

# 浅谈逾渗模型在热学计算题中的应用

侯雪鹏, 许前柱

淮南第一中学, 安徽 淮南 232000

**摘 要：** 本文介绍了逾渗理论在高中物理教学中的应用，利用逾渗理论在热学计算题的分析中建立逾渗模型，强化热学问题解析中目标指向性，突破关键性节点状态参量（P，V，T）等问题，建立理想气体状态方程解决疑难问题。通过典例论证表明，逾渗理论在解决热学计算题中具有优势，培养学生解决问题和分析问题的能力。

**关 键 词：** 逾渗理论；状态参量；理想气体；状态方程

## Application of Percolation Model in Thermal Calculation Problems

Hou Xuepeng , Xu Qianzhu

Huainan No.1 Middle School, Huainan, Anhui 232000

**Abstract：** This article introduces the application of percolation theory in high school physics teaching. By using percolation theory to analyze thermal calculation problems, a percolation model is established, which strengthens the target orientation in thermal problem analysis, breaks through key node state parameters (P, V, T) and other problems, and establishes an ideal gas state equation to solve difficult problems. Through examples, it is demonstrated that percolation theory has advantages in solving thermal calculation problems and cultivating students' abilities to solve and analyze problems.

**Keywords：** percolation theory; state parameters; ideal gas; state equation

### 一、学情分析

高中热学是高中物理课程的重要组成部分，主要研究物质的热运动以及热力学定律等，学生在学习高中热学时，在熟悉理论

知识的基础上进行通过实验操作加深理论知识的掌握，老师适时的引导提高学生学习的效率。但学生理解热学基本概念和应用热学规律方面存在一定难度，通过模拟训练发现问题，老师引导学生建立物理模型掌握理想气体状态解决问题。

表1 知识点及得分率

考察知识点	题号	知识点权重	得分率 %
用油膜法估测分子的大小	10	0.06	41.06
热力学第一定律的内容及应用	7,11	0.09	46.06
气体的等温变化及玻意耳定律	4,5,6,9,13	0.23	32.17
气体的等容变化及查理定律	6,7	0.07	61.96
理想气体状态方程	8,9,11,12,13	0.28	25.18
热力学第二定律的内容及应用	2	0.03	49.75
气体的等压变化及盖-吕萨克定律	7	0.03	60.16
分子运动速率分布规律	3	0.03	70.87
液体的表面张力	1	0.03	47.05
液体的微观结构	1	0.03	47.05
分子作用力	3	0.03	70.87
热力学第一定律的发现	2	0.03	49.75
分子热运动	3	0.03	70.87

表2 不同层次学生得分率

学生层次		中等学生		较好学生		一般学生		年级得分率
知识点	题号	得分率	平均分	得分率	平均分	得分率	平均分	
液体的表面张力	1	33.33%	2	9.43%	0.57	34.88%	2.09	47.05%
热力学第二定律的内容及应用	2	39.58%	2.38	50.94%	3.06	60.47%	3.63	49.75%
分子运动速率分布规律、分子热运动、分子作用力	3	75%	4.5	58.49%	3.51	53.49%	3.21	70.87%
气体的等温变化及玻意耳定律	4	37.5%	2.25	49.06%	2.94	53.49%	3.21	48.25%

个人简介：侯雪鹏（1992年3月—），男，汉族，硕士研究生，安徽亳州人，从事研究中学物理热学相关领域。

学生层次		中等学生		较好学生		一般学生		年级得分率
知识点	题号	得分率	平均分	得分率	平均分	得分率	平均分	
气体的等温变化及玻意耳定律	5	45.83%	2.75	41.51%	2.49	11.63%	0.7	42.44%
气体的等温变化及玻意耳定律	6	79.17%	4.75	75.47%	4.53	58.14%	3.49	63.76%
热力学第一定律的内容及应用、气体的等压变化及盖-吕萨克定律、气体的等容变化及查理定律	7	54.17%	3.25	81.13%	4.87	55.81%	3.35	60.16%
理想气体状态方程	8	72.92%	4.38	80.19%	4.81	33.72%	2.02	54.75%
理想气体状态方程	9	46.88%	2.81	58.49%	3.51	37.21%	2.23	44.14%
用油膜法估测分子的大小	10	46.46%	4.65	53.77%	5.38	33.02%	3.3	41.06%
热力学第一定律的内容及应用、理想气体状态方程	11	37.71%	3.77	64.15%	6.42	37.21%	3.72	37.61%
理想气体状态方程	12	16.88%	1.69	50.19%	5.02	14.42%	1.44	14.4%
理想气体状态方程、气体的等温变化及玻意耳定律	13	6.25%	1	19.81%	3.17	5.23%	0.84	5.95%

模拟训练高中热学知识，通过训练网阅平台分析得到以上两个表格。发现学生在高中热学记忆性知识方面得分率有70%左右，得分率较高。学生在模型建构方面知识得分率较低，相比较记忆性知识得分率低10%–20%，特别是理想气体状态方程得分率最低只有25.18%。根据得分率以及与学生座谈分析其原因归结为以下几个方面。

（1）理解难度：理想气体状态方程虽然公式表达形式不复杂，但在解决具体问题时需要较强的灵活性和对物理概念的深入理解。学生可能对理想气体的概念理解不够深入，导致在应用方程时出现困难。<sup>[1]</sup>

（2）公式应用的复杂性：理想气体状态方程在实际问题中的应用种类繁多，需要学生能够根据不同的物理过程选择合适的方程形式，这对学生的分析和应用能力要求较高。

（3）解题策略不足：学生可能缺乏有效的解题策略，例如“三审二列一注意”的解题思路，即审图、审题、审关键字，列方程、列辅助方程，注意单位统一等，这些策略有助于学生更好地理解和应用理想气体状态方程。

（4）物理过程分析能力不足：学生可能在分析具体的物理过程时存在困难，无法准确确定气体的初末状态参量，从而无法正确应用理想气体状态方程。

（5）实验操作和数据处理能力欠缺：在热学实验中，学生可能缺乏实验操作和数据处理的能力，这影响了他们对理想气体状态方程的理解和应用。

（6）教学方法可能不够有效：教学方法可能过于单一，缺乏师生互动和讨论，或者没有充分引导学生自主学习，导致学生对理想气体状态方程的理解不够深刻。<sup>[2]</sup>

（7）理想气体模型的局限性：学生可能没有充分理解理想气体模型的局限性，即忽略了分子体积和分子间相互作用力的影响，这可能导致他们在面对更复杂的问题时无法正确应用方程。

（8）缺乏实践应用：学生可能缺乏将理论应用于实际问题的机会，导致他们在解决实际问题时无法灵活运用理想气体状态方程。

综上所述，在高中热学教学中，模型构建是一个重要的环节，它有助于学生深入理解热学概念和原理，并将其应用于实际问题中。以下是一些关键点，用于指导高中热学模型的构建：

（1）理想气体模型的应用：理想气体模型是热学中一个基础且重要的模型，它假设气体分子之间没有相互作用力，且分子体

积可以忽略不计。这个模型在描述气体状态和行为时非常有用。<sup>[3]</sup>

（2）热力学第一定律模型：热力学第一定律，即能量守恒定律，在热学中占据核心地位。教学中应强调内能、功、热量之间的守恒和转化。<sup>[4]</sup>

（3）气体分子热运动模型：理解气体分子的速率分布律，如麦克斯韦速率分布，以及能量按自由度均分定理，是构建热学模型的重要部分。<sup>[5]</sup>

（4）教学方法：在热学模型构建中，可以采用多种教学方法，如教师讲授、同伴教学、师生讨论、翻转课堂等。这些方法有助于学生从不同角度理解和掌握热学模型。<sup>[6]</sup>

（5）实验与仿真：实验是热学模型构建的重要环节，通过实验可以验证理论模型，加深理解。同时，热学仿真模型可以帮助学生在没有实验条件的情况下，通过计算机模拟来理解和分析热学现象。

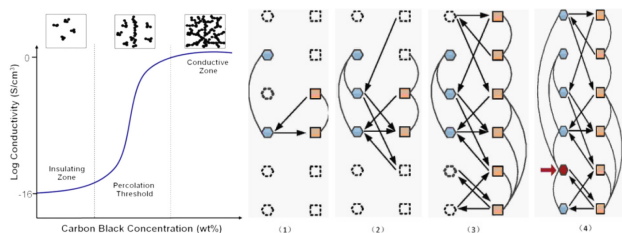
（6）多媒体教学：充分利用多媒体教学手段，采用电子教案与黑板结合的方式，在课堂教学中注重启发式教学，组织课堂讨论、课堂提问等。

通过上述方法，高中热学模型的构建可以更加系统和有效，帮助学生建立起对热学知识的深入理解和应用能力。特别是针对理想气体状态方程模型的建立引入逾渗模型。

## 二、逾渗理论简介

逾渗理论是处理强无序和具有随机几何结构系统常用的理论方法之一。这一理论研究的中心内容是：当系统的无序多元成分在随机联系过程中，节点联系密度达到一定值（称为逾渗阈值）时，在逾渗阈值处系统的一些物理性质会发生尖锐的变化。比如导电复合材料产生逾渗现象表现为随着导电粒子浓度的增加，导电粒子之间开始相互接触，当形成连续导电逾渗网络时，材料的电导率突然迅速增加。<sup>[7]</sup>

在物理教学中，一个学生的思维神经网络也包含不同的节点，这些节点代表了特定物理领域中的不同知识节点。只有当所有的知识节点以适当的方式通过某一个正确关系相互连接时，而且此连接达到一定比例时，学生的思维流程才会达到一个逾渗阈值，这时学生才能够正确的掌握相关物理知识，并正确的处理相关物理问题。



>图 1 导电高分子材料电路导通的逾渗模型

>图 2 学生思维神经网络的逾渗模型

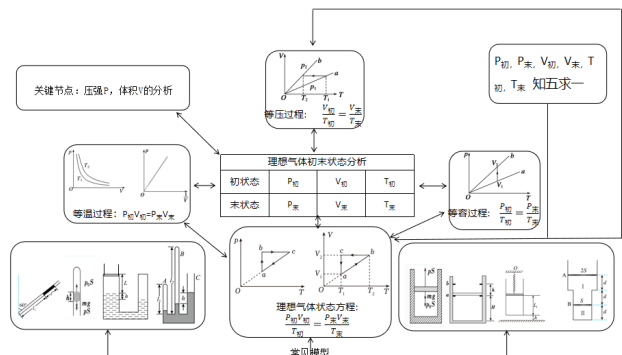
### 三、逾渗模型建立

本研究将逾渗理论引入物理教学，尝试在高考热学计算题这一特定知识领域建立逾渗模型。突破热学计算题求解过程中学生思路不清晰，目标性不强，进而形成规范化目标性强解决问题的方法。不仅可以提高学生解决物理问题的能力，同时培养学生物理学习的兴趣，以形成一定的知识框架，掌握逾渗模型的基本方法。

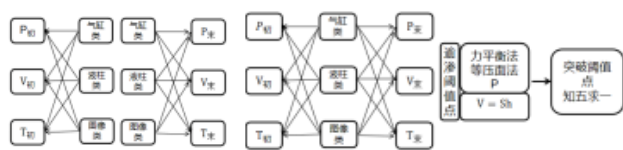
调查研究发现，学生的解题过程难以正确找出在题目中所涉及的状态参量（ $P$ ， $V$ ， $T$ ），从而在思维上出现混乱，找不到状态参量（ $P$ ， $V$ ， $T$ ）关键节点，进而对题目无从下手。本研究从高中物理中以力学为基础，多参量同时分析，明确初状态参量  $P_{初}$ 、 $V_{初}$ 、 $T_{初}$ ，末状态参量  $P_{末}$ 、 $V_{末}$ 、 $T_{末}$ ，从而做到知五求一。在题目找出已知参量，深挖隐含参量，明确求解参量。在此基础上建立理想气体状态方程，由此建立逾渗模型，挖掘状态参量（ $P$ ， $V$ ， $T$ ）的内在联系。

逾渗模型在建立过程中核心点在于如何突破逾渗阈值，逾渗阈值在热学研究中是学生学习时如何从量变转变成质变的核心环节。在热学中建构逾渗模型，一、多维度出发同时构建状态参量  $P$ ， $V$ ， $T$  通过列表法直观明了参量是否已知；二、多角度处理状态参量  $P$ ， $V$ ， $T$ ，例如在关键节点压强（ $P$ ）分析中一般分液柱类和活塞类两种类型。液柱类型中可以利用力平衡法和等压面法求解压强，活塞类型以活塞为研究对象分析受力，通过牛顿运动定律求解压强。<sup>[9]</sup>

逾渗模型的逾渗阈值六个（ $P_{初}$ 、 $V_{初}$ 、 $T_{初}$ ）、（ $P_{末}$ 、 $V_{末}$ 、 $T_{末}$ ），在通过列表法得出哪些参量未知，依据知识框架寻找该参量，由此突破阈值五个，从而知五求一。完成逾渗模型的建立。



>图 3 理想气体各参量框架图



>图 4 学生思维图

>图 5 学生逾渗模型构建

形成一定的思维方式和解决问题的方法，在热学问题分析中归纳形成热学计算题解题技巧，并养成规范、细致、整洁的解题习惯，提升学生解决热学问题的能力。<sup>[9]</sup>

以此为突破高中物理热学中的理想气体压强（ $P$ ），理想气体体积（ $V$ ），热力学温度（ $T$ ）等问题。下面将从以下三个高考题的求解来演示逾渗模型在高考试题中的分析与参考答案的对比。

### 四、逾渗模型下解决常见热学问题分析

典例分析1：（2022·全国·高考真题）如图3所示，一竖直放置的汽缸由两个粗细不同的圆柱形筒组成，汽缸中活塞Ⅰ和活塞Ⅱ之间封闭有一定量的理想气体，两活塞用一轻质弹簧连接，汽缸连接处有小卡销，活塞Ⅱ不能通过连接处。活塞Ⅰ、Ⅱ的质量分别为  $2m$ 、 $m$ ，面积分别为  $2S$ 、 $S$ ，弹簧原长为  $l$ 。初始时系统处于平衡状态，此时弹簧的伸长量为  $0.1l$ ，活塞Ⅰ、Ⅱ到汽缸连接处的距离相等，两活塞间气体的温度为  $T_0$ 。已知活塞外大气压强为  $P_0$ ，忽略活塞与缸壁间的摩擦，汽缸无漏气，不计弹簧的体积。（重力加速度常量  $g$ ）

（1）求弹簧的劲度系数；

（2）缓慢加热两活塞间的气体，求当活塞Ⅱ刚运动到汽缸连接处时，活塞间气体的压强和温度。

解析：整体隔离受力分析，求出气体压强与弹簧弹力，然后推出末态气体体积，根据盖吕萨克定律即可求解；第3问中难点在于判断温度降至  $T_1 = \frac{27}{3}T_0$  时活塞Ⅱ降至连接处，此后不再移动，结合理想气体状态方程进行列式求解。本题考查胡克定律、受力分析，研究对象受力的选取、理想气体状态方程，注意题目隐含条件的挖掘。注重基础知识的夯实。

关键点：活塞类初末状态压强，对活塞受力分析，通过力的平衡。得出初末状态压强。

逾渗模型参考答案：（1）

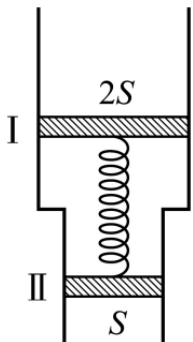
$$P_0 + 3mg = P_1 S$$

$$P_1 = \frac{P_0 S + 3mg}{S}$$

对Ⅰ受力分析：（2）

$$p \cdot 2S = p_0 \cdot 2S + 2mg + k \cdot 0.1l$$

$$K = \frac{40mg}{l}$$



>图 6

理想气体初末状态分析			
初状态	$P_1 = \frac{P_0 S + 3mg}{S}$	$V_1 = \frac{1.1l}{2}(S + 2S)$	$T_1 = T_0$
末状态	$P_2 = \frac{P_0 S + 3mg}{S}$	$V_2 = 2.2S$	$T_2$

由理想气体状态方程可知

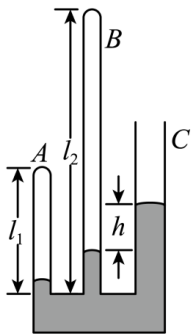
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{4}{3} T_0$$

解得：

典例分析2: (2021 · 全国 · 高考真题)

如图4所示,一玻璃装置放在水平桌面上,竖直玻璃管A、B、C粗细均匀,A、B两管的上端封闭,C管上端开口,三管的下端在同一水平面内且相互连通。A、B两管的长度分别为 $L_1=13.5\text{cm}$ , $L_2=32\text{cm}$ 。将水银从C管缓慢注入,直至B、C两管内水银柱的高度差 $h=5\text{cm}$ 。已知外界大气压为 $P_0=75\text{cmHg}$ 。求A、B两管内水银柱的高度差。



>图7

关键点：液柱类初末状态压强，利用力平衡法和等压面法求解压强。

逾渗模型参考答案：

A、B两管恰好没有水银流入时为初状态，设A、B、C玻璃管横截面积分别为 $S_A$ 、 $S_B$ 、 $S_C$ 。A、B封闭气体长度分别为 $L_1=13.5\text{cm}$ , $L_2=32\text{cm}$ 气体所在环境温度为 $T_0$ ，C两管内水银柱的高度差 $h=5\text{cm}$ 时为末状态，设A、B液柱差为 $X$ ，此时A、B封闭气体的长度分别为 $L_1'$ 、 $L_2'$ ， $L_1'=L_1-2+X$

理想气体初末状态分析				
初状态	A	$P_{A1}=P_0$	$V_{A1}=L_1 S_A$	$T_{A1}=T_0$
	B	$P_{B1}=P_0$	$V_{B1}=L_2 S_B$	$T_{B1}=T_0$
末状态	A	$P_{A2}=P_{B2}+X$	$V_{A2}=L_1' S_A$	$T_{A2}=T_0$
	B	$P_{B2}=(P_0+5\text{cm})\text{Hg}$	$V_{B2}=L_2' S_B$	$T_{B2}=T_0$

由理想气体状态方程可得

$$B: \frac{P_{B1} V_{B1}}{T_{B1}} = \frac{P_{B2} V_{B2}}{T_{B2}}$$

$$A: \frac{P_{A1} V_{A1}}{T_{A1}} = \frac{P_{A2} V_{A2}}{T_{A2}}$$

解得：

$$L_2' = 30\text{cm} \quad \Delta h_2 = 2\text{cm}$$

$$X=1\text{cm} \text{ 或 } \frac{189}{2} > \Delta h_2 \text{ (舍去)}$$

则两水银柱的高度差为  $X=1\text{cm}$

## 五、结论

逾渗理论能够为复杂系统的相变和临界现象提供直观和定量的分析框架，它在理想气体问题中的应用有助于揭示状态参量之间内在机制，逾渗模型的建立可简化复杂过程，从理想气体参量之间复杂性、盲目性中解放出来，让学生在处理理想气体问题中目标性强。为问题解决提供理论支持。

热学知识学习中内容复杂且抽象，学生学习起来有一定难度，但在高考中由属于重点知识。逾渗模型以列表形式多参量(P、V、T)同时分析，找到已知状态参量，确定未知参量，突破逾渗阈值从而以此来解决理想气体状态参量的求解。

因此在学习中要先提高学习效率，同时不断调整学习的思路与方法，提高思维能力。<sup>[10]</sup>由以上例题分析不难看出，逾渗模型的求解过程重点突破初、末状态压强，以表格形式直接明了的点出每一状态下的理想气体的P、V、T，突破阈值完成建模，通过理想气体状态方程分析得出所求物理量。此方法对于学生有明确的引导，目标性强，思路清晰，解法简洁明了，是一种普适分析求解热学理想气体问题的方法。

## 参考文献

- [1]徐建荣.高中物理计算题解题技巧[J].中学生数理化(教与学),2019,(9):89.
- [2]邓永强.以中学物理教学为例论探究性教学模式的应用[J].中学物理,2015,33(7):80-81.
- [3]胡嘉莹.张军朋.《从近年全国高考谈理想气体状态方程的解题思路及教学建议》[J].物理教学探讨,2020,第8期:42-45.
- [4]中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准[M].北京:人民教育出版社,2017:1-3.
- [5]基于逾渗理论的多孔过滤介质孔径分布估计方法[J].丁彬彬,李朝林.化工学报.2015,第005期.
- [6]陈璇.论高中物理教学中学生解题能力的培养策略[J].考生周刊,2021.
- [7]基于逾渗理论的深床过滤过程动态模型[A].张健.2016.
- [8]覃相鑫.高中物理力学知识点教学方法初探[J].高中数理化,2019,(14):52-53.
- [9]黄菁菁.高中物理教学中学生解题能力强化分析[J].数理天地(高中版),2024,(20):109-111.
- [10]戚桂雄.培养“科学论证素养”的高中物理教学策略与实践[J].考生周刊,2022.