测量固体密度的一种新方法

柴馨朦　刘艳峰
（延安大学物理与电子信息学院，陕西 延安　716000）

摘　要：为突破传统的固体密度测量方案在可测量样本上的局限性，结合静力称衡法和包裹法的思路，得到可用于可溶性固体、吸水性固体、颗粒型固体和轻质固体的密度测量新公式，并在此基础上设计出了新的固体密度测量方法，用不同性质的固体样本进行实验，测量出的样本密度处于参考范围内，证明实验方法确实可行.这种实验方法比传统方案更具普适性，为中学实验教学提供了新的参考.

关键词：密度；静力称衡法；包裹法

密度测量实验是中学生必做物理实验之一，对于培养学生动手实践能力，规范学生实验操作，发展学生科学思维有着很大的作用.[1]因此很多教师会选择对测量密度实验进行扩展，并要求学生在课下自行寻找待测固体进行密度测量.然而，教材上提供的静力称衡法在测量样本的选择上具有局限性，若学生选择了木块等吸水性材料或者泡沫板等轻质材料，就无法直接按照书上的方法进行测量.[2,3]本文在静力称衡法的基础上，结合包裹法测密度的思路，推导出了测量可溶性固体密度的一个新的理论公式，并设计实验测量了不同类型待测固体的密度.

1　实验原理

质量为 M，体积为 V 的固体，密度为 ρ，则

$$\rho=\frac{M}{V}. \tag{1}$$

若该固体为不可溶性固体，不计空气浮力，在空气中称得质量为 M，浸没在水中称得的质量为 M_1，由受力平衡可以推出，固体在水中受到浮力

$$F=(M-M_1)g, \tag{2}$$

其中 g 为当地的重力加速度.同时根据阿基米德原理，有

$$F=\rho_{水}Vg, \tag{3}$$

其中 $\rho_{水}$ 为水的密度，联立式(1)～(3)可得固体密度

$$\rho=\frac{M}{M-M_1}\rho_{水}. \tag{4}$$

以上即为静力称衡法的原理，使用此方法可以方便准确地测量许多物质的密度.[4,5]但如果待测固体为吸水性物质、可溶性物质和轻质物体，则无法直接浸没于水中进行实验，于是使用不溶于水的可塑性材料(本文选择橡皮泥)包裹待测固体，再将整体浸没于水中进行实验，以防止待测固体的特性干扰实验结果.

用橡皮泥包裹待测固体后，使用静力称衡法进行实验，由式(4)可知，其混合物密度可表示

$$\rho_1=\frac{m_1}{m_1-m_1'}\rho_{水}=\frac{m_1}{V_1}, \tag{5}$$

其中 ρ_1 为混合物的密度，m_1 为混合物的质量，m_1'为混合物在水中称得的质量，V_1 为混合物的体积.对式(5)移项可得 V_1 的表达式

$$V_1=\frac{m_1-m_1'}{\rho_{水}}. \tag{6}$$

单独对橡皮泥进行实验，则橡皮泥的密度可以表示为

$$\rho_{橡}=\frac{m_{橡}}{m_{橡}-m_{橡}'}\rho_{水}=\frac{m_{橡}}{V_{橡}}, \tag{7}$$

其中 $\rho_{橡}$ 为橡皮泥的密度，$m_{橡}$ 为橡皮泥的质量，$m_{橡}'$为橡皮泥在水中称得的质量，$V_{橡}$ 为橡皮泥的体积.对式(7)移项可得 $V_{橡}$ 的表达式

$$V_{橡}=\frac{m_{橡}-m_{橡}'}{\rho_{水}}. \tag{8}$$

设待测固体体积为 V，则有

$$V=V_1-V_{橡}=\left(\frac{m_1-m_1'}{\rho_{水}}\right)-\left(\frac{m_{橡}-m_{橡}'}{\rho_{水}}\right). \tag{9}$$

则待测固体密度 ρ 就可以表示为

$$\rho=\frac{m}{V}=\frac{m}{\left(\frac{m_1-m_1'}{\rho_{水}}\right)-\left(\frac{m_{橡}-m_{橡}'}{\rho_{水}}\right)}=\frac{m\rho_{水}}{m_1-m_1'-m_{橡}+m_{橡}'}, \tag{10}$$

其中 m 为待测固体质量，m_1 为混合物的质量，m_1'为混合物在水中称得的质量，$m_{橡}$ 为橡皮泥的质量，$m_{橡}'$为橡皮泥在水中称得的质量.测量出 m、

中国知网　https://www.cnki.net

m_1、m_1'、$m_{橡}$ 和 $m_{橡}'$的值，代入式(10)计算，即可得待测固体的密度.

2 实验步骤

本实验所需材料有：天平，砝码，细绳，蒸馏水，橡皮泥，待测固体(如图 1 所示).



图 1 实验器材

(1) 调节天平使其平衡；

(2) 用天平测量出待测固体的质量 m；

(3) 取足量橡皮泥，用天平测量其质量 $m_{橡}$，再将装有蒸馏水的烧杯置于天平左侧置物平台上，用细绳将橡皮泥悬挂于挂钩上，调节置物平台高度使橡皮泥完全浸没于水中且不触碰杯壁与杯底，测得质量 $m_{橡}'$；

(4) 用橡皮泥紧密地包裹待测固体，测量其混合物质量 m_1，再仿照第(3)步，测得混合物浸没于水中时的质量 m_1'；

(5) 测量实验室温度，查表得到对应温度下水的密度 $\rho_{水}$；

(6) 将各个测量值代入公式(10)计算，得到待测固体密度 ρ.

注：一定要确保橡皮泥完全且紧密地包裹住测量固体.尤其在测量颗粒型固体密度时，不能简单地将橡皮泥擀成饼状包住所有颗粒，这样会导致包好的混合物内含有大量空气，影响测量结果.应该将颗粒一点一点地揉进橡皮泥内，使得橡皮泥与颗粒接触紧密，确保测量结果的精确度.

3 测量数据及处理

测得实验室温度为 25 ℃，查表得水的密度 $\rho_{水}=0.99706\ \mathrm{g/cm^3}$，[6] 其他数据如表 1.

表 1 测量数据

待测固体	m/g	$m_{橡}/g$	$m_{橡}'/g$	m_1/g	m_1'/g
杉木	4.15	75.6	33.98	79.65	27.57
樟木	5.21	75.45	34.10	80.64	32.1
松木	5.30	75.17	34.00	80.4	31.15
柚木	74.10	139.1	62.25	213.05	12.1
优级冰糖	13.80	81.50	36.40	95.1	41.3
一级冰糖	4.38	37.17	16.7	41.5	18.1
泡沫板	0.55	72.75	32.81	73.31	3.08
小米	3.00	86.00	38.15	88.99	38.6
绵白糖	4.00	54.08	23.99	58	24.83
盐	6.27	91.55	40.87	97.81	44.10

将数据代入式(10)，计算得各类待测固体密度，结果如表 2.

表 2 测量结果

待测固体	杉木	樟木	松木	柚木	优级冰糖	一级冰糖	泡沫板	小米	绵白糖	盐
密度 ρ /(g·cm^{-3})	0.40	0.72	0.66	0.60	1.59	1.49	0.02	1.18	1.30	2.07

测得盐的密度 $\rho=2.07\ \mathrm{g/cm^3}$.经查阅资料，盐密度的标准值为 $\rho=2.140\ \mathrm{g/cm^3}$，测量结果与标准值相比，其相对误差为 3%，测量结果比较满意.[7] 而其他待测样品由于未查询到标准值，无法进行比较.

4 结语

(1) 本文从静力称衡法的角度出发，结合包裹法，推导出了可用于多种固体的密度测量公式，设计了配套的实验方法，并使用该方法测量了不同固体的密度，测量结果均位于参考区间内，证明实验方法科学有效.

(2) 该方法适用于多种固体样本的密度测量，包括可溶性固体、颗粒型固体、轻质固体、吸水性固体，大大拓宽了实验对象的范围.同时使用橡皮泥替代传统包裹法中的保鲜膜，提高了密闭性，也解决了保鲜膜在不规则外形固体测量中无法有效包裹的问题.

(3) 该方法原理简明易懂，仪器操作简单快捷，实验过程趣味性强，有利于学生科学探究能力的培养，非常适合中学生进行学习.

参考文献：

1 顾健，陆建隆.基于问题解决的初中物理深度学习的思考与实践——以“物质的密度”为例[J].物理教师，2019，40(12)：40－42.
2 张瑛，李艳茹，张皓晶，等.测量可溶性固体颗粒密度的新方法[J].物理教师，2016，37(9)：51－53.
3 翟敏敏.易溶于水物质密度的测量[J].初中生学习指导，2023(2)：52－53.
4 王红理，俞晓红，肖国宏.大学物理实验第 2 版[M].西安：西安交通大学出版社，2018.
5 任新成.固体小颗粒密度的精密测量[J].物理教师，2000，(3)：6－16.
6 刘艳峰，刘竹琴，杨能勋.医用物理实验教程[M].北京：机械工业出版社，2021.
7 刘艳峰.吸水性物质密度测量的一种新方法[J].大众科技，2011(5)：111－112. (收稿日期：2024－01－03)

中国知网 https://www.cnki.net