“探究杠杆平衡条件”教学逻辑重构*

——运用几何关系建立“力臂”概念

刘 旭 （首都师范大学附属苹果园中学分校 北京 100144）
高 飞 （北京教育学院石景山分院 北京 100043）

摘 要 在传统“探究杠杆平衡条件”教学中，“力臂”概念经由教师直接给出，学生没有经历完整的科学探究过程。针对该问题，提出一种利用实验数据，结合平行四边形面积公式建构“力臂”概念的思路，以培养学生的科学探究素养，提升学生解决问题的能力。

关键词 力臂 几何 初中物理 概念建构 科学探究
文章编号 1002-0748(2025)11-0034 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

在初中生学习杠杆相关知识时，力臂概念是至关重要的。通过对比各版本的初中物理教材，我们发现引入力臂概念主要有两种思路：一种思路是先给出力臂的定义，然后再探究杠杆平衡时力和力臂的关系；另一种思路则是直接探究杠杆的平衡条件，然后在探究过程中引入力臂的概念[1]。物理概念应当先在物理规律中有所体现，然后基于描述的需要再被定义出来，这样看来第一种思路便没有展示出物理概念的建构过程。另一方面，如果力臂被先定义出来，学生在探究杠杆平衡条件时，就会受到“实验结论应当与力臂相关”的暗示，就无法经历完整的科学探究过程，而如何建构出力臂概念，从而得到杠杆的平衡条件，恰是培养学生科学探究素养的重点。

1 为什么需要几何关系

如何建构出力臂概念，目前的教学方式是教师引导学生从力的三要素出发，指出在杠杆问题中力臂可以同时描述力的方向和作用点，遗憾的是这个过渡的过程较为突兀。一些研究正试图作出改进，但其中大多仅是改进如何使学生直观地看到力臂和力的三要素间的关系。这样的教学方法虽然降低了学生学习概念的难度，但却无法带给学生更多对概念的理解。

有文章指出，要建构力臂的概念，就不能脱离力矩的概念。力矩可写为$M=Fr\sin\theta$，如果学生具备力的分解知识，就可以看出图1中$F\sin\theta$表示把力分解到垂直于杠杆的方向，r则表示支点到力的作用点的距离。正因为初中学生还没有学习力的分解，故只能将$r\sin\theta$定义为力臂[2]。学生理解力臂概念的深度取决于他们所具备的数学知识水平，基于相似三角形、三角函数、矢量积等数学知识，均可以对力臂产生不同程度的理解，而这些思路的基础则是认识到力与力之间可以形成几何关系。

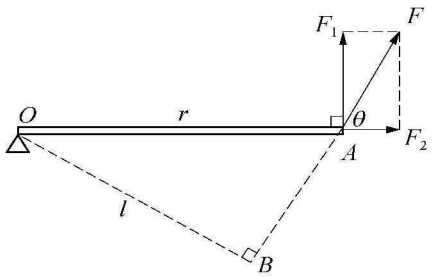

图1 力臂和力的关系

历史上，阿基米德的研究所展示出的皆是力垂直于杠杆的水平平衡问题，画家达·芬奇可能是最早描绘出力不垂直于杠杆的平衡状态的人，达·芬奇恰是通过几何关系来呈现这一问题的[3]。另一方面，运用几何关系处理问题的思路频频出现在物理学发展过程之中，这种思想并非局限于解决杠杆问题。因此，让学生经历几何式的“力臂”概念建构过程，不仅可以使学生更好地理解概念，更对其终身发展颇有益处。

* **基金项目**：本文系北京市教育科学“十三五”规划2020年度课题“基于原始物理问题教学理论的中学物理大概念教学研究”（课题编号：CDDB2020292）的阶段性研究成果。

中国知网 https://www.cnki.net

2　教学设计思路

本文探究思路即先利用实验探究“力垂直作用于杠杆”这种特殊情形下的平衡条件，再通过实验使学生认识到这个平衡条件并不适用于力不垂直于杠杆的情形，而一个普遍的平衡条件需要引入一个新的长度L，最后结合定量的实验数据以及几何关系发现这段长度的物理意义。

2.1　探究力垂直作用于杠杆时的平衡条件

本实验利用钩码对杠杆施加拉力，为使力垂直作用于杠杆，应调节平衡螺母使杠杆水平平衡。如图2所示，先在杠杆右侧B点处悬挂三个钩码保持不变，将钩码对杠杆B点施加的拉力记为F_2，支点O到B点的距离记为r_2。再在左侧不同的位置上悬挂适当数量的钩码使杠杆再次水平平衡，此时将钩码的悬挂点记为A，将钩码对杠杆A点施加的拉力记为F_1，支点O到A点的距离记为r_1，并记录下F_1和r_1的数据(见表1)。

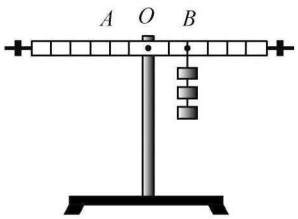

图2　实验示意图

表1　F_1和r_1的实验数据

r_1/cm	5	10	15	30
F_1/N	3	1.5	1	0.5

杠杆右侧B点处悬挂三个钩码保持不变，用弹簧测力计在杠杆右侧不同的位置上施加垂直于杠杆向上的、适当大小的拉力，使杠杆再次水平平衡，同样可以得到若干组F_1和r_1的数据。

通过分析数据可以发现F_1和r_1成反比关系。由于杠杆具有左右对称性，经过简单验证，可以得知力垂直作用于杠杆时的平衡条件为$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$。

2.2　定性探究杠杆平衡时力的大小与方向的关系

如图3所示，仍然保持杠杆右侧B点处悬挂三个钩码不变，用弹簧测力计对杠杆上固定的A点施加拉力，改变拉力方向，施加适当大小的力使杠杆保持平衡，定性观察并记录拉力大小与拉力方向的关系(见表2)。

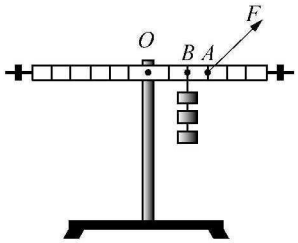

图3　实验示意图

表2　拉力大小与方向定性关系

拉力方向	斜向左上方	垂直于杠杆向上	斜向右上方
拉力大小	较大	最小	较大

学生通过实验发现，维持杠杆平衡所需的拉力大小与拉力方向有关，且对于杠杆固定位置施加的拉力，垂直作用于杠杆时维持杠杆平衡所需的拉力最小。

2.3　分析与讨论

教师针对以上两个实验所得出的结论引导学生进行分析与讨论。

教师：杠杆平衡条件“$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$”是否适用于所有情形？

学生：只适用于力垂直于杠杆的情形。

教师：如果力F_1不垂直于杠杆，力F_2垂直于杠杆，$F_1 \cdot r_1$和$F_2 \cdot r_2$谁更大？

学生：假设F_0与F_1分别作用在同一点上，且F_0垂直于杠杆，根据2.1的实验数据可知$F_0 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$，根据2.2的实验现象又可知$F_1 > F_0$，因此$F_1 \cdot r_1 > F_2 \cdot r_2$。

教师：“$F_1 \cdot r_1 > F_2 \cdot r_2$”不能称为杠杆的平衡条件，因为并非只要满足这个条件杠杆就会平衡。例如只把维持杠杆平衡的力F_1扩大到原来的2倍，这个不等式仍然成立，但显然杠杆无法继续保持平衡。因此想得到一个杠杆的平衡条件，就需要得到一个等式，据此我们应当重新定义一个长度L_1，使杠杆平衡时满足“$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot r_2$”。那么$L_1$应当大于$r_1$，还是小于$r_1$？

学生：对比“$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot r_2$”和“$F_1 \cdot r_1 > F_2 \cdot r_2$”可以看出$L_1 < r_1$。

教师：L_1具体指的是哪一段长度，我们不得而知，因为2.2的实验仅是一个定性探究实验，想知道L_1的定量结论就需要进行定量探究。

2.4　定量探究杠杆平衡时力的大小与方向的关系

为了完成定量探究实验，笔者在传统器材上加以改进：如图4所示，在杠杆右侧打一个孔，固定上棉线，方便施加拉力，再把量角器固定在一个厚纸板上，方便测量角度。然后学生在2.2实验的基础上，采用图4所示实验装置，用量角器测出拉力方向与杠杆的夹角度数，记为θ，读出弹簧测力计的示数，记为F，并记录下F和θ的数据(见表3)。

表3　F和θ的实验数据

θ	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°
F/N	3.0	2.1	1.7	1.5	1.7	2.1	3.0

中国知网　https://www.cnki.net

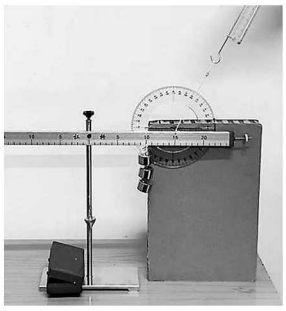

图4　实验装置

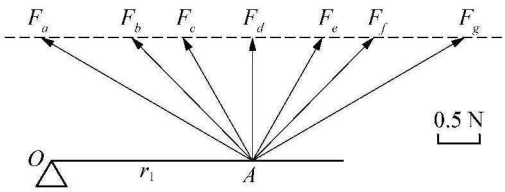

图5　用图示呈现数据

将表3中的每组数据用图示绘制在同一张图中(见图5),可以观察到每个力的图示的端点都几乎处于一条与杠杆相平行的直线上,这是后续分析所需的重要结论。

2.5　推广杠杆的平衡条件

选取图5中的F_d和F_e进行详细分析:首先,F_d是垂直于杠杆的,而F_e不垂直于杠杆,基于2.3中的结论可知$F_d \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$,$F_e$需要乘以一个比$r_1$更小的长度$L_e$,才能满足"$F_e \cdot L_e = F_d \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$",问题便是"$L_e$应当指哪一段长度"。

既然力已经通过图示呈现出来,线段的长度就直观地表示了力的大小。如图6所示,$F_d \cdot r_1$可以表示为矩形$OADM$的面积,而平行四边形$OAEN$的面积又等于矩形$OADM$的面积,F_e的大小所对应的就是线段AE的长度,问题便转换为了线段AE乘以哪一段长度等于平行四边形$OAEN$的面积,答案是AE这条边所对应的高线——这便是L_e所指。

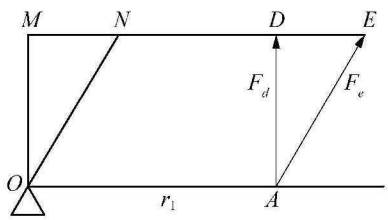

图6　用几何关系建构力臂

因此,在物理上L指的就是支点到力的作用线的距离,称为力臂。由于杠杆左右对称,杠杆普遍的平衡条件应为$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$,最后教师再通过演示实验验证这个平衡条件仍然适用于杠杆非水平、异形等情况[4]。

3　反思与讨论

3.1　如何看待图示呈现出的结论

当学生面对图5时,可能会产生"为什么图中虚线一定与杠杆相平行"的问题,从本节课来讲,这仅是从实验中归纳得出的结论而已,如果改进实验以减小测量误差,就可以更明显地观察到这一现象。当然,学生经历了更高学段的学习后,如果具备了力的分解知识,就可以利用图1所示来看待这个问题,虚线与杠杆相平行则表明了力在垂直于杠杆的方向上具有相同的投影,但这对于初中阶段的学习是没有必要提及的。归根结底,物理学是一门以观察和实验为基础的学科,历史上,曾有一批科学家尝试纯粹利用几何知识推理得出杠杆的平衡条件,而后马赫一一指出了那些推理过程中的错误,并论述了他们失败的原因[3]。

3.2　如何引入杠杆的平衡状态

在传统教学中,教师常常先给出杠杆的平衡状态包括静止状态和匀速转动状态,然后再探究杠杆的平衡条件。学生实验时会发现,在杠杆非水平时,不满足$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$也可以使杠杆保持静止,而静止又说明杠杆平衡了,这迫使教师引出杠杆自重的影响。在初中阶段,杠杆的平衡条件被表述为"$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$",说明只限于掌握两个力(除支点外)的杠杆平衡问题,此时引入了第三个力的作用,既偏离了教学的主线,还会给学生学习造成障碍。

"平衡"这个词最初应从等效的观点来理解,这也是学生易接受的最朴素的认识。如果对杠杆增加两个力的作用,杠杆可以保持原状,那么我们就可以认为这两个力达到了某种平衡。无论杠杆处于何种状态,探究杠杆的平衡条件时,都应当在增加两个力的作用后使杠杆恢复原有的状态,在此基础上即可得出平衡条件$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$。例如:杠杆最初并未水平平衡,而是与水平面夹角为30°,如果对杠杆增加两个力的作用,杠杆仍然保持原有的与水平面夹角为30°的状态,就会发现两个力满足"$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$"。

特别要注意的是,常规中学实验室中的杠杆,支点并不在两个钩码悬挂点的连线上,即图7中A、O、B三点不共线,这样也就导致了悬挂在A点的钩码和悬挂在B点的钩码所施拉

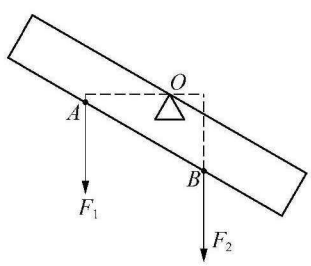

图7　杠杆非水平平衡

中国知网　https://www.cnki.net

力的力臂，在杠杆水平时是相等的，而杠杆倾斜后便不再相等。这也要求本文图4所示自制器材的打孔点位在杠杆水平时应与支点处于同一水平线上。

3.3　杠杆为什么要水平平衡

实验中杠杆为什么要调成水平平衡的状态，这是习题中的一个常见问题。答案一般有两种，一是排除杠杆自重的影响，二是方便测量力臂，然而这两种答案均有待商榷。只要杠杆悬挂钩码后与最初的角度保持一致，杠杆自重就不会带来影响，已有文章[5]对此详细讨论，本文不再赘述。

对于“方便测量力臂”这个答案：本实验应当验证杠杆处于不同情形下平衡时结论是否都满足，只在特例中得出的结论是不具备普遍性的。换言之，想要完整地完成实验，学生就既需要把杠杆调成水平平衡的状态，也需要把杠杆调成非水平平衡的状态。

现状是多数的教学过程中，学生并未验证杠杆在非水平平衡时的平衡条件，这样原则上，后续使用实验结论时就应小心地只用在杠杆水平平衡这一种情况下。但实际并非如此，在杠杆非水平平衡的习题出现时，学生会无意识地将特例中得出的结论，无条件地推广成普遍性结论，还会得到教师的肯定，这显然不利于对学生科学思维的培养[6]。

4　结　语

物理教学已全面迈入素养教育时代，培养学生的科学探究素养已成为教育领域的重要议题。能够解决真实问题，是培养学生科学探究素养的关键目标之一。真实问题往往错综复杂，而物理学科的丰富经验能够引导学生从这些复杂问题中提炼出简单而重要的规律，在此基础上，可以逐步深入地探究更细致的内容。因此，处理复杂问题应成为教学内容的一部分，教师可适当增加科学探究的课时，而不能因其复杂而轻易省略，仅让学生体验问题的简单部分。

参考文献

[1] 丁红，周新雅，谢晓倩. 对多版本教材“力臂”的比较与深度分析[J]. 中学物理，2019(4)：22—25.

[2] 孙伟军，董耀. 杠杆中力与力臂的教学探讨[J]. 物理之友，2018(12)：15—16.

[3] 恩斯特·马赫. 力学及其发展的批判历史概论[M]. 李醒民，译. 北京：商务印书馆，2019：32—51，105—120.

[4] 江薇. 指向深度学习的初中物理概念建构——以“力臂”的建构为例[J]. 物理教学，2022(12)：40—43.

[5] 蒋新. 杠杆要在水平位置平衡的原因[J]. 物理教学，2015(4)：39—40.

[6] 刘旭. 从科学推理的角度重构教学逻辑——以“浮力”一课为例[J]. 物理教学探讨，2022(12)：54—58.

（上接第40页）

习题时，也要尽可能地贴近本题特征，用“图象的残缺”“条件的内隐”换得学生“思维的全面”“眼光的敏锐”。

5　情境丰富重实用　彰显生活意义

物理学科核心素养是一个有机整体，需要通过基于真实情境的物理问题来培养，自然也需要理论联系实际的试题情境进行检测[3]。教育部考试中心发布的高考评价体系也明确要求，创设实践情境进行评价[4]。所以，我们能够看到2025年苏州六区八上物理期末统测试题还有一个显著的特征：试题情境创设丰富多样、新颖灵活，而且关注现实生活、彰显文化自信、注重实际应用！经过初步分析，涉及生活情境、劳动情境、科普情境、实验情境、物理制作情境、传统文化情境、时事热点情境、国家工程项目情境、地域特色文化情境等，这也是2022年版物理课标的主要变化和具体要求之一。因篇幅限制，本文不再逐一罗列相关试题。

6　结　语

素养导向的课程改革，旨在立德树人。通过优化课程教学、改进考试评价，引导学生学会学习、学会生活、学会合作，为其终身发展奠基[1]。融合课标教材，丰富情境创设，优化考查方式，灵活调整设问的角度，从“立足素养发展、关注评价育人”的维度，开展试题命制和组卷工作，增加劣构问题，引导学生从多角度发现、分析、解决问题，培养学生搜集、提取、处理关键信息、梳理事物间内在联系的能力，形成能够适应变化、主动应对变化的高阶思维，让学生逐步从学会解题走向学会解决问题。

参考文献

[1] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022.

[2] 刘炳昇. 物理(八年级上册)[M]. 南京：江苏科学技术出版社，2024.

[3] 赵坚，蒋炜波. 2022年全国高考物理(甲乙卷)试题的命题理念和特点管窥[J]. 中学物理，2022(19)：41—47.

[4] 教育部考试中心. 中国高考评价体系说明[M]. 北京：人民教育出版社，2019.

中国知网　https://www.cnki.net