

碳纤维材料在钢琴调律扳手中的设计与应用

陈意

四川音乐学院,四川成都610021

摘要:本文深入探讨了碳纤维材料在钢琴调律扳手设计中的应用,揭示了其在提升调律精度和工作效率方面的显著优势。文章首先概述了碳纤维材料的基本特性,包括其高强度、低密度和耐腐蚀性。随后详细分析了钢琴调律扳手的功能和设计要求,并对比了传统材料与碳纤维材料在该领域的应用。文章重点介绍了碳纤维调律扳手的创新设计方案,突出了其在轻量化、高强度和多功能性方面的优势。此外,还详细讨论了碳纤维调律扳手的制造工艺,包括材料加工、成型、表面处理和装配等关键环节。最后总结了碳纤维材料在钢琴调律工具中的潜力,预测其在更多专业领域替代传统材料的可能性。

关键词:碳纤维;钢琴调律;扳手;设计

Design and Application of Carbon Fiber Materials in Piano Tuning Wrenches

Chen,Yi

Sichuan Conservatory of Music, Chengdu, Sichuan, 610021, China

Abstract: This paper provides an in-depth investigation into the application of carbon fiber materials in piano tuning wrench design, demonstrating their significant advantages in improving tuning accuracy and work efficiency. The study begins by outlining the fundamental characteristics of carbon fiber materials, including their high strength, low density, and corrosion resistance. Subsequently, it conducts a detailed analysis of the functional requirements and design specifications for piano tuning wrenches, comparing traditional materials with carbon fiber composites in this specialized application. The research highlights an innovative design scheme for carbon fiber tuning wrenches, emphasizing their advantages in lightweight construction, high strength, and multifunctionality. Furthermore, the paper elaborates on the manufacturing processes for carbon fiber tuning wrenches, covering critical stages such as material processing, molding, surface treatment, and assembly. The study concludes by assessing the potential of carbon fiber materials in piano tuning tools and predicting their prospects for replacing traditional materials in various professional applications.

Keywords: Carbon fiber; Piano tuning; Wrench; Design

DOI: 10.62639/sspse33.20250103

一、碳纤维材料的基本特性

(一) 碳纤维材料的定义与结构

碳纤维(Carbon Fiber),一种由有机纤维(如聚丙烯腈)经过碳化处理得到的高强度、高模量纤维材料,以其超过90%的含碳量和一致的碳原子排列方向,展现出卓越的力学性能。微观结构中,碳原子以六边形蜂窝状排列形成层状结构。纤维直径通常5微米至10微米,长度几毫米至几米不等,这种特殊结构使碳纤维具备高强度特性。

(二) 碳纤维材料的性能

1. 高强度和高弹性模量

碳纤维材料具有极高的强度,拉伸强度可达3000兆帕至6000兆帕甚至更高,远超许多传统金属材料,弹性模量通常在200吉帕至400吉帕之间,承受外力时变形极小,刚性和稳定性出色,是制造高性能结构件的理想选择。

2. 低密度和耐腐蚀性

碳纤维材料的密度相对较低,密度在1.5克每立方厘米至2.0克每立方厘米,仅为钢铁密度的四分之一到五分之一,减重效果显著。化学稳定性高,耐酸、碱、盐等,在一些极端环境中性能稳定,无需额外防腐处理,可降低维护成本。

(稿件编号: SE-25-3-68001)

作者简介:陈意(1980-),男,汉族,四川省成都市,硕士,高校教师,副教授,研究方向:乐器修造。

基金项目:2021年四川音乐学院科研项目:“新型材料碳纤维在钢琴调律工具中的研究与应用”(项目编号:CYXS2021047)。

3. 良好的热性能、抗疲劳性和可塑性

碳纤维材料具有出色的导热和耐热性能。其导热系数较高,能够有效地传递热量,在高温环境下仍能保持其力学性能,一般可以在2000摄氏度以上的高温下正常工作,其热膨胀系数接近于零,甚至可为负值,温度对其影响极小,适合在需要高精度和稳定性的应用中使用。碳纤维材料具有优异的抗疲劳性能,能够承受反复的加载和卸载而不发生明显的性能下降。在长期使用和循环载荷条件下的可靠性较高,适用于制造需要经受频繁振动和应力变化的部件。碳纤维材料可以通过不同的工艺制成各种形状和结构的复合材料,以满足不同应用场景的需求。通过合理的设计纤维的排列方向和层数,可以实现对材料力学性能的精确调控,从而优化结构的强度、刚度和重量分布。

二、钢琴调律扳手的功能与要求

钢琴调律扳手是钢琴调律过程中不可或缺的工具,其功能和要求会对调律的准确性、稳定性以及效率造成影响。

(一) 钢琴调律扳手的基本功能

调音和控制音准是钢琴调律扳手的基本功

能。其主要功能是通过转动钢琴弦轴来调整钢琴琴弦的张力, 从而改变音高。调律师通过调律扳手的运动转动弦轴可以使得琴弦张紧或放松, 实现音高的升高或降低; 调律师在调律作业时精准控制扳手的操作, 使钢琴的音高达到所需位置并保证音准的稳定性。

(二) 钢琴调律扳手的要求

钢琴调律扳手的设计必须满足一系列严格性能要求, 包括精确性、耐用性、操作舒适性、稳定性、灵活性和微调能力, 以确保调律过程的高效和精准。钢琴调律扳手需要能够精确地控制弦轴的转动, 以实现音高的微小调整。调律师需要通过扳手的操作, 使钢琴的音高达到精确的音准; 钢琴调律扳手需要具有高强度和耐用性, 扳手的材料和制造工艺应确保其在调律过程中不易损坏, 以承受长时间的使用和操作; 钢琴调律扳手的设计应考虑调律师的操作舒适性, 扳手的角度和形状应适合调律师的操作习惯, 扳手的握持部分应易于握持, 操作时不会引起手部疲劳; 钢琴调律扳手在使用过程中应保持稳定, 扳手与弦轴的接触部分应有足够的摩擦力, 确保扳手在操作时不会滑脱, 避免因扳手的滑动或转动不顺畅而影响调律的准确性; 钢琴调律扳手应具有一定灵活性, 扳手的操作应能够轻松地在音区和音区之间切换, 实现不同音区音高的调整; 钢琴调律扳手需要具备微调能力, 调律师在调律过程中, 往往需要对音高进行精细的调整, 扳手的微调控制直接影响调律的最终效果。

(三) 传统材料在钢琴调律扳手中的应用

传统材料在钢琴调律扳手中的应用主要体现在其制造和设计上。钢琴调律扳手多采用金属材料和木质材料, 这些材料因其高强度和耐用性而被广泛使用。金属材料和木质材料是传统钢琴调律扳手的主要材料。金属材料因其高强度和耐磨损性, 能够承受调律过程中的反复使用和高扭矩操作。此外, 金属材料的耐用性也意味着扳手可以在恶劣的工作环境中保持性能, 减少了维护成本和更换频率。木质材料, 主要是在扳手的握持部分, 木质材料提供了良好的触感和防滑性能, 使得调律师在长时间操作中感到舒适, 此外, 木质材料的美观性也提升了工具的整体外观。随着材料科学的发展, 一些钢琴调律扳手也开始采用复合材料, 如玻璃纤维增强尼龙 (GFRP)。这些材料结合了金属和非金属材料的优点, 提供了更好的强度、耐用性和美观性, 同时减轻了重量。

三、碳纤维材料在钢琴调律扳手中的设计与应用

(一) 碳纤维材料的选择

对于钢琴调律扳手碳纤维材料的选择, 需要综合考虑多方面因素。鉴于钢琴调律需要精准操作的特性, 优先考虑强度和模量较高的聚丙烯腈 (PAN) 基碳纤维。PAN 基碳纤维具备出色的力学性能, 能够在调律过程中稳定地承受力量, 确保扳手的精确性和可靠性。碳纤维的编织方式,

常见的有单向编织和多向编织。单向编织的碳纤维在特定方向上具有极高的强度, 但在其他方向上相对较弱。多向编织, 如 3K、6K 编织, 则在多个方向上都能提供较好的强度和稳定性。因为在调律使用过程中, 力量的施加方向可能较为复杂, 多向编织能更好地分散和承受这些力量, 所以应选择多向编织的碳纤维。在保证强度的前提下, 进一步减轻手柄的重量, 提高调律师操作的便利性可选择密度较小的碳纤维材料^[1]。

(二) 碳纤维调律扳手的设计

在钢琴调律扳手作为关键工具, 其设计直接影响调律的效率和准确性。传统的木柄扳手虽然手感良好, 但在强度和重量上存在局限性。碳纤维材料以其高强度、轻质和低弹性形变的特性, 为钢琴调律扳手的设计提供了新的可能性。本设计以碳纤维材料为核心, 旨在打造一款集轻量化、高强度、多功能于一体的钢琴调律扳手。

1. 设计理念

碳纤维钢琴调律扳手的设计旨在结合传统木柄扳手的舒适性和现代材料的高性能。通过大量使用碳纤维材料, 不仅增强了扳手的整体强度, 还显著减轻了重量, 减少了材料的弹性形变。此外, 设计充分利用了手柄内部空间, 将球状扳手的球状部分设计为通用型手柄, 集成多种调律工具, 简化了调律工作所需的工具携带。

2. 设计方案

(1) 扳头部分

扳手首端用金属连接件连接扳头, 连接件两端为螺纹设计, 方便特殊情况更换扳头, 其采用铝合金材质, 因铝合金密度小强度高, 利于减重且保持结构强度; 表面易形成氧化膜能抗腐蚀增寿命; 有良好可铸性、可锻性和可切削性, 可制成多种规格。调律扳手扳头角度通常有 5 度、10 度、15 度三种, 连接件与扳头通过内嵌式螺纹拧入, 依不同螺纹角度能调扳头与中柄角度以应不同调律需求。扳口套筒分 1 号、2 号、3 号三种规格, 按弦轴规格设计尺寸, 扳头与扳口连接处也是内嵌式反向螺纹, 防止调律时扳口松脱。

(2) 中柄部分

碳纤维中柄长约 228 毫米至 254 毫米。其采用碳纤维编织而成, 与传统硬木材质相比, 碳纤维中柄优势明显, 不仅减轻了重量, 还增强了整体强度, 减少了弹性形变。而且由于碳纤维材料制成的柄壁较薄, 内部形成了一个直径为 30 毫米、长度为 228 毫米至 254 毫米的储物空间, 方便携带一些小尺寸调律、调整工具, 为调律师带来更多便利。

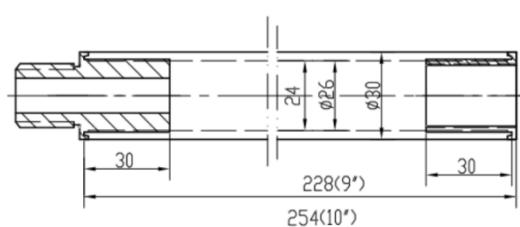


图 1: 碳纤维扳手中柄部分

(3) 球状握柄部分

碳纤维调律扳手在外观设计上独具匠心，综合了传统直柄和球状柄调律扳手的特点，并缩小了球体直径，能与手掌充分接触，且不影响调律技术动作。其在多功能性方面表现出色，球状握柄为可拆卸式，内嵌的六角柄快脱自锁接杆由不锈钢一体制作成型，内部卡槽采用双珠设计，提升了卡批头能力和同心度。此外，该接杆所配批头为6.35毫米，能够精确控制不同种类和规格的小尺寸调律、调整工具，真正实现一个手柄搭配多种调律、调整工具，极大提高了使用的便利性和效率。

(4) 三段式分体设计

扳头与握柄：扳头、中柄、球状握柄部分连接采用螺纹式设计，最大程度保留中柄内部的中空空间。三段式设计保证了工具的灵活自由搭配，调律师根据自身需求自由选择不同规格的手柄，为调律作业提供了便利。

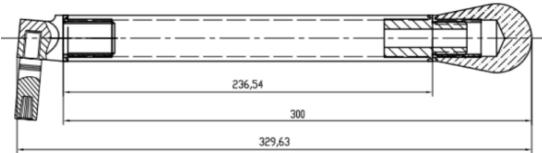


图2：碳纤维扳手设计图

3. 设计优势

碳纤维钢琴调律扳手的设计优势体现在其卓越的轻量化和高强度特性，这得益于碳纤维材料的低密度与高模量。轻量化设计显著减轻了调律师的劳动强度，而高强度特性确保了扳手在承受高扭矩时的稳定性和耐用性。操作舒适性也是其一大亮点，球状握柄部分的创新设计，不仅提供了良好的手感，还适应了不同调律姿势的需求。此外，多功能集成的设计减少了必需携带的工具数量，极大提升了工作效率。特别是三段式分体结构，提高了工具的灵活性与可更换性，不仅保证了工具的灵活自由搭配，还确保了各部分在遇到意外损坏时可以自由更换。从创新的角度上而言，该调律扳手充分发掘利用了新型材料的特点和优势，在工具内部挖掘到新的空间，充分观察并发现使用频率较高的工具的构造及特点。综合主体结构的空间，整合主要工具并重新设计，将本需大量携带的工具集成在同一件工具内。大大提升其便捷性。而对于该设计，其意义并非从根本上颠覆传统扳手的功能，而是在原有的基础上做适当的更新和升级。以碳纤维材料为主要材质，从强度、重量、耐磨度等方面多维度提升。也在对于握柄的全新设计和中空管空间的充分利用上体现其创新性、便捷性和多功能性。这些综合优势，使得碳纤维钢琴调律扳手成为提升调律工作质量和效率的理想选择。

四、碳纤维调律扳手的制造工艺

碳纤维钢琴调律扳手的制造工艺是一个高度专业化和精密的过程，涵盖了材料加工技术、成

型工艺和装配等多个关键环节。



图3：碳纤维钢琴调律扳手

(一) 材料加工技术

碳纤维材料的加工技术将高质量的聚丙烯腈(PAN)原丝，进行聚合工艺生产，聚合后的原丝经纺丝成初生纤维，再于200–300°C预氧化，使PAN分子发生氧化反应，为后续碳化准备。之后在1000–1500°C高温碳化，热解去除氢、氮、氧等原子形成碳纤维，接着2500–3000°C的石墨化处理提高力学性能。

(二) 成型工艺

碳纤维材料的成型工艺是制造调律扳手的重要部分。碳纤维缠绕成型将浸渍树脂的纤维束绕在模芯上，适用于圆筒状如手柄部分。模压成型把预浸料在模具中加压，用于复杂形状部件。成型后的部件需适当温压固化以保稳定和强度^[2]。

(三) 机械加工与装配

碳纤维调律扳手手柄固化成型后需切削、钻孔等后加工以保尺寸精度。装配时，铝合金连接件与碳纤维管材使用环氧树脂胶粘接，确保连接牢固。各部件精确装配并检测，保证一致性和可靠性。碳纤维扳手的各个部件需要进行精确装配，并进行检测，确保碳纤维调律扳手的一致性和可靠性。

五、结语

通过将碳纤维材料创新应用于钢琴调律扳手，本文不仅提升了调律的质量和精度，还为未来材料科学在音乐工具领域的应用提供了新的思路和可能性。这种高科技材料以其超凡的轻质和高强度，为调律师提供了前所未有的操作便利和精准控制，显著减轻了长时间作业带来的疲劳。更重要的是，碳纤维的稳定性和耐久性确保了调律扳手在各种环境条件下均能维持调律的精确度，从保证了钢琴的音准稳定性。此外，碳纤维调律扳手的多功能设计，允许集成多种调律工具，这不仅简化了调律师的工作流程，也提高了工作效率。随着新材料技术的不断发展，碳纤维材料的潜力将进一步被挖掘，预计将在更多专业领域替代传统材料，成为提升工作效率和产品质量的关键因素。

参考文献：

- [1] 钱水林. 碳纤维的应用及市场需求分析 [J]. 石油化工技术与经济, 2008, (01): 26–29.
- [2] 贾文杰. 高性能聚丙烯腈原丝制备工艺优化 [D]. 山东大学, 2005.