

# 扬声器阵列辐射声压级自动控制装置设计

张 芳, 孙德玉, 张亮永, 刘 阳, 赵天青

(西北核技术研究所, 陕西西安 710024)

**摘要:** 针对强声波设备的使用安全性的问题, 设计了一种强声波扬声器阵列辐射声压级自动控制装置, 该装置通过控制功放驱动功率达到自动调节扬声器阵列输出声压级目的。硬件电路基于单片机 ATmega48 设计, 单片机中固化了自动控制软件, 结合目标距离实现对扬声器阵列辐射声压级的调节控制。将该装置加装于多个型号的强声波装置进行外场测试, 结果表明, 各扬声器阵列前方声压级均控制在安全范围内, 因此可将其应用于强声波系统中避免强声波对非目标人员造成伤害。

**关键词:** 强声装置; 扬声器阵列; 声压级; 自动控制

中图分类号: TN912.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2019)-06-0640-04

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2019.06.007

## Design of automatic control device for sound pressure level of loudspeaker array

ZHANG Fang, SUN De-yu, ZHANG Liang-yong, LIU Yang, ZHAO Tian-qing

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to solve the safety problems in using intense acoustic equipment, a special device that can automatically control the sound pressure level of loudspeaker array by adjusting the driving power is developed. The hardware circuit of the device is designed based on a single chip ATmega48, in which the control software is integrated. The device can adjust the sound pressure level according to the target distance. By installing the device in several types of intense acoustic equipment and testing the effect, it is shown that the sound pressure level in front of each loudspeaker array can be controlled within a safe level to avoid health lesion on non-target persons.

**Key words:** intense acoustic equipment; loudspeaker array; sound pressure level; automatic control

## 0 引言

强声波装置是一种利用扬声器阵列定向发射强声波达到驱离、通讯等目的的定向多用途装备。近年来, 强声波装置由于其使用方便, 效果显著等特点被广泛应用于公共安全、军事、经济重要设施保护、远距离通讯等领域, 但长期处于高噪声环境中会造成听力系统的损伤<sup>[1]</sup>, 而且噪声还会影响人体的神经系统、消化系统、内分泌系统、心血管系统等<sup>[2]</sup>, 长期暴露在噪声中的人群心血管疾病的发病率会明显升高<sup>[3]</sup>, 所以长期处于强声波装置辐射的超强声压级环境中不但会对听力造成一定损伤, 而且还会引发多种人体疾病。因此, 为了兼顾强声波装置使用的有效性和安全性, 需要为装置增加声压级自动控制功能, 既能确保非目标人员不受强声

压级的辐射, 又能快速有效地对目标实施打击。

针对这一需求, 本文设计了一种扬声器阵列辐射声压级自动控制装置, 该装置可根据扬声器阵列前方目标的特性和距离自动控制声阵列的辐射声压级, 在确保装置驱散功能的前提下, 增加了强声波装置使用的安全性。

## 1 总体设计

强声波装置将信号源进行功率放大, 推动扬声器阵列发声, 声波经阵列前方的波阵面耦合, 可获得具有强指向性的强声波束, 目前强声波装置的声压级在 1 m 处可高达 160 dB, 高声压级对目标人群可实施非致命打击, 但也要防止其对非目标人群的伤害, 由 GJB 50-1985 可知, 人员暴露在噪声中的最高容许限值为 115 dB<sup>[4]</sup>。本文设计的声压级自动控制装置可以自动调节强声波装置功放驱动功率, 在阵列前方为非打击和驱散目标人员时将声压级自动控制在 115 dB 之内。

收稿日期: 2018-07-01; 修回日期: 2018-08-10

作者简介: 张芳(1980—), 女, 内蒙古宝昌人, 硕士研究生, 研究方向为音频电路设计。

通讯作者: 张芳, E-mail: zhangfang@nint.ac.cn

自动控制装置系统组成框图如图 1 所示，主要由测距模块、控制模块等组成。测距模块采用激光测距仪测量目标距离，并将距离数据传输到控制模块中；控制模块的单片机中集成了声压级自动控制软件，可结合目标属性和距离数据信息调节驱动功放的输出电压增益，达到控制驱动功放功率目的，由功放驱动扬声器阵列发射声波，即可自动调节扬声器阵列的辐射声压级。

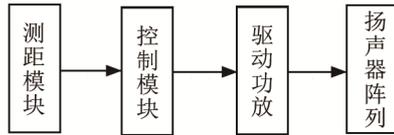


图1 自动控制装置组成框图  
Fig.1 Block diagram of the device

系统的工作流程如图 2 所示，操作人员通过监视器确定阵列前方目标人群特性，判断为暴(骚)乱目标人群时强声装置正常运行，判断为非目标人群时，启动自动控制声压模式，由自动测距模块测量非目标人员距离，并将测距结果反馈至控制模块，由控制模块计算该处声压级是否超出最高限值 115 dB，若未超出则不作处理，若目标处声压级超出最高限值，由控制模块自动调节功放驱动功率，将目标处声压级控制到最高限值 115dB 以内。同时操作人员通过视频监视器，实时监测强声波装置前方目标人群特性，若确定为暴(骚)乱人员，则退出自动控制声压模式，实现对目标人员的有效驱散。

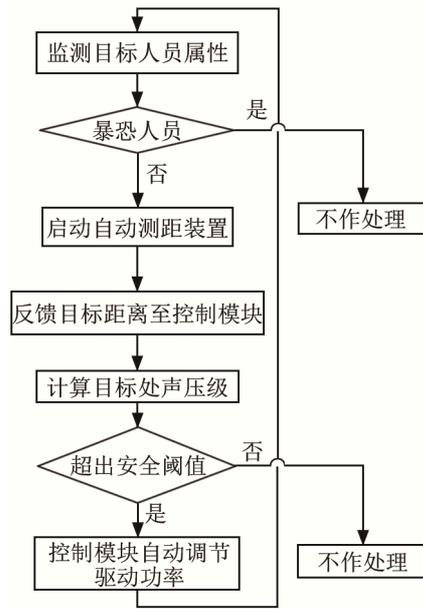


图 2 系统工作流程图  
Fig.2 The system working flow chart

## 2 控制模块

### 2.1 硬件电路设计

控制模块的硬件电路基于单片机 ATmega48 设计，电路图如图 3 所示。ATmega48 通过 MAX232 与激光测距仪的串口相连接，实现接收测距仪数据功能。自动控制软件通过 ISP 接口固化在单片机中，实现功放驱动功率自动调节，达到控制扬声器阵列

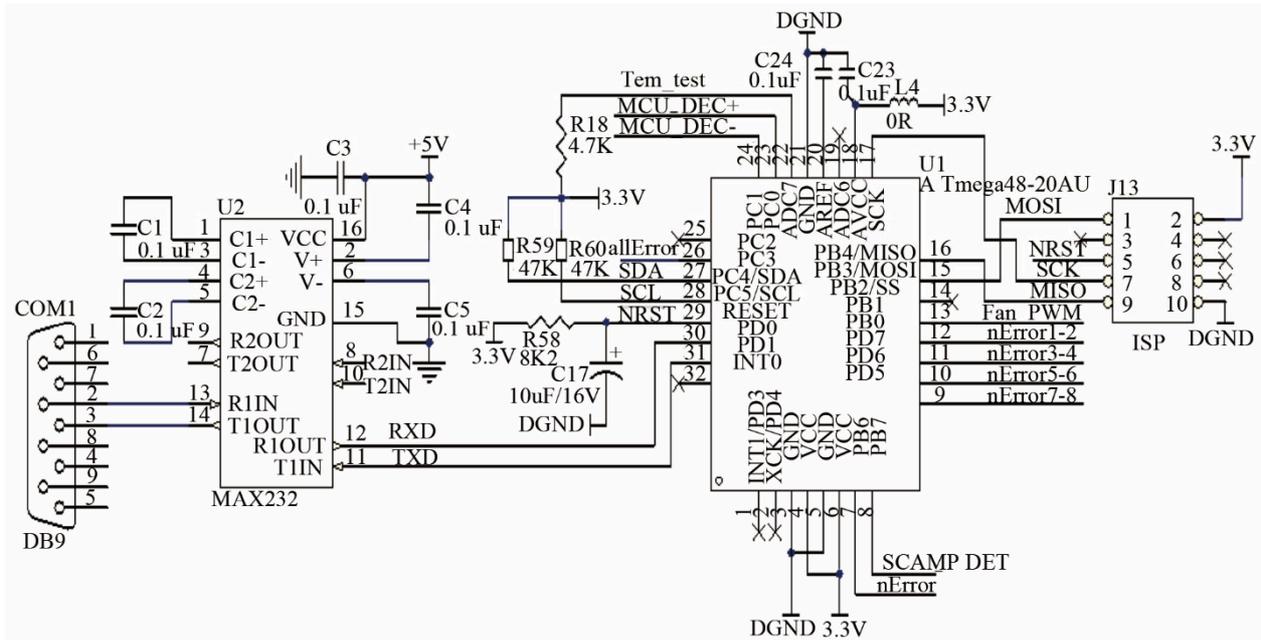


图 3 控制模块电路图  
Fig.3 Circuit diagram of the control module

声压级的功能。

### 2.2 控制软件设计

扬声器单体 1 m 处声压级与灵敏度关系为<sup>[5]</sup>:

$$L_{SP1} = L_{SP0} + 10 \lg W \tag{1}$$

式中,  $L_{SP1}$  为扬声器单体 1 m 处的声压级,  $L_{SP0}$  为扬声器灵敏度,  $W$  为扬声器单元驱动功率。

组成强声波装置阵列的扬声器辐射的声波具有相同相位和相同幅值的特征, 阵列在 1 m 处的声压级与扬声器单体 1 m 处辐射声压级关系为<sup>[6]</sup>

$$L_{SPn} = L_{SP1} + 20 \lg n \tag{2}$$

式中,  $L_{SPn}$  为扬声器阵列 1 m 处声压级,  $n$  为阵列中扬声器的个数。

理想状态下, 在声源的中心轴线上, 声压级与传输距离的对应关系可表示为<sup>[5][7]</sup>

$$L_{SPd} = L_{SP1} - 20 \lg d \tag{3}$$

式中,  $L_{SPd}$  为声轴线上距离  $d$  处的声压级。

在实际传播过程中, 空气对声波具有衰减作用, 且衰减系数与声波的频率以及空气的温度和湿度等因素有关, 即远距离处理论计算声压级值比实际的要高, 但相比于强声波装置辐射的高声压级这一差值相对很小, 按照理论值调节声压级可满足设计要求, 空气对声波的衰减可忽略不计。于是得出阵列声轴线上  $d$  处的声压级关系式:

$$L_{SPdn} = L_{SP0} + 10 \lg W + 20 \lg n - 20 \lg d \tag{4}$$

式中,  $L_{SPdn}$  为距离扬声器阵列声源  $d$  处的声压级。

控制模块通过控制驱动功放输出电压  $U_m$  的增益来控制功放的驱动功率, 将单片机控制功放输出电压增益的系数设为  $a$ , 则可得驱动功放输出功率:

$$W = \frac{(aU_m)^2}{R} \tag{5}$$

式中,  $W$  为驱动功放输出功率, 即扬声器单元驱动功率,  $U_m$  为功放输出额定电压,  $R$  为扬声器阻抗。

将距离扬声器阵列  $d$  处的限制声压级设为  $L_{SPx}$ , 则可得控制功放输出电压增益系数  $a$  与距离  $d$  的关系式:

$$a = 10^{\left(\frac{1}{20}(\lg d + \lg \frac{\sqrt{R}}{nU_m} + \frac{1}{20}(L_{SPx} - L_{SP0}))\right)} \tag{6}$$

在扬声器的型号、阵列中扬声器个数及限制声压级设定后, 式(6)中  $R$ 、 $n$ 、 $U_m$ 、 $L_{SP0}$  和  $L_{SPx}$  均为已知, 则可根据距离  $d$  得出电压增益系数  $a$  值。

根据式(6)算法编写自动控制软件, 并固化在控制模块中, 将测距仪所测距离值反馈至单片机中, 根据每个目标点的距离值得到电压增益系数  $a$ , 控制模块根据该系数值对功放进行电压输出增益自动调节, 即可将距扬声器阵列声轴线  $d$  处目标的声

压级自动控制在设定值内。

### 3 实验验证

采用由扬声器 BMS4592 组成的 4 元、7 元和 16 元扬声器阵列进行外场试验, 为扬声器加载频率 1 kHz、额定功率 100 W 的驱动, 选取阵列前方声轴线上 100 m 内 20 个点, 采用英国 Cirrus 公司型号为 CR:162B 的声级计, 测量其声压级值, 同时对比各扬声器阵列加装声压级自动控制装置后相应各点的声压级。

由 4 图可见, 未加装声压级自动控制装置时, 4 元扬声器阵列前方 56 m 内声压级均大于安全限值 115 dB, 加装自动控制装置后声压级被控制在 115 dB 之内, 阵列前方 56~100 m 范围内各点声压级均未超过 115 dB, 加装控制装置前后各点声压级基本一致。图 5 和图 6 表明, 7 元和 16 元扬声器阵列加装控制装置后同样达到了控制阵列辐射声压级的目的。

强声波装置驱散作用时一般采用警报声源, 其

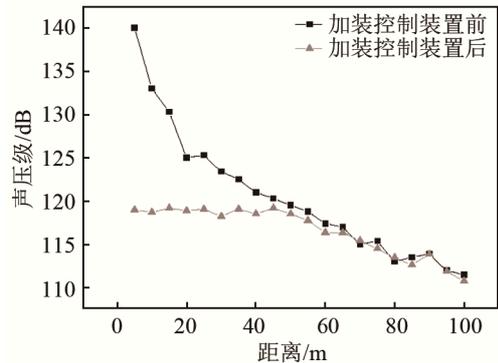


图 4 一个 4 元扬声器阵列加装控制装置前后的声压级对比  
Fig.4 The contrast figure of sound pressure levels before and after a four-element array installed with the control device

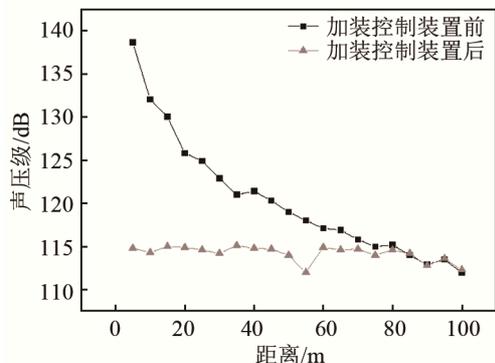


图 5 一个 7 元扬声器阵列加装控制装置前后的声压级对比  
Fig.5 The contrast figure of sound pressure levels before and after a seven-element array installed with the control device

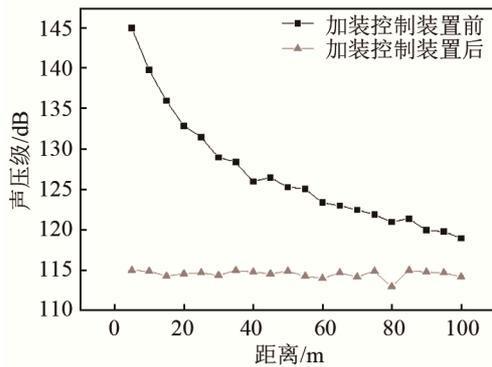


图6 一个16元扬声器阵列加装控制装置前后的声压级对比  
Fig.6 The contrast figure of sound pressure levels before and after a sixteen-element array installed with the control device

声波频率范围集中在 2.5~3.3 kHz, 实验采用的声波频率为 1 kHz, 空气对两者的衰减系数不同, 而声压级控制装置可忽略空气对声波的衰减作用, 因此, 实验的结果适用于强声波装置实际使用情况时声波的调节控制。

## 4 结论

本文设计了一种能够依据目标距离自动调节扬声器阵列驱动功率的控制装置, 从而达到控制扬声器阵列辐射声压级的目的, 该声压级自动控制装置可应用于强声波系统, 实现自动控制阵列前方声

压级的功能, 达到强声波装置使用过程中安全可控的目的。

## 参 考 文 献

- [1] SUN P F, QIN J, QIU W. Development and validation of a new adaptive weighting for auditory risk assessment of complex noise[J]. *Applied Acoustics* (S1000-310X), 2016, **103**(part a): 30-36.
- [2] 黄意府. 噪声对心血管功能影响的研究进展[J]. *应用预防医学*, 2008, **14**(增 2): 8-10.  
HUANG Yifu. Research on influence of noise on cardiovascular function[J]. *Applied Preventing Medicine*, 2008, **14**(S2): 8-10.
- [3] 胡正元. 噪声对心血管功能的影响[J]. *声学技术*, 2002, **21**(z1): 25-28.  
HU Zhengyuan. Influence of noise on cardiovascular function[J]. *Technical Acoustics*, 2002, **21**(z1): 25-28.
- [4] GJB 50-1985 军事作业噪声容许限值[S]. 国防科工委军标出版发行部, 1985.
- [5] 崔麦会, 康圣, 刘侃. 基于作用距离的舰载强声广播系统设计[J]. *电声技术*, 2015, **39**(9): 84-86.  
CUI Maihui, KANG Sheng, LIU Kan. Shipborne long range acoustic system design based on operating distance[J]. *Audio Engineering*, 2015, **39**(9): 84-86.
- [6] 张利杰. 理想介质中强声组阵技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2008: 13-14.  
ZHANG Lijie. Investigation of high intense acoustic array technology in ideal medium[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2008: 13-14.
- [7] 杜功焕, 朱哲民, 龚秀芬. 声学基础[M]. 南京: 南京大学出版社, 2001.  
DU Gonghuan, ZHU Zhemin, GONG Xiufen. Basic of Acoustics[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2001.