

管乐器（葫芦丝）自动演奏机器人教具

关 怡 / 北京市西城区展览路少年宫

◎ 项目研究背景

机器人技术涉及机械、电子、材料、生物、传感、人工智能、自动控制等多个领域的前沿研究和技术融合，乐器自动演奏机器人是机器人前沿技术的又一特色形式。开发乐器自动演奏机器人教具，可以使学生能更快、更好地理解自动控制、人工智能、机器仿生等领域的应用技术，并对音乐机器人向实用化方向发展起到促进作用。

本人开发研究的葫芦丝自动演奏机器人属于管乐自动演奏机器人。研究通过实验确定了机器人吹奏时需要的口风控制特性参数，特别是响应速度、气流气压大小与吹奏音效的对应关系；同时通过实验，明确了气缸控制方式、手指机构运动等特性参数与洞音控制的关系；结合葫芦丝乐器演奏特点，通过实验对基本演奏性能进行了较详细的研究。

◎ 项目研究过程

➤ 葫芦丝演奏原理分析

通过分析葫芦丝的构造及演奏原理，可以看到：葫芦丝自动演奏机

器人的主要研究点为吹奏过程中的口风（即吹气口气流）和洞音（即弹奏手指）的协调控制，只有口风和洞音按照音乐的旋律配合正确才能演奏出音调合适、节奏准确的曲子。

➤ 风门与口风控制分析

管乐器的一个演奏难点是吹奏过程中的气息控制。要完成葫芦丝

的气息控制，需要风门、口风、嘴劲 3 个因素的协调和配合。在机器人身上，控制以上因素相应的气动元件分别是节流阀、压力阀和葫芦丝嘴接口。其中起最主要作用的是对压力的控制，因为演奏不同音高需要不同的口风压力，是演奏的关键。在不需要太多演奏技巧的乐曲

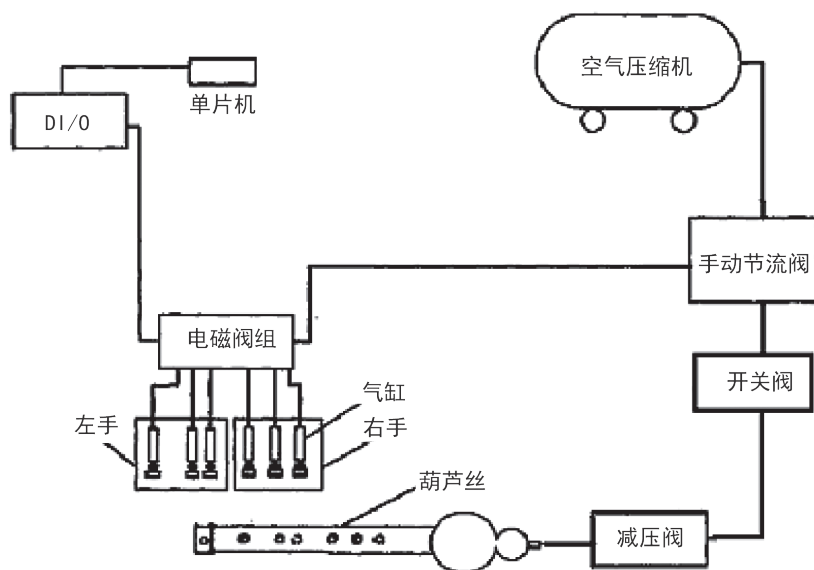


图 1 葫芦丝自动演奏机器人结构功能

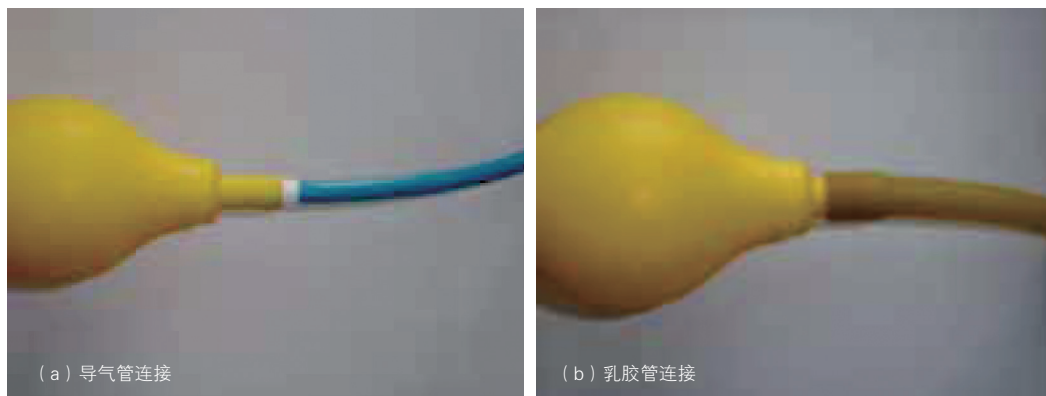


图2 吹嘴方案

中, 风门和嘴劲两个因素的变化不是很大, 本研究对这两个因素加以固定, 不进行变化性研究。

② 弹奏机构及洞音控制分析

洞音控制, 就是通过选择合适的模拟手指和合理的手指动作设计, 以达到演奏的要求。在葫芦丝的演奏过程中手指的配合主要体现在两个方面: 按孔部位和手形。以往的音乐机器人在设计弹奏机构时多采用欠驱动的灵巧手机构, 鉴于此种结构较好的控制性能、成熟的控制方法、美观的外观造型, 本研究也采用了此结构。

③ 机器人本体结构分析和功能要求

本研究开发的葫芦丝自动演奏机器人的口风控制系统包括气源、节流阀、开关阀、减压阀、吹嘴等; 洞音控制系统包括手指驱动机构、弹奏手指机构等; 电气控制系统包括: 电源系统、电磁阀驱动模块、

预设乐谱程序的单片机等。结构功能简图如图1所示。

④ 机器人机械结构

◆ 气源。为更长时间地进行演奏, 机器人宜采用低压大容量气源。本研究采用空气压缩机作为气源, 由空气压缩机输送压缩空气, 将其压力调到 $0 \sim 5 \text{ kPa}$ 中的任意值 (人的呼吸气压约为 5 kPa), 以模拟人吹气气压。

◆ 气流控制方案。在进行葫芦丝自动演奏时, 预先根据实验所得数据, 用减压阀把空气压力调到 $0 \sim 5 \text{ kPa}$ 中的几个确定值, 对应控制演奏时不同的音高; 同时使用节流阀控制气流的大小以控制演奏音符不同的音量。

◆ 吹嘴方案。本研究为简化设计, 将导气管 (或医用乳胶管) 直接插入 (或完全包含) 葫芦丝的吹气口, 实验中表明两种方法实际

演奏效果无异。吹嘴方案见图2。

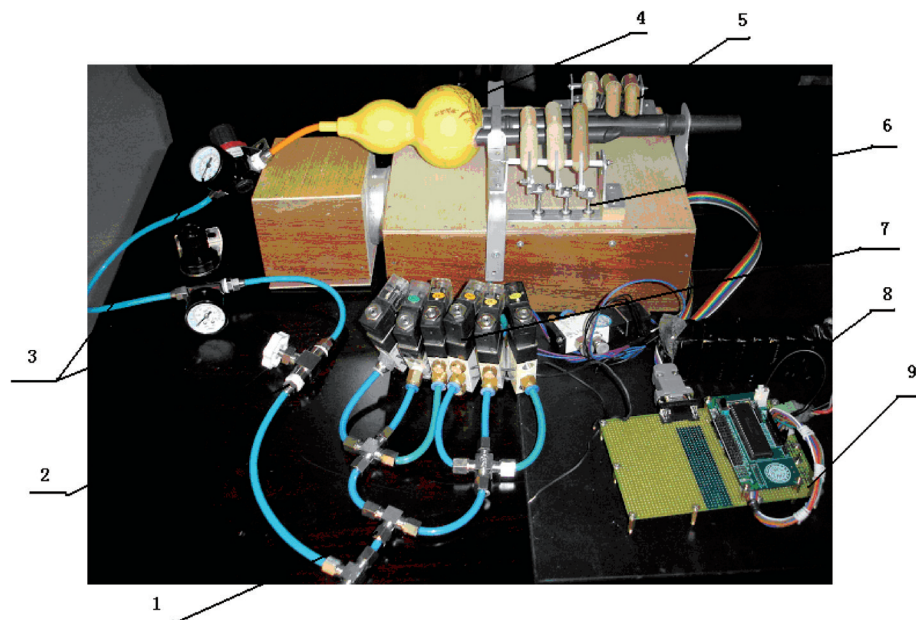
◆ 弹奏机构驱动。在选择乐器演奏机器人执行机构驱动方案时, 主要是要求它能具备适时响应, 并完成接触乐器的动作, 一般是敲击动作。根据葫芦丝自动演奏机器人手指弹奏机构特点, 选择气缸驱动不仅具备洞音控制所需特性, 还不需增加过多设备和机构, 使设计得到简化, 故本研究选用了气缸作为机器人手的驱动装置。

◆ 弹奏机构。演奏葫芦丝需要机器人手指作短距离的抬放动作, 达到开闭葫芦丝洞音孔的目的。本项目选用木制模特手指作为机器人手指材料, 通过将气缸活塞杆的直线往复运动转化成机器人手指的点击运动。以手指根部作为杠杆的支撑点, 气缸作用于手指根部的延长部分, 为主动关节。

⑤ 机器人电气控制系统

图3 葫芦丝自动演奏机器人结构

1. 三通 2. 节流阀 3. 减压阀
4. 葫芦丝 5. 弹奏手指 6. 气缸
7. 电磁阀 8. 电池 9. 电控板



根据葫芦丝自动演奏机器人演奏的口风控制、洞音控制需求，电气控制系统硬件部分分为电源系统、单片机、电磁阀驱动3个模块。

在电气控制系统的软件编制过程中针对音节的3个部分设立了相应的3个成员变量：音符、音量和节拍，用来确定各路I/O输出状态。设计时也考虑到了在演奏过程中的一些演奏技巧，如连音，颤音的处理。

最终完成的机器人见图3。

◎ 项目研究结论

本项目在研制出葫芦丝自动演奏机器人的前提下，对机器人的演奏机构运动学分析和口风、洞音控制等关键技术问题进行了研究，主要得出以下结论：

◆ 研制出的葫芦丝自动演奏机器人结构紧凑，控制简便，通过实现演奏机器人的机械结构和电路

系统，为演奏机器人构造了口风控制系统及洞音控制系统。

◆ 通过实验获得了葫芦丝自动演奏机器人人口风控制具体参数，建立了机器人演奏各音调所需的控制参数库，比较详细地对吐音、连音、颤音等葫芦丝演奏技巧进行了口风、洞音协调控制上的研究，基本达到预期的目标。

◆ 利用C语言完成控制软件设计，可以根据不同曲目和演奏技巧编制相应演奏程序。通过实验，机器人已能演奏出节奏比较舒缓的乐曲。

◎ 改进与完善的设想

◆ 增加空气加湿方案使演奏的音色、音质能更加逼近真人演奏；

◆ 增加信号反馈，音频信号的采样与分析，形成闭环演奏系统；

◆ 尝试使用人工肌肉等新型

驱动方式，进一步简化设计；

◆ 融入演奏意境，把握乐曲的气氛，把感情注入到演奏中。

该项目获得第28届全国青少年科技创新大赛科技辅导员创新成果科教制作类一等奖。

专家评语

该项目的的主要内容既是演奏乐器葫芦丝的机器人，又是可用于机器人教学和机电一体化教学的趣味教具。该项目原理科学，概念清晰，构思精巧，设计合理，作品教育性强。项目选题新颖，具有实质性创新，对传统方法有突破。作品效果显著，制作规范具有示范推广价值。■