

# 机器合理設計 原理

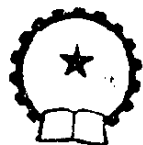
卡 尔 塔 沃 夫 著

机械工業出版社

# 机 器 合 理 設 計 原 理

卡 尔 塔 沃 夫 著

王 步 瀛 譯



机 械 工 業 出 版 社

1 9 5 7

0008313

## 出版者的話

本書研究对机器的要求，提出了根据技术和經濟因素的机器設計的一般順序，並且敘述在設計过程中必須考虑的降低机器重量和成本的方法。

本書供机器制造工厂和設計机关的設計師参考，同时，对高等学校和中等技术学校的教师和学生也是适用的。

苏联 С. А. Картавов 著 ‘Основы рационального проектирования машин’ (Гостехиздат СССР Киев 1954 年初版)

\*

\*

\*

NO. 1263

---

1957 年 3 月第一版    1957 年 3 月第一版第一次印刷

787×1092<sup>1/32</sup> 字数 206 千字 印張 10<sup>1/8</sup> 0,001—2,000 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷    新华書店發行

---

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号    定价(10) 1.60 元

# 目 次

|          |   |
|----------|---|
| 前言 ..... | 7 |
|----------|---|

## 对机器的要求

|            |    |
|------------|----|
| 使用要求 ..... | 10 |
|------------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| 机器与目的用途的适应 ..... | 10 |
|------------------|----|

|                |    |
|----------------|----|
| 机器的使用可靠性 ..... | 11 |
|----------------|----|

|                |    |
|----------------|----|
| 机器的强度与刚度 ..... | 11 |
|----------------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| 机器的耐磨性与持久性 ..... | 17 |
|------------------|----|

|                        |    |
|------------------------|----|
| 防止机器和它的各个部分承受过负荷 ..... | 22 |
|------------------------|----|

|            |    |
|------------|----|
| 社会要求 ..... | 23 |
|------------|----|

|            |    |
|------------|----|
| 经济要求 ..... | 24 |
|------------|----|

|             |    |
|-------------|----|
| 机器的效率 ..... | 24 |
|-------------|----|

|             |    |
|-------------|----|
| 使用经济性 ..... | 29 |
|-------------|----|

|               |    |
|---------------|----|
| 机器的制造成本 ..... | 32 |
|---------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| 机器成本与各种因素间的关系 ..... | 45 |
|---------------------|----|

        成本与出产量间的关系(45)——设计价值对机器成本的影响

        (47)——生产准备的价值对机器成本的影响(51)

|            |    |
|------------|----|
| 工艺要求 ..... | 53 |
|------------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| 减少机器的装配劳动量 ..... | 54 |
|------------------|----|

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 机器便于拆卸、运输、安装和修理 ..... | 61 |
|-----------------------|----|

|            |    |
|------------|----|
| 生产要求 ..... | 61 |
|------------|----|

## 设计机器时的技术—经济见解

|            |    |
|------------|----|
| 一般见解 ..... | 63 |
|------------|----|

|                 |    |
|-----------------|----|
| 设计机器的一般顺序 ..... | 65 |
|-----------------|----|

|                 |    |
|-----------------|----|
| 决定机器的目的用途 ..... | 68 |
|-----------------|----|

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 拟定机器的运动或原則草圖 .....                                                                    | 73  |
| 机器的力的計算 .....                                                                         | 80  |
| 决定机器的功率 .....                                                                         | 81  |
| 决定作用在机构中的力和各个零件上的負荷 .....                                                             | 85  |
| 零件材料的选择及其尺寸的初步計算 .....                                                                | 91  |
| 机器的預先配置 .....                                                                         | 109 |
| 总配置 .....                                                                             | 109 |
| 分解結構为部件 .....                                                                         | 123 |
| 机器的設計重量和設計成本 .....                                                                    | 129 |
| 設計重量 .....                                                                            | 130 |
| 設計成本 .....                                                                            | 138 |
| 决定机器在使用时的經濟有效性 .....                                                                  | 142 |
| 設計部件的总圖 .....                                                                         | 147 |
| 計算机器和部件的尺寸鍊 .....                                                                     | 159 |
| 拟定机器上独特零件的工作圖 .....                                                                   | 162 |
| 零件的制造劳动量与其結構間的关系 .....                                                                | 167 |
| 制造劳动量与加工精度和光潔度間的关系 .....                                                              | 171 |
| 制造劳动量与出产量間的关系 .....                                                                   | 176 |
| 拟定零件工作圖时的技术-經濟見解 .....                                                                | 183 |
| 一般見解 .....                                                                            | 183 |
| 降低由鑄造毛坯制造的零件的成本和重量 .....                                                              | 185 |
| 降低由冲压毛坯制造的零件的成本和重量 .....                                                              | 207 |
| 降低由軋制型材制造的零件的成本和重量 .....                                                              | 219 |
| 以較便宜的材料代替昂貴的材料 .....                                                                  | 227 |
| 考虑到先进的毛坯制造方法来設計零件 .....                                                               | 232 |
| 冷模鑄造(232)——离心鑄造(235)——压力鑄造(241)——用熔<br>化鑄型的精密鑄造(243)——多孔热压粉末金屬的零件(244)——<br>塑料零件(246) |     |
| 採用先进的热处理方法 .....                                                                      | 247 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 应用新式的强化加工的方法 ..... | 250 |
| 降低机械車間的制造成本 .....  | 251 |
| 工作圖的工艺檢驗 .....     | 255 |
| 工作圖的标准化檢驗 .....    | 256 |
| 繪制部件的檢驗-装配圖 .....  | 259 |
| 部件圖的标准化檢驗 .....    | 259 |
| 确定机器的总圖 .....      | 261 |

### 結構的改良(改装)

|                  |     |
|------------------|-----|
| 結構改良的一般任务 .....  | 263 |
| 降低机器的重量和成本 ..... | 270 |

### 結構的工艺性和机器零件的工艺性

|                |     |
|----------------|-----|
| 結構的工艺性 .....   | 274 |
| 机器零件的工艺性 ..... | 280 |

### 机器合理設計的几个組織問題

|               |     |
|---------------|-----|
| 結論 .....      | 284 |
| 参考文献 .....    | 289 |
| 附录 .....      | 293 |
| 中俄名詞对照表 ..... | 318 |



## 前 言

苏联共产党第十九次代表大会关于 1951~1955 年发展国民经济的第五个五年计划的决议，给机器制造者提出了为工业、农业、运输业及国民经济其他部门设计和制造高生产率机器的新任务。

如大家所知，作为机器设计基础的有以下几门课程：理论力学，机械原理，材料力学，机械零件，机械制造工艺学，生产经济。可是，在设计机器时，设计工程师并不是常常能够综合地考虑对现代机器的设计总图和结构形状有影响的各種經濟的、生产的和使用的因素。在有关机器设计的手册和單行本著作中，对设计机器的步骤，总布置图以及对设计和創造新机器的整个过程有影响的各个因素間的相互关系，都还注意得不够。

請讀者予以注意的这本书就是弥补这个空白的尝试。作者并不想在本书中創立关于设计机器的無所不包的指导原则，因为，在本問題的广泛性和现代机器的極端多样性的条件下，以这本书的分量是不可能完成这个任务的。

本书不再重复机器设计的主要著作中已有的东西，根据我国机器制造的經驗，列举设计机器的主要阶段，注意与设计机器有关的最重要的經濟和生产工艺問題，並且也考虑到更全面地把苏联机器制造者的經驗用在創造新的现代机器的事業中去的必要性。

本书应用了我国各科学研究院，设计机关，各部出版机关已經發表的材料和其他文献来源中的材料。



这些材料中的一部分还很少被广大的設計工程師們知道，按照作者的意見，这些在設計机器时都是有用途的。

对本書的批評和意見請寄至：基輔克拉斯諾阿尔灭斯卡亞街 11 号烏克蘭国立技术書籍出版社（Киев, ул. Красноармейская, 11, Гостехиздат УССР）。

## 对机器的要求

綜合地滿足了使用、社会、經濟、工艺和生产要求的机器可以称为合理設計的机器。

使用、社会和經濟要求的綜合应当認為是主要的；工艺和生产要求的綜合是从屬於主要要求的。这是根据社会主义的基本經濟法則而得出的結論。

誠然，为国民經濟出產的每一部机器，都直接或間接地为滿足我国人民不断增長的物質和文化需要而服务。它的質量只是在使用时才表現出来，所以在設計时，应当首先解决与使用任务和使用要求有关的一些問題。从另一方面來講，最完善的机器也是由人来照管。在社会主义社会中，人和人的要求佔第一位。应当給人創造出最好的劳动条件。因之，設計机器时应当保證安全和良好的劳动条件。除此以外，人們的劳动应当尽可能地減輕，並且最合理地用於社会主义社会的利益。

在生产中採用完善的，能够保證最少地耗費社会劳动的机器，就可以促进这一点。

因之，在設計机器时，除了滿足使用要求之外，还应当滿足社会要求。

对机器結構的所有工艺和生产要求都是为了滿足使用、社会和經濟要求。所以，虽然这些要求对設計和生产机器的过程是非常重要的，它們还应当看作是从屬於由社会主义的基本經濟法則而决定的主要要求。

所有对机器的要求应当在設計机器时共同地加以研究，

以便找出有利於国民經济整体的最合适方案。

我們簡略地研究一下在設計時应当注意的对机器的一般和主要要求的意义。

## 使 用 要 求

### 机器与目的用途的适应

完成一定职能的每部机器都應該減輕和节省工人的劳动，並提高他的劳动生产率。

同时也应当滿足机器的最低价值和高度使用經濟性的經濟要求。显然，設計机器要使它能夠准确地完成既定的工艺职能或者發生既定的功率。机器中不应当有無用的或很少应用的機構。

所以，机器的用途和它的职能所完成的工作分量应当在設計开始时根据所有对机器的要求和它的經濟有效性的計算，以最大可能的精确度来决定。

可是，設計机器时並不总是考虑到这些問題的。例如，設計某一种棒料自动机床时，加工零件的長度考虑得過長，这就要使刀具的行程和刀架加長，这样会使机器尺寸增加並使机器加重。其实，这种机器的使用經驗表示：在这部机器上几乎沒有加工过原先設計那么長的零件。因之，並沒有全部利用加工范围，在使用中証明了制造这个過於沈重的机器时所用的費用是白費了。

巴拉克欣 (Б. С. Балакшин) 和达委陀夫斯基 (А. С. Давыдовский) 援引了另一个例子 [75]。曾經設計並制造了一种加工無綫电真空管接头的半自动机床。这个机床的劳动生

产率和用手工来加工接头是一样的，並且，工人在工作时完全忙於机器上。

因此，設計和制造机器时的大笔費用並沒有收到任何效果。

### 机器的使用可靠性

机器应当在一个持久的時間內完成自己的职能。这只有在当它工作时不發生停車、不發生毛病和事故等等条件下才有可能达到这个要求。因之，对机器的第二个要求就是它的使用可靠性。

机器的使用可靠性与当設計时在多大程度上正确地解决了机器的强度、剛度和耐磨性，而在某些情形下解决了振动稳定性的問題是有关系的。

### 机器的强度与剛度

机器的强度是由它在各个环节不破坏也不發生不容許的殘余变形和磨損的条件下，抵抗每个环节中作用的負荷的能力來說明。

因之，机器的强度決定於各个零件的强度。

零件的强度是由其受力时零件材料中产生的应力來說明。此应力应当不大於在既定作用負荷和負荷作用的一定性質条件下的許用应力。

根据对机器的要求而进行的机器零件强度計算方法在材料力学和机械零件等教科書中已經敘述得很充分了〔21〕，〔4〕，〔94〕。所以，此处只研究本問題中与設計机器的一般方法有关的部分。

因为各个零件的强度决定整个机器的强度，因此，这个要求的意义是不需要任何的証明的。但是，对設計工程师来講，在开始設計的第一步中非常重要的問題就是：机器中某一个零件的强度到底应当是怎样的。

在任何机器中都有处於負荷下而其材料在工作时承受很大应力的零件（轉軸、心軸、樑架、槓桿、底座）和並不支持多大負荷或者簡直不受任何負荷的零件（某几种盖子、外罩、中間环等）。

因之，必須一下子决定出結構中受力和不受力的零件。

因为受力零件的尺寸是按照作用負荷来計算的，所以，在大多数情形下可以决定零件在使用时所处的应力状态（拉伸、压縮、弯曲、扭轉等）和零件不同截面上的应力。

大家知道，机器零件的强度計算归結为求强度裕量  $n$ （安全系数），可以由下式求出：

$$n = \frac{P_p}{P}, \text{ 或者 } n = \frac{\sigma_p}{\sigma},$$

式中  $P_p$ ——破坏負荷；

$P$ ——作用力；

$\sigma_p$ ——表示材料机械性質的应力。 $\sigma_p$ 可以採用  $\sigma_s$ ——屈服極限， $\sigma_b$ ——强度極限， $\sigma_r$ ——疲劳極限；

$\sigma$ ——作用在零件危險截面上的应力。

强度計算也可以按照許用应力  $R$  来进行。在此数值中已預決了一定的安全系数。

在此条件下强度条件表示如下

$$\sigma_H \leq R,$$

式中  $\sigma_H$ ——名义应力，其数值可按应力状态的类型計算为轉化应力。

在每一种具体情形下应当根据假定的使用条件，並在全面地考虑了許多因素的基础上来選擇安全系数。显然，毫無根据地加大安全系数只会使机器加重，使材料的消耗增加和使机器价值昂貴。

現在暫時还没有一个用計算方法确定安全系数的一定方法，可是，在我們現有的書籍中有許多有根据的推荐方法，把这些方法介紹給讀者 [94]，[44]，[43]，[53]。

此处只能指出：总安全系数的数值在不同的条件下在很大的範圍內变动，大約由 1.3 到 6。只是對於用高質量而均匀的，其机械性質經過仔細檢驗的材料，並且有關於作用負荷足够精确的数据，在高度的生产工艺水平下制造出来，並在高度的机器使用水平的条件下的机器零件才能採用較小的数值。

對於按照生产条件來說其机械性質具有較大的不均匀性的零件，對於不知道作用於其上的負荷精确数值的零件，和由於外形复杂而不能进行令人滿意的計算的零件，应当採用較大的数值 [64]。

如果进行計算时沒有考虑作用力的性質（靜的，变化的，冲击的）、应力狀態的类型、应力集中、零件的絕對尺寸、零件的表面質量与狀態和沒有考虑相应於工作条件的金屬强度特性，那么，安全系数数值用 10 到 15。根据这个安全系数值（10~15）与以上所說的数值（1.3~6）相比，可以看出：根据全面地考虑了使用过程中有作用的各种因素，和根据精确地掌握了材料性質与材料在不同負荷条件下的特性，而进行的机器零件精确計算对節約金屬来講該有如何巨大的意义。

所以，应当把对强度有影响的各个因素的系数相乘來計

算安全系数，認為是最正确的方法。在上述的参考文献中，例举了根据实际經驗和強度的試驗研究資料来選擇这些系数的原則。

通常設計工程师总是尽量地用計算方法仔細地計算受力零件的尺寸，因为在現代的材料力学知識水平的条件下，这是办得到的事情。但是，常常对受力很小或者不受力零件的巨大安全系数很少注意。結果，毫無根据地加重了不受力零件，在制造很多机器时过分多地耗費材料，並使机器昂貴。

可是，不受力零件不总是都有过多的重量。在某些情形下，当决定零件尺寸的时候，应当注意零件的剛度或系統的剛度。例如，金屬切削机床机座中的应力要比極限值小得很多，通常不超过数十公斤/公分<sup>2</sup>，但机座的尺寸正是由剛度决定。机器的剛度是由机器工作时个别部件或零件在負荷作用下产生的变形或位移来表明的。

因此，如果談到零件或部件的剛度，总是指在一定方向作用的一定負荷下底容許位移而言。對於在很大負荷下工作的加工机器，例如，對於金屬切削机床，剛度具有很大的意义。可以研究一下轉化到某一个环节上的系統总和剛度，个别部件和环节的剛度及个别零件的剛度。

根据机器的工作条件和用途以及經濟見解，可以对剛度提出不同的要求。

例如，在原动机中为了防止支承和軸發生不应有的变形和由变形而产生振动起見，对軸的支承結構提出了很高的剛度要求。

大多数金屬切削机床为了达到零件必需的加工精度和为了抵制切削过程中产生的振动，应当具有足够的剛度。从另

一方面看，在許多情形下，依靠增加零件或系統的剛度就可以滿足減輕機器重量的要求。

由材料力學得知：增添附加的系桿（支承，夾持點），減小伸距和跨距就可以大大地提高結構的剛度，因此就可能減輕個別零件或整個結構的重量。

為了正確地解決剛度問題，設計機器時必須知道系統的總和剛度以及反映了系統組成部分的剛度的剛度平衡。

剛度平衡可以找出對整個系統的工作能力起負作用的剛度較低的環節。個別構件對機器總和剛度的影響可以按照平衡各個構件在一定負荷作用下的位移的方法來決定。

按照辛傑葉夫（В. А. Синдеев）的數據〔66〕在表1中表示3Г12型磨床各部分當70公斤負荷作用於工作長度中點時測得的位移平衡。

表1 3Г12 型磨床各個部分的位移平衡

| 部 件 變 形 的 性 質   | 轉化到切削處的<br>位移(百分數) |
|-----------------|--------------------|
| 機座的彎曲和扭轉        | 1                  |
| 機床台面的轉動和移位      | 2.5                |
| 砂輪座的移位          | 17                 |
| 砂輪主軸的彎曲和支承的變形   | 31                 |
| 工件主軸的彎曲和支承的變形   | 19                 |
| 前頂尖的移位          | 5.5                |
| 後頂尖套筒和後頂尖的彎曲和移位 | 13                 |
| 工件在頂尖上的移位       | 11                 |

由此表看出，用位移平衡的方法一下子就可以找出剛度最小的部件。

並不總是能夠用計算方法來決定系統或各個部件的剛



度。在大多数情形下設計工程師必須根据由实验求得同类机器的剛度数值暂时假定。

現在已經积累了足够的关于大多数种类金屬切削机床的位移平衡和总和剛度的資料。对于其他种类的机器几乎没有这种資料。然而，現有的关于金屬切削机床的剛度資料已經可以使設計工程師在相似的受力条件和部件結構的条件下，大致地估計所設計机器各个部件的位移和剛度。

在沃欽諾夫 (К.В. Вотинов)[16]，烈歇托夫 (Д. Н. Решетов) [59]，叶尼凱叶夫 (Х.М. Еникеев)[24]，斯科拉岡 (В. А. Скраган)[67] 等人的著作中对于金屬切削机床的剛度問題有極詳盡的敘述。

增加系統或个别部件剛度的各种方法可能使机器的劳动量和重量增加，也可能使它們降低。提高接触剛度的必要性要使提高接触表面加工光潔度的費用增加。

制造剛性的整体鑄造結構，要增加鑄造費用和它的加工量。

为了提高零件本身的剛度，用增添相当的附加支承和支架的方法来减小弯矩和扭矩的力臂，也要增加系統的成本。相反地，用以下表示的能够很好地抵抗弯曲和扭轉的橫截面零件会減輕結構的重量和降低机器的成本。

大家知道，增大系統或个别部件的剛度可以大大地提高机器的振动稳定性。

設計工程師的任务在於在最小重量和机器最低的制造成本条件下，找出能够使机器所有部分达到必須和足够的强度、足够的剛度和振动稳定性的最适当的解决办法。