

杠杆原理形成机理的分析与研究

宋歧隽

上海市文来中学, 上海
Email: 13916011727@163.com

收稿日期: 2020年10月16日; 录用日期: 2020年12月16日; 发布日期: 2020年12月23日

摘要

本文论述了传统力学分析存在的问题, 以及力和冲量各自的特性, 从力和冲量传递速度的角度, 深入分析杠杆内部力和冲量传递的情况, 不仅揭示了杠杆原理形成的内在机理, 也形成了一种新的受力分析的思路和方法, 更利于剖析由于力的作用而产生的各种自然现象和自然规律的内在机理。

关键词

杠杆原理, 机理, 力, 冲量, 传递

Research on the Formation Mechanism of the Lever Principle

Qijuan Song

Shanghai Wenlai Middle School, Shanghai
Email: 13916011727@163.com

Received: Nov. 16th, 2020; accepted: Dec. 16th, 2020; published: Dec. 23rd, 2020

Abstract

This paper discusses the problems existing in the traditional mechanical analysis, and the respective characteristics of force and impulse, from the perspective of the transmission velocity of force and impulse, in-depth analysis of the internal force and impulse transmission of the lever not only reveals the internal mechanism of the formation of the lever principle, but also forms a new way of thinking and method of force analysis, it is more advantageous to analyze the internal mechanism of various natural phenomena and natural laws produced by the action of force.

Keywords

Lever, Principle, Mechanism, Force, Impulse, Transfer

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

杠杆原理是人类社会发现最早、应用最广泛的物理学基本规律。阿基米德有这样一句千古名言“给我一个支点，我能撬起整个地球”，在《论平面图形的平衡》一书中，最早提出了杠杆原理，他首先把杠杆实际应用中的经验知识作为“不证自明的公理”，并依据这些公理，运用几何学的逻辑论证，得出了杠杆原理，即“二重物平衡时，它们离支点的距离与重量成反比”[1]。阿基米德告诉人们自然界存在杠杆原理这一个基本物理规律，但没有告诉人们杠杆原理形成的内在机理是怎样的。“为什么在杠杆一端的一个力可以在杠杆另一端产生一个与力臂比相同的放大或缩小的力？”但看似非常简单的三点(支点、杠杆两端)力学分析，却似乎包含无法破解的秘密，无数物理爱好者曾尝试研究杠杆原理形成的机理，但均无功而返。牛顿在《自然哲学之数学原理》[2]一书中，用几何方法证明了杠杆原理，也有学者从角动量守恒定律或能量守恒定律去论证杠杆原理，但这些只能证明杠杆原理是正确的或与其它物理定律相融洽的，仍不能解释杠杆原理形成的机理。杠杆原理的产生机理成为一个千古之谜，人们只能将杠杆原理视作自然界原本就存在的一种规律，视其为一种公理，而无法解释其产生的内在机理。

笔者认为物理研究的意义不仅在于寻找和发现规律，更为重要的是探索规律形成的原因，本文尝试采用新的视角和方法去破解杠杆原理形成的内在机理。

2. 传统力学分析存在的问题

众所周知，传统力学分析认为：力是改变物体运动的状态的根本原因[3]，力的大小、方向、作用点是力的三要素。利用传统力学分析的方法去寻找杠杆原理产生的机理，存在以下缺陷：

一是传统受力分析忽视了“力的传递速度”这一基本要素。不考虑对物体着力过程中物体的变形时间(如我们经常说的刚体)，物体之间传递的力是四大基本相互作用力之一的电磁力，电磁力的传递速度同电磁场的传播速度相同[4]，都是光速 C ，因此力的传递速度非常快，但仍然需要时间进行传递，不是瞬间即到的，传统受力分析忽视了力的传递速度这一要素。

二是传统受力分析，尤其是静力分析，忽视了冲量对物体运动的影响。冲量是力的时间累积效应的度量，是力对时间的积分($I = \int F dt$)，一个恒力的冲量是这个力与其时间的乘积($I = Ft$)，力本质上等同于它对物体的瞬时冲量，也就是说力从本质来说是冲量对时间的微分，一个恒力等于冲量的时间变率($F = I/t$)。从深层意义上讲，冲量才是改变物体运动的根本原因，力只是反映冲量每一瞬间对物体的作用量。由于力的传递速度是光速，冲量的传递速度也光速，它们传递所需时间都与距离成正比。

由于传统静力分析中所有的力都是以作用力与反作用力形式同时出现，力的传递速度异常快，力的作用时间大都是相等的，为简化和直观的考虑，忽略了力的作用时间和传递时间，仅分析力的作用点、大小和方向，这种简化的分析方法，在力传递在一条直线上或不产生冲量传递时间差的条件下，是适用的。但在对杠杆、滑轮、齿轮、角动量等力的传递不在一条直线上并产生冲量传递时间差的条件下，如果不

考虑力和作用时间和传递时间，就会无法分析力的作用发生的机理。

力和冲量是一对有相互依存关系的物理量，都是一种矢量，同时产生、同时传递、同时消失。力和冲量的物理含义也有很大区别，力是一种瞬时的量值，有大小之分，力只是反映冲量每一瞬间对物体的作用量(下文也称力为“瞬时冲量”)；冲量是力作用于物体的累计效果的反映，是一种过程量值，有多少之分，对物体的受力进行冲量传递分析更能科学和准确地寻找力的作用机理。

3. 杠杆原理形成机理的分析与研究

杠杆原理也称“杠杆平衡条件”，要使杠杆保持平衡，作用在杠杆两端(动力点和阻力点)的两个力的大小跟它们的力臂的长短成反比。动力 × 动力臂 = 阻力 × 阻力臂，用代数式表示为 $F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$ ，式中 F_1 表示动力、 F_2 表示阻力、 L_1 表示动力臂、 L_2 表示阻力臂。从上式可以看出，欲使杠杆达到平衡，力臂的长短之比决定了动力与阻力之比，力的传递速度为光速 C ，而力臂的长短决定力的传递时间长短 ($t = L/C$)，力臂长的力传递所需时间长，力臂短的力传递所需时间短。这就提示我们必需从力和冲量的传递时间的角度去剖析杠杆原理的发生机理。

下面以一个基本的杠杆(如图 1、图 2)平衡条件进行力和冲量作用分析，一个杠杆共有三个作用点，在杠杆端点 1 有一个向下的力 F_1 ，在杠杆端点 2 有一个向下的力 F_2 ，在杠杆支点(O 点)产生一个向上的反作用力 F'_0 ，根据牛顿第三定律，作用力和反作用力大小相同，支点的反作用力 $F'_0 = F_1 + F_2$ ；在任意相同时间 Δt ，三个作用点产生冲量大小之间的关系为 $F'_0 \cdot \Delta t = F_1 \cdot \Delta t + F_2 \cdot \Delta t$ ，即 $I'_0 = I_1 + I_2$ ；同时，由于支点(O 点)的反作用力 F'_0 和反冲量 I'_0 与杠杆两端的作用力和冲量不在同一直线上，需通过杠杆从支点向两端传导反作用力和反冲量，并且从支点传导到杠杆两端的反作用力 F'_1 、 F'_2 和反冲量 I'_1 、 I'_2 与作用力 F_1 、 F_2 和冲量 I_1 、 I_2 大小分别相等、方向相反；这样杠杆受力的三个点均处于合力和合冲量为零的状态。这些都是杠杆平衡结果，并不能解释杠杆原理“ $F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$ ”产生的机理。

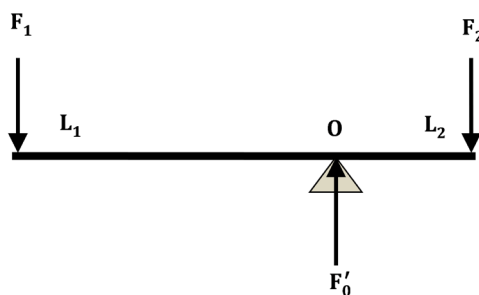


Figure 1. Schematic diagram of external force of lever

图 1. 杠杆外力示意图

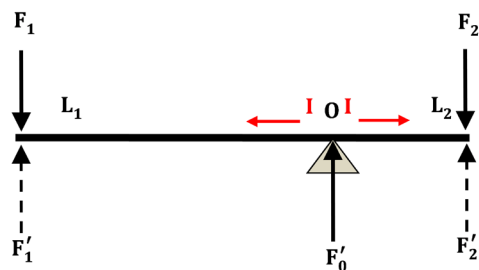


Figure 2. Schematic diagram of lever stress analysis

图 2. 杠杆受力分析示意图

我们必须从支点向杠杆两端传递的力和冲量之间的关系中，寻找答案。杠杆平衡时，施加在杠杆两侧距支点任意相同距离两个作用力必须是相同的，从支点向杠杆两端发出的反作用力也必然是相同的。因此，可以得出，杠杆保持平衡时，在任意相同时间内，从支点向杠杆两端传出的冲量大小是相同的，如果支点在相同时间内向杠杆两端传出的冲量不同，杠杆就会失去平衡，发生转动。

下面依据“**杠杆平衡时，在任意相同时间内，从支点向杠杆两端传递出大小相同的冲量**”这一条件，来分析杠杆内部冲量的传递情况，寻找杠杆原理形成的机理。

如图 2，杠杆平衡时，在任意相同时间内，从支点向杠杆两端传递出大小相同的冲量 I ($I = I'_0/2$)，冲量传递的速度为光速，那么大小相同的冲量传递到杠杆两端的时间分别为 L_1/C 、 L_2/C ，大小相同冲量的连续传递，由于传递所需的时间不同，杠杆两端接受到的瞬间冲量(力)的大小等于传递的冲量除以传递时间($F = I/t$)，杠杆短的一端接受到支点传递来的瞬间冲量(力)大、杠杆长的一端接受到支点传递来的瞬间冲量(力)小，杠杆两端接收到的瞬间冲量(力)之比等于杠杆两端力矩的反比。

也就是在任意相同时间内，杠杆两端的平均冲量传递速率分别为 $I/(L_1/C)$ 、 $I/(L_2/C)$ ，力是反映冲量在瞬间对物体的作用量，杠杆两端的平均冲量传递速率之比等于它们接收到的瞬间冲量(力)之比，杠杆两端接收到的瞬间冲量(力)之比为 $(I/(L_1/C))/I/(L_2/C) = F'_1/F'_2 = L_2/L_1$ ，因此，杠杆两端接收到的瞬间冲量(力)之比等于杠杆两端的反作用力之比、等于作用力之比，即 $F'_1/F'_2 = F_1/F_2 = L_2/L_1$ ，外在表现为杠杆原理“ $F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$ ”或“动力 \times 动力臂 = 阻力 \times 阻力臂”。

杠杆原理产生机理并不复杂，但要真正理解，需要打破原有的思维模式和思维惯性，要正确认识力与冲量之间的关系，从力和冲量的传递过程去理解，力与冲量在传递过程中有其特有的属性。当杠杆平衡时，从支点传递出相同大小的冲量和瞬时冲量(力)，但由于传递所需的时间不同，杠杆两端接收到的冲量和瞬时冲量(力)都不同，它们之间的关系满足： $F'_0 = F_1 + F_2$ 、 $I'_0 = I_1 + I_2$ 且 $F'_1/F'_2 = F_1/F_2 = I_1/I_2 = L_2/L_1$ 时，杠杆受力的三个点均处于合力和合冲量为零的状态，杠杆保持平衡。否则，杠杆将失去平衡。

总而言之，“**杠杆平衡时，任意相同的时间内，从支点向杠杆两端传递出相同大小的冲量，因传递的时间同力矩成正比，导致杠杆两端的接收到的瞬间冲量(力)之比等于杠杆两端力矩的反比**”是杠杆原理产生内在原因。

通过对杠杆平衡原理形成机理的分析，我们可以确定冲量的传递有以下规律：相同的冲量因所需传递时间的不同，在接受点所接受到的瞬间冲量(力)也不同，即 $F = I/\Delta t$ 。此项结论适用于力的传递不在一条直线上并产生冲量传送时间差的力的分析，如对杠杆、滑轮、齿轮、角动量等力的作用分析(受篇幅和文章结构所限不在本文进行论述)。

4. 结束语

本文通过引入力的传递速度——这一力的基本要素，分析杠杆内部冲量传递的情况，不仅揭示了杠杆原理形成的内在机理，也形成了一种新的受力分析的思路和方法，深刻认识力和冲量的传递特性，从力和冲量传递的角度，对物体的运动状态进行力学分析，尤其是对力的传递不在同一条直线上(如有力矩作用、角动量运动等)的受力分析，更有利于剖解由于力的作用而产生的各种自然现象和自然规律内在的机理。希望本文观点能够给大家带来一些帮助和启发。

参考文献

- [1] B·K·里德雷. 时间、空间和万物[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2007: 157.
- [2] 牛顿. 自然哲学之数学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006: 1-18.

- [3] 宋景岩. 论现代物理基础理论的缺陷和以太模型的重塑——大统一理论的创建[J]. 科技与创新, 2019(22): 14-19.
- [4] 宋景岩. 自然法则的哲学原理——以太模型大统一理论续论[J]. 科技与创新, 2020(6): 10-15.