

常见流体压强与流速关系演示装置制作的问题分析及改进建议

孔令东 (北京市育英中学 北京 100036)

摘 要 “流体流速快的地方压强小,流速慢的地方压强大”是北师大版《物理(八年级下册)》第八章第七节“飞机为什么能上天”的核心知识。利用结构类似于教材中的“流体的压强与流速的关系演示装置”进行实验时,如果让装置中的水反方向流动,则会出现与预期结论相反的现象。文章针对此现象的成因,展开探究与分析,经过实验对比、理论推导,得出该类实验装置在制作细节上存在的问题,并给出改进建议。

关键词 流体的压强与流速的关系 实验装置 制作问题 改进建议

文章编号 1002-0748(2025)7-0019

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

“流体流速快的地方压强小,流速慢的地方压强大”是北师大版《物理(八年级下册)》第八章第七节“飞机为什么能上天”的核心知识^[1]。这个知识点比较抽象,在实际授课时,教师往往会借助实验演示帮助学生更真切地理解流体的压强与流速的关系。

笔者所在学校,用于演示该实验的装置与教材中展示的实验装置示意图结构类似,如图 1 所示。

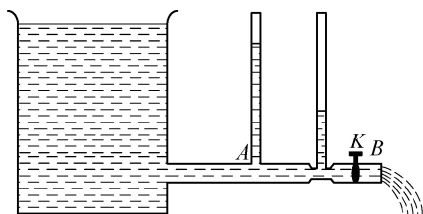


图 1 流体的压强与流速的关系演示装置示意图

此类装置结构简单、操作方便、实验现象明显,很容易演示出“流体流速快的地方压强小,流速慢的地方压强大”的现象,是许多教师授课时的首选。然而,笔者却发现该类实验装置的原理虽然正确,但依此原理设计的器材却很容易在制作细节上出现偏差,利用这样的装置进行实验,并不一定能够得出流体压强与流速关系的正确结论。

笔者在一次准备该实验的过程中偶然发现,如果使装置中的水反方向流动,则可能会出现与图 1 相反的实验现象。笔者针对该现象的成因展开研究,经过一系列对比实验,寻找到导致实验前后矛盾的问题所在。以下为研究过程及改进建议,供各位物理教学同仁参考。

1 现象反差——改变水流方向,实验现象自相矛盾

笔者用于演示流体的压强与流速关系的实验装置如图 2 所示,这套装置与如图 1 所示的实验装置示意图结构类似、原理一致。

1.1 基础实验

组装好如图 2 所示的装置后,向左侧的大蓄水槽中倒入适量水(事先在水中滴入红墨水),待装置中的水静止,各竖管中水面上漂浮的小浮标相平之后,将最右侧竖管取下、放平,让水流出。此时,水平管中的水流方向为从左向右,即从粗管流向细管。随着水的流出,实验出现与预期一致的现象——水平粗管上方连接的竖管中的水面较高,水平细管上方连接的竖管中的水面较低,实验现象如图 3 所示。根据这一现象可以顺利推理出:流体流速快的地方压强小,流速慢的地方压强大。这与教材中表述的“标准”结论一致。



图 2 装置中的水静止时



图 3 装置中的水从左向右流动时

1.2 对比实验

将实验装置的组装顺序稍作调整,把左侧的大蓄水槽卸下,并移到整套装置的右侧固定。重新实

验,当装置中的水静止时,现象如图 4 所示。这样调整的目的是为了与如图 3 所示实验进行对比,即保证其他条件不变,仅改变水平管中的水流方向,让水从细管流向粗管。实验时,随着水的流出,实验现象如图 5 所示——水平细管上方连接的竖管中的水面较高,水平粗管上方连接的竖管中的水面较低。基于这一现象推理得出的结论变成为:流体流速快的地方压强大,流速慢的地方压强小。这与教材中表述的“标准”结论相反。



图 4 调整后装置中的水静止时



图 5 调整后装置中的水从右向左流动时

1.3 猜想假设

仅仅改变装置中水流的方向,实验结论就与“标准”结论相矛盾。这是为什么呢?针对如图 5 所示实验现象的成因,笔者做了如下猜想。

猜想 1:在两次实验中,水柱高低的差异可能是由于小浮标与玻璃管之间的摩擦力过大,造成的显示偏差;

猜想 2:在两次实验中,水柱高低的差异可能是由于操作过程中没有控制装置中水压的稳定,导致的实验结果偏差;

猜想 3:在两次实验中,水柱高低的差异可能是由于实验装置本身存在制作细节上的问题,导致利用该装置不能单纯、准确地反映流体的压强与流速之间的关系。

2 实验探究——针对猜想,设计实验,探寻导致实验结果自相矛盾的原因

为了对各个猜想进行验证,笔者展开了如下实验探究。

2.1 更换竖管

针对猜想 1,笔者重新拆改实验演示板,多次对调、更换可能引起实验结果显示偏差的竖管,再重复操作如图 3 和图 5 所示的实验过程。通过多次实验对比,发现实验结果并没有发生明显改变。因此,可以排除小浮标与玻璃管之间的摩擦力过大造成显示

偏差的可能性。猜想 1 不成立!

2.2 加装补水管

针对猜想 2,笔者在大蓄水槽边加装了一根补水管,补水管的作用是在实验过程中不断向大蓄水槽中补水,以保持实验过程中水位的基本稳定,从而控制实验时水压条件基本不变。然后,再重复操作如图 3 和图 5 所示的实验。通过多次实验对比,发现实验结果还是没有发生明显改变。因此,排除了水压变化导致实验结果不准确的可能性。猜想 2 也不成立!

2.3 引入新装置

针对猜想 3,为了排除偶然因素对实验结果造成的影响,笔者反复多次操作如图 5 所示的实验,发现现象很稳定——水平细管上方连接的竖管中的水面较高,水平粗管上方连接的竖管中的水面较低!多次实验证明,这一现象并不是偶然的结果,而是可重复与可再现的。可以初步判断,猜想 3 成立!

对比实验中各竖管内水面高低与竖管到出水口之间的距离,笔者在猜想 3 的基础上进一步猜想,实验时各竖管内水面的高低是否与“竖管到出水口之间的距离”有关呢?

为了验证进一步的猜想,笔者找来一个损坏的连通器,将其最右侧的竖管打掉,制成一个水平方向管径无粗细差异的新装置,并利用水龙头为其供水,做了如图 6 所示的实验。

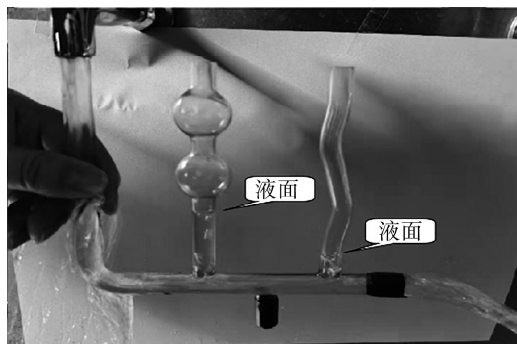


图 6 水平方向管径相同的装置中水从左向右流动时

实验结果显示,在水平玻璃管管径粗细相同的情况下,无论水龙头注水速度如何变化,远离出水口的竖直玻璃管内的水面都高于靠近出水口的竖直玻璃管内的水面。重复多组实验,结果依然如此。

随着对比实验的深入,越来越多的证据似乎都在指向:使用笔者的装置进行实验时,对竖管中水面高低产生影响的主要因素不是流速,而是各竖管距出水口的距离远近。真的是这样吗?

3 查阅资料——理论追因,深入探寻,发现真相

查阅资料,由伯努利方程 $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = \text{常量}$ (p 为流体中某点的压强, v 为该点流体的流速, ρ 为流体密度, g 为重力加速度, h 为该点所在高度) 可知,当方程中流速的平方 v^2 越大时,则其所能支持的液柱高度 h 就越小。结论正是:流体流速大的地方压强小,流速小的地方压强大,即如图 3 所示的实验现象是合理的。那么,如图 5 与图 6 所示的实验现象又该如何解释呢?

进一步查找资料,笔者发现伯努利方程有一定的适用范围:①定常流——在流动系统中,流体在任何一点的性质不随时间改变;②不可压缩流——流体的密度为常数;③无摩擦流——流体流动过程中忽略黏滞性效应;④流体沿着流线流动——流体沿着流线流动,流线间彼此是不相交的。

然而,由于笔者所使用的实验装置存在大量的拼接之处,流体流动过程中湍流脉动不可避免,所以不符合定常流的条件。同时,水具有一定的黏滞性,不能做到无摩擦流动。再查阅资料可知,黏滞系数的大小会随着温度的下降而上升。笔者做这个实验时刚好是在冬季,水温相对较低,水的黏滞系数也相对偏大。根据以上分析,由于受到适用条件的限制,在此处单纯运用伯努利方程来解释这个实验的现象并不恰当。

继续查阅资料,笔者发现了泊肃叶定律——研究流体动力学的一个重要定律^[2]。该定律指出:流体在水平圆管中做层流运动时,压强损失与体积流量、黏滞系数和管长的乘积成正比,和管的半径的四次方成反比,即 $\Delta p = \frac{8\eta L Q}{\pi r^4}$ (Δp 是压强损失, L 是管长, η 是黏滞系数, Q 是体积流量, r 是管的半径)。也就是说,实际流体在管中流动时,其压强一直在损失! 在液体黏滞系数、体积流量、管的半径相对固定的情况下,压强损失的量与管的长度成正比,即管长越长,压强损失的量就越大。而压强损失量越大,其能够托起的液柱也就越低。

至此,笔者从理论层面找到了如图 6 所示实验现象的成因——由于水在管路中流动时有压强的损失,使得距离出水口越近的竖直管中的水面越低。基于这个结论,进一步推理即可得出如图 5 所示实验现象的成因——由于水在管路中流动的距离引起的压强变化量,比管中水由于流速差异导致的压强变化量大,因此,形成了水平细管上方连接的竖管中的水面较

高,水平粗管上方连接的竖管中的水面较低的现象。

综合以上实验探究与理论分析,笔者发现,如图 1 所示的实验装置确实存在制作细节上的问题。由于各竖管距出水口的距离差异和各水平管间的管径差异比例制作得不合理,要想得到符合预期的实验现象,只能使水从粗管流向细管。如果使水从细管流向粗管,就不能观察到“流体流速快的地方压强小,流速慢的地方压强大”所对应的现象。

4 改进建议——严格地制作器材,客观地分析实验,积极地开发实验

一系列研究结果显示,笔者所用的实验装置在制作细节上确实存在着问题。那么,这个问题是否普遍存在呢?

针对这个问题,笔者通过面谈、微信交流等方式向周边学校的物理教师进行了调研。结果显示,大约有半数教师用于演示“流体的压强与流速的关系”的实验装置如图 7 所示,这与笔者所在学校使用的装置结构近似,即只能完成水从粗管流入细管再排出的实验。显然,针对流体压强与流速关系实验,许多器材在设计时只考虑到了如何快捷地显示出“标准”现象,而忽视了实验的科学性与严谨性,这是个比较普遍的问题。



图 7 周边学校的流体压强与流速关系实验装置

《义务教育物理课程标准(2022 年版)》中指出:实验教学要关注实验原理的科学性、方案的可行性、实验器材的合理性、操作的安全性和规范性;指导学生真实、全面记录实验数据,关注与预设结果相矛盾的信息;引导学生针对实验活动中的困难或错误自主分析原因,积极思考并努力解决;引导学生对实验活动进行总结和评价,促进学生交流、评估、反思能力的提升^[3]。

因此,物理教师有责任带领学生经历客观的科学探究,并把实验过程中的问题如实地展现给学生,引导学生像科学家一样分析问题的形成原因及解决

办法。避免使用制作上存在问题的实验装置,防止在实验时出现遮掩、糊弄、不真实、以偏概全的现象。物理学的发展史早已证明,只有基于真实装置、真实操作、真实推理的实验探究,才能促进人们对物理世界的认识的真正进阶。

基于以上原因,笔者通过进一步计算、查阅资料,针对流体的压强与流速关系的实验提出以下改进建议。

(1) 实验器材生产厂家要科学严格地按照标准制作器材。

本实验的目的在于演示流体压强与流速的关系,故应该突出流体流速在实验中的作用,减弱其他因素对实验结果的影响。

对于结构与图 1 所示类似的器材,建议制作时缩小装置中各竖管之间的水平距离,增大各竖管到出水口的距离,尽量减小由于液体流动距离引起的压强衰减;加大各水平横管之间的管径差异,尽量增加由于流体流速不同导致的压强变化,使实验现象与原理一致。笔者将所操作的实验数据代入伯努利方程与泊肃叶公式,经过计算与适度推理,得出在蓄水槽与水平管间的水位落差约为 20 cm、水平粗管半径为水平细管半径 2 倍的条件下,粗细两管上方竖管之间的距离最好不要超过 5 cm。这样,能够尽量减弱其他因素对实验结果的影响,使理论与实践一致。

(2) 物理教师要秉承尊重事实的态度分析实验。

成功的实验是教学资源,不成功的实验也可以启发学生的思考。当教师不得不以使用类似笔者发现问题的实验装置进行实验时,可以引导学生观察实验中存在的问题,使学生知其然,更知其所以然,形成对物理实验研究全貌的客观认识,体验科学探究、科学态度与责任,发展学生的科学思维与科学素养。

教师也可以将两组矛盾的实验现象,设计为启发学生思考的问题,通过探索矛盾现象产生的原因,让学生亲身经历实验探究,体会提出问题、猜想与假设、制定计划和设计实验、进行试验与收集证据、分析与论证、评估、交流与合作等科学探究环节,感受

运用知识解决问题的成就感,形成尊重事实、大胆猜想、严格求证的科学态度,激发对科学的热爱和对探索自然的兴趣。

(3) 物理教师要积极开发简单、易操作的学生体验实验。

教师可以利用吸管和烧杯制作简易喷雾器,用硬纸板制作机翼模型等,并开展学生分组实验。这些实验操作简单、现象明显,又能准确地说明流体压强与流速的关系,还能帮助学生在动手操作中寻找真理、发现规律、提升能力。

同时,教师可以激发学生的潜能,在保证安全的前提下,鼓励学生利用日常生活中的物品,开展流体压强与流速关系的创新实验、创新制作,鼓励学生自主选择器材,自主设计实验,充分发挥学生的主动性和创造性,并提供展示空间,为学生创新能力的发展搭建平台。

5 后续研究

经过这次研究,笔者对流体压强与流速关系有了更全面的了解,并对用于演示该实验的常见装置的制作提出了个人一些不成熟的建议。同时,笔者也意识到自己的研究还远未结束,如图 5 所示,调整装置后,让水从右向左流动时,最左侧竖管中的液面高于同一水平管上方左数第二根竖管中的液面,这是笔者尚不能做出合理解释的现象。笔者初步猜测可能是由于最左侧水平管在出水口处有一个接口,导致管径突然变小,进而使水流到此处时出现湍流现象,影响了实验的结果。对于这一现象,笔者计划在后续的研究中逐步探寻科学的解释。

参考文献

- [1] 闫金铎. 物理(八年级下册)[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2013:85—87.
- [2] 许瑞珍,贾谊明. 大学物理(下册)[M]. 北京:机械工业出版社, 2012:72—95.
- [3] 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, 2022:43—44.
- [4] 教师, 2023(10):90—92.
- [2] 张正严,唐欣,钱慧玲,等. 物理概念学习的三重表征理论建构[J]. 物理教学, 2023(7):2—656.
- [3] 鲁建全. 图象信息的提取及应用研究——对 2024 年全国高考新课标卷第 26 题的拓展分析[J]. 物理教学, 2024(9):68—70.
- [4] 刘杭州,宋书婷. 找准思维切入点解好物理压轴题——以 2021 年高考全国理综甲卷第 25 题为例[J]. 物理教学, 2022(7):64—67.

参考文献

- [1] 李明哲. 可见与可鉴:指向高阶思维的物理习题教学[J]. 物理

(上接第 50 页)

法;让学生基于不同的表征形式观照或思维出运动形态,从不同的认识角度去解决问题,在解决问题中培养高阶思维,这需要教师和学生的共同努力。