

测量误差、不确定度与真理的相对性

——实验教学的一个难点及课程思政

张映辉

(大连海事大学理学院, 辽宁 大连 116026)

摘 要 课程思政离不开具体的教学内容, 思政观点必须与课程内容有较强的相关性; 大学阶段的课程思政既要有较强的政治性, 又要有较高的层次性。本文将真理的相对性(及相关原理、观点)融入误差与不确定度教学, 在帮助学生深入学习理解不确定度概念及应用的同时, 进一步熟悉和理解唯物辩证法相关原理和观点, 引导他们坚定政治信仰, 强化投身科学事业探索未知的信心和决心, 并试图以此作为理工学科课程思政建设视角、思路和方法的一次实践探索, 供同行诸贤参考。

关键词 测量误差; 不确定度; 真值; 近真值; 真理的相对性; 课程思政

ERROR OF MEASUREMENT, UNCERTAINTY, AND THE RELATIVITY OF TRUTH

—A DIFFICULT POINT OF EXPERIMENTAL TEACHING AND CURRICULUM IDEOLOGY

ZHANG Yinghui

(College of Science, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning 116026)

Abstract Curriculum ideology should not be separated from the specific teaching content, and ideological viewpoints must have a strong correlation with the content of the course. The curriculum ideology in the university stage should not only have a strong political nature, but also have a higher level. In this paper, the relativity of truth (and related principles and views) is integrated into the teaching of error and uncertainty, While helping students to deeply understand the concept and application of uncertainty, they are further familiar with the relevant principles and views of materialist dialectics, guide them to strengthen their political belief, and strengthen their confidence and determination to devote themselves to scientific career to explore the unknown. This paper attempts to take it as a practical exploration of the perspective, thought and methods of the curriculum ideological construction of the science and technology for the reference of the peers.

Key words error of measurement; uncertainty; true value; near true value; the relativity of truth; curriculum ideology

收稿日期: 2023-05-06

基金项目: 2021 教育部高等学校教学研究项目“贯彻‘三位一体’要求, 提高实验教学育人效果研究(DWJZW202101db)”; 2021 年度辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目“结合物理教学传授辩证唯物主义世界观和方法论研究”(项目指南编号 1-9); 大连海事大学 2022 年教师发展项目“打造符合‘三位一体’要求的优秀教学团队(JF2021Y15)”

作者简介: 张映辉, 女, 教授, 主要从事大学物理和大学物理实验教育教学工作, 研究方向为凝聚态物理, yhzhang@dlmu.edu.cn.

引文格式: 张映辉. 测量误差、不确定度与真理的相对性——实验教学的一个难点及课程思政[J]. 物理与工程, 2023, 33(4): 73-78.

Cite this article: ZHANG Y H. Error of measurement, uncertainty, and the relativity of truth—A difficult point of experimental teaching and curriculum ideology[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(4): 73-78. (in Chinese)

1 课程思政的目标、要求和努力方向

教育部《高等学校课程思政建设指导纲要》指出,要“深入挖掘各类课程和教学方式中蕴含的思想政治教育资源,让学生通过学习,掌握事物发展规律,通晓天下道理,丰富学识,增长见识,塑造品格,努力成为德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人”^[1]。理学、工学类课程“要在课程教学中把马克思主义立场观点方法的教育与科学精神的培养结合起来,提高学生正确认识问题、分析问题和解决问题的能力”“要注重科学思维方法的训练和科学伦理的教育,培养学生探索未知、追求真理、勇攀科学高峰的责任感和使命感”^[1]。

如果通过“课程思政”,既能够强化“马克思主义立场观点方法的教育”与“科学精神的培养”,又能帮助学生对所授科学知识(包括理论、概念、观点、方法,下同)的理解,更好地实现知识体系建构,并从而“让学生通过学习,掌握事物发展规律,通晓天下道理”,岂不是更好?

是的,所谓的“将价值塑造、知识传授和能力培养三者融为一体”“寓价值观引导于知识传授和能力培养之中”,就是要通过对“课程”与“思政”的深入研究,找到教学内容与思政观点的相关性、融通点,通过巧妙设计和适时、精准、简洁、到位的讲解,实现“教书”与“育人”的相辅相成、相互促进、相得益彰。

也就是说,课程思政与一般教学目标的实现能否相互促进?答案是肯定的。只要我们找到“结合点”(相关性、融通点)和正确的“融入”方法。优质的、高水平的课程思政应该能够实现知识体系建构与政治觉悟提升的统一、“科学精神的培养”与正确“三观”确立的统一。

2 测量不确定度的评定和表示^[2]是实验(误差理论)教学的一个难点

2.1 关于误差与不确定度

不确定度表示利用可获得的信息,表征赋予被测量量值分散性的非负参数^[3]。

当报告物理量的测量结果时,应对测量结果的质量给出定量的说明,以便使用者能评价其可靠程度。从前,人们用“测量误差”来评定测量结果的准确程度。由于测量误差是一个理想化的概

念,实际上难以准确定量。考虑测量误差在实际评定中存在难以克服的缺陷,1993年,国际标准化组织(ISO)、国际计量局(BIPM)等7个组织联合发布了《测量不确定度表示指南》。我国1999年制定《测量不确定度评定与表示》作为统一准则,作出了用不确定度对测量结果进行评定、表示和比较的规定。2017年,国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会重新颁布了《测量不确定度评定和表示》(中华人民共和国国家标准:GB/T 27418—2017)^[3],对相关概念进行了重新定义,用“被测量的值”(或“量值”)替换原来(99版,下同)的“真值”,用“估计值”替换原来的“近真值(最佳值)”。

由于新“国标”尚未正式写入教学基本要求,“被测量的值”(或“量值”)、“估计值”等概念还没有进入日常教学。为便于叙述和理解,下面仍沿用原有的真值、近真值(最佳值)概念。

2.2 引入不确定度后,实验结论(测量结果)的表述

因篇幅所限,略去繁琐的理论推演和教学解析等内容,仅以大学物理实验教学中间接测量量测量结果的评定和表示为例简要说明。

间接测量量 N 的测量结果评定和表示的主要步骤^[4]:

A. 按照直接测量量 x_i 测量结果评定和表示的步骤求出各直接测量量的测量结果 $\bar{x}_i \pm U_i$ 。

B. 求间接测量量的最佳值 $\bar{N} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ 。

C. 用不确定度合成公式求出 N 的不确定度

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot U_i \right)^2} \quad \text{或相对合成不确定度}$$

$$U_r = \frac{U}{\bar{N}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i} \cdot U_i \right)^2}。$$

对于加减运算为主的函数,先求不确定度 U ,再用 $U_r = \frac{U}{\bar{N}}$ 求 U_r 比较简便;而对以乘除运算为主的函数,先求出其相对不确定度 $U_r(N)$,再用 $U = \bar{N} U_r$ 求不确定度比较简便。

D. 最后写出测量结果

$$\begin{cases} N = (\bar{N} \pm U) (\text{单位}) \\ U_r = \frac{U}{\bar{N}} \times 100\% \end{cases}。$$

例1 已知测量金属丝电阻率的原理公式为:

$\rho = \pi D^2 R / 4L$ 。其中金属丝长度的测量结果为： $L \pm U_L = 3.000 \pm 0.005\text{m}$ ，直径的测量结果为： $D \pm U_D = 0.136 \pm 0.004\text{mm}$ ，用电桥测电阻的测量结果为： $R \pm U_R = 105.5 \pm 0.1\Omega$ 。求：(1) 电阻率 $\rho = ?$ (2) 推导出电阻率的相对合成不确定度公式 $U_r(\rho)$ ，并计算出结果；(3) 求电阻率的测量结果 $\rho \pm U = ?^{[5]}$

解：(1) 电阻率测量最佳值为

$$\begin{aligned}\rho &= \pi D^2 R / 4L \\ &= 3.142 \times 0.136^2 \times 10^{-6} \times 105.5 / (4 \times 3.000) \\ &= 5.11 \times 10^{-7} \Omega\text{m}\end{aligned}$$

(2) 电阻率的相对不确定度为

$$\begin{aligned}U_r(\rho) &= U/\rho \\ &= \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial D}\right)^2 U_D^2 + \left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial R}\right)^2 U_R^2 + \left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial L}\right)^2 U_L^2} \\ &= \sqrt{4\left(\frac{U_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{U_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{U_L}{L}\right)^2} \\ &= \sqrt{4\left(\frac{0.004}{0.136}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{105.5}\right)^2 + \left(\frac{0.005}{3.000}\right)^2} \\ &= 5.9 \times 10^{-2} = 6\%\end{aligned}$$

(3) 不确定度为 $U = \rho U_r(\rho) = 5.11 \times 10^{-7} \times 6 \times 10^{-2} = 3 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

电阻率的测量结果为

$$\rho \pm U = (5.1 \pm 0.3) \times 10^{-7} \Omega\text{m}$$

即，科学实验(测量)的结论(结果)应包含最佳值和不确定度两部分(在选定计量标准，即单位情况下)。

2.3 教学的难点在于不确定度概念的建立

对于大多数理工科学生来说，学习的难点不在于公式和计算有多么复杂，而在于概念的理解和建构。

从小学到高中，学生所受的教育和训练都是精准的、是非(对错)分明的。他们对“误差”的认识(即便在学习了误差理论之后)大多仍停留在直观层面(如仪器精度不够高、测量不够精细等)。在他们的思想体系中，理科的问题都是有确定标准答案的，“不确定”是不正常、另类和错误的。思维惯性使他们在心理上不重视对“不确定度”这一重要概念和意义的学习理解和应用。

另一方面，由于不确定度概念及其所展现的科学思想和方法与一般的误差理论相比，不仅非常新颖，而且更为深刻和精妙，教师讲起来也感到比较困难，在客观上也造成了学生学习和理解上的不

深入、不到位。许多同学头脑中不确定度的概念比较模糊，满足于套用公式算出某个值，完成实验报告了事。这种情况若不能改变，将对后续的学习特别是科研(实验)工作产生非常不好的影响。

爱因斯坦说，解决一个问题的答案，往往并不在问题的同一维度，而是在更高的维度上^[6]。从更高的层面挖掘真值、近真值、不确定度等概念的意义，帮助学生深入理解不确定度所展现的科学思想、科学方法，将使他们对科学实验在理论、方法，尤其是实验数据的分析、实验结果的评定与利用上有更为清楚、深刻的认识，同时也能坚定用实验(测量、数据采集、计算、分析等)方法探索未知世界的信心和决心。

3 唯物辩证法关于真理的相对性原理

3.1 相关概念、原理

1) 真理，是标志主观与客观相符合的哲学范畴，是对客观事物及其规律的正确反映^[7]。

2) 真理的绝对性和相对性^[8]。

真理的绝对性有两层含义：一是真理是客观存在的，是不依赖于人的意识的客观内容，真理与谬误有原则的界限，这是无条件的、绝对的。二是人类能够正确认识无限发展着的物质世界，认识每前进一步，都是对无限发展着的物质世界的接近，这也是绝对的、无条件的。在这个意义上，承认世界的可知性，也就是承认了绝对真理。

真理的相对性，是指人们在一定条件下对客观事物及其本质和发展规律的正确认识总是有限度的、不完善的。它也有两层含义：一是范围有限，从客观世界的整体来看，任何真理都只是对客观世界的某一阶段、某一部分的正确认识，有待扩展；二是深度有限，就特定事物而言，任何真理都只是对客观对象一定方面、一定层次和一定程度的正确认识，认识反映事物的深度是有限度的，或是近似性的。因而，认识有待深化，也就是说，任何真理都只能是主观对客观事物近似正确即相对正确的反映。

3) 真理发展规律

真理永远处在由相对向绝对的转化和发展中，亦即人们的认识能够随实践探索愈来愈接近客观实际(主客观统一)。

3.2 真理、真理的相对性与真值、近真值、不确定度的相关性

研究发现，真理、真理的相对性与真值、近真

值、不确定度具有很好的正相关性。其对应关系及相关观点如图1所示。

结合相关原理,应该明确:

A. 真理是客观存在的,肯定有一个真值;

B. 实验不能得到真值,只能得到(一定条件下的)近真值(最佳值);

C. 为体现实验结果的科学性,用“近真值+不确定度”表述测量(实验)结果;

D. 既要承认真值(真理)存在,又用“近真值+不确定度”表述测量结果,表明实验(测量)结果是相对正确(近真)的,这体现(等于承认)了真理的相对性;

E. 不确定度正是这种相对性(近真程度)的表述。

近真值、不确定度等概念及其相互关系十分完美地展现了唯物辩证法关于真理的相对性原理,二者互为概括和例证,一并进行讲解,不仅有利于近真值、不确定度等概念的理解,而且能够帮助学生加深对唯物辩证法及其相关原理的学习和理解,有利于坚定政治信仰,强化科学的世界观和方法论。

4 教学设计

4.1 主要思政元素、教学(融入)方法与目标

A. 主要思政元素及其与课程内容的对应关系:

真理,真理的绝对性——真值

真理的相对性——近真值+不确定度

真理发展规律——科研探索不断深入,越来越接近真值(真理)

B. 思政内容(融入)方法:将唯物辩证法关于真理的相对性原理(含相关概念、真理发展规律)融入教学。

C. 教学(思政)目标:

目标1:强化教学目标。引导学生从更高(哲学)层面理解不确定度概念,进而加深对整个教学内容(包括真值、近真值、不确定度及其相互关系和意义等)的理解和体系建构。同时,对学业、事业也将有所启迪(也可看作思政目标之一)。

目标2:帮助学生深入学习和理解真理的相对性原理和真理发展的规律,打牢辩证唯物主义思想基础,坚定马克思主义信仰,树立正确的科学观、实践观。

4.2 教学内容与学业目标、学业启迪

本课教学内容与学业目标、学业启迪如图2所示。

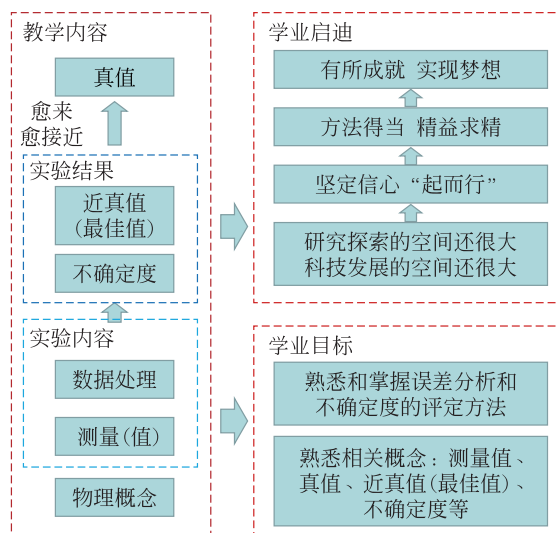


图2 教学内容与学业目标、学业启迪简图

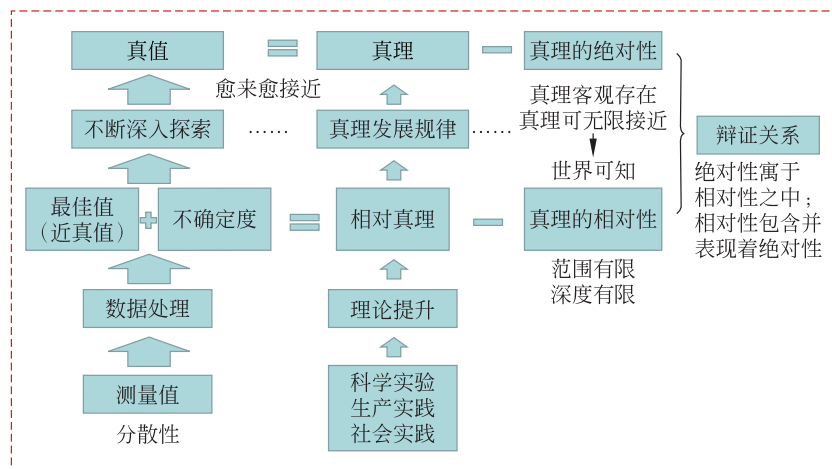


图1 真值(真理)与不确定度辩证关系图

传授知识,完成基本教学内容,并在学业上给学生以正确的引领和启迪,是教师的基本任务和职责。

应该承认,许多教师把“学业启迪”当作课程思政,也在情理之中。

4.3 教学内容、课程思政与育人(思政)目标

教学内容与课程思政逻辑关系如图3所示(教师掌握)。

教学中应该启发学生:

所谓的用“不确定度”表示“对被测量值不能确定的程度”,从本质上讲就是承认测量所得(直接或间接所得的值,下同)只是现有条件下“相对正确(准确)”的结果,即现有条件下的最佳值、近真值。

“近真值+不确定度”即为现有条件下所能达到的“真理”,这个“真理”是相对的、可向前推进(发展)的——这就是真理的相对性。

随着科技进步(条件改善)和人类的不断探索(方法改进),测量所得一定会愈来愈接近真值(真理)——此即真理发展规律。

我们既要相信真理(真值)的存在,又要承认真理不是一成不变的,真理永远处在发展中。这正是我们进行科学研究,不断探索前行的意义和价值所在。

4.4 课程思政的主要内容(思政元素)与教学融入

教学中融入真理的相对性原理,引导学生树

立正确“三观”的逻辑关系和教学内容(流程)如图4所示。

结合上图,启发学生(重复的观点可以略去):

A. 关于真理的绝对性,应该有以下几点认识:真理是客观存在的(测不准也是一种客观存在),否则,一切研究探索毫无意义。

真理是客观存在的(——世界观),因此,要坚定用科学研究探索未知的信心和决心(——价值观)。

世界是可知的(——世界观),人类的认知正不断向微观和深空拓展。

假如世界不可认知(——不可知论),那么,一切研究探索将毫无意义。不可知论显然已被人类文明成果所否定。

B. 真理的相对性告诉我们:

真理(在范围上)是有限的^[8],如牛顿力学只适用于低速宏观运动。

真理(在深度上)是有限的,实验只能得到近真值(现实条件下的最佳值),认识无终结,探索无止境。

不承认真理的有限性,将堕入绝对主义、教条主义、终结论。

真理是有限的,不确定度正是这种有限性的表述。因此,用“近真值+不确定度”表述我们对客观世界(被测量值)的认识,是科学的现实选择。

真理是有限的,即真理永远处在发展中(——世界观),人类通过不断地探索前行可以越来越接

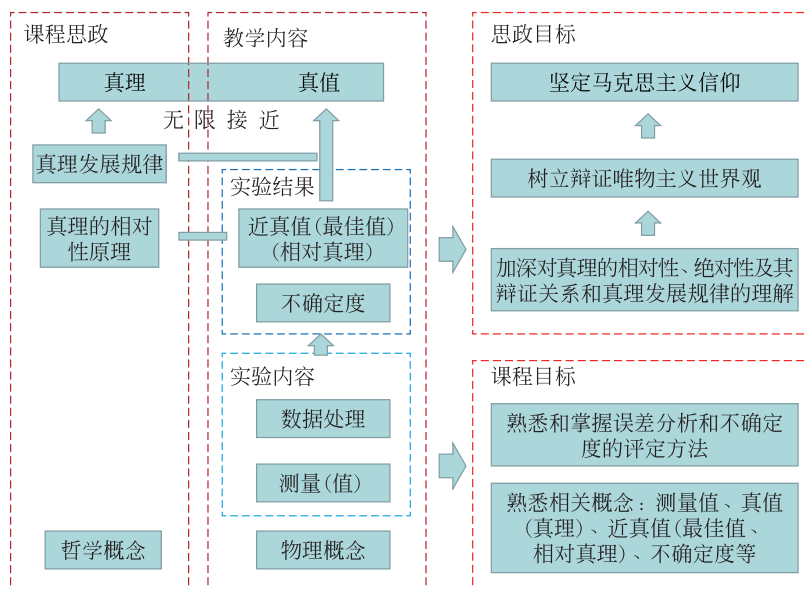


图3 教学内容与课程思政逻辑关系图

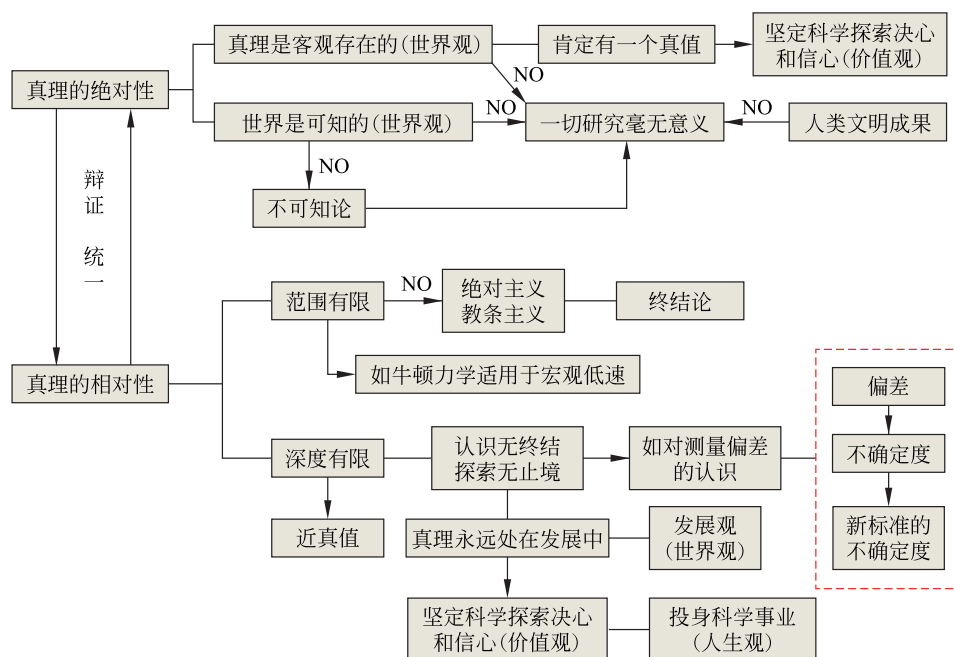


图4 不确定度、真理的相对性原理与“三观”教育流程

近客观真实(真值、真理)——真理发展规律。为此,更应坚定科学研究探索未知的信心和决心(——价值观)——同学们可以把科学实验探索未知作为职业选择和人生目标(——人生观)。

5 结语

总之,课程思政不是“课程”与“思政”的简单相加,而是要在教学中融入“马克思主义立场观点方法的教育”与“科学精神的培养”,“让学生通过学习,掌握事物发展规律,通晓天下道理”。

不确定度体现了辩证唯物主义关于真理的相对性原理。教学中融入这一原理,一方面,能够帮助学生从更高维度(哲学层面)学习理解真值、近真值、不确定度等概念,促进教学效果提升。另一方面,结合不确定度及相关概念、知识的学习和应用,能够帮助学生加深对关于“真理是客观存在的”、“世界是可知的”、同时“真理又是相对的、有限的(测量只能得到近真值)”、“真理永远处在发展中”等观点的认识,从而坚定政治信仰,有利于他们坚定投身科学事业的信心和决心,在学习和

工作中踔厉前行,奋发有为。

参考文献

- [1] 教育部. 高等学校课程思政建设指导纲要[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-06/06/content_5517606.htm(2020-06-06)[2023-05-26].
- [2] 教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会. 理工科大学物理课程教学基本要求理工科大学物理实验课程教学基本要求(2010年版)[M]. 北京:高等教育出版社,2011:16.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准 测量不确定度评定和表示: GB/T 27418—2017[S]. 2017.
- [4] 张映辉. 大学物理实验学习指导书[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2021:14.
- [5] 张映辉. 大学物理实验[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,2017:19-20.
- [6] 李善友. 第一性原理[M]. 人民邮电出版社,2021:扉页.
- [7] 《马克思主义基本原理(2023年版)》编写组. 马克思主义基本原理(2023年版)[M]. 北京:高等教育出版社,2023:91.
- [8] 李秀林,王于,李淮春. 辩证唯物主义和历史唯物主义原理[M]. 5版. 北京:中国人民大学出版社,2021:296-298.