基于 SOLO 分类理论的初中物理技术与工程类试题命制实践

——以“一道气压相关试题的命制”为例

夏承俊[1]　胡晴霞[2]　沙立国[1]

（1. 杭州市保俶塔实验学校，浙江 杭州　310007；2. 杭州市西湖区教育发展研究院，浙江 杭州　310012）

摘　要：《义务教育科学课程标准（2022 年版）》将“技术、工程与社会”“工程设计与物化”列入学科核心概念，并提出了相关的学业要求.在技术与工程试题命制时，可分析课程标准，结合已有试题，明确测试指向；立足测试指向，搜寻合适的试题情境；融合 SOLO 分类理论，指向工程实践能力，从而制订测试目标；将信息融入技术与工程载体中，精准提炼，编制试题情境；在测试目标的基础上，遵循学生的认知序、事物的发展序等客观规律，逐级设计导向真实问题解决的试题任务；进而提炼、整合出技术与工程试题.

关键词：试题命制；SOLO；技术与工程

《义务教育科学课程标准（2022 年版）》提炼出了 13 个学科核心概念，其中第 12、第 13 个核心概念直指技术与工程，并提出了相应的学业要求，[1]因此，对学生技术与工程实践相关能力进行评价也就成了一项必需的工作.纸笔测试具有组织方便、检测时间短、统计方便等优点，方便在各层面开展，是重要的评价方式.当前，技术与工程试题的命制处于起步阶段，各地中考试题虽在做一些积极的尝试，然而，当前国内外对技术与工程试题的命制策略尚未能形成系统认识，教师对技术与工程试题的命制仍然十分陌生.SOLO 分类理论是一种以等级评价来描述学生学习结果的质性评价方法，[2]因此，本文运用 SOLO 分类理论进行初中科学技术与工程试题命制，可将测试目标层次化，从而提高试题的质量.

1　技术与工程试题的内涵

技术是人类为实现社会需要而创造和发展起来的手段、方法和技能的总和，包括工艺技巧、劳动经验、信息知识和实体工具装备等；工程是运用科学原理和技术手段创造人造物的过程.[3]基于技术与工程的内涵和外延，可知技术与工程试题是以技术与工程信息为情境，以问题解决为任务导向，以技术与工程实践能力为测试目标的试题.其内涵框架如图 1 所示.

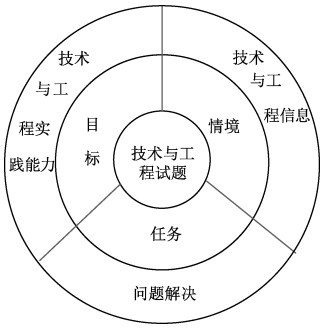

图 1　技术与工程试题的内涵框架

2　SOLO 分类理论的思维结构与“技术与工程”能力层次的关系

SOLO（可观察的学习结果结构）分类理论是比格斯提出的一种区分学生思维层次和等级特征的评价方法，[4]它不仅具有完备的理论体系，而且有厚实的实践基础.它从学生思维认知能力出发，依据对学生解答问题的结果观察，由低到高划分为 5 个层次：前结构、单点结构、多点结构、关联结构和抽象拓展结构.[5]

学生在技术与工程能力培养过程中，首先要认识技术与工程活动，进而对技术与工程活动进行模拟分析和预测，然后探索其背后蕴藏的科学原理，在此基础上，模仿工程师进行技术与工程方案的设计，试图解决问题，最后，学生对已有方

基金项目：本文系 2022 年度浙江省教师教育规划课题“指向学科关键能力的初中科学命题策略研究”（项目编号：YB2022029）；浙江省教育信息化研究 2023 年度课题“观念·资源·双线：提升科学教师技术工程教育能力实践”（课题编号：2023ETD73）的阶段性研究成果.

中国知网　https://www.cnki.net

案进行评价和改进,以期强化产品的使用效果,扩大产品的适用范围.在此过程中,学生经历分析、模仿、自主设计、评价优化等环节,每经历一个环节,思维层次就经历一次跃迁,这种思维层次的跃迁与 SOLO 分类的思维能力层次有高度的相似性,为更好地评价学生思维能力的广度和深度,可将 SOLO 思维等级分类与“技术与工程”能力层次进行关联,从而将技术与工程所蕴含的思维层次由内隐转化为外显,具体对应情况如表 1 所示.

表 1 SOLO 思维等级分类与“技术与工程”能力层次

等级	层次	基本特点	技术与工程能力层次
低阶思维	前结构水平	学生不能理解相关问题,不能正确给出答案	能描述技术与工程活动
	单点结构水平	只找到一个解决问题的方法,迅速收敛,直接给出答案	能模拟分析和预测技术与工程方案
	多点结构水平	学生找到了多个解决问题的方法,但不能把相关思路方法有机整合,收敛一致性低	能用科学的视角对技术与工程背后的科学原理进行阐述
高阶思维	关联结构水平	学生找到了多个解决问题的方法,而且能够系统地把握解决问题的思路,且能独立解决问题	能设计技术与工程方案解决问题
	抽象拓展水平	学生对于问题不仅能整体把握抽象概括,而且能够领悟与深化,使之应用于新的问题情境,使问题本身的意义及价值得以拓展	能对方案进行评价和优化,扩大产品的适用范围

据此外显目标编制的试题,能有效检测学生技术与工程实践能力及思维层次,从而真正发现学生的问题,进而进行精准教学,帮助学生习得解决问题的方法,提升其科学思维能力.

3 基于 SOLO 分类理论的技术与工程试题的命制策略

接下来本文以一道气压相关的技术与工程试题的命制为例,说明基于 SOLO 分类理论的技术与工程试题的命制策略,例题的命制及打磨过程如下所示.

初稿:喷壶是常见的浇花工具,如图 2(甲)所示,按压把手,里面的水即可喷出,小金同学研究了其原理,准备自制喷壶,设计如图 2(乙)所示.

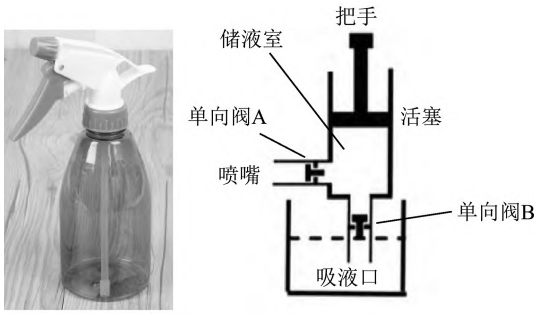

图 2 试题图

(1) 当活塞向上移动时,开启的单项阀是____.

(2) 当活塞向下移动时,储液室内外气压大小关系为 $p_{内}$____$p_{外}$.

初稿仅对喷壶进行了分析,并未涉及工程的关键,即方案设计,故对初稿进行了修改,同时完善了语言表述,将第(1)小题定为分析,第(2)小题定为改进,由此得到二稿如下.

二稿:喷壶是常见的浇花工具,如图 2(甲)所示,小金同学研究了其原理,准备自制喷壶,设计模型如图 2(乙)所示.

(1) 当按压把手时,活塞向下移动,打开的阀门是____(选填“A”或“B”),储液室内外气压大小关系为 $p_{内}$____$p_{外}$(选填“>”“<”或“=”).

(2) 若要使水能喷洒更远,下列对乙图模型进行的改进,符合的是____.

A. 喷嘴改小;B. 喷嘴改大;C. 减小储液室;

D. 增大储液室;E. 减小吸液口;

F. 增大吸液口.

二稿中的第(2)小题仅从结构上进行了改进,忽略了操作技巧方面的内容,因此,对二稿进行了修改,增加了操作技巧方面的选项,同时将选项改为结构改进和技巧改进各占 2 个,明确结构和技巧在技术和工程实践过程中均占有重要地位,由此得到三稿如下.

三稿:喷壶是常见的浇花工具,如图 2(甲)所示,小金研究了其原理,准备自制喷壶,设计模型如图 2(乙)所示.

中国知网 https://www.cnki.net

(1) 当按压把手时,活塞向下移动,打开的阀门是____(选填“A”或“B”);储液室内外气压大小关系为 $p_{内}$____$p_{外}$(选填“>”“<”或“=”).

(2) 若要使水能喷洒更远,下列措施能达到效果的是____.

A. 喷嘴改细;

B. 喷嘴改粗;

C. 加快活塞移动速度;

D. 减慢活塞移动速度.

分析以上试题的命制及打磨过程,归纳提炼可知技术与工程试题命制的一般过程可分为目标制订、情境编写、任务设计、评价标准制订 4 个步骤.

3.1 目标:依托课标,指向工程实践能力

3.1.1 分析课程标准,明确测试指向

《义务教育科学课程标准(2022 年版)》中对“技术、工程与社会”“工程设计与物化”提出了对应的科学观念、科学思维、探究实践、态度责任 4 个维度的学业要求.由于纸笔测试的局限性和命题技术的限制,难以对探究实践维度进行有效测评.综合分析学业要求,结合当前浙江省各地市中考试卷中相关试题的命制情况(如表 2),得知可检测的目标指向为科学原理、方案设计、模拟分析和预测、方案评价、方案优化等方面.

表 2 2023 年浙江省各地市和杭州市 2019—2022 年中考技术与工程试题考点分布

年份	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2022	2021	2020	2019
地区	舟山	温州	绍兴	金华	宁波	舟山	丽水	杭州	杭州	杭州	杭州	杭州
题号	28	28	32	35	33	35	28	29	32	32	32	32
题型	实验探究	解答	解答	解答	解答	解答	实验探究	实验探究	实验探究	实验探究	实验探究	实验探究
科学原理		√		√	√		√	√	√		√	√
方案设计			√	√		√	√	√	√	√	√	√
模拟分析和预测		√	√	√	√		√		√	√	√	
方案评价		√							√			√
方案优化	√						√					

课标中对气压相关概念的学业要求是:能用压强和流速的关系解释相关现象.[1]因此本试题的测试指向为表 2 中的科学原理、模拟分析和预测、方案优化.

3.1.2 立足测试指向,搜寻试题情境

试题情境是试题任务和测试目标的耦合剂,试题情境的来源可以是论文、实验、生活、科学史等各方面.试题情境是否有趣,直接决定了学生解题的兴趣,甚至能对学生学习科学的热情产生影响,因此,应尽可能选择有趣的试题情境.技术与工程是在科学的指导下持续迭代的,选择试题情境时还应注意与学科概念相关联.

例如,在编制与气压相关的技术与工程试题的情境时,在知网以“气压 科学 拓展 制作”进行主题检索,检索到相关的论文《将 STEM 教育模式融入科学拓展性课程的研究——以“喷壶”的设计和制作为例》,[6]该论文中介绍的“喷壶的设计和制作”可用作试题情境,在处理该素材时,可立足于浇花的需求,对喷壶进行“仿制”,可重点在解构、建模、验收等环节进行分析和细化,从而设计相关任务,逐步引导学生认识喷壶、运用喷壶、升级喷壶,进而有效解决浇花问题.

3.1.3 融合 SOLO 理论,制订测试目标

测试目标是试题的灵魂,是对考核内容的方向性思考和把握,也是体现试题对教学的导向.[7]测试目标的制订应以课程标准为依据,以试题情境为载体,结合 SOLO 分类理论的思维能力层次,从而实现深度检测.例如,以喷壶为载体,将气压相关的技术与工程试题的测试目标制订如下.

① 单点结构水平:学生能推测出喷壶的活塞运动时,单向阀的开闭情况.

② 多点结构水平:学生能对喷壶工作过程进行分析,写出喷壶工作背后蕴含的科学原理.

③ 抽象拓展水平:学生能站在科学的视角,建构起气压与压力、压力与液体运动、结构与功能之间的关系,能从结构上对喷壶进行改进,从技巧的角度对喷壶的使用提出建议.

3.2 情境:提炼要素,呈现技术与工程信息

情境是试题主题的呈现和信息的给出,是任务设计的载体.情境的编写应关注测试目标,根植事物本质,力图精准表达.因此,本题的情境结构及内容框架如图 3 所示.

中国知网 https://www.cnki.net

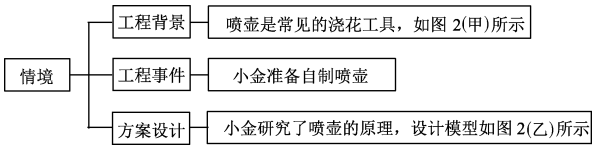

图 3　情境结构及内容框架

工程背景是整个试题的承载，是试题情境的切入.在进行背景描述时，应简捷有效，同时兼顾趣味性，可通过文字、图片融合的方式进行介绍，有助于增强学生的代入感.因此，本试题的背景描述为：喷壶是常见的浇花工具，如图 2(甲)所示.

工程事件是对整个试题任务的概括性描述.事件描述的详略由是否包含关键信息决定，若包含关键信息，则需要详写，若无关键信息，则应简述.本题的工程事件不包含关键信息，可描述为：小金准备自制喷壶.

方案设计是工程的关键，其呈现方式多种多样，由纸笔测试的特点及其自身特点所决定.本题的工程设计定位为“仿制”，而仿制的关键是解构和建模，因此，要求学生进行工程设计的意义不大.纸笔测试无实物给学生动手解构，学生自主建模的难度很大，故直接将模型给出，降低难度.方案描述尽量采用图文并茂的形式，减少学生阅读量的同时，降低学生理解的难度.本题的方案设计描述为：小金研究了喷壶的原理，设计模型如图 2(乙)所示.

3.3　任务：符合认知，导向真实问题解决

试题任务是试题考查内容的具体呈现.试题任务的设计，要符合技术与工程的发展序，运行的流程序，更要符合学生的认识序，同时要注意各任务之间的相对独立性，避免因前面的任务不能达成，导致后续一系列的错误，从而影响测评的效度.该题是仿制喷壶，故需要先对喷壶进行分析，进而对已提出的方案进行优化，从而更好地解决问题.试题任务设计如图 4 所示.

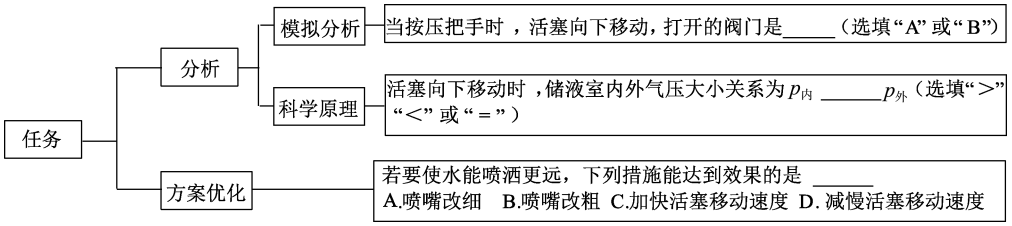

图 4　试题任务结构及内容框架

分析是对工程方案的认识、预演和原理解读，是方案优化的前期准备.对工程方案分析是为了帮助学生更好地认识工程设计，明确工程设计所依托的科学原理，了解工程实践的过程及产品运行的方式，故对工程方案的分析可从模拟分析和科学原理两个方面进行.

模拟分析是对工程方案的预演，是纸笔测试中对物化成果运行情况的理论推导.模拟分析可通过模拟启动产品中的“开关”，依循“开关”与其他结构的关系，推测其他部位的运行情况，以此明确产品的工作流程.因此，本试题模拟分析的检测任务描述为：活塞向下移动，打开的阀门是____(选填“A”或“B”).

科学原理是工程方案的支撑，是方案优化的方向性指导，来源于学科核心概念.本题需要学生使用气压这一概念对喷壶工作原理进行解释，故本试题科学原理的检测任务描述为：活塞向下移动时，储液室内外气压大小关系为 $p_{内}$ ____ $p_{外}$ (选填“>”“<”或“=”).

方案设计是工程的关键，方案优化是方案设计的延伸.方案优化需要立足原有方案，在科学原理的指导下进行.本试题要求学生能站在科学的视角，建构起气压与压力、压力与液体运动、结构与功能之间的关系，进而从结构上进行改进，从使用技巧上提出建议，故本题方案优化的任务设计为：若要使水能喷洒更远，下列措施能达到效果的是____.

A. 喷嘴改细.　　B. 喷嘴改粗.

C. 加快活塞移动速度.　D. 减慢活塞移动速度.

试题的情境和任务设计完成后，需将它们进行整合，使试题能完整呈现.整合过程中需注意语义通顺、逻辑正确，整合结果如上述三稿所示.

3.4　评价：尊重客观，评判目标达成程度

试题的评价分为参考答案和评分标准两部分，参考答案是命题者命题意图的一种表达，是命题者所期望的正确解答，参考答案的编写应立足测试目标，注意正确性.如本题的参考答案为：(1) A　>；(2) AC.　(下转第 55 页)

中国知网　https://www.cnki.net

过程简洁、流畅、合理.特别是相比于“化学反应”类的实验方案,不涉及学生还未学习过的知识内容.

5 结语

实验提供的感性认识材料是学生学习的重要基础,否则学生很难“推理”、很难“理解”物理概念和物理规律.基于微型液化CO_2气瓶设计的“空气的浮力”实验,现象明显、富有启发性,变抽象为形象能很好地帮助学生认识空气的浮力,并且还能够验证阿基米德原理同样适用于气体.在从现象的分析到结论的推理过程中极大提升学生的科学思维水平,把原设计用于单车充气的液态CO_2气瓶迁移应用到本实验这本身就是一种创新方法,也有利于激发学生的创新意识.

参考文献:

1 义务教育物理课程标准实验教科书编写组.义务教育教科书物理八年级全一册[M].上海:上海科学技术出版社,2013.
2 龙美.对物体受到空气浮力的实验改进[J].中学物理,2014,32(12):25.
3 向奎,熊卫.对物理演示实验改进创新的实践与思考[J].物理教学,2020,42(2):37-38.
4 孙艺,袁海泉,解问鼎.空气浮力的演示实验[J].物理教师,2014,35(2):48.
5 颜诗雨,代伟.探究液体和空气浮力实验装置设计[J].中学物理教学参考,2019,48(11):48.

(收稿日期:2024-01-11)

(上接第51页)

试题的评分标准是在参考答案的基础上,制订的给分依据,是为了评判学生答题时所表现出的对试题目标的达成程度,而根据试题所呈现的客观事实所制订的,非命题者的主观臆断.评分标准的制订需关注整卷的分值分布,注意客观性、正确性和合理性.本题的评分标准为:(1) A(2分)>(2分);(2) AC(2分,漏选给1分,错选不给分).

4 基于SOLO分类理论的技术与工程试题的命制反思

4.1 科学联系生活

技术与工程试题是问题解决导向的试题,往往与现实生活结合紧密,能有效呈现科学、技术、工程、社会之间的关系.[8]学生通过试题解答,模拟解决生活中的实际问题,学以致用,极大地满足了学生自我实现的需要,明白学习科学的重要性,从而在解题过程中培养学生学习科学的兴趣,为其终身学习打下坚实的基础.

4.2 问题引导教学

技术与工程是《义务教育科学课程标准(2022年版)》凝练的学科核心概念,基于SOLO分类理论设计的技术与工程试题,引导教师在日常教学中关注真实情境的应用,让学生在真实问题的驱动下,通过探讨、合作、实践等方式解决问题,培养学生对于真实问题的解决能力.在问题解决的过程中,习得知识,获取能力,提升素养.[9]

4.3 试题兼顾学习

试题命制之初的直接作用虽是测试,然而好的历年试题往往会成为学生日常作业的重要素材,基于SOLO分类理论设计的技术与工程试题,能有效检测学生的思维能力水平,容易成为优秀试题,进而成为学生日常作业的素材.作业除了具备检测学习成果的功能外,还具备一定的学习功能.技术与工程虽然看似属于探究实践部分内容,但在解答技术与工程试题中,需要学生具备相关的科学观念、科学思维能力、探究实践能力,甚至渗透正确的态度责任.因此,基于SOLO分类理论设计的技术与工程试题,不仅需要关注检测,还应在力所能及的情况下兼顾日常学习所用.

参考文献:

1 中华人民共和国教育部.义务教育科学课程标准(2022年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022.
2 曹义才.基于SOLO理论的思维测评量表建构与启示——以2022年全国甲乙卷高考物理试题为例[J].物理教师,2023,44(6):74-76,80.
3 胡卫平,刘守印.义务教育科学课程标准(2022年版)课标解读[M].北京:高等教育出版社,2022.
4 BIGGS JB,COLLIS KF.学习质量评价:SOLO分类理论——可观察的学习成果结构[M].高凌飚,等译.北京:人民教育出版社,2010.
5 汪明.基于SOLO分类理论的物理课堂教学设计——以“多用电表的原理”教学为例[J].物理教学,2023,45(3):34-36.
6 周约,曹坚.将STEM教育模式融入科学拓展性课程的研究——以“喷壶”的设计和制作为例[J].中学物理,2022,40(14):45-47.
7 王耀村,黄鹏飞,徐宏武,等.科学命题技术研究[M].杭州:浙江教育出版社,2017.
8 肖晨.指向工程思维培养的跨学科实践活动的设计[J].物理教师,44(7):43-44,48.
9 王贤勇,喻文斌.基于布鲁姆学习目标和SOLO分类理论的试题对比评析[J].物理教师,2023,44(1):84-88,92.

(收稿日期:2023-09-08)

中国知网 https://www.cnki.net