

开放性物理探索创新实验

大气压及相关规律探索

内容大纲

-  实验目的
-  实验器材
-  实验原理
-  数据处理
-  探索及思考

实验目的

地球被厚厚的空气包围，这些空气被称为大气层，成分主要是氮气和氧气。空气可以流动，同时也受重力作用，因此空气的内部向各个方向都有压强，这个压强被称为大气压。一个标准大气压规定为：0℃（273K）时，纬度45度海平面上的平均气压，对应760毫米水银柱高，相当于1013.25百帕（hPa，1982后也有定义标准压强是1000hPa=100kPa=1bar），当时具体是指法国巴黎平均海平面的平均大气压，它可以代表当时大多数工业国家的平均大气压。

气压随海拔高度升高按指数律递减，还与大气密度、大气温度、湿度、地理位置有关(随纬度增高而减小)。也受热力学和流体力学规律影响，例如，空气含水量增加时空气密度变小，压强变小；空气流速大时气压会变小，因此大气压变化与气流(风速)、下雨等天气的好坏等关系密切，是重要气象因子。有资料表明气压有日变化和年变化，一年之中，冬季比夏季气压高；一天中，9~10时气压有一个最高值、15~16时有一个最低值，还有一个次低值，分别出现在21~22时和3~4时。气压的日变化幅度较小，一般为0.1~0.4千帕。正因为气压相关因素众多，因此研究和测量大气压有重要意义。

- 熟悉大气压与海拔高度的关系，并通过测量气压估算高度
- 熟悉大气压及影响因素
- 观测气压变化与天气的关系

实验器材

有气压传感器的手机、尺（可选）、温度计（可选，也可默认气象预报温度）、实验中实际用到的其它器材。

注：若无尺，可由已知长度物件按比例刻分成尺。如已经身高、电视机尺寸、鞋尺寸；或思考其它方法解决。

实验原理

1、静态和准静态过程理想气体状态方程

封闭容器体积为 $V(m^3)$ ，充满摩尔质量为 $M(kg/mol)$ 的理想气体 $m(kg)$ ，温度为 $T(K)$

则有： $PV = \frac{m}{M}RT$ ，其中 R 是普适气体常量， $R=8.31(J/(mol \cdot K))$

2、非静态气压

非静态时气体分子有定向运动和非定向随机运动，气压影响因素和表现十分复杂，主要规律有：

- （1）伯努利原理：流速大，压强小；
- （2）压强与气体分子单位时间对单位面积的冲量正相关；

3、恒温下大气压—海拔高度的关系

设初始参考海拔高度是 h_0 ，大气压是 p_0 ，海拔高度是 h 处大气压是 p ，温度恒定为 T ，重力加速度 $g=9.8(kg/s^2)$ 。空气的密度为 ρ 。空气主要由78%氮气和21%氧气组成，另有1%的水蒸汽、 CO_2 和稀有气体，则空气摩尔质量约为 $M \approx 0.78 \times 28 + 0.21 \times 32 \approx 29(g/mol)$ 。

可以推导平衡状态下（大气基本平稳时）气压与高度、气温的关系：

设高度h处有一薄层空气，厚dh，底面积为S，其上下面的气体压强分别是P+dP和P，该薄层空气所受重力为：

$$d(mg) = \rho \cdot S dh \cdot g$$

由力的平衡条件（前提是大气平稳，天气骤变时不成立！）：

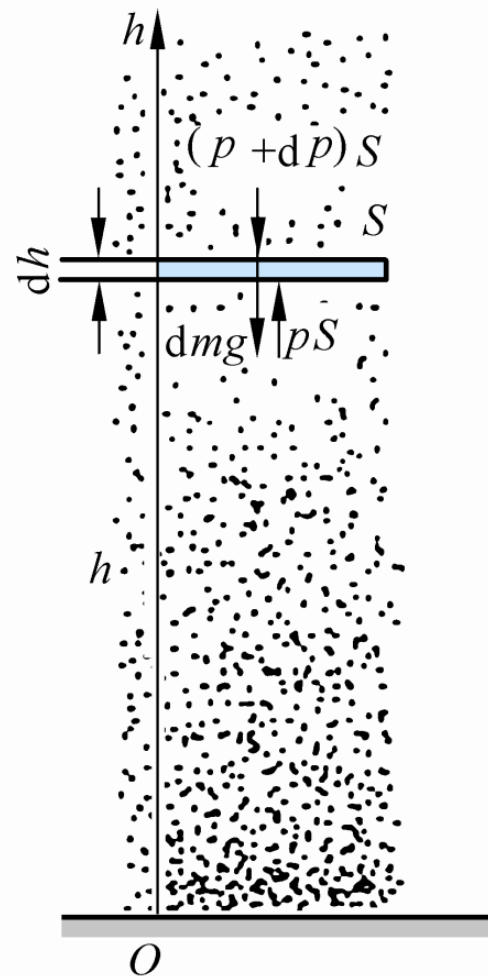
$$(p + dp)S + \rho \cdot S dh \cdot g = pS \quad \therefore dp = -\rho g dh \quad \text{其中：} \rho = m/V$$

$$\text{由理想气体状态方程：} pV = \frac{m}{M} RT \quad \text{得：} \rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$$

$$\text{将}\rho\text{表达式代入到}dp\text{表达式得：} dp = -\frac{pM}{RT} g dh \quad (1)$$

$$\text{对 (1) 分离变量积分：} \int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = -\int_0^h \frac{Mg}{RT} dh = -\frac{Mg}{RT} \int_0^h dh \quad \therefore \ln \frac{p}{p_0} = -\frac{Mg}{RT} h$$

$$\text{得恒温气压-高度公式：} p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}} \quad (2)$$



4、变温普适气压—高度关系

由 (1) 式 $dp = -\frac{pM}{RT} gdh$, 当高度有较大变化时, 不同海拔温度

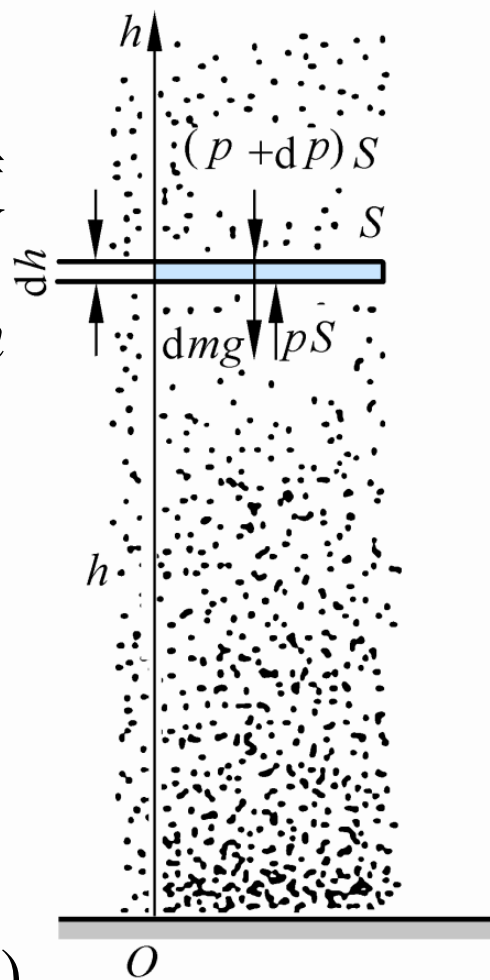
T 变化, 具体规律是海拔每升高1000m, 温度下降6℃, $\therefore T = T_0 - 0.006h$

$$\therefore dp = -\frac{pMg}{R(T_0 - 0.006h)} dh \quad \therefore \frac{dp}{p} = -\frac{Mg}{R} \frac{dh}{T_0 - 0.006h}$$

$$\text{积分: } \ln \frac{p}{p_0} = \frac{Mg}{0.006R} \ln \frac{T_0 - 0.006h}{T_0}$$

得变温普适气压-海拔高度公式: $p = p_0 \cdot \left(\frac{T_0 - 0.006h}{T_0} \right)^{\frac{Mg}{0.006R}}$

(3)



如图是气压-海拔 关系曲线

红色：较高温度（310K, 37°C）

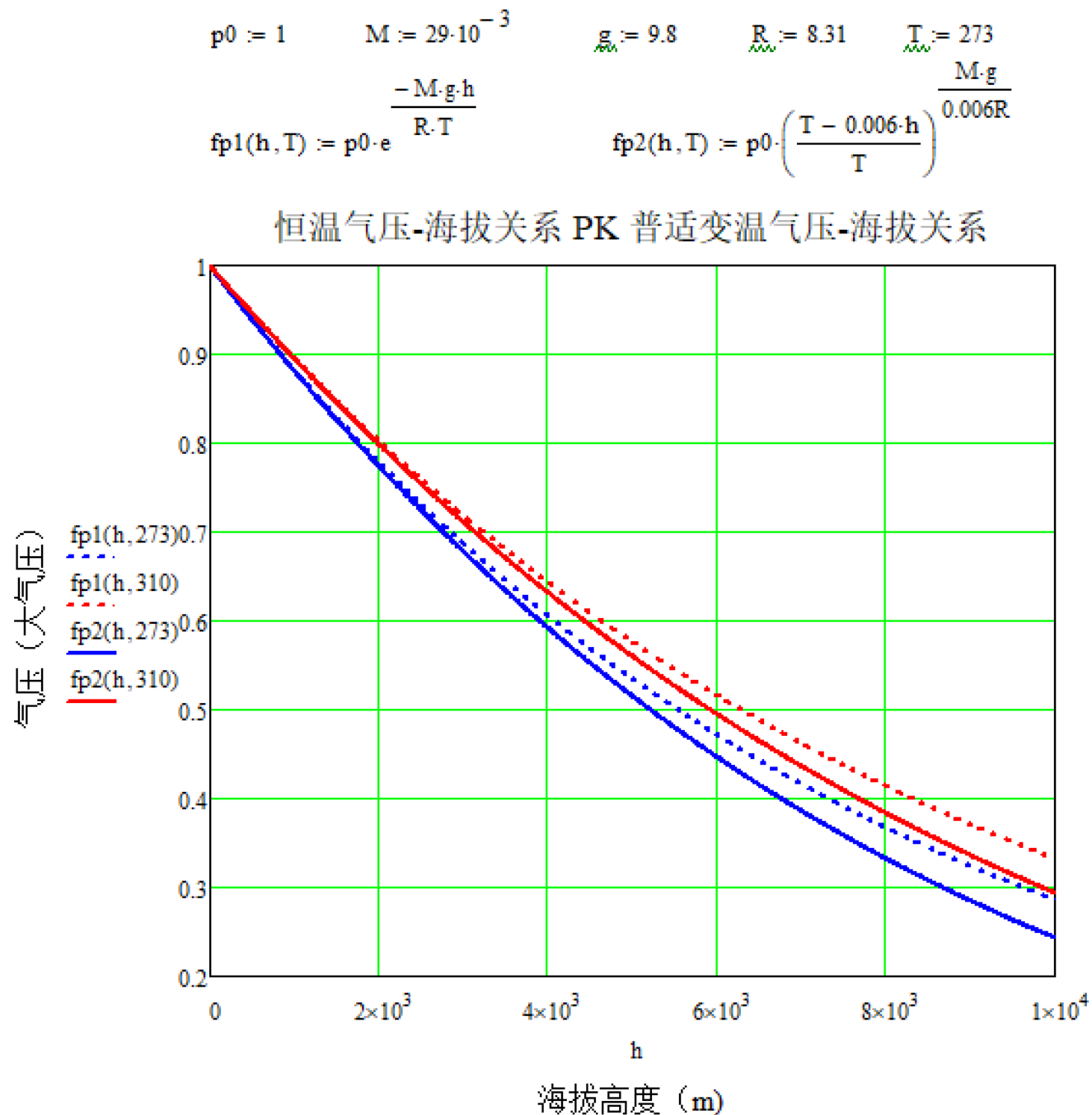
蓝色：较低温度（273K, 0°C）

虚线：恒温气压-海拔关系

实线：变温普适气压-海拔关系

结论：

- 1、气压—海拔关系与**温度**有关，还与空气成分（**湿度等**）有关，手机或登山表气压高度计未必有条件按实际温度和湿度计算；
- 2、海拔2000m以内温度下降影响不大；
- 3、气压—海拔关系式的推导是**基于大气稳定**时所建立的力平衡方程，因此大气剧烈变化和有明显气流时可能会有明显误差。



5、基于气压测量的高度测量原理

由恒温气压-高度公式(2): $p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$ 可以由气压比计算高度变化: $h = -\frac{RT}{Mg} \ln \frac{p}{p_0}$ (4)

设空气摩尔质量 M 和重力加速度 g 基本恒定（其变化导致的误差明显小于压强测量误差的贡献）则：

$$h \approx -29.240T \ln \frac{p}{p_0} \quad (5)$$

6、用手机Phyphox软件测量气压

智能手机带有气压、光、麦克风、加速度（含重力加速度）、姿态、磁、接近、图像CCD（CMOS）等传感器，还具有GPS定位、屏幕显示、扬声器声音输出，无线电输入输出、连网等功能，这些可能方便人们生活，还可能解决一些物理实验和测试。

Phyphox是德国亚琛工业大学第二物理研究所开发的。基于智能手机各种传感器功能，特别是提取传感器信号进行物理相关实验的软件平台。该软件可免费下载安装，官网网址:<https://phyphox.org/>

使用方法：

启动Phyphox—压力—按播放键开始记录气压随时间变化—按暂停停止记录—按右上三个点—导出数据（选Excel）（还可分享屏幕截图）。

附：基于气压的高度实测实例（供参考）

在汉口某办公楼实测乘电梯从1楼到16楼气压变化。
气温29℃，屏幕截图，见图1。记录数据Excel及变化
曲线见图2。

可以由气压比计算16楼的高度：

$$h \approx -29.240T \ln \frac{p}{p_0}$$
$$= -29.240 \times (273 + 29) \times \ln \frac{999.05}{1005.65}$$
$$= 58.14(m)$$

平均每层楼高约=58.14(m)/15=3.88m
大致符合实情（参考：标准5A级办
公楼楼层约4米，净空高约3.3m）。

电梯平均升速约:58.14/（58-24）=1.7m/s

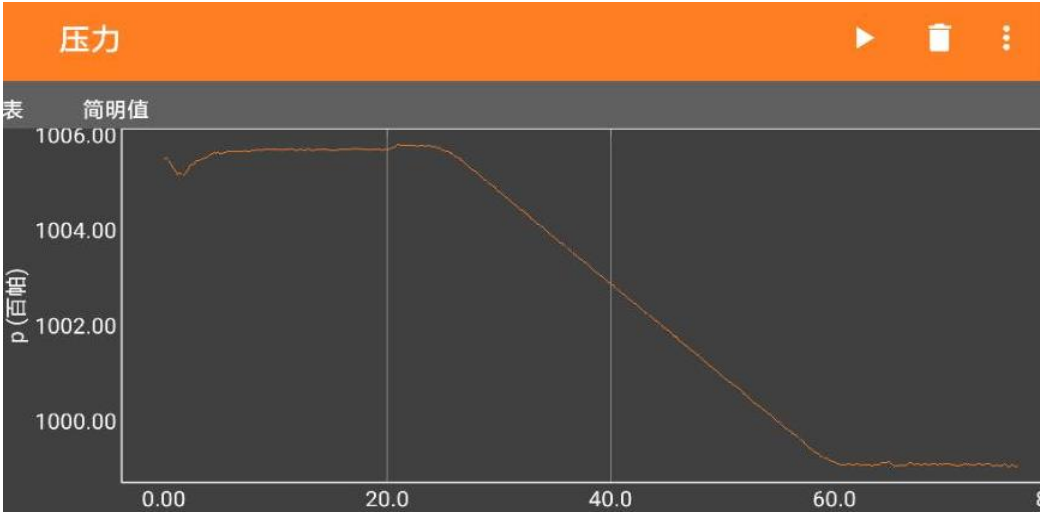


图1. Phyphox屏幕截图（测量从1-16楼气压变化）

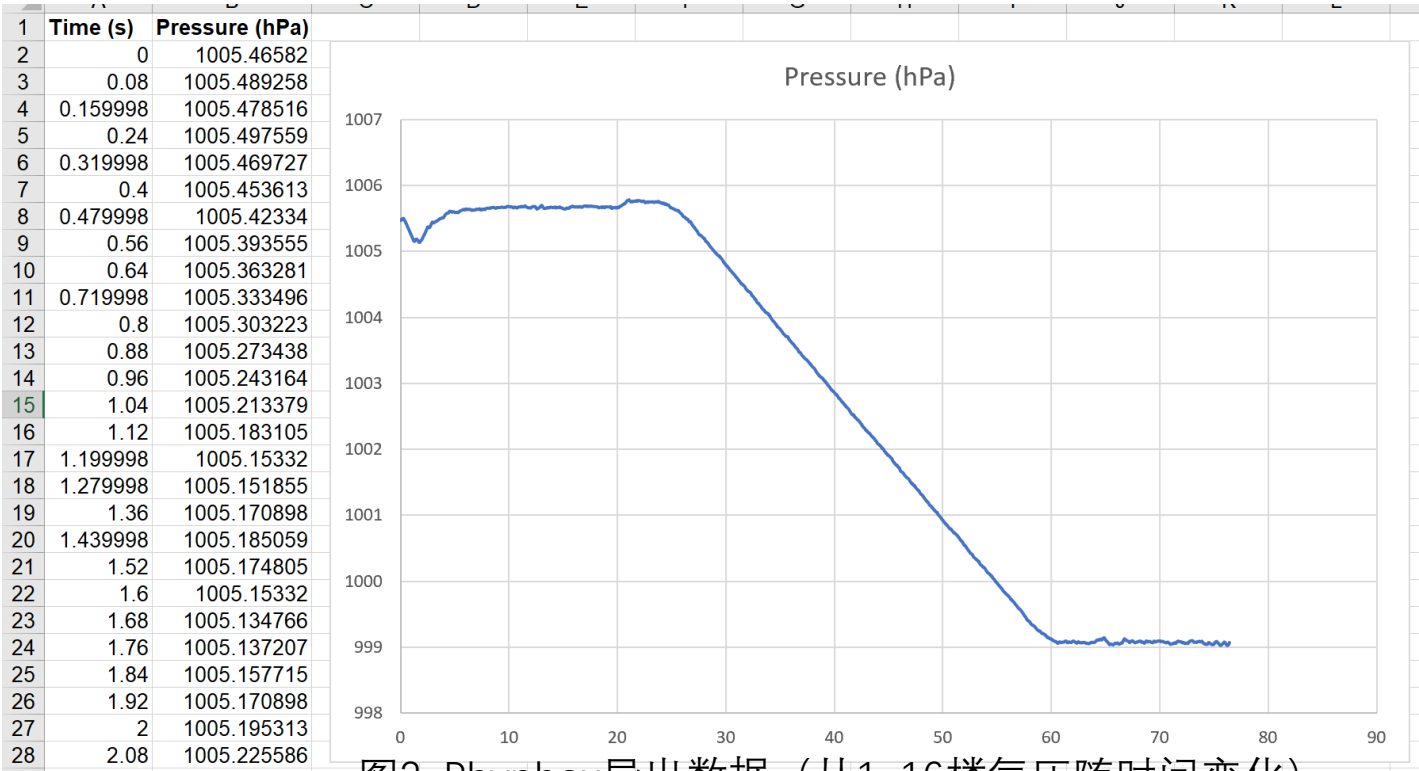


图2. Phyphox导出数据（从1-16楼气压随时间变化）

探索及思考

以下课题选做 ≥ 2 题，并可另自拟一课题，都需配原始照片和数据（带时间戳的数据），并对照片标记符号加以说明。

- 1、用手机Phyphox记录走路和骑车通过“地大隧道”气压随时间的变化，特别说明进入隧道入口，隧道中间位置，隧道出口等特别位置过程中的气压变化。交通工具对测量结果有何影响，分析原因？你对隧道建设有何建议？谈谈你在实验和探索中的体会和收获。
- 2、记录7天以上气压和温度日变化（注意保持测量条件、测试时间一致，自己设计记录条件和表格），分析气压变化的可能原因。若有下雨天前后的气压记录，分析下雨等天气变化前后气压有何变化，分析气压变化原因。谈谈你在实验中的体会和收获。
- 3、手机、登山手表及phyphox软件也具有高度测量和电梯速度测量功能，利用此功能测量“东区教学楼”高度和电梯速度，同时参考基于气压的高度实测实例进行测量教学楼高度和电梯速度，比较二者结果，你更相信哪种方法测量结果？基于原因是什么？谈谈你的实验和探索体会。

特别注意：每班学委收齐各班实验报告，统一打包提交WORD版！（不要图片格式！）

发送到 32206985@qq.com 信箱，信件注明 “xxx班级创新实验”。

课堂实验结束后，3周内提交！

评分标准：

➤ **报告内容：**【基于气压**东区教学楼**高度、电梯速度的测量（**必做**）】 + 【扩展（从探索及思考3项中**选择2题**）】。

1、实验目的：15分

按你自己的体会说明本探索实验的目的，相关背景，有何意义，可能具有何应用何价值？

2、实验器材：5分

结合自己的实验实际说明器材选用根据，实际所用器材品牌、规格和特征。

3、实验原理：20分

按自己的理解概述本探索实验的相关理论基础和物理原理。

4、实验过程：20分

记录具体实验过程、步骤、方法、技巧、注意事项及相关说明。

5、数据及处理：10分

原始数据、照片等，计算方法和过程。对比标准参数（自己设法查阅资料），估算实验误差，分析误差原因。

6、探索及思考：30分

（1）完成拟定的探索及思考题或自拟相关课题（10分）；（2）实验和探索感受体会（10分）；（3）补充、完善本课件，或提出并论证与本课件所述内容不同的观点和思考（10分）。