

简单起重机具的力学原理(二)

兰州铁道学院《工程力学》教材编写组

§3 手摇绞车

手摇绞车是重要的起重工具之一。起重能力一般为几吨。手摇绞车的传力部件有摇柄、齿轮(一般有一对至三对)、缠绕钢丝绳的滚筒(图11)。一个人作用在摇柄上只有几十公斤的力(几个人同时工作有几十公斤的力),而钢丝绳上的拉力可达几吨,可见绞车很省力。

毛主席教导我们:“事物的性质,主要地是由取得支配地位的矛盾的主要方面所规定的。”齿轮是绞车的主要传力部件,我们从研究齿轮的传动开始,就容易把绞车的工作原理搞清楚。

如图12,齿轮的中心(即轴心) O_1 和 O_2 是不动的,齿轮则绕各自的轴心转动,这种运动称为物体绕定轴转动。两个齿轮的传动可看作是两个相切的圆作滚动,这两个圆称为齿轮的节圆。在相同的时间间隔 dt 内,节圆滚过的弧长相等,即

$$R_1 \cdot d\varphi_1 = R_2 \cdot d\varphi_2$$

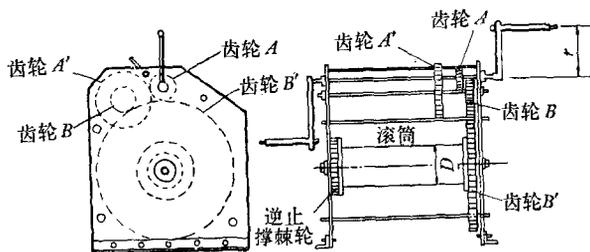


图11 手摇绞车

因此

$$R_1 \frac{d\varphi_1}{dt} = R_2 \frac{d\varphi_2}{dt}$$

即 $R_1 \omega_1 = R_2 \omega_2$, 或

$$K_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

式中, $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ 称为物体转动的角速度; K_{12} 称为齿轮1, 2的传速比。

在节圆的圆周上, 我们把齿轮的齿廓曲线上一点到相邻齿廓曲线上的对应点之间的圆弧长称为节圆的周节 d (图13)。若齿轮有 Z 个齿, 显然节圆的圆周长为

$$2\pi R = Zd$$

互相啮合的两个齿轮, 其周节必相等, 因此,

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

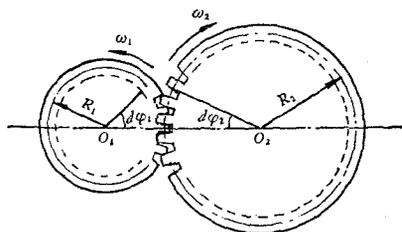


图12 两个齿轮的传动

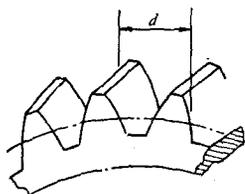


图13 节圆的周节

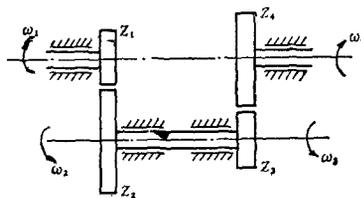


图14 齿轮系的传动

故

$$K_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (9)$$

如果是一个齿轮系，例如图 11 的手摇绞车就有两对齿轮，图 14 是两对齿轮的齿轮系的传动示意图，同样可得出齿轮系的传动比（注意到 $\omega_2 = \omega_3$ ）：

$$\begin{aligned} K_{14} &= \frac{\omega_1}{\omega_4} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_4} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_4} \\ &= K_{12} \cdot K_{34} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} \\ &= \frac{\text{从动轮齿数(积)}}{\text{主动轮齿数(积)}} \quad (10) \end{aligned}$$

就图 11 所示的绞车来说，齿轮 A 安装在摇柄轴上（为了在图中表达清楚，把齿轮 A 和 A' 离开了），齿轮 B' 在滚筒轴上，因此齿轮系的传动比也就是摇柄和滚筒的传动比：

$$K = \frac{\omega_{\text{柄}}}{\omega_{\text{筒}}}$$

设一个人作用在摇柄上的力为 P 公斤，则 m 个人作用在摇柄上的力为 mP 公斤。以 r 表示摇柄臂长，则对摇柄轴之力矩 = mPr。设 T 为钢丝绳的拉力，则作用在滚筒上的力矩为 T · (D/2)。根据能量守恒定律或根据机械效率的意义，有

$$T \cdot \frac{D}{2} \cdot \omega_{\text{筒}} = mPr \cdot \omega_{\text{柄}} \eta$$

所以

$$T = \frac{mPr \cdot \omega_{\text{柄}} \eta}{\frac{D}{2} \cdot \omega_{\text{筒}}}$$

即

$$T = \frac{mPrK\eta}{\frac{D}{2}} \quad (11)$$

到这里我们可以清楚地看出，弄清了齿轮的传动规律，绞车的传力问题就迎刃而解了。式(11)中，K 是绞车齿轮系的传动比；η 是绞车的效率：

$$\eta = \eta_D \times \eta_1 \times \eta_2 \times \cdots \times \eta_n$$

η_D 是滚筒的效率，普通轴承 η_D = 0.96，滚珠轴承 η_D = 0.98；η_i (i = 1, ..., n) 是齿轮的效率，对铣制敞式齿轮，普通轴承 η_i = 0.93，滚珠轴承 η_i = 0.95。

“真理的标准只能是社会的实践。”我们可以在具体的绞车上根据齿轮的齿数，摇柄的半径，滚

筒的直径等数据，用式(11)验算人力 P 和起重量 T 之间的关系。

【例 3】4 吨手摇绞车，其摇柄臂长 r = 40 厘米，转筒直径 D = 30 厘米。此绞车之齿轮系由三对齿轮组成，各齿轮的齿数如图 15 所示。当 Z₁ 和 Z₈ 直接啮合时为第一传速比，当 Z₅ 和 Z₈ 啮合时为第二传速比，当 Z₇ 和 Z₈ 啮合时为第三传速比。假定由两个人 (m = 2) 来摇绞车，试求在上述三种传速比的情况下，每个人作用在摇柄上的力 P。计算时，滚筒效率用 η_D = 0.96，齿轮效率用 η_i = 0.93。

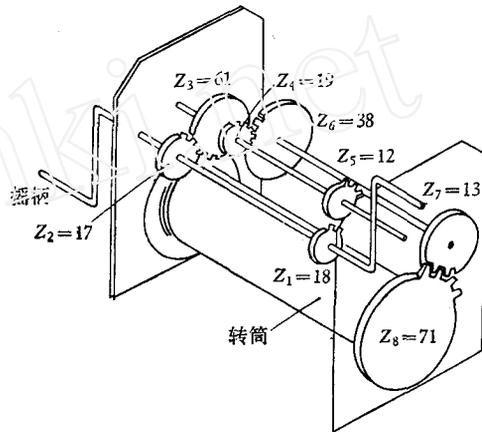


图 15 手摇绞车示意图

解：4 吨绞车指钢丝绳的最大拉力可达 4 吨。当用第一传速比时，

$$K = \frac{Z_8}{Z_1} = \frac{71}{18} = 3.94$$

当用第二传速比时，

$$K = \frac{Z_8}{Z_5} \cdot \frac{Z_3}{Z_2} = \frac{71}{12} \cdot \frac{61}{17} = 21.2$$

当用第三传速比时，

$$K = \frac{Z_8}{Z_7} \cdot \frac{Z_6}{Z_4} \cdot \frac{Z_3}{Z_2} = \frac{71}{13} \cdot \frac{38}{19} \cdot \frac{61}{17} = 39.2$$

由公式(11)可求得此三种传速比时工人加在手柄上的力：

$$\begin{aligned} P &= \frac{T \cdot \frac{D}{2}}{mrK\eta} \\ P_1 &= \frac{4000 \times \frac{30}{2}}{2 \times 40 \times 3.94 \times 0.96 \times 0.93} \\ &= \frac{750}{3.94 \times 0.96 \times 0.93} \\ &= 213(\text{公斤}) \quad (\text{下转 95 页}) \end{aligned}$$

工农兵和力学工作者，以毛泽东思想为指导，坚持辩证唯物论，坚持理论联系实际，在短短的时间内建成了南京长江大桥、万吨水压机、人造地球卫星……，为力学在工程上的应用作出了前所未有的成就。地质力学等方面的理论研究，也取得了一定的成绩。遵照毛主席关于“中国应当对于人类有较大的贡献”的教导，展望未来，我国在力学方面一定会取得更大的进展，为人类作出更大的贡献。

“历史的经验值得注意。”力学发展的历史告诉我们，古典力学是在人类认识自然和改造自然的生产实践中产生和发展起来的，它的每一个进步总是由当时生产力和科学实验的发展水平所决定，同时也为阶级斗争所支配，是在激烈的政治路线斗争和两种宇宙观的斗争中向前发展的。力学的发展必然有曲折的斗争。作为一个力学工作者来说，必须始终自觉地坚持辩证唯物论世界观，必须要有反潮流的革命精神，否则就摆脱不了传统的唯心论世界观的影响和束缚，甚至会成为反动的思想政治路线的俘虏。在今天的新中国，虽然时代不同了，但是，阶级和阶级斗争依然存在，两条政治路线和两种宇宙观的斗争依然存在，因此，为了坚持无产阶级专政、坚持无产阶级专政下继续革命，为了贯彻毛主席的无产阶级革命路线，为了开展自然科学领域的革命大批判、彻底破除旧的力学体系，我们必须认真学习马克思列宁主义、毛泽东思想，在三大革命实践中努力改造思想，自觉地坚持辩证唯物论世界观，敢于反对旧的陈腐教条、反对旧的传统势力和传统观念，为我国力学的更大发展作出应有的贡献。

(上接 97 页)

$$P_2 = \frac{750}{21.2 \times 0.96 \times 0.93 \times 0.93}$$

$$= 42.6(\text{公斤})$$

$$P_3 = \frac{750}{39.2 \times 0.96 \times 0.93 \times 0.93 \times 0.93}$$

$$= 24.8(\text{公斤})$$

由此可见，传速比越大则越省力。当钢丝绳拉力 $T = 4$ 吨时，用第三传速比最为省力。若用第二传速比，则较吃力，此时只有增加人数（例如改为四个人摇车）才行。若用第一传速比，每个人需加 213 公斤的力，这实际上是难以办到的。当情况有了变化的时候，譬如，当起重量减轻，钢丝绳的拉力只有 500 公斤的时候，读者可以自己算一下，这时无论用那一个传速比，工人用较小的力都能完成起重工作。这时人们都是改用第一传速比而不用第三传速比，因为用第一传速比时起重速度最快。读者也可以分析一下用第一传速比时起重速度快的原因。

说明：移动摇柄轴可使 Z_1 与 Z_2 直接啮合或脱离。齿轮 Z_2 或 Z_3 可在它自己的轴上移动，移动 Z_2 或 Z_3 可使它与 Z_1 啮合或脱离。由此可得出三

个传速比。图示的传速比 $K = \frac{Z_8}{Z_7} \cdot \frac{Z_6}{Z_4} \cdot \frac{Z_3}{Z_2}$ 。

当起重量较小时，可推动手柄轴上的小齿轮直接与大齿轮啮合。这时起重速度要快些。——根据功能原理很容易解释这个道理。

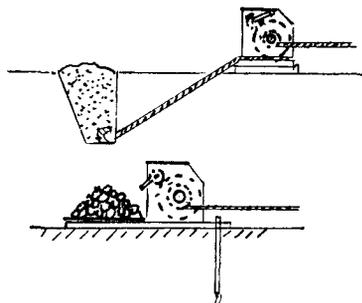


图 16 绞车的固定方法

绞车在使用前，必须加以固定。图 16 就是两种常用的固定方法。还可以用别的方法。“**我们看事情必须要看它的实质**”。不论用什么方法固定绞车，其实质问题都是一样的：克服可能产生的滑移和倾倒。
(未完待续)