数字化赋能探究实验改进的实践探索

——以“探究浮力大小与哪些因素有关”实验设计为例

刘展鸥
(上海市民办新复兴初级中学,上海　200081)

摘　要:现行诸多初中教材得出阿基米德原理的实验过程,因器材等问题导致难以满足学生多元化的探究需求.笔者分析总结了多种实验方案后,用力传感器替代弹簧测力计,通过自制升降支架等教具辅助实验,充分运用数字化教学系统助力数据记录与分析,简化学生的操作,预留思维的时空,保留探究过程信息.是数字化赋能课堂,助推学生学习方式转变的积极尝试.

关键词:阿基米德原理;浮力;力传感器;数字化转型

1　方案辨析

初中必做实验之一“探究浮力大小与哪些因素有关”,在课标示例中仅要求“用水、盐水、金属块、弹簧测力计等,探究金属块所受浮力与哪些因素有关”,[1]但实验结论“浮力大小 $F_{浮}$ 与浸入液体体积 $V_{浸}$ 和液体密度 $\rho_{液}$ 有关”与阿基米德原理尚有差距.若直接给出阿基米德原理,则与课标倡导的“基于证据得出结论并作出解释”[1]的要求相悖.为此文献[2]也希望实验可以拓展为探究 $F_{浮}$ 是否与 $V_{浸}$ 成正比及 $F_{浮}$ 是否与 $\rho_{液}$ 成正比,并给出了活动建议.

现行诸多初中教材也均对此作出优化设计,以人教版为例,就在第 10 章中设置了两个探究实验,如图 1 和图 2 所示.[3]

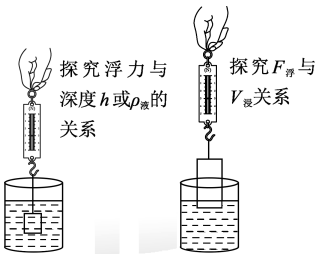

图 1　实验 1:探究浮力大小与哪些因素有关

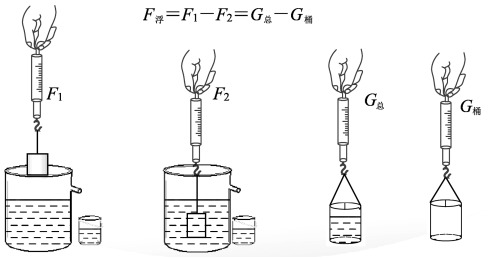

图 2　实验 2:探究浮力大小跟排开液体所受重力的关系

对于教材方案,大量文献基于认知理论做了研究.例如文献[4]认为实验原理不够显性,且不能动态地展示出 $F_{浮}$ 与 $G_{排}$ 的关系,实验增加了学生的认知负荷.文献[5]认为探究的各阶段学生被“强势引导”,且实验线索太多,应为学生搭建认知的“脚手架”.

诸多文献基于问题改进了实验方案,大致可分为三类.第一类是文献[6][7]的方案:通过改造测力计的刻度板,学生可在测力计上直接读出 $F_{浮}$ 和 $G_{排}$,如图 3 所示.第二类是文献[4][8]的方案:回避测量 $F_{浮}$ 和 $G_{排}$,如图 4 和图 5 所示.第三类是文献[1][2][9]的方案:学生可通过改变浸入液体的小球个数或调节量筒下方的小型升降台精确控制 $V_{浸}$,如图 6 所示.

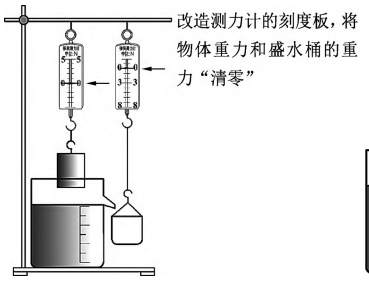

图 3　改造弹簧测力计

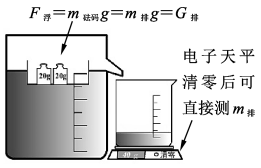

图 4　直接测 $m_{砝码}$ 和 $m_{排}$

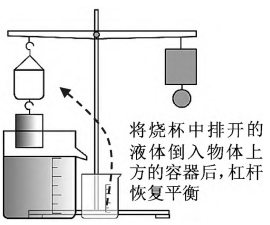

图 5　杠杆恢复平衡证明 $F_{浮}=G_{排}$

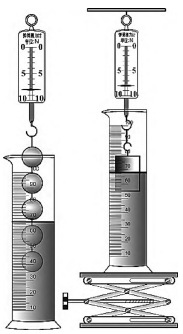

图 6　精确控制 $V_{浸}$

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

上述方案有着共同的目标：减少测量次数，整合实验步骤，降低认知负荷；精确控制 $V_{浸}$，支撑探究活动. 能否利用力传感器可以清零及数字化平台擅长记录和分析数据的优势达成这一目标呢？对此文献[10]～[12]均做了积极的尝试，但方案普遍存在传感器连线复杂和悬挂装置不稳定的缺点，且均为教师引导，未有学生自主探究的数字化活动方案. “学习活动方式越复杂，所引起的外在认知负荷越大，学习的效率越低.”[4] 若呈现在学生面前数字化实验器材连线过于复杂，则他们的注意力资源会被无谓地消耗. 若学生面对的软件界面不甚友好，则他们需要对相关信息进行额外的认知加工，难以“使学习者的认知资源用于直接从事更高级的认知加工”.[4]

2 实验设计

为了充分发挥数字化实验的优势，使之能有效服务于课堂教学，应尽量降低数字化器材的学习成本. 因此本方案的传感器应具有数显模块，学生可实时观察数据变化(如图 7). 传感器数据应无线传输至学生端和教师端(如图 8)，省去复杂的连线，快速地分享数据，可以“实现一对多，多对多的课堂互动，让更多的学生思维活动可视化，被分享，被关注”.[13]



图 7 学生端通过扫码与传感器建立连接

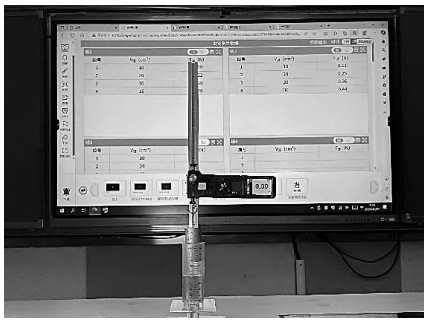

图 8 学生记录数据同步显示在教师端

在数字化配套设施改进的支撑下，循着众多文献的实验方案思路，笔者进行了实践研究. 在猜想阶段，部分学生会猜想 $F_{浮}$ 可能与“物体面积”“物体形状”“物体长度”等有关，对于这类猜想可以改变橡皮泥制成物体的形状，先后浸没在液体中，发现 $F_{浮}$ 不变，即可排除 $F_{浮}$ 与这些因素的关系. 更多的学生基于情境与体验会猜想 $F_{浮}$ 可能与 $V_{浸}$、$V_{排}$ 或 $G_{排}$ 有关，或基于前概念猜想 $F_{浮}$ 可能与深度 h、液体密度 $\rho_{液}$ 有关.

对于深度 h，笔者赞同文献[14]的观点：“我们可以很容易通过物体浸没后，改变深度，浮力不变的现象得出浮力大小与深度无关.”完全不必和学生纠缠“浸没前深度”和“浸没后深度”.

对于 $V_{浸}$、$V_{排}$ 两者的辨析，笔者也认可文献[14]的研究成果：就是应在学生认知结构中具备认知同化的条件后再做处理，所以先引导学生分析 $V_{排}$ 与 $G_{排}$ 的关系，自然地归并 $V_{排}$ 和 $G_{排}$ 两项猜想. 最后综合文献[14][15]的研究成果，基于“认知发展的探究模型”，学生活动可分别探究 $F_{浮}$ 与 $G_{排}$、$F_{浮}$ 与 $V_{浸}$、$F_{浮}$ 与 $\rho_{液}$ 的关系. 在器材准备上只需满足可直接测量 $F_{浮}$，精准改变 $V_{浸}$，精确测出 $G_{排}$，且液体种类可供选择，即可满足学生多元化的探究需求.

2.1 装置初探

基于上述分析，笔者设计了两个实验装置. 如图 9 所示，力传感器下挂圆柱体后清零，直接测出 $F_{浮}$. 如图 10 所示，上方力传感器测出 $F_{浮}$ 的同时，下方已清零的电子天平可直接测出物体排开液体的质量 $m_{排}$.

然而课堂实践暴露了上述装置的缺点：学生可以通过调节升降支架改变量筒的上下位置，从而改变 $V_{浸}$，但拧动螺丝调节支架高度时，为避免量筒晃动，需另一位学生摁住支架的底部. 若改为调节悬挂传感器的十字夹，则操作更为繁复. 电子天平可直接测出 $m_{排}$，但需要学生计算得出 $G_{排}$ 后再与 $F_{浮}$ 比较，多了一层认知加工.



图 9 探究 $F_{浮}$ 与 $V_{浸}$ 装置

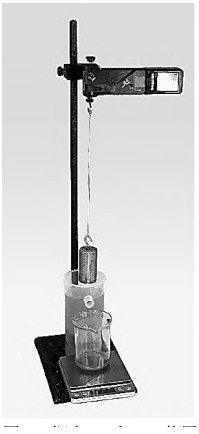

图 10 探究 $F_{浮}$ 与 $G_{排}$ 装置

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2 探究 $F_{浮}$ 与 $V_{浸}$ 的关系

为了进一步简化操作，需要设计实验专用的支架. 如图 11 所示，通过旋转支架上的旋钮可以精准地调节 $V_{浸}$. 现在的学生不愧是数字化时代的原住民，实测包含实验器材熟悉过程，他们测量 4 组数据仅耗时 4～6 min. 如图 12 所示，学生的数据可以通过屏幕实时展示，随着课堂活动推进，学生利用学生端平台绘制出 $F_{浮}$ 随 $V_{浸}$ 变化的图像.



图 11 探究 $F_{浮}$ 与 $V_{浸}$ 升降支架

组2

编号	$V_{浸}$/cm^3	$F_{浮}$/N
1	10	0.11
2	20	0.25
3	30	0.36
4	36	0.44

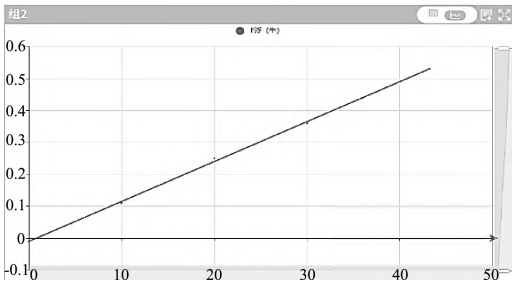

图 12 探究 $F_{浮}$ 与 $V_{浸}$ 的实验数据与分析过程

2.3 探究 $F_{浮}$ 与 $G_{排}$ 的关系

如图 13 是探究 $F_{浮}$ 与 $G_{排}$ 关系的实验装置，其测量浮力的方法与图 11 装置相同. 实验前加水至溢水杯的溢水口，然后将两个力传感器均清零. 物体浸入液体后，物体排开液体流入溢水杯下方的烧杯中，下方的力传感器可直接测出 $G_{排}$. 实测学生完成 5 组实验仅耗时 3～4 min，如图 14 所示，两个传感器示数基本相同，可得出 $F_{浮}=G_{排}$ 的实验结论.

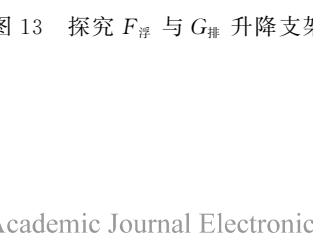

图 13 探究 $F_{浮}$ 与 $G_{排}$ 升降支架

组4

编号	$G_{排}$/N	$F_{浮}$/N
1	0.15	0.15
2	0.27	0.28
3	0.40	0.41
4	0.40	0.40

图 14 探究 $F_{浮}$ 与 $G_{排}$ 的实验数据

2.4 探究 $F_{浮}$ 与 $\rho_{液}$ 的关系

教师依据学生的猜想提供给他们不同种类的液体. 除了水之外，曾提供过饱和食盐水，但实验尚未开始，盐晶体就开始析出，实验效果并不佳. 采用酒精和煤油效果很明显，但是这些液体都易燃且有气味，不适合学生活动. 最终采用了饱和硫酸铜溶液达成了预期，如图 15 所示.

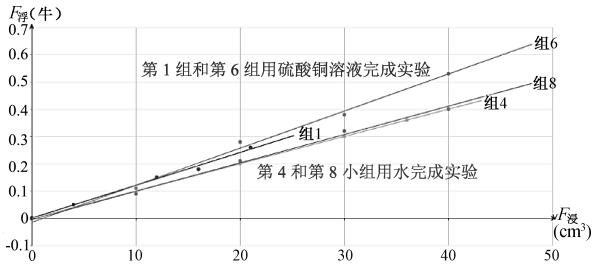

图 15 采用不同种类液体小组的 $F_{浮}$ 与 $V_{排}$ 关系图像

经历了实验探究，学生做好了“认知同化”的准备，最后分析得出 $V_{浸}=V_{排}$. “在定量探究中将 $V_{排}$ 和 $G_{排}$ 与 $F_{浮}$ 先后建立关联后”，[15] 路径直指浮力大小的本质探究——“$F_{浮}$ 与 $V_{排}$ 成正比”和“$F_{浮}=G_{排}$”这两个结论是否存在关联？学生思考后推导得出 $F_{浮}=G_{排}=m_{排}g=\rho_{液}V_{排}g$，两个结论殊途同归！本方案在一节课中充分“发挥学生的积极性和主动性，给学生留出了恰当的时间和空间，让学生在不断探索中发展核心素养”. [2]

3 策略与反思

3.1 教具设计制作策略

自制升降支架为学生基于可靠证据得出完整的结论提供了支撑. 为了便于学生坐姿读数，支架的高度设计为 51 cm，为避免晃动，圆柱体与测力计之间不能有悬线，这就要求量筒高度不能超过 15 cm. 如此一来实验室测量范围超过 25 mL 的量筒均不能使用. 而 5 mL 与 10 mL 的量筒口径仅有 1.2～1.5 cm，导致圆柱体必须做得细长，上下调

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

节范围变小. 最后才找到一款口径 4 cm、高 10 cm 的塑料量筒,并依据量筒口径制作了圆柱体.

如图 16 所示,传感器下挂圆柱体后总质量 120 g 左右,加装数显模块后,左右长足有 30.3 cm,为避免支架倾倒,下方有机玻璃底座设计为长 24 cm、宽 13 cm.

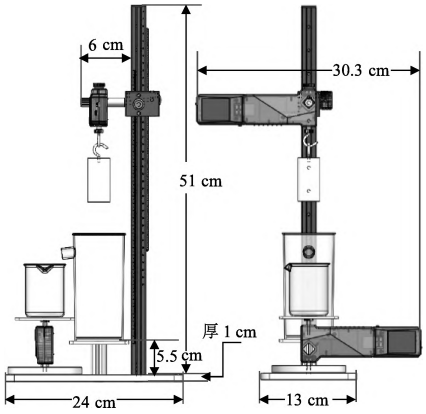

图 16 实验支架设计

关于教具制作,文献[16]提出利用生活中诸如棉绳、塑料碗等低成本物品作为原材料. 但是成品缺乏工业级的可靠性,仅可用于教师演示,不太适合批量的学生实验探究活动.

文献[17]采用现代加工技术提升了自制教具水平,但是需要教师具有初步的设计绘图能力,也需要 3D 打印、激光切割等设备.

笔者认为一线普通教师制作活动类教具的最佳策略应是寻求与专业人员的合作. 例如:支架的尺寸等细节,如何调整高度等需求应由教师基于活动去设计,而制作加工则由专业人员完成.

3.2 数据偏差应对策略

力传感器的示数精确到 0.01 N,也精准地反映出了一些系统误差. 圆柱体最先用尼龙加工而成,其直径仅比量筒小 0.1 cm,且不与水浸润. 如表 1 所示,当柱体 $V_{浸}$ 小于 10 cm^3 时,测得 $F_{浮}$ 与理论值差异很大. 可能是受表面张力影响,也可能是圆柱体和量筒内壁发生了触碰. 最后通过反复测算,笔者采用了直径为 3 cm 的圆柱体,综合考虑了材料成本和防锈两方面因素,圆柱体采用金属铝制成.

在最初的实践中,$G_{排}$ 总比 $F_{浮}$ 略小 0.02～0.04 N,如表 2 所示,在排除了其他原因后,笔者最终把问题锁定在图 17 所示的溢水杯 A 上,溢水杯 A 虽然有一个直径 1.5 cm 的管状溢水口,但是每次流速会迅速变慢,然后一部分水残留在管口呈水滴状. 通过查阅文献[18]得知,溢水杯 A 的溢水口可被定义为“孔口”,而图 18 所示的溢水杯

表 1 $V_{浸}$ 较小时 $F_{浮}$ 的偏差

序号	$V_{浸}/cm^3$	$F_{浮}/N$
1	5	0.07
2	10	0.11
3	15	0.16
4	20	0.22

表 2 $G_{排}$ 比 $F_{浮}$ 略小

序号	$G_{排}/N$	$F_{浮}/N$
1	0.05	0.09
2	0.11	0.13
3	0.16	0.21
4	0.28	0.30
5	0.38	0.41

B 的溢水口被定义为“管嘴”. 相同情况下,“管嘴出流大于孔口出流的流量”.[18] 且溢水杯 B 的水流充盈整个溢水口,受到气流影响很小,溢口向下倾斜,液体残留非常少.



图 17 溢水杯 A



图 18 溢水杯 B

更换为溢水杯 B 后,情况立刻得到了改善,但它也有缺点,就是最后 3～4 滴排出的液体需经 2～3 s 方能全部滴完,此时测出的 $F_{浮}$ 和 $G_{排}$ 才恰好相等. 如果学生未等液体全部滴完就记录数据,则仍会出现测得的 $G_{排}$ 小于 $F_{浮}$ 的情况.

对上述两种情况,不少教师的应对策略是增大实验用物体体积,文献[19]正是基于这一思路,提出了增大物体体积和自制大溢水杯的实验方案. 因为同一个溢水杯每次残留的排开液体重力 $\Delta G_{排}$ 是基本不变的,增大物体体积可以增大 $G_{排}$,进而使相对误差 $\Delta G_{排}/G_{排}$ 变小. 笔者认可文献[19]的辛勤付出,但若不去掩饰误差,而是与学生一起分析误差的成因则更有利于科学态度的养成. 例如在课堂实践中,教师请学生回忆实验操作过程,分析误差成因,同组学生立刻回忆起数据记录员点击“记录”按钮时,溢水口还有水在滴落. 教师也立刻肯定了该小组成员实事求是的态度和敢于质疑的精神.

而对于前述表 1 中存在明显问题的数据,则可以通过图像法分析后予以剔除,这也是学生习得数据分析与处理方法的良好素材. 当然这些课堂资源的生成依赖于数字化实验的精准和快速.

数字化平台和器材的改进为学生提供了简洁且丰富的探究活动空间,为他们预留了积极思考、充分交流的时间. 但是数字化实验只是“赋能”而非“全能”,一节好课仅有教学资源是不够的,还需要单元

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

视角下的课堂活动去推动,数字化器材方可真正赋能课堂教学,为教学减负增效.[13] 因而基于本节课的教学设计探索则是另外一个重要的研究课题.

参考文献:

1 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京:北京师范大学出版社, 2022:30-33.
2 廖伯琴. 义务教育物理课程标准(2022 年版)解读[M]. 北京:高等教育出版社, 2022:33,125-126.
3 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 义务教育教科书物理八年级 下册[M]. 北京:人民教育出版社, 2013:51-54.
4 刘振武,胡银泉. 基于认知负荷理论的阿基米德定律实验设计[J]. 物理教师 ,2017,38(9):45-47.
5 任少铎. 优化教学路径 发展核心素养——以"阿基米德原理"的教学为例[J]. 物理教学,2021,43(12):37-39,62.
6 田大香. "阿基米德原理"实验创新设计[J]. 中学物理教学参考,2022,51(32):62-64.
7 李洪武. "阿基米德原理"实验改进与创新[J]. 中学物理,2019,37(16):19-21.
8 颜国英,张皓晶,郑原琛,等. 基于物理核心素养的阿基米德原理深度备课[J]. 物理教师,2019,40(3):33-36.
9 钱萍,王坚. "探究影响浮力大小的因素"实验改进与创新[J]. 物理教师,2019,40(1):50-52.
10 林军. 深度学习理念下实施物理模型建构的创新实验设计——以"阿基米德原理"的数字化教学为例[J]. 中学物理,2021,39(8):62-65.
11 梁荣忠. 运用数字化实验系统做初中物理实验及其思考——以初中浮力实验为例[J]. 实验教学与仪器,2016,33(6):25-26.
12 刘信生,汤金波. 促进学生深度学习的物理建模数字化实验——以浮力实验为例[J]. 中小学数字化教学,2021(3):41-44.
13 汤清修. 中学物理:数字化赋能物理课堂教学[J]. 上海课程教学研究,2023(5):68-70.
14 葛汉洪. 认知同化理论在"浮力"教学中的应用[J]. 物理教师,2023,44(3):35-38,43.
15 郭浩佳. 促进认知发展的阿基米德原理探究教学[J]. 物理教师,2023,44(10):16-20.
16 潘程超,曾毓斌. 眼见为实出奇招,谈低成本自制教具与物理教学[J]. 物理教师,2016,37(4):95-96.
17 吴键兵,陈娴,唐守平. 采用现代加工技术提高自制教具水平——以"电磁阻尼"和"海狮戏球"自制教具为例[J]. 物理教师,2023,44(1):61-63.
18 罗惕乾. 流体力学[M]. 北京:机械工业出版社, 2023:81-84.
19 刘永树. 对人教版教材中阿基米德原理实验设计的质疑[J]. 中学物理教学参考,2014,43(8):45-46.

(收稿日期:2023-10-25)

(上接第 46 页)

(3) 在智能手机内置的加速度传感器及MATLAB平台的支持下,本文制作的实验装置简单易行,即不需要常规实验室中所需的加速度采集设备等,具有较好的实际教学应用价值.可以发挥较好的教学示范作用;为现代传感器技术和教育技术的融合做出有益的探索,旨在为物理教学案例研究提供一定的参考.

参考文献:

1 赵小川. 传感器信息融合 MATLAB 程序实现[M]. 北京:机械工业出版社,2014.
2 V Cascone, J Boaga, G Cassiani. Small local earthquake detection using low-cost MEMS accelerometers: examples in Northern and Central Italy[J]. The Seismic Record, 2021, 1(1): 20-26.
3 N Nakata, R Snieder, S Kuroda, et al. Monitoring a building using deconvolution interferometry. I: Earthquake-data analysis[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2013, 103(3): 1662-1678.
4 刘平,闫娜. 用智能手机慢动作测重力加速度[J]. 物理教师,2023,44(2): 58-60.
5 陈秋松,何皓轩,吴贵林. 利用智能手机高频摄像功能自主探究"加速度"[J]. 物理教师,2022,43(8): 61-63.
6 许芙蓉,欧剑雄. 核心素养视域下"加速度"教学设计[J]. 物理教师,2020,41(10): 10-13.
7 P M Shearer. Introduction to Seismology (Third Edition)[M]. Cambridge University Press, 2019.
8 黎红梅,曲萍萍,王璐,等. 电工学实验虚拟仿真教学案例设计——以 555 定时器的应用为例[J]. 工业和信息化教育,2022,(10): 72-75.
9 高梦杰. 中职《电子技术基础》虚拟仿真实验教学案例设计[D]. 天津:天津职业技术师范大学,2022.
10 程莹,卢晓军,周元元,等. Matlab 在《信号与系统》中的辅助教学[J]. 合肥师范学院学报,2018,36(3): 49-51.
11 王晓敏,杨世风,于乐. 加速度传感器系统在关节角度检测中的应用[J]. 传感器与微系统,2023,42(1): 158-160.
12 周建华,李艳华. 基于翻转课堂模式的电磁场理论与微波技术课程的教学案例设计[J]. 湖南科技学院学报,2022,43(3): 105-107.
13 汪小明. 创新实验方案 培育学科素养——探究加速度与力、质量的关系实验方案的改进[J]. 物理教师,2019,40(12): 46-49.
14 范云生,陈欣宇,赵永生,等. 四旋翼飞行器控制算法远程教学实验平台设计[J]. 实验室研究与探索,2022,41(10): 81-86.
15 周明华. 土木工程结构实验与检测(第 4 版)[M]. 南京:东南大学出版社,2002.

(收稿日期:2023-05-09)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net