

工业设计导入民族低音拉弦乐器革新设计研究

张世炜¹, 张栩华²

(1.无锡工艺职业技术学院, 无锡 214200; 2.南京艺术学院, 南京 210013)

摘要: **目的** 以工业设计的学术背景介入中国传统低音拉弦乐器革新设计, 进行“中国方式”的乐器设计, 突破半个世纪以来民族低音拉弦乐器的开发瓶颈, 探索工业设计背景下民族乐器革新的一般方法, 并拓展到实际应用中。**方法** 围绕民族低音拉弦乐器设计革新这一主题, 采用跨学科研究方法, 横跨设计与乐器学, 探讨乐器造型设计与民族风格的关系, 提出中国方式的发声原理与乐器结构设计, 并使演奏方式符合人机工程学, 完成产品输出和样机声学测试, 论证设计的创新性与有效性。**结论** 工业设计师运用现代设计手法, 从产品风格、造物美学、人机工程、音色实现和文化寓意等多维度进行理论梳理和设计革新, 工业设计启发民族艺术, 呈现中国方式的乐器革新设计, 是一次成功的跨学科实践。

关键词: 民族低音拉弦乐器; 工业设计; 乐器设计; 跨学科

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)20-0290-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.20.049

Innovative Design on Introducing Industrial Design into National Bass Stringed Instruments

ZHANG Shi-wei¹, ZHANG Xu-hua²

(1.Wuxi Institute of Arts & Technology, Wuxi 214200, China; 2.Nanjing University of the Arts, Nanjing 210013, China)

ABSTRACT: The work aims to incorporate the innovative design of Chinese traditional bass stringed instruments under the academic background of industrial design, to carry out the musical instrument design with “Chinese Method”, break through the bottleneck of the development of national bass stringed instruments in the past half century and explore the general methods of innovating national musical instrument in the context of industrial design, and then expand the methods in practical application. Focusing on the theme of national bass stringed instrument design innovation, the interdisciplinary research was carried out to explore the relationship between instrument form design and Chinese national style across design and musical instruments science, and propose the sounding principle and structure design of instruments with Chinese Method and make the way of playing accord with ergonomics as well. The product output and prototype acoustic testing was completed to demonstrate the innovation and effectiveness of the design. Industrial designers use modern design techniques to comb theory and innovate design from product style, design aesthetics, ergonomics, timbre achieving, and cultural meaning. Industrial design inspires national art and shows the innovative design of musical instruments with Chinese Method, which is a successful interdisciplinary design attempt.

KEY WORDS: national bass stringed instruments; industrial design; musical instrument design; interdisciplinary

中国民族乐器发展至今, 已成为当代器乐的重要组成部分。作为传统文化的集中代表, 民族乐器受到越来越多国人的关注和推崇, 在国际舞台上大放异彩。但时至今日, 中国民族低音拉弦乐器的开发仍然

处于瓶颈期, 民族乐团采用大提琴和低音提琴作为低音声部的弓弦乐器, 与乐团的整体氛围极不相称。本文以工业设计的研究方法和技术路线介入中国传统低音拉弦乐器革新设计, 跨学科研究, 有效地提升了

收稿日期: 2019-05-08

基金项目: 2019年江苏高校“青蓝工程”优秀教学团队资助

作者简介: 张世炜(1989—), 女, 江苏人, 硕士, 无锡工艺职业技术学院讲师, 主要研究方向为产品设计和工业设计。

乐器产品的创新价值，呈现“中国方式”的民族低音拉弦乐器。

1 中国民族低音拉弦乐器的改良之路

1.1 背景

中国古代民乐属于支声复调的音乐织体，音色高亢嘹亮，无功能和声和低音声部，这在音律上决定了传统民族乐器主要演奏高音和中音旋律，几乎没有低音乐器，中国传统弦乐器音域范围，见图 1。1919 年五四运动以后，西方音乐大量涌入中国，受欧洲交响乐团影响，国内音乐界人士认识到，厚重的低音声部是乐队的基础，民族音乐不能没有低音声部。于是在 1953 年，著名指挥家和作曲家彭修文仿照西方交响乐团的编制，建立中国第一支民族管弦乐队，并对低音乐器进行改良，但低音拉弦乐器缺失的问题一直未

能解决^[1]。从 20 世纪 60 年代开始，不少改良低音拉弦乐器被陆续推出，但至今没有一款能得到民乐界公认，民族管弦乐团中仍采用大提琴和低音提琴演奏弦乐低音声部，这在视觉效果和音色融合上都与民族乐团极不相称，中国民族管弦乐团编制见图 2。历时半个世纪，中国民族低音拉弦乐器的开发研制仍然处于瓶颈期。

1.2 改良历程

在半个多世纪民族低音拉弦乐器的改良历程中，根据乐器造型、发声方式和演奏规范等特点，可以将这些改良乐器分为两类——基于中国传统二胡演奏方式的改造和基于西方大提琴发声方式的中式变体。

基于中国传统二胡演奏方式的改造，以革胡和古瓶胡为代表，它们采用侧面开音孔的出音方式，这是中国传统弓弦乐器区别于西方弦乐发声方式的最大

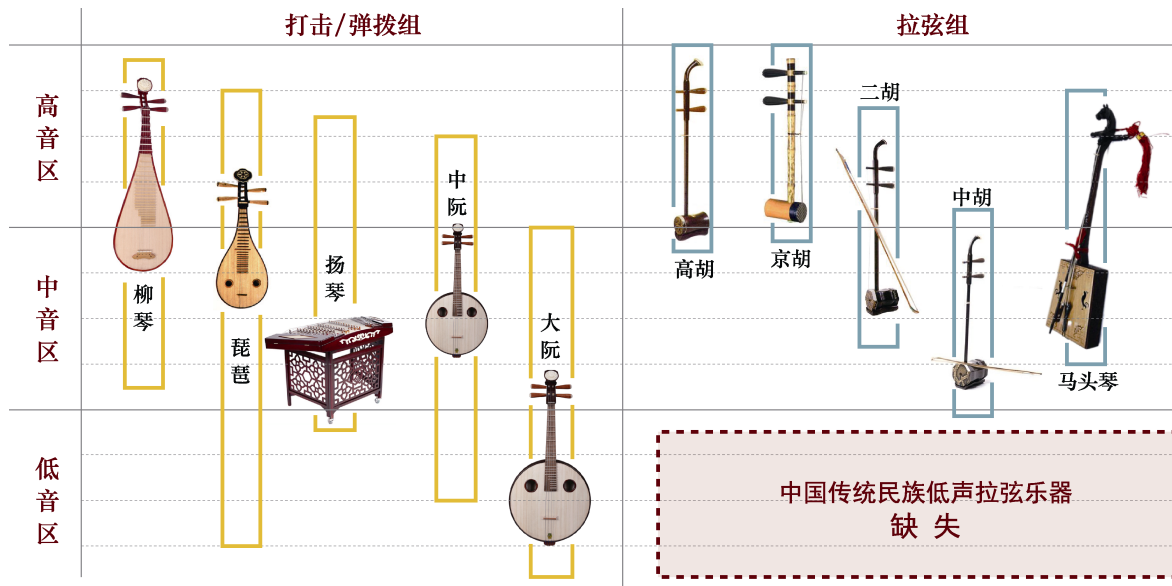


图 1 中国传统弦乐器音域范围
Fig.1 Sounds range of Chinese traditional stringed instruments

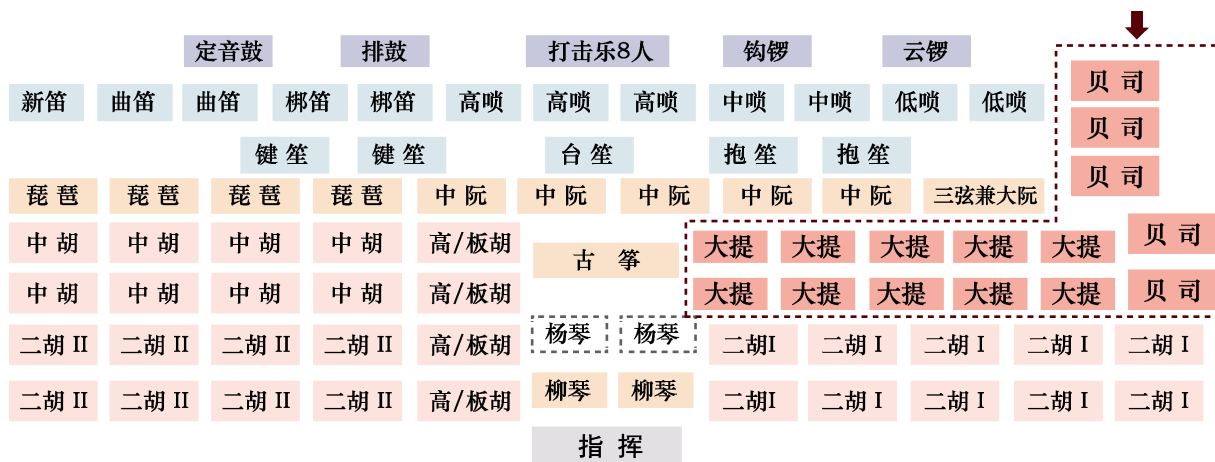


图 2 中国民族管弦乐团编制图
Fig.2 Compilation of Chinese national orchestra



图3 低音革胡
Fig.3 Bass Gehu



图4 古瓶胡
Fig.4 Guping Hu



图5 拉阮
Fig.5 La Ruan



图6 拉忽雷
Fig.6 La Hulei



图7 低音马头琴
Fig.7 Bass Matouqin

特征^[2]。20世纪50年代,杨雨森以二胡为基础创制革胡和低音革胡,见图3,革胡四条琴弦,琴筒宽大,蒙以蟒皮膜发声。但由于其把位属完全创新,能演奏的人极少,琴筒巨大难以固定,且大面积运用蟒皮受到环保人士抵制,所以并未得以推广^[3]。1996年,江云铠先生改良革胡,摒弃蟒皮,采用筒式振动发声,取名“古瓶胡”见图4,但音质和共鸣效果不尽如人意。

基于西方大提琴发声方式的中式变体,以拉阮(见图5)、拉忽雷(见图6)、低音马头琴(见图7)为代表,采用板面振动,正面开音孔的出音方式,参照大提琴的琴弓、琴码和指板,演奏方式与大提琴相同。可以说,它们都是基于西方大提琴发声方式的中式变体,在形制上以传统民乐为原型,但振动方式、出音方式和演奏方式均和大提琴如出一辙,不能称得上是“民族乐器”^[3]。

通过调研发现,这两类乐器在音色音响、发声方式、演奏方式、人机工学和形制特征上均有不同程度的缺陷,难以兼顾多方面的平衡,故而至今未能广泛运用。

2 工业设计导入乐器革新的技术路线

与标准化和系统化的西方乐器相比,中国传统民族乐器规格各异,以手工生产为主,缺乏严格统一的工艺标准,这些直接造成了民族乐器手工艺的特性和非理性的特征。从当今的视角来看,乐器本质上是一种可以奏出音色音律的器物,是人类对音乐艺术升华创造的物质化成果,是一种具有优良声学品质的文化产品。既是产品,乐器革新可以看作是工业设计中新产品开发的过程。将工业设计导入乐器行业,制定产品开发策略,经过调研分析、设计定位、设计构思、细节深化、结构设计、打样试制和推向市场等标准产品开发流程,工业设计中的研究方法和技术路线可以有效地提升乐器产品创新价值。

2.1 遵循功能最大化的原则,将人机工程学导入乐器设计

早在两千多年前,思想家韩非子就提出“玉卮无

当,不如瓦器”;自包豪斯以来,“功能决定形式”的理念更是现代主义设计的基础。乐器作为“为人”的产品设计,不仅有“发声”这一基本功能,还包括了演奏者的使用体验功能和听众的情感共鸣功能,乐器革新必须坚持以“人”为本,遵循功能最大化的原则。

对低音拉弦乐器改良历程的研究发现,革胡类乐器音箱体积巨大,演奏时没有支点,稳定性差,演奏体验不佳,使用功能设计欠缺。为实现“人-器-环境”的协调关系,优化乐器演奏体验,乐器革新可采用人机工程学的理念和方法^[4]。人机工程学起源于欧洲,诞生于二战后,研究人在生产或操作过程中合理地 and 适度地劳动和用力的规律问题,被广泛运用于工业设计和机械工程。将人机工程学导入乐器设计,确立符合人机关系的乐器造型和尺寸标准,可以使乐器实现较高的效能,优化功能体验。

2.2 打破现有造型定势,计算机辅助乐器形式再设计

从工业设计的视角看低音弦乐的改良历程,发现改良产品本质上没有跳出中外现有弦乐器的造型窠臼,或多或少以现有乐器为蓝本进行改造,带有明显的大提琴特征。如何在乐器革新中去大提琴化,打破现有造型定势,系统地导入东方元素和意象,是乐器革新面临的一大挑战。在这一过程中,计算机辅助产品设计的运用成为乐器造型革新的关键技术支持。

众所周知,中国的民族乐器工业化水平不高,偏向于手工工坊的生产制造方式,加工工期长,大大地阻碍了乐器新产品的开发^[5]。利用工业设计的理念和方法,计算机辅助设计导入传统乐器行业,尤其是Rhino三维建模技术和渲染技术,借助计算机生成乐器的数字化三维模型,逐渐发展出一套面向乐器设计,特别是高级复杂曲面的三维建模方法,可实现乐器造型的直观展示和修改,大大缩短了生产周期和制造成本^[6]。

2.3 传承民族乐器人文精神,坚持“中国方式”的发声原理

历史上任何改革和创新都是在继承的基础上发展的,中国传统民乐在长期历史进程中已形成独有的

形制、音色、发声方式和演奏方式，这是中国先民们智慧的结晶，是珍贵的非物质文化遗产，是符合“中国方式”的优良经验总结。当今的乐器革新要以“中国方式”为基础，传承民族乐器的人文精神和文化内涵。

研究发现，二胡具有最能代表传统弦乐器的典型特征。二胡通过弓拉起弦振，琴弦振动传导至琴码，引发膜振，最后琴筒侧面音窗发声，这种侧面开音孔的发声方式大大区别于西方大提琴体系的前面板 F 孔发声，是要坚持的“中国方式”。之前改良历程中只有革胡和古瓶胡采用了侧出音，但具有诸多缺陷，要在坚持“中国方式”的基础上，结合当下市场环境，解决前人问题，用跨学科的思想“再设计”。

3 民族低音拉弦乐器“啸枫·馨竹”的设计革新

3.1 项目背景

由于国家对民族低音拉弦乐器改革工作的关注，2013 年文化部正式将民族低音拉弦乐器改良项目列入科技提升计划项目，多学科合作，从音乐声学、乐器学和设计学等多方面展开研究，其中中国音乐学院为项目主持单位，南京艺术学院和江苏凤灵集团为参与单位之一。2014 年南京艺术学院与江苏凤灵集团达成合作意向，笔者承担工业设计工作。2015 年“啸枫”与“馨竹”两款乐器设计完成并进行样机制作，提交中国音乐学院进行分析测试，受到一致好评。2016 年底在北京举办的第五届全国乐器学研讨会上，“啸枫·馨竹”作为低音拉弦乐器的专题案例，被邀请作会议分享^[7]。

3.2 造型设计融合民族风格与现代审美

依照工业产品设计程序，经过前期考察与调研，

形成初步提案：选取低声鸣禽鸟兽作为乐器整体造型意向来源，这符合低音乐器的功能指向和气质；音孔的纹样极易让人联想到江南园林中的花窗与窗格；俊秀的书法、飞天的衣带和淙潺的水流等元素一以贯之，集中表现中国传统音乐的流畅性和东方美，这些是“啸枫·馨竹”造型设计的突破口。

接下来草图阶段，依照大提琴的比例关系，绘制大量乐器的琴身样式、琴头样式和拉弦板样式，调整这三者之间的造型关系使之和谐，提炼出具有代表性的四个方案：基于枫木材质的硬朗风格和柔和风格造型各一，基于毛竹材质的硬朗风格和柔和风格造型各一，并利用 Rhino 建立三维模型。进一步就三维模型与江苏凤灵集团进行探讨，在声学方面综合考虑音箱内部空间体积、共鸣音响以及后期手工制琴的工艺限制，确定枫木材质的硬朗风格造型（啸枫的原型）和毛竹材质的柔和风格造型（馨竹的原型），继而完善其装饰纹样细节。最终，工业设计的造型方法使“啸枫·馨竹”呈现出传统民乐的精神气韵，体现民族风格，同时不失现代审美。

“啸枫”效果图见图 8，采用枫木材质，整体形态神似一条蜿蜒盘涡的虬龙，背部骨骼线条和双曲面的结合使得琴身骨感而硬朗。琴头抽象自古代囚牛图腾，囚牛，古代神话传说中龙的长子，喜蹲在琴头欣赏音乐。音箱侧面的音孔纹样以传统园林中的花窗打底，叠加错层抽象的龙鳞，寓意精妙。而拉弦板的曼妙曲线，取自敦煌壁画飞天中的衣带，飞天反弹琵琶，飘逸秀美，同样是中国传统音乐元素的表达呈现。

“馨竹”效果图见图 9，与硬朗的“啸枫”不同，“馨竹”采用毛竹材质制作。由于竹材张力大定型难，琴身的造型很大程度上被工艺所约束，不能有复杂曲面，故选择圆筒状的拼板切面设计，整体形态圆融柔和。音孔纹样来源于传统玉器镂空雕工艺，充沛的音韵向外溢出，好似凤凰飞舞，仪态优美。

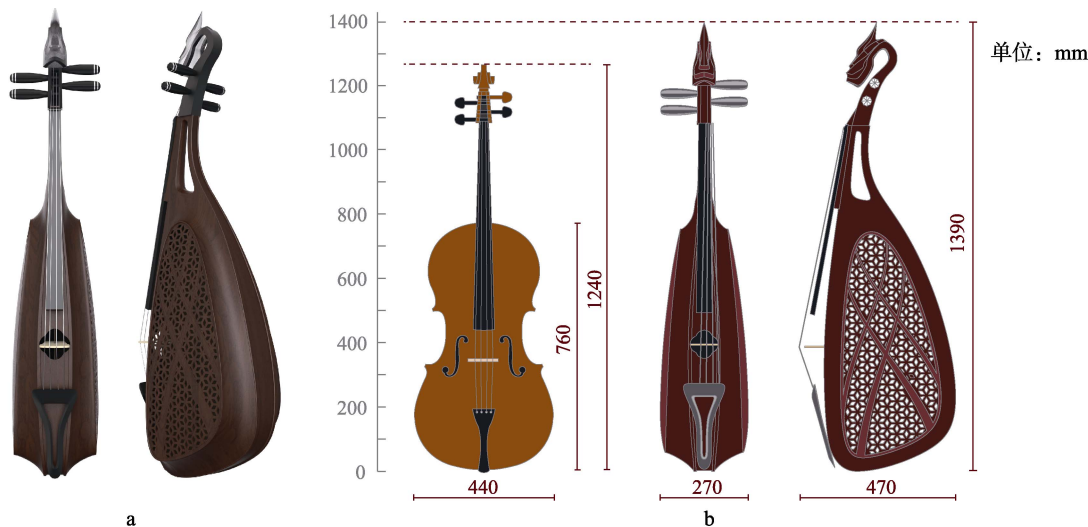


图 8 “啸枫”与大提琴的尺寸关系分析

Fig.8 Analysis on the size relationship between “Xiaofeng” and Cello

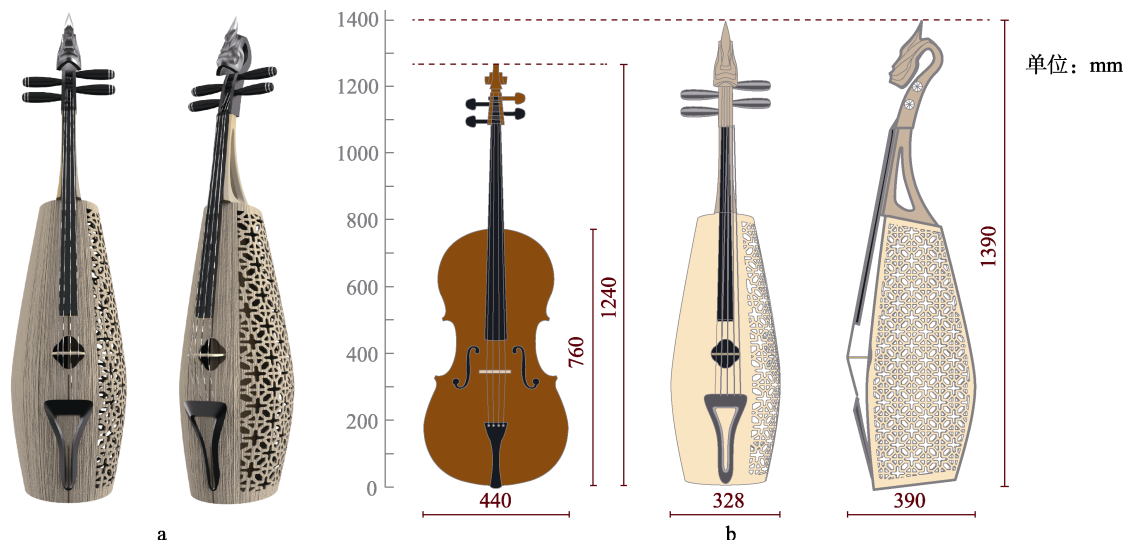


图9 “馨竹”与大提琴的尺寸关系分析

Fig.9 Analysis on the size relationship between “Xinzhu” and Cello

经数据测算,“啸枫”和“馨竹”整体与大提琴体量相当。因琴头较长,故整体高度约比大提琴高出100 mm,但指板长度、有效弦长和弓长均与大提琴保持一致。

3.3 结构设计创造中国发声方式

工业设计的本质在于实事求是地解决问题。作为产品,“发声”是一件乐器最切实需要考量的功能,而“发声”与“结构”息息相关。乐器结构与发声方式之间,工业设计起到了桥梁的作用。

乐器学调研发现,弦乐器的振动发声基于两种方式——膜振或板振。音箱作为共鸣系统的必要部件之一,一方面可以加强弦振的声能扩散,增大音量;另一方面可以突出某些频段的能量,改变音色,所以音箱的设计对弦乐器音量音质的表现至关重要。因低音拉弦乐器主要用于管弦乐队和重奏,需要考虑空间场景和音色衔接融合的问题,提出民族低音拉弦乐器音量要大,尽可能赶超大提琴,其次音质清晰平衡,音色透亮。基于此,运用工业设计的方法,从乐器结构入手进行突破,在发声方式上做出推演改进^[8]。

产品结构,指产品的内部构造,它与产品外壳以及内部功能都有密切的关联。乐器作为功能性产品,结构设计的目标指向是发声。经上文分析,侧出声的方式是要坚持的中国发声方式,但以二胡为蓝本的革胡大面积运用蟒皮膜振,导致音质混浊。综上所述,侧面发声与板面振动结合的音箱设计是最优的选择。接下来,“弓拉-弦振-琴码-板振-发声”组成了乐器的整个发声系统,为了直观地表现乐器内部结构和各部件之间的立体关系,利用白卡材料,制作1:1比例关系的产品结构模型。用模型验证功能是工业设计的又一重要方法,利用真实的产品结构模型,配合Rhino数字模型,对琴码、音板和琴身三者的桥接关系和桥

接位置不断调整,反复测试音板的开孔位置和面积,发现琴码直接桥接于音箱的结构振动幅度小,不适用于侧出声的发声方式,最终提出双音箱复合共鸣的结构设计思路。

大提琴、二胡与“啸枫”的发声方式分析见图10,音箱被发音板从中间分隔开,琴码垂直插入发音板。当弓拉动琴弦,琴弦振动传导至琴码,继而传导至发音板,板面振动,双腔共鸣,从侧面的出音孔发出声音,这是本项目在乐器结构和发声方式上的突破性设计。样琴测试发现,琴弦振动传播迅速,音色清晰,立体感强,更大的突破在于将传统的单音箱变为两个音室的复合共鸣体,兼顾了高中低音的声能和频段,在音响上达到了预期的要求。

3.4 人机工程研究提升演奏体验

在低音拉弦乐器演奏方式的调研中,确立了关于演奏方式的“改与不改”,继而就“改”的对象结合人机工程学进行设计革新,解决演奏者科学方便演奏的问题^[9]。

现有民乐团低音声部的演奏者使用的是大提琴和低音提琴,经过数十年的专业学习,演奏指法和技巧早已定格,改动极难。确定演奏指法和技法是“不改”的部分,指板、把位、有效弦长和弓位与大提琴一致,演奏技法上完全尊重大提琴演奏者的习惯。对于“改”的方向,民族低音拉弦乐器必须符合人机关系,不能与演奏行为冲突^[10]。

根据《中国成年人人体尺寸(GB 10000-88)》,结合坐姿人体尺寸和人体水平尺寸,在18~60岁的男性数据中取九十五百分位数据,在18~55岁的女性数据中取九十五百分位数据,兼顾实际测量男女演奏者加以平均,得到如下数据直接关乎演奏行为:坐姿人体尺寸中,坐姿膝高523 mm,坐姿肘高291 mm,坐

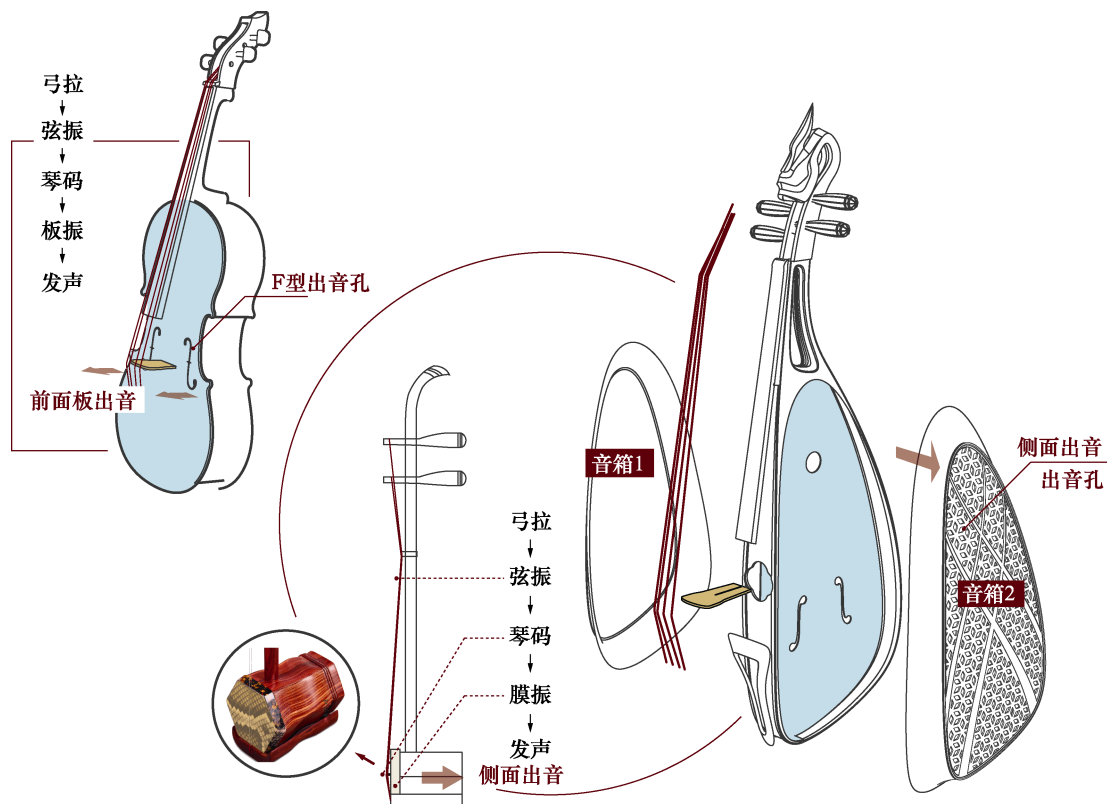


图 10 大提琴、二胡与“啸枫”的发声方式分析 图片来源：自绘
Fig.10 Analysis on sounding mode between Cello, Erhu and “Xiaofeng”

姿肩高 631 mm，这三项数据影响乐器琴身、琴颈与琴头的高度比例，但由于着地支架高度可调，此比例有一定的伸缩范围；人体水平尺寸中，胸宽 307 mm，肩宽 390 mm，最大肩宽 454 mm，这三项数据影响乐器宽度，演员演奏时双腿自然分开，达到最大肩宽，如琴身过宽，演员的腿没有办法夹持琴身，会造成琴身的晃动；另外，琴的设计厚度有限制，如过厚，弓的触弦点就离演奏者太远，演奏者运弓体验不舒适，易造成音律不稳，但由于演奏者右手的运弓行为较多样，无法测量得出具体数据，采用反向验证的方法，根据 Rhino 模型制作等比例草模，请演奏者体验，再加以调整。

经有效人机工程验证，“啸枫”音箱的最大厚度确定为 405 mm，演奏时运弓区距离琴背的距离约为 430 mm，运弓自如，这对于侧出音的音箱设计来说实属不易，“啸枫”的使用状态分析见图 11a。琴身最大宽度 320 mm，且琴身双侧两面形成了内收的双曲面过渡至琴身背部，这不仅是为了视觉上的美观，更是方便演奏者演奏时双腿夹持，演奏舒适，见图 11b。另外，低音乐器体量大且重，为了使演奏和拿取更方便，一方面，整个琴身背部以流线型设计呈现，上下贯通，琴身贴合肩、腹和腿部相对应的支撑点，将琴身的重量分散，保持琴身稳定；另一方面，将琴颈部掏空，设计把手位，运用这样的把手位拿取和搬运，不会碰到指板和琴弦，对音准没有影响，这在以往低

音拉弦乐器改良中是从来没有的，是独有的细节考量，见图 11c。

4 创新点和实施效果

4.1 中国方式的乐器设计

“啸枫·馨竹”样琴见图 12，采用中国方式的造型和发声结构设计，实现了“去大提琴化”的目标。作为民族低音拉弦乐器的最新成果，“啸枫·馨竹”全方位地运用了文化产品设计的思路和方法，呈现中国的精神，设计表达源于文化内核，凸显民族风格。工业设计方法的导入发现演奏者需求并解决发声问题，三维建模技术的运用辅助双曲面琴身设计制作，结构模型的不断尝试达到最终样机的比例和谐。民族低音拉弦乐器不再是大提琴的中式变体，而是中国传统造物方式的现代演绎，从内到外均散发着“中国味道”。

4.2 双腔共鸣的结构创新

乐器设计是技术与艺术的结合，需要从实际条件出发，平衡功能与形式的关系，避免单纯做出一个好看的样子。“啸枫·馨竹”利用工业设计作为重要驱动，综合了侧出音的中国传统弦乐发声方式和板面振动的优势，将单音箱变为双腔复合共鸣，创新性地解决了乐器的共鸣系统问题，声音传播迅速，快速拉奏也不会混音混浊，音量大为增强。

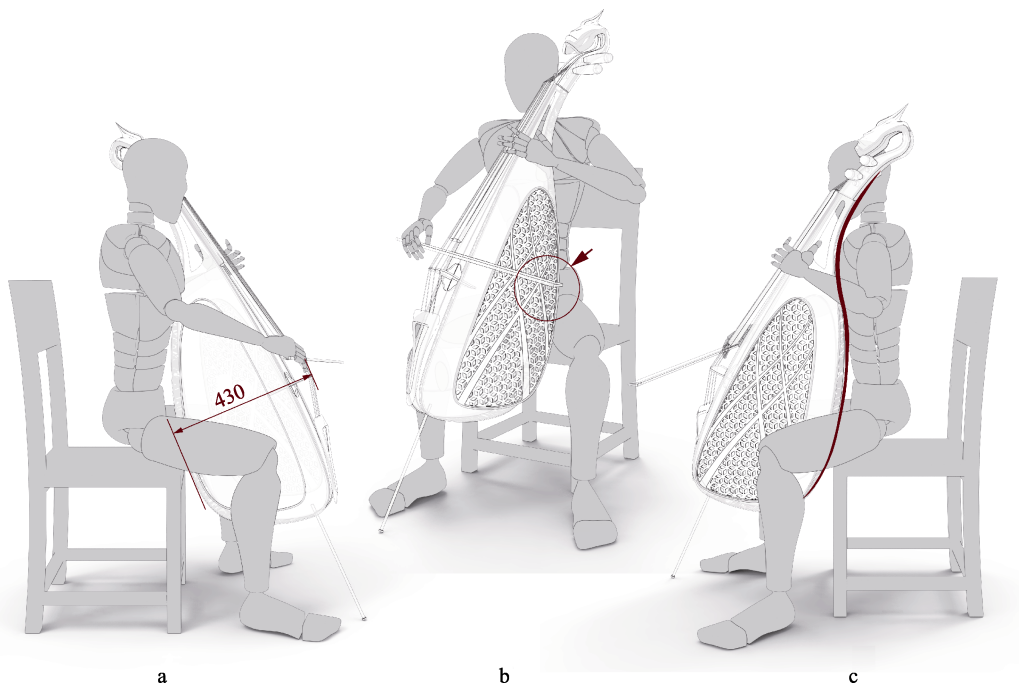


图11 “嘯枫”的使用状态分析 图片来源：自绘
Fig.11 Analysis on use status of “Xiaofeng”



图12 “嘯枫·馨竹”样琴
Fig.12 Prototype of “Xiaofeng & Xinzhu”

4.3 以竹代木的材料突破

本项目在乐器造型和材质上“以竹代木”，达到了优于预期的声音效果，大大地节约了材料和成本，可作为后续系列化的有效尝试。众所周知，毛竹硬度高，韧性和弹性大导致造型和定型困难，在乐器行业极少运用。但是，竹材具有良好的可再生性，资源的可持续利用性大大优于木材，且竹材兼顾高强度与轻质量，尺寸稳定，成本低^[11]。“馨竹”的测试数据表明，与乐器常用的枫木相比，毛竹硬密，有利于声波振动传播，减少声波辐射损耗。因此，“馨竹”音量明显大于“嘯枫”。

4.4 测试效果

上述创新设计从整体上提升了民族低音拉弦乐器的品质，成效明显。2016年中国音乐学院音乐科技系对各合作单位提交的样琴测试评分，“嘯枫·馨竹”各项测试得分数据见图13。可以看出，“嘯枫·馨竹”在管弦乐队中的表现力一般，但“馨竹”在重奏中的表现名列前茅，在音色融合、音响平衡、外观和印象四项单项中获得的都是最高分，在动态范围和高音表现上较弱，总体来说“馨竹”的声学表现优于“嘯枫”。

基于设计学和乐器学的背景提出问题，发现问

	乐器名称	音色融合	音响平衡	动态范围	灵敏性	高音	中音	低音	外观	印象	总分
管弦乐队	唢枫	35.5	32.5	32.5	30	30.5	34.5	34.5	32.5	33	295.5
	馨竹	37.5	35.5	36.5	31	29.5	37.5	36.5	35	33	312
	文琴	42	38	36	34	35	39	35	34.5	35	328.5
	拉忽雷	42.5	43	41	39	37.5	42.2	42	32	38	357.2
重奏	唢枫	34.5	32.5	33.5	32	32.5	35.5	34.5	33.5	32.5	301
	馨竹	42.5	41.5	39.5	36	36.5	42.5	40.5	39	41	359
	文琴	36	38	37	31	36	37	35	32	34	317
	钟鼎琴	40	38	47	41	45	45	45	33	39	373
	桥琴	35	33	30	25	31	33	28	28	29	272

图 13 “唢枫·馨竹”各项测试得分
Fig.13 Test scores of “Xiaofeng & Xinzhu”

题，通过工业设计的方法进行逻辑推理，提出解决问题的设计假说并制作模型和样机，再通过中国音乐学院的音乐声学实验检验工业设计的结论，实验结果与预期结论相符，足以证明工业设计导入民族低音拉弦乐器革新设计研究的正确性。试制成功的“唢枫·馨竹”用于民族管弦乐队弓弦乐器组，可以形成完整的六个八度的宽音域，音色融合度佳，音响平衡性优，大大增强乐队的表现力。

5 结语

从历史发展的观点来看，乐器的改良创新是不断前进上升的，但过程是曲折的。本文结合当下的文化环境，以工业设计为学术背景，构建理论体系，横跨乐器学，对低音拉弦乐器的产品风格、造物美学、人机工程、音色实现和文化寓意等多维度进行科学的再设计，实现双腔共鸣的结构创新和以竹代木的材料突破，呈现“中国方式”的低音拉弦乐器革新设计。未来还需要通过工业设计的手段平衡传统手作与现代制造之间的关系，使民族低音拉弦乐器早日量产化，扩大市场优势，塑造中国民乐的国际形象，振兴民族文化。

参考文献：

[1] 静恩涛. 民族低音拉弦乐器改良存在的问题[J]. 演艺科技, 2017(5).
JING En-tao. Problems in the Improvement of National Bass String Instrument[J]. Entertainment Technology, 2017(5).

[2] 李昭. 民族低音乐器的改革与教学[D]. 北京: 中国音乐学院, 2012.
LI Zhao. Reform and Teaching of Ethnic Bass Instrument[D]. Beijing: China Conservatory of Music, 2012.

[3] 高舒. “乐改”纪事本末[D]. 北京: 中国艺术研究院, 2012.
GAO Shu. National Musical Instrument Reform the

Chronicle of Putting[D]. Beijing: Chinese National Academy of Arts, 2012.

[4] 胡亮. 当代乐器设计特点初探[J]. 乐器, 2007(4): 15-17.
HU Liang. Preliminary Study on Design Features of Contemporary Instruments[J]. Musical Instrument Magazine, 2007(4): 15-17.

[5] 郁新安. 民族电乐器中电扩声弦乐器的设计探索与研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
YU Xin-an. Research and Design of the Electronic National ChordoPhones[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.

[6] 周东红, 彭吉吉, 胡惠君. 中国古典弹拨乐器形制设计创新的实践[J]. 实验技术与管理, 201(6):181-185.
ZHOU Dong-hong, PENG Ji-ji, HU Hui-jun. Practice of Shape Design Innovation of Classical Chinese Plucked String Instruments[J]. Experimental Technology and Management, 201(6): 181-185.

[7] 李子晋. “民族低音拉弦乐器改良”课题综述[J]. 演艺科技, 2017(5): 4-6.
LI Zi-jin. Review of the Subject of “the Improvement of National Bass String Instrument”[J]. Entertainment Technology, 2017(5): 4-6.

[8] 陈泽, 贾路红. 新型民族低音拉弦乐器——拉忽雷[J]. 演艺科技, 2009(1): 45-48.
CHEN Ze, JIA Lu-hong. Lahulei: The New National Bourdon Stringed Instrument[J]. Entertainment Technology, 2009(1): 45-48.

[9] 毛特. 民族乐器的改革创新和工业设计[J]. 乐器, 2007(12): 16-18.
MAO Te. Reform Innovation and Industrial Design of National Musical Instruments[J]. Musical Instrument Magazine, 2007(12): 16-18.

[10] 李子晋. 多元化视角下的民族乐器改良——2013全国乐器学研讨会侧记[J]. 人民音乐, 2014(10).
LI Zi-jin. National Musical Instrument Improvement from Perspective of Diversification[J]. People’s Music, 2014(10).

[11] 张宗登, 张红颖. 基于现代生活方式的竹产品创新设计思考[J]. 包装工程, 2017, 38(2): 108-112.
ZHANG Zong-deng, ZHANG Hong-ying. Innovation Design Thinking of Bamboo Products Based on Modern Life-style[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(2): 108-112.