

「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》<sup>[1]</sup>，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，大多数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<sup>[2]</sup>；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<sup>[3]</sup>。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<sup>[4]</sup>，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<sup>[5]</sup>。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）

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



图 1 球拍与测试装置

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,

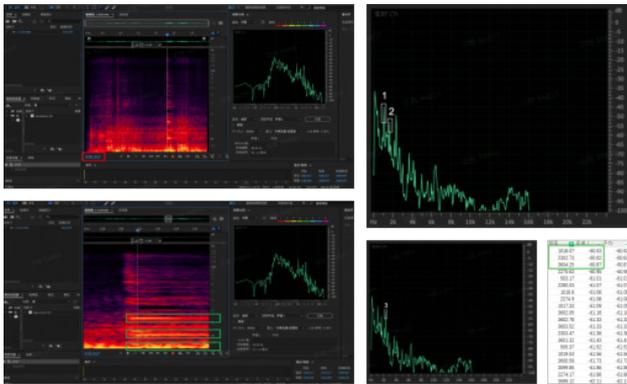


图2 频谱图、声谱图、EXCEL 导出数据

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

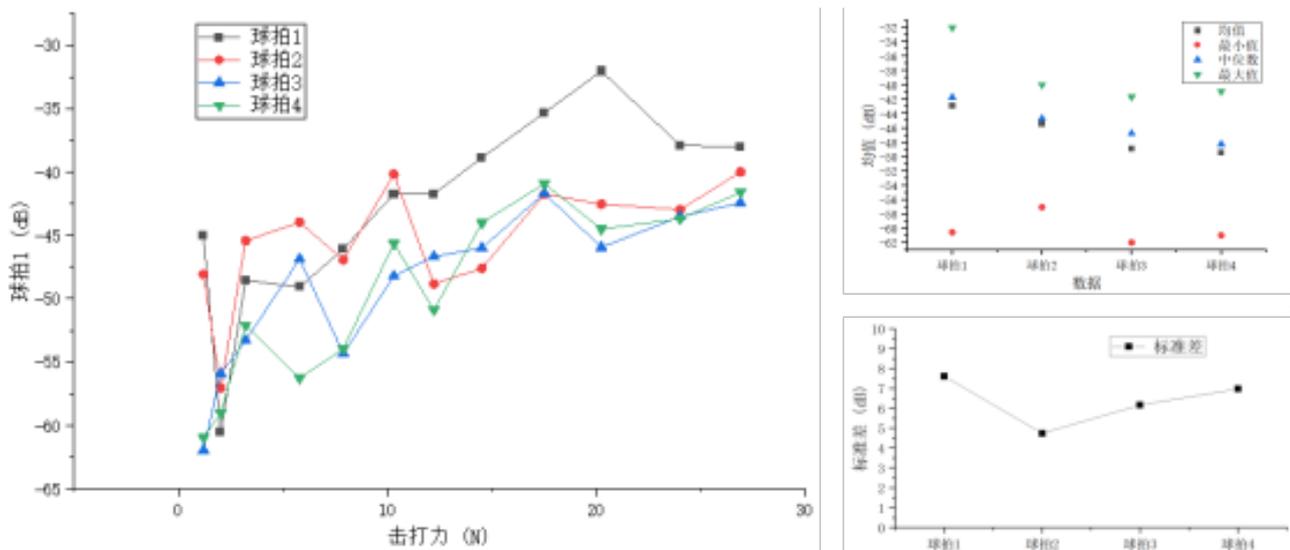


图3 不同球拍打击力度与分贝的各项关联

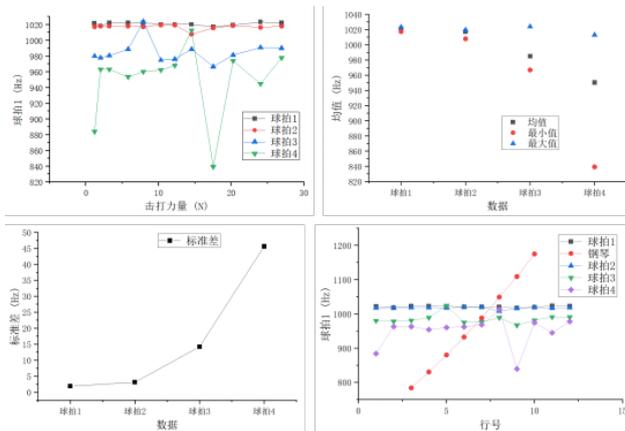


图 4 不同球拍打击力度与频率的各项关联

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

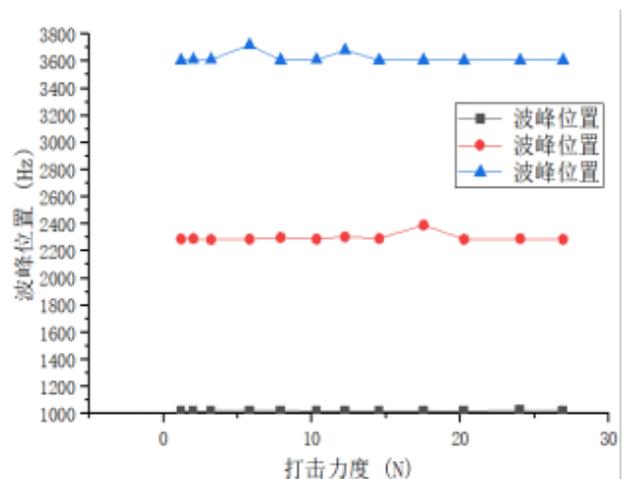


图 5 不同打击力度与泛音

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
	12	1020.0725	1.8954	3.5925	1017.33	1020.995	1023.19
波峰位置	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，

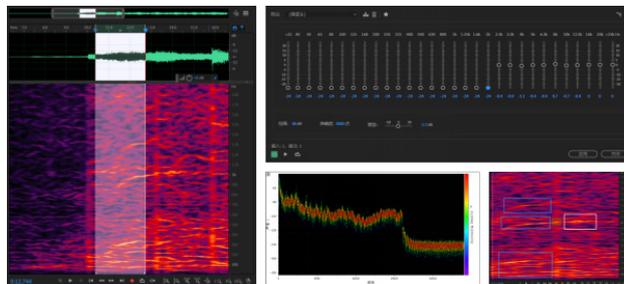


图 6 噪音对实验的影响

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 and 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。再通过音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。