

循证建模教学： 内涵要义、原则策略与实践案例

文_吴存华
(浙江师范大学教育学院)

摘要：模型建构是科学思维的有机组成部分。依循思维行进方向，建模可分为归纳型与演绎型两类；而无论何种路径，建模过程均应遵循循证原则，贯穿模型前期、模型建构、模型分析、模型验证及迁移拓展5个环节，以证据为全程支撑。循证建模教学应遵循激发兴趣、深化思维、促进实践和支持反思的教学原则；可通过尝试专家式问诊引导学生选用证据，借助可视化表征优化模型建构过程，设计项目式活动推进模型拓展应用，融合游戏化机制开展建模教学展评等策略优化教学。本文以自由落体运动为例，进行循证建模教学案例设计。

关键词：循证建模教学 教学原则 教学策略

模型是客观事物与自然现象过渡到科学概念、规律的中间环节，是对客观事物与自然现象进行抽象概括、描述、分析和解释的载体。模型建构是学生认知发生的过程，是抽象概括、分析综合、推理论证、质疑创新的综合运用，是科学思维的有机组成^[1]。

学习者概念和规律的形成需要经历思维加工的认知过程^[2]。有研究将概念教学分成归纳、演绎、探究、类比、比值定义等模式，将规律教学分成探究、验证、归纳等模式^[3]。按照思维行进方向和知识建构的视角对上述分类进行再梳理，通过模型建构实现概念和规律的形成，可分成从个别事实到一般规律的归纳路径，以及从一般原理到个别结论的演绎路径^[4]。由此可

将模型建立分为归纳型建模和演绎型建模。归纳型建模遵循“基于情境归纳推理—模型分析—模型验证—迁移拓展”的路径，演绎型建模遵循“基于理论演绎迁移—模型分析—模型验证—迁移拓展”的路径。依据上述模型分类，构建循证建模教学的内涵要义、教学模式、教学原则与策略，形成循证建模教学的基本框架，并通过教学课例设计对理论框架进行实践验证。

◎ 循证建模教学的内涵要义

科学证据是多元的，包括真实生活现象、科学史料、实验数据、科学对话及工程作品等。循证是指通过举证与反证支持或驳倒解释，并通过系列性对话形成有说服力的结论。根据英国哲学家图尔敏(Toulmin)所倡导的循证六要素^[5]，可以将主张、数据、论据、支持、限定语和反证等要素用于模型建构的全过程。

循证建模是指在科学学习中，用证据融合直觉预判模型目标及模型建构的有效性，依循证据对模型开展分析与验证，并在模型拓展的过程中生成新的证据的过程。循证建模教学是将循证贯穿于建模全过程，依据并拓展美国学者赫斯特内斯(Hestenes)的建模教学理论^[6]。本文结合布鲁姆教育目标分类理论，将循证建模教学分为模型前期、模型建构、模型分析、模型验证、迁移拓展等阶段；在建模的不同阶段，支持建模的证据以多种类型存在于各个环节，形成循证建模教学的框架内涵。

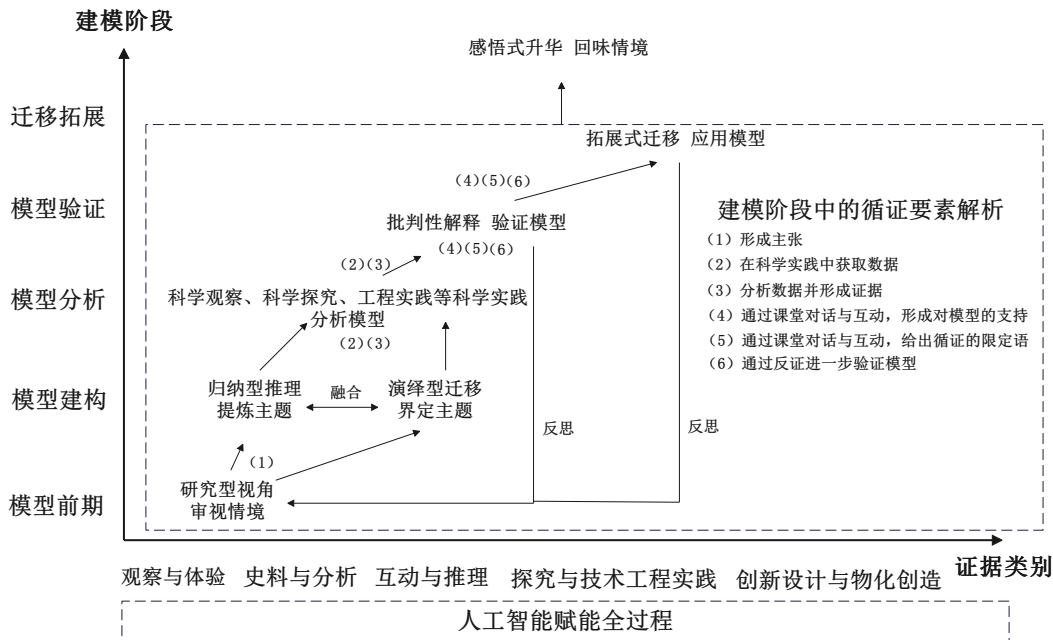


图1 循证建模教学的内涵分析

如图1所示，建模教学各阶段相互关联，在循环交错的螺旋式进阶中实现科学思维的深化。在模型前期阶段，建模者以研究视角审视学习情境，形成模型目标。在模型建构阶段，依据学习内容采取归纳型推理或演绎型推理的思维路径，综合科学思维诸要素开展建模。例如，学生在理解牛顿第一定律的基础上，猜测加速度与力、质量之间可能存在定量关系，为此以控制变量法开展实验探究，分析数据并归纳出牛顿第二定律的数学模型。再比如，学生学习了运动的合成与分解后，推演出平抛运动也应该遵循相应规律的猜想，然后通过实验设计验证了水平匀速与竖直自由落体运动的过程模型。在模型分析阶段，基于模型开展科学观察、科学探究、工程实践等学科实践，并通过所获取的数据和制作的作品进行描述、分析和解释。模型验证阶段是依据多元证据对模型进行验证或证伪。迁移拓展阶段是模型在更大范围内的功能拓展和应用。

从证据来源审视建模教学各阶段，模型前期阶段，情境中的现象与活动体验是循证的主要来源。模型建构阶段，科学史料、逻辑推理、师生互动等生成性证据成为循证主要来源。模型分析阶段，证据主要来自探究数据、技术与

工程实践作品等。模型验证阶段，证据是系统性的累积与遴选，包括课堂对话、对证据的陈述与分析筛选、多种实验方案的反复检验等。迁移拓展阶段，创新运用与物化创造又能生成新的证据。除了常规证据支持外，还可通过与人工智能互动、利用人工智能创作、管理并塑造人工智能智能体，赋能循证建模全过程。

在循证建模教学中，归纳型推理和演绎型推理伴随建模过程彼此交融。循证六要素在建模各个环节中得以体现，模型分析、验证和拓展迁移过程中会伴随反思的生成，并在整体上使建模者达到情感态度责任的感悟式升华。

建模阶段、证据来源与循证要素的交互实施，使教学各环节体现不同循证功能定位，从而形成教学基本模式：模型前期阶段，证据融入直觉确立模型主题；模型建构阶段，有效筛选证据支持建模；模型分析阶段，整合证据分析问题；模型验证阶段，进行有效性验证；迁移拓展阶段，解决新的问题（见图2）。

◎ 循证建模教学的原则与策略

科学建模是观察、思维、自我监控等多方面综合素养能力的综合体现^[7]。为确保循证建模教学的有效实施，还需在遵循内涵要义的基

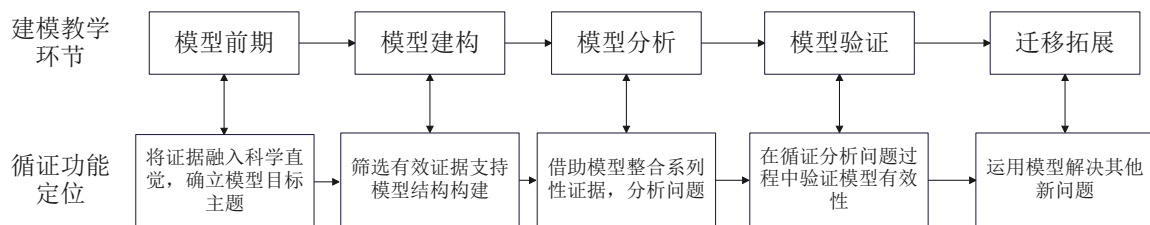


图2 循证建模教学的基本模式

基础上，辅之以相应的教学原则和教学策略等，从而使循证建模教学模式得以有效实施。

教学模式围绕建模五环节，各环节各有其循证功能定位。循证功能与教学环节之间的有效匹配并不能自动生成，而是依赖于教学过程中教学行为的科学性和艺术性实施。为此，教学需要遵循相应的教学原则，也需要有效提升循证功能的教学策略。

② 循证建模的教学原则

建模学习是身心与学习环境交互的状态^[8]，为此，应遵循发展素养的总体原则，结合建模教学的关键环节，基于学习内容创设可诱疑激趣并指向建模的教学情境，引导学生深化科学思维，开展模型分析，指导学生在验证模型的基础上开展学科实践，帮助学生借助模型的运用和反思达成对概念体系的深入理解。

◆ 激发兴趣原则

应有效发挥情境的激趣功能，引导学生全身心投入建模与探究中。在教学中，可为学生提供体验式的情境分析，引导学生触发镜像神经元中的体验记忆；可为学生提供相似模型结构以搭建逐级进阶的思维支架，激发学生建模志趣；可指导学生带着明确目标开展观察与探究，提高模型分析精准性；可为学生创设模型验证的观点陈述活动与模型拓展应用的成果展示平台，让学生体验建模带来的成就感。

◆ 深化思维原则

应达成建模过程中的思维深化，引导学生全方位运用科学思维进行概括分析和论证。在归纳型建模教学中，应从学生的感知觉出发，通过情境中不同要素的分析比较，在抽象的基础上归纳出主要因素。在演绎型建模教学中，应以学生的目标界定为思维之源开展演绎，对成熟理论模型进行参考借鉴，经合理演绎推理

形成新模型。两条路径的建模过程均需综合运用抽象概括、分析综合、推理论证、质疑创新等科学思维要素。

◆ 促进实践原则

按照实体模型和理论模型的分类，模型建构也可分为实体制作和理论抽象。实体制作如电动机模型制作等，理论抽象如加速度概念的提出或自由落体运动规律的总结等。两类模型建构都应指向学科实践，一种是蕴含技术与工程的物化实践，另一种是融合科学方法和思维的探究实践。

◆ 支持反思原则

要将建模作为解决或解释科学现象并伴随反思生成的一种创造过程，教学反思应在内容方式及倾向的维度上，以及在发展水平的维度上，体现出多维、动态和发展的心理结构^[9]。如可在建模过程中通过师生互动引导学生开展反思，在教学评过程中开发量规并引导学生在自评与互评中开展反思，在运用构建模型解释现象或解决问题中开展反思，也可在模型的迁移运用和拓展中实现反思。

③ 循证建模的教学策略

教学策略是教师教育观在实践层面的转化，融合了教育技术与教育艺术的双重属性，这意味着没有一成不变的策略，而是要基于教学境脉生成策略。依据循证建模的教学环节，可以在选用证据、建构模型、应用模型和教学评价的关键处创设有效的教学策略。

◆ 尝试专家式问诊，引导学生选用证据

依据图尔敏的循证六要素，证据在支撑主张时要有正当性理由，要兼顾支撑的确凿性程度，更要界定证据的保留条件和适用范围。专家式问诊是科学思维层层深入式的教学问答，问诊时教师可扮演专家向学生提问，也可以是学生向同伴提问，甚至学生反问教师，围绕证

据选留和如何运用开展持续追问。

◆ 借助可视化表征，优化模型建构过程

模型的建构、分析和验证均离不开科学思维的转化和表征，可视化工具提供了有力的保障。在模型建构时，可借助草图、概念图与思维导图、实物制作等展示模型结构；在模型分析和验证时，可以借助图表分析探究实验数据，也可借助人工智能生成其他可视化文本。

◆ 设计项目式活动，推进模型拓展应用

模型的拓展应用包括运用模型解释新的现象、解决新的问题、创设新的作品等。模型拓展应用可借助项目式学习及活动实施，可通过拓展应用获取新证据以拓宽支持模型的合理性和适用范围；发现模型在应用中存在的不足，并不断完善；通过完整的项目任务，更全面地发挥模型的功能。

◆ 融合游戏化机制，开展建模教学展评

应在建模教学中融入教—学—评一体化实施，可借鉴游戏化机制的心流功能，融合科学元素创设建模成果展评环节，实施小组协同学习与组间协同评价，探索建模过程性成果与作品的游戏化评价，制作评价徽章等物化评价结论。

◎ 循证建模教学的实践案例

下面以高中物理“自由落体运动”一课教学为例，进行循证建模教学案例设计（见图3）。笔者对课标和教材中的课例进行解读，认为该课可利用包括日常生活观察与体验、科学小游戏、科学史料阅读、科学小话剧、借助人工智能创设视频资源等方法；分析学情，可让学生在比较真空与空气阻力对运动的影响中深化对落体规律的探究；分析落体运动的模型特征，可借助科学史开展模仿科学家的科学探究实践或模型制作的工程实践；分析落体运动的模型拓展，可以就理想化模型进行归类比较，也可以组织学生开展工程实践制作。

➤ 模型前期：借助科学话剧，巧设情境，激发兴趣

依据激发兴趣、深化思维原则，设计“学生（伽利略）通过辩论说服教师（亚里士多德）”的挑战性任务，显著激发学生建构模型的兴趣。学生在辩论中用“大小纸片和铁片”上下放置的尝试，给出了空气阻力对纸片下落影响的多种可能性，逐步归纳出“可能是空气阻力影响了轻物下落快慢”的建模主题。

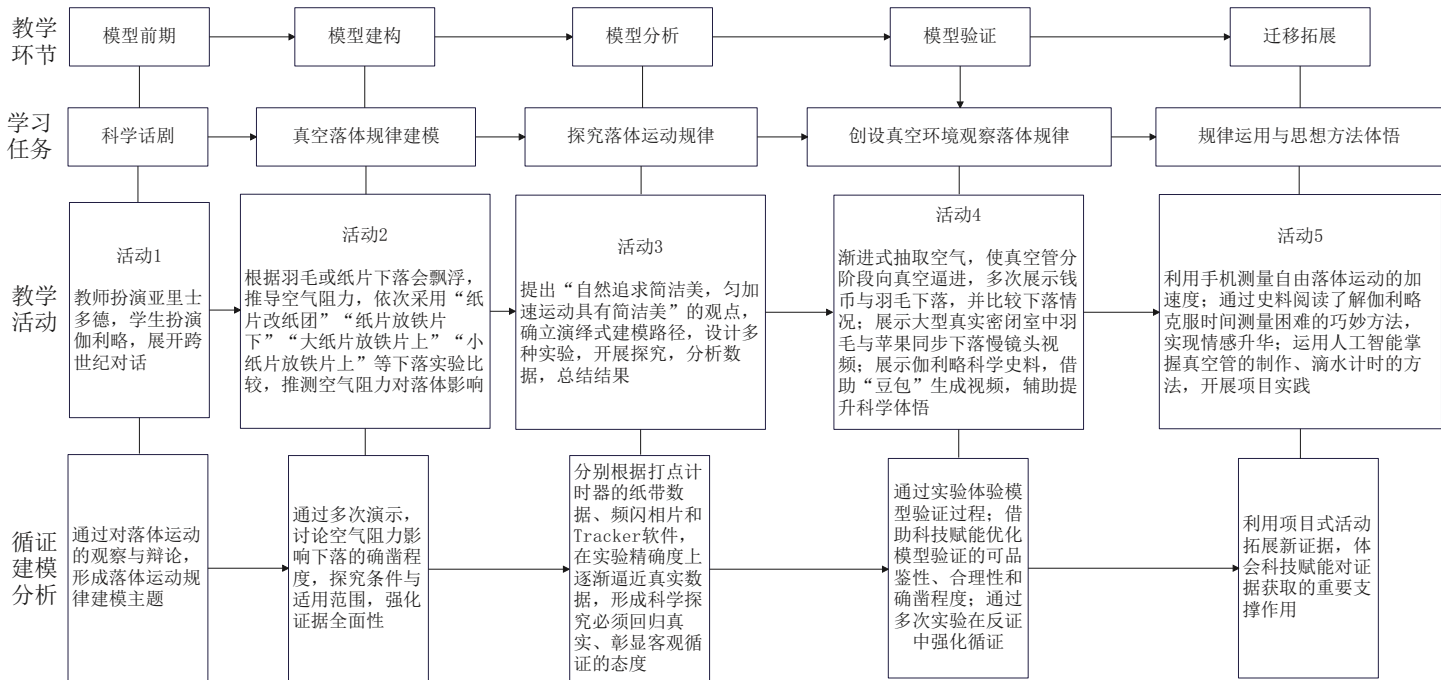


图3 自由落体运动的循证建模教学设计

表 1 纸带计数点与起点的距离

纸带计数点	1	2	3	4	5	6	7
距离/cm	0.95	1.38	1.73	2.12	2.59	2.91	3.33

可以融合游戏化机制,开展建模教学展评,如当学生在伽利略的角色扮演中,用“跳伞运动员下落时,打开降落伞的瞬间,运动员和伞的总质量并未改变,但空气阻力急剧增大,下落加速度发生突变,下落速度迅速减小”支持空气阻力对落体运动的影响时,教师可给予“不愧具有新时代的伽利略之风”的评语。

模型建构:通过正反论证,开展落体规律建模

依据深化思维、促进实践原则,师生先后探究 5 种情况下的下落过程比较:①同质量的纸片和纸团同时下落;②面积比铁片大的纸放置于铁片下面一起下落;③大面积纸片放在铁片上面下落时二者分离飘落;④小面积纸片放置于铁片下面一起下落;⑤小面积纸片放在铁片上面随铁片一起下落(同时下落后,进一步展示小纸片与铁片之间没有粘连,从而推断铁片与小纸片之间无空气相对流动,故无阻力的证据)。

可以开展可视化表征,优化模型建构过程,如在 5 种不同情况的纸片与铁片下落过程比较中,通过思维导图、磁性卡片和图表等表征,将观察到的现象、不同学生的主张、证据和师生互动中支持方的观点、反对方的限定说法,以及对不同意见的反驳与反证,全面展示在显示屏和黑板上,充分展示图尔敏所指的循证六要素在建模中的综合运用。



模型分析:通过逐层深入,开展落体规律探究

依据深化思维、促进实践和支持反思原则,在探究落体运动规律实验中,利用纸带经打点计时器获得表 1 的数据。由数据可知,以 $\Delta h = h_n - h_{n-1}$ 的逐差计算,得到相邻 2 个计数点之间的差值分别为 0.43 cm、0.35 cm、0.39 cm、0.47 cm、0.32 cm、0.42 cm,数据显示实验误差较大,难以提供确凿的证据证明自由落体运动就是匀加速直线运动,证据支持力度不足,建模无法顺利进行。此时,教师应引导学生开展反思与讨论,形成如下共识:实验误差偏大,需选用更高精度的实验仪器,并优化实验操作步骤。课后,选用电火花计时器进行二次实验,并改用手机闪拍功能拍下频闪照片,通过 3 次实验的不同数据对比,发现误差逐步减小,同时也发现计数点选取时要考虑更多的点,让建模有证据可依。

可以借助可视化表征优化实验,如使用手机支架固定拍摄小球落体视频,然后借助 Tracker 软件,全面描绘自由落体全过程的“位移—时间”图像、“速度—时间”图像和“加速度—时间”图像,清晰直观地展示出运动规律和重力加速度值。

模型验证:融入递进问诊,选用证据开展验证

依据促进实践、支持反思原则,设计问题



链，通过互动对话，引导学生选用证据。

问题 1：能否提供同样轻重的物体下落速度不一样的例子？

问题 2：能否提供体积不可忽略的轻物和重物在空气中下落时“有时一样快、有时不一样快”的例子？

问题 3：在自然界诸多运动形式中，匀加速直线运动因其数学表达与物理图像的简洁性而具有独特地位。受此启发，本研究将自由落体运动初步假定为匀加速直线运动，为证实此推断，请学生帮助教师设计 1 个实验。

问题 4：通过本次纸带测量计算所得出的实验数据，无法有力证明自由落体运动就是匀加速直线运动，是否可认定猜想有误？有什么办法能得到更为精确的实验数据呢？

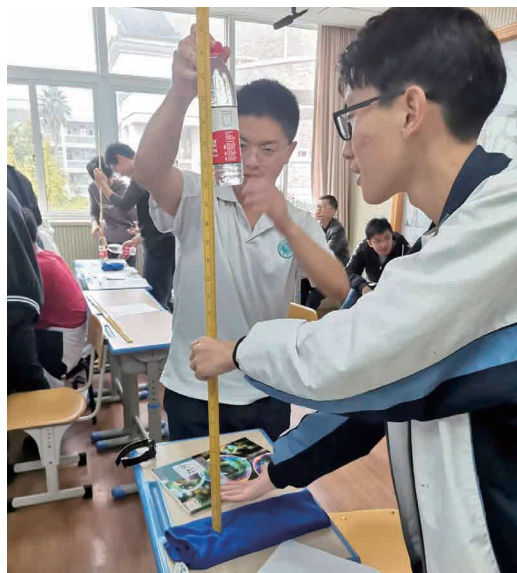
……

可以将游戏式评价策略贯穿于建模的诸环节。例如，学生在经历滴水计时实验的失败后，切身体会到实验条件的限制性，从而对伽利略在科学探究中面临的挑战与毅力有了更深刻的感悟，教师可给予学生“科学探索共情奖”的评语；制作“小科学家”和“小工程师”游戏奖章，采用积分制对循证建模教学中的科学思维闪光点、科学探究成就点、循证分析合理点、建模作品成果点等开展教—学—评一体行动。

🔗 迁移拓展：运用模型指导实践，深化建模体悟

依据促进实践、深化思维和支持反思原则，设计模型拓展的教学环节，让学生体悟模型建构和科学探究的不易。如在“伽利略思想方法体悟”教学活动环节，教材以科学漫步的方式介绍了那个年代计时操作的困难与挑战。为了让学生身临其境地感同身受，教学中可用实际体验行动的方法代替科学史料的直接介绍。如在矿泉水瓶底部挖一个小洞，在小球下落过程中让学生记录滴水数，多次尝试失败后，学生意识到落体运动太快、时间太短、计时不精确等诸多困境，由此自然而然地体悟到伽利略“冲淡”重力的巧妙之处，加深了对建模中可靠性证据来之不易的体悟。

可以在课堂内外融入项目式活动，推进模型拓展应用。在探究落体运动规律中，采用 Tracker 软件测量出重力加速度的值约为



9.75 m/s² 时，引起了学生的拓展性讨论——这个值与初中所学的 $g=9.8\text{ N/kg}$ 很接近。为此，将课堂中关于地球表面不同地方重力大小异的教学内容设置成课外的项目式学习探究活动，组织学生分小组在校园不同地点、同一幢楼的不同楼层，借助手机应用软件分别测量重力加速度值。在数据比较的基础上，借助人工智能提示语，进一步拓展对重力值意义的理解。同时，请学生设计利用自由落体规律估算水井高度的方案，强化模型的应用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部制定. 义务教育科学课程标准(2022年版). 北京: 北京师范大学出版社, 2018.
- [2] 邢红军, 赵玉萍, 龚文慧. 论物理概念与规律的认知机制: 深化与发展[J]. 课程·教材·教法, 2022, 42(3): 124-130.
- [3] 冯杰. 物理概念教学与物理规律教学之差异性探讨[J]. 物理教师, 2020, 41(1): 2-8.
- [4] 祝钱, 方华基. 科学建模教学的典型模式及其应用[J]. 中小学教材教学, 2026(5): 63-67.
- [5] 钟启泉编著. 教学策略[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2023.
- [6] Colleen Megowan-Romanowicz, 许桂清. 物理建模教学模式简介[J]. 物理教师, 2011, 32(8): 1-3.
- [7] 袁媛, 朱宁波. 国外青少年科学建模能力的理论与实践探索[J]. 外国中小学教育, 2016(1): 26-32, 25.
- [8] 宋龄, 张华. 具身化课程的核心特征及其故事建构[J]. 课程·教材·教法, 2019(2): 37.
- [9] 申继亮, 刘加霞. 论教师的教学反思[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2004(3): 44-49.