

“有效失败”理论文献综述

王晓腾, 史 凡, 张明霞

青岛大学师范学院, 山东 青岛

收稿日期: 2024年5月21日; 录用日期: 2024年7月10日; 发布日期: 2024年7月19日

摘 要

摩奴·卡普尔(Kapur Manu)学者提出的有效失败理论(Productive Failure), 以深度学习为导向, 强调学生在课堂中经历的有效“失败”不仅能够激发学生“探明真相”的内在学习动机, 而且能够帮助学生克服失败带来的羞耻感, 锤炼学习韧性, 近些年来得到国内外学者的广泛关注。本文通过梳理“有效失败”理论的国内外相关文献, 在阐述其源起与内涵、实践与效果的基础上, 结合当前研究现状及课改要求, 从理论发展、学科融合、实践探索等方面提出具体建议, 以期为学生发展赋能。

关键词

有效失败理论, 深度学习, Manu Kapur

Literature Review of “Effective Failure” Theory

Xiaoteng Wang, Fan Shi, Mingxia Zhang

Normal College of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: May 21st, 2024; accepted: Jul. 10th, 2024; published: Jul. 19th, 2024

Abstract

The theory of Productive Failure proposed by Kapur Manu, oriented to deep learning, emphasizes that effective “failure” experienced by students in the classroom can not only stimulate students’ motivation to “find out the truth”, but also help students overcome the shame brought by failure and improve their learning resilience, which has received extensive attention from scholars at home and abroad in recent years. In this paper, by combing the domestic and international literature on the theory of “effective failure”, on the basis of elaborating its origin and connotation, practice and effect, and taking into account the current research situation and the requirements of the curriculum reform, we put forward specific suggestions on the development of the theory, in-

文章引用: 王晓腾, 史凡, 张明霞. “有效失败”理论文献综述[J]. 创新教育研究, 2024, 12(7): 216-223.

DOI: 10.12677/ces.2024.127452

tegration of disciplines, and exploration of practice, with a view to empowering the development of students.

Keywords

Effective Failure Theory, Deep Learning, Manu Kapur

Copyright © 2024 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

《义务教育课程方案(2022 版)》中提到“引导学生参与学科探究活动, 经历发现问题、解决问题、建构知识、运用知识的过程, 体会学科思想方法”[1]。这要求教师有目的地设计教学, 引导学生自主发现问题, 在探究原因和寻求真相过程中深入理解知识并解决问题, 实现深度学习。与此同时, 《全面加强和改进新时代学生心理健康工作专项行动计划(2023~2025 年)》文件中指明“优化教育内容和方式, 遵循学生成长成才的规律, 把解决学生心理问题和解决学生成才发展的实际问题相结合, 培养学生不懈奋斗、荣辱不惊、百折不挠的意志品质”。该文件内容要求教师既要培养学生学习能力, 又要在学习中锻炼学生的意志, 实现“成长”和“成才”两手抓。摩奴·卡普尔(Kapur Manu)学者提出的有效失败理论(Productive Failure), 以深度学习为导向, 强调学生在课堂中经历的有效“失败”不仅能够激发学生“探明真相”的内在学习动机, 而且能够帮助学生克服失败带来的羞耻感, 锤炼学习韧性, 因而得到国内外学者的广泛关注。本文围绕“有效失败”理论阐述其源起与内涵、实践与效果, 并基于当前国内研究现状提出建议, 以期能为相关学者应用有效失败理论提供建议, 共同为学生自主发展赋能。

2. 有效失败的理论源起与内涵

早在有效失败理论提出前, 已有学者开始关注“失败”, 尽管对“失败”的表述不尽相同, 但对其在个体心理、教育发展上的深远意义达成共识。最早在苏格拉底的“产婆术”中, “讥讽”环节就是力图使谈话者陷入所知与不知的“两难情境”, 即强调个体观念陷入不能自洽的冲突中[2]。而后伴随受教育的人数规模增大, 学校教育的关注点逐渐忽视“个体”, 寻求集体共同的标准化约束, 强行规范学生的“失败”, 而外部的机械刺激或惩罚往往适得其反。在此背景下, 卢梭提出“自然后果法”, 反对说理教育、纪律约束与惩罚教育, 主张学生个体自然经历失败后的“自我唤醒”。皮亚杰用“认知冲突”来解释个体“失败”后的“自我唤醒”, 即通过同化或顺应来使得新旧认知达到平衡。在我国, 孔子时期便开始强调“失败”后的体悟, 认为冥思苦想后仍不得自解时, 才是启发学生的最好时机, 提出“不愤不启, 不悱不发, 举一隅不发三隅反, 则不复也”[3]。意识到失败的教育意义后, 不同学者聚焦如何在课堂情境中发挥失败价值, 提出了一系列教学设计理论。Vanlehn 等学者从教学顺序角度论述并提出僵局驱动学习理论(Impasse-Driven Learning) [4]。Schmidt 等学者从学习效果的时效性出发, 提出理想困难理论(Desirable Difficulties) [5]。Schank 等学者从学生认知心理角度提出“挫折驱动记忆”理论(Preparation for Future Learning) [6]。Schwartz 等学者围绕教学形式, 强调动态视角分析和教育学生“为未来学习做准备”[7]。

基于早期学者们的相关研究, Manu Kapur 于 2008 年首次提出“有效失败”(Productive Failure)理论,

认为教师不能忽视学生的“失误”，甚至要刻意留出空白致使学生经历“失败”，以激发其内在学习的发生。相较于传统讲授-练习的教学形式，放大“失败”能够刺激学生刻板认知，激活其内在学习需求，满足学生的深度学习。此后，相关学者从有效失败的发生机制、教师的教学干预等不同角度来对有效失败的内涵进行阐释。杨玉芹[8]、张忠华[9]、陈颖[10]、朱丽娟[11]等学者从导致失败的“问题”切入，认为“挫败是指学生不能解决要解决的问题或找不到要解决问题的正统解决方案”[8]，并将其译为“启发性挫败”。郭靖远[12]、刘新阳[13]、刘徽[14]、曹鹭[15]等学者则更为强调教学实施过程中的“干预”，将其界定为“由某种教学干预所导致的，发生在学生身上的一种学习现象或学习机会，表现为学生同时产生了表现上的失败和学习的发生”[12]，并将其译为“有效失败”。此外，还有一些学者从失败的必然性与有效性的角度出发，将其解释为“富有成效的失败”[16]或“合理失败”[17]。尽管学者们对有效失败的翻译及内涵阐释有所差异，但本质上都强调过采取某种教学设计策略，让学生经历真实的探究过程，锻炼学习韧性并达成深度学习。

3. 有效失败的实践探索与效果检验

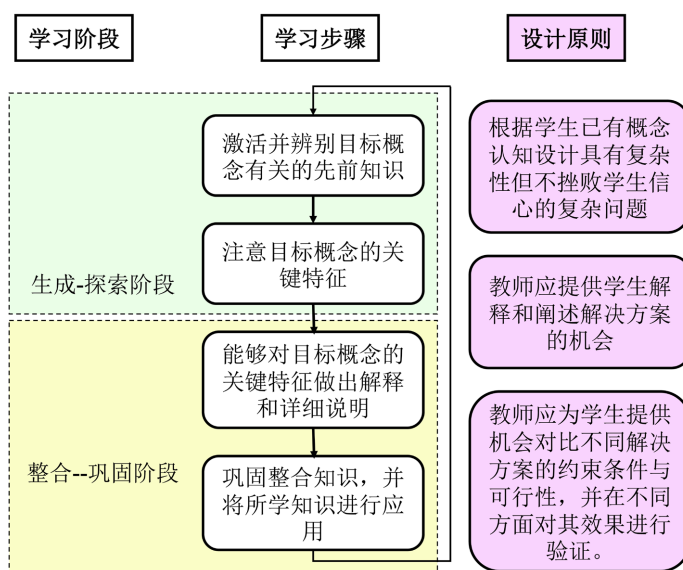


Figure 1. Model diagram of effective failure instructional design

图 1. 有效失败教学设计模型图

Manu Kapur 学者对有效失败理论的研究可以具体划分为三阶段。首先，学者针对“失败”的存在方式及出现的时机开展了相关研究，分别聚焦“问题类型”、“教学顺序”、“问题类型 + 教学顺序”。研究发现：其一，相较于结构良好问题，学生在参与解决复杂的、非良好结构问题时遇到的失败是一种有价值的实践[18] [19]；其二，相较于教师指导在先，学生练习在后(LP)，学生自主尝试后进行指导(PF)的效果更显著[20]；其三，先尝试后指导的教学形式与结构不良问题的组合对学生的成绩表现、概念理解等的作用更为有效，同时再次验证仅仅为学生提供结构不良的问题，而不给学生提供尝试的机会，不经历挫折与失败无法有效的促进学生的学习[21]。基于对“失败”效果的研究与发现，Kapur 学者总结提出了有效失败的教学设计模型，将教学核心划分为两阶段、三原则、四步骤。笔者基于理解将其整理为图 1 所示[22]。同时，根据学生表现不同，将“成功”与“失败”根据意义扩大了其内涵，具体划分为有效成功、有效失败、无效成功、无效失败四个区间，如图 2 所示[23]。经历一、二阶段之后，Kapur 学者将研究聚焦于两方面，其一是基于不同教学形式开展实验验证“经历失败”的必要性和有效性，例如

有效失败翻转课堂(PFFC)与传统翻转课堂(TFC) [24], 替代性失败课堂(VF)与有效失败课堂(PF) [25]。其二是聚焦教学实施, 探索促进“有效失败”的具体要素设计, 例如学生的结构性创造力[26]、程序性知识适用性[27]等, 并不断对教学变革提出呼吁[28]。

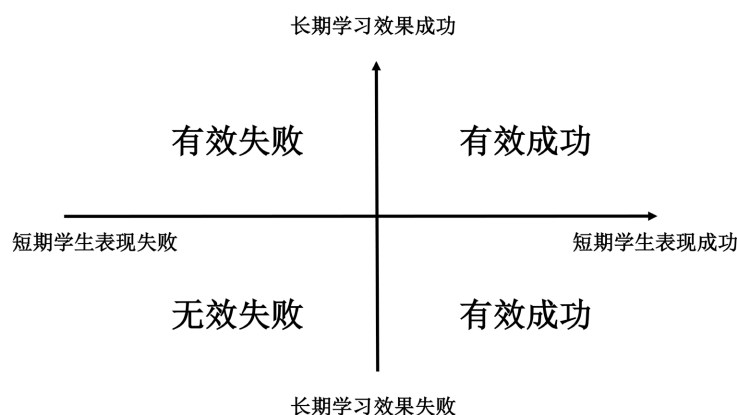


Figure 2. Behavioral performance and learning outcomes chart

图 2. 行为表现与学习效果划分图

有效失败理论提出后, 不同领域的学者也开始关注, 并通过对对照组研究或迭代性研究进行实践探索和效果检验。所谓“对照组研究”是指在不同科目或课型中重复实验变量或直接应用实验结论, 形成传统教学组(DI)与有效失败组(PF), 以此探究实验效果[29]-[31]。例如: 李茜学者选取“问题类型”作为研究切入点, 探究结构良好与结构不良问题对高一学生学习 Access 单元的影响, 通过完成度和解决方案多样性两个维度分析, 再一次验证了 Kapur 学者的观点, 即结构不良问题更利于学生开展探究学习[32]。Evelyn 等学者聚焦“教学顺序”, 将有效失败理论应用到大二医护生在人体模型模拟学习中, 研究发现有效失败组的表现优于直接指导组, 说明有效失败理论能够促进更深层次的解释性知识, 并使学生迁移学习新的临床情况[33]。“迭代性实验”是以实践为导向, 为发挥“失败”最大, 开展多轮行动研究探究最佳设计方案的过程。例如: 刘徽学者基于有效失败设计模型设计了 STEM 有效指导理论原型, 并通过理论原型 - 无指导型 - 有指导型 - 有效指导型的迭代升级, 最终得出 STEM 有效指导型的最终范式, 并对 STEM 教学目标设计、教学评价设计、教学过程设计提出建议[14]。王小玲学者关注“教学支架”, 探索小学信息技术技能课“有效失败”教学中支架设计策略, 通过三轮迭代行动研究, 提出新课阶段、生成探索阶段、整合阶段的支架类型选择应具备的功能[34]。

聚焦目前已有研究的效果发现, “有效失败”理论对学生学习态度[35]、学习兴趣[36] [37]、自我效能感[38]、创造性思维[39]、认知负荷[40]、小组合作能力[41]、深度学习能力[42]、问题解决能力[43] [44]、计算思维[45]等方面产生了积极作用。但是, 部分学者也表达出不同见解。例如, David 学者对学生习惯养成上提出质疑, 认为“无论学习者是从正确理论开始, 开始个人经验入手, 最终都应该在辩证学习过程中涉及到两种联系。同时对于程序性知识而言, 例如学习保龄球, 伴随这学生自主实践过程中, 难免会有‘坏习惯’的形成, 而此时, 越是让学生‘自动’, 越是难以忘记和改变这些‘坏习惯’” [46]。曹鹭学者对该理论的适用对象提出了异议, 认为“有效失败理论对学生的元认知与先前知识有要求, 因此有效失败理论对小学生可能不适用” [15]。Mazziotti 学者也认为由于小学生缺乏元认知技能与学习动机, 因此应用有效失败理论在开展教时, 四五年级小学生合作学习的效果不优于单独学习, 甚至还低于单独学习[47]。基于此, 有效失败理论的适用对象是否有所局限, 如何调整教学设计才能满足不同需求, 如何避免失败过程的“无效性”甚至“有害性”, 需要学者们进一步进行探究和验证。

4. 对国内有效失败理论研究的建议与启示

由于有效失败理论引入国内的时间相对较短,近年来才逐渐开始得到我国学者们的关注。笔者通过句子检索对“Productive Failure”的相关释义进行记录,包括“有效失败”、“启发性挫败”、“富有成效失败”、“有价值的失败”、“合理失败”。对中国知网(CNKI)近10年(2014~2023)发表的相关文献数量进行统计,结果如图3所示。

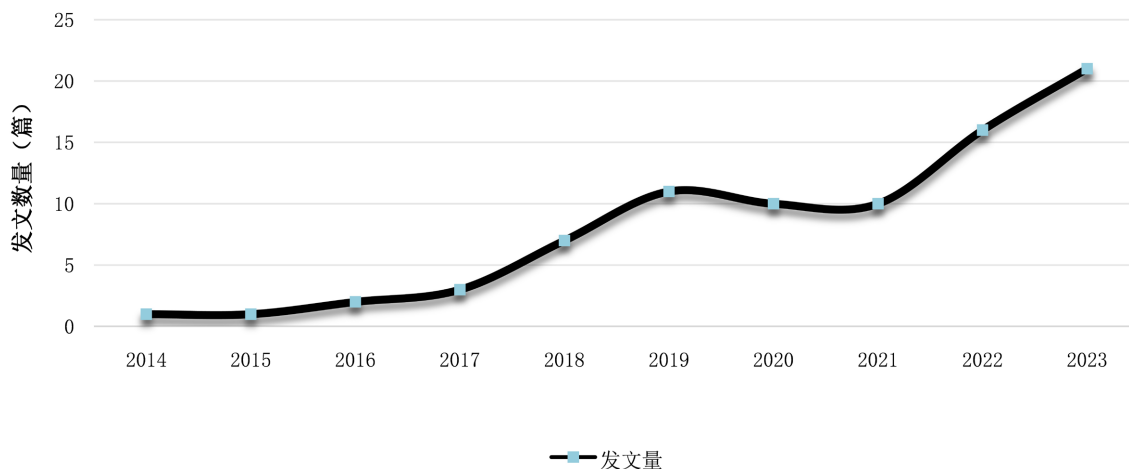


Figure 3. Annual publications in the literature related to effective failure in the country

图3. 国内有效失败相关文献的年度发文量

从国内发文趋势(图3)来看,有效失败理论的发文量呈逐年上升的趋势;从研究对象及其年龄分布而言,当前研究以学生为主,学段涉及小学、中学、高中、高职、大学等。其中,多数研究主要集中于初中与高中,这与Kapur学者所选取研究对象的年龄阶段有不可分割的关系,其次是高职,而小学学段的研究较少;从学科应用角度分析发现,当前有效失败理论的应用领域较为广泛。其中,计算机、数学、信息技术领域的研究更为深入,少部分学者围绕科学、英语、政治学科进行探索。基于国内的整体研究现状,笔者提出以下建议:

(一) 宏观: 以有效失败理论横向、纵向有机融合与深层次发展为导向

从国际角度而言,国外研究相对于国内研究更为立体化和系统化,表现为横向理论与纵向应用探索的双向打通,二者相互交融并在深度上逐层延伸。而当前国内的研究相对平面化和割裂化。已有研究主要表现为将理论“平移”到相关学科,选取某一研究点,探究该理论与学科的融合程度,以及此情境下有失败的“有效性”。为使有效失败理论横向、纵向、深度三维有机融合与发展,需做到:其一,“固定主轴”,即始终坚持以学生的根本利益作为出发点,坚持以学生为中心,根据学生水平或性格差异细化研究分支。切勿异化理解为“失败”为根本目的,为失败而失败;其二,“深度挖掘”,以中国化作为深度挖掘的指标,有效失败理论属于“舶来品”,当其出现在我国课堂时,必然会产生水土不服现象,尽管刘徽、曹鹭等学者开展了有效失败理论进行“中国化”的尝试,但仍需从国家文化、国情差异、教育理念、社会文化等角度进行比较研究,判断其长期的实用性与可行性;其三,“纵横交融”,将理论研究与应用探索进行融合,打破当前研究集中于教育领域的边界,实现心理领域、技术领域、教育领域的强强联手,实现“学生发展可视化,教师观测方便化,教学质量有保障”;其四,“纵横深发展”,层级化、细致化研究层级,按照学生学习水平/性格差异、失败层级/失败类型、等进行等级划分并研究,通过延长实验时间、细化实验观察内容、扩充实验人数等实现对失败效果及其对学生影响的检验。

(二) 中观：结合《义务教育课程方案》，开展新型教育理念倡导下的探索

有效失败的教学设计能够激活学生的学习兴趣与动机，并让学生产生更为深刻的概念理解，促进学生能力的发展。而根据当前已研究发现，目前以理工科学科为主，人文学科、跨学科领域内容相对较少，且大多建立在传统教学模式基础上进行教学设计。随着 2022 年《义务教育课程方案》以及各学科课程标准的颁布，要求“探索大单元教学，积极开展主题化、项目式学习等综合性教学活动”以及跨学科教学[1]。大单元学习、项目式学习、大概念学习、跨学科学习成为教师教学设计的聚焦点，因此，有效失败理论与新型教育理念进行融合是必然趋势。

基于此，一方面，积极拓展有效失败理论在文科以及跨学科，甚至学科不同课型中的应用极其有必要[48]；另一方面，进一步探究有效失败理论与不用教学理念的有机融合，适应当下对新型教育方式探索的需求，在过程中发挥“失败”的最大功效。当前，已有少数学者将项目式学习与有效失败理论进行融合，开展了相关研究，例如甄丹蕾等学者转变了传统项目式学习以成功成果导向为目标，更认为“学生有时无法完成教师布置的项目，但这并不意味着学生的学习是失败的”[49]。夏雪梅学者将有效失败理论与项目式教学中的教师支架策略进行融合，提出“教师不仅要提供化繁为简使项目顺利进行的支架，当学生没有遇到困难时，也可提供刻意营造的‘困难’促进学生思考的支架”。并基于观点细化了教师评价指标[50]。Song 学者聚焦以有效失败教学设计为基础的项目式学习，研究发现基于有效失败教学设计的项目式学习小组对概念知识的理解更深，在合作问题的解决质量上更好，且能够积极地面对项目式学习过程中的挑战，培养了学生学习主人翁的意识[51]。上述学者的研究从观念、理论、实践等层面说明有效失败理论下开展项目式学习的可行性与可操作性，为有效失败理论与不同教学理念进行融合提供借鉴意义。

(三) 微观：在实践中发现与反思，丰富实践层面的微观应用策略研究

在微观实践研究中，当前研究集中于融入“失败”的教学设计的教学效果研究，或是围绕单一教学支架、教学顺序、问题结构等教学要素。而在真正课堂实践中的相关影响因素不尽其数。例如，“有效失败”中的“有效”衡量依据和衡量标准分别是什么？David Hung 等学者在其文章中提到有关“有效失败”的研究主要侧重于“学到了什么”，其成功的标准主要依据学生是否做“对”题目，以此作为标准是否合理仍待进一步探究[46]。此外，教师在进行课堂教学、巡视、指导时，应何时、何地、提供何种程度的支持呢？当教师将主动权交予学生，与学生共同经历失败的不可控，此时产生的挫败和焦虑应如何应对和调节？以及有效失败中学习的影响因素(包括动机、坏习惯等隐形因素)、教学氛围、师生关系、评价方式等要素的策略研究当前仍显现出空白。因此，研究者应在实践过程中不断发现与反思，既是控制相关研究实验变量的必然要求，同时也是丰富实践层面的微观应用策略研究的重要途径。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.义务教育课程方案(2022 年版) [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022: 12.
- [2] 林崇德, 胡卫平. 思维型课堂教学的理论与实践[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2010(1): 29-36.
- [3] 陈桂生. 孔子“启发”艺术与苏格拉底“产婆术”比较[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2001, 19(1): 7-13.
- [4] VanLehn, K. (1988) Toward a Theory of Impasse-Driven Learning. In: Mandl, H. and Lesgold, A., Eds., *Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems*, Springer, 19-41. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6350-7_2
- [5] Schmidt, R.A. and Bjork, R.A. (1992) New Conceptualizations of Practice: Common Principles in Three Paradigms Suggest New Concepts for Training. *Psychological Science*, 3, 207-218. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1992.tb00029.x>
- [6] Schank, R.C., Berman, T.R. and Macpherson, K.A. (1999) Learning by Doing. In: Reigeluth, C.M., Ed., *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory, Volume II*, Lawrence Erlbaum Associates, 161-182.

- [7] Schwartz, D.L. and Martin, T. (2004) Inventing to Prepare for Future Learning: The Hidden Efficiency of Encouraging Original Student Production in Statistics Instruction. *Cognition and Instruction*, **22**, 129-184. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2202_1
- [8] 杨玉芹. 启发性挫败的设计研究——翻转课堂的实施策略[J]. 中国电化教育, 2014(11): 111-115.
- [9] 张忠华, 张苏. “启发性挫败”教学模式的研究与启示[J]. 河北师范大学学报(教育科学版), 2018, 20(2): 98-104.
- [10] 陈颖. 编程教育中利用启发性挫败促进学习的研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中师范大学, 2020.
- [11] 康长青, 朱丽娟, 胡春阳, 等. 基于启发性挫败学习的数据结构课堂设计与实践[J]. 计算机教育, 2022(7): 71-74.
- [12] 郭婧远. 创客教育中利用有效失败促进学习的研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- [13] 刘新阳. 利用有效失败的创客学习活动设计——一项探索性研究[J]. 中国电化教育, 2018(4): 82-90.
- [14] 刘徽, 杨佳欣, 徐玲玲, 等. 什么样的失败才是成功之母?——有效失败视角下的 STEM 教学设计研究[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2020, 38(6): 43-69.
- [15] 曹鹭. 有效失败与知识迁移: 理论、机制与原则[J]. 开放教育研究, 2021, 27(3): 4-14.
- [16] 郑兰琴, 黄星星. 富有成效失败的协作编程策略在 Arduino 课程应用效果的实证研究[J]. 电化教育研究, 2019, 40(12): 80-86, 96.
- [17] 安德鲁·A.陶菲克, 荣慧, 伊克仍·超, 等. 从失败中学习: 受挫学习的统一设计方法[J]. 数字教育, 2017, 3(6): 84-92.
- [18] Kapur, M. (2008) Productive Failure. *Cognition and Instruction*, **26**, 379-424. <https://doi.org/10.1080/07370000802212669>
- [19] Kapur, M. and Kinzer, C.K. (2008) Productive Failure in CSCL Groups. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, **4**, 21-46. <https://doi.org/10.1007/s11412-008-9059-z>
- [20] Kapur, M. (2009) Productive Failure in Mathematical Problem Solving. *Instructional Science*, **38**, 523-550. <https://doi.org/10.1007/s11251-009-9093-x>
- [21] Kapur, M. (2010) A Further Study of Productive Failure in Mathematical Problem Solving: Unpacking the Design Components. *Instructional Science*, **39**, 561-579. <https://doi.org/10.1007/s11251-010-9144-3>
- [22] Kapur, M. and Bielaczyc, K. (2012) Designing for Productive Failure. *Journal of the Learning Sciences*, **21**, 45-83. <https://doi.org/10.1080/10508406.2011.591717>
- [23] Kapur, M. (2016) Examining Productive Failure, Productive Success, Unproductive Failure, and Unproductive Success in Learning. *Educational Psychologist*, **51**, 289-299. <https://doi.org/10.1080/00461520.2016.1155457>
- [24] Song, Y. and Kapur, M. (2017) How to Flip the Classroom—“Productive Failure” or “Traditional Flipped Classroom” Pedagogical Design? *Educational Technology & Society*, **20**, 292-305.
- [25] Kapur, M. (2013) Comparing Learning from Productive Failure and Vicarious Failure. *Journal of the Learning Sciences*, **23**, 651-677. <https://doi.org/10.1080/10508406.2013.819000>
- [26] Ziegler, E. and Kapur, M. (2018) The Interplay of Creativity, Failure and Learning in Generating Algebra Problems. *Thinking Skills and Creativity*, **30**, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.03.009>
- [27] Ziegler, E., Trninic, D. and Kapur, M. (2021) Micro Productive Failure and the Acquisition of Algebraic Procedural Knowledge. *Instructional Science*, **49**, 313-336. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09544-7>
- [28] Trninic, D., Wagner, R. and Kapur, M. (2018) Rethinking Failure in Mathematics Education: A Historical Appeal. *Thinking Skills and Creativity*, **30**, 76-89. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.03.008>
- [29] 李艺. STEM 教学中有效失败策略对大学生协作问题解决能力的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 金华: 浙江师范大学, 2021.
- [30] 魏笑. 有效失败法在高中英语语法教学中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南大学, 2018.
- [31] 王佩, 王桥. “有效失败”法在小学 Arduino 创客教育课程中的实践研究[J]. 计算机教育, 2020(9): 56-59.
- [32] 李茜. 有效失败教学中的问题设计研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2019.
- [33] Palominos, E., Levett-Jones, T., Power, T., Alcorn, N. and Martinez-Maldonado, R. (2021) Measuring the Impact of Productive Failure on Nursing Students’ Learning in Healthcare Simulation: A Quasi-Experimental Study. *Nurse Education Today*, **101**, Article ID: 104871. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2021.104871>
- [34] 王小玲. 小学信息技术技能课“有效失败”教学中支架设计研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2020.
- [35] 刘文韬. 基于有效失败理论的高中物理教学设计研究[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2022.
- [36] 徐芬芬. 有效失败方法在高中英语词汇教学中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 安庆: 安庆师范大学, 2023.

- [37] Kerrigan, J., Weber, K. and Chinn, C. (2021) Effective Collaboration in the Productive Failure Process. *The Journal of Mathematical Behavior*, **63**, Article ID: 100892. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2021.100892>
- [38] 万芳. 基于有效失败理论的 STEM 课程案例建构[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州师范大学, 2021.
- [39] 马雅婷. 有效失败视角下的小学图形化编程教学活动设计与实践[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 西北师范大学, 2023.
- [40] 杨佳欣. 有效失败视角下 STEM 教学设计研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2020.
- [41] 姜婷婷. 有效失败理论下高中信息技术课程教学过程设计与实践[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2020.
- [42] 张广萍. 有效失败理论促进学生深度学习的教学设计与实践研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2021.
- [43] 于梦真. 结对编程中利用有效失败促进小学生问题解决的研究[D]: [硕士学位论文]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2023.
- [44] Jacobson, M.J., Markauskaite, L., Portolese, A., Kapur, M., Lai, P.K. and Roberts, G. (2017) Designs for Learning about Climate Change as a Complex System. *Learning and Instruction*, **52**, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.03.007>
- [45] 李想. 有效失败理论下面向计算思维培养的支架设计与应用研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2024.
- [46] Hung, D., Chen, V. and Lim, S.H. (2009) Unpacking the Hidden Efficacies of Learning in Productive Failure. *Learning Inquiry*, **3**, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s11519-008-0037-1>
- [47] Mazziotti, C., Rummel, N., Deiglmayr, A. and Loibl, K. (2019) Probing Boundary Conditions of Productive Failure and Analyzing the Role of Young Students' Collaboration. *NPJ Science of Learning*, **4**, Article No. 2. <https://doi.org/10.1038/s41539-019-0041-5>
- [48] 李娟. 基于有效失败理论的初中信息科技课堂教学设计与实践研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 南宁师范大学, 2024.
- [49] 甄丹蕾, 刘徽. 有效失败: 失败的项目, 成功的学习[J]. 上海教育, 2020(26): 49-51.
- [50] 夏雪梅. 项目化学习中“教师如何支持学生”的指标建构研究[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2023, 41(8): 90-102.
- [51] Song, Y. (2018) Improving Primary Students' Collaborative Problem Solving Competency in Project-Based Science Learning with Productive Failure Instructional Design in a Seamless Learning Environment. *Educational Technology Research and Development*, **66**, 979-1008. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9600-3>