



A Correct Understanding of the Definition of Work

Li Xuesheng

(School of Physics, Shandong University, Jinan, Shandong 250100)

Abstract: It is analyzed that the two definitions of work are essentially identical, and the key is how to understand the point of action of force.[Li Xuesheng. A Correct Understanding of the Definition of Work. *Academ Arena* 2020;12(4):44-46]. ISSN 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 6. doi:[10.7537/marsaaj120420.06](https://doi.org/10.7537/marsaaj120420.06).**Key wrds:** Definition of work; Action point of force; Spring oscillator; Definition of potential energy; Mass

正确理解功的定义

李学生

(山东大学物理学院 山东济南 250100)

摘要: 分析了功的两种定义本质上是一致的, 关键在于如何理解力的作用点的问题。**关键词:** 功的定义; 力的作用点; 弹簧振子; 势能定义; 质量

中图分类号: O 313.1

文献标识码: A

关于功的定义曾经有两种说法——质点的位移与力的标量积、力的作用点的位移与力的标量积, 如果考虑到力的作用点必须具有质量, 二者是一致的, 文献[1~4]也认可“功是质点位移与力的标量积”。文献[5]的错误在于搞错了力的作用点, 绳子的质量忽略, 绳子的拉力应该作用在圆盘上, 此时圆盘是一个刚体, 不是一个质点。

功是力与质点位移的数量积(标量积) $W = \mathbf{f} \cdot \mathbf{s}$, 根据伽利略变换 $\mathbf{s} = \mathbf{s}_0 + \mathbf{ut}$, 因此功不是伽利略变换的不变量, 一个力在惯性系 A 不做功, 在惯性系 B 可能做功, 这应该是一个力学常识。 $W = \mathbf{f} \cdot (\mathbf{s}_0 + \mathbf{ut}) = \mathbf{f} \cdot \mathbf{s}_0 + \mathbf{f} \cdot \mathbf{ut}$, $\mathbf{f} \cdot \mathbf{ut}$ 也是真实的功。功是一个过程量, 但是与观察者有关。在惯性系 B 里的观察者测量的质点位移无法区分也没有必要区分是 \mathbf{s}_0 还是 \mathbf{ut} 。文献[6]认为“约束力在一个惯性系不做功, 在另一个惯性系也不做功”是完全错误的, 应该是“约束力在所有的惯性系都不改变质点的机械能, 但可以同时改变质点的动能和势能。”坐标系是建立在参照系上的, 不能说参照系是具体的, 坐标系是抽象的, 二者是联系在一起的。文献[7]也有类似的错误, 例如该文得出一个质点的在地面系

的动能为 $E_k = \frac{1}{2} m v^2$, 在小车系的动能为 $E'_k = \frac{1}{2} m v'^2$, 显然是错误的。例如一个质点在光滑水平面上做匀速圆周运动, 在相对于地面匀速运动的小车系看来质点的速率不断变化, 动能也是不断变化的, 根据动能定理可以得知在地面系约束力不做功, 在小车系约束力做功, 否则可以得出动能定理不满足力学相对性原理的谬误。文献[8]认为流体的侧压力在静止系不做功, 在运动系也不做功, 错误与此类似。

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, 因此在研究弹簧振子和单摆问题时必须注意这个问题。在弹簧振子中不能考虑弹簧质量(如果考虑弹簧质量, 这种弹簧振子不是理想的振子, 它的振动周期与弹簧的质量有着密切的联系, 当我们把这种影响仅归于质量因素时, 振子的周期可以写成与弹簧有效质量有关的表达式, 实际上处理这类问题的方法有很多种, 像四阶龙格——库塔法、瑞利法、传递矩阵法、求解波动方程法、试探法求解微分方程、机械能守恒近

似法、迭代法等等，弹簧质量还是对弹簧振子的振动系统有一定的影响，而作为弹簧系统振动周期的一级近似，可以将弹簧质量 m_0 的三分之一有效质量加到振子的质量 m 上去，从而将弹簧质量为 m_0 、振子质量为 m 的实际弹簧振动系统等效看作是一个具有质量为 $m + 0.346m_0$ [9] 的理想质量的弹簧振动系统，弹簧系统的振动周期为：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + 0.346m_0}{k}}$$

，此时在静止系测量到系统的机械能为

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}(m + 0.346m_0)v^2 + \frac{1}{2}kx^2$$

， m_0 为弹簧的质量。不少文章不取 0.346 而取 1/3 作为一级近似，此时按照弹簧的质量均匀分布，事实上在运动过程中不可能均匀分布，而且需要考虑机械波的能量。），因此弹力的作用点是质点，而不是轻质弹簧。

笔者认为可以给出势能的一般定义——由于质点受到有势力而具有的能量叫做势能，势能的定

义式为 $dE_p = (-f) \cdot dr$ (与 $F = \frac{\partial u}{\partial r}$ 等价)。当有势力不显含时间（即为保守力时），势能也可以称为位能。势能是用质点受到保守力的功定义的，势能属于质点，有人担心势能为何不影响质量，其实动能对于质量的影响在经典力学中也是忽略的。当考虑弹簧质量时，可以宏观考虑为若干个受弹力作用的质点，必须研究弹簧的动能了，此时保守力对其做功，同时改变弹簧的动能和势能，不改变弹簧的机械能。对于没有质量的弹簧根本没有势能而言，外力无法对其做功。现在不少大中学教材甚至高考都提轻质弹簧的弹性势能，这是不严密的，建议教材一定说明。爱因斯坦认为：“我们关于物理实在的观念决不会是最终的。为了以逻辑上最完善的方式来正确地处理所感觉到的事实，我们必须经常准备改变这些观念——也就是说，准备改变物理学的公理基础。然而为了科学，就必须反反复复地批判这些基本概念，以免我们会不自觉地受它们支配。在传统的概念的贯彻使用碰到难以解决的矛盾而引起了观念的发展的那些情况下，这就变得特别明显。”

不少人错误地认为弹力的作用点在弹簧，才导致了这个问题争论了 30 多年^[10~16]，弹簧振子问题类似于重力场，我们把地球对于重力场的作用力和重力场对于质点的作用力看做一个力计算，单摆问题中我们也不把悬挂点对于摆线的作用力和摆线对

于摆锤的作用力看做两个力，因为摆线也不考虑质量。弹簧振子和单摆类似于质点(有质量无体积)是理想化模型，不存在所谓的实体模型，因为没有质量我们无法制作弹簧和摆线，这是为了研究问题的需要，抓住主要矛盾，忽略次要因素造成的。在某种意义上可以认为轻质弹簧和重力场、引力场一样可以传递力，因为它们也不考虑质量问题。

弹簧振子不是质点+实物弹簧，而是质点受到线性回复力，在水平面上受稳定约束的弹簧振子运动模型，实质上是一个与距离 r 成正比有心力作用下质点的运动问题^[17]。现在不少教材没有注意强调这个问题，甚至研究弹簧具有质量的弹簧振子问题，有人误认为是弹簧具有质量，不考虑质量，但是具有弹力和内部结构，内部的力与墙壁的作用力相平衡，显然是错误的，没有质量哪来的内部？墙壁的作用力和内力除非始终是平衡力，否则加速度会出现无穷大，即使是平衡力各点都匀速运动，这显然不符合现实。在弹簧振子问题中约束反力和保守力是同一个力，类似于匀速圆周运动中约束反力和保守力是同一个力。不具有质量的弹簧问题称为谐振子，是质点动力学问题，可以在大中学教材中提出，弹簧具有质量可以供专家们研究。

参考文献

1. 蔡伯濂。关于讲授功和能的几个问题[J]。工科物理教学，1981(1)，7~13。
2. 石东平。论功定义中的位移。重庆市专学报，1986年第2期，75~76。
3. 陆全民。关于功的定义问题。上海工程技术大学教育研究，2007(3)：46-47。
4. 孙后勤。物体的位移还是力作用点的位移——对功的定义中位移的理解。物理教学探讨，2011年第4期(上半月)：35~36。
5. 马瑞芝。物体的位移与作用点的位移两个概念的区别。物理通报，1965(10)：469~471。
6. 刘明成，刘文芳，赵文桐。对“重力机械能守恒定律在各惯性系”的修正。物理通报，2017(12):111~113。
7. 李兴毅，陈健，赵佩章，赵文桐。伽利略变换的物理意义。河南师范大学学报(自然科学版)，2002(2)：39~42。
8. 许忠诚。伯努力方程的使用条件。河池师专学报，1987年第一期(理总第五期)：37~41。
9. 陈美华，蒋毅。弹簧振子计及弹簧质量的误差分析。嘉应学院学报(自然科学版)，2006(12):27~30。
10. 郑金。对一道物理竞赛题的两种互异解答的探讨。物理通报，2015(7)：109~112。
11. 高炳坤。力学中一个令人费解的问题[J]。大学物理。1995(5)：20~24。

12. 朱如曾。弹簧振子相对于运动惯性系的机械能不守恒——关于‘对一道中学生物理竞赛试题答案的商榷’的商榷[J]。物理通报, 2015(4): 100~103。
13. 郑永令。力学[M] (第二版)。高等教育出版社, 2002年: 194。
14. 史玉昌。势能和机械能守恒定律[J]。大学物理, 1988(7): 16~17。
15. 郑金。对一道物理竞赛题的两种互异解答的探讨[J]。物理通报, 2015(7): 109~112。
16. 冉婷, 余杰, 兰小刚。惯性参照系的选择与机械能守恒。物理教学探讨, 2017(9): 38~39。
17. 李阳, 王宏, 韩艳玲。与 r 的一次方成正比有心力作用下质点的运动研究。物理通报, 2015(12): 4~7。

4/21/2020