

大学物理力学中状态量与过程量关系的探讨

母雪玲^{1*}, 汪鹏², 杨维¹, 朱晓玲¹

¹成都大学电子信息与电气工程学院, 四川 成都

²四川省大邑中学, 四川 成都

收稿日期: 2026年2月2日; 录用日期: 2026年3月9日; 发布日期: 2026年3月19日

摘要

大学物理是理工科专业的重要基础课程, 其教学内容紧密联系实际, 涉及大量变量问题。在力学教学中, 正确理解状态量与过程量的关系对于学生掌握物理概念至关重要。文章以大学物理力学中的状态量与过程量为切入点, 通过分析其定义、特性及相互关系, 探讨如何在教学中引导学生准确区分和理解这两类物理量。同时, 结合矢量分析和微积分工具, 从数学推导与物理思想相结合的角度, 阐述如何在教学实践中帮助学生更好地把握状态量与过程量的内涵, 从而提升力学教学效果, 为学生后续学习奠定坚实基础。

关键词

大学物理, 力学, 状态量, 过程量

An Investigation into the Relationship between State Variables and Process Variables in University Physics Mechanics

Xueling Mu^{1*}, Peng Wang², Wei Yang¹, Xiaoling Zhu¹

¹School of Electronic Information and Electrical Engineering, Chengdu University, Chengdu Sichuan

²Sichuan Dayi Middle School, Chengdu Sichuan

Received: February 2, 2026; accepted: March 9, 2026; published: March 19, 2026

Abstract

University physics serves as a crucial foundational course for science and engineering majors, with its curriculum closely tied to practical applications and involving numerous variable problems. In

*通讯作者。

文章引用: 母雪玲, 汪鹏, 杨维, 朱晓玲. 大学物理力学中状态量与过程量关系的探讨[J]. 创新教育研究, 2026, 14(3): 347-354. DOI: 10.12677/ces.2026.143205

mechanics instruction, accurately grasping the relationship between state variables and process variables is essential for students to master physical concepts. This paper focuses on state variables and process variables in university physics mechanics, analyzing their definitions, characteristics, and interrelationships to explore how to guide students in distinguishing and understanding these two types of physical quantities during teaching. Furthermore, by integrating vector analysis and calculus tools, this paper explains how to help students better grasp the essence of state variables and process variables in teaching practice from the perspective of combining mathematical derivation with physical intuition. This approach aims to enhance the effectiveness of mechanics instruction and lay a solid foundation for students' subsequent learning.

Keywords

University Physics, Mechanics, State Variables, Process Variables

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

新工科建设背景下, 大学物理作为理工科专业核心基础课程, 其教学质量直接影响学生科学思维与工程实践能力的培养, 而力学作为大学物理的开篇文章, 是衔接中学物理与大学物理的关键纽带。力学是一门基础学科, 同时又是一门技术学科, 是构成大学物理通识课的重要内容[1]。当前教学中, 学生普遍存在对状态量与过程量的定义、特性及内在关联理解模糊的问题, 导致难以深入把握力学定理的实质, 限制了其对复杂力学问题的解决能力。因此, 系统探讨二者关系对厘清力学规律本质、优化教学策略、提升学生物理核心素养具有重要现实意义, 也能为后续热学、电磁学等模块的学习奠定坚实基础。本文以动量定理、动能定理、定轴转动角动量定理为核心, 结合矢量分析与微积分工具, 从定义辨析、定理关联、实例应用三个层面展开研究, 明确两类物理量的区别与联系, 进而提出针对性的教学建议, 为力学教学实践提供参考。

2. 定义辨析: 状态量与过程量的核心内涵与特性区分

2.1. 基本定义界定

物理概念是物理教学的核心内容及重要组成部分, 对物理概念和规律的掌握有利于促进物理学科核心素养的发展[2]。描述物理现象或物理过程的物理量, 可以分为两大类: 状态量和过程量。状态量是与某一瞬时刻或位置对应的物理量, 仅反映该时刻(位置)物体的状态, 不依赖于时间或空间的累积, 如力学中某一时刻物体的速度、加速度、动量、动能、角动量, 热学中气体的压强、体积、温度、静电场中某点的势能等。过程量是与时间间隔或空间间隔对应的物理量, 反映物体状态的变化过程, 其大小取决于具体经历的过程, 如平均速度、位移、功、冲量等。尽管大学物理中的很多力学概念和定律, 学生在中学已经学过, 但是中学描述的问题和现象很多都是实际情况的理想近似。因此, 在大学物理中要让学生了解力学概念的最一般表达和应用, 特别是物理概念和定律的微积分表述和矢量运算[3]。

2.2. 核心特性对比

状态量具有瞬时性、唯一性, 同一状态下数值确定; 过程量具有累积性, 有些还具有路径依赖性,

需通过完整过程方可量化,二者是描述力学现象的两类核心物理量,明确其定义是理解力学规律的基础。通过科学组织大学物理课程教学,不仅可以帮助学生深刻理解物理学知识,掌握物理概念、原理和方法,也能为后续专业课程的学习打下坚实的基础[4]。

3. 定理关联: 三大力学定理中两类物理量的内在逻辑

3.1. 动量定理

首先分析单个物体(质点)的动量定理。一个质量为 m 的物体,受合外力 \vec{F} 的作用,根据牛顿第二定律得

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (1)$$

牛顿定律两端力和加速度都是状态量,某个时刻的力和加速度一一对应。对于宏观低速运动的物体,其质量 m 是常量,因此,式(1)可写成

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (2)$$

上式中 $\vec{p} = m\vec{v}$ 是物体的动量,描述了物体在某一时刻的运动状态,是一个状态量,其方向和该时刻速度 \vec{v} 的方向相同。式(2)其实也就是牛顿第二定律的微分形式。将式(2)左右两边同乘 dt , 则有

$$\vec{F}dt = d(m\vec{v}) = d\vec{p} \quad (3)$$

其中 $\vec{F}dt$ 为力 \vec{F} 的元冲量。若力 \vec{F} 从 t_1 到 t_2 对物体持续作用,则对式(3)左右两边同时积分得

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \quad (4)$$

$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt$ 是力 \vec{F} 从 t_1 到 t_2 时间段内所有元冲量的矢量和,即冲量,反映了力对时间的积累效应,是过程量。式(4)就是动量定理的数学表达式,物体在运动过程中所受合外力的冲量等于该段时间内动量的变化量。动量定理给出了状态量动量和过程量冲量之间的关系。

对于质点系,各质点间的相互作用内力为一对一对的作用力与反作用力,合力为零,因此质点系的动量定理为

$$\vec{I} = \sum \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}_i dt = \sum_i m_i \vec{v}_{i2} - \sum_i m_i \vec{v}_{i1} = \sum_i \vec{p}_{i2} - \sum_i \vec{p}_{i1} \quad (5)$$

在某段时间内,质点系所受所有外力冲量的矢量和,等于同一时间内质点系总动量的变化量;同样,定理也给出了系统状态量动量和过程量冲量之间的关系。需要注意的是,因为内力之和为零,内力的冲量之和也就为零,因此质点系的总冲量只和系统所受的合外力有关。所有内力尽管对系统的总动量没有贡献,但是每一个单独内力的冲量不为零,所以内力可以重新分配总动量,从而改变系统内单个质点的动量。教师在讲解时,可以通过生动的实例,来加深同学们对定理的理解。例如,冰面上静止站着的两人,系统的初始总动量为零,他们相互推开对方后,各自的动量改变了,但是系统的总动量依然为零。这就是因为他们两个人之间的相互作用力属于内力,尽管改变了每个人的动量,但是不改变系统的总动量。

3.2. 动能定理

如图1所示,一个质量为 m 的物体,在变力 \vec{F} 的作用下,从A点运动到B点,此过程中,变力 \vec{F} 对曲线运动物体做的功为

$$W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B F \cos \theta |d\vec{r}| = \int_A^B F \cos \theta ds \quad (6)$$

根据牛顿第二定律,

$$F \cos \theta = F_t = ma_t = m \frac{dv}{dt} \quad (7)$$

上式即牛顿第二定律在切线方向量的分量式, 将式(7)代入式(6)得

$$W = \int_A^B m \frac{dv}{dt} ds \int_{v_1}^{v_2} mvdv = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = E_{k2} - E_{k1} \quad (8)$$

式中 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 为质点在某时刻的动能, 是状态量。式(8)即动能定理, 在某一过程中, 作用在质点上合外力的功, 等于质点动能的变化量。积分就体现了功是力在整个过程中对空间的积累效应, 积分含义的理解对于学好大学物理、用好高等数学工具至关重要[5]。功一般和路径有关, 动能定理给出了状态量动能和过程量功之间的关系。

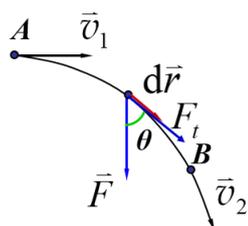


Figure 1. Work of a force
图 1. 力的功

对于质点系, 将系统内质点受到的力分为内力和外力, 对第 i 个质点运用动能定理, 有

$$W = W_{i外} + W_{i内} = \frac{1}{2}m_i v_{i2}^2 - \frac{1}{2}m_i v_{i1}^2 = E_{ki2} - E_{ki1} \quad (9)$$

对于整个质点系, 有

$$W = \sum_i W_{i外} + \sum_i W_{i内} = \sum_i \frac{1}{2}m_i v_{i2}^2 - \sum_i \frac{1}{2}m_i v_{i1}^2 = E_{k2} - E_{k1} \quad (10)$$

对于质点系而言, 动能定理为作用于系统一切外力的功与内力的功(过程量)的代数和, 等于质点系总动能(状态量)的增量。教师在讲授时可以联系力对时间积累效应和空间累积效应讲解, 加深学生对动量定理和动能定理的区分与理解。一对作用力和反作用力, 它们对物体的作用时间都相同, 所以对时间的累积效应冲量之和为零。但是每一个物体的位移不一定一样, 也就是对空间的作用量不一样, 因此这一对力对空间的累积效应做功之和可能不为零。所以任意一对内力做功之和并不一定为零, 内力可以改变系统的总动能, 尽管他们不改变系统的总动量。

3.3. 定轴转动刚体的角动量定理

一个刚体绕着 z 轴做定轴转动, 根据定轴转动定律得

$$M_z = J\alpha = J \frac{d\omega}{dt} \quad (11)$$

定轴转动定律两端力矩和角加速度都是状态量, 对于定轴转动的刚体, 其转动惯量 J 为一常量, 因此, 式(11)可写成

$$M_z = \frac{d(J\omega)}{dt} = \frac{d(L_z)}{dt} \quad (12)$$

式中 $L_z = J\omega$ 为刚体对定轴 z 的角动量，是描述刚体运动的状态量。式(12)左右两边同乘 dt ，然后积分有

$$\int_{t_1}^{t_2} M_z dt = \int_{\omega_1}^{\omega_2} J\omega = J\omega_2 - J\omega_1 \quad (13)$$

上式中左边是 t_1 到 t_2 时间外力矩对定轴的冲量矩之和，右边是刚体角动量的变化。刚体所受合外力矩的冲量矩等于这段时间内刚体角动量的变化量即定轴转动刚体的角动量定理，反映了力矩对时间的累积效果。角动量定理将过程量冲量矩与状态量角动量联系起来。我们注意到，因为刚体的内力矩之和为零，内力矩的冲量矩也就为零，所以只有外力矩的冲量矩才可能改变刚体的角动量，内力的冲量矩不能改变刚体的角动量。

4. 实例应用：基于两类物理量关系的力学问题求解

以求解均匀柔软绳子脱离桌面的速度为实例，分别运用牛顿定律、动能定理、机械能守恒定律三种方法，对比不同解法中对状态量(动能、速度)与过程量(功)的运用逻辑。

例：一粗细均匀且不可伸长的柔软绳子，质量为 m ，一部分置于光滑水平桌面上，另一部分自桌边下垂，绳全长为 l 。开始时，下垂部分长为 b ，初速为零。求整个绳全部离开桌面时瞬间的速度是多少？

解法一：运用牛顿定律求解

将绳子分成桌上 AB 和下垂的 BC 两段，建立如图 2 所示的坐标系，若某时刻绳子下垂的长度为 x ，则桌上绳子的长度为 $l-x$ 。受力分析由图 2 可知，AB 段受重力 $m_1\bar{g}$ 、支持力 \bar{N}_1 和拉力 \bar{T}_1 ，BC 段受重力 $m_2\bar{g}$ 和拉力 \bar{T}_2 。设 AB 段和 BC 段的质量分别为 m_1 和 m_2 ，加速度分别为 \bar{a}_1 和 \bar{a}_2 ，根据牛顿第二定律，对 AB 段和 BC 段列方程：

$$T_1 = m_1 a_1 = m_1 \frac{dv_1}{dt} \quad (14)$$

$$m_2 g - T_2 = m_2 a_2 = m_2 \frac{dv_2}{dt} \quad (15)$$

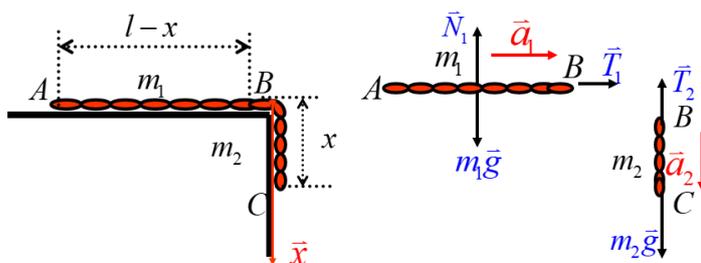


Figure 2. Sliding rope
图 2. 下落的绳子

因绳子不可伸长，因此两段绳子加速度大小相等，即

$$\frac{dv_1}{dt} = \frac{dv_2}{dt} = \frac{dv}{dt} \quad (16)$$

两段绳子受的拉力是一对作用力和反作用力，根据牛顿第三定律有 $T_1 = T_2$ 。

绳子质量均匀分布，则两段绳子的质量分别为

$$m_1 = \frac{l-x}{l}m, m_2 = \frac{x}{l}m \quad (17)$$

联立以上各式可得

$$\frac{x}{l}g = \frac{dv}{dt} \quad (18)$$

对上式左右两边同乘 dx

$$\frac{x}{l}gdx = \frac{dv}{dt}dx = vdv \quad (19)$$

对上式积分

$$\int_b^l \frac{x}{l}gdx = \int_0^v vdv \quad (20)$$

解得

$$v = \sqrt{\frac{g}{l}(l^2 - b^2)} \quad (21)$$

即为整个绳全部离开桌面时瞬间时速度的大小，方向竖直向下。

解法二：运用动能定理求解

选整个绳子为研究对象，系统的功分为外力的功和内力的功：

$$W_{\text{外}} = W_{N_1} + W_{G_1} + W_{G_2}, W_{\text{内}} = W_{T_1} + W_{T_2} \quad (22)$$

其中，拉力 \vec{T}_1 对 AB 段绳子做正功，拉力 \vec{T}_2 对 BC 段绳子做负功，这一对拉力的总功为零，且支持力 \vec{N}_1 、重力 $m_1\vec{g}$ 、位移相互垂直，因此它们的功也为零，因此整个系统的总功即为重力 $m_2\vec{g}$ 的功

$$W = W_{G_2} = \int_b^l m_2 g dx = \int_b^l \frac{m}{l} x g dx = \frac{mg}{2l}(l^2 - b^2) \quad (23)$$

系统开始静止，因此初始动能为 $E_{k_1} = 0$ 。

假设末态整个绳全部离开桌面时的速度大小为 v ，则末态动能为 $E_{k_2} = \frac{1}{2}mv^2$ 。根据动能定理，系统外

力和内力做功的总和等于系统动能的增量得到

$$\frac{mg}{2l}(l^2 - b^2) = \frac{1}{2}mv^2 - 0 \quad (24)$$

同样可解得 $v = \sqrt{\frac{g}{l}(l^2 - b^2)}$ 。

解法三：运用功能原理(机械能守恒)求解

选整个绳子和地球为研究系统，这时外力只有支持力 \vec{N}_1 且做功为零，内力拉力 \vec{T}_1 和 \vec{T}_2 做功之和为零，整个系统只有保守内力 $m_2\vec{g}$ 做功，因此系统的机械能守恒。选取水平桌面处为重力势能零点，初态绳子静止，系统的动能为零，机械能是长为 b 的下垂段的重力势能

$$E_0 = E_{k_0} + E_{p_0} = 0 + \left(-m_2 g \frac{b}{2}\right) = -\frac{b}{l}mg \frac{b}{2} = -\frac{b^2}{2l}mg \quad (25)$$

末态绳子刚离开桌面时的机械能为动能和势能之和

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + \left(-mg \frac{l}{2}\right) \quad (26)$$

由机械能守恒，初末状态机械能相等

$$\frac{1}{2}mv^2 + \left(-mg \frac{l}{2}\right) = -\frac{b^2}{2l}mg \quad (27)$$

也可解得 $v = \sqrt{\frac{g}{l}(l^2 - b^2)}$ 。

对比三种解法可以发现，牛顿定律涉及力与加速度，方程两端均为瞬时量，解题时需要对其两端积分才能得到运动过程。而动能定理则一端为功(过程量)，另一端为动能改变(状态量)，仅需对力做功这一侧积分。若系统满足机械能守恒条件，则方程两端皆为状态量(动能与势能)，无需进行积分运算，直接利用始末状态量的变化即可求解。由此可见，在力学问题中，过程量的求解多和积分相关，所以处理问题时，尽量选用以状态量为基础的规律(如机械能守恒)，往往能简化计算过程，提高解题效率。

5. 教学建议

结合物理学科核心素养培养要求，围绕状态量与过程量的教学核心，针对一线课堂教学提出可落地的实操建议，助力学生建立系统物理观念、形成科学思维：

1) 分层构建概念认知，强化状态量与过程量的逻辑衔接。从中学至大学阶段，学生所学习的物理思维和物理方法很多，设计教学时为了减小认知难度，建议在培养物理思维时，凸显知识点特点，主要掌握物理概念和物理量学习方法，培养物理观念。教学中，引导学生逐步建立对“状态量”与“过程量”的系统认知。教学设计应有意识地区分并衔接这两类物理量，帮助学生在不同学习阶段形成清晰、连贯的物理观念体系，真正落实以人为本、循序渐进的教学理念。

2) 在教学中挖掘深层次物理学内涵，更好地应用物理学规律。特别是概念教学，要重视概念的建立过程，强调新概念与已学概念间的衔接关系、递进关系和逻辑关系。比如从状态量速度到与瞬时量力对应的加速度，再到力的过程量功和状态量动能，形成逻辑清晰、层次分明的概念体系，让学生体会物理规律的内在统一性。

3) 重视知识和规律的构建过程，强化物理思维方法在解决实际问题中的应用。物理规律的构建不仅是公式与文字的背诵，更是物理思维与方法的形成过程。教学应围绕“过程分析”与“状态分析”，指导学生识别过程中涉及的“过程量”，明确其累积特征；并引导学生把握系统在某时刻的“状态量”。在此过程中，通过精选典型例题，帮助学生从实际情境中抽离出物理过程，将实际问题转化为典型物理模型，理解过程量与状态量如何相互关联，并自然过渡到“规律应用”与“模型分析”。

为了提高教学效率和教学质量，培养学生的问题意识、科研思维 and 创新能力，各教学团队提出了将问题中心教学法[6]、类比法和比较分析法[7]、“AI+ 课程知识图谱”教学模式[8]应用于大学物理教学。物理教学应注重渗透物理思想与方法，引导学生掌握物理概念与物理量的学习方法、形成过程与状态分析的科学思维，提升学生的物理观念、问题解决能力等核心素养；通过教师创造性的教学设计，使课堂从简单地传授知识，转向真正促进学生思维成长与发展，为中学物理深度学习及大学物理后续模块学习筑牢认知与思维基础。

基金项目

成都大学“三全育人”试点改革建设项目(“格致”育人团队, 21220); 指向拔尖人才创新素养的物理实验融通课程建设研究(CY2024Y136)。

参考文献

- [1] 赵凯华, 罗蔚茵. 新概念物理教程力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 3.
- [2] 王梓名, 杨晓荣. 西藏大学物理师范生力学概念测试研究[J]. 物理与工程, 2021, 31(6): 153-158.
- [3] 徐红霞. 大学物理和中学物理的力学教学的有效衔接[J]. 物理与工程, 2014, 24(S2): 83-85.
- [4] 汤仙童, 潘睿亨, 张浩鹏, 王佳鑫, 江莎, 李丽. 大学物理教学与生活实践及科技前沿的融合路径探究——以光的偏振性为例[J]. 物理通报, 2026(1): 31-34, 43.
- [5] 刘菊, 程涛, 陈健全, 严文悦, 余祥, 刘子豪, 郑昌盛. 论大学物理中辨析与理解微积分含义的重要性[J]. 物理与工程, 2025, 35(5): 90-94.
- [6] 王钰茹, 张芸, 鲁海鹏. 问题中心教学在军校大学物理教学中的设计——以毕奥萨伐尔定律和安培定律的应用为例[J]. 物理通报, 2026(1): 19-22.
- [7] 郑小娟, 邹慧, 潘江陵, 李新梅. 类比法和比较分析法在大学物理电磁学教学中的运用[J]. 物理通报, 2025(12): 23-26.
- [8] 黄厚伟, 邱晓燕. 基于知识图谱的大学物理 AI + 课程个性化教学实践[J/OL]. 大学物理, 1-6. <https://doi.org/10.16854/j.cnki.1000-0712.250407>, 2025-12-16.