“流速大、压强小”中流速的参照物是什么

——流体力学中“天女散花”现象的正确解释及教学建议

任少铎

（厦门市海沧区东孚中学，福建厦门 361000）

摘　要：针对流体力学中“天女散花”这一典型现象，厘清了其关于流速参照物选取的认知误区。基于伯努利方程的物理本质及其适用边界，阐明流速参照系并非地面或被压物体，而应锁定于同一流线的不同位置，从而为“天女散花”现象提供了严谨的理论诠释，旨在纠正常见的教学误解。

关键词：“天女散花”现象；伯努利原理；机械能守恒；流线；流速；压强

DOI：10.19935/j.cnki.1004-2326.2026.10.013

引用格式：任少铎.“流速大、压强小”中流速的参照物是什么：流体力学中“天女散花”现象的正确解释及教学建议[J].实验教学与仪器，2026，43(10)：49-50，108.

初中物理教材对伯努利原理多作定性介绍，师生往往难以把握其物理本质与适用边界。这直接导致该原理在教学实践中常被随意套用，进而引发普遍性认知偏差。事实上，很多用于演示伯努利原理的现象只是“巧合”。笔者针对流体力学中经典的“天女散花”实验，指出其经典解释的错误之处，给出科学解释，纠正错误认知。

1　“天女散花”现象中“流速大”的参照物

流体力学中的“天女散花”实验如图1所示，取一根上下开口的软管（通常用洗衣机的排水管）竖直放置，当软管上方被快速甩动时，软管的下方就会把纸屑等轻小物体“吸”进去，并从软管的上方慢慢挥洒出去，酷似“天女散花”。此现象的经典解释为：软管上端内部的空气因为和管一起被甩动而流速大，根据伯努利原理可得出软管上端内部的空气压强小，所以会将纸屑等轻小物体“吸”进去。

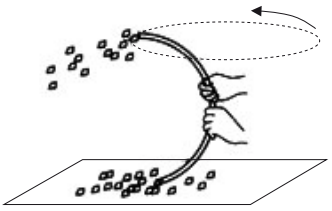


图1　“天女散花”现象

这一现象的解释经不起推敲。如图2所示，根据伯努利原理，究竟是上端管口内（A处）的空气压强小，还是管口外（B处）的空气压强小呢？针对这一问题，选择不同的参照物，就会得出不同的答案。如果选择地面为参照物，那么A处的空气因为随管一起被甩动而“流速大、压强小”；如果选择管口（A处）为参照物，那就是外界的空气呼啸而过，是外界的空气“流速大、压强小”。

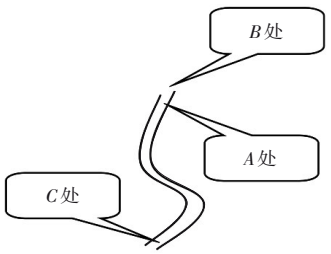


图2　软管上端管口内外示意图

两种观点都有其道理：选择地面为参照物，是因为初中物理教材明确说明“如果没有特别说明，描述物体的运动时通常以地面为参照物”[1]；选择管口（A处）为参照物，则是将其与机翼类比，可以认为管口不动，是外界空气快速流过管口造成的。两种观点各有依据，由此形成矛盾。

部分师生认为，既然图2中软管可以从C处将物体吸上去并从B处吹出去，必然是B处压强小，因此必须以管口为参照物，而不能以地面为参照物。然而，为什么此现象不能以地面为参照物呢？事实究竟如何呢？这就要求我们对伯努利方程进行详细的分析。

2　基于伯努利方程本质明确“流速”参照基准的选择规则

伯努利方程是著名的理想流体定常流动能量方程。如图3所示，理想流体在流管中定常流动时，在流管的前后两处有$p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g h_1=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g h_2$，这就是

伯努利方程。其中，p、ρ、v、h分别表示静压、密度、流速和高度。该方程又可以简化为：$p+\frac{1}{2}\rho v^2+\rho gh=C$（$C$是常数）。伯努利方程是一个状态方程，压强、流速和高度三者是流线上某一点流体的3个状态量[2]。当流体等高流动时，方程就进一步简化成了$p+\frac{1}{2}\rho v^2=C$，伯努利原理便由此而来。

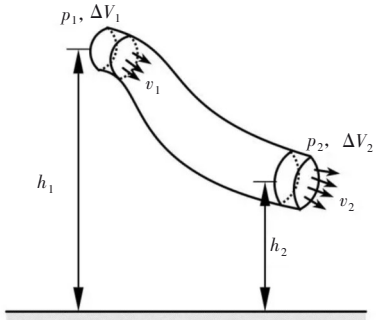


图3 理想流体机械能守恒示意图

要保证流体的机械能守恒，就必须满足以下条件。①同一流线：伯努利方程中的流速与压强对应关系（即流速大压强小），仅对同一流线上的两点成立，不能跨流线套用。②不可压缩：压力做的功不能通过压缩转化为内能，否则流体的机械能将不守恒。③无黏滞性：流体的机械能不能因摩擦而损耗。④定常流动：除流体自身重力和压力外，无其他力对流体做功[3]。

因此，伯努利方程的成立是有前提条件的。经常被忽略的是上述条件的第①条，即只能针对同一流线前后运用“流体在流速大的地方压强小”，不能跨流线运用。伯努利原理完整的表述为：对于定常流动的无黏滞性且不可压缩流体，在同一流线上流速大的地方压强小[4]。

可见，“流速大、压强小”中流速的参照物绝非地面坐标系，亦非运动的固体边界，而是必须严格锁定于同一流线上的不同流体微元之间，这是伯努利方程成立的核心前提。

3 “天女散花”现象经典解释的错误分析及科学解释

3.1 “天女散花”现象经典解释的错误分析

之所以会出现矛盾，是因为“天女散花”现象的经典解释忽略了伯努利原理的限制条件，是对伯努利原理的误用。在图2中，软管上端AB两处的空气并不在同一流线，故不能跨流线比较压强。软管上端内（A处）的空气受人力甩动的外力做功而被加速，此过程中气流静压保持不变——外力输入机械能的阶段，不存在流体内部的静压能与动能转化过程。而只有当气流在自身压差作用下加速时，才会伴随压强减小：此时，流体内部的静压能转化为动能，完全契合伯努利方程的能量守恒前提。所以，软管上端内（A处）的空气压强不变，且只是随着动能的增大，机械能同步增大。

根据实际现象分析，应当是软管上端的外部（图2中B处）空气压强减小了，所以纸屑会被B处“抽吸”上去。为什么图2中B处压强减小呢？这要用其他理论解释。

3.2 “天女散花”现象的科学解释

软管上端的外部空气（图2中B处）压强为什么会减小呢？这是因为，空气绕过管口的时候在做曲线运动，如图4所示。在流体力学中，当气流做曲线运动时，内侧压强就会变小，这一规律被称为流线曲率定律[5]。可以用向心力知识简单地理解流线曲率定律：当气流“转弯”时，在向心力的作用下气流内侧压强会减小[6]。这种规律可用“汽车过拱桥”类比。如图5所示，汽车驶过拱形桥的桥面时，在最高点对桥面的压力会减小，因为汽车向下转弯需要向心力。与此类似，图6中的气流转弯时，内侧（B点）压强会变小[7]。

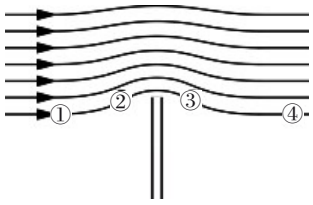


图4 气流向上绕过管口示意图

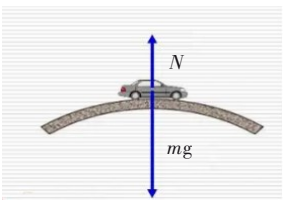


图5 汽车行驶至拱形桥最高点的受力分析

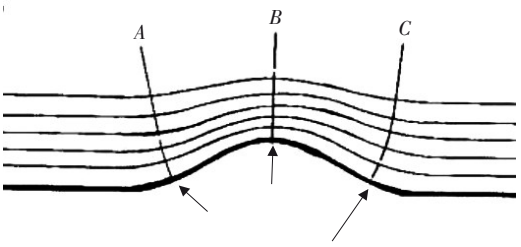


图6 气流做曲线运动

流体力学中“天女散花”现象的原理与图4一致，既符合流线曲率变化规律，又契合曲线运动压强分布特征，是软管上端高速气流经过管口“转弯”、受曲率效应驱动，导致管口外部（图2B处）压强降低形成的“抽吸”效应。

（下转第108页）