、可能有的長期或短期过载、制动、与振动状态有关的一些情况、通过共振等。

由於工作情况的不同，作用在零件上的力及与之相应的应力，可具有各种不同的数值和随時間而变化的特性。

如果力和应力長期地作用在零件上，並且在加載期間和卸載期間改变得很緩慢，这种力和应力就是靜止力和靜止应力。可以归入这一种載荷和应力的，有零件的自重、离心力、靜水压力、安裝时的扣紧力，等等。靜止載荷可以是固定地作用的（重量）、和暫時加上去的（例如轉动慣性力的影响、液体或气体的压力）。

靜止載荷在零件中不仅可能引起靜止应力，还可能引起随時間而变动的应力。例如：当軸在方向不变的載荷作用下轉动时，軸中

發生随時間而作周期变化的应力。当負有靜止載荷的滾動軸承轉動時，滾珠和內外圈也都受到随時間而变动的应力。

当机件作往复运动时，發生重复的、周期变化的載荷，例如：在活塞式机器中，气体或液体的压力和机件的慣性力就要引起这种載荷。由於彈性振动、反复冲动的作用（蒸汽机活塞桿、鏈）和其他的周期性作用，也要發生重复的載荷。这种載荷所引起的应力，随着時間按照一定的循环而作周期的变化。重复載荷也可以由於偶然的作用而發生。在这种情况下，它是由統計的規律性来表征的，例如由变动应力的幅度大小的重复性曲線来表征。这种应力情况，是列車、汽車、拖拉机等自駛結構的行駛部分的零件以及許多工艺用途的机器所特有的。

在若干情况中，作用在零件上的力，由於陡震、冲击、压力急剧增高等，而随着時間很快地增大。这种力称为短期作用的力，或冲击力。作为这种力和从而發生的应力的特性，不仅其最大值很是重要，其随時間而增大的速度也很重要。

显然，在机器的許多工作情況中，可以有各种不同情况的載荷和应力同时作用。随時間而变动的应力常常与靜止应力同时作用，短期作用的应力常常周期地与連續作用的变动应力相复合，等等。

应力状态的种类，決定於零件的結構和載荷加置到零件上的条件。下面列举若干与一定的应力状态类型相应的載荷情况。截面不变或改变很緩的桿件受拉伸、壓縮、弯曲时，只有一个主应力是不等於零的，这种应力状态称为線应力状态或單軸向应力状态。在受橫向力弯曲的弯梁和直梁中，在有应力集中而其程度不很严重之处，發生接近線应力状态的应力状态。在受扭轉的桿件中，在有压力时的薄壁容器的壁中，在同时受拉伸和扭轉的梁中，和在严重应力集中处不受外載荷的表面中，發生所謂平面或双軸向应力状态的应力状态；这时候，三主应力之一等於零。

在很高的內压力下的厚壁容器中、在表面接触处和在零件与軸的压入配合处，發生由三个主应力来表征的应力状态，称为立体或三軸向应力状态。

应力分佈的不均匀性，与零件的形状和受載条件有关。例如：在弯曲时，弯梁的曲率愈大，則截面上的应力分佈愈不均匀。

在螺旋彈簧中，鋼絲直徑对簧圈直徑之比愈大、螺旋線导角愈大，則由於扭轉和剪切而發生的切向应力沿半徑方向的分佈也愈不均匀。

零件的一部分到另一部分間的过渡和軸線方向的改变，也是增加应力分佈不均匀性的原因。例如：在曲軸的軸頸与曲臂連接的地方，应力發生严重的重新分佈，而使凹角处的应力增大。連桿的耳環、齒輪的齿和輪緣等結構，也与应力分佈的不均匀性有关。

在表面有很大畸曲度的地方發生应力集中时，应力分佈的不均匀性最为严重。这时候，应力在截面上数值最大的部分内剧烈改变，而使極小范围内的应力增大。不仅应力的最大值對於应力集中处的强度很重要，应力在截面上变化的梯度也很重要。

应用材料力学、彈性理論和应力的試驗研究等方法，可以确定机器零件中应力的数值和分佈〔6〕、〔18〕、〔26〕、〔33〕、〔39〕、〔40〕、〔54〕。

圖1表示矩形截面的平直梁中的应力分佈（拉伸时如圖1a，弯曲时如圖1б）。

在前一种情况（拉伸）中，应力在截面上均匀分佈；在后一种情况（弯曲）中，应力不均匀分佈。

取函数 $\sigma = f(x)$ （在选用如圖1的坐标系时）作为应力分佈不均匀性的特性。

在前一种情况中，这函数是

$$\sigma = \text{常数} = \sigma_p。$$

在后一种情况中，这函数是

$$\sigma = \sigma_u \frac{2x}{h}。$$

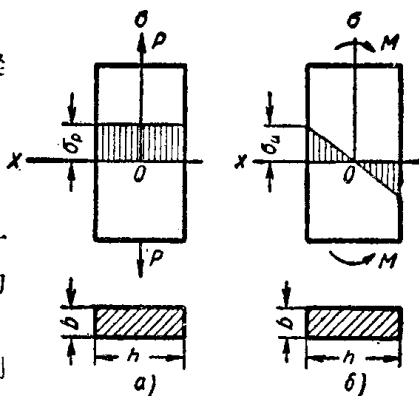


圖1 矩形截面梁中的应力分佈：
a—拉伸情况；б—弯曲情况。

在截面中某一点上算出的应力分佈函数对坐标的导数 $\frac{d\sigma}{dz}$ ，为这一点上的应力梯度，表征应力随截面坐标而改变的速度。

表明的应力梯度，在上述两种情况中为：

$$\left. \frac{d\sigma}{dx} \right|_{x=\frac{h}{2}} = 0 \text{——拉伸时；}$$

$$\left. \frac{d\sigma}{dx} \right|_{x=\frac{h}{2}} = \frac{2\sigma_u}{h} \text{——弯曲时。}$$

梁的高度 h 愈大，弯曲时的应力梯度就愈小。

拉伸时的应力梯度等於零。

如果不是直梁而是弯梁，则应力分佈的不均匀性更为严重。圖2表示矩形截面的弯梁中的应力分佈

由材料力学可知，弯梁中的应力的大小为

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{M}{S} \times \frac{z}{r+z},$$

式中 S 横截面對於中和軸線的靜矩；

z ——截面上的一点對於中和軸線的坐标。

算出內半徑上 A 点处的应力梯度为：

$$\left. \frac{d\sigma}{dz} \right|_{z=-h_1} = \frac{M}{S} \times \frac{(r+z)-z}{(r+z)^2} = \frac{Mr}{Sp^2}.$$

由上式可知，曲率半徑 r 愈小，則应力梯度愈大。現在把按照弯梁公式算出的 A 点上的应力与同一情况下按照直梁弯曲公式算出的应力

$$\sigma' = \frac{M}{W}$$

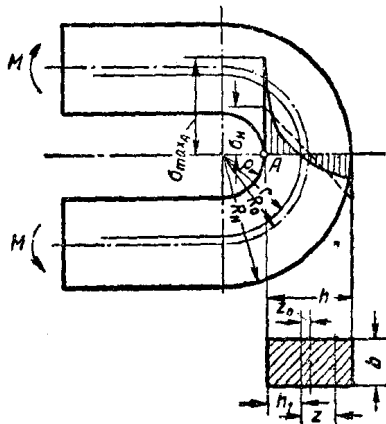


圖2 矩形截面弯梁中的应力分佈。