

### 滑轮组中拉力与物体重力关系新探

李学生

山东大学物理学院 山东济南 250100

**摘要:** 提出了在滑轮组利用绳子张力不变分析拉力和重物重量之间的关系才抓住了问题的本质, 处理问题也比较简单, 并通过实例验证了这个问题.

[李学生. 滑轮组中拉力与物体重力关系新探. *Academ Arena* 2021;13(3):51-53]. ISSN 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 4. doi:[10.7537/marsaaj130321.04](https://doi.org/10.7537/marsaaj130321.04)

**关键词:** 滑轮组; 张力; 重量; 轻绳.

在滑轮组中拉力与物体重力大小之间的关系, 一直是中学物理教学中的一个难点. 教材中是这样叙述它们之间的关系的: 在定滑轮中, 拉力与重力相等; 在动滑轮中, 拉力等于重力的一半; 滑轮组中, 如果有几根绳子承担物体的重力, 那么拉力就等于重力的几分之一. 运用这种方法分析拉力与重力之间的关系, 对于简单的滑轮组尚可以; 对于复杂的滑轮组, 尤其是含有联动滑轮的滑轮组则相当困难.

但是, 倘若我们从另一个角度分析滑轮组中拉力与物体重力大小之间的关系, 这种困难就可以迎刃而解. 由于拉力拉起重物的实质在于拉力使绳子产生张力, 张力将物体拉起, 因此只有从绳子的张力出发分析拉力和重力的大小关系才算真正抓住了其实质, 教材中利用力矩分析虽然也是等效成立的, 但是没有揭示其更本质的内涵, 特别是当绳子的角度变化时张力为何基本不变, 学生难以理解. 如果我们设计两个半径不等半圆性的光滑滑轮上面平滑连接, 固定在墙上, 此时如果忽略绳子的重量以及摩擦等因素拉力也等于重力, 如果从力矩角度分析难度很大. 由于在中学阶段不考虑滑轮能量 (重力势能、平动动能和转动动能) 的变化, 本文忽略空气阻力、绳子与滑轮的摩擦力.

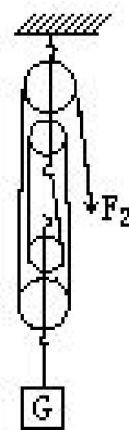
力的大小、方向和作用点是力的三要素, 但是必须本质地看待力的作用点问题, 根据牛顿第二定律力必须作用在有质量的点上, 文献[1]说明了轻质弹簧传递力, 类似地对于轻绳而言力的作用点应该为重物. 我们可以把牛顿第二定律和欧姆定律进行类比, 合外力相当于电压, 质量相当于电阻, 加速度相当于电流. 导线抽去电阻、电感等属性后用电器

的电压等于导线两端的电压一样. 类似于不考虑电阻、电感等属性的导线不能承担电压和消耗能量一样, 轻绳不能单独承受力<sup>[2]</sup>, 也不能储存能量<sup>[3]</sup>.

为了运用张力分析滑轮组中拉力与物体重力大小之间的关系, 我们给出两条基本假设: ①对于同一段轻绳, 无论怎样缠绕, 其张力大小是相同的; ②对于滑轮组中的每一个滑轮受力是平衡的.

由此易知: 定滑轮只改变力的方向, 而不改变力的大小; 动滑轮既能省一半力, 也可以费一倍力. 下面以滑轮组为例说明其应用.

例 1 如下图 1, 忽略滑轮的重力和摩擦力, 求证: 拉力  $F_2$  是重力的  $1/4$ .

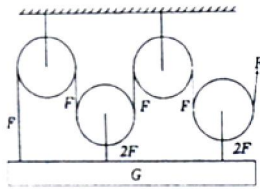


(图 1)

解析: 由于拉力为  $F_2$ , 则绳子的张力为  $F_2$ , 所以  $G=4 F_2$ , 而承担重物的绳子有四股, 说明——在一个只有定滑轮和动滑轮组成的滑轮组中承担重物的绳子有几股, 则拉力为重力的几分之一.

例 2 如图 2 所示, 求拉力与物体重力之间的关系

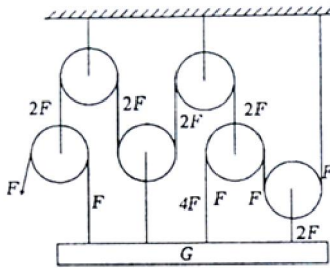
解：如图所示，由于绳子的拉力为  $F$ ，则绳子的张力为  $F$ ， $G=5F$ 。



(图 2)

例 3.如图 3 所示，求拉力与物体重力之间的关系

解：如图所示，由于绳子的拉力为  $F$ ，则绳子的张力为  $F$ ， $G=8F$ 。



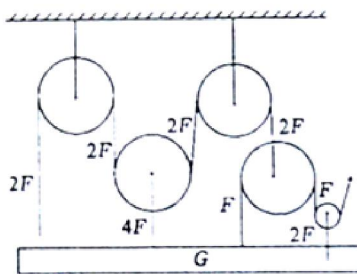
(图 3)

上面两个题目，从绳子张力角度分析非常简明了，但若去数承担重物的绳子股数有一定困难。

以上几个题目都是当重物处于平衡状态时拉力与重力之间的关系，下面讨论一下处于变速状态下，加速度和速度的大小关系。

例 4 如图所示，设物体的重力为  $50N$ ，绳子的拉力  $F=40N$ 。

求 (1) 物体的加速度。(2) 若物体匀速上升，绳子的速度与重物速度之间的关系。

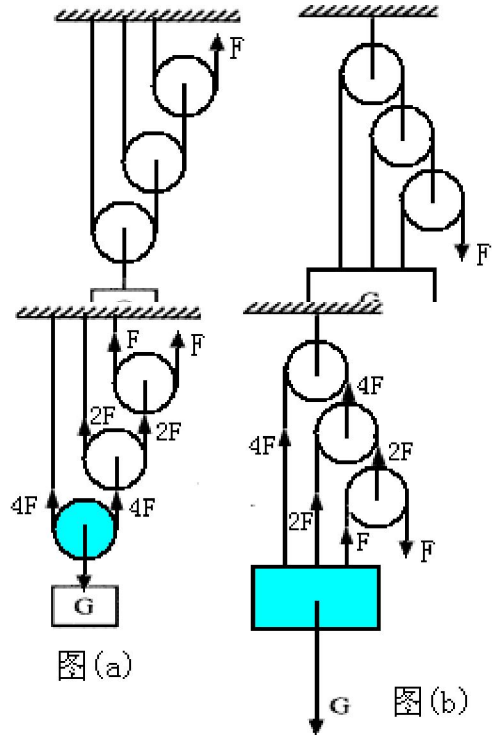


(图 4)

解：如图所示，由于绳子的拉力为  $F$ ，则绳子的张力为  $F$ ，故此时物体受到的合力  $F_{合} = 9F - G = 360N - 50N = 310N$ ，加速度  $a = F_{合} / m = 310 \div (50/9.8) = 60.76(m.s^{-2})$ 。

物体处于平衡状态，则  $G=9F$ ，故重力为拉力的 9 倍，根据功的原理，绳头移动的距离应为物体移动距离的 9 倍，故绳子末端速度应为物体速度的 9 倍。

练习：如图(a)、图(b)，请找到  $F$  与  $G$  的关系。



在上面的分析中，均忽略了滑轮、绳子的重力以及它们之间的摩擦力，如果将这些因素考虑进去，可用类似方法分析，譬如下面这个问题

例 5.某工人将自己和一些货物提到一个高为  $h$  的平台上去,他找来了三个滑轮和一个吊板,请你为他设计一滑轮组帮助达到目的.如果该工人重为  $600N$ ,吊板重  $1000N$ ,每个滑轮重  $100N$ ,不计绳重与摩擦.(1)在图上画出滑轮组及绕线(2)算出你设计的滑轮组能带的货物重力最多为多少.(3)算出你设计的滑轮组机械效率.(以省力多、机械效率大为最佳方案).

解: (1)滑轮组的结构如图所示

(2)人拉绳子的拉力为  $F$ ,在不计绳重和摩擦的情况下,最左边绳对吊板的拉力大小也为  $F$ ,中间绳子拉

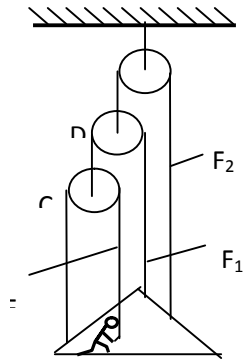
力  $F_1=2F+G_{\text{轮}}=2F+G_{\text{轮}}$ ,最右边绳子对吊板的拉力  
 $F_2=2F_1+G_{\text{轮}}=4F+3G_{\text{轮}}$

根据人的受力情况有  $F+N=G_{\text{人}}$  其中  $F$  为绳拉力, $N$  为吊板的支持力

当  $N=0$  时,  $F$  最大,有  $F=G_{\text{人}}$ ,则有  $2F+F_1+F_2+N=G_{\text{货}}+G_{\text{板}}+G_{\text{人}}$ , 即  $F+F_1+F_2+N=G_{\text{货}}+G_{\text{板}}$

$F+(2F+G_{\text{轮}})+(4F+3G_{\text{轮}})=G_{\text{货}}+G_{\text{板}}$ ,  $G_{\text{货}}=7F+4G_{\text{轮}}-G_{\text{板}}$   
 $=7*600\text{N}+4*100\text{N}-1000\text{N}=3600\text{N}$

(3) $\eta=W_{\text{有}}/W_{\text{总}}=(G_{\text{人}}+G_{\text{货}})h/FS=(G_{\text{人}}+G_{\text{货}})/8F=(600\text{N}+3600\text{N})/(8*600\text{N})=87.5\%$



本文进一步证明了文献[1]的观点是正确的,忽略质量的轻绳、轻杆、轻质弹簧可以传递力.

### 参考文献

- [1] 李学生,师教民.对一道中学生物理竞赛试题答案的高权[J].物理通报,2014(9): 119~120.
- [2] 赵志栋,陈光红.轻弹簧之“困境”.物理通报,2016(5): 98~101.
- [3] 唐龙.例说能量的系统性和相对性.物理教师,2016(6): 18~19.