

批判实在论视角下的科学教材内容呈现形式：一个设计理念的提出

周深几^{1,2}, 李欣窈³

(1. 北京师范大学基础教育教材综合研究国家教材建设重点研究基地, 北京 100875; 2. 北京师范大学教师教育研究中心, 北京 100875; 北京师范大学教育学部, 北京 100875)

[摘要]让学生真正接触马克思主义科学观下的“科学”，是科学教材建设的关键。批判实在论为此提供了理论支点：一方面，它强调科学是揭示自然机制的社会实践；另一方面，指出教材使用者的理解受社会文化情境制约。教材设计应在“非任意性”（机制性知识）与“任意性”（历史社会性）之间建立辩证统一，既突出探究实践在教材中的核心地位，又在施瓦布“特殊指涉性—修正性—多元性”框架指导下呈现科学知识的条件性与开放性。方法上，应构建以持份者经验为证据基础的教材设计机制，推动教材研究由静态文本分析走向动态实践考察。

[关键词]批判实在论；科学教材；学科实践；科学探究

一、引言

《教育强国建设规划纲要（2024—2035 年）》提出“开发一批基础教育科学教材”，凸显教材在科学教育体系建设中的关键作用。作为学科知识的承载体系，教材为课程生成提供必要支点，而其功能能否实现，取决于教师对教材的理解与使用^[1]。然而，在许多地区，大量科学教师仍由非本学科教师兼任，使教材的有效使用成为现实难题，而这一困境在国际上亦普遍存在。研究显示，不少教师受限于对科学知识及探究本质的理解，往往机械套用教材中的模型与步骤，导致探究、建模等学习活动流于形式，难以引导学生理解科学实践的真实逻辑^{[2][3]}。换言之，理想状态下教材应作为教师二次开发的资源工具，但对非专业对口教师而言，它更常被当作照本宣科的“脚本”^[4]。

鉴于教师能动性始终受到现实条件的制约，科学教材能否提供清晰而有效的“使用线索”，已成为课程改革能否真正落地的关键所在。围绕这一挑战，需要进一步探讨：科学教材内容应如何呈现，才能具备“教育性”（educative），即支持教学决策、激发有效学习的“课程转化力”^[5]。然而，关于科学教材如何生

成并传递这种“使用线索”，目前仍缺乏系统的理论引领。张军霞指出，科学教材的编写应回归学生的现实生活和认知起点，遵循人类的认知过程与事物的本来状态^[6]。这一理念虽确立了教材编写的价值取向，但要转化为可操作的设计原则，仍有赖于具体的分析框架。现实中，科学本质（Nature of Science, NOS）等视角虽为教材内容的呈现提供了方向，却往往未能有效回应科学知识生成的内在机制。只有将教材设计与知识生成机制对接，才能引导学生像科学家那样开展探究与生成，而不仅仅停留在对陈述性知识的掌握与应用。

二、科学教材的主流研究框架及其局限

科学教材的开发往往始于理念的确立，例如从单一的知识传授转向对科学观念的理解与运用，强调科学思维、探究能力与社会责任的培养，并注重教学评一体化的整体设计^[7]。而在实际呈现层面，教材则更多依赖具体的编排策略，通过版式、布局与图像的优化，提升信息传递的效率与学习者的理解效果^[8]。然而，理念与呈现之间存在脱节风险：前者往往停留于价值陈述，后者则偏重技术处理，两者之间缺乏有效的转化机制。要实现这一转化，需依托对“学什么”与“怎么学”的理论框架。现有研究框架多呈“要素型”，往往依赖若干关键要素的罗列与拼合来支撑整体。

在这些框架中，科学本质（Nature of Science, NOS）是最具代表性的一类。它强调科学知识的生成方式、价值取向与信念体系，认为科学知识并非客观固定的事物，而是在观察、推理与解释过程中不断建构的成果。这一过程依赖科学家的创造力、理论视角与社会文化语境^[9]。在教材研究中，NOS 框架（见表 1）通常通过辨析内容的显性与隐性呈现来评估科学本质各维度的体现^[10]。这一框架已被广泛应用于物理^[11]、化学^[12]、生物^[13]等学科但其内涵也面临一些质疑：部分维度存在交叉、必要性存疑^[14]；同时，“清单式”的分析方式容易将科学本质割裂为若干孤立模块，削弱其内在关联^[15]。为弥补这些不足，学者们提出了“家族相似性方法”（Family Resemblance Approach, FRA），从认知—认识论系统与社会—制度系统两个维度描绘科学实践的特征^{[16][17]}，并进一步强化科学本质维度之间的内在关联^[18]。

表 1 科学本质应用于教材分析的框架

| 科学本质维度 | 教材分析关注点 | 可观察的教材特征 |
|--------|----------------|---------------|
| 经验性 | 科学主张基于观察，但观察受感 | 交代观察数据的来源与局限。 |

| | | |
|-------------|----------------------------|------------------|
| | 知、仪器假设与理论框架影响。 | |
| 推论性 | 区分直接可感知的观察与基于观察的推论。 | 明确标示观察与推论的不同性质。 |
| 创造性 | 科学探究包含理论构建与解释的创造活动。 | 科学模型和解释的构思过程。 |
| 理论驱动性 | 理论与背景知识引导研究问题、方法与解释。 | 说明理论在研究过程中的引导作用。 |
| 暂定性 | 科学知识可靠但可修正,随证据和理论发展更新。 | 示例科学知识的历史变迁或修正。 |
| “科学方法”迷思 | 否认单一固定步骤的“科学方法”;强调多样路径。 | 展示探究过程的多样性与非线性。 |
| 科学理论 | 理论整合观察、提出问题、指导研究,常基于假设。 | 解释理论的生成、验证与作用。 |
| 科学定律 | 定律描述规律,理论解释规律;二者无高低之分。 | 清晰区分理论与定律的功能差异。 |
| 科学的社会维度 | 科学知识通过共同体协作与评议建构。 | 提及同行评议、学术交流等实践。 |
| 科学的社会与文化嵌入性 | 科学受社会文化、政治经济等影响,并反作用于这些领域。 | 举例说明科学与社会文化的互动。 |

近年来,一些研究尝试将科学素养的界定(如 PISA 所提出的现象解释、探究设计与基于证据作出判断三项核心素养)^[19]。相应研究也尝试将这一框架与知识类型(内容、程序、认识论)及情境属性(真实与否)结合以用于任务分类与计数^[20],或在更广义的科学素养视角下(涵盖知识、方法、科学—社会互动、情感投入、社会责任等维度)以建构更全面的教材分析框架^[21]。然而,无论是 NOS 还是科学素养导向的框架,其基本逻辑仍以“要素呈现”为中心。换言之,它们能够说明教材呈现了涉及科学学习的哪些“点”,却无法充分支持这些“点”如何被教材编织成引领学生进入科学思维与探究实践的“线索”——而这恰恰是教材设计的关键所在。因此,教材研究亟需从“要素型”分析转向“机制型”分析,以揭示科学理解在教材中的生成逻辑。

三、从要素分布到机制引领:批判实在论视角的引入

若要在机制层面强化教材促进科学素养的功能,内容呈现需要有清晰的理论指引。伯克提醒我们:“教材研究者应当让自己的理论假设更加显现,这不仅有助于读者更好地理解、赞同或挑战这些假设,也能让研究者自己更清楚地意识到这些假设的存在。”^[22]换言之,教材设计的关键不在于覆盖多少素养要素,而在于以何种理论逻辑来统摄、组织与衔接这些内容,使学生在学习过程中能够自然

进入科学知识的生成与应用历程，并逐步形成批判性理解与灵活运用的能力。常见的策略是借鉴外部理论并引入其核心概念，作为内容设计的支点与框架基础。田慧生和王连照强调：“马克思主义哲学是科学教育的首要方法论，决定着科学教育整体性的活力和深度发展的动力。”^[23]因此，只有在马克思主义科学观的指导下，教材设计才能真正引导学生触及科学实践的实质，而非停留在素养要素的机械拼装之中。

在这一点上，批判实在论（Critical Realism）为教材研究提供了一个可能的突破口。它源自巴斯卡（Bhaskar）的哲学体系，被视为马克思主义科学方法的重要支点^[24]。其核心思想——通过分层本体论揭示科学知识与现实世界的关联——为科学课程、教学与评价提供了连贯的元理论基础^[25]。基于此，以下将从批判实在论视野下的科学观与学习观展开，阐明其在科学学习中的理论支撑作用，并据此奠定教材设计框架的构建基础。

（一）批判实在论视野下的科学观

回溯马克思主义视角，斯科杜里斯（Skordoulis）认为，尽管马克思并未系统阐述其自然科学发展观，但其论述展现出了鲜明的科学实在论立场，例如《资本论》第三卷中便提到“如果事物的表现形式和事物的本质会直接合而为一，一切科学就都成为多余的了”。马克思承认自然界的独立存在，并认为科学的任务在于透过表象揭示内在规律。这一过程不能停留于经院式推演，而必须依托实践加以检验，因此科学本质上是一种受社会条件制约或驱动的活动^{[26][27]}。

巴斯卡眼中的马克思同样是一位科学实在论者，坚信“真实的对象在生产过程的前后都独立于人而存在，独立于科学家的头脑而存在”^[28]。在他看来，后续的马克思主义思潮中，“马克思的前提”（知识的历史性与实践基础）与“恩格斯的结论”（自然与社会的统一体系）这二者常被对立起来。但巴斯卡试图化解这种分裂，他指出：“在当代实在论对科学的重构中，经精炼后的二者之间并不存在矛盾。由此，将科学理解为对自然的实践性探究，就意味着一种非人类中心主义的本体论，即承认真实的结构、机制、过程、关系与场域独立存在，并且在反事实情境中依然具有效力。”^[29]

基于此，巴斯卡发展出批判实在论。他承续“马克思的前提”，认为科学的任务在于揭示现象背后的生成机制，而这些机制作为“不变”（intransitive）对

象，独立于人类知识而持续运作^[30]。他指出，就像牛顿发现万有引力，科学革命往往源于既有理论体系的矛盾积累，而突破则依赖于“突现”的新概念。这种概念的创造意味着认识论的超越，但并未引入超越世界本体的实体（我们没想到万有引力依然存在）——科学革命不是创造现实，而是促使认识与本就存在的深层机制更为契合^[28]。换言之，他认为科学知识的对象“既不是现象（经验主义），也不是人类强加于现象之上的建构（唯心主义），而是真实存在的结构”^[32]。

对此，巴斯卡提出了科学发现的“三段辩证运动”（见图1）^[32]。第一阶段，经验主义着眼于事件及其恒常关联，但规律性描述不足以揭示开放系统中的复杂因果。第二阶段，先验唯心主义通过建模设想可能的生成机制，但这些设想因缺乏确证而无法被认定为真实机制，只能停留在想象层面。这一局限与巴斯卡所划定的哲学界限相吻合：“虚构（imaginary）与真实（real）的区分标志着本体论的分水岭，而设想与被确立为真实的区分则界定了认识论的界限。”^[32]因此，在第三阶段，先验实在论通过实验操控识别更可能真实存在并发挥效力的机制，由此不断逼近生成机制的真实面貌。

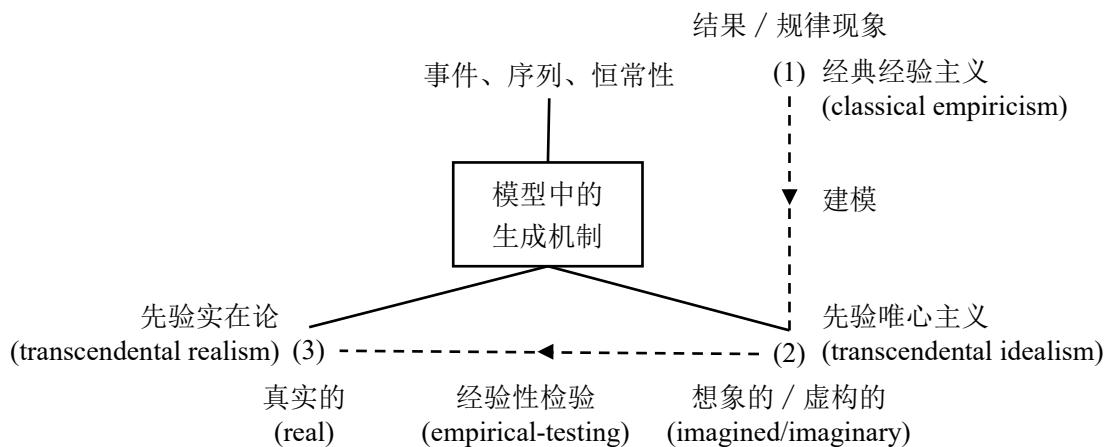


图1 科学发现的逻辑示意图

正如巴斯卡所总结的，“科学是一种动态的社会实践，不断为探究者开启通向更深层、更隐秘现实的通道”^[31]。这种可能性依赖于三重领域的区分：真实域（real）指独立存在并具因果力的生成机制，实际域（actual）是机制在特定条件下生成的事件，经验域（empirical）则是事件被感知、记录的形式。科学的任务是识别机制并刻画其“倾向性”（tendencies），即其在一定情境中可能产生作用的方式。由于机制不可直接观测，科学家需通过其效应进行间接推理，以判断

其解释力^[32]。因此，科学知识并非对世界的直接映射，而是经由理论视角建构的。但不同理论间仍可进行沟通和比较，例如爱因斯坦力学在解释某些现象时超越了牛顿力学。认识论的相对性并未削弱实在论立场，反而凸显科学知识的历史性与可修正性^[32]。基于这一立场，批判实在论应成为科学教育的基本常识：在承认文化多样性的同时，避免将科学过度“文化化”，从而保持科学在揭示世界普遍机制上的独特价值，防止陷入“所有知识皆等价”的相对主义^{[32][33][34]}。

综上，批判实在论不仅承续了马克思主义科学观的基本立场，更为科学核心素养的建构提供了机制性支撑。它强调科学对象的真实存在性（不变维度）与科学知识的历史性、社会性（变化维度）的辩证统一^[35]，为科学核心素养的四个维度奠定理论基础：首先，在科学观念的学习上，批判实在论提醒我们，科学概念、规律和模型只是潜在机制的解释性表征，并且始终在争论与修正中。其次，在科学思维的培养上，它强调机制的探寻依赖于从现象出发的模型建构与推理论证，并且在此过程中形成创新性、批判性、反思性的思维方式^[36]。再次，在探究实践的发展上，批判实在论指出科学机制只有在特定条件下才能显现。这既包括创造使机制能够运作的前提条件（巴斯卡称之为“实验的生产”），也包括排除干扰、保持条件可控以便机制得以显现（即“实验的控制”）^[37]。教材和教学需通过实验设计、条件设置与因果检验，引导学生识别机制并理解科学解释的生成逻辑。最后，在态度与责任的养成上，批判实在论所强调的科学知识的可谬性与开放性，为学生保持谦逊、批判和合作提供了哲学基础，同时也凸显了科学应用所承载的社会责任与价值判断^[38]。

（二）批判实在论视野下的学习观

学习本质上是一种人类行动。巴斯卡指出：“人类行动根植于人们的理由、意图和计划。”^[39]在这一视角下，理由（reasons）不是对行为的主观解释，而是“植根于现实生活实践利益的信念”^[40]，作为倾向性状态在机制层面上具有因果效力（causal efficacy）。换言之，行动不是随意或偶然的，而是由理由（如信念、价值与欲望）驱动。不过，行动者未必总能觉察这些理由，且他们表达的动机也未必就是实际起效的动因。例如，学生可能声称因“热爱知识”而学习，但起更大作用的理由或许在于对成绩的追求。

进一步说，理由的生成并不局限于个体的心理层面，而是在开放系统中多层机制交互作用的结果。这其中既包含潜意识与情绪驱动等心理机制，也涉及生理、社会等非心理机制^[40]。社会结构通过“位置—实践系统”(position-practice system)限定了行动者的资源与位置，但并不决定其具体选择，从而保留了行动者的能动性^[40]。在教育情境中，儿童并非单纯顺应社会对教育的功利期待（如“通过教育获得更好就业”），而是在与环境持续互动中不断生成并调整其行动理由（如追求个性化的道德完善或实现自我价值）^{[40][41]}。与此同时，教育本身作为开放系统，也同时受经济、健康、家庭文化等多重因素的塑造。若忽视这些条件，容易把由非心理机制造成的学业困境误归因于儿童个体^[42]。

由此，批判实在论为理解学习提供了一种“本体论转向”：学习被看作多重生成机制交互作用中涌现的实践。关键不在于预设学习结果，而在于如何配置环境，使学习的发生成为可能。例如，在科学实验教学中，实验室的物理布局（如器材配置）、社会互动（如小组合作）和课程目标（如实验技能）共同构成一个促使学习涌现的机制网络^[43]。不过，环境条件只能提供可能性，并不直接决定学习是否发生——因为人类具备反身性监控（reflexive monitoring），能够在行动中觉察并调整自己的行为及其后果，从而具备成为自我负责的能动者的潜能^[44]。

综上，批判实在论为科学学习提供了一个双重嵌套的解释框架。在科学观层面，它强调科学是一种揭示世界潜在机制的社会实践，科学教育因此不应停留于概念、定律和模型的掌握，而要培养学生批判性与反思性，使其理解科学知识如何在特定情境中被生产、验证和应用。在学习观层面，它则揭示学习是多重机制交互作用的涌现实践，教育者无法直接规定学习结果，而应通过配置条件、创造情境，使学习成为可能。

四、科学教材内容的科学观呈现：学科实践导向

近年来，批判实在论在科学教育课程建设中愈发受到关注。弗格森(Ferguson)梳理了科学教育中三次主要的认识论浪潮：第一次（20世纪初至1970年代）由实证主义主导，科学被视为对客观真理的发现活动，科学家被塑造成“真理探寻者”，典型代表是美国国家科学基金会(NSF)主导的课程开发运动。第二次（1970年代至2010年代）伴随着后现代主义兴起，科学教育转向社会建构主义立场，强调知识的情境性与多元性，但也由此陷入相对主义困境，削弱了科学的解释力与

规范性。第三次（2010年代以来）正是以批判实在论为调和路径，主张在“非任意性知识”（即具有客观属性的自然法则）与“任意性知识”（即受社会文化影响的知识形态）之间建立辩证统一^[45]。简言之，批判实在论的核心贡献在于打破科学教育中“科学知识等于绝对真理”的静态理解，将科学重新界定为一种不断趋近于揭示潜在机制的社会实践^{[39][46]}。

科学教材的设计应引导教师和学生去理解科学作为社会实践的内涵、目的和方法。正如石鸥和张靖卉所强调的，教材的功能应超越单纯的知识载体，成为支持学生真正进入科学学科实践的“助学伙伴”^[47]。所谓学科实践，本质上是一种“旨在解决问题的专业活动”，其核心在于实践者能够在真实情境中运用知识发现问题、探寻方案，并通过不断反思与改进来提升实践质量^[48]，从而实现“学科思维的建构与应用”^[49]。科学教材的核心任务在于通过创设问题引领的探究情境，引导学生经历科学知识生成的过程，体悟科学探究的因果性、解释性与可修正性，从而进入批判实在论意义上的“科学”。在此过程中，学生既要掌握被普遍认可、用于表征机制的科学定律、定理和模型（体现非任意性），也要理解这些知识如何在历史与社会语境中被发现、争论与修订（体现其任意性）^[45]。

（一）科学“非任意性”维度的内容呈现

在批判实在论视域下，科学的“非任意性”并不指固定程序，而是指揭示自然机制的因果效力。科学探究的意义不在“如何操作”，而在于通过经验实践激活潜在机制，使学生能够在经验世界中逼近科学的生成逻辑。由此，教材设计的关键挑战在于把握“度”：既要为探究实践提供清晰路径，又要避免探究被“框”成可复制的流程^[45]。如果学生只知道“怎么做”但不深究“为何这样做”，再热闹的活动也不过是既定程序的重演，难以触及科学知识的生成机制。根据巴斯卡提出的科学发现模式（见图1），科学探究通常经历从问题化与建模到条件操控与机制验证的过程，其关键在于引导学习者理解科学解释如何生成与修正。教材设计的重点因而不止于提供标准步骤，更在于促使教师与学生追问科学行动背后的逻辑，使探究成为理解而非操作的实践。

然而，在当前国际主流科学教材中，探究虽然被赋予核心地位，但对“为什么如此探究”的引导仍有不足。美国麦格劳-希尔（McGraw Hill）出版的《Science: A Closer Look》在探究活动的系统性与可操作性上具有鲜明特点，总体呈现出“演

绎型”特征：教材在开篇以“观察—提问—假设—实验—结论”的“像科学家一样思考”为主线，在各主题单元的活动中又以“比较”(compare)“分类”(classify)等高亮动词提示具体的科学行动。这种显性化的结构帮助学生明确探究的操作路径，有力提升了学习的清晰度与参与度。然而，这些动词的高亮更多停留在行为层面，学生被提醒去比较，却鲜少被引导思考为什么要“比较”——它为什么有助于揭示因果、反映机制。

与之相对，《剑桥小学科学》(Cambridge Primary Science)并未在整体结构上预设探究理念，而更具“归纳性”特征。教材开篇仅提供简要的使用说明，但在一年级结尾设置了“新科学技能”(New Science Skills)板块，通过两个小朋友研究植物生长的故事提出“问题—假设—计划—观察—测量—交流”的探究逻辑。这样的设计以故事化方式建立了探究的整体框架，但需要教师在教学过程中主动将其贯通起来，使学生意识到探究并非额外环节，而是理解科学概念的核心方式。对于经验丰富的教师而言，这种留白提供了较高的自主空间；而对于科学背景有限的教师，则意味着更高的教学要求和课堂调控难度。换言之，开放性越高，对教师的专业判断与情境建构能力要求也越高^[50]。

相较之下，日本启林馆出版的初中科学教材《走向未来的科学 1》(未来へひろがるサイエンス 1)则在两者之间提供了一种较为平衡的路径。教材在开篇即以“课题”为核心组织科学探究过程(见图 2)，包括从疑问确立课题、规划与实施探究活动到对结果的表达与反思，形成一个由问题驱动、以反思收束的完整探究循环。更值得注意的是，在主题单元中教材常通过插图人物的对话或提示语，引导学生在操作的同时自我提问或重新审视实验步骤。这种设计虽仍以“演绎”逻辑为主，但加入了元认知刺激，使学生在操作层面之外被提醒去思考行动的目的与意义。可以说，这种“演绎+反思”的复合模式更接近批判实在论所倡导的探究形态：它既保证了探究的程序性，又为师生保留了理解探究内涵的空间，使科学探究逐步从“做”走向“思”。

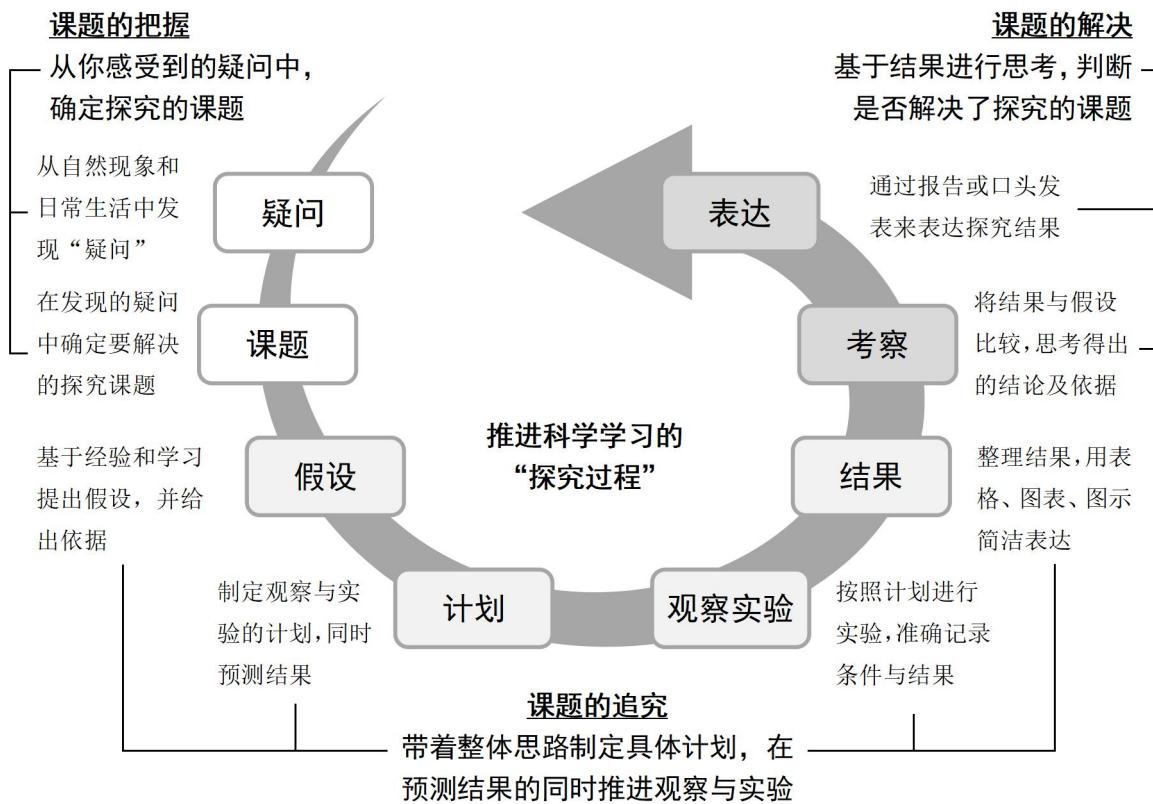


图2 启林馆《走向未来的科学1》中的科学探究路径

无论采用何种呈现形式——示意图也好，故事化叙述也罢——关键在于让学生能理解科学探究“为何如此”而非仅“如何如此”。科学探究并非对步骤的机械遵循，而是一个使潜在机制得以被经验和解释的生成性过程。教材的价值正是在此过程中发挥媒介作用：它重构学习者与自然世界的关系，使学习成为经验世界与机制世界之间的持续实践。因此，关键在于能否通过引导性元素（如设问、探究任务等）^[51]，让教师和学生理解科学的意义不在于重复经验事实，而在于追问自然界“为何如此”的机制性解释（非任意性）。

（二）科学“任意性”维度的内容呈现

批判实在论视角下的科学教育关注科学知识的社会建构性与可争议性。科学探究不仅是揭示自然机制的过程，也是一个在特定历史与文化语境中被建构和论证的实践活动。其核心目标是在保持科学知识“非任意性”的同时，即科学知识如何在社会中被生产、共享与修正^[45]。以此观之，施瓦布（Schwab）的观点依然焕发。他指出，科学知识具有特殊指涉性(special reference)、修正性(revisionary)与多元性(plural)。这一框架为教材设计提供了清晰的结构依据：特殊指涉性提示教材应呈现科学结论的条件性与情境依附性，帮助学生理解科学解释的边界；

修正性强调教材应展示科学理论的开放性与发展性，使学生认识科学知识的动态演化；多元性则要求教材通过多样化的理论与文化视角呈现科学，鼓励学生比较、协商与建构意义^[52]。因此，科学教材的内容组织与表征方式，应以这三项原则为核心，引导学生在理解自然机制的同时，体悟科学知识的社会生产逻辑与认识条件，从而在“真实”与“被建构”之间建立有意识的理解与辨析。

首先，教材在呈现时应让学生看到，科学知识是在特定社会语境与研究条件下生成的，而非超越情境的普遍真理。借助科学史中的典型争议——例如科学家对同一现象的不同解释与证据辩论——学生能够理解科学共识的形成并非一蹴而就，而是依赖于证据积累、模型修正与学术共同体协商的持续过程。然而，科学史在教材中常被压缩为边角的“补充方框”，不仅削弱了其叙事张力，也容易使学生陷入碎片化甚至辉格式理解，忽视科学探究的社会条件与历史局限^[53]。在探究活动中，可设计小组任务，让学生围绕同一问题提出不同假设，采用各自的实验路径搜集证据并进行论证，注重交流与辩护^[54]。这样的设计使学生在重构科学争论的过程中体验科学的社会性，认识到科学的权威来源于持续的对话与检验，而非固定不变的结论。

其次，教材应呈现科学知识的修正性，通过科学史材料揭示理论演化的逻辑，使学生体会科学发展的非线性特征。例如，可对比达尔文的种群变异模型与拉马克的获得性遗传观点，并结合“剪翅果蝇”实验或抗生素抗性案例，展示科学解释力的演进。这类对比不仅能挑战学生的前概念（如“生物主动适应”），还可帮助他们理解理论如何因新证据而被修正^[55]。进一步，教材可引入“遗传漂变”等现代进化机制，说明达尔文理论在遗传学基础确立后经历的扩展与更新，使学生认识到科学理论的修正往往不是推翻旧知，而是在新机制的发现中不断完善解释体系——然而这一层面在当今欧洲教材中几乎缺失^[56]。在探究层面，任务应允许假设被修改、实验被调整乃至结论被否定，使学生在修正中体悟科学知识的开放性与生成性，将“错误”视为进步的起点。

科学解释的多样性同样应在教材中得到充分呈现。科学并非脱离文化的普遍理性，而是在不同文明传统中以多种方式生成。教材可以通过对比不同文化或时代的科学实践，使学生看到科学思想的跨文化起源与互证关系。例如，可呈现中医药与现代药理学在知识逻辑和方法论上的结合，或让学生探究古代与现代对同

一自然现象的不同表征方式。然而，现有科学教材仍普遍体现出西方中心主义倾向^[57]。教材往往忽视科学家的多样性、研究动机与社会背景，从而强化了科学“绝对真理”的误解^[58]。在科学探究中，可引导学生从不同文化视角重新解释自然现象，比较各自的解释逻辑与证据使用方式，在反思中理解科学知识的情境性与可协商性。通过科学史材料与探究实践的交织，学生不仅能拓宽对科学的理解边界，也能意识到科学与其他认识体系一样，具有不完满却可共存的特质^[59]，进而有助于形成对科学知识开放、包容与反思的认识态度。

综上，如图3所示，在批判实在论视域下，科学教材的内容呈现应同时关注机制性知识（非任意性）与历史社会性（任意性）的统一。教材设计的最终旨归在于通过科学学科实践的双重路径，引导学生一方面亲历探究过程，理解自然界中潜在机制的运作逻辑，另一方面通过科学史与社会实践材料，认识科学家如何在具体情境中建构与检验知识。这样，教材才能成为一种学习环境，促使学生在认知与行动层面真正进入马克思主义的科学实践逻辑之中。

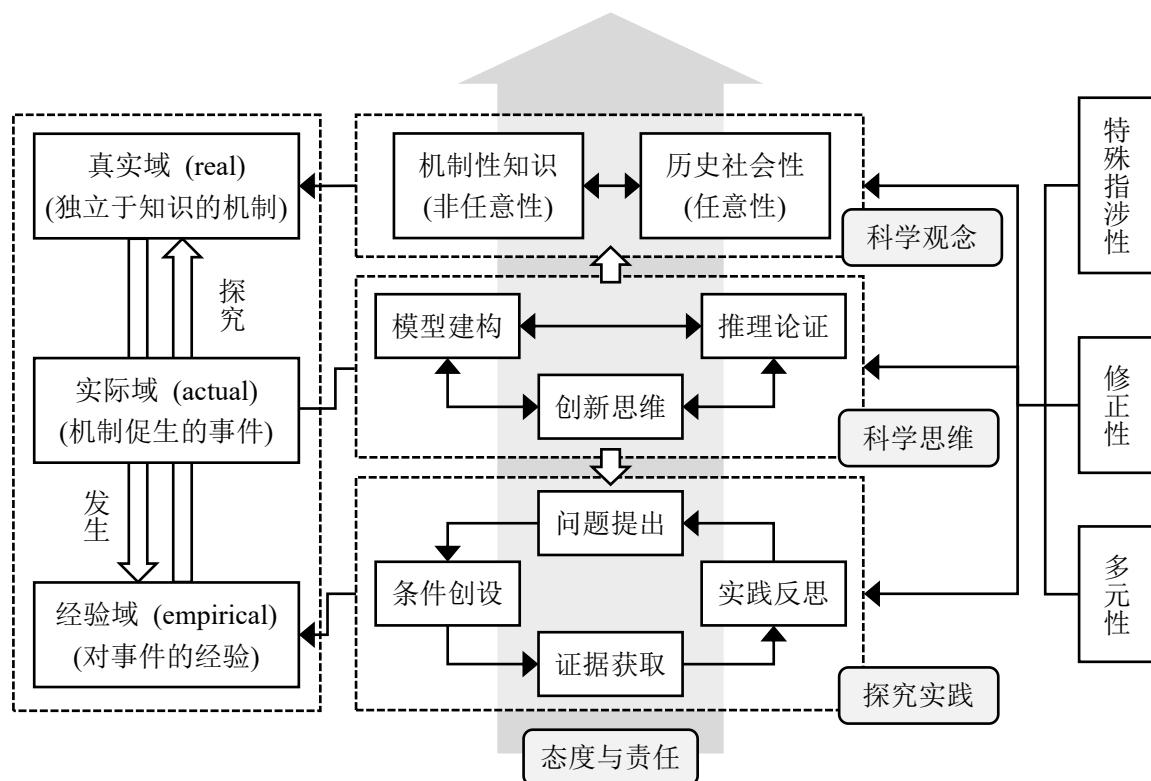


图3 批判实在论视野下科学教材内容呈现的核心路径

五、科学教材设计优化的循证路径

在批判实在论的视域下，科学教材的设计不仅关乎内容组织，更关乎教育的生成逻辑。教材不是中立的文本，而是学习者进入科学世界的中介实践。当前，教师、学生、家长等群体的声音往往在教材出版后才得以被听到，而非在开发阶段即作为决策依据被吸纳。事实上，在教育改革语境中，这些群体常被视为教育过程的持份者^{[60][61]}，但在教材建设领域，他们却被排除在决策过程之外。批判实在论视角下的学习观提醒我们，应关注科学教材创设的学习环境能否激发学生对科学实践的真实关切。这与杜威的思想一脉相承：教育应在知识逻辑的结构（科学学科的理路）与学习者的心理经验（对科学探究的兴趣与关切）之间建立协调，使知识逻辑成为学生经验生长的一部分，让学习活动既具内在意义，又能通向理性的思维方式^[62]。

从这一层面看，科学教材设计需要建立一种循证路径，将持份者（教师、学生等）的经验与反馈纳入教材开发的证据体系。教材设计研究不应止步于文本分析或话语分析，而应探索不同文本元素如何共同作用于学习实践。说明文本、探究活动与视觉辅助（图片、插图等）在教材中应如何组合以促进理解，仍需实证检验^[63]。已有研究指出，高质量的教材不仅要求文字表达的可读性，更要求视觉设计的连贯性和平衡性，以避免视觉过载削弱学生对复杂概念的理解^{[64][65]}。然而，批判实在论强调学习者处于更广泛的社会文化语境中，其认知与审美方式存在差异。美国《近距离看科学》偏重真实影像，英国《剑桥小学科学》注重卡通配图，两者各具特色，但是否适合中国学生仍需经由循证研究加以验证。正如查姆布利斯（Chambliss）和卡尔菲（Calfee）早已指出，教材设计不仅需要结构化指示与文本连贯性，更应重视内容与学生背景的匹配，以确保教材逻辑的一致性与内容的适应性^[66]。

然而，这些研究大多仍聚焦于教材文本本身，而忽视了教材呈现形式与学生具体学习实践之间的关联。教材研究应从传统、静态的内容分析或话语分析转向动态的实践考察^[67]，尤其关注教材如何影响教师教学与学生学习的机制。正如纳瓦尼（Nawani, 2010）所言：“教材分析是一个复杂且分层的过程，其最终目标在于确定教材在学校情境中的实际使用价值。”^[68]因此，批判实在论不仅帮助我们在本体论和认识论层面界定科学教材中“科学”的存在方式，也为教材设计提

供了方法论上的指引。它要求我们以证据为基础、以实践为导向，去考察教材在真实现场中对学生认识世界、理解科学的影响。教材设计的优化，不应止步于内容改进或形式美化，而应在杜威眼中“知识的逻辑”与“学习的经验”之间建立往返通路，使科学教材真正成为促使学生走进马克思主义科学实践的学习环境。

参考文献

- [1] 刘旭东,黎进萍.论中小学教师教材使用的行动策略[J].教育科学,2025,41(03): 24-30.
- [2] Kite V, Park S, McCance K, et al. Secondary science teachers' understandings of the epistemic nature of science practices[J]. Journal of Science Teacher Education, 2021, 32(3): 243-264.
- [3] Nielsen S S, Nielsen J A. A competence-oriented approach to models and modelling in lower secondary science education: practices and rationales among Danish teachers[J]. Research in Science Education, 2021, 51(Suppl 2): 565-593.
- [4] Mili, Winch C. Teaching through textbooks: Teachers as practitioners of a discipline?[J]. Theory and Research in Education, 2019, 17(2): 181-201.
- [5] Ball D L, Cohen D K. Reform by the book: What is—or might be—the role of curriculum materials in teacher learning and instructional reform?[J]. Educational researcher, 1996, 25(9): 6-14.
- [6] 张军霞. 科学教材编写应回到原点[J]. 课程·教材·教法, 2022, 42(06): 147-153.
- [7] 王海英,张军霞. 人教/鄂教版小学科学新教材落实核心素养目标的编写路径及使用建议[J]. 天津师范大学学报(基础教育版), 2024, 25(06): 7-13.
- [8] Behnke Y. Textbook Effects and Efficacy[M]//Fuchs E, Bock A. The Palgrave Handbook of Textbook Studies. New York: Palgrave Macmillan, 2018: 383-398. 386
- [9] Lederman N G. Nature of science: Past, present, and future[M]//Handbook of research on science education. Routledge, 2013: 831-879.
- [10] Abd-El-Khalick F, Waters M, Le A P. Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades[J]. Journal of Research in

Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 2008, 45(7): 835-855.

- [11] Zhuang H, Xiao Y, Liu Q, et al. Comparison of nature of science representations in five Chinese high school physics textbooks[J]. International Journal of Science Education, 2021, 43(11): 1779-1798.
- [12] Zhu Y, Tang A. An analysis of the nature of science represented in Chinese middle school chemistry textbooks[J]. International Journal of Science Education, 2023, 45(4): 314-331.
- [13] Li C, Yu J, Li G. Development of the representation of the nature of science in textbooks: The case of high school biology textbooks in mainland China[J]. International Journal of Science and Mathematics Education, 2023, 21(6): 1749-1768.
- [14] Vesterinen V M, Aksela M, Lavonen J. Quantitative analysis of representations of nature of science in Nordic upper secondary school textbooks using framework of analysis based on philosophy of chemistry[J]. Science & Education, 2013, 22(7): 1839-1855.
- [15] Cheung K K C, Erduran S. A systematic review of research on family resemblance approach to nature of science in science education[J]. Science & Education, 2023, 32(5): 1637-1673.
- [16] Irzik G, Nola R. A family resemblance approach to the nature of science for science education[J]. Science & education, 2011, 20(7): 591-607.
- [17] Su R, Jiang Z, Wei B. Representations of nature of science in science textbooks: A systematic review[J]. Science & Education, 2025, 34(1): 585-607.
- [18] Reinisch B, Fricke K. Broadening a nature of science conceptualization: Using school biology textbooks to differentiate the family resemblance approach[J]. Science Education, 2022, 106(6): 1375-1407.
- [19] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving[M]. OECD Publishing, 2017: 20-24.
- [20] Wan D, Lee Y J, Chen S, et al. How scientific literacy is conceptualized in tasks from junior secondary physics textbooks[J]. International Journal of Science Education, 2024: 1-24.

- [21] Kumar V, Choudhary S K. Reimagining Scientific Literacy: A textbook framework for future-focused Science Education[J]. *Research in Science Education*, 2025: 1-19.
- [22] Bock A. Theories and methods of textbook studies[M]/Fuchs E, Bock A. *The Palgrave Handbook of Textbook Studies*. New York: Palgrave Macmillan, 2018: 57-70. 66
- [23] 田慧生,王连照.科学教育理论深化的时代审思与路径探究[J].华东师范大学学报(教育科学版),2024,42(12):116-126.
- [24] Banfield G. Marxism, Critical Realism, and Education[M]/Peters M A. *Encyclopedia of Educational Philosophy and Theory*. Singapore: Springer, 2018: 1367-2372
- [25] Mirzaei Rafe M, Noaparast K B, Hosseini A S, et al. An examination of Roy Bhaskar's critical realism as a basis for educational practice[J]. *Journal of Critical Realism*, 2021, 20(1): 56-71.
- [26] Skordoulis C D. Marx, natural science and the materialist conception of nature[J]. *Educazione Aperta*, 2019, 6: 205-226.
- [27] Skordoulis C D. Science and worldviews in the Marxist tradition[J]. *Science & Education*, 2008, 17(6): 559-571.
- [28] Bhaskar R, Callinicos A. Marxism and critical realism: a debate[J]. *Journal of Critical Realism*, 2003, 1(2): 89-114. 102
- [29] Bhaskar R. *Reclaiming Reality: A Critical Introduction to Contemporary Philosophy*[M]. Oxon: Routledge, 2011: 102.
- [30] Bhaskar R. *A Realist Theory of Science*[M]. Oxon: Routledge, 2008: 6, 15, 135, 136, 177, 241.
- [31] Bhaskar R. *Enlightened Common Sense: The Philosophy of Critical Realism*[M]. Oxon: Routledge, 2016: 7.
- [32] Coborn W W, Loving C C. An essay for educators: Epistemological realism really is common sense[J]. *Science & Education*, 2008, 17(4): 425-447.
- [33] Blackie M A L. Implications of a critical realism approach to chemistry research and education[J]. *Nature Chemistry*, 2023, 15(8): 1047-1050.
- [34] Yucel R. Scientists' ontological and epistemological views about science from the perspective of critical realism[J]. *Science & Education*, 2018, 27(5): 407-433.

- [35] Bhaskar R. *Enlightened Common Sense: The Philosophy of Critical Realism*[M]. Oxon: Routledge, 2016: 24.
- [36] Zembylas M. Science education as emancipatory: The case of Roy Bhaskar's philosophy of meta-reality[J]. *Educational Philosophy and Theory*, 2006, 38(5): 665-676.
- [37] Bhaskar R. *Philosophy and scientific realism* [M]// Archer M, Bhaskar R, Collier A, et al., eds. *Critical realism: Essential readings*. London: Routledge, 1998: 39.
- [38] Levinson R. *Realising the school science curriculum*[J]. *The Curriculum Journal*, 2018, 29(4): 522-537.
- [39] Bhaskar R. *The Possibility of Naturalism: A Philosophical Critique of the Contemporary Human Sciences*[M]. Oxon: Routledge, 1998: 38, 106, 89, 39.
- [40] Marshall L. 'Going to school to become good people': examining aspirations to respectability and goodness among schoolchildren in urban Ethiopia[J]. *Childhood*, 2016, 23(3): 423-437.
- [41] Manyukhina Y. Children's agency in England's primary schools: A case for structured freedom[J]. *British Educational Research Journal*, 2025.
- [42] Alderson P, Yoshida T. Meanings of children's agency: When and where does agency begin and end?[M]//Reconceptualising agency and childhood. Routledge, 2016: 75-88.
- [43] Brown G. The ontological turn in education: The place of the learning environment[J]. *Journal of Critical Realism*, 2009, 8(1): 5-34.
- [44] Bhaskar R. *The Possibility of Naturalism: A Philosophical Critique of the Contemporary Human Sciences*[M]. Oxon: Routledge, 1998: 102.
- [45] Ferguson S L. Teaching what is “real” about science: Critical realism as a framework for science education[J]. *Science & Education*, 2022, 31(6): 1651-1669.
- [46] Mirzaei Rafe M, Noaparast K B, Hosseini A S, et al. An examination of Roy Bhaskar's critical realism as a basis for educational practice[J]. *Journal of Critical Realism*, 2021, 20(1): 56-71.
- [47] 石鸥, 张靖卉. 新课标下教师教科书使用的困境及其纾解[J]. *教育科学*, 2025, 41(04): 40-47.
- [48] 杨道宇. 什么是学科实践? ——基于本体论视角[J]. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 2024, 42(12): 73-81.

- [49] 车丽娜, 徐继存. 基于学科实践的教学认识刍议[J]. 教育研究, 2024, 45(03): 64-73.
- [50] Andersen K N. Assessing task-orientation potential in primary science textbooks: Toward a new approach[J]. Journal of Research in Science Teaching, 2020, 57(4): 481-509.
- [51] Vojíř K, Rusek M. Science education textbook research trends: a systematic literature review[J]. International Journal of Science Education, 2019, 41(11): 1496-1516.
- [52] Schwab J J. The teaching of science as inquiry[J]. Bulletin of the Atomic Scientists, 1958, 14(9): 374-379.
- [53] Höttecke D, Silva C C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles[J]. Science & Education, 2011, 20(3): 293-316.
- [54] Aldahmash A H, Omar S H. Analysis of activities included in Saudi Arabian chemistry textbooks for the inclusion of argumentation-driven inquiry skills[J]. Studies in Educational Evaluation, 2021, 68: 100968.
- [55] Aleixandre M P J. Teaching evolution and natural selection: a look at textbooks and teachers[J]. Journal of Research in Science Teaching, 1994, 31(5): 519-535.
- [56] Panayides A, Sá-Pinto X, Mavrikaki E, et al. Evolution content in school textbooks: data from eight European countries[J]. Evolution: Education and Outreach, 2024, 17(1): 11.
- [57] Chacón-Díaz L B. A textbook analysis to uncover the hidden contributors of science and mathematics[J]. Science & Education, 2022, 31(1): 193-211.
- [58] Chi S, Wang Z, Qian L. Scientists in the textbook: Development and validation of an analytical framework for analyzing scientists' portrayals in an American chemistry textbook[J]. Science & Education, 2024, 33(4): 937-962.
- [59] Sousa Santos, B. Epistemologies of the South: Justice against Epistemicide[M]. London: Paradigm Publishers, 2014: 201.
- [60] Oerlemans K. Students as stakeholders: Voices from the antipodes[J]. Journal of Educational Administration and History, 2007, 39(1): 17-32.
- [61] Zion S D. Systems, stakeholders, and students: Including students in school reform[J]. Improving Schools, 2009, 12(2): 131-143.
- [62] 约翰·杜威.我们如何思维[M].上海:华东师范大学出版社,2020.

- [63] Cho Y, Park Y. “Textbook as a contradictory melting-pot”: An analysis of multicultural content in Korean textbooks[J]. Asia Pacific Journal of Education, 2016, 36(1): 111-130.
- [64] Lee V R. Adaptations and continuities in the use and design of visual representations in US middle school science textbooks[J]. International Journal of Science Education, 2010, 32(8): 1099-1126.
- [65] Devetak I, Vogrinc J. The criteria for evaluating the quality of the science textbooks[M]//Critical analysis of Science textbooks: Evaluating instructional effectiveness. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013: 3-15.
- [66] Chambliss M J, Calfee R C. Designing science textbooks to enhance student understanding[J]. Educational psychologist, 1989, 24(3): 307-322.
- [67] Fuchs E, Henne K. History of textbook research[M]//The Palgrave handbook of textbook studies. New York: Palgrave Macmillan US, 2018: 25-56.
- [68] Nawani D. School textbooks: Understanding frameworks for analysis[J]. Contemporary Education Dialogue, 2010, 7(2): 157-192.

The Presentation of Science Textbook Content from a Critical Realist Perspective: Proposing a Design Framework

[Abstract] Enabling students to genuinely engage with “science” as understood through a Marxist philosophy of science is central to science textbook development. Critical realism offers a theoretical foundation for this endeavor: it views science as a social practice that reveals the mechanisms of the natural world, while recognizing that textbook users’ understanding is shaped by their sociocultural contexts. Textbook design should establish a dialectical unity between non-arbitrary (mechanistic knowledge) and arbitrary (historical-social) dimensions—highlighting inquiry practices as the core of learning while, under Schwab’s framework of special reference, revisionary character, and plural character, presenting the conditionality and openness of scientific knowledge. Methodologically, textbook research should adopt an evidence-based approach that integrates stakeholders’ experiences and move from static textual analysis toward dynamic, practice-oriented inquiry.

Keywords: Critical Realism; science textbook; disciplinary practice; scientific inquiry