

机械振动概论

黄维德编著

# 机械振动概论

黄维德 编著

113

1

965

友社

科学技术出版社

# 机械振动概论

黃維德 編著

科学技術出版社

## 內 容 提 要

本書敘述了機械振動的基本現象和理論基礎，並結合機械工程中的實際問題，來說明機械振動的計算、測量和減振方法。

本書可供有關專業的高等學校學生在學習機械振動理論課程時的參考書；也可供機械製造廠工程技術人員在實踐工作中作為參考之用。

2P80/20

## 機 械 振 動 概 論

編 著 者    黃   維   德

\*

科 學 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 號

上海市印刷四廠印刷    新華書店上海發行所總經售

\*

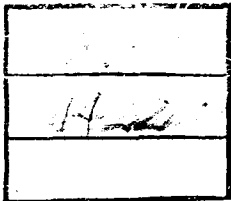
統一書號：15119·693

開本 850×1168 1/32，印張 77/16，插頁 1，字數 182,000

1958 年 7 月第 1 版

1958 年 7 月第 1 次印刷，印數 1—2,000

定價：(10) 1.40 元



## 序

本書所敘述的是一些基本的機械振動現象及其理論基礎，並且把它們应用到幾種重要的實際問題上去。

雖然在振動領域中有不少問題，需要应用高深的數學方能求得解答，但是有許多問題只要应用簡單形式的常微分方程及一些近似方法就可求得解答。本書着重討論应用這些簡單和近似方法所解決的問題。為了便于作數學上的復習，在本書第二章中討論振動理論之前，先對幾個常用的微分方程作扼要的敘述。

為了便于明瞭機械振動的基本原理，故在本書中首先讓讀者接觸到實際問題，也就是產生振動的原因。然後依次討論機械振動的計算、測量和減振問題。所以在系統地敘述了一些必要的理論以及計算方法之後，就論及振動周率、振幅及其波形的測量；然後介紹動平衡的設備和方法；最後兩章討論隔離振動的方法和振阻設備。

所以一般說來，本書比較着重討論機械振動的實際部分。尤其在動平衡和動平衡機這一章中，介紹了幾種应用較廣的動平衡機的構造、原理及使用方法。這種動平衡設備能使高速旋轉機械或機件獲得良好而平穩的運轉，對旋轉機械或機件的性能有着密切的關係。

前數年間，本人在講授機械振動學一課時，同學們常感到缺乏有關這一方面的中文參考書；同時在生產部門中有許多參加實際技術工作的同志們也有這種需要。因此，本人利用業餘時間，整理所蒐集的資料，並參考附錄中所列這類專門書籍，補充原有的講稿

編成本書。

本書初稿于三年前完成,以后經過修改、补充,寫成本書。但由于本人水平有限,書中难免有遺誤之处,希望國內先進和讀者們惠予指正,以便在再版时修正和补充。

黃 維 德

1957 年 7 月于上海交通大学

# 目 錄

## 序

### 第一章 產生振動的原因 ..... 1

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| 1-1 振動系統..... 1     | 1-6 氣缸的式樣..... 9    |
| 1-2 旋轉體的不平衡..... 6  | 1-7 複合振動.....10     |
| 1-3 引擎的平衡和調諧..... 7 | 1-8 電纜的振擺運動.....11  |
| 1-4 製造技術..... 8     | 1-9 活塞環的漏氣.....12   |
| 1-5 往復泵的凡爾彈簧..... 9 | 1-10 接合部分的鬆動.....13 |

### 第二章 單自由度無振阻振動系統的自然周率計算法.....14

|                           |                |
|---------------------------|----------------|
| 2-1 單自由度振動問題中的微分方程.....14 | 2-3 平衡法.....27 |
| 2-2 實驗法.....26            | 2-4 能量法.....34 |
|                           | 2-5 雷利法.....41 |

### 第三章 單自由度無振阻振動系統的強制振動.....44

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| 3-1 無振阻強制振動理論.....44  | 3-3 變速動力機的彈性機座.....53 |
| 3-2 等速動力機的彈性機座.....50 | 3-4 旋轉動力機的彈性機座.....54 |

### 第四章 單自由度有振阻振動系統.....57

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| 4-1 單自由度有粘滯振阻的自由振動.....57 | 4-3 等速動力機的有振阻彈性機座.....72 |
| 4-2 單自由度有粘滯振阻的強制振動.....64 | 4-4 變速動力機的有振阻彈性機座.....76 |

### 第五章 二自由度振動系統.....80

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| 5-1 二自由度振動系統方程的標準解法.....80 | 期日方程.....93          |
| 5-2 雙聯擺的振動及拍.....86        | 5-5 位能和消散函數.....99   |
| 5-3 動力減振器.....89           | 5-6 復擺的強制振動..... 103 |
| 5-4 受壓束系統的振動和拉格            | 5-7 扭轉振動振阻器..... 107 |

### 第六章 多自由度振動系統..... 111

|                                  |            |                             |     |
|----------------------------------|------------|-----------------------------|-----|
| 6-1 当量質量 .....                   | 111        | 題 .....                     | 123 |
| 6-2 当量彈性軸 .....                  | 115        | 6-6 霍爾茲氏的自然周率計算<br>法 .....  | 129 |
| 6-3 決定曲軸当量長度的實驗<br>法 .....       | 120        | 6-7 多質量轉軸自然周率計算<br>法 .....  | 137 |
| 6-4 船用螺旋槳的質量轉動慣<br>量的圖解法 .....   | 121        | 6-8 屯克來氏法 .....             | 141 |
| 6-5 船用螺旋槳傳動軸的当量<br>質量和当量長度的計算例   |            | 6-9 施托勃拉法 .....             | 141 |
| <b>第七章 振动周率的測量 .....</b>         | <b>144</b> |                             |     |
| 7-1 彈性杆周率儀 .....                 | 145        | 7-5 壓縮空氣吹击法 .....           | 153 |
| 7-2 閃動式周率儀 .....                 | 146        | 7-6 高周率測量和高周率力的<br>產生 ..... | 154 |
| 7-3 機械系統擾動法 .....                | 148        |                             |     |
| 7-4 電磁系統擾動法 .....                | 151        |                             |     |
| <b>第八章 振幅及振动波形的測量 .....</b>      | <b>156</b> |                             |     |
| 8-1 直接測量法 .....                  | 156        | 8-6 電磁扭轉感應振儀 .....          | 165 |
| 8-2 慣量振動儀 .....                  | 158        | 8-7 積分電路 .....              | 167 |
| 8-3 加速度測量儀 .....                 | 160        | 8-8 金屬綫应变測振儀 .....          | 169 |
| 8-4 蓋格爾扭轉振動儀 .....               | 163        | 8-9 和諧分析 .....              | 171 |
| 8-5 電磁感應感振儀 .....                | 164        |                             |     |
| <b>第九章 动平衡及动平衡机 .....</b>        | <b>175</b> |                             |     |
| 9-1 靜平衡及动平衡 .....                | 176        | 9-5 電火花式动平衡机 .....          | 185 |
| 9-2 不平衡質量的位置 and 轉速<br>的關係 ..... | 178        | 9-6 磁力平衡法 .....             | 187 |
| 9-3 划綫式 .....                    | 181        | 9-7 葛蓄特动平衡机 .....           | 188 |
| 9-4 試加重量法 .....                  | 184        | 9-8 阿斯卡尼亞动平衡机 .....         | 196 |
| <b>第十章 振动的隔离 .....</b>           | <b>204</b> |                             |     |
| 10-1 增強結構的方法 .....               | 204        | 10-4 扭轉振動的隔离 .....          | 212 |
| 10-2 彈性裝置 .....                  | 206        | 10-5 彈性联轴器 .....            | 215 |
| 10-3 橡皮隔离体 .....                 | 209        |                             |     |
| <b>第十一章 振动阻力器 .....</b>          | <b>219</b> |                             |     |
| 11-1 振阻器的基本原理 .....              | 219        | 11-5 固体的內摩擦振阻 .....         | 227 |
| 11-2 粘滯振阻器 .....                 | 221        | 11-6 摩擦振阻器 .....            | 227 |
| 11-3 活塞振阻器 .....                 | 223        | 11-7 振阻器的位置 .....           | 230 |
| 11-4 液体联轴器 .....                 | 225        |                             |     |
| <b>参考文献 .....</b>                | <b>232</b> |                             |     |

# 第一章 產生振動的原因

## 1-1 振動系統

任何物体或机件都具有一定的質量和彈性。当物体受到一次外力的擾動后，它就按一定的節奏在原來靜止位置的二側作往復運動，這種運動就稱為振動。而本身具有彈性的質量或是和它相連的彈性部分的組合物體，就稱為振動系統。

最簡單的振動系統通常可由質量為  $m$  的重物和螺旋彈簧所組成（圖 1）。物体重量  $W$  使彈簧伸長  $\delta_{st}$  后而靜止不動，這種伸長稱為靜力伸長。

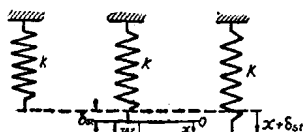


圖 1

產生每單位長度的靜力伸長所需要的

力，稱為該彈簧的彈力常數  $k$ ，而彈簧因其收縮所產生的力稱為回復力。今重物在靜止位置，被重力和彈簧的回复力所平衡，這二個力大小相等，方向相反，即

$$k \cdot \delta_{st} = W$$

這種呈平衡狀態時的位置，稱為平衡位置或中立位置。

今若使質量  $m$  向下離開平衡位置  $x$  距離而听其自由運動，這時彈簧力大於重力，即

$$k \cdot (\delta_{st} + x) > W$$

故質量  $m$  即向上運動，到達平衡位置以後，因其仍具有動量，故必繼續向上運動。經過平衡位置后，彈簧力逐漸減弱，即

$$k \cdot (\delta_{st} - x) < W$$

于是这向上的运动随即逐渐被这向下的力所减慢,最后,質量在一定的顶点停止。然后  $m$  再向下运动,经过平衡位置而回到原来起地点,这一运动过程称为完整振动,而这一完整振动所需的时间

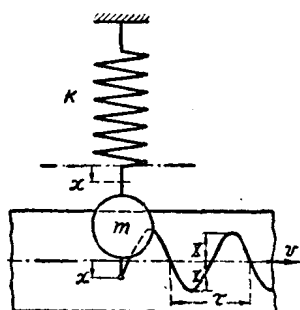


圖 2

称为周期  $\tau$ 。每單位時間內的完整振动的次数,就称为周率  $f$ 。若無振动阻力存在,則質量自平衡位置到上下顶点的位移相等,这位移称为最大振幅  $X$ 。当質量  $m$  作上下运动时,如果在它下端按裝記錄筆尖,并用紙帶按着一定的速度作橫向移动,質量振动的情形就可記錄在紙帶上,并且是条余

弦曲綫,如圖 2 所示,因此振幅的变化,常用余弦或正弦曲綫表示,

$$x = X \cos \omega t \quad (1-1)$$

同时可見簡單振动系統的振动是簡諧运动。几个簡諧运动可以有同样大小的振幅和周期,但若由于時間的起点不同,就可有以下三种不同形式的簡諧曲綫,如圖 3 所示。

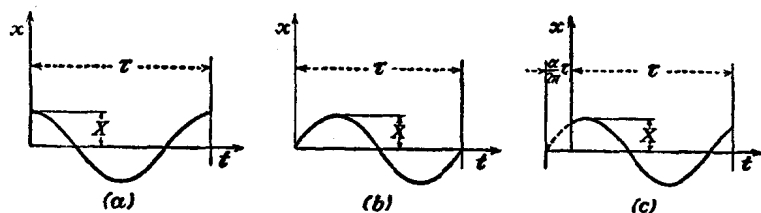


圖 3

圖(c)中的起点是質量在經過了平衡位置  $\frac{\alpha}{2\pi}\tau$  單位時間以后的位置,而圖(a), (b)中的起点是質量正在最高点及平衡位置上。

式(1-1)中的  $\omega$  是常数,  $\omega t$  是以弧度計量的角度。这函数的角周期顯然是  $2\pi$ , 于是  $\omega\tau = 2\pi$ , 其中  $\tau$  是以單位時間計量的周期;而周率  $f$ 、周期  $\tau$  和常值角速度  $\omega$  之間的关系如下:

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau} = 2\pi f \quad (1-2)$$

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (1-3)$$

$$\tau = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1-4)$$

若以  $x = X \cos \omega t$  作為參考曲線，則在

$$x = X \sin \omega t = X \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

中就有一個落后的相角  $\frac{\pi}{2}$ ，在

$$x = X \sin (\omega t + \alpha) = X \cos \left( \omega t + \alpha - \frac{\pi}{2} \right)$$

中則有一個超前的相角  $\left( \alpha - \frac{\pi}{2} \right)$ 。

相角是兩個等周率的簡諧運動之間，因起點在時間上的差別而形成的角位移差。這種情形在所有曲線都具有等值的  $\tau$  時方能成立，否則就不能由滑移一根曲線而得到另一根曲線，所以“相角”這定義僅適用於等周率的簡諧運動。

上述的運動過程，除起始運動時有外力作用外，以後在上下二頂點之間的運動，全靠這系統自身彈簧的回復力，故稱為自由振動。自由振動系統的周率，稱為固有周率或自然周率。

若在運動過程中，質量始終被一個具有一定周率的周期性外力所強制着進行，這種振動就稱強制振動。

如果強制力的周率和振動系統的自然周率相等或成倍數時，振幅就隨時間而增大，並使振動系統進入危險階段，此時就稱為這系統發生共振。

自由振動僅說明一個振動系統本身所具有的特性，並且常因系統本身以及外部阻力而自行消滅。一般在機械工程中所產生的總是受着周期性外力作用的強制振動，但為了使所考查系統避免

共振,就必须先計算这系統的自然周率,了解它的主要特性。

工程中常遇見另一种形式的振动系統,如圖 4 所示,它由轉動

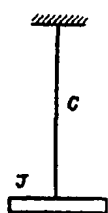


圖 4

慣量为  $J$  的質量和一根彈性軸垂直相連而成。当質量受到外力矩擾動,它就扭動彈性軸對平衡位置作來回扭擺運動,也稱為扭轉振動。扭轉彈力常數  $C$ ,表示使彈性軸扭轉角  $\theta$  為 1 弧度時所需的力矩。

由上可見,通常組成振動系統的要素有:

a. 質量 如果物體的質量是固體,則常假定為無彈性;如果是流體的,常假定為不可壓縮且無粘性。這樣就可看作是單一的慣量,於是當它的運動速度有變化時,考察動能的增減也就方便了。

b. 回復力 彈簧或彈性體部分常被假設為無慣性的質量,它們能抗變形和位移,當其產生變形和位移時就作功,並以位能的形式保存在彈性體的內部。當彈性體在回復其原來的形狀和位置的过程中,所儲存的功又逐漸變為動能而產生了回復力,促使質量回到平衡位置。

所以如不計算阻力,質量和彈簧部分就組成了一個這樣理想的保守系統,儲蓄在質量中的任何能量決定於質量的運動,而包含在彈簧或其相當物體中的任何能量,都由於它的變形或位移而產生。在保守系統中,這兩種能量之間可以互相轉換,但其總和為一常值。在這常值的能量中,從質量的動能轉換為彈簧的位能的這種變化,常是考察許多振動系統的基礎。

彈簧可以任何彈性體的形式出現,例如:彎曲了的樑、捲成螺旋形的鋼絲、扭轉了的軸、具有彈性的車刀架、以及受壓縮的空氣和橡皮墊,都可看作該系統中能產生回復力的彈簧。使擺動物體恢復最低位置的重力及流體對物體的浮力,它們都能使運動物體回到平衡位置,其作用顯然也和彈簧的回復力相同。

c. 振阻力 一切實際的振動系統本身,都有着隨時抗阻質量

运动的阻力，称为振阻力。有时为了防止系統發生共振或是为了使运动質量能迅速地在平衡位置上靜止下來，常在系統中加裝一種能產生振阻力的器械，称为振阻器。振阻力不断地消耗着質量的运动能量，使之轉变为热量，随后消散在空間，这样就使系統的能量不断地受到耗損。

形式最普通的振阻力，是接触面之間的摩擦阻力，所以机械在振动中总存在着一些微小的振阻力。由于这种振阻力总是很小，为了計算时簡便起見，故在振动分析中常被略去。自由振动系統常由以上三种因素所組成，而在强制振动系統中，則尚有下面所述的一个要素。

d. **擾動力** 这种对振动体擾動的力，往往產生在系統的內部，常是一种随着一定時間間隔而变更其方向的周期性力，例如：內燃机中活塞的往复慣性力；气輪机动輪不平衡質量的离心力。它們强制机体產生振动，故常称为强制力。整个机体因振动所產生的慣性力，往往又通过地面或其他相連接的結構，而使附近设备產生振动，故它对这些設備而言，又可看作是擾動力，在停着而开动了引擎的公共汽車中常能体会到这种擾動力的逐一傳播。

在結構复杂的机械中考察振动問題时，若能掌握以上四种要素，就不难認出所考察的以及和它相关連的一些振动系統。

由上可見，任何物体、机件以及任何具有一定質量和彈性的机械系統，都可以看作为一个自由振动系統。若在系統的質量上經常有周期性的擾動力作用时，就成为一個强制振动系統。

圖 1 和圖 3 中的質量，它們的运动情况只須用一个座标  $x$  及扭轉角  $\theta$  就可說明，这种系統称为單自由度振动系統。圖 5 中的質量  $m_1$  和  $m_2$  各不相干地在垂直方向自由运动，这就需要兩個座标  $x_1$  和  $x_2$

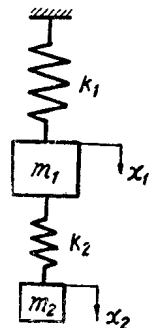


圖 5

說明它們的运动，故称为二自由度振动系統。如果在—根緊張的

彈性弦上有着  $n$  个均匀分佈的質量，当这些質量各自在垂直方向自由运动时，这就成为一个  $n$  自由度的振动系統。

單自由度振动系統只有一个自然周率，而多自由度例如  $n$  个自由度的振动系統就有  $n$  个自然周率。 $n$  个自然周率中較高級的自然周率計算較难，較低級的計算則比較容易。在实际应用上，常以最低一級的自然周率最为重要。

## 1-2 旋轉体的不平衡

各种动力机械在設計、制造或裝配工作上如果不够精确，机械本身以及和它相連接的部分就会產生振动。这种机械振动往往会使机件的內应力增加，甚至使机件断裂，并且能消耗功能、擾动四周的仪表和設備，以及發出使工作人員厭倦的声音，这些情形在以高速率運轉的机械中，尤其成为嚴重而必須解決的問題。所以在机械工程中，除了少数利用机械振动來工作的情况以外，总是設法防止或消滅所有不希望產生的振动。

產生振动的原因很多，將分別按各种振动系統的情形在以下

各節中敘述。現在先考察旋轉体如何產生不平衡。

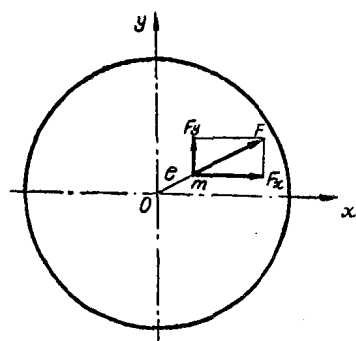


圖 6

旋轉式机械產生振动的主要原因，是由于轉子的离心力失去平衡。今設在質量均匀的圓盤上，偏离圓心  $e$  处有一附加質量  $m$ ，当圓盤以角速度  $\omega$  運轉时，質量  $m$  就因偏心距  $e$  而產生离心力

(圖 6)

$$F = me\omega^2 \quad (1-5)$$

对于蒸汽透平、燃气透平、旋轉式的压气机和鼓風机以及离心式水泵的动輪，常由于材料均質性不佳或是由于制造技术的不良，

使輪的重心偏離幾何中心而形成偏心距  $e$ ，因此在運轉時就產生上述不平衡的離心力。

這離心力向量可沿兩座標軸分解而得水平分力  $F'_x$  及垂直分力  $F'_y$ ，隨著轉動向量  $F$  的位置不同，兩分力的大小也不斷變化，于是在  $x$  和  $y$  方向就各產生了一個周期性變化的力。由於這兩個力的作用，使機械在運轉中失去平衡，而產生了垂直向和橫向的振動。由式 (1-5) 中所表的離心力可見，一根粗大而轉速高的轉軸，雖只有很小的偏心距，然因離心力所產生縱橫方向的振動也很可觀。

上述情形不僅發生在旋轉機械的轉子，並也發生在一般的動力機械中，例如一輛普通的汽車，其中的曲柄、飛輪、聯軸器、齒輪以及傳動軸等許多旋轉部分，在製造或裝配時要盡量使得它們的重心恰好在轉動軸線上，否則將產生偏心距  $e$  而失卻平衡，這樣就會引起振動。為了保證在運轉時不產生較大的離心力而引起振動，每個轉動部分在裝配前就需要用靜平衡法或動平衡機加以平衡，使它們的重心回到或接近它們的幾何中心。

### 1-3 引擎的平衡和調諧

一架內燃引擎的主要推動機構有活塞、連杆和曲柄三個部分，由於它們的運轉情形不同，就分別產生往復慣性力和旋轉慣性力。要使這些慣性力以及其對引擎重心所產生的力矩達到平衡，就非先要使這些運轉質量達到平衡不可，亦即在運轉時各運轉質量的總重心位置應保持不變。這種平衡並非各式引擎都能達到，例如在四沖程行列式引擎中，只有六汽缸、八汽缸及十二汽缸等引擎方能完全平衡。其他汽缸數的引擎就可能因慣性力的不平衡，而在運轉時產生垂直向振動和繞引擎重心的振擺運動。

汽缸內混合氣爆發後所產生的氣體壓力和往復質量力的方向相同，因而在四個沖程中，亦即在曲柄的轉角  $720^\circ$  中，可得一個作

周期性变化的合成压力  $P$ 。分析  $P$  力的結果（圖 7），可見在曲柄梢上經常作用着徑向分力  $R$  和切向分力  $T$ ， $R$  使軸承產生壓力傳

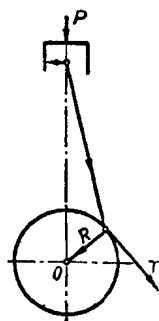


圖 7

与机身，并使机身作縱橫方向的振动， $T$  則使曲柄旋轉，称为扭轉力。由于这种扭轉力作周期性变化，使曲軸產生扭轉振动，并且激起其他各部分產生共振性的直綫振动。增加汽缸的数目可減輕这种扭轉力的变化，通常十六汽缸引擎的扭力变化已很輕微，但仍有变化存在。故在曲軸的一端常裝置扭轉減振器，用来消滅因扭轉变化所引起的扭轉振动。

引擎中如有汽缸不發火，轉矩也会產生間歇性的变化而呈参差不齐，于是引擎就失却調諧而形成不規則的運轉以及發生和上述类似的振动。火星塞的電極之間適當間距的調節，对汽缸中混合气的發火很是重要，至于火花是否能跳过間距，那还和蓄電池、電板綫圈、磁电机及白金断电器的情形有关。其次，凡尔的定时对于燃燒可適在循环的准确部分發生，对于使排气不致提早或过于延迟也很重要。

由于以上种种原因所產生的机械振动，如果听其周期性地發生，那末象轉軸軸承等重要部分就要加速磨損，甚至会產生破裂。

## 1-4 制造技术

在蒸汽透平机的制造过程中，必須要把叶片准确地安裝在轉子的周圍，否則轉子就会失却平衡。同样，轉盤必須和轉軸相垂直，否則在運轉时轉軸会受到弯曲力偶矩，而使軸承受到周期性变化的压力。所以轉盤和轉軸結合时的热套工作，在透平制造中就需高度而熟練的技术。在齒輪制造中，如果輪齒的形狀和位置存在着誤差，那末在運轉时齒輪之間就產生周期性的撞击，因此对齒輪的制造技术就有着一定的要求。

作用在電動机电樞上的力矩，隨着永久磁極及其和電樞之間間隙、相鄰電極之間的角位置而變動，因而就需要適當地把軸頸安裝在軸承中，以便使電樞和磁極之間保持一定的空隙。

在馬達的裝配中，如果把電樞裝得偏斜，那就會使樞徑一边的空隙大於另一边，結果使電樞得到可變的力矩，而使樞軸產生扭轉振動，因此，為了防止產生可變轉矩的危險，電樞繞線的間距就必須準確。

僅在這些例子中，可見在考慮振動問題時，裝配和製造技術是何等重要了。

### 1-5 往復泵的凡爾彈簧

因設計上的問題而可能產生的機械振動，其原由很多，且在設計新機器時所經歷到的許多困難中，往往也牽涉到機械振動方面的缺陷。在一個設計師的能力範圍內，通常總可能有一些主要的振動缺陷存在，而這種困難又常因機械的次要部分之欠缺所造成，例如，有些往復式水泵，剛工作不久，磷銅制的凡爾彈簧即忽告斷裂。檢驗後發現，這是由於材料承受應力變化而發生疲勞以致斷裂，經過核算，更發現彈簧和凡爾所組成系統的自然周率，和水泵的運轉速率相差極微，顯然可見，因凡爾的定期開閉，磷銅彈簧遭受了由共振作用而造成的強制性的高應力。今把彈簧的材料改用不銹鋼，這樣既增加了強度，又提高了自然周率，上述的缺陷就能夠完全消除。在機械工程的任何部分，都可能遇到這種類似的初步困難及其解決方法，但並不是所有設計上的困難都這樣容易矯正。

### 1-6 汽缸的式樣

在一架引擎的各汽缸中，間歇性的燃燒也能產生一些擾動力，引起共振性的振動。汽缸頭和活塞頂部的式樣，是判別一架引擎

汽缸內燃燒效率的重要标准，如果我們对可燃混合气爆發的程序已經熟悉，顯然在火星塞發生火花之后，那些最靠近火花的混合气分子即被燃着，每次的火花都会立刻燃着它隣近的分，并把燃燒傳播开去。如果汽缸头設計得不適當，就会超在火焰之前形成一道震波，缸內也就發生了爆震現象，这时由于汽缸內压力突然升高，活塞上就遭到了强力的閃击（在汽缸头上受到它的反作用），并且被傳到引擎的其他部分。一些自然周率在共振范围以內的固定部分，就因为接受了这种周期性的擾动力而產生振动。通常在設計汽缸和汽缸头时，有一些規律可以遵循，从而避免爆震的產生，但这种規律决不能在所有情形之下都能保証，例如采用一种新燃料，或潤滑油气化漏过活塞环而進入燃燒室，由于新燃料燃燒率的差異，仍可能引起爆震。以上所述的这种間歇性燃燒，往往是一个在新引擎試驗中產生共振性振动的可能來源。

特别是用于汽車和航空方面的往复式內燃引擎，很容易感染到振动方面的缺点。除爆震以外，其他由于設計不良而可作为振动來源的尚有：汽缸吸气的錯誤設計；气体經過气門的節流；火星塞和噴油嘴的位置不適當等等。如果飛輪的慣性不足，就不能調節引擎轉矩的变化，而引擎運轉时就無法安靜，故飛輪慣性不足，也是往复式引擎中另一个引起振动的原因。

### 1-7 复合振动

象透平、鼓風机、風扇、电动机、發电机以及航空螺旋槳等轉动机械，除了質量不平衡外，还可能由于設計中很小的缺点而形成振动，就象航空螺旋槳，时常在振动应力作用下使材料損伤而致破裂。產生这类振动的原因很多，若單从設計方面而言，以下各点就顯得相当重要：

- (a) 槳叶的自然周率或可和它們的旋轉速率相共振；
- (b) 槳叶尖端的速率已超过了音速；