

# 从能量角度反思“功”概念的建立过程

——兼谈初中相关概念的引入策略

刘旭

(首都师范大学附属苹果园中学分校 北京 100144)

(收稿日期:2022-06-01)

**摘要:**历史上,“功”概念的建立经历了漫长且曲折的过程,为了促进学生形成物理观念,需要挖掘相关历史背后的能量观念,并分析功和能何以建立起联系.现代教学中,因所处时代的差异,有必要在保留历史上概念建立逻辑的同时,增加一些学生熟知的情境作为补充,从而设计出更合理的教学方案.

**关键词:**能量观念;功能关系;功的原理;概念引入

物理学学科核心素养中,能量观念是物理观念要素之一.而功的概念与能量概念间存在至关重要的联系,学生正确理解功的概念是其形成能量观念的必要条件.在初中力学知识中,功、功率、机械效率都做出了定量计算的要求,而对机械能的要求是定性的,且传统教学中教师讲授功的概念时很少关注功和能的关系,导致学生只注重计算,缺乏对概念的理解,甚至会误以为机械能是机械功概念的附庸品,这样的教学过程难以促进学生形成能量观念.为了更好地帮助学生理解功和能的关系,有必要考查科学史中“功”概念的建立过程.

情况下一定质量气体压强与体积的关系.对于非主干知识的实验,在实验的拓展上,不需要过多的关注,但要注重实验的基本原理、实验器材、实验步骤和数据处理等的复习,要重视实验中涉及的物理方法和物理思想.对这4个实验的复习,均要做到以下4个方面.

1)实验前的思考.包括对测量估计、仪器选择、方案合理性思考、实验结果的预测.使学生能明确实验的目的,理解实验原理和方法,能控制实验条件,能灵活应用已学过的实验原理、实验方法解决问题.

2)对实验各环节操作的思考.主要有对原理解释,为何选择仪器(考虑是否有可替代性),以及若选择替代对精度影响、数据读取、处理方法的选择、误差来源的分析及减少误差等,这是实验复习的核心内容,也是高考的热点和难点.

3)完成后的思考.如何改进实验,是否有其他

## 1 从重演历史到反思历史

重演论认为学生的认知发展是对人类历史发展过程的重演<sup>[1]</sup>,一个新的物理概念是因为真实的需要而被建立起来的,在教学中设置符合历史背景的情境用于概念引入,可以使学生经历概念的建立过程,将新的概念融入认知体系.功的概念是工业革命时期的工程师们为了评价蒸汽机的效率而被引入的,于是部分教师基于此设计了“功”概念的引入方案<sup>[2-3]</sup>.

然而科学的发展是漫长且曲折的过程,功的概

替代方案.

4)对实验整体的逻辑性思考<sup>[2]</sup>.

## 4 总结

通过对北京新高考的研究,笔者探索出关于高三非主干知识的复习策略,希望能给物理同仁们的高三复习教学带来一些启示.在当前“双减”“的教育背景下,要求教师要深入思考减负增效的教育教学举措,在课堂教学中不断提升教学质量,以期实现学生物理学科核心素养目标的达成.

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[S].北京:人民教育出版社,2020:1-3.
- [2] 韩叙虹.从2019年北京高考谈新高考形势下高三物理复习备考策略[J].中学物理,2019,37(13):47-51.

念诞生之后,科学工作者对其认识并非一成不变,其意义随着新理论的提出会发生一定程度的转变.工程师们建立起功的概念时并没有考虑它和能量之间的关系,人们对于专业术语的使用也存在着不统一的情况,甚至亥姆霍兹提出能量守恒定律时,仍将守恒量表述为“力”(Kraft,德文)<sup>[4]</sup>.

由于社会背景的差异,现代学生自幼就对能量的概念存在一定认识,拥有历史上科学家所不具备的背景知识,相反,现代学生对蒸汽机了解甚少,他们更为熟知的是电驱动的机器.重演历史的教学方式并不能合理利用这些现代社会带来的背景知识,仿照历史为学生建立起的功的概念,也需要像历史发展一样逐渐转变对其认识,对于现代学生来说是不必要的.因此,讲授功的概念,教师更应以现代视角纵观整个科学史,反思概念建立过程背后的原因,从而设计出更合理的教学方案.

## 2 功概念的诞生

历史上,功的定义式最初是 $W = Gh$ ,用重物的重量与行程之积来评价蒸汽机的效率<sup>[5]</sup>,并非现代的 $W = Fs$ 形式:一方面在于当时科学家并未对“力”达成统一认识,现代的“力”“功”“冲量”在当时都有人将其理解为“力”,而重量的概念相对明确<sup>[4]</sup>;另一方面,蒸汽机最早实际应用于矿山排水<sup>[6]</sup>,用与水相关的物理量去定义功实际上就是在描述蒸汽机所产生的效果,这也是理所应当的.

而为何要采用一种力和距离相乘的形式评价蒸汽机的效率,文献[2]认为这种定义方式属于人为规定,但并未阐述做出如此规定的理由.文献[3]则通过实验指出同一台蒸汽机燃烧燃料相同时,二者乘积为定值,却没有说出这个现象背后的原因.评价效率就是评价能量的利用率,一个能够合理评价效率的物理量必然是与能量概念相关的.如果只认为蒸汽机的作用是对外物施加力的作用,用力去评价蒸汽机的效率,显然是不合理的,因为自第一台有实际用途的蒸汽机——纽科曼蒸汽机起,杠杆就是蒸汽机的一部分<sup>[4]</sup>,可以通过改变杠杆的力臂来改变蒸汽机所施加的力,而这并不能达成改进蒸汽机的

目的——增加了排水量却导致了达不到排出水所需的高度,这也说明了用力和距离的乘积来评价蒸汽机的效率才更加合理.从功的英文单词“work”可以看出,功的概念描述的就是劳动的过程<sup>[7]</sup>,蒸汽机的作用就是替代人类劳动,而 $W = Fs$ 是合理描述劳动过程的最小单元.

因此,正是功的原理存在,所以才需要将力和距离相乘来定义功.虽然有文章指出功的原理在18世纪才为人们所认识<sup>[8]</sup>,笔者认为其原因在于当时各种物理概念缺乏统一的定义,但人类有着丰富的杠杆等简单机械的使用历史,在实践过程中,肯定会认识到简单机械“省力费距离、省距离费力”的特点.至少在蒸汽机的时代,改变杠杆的力臂并不能达成目的,这时的人们显然已经对功的原理存在一定认识了.功的原理背后正是机械能守恒<sup>[9]</sup>,这个用于评价蒸汽机效率的概念最终发展为定义能、量化能的物理量就成为历史发展的必然结果.

## 3 功和能的关系

### 3.1 能对外做功的物体具有能量

蒸汽机诞生之前,人类也曾利用风车、水车、牲畜等替代人类劳动,但由于缺少迫切改进效率的需求,功的概念没有诞生;蒸汽机诞生之后,内燃机、电动机等替代人类劳动的机器也相继出现.以现代视角来看,人类劳动的过程,就是消耗自身生物能,转化成其他形式能量的过程,而那些可以替代人类劳动的物体,都是消耗了某种能量,从而取代了人类消耗的生物能.所以,我们说能对外做功的物体就具有能量.从根本上讲,替代人类劳动的并非机械本身,而是那些被消耗的能源,机械的作用只是传递能量以及改变劳动的结构(力和距离的相互转换).

### 3.2 功是能量转化和转移的度量

能量概念的诞生要追溯至莱布尼茨的时代,莱布尼茨提出的活力守恒就有了能量守恒的思想,他认为非弹性碰撞中,物体的活力被内部微粒所吸收,并指出活力能够以某种形式储存起来,莱布尼茨的认识虽然深刻,但因大多都是定性的猜想,并未被人们广泛接受<sup>[5]</sup>.工业革命时期,功的意义也只限于

描述特定情景,从功的概念最早描述的情景——蒸汽机排水来看,蒸汽机做功的过程就是对水施加向上的力,并使水向上移动一段距离.煤炭的作用及其与做功之间的关系,也只停留在测量和定性描述的层面.

功和能建立起定量的联系,要等到科里奥利提出动能定理,动能定理描述了功与动能之间的关系<sup>[5]</sup>,于是动能便置于能量的基础地位用于描述做功的效果,后续的历史便是从等效的角度统一各种形式功的过程.

以机械功和热功的统一为例:首先,在牛顿力学体系范围之内,重力势能、弹性势能、动能被统一.然后迈耶、焦耳的工作便是从微观的角度,将宏观的热现象还原成分子运动问题,将牛顿力学体系内建立的动能、势能概念推广至分子模型之中,又从等效的角度统一了机械功、热功、热量三者的量纲<sup>[5]</sup>.所以功的概念可以用于量化各种形式的能,于是我们说功是能量转化和转移的量度.

### 3.3 做功是能量转化或转移的过程

能量守恒定律指出“能量既不会凭空消失,也不会凭空产生,它只会从一种形式转化为其他形式,或者从一个物体转移到其他物体”.首先,因为所有形式的功都是等效的,所以各种形式能量之间的转化是通过做功实现的.另外,同一种形式的能量可以在不同物体间转移,如图1所示,一个物体通过定滑轮对另一个物体做功,导致了重力势能发生转移;在热现象中,内能的转移一般称为热传递,但从分子层面来看,热传递也是分子间做功的过程.所以,能量转化或转移是通过做功来实现的,做功就是能量转化或转移的过程.

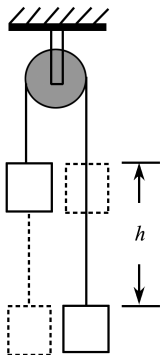


图1 重物做功

## 4 教学启示

根据上文对科学史的反思,笔者认为可以在功、功率、机械效率概念的引入过程中渗透能量知识,以促使学生形成能量观念,这就需要合理安排教学顺序.笔者的设计思路与教科版教材<sup>[10]</sup>的内容顺序基本一致:为了讲清为何用 $W = Fs$ 定义功,就需要通过简单机械的教学使学生初步认识到功的原理,再据此引入功的概念.

### 4.1 利用功的原理引入功的概念

教师可通过图2所示情境,让学生思考:使用动滑轮能否减少工人的劳动量.学生通过自身的感受对“劳动”已有一定的认识,并且结合简单机械“省力费距离”的特点,可以认识到使用动滑轮不能减少工人的劳动量.

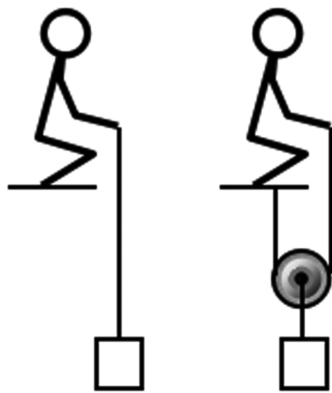


图2 评价劳动量

教师再继续追问:应如何评价人类的劳动量?学生会想到力和距离是评价人类劳动量的两个要素,教师可指出将二者的乘积定义为功,用来评价人类的劳动量,并指出使用简单机械不能省功.于是学生将抽象的功的概念与人类劳动这个直观的形象建立起了联系,可以降低他们理解相关概念的难度.

在初中, $W = Fs$ 中 $s$ 指物体沿力的方向移动的距离,教师可描述一个情境:在行驶的列车上,列车员帮助旅客把行李箱抬到了行李架上.提问:当利用公式 $W = Fs$ 去评价列车员的劳动量时, $s$ 应指哪段距离?学生会意识到行李在水平方向上移动的距离与列车员的劳动无关,所以 $s$ 应指物体沿力的方向移动的距离.

## 4.2 认识能源的价值

学生认识到使用动滑轮不能减少工人的劳动量后,教师描述另一情境:在自动化工厂中,工人只需简单按动几个按钮,机械就可以自动运行.提问:自动化的机械能减少了人类的劳动量吗?学生的回答是肯定的.然后让学生列举出若干能够替代人类劳动的机器,并找出它们区别于滑轮等简单机械的地方.学生可以列举出吊车、电梯、火箭等机器,并发现这些机器工作时都需要消耗能源.教师继续补充:替代人类劳动的是能源提供的能量,而机械本身不能替代人类劳动.这样学生对功的原理又有了进一步的认识.

此时,教师即可提到“能量”一词,虽然此时能量概念在物理课堂中并未严格定义出来,但学生对这个词语并不陌生,能够在特定的情境中理解它的含义.在学习过程中学生可以逐渐加深对能量概念的理解,比起先给出能量的定义,再去理解它,教学效果会更好.

## 4.3 从评价机器的角度引入功率和效率

功率和效率都是工业革命时期为了改进蒸汽机而被引入的,但这两个概念同样也适用于评价其他机器的性能.既然教学的内容是功率和效率,而非蒸汽机,因而对于现代学生来说,列举出多个他们熟悉的情境更有利于对概念的理解.

以机器取代畜力耕地为例,学生通过旋耕机比牛耕地更快认识到描述做功快慢的物理量——功率.部分学生会产生疑问——马奔跑的速度很快,为何较少用于耕地?教师可利用功率的定义式推导出 $P = Fv$ ,指出如果马用于耕地,它的速度就会降低.这样可以帮助学生理解机器(或牲畜)的最大功率由其自身决定,因而功率是考查机器性能的一个重要角度.

学生认识到功率可以用于评价机器性能后,教师即可指出效率是另一个评价机器性能的角度,可以以蒸汽机为例,简要讲述煤炭燃烧所产生的能量仅有少量被利用,因而蒸汽机的效率很低,如今已被逐渐取代.蒸汽机效率低主要是因为热效率低,但并不妨碍用于让学生理解能量的利用率,并据此引入

机械效率的概念.

如此进行概念引入,可以让学生从能量角度认识到功、功率、效率的意义,使学生对这些概念产生了总体性的认识,有助于能量观念的形成.

## 5 结束语

在传统教学中,物理概念经常是逐个被建立起来的,如先建立起“功”的概念,再用“功”的概念去定义“能量”.教师在给出一个概念的定义之前,一般都会尽力避免使用这个概念.这样的教学态度看似严谨,实则忽视了学生系统学习物理之前在生活中形成的朴素认识,教学反而是低效的.学生的朴素认识既是他们形成物理观念的基础,当然也会对系统学习造成一定的干扰,教师有必要反思科学史中概念的建立过程,挖掘概念建立的逻辑,再据此设计课程以强化学生朴素认识中科学的部分,并转变其中不科学的部分,学生才能从朴素的观念转变为科学的观念,从而提升核心素养.

## 参考文献

- [1] 张红霞, 聂克·福斯克特. 教育重演论与中国教育改革[J]. 教育研究, 1998(2): 60-63.
- [2] 王宇航, 王志茜. 关于功的一种新的教学思路——从概念起源和科学方法的角度学习[J]. 物理通报, 2015(1): 5-8.
- [3] 刘征, 杨晓菲. 经历操作定义的过程——以“功的引入”教学为例[J]. 物理教学, 2019, 41(10): 52-54.
- [4] 弗·卡约里. 物理学史[M]. 戴念祖, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2010: 45-74, 90-91, 157-160.
- [5] 向义和. 物理学基本概念和基本定律溯源[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994: 36-71.
- [6] 中山秀太郎. 世界机械发展史[M]. 史玉良, 译. 北京: 机械工业出版社, 1986: 44-50, 69-70.
- [7] 曹则贤. 物理学咬文嚼字之七十三劳——功的篇章[J]. 物理, 2015, 44(6): 406-410.
- [8] 莫大贤. 关于功的原理[J]. 物理教师, 1992(9): 8.
- [9] 刘锐, 邢红军, 郑珊. 功的原理: 一节初中物理规律课的高端备课[J]. 中学物理教学参考, 2014, 43(Z1): 21-23.
- [10] 吴祖仁. 义务教育教科书物理八年级下册[M]. 北京: 教育科学出版社, 2012: 72-96.