基于STEM教学的高中物理跨学科实践探索*

——以“避险车道的设计”为例

王 琳 (南京市第一中学 江苏 210003)
汪 明 (江苏省教育科学研究院 江苏 210003)

摘 要 以工程设计为载体的STEM教学是高中物理跨学科实践的有效方式之一。基于问题源、工程设计思维模型和教学流程三个方面构建EDL的教学模式,以“避险车道的设计”为例进行具体说明,评估与培育学生的探求欲和创造力。

关键词 STEM教学 工程设计 跨学科
文章编号 1002-0748(2025)12-0019 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

一种培养复合型创新人才的教育正在全球普及推广。2016年国务院颁布的《全民科学素养行动计划纲要实施方案(2016—2020年)》明确提出:在高中阶段要鼓励探究开展科学创新与技术实践的跨学科探究获得,促进学术创新精神和实践能力的发展[1]。如何将跨学科实践落到实处,这对广大一线教师而言仍是一个巨大的挑战。STEM教学强调学科间的内在联系,其内涵在于基于真实问题情境,打破分科教学壁垒,探索“做中学”“学中创”,为学生提供综合学习的经验。因此,STEM教学是高中跨学科实践教学实施的有效方式之一。以下基于工程设计思维模型视角,拓展对《普通高中数学课程标准(2017年版2020年修订)》中案例7停车距离问题的研究,以“避险车道的设计”为例,对高中物理融合科学、工程、数学等教学做一讨论。

1 工程设计与工程设计思维

工程设计是指为了满足人们的需求而对某一特定问题设计解决方法探讨“怎么做”的过程[2]。这些需要解决的问题通常来自真实的生产和生活,且结构不良,没有唯一的正确解决方案,因此工程设计既是问题解决过程,也是知识的创造过程,在这个过程中往往需要融合物理、数学、计算机等多学科知识才能完成。工程设计思维是一系列创造性的解决问题的联系思考和行动过程,作为将真实问题需求与设计成果(即问题解决)紧密联系的桥梁,其核心环节有三:问题设计、建立想法与方案联系、反思与改进。工程设计思维以解决问题为基础,以培养创新能力为目标,可以培养学生发现问题、分析问题、创新解决问题的能力。因此对于中学阶段跨学科实践而言,工程设计思维正逐渐成为一种有效的教学策略框架,在跨学科教学领域逐渐推广应用。

2 基于工程设计的高中物理教学模式的构建

杜威“做中学”理论强调通过实践活动获取知识,教育即“经验的不断改造与重组”,并设计了一套系统性实践流程:创设真实疑难情境→确定问题→提出假设→推断解决方案→验证假设,这个流程突出了实践本质。在基于工程设计的物理教学模式中,该流程体现为:给出真实情境,学生明确工程设计的需求,确定需要设计的工程问题,创造性地提出解决的方案并实施,通过团队合作对方案进行批判性的反思评估,优化改进实施方案,达到掌握知识、发展思维、提高实践技能的教学目的。

挖掘高中物理、数学等教材中的工程设计任务,旨在以工程任务为载体,将各学科知识的学习围绕解决工程任务展开。工程设计过程一般包括疑问、设想、计划、创造、改进五个环节。疑问是指要解决什么问题,设想是指思考有哪些解决办法,计划指利用草图等方式列出步骤,创造是指根据计划做出产品并测试,改进是指思考怎样使设计更有效,更符合要求并测试。结合以上环节构建源于问题的物理

* 基金项目:本文系江苏省中小学教学研究第十五期课题“审辩式课堂教学范式构建的实践研究”(课题编号:2023JY15-GX-L30)的阶段性研究成果。

中国知网 https://www.cnki.net

EDL(Engineering design Learning)教学模式(见图1)。EDL教学模式从问题源、工程设计思想模型和教学流程三个方面分为五个环节:移情化思考是指通过观察、访谈、咨询等方式设身处地地体会用户需求,从而分析工程需求;在明确工程需求后,通过教学内容分析、学情分析和教学重难点、可行性分析,确定基于工程设计的物理学科教学目标;在确定教学目标后,结合需完成的工程任务设计教学进阶问题,让学生实施头脑风暴,创造性地解决工程任务,在解决工程任务时要注意从科学、技术、工程、艺术和数学等各方面的综合应用,通过进阶问题可以采用小组合作学习、探究活动等方式实施教学;最后让各小组进行展示交流,互评工程方案,不断优化改进直到最后解决工程任务。以下以"避险车道的设计"为例,进行详细说明。

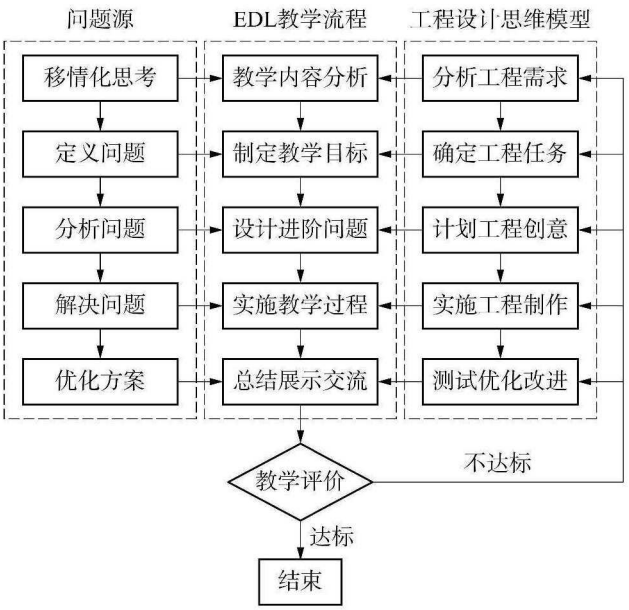


图1　基于工程设计模型的高中物理EDL教学模式

3　基于工程设计思维模型的高中物理STEM教学实践

3.1　制定教学目标

任何一项工程都离不开科学设计和精确的数学计算,以及工程设计的美学艺术,基于工程设计的物理学科教学目标,要结合工程需求,综合STEM各方面进行制定,因此可以设计一种由工程项目任务、学科知识、具体要求三方面构成的二维表格式教学目标[3]。以"避险车道的设计"为例,表1展示了该节课跨学科内容的教学目标,体现了建构主义学习理论,让学生围绕工程任务不断解决实际问题,不断改进,体现了基于工程设计的STEM教学的实践性和开放性[4]。

表1　基于工程设计的"避险车道的设计"教学目标

工程任务	学科知识	具体要求		
		内容要求	学业要求	能力要求
探究避险车道的科学原理	牛顿第二定律、力的分解	① 了解避险车道的结构; ② 观察并计算重力在不同斜面上分力的作用效果	① 能利用工程设计在真实、复杂、综合情境中发现以物理学科为基础的相关问题,并提出移情化问题; ② 能利用归纳演绎等科学方法对跨学科问题进行推理,能基于数学演算或实证说明设计的合理性; ③ 能不断优化跨学科工程设计方案,深入探究,能进行小组合作交流展示并优化改进设计方案; ④ 能体会物理学对人类发展、工程实践的影响,能乐于思考并参与设计实践	① 具备理解科学原理,进行科学观察和实践,掌握科学方法的科学素养; ② 具备设计和建造的简单技能,能进行系统分析和优化; ③ 具备探索精神,能提出新颖的想法和解决方案; ④ 具有批判性思维,能分析和评估信息; ⑤ 具备与他人沟通协作等团队合作能力; ⑥ 具备自我驱动的学习习惯和终身学习能力
探究避险车道的技术手段	车道路面的粗糙程度即动摩擦因数的大小确定	① 通过理论探究不同承重车辆在不同粗糙程度路面的运动特点; ② 设计避险车道的路面结构		
探究避险车道的数学基础	车道的长短距离与车道坡度的计算与设计	① 探究不同承重车辆,在不同初速度条件下,在不同车道上滑行的距离; ② 设计并不断优化避险车道的坡度和长短距离		
探究避险车道的人文艺术	避险车道的发展历史	① 了解避险车道的由来与发展; ② 设计性价比高且美观实用的避险车道		
展示、交流与感悟	从对避险车道的原理探究到技术、数学、物理基础知识应用,感受科学与生活、人文的融合,认识其本质是社会不断进步,人类文明不断发展的目标追求			

3.2　设计进阶问题

考虑到学生可能对有些工程及其设计并不是十分了解,为了能更高效地引导学生完成设计,需结合真实情境设计进阶问题启发学生思考。对于避险车道的设计和优化,可将进阶问题的设计分为三个阶段:①提出问题。为什么要设计避险车道?②分析问题。利用避险车道进行刹车的可能影响因素?③解决问题。如何设计最优的避险车道?具体进阶问题的设计如图2所示。

中国知网　https://www.cnki.net

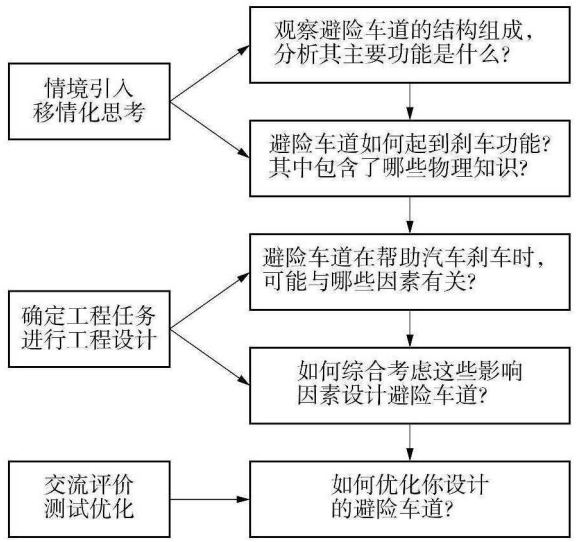


图2　设计避险车道进阶问题图

3.3　实施教学过程

3.3.1　引入情境，提出问题

教师活动：①介绍避险车道。一般在长陡下坡路面外侧增设的供速度失控（刹车失灵）车辆驶离正线安全减速的专用车道（见图3）。②播放行车记录仪拍摄的货车刹车失灵冲上避险车道前后的惊险视频，提出进阶问题1：避险车道的结构组成是什么？与普通路面有何不同？③引导学生建模（见图4），提出进阶问题2：避险车道帮助汽车刹车的物理原理是什么？



图3　货车冲上避险车道后刹车照片

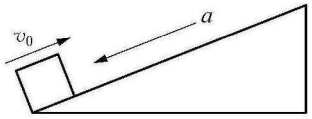


图4　对真实情境的建模

学生活动：①根据老师讲解，大致了解避险车道的功能作用。②通过观看视频，了解避险车道实际是一个铺满砂石的斜面。③通过对真实情境的建模，分析避险车道助力汽车刹车的原理是利用车胎与路面的摩擦力和重力沿斜面的分力共同作用，使汽车减速。

环节说明：学生在学习了牛顿第二定律的应用后，已经具备了已知受力求运动和已知运动求受力的基本知识，避险车道的路面设计可以抽象为已知运动求受力的模型，路面长度设计可以抽象为已知受力求运动模型。但避险车道多见于山区高速公路，可能对高中学生尤其对南方学生而言情境比较陌生，因此在给出真实情境时要先帮学生搭建认知平台，将避险车道的减速原理与学生已有的牛顿第二定律知识相关联，从而进一步解决问题。

设计意图：提出真实工程问题，了解避险车道的主要功能和构造，利用物理知识对真实工程问题进行建模。分析避险车道的刹车原理，引导学生移情化思考，通过观察、小组讨论等方式分析该工程需求。本环节旨在引导学生用质疑的眼光观察生活并提出问题，会利用学过的科学知识对真实问题进行建模。

3.3.2　定义问题，确定任务

教师活动：在学生对避险车道有大致了解的基础上，给出真实数据：避险车道的坡度为＋10%（$\tan\alpha=0.10$），该三轴货车总质量25 t，冲上避险车道时的车速为72 km/h。提出进阶问题3：避险车道上的刹车距离可能与哪些因素有关？

学生活动：对真实情境进行理想化处理，将汽车的减速视作匀减速直线运动，根据真实数据计算体会汽车减速所需要的加速度大小。分析避险车道上刹车可能与汽车的初速度、汽车的载重、路面的材料、避险车道的坡度、车道的长短等因素有关。

环节说明：每个学生都有坐车经历，都具备刹车距离长短与哪些因素有关的前概念。本教学环节，通过一组已知初速度、斜面倾角和货车质量的数据计算，让学生基于已有认知体会汽车的真实刹车过程，进而类比猜想避险车道的刹车可能的主要影响因素。

设计意图：给出真实数据，让学生基于数据计算有据地推测汽车在避险车道刹车时可能与哪些因素有关，并初步构想避险车道的设计。本环节旨在引导学生具有循证意识，学会基于证据对提出的问题进行理性的分析，并提出初步的解决计划和方案。

3.3.3　分析问题，进行设计

教师活动：展示雅西高速公路K81避险车道的图片和纵剖面示意图（见图5、6），提供真实数据表（见表2），让学生猜想在不同条件下，汽车在避险车道上行驶可能会出现什么结果。提出进阶问题4：如何综合考虑影响因素设计避险车道？



图5　雅西高速公路K81避险车道照片

中国知网　https://www.cnki.net

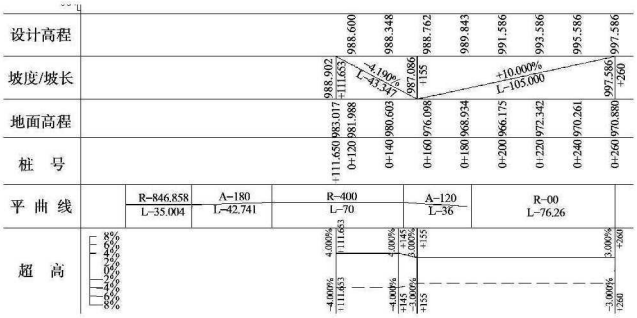


图 6　避险车道工程设计纵剖面图

表 2　避险车道对比数据

	车速及车重	坡度与坡长	路面情况	
数据条件	山区高速公路货车限速 60—80 km/h。设货车刚冲上避险车道时速度为 90 km/h。货车总质量 25 t	高速公路避险车道坡度设计＋10%～＋50%，坡长 100 m。避险车道 1：$\tan 5.7^\circ \approx 0.1$，$\sin 5.7^\circ \approx 0.1$；避险车道 2：$\tan 16.7^\circ \approx 0.3$，$\sin 16.7^\circ \approx 0.29$	货车在水泥路面上坡时平均阻力 $f=0.21mg$	货车在水泥路面上时速低于 20 km/h 时平均阻力为车重的 0.02 倍

学生活动：猜想不同载重的汽车在不同坡度，不同路面的车道上刹车的可能情况：①最理想情况：在车道上刹车停住，人、车都安全；②车头冲出车道外；③汽车减速为零后又在坡道上溜车倒回。小组分工合作，选择真实数据验证自己的猜想。

教师活动：提供真实事件（见图 7、8）佐证学生的猜想。



图 7　山西货车冲出避险车道



图 8　重庆货车在避险车道上溜车

学生活动：小组合作，头脑风暴设计避险车道。货车不能超速，不能超载。经讨论计算，避险车道一般设计在 50～100 m 左右，考虑到救援车的停放，宽度应在汽车宽度两倍左右，即 4～5 m 左右，坡度在 35～40 度左右为佳。

环节说明：本环节是避险车道设计的核心环节，在学生猜想车道的影响因素后，可以针对其中某个因素给出真实数据，引导学生采用控制变量的科学方法采用分组讨论、汇报交流的方式完成设计基本要求。教学时可设计如下一些具体问题：

① 避险车道上刹车可能与汽车的初速度、汽车的载重、路面的材料、避险车道的坡度、车道的长短等因素有关，如何研究刹车与这些因素的具体关系，从而合理设计避险车道？（控制变量法）

② 坡面是不是越陡越好？（太陡可能刹车距离会短一些，但减速为 0 后，可能会溜车，造成其他损害；但太平缓时，可能会停不下来，冲出车道）

③ 这些影响因素中，哪些影响因素可能会有较大差异？（避险车道设计好以后，坡度和路面情况基本确定，而货车的初速度和货车载重可能因人、因车而异）

④ 根据以上分析，设计避险车道的一般思路是怎样的？（利用逆向思维，先查阅货车一般的正常行驶速度和正常载重，再分析不同路面环境下的阻力大小，计算在不同倾角下货车的刹车距离，比较计算结果设计车道）

设计意图：给出雅西高速公路 K81 避险车道的纵剖面示意图，依据示意图解释专业名词，建立学生的工程意识，激发学生的探究意识和兴趣。让学生猜想在不同条件下汽车在避险车道上刹车可能引起的后果，并基于真实数据进行计算验证猜想，再给出实例验证学生猜想，进而提出问题：如何综合考虑各种因素设计最优的避险车道？本环节旨在让学生经历“猜想—验证—设计—改进—优化”的过程，学习融合各学科知识解决工程问题，体现了杜威“做中学”的教育理念。

3.3.4　解决问题，优化方案

教师活动：针对以上出现的真实问题，观察避险车道路面，提出进阶问题 5：如何优化设计的避险车道？

学生活动：①通过视频和照片发现不少车辆在避险车道上会发生侧翻，可以给避险车道设计引道，连接道路主线和避险车道，给失控车辆的司机提供足够的反应时间；②避险车道的路面尽量不要采用水泥材质，可采用疏松的石子或砂土层路面，这不仅能增大轮胎与地面的摩擦力，还能让车轮深陷其中，增加阻力，防止侧翻。③避险车道旁边要设置服务车道，实现失控车辆的拖车救援；④在避险车道两侧和顶部可放置废旧橡胶轮胎或防撞桶等，起到保护人员和车辆安全的作用。

教师活动：对于提出的水泥路面（引道）结合砂石路面（避险车道）的方案，给出真实数据，让学生对车道设计再优化。汽车连续下陡坡时，长时间的刹车会导致制动力下降，为保障安全，通常会在路旁设置向上的紧急避险车道，一种紧急避险车道由引道和制动床等组成，尽头是防撞设施。质量为 20 t 的货车，以

中国知网　https://www.cnki.net

一定的初速冲向倾角$\theta=11.5^\circ(\sin11.5^\circ=0.2)$的紧急避险车道上，汽车在水泥路面和砂石路面的摩擦阻力分别是车重的0.30倍、0.80倍。水泥路面长$L_1=30\,\mathrm{m}$，砂石路面长$L_2=50\,\mathrm{m}$，取$g=10\,\mathrm{m/s^2}$。若货车进入紧急避险车道速度最大可达到108 km/h，计算分析避险车道砂石路面长度的设计数据是否合理。

学生活动：根据真实数据结合人的反应时间，对避险车道的不同路面长短设计再优化，引道长度一般不小于300 m。

环节说明：本环节是设计避险车道的升华，在已有分析的基础上，提出更接近真实情境的问题，让工程设计更接近事实，培养学生的发散思维和系统思维。在启发学生思考更接近实际情况时，可设计开放性问题进行引导：基于上述讨论你觉得在设计避险车道时还需要考虑哪些实际问题？（不能完全按匀减速运动来计算，司机还有反应时间；车辆的防撞、防侧翻设计；避险车道路面材料的选择，其与高速公路路面衔接问题等）

设计意图：在讨论避险车道路面影响因素的基础上进一步讨论车道长短的设计，让学生体会工程设计不是一蹴而就的，而是要考虑各方面的影响因素，让学生建立全局观念，学会利用多学科、多领域知识创造性地解决问题，让学生在不断完善工程任务的探究中思考与创新，在创新中学会灵活多变。本环节旨在让学生学会多角度思考问题，培养学生的责任意识和创新精神。

4　结　语

基于工程设计思维的物理STEM教学具有真实性和综合性，在教学过程中要结合学生认知，选择恰当的素材，是工程设计具备可操作性。通过进阶问题的设计，促进学生思维层层深入，同时要注意问题的开放性，引导学生创造性地解决问题。在课程实施过程中，要打破学科壁垒及时空限制，采用各种手段如多媒体、实地考察等帮助学生建立工程设计思维，尽量给予学生身临其境的真实体验，为学生未来的职业愿景和生活挑战打下基础，培养有创新精神和社会责任感的当代青年。

参考文献

[1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发全民科学素质行动计划纲要实施方案(2016—2020年)的通知[EB/OL]. 2016-03-14; https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2016-03/14/content_5053247.htm.

[2] 杜娟，石雪飞，邹丽娜. 核心素养导向的STEM教育[M]，北京：清华大学出版社，2021(10)：152—153.

[3] 刘健智，胡慧琪. 物理教学融入STEM教育：物理—STEM课程教学模式的构建[J]. 物理教学，2022(6)：16—17.

[4] 李军，王较过. 基于项目式学习的跨学科实践教学案例研究——以“探究桥梁的科学、人文和艺术之美”为例[J]. 物理教师，2024(1)：38—40.

[5] 王素云，唐思琪. 基于项目化学习的初中物理跨学科实践教学设计——以“走进非遗之龙骨水车”教学为例[J]. 物理教师，2024(4)：43—44.

[6] 袁明逸，居津. 高中物理融合劳动教育的跨学科实践案例研究——以“劈木文化”为例[J]. 中学物理，2024(12)：59—60.

（上接第56页）

展思维广度；一题多问将复杂问题拆解为阶梯式提问，引导学生逐步分析、掌握典型物理过程和状态，在成功体验中增强信心；多题归一则帮助学生提炼分析问题的通用思路，透过现象看本质，掌握解决问题的核心方法。通过多解多变的训练，学生不仅能巩固知识，更能培养灵活运用物理规律的能力，实现思维能力的跃升。

3　结　语

《中国高考评价体系说明》指出：以核心价值为引领，以学科素养为导向，以关键能力为重点，以必备知识为基础，通过增强考试的基础性、综合性、应用性和创新性，考查学生进入高等学校继续学习的能力，促进学生综合能力和创新思维的提升，引导高中教学培养和发展学生的物理学科素养，为学生终身发展、应对现代和未来社会发展的挑战奠定基础[3]。2025年高考广东物理卷试题创设联系生产生活实际、科学技术进步的真实情境，考查学生建立物理模型、灵活运用所学物理知识解决实际问题的能力，促进学生核心素养的培养和发展。因此，在物理教学中，要渗透情景化试题，提高课堂教学效率，落实物理学科素养，培养学生关键能力，使物理回归教育本真，实现育人目标。

参考文献

[1] 熊小勤. 从2024年高考广东物理试题特点谈物理观念的培养策略[J]. 物理通报，2025(6)：67—71.

[2] 熊小勤. 核心素养背景下高中学生物理关键能力的培养[J]. 教学考试，2022(49)：68—71.

[3] 教育部考试中心. 中国高考评价体系说明[M]. 北京：人民教育出版社，2019.

中国知网　https://www.cnki.net