

双摇杆登楼机构

许菊若 韩 鸣 许介卫 周洪军

(无锡轻工大学) (无锡市轻工职大) (无锡轻工大学)

摘要 介绍了双摇杆登楼机构及其主要参数计算方法。该机构具有省力、工作平稳、可折叠、携带方便等特点。不需转换机构就可在平地或楼梯(台阶)上运行。

主题词 机构;摇杆;转动

中图分类号 TH112.1

人们在生活中很需要一种能在平地 and 楼梯(或台阶)上都能运送物品的家用运输小车,为此,作者研制成功了一种双摇杆登楼机构。

1 工作过程

双摇杆登楼机构的外形如图1所示,由两组相同的双摇杆机构组成。图中标有序号的为一组,即由前摇杆2、后摇杆5、连杆3和机架杆4等组成,其转动副为A、B、C和D。四个车轮分别装在各摇杆的一端。装在机架4上的托架7、拉钩架8和支撑架9等组成载物机构。通过拉杆10,即可运送车上的载物。双摇杆机构在平地上运行和在楼梯上运行其连杆与摇杆间的相互位置是不同的。

平地运行时,车轮1的中心G应在A点左侧,在载物的重力作用下,前摇杆将绕A点向输送方向转动,并通过连杆拉动后摇杆绕B点向逆输送方向转动,使B、C、D三点共线(见图2),这时双摇杆机构被锁定,形成一个刚性桁架,因而能平稳地在平地上运行,不需外加扶持平衡力。

在登楼梯时,前轮1将碰到楼梯侧壁,由于轮心G原来超前于前摇杆回转中心A,因此在楼梯侧壁反力的作用下,前摇杆绕A点向逆输送方向转动,同时通过连杆迫使后摇杆及后轮6绕B点向输送方向转动,由于后轮心H原来滞后于后摇杆回转中心B,因此后摇杆的转

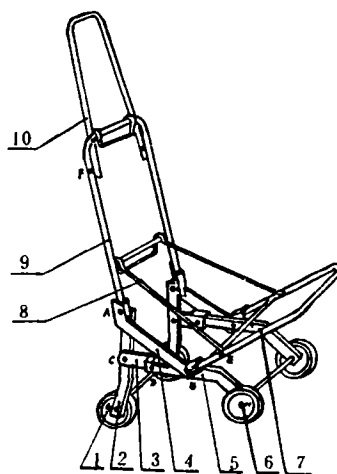


图1 登楼机构外形图

收稿日期:1995-05-03

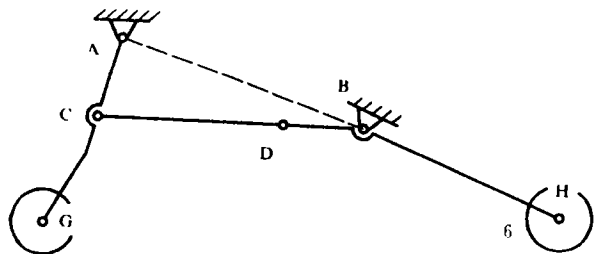


图2 平地上行走原理图

动,使车又登上一级楼梯。整个登楼梯过程是前后摇杆的反复摆动和前后轮在楼梯水平面或侧壁上的交错滚动的结果。

2 主要机构参数的确定

双摇杆机构在平地上运行或登楼梯时的原理图分别可简化成图2和图3。

3. 构件AB为机架,前摇杆的垂直摆动角为 θ ,后摇杆的水平摆动角为 φ ,连杆水平交角为 α ,连杆长度为 L ,AB在水平和垂直方向的投影长度分别为 d 和 e 。设 $AC=BD=r$, $AG=BH=R$ 。据图3可写出投影方程:

$$\left. \begin{aligned} \cos\alpha &= \frac{d - r \cdot (\sin\theta + \cos\varphi)}{L} \\ \sin\alpha &= \frac{r \cdot (\sin\varphi + \cos\theta) - e}{L} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

由 $\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1$ 可得

$$2r(rcos\theta - e)\sin\varphi + 2r(rs\sin\theta - d)\cos\varphi + 2r^2 + d^2 + e^2 - L^2 - 2r(ecos\theta + dsin\theta) = 0$$

$$E \sin\varphi + F \cos\varphi + G = 0 \quad (2)$$

式中 $E = 2r(rcos\theta - e)$; $F = 2r(rs\sin\theta - d)$; $G = 2r^2 + d^2 + e^2 - L^2 - 2r(e \cdot \cos\theta + d \cdot \sin\theta)$ 。

解式(2)得

$$\varphi = 2 \cdot \arctg \frac{-E + \sqrt{E^2 + F^2 - G^2}}{G - F} \quad (3)$$

式(1)和(3)表示了机构各杆件的相互位置关系,从式(3)和式(1)可求出相应的 φ 和 α 角。

2.1 机构主要参数的确定

登楼梯的整个过程按车轮的位置可分为两个阶段,见图4。设楼梯台阶长度为 M ,高度为 H_0 ,车轮半径为 R_0 。各轮在登楼梯时的相互位置应满足下列关系:

$$\left. \begin{aligned} m &\leq M - R_0(1 - \sin\beta_1) \\ h &\geq H_0 - R_0(1 - \cos\beta_2) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

动,不仅使机构锁定自动取消,并能使车产生向上的运动。在拉力作用下,前轮沿楼梯侧壁向上滚动,而后轮则在平面上向前滚动。经过一段时间后,前后两轮及前后摇杆的运动情况与上相反,前轮登上一级楼梯后开始在平面上滚动,前摇杆绕A点向输送方向转动,而后轮开始碰到楼梯侧壁作向上滚动,后摇杆绕B点向逆输送方向转动,

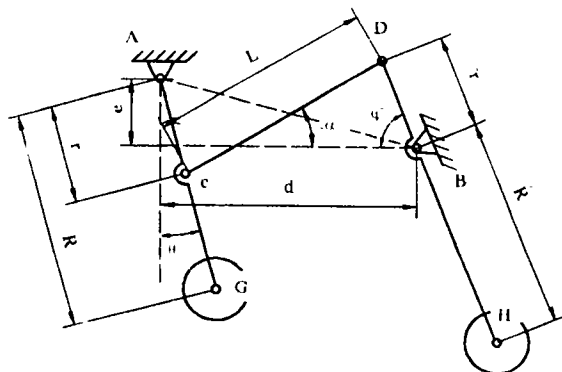


图3 登楼梯原理图

式中

m ——前后轮分别碰到楼梯侧壁和水平面时的两轮水平距离

h ——前后轮分别碰到楼梯水平面和侧壁时的两轮垂直距离

β_1, β_2 ——前后轮与楼梯凸缘接触时的垂直交角(一般取 $\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$)

根据式(4)可求得两轮水平和垂直极限位置时的距离 m 和 h 。

由于本机构是一种反向双摇杆机构(见图3),即两摇杆的摆动方向相反。因此在拉力作用下,当前轮沿侧壁滚动时,后轮必会在水平方向靠近前轮;当后轮沿侧壁滚动时,前轮必会在水平方向离开后轮。这种前后轮距离在水平和垂直方向的变化量使车子一步一步登上楼梯。两轮距离的水平变化量为 $m - e_x$ (见图4),垂直变化量为 $h - e_y$ 。各变化量应为两摇杆摆动半径在该方向投影的变动量之和,设两摇杆摆动半径在水平方向投影变动量为 R_x ,在垂直方向投影变动量为 R_y (见图4),则

$$\left. \begin{aligned} R_x &= R(\sin\theta_2 - \sin\theta_1) + R(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2) \\ R_y &= R(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) + R(\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中

R ——摇杆摆动半径

θ_1, φ_1 ——前后摇杆垂直摆动初始角

θ_2, φ_2 ——前后摇杆垂直摆动终止角

并应满足

$$\left. \begin{aligned} m - e_x &= R_x = R(\sin\theta_2 - \sin\theta_1) + R(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2) \\ h - e_y &= R_y = R(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) + R(\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1) \end{aligned} \right\}$$

式中

e_x ——两轮中心在垂直位置时的水平距离

e_y ——两轮中心在水平位置时的垂直距离

化简后得

$$\begin{aligned} R &= \frac{m - e_x}{(\sin\theta_2 - \sin\theta_1) + (\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2)} \\ \text{和 } R &= \frac{h - e_y}{(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) + (\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1)} \end{aligned} \quad (6)$$

从图4可知 $e_x = R_0(1 - \sin\beta_2)$ $e_y = R_0(1 - \cos\beta_1)$

将上式和式(4)代入式(6)后得

$$\left. \begin{aligned} R &\leq \frac{M - R_0(2 - \sin\beta_1 - \sin\beta_2)}{(\sin\theta_2 - \sin\theta_1) + (\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2)} \\ R &\geq \frac{H_0 - R_0(2 - \cos\beta_1 - \cos\beta_2)}{(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) + (\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1)} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

由式(7)可求出满足楼梯参数的摇杆摆动半径 R 值的范围。

另外,摇杆登楼梯时不应与楼梯凸缘相碰(见图5),即前后摇杆在任何摆角 θ (或 φ) 时,宽度为 B 的摇杆都不碰楼梯凸缘,并应满足 $H_1 + H_2 \geq H_0$ 。其中 H_2 为两摇杆在摆角 θ 和 φ 时两轮距离在 Y 方向的投影及车轮半径 R_0 之和。参考式(5)可得

$$H_2 = R(\cos\theta_1 - \cos\theta) + R(\sin\varphi - \sin\varphi_1) + R_0 \quad (8)$$

H_1 值的大小与杆宽 B 和摆角 θ (或 φ) 有关(见图5)

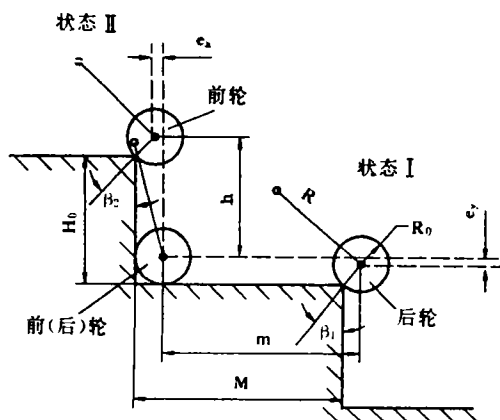


图4 登楼梯过程

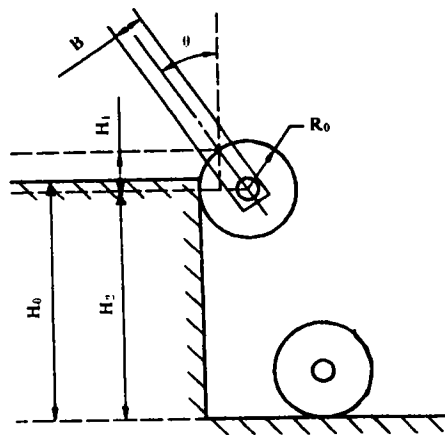


图5 摇杆与楼梯凸缘的干涉

$$H_1 = \frac{R_0 - B/(2 \cdot \cos\theta)}{\tan\theta} = \frac{R_0}{\tan\theta} - \frac{B}{2 \cdot \sin\theta} \quad (9)$$

对后摇杆来说式(9)中的 θ 值应由 $90^\circ - \varphi$ 代入,即

$$H_1 = \frac{R_0}{\cot\varphi} - \frac{B}{2 \cdot \cos\varphi} \quad (10)$$

当 B, R, R_0, φ 和 θ_1 值确定后,取不同的 θ 值就可求得相应的计算值 $H' = H_1 + H_2$ (见表1),并应满足 $H' \geq H_0$ 。在结构允许的情况下可以增加摆动半径 R 和摆角及减小杆宽 B 来达到上述要求。也可用摇杆偏置的方法(见图6)来避免摇杆与凸缘相碰。楼梯的坡度角 λ_T 决定于楼梯的结构参数 M 和 H ,即

$$\lambda_T = \arctg H/M$$

式中 M 为楼梯台阶长度; H 为楼梯台阶高度。而登楼梯时的实际坡度角 λ 是变化的,取决于两轮距离在 X, Y 坐标上投影的比值,根据式(5)可得

$$\lambda = \arctg \frac{R_Y}{R_X} = \arctg \frac{\cos\theta_1 - \cos\theta + \sin\varphi - \sin\varphi_1}{\sin\theta - \sin\theta_1 + \cos\varphi_1 - \cos\varphi} \quad (11)$$

坡度角 λ 随 θ 角变化(见表1)。将 $\theta = \theta_2$ 代入式(11)就可得实际平均坡度 $\bar{\lambda}$ 。

2.2 受力情况

在工作时车受到拉力 F ,载物和车身量 W ,楼梯对车轮的反作用力的作用(图7)。若不考虑摩擦力,前轮在楼梯侧壁滚动时两轮所受的力为 F_1 和 F_2 ,后轮在侧壁两轮所受的力为 F'_1 和 F'_2 (图8)。分别以 A, B 为支点可得前轮在楼梯侧壁滚动时的力平衡方程式

$$F_1 \cdot R \cdot \cos\theta = P \cdot r \cdot \cos\delta_1 \quad F_2 \cdot R \cdot \cos\varphi = P \cdot r \cdot \cos\delta_2$$

式中 P 为连杆对摇杆的作用力; $\delta_1 = |\alpha - \theta|$; $\delta_2 = |90^\circ - (\alpha + \varphi)|$ 。两式相除,整理后得

$$F_2 = \frac{\cos\delta_2 \cdot \cos\theta}{\cos\delta_1 \cdot \cos\varphi} \cdot F_1 = \frac{\cos\theta \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos\varphi \cdot \cos(\alpha - \theta)} \cdot F_1 = A \cdot F_1 \quad (12)$$

式中 $A = \frac{\cos\theta \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos\varphi \cdot \cos(\alpha - \theta)}$

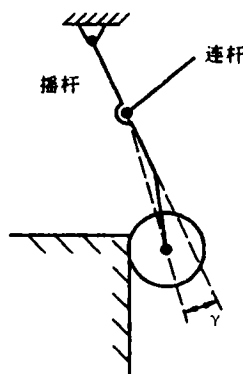


图6 摇杆偏置

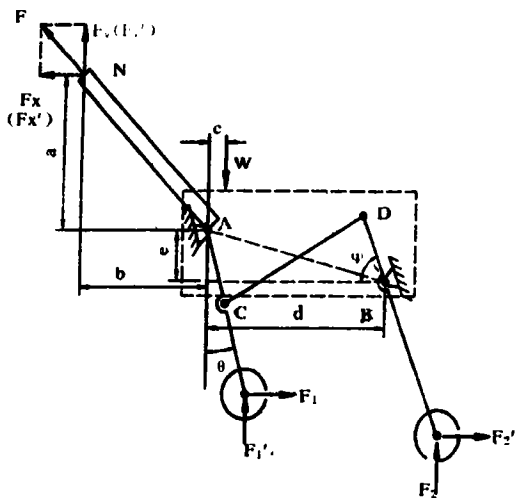


图7 整车受力情况

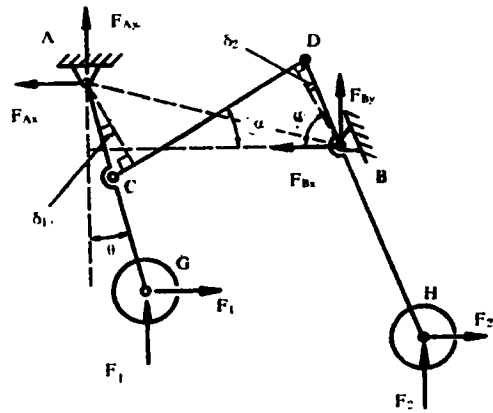


图8 双摇杆机构受力图

同理可得

$$F'_1 = \frac{\sin\varphi \cdot \cos(\alpha - \theta)}{\sin\theta \cdot \sin(\alpha + \varphi)} \cdot F'_2 = A' \cdot F'_2 \quad (13)$$

$$\text{式中 } A' = \frac{\sin\varphi \cdot \cos(\alpha - \theta)}{\sin\theta \cdot \sin(\alpha + \varphi)}$$

设拉力 F 作用在 N 点,其水平和垂直分力为 F_x 、 F_y ,车子的结构参数如图7。当前轮处于侧壁滚动时还应满足下列平衡方程式:

$$F_x = 2F_1$$

$$F_y = W - 2F_2$$

$$2F_1(a + R \cdot \cos\theta) + 2F_2(d + b + R \cdot \cos\varphi) = W(b + c)$$

式中 a 、 b 为拉杆的垂直、水平投影尺寸; c 为总重量中心的位置尺寸。化简并代入式(12)后得

$$F_1 = \frac{(b + c) \cdot W}{2 \cdot [a + R \cdot \cos\theta + A(b + d + R \cdot \cos\varphi)]}$$

$$F_x = 2 \cdot F_1 = \frac{(b + c) \cdot W}{a + R \cdot \cos\theta + A(b + d + R \cdot \cos\varphi)} \quad (14)$$

$$F_y = W - 2 \cdot F_2 = W - 2 \cdot A \cdot F_1 \quad (15)$$

同理可得 F'_x 和 F'_y

$$F'_2 = \frac{(b + c) \cdot W}{2 \cdot [a + e + R \cdot \sin\varphi + A'(b + R \cdot \sin\theta)]}$$

$$F'_x = 2 \cdot F'_2 = \frac{(b + c) \cdot W}{a + e + R \cdot \sin\varphi + A'(b + R \cdot \sin\theta)} \quad (16)$$

$$F'_y = W - 2 \cdot F'_1 = W - 2 \cdot A' \cdot F'_2 \quad (17)$$

总拉力应为

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad \text{或} \quad F' = \sqrt{F'_x^2 + F'_y^2} \quad (18)$$

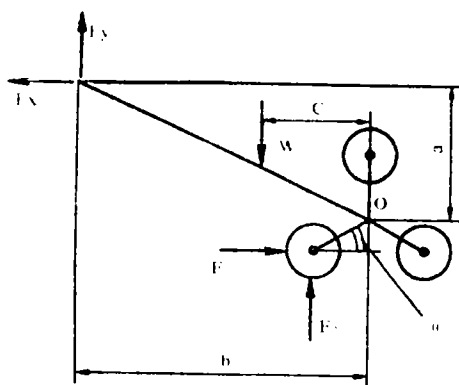
根据以上所讨论的公式,使用计算机来进行参数计算极为方便。表1为总量 $W = 1$, θ 角变化范围为 $10^\circ \sim 55^\circ$ 时的各参数值(各长度尺寸为样车实际尺寸)。由表可知,双摇杆登楼机构是省力机构,坡度角 λ 变化不大,工作较平稳。

表 1 双摇杆登楼机构各参数计算值

$\theta(^{\circ})$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$\varphi(^{\circ})$	35	38.84	42.71	46.74	51.08	55.86	61.20	67.11	73.48	79.99
$\alpha(^{\circ})$	88.83	95.35	100.02	103.69	106.01	106.77	105.59	102.33	96.85	89.24
$\lambda(^{\circ})$	32.86	32.22	31.64	31.67	32.88	33.86	35.18	35.08	32.41	26.21
F	0.62	0.61	0.60	0.61	0.62	0.62	0.63	0.61	0.56	0.45
F^*	0.41	0.48	0.58	0.61	0.62	0.61	0.60	0.59	0.59	0.61
$H^*(\text{mm})$	942	359	253	216	203	201	206	215	226	237

3 与行星轮式登楼机构的比较

行星轮式登楼机构的原理如图 9, 若不考虑摩擦力, 同样可以推导出拉力 F 的计算式



$$\left. \begin{aligned} F_x &= \frac{b-c}{a+b \cdot \operatorname{tg} \theta} \cdot W \\ F_y &= \frac{a+c \cdot \operatorname{tg} \theta}{a+b \cdot \operatorname{tg} \theta} \cdot W \\ F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

式中 a, b 为结构尺寸; c 为总重量中心的位置尺寸; W 为总重力。

将相应的结构尺寸和 $W=1$ 代入式(19)后, 就可计算各摆角 $\theta(10^{\circ} \sim 90^{\circ})$ 时的拉力 F (见表 2)。计算结果表明, F 的变化范围比双摇杆登楼机构大, 动作不平稳有冲击。而双摇杆登楼机构无须转换机构就可在平地 and 楼梯(台阶)上运行。具有动作较平稳, 轻便省力等特点。添加一些附件后, 还可作其他用途。

表 2 行星轮式登楼机构摆角对拉力的影响

$\theta(^{\circ})$	10	20	30	40	50	60	70	80	85	90
F	0.89	0.79	0.71	0.62	0.54	0.45	0.38	0.20	0.11	0.02
F_x	0.62	0.57	0.51	0.45	0.39	0.32	0.23	0.14	0.07	0.09
F_y	1.08	0.97	0.87	0.77	0.66	0.55	0.44	0.24	0.21	0.03

Climbable Mechanism With Double-Oscillating Blocks

Xu Juruo (Wuxi University of Light Industry)

Han Ming (WUXI Worker's Cdlge of Light Industry)

Xu Jiewei ZHou Hongjun (Wuxi University of Light Industry)

Abstract The climbable mechanism with double-oscillating blocks and the computing method about related parameters are introduced. The mechanism has its advantage of labour saving, steady, folding up conveniently and easy to carry, can be used on ground or for climbing steps without shifting mechanism.

Subject-words Mechanisms; Oscillating blocks; Rotation