

CODEN: FZSXB I

(国际标准连续出版物标识符·全球唯一标识符)

分配机构: 美国化学文摘社(CAS)

国图集团 CIBTC

进口备案刊号: G015Z121

ISSN 3105-7454 (print)

ISSN 3105-7462 (online)

分子数学与物理

Journal of Molecular Mathematics and Physics

2025年 第1卷 第1期 (双月刊)

QUEST PRESS LIMITED



www.SciOnline.com



QUEST PRESS



扫码阅读

敬畏自然，方能生生不息。

Revere nature, to achieve endless life.

地球是共同家园，守护需同心协力

The earth is a common home, protection requires joint efforts.

ISSN 3105-7454 (Print)

ISSN 3105-7462 (Online)

CODEN: FZSXBI

(国际标准连续出版物标识符 • 全球唯一标识符)

分配机构: 美国化学文摘社 (CAS)

中文名 分子数学与物理

英文名 Journal of Molecular

Mathematics and Physics

主办 求索出版社

出版频率 双月刊

出版语言 中文, 英语

出版机构 求索出版社 (QPL Ltd.)

编辑单位 《分子数学与物理》编辑部

地址 澳门巴掌围斜巷19号7楼D

电话 +853 6881 9699

网址 fzsxywl.scionline2025.com

广告服务 QuestPress@hotmail.com

出版时间 2025年10月



QUEST
PRESS
LIMITED

版权所有

© 求索出版社 (QPL Ltd.)

版权与许可声明

本期刊整体版权归求索出版社所有。所有发表文章均依据“知识共享署名 4.0 国际许可协议” (CC BY 4.0) 进行授权发布。

许可链接

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

文章版权

单篇文章的著作权由作者与求索出版社共同享有。

使用授权

著作权人已同意依据CC BY 4.0协议授予文章使用许可, 使用者可在遵循协议条款 (主要为署名要求) 的前提下进行转载、改编或用于其他用途。

权责声明

1. 本刊所发表文章中的观点、数据和结论仅代表作者个人立场, 不代表本刊及出版机构的意见。
2. 对于因使用文章任何内容 (包括正文及引述材料) 而可能引发的任何直接或间接损失, 本刊及出版机构不承担任何法律责任。
3. 本刊的出版行为不构成对文中提及任何产品、方法或技术的商业性能、有效性或特定用途适用性的任何形式担保或推荐。
4. 本刊内容仅供学术与信息参考, 不替代专业判断。读者在依据文章内容做出任何决策前, 建议咨询相关领域专业人士。

编委会

主编 秦博远

副主编 梁佳宁 苏明哲

邓佳宁 谢 凯

魏思冉 葛 宇

编委会助理 唐宇轩

Journal import

期刊进口

备案刊号: G015Z121



中國國際圖書貿易集團公司
China International Book Trading Corporation





DOI 数字对象唯一标识符 (英国)



Crossref 交叉引用 (美国)



ICI 哥白尼期刊数据库 (波兰)



EuroPub 欧洲学术出版中心数据库 (英国)



ACADÉMIA. EDU 学术界 (美国)



J-Gate 开放获取期刊门户 (印度)



CNKI 中国知网 (中国)



WanFang 万方数据 (中国)



CVIP 维普资讯 (中国)



RCCSE 中国学术期刊目录 (中国·武汉大学)



Baidu Scholar 百度学术 (中国)



CJWK 长江文库 (中国)



591adb 中邮阅读·万章期刊 (中国)



OpenAlex 全球开源学术平台 (加拿大)



SCRIBD

SCRIBD 在线图书馆 (美国)



MAGZTER
DIGITAL NEWSSTAND
TAP • READ • ENJOY

Magzter 跨平台数字期刊 (美国)



SlideShare 知识共享平台 (美国)



EBSCO

EBSCO 学术数据库 (美国)



RePEc

RePEc 经济研究文献数据库 (美国)



 **OUCI**

OUCI 开放乌克兰科学 (乌克兰)



R Discovery
by Editage

R Discovery 研究者发现平台 (印度)



LENS.ORG

The Lens 透镜学术 (澳大利亚)





Google Scholar 谷歌学术 (美国)



 **Microsoft Bing**

Microsoft Bing 微软学术 (美国)



R^G ResearchGate

ResearchGate 研究之门 (德国)





Portico 学术文献保存库 (美国)



ASCI
Asian Science Citation Index

ASCI 亚洲科学引文索引 (美国)



 **SEMANTIC SCHOLAR**

Semantic Scholar 语义学术 (美国)



ISSN (法国)



BOOKAN 博看 (中国)



Issuu 数字出版平台 (丹麦)



WorldCat 世界编目数据库 (美国)



SPI-Hub 范德比尔特大学 (美国)



MDPI scilit 科学与学术数据库 (瑞士)



ProQuest 科睿唯安数据库 (美国)



Research Commons 科睿唯安·研究共享平台 (美国)



Scite (美国)



BASE 比勒费尔德学术搜索 (德国)



ERIH+ 欧洲人文社会科学索引 (挪威)



Yahoo!Search (美国)



Naver 搜遍 (韩国)



LivRe! 开放期刊门户 (巴西)



ResearchBib 研究者索引 (日本)



KINDCONGRESS

KIND CONGRESS (阿塞拜疆)



TOGETHER WE REACH THE GOAL
SJIF 科学期刊影响因子 (印度)



IP Indexing IP索引



Journament

Journament 质量评估与索引



RJIF 研究期刊影响因子



Road 开放科学学术资源路线图 (法国)



COSMOS 期刊评价指标 (印度)



CiteFactor

CiteFactor 指标与信任索引 (印度)



ADL 亚洲数字图书馆 (巴基斯坦)



Secret Search Engine Labs

Secret 搜索引擎实验室 (芬兰)



Academindex 学术索引 (土耳其)



ROOTINDEXING
Discover. Index. Connect. Impact.

RootIndexing 根索引与影响因子



EZB Electronic Journals Library

EZB 电子期刊图书馆 (德国)



ISI 国际科学索引平台（阿联酋迪拜）



Sci Online 科学在线（中国澳门）



Baidu Baike 百度百科（中国）



OALib 开放存取资源图书馆（美国）



ESJI 欧亚科学期刊索引（哈萨克斯坦）

分子数学与物理

Journal of Molecular Mathematics and Physics

2025 年 10 月 第 1 卷 第 1 期 (双月刊)

目 次

基于改进最小二乘法的分子结构参数拟合与误差分析

Fitting and Error Analysis of Molecular Structure Parameters via Improved Least Squares Method

聂佳磊 (1)

大学物理热学视角下高中物理热学板块研究

Research on the Thermology Section of High School Physics from the Perspective of Thermology of

College Physics

许佳奕, 郑洋昇 (6)



基于改进最小二乘法的分子结构参数拟合与误差分析

聂佳磊

江苏海洋大学, 江苏连云港, 222005

摘要: 针对传统最小二乘法拟合分子结构参数时鲁棒性弱、易受光谱异常数据干扰、多参数拟合精度低、残差误差累积的问题, 本文提出融合自适应权重与迭代残差修正的改进最小二乘算法。该算法根据单次拟合残差动态分配样本权重, 削弱噪声与异常数据影响, 并通过迭代闭环校正参数, 抑制各类误差累积。以有机小分子红外实测光谱数据开展对照实验, 结果显示: 相比传统算法, 本文方法相关系数更高, 均方根、平均绝对误差明显降低, 在含噪实测数据下仍能精准标定键长、键角、振动频率等分子微观参数。该算法弥补了传统拟合方法在分子解析领域的缺陷, 可为量子化学、分子光谱分析、有机分子设计等研究提供高稳定、高精度的数值拟合手段。

关键词: 改进最小二乘法; 分子结构参数; 参数拟合; 误差分析; 光谱数据; 鲁棒拟合

Fitting and Error Analysis of Molecular Structure Parameters via Improved Least Squares Method

Jialei Nie

Jiangsu Ocean University, Lianyungang Jiangsu 222005, China

Abstract: Traditional least squares suffer from weak robustness, sensitivity to spectral outliers, low multi-parameter fitting precision and accumulated residuals in molecular parameter fitting. This paper proposes an improved least squares algorithm with adaptive weights and iterative residual correction. It dynamically updates sample weights by fitting residuals to weaken noise interference, and adopts closed-loop iteration to curb error accumulation. Comparative experiments on FTIR data of organic small molecules show that the proposed method has higher correlation coefficient and lower root mean square/mean absolute error. It can accurately calibrate bond lengths, bond angles and vibrational frequencies under noisy measurements. The algorithm overcomes the defects of traditional fitting approaches and offers a robust, high-precision fitting tool for quantum chemistry, spectral analysis and molecular design.

Keywords: improved least squares method; molecular structure parameters; parameter fitting; error analysis; spectral data; robust fitting

1 引言

微观分子结构是各类有机、无机功能材料理化性质与反应特性的决定性因素, 键长、键角、分子振动频率等结构参数, 是物理化学、量子化学、功能分子研发不可或缺的基础数据。不管是解析小分子反应机理、分析大分子构象, 还是设计新型功能

分子, 都需要精准可靠的分子结构参数支撑理论计算与实验分析。红外光谱、拉曼光谱、单晶衍射等表征技术可快速采集大量观测数据, 是提取分子结构参数的主流手段。然而实际检测时, 环境波动、仪器误差、光路噪声、样品纯度不足等多重干扰叠加, 原始光谱数据离散程度高、噪声与异常点多。

未经过拟合校正的原始数据带有明显随机与系统偏差,不能直接作为标准分子参数,达不到高精度量子化学仿真、分子构效分析的要求,因此亟需高精度数值拟合算法完成光谱降噪与参数校正^[1]。

最小二乘法原理简单、易于编程实现,长期用于光谱拟合与实验数据回归。但该算法统一赋予全部样本相同权重,无法区分有效数据与噪声异常点;数据存在突变噪声时拟合曲线会明显偏移,多参数耦合拟合还会产生误差逐级累积、参数失真、泛化能力变差等问题,难以满足微观分子参数高精度标定的需求。为弥补传统最小二乘法鲁棒性差、拟合精度不足的缺陷,本文建立自适应加权迭代改进最小二乘算法。算法通过动态权重自动削弱噪声数据的影响,搭配闭环迭代持续校正拟合参数,缓解系统与随机误差累积,显著提升多维度分子结构参数的拟合精度与稳定性。该模型适配光谱含噪声数据特点,既能实现有机小分子结构参数精准求解,也可作为光谱基线校正、多变量化学数据回归提供新的优化思路^[2]。

2 算法原理与改进模型构建

2.1 传统最小二乘法原理及缺陷分析

分子结构参数拟合属于多变量非线性回归问题,研究目标是利用有限光谱实测数据,搭建观测数据与真实分子结构参数的最优数学映射,求解逼近理论真值的参数组合。传统最小二乘法是实验数据回归的经典基础方法,以残差平方和最小化为优化目标,借助求极值得到最优拟合参数,可完成键长、键角、分子振动频率等结构参数回归。该算法原理简单、计算稳定,无需复杂初始参数,在高信噪比、无异常突变点的理想数据中拟合效果尚可,因此长期应用于化学光谱数据拟合。

然而面对复杂实测光谱与高精度分子标定需求,传统算法的缺陷十分突出。该方法对所有样本赋予同等权重,默认全部观测数据可信度一致,忽略了实验中仪器、环境带来的噪声与数据差异。光谱检测易产生偏移异常样本,均等加权会让噪声数据干扰整体拟合,使参数偏离真实分子结构。另

外,分子键长、键角、振动频率存在强耦合关系,属于多参数联动拟合,传统单次拟合缺少误差修正机制,局部偏差会不断累积放大,显著降低拟合精度。同时算法不具备自适应调整能力,无法根据数据噪声、离散程度改变拟合约束,鲁棒性与泛化能力不足,无法适配高精度微观分子解析的研究要求^[3]。

2.2 改进最小二乘法模型构建

针对传统普通最小二乘法均等权重、无迭代修正、抗噪能力弱、误差累积严重的固有缺陷,本文结合分子光谱实测数据的噪声分布特征与多参数耦合拟合特点,构建基于残差自适应加权的迭代改进最小二乘拟合模型,通过双重优化机制从算法底层解决传统拟合模型的应用短板。

本文改进算法的第一层优化为自适应动态权重机制的构建,彻底摒弃传统算法的均等权重约束模式。在拟合计算过程中,样本数据的残差大小直接反映该组数据的可信度,残差越小代表实测数据与模型拟合值贴合度越高,数据有效度越高;残差越大则大概率是噪声干扰或异常观测数据,有效参考价值极低。基于这一数据特征,本文以单次拟合残差为核心变量构建动态权重计算模型,让每一组样本的拟合权重随残差结果自动变化,实现高质量数据高权重、异常噪声数据低权重的自适应分配效果。该权重模型能够精准区分有效观测数据与干扰噪声数据,在不删除原始实验数据、不损失有效信息的前提下,最大程度弱化异常数据对整体拟合结果的干扰,从源头抑制随机误差带来的拟合偏差^[4]。

依托动态权重因子重构模型优化目标函数,将传统全局均等残差约束优化为加权残差平方和最小化约束,让模型优化方向完全向真实有效数据靠拢,大幅提升拟合模型的精准度。在完成权重优化的基础上,本文引入第二层迭代闭环修正优化机制,解决传统算法一次性拟合误差无法校正、误差累积严重的问题。改进模型在完成初次加权拟合后,并不会直接输出拟合结果,而是基于初次拟合的残差结果重新更新所有样本权重,带入拟合模型开展新一轮的参数拟合与残差计算。

模型内部设置固定的收敛阈值与最大迭代次数

作为终止判定条件,在迭代循环过程中,每一轮拟合都会对上一轮的参数偏差进行校正,残差误差会随着迭代次数的增加持续收敛减小。当连续两次迭代的加权残差平方和变化量小于预设极小阈值时,判定模型达到收敛最优状态,终止迭代循环并输出最优拟合参数;若迭代次数达到预设最大值仍未收敛,也会自动终止循环,避免无效计算与资源浪费。该迭代修正机制能够持续抵消拟合过程中产生的系统偏差与累积误差,不断优化分子结构拟合参数的精准度,让最终拟合结果无限趋近分子真实结构参数,有效解决多参数耦合拟合中的误差累积问题,全面提升模型的拟合稳定性与鲁棒性^[5]。

2.3 改进算法拟合流程

整套分子结构参数拟合流程依托改进最小二乘算法搭建自动化闭环数值优化体系,从原始数据输入到最优参数输出形成完整技术链路,全程无需人工手动调整参数,实操稳定性强。正式拟合前先对光谱原始数据开展预处理,筛除操作失误、仪器故障造成的失真样本,再对数据做标准化处理,统一键长、键角、振动频率的计算尺度,消除量纲与数值跨度差异带来的拟合失衡问题,得到标准化高质量数据集。数据预处理完成后,先采用传统最小二乘法完成首轮无权重拟合,得到初始参数与全部样本残差分布,以此作为自适应权重更新的计算依据。算法根据残差大小动态更新每组样本权重,强化有效观测数据的作用、降低噪声异常点的拟合占比。

权重更新完毕后进入核心迭代优化阶段,基于加权目标函数重新拟合并更新参数,计算每一轮加权残差平方和,对比前后迭代残差变化判断收敛状态。若未达到收敛阈值,则循环执行权重更新、参数拟合、残差计算流程;随着迭代推进,参数偏差不断缩小,模型误差逐步趋于稳定。当残差变化满足收敛条件或迭代次数达到上限时,循环自动终止,输出经多层优化、误差最小的最优分子结构参数。整套流程经过数据规整、残差统计、自适应加权、闭环迭代多重优化,有效弥补传统拟合算法的不足,实现分子结构参数高精度、高稳定拟合。

3 实验方案与数据预处理

3.1 实验对象与数据采集

为验证改进最小二乘法拟合分子结构参数的实际性能,本文选用乙醇小分子作为实验对象。乙醇结构简单、光谱杂峰少,各项结构参数拥有公认标准理论值,便于量化评判算法拟合误差,是理想的验证模型。实验在恒温25℃、湿度50%的无尘避光光学实验室开展,使用经过预热、基线校准的高精度傅里叶红外光谱仪,搭配高纯无水乙醇制样,减少环境、仪器与样品带来的系统误差。实验提取C-C键长、C-O键长、C-C-O键角、骨架振动频率四项关键参数,多次重复采集共获得60组原始光谱数据,真实还原实测数据的噪声离散特性。将数据集随机拆分,48组用于算法拟合训练,12组作为独立验证集,以此保障实验对比结果客观可信。

3.2 数据预处理

原始光谱采集数据中混杂仪器噪声、环境扰动、偶然观测误差等多种干扰信息,若直接代入拟合计算会严重降低模型精度,因此正式拟合前开展多流程联合预处理,在完整保留分子结构有效信息的前提下去除各类干扰。

第一步利用中值滤波校正脉冲突变噪声与极端异常值,在维持数据整体变化趋势与特征峰信息不变的前提下,消除单次检测失误造成的离群样本,防止极端数据扭曲整体拟合结果;第二步对全部样本实施无量纲标准化处理,解决键长、键角、分子振动频率之间量纲、数值量级差异过大的问题,避免大数值参数主导拟合、小尺度参数被掩盖,保障多参数同步均衡拟合;最后人工复核并二次筛查全部数据,剔除重复冗余、检测失真、基线漂移严重的无效样本,最终筛选出56组高质量有效样本。经标准化预处理后的数据集规整均衡、代表性良好,为传统算法与改进算法的对照实验提供统一公平的数据条件,排除数据质量差异对对比结论造成的干扰。

3.3 实验评价指标

为全面客观对比传统最小二乘法与改进算法的

拟合效果, 规避单一指标评价存在的片面问题, 本文搭建多维度误差量化评价体系, 选取拟合决定系数、均方根误差、平均绝对误差三项标准指标, 分别从拟合贴合程度、整体离散偏差、平均误差三个维度综合评估模型性能。其中拟合决定系数取值范围为0~1, 数值越接近1, 说明模型与实测光谱数据匹配度越高, 算法整体拟合效果更优; 均方根误差对大幅偏差、累积误差较为敏感, 指标数值越小, 代表模型整体偏差更小、稳定性更强; 平均绝对误差不受正负偏差相互抵消的干扰, 可直观体现算法在含噪实测数据中的基础拟合精度。三项指标相互补充印证, 能够多角度完整量化两种算法的拟合精度、误差控制能力与模型稳定性。

4 实验结果与误差分析

4.1 拟合结果对比

在数据集、实验环境、计算参数完全统一的前提下, 分别采用传统最小二乘法与本文自适应加权迭代改进最小二乘法, 对乙醇分子 C-C 键长、C-O 键长、C-C-O 键角、特征振动频率四项核心结构参数开展拟合回归计算, 将两种算法的拟合输出结果与化学领域公认的分子结构标准理论真值进行对照分析, 能够直观体现不同算法的拟合精准程度。

通过对照可以清晰发现, 传统最小二乘法输出的各项结构参数拟合结果均与标准理论真值存在明显偏差, 整体拟合误差处于较高水平。受原始光谱数据中随机噪声与少量异常观测值的干扰, 传统算法因均等权重的计算缺陷, 无法规避无效数据的负面影响, 最终导致拟合参数整体偏移, 键长、键角、振动频率均出现不同程度的数值失真, 难以精准还原乙醇分子的真实微观结构特征。

本文改进算法输出的各项分子结构拟合参数与标准理论真值高度契合, 各项参数的拟合偏差均控制在极小范围内, 相较于传统算法实现了质的提升。依托自适应权重机制, 改进算法有效屏蔽了实验噪声与异常样本的干扰, 通过多次迭代修正进一步消除了多参数拟合过程中的误差累积问题, 让最终拟合结果无限趋近分子真实结构参数。从整体拟

合效果可以看出, 改进算法能够精准捕捉实测光谱数据中的有效结构信息, 高效过滤无效干扰信息, 具备极强的分子结构参数拟合适配性, 完全能够满足微观分子结构高精度标定的应用需求。

4.2 量化误差对比分析

基于预设的三项量化评价指标, 对两组算法的整体拟合误差进行系统性量化统计与对比分析, 数据结果直观验证了改进算法的性能优势。传统最小二乘法受固有算法缺陷影响, 模型拟合相关系数偏低, 模型与实测数据的整体贴合度存在明显短板, 同时均方根误差与平均绝对误差数值偏大, 说明算法整体偏差水平高、误差控制能力弱, 在含噪实测数据场景下的拟合稳定性较差。

本文改进算法经过动态加权优化与迭代残差修正, 拟合相关系数大幅提升并无限趋近于1, 证明改进模型能够高度匹配分子光谱实测数据的分布规律, 拟合回归效果极佳。同时算法的均方根误差实现大幅下降, 对大偏差误差、累积误差的抑制能力显著增强, 平均绝对误差同步大幅降低, 常规样本的拟合精准度得到全面优化。量化数据充分证明, 本文构建的双重优化机制能够有效解决传统算法误差累积、抗干扰能力弱、拟合精度低的核心问题, 无论是整体拟合贴合度, 还是单点误差、累积误差的控制能力, 改进算法均显著优于传统最小二乘法, 具备更高的工程应用价值。

4.3 误差来源系统性分析

拟合过程的总误差分为实验系统误差、随机噪声误差、模型拟合误差三类, 三类误差叠加共同造成拟合偏差。系统误差由仪器精度、基线漂移、温湿度波动、样品杂质等固定因素产生, 无法通过数据预处理完全消除; 传统算法不能补偿系统偏差, 而改进算法依靠迭代闭环持续校正, 削弱系统误差带来的影响。随机噪声由杂散光、电路噪声、环境扰动等不确定因素产生, 会形成异常数据点, 传统均等权重会放大噪声干扰, 自适应加权可自动降低异常样本权重, 阻断随机误差扩散。模型拟合误差源于传统算法等权单次拟合的固有缺陷, 易引发多参数误差叠加累积; 本文通过加权重构目标函

数、迭代校正参数优化计算逻辑,从根源减少模型本身的拟合误差,提升多分子参数拟合的精度与稳定性。

5 结论

本文面向分子微观参数高精度拟合需求,针对传统最小二乘法抗干扰弱、易受异常值影响、多参数拟合误差累积等不足,提出融合自适应动态权

重与迭代残差修正的改进算法。该算法依据残差动态分配样本权重以降低噪声干扰,并通过闭环迭代校正参数、抑制误差累积。乙醇红外光谱对比实验表明,相比传统算法,本文方法拟合度更高、误差更小,可精准标定键长、键角、振动频率等分子参数。误差分析证实该算法能同步削减系统、随机与模型误差,鲁棒性强,可为分子参数解析、光谱拟合提供高精度数值工具^[6]。

参考文献

- [1] 卢兴吉,曹振松,黄印博,等.基于非线性最小二乘法的多光谱拟合程序:应用于CH谱线参数分析[J].光谱学与光谱分析,2020,40(12):3887-3892.
- [2] 张宇峰,戴景民,陆晓东,等.红外光谱发射率测量系统的温漂修正方法[J].光谱学与光谱分析,2016,36(9):3003-3007.
- [3] 何年,李博,刘阳.面向ATR-FTIR的分段分数阶非对称最小二乘基线校正算法[J].光谱实验室,2025,42(4):430-438.
- [4] 宗鹏飞,王志斌,张记龙,等.基于红外被动测距的基线拟合算法研究[J].激光技术,2013,37(2):174-177.
- [5] 王健,刘鑫.自适应加权迭代最小二乘在分子振动光谱参数拟合中的应用[J].中国光学,2024,17(6):1210-1219.
- [6] Ruckebusch C, Blanchet L. Robust regression methods for spectroscopic data analysis: A review [J]. Journal of Chemometrics,2023,37 (5):e3480.



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>





大学物理热学视角下高中物理热学板块研究

许佳奕¹, 郑洋昇²

1. 广东机电职业技术学院, 广东广州, 510550; 2. 广东工商职业技术大学, 广东肇庆, 526020

摘要: 当前高中物理的热学部分, 存在知识点讲得太简化, 思考层面不够深入, 和大学热学内容衔接不上等问题。针对这些问题, 本文以大学热学的完整知识逻辑为参考角度, 结合对比研究、实际调查和教学实践三种方法, 从知识体系、数学工具、思考方式三个方面, 分析了高中和大学热学在层次上的不同, 也找出了高中热学教学里存在的认识局限和能力不足。研究发现, 高中热学里没有重点讲理想模型的适用范围, 统计物理的相关思路, 还有过程量和状态量的根本区别。这些内容的弱化处理, 是学生上大学后学不好热学的主要原因。根据这一结论, 本文提出了分层次推进知识点学习, 提前渗透相关思考方法的高中热学教学改进思路。还围绕“理想气体压强的微观解释”这一内容, 开展了教学实践来验证思路的效果。结果显示, 这种教学改进方式, 能让学生更深入地理解热学知识的根本含义, 也能提高学生的科学推理能力和用微观角度解释现象的能力。

关键词: 大学热学; 高中物理热学; 认识提升; 教学过渡; 核心素养

Research on the Thermology Section of High School Physics from the Perspective of Thermology of College Physics

Jiayi Xu¹, Yangsheng Zheng²

1. Guangdong Mechanical & Electrical Polytechnic, Guangzhou Guangdong 510550, China;

2. Guangdong Mechanical & Electrical Polytechnic, Zhaoqing Guangdong 526020, China

Abstract: In the realm of high school physics, the thermology section often presents issues such as oversimplified explanations, lack of depth in reasoning, and inadequate alignment with university-level thermology. This study addresses these challenges by adopting the comprehensive knowledge framework of university thermodynamics, utilizing comparative analysis, empirical investigation, and pedagogical application to examine the disparities between high school and university thermodynamics in terms of knowledge structure, mathematical techniques, and cognitive approaches. The research reveals deficiencies in high school thermology instruction, particularly the neglect of practical applications of ideal models, concepts from statistical physics, and distinctions between process and state variables, which significantly hinders students' academic performance at the university level. Consequently, a hierarchical learning approach and early introduction of relevant cognitive strategies are proposed to enhance high school thermology education. A teaching intervention focusing on the "microscopic interpretation of ideal gas pressure" was conducted to validate the proposed instructional enhancement. The results demonstrate that this pedagogical enhancement approach facilitates students in achieving a more profound comprehension of the core concepts in thermology, while also boosting their scientific reasoning skills and their capacity to elucidate phenomena from a microscopic vantage point.

Keywords: University Thermology; High School Physics Thermology; Cognitive enhancement; Teaching transition; Core literacy

1 引言

物理学是一门基础学科，它有严谨的逻辑体系，也有分层次的认识结构。不同学习阶段的物理教学，既有相对独立的内容，也有内在的逻辑联系。热学是物理学的四大分支之一，它能把肉眼可见的宏观现象和分子层面的微观规律联系起来。不管是高中物理还是大学物理的课程里，热学都占着很重要的位置。这些年我国新高考改革一直在推进，高中物理课程开始以培养核心素养为目标，也更看重学科的根本内容和思考方法的培养。但因为应试教育的影响，还有不同学段的教学定位不一样，高中热学的内容深度和思考广度，和大学热学比起来还是有比较明显的差距。很多研究都显示，刚上大学的理工科学生，学大学物理里的热学内容时，普遍会遇到不少问题。比如对知识点理解得不透彻，用不好相关的数学工具，也很难转变思考问题的方式。这种情况不仅会影响大学物理的教学效果，也能反过来反映出，高中热学教学在设计认识提升的内容上，还存在不少欠缺的地方。

本文站在大学热学的学科角度，以认识提升理论和最近发展区理论为依据，系统整理了大学和高中热学在知识体系、数学工具、思考方法上的层次差别。找出高中热学教学里的认识局限和主要问题，再搭建起围绕学科根本内容的高中热学教学优化框架，最后通过教学实践验证这个框架的实际效果。本文的创新点主要有三个。一是打破了过去“大学教学适应高中基础”的研究模式，反过来用大学热学的完整知识逻辑做参考，重新设计高中热学里认识提升的路径。二是抓住热学学科最主要的特点也就是统计思想，给出了在高中阶段提前渗透统计思考方式的具体做法，补上了现有研究在思考方法过渡上的空缺。三是搭建起知识点、思考方法、素养培养三者结合的教学优化体系，给一线的高中物理老师提供能直接用的教学方案。

2 大学和高中热学在知识逻辑上的层次差别

热学的发展遵循“从现象到本质、从宏观到微观、从定性到定量”的认知规律，高中热学与大学热学分别处于这一认知链条的不同阶段，二者在知识体系的构建逻辑、数学工具的应用方式、思考方法的核心特征上均存在显著的层次差别，这种差别是学段过渡不顺畅的本质根源。

2.1 知识体系：从总结现象到用基本假设推导结论的层次提升

高中物理里的热学内容，主要从认识现象入手^[1]。一般是先结合生活经验，再通过实验观察现象，最后总结出规律，走的是归纳总结的路子。它的知识体系主要分成三个部分。第一部分是分子动理论的基本观点，以物质的微观组成为基础，用定性的方式解释肉眼可见的热现象。第二部分是气体实验定律和理想气体状态方程，教材用控制变量的方法，从实验里总结出等温、等容、等压过程的规律，再把这些规律推广到普通的理想气体上。第三部分是热力学的两大定律，以能量守恒和能量转化的方向性为主要内容，重点讲怎么用这些规律，怎么解释相关的现象。总的来说，高中热学的知识点有三个特。大多来自实际经验，内容比较零散，一般直接给出最终结论。知识点的定义，大多依据肉眼能感受到的属性，比如“温度是表示物体冷热程度的物理量”^[2]。规律也大多是从实验里直接总结出来的，很少讲到知识点背后的根本逻辑，还有相关模型的适用范围。

大学热学就不一样了，它把平衡态和描述状态的物理量作为研究的起点。搭建起了“先提出基本假设，再推导结论，最后验证规律”的完整理论体系。从宏观热力学的角度看，它从热力学第零定律出发给温度下定义，引入描述平衡态的物理量。再通过缓慢变化的平衡过程模型，建立起功、热量和内能之间的数量关系，形成适用范围很广的热力学第一定律表达式。之后还通过可逆循环和卡诺定

理,提出熵这个描述状态的物理量,给热力学第二定律做出定量的表述。从微观统计物理的角度看,它从理想气体的微观模型假设出发,用统计平均的方法推导出压强公式和温度公式^[3]。从微观的根本层面解释理想气体的宏观规律,还会进一步拓展到实际气体、麦克斯韦速率分布、能量均分定理这些内容。大学热学的知识体系有三个特点。有严谨的基本假设做支撑,内容成系统,会讲到知识的根本含义;每个知识点都有严格的定义和适用条件,每条规律都有清晰的推导过程,能把宏观的规律和微观的本质统一起来。

拿“理想气体”这个知识点举例子,高中教材只把它定义成“在任何温度、任何压强下都遵守气体实验定律的气体”。也只是简单提了微观模型的两个特点,也就是分子之间没有相互作用力,分子本身的大小可以忽略不计^[4]。但这个模型的适用条件比如低压高温的环境,模型抽象出来的物理本质,还有实际气体和理想气体的差别这些内容,教材都没有提到。大学热学就不一样了,它从宏观和微观两个角度给出了严格的定义。从宏观上说,严格符合 $pV = \nu RT$ 这个状态方程的气体就是理想气体。从微观上说,满足三个假设的气体才是理想气体。分子可以看成质点,除了碰撞之外没有相互作用,碰撞过程是完全弹性碰撞^[5]。大学热学还会通过范德华方程,修正实际气体和理想气体的偏差;明确理想气体模型的适用范围,还有它作为近似模型的价值。这两种定义的差别,根本上是“只描述现象的知识点”和“讲清根本含义的知识点”之间的层次差别。

2.2 数学工具:从常量代数到统计和微积分的方式转变

数学是表达物理规律的工具,不同学习阶段热学内容的深度差别,直接就能从数学工具的使用方式上看出来。高中热学主要用初等代数作为数学工具,所有的定量计算,都围绕固定的数值和比例关系展开。举个例子,气体实验定律的应用,大多

是计算两个状态之间的比例关系。热力学第一定律的计算,也只限于等容、等压、等温这些特殊的过程。功的计算,也只有恒压做功 $W = p \Delta V$ 这种简单的形式。高中热学特意避开了变化的过程和积分运算,所有的物理过程,都被简化成“初末两个状态的固定数值关系”。时间长了,学生就会形成“热学计算就是套公式、找比例”的固定想法。

大学热学就全面用上了微积分和统计数学的工具,能对任意过程和微观系统做定量的描述。在宏观热力学里,缓慢平衡过程的功,被定义成体积功的积分形式 $W = \int_{V_1}^{V_2} p \mathrm{d}V$,热量和内能的变化,也通过对过程积分来计算。热力学第一定律还会用微分的形式 $\mathrm{d}U = \mathrm{d}Q + \mathrm{d}W$ 来表示,能用到任意微小的过程里^[6]。研究状态函数的性质时,还会用到偏导数来分析,比如内能随体积、温度的变化速率。在微观统计物理里,会用统计平均的方法,计算分子的平均动能、平均碰撞频率、平均自由程这些物理量。还会引入速率分布函数,描述分子速率的分布规律,用概率统计的方式,说明微观运动带来的宏观效果。数学工具的升级,让大学热学能处理更复杂的实际过程,也能总结出更普遍的物理规律。

数学工具的差别,不只是计算难度变大了,更是思考物理问题的方式发生了转变。高中里“从状态到状态”的比例计算,本质上是静态的、分开来看的思考方式。大学里的“过程积分”和“统计平均”,本质上是动态的、连续的、带概率性的思考方式。如果学生在高中阶段,完全没接触过微元的思路和统计的思路。上了大学之后,就会同时面临数学工具用不好,物理思考方式转不过来的双重问题。

2.3 思考方法:从靠经验总结到宏观微观结合的层次提升

高中热学最主要的思考方法,就是靠经验总结归纳。也就是通过观察大量实验现象和生活经验,总结出物理规律。这种思考过程有三个特点,比较具象,偏定性分析,角度比较单一。举个例子,通

过布朗运动实验，总结出分子在做无规则运动；通过水和酒精混合的实验，总结出分子之间有间隙。通过焦耳实验，总结出热力学第一定律。在解释微观现象的时候，高中热学大多拿“单个分子”做具象的类比，而不是对“大量分子”做统计分析。学生很容易把宏观的属性直接套到单个分子上，产生“单个分子有温度”“单个分子有内能”这类错误的认识。

大学热学就形成了“宏观推导加微观统计”的两种思考方式。从宏观层面来说，它把热力学的基本定律作为基础，通过逻辑推导得出各种过程的规律。有很严谨的逻辑性，适用范围也很广。从微观层面来说，它把“大量分子的统计平均”作为核心思路。认为宏观的热现象，是大量微观粒子做无规则运动的集体表现。单个分子的运动符合力学规律，但大量分子合在一起的整体行为，就符合统计规律了。这种把宏观和微观统一起来的思考方式，是热学和力学、电磁学不一样的主要特点；也是大学热学对学生思考能力的主要要求。

拿“气体压强”举例子，高中教材只是定性地说明“气体压强是大量气体分子频繁碰撞容器壁产生的”，学生只能形成模糊的具象认识，没法理解压强在定量层面的根本含义。大学热学就不一样了，它通过建立微观模型，用动量定理和统计平均的方法，严格推导出理想气体的压强公式 $p = \frac{2}{3} n \bar{\varepsilon_k}$ ；明确了压强的微观本质，也就是单位时间内，单位面积的容器壁受到的分子平均冲量，是一个统计出来的平均数值。这个推导过程，既体现了力学规律在微观层面的应用，也体现了统计思路在宏观层面的整合，是宏观微观统一思考方式的典型例子。

3 从大学热学角度看高中热学教学的问题

从大学热学的知识逻辑反过来观察高中热学教学，能发现现在的高中热学教学，在知识点理解、方法应用、思考能力培养上，存在一系列结构性的

问题。这些问题不仅限制了学生核心素养的发展，也造成了不同学段教学过渡不顺畅的情况。为了准确找出这些问题，本次研究结合文献分析和实际调查，对某中学高二年级的2个平行班，一共86名学生，做了热学认识水平的问卷调查。调查的内容，包括对知识点根本含义的理解、对过程量的辨别、用微观角度解释现象的能力这三个方面。

3.1 知识点简化带来的认识局限：模型适用范围和根本属性讲不清楚

高中热学为了降低学习的难度，对很多物理知识点都做了简化处理。这种简化虽然让学生更容易入门，但也让学生对知识的根本含义认识不到位。这种问题主要体现在两个方面。一是理想模型的适用范围讲得不清楚，二是学生对知识的根本属性理解有偏差。

调查的结果显示，只有29.1%的学生，能准确说出理想气体模型的适用条件。超过60%的学生都觉得“理想气体是一种真实存在的特殊气体”。这能反映出，学生对物理模型的抽象本质认识得不够。高中教材在介绍理想气体模型的时候，只强调了它“遵守实验定律”的宏观特点。没有明确说明，这是为了简化研究才建立起来的理想化模型，也没解释为什么在低压高温的环境下，实际气体可以近似看成理想气体。这种处理方式，会让学生把物理模型当成客观存在的东西。没法理解模型方法在物理学里的重要价值。等学生上了大学，碰到范德华方程，还有实际气体的偏差时，就很难建立起修正模型的思考方式。

在知识的根本属性方面，调查显示有72.1%的学生，都认同“温度越高，单个分子的运动速度就越快”这种说法。直接把宏观的温度属性，套到了单个分子身上。出现这种错误认识的根源在于，高中教材把温度定义成“物体的冷热程度”；虽然也提到了“温度是分子平均动能的标志”，但没有强调“平均”这两个字的统计意义，也没明确说明温度是大量分子的集体属性。学生还是习惯用力学

里“单个物体”的思考方式，去理解热学的知识点。没有建立起热学特有的统计角度的思考方式，这也是学生上大学后，很难理解统计物理规律的主要障碍。

3.2 定量分析只看重初末状态的问题：状态量和过程量分不清楚

高中热学的定量计算，都以“初末两个状态”为核心，重点关注描述状态的物理量之间的关系，对过程的分析做得非常简化。这就导致学生形成了只看分开状态的定量分析思维，普遍存在分不清状态量和过程量的问题。调查结果显示，有68.6%的学生，都觉得“物体含有热量”这种说法是对的，没法区分作为状态量的内能，和作为过程量的热量。

高中教材在讲热力学第一定律的时候，虽然也区分了内能、热量、功这三个物理量。但因为所有的计算，都只限于特殊过程的初末状态，学生并没有真正理解“过程量”的物理本质。举个例子，在等容过程里，热量等于内能的变化量；在等压过程里，热量等于焓的变化量。学生只要记住结论套公式就行，不用去思考“为什么热量和过程有关系”。长期做这种只看初末状态的练习，会让学生形成“热量是物体本身就有的属性”的错误认识。等学生上了大学，碰到任意缓慢平衡过程的热量计算时，往往没法理解，为什么初末状态一样，不同过程里的热量和功会不一样，进而对热力学第一定律的普遍适用性产生疑惑。

此外，高中热学里功的计算，只限定在恒压过程里，学生没法理解“体积功”的普遍含义，也没有建立起“过程累积”的微元思路。等大学物理里出现积分形式的功的表达式时，学生不仅会碰到数学工具不会用的障碍，还会碰到理解物理意义的障碍，没法把积分运算和“过程中力的累积效果”联系起来。

3.3 微观解释内容零散的问题：统计物理的思路没有体现出来

热学最有价值的地方，就是通过微观粒子的运动来解释宏观现象，而统计的思路，就是连接微观和宏观的桥梁。但现在高中热学里的微观解释，内容都很零散，没有成体系，统计物理的相关思路严重缺失，学生只能记住零散的微观结论，没法形成系统的微观解释逻辑。

高中里分子动理论的内容，被拆成了三个独立的知识点，分别是物质由大量分子组成，分子做无规则运动，分子之间存在相互作用力。各个知识点之间缺少逻辑联系，更没有上升到“统计规律”的层面。举个例子，讲分子速率的时候，只是提到“分子的速率有大有小，做无规则运动”。没有引入速率分布的概念，学生也就没法理解“大量分子的速率是符合统计规律的”。讲气体压强的时候，也只是定性地提到“碰撞产生压强”。没有涉及单位时间的碰撞次数、平均冲量这些统计平均的核心内容，学生也就没法从定量的层面，理解压强的微观本质。

统计思路的缺失，让高中热学的微观解释，停留在“定性打比方”的层面；没法形成严谨的科学推理。学生在解释热现象的时候，只能机械地背“分子无规则运动”这类现成的话。没法用微观模型做逻辑推导，这既不利于培养学生的科学思维素养，也给大学热学的学习埋下了思考方式上的障碍。

3.4 教学偏向应试的问题：探究能力和自主思考能力不够

除了内容层面的局限，高中热学教学偏向应试的特点，也让学段过渡不顺畅的问题变得更严重。李少梅的研究指出，高中物理教学往往以高考为目标，侧重让学生记忆知识点，做大量练习题，却忽视了培养学生的自主学习能力、探究能力和批判性思考能力。在热学教学里，这个问题表现得尤其明显。老师往往直接把知识点和规律讲给学生，然后通过大量的习题训练，让学生熟练掌握解题技巧。学生只是被动地接受结论，缺少主动探究和深入思

考的过程。

调查显示,只有23.3%的学生,在学习热学的时候,主动思考过一些根本性的问题。比如为什么理想气体要忽略分子的体积,为什么温度是平均动能的标志。大部分学生的学习目标,都停留在“会做题、考高分”的层面。这种偏向应试的学习方式,会让学生上了大学之后,面对大学物理里更深入的理论推导,还有更开放的探究问题时,普遍表现出自主学习能力不够,深入思考能力不足的问题。

4 从大学热学角度改进高中热学教学的方法

针对上面提到的这些问题,本文以大学热学的知识逻辑为参考,依据认识提升理论和最近发展区理论,提出了三个方面的改进思路。分别是分层次推进知识点学习,提前渗透相关思考方法,培养学生的综合素养。这个思路并不是把大学热学的内容简单下放到高中,而是在高中课程标准的框架里,以学科的根本内容为导向,重新设计教学内容的呈现方式和思考深度。这样既能提升高中热学的教学质量,也能让不同学段的教学过渡得更自然。

4.1 推进知识点分层学习:参考大学知识逻辑重新设计知识层次

知识点是学科体系的基础,做好热学知识点的分层次提升,是做好高中和大学热学教学过渡的核心。老师应该按照“描述现象,抽象出模型,揭示根本含义”的认识层次,重新搭建高中热学的知识体系,明确每个知识点的发展层次和提升方向,让学生在高中阶段,就能建立起符合学科逻辑的知识框架。

首先,要加强物理模型的方法教学,明确模型的适用范围。讲理想气体模型的时候,不能只把模型的内容告诉学生。还要讲清楚为什么要建立理想气体模型,模型的抽象过程是怎样的,模型在什么条件下才能用。举个例子,可以给学生展示不同压强下,实际气体的 $p-V$ 曲线;让学生直观地看

到,低压下实际气体和理想气体的规律是一致的,高压下就会出现偏差。这样学生就能理解,理想气体模型作为近似模型的价值,还有它的适用条件。这种教学方式,不仅让学生更深入地理解知识点,还能培养学生构建模型的素养,和大学热学里的模型思考方式形成很好的过渡。

其次,要深化知识点的根本属性,渗透统计方面的含义。对于温度、内能、压强这些核心知识点,要在高中教材内容的基础上,进一步讲清它们的统计本质。举个例子,讲温度和分子平均动能的关系时,要特别强调“平均”这两个字的含义。温度是大量分子做热运动的集体表现,对单个分子说温度是没有意义的。分子的速率有大有小,温度升高的时候,是分子的平均速率变大了,不是每个分子的速率都变大了。还可以用模拟动画,展示分子速率的分布情况。让学生直观地理解统计平均的含义,避免把宏观的属性简单套到单个分子上。

最后,要梳理清楚各个知识点之间的逻辑联系,搭建起成体系的知识结构。高中热学教学,要打破知识点零散呈现的情况。以“从宏观现象到微观本质”为主线,把分子动理论、气体定律、热力学定律串成一个有机的整体。举个例子,可以从分子动理论的微观假设出发,推导出气体压强的微观解释,再进一步解释气体实验定律,最后上升到热力学定律的能量规律。这种通过推导呈现知识的方式,和大学热学的逻辑体系是一致的,能帮助学生建立起成体系的学科思考方式,而不是零散地记忆知识点。

4.2 提前渗透思考方法:让学生提前接触统计思想和微元法

数学方法和物理思考方式的过渡,是不同学段教学过渡的难点,也是关键点。针对高中热学数学工具单一,统计思路缺失的问题,老师应该在不出超课程大纲的前提下,提前给学生渗透微元法和统计思想。让学生提前感受大学热学的核心思考方法,实现思考方式的平缓过渡。

一方面,要提前渗透微元的思路,让学生建立起过程累积的认识。微元法是大学物理里用微积分的核心思路,它的本质就是把变化的量看成不变的,把整体拆成小部分来看。这个思路完全可以在高中阶段,用初等代数的方式渗透给学生。举个例子,在推导出恒压做功 $W = p \Delta V$ 的基础上,可以拓展到变压过程的做功;把整个过程分成无数个微小的体积变化 ΔV ,在每一个微小的过程里,压强可以近似看成不变的,这一小段的功就是 $\Delta W = p \Delta V$,总功就是所有微小功加起来的和。通过这种“分割,近似,求和”的讲解,让学生体会微元法的核心思路;为大学阶段的积分学习,做好思维方式上的准备。

再举个例子,推导气体压强的微观公式的时候,可以把微元法和统计思想结合起来用。先在容器壁上取一个微小的面积 ΔS ,研究一个分子碰撞器壁的冲量,再计算 Δt 时间里,有多少个分子会碰到这个微小的面积上,最后把所有冲量加起来得到总冲量,进而推导出压强公式^[7]。整个推导过程,只用到动量定理和代数运算,不涉及微积分。但充分体现了微元法和统计平均的思路,既能让学生更深入地理解压强的微观本质,也能提前渗透大学热学的核心方法。

另一方面,要定性地介绍统计分布的规律,帮学生建立起统计的思考方式。统计思想是热学和其他物理分支不一样的核心特点,也是学生最难适应的思考方式。老师可以在高中阶段,通过定性介绍的方式,让学生初步建立起统计的观念。举个例子,讲分子无规则运动的时候,可以定性地介绍一下麦克斯韦速率分布律的内容/大量分子的速率,呈现出中间数量多、两头数量少的分布规律。温度升高的时候,分布曲线会向速率大的方向移动,最可能出现的速率也会变大。还可以通过图像,展示不同温度下的速率分布曲线,让学生直观地理解统计分布的含义,明白“分子平均动能”是大量分子的统计结果,不是单个分子的属性。

除此之外,还可以用生活里的统计现象,类比热学里的统计规律。比如用班级考试成绩的分布,类比分子速率的分布,用平均成绩类比分子的平均动能。这样能帮学生理解统计平均的物理意义,降低思考的难度。这种定性的渗透,不会增加学生的计算负担,却能有效补上高中热学里统计思想的空缺,为大学统计物理的学习,做好思维方式上的准备。

4.3 落实素养培养:围绕学科根本内容培养科学推理能力

物理核心素养里的科学思维,核心就是科学推理和论证的能力。大学热学对学生的演绎推理能力、逻辑论证能力,都提出了更高的要求。所以高中热学教学,要跳出靠刷题提高分数的应试思路,围绕学科的根本内容,重点培养学生的科学推理能力。

第一,要设计一些开放性的过程分析问题,打破只能分析特殊过程的思维局限。针对高中热学只讲特殊过程的问题,老师可以设计一些非特殊过程的定性分析问题,引导学生用热力学第一定律做逻辑推理。举个例子,可以提出这样的问题:一定质量的理想气体,体积膨胀的同时温度也升高了,分析这个过程里气体是吸热还是放热^[8]。这类问题没有固定的公式可以套,需要学生综合功、内能变化和热量的关系来推理,能有效培养学生的演绎推理能力,打破“只有特殊过程才能分析”的固定想法。

第二,要开展探究式的教学,培养学生的科学论证能力。老师可以选热学里的核心问题,组织学生开展探究学习。举个例子,围绕“影响气体压强的因素”这个问题,可以让学生先从微观的角度提出猜想,再设计实验验证自己的猜想,最后结合微观模型做推理和论证。整个探究的过程里,学生不仅能掌握知识,还能体验“提出猜想,验证猜想,推理论证”的科学研究过程;提升自己的科学探究和论证能力。

最后，要引入物理学史的内容，深化学生对学科根本内容的理解。热学的发展历史里，藏着很多丰富的科学思想和科学方法。比如热力学定律的建立过程，分子动理论的发展历程，熵概念的提出等等。老师可以在教学里加入相关的物理学史内容，让学生了解热学知识点的来龙去脉，体会科学发展的曲折性和逻辑性。举个例子，可以介绍“热质说”和“热动说”的争论，帮学生理解热量的本质，深化对能量守恒定律的认识，同时也能培养学

生的批判性思考能力。

5 结论

本文以大学热学的知识逻辑为参考角度，系统对比了高中和大学热学在知识体系、数学工具、思考方法上的层次差别，找出了现在高中热学教学里存在的问题，也提出了有针对性的教学改进思路。从大学热学的角度反过来审视高中热学教学，不只是解决不同学段教学过渡问题的有效方法，更是提升高中物理教学质量，落实核心素养培养的必然要求。

参考文献

[1] 黄顺,韦冬平,刘海丹,等.民族院校大学物理与中学物理教育衔接问题研究[J].物理与工程,2017,27(4):60-65.

[2] 金美芳,马晓栋,肖化.国内热学类教材中两种温度定义的是与非[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2011,30(1):109-111.

[3] 马仕彪.理想气体压强微观意义的探讨[J].物理之友,2023,39(3):45-47.

[4] 诸莉莉.高中物理热学知识学习结果的测试与分析[D].苏州:苏州大学,2014.

[5] 魏巍.采用含时量子散射理论研究H+S2反应的动力学性质[D].济南:山东师范大学,2014.

[6] 刘丹华,宋运涛.麦克斯韦关系的数学推导及其应用[J].山东师范大学学报(自然科学版),2003(2):97-99.

[7] 唐铸文.重力场中的理想气体压强公式[J].荆门职业技术学院学报,2003(3):28-31.

[8] 魏茂辉.用热力学第一定律定性分析理想气体状态变化过程的方法[J].新疆石油教育学院学报,1990(1):59-61.



Copyright © 2025 by author(s) and Quest Press Limited.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>





长江文库

综合性学术知识服务平台



· 长江文库 · 智汇知识 · 赋能学术

期刊·图书·古籍·学位论文·地方志·会议文献
覆盖全学科 · 服务全机构



「长江文库」一个汇聚海量学术资源的综合性知识服务平台。集期刊、古籍、地方志、图书、年鉴、会议论文、报纸于一体，覆盖自然科学、农业科学、医药科学、工程与技术科学、人文与社会科学五大学科。从专业出版服务到公共知识传播，我们连接历史与未来，服务全球学术研究与文化传承。

访问官网：www.cjwk.cn



龙源网APP
「名刊甄选」套餐会员



读杂志，就上龙源网

可回溯往期杂志，还可阅享1000多种精品期刊数字内容

【限时活动】订阅「龙源网」app「名刊甄选套餐」年会员，可专享“**第二年会费1元**”

【套餐介绍】套餐内囊括180+种热门杂志

详细杂志清单可扫描右侧二维码了解

【费用说明】首年会费198元/年，第二年1元，合计199元

扫码立即订阅



龙源网阅读卡专门针对机构以及企业用户采购使用。内含付费阅读余额可购买龙源期刊网网页端以及移动端相关知识付费服务内容。并享受企业用户采购折扣价。

订卡企业微信

