

同濟大學

機械另件講義

建築機械教研組

1957—上海

机械另

緒論

机械製造和設計已經有兩千年

勞

動人民早就使用了槓桿和絞盤（桔槔和轆轤）等簡單的工具來取水灌溉，使用獸力拖動的車輛來運輸貨物和乘客，也使用了簡單的起重機械來修建宮殿、廟宇和其他大的建築物。古代希臘、羅馬和埃及在修建金字塔和其他大建築物的時候，也曾利用了槓桿、楔、絞車和齒輪等簡單的機械和另件。自然，當時所使用的簡單機械主要祇是為了滿足農業生產、建築工程和運輸業的需要，機器製造業還不曾發展為獨立的生產部門。

到了十九世紀中葉，便有了最初的關於機器計測和設計的科学，這門科学包括了整個機器製造業，並綜合了幾門近代課程，如理論力学；材料力学，机械另件，機器製造工藝学，起重機，蒸汽機，內燃機等，總稱為机械学或机械構造学，到後來才分成各種不同的課程。

從机械学分出來的机械另件学，是一門很年青的科学。它以近代所叙述的方式出現，称起來僅有七十多年的歷史。

在俄國，第一部名為“机械另件”的教程是1881年由基尔比切夫（В. Л. Кирпичев）教授所寫成的，其後許多俄國及苏联学者和工程技術人員在這一方面都有卓越的成就。例如虎加可夫（П. К. Худяков, 1857—1936）教授就是机械另件学的奠基者之一，他首先作出了詳細的机械另件量表，因而提高了設計水平。被列寧稱為“俄羅斯航空之父”的茹可夫斯基（Н. Е. Жуковский, 1847—1921）教授，首先對螺帽中各圈螺紋的載荷分佈作了分析，並用實驗的方法研究皮帶傳動中的滑動問題，雖則他的主要成就是航空

学理论基础的研究上；彼得罗夫（Н. П. Петров, 1836-1920）院士是摩擦与润滑的流体力学理论的创作者，技术科学博士彼得鲁维奇（А. И. Петрусович）论证了齿轮传动中表面强度的计算，保米亚诺夫（М. Н. Демьянов）教授和额吉亚尔教授在皮带传动的研究方面，继承了俄国科学院院士欧拉（Л. Эйлер）和茹可夫斯基的工作，使皮带传动的理论有了进一步的發展。

现代苏联学者在机械零件学方面也有许多辉煌的成就，其中如斯大林獎金获得者，技术科学博士薩維林教授（М. А. Саверин, 1891-1952），多布羅窩利斯基教授（В. А. Добровольский），查美茲基教授（Н. Н. Замыцкий）等。對於机械零件学的研究，特別是對於机械零件課程的講授，教材的編纂，及課程設計的領導工作上更具有顯著的成績。

必需指出，苏联在机械零件学方面的研究与其他科学技术部门一样，是具有先进科学思想性的，苏联科学家不但創立了若干基本的科学原理，而且也修正了许多外國的陈舊的技术規範和錯誤的片面性的理論，例如高速皮带的应用（皮带速度大於100米/秒），以事实証明某些外國理論家的錯誤，他们一向認為皮带传动的速度不可能超过50米/秒。此外，如關於軸的扭轉角的容許極限，齒輪的表面強度，液体摩擦的流体力学理論諸問題的論証中，都說明苏联科学家的共同特点，即勇於打破舊的保守的成規，而創造出新的合乎客观实践的理論与方法。

苏联技术科学的进步也建築在生產者与科学家創造性合作的基礎上。苏联許多先進工廠在製造出頭等質量的机械的同時，也解決了在机械設計及計算方面的若干重要問題。

目前，苏联正在進行共產主義大規模的經濟建設，在苏

联机器制造业前面提出了新的重大任务，苏联第五个五年计划中，世界上最宏大的古比雪夫水电站及其他工程的建设，在建筑工程中就要利用到各式各样庞大的新式机器，如步行式挖土机，强力吸泥机，铺土机等，这些现代化的机械装备都要机械制造业及时供应。其次，新型水电站要求形体不大而动力更大的水力电站，因此必需增加发电机的转速，因而引起一系列的关于金属强度、润滑与散热、机械加工等方面的复杂问题以及这种发电机的支承部份（垂直止性轴承）的结构问题，这些问题就要靠专门家来解决，特别是需要机械设计师来解决。古比雪夫水电站已於最近开始发电，从这个发电能力为二百一十万千瓦的水电站的建设，可以看到共產主義经济建设的规模宏大，以及机器制造业在建设中所起的作用。

我国古代劳动人民在机械工艺和製造方面很早就有了辉煌的贡献，比如金属的冶炼，青铜轴承的使用，齿轮及轴系的具体应用等，都远较西方各国为早，可是这些技术发明並沒有得到发展。就是在解放以前，我国还是没有独立的机器制造业，舊中国的机器工业仅有装配修理的能力，工厂出品规格混乱，质量不高。因为沒有重工业，所以不能生产主要的大型机械設備，也不能生产小型的精密机件，那时候的机器工业是典型的半殖民地性质的机器工业。

然而，在解放後短短的几年中，在党和毛主席的正确领导下，加上苏联和其他人民民主国家的无私帮助，更由於全体劳动人民的积极工作，经过三年的恢复时期，我国已於1953年开始了伟大的发展国民经济的第一个五年计划。

我国第一个五年计划中，机器製造工业佔着很重要的地位，其中和土建工程关系較大的如汽車、机車和拖拉机製造

廠的修建，對建築工程機械化將起着很大的推動作用，又如建築材料工業中，水泥工廠和混凝土工廠等的建造，也都要求機器製造業供給各種裝備。

最近我國已基本上完成了農業和手工業合作化以及資本主義工商業的社會主義改造，開始進入社會主義社會。今後工業發展的速度將更加提高，為各種工業服務的機器製造業當然要負擔更重的任務。因為，包括建築工業在內的國民經濟各部門都要廣泛應用機器，只有使用更多更好的機器，才能夠提高勞動生產率，提高生產水平，才能夠減輕工人的體力勞動，才能夠提早建成社會主義並向共產主義過渡。

現代機器製造業的特徵是新機器的更大的動力，更高的速度和高度的效率，新機器應當是生產率高，操縱簡單，工作壽命長，並能完全滿足安全技術的要求。機器中需要採用標準的另件及部件，要節省金屬，特別是有色金屬和稀有的合金，要降低安全係數並採用互換性的另件，這樣就可以減輕裝配工作，並採用流水作業生產及大量生產的先進方法。

機器都是由另件組成的，這些另件互相聯結或作相對運動，機械另件一般可以分為兩大類型：有些另件我們稱為普通另件或標準另件，如螺釘、軸和齒輪等，它們可以用在不同型式的機器上；而另一種另件，如曲軸、汽輪機葉片等，則僅適合一定型式的機器使用的特殊另件。

在機械另件課程中只研究普通另件。

土木建築工程各部門中都要運用各種建築機械，如各種起重運輸機械，修築鐵路及公路用的築路機械，給水排水工程中的抽水機，供熱與通風用的熱力發動機和泵與通風機等。因此，機械另件這一門課程，作為一門技術基礎課，就是教、理、理論力學、材料力學等基礎課與建築機械、築路機械等專業課之間的橋樑。

第一篇

第一章 總論

§ 1 保證機器及零件構造合理性的條件

整部機器及其組成部份——零件及部件，都应当滿足下列要求：

1) 強度 這是對機器及其零件的基本要求，零件必須有足夠的強度才能夠保證不致損壞或產生過度的殘餘變形而影響機器的正常工作；但另一方面，也不應當無根據地增大零件的尺寸，否則會引致材料的浪費，機器尺寸及重量增大。

2) 剛度 零件的彈性變形不應該超過在一定工作條件下的容許限度，否則機器工作時其各部份可能互相干涉。對於高速轉動的零件這一點尤其重要，因為零件剛度不夠可能產生強迫震動，使整個機器破壞。

3) 足夠的使用期限 考慮零件在工作過程中的磨損，為了延長零件的使用期限，某些零件要經過熱處理，或增大其接觸表面，以減小相對運動時的壓力強度。

4) 保證充分的散熱 零件之間有相對運動時常因摩擦而產生熱量，為了保證充分散熱，應當減小壓力強度並加入足夠的潤滑油，或加大散熱面積，用風扇或循環水冷卻等方法。

5) 提高機械效率 零件的組合應當使整個機器得到高效率的效率，這一點關係着機器工作的經濟性，但也不應該單純追求高效率而使機器或零件的結構複雜化。

6) 工藝性 為了簡化及減少加工過程，提高加工生產率，降低機器的製造成本，應該考慮到工藝的要求。

7) 重量小 对同类的另件及整部机器都要求尽可能减小重量，对运输机械及设备，如汽车和铁道车辆等以及对各种发动机，特别要求能满足这一要求。减轻重量的方法很多，例如适当地提高许用应力，换用较轻的材料，採用輕的軋壓型材，用近代化的方法加强金属表面，採用高強度鑄鐵，改進機器部件及另件的結構等。

此外，机器及另件的製造应当尽可能少用或不用稀有的材料，要符合安全技术規範的要求，要便於修理和操縱及运输，外表美观，工作时震动小及無響声。

§ 2. 机器製造及机械另件的標準化

标准規範的製訂是为了保証大量使用标准另件（螺钉、螺帽、垫圈等）的可能性，保証了在专门工廠中集中製造大量另件的可能性。標準化的目的是为了运用应用最廣泛的典型另件及部件，以简单化生產及降低成本。

我國目前还未制訂全面的國家標準，因以在这一门课程中我们主要介绍並参考苏联标准規格（苏联國家標準ГОСТ及OCT）。

在选定普通机械另件時，必需根据标准規格。

§ 3. 机器製造中所採用的材料

现代机器的特点是动力大，速度高，效率高以及高度的生產率，为了保証机器具有足够的強度、安全，並有足够的使用年限，对材料的要求也就提高了。

各种机器及另件的工作条件和用途不同，因以对材料的选择也要根据不同的要求而定。

机器制造业中最常用的是黑色金属，基本上是铁与碳的合金，它们可分为铸铁与钢两大类。

有色金属如铜、锌、铅、锡、铝及其他，主要制成合金使用，如青铜、黄铜、巴氏合金等。

金属陶瓷材料（粉末合金）和各种塑料在机器制造中具有独特的价值，近年来应用渐广。

其他如木料，皮革、橡胶、石棉、纸、麻等材料，使用较少。

下面给出各种常用的金属材料的规格。

1) 铸铁——是带有各种混合物而並不具塑性的铁碳合金，这种合金不能受辗压或锻压，作为结构用材料来说，铸铁只适于铸造毛坯。

铸铁在机械制造中所用的数量很大，其主要分类为：

a) 灰铸铁——断面成灰色，含碳量 2.6—3.6%，通常机械制造用的铸件都是用灰铸件。

b) 白铸铁——断面银白色，含碳量约 4%，主要用于炼钢。

B) 可锻铸铁——经过石墨化或脱碳的铸铁，虽然名为可锻，实际上並不可以锻打或用压力加工。

П) 合金铸铁——含有镍、钼、铬、铜、钒、铝、钛等元素，这种附加成份给予铸铁以特殊性质：抗酸性、无磁性、韧性，提高的强度限等。

表 1 给出灰铸铁的机械性质。

採用铸铁製成的另件可以减少加工费用，特别是机械加工的费用，在减振能力方面它比钢还要好，而且在大多数情况下有足够的耐久限。

表 1 灰鑄鐵鑄件的机械性質

ГОСТ 1215-41

牌 号	強度限 公斤/毫米 ² (不小於)			布氏硬度
	拉 伸	弯 曲	压 縮	
Ч 12—28	12	28	50	143—229
Ч 15—32	15	32	65	163—229
Ч 18—36	18	36	70	170—241
Ч 21—40	21	40	75	170—241
Ч 24—44	24	44	85	170—241
Ч 28—48	28	48	100	170—241
Ч 32—52	32	52	110	197—248
Ч 35—56	35	56	120	197—248
Ч 38—60	38	60	130	207—262

2) 鋼——具有塑性的鉄碳合金称为鋼。鋼的基本特性是机械强度高，可受鍛压或製成铸件，有良好的加工性質，可用热處理的方法来改变製成另件的性質等。

根据应用，鋼可以分为下列三类：

a) 結構鋼——用来製造机械另件的鋼。

б) 工具鋼——用来製造各种不同的工具。

в) 特种鋼——用来製造不銹的、耐热的、耐磨的、耐酸的另件等。

根据化学成分，鋼可分为碳鋼和合金鋼。

根据品质，鋼可分为普通鋼 (ГОСТ 380-50)、优质鋼 (ГОСТ 1050-52) 和特等优质鋼 (ГОСТ 4543-48) 等三类。

表 2 给出普通 A 族鋼的机械性質。

表 2

鋼的牌號	抗拉強度限 公斤/毫米 ²	屈服限 不小於 (公斤/毫米 ²)	伸長率 % 不小於
CT. 0	32—47	—	18
CT. 1	32—40	19	28
CT. 2	34—42	22	28
CT. 3	38—47	24	23—21
CT. 4	42—52	26	21—19
CT. 5	50—62	28	17—15
CT. 6	60—72	31	13—11
CT. 7	70—80 以上	—	9—7

表中鋼的牌號是按含碳量多少的順序排列的。

3) 有色金屬和合金

有色金屬及其合金具有若干特殊性質，如減磨性，抗腐性，耐熱性等，而這些特質往往是黑色金屬所缺乏的。

純粹的有色金屬，在機械製造上僅有局限性的用途，一般都是用合金。

黃銅（銅、鋅合金）和青銅（銅、錫合金或含鋁、鎳等的銅合金）是最常用的銅基合金。黃銅有很好的塑性，在低溫下可以加工，可以軋成薄片。青銅，尤其是錫青銅有很好的減磨性、抗腐蝕性和鑄造性。

輕合金包括鋁基或鎂基合金，比重較小（不大於 2.9），主要用於航空、汽車和拖拉機工業上。

軸承合金（巴氏合金）是錫、鉛、銻和銅或有別的化學成分的合金，它的抗壓强度高（18.8—16.0 公斤/毫米²），熔點低（250—300°C），主要用於製造軸承。

4) 金屬陶瓷材料

金屬陶瓷材料是將各種不同金屬的粉末和非金屬粉末加壓燒結製成的。

使用这种材料製造另件，可在把它放在特殊模型中加压燒結，加压压力約 $1000-6000$ 公斤/毫米²。压力大小和温度的高低，按粉末的成份和所要求的物理性质而異。

使用这种材料製成另件，不需要額外加工，尺寸十分準確，因此可以大大的降低另件的价格。

此外，用金属陶瓷的製法可以获得难熔化的合金（鋳、銅、硬合金）的製品，多孔性的材料等。

但由於金属粉末及其压模价格昂贵，不适於小量生產，另件尺寸也有限制，因此这种材料还不能廣泛的被使用。

§4 載荷、應力及安全係數

另件的尺寸通常是按照強度計標，但同時也要考慮到其他方面的要求。

對於強度的計標，首先要知道載荷（即作用力）的性质和許用應力，然後根据材料力学的公式或其他公式（如实验公式），來確定另件的尺寸。

載荷可以分為三个基本類型：

第Ⅰ類載荷稱為靜載荷。

第Ⅱ類載荷稱為脈動循環載荷。

第Ⅲ類載荷稱為對稱循環載荷。

在虎克定律範圍內，由週期性載荷所產生的應力循環，也可以按照載荷的情况分為三類（圖1至3），圖1至4表示這些應力（或載荷）的循環；圖1應力不變；圖2應力單向脈動變化（實線或虛線）；圖3應力的變化為對稱循環；圖4應力變化為不對稱循環。這些應力可以代表切向應力 τ ，也可以代表法向應力 σ 。

大多数另件同时承受许多载荷的作用，这些载荷引起了複雜的应力状态。在複雜应力状态下的另件的强度，可以利用强度理論去进行計标或驗标。

有时另件在加工製造的过程中，还可能产生初应力，例如铸件由於冷却速度不均匀而引起的热应力。初应力常会使机件产生裂缝以至於破坏。

工程上常根据安全係数 (K) 来决定許用应力。許用应力即等於界限应力除以完全係数：

$$\text{許用应力 } [\sigma] = \frac{\sigma_B}{K} \quad (1-1)$$

上式中 σ_B 是界限应力，当達到这应力時，另件实际上就不能使用。對於静载荷及脆性材料（如铸铁，水泥）通常用它的極限强度作為界限应力。

對於塑性材料（如鋼，青銅）可用屈服極限作為界限应力。

對於对称的变向载荷，必須根据对称循環的耐久限（耐勞限）計标。

通常用不對称係数 $\gamma = \frac{\sigma_{\text{min}}}{\sigma_{\text{max}}}$ 来表示循環的特性，對於对称循環 $\sigma_{\text{min}} = -\sigma_{\text{max}}$ 而 $\gamma = -1$ ，因此用 σ_{-1} 来表示材料的对称循環耐久限。

對於受衝擊载荷的另件，常要用实验方法来求出它的安全係数。

实用上對於一种机械另件的安全係数，常用下列方法求出：

(1) 检表法 —— 根据工作条件的要求，從技術規程和各种規範上的表格中选出适当的数据，直接用於計标中。

(2) 部份係数法 —— 用一系列的部份係数的乘积求得總

的安全係數。

例如：

K_1 ——性能係數，考慮材料的可靠性，機件的重要程度和工作特性。

K_2 ——計標係數，考慮計標方面的一些因素，如計標方法，計標公式和載荷的準確性等。

K_3 ——工藝係數，考慮各種工藝因素的影響。

K_4 ——驗收係數，考慮製件的大小，驗收試驗的仔細程度等。

決定了這些部份係數的數值以後，便可求出總的安全係數，即：

$$K = K_1 K_2 K_3 K_4$$

如果能夠準確決定作用於零件上的載荷的大小和性質，並且很好地掌握機件損壞和疲勞的規律，則可以把安全係數取為近於1的數字（即選用接近於界限應力的許用應力）。

若使安全係數取得太大，許用應力太小，結果就是浪費材料而不經濟；反過來，若是取太小的安全係數，許用應力用得太大，零件在工作時可能產生過度的變形以至於破壞，也是不允許的。

第二篇 可拆联接機件

机器的各部份，除了具有相对运动的另件以外，常用各种联接另件把它们联接起来，联接的目的，主要是为了製造和装拆机器的方便，以及减低造价。

按联接的性质及完成的方法，联接另件可分为两大类：

1. 可拆联接——包括螺钉、键、楔和销钉。
2. 不可拆联接——焊接和铆接。

第二章 螺钉和螺旋

螺旋联接是一种最古老型式的联接。目前就不可能找到一部没有螺钉的机器。

螺旋可分为：

(1) 螺栓和螺钉。

(2) 传动螺旋（例如千斤顶中的螺旋桿）。

这里概括地研究螺钉联接的基本问题，以及螺旋千斤顶的工作原理。

§1 螺旋线和螺纹牙齿的形成

把一个直角三角形绕在圆柱体上，便可得出一根螺旋线。取一圈的螺旋线来研究，我们可以看到有一条直角边等于圆柱体的圆周长度，而斜边和这直角边之间的倾斜角等于螺旋线的导角（图5），另一条直角边等于螺旋线的螺距 t 。

因此

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{\pi d}$$

式中 α = 螺旋导角；

t = 螺旋的螺距。

假若取下列任何一种平面图形：三角形、正方形、梯形、半圆形等（图6），使它沿着螺旋线移动，并且令这平面经常位在通过轴线的平面上，便可得出相应的螺旋牙齿（三角形螺旋线，梯形螺旋线等）。

根据圆柱上三角形缠绕方向之不同，可以得出左螺旋和右螺旋（图7），通常都使用右螺旋。

假若由圆柱底上间距相等的不同点开始，在圆柱上可以同时绕上二个、三个或更多的同一大小的直角三角形；这样便可以得出二根、三根或更多的等距离的螺旋线；也相应地可以得出双线、三线或更多线数的螺旋。图8表示双线螺旋的形成。

从平面图上看，相邻的两段螺旋，依螺旋中心轴线方向的距离称为螺距 t 。螺钉在螺帽中旋转一整週时的轴向移动距离，称为螺旋的昇距 S 。

对于单线螺旋，螺距等于昇距。

对于多线螺旋，其昇距等于螺距乘以螺旋数，即

$$S = a t$$

式中 a = 螺旋数。

多线螺旋的导角要根据升距计算。

§2 传动螺旋的原理及其传动效率

(1) 方形螺旋传动螺旋的效率

沿着螺旋的平均直径把方形螺旋的螺旋展开，得到一个斜面（图9，10），这斜面的倾斜角等于螺旋的导角 α ，沿着斜面推起重物 Q 即相当于旋上螺帽。 F_{TP} 是重物和斜面间的摩擦力， H 是水平推力。

机 械 另 件

以力 H 使重物 Q 沿斜面等速向上运动时，作用于重物的力应当满足以下的平衡条件：

$$H \cos \alpha - Q \sin \alpha = f N = F_{TP},$$

又

$$N = H \sin \alpha + Q \cos \alpha,$$

式中， f = 摩擦系数。

由上二式得：

$$H \cos \alpha - Q \sin \alpha = f H \sin \alpha + f Q \cos \alpha,$$

$$H = Q \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha}.$$

但

$$f = \operatorname{tg} \rho, \quad \text{式中 } \rho = \text{摩擦角}.$$

所以

$$H = Q \frac{\sin \alpha + \operatorname{tg} \rho \cos \alpha}{\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \sin \alpha} = Q \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \rho}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \rho}.$$

最后得

$$H = Q \operatorname{tg} (\alpha + \rho) \quad (2-1)$$

旋上螺帽的力矩为

$$M = H r_{cp} = Q \operatorname{tg} (\alpha + \rho) \frac{d_{cp}}{2} \quad (2-2)$$

鬆退螺帽的情况相当於沿斜面放下重物，只是把摩擦力 F_{TP} 改为相反的方向。

对于重物 Q 等速地沿斜面下降的情况，重複以上的计算便可得出下面的公式：

$$H = Q \operatorname{tg} (\alpha - \rho) \quad (2-3)$$

作用力 H 的方向不变而运动的方向改变——这里 H 已经不是推动力，而是支持力了。

倘若没有支持力 H 的时候，重物 Q 仍然能够停在斜面上，不动，或者等速地沿斜面下降（极限的情况），甚至需要反

方向的 H 力推动它下降，这样的螺旋称为具有自锁作用的螺旋。

自锁的条件，用数学式表示，即

$$H \leq 0 \quad (2-4)$$

如果

$$\alpha \leq \rho, \quad \text{此式便可满足。}$$

因此，只有当导角小于摩擦角（或是说在极限情况下，两者相等）时，螺旋才能自锁。

螺旋传动的机械效率，等於有效阻力的功与推动力的功之比。

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{дв}}} = \frac{Q \cdot S}{H \cdot L} = \frac{Q \cdot L \cdot \operatorname{tg} \alpha}{H L} = \frac{Q \operatorname{tg} \alpha}{H}.$$

式中： $A_{\text{пол}}$ — 有效阻力的功；

$A_{\text{дв}}$ — 推动力的功；

S — 举物的高度（相当於螺旋的升距）；

L — 推动力 H 的移动距离。

但

$$H = Q \operatorname{tg} (\alpha + \rho)$$

因此

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} (\alpha + \rho)} \quad (2-5)$$

这公式表示沿斜面举起重物（相当於旋紧螺母）时螺旋的效率。

鬆退螺母时，则为

$$H = Q \operatorname{tg} (\alpha - \rho)$$

此时推动力是重力 Q ，而 H 变为有效阻力，所以效率为：

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} (\alpha - \rho)}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (2-6)$$