少年创新探索

01 期
2026

Teenagers' Innovation and Exploration

- 简易风洞的初探及性能优化实验——第三阶段　王一飞
- 土拨鼠地洞的气动特性及仿生通风系统研究　王胤媛
- 市售饮料及茶饮品的抗氧化力比较研究　连文涛
- 古法新韵，纸上生花——项目式学习科技创新实践　刘娇娇、樊李姣、李怡红
- 快递包装处理难题　刘宝全



ISSN 3105-0883

澳門科學出版社
Macao Scientific Publishers

ISSN-P: 3105-0883
ISSN-O: 3105-0891

创刊词

当清晨的微风掠过教室的窗，吹动画满公式的草稿纸时；当实验室里数码显微镜对准叶片脉络，映出生命的微观密码时；当你们为一道编程题争论不休，又为社区旧物改造画出草图时——我们知道，这正是教育部等七部门《关于加强中小学科技教育的意见》“以科学、技术、工程、数学为重点，夯实科技创新人才培育基础，助力高水平科技自立自强，支撑教育、科技、人才高质量一体化发展”所期盼的模样：让每个孩子眼中都有光，让每个奇思妙想都能落地生长。

今天，《少年创新探索》带着这份期待启航，愿做大家探索路上的“同行者”。

这里，是少年的“创新舞台”。你们的实验报告、手工制作、创意发明、社会调查——无论是用废旧零件组装的自动浇花器，还是用数学建模优化的校园午餐排队方案，你们的每一次动手、每一次提问，都可以在这里成为可能照亮他人的星光。你有“我的第一次失败”“差点成功”的故事吗？来这里讲讲吧！因为创新从不怕试错，怕的是不敢开始。

这里，也是教师的“智慧花园”。我们期待老师们的育人手记、课程设计、科技活动案例——您带学生观星的夜晚、用游戏化教学破解科学难题的巧思、指导学生完成科创项目的点滴，将课本知识变成探索项目，让“双减”背景下的课堂真正“活”起来，这些都是最生动的科技教育指南。来这里师说新语一下吧！因为您的探索是用匠心在课堂与生活间铺路，让每个少年的奇思都能顺着实践的藤蔓，攀向未知的天空。

我们想做的很简单：

- 把复杂变有趣：用漫画解读人工智能，用故事讲清航天原理，让科技不再遥远；
- 把想法成行动：推出科技教育任务卡，工具随手可得，成果看得见摸得着；
- 把个体变群体：开设创新擂台赛，让不同学校的学生可以PK无限创意；设立创新智囊团，共研科技教育的项目案例。

科技教育是点燃好奇心的火种。我们就是那根火柴——愿它点燃你抽屉里的旧玩具、笔记本上的涂鸦、课间十分钟的讨论，让“为什么”变成“原来如此”，让“我能试试”变成“我做到了”。

同学们，别让你的创意只停留在脑海里；老师们，别让您的妙招只藏在教案里。拿起笔，敲键盘，拍视频，我们在这里等你！

愿《少年创新探索》成为：

- 学生眼中“好玩又能学的科技杂志”
- 教师手中“拿来就能用的教学参考”
- 科技教育中“连接科技与生活的桥梁”

出发吧，带着好奇，带着勇气，带着彼此的智慧。

主编：

少年创新探索

Junior Innovation and Exploration

科技导师团队（以下按姓氏拼音顺序）

科 技 导 师： 白　华、边海泉、别立明、曹　斌、曹广雪、柴　进、柴睿娟、陈德新、陈登民、陈嘉薇
陈　捷、陈丽平、陈　梦、陈明泉、陈萍萍、陈　然、陈　荣、陈荣亮、陈延瑞、从立海
代　霞、邓鸠洲、邓炜琴、邓志国、段伟景、段运鹏、樊　雷、范钦培、冯培兢、冯晓磊
付东升、高　翔、高　旭、葛永普、谷飞飞、郭丽萍、郭少豪、郭昭鹏、何开芹、胡发雄
胡竹飞、黄利花、黄　霞、黄亚佳、嵇明军、蒋　伟、焦乐乐、康奎哲、康永军、康　玉
李长滨、李福兴、李国军、李后见、李晋元、李　康、李柯影、李坤艳、李林生、李密科
李铁军、李新群、李　哲、梁冠萍、梁仕儒、梁文娟、梁永恒、蔺丽娟、林桂彬、刘　成
刘　静、刘松艳、刘晓超、刘　震、刘振亮、刘正旺、刘志丹、刘志明、刘作志、柳国良
龙方和、马军乐、闵建玲、南云珠、庞　岩、皮云波、钱　飞、钱政江、强彦军、沈菊颖
石会宾、史若辉、宋　杰、苏传伟、苏　静、苏志华、隋小波、孙雪梦、孙燕楠、孙志学
唐　侠、田红宾、田　明、汪小明、汪嘉诚、王艾奇、王　节、王金梅、王　乐、王　磊
王林华、王　强、王书宾、王　爽、王伟权、王小雷、王　鑫、王　勋、王永朋、王值军
魏鹏飞、吴红艳、吴辉宇、吴　祥、伍　灏、肖　青、谢倩楠、谢　琴、辛本亮、辛小瑞
徐洪健、徐加能、徐伦伟、许　军、许占义、杨　超、杨红梅、杨三毛、杨守菊、姚玉红
尹　萍、扎西平措、张传升、张春芳、张高峰、张海银、张　坚、张利东、张立新、张龙柱
张路敏、张硕航、张铁林、张卫红、张习祥、张艳芳、张翼鹏、张振华、章友宝、赵红荷
赵奇伟、赵　强、赵爽秋、赵腾任、赵雨菲、郑德杨、郑会战、郑　维、直淑静、周小龙
周　洋、朱石明、朱行建、宗全全

秘　书　处： 张　敬

编委会（以下按姓氏拼音顺序）

主 任 委 员： 宋博阳

委　　员： 陈付军、陈　笑、崔维贞、董善勇、甘君宝、何鹏飞、侯立满、黄跃涛、胡金伟、蒋立凡
金　琳、李　硕、刘宝全、刘金易、刘　松、刘　洋、刘兆成、李梓骞、林建芬、罗福海
毛俊杰、钮烨烨、彭志强、普　晗、钱三皇、仇大成、瞿德超、施茂鑫、宋博阳、王奇尔
王　伟、王玉帅、韦慧旋、伍天浩、徐德亮、许　楠、杨　洁、杨振林、尹　傲、张令臣
张丽蓉、郑能巧、周　扬

秘　书　处： 张　敬

少年创新探索

Junior Innovation and Exploration

编辑团队

主　　编：宋博阳

副 主 编：刘宝全、刘金易、刘　松、蒋立凡
黄跃涛

编辑主任：张　敬

责任编辑：李　哲、彭　俊

美术编辑：陈斯若

编　　辑：杨肖龙、何文锐、叶成福

兼职编辑：黄日成

主办单位：澳门科学出版社

制作单位：澳门翰林出版集团有限公司

出版单位：《少年创新探索》编辑部

地　　址：澳门南湾大马路恒昌大厦 A 座 11 楼

邮　　编：999078

联系电话：(853) 6296-1666

联系邮箱：youth@mospbs.com

网　　址：https://moaj.mospbs.com/journal/jie

价　　格：MOP/CNY ¥ 58 元 / 册（含寄送费用）

ISSN-P 号：3105-0883

ISSN-O 号：3105-0891

出版时间：2026 年 02 月

制作时间：2026 年 02 月

期刊介绍：

《**少年创新探索**》（***Junior Innovation and Exploration*, *JIE***）旨在提升青少年的创新能力和科学探索精神，期刊提供了青少年学生分享他们的创新项目、科学研究成果和探索经验的平台。通常包括青少年作者的原创论文研究、项目报告、实验方法、成果展示以及相关评论和评述。

创刊宗旨：致力于为青少年搭建自由探索、深度实践的学术交流平台。鼓励青少年以敏锐的观察力捕捉生活中的科学问题，并尊重他们独特的创新视角和表达方式，助力其在科学探索的道路上建立自信，培养终身受益的科研素养与创新精神。

加入我们：

在青少年成长的道路上，每一份专业指引都弥足珍贵！澳门科学出版社《少年创新探索》期刊科技导师团队，正待怀揣公益热忱的您加入。无需华丽辞藻，只需一颗育人之心，我们提供平台，邀您共赴这场温暖的公益之旅，用专业力量托举万千青少年的未来！简易申请流程如下：

申请人提交《申请表》或《个人简历》至邮箱：Youth@mospbs.com；

出版社将在 7 个工作日内，组织专家审核；审核结果将以邮件形式回复申请人，流程包括签订合作协议及颁发聘书。

少年创新探索
Junior Innovation and Exploration

目录

2026 第 3 卷 01 期

「少年学者」

简易风洞的初探及性能优化实验——第三阶段
王一飞 001

利用声音分析羽毛球拍的击球效果的验证
陈心玥 008

土拨鼠地洞的气动特性及仿生通风系统研究
王胤媛 015

学校门口放学时交通拥堵问题的建模与优化——以S中学为例
李逍遥 021

蜂窝结构消除螺旋桨滑流扭转效应的应用验证
陶卓闻 029

「青少年实践」

市售饮料及茶饮品的抗氧化力比较研究
连文涛 035

探索不同落叶轨迹和分布的规律
姚一尔 041

「科创教学发展 - 教学模式创新」

双螺旋教学模型
王奇尔 048

「科创教学发展 - 项目实践纪实」

古法新韵, 纸上生花——项目式学习科技创新实践
刘娇娇，樊李姣，李怡红 052

将演示实验进一步深化为分析实验——以水土流失为例
宋博阳，王一飞 057

木牛流马设计制作: 创新意识培养的项目化实践
徐子琪 062

从玫瑰到精油: 一场化学探索之旅
李一帆，李一鸣，韩安琪，曹广雪 066

胡萝卜牙签搭高塔: 跨学科视角下的小学科创项目探索
辛本亮 070

「创新灵感 - 创意之问」

冬季骑车有什么好妙招
刘宝全 074

课本笔记标注杂乱和重点难查找
许军 076

快递包装处理难题: 如何高效利用空间、便利回收?
刘宝全 078

如何解决窗户缝隙积灰清理
徐德亮 080

少年创新探索
Junior Innovation and Exploration

目录

2026 第 3 卷 01 期

「科技教育实践资讯」

少年学者全球可持续发展实践行动
澳门科学出版社，《少年创新探索》科技导师团，翊安合 2HC 实验室 082

版权声明：凡向本刊投稿作者，请务必保证稿件内容的真实性和原创性。如出现抄袭、一稿多投等行为导致的法律后果，均由作者本人负责，本刊不承担连带责任。本刊有权对拟用文稿做文字上的修改、删减，对图表有权按规定、标准等要求做出适当的技术处理。凡不同意者，请在来稿时注明。

Junior Innovation and Exploration

CONTENTS

Vol. 3, No. 1 (2026)

YOUNG SCHOLARS

Preliminary Exploration and Performance Optimization Experiment of a Simple Wind Tunnel: Phase III
Wang Yifei 001

Verification of Badminton Racket Hitting Effect Based on Audio Analysis
Li Pengyu 008

Pneumatic Characteristics of Marmot Burrows and Research on Biomimetic Ventilation Systems
Wang Yinyuan 015

Modeling and Optimization of Traffic Congestion at School Gates During Dismissal:A Case Study of S High School
Li Xiaoyao 021

Application and Verification of Honeycomb Structure in Eliminating Propeller Slipstream Torsion Effect
Tao Zhuowen 029

YOUTH PRACTICE

Study on the Antioxidant Capacity of Commercially Available Beverages and Tea Drinks
Lian Wentao 035

Exploring the Patterns of Falling Leaf Trajectories and Distributions
Yao Yier 041

STEM TEACHING DEVELOPMENT - INNOVATION IN TEACHING MODELS

Double Helix Teaching Model: Designing and Implementing an Interdisciplinary Science Education Curriculum Integrating Mythology and Engineering
Wang Qi'er 048

STEM TEACHING DEVELOPMENT - PROJECT PRACTICE CHRONICLE

Ancient Craft with New Rhythm, Flowers Blooming on Paper: A Project-Based Learning Science and Technology Innovation Practice
Liu Jiaojiao, Fan Lijiao, Li Yihong 052

Deepening Demonstration Experiments into Analytical Experiments: Taking Soil Erosion as an Example
Liu Boyang, Wang Yifei 057

Wooden Ox and Horse Design and Production: A Project-based Practice for Cultivating Innovative Mindset
Xu Ziqi 062

Junior Innovation and Exploration

CONTENTS

Vol. 3, No. 1 (2026)

From Roses to Essential Oil: A Journey of Chemical Exploration
Li Yifan1, Li Yiming, Han Anqi, Cao Guangxue 066

Building Towers with Carrots and Toothpicks: Exploring Elementary School Innovation Projects from an Interdisciplinary Perspective
Xin Benliang 070

INNOVATION INSPIRATION - THE CREATIVE INQUIRY

Smart Tips for Winter Cycling
Liu Baoquan 074

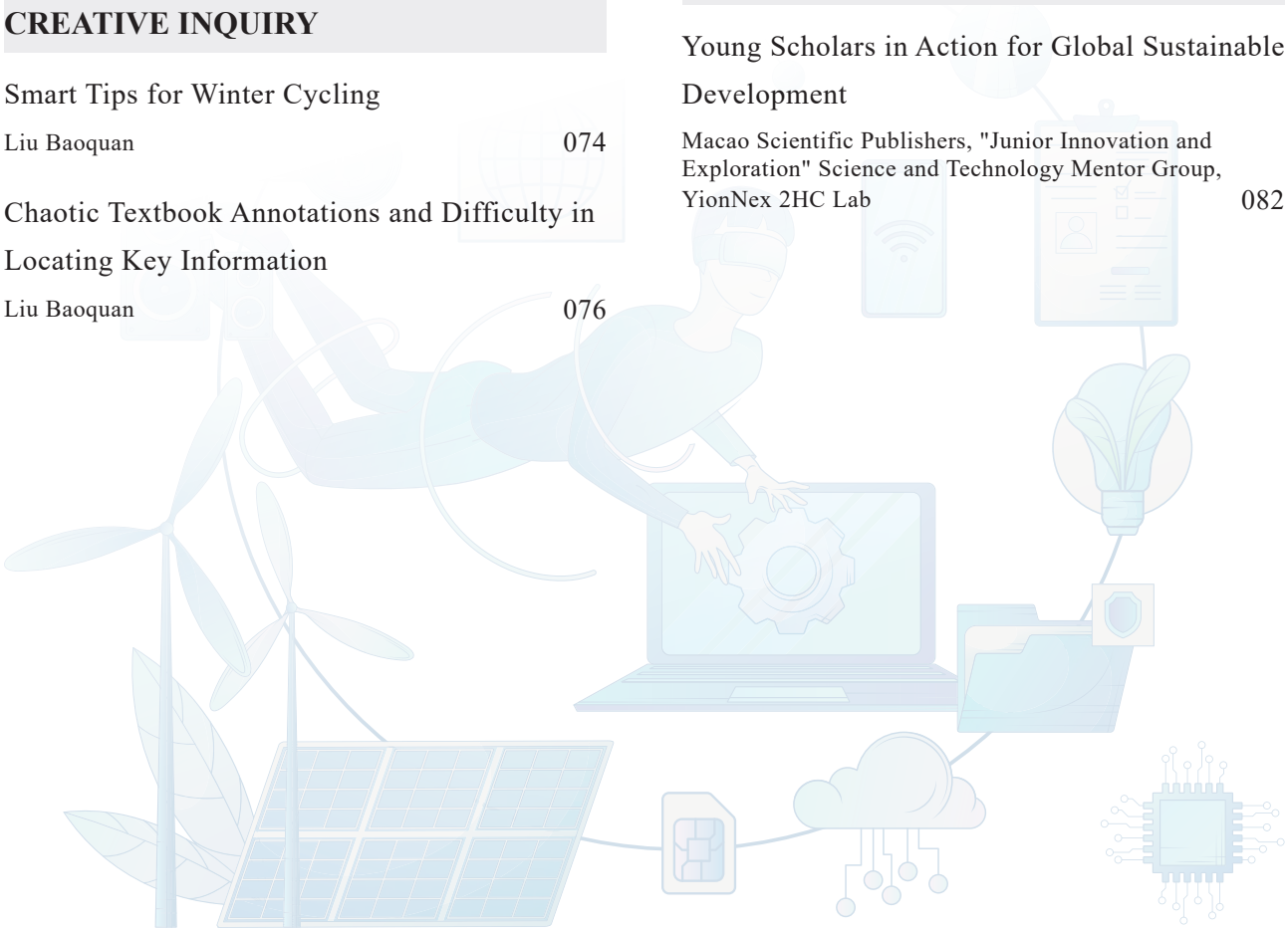
Chaotic Textbook Annotations and Difficulty in Locating Key Information
Liu Baoquan 076

The Challenge of Express Packaging Disposal: How to Improve Space Efficiency and Facilitate Recycling?
Liu Baoquan 078

How to Clean Dust Accumulated in Window Gaps
Xu Deliang 080

TECHNOLOGY EDUCATION PRACTICE NEWS

Young Scholars in Action for Global Sustainable Development
Macao Scientific Publishers, "Junior Innovation and Exploration" Science and Technology Mentor Group, YionNex 2HC Lab 082



Journal Introduction:

Junior Innovation and Exploration **(*JIE*)** aims to enhance the innovative abilities and scientific exploration spirit of young people. The journal provides a platform for adolescent students to share their innovative projects, scientific research achievements, and exploration experiences. It typically includes original research papers, project reports, experimental methods, achievement showcases, as well as related comments and reviews by young authors.

Founding Purpose: Dedicated to building an open academic exchange platform for young people to explore freely and engage in in-depth practice. The journal encourages adolescents to capture scientific questions in daily life with sharp observation, respects their unique innovative perspectives and expressions, and helps them build confidence in their scientific exploration journey while fostering lifelong research literacy and innovative spirit.

Join Us:

Every bit of professional guidance is invaluable on the journey of youth development! The Science Mentor Team of the Junior Innovation and Exploration（JIE） journal, published by Macao Science and Technology Publishing House, is now inviting individuals with a passion for public welfare to join. No elaborate words are needed—just a heart for nurturing young minds. We provide the platform and invite you to embark on this warm journey of giving back, using your professional expertise to uplift countless young futures!

Simple Application Process:

Applicants submit the Application Form or Personal Resume to the email address: Youth@mospbs.com.

The publishing house will organize an expert review within 7 working days.

The review results will be communicated to the applicant via email. The process includes signing a cooperation agreement and issuing a certificate of appointment.

「少年学者」

简易风洞的初探及性能优化实验——第三阶段

王一飞*

上海市晋元高级中学　上海

摘要：这是我 4 年来航空方面研究的第三个课题阶段，研究了一种简易的、封闭式的、吸气使用风洞，用于后续的航空研究。在这个研究中，我的对照组使用的是航空气动仿真软件 PROFILI 中的数据，在对 10 个翼型进行仿真后，选出了 NACA2412、NACA2415、NACA1412 三种翼型，将这三种翼型的升阻比数作为对照组。然后通过风洞的实际测试与仿真数据进行对比。研究结果显示，实际测试结果与仿真结果有一定的差异，但在最大升阻比的排序、对应迎角的先后排序等方面有一定的相似性。达到了本次研究的基础目的，但结果并不好，所以由此确定了下一阶段的目标。

关键词：简易；风洞；HX711；升阻比

1　前言

1.1　前期课题

在本课题前，我完成了两个阶段的前期研究，分别是牛奶盒简易风洞制作与优化，以及升力和阻力的简易测试。

第一阶段，我以吹风机为风力设备、带透明观察窗的饮料箱为风洞箱体，箱体一端开圆洞做进风口，另一端全剪开为出风口，还在蜂窝外侧用卡纸做漏斗保证进风效果；同时将泡沫塑料固定在厨房秤上，搭配牙签、吸管完成机翼的称重与固定，并用简易模型完成了风洞性能的优化研究。

第二阶段，我用电子秤和推拉力计搭建“散装”风洞，开展升力与阻力测试。升力测试时，用蓝丁胶将带支架的机翼模型固定在电子秤上并清零，忽略模型自重，将模型放入风洞后，升力抵消部分重力使电子秤显示负数，其绝对值即为对应风速下的升力，若换算为牛顿，需将绝对值乘以 0.0098，然后进行计算。阻力测试时，我用铁架台固定 DISLab 力 A 传感器和细铁丝，再将打孔的一次性筷子以细铁丝为支点搭建等臂杠杆，筷子一端连传感器弯钩，另一端用蓝丁胶固定好预定迎角的机翼模型；风机吹风产生的阻力，会通过杠杆原理在传感器端形成反向等大的力，最终由传感器探测、收集器采集并在电脑显示数据。（图 1）

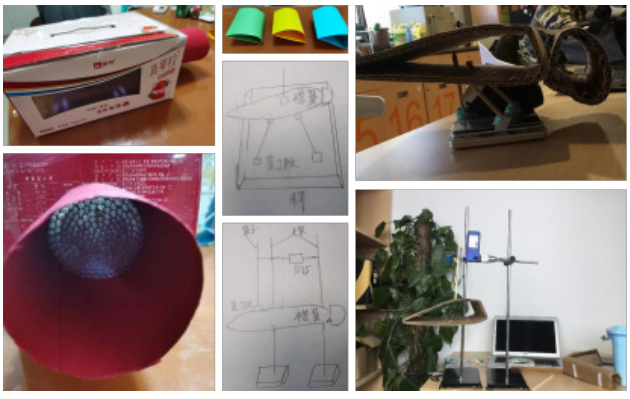


图 1　前两个研究的部分示意图

* **通讯作者：**王一飞；**单位：**上海市晋元高级中学　上海

收稿日期：2025-12-03　**录用日期：**2026-02-10

DOI: https://doi.org/10.58244/jie.263598

1.2 研究背景与意义

风洞是能模拟空气流动的实验设备，在航空、汽车、建筑等领域的空气动力学研究和风险评估中应用广泛，能通过模拟不同速度、方向的气流，测试优化各类物体的气动性能，还能评估其在真实环境中的受力情况。过去风洞多是大型实验室、研究机构使用的高成本设备，让我们青少年想学习实践风洞技术受到了限制，不过随着技术进步和开源硬件的出现，现在用便宜、易得的材料和设备就能搭建简易风洞了。此前已有多位研究者开展了简易风洞相关设计研究，彭耀仟设计了基于 ATmega328P 的简易风洞控制系统，利用 VLX503 激光测距模块检测小球位置以实现其位置控制 [1]；王晨等人、徐国洪、王敏敏和王瑞鹏、胡进德和付晓军均以 MSP430 系列单片机为核心设计简易风洞控制系统，但都选择安装了较多且复杂的模块用于测量 [2-5]。这些与我设想的教学场景有一定差距，存在测试目标不一致，所以结构有很大差异。

所以，我的研究意义是：设计一个简易风洞通过使用更便宜和易于获得的材料和设备，为同学和爱好者提供了一个低成本的学习平台，深入理解空气动力学的原理和应用。可以用于验证和验证气动模型的准确性。通过将已知的气动模型放置在风洞中进行测试，可以比较实际测量结果与理论预测之间的差异，从而验证模型的准确性和适用性。

1.3 研究目标

我的研究目标是搭建简易风洞，测试风速、流动稳定性等基础风力运转参数，保证风洞能正常工作；再用 PROFILI 软件模拟典型机翼的升力、阻力性能曲线，确定流速、迎角等模拟参数，把风洞实验测得的升力阻力数据和软件模拟结果做对照，分析二者的差异与一致性，以此探究这款简易风洞的准确性和可靠性。

1.4 研究思路

研究思路是借助 HX711 模块的高精度测量能力，准确测出机翼的升力与阻力，更精准地掌握小型航空模型的性能特点；同时将这套装置用于小型航空模型测试，还能用喷雾器制造可视化气流，直观展示机翼周围的气流状态，这套研究方案应用范围广，有着不错的实用性和推广价值。

2 研究设计与过程

2.1 研究材料

表 1 基础材料

材料	数量
HX711	2个
arduino uno	1个
面包板	1个
SG90	1个
连接线	多条
PVC水管	2米
PVC转接口	1个
蜂窝板	1个
亚克力板	1块
实木板	4块
管道风机	1台

2.2 研究步骤

2.2.1 原型设计与搭建

设计简易风洞前，我先规划好了整体结构，为保证风洞的结构稳定和密封性，选用实木板制作外壳，经精准测量、切割让结构更牢固，还能防止气

体泄漏。管道和风机的连接部分，我选了 PVC 水管做管道材料，在老师的帮助下完成水管的切割与和风机的连接，确保气流能顺畅通过并被风机吸入。为测量风洞内的气流压力变化，我用到了 HX711 传感器，先在 SOLIDWORKS 软件里设计出适配的垂直测力支架，再用 3D 打印机按图纸打印，保证支架的形状、尺寸贴合设计，且强度和稳定性达标。把打印好的支架装在风洞上后，我将两个 HX711 传感器相互垂直地安装在支架上，让传感器能同时感知气流竖直和水平方向的压力变化。之后我用 ARDUINO 和 MIXLY 软件激活传感器的测试功能，连接好电路、编写好对应代码，实现传感器输出数据的实时监测与处理分析。最后在老师的指导下，用标准砝码对 HX711 传感器做校准，通过和已知重量的砝码比对，调整传感器读数，让它能准确反映气流的力的变化。（图 2）

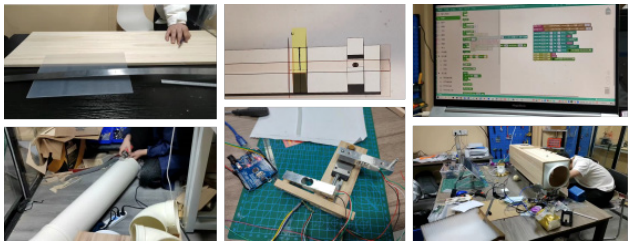


图 2　风洞原型的搭建

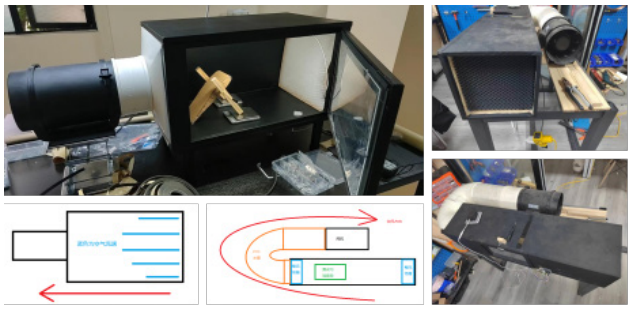


图 3　第一版（左上）与第二版（右侧二图）对比

2.2.2　原型基础测试与优化

我先做了第一版风洞，箱体尺寸 40 cm×40 cm，用塑料吸管做整流工具优化气流，可测试后发现箱体太大，管道风机开到最大功率，中央气流速度也 只有 2.6 m/s。我用风速仪测量后，还发现气流稳定性差。

之后我完成了第二版改进设计，把箱体缩到 20 cm×20 cm适配管道直径，减少气流的无规则变化，同时加长了观察段，留出更多观察空间。我还在观察段两侧加了蜂窝板整流格栅，进一步让气流均匀流动，减少湍流和涡旋，让观察段内风速更稳定。也仔细检查了箱体接缝，用密封胶带等做好密封，防止气流泄漏影响流动稳定性。另外，我把风机升级成更高功率的，保证实验所需的风量和压力，进一步提高气流流速。（图 3）

改进后的风洞测试效果好了很多，风机开到最大风力时，观察段内风速能稳定在 5-6 m/s，风速的提升能为实验提供更准确可靠的数据，助力后续的研究工作。

2.2.3　对照样本选择

NACA 翼型是美国国家航空咨询委员会提出的标准翼型系列，阻力低、升力性能好。NLF 翼型是追求自然层流流动的翼型，在一定迎角范围内能保持低湍流阻力，升力效率高。最终我挑选了 NACA2412、NACA2415、NACA1412、NACA24-14、NACA23016、NACA97、NLF0415、NLF0-416、NLF0213 这 9 种翼型作为基础样本。并在 PROFILI 里进行选择，这个软件是一款专业的飞行器翼型性能分析模拟软件，输入机翼几何形状、流速等参数后，就能模拟机翼性能。我在软件中输入风洞的模拟数据，模拟高度 100 m、风洞中心风速 5 m/s、模拟机翼翼弦 15 厘米的参数后，得出对应的雷诺数为 50942。通过雷诺数对应的性能，得出最佳的三种翼型为 NACA2412、NACA2415、NACA1412，因此选择这三种翼型的数据作为对照

组。（图 4）

2.2.4 制作实物样本

我选了 EPP 泡沫和装修用隔热保温材料两种样本，二者硬度都适配航模尺寸。选这两种材料，是想把它们制成翼型，通过风洞测试其升力、阻力，对比模拟数据看二者翼型性能差异，以此验证风洞的实际效果。（图 5）

为切割翼型，我自制了切割工具，参考多个视频后选定镍铬丝作为切割材料，用木头做框架来固定支撑镍铬丝。但切割测试时发现，镍铬丝加热会热膨胀变长，让工具两端失稳，我就用棍子撑开工具两端，加热时能稳住镍铬丝，解决了这一问题。

翼型切割时，我先用激光雕刻技术，切出翼型剖面。再把翼型剖面夹在泡沫材料两侧，让切割更稳定准确。接着用可调电源加热镍铬丝，通过调节温度和电流控制加热程度，待镍铬丝达到合适温度，沿着翼型剖面轮廓移动，切割出立体翼型。

2.2.5 实物样本测试

把翼型放进风洞测试时，我发现结果特别反常：和理论预想的不一样，升力会跟着阻力的上升而上升，就算迎角到了 45 度，升力也没有下降，这明显不符合认知，让我特别疑惑。为了找出原因，我查了很多资料，还反复测试了 HX711 称重传感器，却一直没找到合理的解释。后来我终于发现了问题的根源：我用一根带线头的木棍，分别在机翼上下表面测试，看到机翼表面的气流特别混乱，这才意识到是翼尖涡流在影响。翼尖涡流会让机翼下表面的空气从两侧翼尖绕到上表面，降低了上表面的负压，这就导致传感器测出了错误的升力数据。（图 6）

这时候我也想到，很多机翼测试中，会在机翼两侧套上圆盘，让机翼从前缘到后缘的尺寸保持一致，就是为了避免翼尖涡流产生、减少升力损失；飞机表面也常会装导流片，这类部件能改变气流流动方式，维持正常的气动性能，而我的测试里少了导流片，才让气流流动异常，出现了错误的升力读数。之后我还用舞台烟雾机制造烟雾，直观观察机翼表面的气流情况，不仅确认了导流片对提升机翼升力的效果特别明显，还能清晰看到气流分离的现象。到此，我完成了基础的风洞箱体和样本的制作。

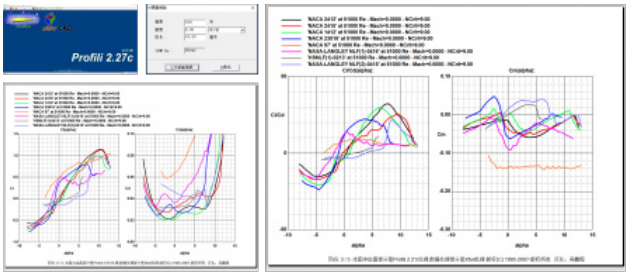


图 4　选择最佳对照样本

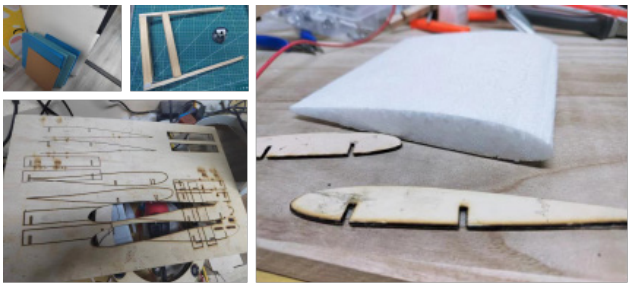


图 5　制作实物样本

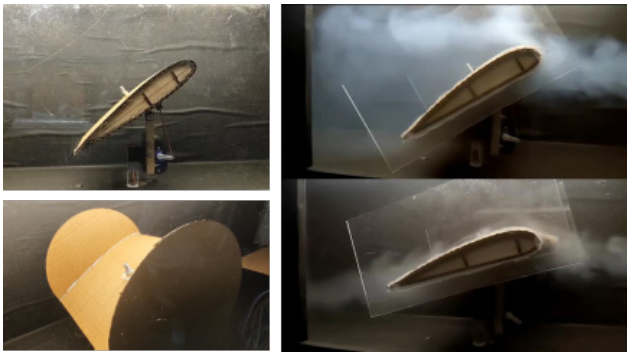


图 6　实物样本测试

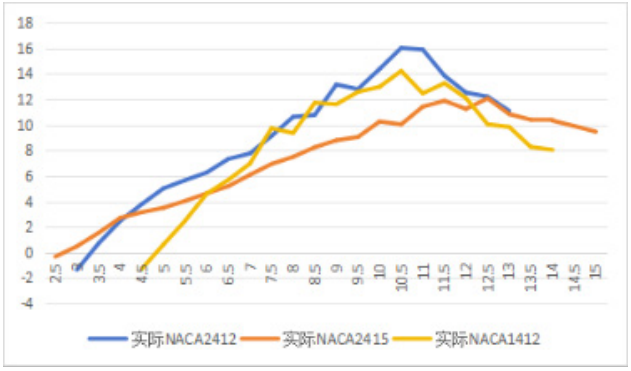


图 7　三个实物样本的升阻比数据

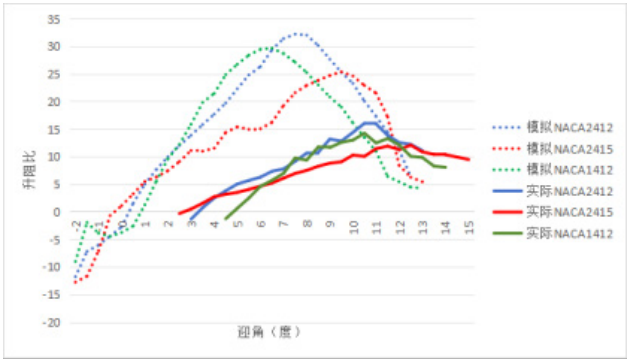


图 8　两类样本对比

3　研究结果与分析

3.1　实物样本测试结果

HX711 称重传感器无法直接测出升力系数和阻力系数，需要借助重力加速度完成数值换算，将称重数值转换成力的大小，地球重力加速度约 9.8 米 / 平方秒，物理实验里的拉力计，也是依靠这类换算原理，将测得的拉力转换成标准力的单位。然后通过升力比阻力，得出升阻比。

完成多次测试、逐一获取升力和阻力数据后，就能得到初步测试结果。图表里的数据出现不稳定的情况，大概率是机翼受风力作用时持续振动，这种振动会干扰 HX711 模块的测量，让升力、阻力数据出现偏差。（图 7）

为了提高数据准确性、减小误差，我按每 0.5 度为一个测试间隔，每个角度先停留 5 秒，再在该角度下完成 10 次数据采集，之后把这 10 个数据求平均值，得到对应角度下的升力、阻力和升阻比。我通过这种方法，获取了各角度下准确的气动性能数据。

3.2　实物样本数据与模拟样本数据对比

我将三种模拟翼型和三种实际测试翼型的结果放在同一张图中对比，发现实际测试结果的整体形态和模拟结果有一定相似性，三个翼型的最大升阻比排序、出现的先后顺序也相对统一。但 NACA1412 和 NACA2412 的最大升阻比出现位置存在差异，且实际测试中二者的最大升阻比数值比较接近。同时 NACA1412 的最大升阻比，因测试时采集频率偏大、机翼振动较明显，没能测出相对准确的结果。（图 8）

3.3　可能导致偏差的原因

实际测试与模拟数据存在差异，我认为是可能受多方面因素影响：

风速方面，风洞实际风速若与模拟软件设定值不一致，会直接改变翼型所受气动力和流动特性，影响升力、阻力与升阻比。而且实际流动中的湍流本就普遍存在，且风洞实验与模拟软件的湍流强度存在差异，湍流强度越大，翼型流动结构越复杂，差距越大。

环境条件上，温度、湿度、气压等也会造成测试结果不同。同时，风洞中的墙面与风的摩擦、边界层带来的流动变化会改变翼型表面流动特性，影响升阻表现。而且，模型支撑会干扰气流分布和流线，影响气动性能，而模拟软件能更好排除这类干扰。

还有就是手工制作的问题，实际制作的翼型表

面存在微小凹凸、光滑度达不到理想状态，哪怕是细微的表面不均匀，也会影响气流流动细节，进而导致实际测试与模拟数据出现差异。

4 结论与展望

4.1 结论

通过制作简易风洞，并使用 Profili 的翼型气动仿真功能，我模拟了三种翼型的气动数据，并将这些仿真数据作为对照组来验证我制作的风洞的准确性和可靠性。

通过与仿真数据的对比分析，我得出了以下结论：三种翼型的最大升阻比的大小排序在仿真和实际测试中规律上基本一致。这表明我的风洞在模拟不同翼型的气动性能时具有一定的准确性。实际测试结果的三种翼型的最大升阻比略小于仿真数据，这可能是由于环境差异、风洞自身弊端、操作误差等导致了这个结果。由于风洞中的风使机翼产生振动，实际测试结果的曲线并不平滑。这可能会对测试结果的准确性产生一定的影响。

通过与仿真数据的对比分析，我的风洞在测试翼型的气动性能方面具有一定的准确性。

4.2 创新点

采用木头制作外壳和 PVC 水管连接件，更为简易，相比传统材料和结构更具创新性。使用普通风机作为风力来源，简化了实验装置的搭建过程，降低了成本和复杂度。采用 HX711 测力原件作为测试工具，能够准确测量力的大小，提供更精确的实验数据。

4.3 展望

我将进一步比较实际测试和模拟数据的实验条件，确保二者尽可能一致。如果存在差异，我将进行相应的修正。同时，我将深入了解风洞的特性和影响，并研究相应的修正或校正方法。对翼型制造和准备过程进行优化，以减小与模拟数据的差异。

参考文献

[1]. 彭耀仟. 基于ATmega 328P的简易风洞控制系统的设计[J]. 电气传动自动化,2018,40(06):26-28.

[2]. 王晨,吴凡,王晓娜. 一种简易风洞模拟控制系统设计[J]. 大学物理实验,2016,29(03):39-43.

[3]. 徐国洪. 基于MSP430 单片机的简易风洞控制系统设计[J]. 自动化应用,2016,(04):48-50.

[4]. 王敏敏,王瑞鹏. 简易风洞测控系统设计[J]. 电子世界,2016,(07):85-86.

[5]. 胡进德,付晓军. 基于MSP430F5529的简易风洞控制系统设计[J]. 微型机与应用,2016,35(06) : 88-90.

致谢

我诚挚地感谢所有参与本研究工作的人，没有他们的支持和帮助，我无法顺利完成这项研究。我要感谢所有参与本研究，并帮助我的老师们、同学们和朋友们，他们给予我宝贵的建议、指导和鼓励。他们的支持和合作使我能够克服困难，顺利完成研究工作。

Preliminary Exploration and Performance Optimization Experiment of a Simple Wind Tunnel: Phase III

Wang Yifei

Abstract: This work constitutes the third phase of my four-year research in the aerospace field, where a simple, closed-type, suction-based wind tunnel was developed for subsequent aerospace research. In this study, data from the aerospace aerodynamic simulation software PROFILI were used as the control group. After simulating 10 airfoils, three types—NACA2412, NACA2415 and NACA1412—were selected, and their lift-drag ratios were taken as the control data. Actual tests were then conducted using the self-developed wind tunnel, with the results compared against the simulation data. The findings indicate that there are certain discrepancies between the actual test results and the simulation data, yet similarities exist in aspects such as the ranking of maximum lift-drag ratios and the sequence of corresponding angles of attack. While the basic objectives of this research phase were achieved, the overall results were unsatisfactory, thus defining the research goals for the next phase.

Keywords: Simple wind tunnel; HX711; Lift-drag ratio

导师点评

张立新，阳泉煤矿高级技工学校　选题尚可，结构基本合理，摘要部分逻辑衔接不够紧密。文献综述较为合理，研究方法得当，数据充足，语言通顺，有少量不足不通顺之处有待加强。期待该同学进一步的研究成果。

许军，淮阴师范学院　基础研究是打开自然科学研究的引擎和根基，简易风洞的初探实验过程数据真实，能通过实物样本制作和测试进行对照样本实验分析难能可贵，期许作者能在原有研究积累基础上深耕探索，坚守科学研究规律，树立：“原理引导，方法创新”正确观念，乐研乐探，做颗星星！

王爽，贵阳市第一实验小学　本文是一篇非常用心的学生论文，研究的整体脉络清晰，从牛奶盒风洞一路做到第三阶段，连续研究的精神十分可贵，发现问题和解决问题的能力突出，数据采集客观，方法严谨，如若对湍流影响的分析再深入一些，将提高研究深度。

「少年学者」

利用声音分析羽毛球拍的击球效果的验证

陈心玥 *

上海市第五十四中学　上海

摘要：本研究旨在验证羽毛球拍击球时的声音特点，探究击球力度、球拍线磅数与分贝数、声音频率、泛音的关系。研究方法是通过手机采集不同条件下的声音样本，并使用 adobe audition 分析。最终得出以下结论：1. 击球力度越大、球拍线磅数越高，分贝数越大；2. 球拍磅数增加会使声音频率升高，测试球拍频率在 950 Hz~1020 Hz 范围，高磅数球拍采样频率浮动更稳定；3. 同一球拍同一位置的击球力量对频率无明显影响；4. 击球基音与泛音无倍数关系，推测这是源于球拍多部件结构及击球点偏差导致的复杂共振；5. 噪音环境中使用手机采集声音易产生偏差，本次测试环境的噪音分布在 0-16000 Hz 且难以过滤。本研究为羽毛球运动的客观分析提供了音频分析新思路。

关键词：羽毛球；音频；分析；振动

1　引言

1.1　课题来源

羽毛球运动普及度高，很多打球爱好者通过声音判断球拍优劣，认为“高亢声音”对应好球拍。检索到《音频分析用于羽毛球技术统计的可行性研究》[1]，其数据显示杀球、抽球、扑球、搓球的频率与分贝数分布异常，引发我对击球力量与声音特性关系的疑问，进而展开研究。

1.2　研究背景与意义

羽毛球运动中，大多人认为声音能体现击球声音的强弱、声音的清脆等特征，能体现运动员的击球情况、技术水平、技术技巧，并间接与胜负具有一定的关联性。所以羽毛球训练中可直接通过听觉反馈判断击球是否准确有力。因此，研究击球声音规律能有助于更深的了解羽毛球运动，从而成为新的训练反馈方法。以羽毛球、声音等关键词进行检索，除开篇一文外，其他检索到的文献主要分为音频检测技术和羽毛球物理学分析两大类。音频检测技术方面，单学阳探索了深度学习在音频领域应用，为检测音频伪造方面提供了新方法 [2]；黄嘉诚提供了一定的声音检测方法及识别分类技术，为声音信号处理和分类提供思路 [3]。羽毛球物理学分析方面，李强从物理角度分析了羽毛球运动稳定性的判据 [4]，崔龙研究旋转对羽毛球运动的影响，其他研究多为力学方面 [5]。本研究相关领域研究较少，特别是将声学用于运动方面，几乎无可参考的报告。在现有资料无法满足我的疑问后，我认为通过研究不同击球力度、不同磅数球拍的击球声音，可进一步理解球拍的物理声学特性，从而建立音频训练设备的潜在设计基础，能满足运动科学探索需求，为羽毛球

* **通讯作者：**陈心玥；**单位：**上海市第五十四中学　上海
收稿日期：2025-12-11　**录用日期：**2026-02-10
DOI: https://doi.org/10.58244/jie.263599

技术训练、装备研发等提供新的视角。

1.3 研究目的

（1）探究击球力度对声音分贝和频率的影响；

（2）分析球拍线磅数对击球声音响度和频率的作用；

（3）验证击球声音基音与泛音是否存在倍数关系。

2 研究设计与方法

2.1 研究样本与装置设计

选择了四种羽毛球拍，分别为 30 磅（1 号）、28 磅（2 号）、26 磅（3 号）、24 磅（4 号）。（图 1）



图 1 球拍与测试装置

模拟击球装置选用 24 V、400 r/min 的 60GA775 减速电机带动球拍做圆周运动的测试装置，通过调速器调节电压（3.5 V~14 V）控制转速，进而调整击球力度。羽毛球的悬挂固定装置为细线与针，桌面放置杠铃片稳定实验台，减少振动与噪音干扰。

调速器接家用 220V 交流电，输出 0~24V 可调电压接电机正负极。通过调速器屏幕输出电压值和电机电气参数可估算电机转速。实验关注电机转速数据，调节电压便于使球拍达期望转速。

电压从 0 V 调至 3 V 时，电机有“嗡嗡”声，球拍未转，推测是扭力不足；增至 3.3 V 时，球拍开始以小角速度转动，故选 3.5 V 为起始电压值。随着电压增大，球拍转速加快，桌面振动加剧（实验时桌面放杠铃片稳定），电压调至 14V 时桌面振动过剧，选 14 V 为终止电压值。

电机轴心到拍面中心距离 0.52 m，球拍配合 3D 打印紧固件质量分别为 M1=0.144 kg、M2=0.144 kg、M3=0.145 kg、M4=0.141 kg。可通过公式将电压转换成转速对应的击打力，因测试出的数值相近，采用球拍 1 的“输入电压－击球力度”作为基础击球力度。

2.2 音频数据采集与分析方法

Adobe Audition 软件频谱图中，某频率呈倍数出现通常与信号谐波有关，谐波指一个波形频率为另一波形频率整数倍。若频率为 f 的信号存在 2f、3f、4f 等整数倍频率，这些频率就是信号的谐波，在频谱图上表现为原始频率的倍数峰值，如基频 100 Hz 信号存在二、三、四次谐波，频谱图上会有 100 Hz、200 Hz、300 Hz 和 400 Hz 等峰值。

实验依次测试了 1 至 4 号球拍，电机电压范围从 3.5 V 起至 14 V，采集不同电压下球拍击球声音频率。以下是 1 号球拍，在接通 3.5 V 电压时，用手机记录击球声音频率的采集过程：向 Adobe Audition 软件导入录制的音频文件，明显的亮线所在的 2.317 s 是击球时间点。频谱图界面中，横轴为时间、纵轴为频率，色彩越亮代表收录的声音强度越高。放大时间轴刻度至 0.01 s，能看到几条明亮的横向黄色线。特别是在（0, 500），（1000,

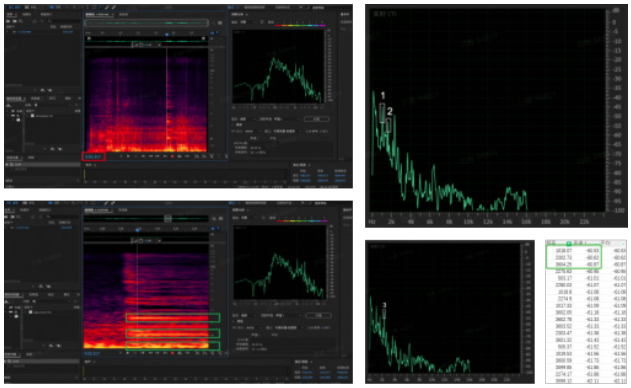


图 2　频谱图、声谱图、EXCEL 导出数据

2000），（2000, 3000）频率区间有很明显的线条。（图 2）

右侧频谱图横轴是频率，纵轴是强度，将频率与强度数据导出至 EXCEL 表格，因击球声比人声清脆，排除 500 Hz 以下频率数据。在（1000, 2000），（2000, 3000），（3000, 4000）等区间筛选波峰。（1000, 2000）区间有两个主要波峰，筛选后得到频率分别为 1021.73 Hz、强度 - 44.99 dB 和频率 1606.20 Hz、强度 - 53.13 dB，此区间最大波峰频率为 1021.73 Hz；（2000, 3000）区间主要波峰位置为 2289.55 Hz、- 49.28 dB，该区间最大波峰频率为 2289.55 Hz。

将打击时刻数据从 Adobe Audition 复制到 Excel，列出频率对应的分贝数。筛选分贝数，去除 500 Hz 以下数据并从大到小排列，最大峰值是球拍打击时的声音频率与分贝数，其次是泛音。

3　研究结果与分析

3.1　击打力度与分贝的关系

从图 3 上能看出，随着击打力度（电压）的增加，球拍与羽毛球的冲击力增强，分贝数逐渐增大，这符合预期。从平均值上看，随着球拍磅数的降低，击球时产生的整体分贝数呈现下降趋势，这显然与球拍的弹性增加和击球时力量传递的减少有关。如果从最大值和最小值来看，分布就没有规律，这可能是由于数据不够多导致的。四个球拍的标准差相近，表明在不同力度击打下，四个羽毛球拍产生的声音水平相对稳定，离散程度差异较小。

通过慢放分析，因为手机话筒会自动降噪与调整，分贝的采样有偏差，会对分贝数的结果产生影

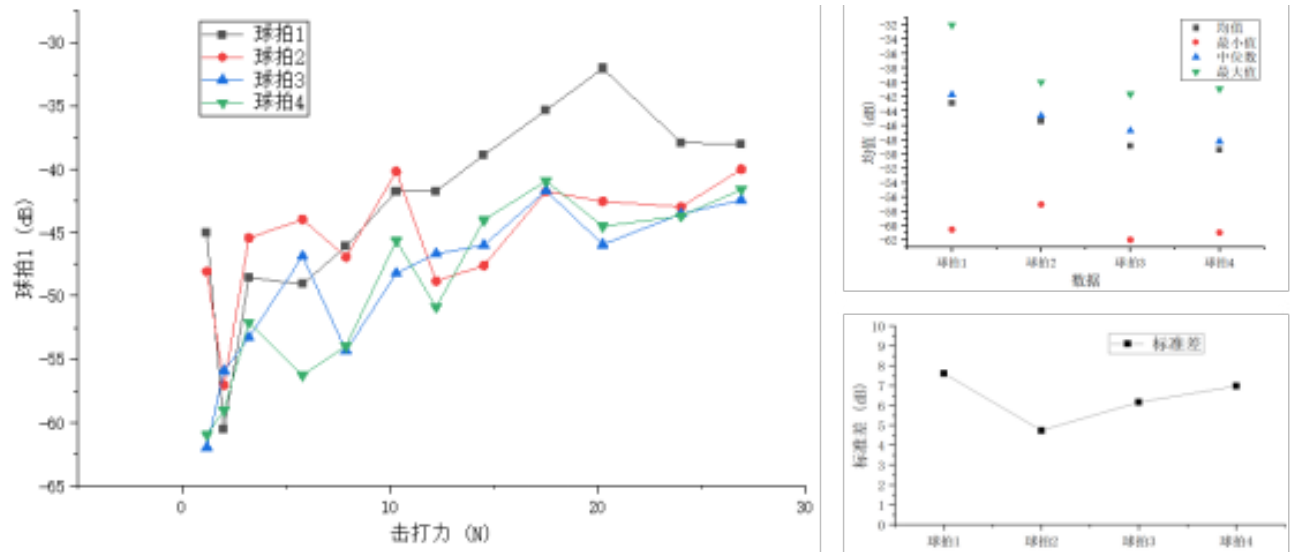


图 3　不同球拍打击力度与分贝的各项关联

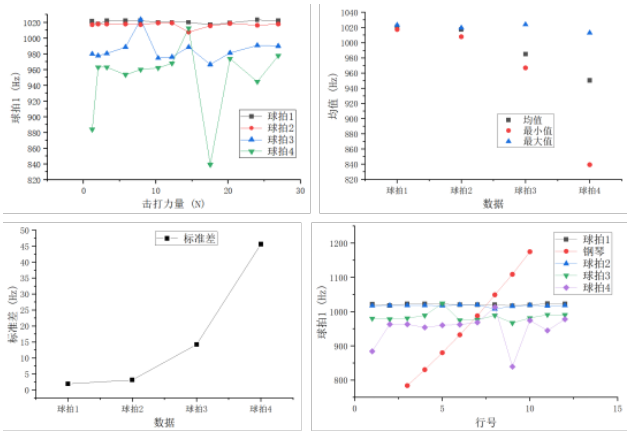


图 4　不同球拍打击力度与频率的各项关联

响。该影响将在后续章节进行讨论。

3.2　击打力度与频率的关系

对于所有球拍，频率未随击打力（电压）增加而一致明显增减，但有区别。球拍 1 频率线最高且平稳，球拍 4 最低且有浮动。这表明，不同磅数对频率有影响，对频率稳定性影响更显著，稳定性表现为：球拍 1（30 磅）＞球拍 2（28 磅）＞球拍 3（26 磅）＞球拍 4（24 磅）。通过对比可知，平均频率与磅数正相关，磅数越高，平均频率越高，反映出磅数越高，球拍张力越大，振动频率也越高。频率标准差与磅数负相关，低磅数球拍频率标准差大，高磅数球拍击球时频率稳定性更好。最高频率在球拍 1，最低频率在球拍 4，说明绑线很重要，绑线过松会导致球网细微变化、局部磅数改变，进而造成频率改变。（图 4）

综上，磅数对球拍频率特性影响显著，高磅数球拍频率更高且稳定，低磅数相反，这可能与球拍张力和击球震动特性有关。用钢琴小字 2 组的 G5 音到 D6 音与 4 个球拍音频数据对比，钢琴频率稳定，球拍方面，球拍 1 和 2 在一个音范围，球拍 3 在两个音范围，球拍 4 扩展至四个音。由此得出结论，高磅数球拍声音频率稳定，超人耳识别范围；低磅数球拍频率范围大，声音识别能力强的人能听出差异。不过，很多追求专业度的人选用近似职业的球拍，从频率角度识别会很困难。

3.3　不同击打力度与泛音的关系

在物理学中，我们学过，在正常情况下，基音与泛音之间通常呈整数倍关系。

基音是声音的最低频率，决定了声音的基本音调，泛音是基音频率的整数倍，它们是声音中较高频率。泛音的产生是由于物体振动时产生的谐波振动，这些谐波振动的频率是基音频率的整数倍，这种关系源于共鸣现象。按照我实验前所理解的，羽毛球应该也是这种情况，但是实际数据采集过程中，发现了采集泛音的时候，竟然不是基音的整数倍，也导致我在实验中耗费了很多时间考虑是不是数据分析的时候，找错了基音。后来通过文献查阅证实，这是一种误解。

我以球拍 1 为例，进行了汇总，汇总结果如下：

从数字上来看，羽毛球拍的数据并非整数倍。同时，将数据整理成图片，发现频率没有明显变

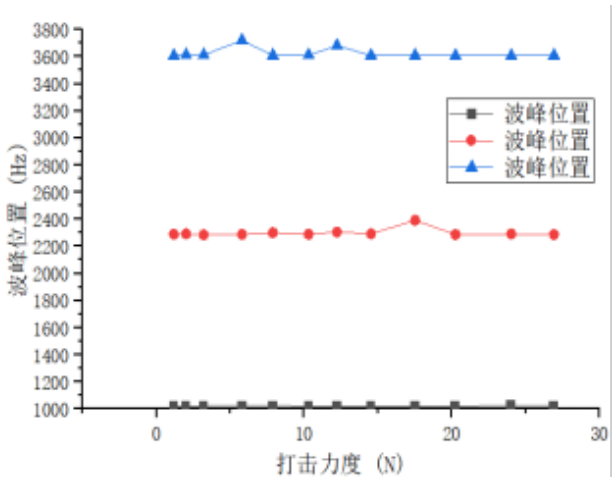


图 5　不同打击力度与泛音

表 1　不同打击力度与泛音

	总数N	均值	标准差	方差	最小值	中位数	最大值
波峰位置	12	1020.0725	1.8954	3.5925	1017.33	1020.995	1023.19
	12	2299.9275	29.5830	875.1516	2285.16	2290.285	2392.09
	12	3623.8358	36.4830	1331.4673	3606.45	3608.680	3719.24

化，几乎为相同数值。为了验证这一点，将数据进一步整理，进行描述分析：（图 5，表 1）

通过平均数的分析，基音频率为 1020.87 Hz，泛音频率分别为 2299.93 Hz 和 3623.84 Hz。这些泛音与基音的频率比分别为 2.25 倍和 3.55 倍，与理论上的整数倍关系有很大的差异。此外，标准差显示基音的离散度非常小，但泛音的离散度明显增加，第二泛音的离散程度高于第一泛音。

查阅资料发现，基音与泛音两者非整数倍关系的原因是因为羽毛球拍是一个典型的复杂振动系统，由多种材料和部件构成，材料和部件的共振特性和模式会影响泛音的分布。当这个系统（球拍）受到扰动（击打羽毛球）时，击球点的位置、力度和方式等都会影响整体的振动情况，继而改变泛音的频率和分布。

3.4　环境噪音对声音采集特征的影响

采集时，旋转电机发出大频率噪音，有多种干扰。高速电机致环境噪音影响：用高速电机带动球拍模拟击打，录制有明显电机转动噪音。

用 Adobe Audition 自带滤波器进行测试，逐个关闭不同频率的通道，依然能听到环境的噪音，分布非常广，覆盖低频到高频大多区域。而羽毛球打击时的噪音甚至达 8000。复制分贝数据制作散点图辅助判断，结果显示 0 ~ 16000 Hz 有许多环境噪音，这样大范围的噪音无法被有效抑制，得出使用高速电机会导致无法抑制的噪音源的结论。进一步查证发现，智能手机也有收录副作用影响：如今智能手机收声降噪时会增强“收音对象”音频响度，无人声时，噪音成主要收音对象，与样本相近频率的非人声会被增强。将声谱慢放至原速度的 800%，从声谱图可见，打击音使原本不被收录的声音被增强并收录成混合音，导致收录效果变差。对比打击前后噪音，可看出噪音被增强，增加了初始分析频率位置的难度。因此，为优化数据提取，需将数据记录慢放至 800% 来识别。（图 6）

4　研究结果总结

4.1　结论

本次研究针对羽毛球拍打击声音属性，涵盖击打力度与分贝、频率、泛音关系及采集时噪音环境分析。结论如下：击球力量和球拍线磅数越大，分贝数越大；球拍磅数增加，击球声音频率提高且聚集程度增加，如 30 磅球拍击球声音频率稳定在 1020 Hz，标准差仅 1.89，意味着高磅数球拍击球反馈更稳定精确，而低磅数球拍击球声音频率低、浮动大，

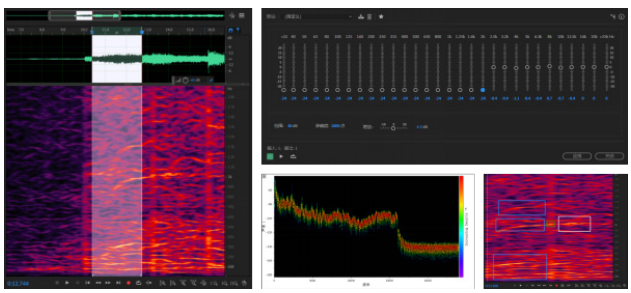


图 6　噪音对实验的影响

对球的控制和反馈不如高磅数球拍精确，所以网络上靠声音判断球拍好坏不适用于高磅数球拍，因其频率变化人耳难识别。羽毛球击打的基音与泛音非倍数关系，如球拍 1 基音与泛音平均值分别为 1022 Hz、2299 Hz、3623 Hz，这是多部件结构及击球点偏差致部件共振不同混合造成的。用手机在有环境噪音尤其是周围有机械运转时采样，可能有偏差且噪音难过滤。这些结论满足了初步研究目的。

4.2 研究局限与展望

在这次研究中，我使用的羽毛球拍样本不够多，只用了一种品牌的一个型号的羽毛球拍，这限制了结论的适用范围。在这之后的研究，将增加样本数量，更全面地了解和描述羽毛球拍的声音特性。

研究设计存在失误，使用了电机作为驱动装置，虽然能控制打击力度，但也无形中使采样产生了偏差。所以在未来的研究中，换一种研究方案和录音方法，从而避免环境噪音的影响。

研究中，我提到了击球点的偏差会影响部件的共振情况，可能会导致声音属性的差异。然而，还有其他因素可能会对声音属性产生影响，比如球拍的材料、结构和长度等。所以，下一步的研究，将考虑更多的不可控因素，逐一将其解决。

4.3 本研究的主要贡献

通过精确控制击打力度，揭示了羽毛球拍的力度如何影响击球时产生的分贝、频率和泛音特性。同时，对采集过程中的噪音环境进行了分析，发现环境噪音对采样结果产生偏差的根本原因。

参考文献

[1]. 郑超,郭晓培.音频分析用于羽毛球技术统计的可行性研究[J].中国学校体育(高等教育),2015,2(06):51-55.

[2]. 单学阳.基于深度学习的伪造音频检测研究与实现[D].南京邮电大学,2023.

[3]. 黄嘉诚.声音检测及识别分类技术的研究与应用[D].江南大学,2023.

[4]. 李强.羽毛球运动中的物理学知识研究[J].中学物理,2019,37(07):47-49.

[5]. 崔龙.羽毛球运动中的物理原理[J].中学物理教学参考,2019,48(06):48-49.

研究感悟

在此，我谨表达衷心的感谢。我要感谢蒋老师以及其他在我课题中提供帮助的多位老师们，没有他们的耐心指导和无私帮助，我无法完成这次研究，更不可能形成这份报告。是他们的专业知识和经验，对我的研究起到了至关重要的作用。我野衷心感谢我的同学和朋友，他们在研究过程中，配合我做了多次实验的采集工作，帮助我采集了大量的数据，使研究更为全面深入。最后，我深感感激我的家人，他们始终如一的支持与鼓励是我不断前行的强大动力。感谢你们的支持，让我能够更好地完成这份报告。

Verification of Badminton Racket Hitting Effect Based on Audio Analysis

Li Pengyu

Abstract: This study aimed to verify the acoustic characteristics of badminton rackets upon impact and explore the relationships between stroke force, racket string tension and sound decibel level, frequency as well as overtones. Sound samples under different conditions were collected via mobile phones and analyzed with Adobe Audition. The main conclusions are as follows: 1. Higher stroke force and racket string tension both lead to a higher decibel level; 2. An increase in string tension elevates the sound frequency, with the tested rackets showing a frequency range of 950 Hz-1020 Hz, and the sampling frequency of rackets with high string tension presenting more stable fluctuations; 3. For the same racket and impact point, stroke force has no significant effect on sound frequency; 4. There is no multiple relationship between the fundamental frequency and overtones of the impact sound. It is inferred that this results from complex resonance caused by the multi-component structure of the racket and deviations in the impact point; 5. Sound collection via mobile phones in a noisy environment is prone to errors, and the noise in the test environment of this study was distributed in the range of 0-16000 Hz and difficult to filter out. This study provides a new audio analysis approach for the objective analysis of badminton sports.

Keywords: Badminton; Audio; Analysis; Vibration

导师点评

王强，合肥市青少年科技创新教育学会　选题小切口深探究，理论联系实际，实验的角度、要素、变量具有代表性，结论具有一定参考实用价值。

李铁军，河北唐山外国语学校　羽毛球运动是广受大家喜爱的运动。作者通过电机、手机、Excel 数据分析等常见工具和方法研究击球时声音和球拍的关系，研究方法科学，专业性较强，其研究过程和方法具有示范性。如果能从中学生熟悉的音调、响度、音色进行补充研究，找到手机录制的音频与这三要素的联系，也许对普通人选用球拍更有实用价值。

李后见，佛山市禅城区南庄镇河滘小学　选题甚是巧妙，通过将运动器材声学特征与数据采集相结合，从“声音”这一常被忽略的维度切入体育器材研究，体现了跨学科创新思维。再通过声频信号与击球质量的相关性分析，将主观体验转化为客观数据，方法具有启发性。特别值得称道的是，当实验发现泛音与基音不存在整数倍关系时，没有盲目修正数据，而是通过文献查阅纠正了前期认知偏差，这种实事求是的科学态度令人欣慰。

谢琴，深圳市南山区文理实验学校（集团）科创学校　该文章选题新颖，将声学分析与体育运动结合，实验设计严谨，能较精准控制击球力度等变量，对音频数据进行收集分析，结论具有实际参考价值。