# 第二章 2 气体的等温变化

## 问题？

在庆典活动中放飞的气球，会飞到我们看不见的地方。随着气球的升空，大气压在减小，温度在降低，气球在膨胀……看来，一定质量的气体的压强、体积和温度三个状态参量之间是有联系的。那么，它们会有怎样的联系呢？





我们首先研究一种特殊的情况：一定质量的气体，在温度不变的条件下，其压强与体积变化时的关系。我们把这种变化叫作气体的**等温变化**。

## 实验

**探究气体等温变化的规律**

### 实验思路

针对气体的研究，可以先选定一个热力学系统，比如一定质量的空气，在温度不变的情况下，测量气体在不同体积时的压强，再分析气体压强与体积的关系。为此，我们需要一个既能改变气体体积，又能测出与体积相对应的气体压强的封闭容器。

下面我们利用如图2.2 –1所示的装置进行实验。注射器下端的开口有橡胶套，它和柱塞一起把一段空气柱封闭。本实验的研究对象是什么？怎样操作可以保证温度不发生明显的变化？

图 2.2–1 实验装置

压力表

柱塞

空气柱

橡胶套

### 物理量的测量

实验中，我们需要测量空气柱的体积 *V* 和空气柱的压强 *p*，具体操作如下。

空气柱的长度 *l* 可以通过刻度尺读取，空气柱的长度 *l* 与横截面积 *S* 的乘积就是它的体积*V*。空气柱的压强 *p* 可以从与注射器内空气柱相连的压力表读取。

把柱塞缓慢地向下压或向上拉，读取空气柱的长度与压强的几组数据。

### 数据分析

一定质量气体等温变化的压强 *p* 与体积 *V* 的关系，可以用 *p*–*V* 图像来呈现。用采集的各组数据在坐标纸上描点，绘制曲线，由于它描述的是温度不变时气体压强与体积的关系，因此称它为等温线。若你绘制的 *p*–*V* 图像类似于双曲线（图 2.2–2），那么，空气柱的压强是否跟体积成反比呢？

我们可以进一步通过图像来检验这个猜想。再以压强 *p* 为纵坐标，以体积的倒数为横坐标，把采集的各组数据在坐标纸上描点。如果 *p* – 图像中的各点位于过原点的同一条直线上（图 2.2–3），就说明压强跟体积的倒数成正比，即压强与体积成反比。如果不在同一条直线上，我们再尝试其他关系。

*O*

*p*

*V*

*T*

图 2.2–2 温度不变时压强与体积的关系

*O*

*p*

图 2.2–3 检验 *p* 与 的线性关系

英国科学家玻意耳和法国科学家马略特各自通过实验发现，**一定质量的某种气体，在温度不变的情况下，压强 *p* 与体积 *V* 成反比**，即

*p* ∝ （1）

写成公式就是

*pV* = *C* （2）

式中 *C* 是常量。或者

“*C* 是常量”，意思是当 *p*、*V* 变化时 *C* 的值不变。但是对于温度不同、质量不同、种类不同的气体，*C* 的数值一般不同。

*p*1*V*1 = *p*2*V*2

其中 *p*1、*V*1 和 *p*2、*V*2 分别表示气体在不同状态下的压强和体积。

（2）式反映了一定质量的某种气体的等温变化规律，我们把它叫作**玻意耳定律**（Boyle’s law）。

### 做一做

**用传感器探究气体等温变化的规律**

如图 2.2–4，研究对象是注射器中的空气柱。气体压强传感器通过塑料管与注射器相连。由注射器壁上的刻度可以读出气体的体积 *V*；由压强传感器测得的压强值 *p* 在计算机屏幕上可以实时显示。这样就可以获得不同体积时气体压强的数值。由计算机作出气体的 *p*–*V* 图像，就可以判断 *p* 与 *V* 是否具有反比例函数的关系。

图 2.2–4 用传感器探究气体等温变化的规律

气体压强传感器

数据采集器

空气柱

注射器

## 练习与应用

本节共 4 道习题。第 1 题要求对实验数据进行分析，需要学生具有很强的判断能力。第 2 题考查学生对 *p*–*V* 图像的理解，比较基础。第 3 题和第 4 题要求能运用玻意耳定律进行处理，考查学生的计算能力。

1．在做“探究气体等温变化的规律”的实验中，实验小组记录了一系列数据。但是，仅就以下表中的两组数据来看，小王和小李却有完全不同的看法：小王认为，这两组数据很好地体现了 *p* 跟 *V* 成反比的规律，因为两组数据 *p* 和 *V* 的乘积几乎相等；小李却认为，如果把这两组数据在纵坐标轴为 *p*、横坐标轴为 的坐标系中描点，这两点连线的延长线将不经过坐标原点，因此这两组数据没有反映 *p* 跟 *V* 成反比的规律。对此你有什么看法？

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 均匀玻璃管内空气柱的长度 *l* / cm | 空气柱的压强*p* / 105 Pa |
| 1 | 39.8 | 1.024 |
| 2 | 40.3 | 0.998 |
| … | … | … |

**【参考解答】**小王的说法是错的，小李的说法正确。

因为两组数据的体积变化量和压强变化量都非常小，即使实验误差非常大，体积和压强的乘积也不会有什么变化，两乘积看起来是相等的。此时，不应该比较压强和体积的数据，而应该比较体积变化量和压强变化量的数据。根据题中的数据，气体的体积变化量等于原体积的 1.3%，而压强的变化量却等于后来压强的 2.6%，因此，该实验没有反映压强与体积成反比的规律。若用作图像的方法来处理数据，图像中两点连线的斜率描述的是压强变化量和体积变化量的关系。如果这两点的连线明显不通过坐标原点，则表示 *p*、*V* 的实验数据没有体现反比规律，所以小李的说法是正确的。

2．一定质量的气体，不同温度下的等温线是不同的。图 2.2–5 中的两条等温线，哪条等温线表示的是温度比较高时的情形？请你尝试给出判断，并说明理由。

*p*

*T*1

*T*2

*V*

图 2.2–5

**【参考解答】***T*2 > *T*1；理由：在图中过 *V* 轴某点画平行于 *p* 轴的辅助线，在相同的体积下，压强大的气体温度高，故 *T*2 > *T*1。

3．一个足球的容积是 2.5 L。用打气筒给这个足球打气，每打一次都把体积为 125 mL、压强与大气压相同的气体打进足球内。如果在打气前足球就已经是球形并且里面的压强与大气压相同，打了 20 次后足球内部空气的压强是大气压的多少倍？你在得出结论时考虑到了什么前提？实际打气时的情况能够满足你的前提吗？

**【参考解答】**2 倍；温度不变；不能满足

提示：以最终足球内部的气体为研究对象，设大气压为 *p*0，在温度不变时，这部分气体在初始状态下，*p*1 = *p*0，*V*1 = 2.5 L + 0.125×20 L = 5.0 L；打气后，气体体积 *V*2 = 2.5 L。根据玻意耳定律 *p*1*V*1 = *p*2*V*2，解得 *p*2 = 2*p*0。得出此结论的前提是打气过程中温度保持不变。实际打气时，由于压缩气体做功，气体温度会升高。

4．水银气压计中混入了一个气泡，上升到水银柱的上方，使水银柱上方不再是真空。当实际大气压相当于 768 mm高的水银柱产生的压强时，这个水银气压计的读数只有 750 mm，此时管中的水银面到管顶的距离为 80 mm。当这个气压计的读数为 740 mm 水银柱时，实际的大气压相当于多高水银柱产生的压强？设温度保持不变。

**【参考解答】**756 mm

提示：以水银柱上方的气体为研究对象，设水银气压计的横截面积为 *S*。当水银气压计的读数为 740 mm 时，水银面到管顶的距离为 90 cm，这时实际的大气压相当于高度为 *h* 的水银柱产生的压强。

根据玻意耳定律 *p*1*V*1 = *p*2*V*2，则 80×S×（768*ρg* − 750*ρg*）=90×*S*×（*ρgh* − 740*ρg*），解得 *h* = 756 mm。此时的大气压相当于 756 mm 高的水银柱产生的压强。

# 第 2 节 气体的等温变化 教学建议

## 1．教学目标

（1）知道气体的等温变化。

（2）在实验设计和数据处理过程中，体验科学探究过程，培养学生严谨的科学态度与实事求是的科学精神。

（3）了解玻意耳定律，能用气体等温变化规律求解简单的实际问题。

## 2．教材分析与教学建议

在上一节学习了用体积、压强和温度三个状态参量描述气体状态的基础上，本节进一步研究一定质量的气体状态参量之间的联系，探究气体的等温变化。

本节内容主要分为两部分：一是探究气体等温变化规律的实验；二是玻意耳定律。从课程标准“通过实验，了解气体实验定律”的要求来看，对知识方面的要求只是“了解”，但对实验探究过程的要求比较高，专门安排了学生必做实验。实验探究是本节课的教学重点。教科书围绕“实验思路”“物理量的测量”“数据分析”的线索展开。教学中建议在定性分析的基础上再进行定量探究。定性分析侧重情境创设、条件控制和直观感受；定量探究侧重数据分析、得出规律。这样处理，既能突出每个环节的探究重点，也会让学生的探究体验更深刻，对气体的等温变化规律有一个从明确条件、定性感悟到定量把握的逐步深入的认知过程。

应该看到，三个气体实验定律的探究方法是相通的，定律的内容也有相似性，本节的探究过程以及对玻意耳定律的把握，对后面内容的学习有很强的借鉴作用。

### （1）问题引入

教科书以气球升空为问题情境，启发学生关注气体状态的变化以及状态参量之间的联系，明确探究的方向。随着气球的升空，大气压在减小，温度在降低，气球在膨胀，教科书为学生提供了一个实际的气体状态变化的过程。高空环境的变化，影响了气体的压强和温度，而气体体积随压强和温度的变化而变化。在此过程中，气球中气体的状态参量在不断变化，状态参量之间也存在相互关联，学生由此会很自然地思考三个状态参量之间有怎样的关系？注意引导学生对情境深入分析，让学生体会到三个状态参量同时变化的过程过于复杂，并能意识到通过条件控制可得到比较简单的状态变化过程，从而启发学生思考如何在实验室条件下探究气体实验规律。

### （2）探究气体等温变化的规律

要研究三个状态参量之间存在的关系，就需要用控制变量法。如先保持温度不变，研究一定质量的气体的体积与压强的关系，这就是气体的等温变化，也是本节要研究的问题。

实验“探究气体等温变化的规律”是达成课程目标中要求尝试用科学探究的方法研究物理问题的一个重要案例。在前面的学习中，学生已了解科学探究的一般方法与探究程序，本节课的探究侧重于猜想、实验方案设计和数据处理。

①定性探究气体等温变化规律

学生对等温变化的认识仅限于生活直觉，缺少对气体压强随体积变化规律的深刻体验。教学中可以首先通过定性实验，让学生体验气体的等温变化，并猜想气体等温变化规律。定性探究除了要帮助学生体验，还要为定量研究明确研究对象和控制实验条件等作好铺垫。

**教学片段**

**体验气体等温变化中压强与体积的关系**

****探究任务 如何用图 2–5 所示的玩具水枪体验气体的等温变化？

方案设计 怎样才能不漏气？怎样控制温度不变？怎样了解体积和压强的变化？

体验和猜想 动手做一做，描述一下你的感受。你认为水枪筒内的气体在等温变化过程中压强和体积会有什么规律？

在动手操作过程中，学生能感受到筒内气体越被压缩，手越会有受阻的感觉，即体积减小，压强可能增大，筒中气体的压强与体积很可能成反比。此时，教师应追问和分析：“当一个量随另一个量的减小而增大时，两者关系一定是成反比的吗？压强与体积成反比，仅是可能成立的最简单的假设，假设可以从最简单的开始，如果通过实验发现压强并不是与体积的一次方成反比，那么，可以根据对测量数据的分析，再提出新的假设。”从而引出定量测量的需求。

②定量探究气体等温变化规律

图 2–6

压力表

柱塞

空气柱

橡胶套

第一，要引导学生明确“实验思路”。

定量探究气体等温变化规律，应该先选定一定质量的气体，在温度不变的情况下，测量气体在不同体积时的压强，再分析气体压强与体积的关系。为此，我们选择如图 2–6 所示的实验装置，它由注射器与气压计组成。在柱塞上涂油防止漏气，以保证气体质量不变；缓慢地推、拉柱塞，以保证在体积改变时温度不变。

第二，要引导学生明确“物理量的测量”。

本实验需要测量空气柱的体积 *V* 和空气柱的压强 *p*。

第三，要引导学生明确“数据分析”。

在处理数据前，教师应对绘制图像过程给予充分的引导。只有对坐标系的建立、分度的选定、描点和连线的要点等都有准确的把握，学生才能深刻地认识图像的物理意义。

第四，教科书在“做一做”栏目中给出了用气体压强传感器探究气体等温变化规律的实验方案。这是对正文实验方案精度不高的有益补充，建议有条件的学校引入课堂教学。气体压强传感器的精度比气压计的精度要高，读数也更方便。压强值 *p* 可由计算机实时显示，体积值 *V* 由人工读取，可输入计算机。数据处理时，可由计算机绘制出气体的 *p*–*V* 图像，需要转换成 *p* – 图像时，也可由计算机自动完成，这样比传统的绘图方式更方便、快速、准确。

### （3）玻意耳定律

教科书在玻意耳定律的陈述及解释中明确了定律的适用条件，一定质量的某种气体在温度不变时，遵循的规律是气体的压强 *p* 与体积 *V* 成反比，即可以表示成 *pV* = *C* 或 *p*1*V*1 = *p*2*V*2。

对确定的研究对象在等温变化时，*C* 是常量，但对于温度、质量、种类不同的气体，*C* 的数值一般不同。

玻意耳定律的适用条件不难明白，规律可以从公式、*p*–*V* 图像、*p*–图像等多角度进行认识。对常量 *C* 的认识，可从以下两个方面帮助学生理解：在 *p*–*V* 图像中，等温线是双曲线的一支，某一状态 A 对应的横坐标与纵坐标分别为 *V* 与 *p*，*pV* 即为 *C* 值，可用图 2–7 中矩形的“面积”表示，曲线上各状态点对应的“面积”不变；在*p*–图像中，等温变化图像是过原点倾斜的直线，*C* 是这条直线的斜率。

*p*

*V*

*O*

A

另外，在学习玻意耳定律后，建议设计一道例题的教学，使学生在应用中加深对规律的认识。运用气体实验定律解决实际问题，其解题策略与力、电问题的解题策略有较大不同，应在本节课的教学中予以示范。

例题 如图 2–8 所示，水银柱长度 *h* 为 19 cm，大气压 *p*0 为 1×105 Pa（相当于 76 cm 高的水银柱所产生的压强），玻璃管的粗细是均匀的。玻璃管开口向上放置时，被封闭的气柱长度 *l*1 = 15 cm，当开口向下时（水银没有溢出管外），被封闭的气柱长度 *l*2 是多少？设过程中气体温度保持不变。

分析 利用玻意耳定律解题，需明确“质量一定的气体”及“温度不变”两个条件；应分析气体的初、末状态的压强和体积，包括已知量和待求解量。

解 设水银柱产生的压强为 *p*，玻璃管的横截面积为 *S*。

初状态；*p*1 = *p*0 + *p*，*V*1 = *Sl*1；末状态：*p*2 = *p*0 − *p*，*V*2 = *Sl*2。

整个过程为等温变化，由玻意耳定律知 *p*1*V*1 = *p*2*V*2，所以（*p*0 + *p*）*Sl*1 =（*p*0 − *p*）*Sl*2，即 *l*2 = = 25 cm。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共 4 道习题。第 1 题要求对实验数据进行分析，需要学生具有很强的判断能力。第 2 题考查学生对 *p*–*V* 图像的理解，比较基础。第 3 题和第 4 题要求能运用玻意耳定律进行处理，考查学生的计算能力。

1．小王的说法是错的，小李的说法正确。

因为两组数据的体积变化量和压强变化量都非常小，即使实验误差非常大，体积和压强的乘积也不会有什么变化，两乘积看起来是相等的。此时，不应该比较压强和体积的数据，而应该比较体积变化量和压强变化量的数据。根据题中的数据，气体的体积变化量等于原体积的 1.3%，而压强的变化量却等于后来压强的 2.6%，因此，该实验没有反映压强与体积成反比的规律。若用作图像的方法来处理数据，图像中两点连线的斜率描述的是压强变化量和体积变化量的关系。如果这两点的连线明显不通过坐标原点，则表示 *p*、*V* 的实验数据没有体现反比规律，所以小李的说法是正确的。

2．*T*2 > *T*1；理由：在图中过 *V* 轴某点画平行于 *p* 轴的辅助线，在相同的体积下，压强大的气体温度高，故 *T*2 > *T*1。

3．2 倍；温度不变；不能满足

提示：以最终足球内部的气体为研究对象，设大气压为 *p*0，在温度不变时，这部分气体在初始状态下，*p*1 = *p*0，*V*1 = 2.5 L + 0.125×20 L = 5.0 L；打气后，气体体积 *V*2 = 2.5 L。根据玻意耳定律 *p*1*V*1 = *p*2*V*2，解得 *p*2 = 2*p*0。得出此结论的前提是打气过程中温度保持不变。实际打气时，由于压缩气体做功，气体温度会升高。

4．756 mm

提示：以水银柱上方的气体为研究对象，设水银气压计的横截面积为 *S*。当水银气压计的读数为 740 mm 时，水银面到管顶的距离为 90 cm，这时实际的大气压相当于高度为 *h* 的水银柱产生的压强。

根据玻意耳定律 *p*1*V*1 = *p*2*V*2，则 80×S×（768*ρg* − 750*ρg*）=90×*S*×（*ρgh* − 740*ρg*），解得 *h* = 756 mm。此时的大气压相当于 756 mm 高的水银柱产生的压强。