2023年安徽省中考物理“浮沉子”试题中模型建构思维的剖析与试题疑点的解析

张海涛　赵振宇

（哈尔滨师范大学教师教育学院　黑龙江　哈尔滨　150025）

摘　要：以2023年安徽省中考物理“浮沉子”试题为蓝本，从试题疑点入手，通过建构理想模型，剖析试题的模型建构思维，实现试题模型建构思路的澄明，并结合实物模型建构，以创新实验进行验证性测量，逐一击破试题疑点.

关键词：浮沉子；模型建构；模型建构思维

中图分类号：G633.7　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1008－4134(2024)12－0063－03

1　试题疑点

试题　(2023年安徽省)如图1所示，小华用大塑料瓶(大瓶)和开口小玻璃瓶(小瓶)制作了图1(a)所示的“浮沉子”；装有适量水的小瓶开口朝下漂浮在大瓶内的水面上，拧紧大瓶的瓶盖使其密封，两瓶内均有少量空气.将小瓶视为圆柱形容器，底面积为S，忽略其壁厚(即忽略小瓶自身的体积).当小瓶漂浮时，简化的模型如图1(b)所示，小瓶内空气柱的高度为h，手握大瓶施加适当的压力，使小瓶下沉并恰好悬浮在图1(c)所示的位置.将倒置的小瓶和小瓶内的空气看成一个整体A，A的质量为m，水的密度为$\rho_{水}$，g为已知量，求：(1)图1(b)中A所受浮力的大小；(2)图1(b)中A排开水的体积；(3)图1(b)和图1(c)中小瓶内空气的密度之比.

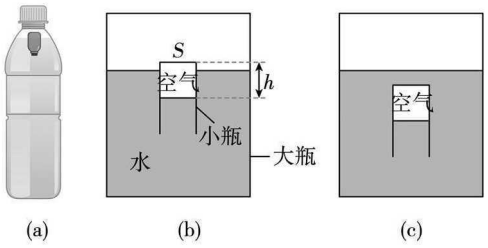


图1　浮沉子的浮沉过程

模型建构作为科学思维中的要素之一，是认识物质及其运动的重要手段和思维方式，是提升学生科学思维能力的重要路径[1].“浮沉子”试题是典型的浮力“生活情境”应用题，是模型提炼精巧、思维含量厚重的一道原创题.就试题本身而言，出题者将小瓶与其内部空气看成整体，将其简化为一个有质量、无体积的外壳包裹着空气柱的理想模型.实现在繁杂的客观事物中抽象出物理本质，在对事物原型的模型化处理中培养学生的模型建构思维能力.

试题将小瓶和瓶内空气作为研究对象，通过间歇性地挤压大瓶来改变大瓶内气(水)压，实现小瓶的浮与沉.试题一经公布，部分教师对该题心存疑惑，现将疑虑总结如下：(1)浮沉子模型建构中，为何选小瓶和瓶内空气作为研究对象，将“小瓶内、外的水”看成一个整体，这种研究方法有何优点？(2)若“以小瓶和瓶口截面内部(小瓶内的空气与截面以内的水)”作为研究对象，来展开试题分析有何不妥？(3)建构“浮沉子”模型时为何只计小瓶的质量却忽略壁厚(不计其体积)，此中有何用意？(4)当小瓶处于悬浮状态时，“瓶内空气的密度就等于水的密度”，这样的近似处理会导致瓶内空气密度与实际情况相差甚远，是否符合物理学秉承的尊重客观实际的科学精神？为解决以上问题，本文通过建构理想模型，剖析试题蕴含的模型建构思维，明晰试题模型建构思路，并建构实物模型，通过创设真实实验，逐一实现众多疑点的解析.

2　建构理想模型　剖析建模思维

2.1　知识背景分析

沪粤版八年级物理第九章第3节“研究物体的浮沉条件”，该节内容设有“潜艇的上浮和下潜原理”探究实验[2].潜水艇通过水舱内高压空气将舱内的水“排出”而上浮；通过水舱“排气”将水“吸入”舱内而下沉；舱门只在工作时打开，平时均闭合.学生的思维受潜水艇原理的干扰，考虑到小瓶内水的质量随其浮

作者简介：张海涛(2000－)，硕士研究生，研究方向：中学物理学科教学.

通讯作者：赵振宇(1968－)，本科，教授，硕士生导师，研究方向：物理教材教法研究.

中国知网　https://www.cnki.net

沉状态而改变,最终以整个浮沉子(包括其内部的水和空气)作为研究对象,而试题在建模过程中均不考虑小瓶内水的变化.综上所述,小瓶内的水是否被选作研究对象是解决浮沉子类问题的关键.为体会试题中的模型建构思维,解析疑点,可以基于以下两种视角分别实施模型建构.

2.2 “小瓶+瓶内的空气”的模型建构

物理模型是人们在研究和解决物理问题时,理解并抓住客观现象及规律的本质,是吸收一切主要因素,略去次要因素,而建立的概念模型[3].笔者将试题中小瓶抽象成只计质量不计壁厚的开口圆柱状模型.小瓶开始时处于漂浮状态(即 $F_{浮}=G$);用力挤压大瓶,小瓶“吸水”,压缩其内部空气,空气柱的体积减小,小瓶下降,以保证小瓶内空气体积不变,即排开水的体积($V_{排}$)不变,浮力也不变,此时小瓶仍处于漂浮状态,如图2(a)(b)所示.继续挤压大瓶至小瓶刚好悬浮,浮力等于重力(即 $F_{浮}=G$),此时小瓶排开水的体积($V_{排}$)仍不变,如图2(c)所示.因此,小瓶在浸没之前的漂浮或悬浮状态中,通过下降来抵消瓶内空气柱体积的减小,保证其浮力与重力是一对平衡力;继续挤压大瓶,瓶内空气柱体积减小,小瓶的浮力小于自重(即 $F_{浮}<G$),小瓶在非平衡力作用下加速下沉,如图2(d)所示.停止挤压大瓶,小瓶“排水”上浮,如图2(e)所示.由此可见,在用力挤压大瓶时,小瓶始终“吸水”而致使瓶内空气柱体积一直减小而下沉;反之,小瓶则“排水”致使瓶内空气柱体积一直增大而上浮.

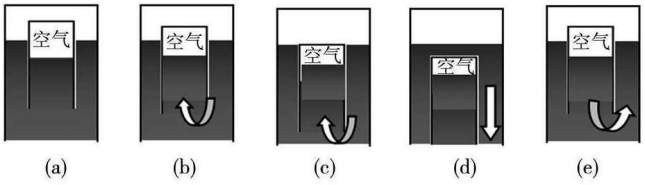


图2 “开口”浮沉子的下沉与上浮原理

2.3 “小瓶+瓶内的空气+瓶内的水”的模型建构

以整个浮沉子为研究对象,即浮沉子=小瓶+瓶内的空气+瓶内的水,当小瓶漂浮在水面上,浮力等于自重;用力挤压大瓶,小瓶由漂浮变为悬浮,开口处压强增大导致小瓶“吸水”,总重力增加,小瓶所受浮力增大,且增加的浮力大小等于其“吸”入水所受的重力,以保证其浮力仍然等于自重;小瓶全部浸没后,再挤压大瓶,小瓶继续“吸水”导致浮力小于重力而下沉;不挤压大瓶,小瓶内的水再由开口“排”到大瓶中,小瓶开始上浮直至漂浮.通过以上两种浮沉子模型建构过程来看,解决不同问题、问题需要的精确程度不同,建立的模型也必将不同[4].综合分析发现,若只是揭示小瓶(浮沉子)的浮沉条件及其产生原因等问题时,以上两种物理模型都可以满足要求;若研究小瓶在浮沉过程中瓶内水量变化的问题,则模型建构中就不能忽略瓶内水的存在;若研究小瓶在浮沉过程中瓶内空气变化的问题,则模型建构中就必须忽略水对问题的影响,这就是该试题为何将小瓶和瓶内空气作为研究对象的原因,以下通过创新实验来进行验证性测量.

3 构建实物模型 验证试题疑点

3.1 模型制作过程

3.1.1 实验器材

取长35 cm、直径50 mm的亚克力管一根,直径52 mm的橡胶塞两只、(阿胶浆)玻璃小瓶一个,长30 cm、直径6 mm的橡胶软管一根,500 mL(大号)与100 mL(小号)注射器各一个,厨房电子秤一台,医用输液管、细铁丝各一根,开孔器、热熔胶枪、废圆珠笔芯、剪刀与水等.

3.1.2 制作浮沉子

(1)取一橡胶塞将亚克力管的下端堵住,用热熔胶枪将其密封好.(2)剪一截长约15 cm的医用输液管,套在100 mL注射器前端,用细铁丝将其固定在针管外侧,方便调整浮沉子内液体的多少,简称“调液器”,将其吸满染色水备用.(3)用开孔器在另一橡胶塞的正中心开一孔,插入废圆珠笔芯,通过橡胶软管与500 mL注射器相连,胶棒枪密封缝隙待用(如图3所示).



图3 制作浮沉子

3.2 实验过程

向亚克力管内注水至管口下5 cm处,将装有染色水(方便观察)的玻璃小瓶轻轻地竖直倒放入亚克力管中,用调液器调节小瓶中水量,使其处于漂浮状态;将待用的带笔芯的橡胶塞堵住亚克力管上端并用手按紧,将大号注射器的活塞向前缓慢推动,亚克力管内液面上方气压增大,此时小瓶在亚克力管内开始慢慢下降,由漂浮进入悬浮状态,继续加压,浮沉子逐渐下沉,直至沉底;再用力缓慢向后拉动大注射器活塞,管内液面上方气压减小,小瓶又缓慢上升直至漂浮状态(如图4所示).利用生活中常见的物品创新实验,实现“浮沉子”模型的升级,体会浮沉原理,为疑点解析做好铺垫.

中国知网 https://www.cnki.net

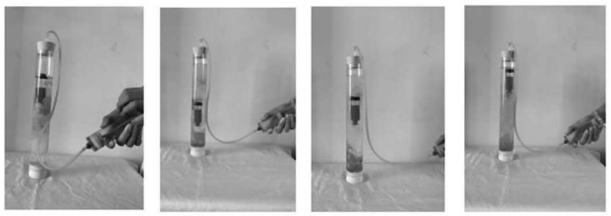


图4　探究浮沉子的浮沉实验

3.3　实地测量模型内空气密度比

验证前所需物理量的测量：测量空小瓶质量为 $m=14.0$ g；向小瓶中注水后，倒置于装水容器中，“调液器”增减小瓶中的水量，使其处于漂浮状态；用手将水下的小瓶口轻轻堵住后取出并放正，毛巾擦干小瓶外壁，测量装水小瓶质量为 $m_1=24.0$ g；刻度尺测量小瓶内空气柱高 $h=4.00$ cm（如图5所示），重复以上步骤，称出在水槽中悬浮的小瓶质量为 $m_2=28.0$ g，测量小瓶内空气柱高 $h_1=2.80$ cm（如图6所示）. 比较 m_2 与 m_3 大小，得 $m_1<m_2$，说明浮沉子的自重增加，得出浮沉子在浮沉过程中，浮力大小发生改变的同时，物重也随之发生改变. 测量出小瓶底部的直径 $D=2.40$ cm.

试题中漂浮、悬浮时小瓶内部空气密度比值的验证：将小瓶及其封闭的空气总质量近似为空瓶的质量 $m=14.0$ g，把实验数据代入公式，则两次密闭空气的密度之比为：

$$\frac{\rho_{空}}{\rho'_{空}}=\frac{\frac{m}{Sh}}{\rho_{水}}=\frac{m}{Sh\rho_{水}}=\frac{0.014\ \text{kg}}{3.14\times(\frac{0.024}{2})^2\ \text{m}^2\times0.04\ \text{m}\times1.0\times10^3\ \text{kg/m}^3}\approx0.77$$

根据真实实验数据可知：小瓶内封闭的空气质量一定，其处于漂浮、悬浮状态时空气的密度与其体积成反比，与瓶内的空气柱的长度成反比（因截面积相同），则两次密闭空气的密度之比为：

$$\frac{\rho_{空}}{\rho'_{空}}=\frac{Sh_1}{Sh}=\frac{h_1}{h}=\frac{2.80\ \text{cm}}{4.00\ \text{cm}}=0.7$$

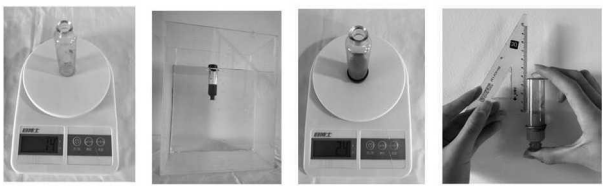


图5　测量浮沉子漂浮状态的实验数据

在误差允许的范围内，小瓶在水中漂浮时，可认为瓶内空气密度与外界相等，约为 $\rho=1.29$ kg/m^3，根据上式可得，在悬浮情况下瓶内空气的密度约为 $1.68\sim1.84$ kg/m^3，可见试题第（3）小题的计算结果符合事实. 而试题答案根据“比密度法”求解答案，认定悬浮的空气柱的密度等于水的密度，采用这种处理方法的原因是出题者对小瓶实施了理想化模型建构（只计其质量不计体积），小瓶在浮沉中排开液体体积的变化因素对瓶内空气的体积计算产生直接的影响，导致学生无法完成试题（3）的计算任务. 因此为了研究小瓶内密闭空气体积及其密度变化等问题，在实际模型建构中就不能考虑小瓶自身的体积、瓶内水的变化等因素.

当然，在忽略小瓶体积这一影响因素后，将小瓶自身质量生硬地认定为瓶内空气质量的一部分，是导致悬浮状态下小瓶内部空气密度是其常温、常压下密度540多倍的根本原因. 但从另一角度可以这样理解，小瓶和瓶内空气的平均密度在数值上等于水的密度，学生还是可以接受的. 至此，通过创设真实实验，逐一实现众多疑点的解析与试题模型建构思路的澄明.

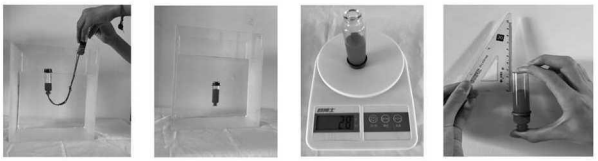


图6　测量浮沉子悬浮状态的实验数据

4　结语

简单易见的“浮沉子”模型，蕴含着丰富的模型建构思想，试题中提供的信息与层层递进的问题背后考查的不仅仅是学生的知识基础，还考查着学生的模型建构能力. 中考试题命制的方向对初中物理的教学有积极引导作用，它能加强初中物理课堂教学对学生模型建构思维的培养，指导学生多角度思考物理模型建构的方式方法，促进学生模型建构思维的发展.

参考文献：

[1]王玉春，张晓，彭前程. 物理模型建构的价值分析与教学策略研究[J]. 中学物理，2023，41(15)：33－37.

[2]华东地区初中物理教材编写组. 义务教育教科书物理（八年级下册）[M]. 上海：上海科学技术出版社，广州：广东教育出版社，2020.

[3]任鑫，李凯波，陈磊. 基于高中物理模型建构指向高阶思维能力的培养——以“自由落体运动”模型建构为例[J]. 中学物理，2022，40(19)：25－28.

[4]张玉峰，张芳. 科学模型的建构过程分析[J]. 中学物理，2023，41(07)：2－7.

（收稿日期：2024－01－24）

中国知网　https://www.cnki.net