

毕传湖 编



机械设计基础丛书

**斜面机构  
和螺旋机构  
设计**

机械工业出版社

47  
TH122

55

3

士

## 前 言

为了实现我国社会主义四个现代化的宏伟目标，各个生产部门都力求大搞技术革新、推动技术进步，因而迫切需要以最新的机器来装配自己，以求不断提高产品质量，提高工效和经济效益。为此，机械设计日益成为改革中的重要环节。为适应这一新的形势需要，根据“发展国民经济必须依靠科学技术，科学技术必须为国民经济服务”的方针，从当前实际出发组织编写了《机械设计基础丛书》。

本丛书共分九册：

- 一、平面连杆机构设计
- 二、凸轮机构设计
- 三、斜面机构和螺旋机构设计
- 四、挠性传动设计
- 五、齿轮传动设计
- 六、轴系零部件设计
- 七、常用机械设计
- 八、机器测绘技术
- 九、润滑和密封

本丛书是以结构设计为重点，介绍了设计计算的必要基础知识。并提供了许多机械设计实例，为设计工作引路。关于设计计算，除运用一般数学运算外，还使用图算法（即诺谟图），它具有运算简便迅速，数据可靠的优点。故本丛书尽量采用图算法进行计算。

---

本书是在机械设计学习班试用的基础上重新整理编写的，在编写过程中得到许多同志的支持与帮助，特别是东北工学院徐灏教授。参加审阅的有：郑福庭、方昆凡、郭胜楠、蔡绍珍、陈修鸿等同志，编者在此表示衷心的感谢。

斜面机构和螺旋机构在生活和工农业产品中，是常见的机构。本书介绍了斜面机构和螺旋机构的设计方法及应用实例。考虑自学的需要，在第一章里介绍了与该机构有关的力学知识。为使读者从事设计有关机构时有所参照，在第四章里列举了实例；着重指出主要零件上结构的设计方法，提供参考。本书中有关计算并图省力省时，保证数字准确，在掌握原理的基础上，运用图算方法。

由于我们水平所限，难免存在某些错误。望读者给予批评、指正。

编者

一九八二年十二月

《机械设计基础丛书》

主编：张季高 毕传湖 曹金汤  
编者：王汉文 马先贵 刘葆兴 伍文枢 毕传湖  
何英斌 高泽远 张秀艳 张和远 周鹏翔  
阎以诗 曹金汤 郭仲凯 蔡春源

# 目 录

## 前言

第一章 斜面机构和螺旋机构的基本知识	1
第一节 斜面机构	2
一、斜面机构的受力分析	2
二、槽斜面机构的受力分析	8
第二节 螺旋机构	11
一、螺旋的形成	12
二、螺旋机构的类型	21
三、螺旋副的受力分析	23
第三节 斜面机构和螺旋机构的机械效率和自锁	27
一、机械效率	27
二、机构的自锁	29
第二章 斜面机构的设计	37
第一节 设计方法和步骤	37
一、明确设计任务	37
二、拟定总体方案	37
三、设计零件	39
第二节 零件材料的选择	39
一、考虑载荷的大小和性质	39
二、根据零件的工作情况	39
三、考虑各种材料的工艺性和合理使用	40
四、考虑经济性	40
第三节 斜面机构设计举例	40
一、设计夹紧机构	40
二、设计定位用支承机构	45

三、设计圆偏心夹紧机构	46
第三章 螺旋机构设计	50
第一节 螺旋机构的结构	50
一、螺纹的结构	50
二、螺纹联接件联接的结构	52
三、螺旋传动机构的结构	56
第二节 螺栓联接的强度计算	59
一、受轴向载荷的螺栓联接	60
二、受横向载荷的螺栓强度计算	70
三、受倾翻力矩作用的螺栓联接	80
第三节 螺旋传动的设计	84
一、螺旋传动的特点	84
二、螺旋传动的设计	87
三、校核螺杆强度	93
四、校核螺纹牙强度	96
五、校核螺杆稳定性	97
六、螺母的设计	103
第四章 设计举例	105
一、螺旋千斤顶	105
二、螺杆挤压机	111
三、螺杆油泵	126
四、螺旋压板机构	128
五、滑柱定心夹具	135

# 第一章 斜面机构和螺旋机构的基本知识

斜面机构乃是推动载着物体的滑块沿着倾斜面，以一定的速度滑动上升使物体移位或受力的机构。

螺旋机构是利用内、外螺纹旋合，使带有内（或外）螺纹的零件固定，则带有外（或内）螺纹的零件将所顶的物体沿轴向移位或受力的机构。它是斜面机构的一种特殊形式。

图 1-1 是机床加工零件的夹具。从图可以看出，当向右旋动丝杠 1 时，滑柱 8 被顶向左移动，同时滑柱上的斜面迫使顶销 3 向上移动，由于压铁 4 绕固定销轴 5 回转，所以压铁 4 右端被顶销 3 顶起，其左端将工件 6 压紧。取

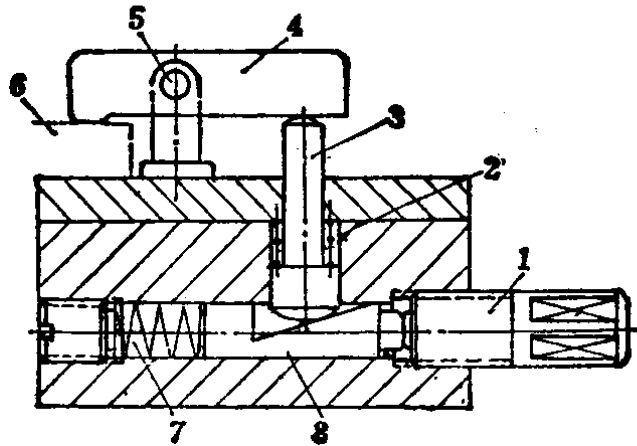


图1-1 机床夹具

- 1—丝杠 2—弹簧 3—顶销 4—压铁  
5—销轴 6—工件 7—弹簧 8—滑柱

工件 6 时，则向左旋动丝杠 1（退出）靠弹簧 2 和 7，使顶销 3 和滑柱 8 退回原位，压铁 4 左端被松开，便可以取出工件。这个夹具是采用旋转运动变换为直线运动，并再次转换为另一方向的摆转运动实现夹紧动作的。丝杠 1 与夹具主体是螺旋传动机构，而滑柱 8 与顶销 3 则是斜面机构。

由上述可知斜面机构和螺旋机构都能够改变机构的运动方向和方式，能以很小的力通过机构作用，就可得到很大的力，能够实现自锁的要求。此外还具有传动准确，平稳和无噪音等特点。但这两种机构的最大缺点是效率低。

## 第一节 斜面机构

机械在运转时各运动副中产生着摩擦力。如摩擦轮传动、皮带传动、夹具以及制动装置等都是靠这个摩擦力进行工作。但是由于摩擦损耗使机械效率降低了，同时各运动副受到磨损，影响机件的强度和寿命。

斜面机构就是合理的利用摩擦力来实现夹紧和自锁。

### 一、斜面机构的受力分析

图 1-2 a 表示滑块放置在倾斜角为 $\alpha$ 的斜面上，滑块与斜面之间的摩擦系数为 $f$ 、相应的摩擦角为 $\varphi$ 。不同材料副的摩擦系数值见表 1-1。

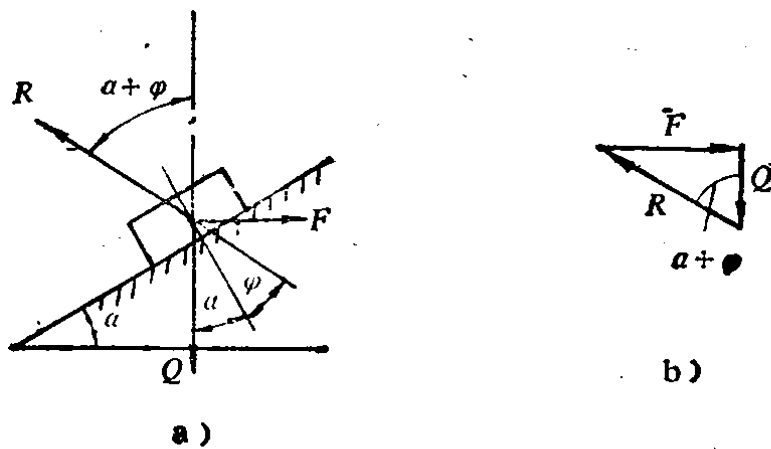


图1-2 斜面滑块上升受力图

从图1-2a分析滑块在水平推力 $F$ 的作用下，沿斜面等速 $v$ 上升，斜面对滑块必有一个总反力 $R$ 阻止它上升。这时在滑块上作用有三个力：作用在滑块上的铅垂载荷 $Q$ （包括滑

表1-1 材料副的摩擦系数

材料副名称	摩擦系数			
	静摩擦		动摩擦	
	无润滑剂	有润滑剂	无润滑剂	有润滑剂
钢—钢	0.15	0.1~0.12	0.15	0.05~0.10
钢—铸铁	0.3		0.18	0.05~0.15
钢—青铜	0.15	0.1~0.15	0.15	0.10~0.15
铸铁—铸铁		0.18	0.15	0.07~0.12
铸铁—青铜			0.15~0.2	0.07~0.15
青铜—青铜		0.1	0.2	0.07~0.1
皮革—铸铁	0.3~0.5	0.15	0.6	0.15
橡皮—铸铁			0.8	0.5

块自重)；水平推力 $F$ ；总反力 $R$ 。根据平衡条件可知， $F+R+Q=0$ ，而此三力必构成一个封闭的力三角形关系如图1-2b所示，可求得

$$F = Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (1-1)$$

公式(1-1)中可以分析出 $0 < \alpha < \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$ 时滑块可以上升移动；当 $\alpha \geq \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$ 时就是等速上升时的自锁条件。由于 $Q$ 、 $\alpha$ 和 $\varphi$  ( $\varphi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} f$ )均为已知，所以 $F$ 的大小可定。设滑块和斜面的材料都是钢，在没有润滑的条件下取摩擦系数 $f = 0.15$  (摩擦角 $\varphi = 8^\circ 32'$ ) 斜面升角 $\alpha = 10^\circ$ ，则得

$$F = Q \operatorname{tg} (10^\circ + 8^\circ 32') = 0.34Q$$

这里表明，在这个斜面机构中推动滑块所需要的水平推力 $F$ 只是滑块载荷 $Q$ 的三分之一，显然省力。

从图1-3a可以分析出滑块在受载荷 $Q$ 的作用时，防止其沿斜面下滑所需要加的外力 $F'$ 。 $R'$ 是滑块要下滑时所产生的



的总反力。根据平衡条件 $Q + F' + R' = 0$ ，力的三角形如图1-3b所示，则得

$$F' = Q \operatorname{tg}(\alpha - \varphi) \quad (1-2)$$

$F'$ 就是防止滑块要下滑应加于滑块上的水平推力。由公式(1-2)可以分析出，当 $\alpha \leq \varphi$ 时则 $F' \leq 0$ 。由此可知，滑块在载荷 $Q$ 为驱动力的作用下不下滑的条件是 $\alpha < \varphi$ ，也就是说 $\alpha < \varphi$ 是斜面机构下滑的自锁条件。

例1 如图1-4所示已知滑块的载荷 $Q=8$ 千牛，为使滑块沿升角 $\alpha=20^\circ$ 的斜面向上滑动，试求在下列三种情况时拉力 $F$ 的大小和斜面机构的机械效率。移动副间的摩擦系数 $f=0.1$ 。

- (1) 拉力 $F$ 处于水平位置时；
- (2) 拉力 $F$ 平行于斜面时；
- (3) 拉力 $F$ 向上与水平线的倾角为 $40^\circ$  ( $\beta=20^\circ$ ) 时。

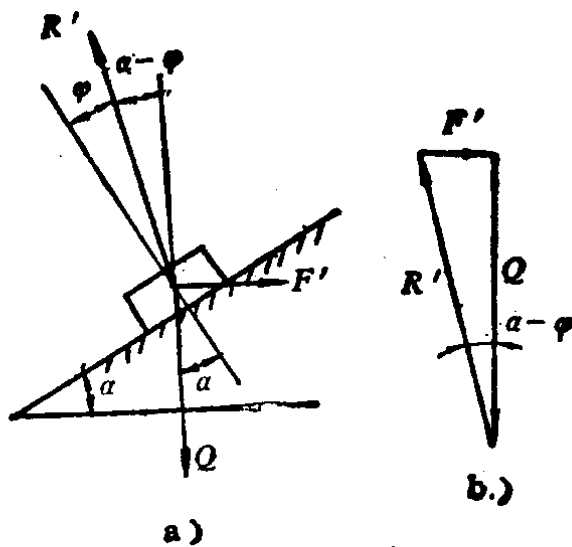


图1-3 斜面滑块  
下滑受力图

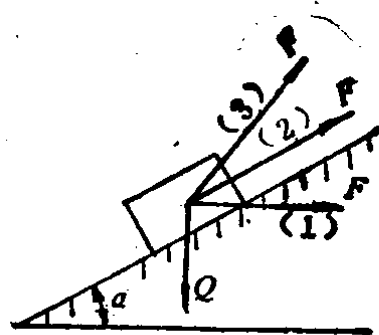


图1-4 斜面滑块

解

题号	受力分析	计算 $\varphi$ 值	F 值 (千牛)	摩擦系数等于零时的 $F_0$ (千牛)	机械效率 $\eta = \frac{F_0}{F}$
(1)		$\varphi = \arctan f$ $= \arctan 0.1$ $\approx 5^\circ 42'$	$F = Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)$ $= 8 \times \operatorname{tg}(20^\circ + 5^\circ 42')$ $= 8 \times 0.48127$ $= 3.850$	$F_0 = Q \operatorname{tg} \alpha$ $= 8 \times \operatorname{tg} 20^\circ$ $= 8 \times 0.36397$ $= 2.912$	$\eta = \frac{F_0}{F}$ $= \frac{2.912}{3.850}$ $= 0.756$ $= 75.6\%$
(2)			$F = Q \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\sin(90^\circ - \varphi)}$ $= 8 \times \frac{\sin(20^\circ + 5^\circ 42')}{\sin(90^\circ - 5^\circ 42')}$ $= 8 \times \frac{0.43366}{0.99505}$ $= 3.481$	$F_0 = Q \frac{\sin \alpha}{\sin 90^\circ}$ $= 8 \times \sin 20^\circ$ $= 8 \times 0.34202$ $= 2.736$	$\eta = \frac{F_0}{F}$ $= \frac{2.736}{3.481}$ $= 0.783$ $= 78.3\%$
(3)			$F = Q \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\sin 90^\circ + (\beta - \varphi)}$ $= 8 \times \frac{\sin(20^\circ + 5^\circ 42')}{\cos(20^\circ - 5^\circ 42')}$ $= 8 \times \frac{0.43366}{0.96901}$ $= 3.579$	$F_0 = Q \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}$ $= Q \operatorname{tg} 20^\circ$ $= 8 \times 0.36397$ $= 2.912$	$\eta = \frac{F_0}{F}$ $= \frac{2.912}{3.579}$ $= 81.4\%$

从这几种情况比较可以分析出在同一条件下当拉力  $F$  的方向不同时所需要拉力  $F$  的大小是不同的，而沿斜面方向拉时是最省力的。

**例2** 图1-5所示为一压榨机的斜面机构。滑块  $B$  所负担的载荷  $Q=10$  千牛，楔块倾斜角  $\alpha=10^\circ$ ，各接触面间的摩擦系数均为  $f=0.3$ ，求水平驱动力  $F$  和验证机构能否自锁。

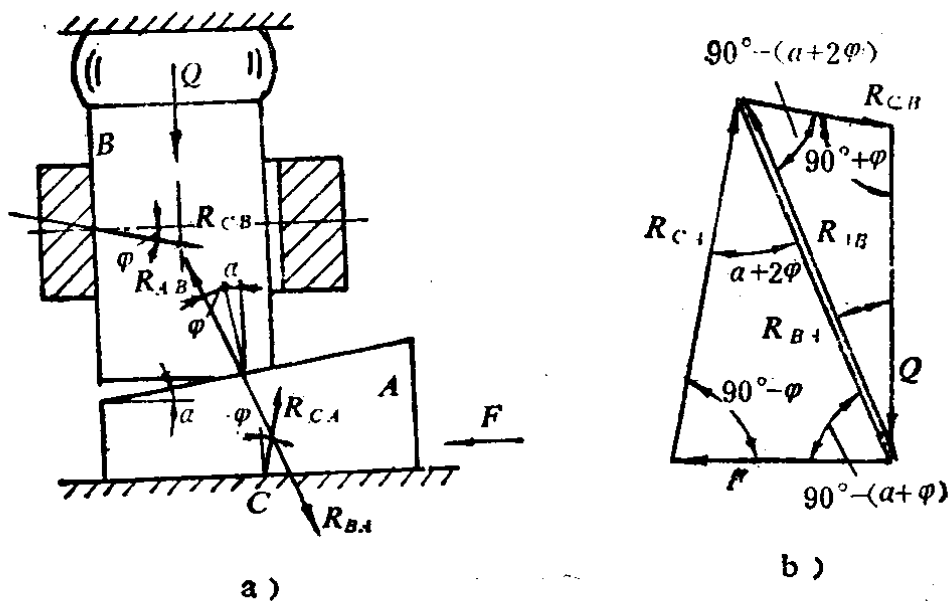


图1-5 压榨机斜面机构

**解** (1) 首先分析机构受力情况。已知滑块  $A$  向上移动是工作行程，向下移动是回位行程。在工作行程过程中受力情况如图  $a$  所示。根据摩擦系数  $f=0.3$  可得

摩擦角  $\varphi = \text{tg}^{-1} 0.3 = 16^\circ 42'$

根据平衡条件  $F + R_{CA} + R_{BA} = 0$  和  $Q + R_{CB} + R_{AB} = 0$ ，各作力三角形如图 1-5b 所示，为求  $F$  和  $Q$  两力间的关系：由三边形  $QR_{AB}R_{CB}$  得

$$\frac{Q}{\sin[90^\circ - (\alpha + 2\varphi)]} = \frac{R_{AB}}{\sin(90^\circ + \varphi)}$$

由三边形  $FR_{BA}R_{CA}$  得

$$\frac{F}{\sin(\alpha + 2\varphi)} = \frac{R_{BA}}{\sin(90^\circ - \varphi)}$$

因为  $|R_{AB}| = |R_{BA}|$ ，两式合起来得

$$F = Q \operatorname{tg}(\alpha + 2\varphi)$$

所以

$$F = 10 \operatorname{tg}(10^\circ + 2 \times 16^\circ 42')$$

$$= 10 \times 0.9457$$

$$= 9.46 \text{ 千牛}$$

根据上升时自锁条件为  $\alpha \geq 90^\circ - 2\varphi$

由于  $90^\circ - 2 \times 16^\circ 42' = 56^\circ 36'$

而  $\alpha = 10^\circ$

则  $\alpha < 90^\circ - 2\varphi$  所以工作行程中不能自锁。

(2) 当回位行程时  $Q$  为驱动力，这时  $F$  为防止下滑的阻力改写为  $F'$ ，受力情况如图1-6所示，其力三角形如图1-6b，

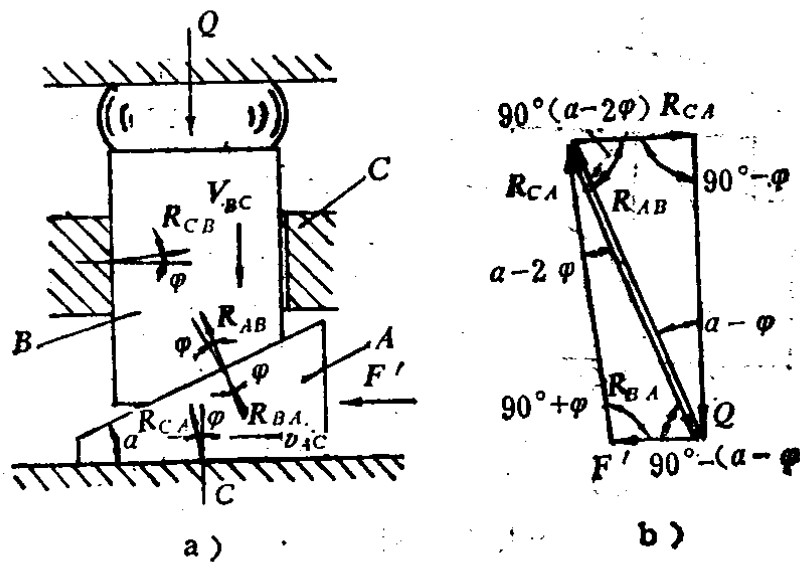


图1-6 压榨机

根据平衡条件  $F' + R_{BA} + R_{CA} = 0$ ， $Q + R_{AB} + R_{CB} = 0$ ，由力三角形得出

$$F' = \frac{R_{BA} \sin(\alpha - 2\varphi)}{\cos\varphi}$$

$$Q = \frac{R_{AB} \cos(\alpha - 2\varphi)}{\cos\varphi}$$

因为  $|R_{BA}| = |R_{AB}|$ ，所以二式合起来，得出  $F$  和  $Q$  二力的关系式

$$F' = Q \operatorname{tg}(\alpha - 2\varphi)$$

所以

$$F' = 10 \operatorname{tg}(10^\circ - 2 \times 16^\circ 42')$$

$$= -4.327 \text{ 千牛}$$

$F'$  表示负值的意思是只有把它向  $F'$  的相反方向变为驱动力时，才能下滑。

另从  $\operatorname{tg}(\alpha - 2\varphi) \leq 0$  的关系已知  $\alpha \leq 2\varphi$  是本机构的自锁条件。因  $\alpha = 10^\circ$ ， $2\varphi = 33^\circ 24'$ ，所以可知能自锁。

## 二、槽斜面机构的受力分析

图1-7为楔形滑块1放置于槽面的夹角为  $2\theta$  的槽形导轨

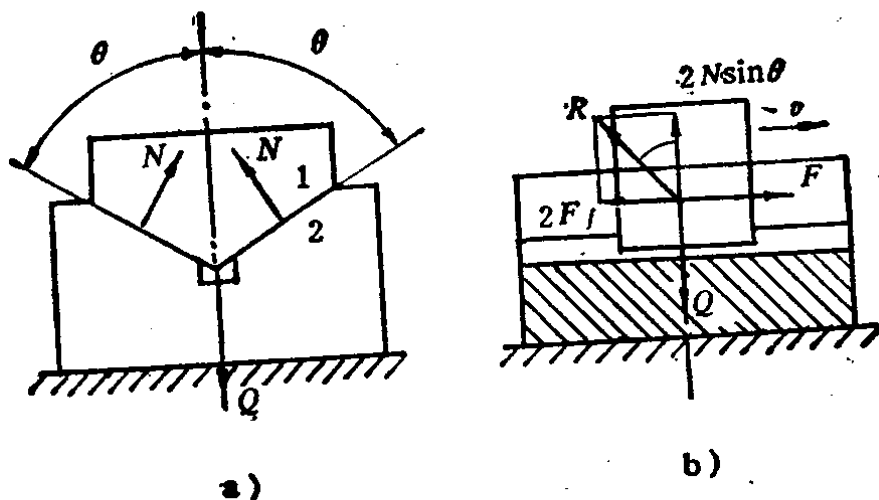


图1-7 槽面机构

2中， $Q$  是作用在楔形滑块 1 上的垂直载荷（包括楔形滑块的自重），当滑块 1 受水平推力  $F$  的作用，沿槽面作等速滑动时，在两个接触面上分别产生一个法向反力  $N$  和一个摩擦力  $F_f$ ，根据平衡条件滑块在铅垂线方向上的受力得

$$2N \sin\theta - Q = 0$$

在水平方向上的受力得

$$F - 2F_f = 0$$

因为

$$F_f = fN$$

所以

$$F = 2fN = \frac{f}{\sin\theta} Q = f_v Q \quad (1-3)$$

式中  $f_v = \frac{f}{\sin\theta}$

$f_v$  相当于平面摩擦中的摩擦系数  $f$ ，故称为当量摩擦系数。而与之相应的摩擦角，称为当量摩擦角，如用  $\varphi_v$  表示，则  $\varphi_v = \arctg f_v$ 。在槽面中  $\alpha \leq 90^\circ$ ，所以  $\sin\theta \leq 1$ ，故  $f_v \geq f$ 。可推出在相同的情况下，槽面摩擦大于平面摩擦。三角皮带传动和三角螺旋和梯形螺旋就是利用这种增大摩擦力的办法，实现传动或联接作用。

当槽形导轨2倾斜一个角度  $\alpha$  时，就变成了槽斜面摩擦，如图1-8。为使楔形滑块沿槽斜面等速上升，需要给一个水平推力  $F$ 。槽斜面对楔形块必有一个反力  $R$  阻止它上升。根

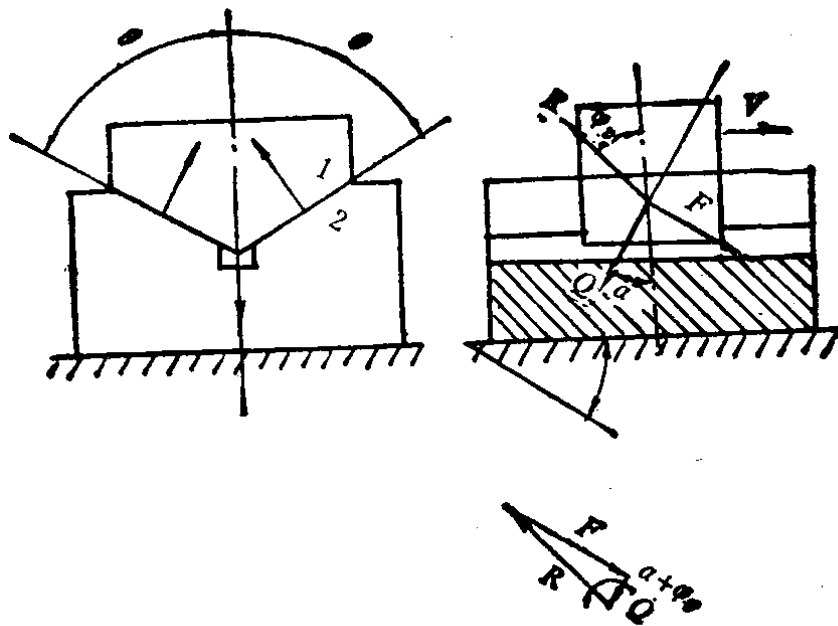


图1-8 槽斜面机构

据斜面公式 (1-1) 的同样道理可知, 水平推力  $F$  的大小为

$$F = Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_v) \quad (1-4)$$

式中  $\varphi_v$  —— 当量摩擦角。

从图 1-9 进一步分析楔形滑块受载荷  $Q$  的作用时, 防止其沿槽斜面下滑所需要加的外力  $F'$ , 同样, 也是根据斜面公式 (1-2) 得出

$$F' = Q \operatorname{tg}(\alpha - \varphi_v) \quad (1-5)$$

楔形滑块在载荷  $Q$  作用下不下滑的条件, 即自锁条件是  $\alpha < \varphi_v$ 。

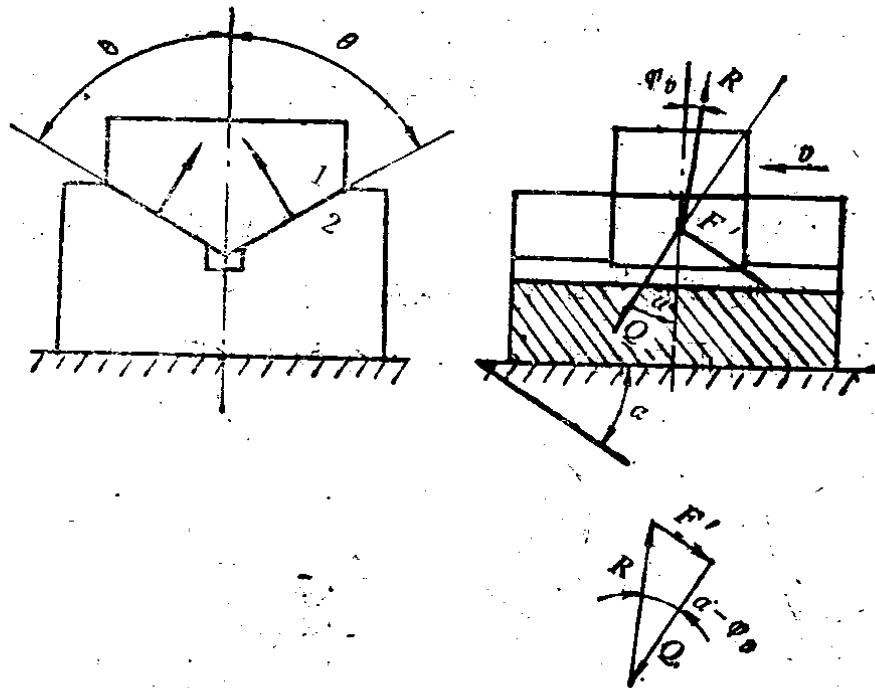


图 1-9 槽斜面机构

**例** 如图 1-10, 楔滑块作用在斜面上的载荷为  $Q = 1.6$  千牛, 它受水平推力  $F$  的作用, 以  $v = 0.2$  米/秒的等速沿着槽斜面向上滑动。已知平面摩擦系数  $f = 0.14$ , 升角  $\alpha = 15^\circ$ , 楔形滑块半角  $\theta = 40^\circ$ 。求水平推力  $F$ , 摩擦功  $P$ , 和机构效率  $\eta$ 。

**解** 首先对楔形滑块进行受力分析, 由于槽形导轨倾斜一个角度  $\alpha = 15^\circ$ , 所以摩擦就变成了槽斜面摩擦, 而应用当量

摩擦系数 $f_v$ 代替 $f$ ，来计算作用在楔形滑块上力 $F$ 和 $N$ 的问题。

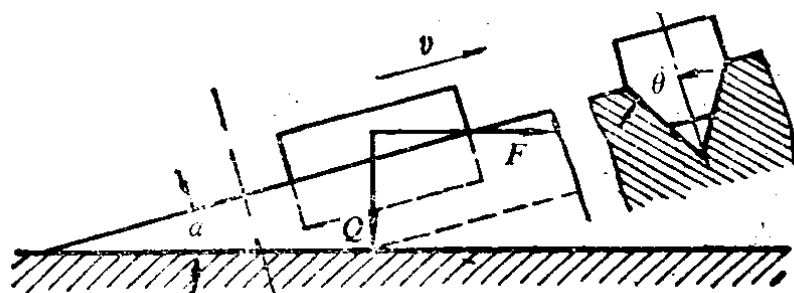


图1-10 槽斜面机构

根据平面摩擦系数 $f$ 和楔形滑块半角 $\theta$ ，利用公式得 $f_v$ 。

$$f_v = \frac{f}{\sin\theta} = \frac{0.14}{\sin 40^\circ} = \frac{0.14}{0.64279} = 0.2178$$

当量摩擦角  $\varphi_v = \text{tg}^{-1} f_v = \text{tg}^{-1} 0.2178 = 12^\circ 17'$

所以  $F = Q \text{tg}(\alpha + \varphi_v) = 1.6 \text{tg}(15^\circ + 12^\circ 17')$   
 $= 1.6 \times 0.51577 = 0.825$  (千牛)

输入功  $P = Fv = 82.5 \times 0.2 = 16.5$  (公斤力·米/秒)  
 $= 0.22$  (马力)

机械效率 $\eta$

$$\eta = \frac{\text{tg}\alpha}{\text{tg}(\alpha + \varphi_v)} = \frac{\text{tg}15^\circ}{\text{tg}(15^\circ + 12^\circ 17')} = \frac{0.26795}{0.51577}$$

$$= 0.519 = 51.9\%$$

## 第二节 螺旋机构

螺旋是零件上常用一种结构，它可以将两个零件联接起来；亦可起传递运动和功率的作用。前者称为螺旋联接，而后者则称为螺旋传动。在机床、起重设备、压力机、精密仪器等设备中被广泛应用，因此有些螺旋的形式和尺寸都有相应的标准规定，有利于各行业的设备设计选用。



## 一. 螺旋的形成

### 1. 圆柱螺旋线

如图1-11a所示, 在正圆柱表面上有一点 $A_0$ 绕圆柱的轴线作等速回转运动, 同时又沿着圆柱的轴线方向作等速直线运动, 则 $A_0$ 点在圆柱表面上形成的轨迹, 称为圆柱螺旋线。

作图时先画出轴线 $OO$ 及圆柱的投影, 将导程 $S$ 与圆柱底圆作若干等分, 按等速运动, 定出 $A_0$ 每一步的投影位置, 如 $a_1, a_2, \dots, a_{12}, a'_1, a'_2, \dots, a'_{12}$ , 邻点连线就是螺旋线的投影图。

$A_0$ 点旋转一周后, 沿着轴线方向移动的距离 $A_0A_{12}$ 称为导程( $S$ )。当圆柱的轴线为铅垂线时, 螺旋线的可见部分自左向右上升的称为右旋; 反之称为左旋。或用大拇指的指向为 $A_0$ 点的直线运动方向, 其余四指的指向为回转运动方向, 对螺旋线的形成与右手指向一致称为右旋, 与左手指向一致的称为左旋。图1-11b为右旋。

螺旋线随着所在圆柱体表面的展开成为一条直线 $A_0A_{12}$ , 图1-11c即为直角三角形的斜边。而底边为圆柱体底面的周长, 长度为 $\pi d_2$ ; 高边为螺旋线的导程 $S$ , 其长度为 $\sqrt{(\pi d_2)^2 + S^2}$ 。斜边 $A_0A_{12}$ 与底边的夹角 $\alpha$ 称为螺旋线的升角

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{S}{\pi d_2} \quad (1-6)$$

### 2. 圆柱螺旋面

当一直动母线沿着曲导线为圆柱螺旋线并和另一一直导线为圆柱轴线保持一定角度做回转运动, 所形成的曲面称为圆柱螺旋面。

(1) 正螺旋面 是一直动母线 $L$ 始终与圆柱轴线 $OO$ 保持垂直, 沿两个导线: 轴线 $OO$ 和圆柱螺旋线 $A_0A_0$ 回转形成的曲面如图1-12a、c。作图时先画出轴 $OO$ 及螺旋线的投影。