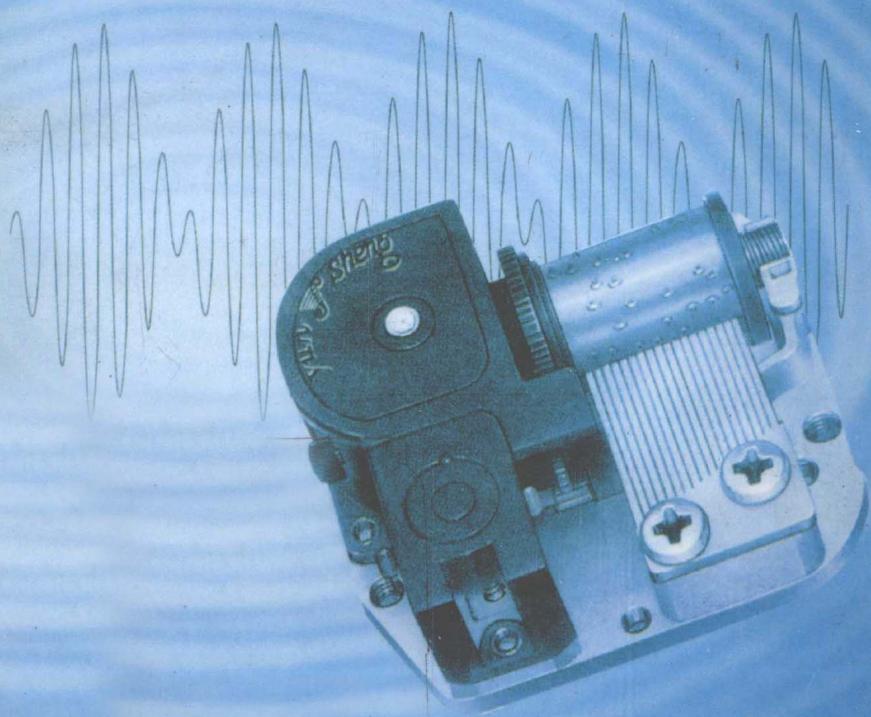


八音琴设计与音片的振动

竺韵德 白国辉 崔建忠 庄表中



新时代出版社

八音琴设计与音片的振动

竺韵德 白国辉
崔建忠 庄表中 编著

新 时 代 出 版 社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

八音琴设计与音片的振动/竺韵德等编著. —北京:新
时代出版社, 1996. 5

ISBN 7-5042-0307-6

I. 八… II. 竺… III. 击乐器, 八音琴-乐器制造-设计
IV. TS953. 36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 02795 号

新 时 代 出 版 社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 印张 6¼ 133 千字

1996 年 5 月第 1 版 1996 年 5 月北京第 1 次印刷

印数: 1—6000 册 定价: 7.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

序

八音琴是各种工艺品、玩具的关键配套产品。八音琴因其制作技术复杂、涉及知识面广,有些加工工艺和检测手段要求甚高,特别是音片的研制和规模生产需要应用高技术成果,所以很长时间以来世界上每年需要近亿只的八音琴基本上均由日本的一些公司提供。

以竺韵德为首的八音琴研制专家们,积极参与国际竞争,经过较长时间的研究,拿出了达到国外同类产品先进水平的八音琴,并实现了自动流水线的规模生产。几年来依靠科技威力,在设计改型、加工工艺、技术装备和在线检测等方面均有创新,自制了许多科技检测仪器,形成了用电子计算机进行辅助设计,获得了国家 28 项专利;还借助于工厂、研究所、高等院校的三结合,充分发挥专家与教授的作用,发表了论文四篇,并获得二项科技成果奖。由于产品质量被外商及国家商检部门认可,目前已将八音琴系列产品销往美国、西欧及东南亚各地。

八音琴的品种很多,至今用到八音琴上的乐曲已有 2000 多首,装置了八音琴的工艺礼品和玩具已有近千种,给人们丰富文化生活、陶冶情操开拓了一个新的局面。因此,国内第一本八音琴科技专著的出版能使广大读者了解八音琴的研究、

IV

制造、检测等各个方面的科技知识,一定会得到大家的青睐。

中国振动工程学会理事长

中国工程院院士

黄文虎 教授

1995年10月

前 言

八音琴广泛地应用在各种首饰盒、礼品盒及玩具之中,装有八音琴的工艺礼品和玩具,在国内外市场上,愈来愈受到人们的青睐和喜爱。

近年来,我国八音琴的年产量已超过 2000 万只,熟悉和喜欢八音琴工艺礼品和玩具的人日益增多,因此,介绍八音琴的结构原理、乐曲品种和有关科技知识是很有必要的。我们从事八音琴的研究、设计及制造等方面的工作已有多年,曾经克服了许多理论上和技术工艺上的难关,获得了 28 项国内外专利,正式刊登了论文四篇,还获得二项科技进步奖。现在通过本书把八音琴系统地介绍给读者。

本书第一章首先介绍什么是八音琴,八音琴在国内外发展的简史与研究、生产现状,乐音与乐器。各类乐器和八音琴之所以能发出乐音,都是由于有振动元件的存在,而振动元件的形状虽然各不相同,但归纳成力学模型就是弦、杆、膜、板、壳等。本书所提供的这些力学模型的固有振动频率计算公式,可作为乐器设计和使用者调谐的参考。

第二章介绍乐理的基础知识,由于乐音与振动频率有着密切的对应关系,在八音琴中每个乐曲有对应的音筒,一种音片可适用于几种或十几种乐曲,因此八音琴的设计、研究、制造离不开乐理的基础知识。

第三章介绍八音琴的结构型式、运动原理、评价八音琴优

劣的技术指标,如音键乐音是否纯真、音筒的运转速度、阻尼力的大小、传动力矩等。还介绍了八音琴的各种分类:按动力方式分类有机动、电动、手动;按音键数分类有 12 键到 144 键;按尺寸分类有微型、标准型、豪华型等。并介绍了八音琴的各种附件,可使玩具礼品扩展更多功能,极大地显示了八音琴的风采。

第四章介绍八音琴设计的若干原则及对应乐曲的音筒设计、整体结构设计、动力源的部件设计、音筒与音片的谱曲设计和稳速阻尼机构设计等。

第五章介绍八音琴关键零件——音片的振动计算与分析,由于国内外现有的音键有各种形状,本书对不同形状的音键提供用不同方法计算振动固有频率,其中我们编制了软件,应用有限元方法可以计算各种形状音键的前四阶固有频率,还讨论了音键物理参数和几何参数对振动固有频率的敏感度问题。

第六章介绍八音琴零件的计算机辅助设计(CAD),用计算机描绘三视图的基础知识;应用编制的程序可以描绘八音琴的各种零件图,还可以在计算机上显示八音琴的组装和图形修改。我们还自编了振动程序,对音片、音键进行计算机辅助设计,并讨论了 20 个参数对音键振动频率的影响。

第七章介绍音片、音键进行振动测试的仪器、测试原理与适用的方法,还讨论了用于制造过程中的自制测试设备和检测用的若干装置,有了这些设备和装置才能保证音片的研制、生产达到国外同类产品的先进水平。

书末附录为读者提供了解各种形状振动发音件固有频率的计算公式、各个乐音对应的振动频率、现有数百首八音琴曲调的名称等,有些资料在现有的书刊中是没有的。

本书在不少地方引用了国内外学者的著作成就,特别是韵声集团公司一些科技人员的创造发明与技术成果,在编写过程中得到了顾启中高级工程师、康海龙高级工程师、于政博士等专家的有力支持,在此谨向他们表示衷心的感谢。

最后,希望在本书出版以后,能得到广大读者的支持,真诚地欢迎读者进行批评和指正。

作 者

一九九五年十月

内 容 简 介

八音琴因其纯朴返真的优美乐声深受人们青睐和喜爱。本书以八音琴为对象,共分七章介绍,第一、二章简述八音琴的发展简史和乐理的基础知识;第三、四章介绍八音琴的设计,八音琴——八音盒(Musical Box)在礼品、玩具中的应用;第五、六章介绍八音琴振动音片的计算机辅助设计,还提供各种不同形状音键的振动频率计算方法;第七章介绍音片、音键的研制、测试、生产检验等的仪器和使用方法。

本书内容新颖,列举了多种新科技成果在八音琴上的应用,具有初中到大学研究生各个不同文化程度的读者,均会从中得到丰富而连贯的科技知识。本书也可供机械、声学、结构、计算机、振动力学、音乐、幼儿师范等专业师生和八音琴、玩具礼品行家参考。

目 录

第一章 八音琴与其他乐器	1
1-1 八音琴简介	1
1-2 八音琴发展简史与国外八音琴介绍	2
1-3 八音琴在国内研制的现状与进展	7
1-4 乐音与乐器	8
第二章 乐理的基础知识	16
2-1 什么是声音	16
2-2 音乐的意义	17
2-3 歌唱发声的简单原理	17
2-4 乐音的性质	19
2-5 音列、音级、音级的唱名与音名	20
2-6 音的分组、音域、音区	21
2-7 音律、十二平均律	22
2-8 自然半音、自然全音、变化半音和变化全音	23
2-9 音的同音异名	23
2-10 音符、休止符	24
2-11 简谱知识	24
第三章 八音琴的结构与运动原理	26
3-1 八音琴的分类	26
3-2 八音琴的型号表示方法	33
3-3 八音琴的结构型式与工作原理	42
3-4 评价八音琴的技术指标	45
3-5 八音琴的附件介绍	46

第四章 八音琴设计的原则	53
4-1 总体布局设计	53
4-2 动力驱动源部件设计	54
4-3 发条盒强度、刚度设计的有限元方法	55
4-4 发条弹簧的设计与性能要求	59
4-5 音筒、音片的匹配与谱曲设计	66
4-6 稳速阻尼机构的设计	70
第五章 八音琴音片的形状设计与振动分析	76
5-1 国内外现有八音琴音片的形状	76
5-2 音键为等截面悬臂梁作弯曲自由振动的固有频率 计算方法	80
5-3 音键可简化为单自由度振动系统固有频率的计算 方法	85
5-4 音键可简化为连续变截面梁的固有频率的计算 方法	88
5-5 计算音键固有频率的有限元方法	91
5-6 计算音键振动固有频率的叠加法	101
5-7 音键物理参数对振动频率的敏感度问题	103
5-8 八音琴音片振动中的若干问题	106
第六章 八音琴——零件的计算机辅助设计(CAD)	111
6-1 什么是计算机辅助设计	111
6-2 用计算机绘制三视图时一般平面体的数据描述	112
6-3 用计算描图的实例	122
6-4 八音琴音键振动频率的计算机辅助设计	123
6-5 用 CAD 程序计算各参数与频率 f 的关系	128
第七章 八音琴音片的研制、测试与生产检验	141
7-1 概述	141
7-2 八音琴生产测试中的传感器选择	146
7-3 音片振动频率的检测方法及系统构成	156

7-4 信号处理与分析	163
7-5 八音琴信噪比的检测	169
附录	174
附录 A 八音琴乐曲目录	174
附录 B 弦、梁、板、膜、壳的固有振动频率计算公式	179
附录 C 十二平均率音名频率对应表	182
附录 D 简谱记号与其他记号对照表	184
附录 E 几首典型的乐曲	186
参考文献	188

第一章 八音琴与其他乐器

1-1 八音琴简介

八音琴是一种利用机械振动产生音乐的机械装置,它至少有基本乐音 c 、 d 、 e 、 f 、 g 、 a 、 b 、 c^1 八个音阶。八音琴通常仅有火柴盒那样大小,它用机械传动来奏鸣乐曲,其音色之优美似珠落玉盘、高雅动听,日益受到人们喜欢和普及。

图 1-1 所示为一种八音琴的平面图,它由数十个零件组成,它在奏鸣时是利用发条弹簧来带动音筒旋转,把势能转换成动能,再利用音筒上的凸点来拨动音片上的音键,使音键振动而发出乐声。由于音键几何尺寸不同,振动的固有频率就不一样,振动带来的乐音就各不相同,按照不同的乐谱来设计制作音筒的凸点分布,使音筒旋转时以特定的次序和时间拨动音片上的各个音键,人们听到的就是一曲优美动听的乐曲。

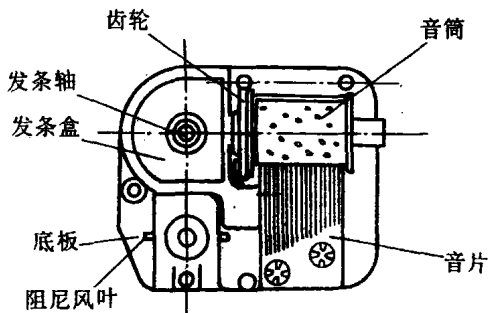


图 1-1 一种八音琴结构的平面图

要制造出高质量的八音琴,关键之一就在于要设计制造好音片,因为各音键振动频率是否精确,关系到乐音是否纯真的问题,所以说它是高技术产品。它的设计、制造、测试、调频等均需要应用声学 and 振动学的理论,工艺精度要求特别高。

1-2 八音琴发展简史与国外八音琴介绍

早在 18 世纪中叶英国在自鸣钟上最早采用了八音琴,也就是在时钟到了某个或某几个特定时刻,不采用敲击声响的方式,而是奏鸣一首优美动听的乐曲,这就是最原始的八音琴。19 世纪中叶瑞士的优秀工匠首先把八音琴微型化,并广泛组装在首饰盒、礼品盒和玩具盒内等等,之后又开拓了许多新的产品,音片的音键数从少的 12 键发展到多的 144 键,产品十分豪华、精致,甚至成为国家元首之间往来的馈赠礼品。20 世纪日本引进了瑞士八音琴,在加工工艺上进行了突破和创新,然后在半自动和全自动流水线上进行大批量生产,这 60 多年来,日本产的八音琴已基本上占领了世界市场。另外,美国、意大利、前苏联等国也都在生产一系列的中、高档八音琴礼品,价格十分昂贵。

美国有一家公司生产豪华型八音琴礼品,该公司的样本中彩色图象有四十几个品种,其特色是多数品种都用彩色树脂塑造了千姿百态的艺术动物或木偶,礼品内部都装置了一只八音琴,并配置了特殊机构和附加零件,使得八音琴在奏鸣乐曲时,有些塑造的动物(或木偶)会表演一些风趣引人的动作。以图 1-2 为例,它是一架弹球桌,长度不超过 200mm,桌面上有八颗彩色弹球,四只活泼有趣的老鼠以不同的姿态在弹球桌的边缘上表演动作,一个在伏倒打球;一个在擦汗思索;另一个在等待打球;还有一个在拍手鼓掌。这个受人喜爱的八

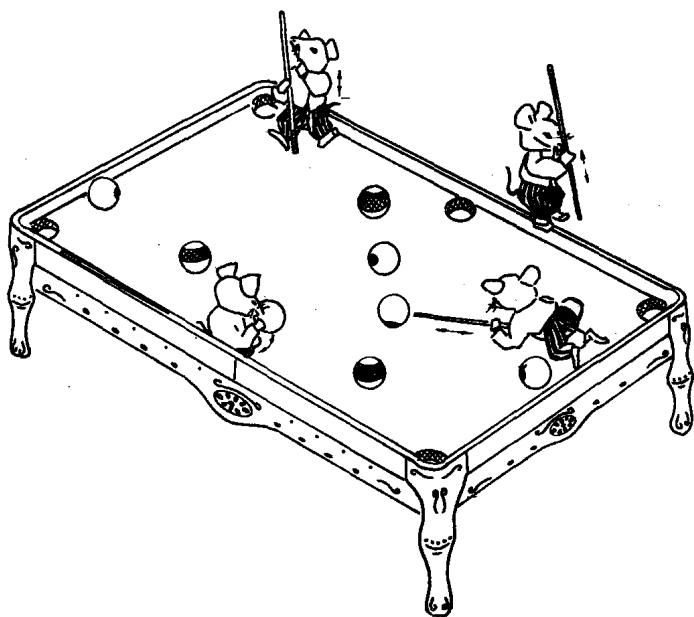


图 1-2 一架弹球桌八音琴

音琴礼品在香港售价要数千港元,是馈赠亲友的高档礼品。

图 1-3 为瑞士生产的一台高级八音琴,它的音片有 102 个键,可以演奏三个乐曲。八音琴中的旋转音筒可以沿着轴的方向小移动三档位置,对应于每档位置,旋转音筒上的凸点是按某一首歌曲设计的,也就是设计和加工有凸点的音筒时已考虑了能奏三个乐曲;当杠杆扳手在第一档位置时,则音筒的旋转使音片发出的各个振动乐音构成第一首乐曲;当杠杆扳手在第二档位置时,则音筒的旋转使音片发出的各个振动乐音构成第二首乐曲;当杠杆扳手在第三档位置时,则音筒的旋转使音片发出的各个振动乐音构成第三首乐曲。这种具有能

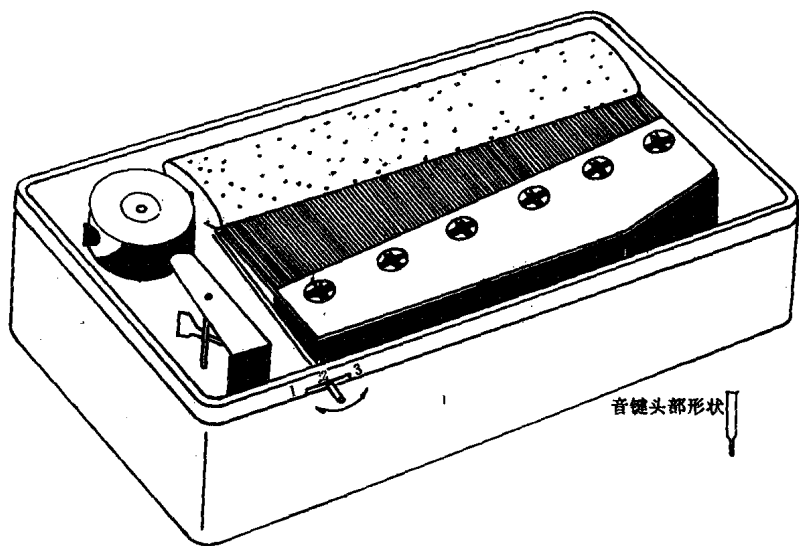


图 1-3 102 音键八音琴

奏 3 个乐曲的八音琴,其音片上音键头部宽度仅是音键宽度的 $\frac{1}{3}$,由此也可以知道 2 个曲子或 4 个曲子的八音琴,其音键头部宽度与音键键身宽度之间有什么关系了。

这台八音琴礼品的的外表是十分豪华精致的,用香木雕刻而成,上部可开启的盖子有透明的水晶玻璃,音盒体积与形状的设计符合声学“共鸣腔”的理论要求和技术原理,它会将音键振动的声响放大到最佳状态使发出的乐音纯真,音质优美洪亮。这个豪华八音琴礼品外壳长度为 250mm,价格折算成人民币要数万元。

图 1-4 为一台俄罗斯产的八音琴礼品,此八音琴礼品中央放着一瓶喜庆宴会上的美酒,当敬酒者提起酒瓶向宾客敬

酒时,此八音琴就开始鸣奏一首美丽动听的莫斯科郊外曲,给参加宴会的宾客倍增欢乐。

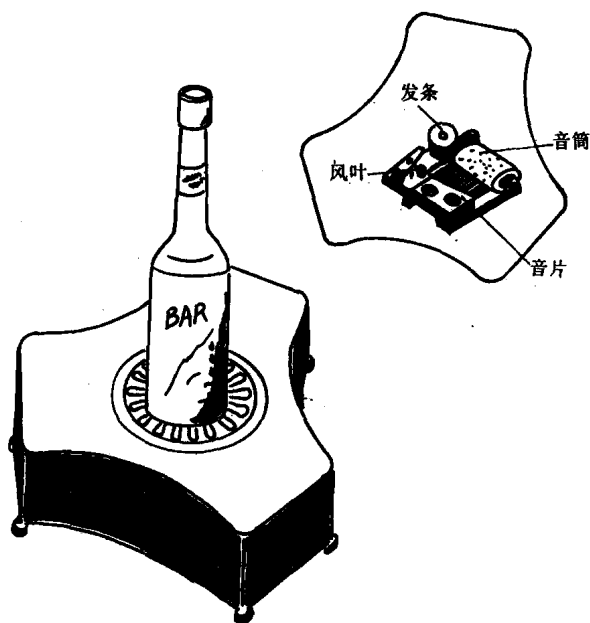


图 1-4 酒具八音琴

此产品的八音琴也有旋转音筒,但不是用金属板经过冲刺后卷成的,而是用塑料注出,音筒上嵌有许多钢针,它们起到先后拨动音键发生振动产生乐音的作用。其制造工艺特殊,音片尺寸比中国或日本的大一些,有 23 个音键。

其他国家、地区也有与图 1-4 所示设计思想类似的八音琴产品,如日本、台湾产的音乐酒具,均可用在酒席上。

图 1-5 为日本产的一台八音琴礼品,外壳为直径 100mm