生活与物理

从能量转化的角度学习“内燃机”的物理内涵*

陈怡豪 黄伟昊 (深圳市南山区第二外国语学校(集团)学府中学 广东 518000)
管佩磊**(深圳市南山区教育科学研究院 广东 5180077)

摘 要 针对初中物理中“内能的利用”的学习,介绍了能量转化视角下“内燃机”的定义方式,并对现有初中物理教材中“热机”的教学设计提出了一些优化建议,帮助学生从能量转化的角度更好地理解内燃机,促进学生物理学科核心素养的发展。

关键词 初中物理 内能的利用 内燃机 教学探究
文章编号 1002-0748(2024)9-0077 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

1 问题起源

《义务教育物理课程标准(2022年版)》指出,学生在学习中要形成“能量转化与守恒”的物理观念[1]。这要求学生在分析物理现象时,要有意识地关注能量转化、能量利用等问题,从而将复杂的机械工作流程简化为能量转化流程,进而培养关注事物本质、简化复杂问题、建构合理模型的科学思维。

热机工作流程是典型的内能转化过程,因此初中阶段常以四冲程内燃机为切入点,逐步推进“内能的利用”和“能量转化和守恒”内容的学习。

然而,热机形式多样,除活塞式内燃机(包括汽油机、柴油机)外,还包括涡轮发动机、喷气发动机等。在学习中,好奇心强的学生可能会提出如何对热机归类的疑问,但相关的学习资料对此却没有明确说明。

基于感性认识,学生易做出以下两种判断:

① 认为涡轮发动机的燃烧室与外界联通,属于外燃机;

② 认为涡轮发动机没有活塞,无法用“内/外燃机”定义。

这两种判断无疑都是不正确的。判断①错误地认为内燃机的“内”是指封闭的燃烧室;判断②则错误地认为活塞为内/外燃机的核心部件。作这两种判断的学生对内燃机的认识停留在工程方案层面,未能从能量转化与守恒的角度认识热机的物理内涵。

因此,如何帮助学生认识内燃机的物理内涵,学习从能量角度区分内燃机与外燃机,并以此为抓手培养学生能量转化与守恒的物理观念和“透过现象看本质”的科学思维,成为物理教师们需要聚焦的一项任务。

为上述任务,本文拟从以下几个方面进行探讨:

① 从能量转化的角度介绍“内/外燃机”的定义方式;

② 对比部分现行初中物理教材与相关高校专业教材关于内燃机描述的差异,对现行教材相关内容进行适度补充;

③ 提供教学建议,通过对比实验,帮助学生从能量转化的角度了解内/外燃机的物理本质。

2 能量转化视角下的内、外燃机定义

经查阅机械工程专业的相关高等教育教材,对内燃机的描述见表1。

表1 部分教材中对内燃机的描述

描述	出处
内燃机是一种燃料在机器内部燃烧释放能量对外做出机械功的热机……燃气轮机也是内燃机的一种,但它的工作原理与汽油机和柴油机的完全不同……	《内燃机学》[2]
在内燃机中,燃料的燃烧过程产生热量,并将部分热量转变为机械功都是直接在发动机内部完成的。活塞式和复合式发动机、燃气轮机以及喷气式发动机都属于内燃机	《活塞式和复合式内燃机的构造及工作》[3]

* **基金项目**:本文系课程教材研究所重点项目“落实基础教育课程标准实验研究”(项目编号:JCSZDXM2022002)的研究成果。
** **通讯作者**:管佩磊。

中国知网 https://www.cnki.net

续　表

描述	出处
把燃料燃烧时所放出的热能转换成机械能的机器称为热机。热机可分为外燃机和内燃机两大类。燃料燃烧的气体将所含的热能通过其他介质转变为机械能者，称为外燃机，如蒸汽机和汽轮机等；燃料在气缸内部进行燃烧，所产生的气体（即工质）直接将所含的热能转变为机械能者，称为内燃机，如汽油机、柴油机、煤气机和燃气轮机等。其中以汽油机和柴油机应用最为广泛，通常所说的内燃机多是指这两种发动机	《内燃机构造与原理》[4]

可见，各专业教材均关注内燃机能量转换的物理内涵：内燃机将内能直接转化为机械能；外燃机将内能通过其他介质间接转化为机械能；内燃机省去热传递步骤（见图1）。同时，教材列出一些常见的内燃机，并指出“通常所说”的内燃机特指活塞式汽油机和柴油机，与严谨的定义相区分。

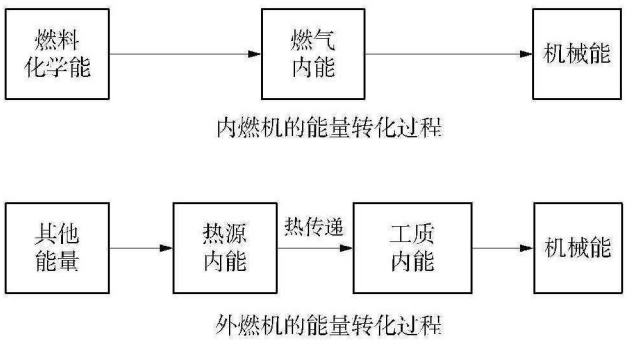

图1　两种热机的能量转化过程对比

在活塞式汽油机和柴油机中，机械能直接由燃气的内能转化而来，是典型的内燃机。而蒸汽机先使水从热源吸热蒸发后，再转化为机械能，是典型的外燃机。

燃气涡轮发动机（简称“燃气轮机”）前后贯通，没有完全封闭的燃烧室（见图2）。它连续吸入空气并经压缩后送入燃烧段，与燃料喷雾混合并燃烧；燃气持续推动后部叶片旋转并带动同轴的前部叶片，完成工作循环。

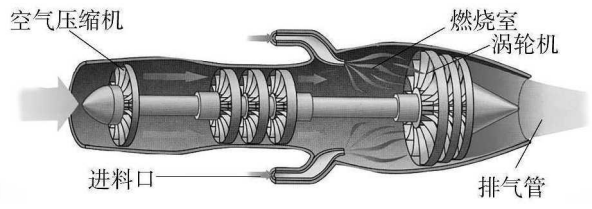

图2　燃气涡轮喷气发动机的内部结构图[5]

燃气轮机直接将内能转化为涡轮叶片、废气和轴的机械能，因此尽管它与活塞式内燃机在结构上完全不同，但仍是一种内燃机。

3　现行教材分析

现行初中物理教材中关于热机和内燃机的相关描述见表2。

表2　部分现行义务教育教材对内燃机的描述

描述	出处
内燃机是通过燃料在机器内部燃烧，并将其放出的内能直接转换为机械能的动力机械。内燃机不仅包括往复活塞式内燃机、旋转活塞式发动机和自由活塞式发动机，也包括旋转叶轮式的燃气轮机、喷气发动机等，但通常所说的内燃机是指活塞式内燃机	人教版教师用书《物理（九年级全一册）》[6]
制造了各种利用内能做功的机械 热机。 热机的种类很多，例如蒸汽机、内燃机、汽轮机、喷气发动机等。 燃料直接在发动机气缸内燃烧产生动力的热机，叫做内燃机。 内燃机分为汽油机和柴油机两大类。 喷气式发动机比内燃机更轻便	人教版《物理（九年级全一册）》[7]
将由燃料燃烧产生的高温高压气体的内能转化为机械能的机器，统称为热机。 实际热机的种类很多，按其工作方式可分为蒸汽机、内燃机、汽轮机、喷气发动机等…… 内燃机的核心部件是气缸，活塞在气缸内进行往复运动…… （喷气发动机）不需要内燃机中的活塞、曲轴等传动装置	北师大版《物理（九年级全一册）》[8]
把燃料燃烧时释放的内能转变为机械能的装置被称为热机。 热机的种类较多。燃料直接在发动机气缸内燃烧产生动力的热机，叫做内燃机，内燃机中最常见的是汽油机和柴油机	沪科版《物理（九年级全一册）》[9]
热机是热力发动机的简称，它是将燃料燃烧产生的高温、高压燃气的内能转化为机械能的装置。现以汽油机为例，介绍内燃机的工作过程…… 人们设法让燃料在气缸内燃烧，用燃烧的气体直接推动活塞做功，这就是内燃机。今天的汽车、拖拉机、坦克等都使用了内燃机	苏科版《物理（九年级上册）》
热机是通过燃料燃烧获取内能并转化为机械能的装置。 ……广泛使用着汽油机和柴油机等内燃机……喷气发动机和火箭发动机。 这种热机工作时，燃料在气缸内燃烧，产生的燃气直接推动活塞做功，因此叫做活塞式内燃机。常见的活塞式内燃机有汽油机和柴油机	教科版《物理（九年级上册）》[10]
热机的种类很多，有蒸汽机、汽油机、柴油机、燃气轮机、喷气发动机和火箭发动机等。这些热机的共同特点，是将燃料的化学能通过燃烧转化为内能，然后通过做功，把内能转化为机械能	沪粤版《物理（九年级上册）》[11]

中国知网　https://www.cnki.net

对比部分现行义务教育教材可知，各教材均从能量转化角度对热机给出定义，但教科版和沪粤版教材中进一步给出能量转化流程图，比单纯文字描述更有利于学生理解热机的物理内涵。

在内燃机的定义上，人教版、北师大版教材更关心核心部件而非能量转化过程；苏科版教材在课后阅读材料中才提出定义，但未提及能量转化；教科版教材同样未提及内燃机的能量转化；沪粤版教材在描述热机时明确指出做功与机械能的关系，但回避了内/外燃机的定义；人教版教师用书最接近高校教材的定义，既从能量转化的角度定义内燃机，又列举内燃机常见类型，并说明“通常所说的内燃机”为活塞式内燃机，与严谨定义的相区分。各教材在分类列举时均不认为喷气发动机是内燃机。

此外，在人教版教材中使用“蒸汽喷瓶塞”实验作为热机内容的引入，但这是外燃机的原理，而后文重点介绍的是内燃机，这容易给学生带来更多疑惑；细看本节课文，提及能量转化的内容不到两百字，未重点提及两种热机在能量转换上的根本差异；文中先提及机械能和动能，但随后又改用“做功”的描述，容易使学生误认为做功与能量是割裂的，不利于学生对功能关系的理解。

综上，基于笔者的理解，目前的人教版教材存在可优化之处：

(1) 未聚焦内燃机的能量转换过程，不能充分体现培养物理学科核心素养的理念；

(2) “蒸汽喷瓶塞”实验为外燃机原理，与内燃机内容联系不够紧密；

(3) 分类标准混用，各名词间的逻辑关系存在一定的混乱。

4　教学改进建议

为帮助学生更好地理解内燃机，建议在本节教学中采用“酒精喷纸杯”的演示实验(见图4)作为蒸汽喷瓶塞实验的补充：塑料瓶底部侧面开小口，并向瓶内喷少量酒精；用纸杯罩在瓶口，用打火枪在底部点火，引燃酒精后纸杯吹起。

该实验有如下优点：①现象明显，能激起学生的兴趣；②流程和原理简单，学生能够且乐于自主思考分析；③酒精燃气的内能直接转化为纸杯的机械能，更适合作为内燃机的引入；④实验后，空气中有酒精气味且塑料瓶微微发热，证明瓶内酒精未全部燃烧且内能未全部转化为纸杯的机械能，可作为学习热机效率的铺垫。

针对原教材，可以对本小节内容进行如下教学设计。

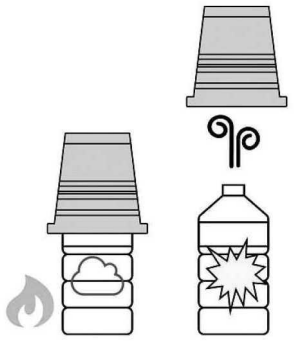

图3　酒精喷纸杯实验

(1) 请学生自由回答不同历史时期的交通工具。它们的动能由什么能量转化而来？现代交通工具燃烧燃料时发生什么能量转化？像汽车发动机这样，将内能转化为机械能的机器叫做热机。

设计目的：引导学生从能量角度思考问题，自行总结发动机的能量转换过程，给出热机的定义。

(2) 演示“蒸汽喷瓶塞”实验，引导学生描述实验中的能量转换过程：化学能→水的内能→瓶塞动能。简单介绍瓦特与蒸汽机的历史，引导学生从能量转化过程出发，发现蒸汽机能量转换步骤多、效率低的缺点。能否简化流程，直接将内能转化为机械能？

(3) 演示“酒精喷纸杯”实验，引导学生描述实验中的能量转换过程：化学能→燃气内能→纸杯动能。在本实验中，酒精是否完全燃烧？酒精的能量是否完全转化为机械能？能够闻到酒精气味，且瓶子发热，说明酒精的化学能没有被完全利用。

上述实验都是将酒精燃烧释放的内能转化为机械能，它们有什么差异？引导学生更加细致地完善两个实验的能量转化过程，发现“蒸汽喷瓶塞”的实验中多了一步由火焰向水热传递的过程，而“酒精喷纸杯”实验中直接将内能转化为机械能。

设计目的：引导学生关注两个实验在能量转换上的差异，培养学生的观察和思考能力，为内燃机和外燃机的区分做准备，同时为后续学习热机效率的内容做铺垫。

(4) 展示四冲程发动机动图，动图应凸显气缸内火焰直接推动活塞。它的原理更接近上述哪个实验？给出定义：内燃机是将内能直接转化为机械能的热机，外燃机是将内能间接转化为机械能的热机。

设计目的：从能量的角度给出两种热机的定义，便于理解四冲程内燃机的教学内容。

(5) 效果检验：在完成教学内容后，随堂简单介绍燃气轮机的工作原理，并指出燃气轮机没有封闭的燃烧室，但仍由燃气直接驱动工作。燃气轮机是否属于内燃机？

设计目的：考查学生是否掌握从能量角度思考物理问题的方法，排除具体机械结构的影响，对热机

中国知网　https://www.cnki.net

进行分类。

(6) 作业设计:在学生掌握课堂内容后,可布置展示性作业,鼓励学生了解其他热机知识,有助于建立热值、比热容、热效率、简单机械及能量守恒等知识之间的联系。也可以设计实验性作业,设计制作简单的发动机,如压缩空气发动机、小型噗噗船等,培养学生的动手能力和工程思维。还可联系化学、历史等其他学科,探究各种燃料的差异、热机的发展史等,开展跨学科实践活动。

设计目的:通过多种不同类型的作业,进行连续、动态、多元化的评价,鼓励学生自主学习,帮助学生不断巩固已学内容,实现“教、学、评”一体化。跨学科实践活动能够帮助学生建立知识网络,增强知识应用,培养创新思维。

5　总　结

本文通过聚焦学生在学习热机内容后存在的疑惑,对比部分现行义务教育物理教材的内容,提出了优化建议。为帮助学生更好地了解内燃机的概念,对内燃机教学过程提出以下改进建议:

(1) 教学设计要重点聚焦内燃机能量转化的本质特点,突出本章能量转化与守恒的主题;

(2) 优化课本中的演示实验,使之与后续教学内容的联系更加紧密。

在新课标的指引下,教师在教学设计中应更加关注物理学科核心素养的培养,在教学实施中应引导学生领悟和学习这种把握事物本质、忽略外在干扰的研究方法,凸显物理学科的特色,从而更好地发展学生的核心素养,为学生未来的人生发展打下坚实基础,培育具有科学家潜质、愿意献身科学研究事业的青少年。

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] 刘圣华,周龙保. 内燃机学[M]. 北京:机械工业出版社,2018:1.

[3] A·C·奥尔林,M·Г·克鲁格洛夫. 活塞式和复合式内燃机的构造及工作[M]. 于连臣,赖彭年,译. 北京:机械工业出版社,1985:1.

[4] 陆耀祖,田维铎. 内燃机构造与原理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1986:3　4.

[5] 刘炳昇,李容. 物理(九年级上册)[M]. 南京:江苏凤凰科学技术出版社,2023:49　53.

[6] 张颖,方贵荣,宋树杰. 义务教育教科书教师教学用书·物理(九年级全一册)[M]. 北京:人民教育出版社,2023:48.

[7] 彭前程. 物理(九年级全一册)[M]. 北京:人民教育出版社,2023:18.

[8] 闫金铎. 物理(九年级全一册)[M]. 北京:北京师范大学出版社,2019:20　27.

[9] 廖伯琴. 物理(九年级全一册)[M]. 上海:上海科学技术出版社,2021:45.

[10] 吴祖仁. 物理(九年级上册)[M]. 北京:教育科学出版社,2013:20　28.

[11] 束炳如,何润伟. 物理(九年级上册)[M]. 上海:上海科学技术出版社,广东:广东教育出版社,2021:36.

(上接第73页)

解,基本都偏向用内切圆半径来判断,不顾及图形本身的自洽,这既偏离物理学科素养立意,也不符合学生的思维路径。学生很少想到用内切圆半径来判断,是资料强加于学生接受这种观点。

启示我们教学上要夯实物理必备知识,提高学科素养,培养用物理学的视觉分析解决实际问题。教学中要在物理概念和规律教学上狠下功夫,要用好教材。“水下点光源照射水面,水面有光射出的区域形状为圆形”这个问题是教材上例题“在潜水员看来,岸上的所有景物都出现在一个倒立的圆锥里,为什么?这个圆锥的顶角是多大?”的变式应用。约六分之一的学生选择了A或B,说明没掌握水下点光源射向水面时有光射出水面的形状是圆形面,凭感觉误认为射出区域形状与灯丝带形状一样。约三分之二的学生选择了B或D,他们大部分一下子找不到判断中间有无光射出的确切依据,基本上是猜的,也有同学想到了图6所示的情况,计算出斜边上的高$h>2r$,从而判断中间无光射出,说明“圆面—平移圆”动态构图能力有待加强。其实想到了图9所示的情况就差一点点了,圆面移一下构建图7所示的情况就可以确定水面中间有光射出区域已重叠。“平移圆法”在带电粒子在匀强磁场中的运动是很常见的,说明知识、方法的迁移能力有待加强。

参考文献

[1] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书　物理　选择性必修　第一册[M]. 北京:人民教育出版社,2019.

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

[3] 肖飞燕. 教教材还是用教材教[J]. 物理教师,2020(7):87　92.

[4] 浙江省教育考试院物理学科编写组. 物理[J]. 浙江考试,2023增刊(2):106　125.

中国知网　https://www.cnki.net