

精密儀器工程

(第一部 下冊)

(I)

精密儀器工程

(第一部 下冊)

(I)

目 錄

(第一部下冊)

——詳目分別載於各章之前——

第九章 機構學.....	755
第十章 精密機械元件.....	869
第十一章 光 學.....	1109
第十二章 應用光學.....	1169
第十三章 以薄層膜作基本之光學元件.....	1233
第十四章 光學計量學.....	1265
第十五章 照明技術.....	1307
索 引.....	1349

第九章 機構學

本章係由特許工程師阿瑟—巴哈執筆

內 容

9.1 前 言	760
9.1.1 定義	760
9.1.2 機構學之研究對象	760
9.1.3 運動效能之有系統之解答	760
9.2 機構之組成系統	761
9.2.1 機構之基本原理	761
9.2.2 構成元件	762
9.2.2.1 機構構件	762
9.2.2.2 環節	765
9.2.2.3 傳動聯接構件	765
9.2.2.4 機構組合件	766
9.2.3 進一步說明有關機構構成之重要意義	766
9.2.3.1 環節自由度—機構自由度	766
9.2.3.2 形對及力對	766
9.2.3.3 壓力傳達—摩擦傳達—彈性傳達	766
9.2.3.4 運動鏈—機構	766
9.2.3.5 拘束運動	768
9.2.3.6 機構之組合數值	770

9.3 機構分析之研討方法	771
9.3.1 速度—加速度	771
9.3.1.1 定義, 算式符號.....	771
9.3.1.2 圖解微分.....	772
9.3.1.3 製圖比例.....	772
9.3.1.4 矢量法計算速度.....	776
9.3.1.4.1 環節聯接件.....	776
9.3.1.4.2 聯接件環節以外之點.....	777
9.3.1.4.3 聯接件使用滑行及滾動環節者.....	777
9.3.1.4.4 滑塊聯接件.....	778
9.3.1.4.5 楔聯接件.....	779
9.3.1.4.6 滾動聯接件.....	779
9.3.1.5 解析法計量速度.....	779
9.3.1.6 矢量法計算加速度.....	781
9.3.1.6.1 法線及切線加速度.....	781
9.3.1.6.2 加速度之合成.....	782
9.3.1.6.3 例: 擺動曲軸.....	782
9.3.1.6.4 機構中對轉動導承有相對運動之加速度.....	783
9.3.1.6.5 聯接件環節以外各點之加速度.....	784
9.3.2 機構之力	785
9.3.2.1 概述.....	785
9.3.2.2 靜力.....	786
9.3.2.2.1 靜力之處理.....	786
9.3.2.2.2 無摩擦之例.....	786
9.3.2.2.3 有摩擦之例.....	788
9.3.2.3 傳達品質.....	789
9.3.2.3.1 定義.....	789
9.3.2.3.2 偏轉角.....	790
9.3.2.3.3 傳達角.....	791
9.3.2.3.4 傳達效率之決定.....	791
9.3.2.4 慣性力.....	792
9.3.2.4.1 概述.....	792

9.3.2.4.2 慣性力之計算	792
9.4 最重要機構之構造及其特性(機器之基本機構)	796
9.4.1 連桿機構	796
9.4.1.1 構造及效能	796
9.4.1.2 普通四連桿組機構(四枚轉動環節)	797
9.4.1.2.1 搖桿曲軸機構	798
9.4.1.2.2 雙曲軸機構	800
9.4.1.2.3 雙搖桿機構	800
9.4.1.2.4 連桿運動曲線	801
9.4.1.3 由平行曲軸鏈組成之機構	801
9.4.1.3.1 平行曲軸機構	802
9.4.1.3.2 反平行曲軸機構	802
9.4.1.4 滑行曲軸鏈組成之機構	803
9.4.1.4.1 曲軸滑行機構	805
9.4.1.4.2 擺動曲軸搖桿機構	806
9.4.1.4.3 迴轉曲軸搖桿機構	807
9.4.1.4.4 均勻迴轉曲軸搖桿機構	807
9.4.1.5 由交叉搖桿鏈組成之機構	807
9.4.1.5.1 交叉滑行曲軸機構	808
9.4.1.5.2 迴轉交叉搖桿機構	808
9.4.1.5.3 交叉滑行機構	809
9.4.1.6 由滑行搖桿鏈組成之機構	809
9.4.1.7 對連桿機構一定運動要求之計量分析法	810
9.4.1.7.1 曲軸及搖桿位置關係	810
9.4.1.7.2 死點設計	810
9.4.1.7.3 連桿及固定桿之位置關係	810
9.4.1.7.4 連桿點	810
9.4.1.8 連桿組機構之轉換	811
9.4.1.8.1 類型本質上之轉換	811
9.4.1.8.2 類型構造上之轉換	811
9.4.2 齒輪機構	812
9.4.2.1 構造及作用	812

9.4.2.2	有固定桿之正齒輪機構 (架座機構)	813
9.4.2.2.1	二枚外齒正齒輪之架座機構	813
9.4.2.2.2	有多於二枚外齒正齒輪之架座機構	816
9.4.2.2.3	內齒齒輪之架座機構	817
9.4.2.3	周轉連桿之正齒輪機構 (周轉齒輪機構)	817
9.4.2.3.1	依照史璜璞氏定則計量速度比	819
9.4.2.3.2	依照轉數圖計量速度比 (庫茨-巴哈圖)	824
9.4.2.4	齒條正齒輪機構	827
9.4.2.5	斜齒輪機構	829
9.4.2.5.1	含有固定架座之機構 (架座機構)	829
9.4.2.5.2	周轉機構	830
9.4.2.5.3	斜齒輪機構之圖解法	831
9.4.2.6	螺旋齒輪機構	832
9.4.2.7	蝸桿機構	832
9.4.3	曲線機構	836
9.4.3.1	組成及作用	836
9.4.3.2	主要設計要求	837
9.4.3.2.1	運動圖	837
9.4.3.2.2	曲線行程要求	839
9.4.3.2.3	曲線構件之尺寸	842
9.4.3.3	行程曲線之繪製	844
9.4.3.4	對設計情形之補充說明	846
9.4.3.4.1	接觸構件臂之位置	846
9.4.3.4.2	力對及形對	847
9.4.3.5	曲線機構之可能誤差	847
9.4.4	其他機構之說明資料	850
9.5	特定效能之重要機構	851
9.5.1	間歇機構	851
9.5.1.1	作用情形及應用範圍	851
9.5.1.2	間隙機構之構成	852
9.5.1.3	由連桿組機構構成之間歇機構	855
9.5.1.3.1	交叉槽輪間歇機構	856

9.5.1.3.2	交叉槽輪間歇機構（內主動型）	857
9.5.1.3.3	特型交叉槽輪間歇機構	858
9.5.1.4	由齒輪機構發展之間歇機構	859
9.5.1.4.1	外齒正齒輪機構	859
9.5.1.4.2	內齒正齒輪機構	861
9.5.1.4.3	螺旋齒輪機構	862
9.5.1.5	曲線間隙機構	863
9.5.2	無段調整之變速器	864
9.5.2.1	功效需要及作用原理	864
9.5.2.2	撓性傳動機構	865
9.5.2.3	摩擦機構	865
9.5.2.4	間歇機構	866
9.5.2.5	液壓機構	866
參考文獻		866








算式符號

(已列於第1.1表中者除外)

α	斜角（力之方向與運動方向間之角）	f	連桿組自由度
$\beta_{01} \beta_{02}$	螺旋齒輪之螺旋角（斜齒輪之齒斜角）	F	機構自由度（行動度）
ν	蝸桿平均導角	h	曲線機構之行程
δ_A	斜齒輪機構中及螺旋齒輪機構中軸之交角	i	傳動速度比，亦即主動件與從動件間角速度比
$\delta_{01} \delta_{02}$	斜齒輪節圓周角	m	模數，以 mm 計
η_u	傳達效率	M	製圖比例
ϑ	速度圖及轉數圖中之轉度角	M_a	轉動扭矩
μ	摩擦係數	n	機構構件數（拘束運動方程式）
ρ	曲率半徑，摩擦角	n	轉動頻率（每分鐘轉數）
φ	主動角	R	摩擦阻抗
Ψ	從動角	s	齒桿之導程
		s_0	嚙行程
		s	齒系機構轉軸桿長

Ψ_0	擺角(限界角)	t_0	齒輪之節
a	距離	T	傳動機構迴轉一週之時間
e	機構中機件對偶數(拘束運動方程式)	u	連桿組不自由度, 不均勻度
		z_1, z_2	齒輪齒數

圖中符號

	平移運動		固定樞紐
	迴轉運動		固定樞紐示意繪圖
	螺旋運動		複式樞紐
	單側間歇運動		

9.1 前言

9.1.1 定義

機構使人在科學上及工藝上理解每一工程設施由主動構件傳達至從動構件之運動變化趨勢(變換)。傳達可經由接合構件,此可由不同形式之原件組成。每一機構僅有一固定構件。繪製機構無需自首至尾成一循環,亦不需成爲閉合構件組。機構接合能量,產生運動,不應發生雜亂混淆。

9.1.2 機構學之研究對象

機構學之研究對象爲:

- 分析機構之組件及其基本形狀,依序分類(機構分類)。
- 提供對機構運動狀態及力作用情形研究檢討之方法(機構分析)。
- 爲特定運動效能之特定條件之機構提供構造設計(機構組成)。

9.1.3 運動效能之有系統之解答(參閱[6])

- 由整個設計結構問題中解答機構之效能,並發展其效能(基本原則)。
- 對各種可能之解決因素作有系統之分析,並將各種可能解答組合(工作

原則)。

c) 利用分析試驗鑑定缺點。

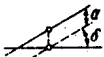
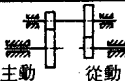
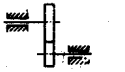



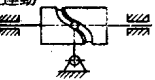
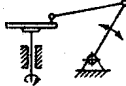
d) 最後依照準確之運動要求及受力情形決定各部之尺寸及造形。

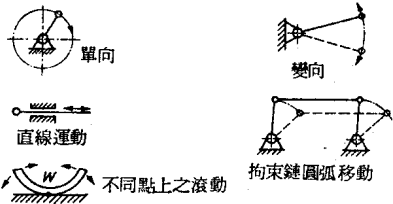
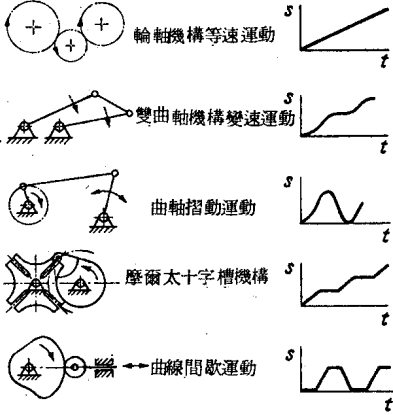
9.2 機構組成系統

9.2.1 機構之基本原理

機構效能之核心為使運動變化傳達。必需規定說明之特性表列於第 9.1 表中

第 9.1 表 必需規定說明之特性

組成觀點	特性特徵	說明及實例
<p>1. 軸之關係，由主動及從動</p> 	<p>1.1. $a = 0$, $\delta = 0$ (同軸心線之軸)</p> <p>1.2. $a > 0$, $\delta = 0$ (平行軸)</p> <p>1.3. $a = 0$, $\delta > 0$ (相交軸)</p> <p>1.4. $a > 0$, $\delta > 0$ (直交軸)</p>	<p>同軸或對軸機構</p>  <p>主動 從動</p> <p>平面機構</p>   <p>球面連桿機構，在同心球面上之運動</p> <p>斜齒輪齒機構，在二不同平面中之運動</p>   <p>空間曲線機構</p>  <p>空間連桿機構</p> 

2. 主動及從動運動 (運動軌跡)	2.1. 轉動 (迴轉) 2.2. 移動 (平移) 2.3. 滾動 2.4. 綜合	 <p>例如：滑滾，螺旋，拘束鏈圓弧移動</p>
3. 主動運動之運動時程 (速度變化時程)	3.1. 定向 3.2. 摺動 (方向變化) 3.3. 步進運動 (間歇運動) 3.4. 間歇運動 (間歇摺動)	

機構由下列各件組成：

一種機架件，

大多情形一件主動構件，

大多情形一件從動構件。

運動傳達經由連桿組及聯接件。其中需要特殊機構。

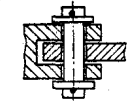
9.2.2 構成元件

9.2.2.1 機構構件

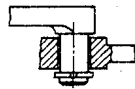
第9.2 表 平面運動環節例

滑動環節

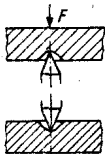
轉動



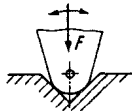
轉動環節 (轉向軸)
形對 $f = 1$



轉動環節 (變軸軸)
形對 $f = 1$

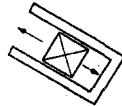


叉口軸承:
靜止接觸
力對 $f = 1$

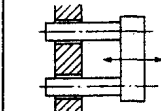


滑動叉口力對
線接觸
 $f = 1$

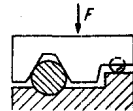
滑動



稜槽導承之滑環形對 $f = 1$



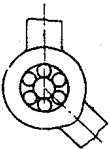
圓柱導承之滑環形對
二重裝置之形對
 $f = 1$



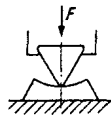
力對
球面承接, 線及點接觸
 $f = 1$

滾動環節

轉動



滾動軸承之
轉動環節

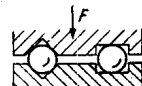


滾動叉口力對
 $f = 1$



位於滾子柱及凸輪盤
間之滾動環節
力對
 $f = 1$

滑動

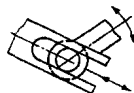


無間隙, 球面導承
力對
點接觸
 $f = 1$

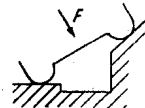
滑動滾動環節



凸輪盤上無滾子之
接臂, 力對
 $f = 2$



稜槽中圓柱軸
形對
 $f = 2$



二接觸點之環節
力對, 線接觸
 $f = 1$

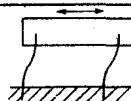
彈性對之環節



片簧環節

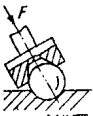
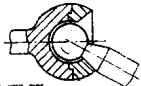
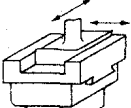
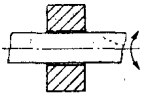
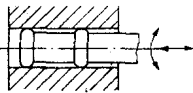
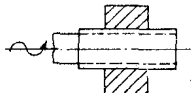
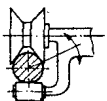
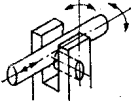
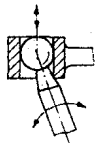
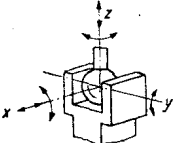




壓縮環節



二片簧之滑形環節

第9.3表 空間運動之環節

<p>滑動環節</p>		<p>轉動 (d)</p>		<p>滑動 (s)</p>	
 <p>球錐環節 力對 線接觸 $f = 3$</p>		 <p>球環節 形對 面接觸 $f = 3$</p>		 <p>正交滑動環節，二構件面接觸 $f = 2$</p>	
<p>轉動+滑動</p>					
 <p>轉滑環節 面接觸 $f = 2$</p>		 <p>轉滑環節 線接觸 $f = 2$</p>		 <p>螺旋環節 面接觸 $f = 1$</p>	
<p>滑動滾動環節</p>					
 <p>圓桿之滾子導承 形對 $f = 2, (1s + 1d)$</p>		 <p>正交圓柱環節 力對 $f = 3, (1s + 2d)$</p>		 <p>球圓筒環節 形對 $f = 4, (1s + 3d)$</p>	
				 <p>球板環節 形對 $f = 5, (2s + 3d)$</p>	
<p>滾動環節</p>			<p>彈性對之環節</p>		
 <p>圈狀刃口環節 力對 $f = 2, (2d)$</p>			 <p>複緊縮之轉動環節 (較小轉角)</p>		

運動機構中之構件經由完全確定之相對運動互相關聯。構件可能為一簡單之元件（例如齒輪）或為一組件（例如工具滑座）。剛體接合之靜止樞軸件—機架件—亦為機構構件之一。

9.2.2.2 環節

經由環節（機件對偶）二件互作相對運動之機構構件直接互相聯接。環節通常由構件接觸體面組成。環節亦將有傳達部份（例如滾動軸承，片簧環節）。諸多可能環節形式分爲

1. 准用相對運動（轉動，滑行等），
2. 接觸方式（面接觸，線接觸或點接觸），
3. 接觸處狀態（滑動，滾動，滾滑動），
4. 對偶組合（形對，力對，彈性對），參閱第9.2.3.2節。

各種環節表列於第9.2表及第9.3表。

9.2.2.3 傳動聯接構件

有一定運動方式之二構件，經由傳動聯接物將運動關聯，並將力傳達。傳動聯接物或為附有環節之傳導件（例如連桿）或由主動構件直接與從動構件接觸（例如齒齧合）。各種傳動聯接構件之類別參閱第9.4表及第9.5表。

第9.4表 傳動聯接構件之傳達方法

傳達方法	說明及例
1. 固體	連桿，滑軌，輪帶，鏈，緊縮帶 彈簧 經由液體壓力傳達運動（液體靜力）或經由液體動能 ¹⁾ （液體動力） 經由壓縮空氣或空氣噴射 ¹⁾ 發電機及電動機組
{ 剛體	
{ 撓性體	
{ 彈性體	
2. 液體	
3. 氣體	
4. 電流	
5. 其他物理效應	

¹⁾ 液體動力及空氣動力之傳達並非實體聯接物，因為完全之可逆效應，亦即可逆性頗成問題。

9.2.2.4 機構組合作

在諸多機構中需要組合作 (例如棘輪, 彈簧機構等)。此可由運動或靜止之組件組成, 使機構達到一定之分步效能 (例如消除運動, 將能儲存等)。

在參考文獻 [13] 中提供較多種類組合作。

參考文獻 [41] 有對儲能器之特別說明。

9.2.3 進一步說明有關機構構成之重要意義

9.2.3.1 環節自由度——機構自由度

環節自由度 f 為環節在三維坐標軸向可能之相對運動數。

在空間自行活動之物體其自由度 $f = 6$, 亦即對 x , y , 及 z 軸有 3 轉動及 3 滑移 (參閱第 9.3 表)。

機構自由度或運動度 F 為, 當機構能強制運動時, 閉口鏈內能各自獨立之主動構件數, 或必需之主動構件數。

9.2.3.2 形對及力對

機件對偶間僅以其形狀即能使組合固定者, 稱為形對。力對與之不同, 需加外力, 始可使對偶機件組合固定。尚有彈性對環節, 使用彈性材料使二構料能作相對運動 (例如使用彈簧鋼, 橡膠或塑膠)。

9.2.3.3 壓力傳達——摩擦傳達——彈性傳達

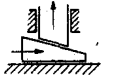
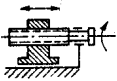
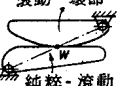
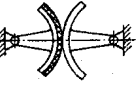
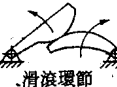
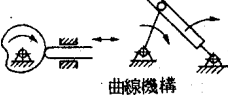
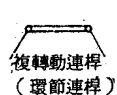
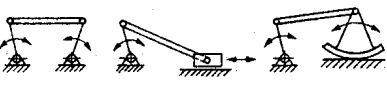

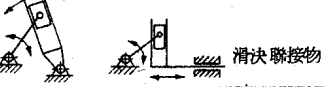

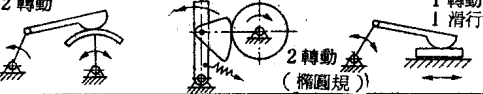
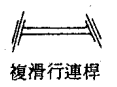
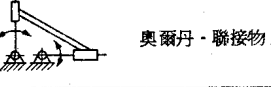
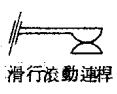
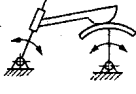
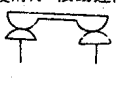

將一構件之運動傳達至另一構件時永需有力。此項傳達運動之力有:

- 在傳達面上之壓力 (支承力), (例如曲軸與連桿間, 齒輪系之齒間),
- 表面上運動方面內之摩擦力, 此項傳達力之產生, 必需添加壓力, (例如摩擦輪機構之徑向力)。
- 滾動環節之傳達力為由二側固定之彈性牽引件所產生之彈力, (彈性傳達)。

9.2.3.4 運動鏈——機構

依照運動鏈之定義, 剛性接合固定不動之構件—固定樞紐之聯心線—亦為構

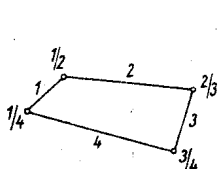
第9.5表 機械運動組聯接物

	原理	例
環節中間接接物	 <p>滑動環節</p>	 <p>空間轉動鉗 (螺旋機構)</p>
	 <p>滾動-環節 純粹-滾動</p>	 <p>摩擦機構</p>
	 <p>滑滾環節</p>	 <p>曲線機構</p>
使用剛性中間構件	 <p>複轉動連桿 (環節連桿)</p>	
	 <p>轉動-滑行連桿</p>	 <p>滑決聯接物</p>
	 <p>轉動滾動連桿</p>	 <p>2 轉動 1 轉動 1 滑行 (橢圓規)</p>
	 <p>複滑行連桿</p>	 <p>奧爾丹-聯接物</p>
	 <p>滑行滾動連桿</p>	
	 <p>複滑行-滾動連桿</p>	 <p>摩擦環 2 轉動 (赫勞機構) (橢圓規)</p>

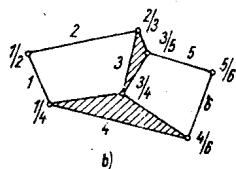
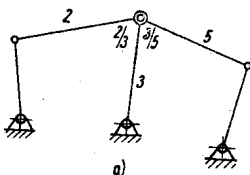
件(連桿)之一。如將接合樞紐鬆開，代以連桿，則成爲可以運動互相連貫成爲閉口鏈(第9.1圖)，鏈中連桿數與環節數相等。由此基本運動鏈能導出各種之機構。

將閉口鏈中一件構件作爲固定構件(機架)，另一構件作爲主動構件，則此鏈成爲機構。機構有多於四件構件者可能亦有較多之主動構件及/或較多之從動構件。機構構件較多於四者，大多情形，每一構件之增加，亦將增加二環節。

例：第9.2圖。在構件上之環節數並無限制，但與總構件數有關(參閱第9.2.3.6節組合數值)。最大多數爲二環節，三環節及四環節構件。



第9.1圖
閉口運動鏈(四連桿組)



第9.2圖 有三件三環節構件之六連桿組
a) 有一複環節之機構；
b) 將機構；a) 繪製成爲單聯鏈。

9.2.3.5 拘束運動

對機構中一構件(或多構件)驅動，能使其餘各構件隨主動構件作一定之運動者，稱爲拘束運動機構(強制運動)。拘束運動之條件可以數值表示。

依照格魯勃爾之條件方程式

適合僅有低對之平面機構之方程式：

$$2e - 3n + 4 = 0 \quad (9.1)$$

其中 e 爲機件對偶數
 n 爲構件數

例：第9.2圖 a

$$2 \cdot 7 - 3 \cdot 6 + 4 = 0 \quad \text{滿足方程式之條件}$$

$$14 - 18 + 4 = 0 \quad \text{由此鏈導出之機構使用單一主動能作拘束運動。}$$

公式(9.1) 亦可適用於滑行環節(例如第9.3圖： $2 \cdot 4 - 3 \cdot 4 + 4$)