

戏剧厅混响时间和响度的优选研究

——以京剧为例

Subjective Preference Study on Reverberation Time and Loudness for the Theater

——Take the Case of Beijing Opera

学科专业：建筑学

研 究 生：杨娇娇

指导教师：马 蕙

天津大学建筑学院

二零一四年十二月

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 天津大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名: 签字日期: 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名: 导师签名:

签字日期: 年 月 日 签字日期: 年 月 日

中文摘要

中国戏曲有 300 多个剧种，其中京剧是最大、影响最广泛的剧种，被视为国剧，是中国文化的瑰宝。随着人民生活、文化修养以及观赏能力的不断提高，人们对京剧演出场所的音质要求也越来越高。而厅堂的音质效果与厅堂设计的客观声学参数有关，但目前对于京剧适合在一个怎样的声场环境下演出却没有系统的研究，客观声学参数的建议值也缺乏理论探讨。因此，本文的主旨是探索适用于京剧演出厅堂的客观声学参数的主观优选值，其结果将有助于指导京剧演出厅堂的音质设计实践。

本文首先通过对京剧音质评价的主观调查，发现观众欣赏京剧时更喜欢声音具有清晰度、丰满感和嘹亮感，这些主观参量与客观声学参数中的混响时间密切相关。从调查结果还可以看出观众普遍认为京剧演出时乐器音量过高，不仅降低了演员演唱的清晰度而且过高的音量让人听起来不舒服。所以本文选择混响时间和响度这两个声学参数对其开展实验室主观优选研究。

其次，在半声室内录制不同行当、不同演唱速度等的 10 个京剧片段的干信号，并通过 Odeon 软件的可听化技术将模拟得到的 6 个不同混响时间的脉冲响应分别与干信号卷积后得到实验样本。在半消声室内采用成对比较法进行混响时间优选实验，被试分为两组，分别是有多年听戏经历的经验组和代表普通群众的普通组。实验结果表明适合京剧演出厅堂的混响时间优选范围为 0.2~0.6s。

最后，在混响时间优选实验的基础上进行响度优选实验研究。以男、女声 2 个京剧片段为实验素材，采用成对比较法对具有 4 个不同平均声压级的实验样本进行主观优选比较判断。实验结果表明，平均声压级的最优值为 70dBA，优选范围是 70~73dBA。

关键词： 京剧 混响时间 响度 主观优选

ABSTRACT

There are more than three hundred operas of Chinese traditional opera, Beijing Opera is the biggest and the most extensive influence operas among these, which is regarded as national opera, is a treasure of national culture. People has more high demand for acoustic condition because of the continuous improvement of the life level、 cultural accomplishment and people's viewing capabilities. And the hall's acoustics is associated with the objective acoustic parameters, but for now, there are no systematic researches on the sound quality of Beijing opera theatre. Thus, for the halls for performing Beijing Opera, its subjective preference values for the objective acoustic parameters should be studied, and then corresponding study results will contribute to guide its acoustic design practice.

Firstly, this study according to the subjective survey of acoustical evaluation of Beijing Opera finds that, the respondents pay more attention the fullness of the singing ,the articulation of the word, loud and clear , these subjective feelings are closely related to the reverberation time. As also can be seen from the results of the survey , an appropriate loudness is extremely important .So this study chooses reverberation time and loudness as objects of subjective preference study.

Secondly, dry signals of ten segments of Beijing Opera were recorded in a semi-anechoic chamber, and used Odeon software obtained the impulse response with six different RT values. Then these simulated impulse responses were convolved with recorded dry signals. This study has a subjective RT experiment and a subjective loudness experiment. The subjective evaluation method is the paired comparison and the experiments were done in the semi-anechoic chamber. The listeners were divided into two groups. The preferred RT of Beijing Opera is between 0.2 and 0.6s from the paired comparison test.

Finally, the subjective evaluation test signals with four different SPL values and used paired comparison method. The preferred loudness of Beijing Opera is between 70 and 73dBA from the test, the listener most satisfied the loudness at 70dBA.

KEY WORDS: Beijing Opera, reverberation time, loudness, subjective preference

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究的背景	1
1.2 研究的目的	2
1.3 研究的内容与方法	3
1.3.1 研究内容	3
1.3.2 研究方法	3
第二章 国内外理论研究综述	5
2.1 客观声学参数与主观音质感受	5
2.2 客观参数主观优选值研究	7
2.2.1 国外相关研究	7
2.2.2 国内相关研究	8
2.3 本章小结	9
第三章 京剧音质主观评价的问卷调查	10
3.1 问卷调查的目的及步骤	10
3.1.1 目的	10
3.1.2 步骤	10
3.2 调查主体	11
3.2.1 调查主体的选择要求	11
3.2.2 调查主体的选择	11
3.3 问卷设计	12
3.3.1 构建评价因素	12
3.3.2 问卷内容	14
3.4 调查基础情况概述	15
3.4.1 数据采集方法	15
3.4.2 调查剧院的基本概况	15
3.4.3 调查样本统计	16
3.5 问卷信度和效度检验	18
3.5.1 问卷信度检验	18

3.5.2 问卷效度检验.....	18
3.6 问卷调查结果分析	18
3.6.1 方差分析	20
3.6.2 均值分析	23
3.7 响度问题分析	24
3.8 扩声问题分析	25
3.8.1 存在的问题	25
3.8.2 扩声使用建议	26
3.9 本章小结	27
第四章 混响时间主观优选实验研究.....	28
4.1 相关京剧知识简介	28
4.1.1 京剧的行当	28
4.1.2 京剧的声腔	30
4.1.3 小结	32
4.2 实验素材的选择	33
4.2.1 唱腔的选择	33
4.2.2 念白的选择	33
4.2.3 节奏的选择	34
4.2.4 确定实验素材	34
4.3 干信号的录制	36
4.4 混响时间的划分	37
4.5 实验样本的制作及处理	37
4.6 主观评价实验	39
4.6.1 实验方法	39
4.6.2 被试的选择	40
4.6.3 听音方式及采用的实验仪器	40
4.6.4 实验详情	41
4.7 主观评价实验结果及数据检验	44
4.7.1 数据检验方法	44
4.7.2 数据检验程序	45
4.7.3 数据检验结果	46
4.8 主观评价实验结果的统计与分析	51
4.8.1 均值分析	51

4.8.2 单样本 t 检验.....	57
4.8.3 方差分析.....	63
4.9 本章小结	69
第五章 响度主观优选实验研究.....	70
5.1 主观优选实验详情	70
5.1.1 样本处理.....	70
5.1.2 实验设计.....	71
5.1.3 确定被试.....	71
5.2 主观评价结果实验结果及数据检验	71
5.2.1 误判分析.....	71
5.2.2 数据有效性检验.....	73
5.3 主观评价实验结果的统计与分析	73
5.3.1 均值分析和单样本 t 检验.....	74
5.3.2 方差分析.....	75
5.4 本章小结	76
第六章 总结与展望.....	77
6.1 总结	77
6.2 研究展望	77
参考文献.....	79
发表论文和科研情况说明.....	82
附录.....	83
致谢.....	85

第一章 绪论

1.1 研究的背景

世界上有三种古老的戏剧文化，分别是古希腊戏剧、印度梵剧和中国戏曲^[1]。但是现如今对世界影响最大的却唯有中国戏曲，因为其他两者都已在历史发展的长河中消失，而中国戏曲的演出传统还一直在延续，目前为止它是现存的最古老的戏剧文化。京剧从形成到现在不过 170 年左右，但它有深厚的积累，继承了我国戏曲的传统，在北京崛起之后，逐渐流传全国，成为我国最有代表性的戏曲剧种^[2]，被称为“国剧”，并与西方的歌剧齐名。

现如今国家越来越重视对非物质文化遗产的保护，京剧作为“国剧”，其发展状况也受到更多人的关注，演出市场也逐渐升温^[3]。京剧演出厅堂建筑作为承载与弘扬传统京剧艺术的载体，呈现出新的建设和发展需要。

随着人民生活、文化修养以及观赏能力的不断提高，人们对剧场音质的要求也随着提高。不同用途的厅堂对音质上的要求也不完全一样，由于剧种不同，演出条件不同，音质要求也不同，在建筑设计上牵涉到房间大小、形状和比例、室内吸声材料的选择和布置等。因此，随意找一个剧场表演京剧的话，极有可能满足不了对音质的要求。京剧演出厅堂应属于专业演出剧场，其有着特殊的音质效果要求。目前为止，我国在京剧演出厅堂的声学设计和科研方面的力量还比较薄弱，到现在还没有针对京剧声学特性和演出环境的声学研究。因此，并不清楚观众在评价京剧音质效果时主要注重哪些方面的感受以及适合演出京剧的厅堂的声学参数的最佳值或优选范围是多少等问题。

京剧演出厅堂的音质要求与音乐厅、歌剧院、话剧院等都不同^[4]。话剧院演剧的全过程主要是对白，音乐的作用通常是背景和陪衬，所以音质设计以对白的语言清晰地为主要指标，而音乐厅则以音乐的丰满度为主要指标^[5]。京剧的演出有对白、演唱和乐队伴奏，音质设计上存在兼顾演唱和乐队伴奏的丰满度与唱词的清晰度两者的相互矛盾，这个矛盾一直贯穿在京剧演出厅堂的声学设计过程中。西方学者针对西方音乐的研究已有比较成熟的结果，诸如混响时间、响度等参数都已找到适合各类西方音乐及各种器乐演奏的参数值^[6]。近几年国内的学者也相继开展了针对我国民族音乐厅堂的优选声学参数的研究，其中又以混响时间、响度的优选值研究为重点^{[7][8]}。国内学者开展相关研究的原因是由于长期以来我国民族音乐厅堂的客观参数指标一直沿用西方音乐的结果，但是西方音乐与我国民

族音乐由于乐器特性等的不同,那么照搬适合西方音乐的参数优选值的适用性就有待进一步研究了。

对于京剧演出厅堂而言,也存在着这一问题。自从京剧的表演从传统的戏楼搬到现代化的剧院中以后,在剧院音质设计中也一直借鉴西方歌剧院、音乐厅、话剧院等的研究结果。目前,京剧演出场所最佳混响时间的取值没有成熟的经验,仅以几个公认为音质较好的地方戏剧院(北京工人俱乐部、长安大戏院、北京人民剧场、山东京剧院)的混响时间的测量值为依据,用得到的统计值作为建议值^[9]。在相关国家标准中^{[10][11]},给出了剧场观众厅满场合适的混响时间范围,但是只针对戏曲大类给出,且与话剧的建议值完全一样,用于指导京剧院建筑缺乏针对性。而且通过相关研究的结论知道适宜的客观声学参数值在音乐的种类、乐器演奏技巧、文化背景以及美学特征等方面存在差异,所以最佳混响时间的确定应以京剧自身的声乐特点为出发点,仅以几个剧场的测量值的纯数据统计值作为设计指标是缺乏一定理论依据的,也有一定的片面性。对于京剧的响度评价同样也缺乏系统的探讨,适合京剧欣赏的最佳响度值还是未知。

总之,长期以来我国对京剧演出厅堂的研究尚不够重视,在其音质设计的过程中多是依照国外在建筑声学领域的研究成果。国内并没有开展对其声场特性的研究,对于厅堂声学设计的重要指标如混响时间、响度等的建议值也缺乏理论探讨,其适用性有待进一步研究。

1.2 研究的目的

本文的主要目的有以下三个方面的内容:

(1) 本文旨在找出人们欣赏京剧演出时,哪些听觉感受对其有较大影响,并针对这些听觉感受背后的声学参数进行研究。探讨这些声学参数的变化是如何影响人们的听觉感受的,从而找到听觉感受最佳时对应的声学参数值,其结果可应用与今后京剧演出厅堂的音质设计中。

(2) 本文从多个角度选择京剧样本进行研究,不仅使得研究结果更具体、全面,而且对其他戏种的声学研究具有借鉴意义。

(3) 本文的研究成果可以对京剧演出厅堂的声学设计从理论研究、问卷调查研究和实验室研究的不同角度提出建议,避免设计初期在声学参数设置的上与观众需求存在较大的误差。

1.3 研究的内容与方法

1.3.1 研究内容

本文的研究内容主要包括以下三个方面的内容：

（1）京剧音质评价的主观调查。这一部分主要采用问卷调查的方式。进行京剧音质评价的问卷调查研究，并对调查结果运用统计学和归纳概括的方法进行分析和讨论，初步掌握听众对京剧音质效果的关注点集中在哪些主观评价因素上，并对目前京剧演出存在的一些问题提出看法和建议。

（2）混响时间主观优选实验。在半消声室进行混响时间的主观评价实验，主要目的是为了获得京剧演出厅堂适宜的混响时间。首先，运用 Odeon 软件的可听化技术将模拟得到的具有不同混响时间的脉冲响应与录制的多个京剧片段干信号进行卷积运算得到实验样本，并对实验样本进一步等响化处理后作为最终的实验样本。其次，组织被试进行主观评价实验，实验采用成对比较法。最后，将评价结果数值化处理经数据检验后再进行统计分析，得到混响时间的优选值或优选范围。

（3）响度主观优选实验。主要目的是得到京剧演出厅堂的响度优选值或优选范围。在半消声室进行响度的主观评价实验，实验的流程及结果的分析方法同混响时间的优选实验。

1.3.2 研究方法

本文在整个研究过程中主要运用了文献阅读、问卷调查、实验室研究以及统计分析方法。

（1）文献阅读

在前期研究阶段，阅读了大量音质评价及客观声学参数研究等领域的研究成果，保证了本文的思路和方法无纰漏以及内容上具有创新点。本文研究的框架就是在充分了解国内外相关研究进展的基础上构架起来的。

（2）问卷调查法

为了获取所需的调查数据，在参考有关研究、征求专家意见并遵循心理学基本原则的基础上，设计了针对京剧音质主观感受的调查问卷。问卷的主要目的是了解哪些听觉感受对观众的影响较大并指导下一步的声学参数优选研究。问卷主要有三个方面的内容：量表部分、开放性作答部分和基本情况调查部分。根据研究内容的需要，采用深入访谈、剧院门口派发的方法进行问卷调查。

(3) 实验室研究

在实验室进行主观优选实验，被试根据自己的主观感受作答，目的是为了得到京剧演出厅堂适宜的混响时间和响度，是本研究最主要的数据获取方法。

(4) 统计分析方法

本文问卷调查部分和实验室主观优选实验部分的结果，运用 SPSS、Excel 等软件对数据进行分析，包括均值分析、方差分析、数据检验等，并以直观的图、表形式表达结果。

第二章 国内外理论研究综述

2.1 客观声学参数与主观音质感受

所谓厅堂音质，就是由于声音在厅堂内传播时发生反射、吸收、衍射等情况使得接收位置的声音具有了某些特点，而厅堂音质设计的依据则是与主观听觉效果相关的客观参数。所以，通过寻找影响音质听觉效果的客观参数，就可应用这些客观参数指导厅堂形状、大小、吸声材料布置等设计，有助于获得预期的音质效果。

19 世纪末，赛宾(Sabine)提出著名的混响时间计算公式，从此与影响厅堂音质的声学属性的相关研究得到重视，开启了建筑声学的研究热潮。

德国声学家 Haas 研究发现 30ms 内的延迟声（强度不大于直达声 10dB）可以增强直达声的响度感，对音质有利；而间隔时间 50ms 以上的延迟声则能听到清晰的回声，对音质不利，这一理论称为“Haas 效应”。

Thiele 研究发现前达声能与后达声能的比值与清晰度的主观感受有关，并提出清晰度 D (definition) 的概念，其定义为 50ms 前到达的声能与全部到达的声能的比值^[12]。Haas^[13]发现人耳对区分直达声到达后 20~50ms 内到达的反射声（前期反射声）有一定的困难，听觉上会将前期反射声与直达声混合在一起，所以前期反射声能够加强直达声的强度。A.H.Marshall 等人的研究是从“双耳聆听”的生理特性着手，研究结论是早期侧向反射声对提高声音空间感有着重要影响^[14]。也就是说在直达声到达之后的几十毫秒内有多个侧向反射声到达的话才有好的空间感受，并建议把侧向反射声的比值当作空间感的客观参数。随后，Barron^[15]的研究采用模拟声场进行主观实验的方法，发现直达声到达后 80ms 内到达的侧向反射声与空间感有关，提出早期侧向声能因子(LF_E)作为空间感的客观参数。

Beranek 在其著作《音乐厅和歌剧院》中提到初始延迟间隙 ITDG (initial time delay gap) 这一指标，其指第一次反射声到达听者耳朵相对于直达声到达的延迟时间，听众通过它能感受到演奏音乐的空间的体量。1992 年 Beranek 将 ITDG (用 t_1 表示) 用作亲切感(intimacy)的度量，并建议初始延迟间隙的优选值宜为 20ms 或稍短，并指出若其值超过 35ms，则意味着大厅的音质有较显著的变坏^[16]。

Jordan 等人的研究发现混响衰减的早期部分的斜率与混响的主观感受之间存在密切的关系，并提出了早期衰减时间 (EDT) 的概念，其定义为用 0~-10dB 这

段衰减曲线的斜率推算出衰减 60dB 所需的时间^[17]。与 RT 相比, EDT 在厅内各处的差异更大, 主要是由于 RT 与房间总的物理性质有关, 所以数值的大小与厅堂形状和接收位置的改变而有较大的变化, 而 EDT 的大小受前期反射声的影响, 与接收位置有较明显的关系。

Reichardt.W 等^[18]提出明晰度指数 C (clarity) (dB) 的概念, 其定义为直达声达到后最初 80ms 内到达的声能与 80ms 后到达的声能的比值, 用于乐声明晰度的主观评价。

德国声学家 Lehmann^[19]提出用强度指数 G (Strength Factor) (dB) 度量厅堂响度, 其定义为接收点接收到的声能与参考点接收到的声能的比值。他认为 G 值是通过与一个参数值作比较得出的, 所以与声源本身的强弱无关, 因此可用于确定整个房间内各位置声场的均匀性。

20 世纪 60 年代以来, 较多的研究发现让人产生音色温暖感觉的主要因素是加强的低音。常用低音比 BR (125、250Hz 的平均值与 500、1000 Hz 的平均值之比) 来测定低频混响时间的情况。因此, 若达到厅堂内的声音具有一些温暖感, 就要选用一些低频吸收系数较低的材料, 让低频的混响时间长于中频的。

Schroeder 的研究发现左、右耳接收到不一样的声样本有助于提高声音的效果, 还发现侧向早期反射声对增加双耳听闻的不一致性有帮助, 但是来自天花及后墙的反射声则对双耳听闻的差异不利^[20]。1973 年, Gattlob^[21]首次提出双耳互相关系数 IACC, 它是用声样本到达听者双耳的强度差、时间差和相位差来确定声音的方位感和空间感的。日本学者 Y.Ando 研究发现 IACC 参数与人们的主观感觉之间有很好的 consistency, 测得的 IACC 值较小的厅堂, 往往空间感的主观感觉较好。

1981 年 Barron 和 Marshall^[22]首先明确提出音乐厅中空间感(spatial impression)的重要性。并在随后的研究发现空间感的内容, 其涵盖两个方面的内容, 一是视在声源宽度 ASW (Apparent source width), 二是听者的环绕感 LEV (Listener's envelopment)^{[23][24]}。ASW 是指人耳所感受的声源宽度范围, 即指人在双耳的作用下, 声源发出的声音经厅内空间传播后, 这时人感受到的声源的声像在空间中的形状和尺寸。Y.Ando^[25]研究发现在音乐厅中 ASW 与早期侧向反射声密切相关。实际中, 而且人们听到的声源的声像范围会比实际的声源范围有所展宽。根据近年的研究成果, 认为 ASW 主要由早期侧向反射声级决定, 故也有人建议以早期侧向声能因子 LF_E (Lateral fraction) 来作为评价 ASW 的客观参数。Beranek 建议中频 ASW 的最好量度是双耳听觉互相关系数 $IACC_E$, 两耳的声音差异越大, 即 $IACC_E$ 越小, ASW 就越大, 空间感越强, 下标 E 表示计算中只考虑早期声。Bradley 等人的实验结果表明, 环绕感 LEV 与后期侧向声级 G_{LL} 有着最密切的关联^[24]。随着研究的深入, 声学家们认识到 LEV 不是仅跟侧向声有关, 还可由非侧向声

产生。Furuya 等人^[26]在 Bradley 基础上又进行了关于后期反射声方向与 LEV 的关系的研究,大量实验结果表明出后期前向声级的值对 LEV 没有影响外,侧向、后向和顶向都与 LEV 紧密相关。

综上所述,客观声学参数的研究经历了半个多世纪的时间,已从最初单一的混响时间发展到现在的多项指标。这些参数大致上归纳为三个方面^[27]: (1)时域方面,如混响时间 RT、早期衰变时间 EDT 等强度; (2)能量方面,如早后期声能比 C,强度因子 G; (3)方向性空间方面,它涉及双耳听闻效果,如侧向声能因子 LF,双耳互相关系数 IACC 等。

2.2 客观参数主观优选值研究

在厅堂音质设计的理论研究过程中,寻找各客观声学参数能够获得优良音质效果的优选值或优选范围对指导厅堂音质设计实践有重要意义。厅堂客观声学参数的主观优选研究开展较早,且大部分研究是以西方音乐为基础进行的,国内对这方面的研究并不多。

2.2.1 国外相关研究

Kuhl^[6]等对西方音乐的最佳混响时间进行了研究,实验结果表明最佳混响时间跟音乐的种类有关。对于古典音乐(如 Mozart 的第 41 交响乐“Jupiter”)最佳是 1.54 秒,对于浪漫音乐(如 Brahms 的第四交响乐)最佳是 2.07 秒,对于现代音乐(如 Stravinsky 的“Le Sacre du printemps”)以 1.84 秒为最佳。Schoroder 等人^[28]也作了相关的研究,其结论是对古典音乐的的建议值是 2 秒。Y.Ando 等人^[29]的研究结果则是古典音乐的优选值为 1.2 秒,浪漫音乐的优选值为 2~2.9 秒。在以上数据中,Kuhl 的结果被多数声学家所接受。Beranek 认为音乐厅的最佳混响时间范围为 1.8~2.0 秒,歌剧院的范围为 1.3~1.6 秒^[16]。

Y.Ando 用实验声场模拟音乐厅中的声场,模拟声场中有直达声、反射声和混响声^[30]。实验采用成对比较法,让测听人员暴露在声场中进行评价。实验得出决定音乐厅音质的四个相互独立的客观参数,分别是响度(G)、初始延迟间隙(ITDG)、混响时间(RT)、双耳互相关系数(IACC)。随后他提出了主观优选理论,认为厅堂任一点听音的优选可运用由这四个独立的参数主观优选的标度值线性相加得到的一个单值评价数进行评价。实验采用计算机模拟音乐厅中的声场,改变量是四个参数中的一个,其余三个保持不变,评价方法采用成对比较法。实验得到四个参数各自对应的最优选值,其中 Ando 提出音乐样本的自相关函数的有效持续时间 τ_e 与其最佳混响时间 RT 有着确定的线性关系, $RT=23\tau_e$ (ms)。

Y.Ando^[30]对音乐厅响度进行的主观听音评价实验,结论是最佳响度为 74dBA,优选顺序为 74, 77, 80 和 83dBA。

印尼学者 Sarwono 等人对本民族音乐厅堂进行了声场特性研究,以印尼最具代表性的加麦兰音乐为对象开展了大量的主观优选实验^[31~34]。在对 ITDG 的主观优选实验中,发现用于印尼民族音乐演奏的厅堂的 ITDG 的优选时间为 30 毫秒。在对 IACC 的主观优选实验中,发现 IACC 数值越小的声场越受到多数评价人员的喜爱,说明加麦兰音乐更适合在四周围闭的厅堂中演奏,而不是传统开放式(四周没有围墙)的音乐厅堂,因为传统厅堂由于缺少边墙在厅堂多数位置的 IACC 较高。在对混响时间的主观优选实验中,得到混响时间的优选顺序依次为 0.6, 0.45, 1.2, 0.0, 2.5 和 4.5 秒,结果表示对于加麦兰音乐人们倾向于有较好的清晰度。

2.2.2 国内相关研究

中国传媒大学传播声学研究所的孟子厚等人^[35]以民族器乐中典型的弹拨乐器(琵琶)、拉弦乐器(二胡)、吹奏乐器(笛子)独奏作品片段为实验素材,采用成对比较法对混响处理的实验素材的主观优选进行了主观评价实验。实验结果是 3 首独奏作品片段的主观优选混响时间分别是 1.2, 1.8 和 1.6 秒。比照 Y.Ando 的研究,还考察了中国民族器乐的有效持续时间 τ_e 和最佳混响时间 RT 是否也有类似的确切关系,分析结果表明该实验的 $RT = (12 \sim 34) \tau_e$,但是由于该研究计算 τ_e 选用的计算时窗具有一定的随意性和其他因素的存在,所以上述结果的参考意义有限,具体是否有确切的关系还需要深层次的实验佐证。

何穆^[36]以 88 首中国民乐独奏片段为实验样本,采用对偶比较法进行了混响感主观评价实验,得到了 88 首曲目的最佳混响感下的混响时间值,并根据乐器、演奏速度和情感表现等属性进行分类统计,发现演奏乐器和乐曲演奏速度对民乐片段最佳混响感的影响是较为重要的因素,并得到几种乐器在一定条件下的最佳混响时间范围。

华南理工大学建筑学系的吴硕贤等人进行了适用于我国民族厅堂的混响时间优选值研究,实验通过可听化技术让被试聆听具有不同混响时间的民乐合奏曲目“喜洋洋”,得到的最佳混响时间为 1.2 秒,优选顺序为 1.2, 0.8, 0.4, 1.6, 2.0, 0.0, 2.5 和 4.5 秒,得到的最佳响度为 77dBA,优选顺序为 77, 80, 74, 71 和 87dBA^{[7][37]}。但是由于该实验只选用了一首合奏曲目,没有涉及其他的因素的考虑,普遍意义不强。

郭天葵^[38]以中国民族音乐为研究对象,对客观声学参数 ITDG 和 IACC 的主观优选值展开了研究,根据其实验结果的统计分析, IACC 的优选范围是

0.20~0.41, $IACC_E$ 的主观优选范围为 0.19~0.46, 并且 $IACC$ 的主观优选值与音乐样本类别有关, $ITDG$ 则无关。

2.3 本章小结

中国京剧是我国最大的地方戏种, 其有着悠久的发展历史, 但是对于中国京剧适合在一个怎样的声场环境下演出的研究却没有进展, 这是需要我们关心和重视的问题。要实现最大程度上展现京剧艺术魅力的目标, 那么对京剧声学特性和演出厅堂声场环境的研究就显得尤为必要。到目前为止, 还没有人开展过此研究。

因此, 本文首先通过问卷调查的方法找到观众欣赏京剧演出时更多地注重哪些听觉感受, 随后针对选出的最重要的几个听觉感受背后的声学参数进行实验室主观优选研究。探讨这些声学参数的变化是如何影响人们的听觉感受的, 从而找到听觉感受最佳时对应的声学参数值, 其结果可应用与今后京剧演出厅堂的音质设计中。

第三章 京剧音质主观评价的问卷调查

3.1 问卷调查的目的及步骤

3.1.1 目的

人们在不同的观演建筑（厅堂）中欣赏聆听演出时（话剧、戏剧、音乐等），不同厅堂声学条件上的差异会引起音质效果的较大不同^[39]。厅堂的音质是通过人们的听觉感受来评价的，决定这些感受的与厅堂设计的声学参数有关。所以，如果知道人们听京剧时更看重的是主观音质的哪些方面，就可有针对性地设计声学参数，从而提高音质设计的效果，使得京剧院观众厅的音质效果更符合京剧本身的音色。以此为目的，开展了关于京剧音质主观感受的问卷调查，

调查主要以经常观看京剧演出的观众为主体，通过问卷作答的方式，以求达到以下的目的：

（1）通过对一定数量京剧观众的问卷调查，找到观众欣赏京剧时看重哪些方面的音质感受。

（2）通过分析问卷调查结果，将问卷中涉及的全部音质主观感受因素进行重要性排序，即可知道相应的客观声学参数的重要性，从而为京剧院的声学设计提供一定的建议。

3.1.2 步骤

（1）设计问卷：设计并优化调查问卷内容，使其能合适地表达研究者的目的。

（2）派发问卷：对问卷派发、回收，对问卷的派发要达到一定的数量，保证回收的有效问卷的数量能满足研究的要求。

（2）问卷结果分析：对问卷结果以数理统计方法为依据进行具体的研究，采用专业的分析软件 SPSS 处理和分析数据。

3.2 调查主体

3.2.1 调查主体的选择要求

为了使调查结果更具有可信度，在选择调查主体时，主要考虑以下三点的要求：

（1）对京剧有一定的了解和认知，最好是戏迷或从事京剧演出事业的演员或伴奏师。这些调查主体对京剧了解的深度或观看京剧演出的频次都要高于普通群众，对问卷中涉及到的问题能够理解明白并明确地给出答案。

（2）调查主体应在专门的京剧表演场所观看过现场演出，而不是仅在电视或电脑上观看过京剧表演节目。这样才能保证调查主体对京剧音质主观感受的评价真实、客观。

（3）所有调查主体对京剧的理解或认识水平不能有太大的差异，避免在回答问卷上出现极端倾向，增加研究结果的不可信度。

3.2.2 调查主体的选择

基于上一小节对调查主体的三点要求，并考虑到调查的可行性问题，通过多方面的分析，最终决定选择经常去剧院观看京剧表演的观众作为本调查的主体。

做出这种选择的原因归纳如下：

（1）对京剧的声音效果的感受有实际的经验，能够根据个人经验对问卷中的问题做出真实的回答，与没去过剧院观看京剧表演的普通群众相比，这些观众的调查结果更具研究价值。

（2）这些观众往往在多个京剧演出场所观看过京剧表演，多个场所的听音感受能使调查主体做出的回答更接近自身感受。

（3）这些观众大部分都是戏迷，对京剧的喜爱度和关注度较高，对问卷完成的认真程度要高于一般人。

（4）能保证一定的数量，有利于获得较大的样本量。

（5）选择在有京剧表演的剧院观众厅内做调查的可操作性较高，有利于回收问卷。

3.3 问卷设计

3.3.1 构建评价因素

评价因素的构建是本次问卷设计的重点。由于到目前为止,还没有其他学者针对京剧进行过研究。所以,针对京剧的听音感受的术语选择,是以相对研究比较成熟的音乐为依照的。以白瑞纳克的研究为参照,他提到可以用 18 个术语涵盖封闭空间内演奏的音乐的全部重要方面:亲切感、混响、空间感、明晰度、温暖感、响度、眩声、嘹亮、平衡、融合、整体感、及时响应、反射声纹理、无回声、动态范围、背景噪声、声音的均匀性和影响音质的附加因素^[16]。由于这 18 个术语不是每一个都能使用主观参量来测量,例如对反射声纹理来讲,能感觉出早期反射声到达耳朵的排列顺序是否均匀的人很少。考虑到本次调查的主体是观看京剧演出的观众,并为了本次问卷设计的严谨性和全面性,此次调查问卷中选用了 8 个评价因素,分别是清晰度、丰满感、亲切感、环绕感、视在声源宽度、声像平衡、温暖感、嘹亮感,这 8 个评价因素大体上能够涵盖声音的重要方面,也是声学界意见比较统一的共同的语言。

(1) 清晰度

语言的清晰度首先是指听得清听得懂,它与声音频率、失真、声强、噪声环境有关,一般来说凡失真小、中高音丰富、信噪比高、混响短,响度适宜的声音清晰度高。

(2) 丰满感

丰满感指在厅堂内听音过程中,由于房间内各界面的反射对直达声所起的加强和烘托作用。一般称缺乏反射声的声场环境为干涩或沉寂。一般而言,混响时间长则丰满感增加而清晰度下降。

(3) 亲切感

亲切感指听众在较小空间的厅内听音的感觉,是对厅堂大小的听觉印象。反射声初始时延间隙 $IDDG(t_1)$ 对增加直达声强度和提高了亲切感有作用。

(4) 空间感(环绕感和视在声源宽度)

空间感,为使听众产生被声音所包围的感觉。空间感是两个因素的综合,即环绕感(LEV, Listener Envelopment)及视在声源宽度(ASW, Apparent Source Width),且两者是各自独立的参数。舞台演出或重放时,使听众感觉是在某一空间发出的声音,由于人耳听到的除前方来的直达声外,还有来自侧面的反射声和厅内的混响声,所以在人耳感受上具有声音的空间感。侧向声能因子 LF 及双耳互相关系数 IACC 主要对音质空间感产生影响。IACC 越低或 LF 越大,表示空

间感越强。

(5) 声像平衡

指声源定位准确，各声部方位在舞台中稳定而不漂移，左右侧相对平衡，中间没有空洞现象，既有明确的定位感，又有总体的融合感。

(6) 温暖感

温暖感通常指低音的活度，低频反射声丰富的音质称为具有温暖感。温暖感的客观参数用低频（125Hz、250Hz）混响时间与中频（500 Hz、1000 Hz）混响时间的比值来表征，以 BR（Bass Ratio）来表示。

(7) 嘹亮感

明亮、清脆、谐音丰富的声音认为是“嘹亮的”，音调里中、高频成分丰富而且衰减较慢。

相关研究表明，声学参数和主观听觉感受之间有着复杂的对应关系，对于某一种听觉感受可能不一定只和某一个客观参数有关系，所以本研究采用的是目前比较公认的常用客观声学参数与主观参量的对应关系，见表 3-1。第一列是音质客观声学参数的符号，中间一列是对应的声学属性，最后一列是与客观声学参数对应的主观参量，即客观声学参数所影响的主观听觉感受。其中，直达声后 80ms 以内的时间段为“早期”，80ms 内的直达声与反射声能为“早期声能”，直达声后 80ms 之后的混响声能为“后期声能”。

表 3-1 音质客观声学参数及与主观感受的对应关系

客观声学参数符号	声学属性	主观参量
RT	混响时间	丰满感、清晰度
ERT	早期衰变时间	
C_{80}	早期声能与后期声能之比	清晰度/明晰度
$IACC_E$	双耳互相关系数（早期）	空间感
G_{low}	低频（125~250Hz）强度因子	
LF	侧向声能比	
$IACC_L$	双耳听觉互相关系数（后期）	环绕感
ITDG	初始时延间隙	亲切感
BR	低音比	温暖感
G	强度因子	响度

为使被调查者对问卷有更好的理解使之准确的反馈自己的感受，所以将问卷内容进一步口语化，将声学领域的专业词汇转换成较口语的方式，内容如下表

3-2。问卷调查时发放通过口语化转换整理后的问卷。

表 3-2 问卷评价因素的转换

专业术语	转换
清晰度	演员演唱的唱词能听清楚
	乐器伴奏的声音能准确辨识
丰满感	演员演唱的声音要浑厚、丰满，不干涩
	乐器伴奏的声音要浑厚、丰满，不干涩
亲切感	演员与观众之间有交流，感觉演员距离自己很近，有亲切感
环绕感	声音有环绕感，感觉声音来自上方、前方、后方等多个方向
视在声源宽度	演员和伴奏的声音在听觉上的宽和窄
声像平衡	声音和形象是同步、不分离的，不是声音在一个方向而演员在另一个方向
温暖感	低音丰富，感觉声音浑厚、温暖
嘹亮感	高音嘹亮，感觉声音明亮、干净
响度	声音大小

3.3.2 问卷内容

本研究的问卷共包括三个部分，即量表部分、开放性作答部分和基本情况调查部分。

（1）量表部分共 10 个题目，主要是研究不同人对京剧的多个声音效果的看重程度。从心理学指标出发，采用不同的等级描述每个评价因素，本研究采用的是李克特五分量表。每题的回答选项为 5 个，依次为：很不重要、较不重要、一般、比较重要、非常重要。这些评价等级基本上概括了个体反应的差异，请求被调查者根据自己的听觉感受针对每个评价因素给做出等级判断。

（2）开放性作答部分共有 3 个题目，主要是想了解观众对京剧声音效果的关注点是什么，以修正问卷题目的设置。并且这些开放性回答，也真实的反映了他们对京剧艺术、京剧厅堂的现状的一些见解，可以为相关的研究提供一些事实依据。

（3）基本情况部分共 3 个题目，内容包括被调查者观看京剧演出的频率、性别、年龄等，由被调查者根据自己实际情况填写。

具体的问卷内容见附录。

3.4 调查基础情况概述

3.4.1 数据采集方法

本问卷调查采用随机抽样的研究方法。在演出开始之前半小时，在观众厅入口处向入场观众随机发放问卷。这种问卷的随机发放方法是一种较为常见的总体抽样方法，可以避免在观众就坐后发放问卷造成的混乱局面。在演出结束后回收问卷，京剧演出时间约 2~2.5 小时的时间，被调查者可在演出之前或中场休息时做出回答。



图 3-1 问卷调查现场

3.4.2 调查剧院的基本概况

调查问卷的发放地点为两个，分别是天津市内的中华剧院和滨湖剧院，这两个剧院是目前为止天津市内进行京剧演出最多的两个剧院，也是天津市内上座率最高的两个剧院，有利于获得大量的样本。

中华剧院位于天津市河西区平江道与隆昌路交口，是以上演京剧为主的剧场，剧场面积约 7500 平方米，共有 1006 个坐席。（图 3-2）

滨湖剧院是国家重点京剧院团——天津京剧院的专属剧场，是天津市内设施最好、功能最全的现代化剧场之一。剧场观众厅共有上下两层，楼上有 248 座，楼下有 574 座，共计 822 个座位。（图 3-3）



图 3-2 中华剧院外景



图 3-3 滨湖剧院外景

3.4.3 调查样本统计

在不同的演出日期，分别在中华剧院对观众做了三次问卷调查，具体调查情况见表 3-3，共发放问卷 300 份，回收 96 份，回收率为 32%，将题项作答不完整或随意作答的问卷（大多题目的作答完全一致、问卷填写明显不符合逻辑）剔除，经过剔除无效问卷后，得到有效问卷 60 份，有效率为 62.5%。同样，在滨湖剧院对观众做了三次问卷调查，具体调查情况见表 3-3，共发放问卷 300 份，回收 120 份，回收率为 40%，将题项作答不完整或随意作答的问卷剔除，经过剔除无效问卷后，得到有效问卷 91 份，有效率为 75.8%。

表 3-3 问卷调查情况表

地点	演出剧目	演出日期	问卷份数		
			派出问卷	回收问卷	有效问卷
中华剧院	《祭塔》 《失街亭·空城计·斩马谲》	2014.04.22	100	35	22
	《苏小妹》	2014.04.23	100	29	22
	《红娘》 《白马坡·斩颜良》	2014.05.17	100	32	16
	总计		300	96	60
滨湖剧院	《王宝钏》上部	2014.04.25	100	30	24
	《王宝钏》下部	2014.04.27	100	49	39
	《乾坤福寿镜》	2014.05.17	100	41	28
	总计		300	120	91

样本的基本情况包括被调查者的性别、年龄、观看京剧演出的频率三大方面。

（1）被调查者的性别描述

对回收的 151 份有效问卷的观众性别进行了初步分析，从表 3-4 可以看出，

被调查者中共有男性 81 人, 占总人数的 53.6%, 女性共有 70 人, 占总人数的 46.4%。总体性别比例比较均衡, 但男性比例稍高于女性。

表 3-4 性别统计分布表

性别	人数 (人)	百分比 (%)	累积百分比
男	81	53.6	53.6
女	70	46.4	100.0

(2) 被调查者的年龄描述

本研究把被调查者的年龄划分为五个阶段, 分别是 30 岁以下、31~40 岁、41~50 岁、51~60 岁、61 岁以上。

从表 3-5 可以看出, 年龄在 30 岁以下的 27 人, 占总人数的 17.9%; 年龄在 31~40 岁之间的 10 人, 占总人数的 6.6%; 年龄在 41~50 岁之间的 16 人, 占总人数的 10.6%; 年龄在 51~60 岁之间的 42 人, 占总人数的 27.8%; 年龄在 61 岁以上的 56 人, 占总人数的 37.1%。受访者基本涵盖了各个年龄段, 尤其是 51 岁以上人群较大, 占到总数上的一半以上, 可以看出目前观看京剧的观众还是以老年人居多, 年轻人较少。

表 3-5 年龄统计分布表

年龄	人数 (人)	百分比 (%)	累积百分比
30 岁以下	27	17.9	17.9
31~40 岁	10	6.6	24.5
41~50 岁	16	10.6	35.1
51~60 岁	42	27.8	62.9
61 岁以上	56	37.1	100.0

(3) 被调查者观看京剧演出的频率描述

本研究对观看京剧演出的频率是通过分析被调查者过去一年中观看京剧演出的场次实现的, 根据问卷结果, 将观众作答的次数归为区间划分, 分别是小于 3 场、3~10 场、大于 10 场。从表 3-6 可以看出, 观看场次在 3 场以下的 22 人, 占总人数的 14.5%; 观看场次在 3~10 场之间的 51 人, 占总人数的 33.8%; 观看场次在 10 场以上的 78 人, 占总人数的 51.7%。被调查者有很大比例是经常观看京剧演出的观众, 从一定程度上可以保证本研究的可信度。

表 3-6 观看频率分布表

年龄	人数（人）	百分比（%）	累积百分比
3 场以下	22	14.5	14.5
3~10 场	51	33.8	48.3
10 场以上	78	51.7	100.0

3.5 问卷信度和效度检验

3.5.1 问卷信度检验

为了保证问卷的可靠性与稳定性，需要对问卷进行信度检验。本研究的信度分析采用 Cronbach's Alpha 系数的计算方法。 α 被称为信度系数，其值越大，说明问卷测量的可靠性越高。本研究采用 SPSS20.0 软件对收集到的有效问卷的数据进行计算，得到问卷信度分析的 Cronbach α 值，见表 3-7 所示：

表 3-7 问卷信度分析

可靠性统计量		
Cronbach's Alpha	基于标准化项的 Cronbach's Alpha 值	项数
0.802	0.806	10

依据 Nunnally（1978）的研究认为 Cronbach α 值 ≥ 0.700 时，表明该量表是具有信度的，是能够接受的。分析结果显示， α 系数和标准化后的 α 系数在 0.800 以上，说明本次问卷调查所得的数据可靠性较高。

3.5.2 问卷效度检验

为了考察问卷设计的合理性，需要对问卷进行效度检验。本研究主要采用的是内容效度。内容效度主要用来反映问卷涵盖的内容与研究主题的切合程度。本研究的问卷设计是以国内外已成熟的理论研究为基础，结合研究对象的特殊性，经过实地调研和访谈后的修正，并与老师和博士生进行探讨和反复论证，因此本文研究的问卷量表具有较高的内容效度。

3.6 问卷调查结果分析

问卷中的题目主要从京剧演出声音效果的清晰度、丰满感、亲切感、环绕感、视在声源宽度（ASW）、声像平衡、温暖感和嘹亮感这 8 个方面进行讨论。为了

解人们欣赏京剧时，对这 8 个音质主观参量的看重程度，本研究通过 SPSS 20.0 软件对问卷进行描述统计分析。

为了量化问卷，对每个问题的 5 个选项采用赋值的方法：“非常重要”为 5 分，“比较重要”为 4 分，“一般”为 3 分，“较不重要”为 2 分，“很不重要”为 1 分，具体见表格 3-8。将收集到的全部有效问卷进行相应的赋分后，再利用计算机软件对分值统计结果进行量化分析。

表 3-8 赋值方法

评价因素								评价语	赋值
清晰 度	丰 满 感	亲 切 感	环 绕 感	声 像 平 衡	温 暖 感	嘹 亮 感	视在 声源 宽度	很不重要	1
								较不重要	2
								一般	3
								比较重要	4
								非常重要	5

对收回的有效问卷进行整理，被调查者对于京剧音质的主观评价得到如下表数据（表 3-9）。中数显示清晰度、丰满感、声像平衡和嘹亮感的主观评价大多为 5（非常重要），亲切感、环绕感、温暖感和视在声源宽度的主观评价大多为 4（比较重要）。

表 3-9 主观评价统计表

评价因素	最小值	最大值	中数	平均值	标准差	方差
演员演唱的清晰度	2	5	5	4.77	.482	.233
乐器伴奏的清晰度	2	5	4	4.15	.812	.659
演员演唱的丰满感	2	5	5	4.67	.562	.316
乐器伴奏的丰满感	2	5	5	4.50	.672	.452
亲切感	1	5	4	4.11	.906	.821
环绕感	1	5	4	4.01	.959	.920
声像平衡	1	5	5	4.52	.773	.598
温暖感	2	5	4	4.22	.799	.639
嘹亮感	3	5	5	4.56	.606	.368
视在声源宽度	3	5	4	4.30	.671	.451

从主观评价的频次图看出(图 3-4), 演员演唱的清晰度、演员演唱的丰满感、声像平衡、嘹亮感及伴奏的丰满感在 5(非常重要)水平上得到频次最多的评价, 环绕感在 5(非常重要)水平上得到频次最少的评价。在 1(很不重要)和 2(较不重要)水平上, 环绕感、亲切感的得到的评价均最多。

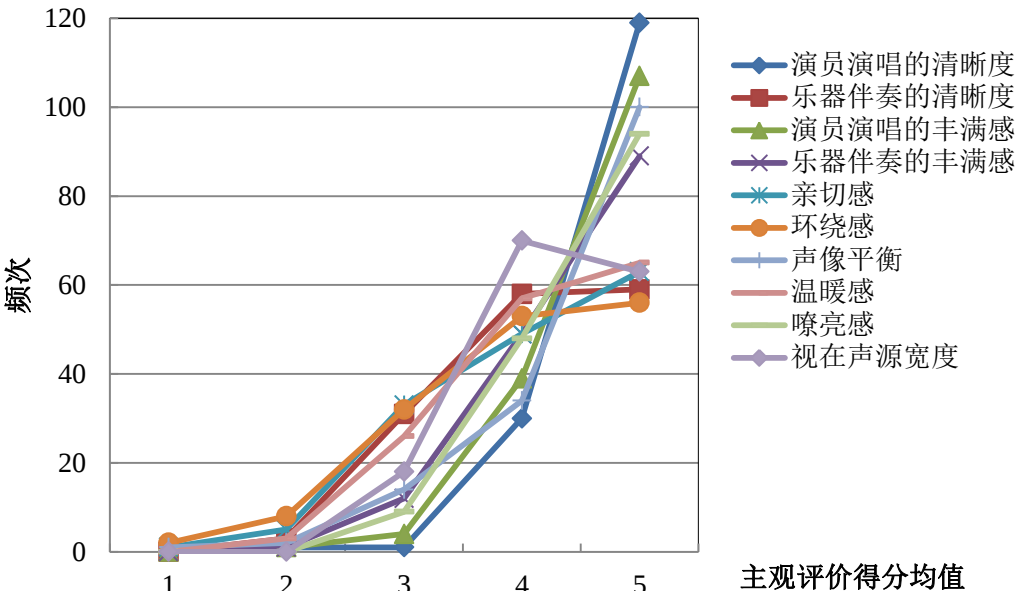


图 3-4 主观评价频次图

3.6.1 方差分析

方差分析 (Analysis of Variance, 简称 ANOVA), 用于多个样本均值差别的显著性检验。本研究主要分析不同性别、年龄的被调查者对京剧声音看重程度上的差异, 通过单因素方差分析得到答案。单因素方差分析用于检验单个因素取不同水平时某因变量的均值是否有显著变化。

1、基于性别的方差分析

表 3-10 是基于性别的单因素方差分析结果。结果表明, 在 0.05 的显著水平下, 不同性别的被调查者在声像平衡 ($0.047 < 0.05$)、嘹亮感 ($0.041 < 0.05$) 上有显著差异。在其余的因素的评价上无显著性的差异, 即不受性别的影响。表 3-11 的均值栏显示出在声像平衡和嘹亮感这两个因素上, 大体呈现出的趋势是男性对其重视程度要高于女性。

表 3-10 基于性别的单因素方差分析表

		平方和	df	均方	F 值	显著性
演员演唱的清晰度	组间	0.126	1	0.126	0.398	0.529
	组内	47.317	149	0.318		
	总数	47.444	150			
乐器伴奏的清晰度	组间	0.038	1	0.038	0.058	0.810
	组内	98.756	149	0.663		
	总数	98.795	150			
演员演唱的丰满感	组间	0.040	1	0.040	0.171	0.680
	组内	34.847	149	0.234		
	总数	34.887	150			
乐器伴奏的丰满感	组间	0.133	1	0.133	0.292	0.590
	组内	67.616	149	0.454		
	总数	67.748	150			
亲切感	组间	0.259	1	0.259	0.314	0.576
	组内	122.827	149	0.824		
	总数	123.086	150			
环绕感	组间	3.265	1	3.265	3.612	0.059
	组内	134.708	149	0.904		
	总数	137.974	150			
声像平衡	组间	2.342	1	2.342	3.996	0.047
	组内	87.327	149	0.586		
	总数	89.669	150			
温暖感	组间	0.365	1	0.365	0.570	0.451
	组内	95.423	149	0.640		
	总数	95.788	150			
嘹亮感	组间	1.537	1	1.537	4.270	0.041
	组内	53.616	149	0.360		
	总数	55.152	150			
视在声源宽度	组间	0.035	1	0.035	0.076	0.783
	组内	67.555	149	0.453		
	总数	67.589	150			

表 3-11 声像平衡、嘹亮感的描述性统计

	性别	N	均值	标准差
声像平衡	男	81	4.66	0.863
	女	70	4.52	0.634
嘹亮感	男	81	4.67	0.672
	女	70	4.56	0.503

2、基于年龄的方差分析

表 3-12 是基于年龄的单因素方差分析结果。结果表明，在 0.05 的显著水平下，不同年龄的被调查者在全部因素的评价上无显著性的差异。

表 3-12 基于年龄的单因素方差分析表

		平方和	df	均方	F 值	显著性
演员演唱的清晰度	组间	1.095	4	0.274	0.862	0.488
	组内	46.349	146	0.317		
	总数	47.444	150			
乐器伴奏的清晰度	组间	3.832	4	0.958	1.473	0.213
	组内	94.963	146	0.650		
	总数	98.795	150			
演员演唱的丰满感	组间	.126	4	0.032	0.132	0.970
	组内	34.761	146	0.238		
	总数	34.887	150			
乐器伴奏的丰满感	组间	2.749	4	0.687	1.544	0.193
	组内	64.999	146	0.445		
	总数	67.748	150			
亲切感	组间	5.921	4	1.480	1.845	0.123
	组内	117.165	146	0.803		
	总数	123.086	150			
环绕感	组间	6.006	4	1.502	1.661	0.162
	组内	131.967	146	0.904		
	总数	137.974	150			
声像平衡	组间	4.726	4	1.181	2.031	0.093
	组内	84.943	146	0.582		
	总数	89.669	150			

温暖感	组间	3.377	4	0.844	1.334	0.260
	组内	92.411	146	0.633		
	总数	95.788	150			
嘹亮感	组间	1.486	4	0.371	1.010	0.404
	组内	53.667	146	0.368		
	总数	55.152	150			
视在声源宽度	组间	.716	4	0.179	0.391	0.815
	组内	66.873	146	0.458		
	总数	67.589	150			

3.6.2 均值分析

平均值能反映出样本的集中趋势，让研究者准确把握数据的总体分布特征。对 8 个评价因素的平均值进行统计，结果如表 3-9 所示。其中，分值越高表示该评价因素在观众中的受重视程度越高。对 8 个评价因素的得分均值进行了排序，见表 3-13。

表 3-13 评价因素的重要性排序

因素	演唱 清晰度	演唱 丰满感	嘹亮感	声像平衡	视在声源宽度	温暖感	亲切感	环绕感
排序	1	2	3	4	5	6	7	8

1、清晰度、丰满感的得分均值是最高的，说明观众在听京剧时十分看重唱词的清晰和声音的圆润饱满，这也符合人们听京剧讲究“字正腔圆”的传统。字、腔是京剧唱腔两个最基本的组成部分。字指唱词，腔指唱词的单字唱出之后延伸出来的旋律，即拖腔。所谓“字正”，就是把字音准确地、清楚地唱出来，使字字入耳，唱词让观众听懂；所谓“腔圆”，就是按字行腔，感情充沛，悦耳动听。由此可见，在京剧演出厅堂的音质设计中，如何将演员本身演唱出的“字正腔圆”的声音经各界面的反射、吸收等情况再传递到观众席后，观众也听得到“字正腔圆”的声音是非常重要的。

2、嘹亮感的得分均值是第三高的，说明观众还是很希望京剧演出的厅堂有一定的嘹亮感，通常意味着中、高频的混响时间要长一些。

3、声像平衡的得分均值也较高，说明观众欣赏京剧时比较在乎声音和形象的同步。如果剧院内使用扩声设备不当，很可能会造成声像不同步的现象，在设

计扩声系统时要重视这一点。

4、视在声源宽度（ASW）和环绕感（LEV）的排序比较靠后，其中 LEV 分值是最低的。它们作为空间感的两个方面，也表示听众欣赏京剧演出时相对不重视空间感受。

5、温暖感的排序比较靠后，说明观众相对不重视低音的丰满，这与嘹亮感得分较高是相符的。

6、亲切感的排序也比较靠后，说明观众相对不追求听觉的亲切感。若要在听感上有“亲切感”，则要求厅堂内在直达声之后 20~35ms 内有较强的反射声，像在规模比较大的京剧院中，要靠布置专门的反射面实现“亲切感”。

3.7 响度问题分析

京剧的演唱以唱腔为主，器乐为辅（由管弦乐器、打击乐器组成），在演唱中器乐起拖腔、伴奏的作用。但在前期调研过程中发现，由于剧院内使用扩声设备，使得打击乐器的响度偏高，存在演员声音被较高的乐器声所掩盖的现象，影响了唱词的清晰度。虽然观看京剧演出的观众里中老年人占多数，他们的听力状况并不是很理想，但从调研的情况看，多数中老年观众表示过高的乐器音量使他们在整个演出结束后耳朵很不舒服。几位较年轻的观众反映观众席的音响都震耳欲聋，到了难以忍受的地步，这也许是为什么京剧在年轻人中群体中不受欢迎的原因之一。

为了进一步了解“认为乐器音量过大，不适宜”这一主观感觉在观众中是否具有普遍性。所以在问卷中加入了“乐器伴奏响度和演员演唱响度大小关系”的题目，对回收的有效问卷进行统计后的结果如表3-14。

表3-14 响度问题的问卷调查

	人数（人）	百分比（%）	累积百分比（%）
演唱的响度低于乐器的响度	4	2.6	2.6
演唱的响度与乐器的响度相适宜	112	74.2	76.8
演唱的响度高于乐器的响度	35	23.2	100.0

从表3-14可以看出，大部分被访者（占总数的74.2%）认为乐器伴奏和演员演唱这两者的响度要大小合适，演员音量过低会造成观众听不清楚，而乐器音量过高则会使人听起来不舒服。另外，也有相当一部分被访者（占总数的23.2%）认为，演员演唱的响度要高于乐器的响度，听清楚演唱内容是最重要的。

总体上看，人们是不希望乐器的音量过高，所以我们建议京剧院内使用扩声设备时，要合理设置参数，与管弦乐同奏时要降低打击乐的音量，并与演员演唱的音量相和谐。

3.8 扩声问题分析

本研究的问卷中大部分的题目是关于音质主观感受的，并不能全部涵盖京剧的各个方面。为此设置了三道开放性题目，被调查者可根据自己的想法自由回答。在归纳被访者答案的过程中，发现京剧演员佩戴胸麦的扩声问题被大部分被访者提及，多数观点都涉及到应尽量减少扩声设备的使用，应向自然声演出发展。

对于京剧的演唱和伴奏，虽然完全有条件可以采用自然声演出，但目前却很少见，绝大部分演出都使用扩声系统，这与观众厅的容积较大不无关系。由于京剧演员的演唱发声方式不同于西方歌剧和现代歌剧，并且有相当多的道白说词，所以在容纳千人以上的剧院内演出，往往不得不依靠扩声系统。

3.8.1 存在的问题

京剧的扩声主要是指演员演唱通过传声器（俗称话筒）拾音、放大器放大，再由扬声器发声，主要作用是将自然声加以扩大，提高声音的响度。建国前的戏院都比较小，并均以自然声演出。建国后为了在地方戏中发展京剧，在全国各主要城市组织京剧团，修建京剧院，且规模都很大，在1500座左右。自然声（演唱或乐器演奏）的声功率是有限的，因此剧院的容积越大，声能密度就越低，也即响度越低，所以在演出方式上就采用扩声系统。使用扩声设备主要会带来以下几个方面的问题：

- （1）在传声过程中，不可避免存在失真。
- （2）由于演员在台上移动容易产生杂音。
- （3）胸麦具有灵敏度高、指向性差的特点，易出现声反馈（啸叫）现象。
- （4）有可能破坏原始声源的方位感，视听方向不一致，影响真实感。
- （5）致使现在的演员在基本功（演唱）训练方面受到不良影响，依靠胸麦来表现唱功而不是加强训练。
- （6）演员的音色可以利用话筒、调音台和音箱的作用进行改变，在这种情况下，场下的观众很可能辨不出究竟是技术的能力还是演员的功力了。长此以往，也许京剧艺术会在技术的遮掩下失去本身的尊严和魅力。

3.8.2 扩声使用建议

虽然使用扩声存在很多的问题，但是由于目前京剧院的规模比较大，且加上部分演员的嗓子训练水平有限，发音的音量不够大这一实际情况，仍需以电声弥补不足，所以京剧采用扩声系统还会持续相当长的一段时间。在这种情况下，配置一个良好的扩声系统就尤其重要，以下是几点建议：

(1) 扩声工程设计中，扬声器的布局要合理，应尽量满足以下三点要求：一是对所有观众提供满意的响度并使声场分布均匀；二是保持原始声源的方位感，使观众听到的声音和演员的移动来自同一方位，取得听觉和视觉的统一，避免让观众感到声音来自与原始声源偏离很大的某个扬声器方位；三是控制声反馈来防止“啸叫”，并避免回声及颤动回声。

一般来说，扬声器集中式布局要优于分散式布局^[4]。台口上方布置集中式扬声器系统的真实感较好，经过放大的声音有来自声源方向的感觉，视听一致。这样能提高全厅的响度和清晰度，而且观众觉察不出声音是来自扬声器。不推荐在台口两侧布置扬声器，这种布置带来两个不可忽视的问题：一是声像在水平方向上明显地偏离实际声源，对前排观众尤其难以接受；二是台口两侧对称的扬声器将会造成大厅中心线上的干涉声场，头部略微偏动一下，便感到忽轻忽响的效果，十分糟糕。在台口两侧台面上安放扬声器更为不妥，除了上述两个缺点以外，还会增加对传声器的声反馈，使扩声系统增益受到限制。

(2) 选择合适的扬声器辐射角，将声能主要集中射向观众席并被吸收掉，不射向或少射向反射性强的地面、墙面和平顶，这样可使观众接受到来自扬声器的直达声比大厅的混响声大得多，能够提高清晰度。

(3) 扩声系统工作状态要稳定，不因反馈啸叫而使正常扩声中断，为此妥善处理扬声器和传声器的相对位置非常重要。若将扬声器对着传声器而且距离很近，反馈就非常严重，此时扩声系统是无法正常工作的。将扬声器放在远离传声器的位置，反馈现象就会减至最小。但扬声器主要是为观众服务的，其首要考虑是如何最佳地覆盖大片观众席，有时便会与防止反馈产生矛盾。

从京剧艺术长远发展的角度来看，今后还应努力向自然声演出发展，逐步放弃使用胸麦，像交响乐、歌剧那样，要求自然声演出。因为音响技术进入戏曲剧场一定是辅助性的、适度的，若滥用音响则可能导致演员演唱能力的退化和审美标准的迷失。因此，在今后京剧院的建设中，应适当压缩规模，以不超过1000座为宜^[11]，同时保证观众厅演出时的噪声水平（包括各设备噪声和观众噪声以及户外环境噪声的影响等）在一定限值内。此外，演员的嗓子训练也应达到相应的水平，通过自身实力将演唱的声音清晰、自然地传送给观众。

3.9 本章小结

本章主要讨论了针对京剧音质主观感受的问卷的设计、调查情况及调查结果。从调查结果可以看出,观众欣赏京剧时更喜欢声音具有清晰度和丰满感,这些主观参量与客观声学参数中的混响时间 RT 密切相关。一般来讲, RT 长则丰满感增加而清晰度下降,但混响时间过长对清晰度不利,过短会对伴奏和演唱的丰满感产生影响。所以,选择合适的混响时间尤为重要,能够兼顾唱词的清晰、伴奏和演唱的丰满。

从调查结果还可以看出观众普遍认为京剧演出时打击乐器音量过高,不仅降低了演员演唱的清晰度而且过高的音量让人听起来不舒服。并且响度是其他参数的基础,因为响度过小会导致不能清晰地得出其他主观感觉,但响度过大也会破坏对其他主观感受的好感。

因此,得到适合京剧演出的混响时间和响度的优选值或优选范围具有一定的实用价值。为此,在接下来的研究中分别针对这两个参数进行实验室主观优选研究。

第四章 混响时间主观优选实验研究

混响时间 RT 是厅堂建筑声学设计中的最重要指标，也是唯一没有争议的定量指标^[40]。进行混响时间主观优选研究的主要目的是为了获得京剧演出厅堂适宜的混响时间，从而为京剧厅堂音质设计提供建议。

在京剧演出中，与听觉有关是演员的歌唱和乐队伴奏两大部分，并且乐器在绝大多数场合下是为唱伴奏。演员的歌唱包括唱腔和念白，两者在音色上有较大的差异，各行当的唱腔也各有音色特点。为探讨混响时间优选值是否存在行当、演唱节奏及唱、念之间的差异，选取了有代表性的 4 个行当的京剧唱腔，每个行当又分别有快节奏和慢节奏 2 个片段，加上 2 种类型的念白片段，共 10 个京剧片段作为实验素材。

混响时间主观优选实验的整体思路是：首先，在半消声室内录制定选的 10 个实验素材的干信号；其次，通过 Odeon 软件的可听化技术模拟得到具有不同混响时间的脉冲响应样本；再次，将每个脉冲响应样本分别与 10 个京剧片段干信号进行卷积运算得到实验样本，并对得到实验样本进一步等响化处理后作为最终的实验样本；然后，在半消声室内组织一定数量的被试进行主观评价实验，10 个京剧片段共分为 10 个独立的小实验；最后，将得到的主观评价实验的结果经数据检验后再进行统计分析得到结论。

4.1 相关京剧知识简介

4.1.1 京剧的行当

角色行当是中国戏曲独有的表演体制，与话剧、歌剧、舞剧等艺术形式有明显不同。京剧行当的出现，是根据戏曲表演的实际需要，对复杂社会生活中各种人物形象，通过艺术提炼、加工，使之类型化、系统化、规范化的产物。京剧的行当突出了人物的内在特征，并把人物的内在特征加以外化而形成了京剧独特的人物塑造体系，在京剧这一整体性的舞台艺术中起着骨架的作用，同时也是京剧与其他戏剧形式不同的重要特征。京剧现在的行当共有生、旦、净、丑四个大类。

1、生行

“生”指的是京剧中除净、丑外的男性角色，又可分为老生、小生、红生、武生、娃娃生等几类。专门从事表演“生”的演员为生行，生行是京剧的主要行

当之一。

(1) 老生，主要扮演中老年男性，基本上是庄重、正直、忠厚的正面人物，如帝王、将相、大夫等。老生的唱念都是用大嗓，念韵白。按其表演技巧的不同可分为唱工老生、做工老生及靠把老生。唱工老生，以唱为主，是京剧中最主要的行当。做工老生，以表演为主。靠把老生，擅长武功。

(2) 小生，主要扮演面貌俊美的青年男子，基本上是风流倜傥、知书达理、温柔多情的正面人物。小生演唱用小嗓，念白兼用大小嗓，基本上念韵白。小生一般可分为文小生和武小生两大类。文小生是小生行中的重点，武小生表演上以念为主，以唱为辅，注重工架、造型、气度，要求基本功扎实。

2、旦行

“旦行”是专门从事表演不同年龄、性格、身份地位且具有典型性的女性。旦行又可分为青衣、花旦、武旦、刀马旦、花衫、老旦等几类。

(1) 青衣，又称正旦，以角色常穿着青褶子而得名，在旦行内是最主要的角色。青衣主要扮演端庄正派的中年女性，大多数为贤妻良母、或是贞节烈女等。青衣以唱工为主，做工为辅，唱念用假嗓，其唱腔深沉委婉，念韵白。表演动作上幅度较小，行动稳重。

(2) 老旦常扮演中老年妇女，年龄从五十岁左右到百岁开外，多为心善、贤良、正义的正派人物。唱、念以本嗓为基础，主要念韵白。表演动作上与其他行当也有不同之处，比如脚步、手法、眼法以及拐杖的使用等要突出老年人的特点。

3、净行

“净行”是专门从事表演爽朗豪放、忠烈刚毅、奸诈凶狠、鲁莽等类型的男性。面部勾勒脸谱，故又称为“花脸”。净行又可分为正净、副净、武净等几类。

(1) 正净，又称大花脸，饰演的多是地位较高、端庄肃穆的忠诚良将形象。正净以唱工见长，没有什么繁难的身段表演和说白。唱用宽音或假音，其唱腔要求宽宏高亢、铿锵有力。

(2) 副净，又称架子花脸，饰演的多是权臣奸相、绿林好汉、草莽英雄等正反面人物。副净以念白、工架见长，与正净重唱工形成明显的区别。唱念多用假音，主要是沙音和炸音；唱少念多，念白上多用京白。

(3) 武净，又称武花脸，饰演的多是性格刚猛暴烈的人物。武净以武功、摔打等技艺见长，唱念较少。表演上以“稳”、“准”、“狠”为特点，需要练就勇猛的武打功夫和跌打翻扑的绝活。

4、丑行

“丑”，又称小花脸，是京剧中的喜剧角色。其标志是在鼻梁上抹一小块白

粉。丑行表现的人物很杂，有机警伶俐、诙谐、忠厚善良的正面人物，也有阴险卑鄙、贪婪自私的反面人物，这些人物在形象上都很滑稽风趣。丑行不注重唱工，只重念白。丑行根据扮演人物的性格、身份等，细分成文丑、武丑两类。扮演女性的丑角中，年轻的妇女称为彩旦，年纪较大的妇女称为丑婆。

4.1.2 京剧的声腔

在京剧表演的“四功”（唱、念、做、打）中，唱（即京剧声腔）居首位。京剧在民间流传最广的也是那些经典的唱段，因为京剧的唱最能显示京剧音乐特色，也最具艺术表现力和感染力。京剧声腔的“声”是演唱之声的声，“腔”是旋律形成的腔调，“声腔”即唱腔。京剧声腔是皮黄腔系统（以皮、黄声腔为主），“皮”即“西皮”，“黄”即“二黄”，是板腔体结构，以板式组合、变化形式为特征。

在京戏中，两大主要声腔包括的板式见表 4-1（△表示有此板式，○表示是在新编历史剧和现代戏中新创的板式）。

表 4-1 声腔板式

板式 声腔	慢板			原板			二六			流水								
	慢 三 眼	慢 板	快 三 眼	慢 原 板	原 板	快 原 板	慢 二 六	二 六	快 二 六	慢 流 水	流 水	快 流 水	快 板	摇 板	散 板	滚 板	导 板	回 龙
二黄	△	△	△	△	△	△		○					○	△	△	△	△	△
西皮	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

“板式”通常指节拍、节奏、速度，即节奏特征。强拍称作“板”，弱拍称为“眼”。京剧非常重视板眼规则，对其要求严格，不可以荒腔走板。传统京剧的节拍板式有四种，见表 4-2。此外，在新编历史剧和现代戏中，出现了“二眼板”，即一板二眼（3/4 节拍）。

表 4-2 京剧的板眼

节拍	记谱方式	节拍形式				节拍分类
三眼板（即一板三眼）	4/4 拍	⊗ 板 强	○ 头眼 弱	○ 中眼 次强	○ 末眼 弱	慢板类

一眼板（即一板一眼）	2/4 拍	⊗ 板 强	○ 眼 弱	⊗ 板 强	○ 眼 弱	原板类
无眼板（即有板无眼）	1/4 拍	⊗ 板 强	⊗ 板 强	⊗ 板 强	⊗ 板 强	快板类
散（即无板无眼）	自由拍	节奏速度均较自由				散板类

京剧唱腔的节奏有其独有的表达方式，即由“板式”来确定。比如[原板]是 2/4 拍，放慢速度成了 4/4 拍，即变成了[慢板]；加快速度成了 1/4 拍，即变成了[流水]、或[快板]；若是将强弱拍节唱得再自由些，也就变成了[散板]；这种[散板]在伴奏上给以一定的节奏，按 1/4 的拍节去伴奏，使之紧拉慢唱，即是[摇板]了。各种板式由于节拍形式和节奏形态的不同，在表现功能上也各有特点。京剧常见板式及其总体节奏归纳如表 4-3。

表 4-3 常见板式及其总体节奏

板眼	唱腔板式	节拍	总体节奏	相对速度比较	表现功能
无眼板	西皮快板 西皮流水 西皮快二六 回龙	1/4	快速	速度大小： 西皮快板 > 西皮流水 ≈ 西皮快二六 > 回龙	字多腔少，用于 剧情紧张和人物 情急的场合。
一眼板	西皮慢二六 原板	2/4	中速	速度大小： 西皮慢二六 > 原板	腔调繁简适宜， 抒情与叙事两者 兼备
三眼板	快三眼 慢板 慢三眼 西皮原板 （旦角）	4/4	慢速	速度大小： 快三眼 > 慢板 > 慢三眼	字少腔多，旋律 性较强；以抒情 性为主；叙事性 为辅
无板无眼	散板 摇板 导板	自由	自由	散板：散拉慢唱，较慢 摇板：紧拉慢唱，较快 导板：慢拉慢唱，较慢	表现范围较广

4.1.3 小结

京剧演出中涉及到听觉的，主要是演员的歌唱（包括演唱和念白）和乐队伴奏。演员演唱的音色特点在不同行当间具有差别，念白这种独特的舞台语言不同于唱也不同于生活中的语言。为便于为后续的实验室研究提供实验素材的选择范围，本人将京剧行当、念白方式、发声特点等几项内容整合在一起，见表 4-5。

表 4-5 京剧行当、发声方法等汇总

行当		扮演角色	特点	念白方式	唱、念
生行	老生	中老年男子	唱工老生：以唱为主； 做工老生：唱念做打并重， 以做为主； 靠把老生：唱念做打并重；	韵白为主	真嗓
	小生	青年男子	武小生以打为主	一般念韵白	真、假嗓 结合
	武生	武将、英雄豪杰	以打为主，重身段工架	韵白	真嗓
	红生	关羽、赵匡胤	勾红脸		真嗓
	娃娃生	儿童	由儿童或身材较小的女演员 扮演		真嗓
旦行	青衣	端庄的中青年妇女	重唱工	韵白	假嗓
	花旦	妩媚、活泼的青年妇女	以做工为主，唱、念为辅	京白为主，有的 念韵白	假嗓
	刀马旦/ 武旦	武艺超群的女性	重身段工架（特别是打出 手）、念白	韵白为主	假嗓
	花衫	综合青衣/花旦/刀马 旦的特点	唱、念、做、打并重	韵白为主	假嗓
	老旦	老年妇女	唱工为主，也有重做工的	韵白为主	真嗓
净行	正净	忠诚良将	重唱工	韵白	
	副净	权臣奸相、草莽英雄	以工架、念白表演为主	京白为主，有的 念方言白	真嗓
	武净	战将、仙精妖怪	以武打为主，唱念很少		真嗓
丑行	文丑	滑稽人物	以念白为主，不重唱工	方巾丑念韵 白，其余文丑 多念京白	真嗓
	武丑	滑稽人物	以武打为主，念白为铺	一般念京白	真嗓
	彩旦/ 丑婆	滑稽女性	重念白、做工	一般念京白	真嗓

4.2 实验素材的选择

4.2.1 唱腔的选择

我国各地方戏曲的不同，首先是从声腔曲调和语音特点等方面表现出来的，所以唱腔在戏曲中占有最重要的位置，是各戏曲艺术特点的主要标志。

京剧的表演行当分为生、旦、净、丑四大类，各行当之间的最大区别就是发声的不同。大体上讲，可分作生腔和旦腔两大类。其中，最为观众喜爱和关注的是老生、小生、青衣和老旦这 4 个角色的唱腔，在京剧的唱工戏中也是以这 4 个角色为主。这 4 个行当的声腔各有特点，就以老生腔为基础，其他 3 个角色唱腔与之作比较：

（1）老旦唱腔，发声方法与老生相似，唱、念都用本嗓。其旋律运行在中、高音区较多，强调“雌音、衰音、苍音、沙音”等。“雌音”指女性固有的高、亮、脆、润等音色；“衰音”指类似颤音，表现人物的衰老感；“苍音”指老年妇女苍劲有力的音色；“沙音”指老年妇女带沙哑的音色，这些都是老旦行当特有的音色。

（2）小生，其使用小嗓唱、大小嗓（真假声）结合方法念白，这是小生的艺术特点，区别于生行其他男声的音色。其唱腔旋律兼有老生腔和旦腔的特点，以假声为主的发声，唱起来挺拔洒脱，刚柔并济，与扮演人物的俊美的外部形象相符。小生的小嗓发音不同于旦角，它更强调厚度和质感；与老生相比，用小嗓唱老生的劲头，取其刚劲而避其苍老。

（3）青衣唱腔，各腔节的节奏大致与老生唱腔相同。但由于其用假声演唱，音区与老生不同。

将以上 4 个角色的发声方法归纳总结，见表 4-6。

表 4-6 四个角色的发声方法

角色	老生	小生	老旦	青衣
发声方法	大嗓（真声）	大、小嗓（真假声）	大嗓（真声）	小嗓（假声）

4.2.2 念白的选择

京剧的念白主要分为京白、韵白、方言白三种。在京剧剧目中，也有少量念白占极重分量的戏，如《四进士》、《清风亭》等。

韵白是京剧中最常见的念白表现方式，韵律感强，在吐字上如同唱，是根据

徽剧、汉剧、昆曲等剧种的语言腔调，由中州音、湖广音和北方语音融合而成的，念起来抑扬顿挫、有节奏感。韵白给人严肃、端庄、沉稳的感觉，多用于正剧或悲剧性人物。京白与生活中的北京话较为接近，京白给人轻松活泼、亲切自然的感觉，多表现幽默诙谐的内容和情感。传统戏中，不同行当的使用的念白方式也有一定的程式，大体分类见表 4-7。

由于方言白在京剧中用的较少，为此本研究选择韵白和京白这两种念白形式作为实验素材的一部分。

表 4-7 不同行当的念白方式

行当或角色	念白方式
青衣、老旦、花衫、铜锤花脸、小生、老生、武生等	韵白为主
花旦、丑行、架子花脸	京白为主
彩旦、太监	京白

4.2.3 节奏的选择

音的丰满感和可分辨率或明晰度，都与音乐的演奏速度有关^[6]，这点也可应用到京剧的歌唱与伴奏中来。所以，选择实验素材时也考虑了节奏快慢的因素。

京剧在说明音乐速度的快慢和节奏的急缓时，常用板式表示。为此，在已选择的 4 个角色中，每个角色又各自选出节奏上有快慢区分的两个片段，即两段的板式有快板、慢板的区别。

4.2.4 确定实验素材

综合考虑唱腔、念白与节奏等方面的因素，最终选定的用于主观实验的京剧片段如下表 4-8 所示：

表 4-8 实验用京剧片段

	行当	代号	剧目名称	人物	唱段名称	板式	相对节奏
唱	青衣	A1	《春闺梦》	张氏	《可怜负弩充前阵》	西皮二六	慢
		A2				西皮流水	快
	小生	A3	《罗成叫关》	罗成	《勒马停蹄站城道》	慢板	慢
		A4				流水	快

	老旦	A5	《杨门女将》	佘太君	《趁月光瞭敌营山高势险》	二黄导板	慢
		A6	《四郎探母》	佘太君	《一见娇儿泪满腮》	西皮流水	快
	老生	A7	《捉放曹》	陈宫	《听他言吓得我心惊胆怕》	西皮慢板	慢
		A8	《四郎探母》	杨延辉	《坐宫》	西皮快板	快
	类别		剧目名称		人物	唱段名称	
念	韵白	A9	《萧何月下追韩信》		萧何	《将军千不念万不念》	
	京白	A10	《得意缘》		卢昆杰、狄云鸾	《教镖》	

下面详细介绍以上选定的各京剧片段在唱词等方面的内容：

(1) 青衣的唱腔选用的是剧目《春闺梦》的唱段《可怜负弩充前阵》。唱词及板式如下：

[西皮二六板]可怜负弩充前阵，历尽风霜万苦辛；饥寒饱暖无人问，独自眠餐独自行！可曾身体受伤损？是否烽烟屡受惊？

[西皮快板]生把鸳鸯两下分。终朝如醉还如病，苦依熏笼坐到明。去时陌上花如锦，今日楼头柳又青！可怜依在深闺等，海棠开日到如今。门环偶响疑投信，市语微哗虑变生；因何一去无音信？不管我家中肠断的人！毕竟男儿多薄幸，误人两字是功名；甜言蜜语真好听，谁知都是那假恩情。

以上是京剧《春闺梦》中最为人所熟知的一个唱段，也是最脍炙人口的唱段。

(2) 小生的唱腔选用的是剧目《罗成叫关》的核心唱段《勒马停蹄站城道》。唱词及板式如下：

[西皮慢板]：十指连心痛煞了人（哪）！上写着罗成奏一本，启奏秦王有道君。

[流水]多多拜上秦叔宝，三岁罗通你看承。本当再写各公位，袍短血干写不成。

《罗成叫关》是一出小生挑大梁的剧目，主要任务罗成由小生扮演，是小生行当的经典剧目。

(3) 老旦的唱腔选用的是剧目《杨门女将》的唱段《趁月光瞭敌营山高势险》和《四郎探母》的唱段《一见娇儿泪满腮》。两段的唱词及板式分别如下：

[二黄导板]：趁月光瞭敌营山高势险。

[流水]：点点珠泪洒下来。沙滩会一场败，只杀得杨家好不悲哀。儿大哥长枪来刺坏，儿二哥短剑下他就命赴阴台，儿三哥马踏如泥块，我的儿你失落番邦

一十五载未曾回来，唯有儿五弟把性情改，削发为僧出家在五台。

《四郎探母》是一出京剧优秀传统名剧，堪称经典。《一见娇儿泪满腮》中的[流水]字多腔少，而且越唱越快。

(4) 老生的唱腔选用的是剧目《捉放曹》的唱段《听他言吓得我心惊胆怕》和《四郎探母》的唱段《坐宫》。两段的唱词及板式分别如下：

[西皮慢板]听他言吓得我心惊胆怕，背转身自埋怨我自己做差。

[西皮快板]我和你好夫妻恩德不浅，贤公主又何必礼太谦。杨延辉有一日愁眉得展，誓不忘贤公主恩重如山。

《坐宫》中这几句[西皮快板]，非常紧凑，唱腔速度极快，干板垛字。

(5) 韵白的选用是老生的《萧何月下追韩信》中萧何的[念]：将军千不念，万不念，不念你我一见如故是！

(6) 京白的选用是《得意缘》中《教镖》一折，《得意缘》是出以花旦、小生为主、念做并重的喜剧。这戏除了少量韵白之外几乎全是京白。

4.3 干信号的录制

根据实验目的，需要将已选定的 10 个京剧片段进行干信号录制，录制选择在天津大学建筑学院的半消声室内进行。采用统一的设备录音（型号：EDIROL R-4Pro 硬盘录音机），传声器离声源距离 1m，采样频率为 44.1kHz，量化 16bit。录制的音频以*.wav 的格式保存。录音过程中没有环境噪声的影响。

干信号录制需要人员现场演唱，为避免由于演唱水平的问题对实验结果可能造成的影响，所以本文选择录音人员时要求其要有较高的演唱功底，以保证演唱的质量。参与本研究录音的人员中有国家一级演员、优秀演员、京剧教师和京剧表演专业学生，详细信息见表 4-9。

表 4-9 部分录音人员介绍

姓名	人员简介
凌珂	天津京剧院国家一级演员，余派老生，第五届全国青年京剧演员电视大赛金奖和白玉兰主角奖得主，天津戏剧家协会理事，天津市第十一届青联委员，第五届中国京剧优秀青年演员研究生班研究生。
王志刚	天津京剧院优秀青年演员，著名麒派老生，第六届全国青年京剧演员电视大赛优秀表演奖获得者。
胡颖欣	资深个体京剧教师、声乐教师，戏剧研究者，知名票友，京剧大师荀慧生、尚小云、芙蓉草、姜妙香、叶盛兰再传弟子。

4.4 混响时间的划分

在国外，J. Sarwono 和 Y. W. Lam^[33]曾通过混响时间优选实验研究印尼民族音乐厅堂适宜的混响时间。在国内，吴硕贤^[7]、孟子厚^[8]等人也通过优选实验研究中国民族音乐厅堂适宜的混响时间。本研究对混响时间的选择借鉴了以上实验的经验，又结合京剧本身的音色特点，确定将混响时间划分为 6 个，通过预备实验发现被试对这些混响时间的变化有反应。见表 4-10。

表 4-10 混响时间取值

实验研究		混响时间划分（s）												
J. Sarwono 等人		0	0.45	0.6	1.2				2.5		4.5			
吴硕贤等人		0	0.4	0.8	1.2	1.8	2.5				4.5			
孟子厚等人	琵琶	0.6				1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.4	2.6	3
	笛子	0.6				1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.4	2.6	3
	二胡	0.6				1.0	1.4	1.6	1.8	2	2.4	2.8	3.2	3.9
本研究		0.2	0.6	1.0	1.4	1.8			2.5					

4.5 实验样本的制作及处理

实验样本要求除混响时间是变量外，其他声学参数都一样，做到这一点就要用到室内声场的计算机模拟技术。经计算机模拟计算得到的厅堂中某一点的脉冲响应，据此计算一系列室内声学参数。这些参数包括混响时间 T_{30} 、早期衰减时间 EDT、语言传输指数 STI、侧向能量因子 LF、强度指数 G、清晰度 D_{50} 、重心时间 T_s 、声压级 SPL 等。

主观实验中用到的实验样本是由半消声室录制的京剧干信号和计算机模拟得到的脉冲响应卷积合成的。卷积运算是通过建筑声学设计软件 Odeon(9.1)的可听化模块进行的。首先使用 SketchUp 软件建立三维模型，然后以.3ds 文件格式输出，导入 Odeon 软件。模型的尺寸为长 28m、宽 26 m、高 12 m，是依据天津市内几座京剧院的规模估算的。声源点设置在舞台中轴线大幕线后 3m 的位置，接收点位于观众厅区域内中心点。

计算参数的选择会影响到模拟结果，为保证获得较为准确的模拟结果，本模拟中设置的声线数为 500000 条，转换阶次为 2 次，脉冲响应计算长度设置为 3500ms，脉冲响应采样率为 0.1s，如图 4-1 所示。经过计算可以得到接收点位置

的能量脉冲响应，同时得到该位置的众多的声学参数。

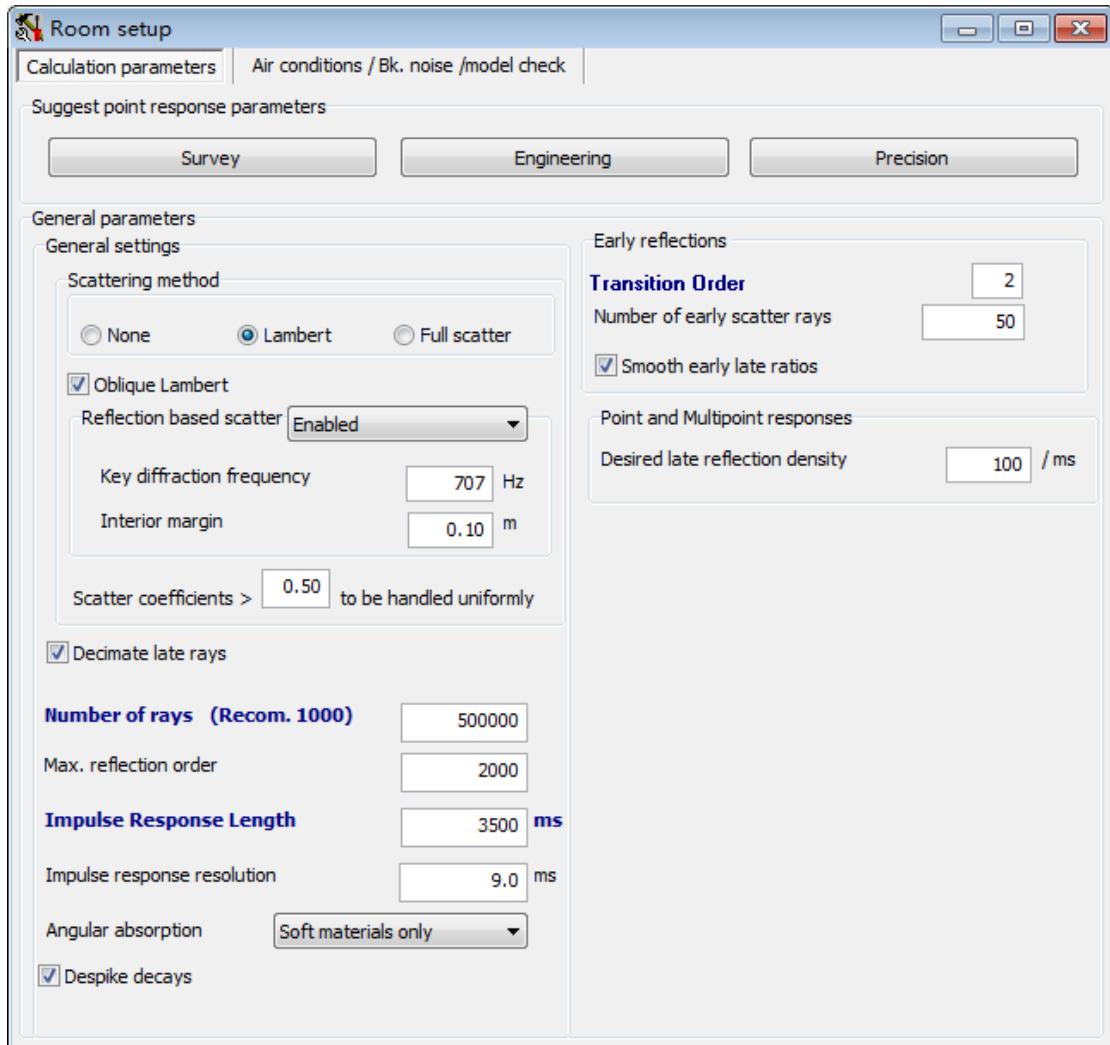


图 4-1 参数设定界面

本文使用 Odeon 软件进行模拟，该软件主要是通过改变各频带吸声系数的大小来得到 RT 的改变。为保证只改变 RT 这一个参数，所以除只调节吸声系数外，其他的参数设置固定。RT 还涉及到频率特性的问题，考虑到人耳最偏爱的 RT 的频率特性是平直的^[41]，为此模拟时要多次反复调节各频带的吸声系数，使得到的脉冲响应在 125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz 这 6 个倍频程上的混响时间 T_{30} 的值是平直的，表 4-11 为具体的不同混响时间频率特性。图 4-2 为其频率响应曲线。

表 4-11 混响时间的频率特性

混响时间 T_{30}	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
0.2s	0.2s	0.2s	0.2s	0.2s	0.2s	0.2s
0.6s	0.61s	0.59s	0.60s	0.60s	0.60s	0.61s
1.0s	1.00s	1.00s	1.01s	1.01s	1.00s	1.07s
1.4s	1.40s	1.40s	1.40s	1.40s	1.42s	1.41s
1.8s	1.80s	1.82s	1.80s	1.80s	1.80s	1.81s
2.5s	2.50s	2.50s	2.50s	2.51s	2.50s	2.49s

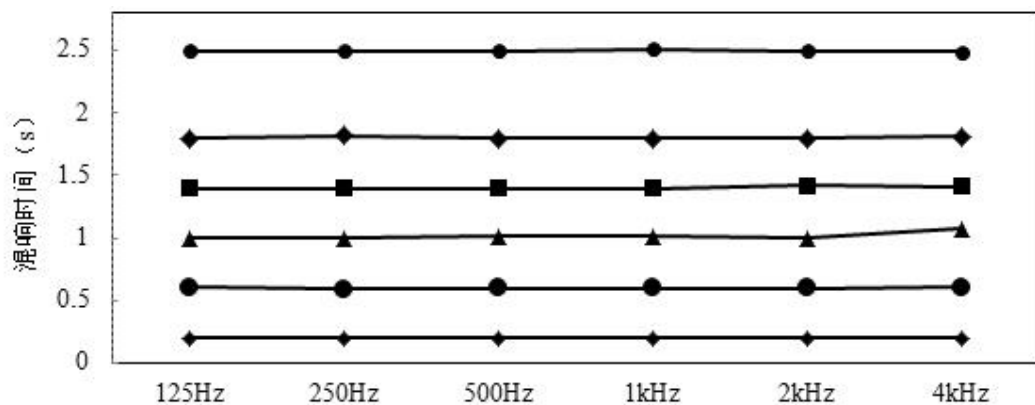


图 4-2 不同混响时间的频率特性曲线

将通过 Odeon 软件模拟得到的 6 个（0.2s、0.6s、1.0s、1.4s、1.8s 和 2.5s）混响时间的脉冲响应样本，分别与录制好的 10 个京剧片段干信号进行卷积运算得到全部实验样本，一共 60 个。

4.6 主观评价实验

4.6.1 实验方法

目前，进行主观评价实验常采用的方法有等级评分法、成对比较法、语义细分法等。这些方法各有优缺点，选择具体的评价方法时，可根据评价任务和需求来确定，针对不同的实验条件选用与之相适应的评价方法才能获得良好的评价结果。

等级评分法是将评价指标划分为若干个等级，每个等级又赋予特定的分值。实验中要求被试在听完样本以后给出相应的分值。该方法的优点是操作简捷、工作量相对较少，而且评价结果都是量化的数值可直接应用于后续的统计分析。但

是它的缺点也比较明显，一是对于没有经验的被试来说，评价尺度不好掌握；二是，不同被试之间的评判标准不一样，使用的等级制范围有差异，很可能造成结果数据波动性较大。

语义细分法是让被试对声音的多种属性进行评价，属性的描述多用一些极性的形容词，这些形容词之间细分几个等级，一般为五个、七个或九个。被试根据自己的主观感受从中选择等级进行评价，实验结束对等级赋值后可用于统计分析。由于该方法主要用于判断声音的多种属性，而本文研究不涉及声音的属性，所以不应用该方法。

成对比较法是一个两两强迫选择法，该方法将全部需要比较的样本配成对，随后一对一对地呈现给被试，让被试对两个样本做出相关的比较评价。相比其他的方法，成对比较法是一种相对比较精确的主观评价方法。在一次评价中被试只需评价当前比较组的两个样本之间的优劣，而不是所有的实验样本，对记忆能力的要求不高，能够分辨出样本之间差异。然而，在大样本量主观评价实验中，采用该方法会使得评价实验的耗时变得非常大，使实验难以实现，因为实验的工作量与评价样本的数量 N 的平方成正比，假设样本的总数为 N ，那么配成对的个数是 $N(N-1)/2$ 。所以在采用成对比较时，样本数量 N 建议不要超过 12~16，以避免被试人员的听力疲劳造成评价结果不准确^{[42][43]}。

鉴于本文主观评价实验的重点是需要得到每一个京剧片段的精确的混响时间优选值，并且需成对比较的样本数量为 6 个，并不是太多，所以选用成对比较法进行实验。

4.6.2 被试的选择

为了考察不同被试人群对京剧片段的最佳混响时间的判定是否存在差异，选取了两组被试人群进行实验。一组为经常观看京剧表演并对京剧唱腔有较深了解的演员和戏迷，称为经验组；另一组为普通的在校学生，对京剧的喜爱程度及听京剧的频率均不及经验组，用于代表普通大众，称为普通组。为了保证误差及个案排除后有足够的样本，将本次实验的被试数量定为 20 人以上，均无听力障碍，身体健康。

4.6.3 听音方式及采用的实验仪器

本实验的听音方式是在半消声室内采用扬声器放音，该听音方式比较符合人的真实感受，也便于多人同时试听。为避免扬声器的摆放位置、被试所处位置等因素影响实验结果，在实验中保证扬声器位置固定，被试位置处聆听平均声压级用声级计测定在 74dBA 左右。

实验用到的仪器主要有：SONY VAIO PCG-81111T 笔记本电脑、创新剑桥 Cambridge SoundWorks PCWorks 2.1 音箱。

4.6.4 实验详情

实验选在天津大学建筑学院建筑技术研究所的半消声室内进行，是为了减少环境噪声的影响。在半消声室内固定扬声器位置及座椅位置。座椅共放置两张，与音箱中心点的视距和视角均相等，以保证两座椅处的接收到的实验样本的声压级基本相同。

实验通过两两对比实验进行，每次实验由 2 个被试一起进行。实验正式开始之前，向被试交代实验任务并进行演示，让被试熟悉实验流程。实验方案的大体流程如下：实验准备→交代实验任务→实验演示→正式实验。



图 4-3 实验场景图

实验只要求被试对一对样本做出相对的偏爱判断即可。除研究人员外，被试均不知道所播放京剧片段的混响时间。评价时，一个实验样本一般只播放一次，如果被试有特殊要求时，可以多次重放。10 个京剧片段作为 10 组单独的小实验分别进行，分别为 I 组（青衣-快节奏）、II 组（青衣-慢节奏）、III 组（小生-快节奏）、IV 组（小生-慢节奏）、V 组（念白-韵白）、VI 组（念白-京白）、VII 组（老生-快节奏）、VIII 组（老生-慢节奏）、IX 组（老旦-快节奏）、X 组（老旦-慢节奏）。每组又各自进行 15 对样本的比较，因此每个被试在整个实验过程中，一共需要做出 150 次判断（ 15×10 ）。平均完成一组小实验时间在 12 分钟左右，两组中间休息 5 分钟，整个实验过半的时候休息 30 分钟，以避免被试听力疲劳，保证信

度和效度，整个实验总时间约为 3 个小时。

被试共 46 人，其中戏迷组 23 人，普通组 23 人，听力均正常。戏迷组年龄多在 60~80 岁之间，均具有多年的听京剧及演唱京剧的经历，其中不乏天津名票及京剧团退休职工，能够保证具有一定的专业高度。普通组为天津大学建筑学院的本科生和研究生，年龄在 20~30 岁之间。被试的年龄及性别统计见表 4-12、4-13。

表 4-12 被试性别统计分布表

性别		人数（人）	百分比（%）	累积百分比
戏迷组	男	15	65.2	65.2
	女	8	34.8	100.0
普通组	男	8	34.8	34.8
	女	15	65.2	100.0

表 4-13 被试年龄统计分布表

年龄	人数（人）	百分比（%）	累积百分比
30 岁以下	23	50.0	50.0
41~60 岁	4	8.7	58.7
61~70 岁	9	19.6	78.3
71 岁以上	10	21.7	100.0

实验采用成对比较法，下面就以“I 组（青衣-快节奏）”为例，说明是如何按照成对比较法进行实验样本的编排。实验没有考虑两个样本之间前后播放顺序的影响，例如假设比较了 0.2s 在前和 0.6s 在后的播放组合，将顺序颠倒后的组合（0.2s 在后和 0.6s 在前）则没有考虑。为避免让混响时间较小的样本统一在第一个播放或第二个播放容易给被试提示，因此对所有样本的比较组合的前后顺序进行了随机的调整。同时，为了消除实验顺序对于最终评价结果的影响，实验分别采用两种完全相反的顺序，并让被试中各约有一半的人采用这两种实验顺序。具体实验顺序见表 4-14。

表 4-14 实验样本的播放顺序

播放顺序（一）	第 1 个样本	第 2 个样本	播放顺序（二）	第 1 个样本	第 2 个样本
1	0.6s	1.0s	15	1.0s	0.6s
2	2.5s	1.4s	14	1.4s	2.5s
3	1.8s	0.6s	13	0.6s	1.8s

4	2.5s	0.2s	12	0.2s	2.5s
5	1.4s	0.6s	11	0.6s	1.4s
6	1.0s	1.4s	10	1.4s	1.0s
7	2.5s	0.6s	9	0.6s	2.5s
8	1.8s	2.5s	8	2.5s	1.8s
9	0.6s	0.2s	7	0.2s	0.6s
10	1.8s	1.0s	6	1.0s	1.8s
11	0.2s	1.0s	5	1.0s	0.2s
12	1.8s	1.4s	4	1.4s	1.8s
13	1.0s	2.5s	3	2.5s	1.0s
14	0.2s	1.8s	2	1.8s	0.2s
15	1.4s	0.2s	1	0.2s	1.4s

被试需作答的实验用表格，样式如表 4-15 所示，被试需要在听完每一对比组的两个样本后进行比较偏爱判断，在“哪一个听起来感觉更好”的样本下面打“√”。例如对 I 组实验中的第 1 对比组，如果觉得样本 1 比样本 2 给您的主观感觉更好一些，则在相应的样本 1 对应的方格内打“√”；如果觉得样本 2 比样本 1 给您的主观感觉更好一些，则在相应的样本 2 对应的方格内打“√”。

表 4-15 实验作答表格

第 1 组		第 2 组		第 3 组		第 4 组		第 5 组	
样本 1	样本 2	样本 1	样本 2	样本 1	样本 2	样本 1	样本 2	样本 1	样本 2
第 6 组		第 7 组		第 8 组		第 9 组		第 10 组	
样本 1	样本 2	样本 1	样本 2	样本 1	样本 2	样本 1	样本 2	样本 1	样本 2
第 11 组		第 12 组		第 13 组		第 14 组		第 15 组	
样本 1	样本 2	样本 1	样本 2	样本 1	样本 2	样本 1	样本 2	样本 1	样本 2

4.7 主观评价实验结果及数据检验

在 10 组京剧片段的主观优选实验结束之后会得到大量的评价结果，但是这些结果不能直接用于统计分析，必须先对评价结果进行数值化处理后才可以。随后要对数据进行检验，剔除误判数据，提高统计分析结果的可信度。

4.7.1 数据检验方法

参与实验的被试在进行主观评价实验时会受到其他因素的干扰而出现一些错误的判断，使得评价结果不是十分可靠。在评价中出现误判的可能性有以下几种：（1）被试在实验过程中的注意力不够集中；（2）被试的评判标准在不断调整；（3）实验样本之间的特征比较接近，做出区分和判断有一定的难度。基于以上几点的考虑，在统计分析之前需要对数据进行检验并正确剔除无效的结果，保证最终统计结果的准确性。

本文采用的误判分析方法是三角循环误判分析，其考量的是被试对三个声音样本的循环评价之间的关系。举例来说，如果已经判断样本 i 优于 j 、 j 优于 k ，但比较 i 和 k 时却是 k 优于 i ，这种情况下至少有一个判断是不可信的。目前国际上比较通用的三角循环误判检验公式^[44]是：

$$C = \frac{1}{A_n^3} \text{SUM}_{\text{err}} = \frac{1}{A_n^3} \sum_{1 \leq i < j < k \leq n} \delta_{ijk}, n=1, 2, \dots \quad (4-1)$$

公式中各符号代表的意思如下：（1） C 为三角循环误判率；（2） $A_n^3 = n!/3!$ ， n 为评价样本总数；（3） SUM_{err} 为实验中出现误判的总数； δ_{ijk} 为误判计数函数，值只能为 0 或 1，0 表示未出现误判，1 表示出现误判。

为了得到三角循环误判数（ SUM_{err} ）的值，定义 $P_{ij}(n)$ 为第 n 个被试对 i 、 j 两个声事件比较后的得分，取值如表 4-16。 P_{ij} 、 P_{jk} 和 P_{ik} 分别代表 i - j 、 j - k 和 i - k 的比较结果。

表 4-16 赋值方法

	赋值条件	赋值
$i > j$	判断第一个声音好于第二个声音	1
$i < j$	判断第二个声音好于第一个声音	-1

对比较后的结果进行误判分析，其误判逻辑检验方法如下：

$$\begin{cases} P_{ij} > 0 \text{ 且 } P_{jk} \geq 0, \text{ 却有 } P_{ik} \leq 0 \\ P_{ij} < 0 \text{ 且 } P_{jk} \leq 0, \text{ 却有 } P_{ik} \geq 0 \end{cases} \text{ 为误判}$$

对三角循环误判的检验结果采用 Kendall 一致性系数作为数据检验指标，对只进行三角循环误判分析的数据，其表达式为：

$$\zeta(n) = 1 - C(n), \quad n = 1, 2, \dots, 6 \quad (4-2)$$

当任意给定三个声音样本时，如果评价结果经逻辑检验后判定为误判，则误判计数函数 δ_{ijk} 取 1，是正确判断则为 0。然后将全部取值带入公式（4-1、4-2）中计算得出三角循环误判次数 SUM_{err} 、误判率 C 和一致性系数 ζ 的值。为减少工作量，本次实验对样本进行了半角矩阵评价，即样本对中只评价（i-j）对。

4.7.2 数据检验程序

数据检验程序的基本设计思路如下（以普通组被试中第 1 组 6 个样本的评价结果为例，选取某一被试的评价数据见表 4-17）：

表 4-17 被试评价结果矩阵（6 个样本）

样本	j=A	B	C	D	E	F
i=A		1	-1	-1	1	-1
B			-1	1	-1	-1
C				-1	1	-1
D					-1	1
E						1
F						

取表 4-17 中 A、B、C、D 4 个样本的矩阵为例，进行三角循环数据检验。在上三角任选 3 个样本 ijk （应使第 1 个样本序号在第 2 个之前，第 2 个样本序号在第 3 个之前），如 ABC 则对 AB-BC-AC 进行误判检验。根据上一小节提到的数据检验方法，对表 4-17 中的数据进行误判检验，过程如下：

ABC 比较，AB（1）-BC（-1）-AC（-1），逻辑判断为正确。

ABD 比较，AB（1）-BD（1）-AD（-1），逻辑判断为错误。

ACD 比较，AC（-1）-CD（-1）-AD（-1），逻辑判断为正确。

BCD 比较, BC (-1) -CD (-1) -BD (1), 逻辑判断为错误。

需注意的是, ABC 的情况逻辑判断为正确, 但实际情况是无法做出正误判断的, 因为被试对 i-j 和 j-k (即 AB 和 BC) 的评判结果正好相反, 这样以来不论 i-k 的评价怎样, 都不能说是错误的, 所以将这种情况视为正确的判断。

4.7.3 数据检验结果

分别将戏迷组 23 名被试和普通组 23 名被试的评价结果进行统计, 得到三角循环误判检验如结果如表 4-18~23 所示。

表 4-18 戏迷组被试对 10 组实验的三角循环误判次数

被试	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组	VI 组	VII 组	VIII 组	IX 组	X 组
TP01	3	1	1	2	0	2	0	1	2	0
TP02	6	0	3	4	6	4	3	4	0	3
TP03	3	5	4	5	7	2	1	7	5	2
TP04	4	6	7	4	2	4	6	1	6	6
TP05	2	3	1	4	6	5	0	4	0	2
TP06	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
TP07	7	8	6	2	7	5	5	6	6	7
TP08	6	7	1	4	4	1	1	4	4	5
TP09	1	0	0	0	2	2	2	5	2	3
TP10	8	4	2	4	6	4	1	8	4	6
TP11	1	4	1	5	0	0	0	5	0	5
TP12	6	6	2	6	4	6	4	4	3	5
TP13	3	3	2	2	3	6	6	4	4	0
TP14	0	4	4	3	2	3	4	4	1	6
TP15	0	1	2	5	0	3	4	6	0	5
TP16	4	3	3	4	3	4	0	3	2	6
TP17	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
TP18	3	2	1	2	1	0	0	2	0	3
TP19	3	6	4	6	6	4	3	4	2	3
TP20	2	0	0	0	0	0	1	1	2	4
TP21	3	3	2	1	0	0	1	0	0	2
TP22	0	0	1	0	0	3	2	2	0	6
TP23	0	0	0	1	4	1	1	0	0	3

表 4-19 戏迷组被试对 10 组实验的三角循环误判率

被试	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组	VI 组	VII 组	VIII 组	IX 组	X 组
TP01	0.15	0.05	0.05	0.10	0.00	0.10	0.00	0.05	0.10	0.00
TP02	0.30	0.00	0.15	0.20	0.30	0.20	0.15	0.20	0.00	0.15
TP03	0.15	0.25	0.20	0.25	0.35	0.10	0.05	0.35	0.25	0.10
TP04	0.20	0.30	0.35	0.20	0.10	0.20	0.30	0.05	0.30	0.30
TP05	0.10	0.15	0.05	0.20	0.30	0.25	0.00	0.20	0.00	0.10
TP06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.15
TP07	0.35	0.40	0.30	0.10	0.35	0.25	0.25	0.30	0.30	0.35
TP08	0.30	0.35	0.05	0.20	0.20	0.05	0.05	0.20	0.20	0.25
TP09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.25	0.10	0.15
TP10	0.40	0.20	0.10	0.20	0.30	0.20	0.05	0.40	0.20	0.30
TP11	0.05	0.20	0.05	0.25	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.25
TP12	0.30	0.30	0.10	0.30	0.20	0.30	0.20	0.20	0.15	0.25
TP13	0.15	0.15	0.10	0.10	0.15	0.30	0.30	0.20	0.20	0.00
TP14	0.00	0.20	0.20	0.15	0.10	0.15	0.20	0.20	0.05	0.30
TP15	0.00	0.05	0.10	0.25	0.00	0.15	0.20	0.30	0.00	0.25
TP16	0.20	0.15	0.15	0.20	0.15	0.20	0.00	0.15	0.10	0.30
TP17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05
TP18	0.15	0.10	0.05	0.10	0.05	0.00	0.00	0.10	0.00	0.15
TP19	0.15	0.30	0.20	0.30	0.30	0.20	0.15	0.20	0.10	0.15
TP20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.10	0.20
TP21	0.15	0.15	0.10	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.10
TP22	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.15	0.10	0.10	0.00	0.30
TP23	0.00	0.00	0.00	0.05	0.20	0.05	0.05	0.00	0.00	0.15

表 4-20 戏迷组被试对 10 组实验的一致性系数

被试	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组	VI 组	VII 组	VIII 组	IX 组	X 组
TP01	0.85	0.95	0.95	0.90	1.00	0.90	1.00	0.95	0.90	1.00
TP02	0.70	1.00	0.85	0.80	0.70	0.80	0.85	0.80	1.00	0.85
TP03	0.85	0.75	0.80	0.75	0.65	0.90	0.95	0.65	0.75	0.90
TP04	0.80	0.70	0.65	0.80	0.90	0.80	0.70	0.95	0.70	0.70

TP05	0.90	0.85	0.95	0.80	0.70	0.75	1.00	0.80	1.00	0.90
TP06	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	0.85
TP07	0.65	0.60	0.70	0.90	0.65	0.75	0.75	0.70	0.70	0.65
TP08	0.70	0.65	0.95	0.80	0.80	0.95	0.95	0.80	0.80	0.75
TP09	0.95	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90	0.75	0.90	0.85
TP10	0.60	0.80	0.90	0.80	0.70	0.80	0.95	0.60	0.80	0.70
TP11	0.95	0.80	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	0.75	1.00	0.75
TP12	0.70	0.70	0.90	0.70	0.80	0.70	0.80	0.80	0.85	0.75
TP13	0.85	0.85	0.90	0.90	0.85	0.70	0.70	0.80	0.80	1.00
TP14	1.00	0.80	0.80	0.85	0.90	0.85	0.80	0.80	0.95	0.70
TP15	1.00	0.95	0.90	0.75	1.00	0.85	0.80	0.70	1.00	0.75
TP16	0.80	0.85	0.85	0.80	0.85	0.80	1.00	0.85	0.90	0.70
TP17	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	1.00	0.95	1.00	0.95
TP18	0.85	0.90	0.95	0.90	0.95	1.00	1.00	0.90	1.00	0.85
TP19	0.85	0.70	0.80	0.70	0.70	0.80	0.85	0.80	0.90	0.85
TP20	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.90	0.80
TP21	0.85	0.85	0.90	0.95	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	0.90
TP22	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	0.85	0.90	0.90	1.00	0.70
TP23	1.00	1.00	1.00	0.95	0.80	0.95	0.95	1.00	1.00	0.85

根据国际通用标准^{[44][45]}, 评价结果的一致性系数在 0.6 以上是表示结果是可以接受的, 在 0.7 以上则表示结果的可靠性比较高, 本文选择 0.7 作为评判标准。根据结果所示, 第 3、4、7、10 位被试的一致性系数部分低于 0.7, 剔除其评价结果, 剩余的实验数据具有较高的可信度。

表 4-21 普通组被试对 10 组实验的三角循环误判次数

被试	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组	VI 组	VII 组	VIII 组	IX 组	X 组
TP01	0	0	1	5	2	1	0	2	0	1
TP02	0	0	1	1	4	1	6	3	2	1
TP03	2	4	1	1	1	1	0	2	0	4
TP04	0	2	0	2	1	5	2	4	1	2
TP05	2	6	1	0	0	1	7	4	2	3
TP06	0	4	0	4	0	0	3	2	0	6

TP07	1	1	5	2	1	1	0	4	5	2
TP08	1	3	4	3	3	2	3	2	2	3
TP09	0	0	2	5	1	2	4	1	0	2
TP10	4	0	6	4	7	0	2	3	4	4
TP11	0	1	8	5	3	0	2	1	0	1
TP12	4	5	3	4	2	3	6	2	0	4
TP13	4	5	1	6	7	1	3	5	0	0
TP14	2	3	0	0	6	0	1	0	0	1
TP15	0	5	6	0	1	1	0	1	0	4
TP16	3	4	3	1	6	5	3	4	4	5
TP17	0	4	3	5	0	5	0	0	2	5
TP18	5	1	2	3	2	0	0	0	3	2
TP19	3	1	0	1	2	1	2	4	1	3
TP20	0	2	0	0	2	0	0	2	0	2
TP21	3	6	3	4	3	0	2	1	1	3
TP22	0	4	2	6	0	2	2	2	1	2
TP23	6	0	0	1	1	1	1	0	0	6

表 4-22 普通组被试对 10 组实验的三角循环误判率

被试	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组	VI 组	VII 组	VIII 组	IX 组	X 组
TP01	0.00	0.00	0.05	0.25	0.10	0.05	0.00	0.10	0.00	0.05
TP02	0.00	0.00	0.05	0.05	0.20	0.05	0.30	0.15	0.10	0.05
TP03	0.10	0.20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.10	0.00	0.20
TP04	0.00	0.10	0.00	0.10	0.05	0.25	0.10	0.20	0.05	0.10
TP05	0.10	0.30	0.05	0.00	0.00	0.05	0.35	0.20	0.10	0.15
TP06	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.15	0.10	0.00	0.30
TP07	0.05	0.05	0.25	0.10	0.05	0.05	0.00	0.20	0.25	0.10
TP08	0.05	0.15	0.20	0.15	0.15	0.10	0.15	0.10	0.10	0.15
TP09	0.00	0.00	0.10	0.25	0.05	0.10	0.20	0.05	0.00	0.10
TP10	0.20	0.00	0.30	0.20	0.35	0.00	0.10	0.15	0.20	0.20
TP11	0.00	0.05	0.40	0.25	0.15	0.00	0.10	0.05	0.00	0.05
TP12	0.20	0.25	0.15	0.20	0.10	0.15	0.30	0.10	0.00	0.20
TP13	0.20	0.25	0.05	0.30	0.35	0.05	0.15	0.25	0.00	0.00

TP14	0.10	0.15	0.00	0.00	0.30	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05
TP15	0.00	0.25	0.30	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.00	0.20
TP16	0.15	0.20	0.15	0.05	0.30	0.25	0.15	0.20	0.20	0.25
TP17	0.00	0.20	0.15	0.25	0.00	0.25	0.00	0.00	0.10	0.25
TP18	0.25	0.05	0.10	0.15	0.10	0.00	0.00	0.00	0.15	0.10
TP19	0.15	0.05	0.00	0.05	0.10	0.05	0.10	0.20	0.05	0.15
TP20	0.00	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10
TP21	0.15	0.30	0.15	0.20	0.15	0.00	0.10	0.05	0.05	0.15
TP22	0.00	0.20	0.10	0.30	0.00	0.10	0.10	0.10	0.05	0.10
TP23	0.30	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.30

表 4-23 普通组被试对 10 组实验的一致性系数

被试	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组	VI 组	VII 组	VIII 组	IX 组	X 组
TP01	1.00	1.00	0.95	0.75	0.90	0.95	1.00	0.90	1.00	0.95
TP02	1.00	1.00	0.95	0.95	0.80	0.95	0.70	0.85	0.90	0.95
TP03	0.90	0.80	0.95	0.95	0.95	0.95	1.00	0.90	1.00	0.80
TP04	1.00	0.90	1.00	0.90	0.95	0.75	0.90	0.80	0.95	0.90
TP05	0.90	0.70	0.95	1.00	1.00	0.95	0.65	0.80	0.90	0.85
TP06	1.00	0.80	1.00	0.80	1.00	1.00	0.85	0.90	1.00	0.70
TP07	0.95	0.95	0.75	0.90	0.95	0.95	1.00	0.80	0.75	0.90
TP08	0.95	0.85	0.80	0.85	0.85	0.90	0.85	0.90	0.90	0.85
TP09	1.00	1.00	0.90	0.75	0.95	0.90	0.80	0.95	1.00	0.90
TP10	0.80	1.00	0.70	0.80	0.65	1.00	0.90	0.85	0.80	0.80
TP11	1.00	0.95	0.60	0.75	0.85	1.00	0.90	0.95	1.00	0.95
TP12	0.80	0.75	0.85	0.80	0.90	0.85	0.70	0.90	1.00	0.80
TP13	0.80	0.75	0.95	0.70	0.65	0.95	0.85	0.75	1.00	1.00
TP14	0.90	0.85	1.00	1.00	0.70	1.00	0.95	1.00	1.00	0.95
TP15	1.00	0.75	0.70	1.00	0.95	0.95	1.00	0.95	1.00	0.80
TP16	0.85	0.80	0.85	0.95	0.70	0.75	0.85	0.80	0.80	0.75
TP17	1.00	0.80	0.85	0.75	1.00	0.75	1.00	1.00	0.90	0.75
TP18	0.75	0.95	0.90	0.85	0.90	1.00	1.00	1.00	0.85	0.90
TP19	0.85	0.95	1.00	0.95	0.90	0.95	0.90	0.80	0.95	0.85
TP20	1.00	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	0.90

TP21	0.85	0.70	0.85	0.80	0.85	1.00	0.90	0.95	0.95	0.85
TP22	1.00	0.80	0.90	0.70	1.00	0.90	0.90	0.90	0.95	0.90
TP23	0.70	1.00	1.00	0.95	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	0.70

根据表所示，第 5、10、11、13 位被试的一致性系数部分低于 0.7，剔除其评价结果，剩余的实验数据具有较高的可信度。

4.8 主观评价实验结果的统计与分析

经过上一节的误差分析和数据检验后，经验组中剩余 19 名被试，普通组剩余 19 名被试。将这些有效被试的评价结果进行汇总统计，一个对比组的前后两个样本，将被试选择“听起来感觉更好”的那个样本记为“1 分”，而另一个样本被记为“-1 分”。因此，得分越高表明该样本被越多的选为“听起来感觉更好”。

4.8.1 均值分析

将所有有效被试对同一样本的优选分值进行求和后取算数平均，就得到所有样本的最终优选分值。由于本次实验还可以按行当（分为青衣、小生、老生、老旦）、唱腔（包括青衣、小生、老生、老旦）与念白、演唱速度（分为快速、慢速）、被试组别（分为经验组、普通组）这四项进行分类，所以对评价结果的均值统计也是进行了分类汇总，见表4-24、图4-4、图4-5。

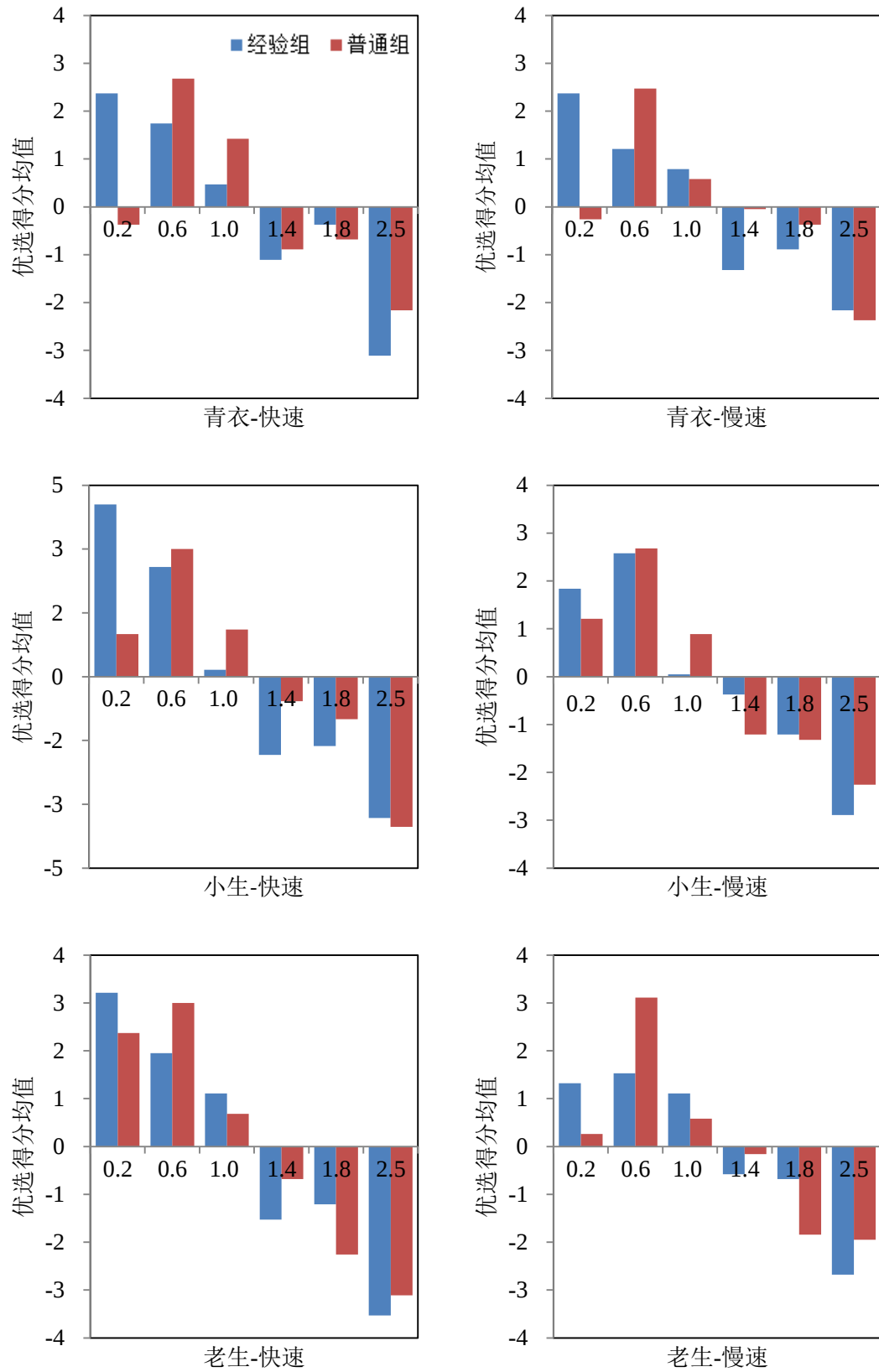
表4-24 实验样本优选得分均值分类汇总

			RT0.2s	RT0.6s	RT1.0s	RT1.4s	RT1.8s	RT2.5s
经验组	青衣	快速	2.37	1.74	0.47	-1.11	-0.37	-3.11
		慢速	2.37	1.21	0.79	-1.32	-0.89	-2.16
		总计	2.37	1.47	0.63	-1.21	-0.63	-2.63
	小生	快速	4.05	2.58	0.16	-1.84	-1.63	-3.32
		慢速	1.84	2.58	0.05	-0.37	-1.21	-2.89
		总计	2.95	2.58	0.11	-1.11	-1.42	-3.11
	老生	快速	3.21	1.95	1.11	-1.53	-1.21	-3.53
		慢速	1.32	1.53	1.11	-0.58	-0.68	-2.68
		总计	2.26	1.74	1.11	-1.05	-0.95	-3.11

第四章 混响时间主观优选实验研究

普通组	老旦	快速	3	1.95	0.68	-1.21	-1.32	-3.11
		慢速	1.11	0.79	0.79	-0.05	-0.05	-2.58
		总计	2.05	1.37	0.74	-0.63	-0.68	-2.84
	念白	韵白	2.47	2.05	0.37	-0.58	-1.11	-3.21
		京白	3.53	1.63	0.89	-1.74	-1.21	-3.11
		总计	3	1.84	0.63	-1.16	-1.16	-3.16
	青衣	快速	-0.37	2.68	1.42	-0.89	-0.68	-2.16
		慢速	-0.26	2.47	0.58	-0.05	-0.37	-2.37
		总计	-0.32	2.58	1	-0.47	-0.53	-2.26
	小生	快速	1	3	1.11	-0.58	-1	-3.53
		慢速	1.21	2.68	0.89	-1.21	-1.32	-2.26
		总计	1.11	2.84	1	-0.89	-1.16	-2.89
	老生	快速	2.37	3	0.68	-0.68	-2.26	-3.11
		慢速	0.26	3.11	0.58	-0.16	-1.84	-1.95
		总计	1.32	3.05	0.63	-0.42	-2.05	-2.53
	老旦	快速	2.16	3.21	0.68	-0.89	-2.37	-2.79
		慢速	-0.89	1.11	1.32	0.58	-1.21	-0.89
		总计	0.63	2.16	1	-0.16	-1.79	-1.84
	念白	韵白	1.00	2.58	1.21	-0.68	-1.21	-2.89
		京白	2.05	3.00	0.89	-1.21	-1.42	-3.32
		总计	1.53	2.79	1.05	-0.95	-1.32	-3.11
总计	青衣	快速	1	2.21	0.95	-1	-0.53	-2.63
		慢速	1.05	1.84	0.68	-0.68	-0.63	-2.26
		总计	1.03	2.03	0.82	-0.84	-0.58	-2.45
	小生	快速	2.53	2.79	0.63	-1.21	-1.32	-3.42
		慢速	1.53	2.63	0.47	-0.79	-1.26	-2.58
		总计	2.03	2.71	0.55	-1	-1.29	-3
	老生	快速	2.79	2.47	0.89	-1.11	-1.74	-3.32
		慢速	0.79	2.32	0.84	-0.37	-1.26	-2.32
		总计	1.79	2.39	0.87	-0.74	-1.5	-2.82

老旦	快速	2.58	2.58	0.68	-1.05	-1.84	-2.95
	慢速	0.11	0.95	1.05	0.26	-0.63	-1.74
	总计	1.34	1.76	0.87	-0.39	-1.24	-2.34
念白	韵白	1.74	2.32	0.79	-0.63	-1.16	-3.05
	京白	2.79	2.32	0.89	-1.47	-1.32	-3.21
	总计	2.26	2.32	0.84	-1.05	-1.24	-3.13
唱腔	均值	1.55	2.22	.78	-.74	-1.15	-2.65
	N	304	304	304	304	304	304
念白	均值	2.26	2.32	.84	-1.05	-1.24	-3.13
	N	76	76	76	76	76	76
快速	均值	2.22	2.51	.79	-1.09	-1.36	-3.08
	N	152	152	152	152	152	152
慢速	均值	.87	1.93	.76	-.39	-.95	-2.22
	N	152	152	152	152	152	152
经验组	均值	2.53	1.8	0.64	-1.03	-0.97	-2.97
	N	190	190	190	190	190	190
普通组	均值	0.85	2.68	0.94	-0.58	-1.37	-2.53
	N	190	190	190	190	190	190



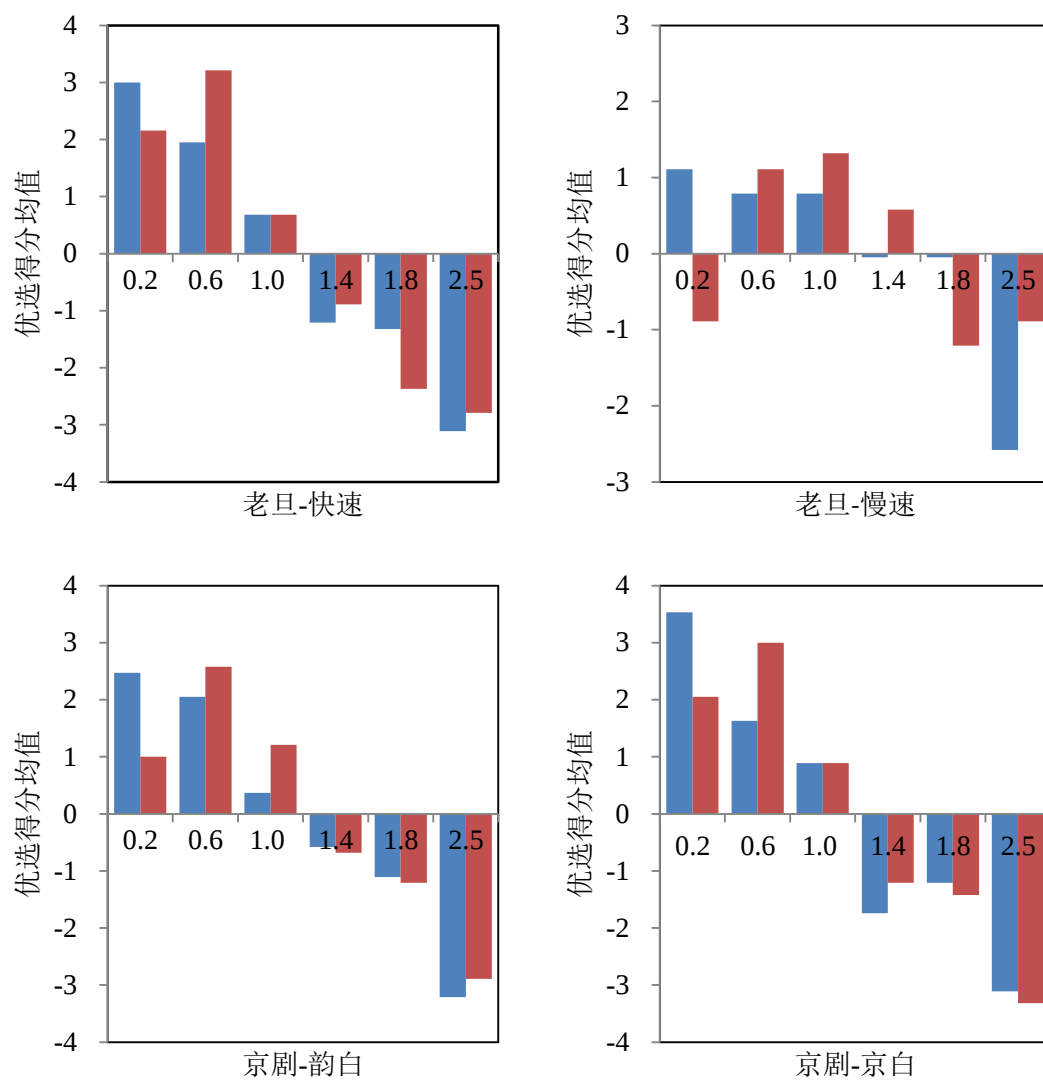


图4-4 10个京剧实验素材按被试组别分类的混响时间优选均值

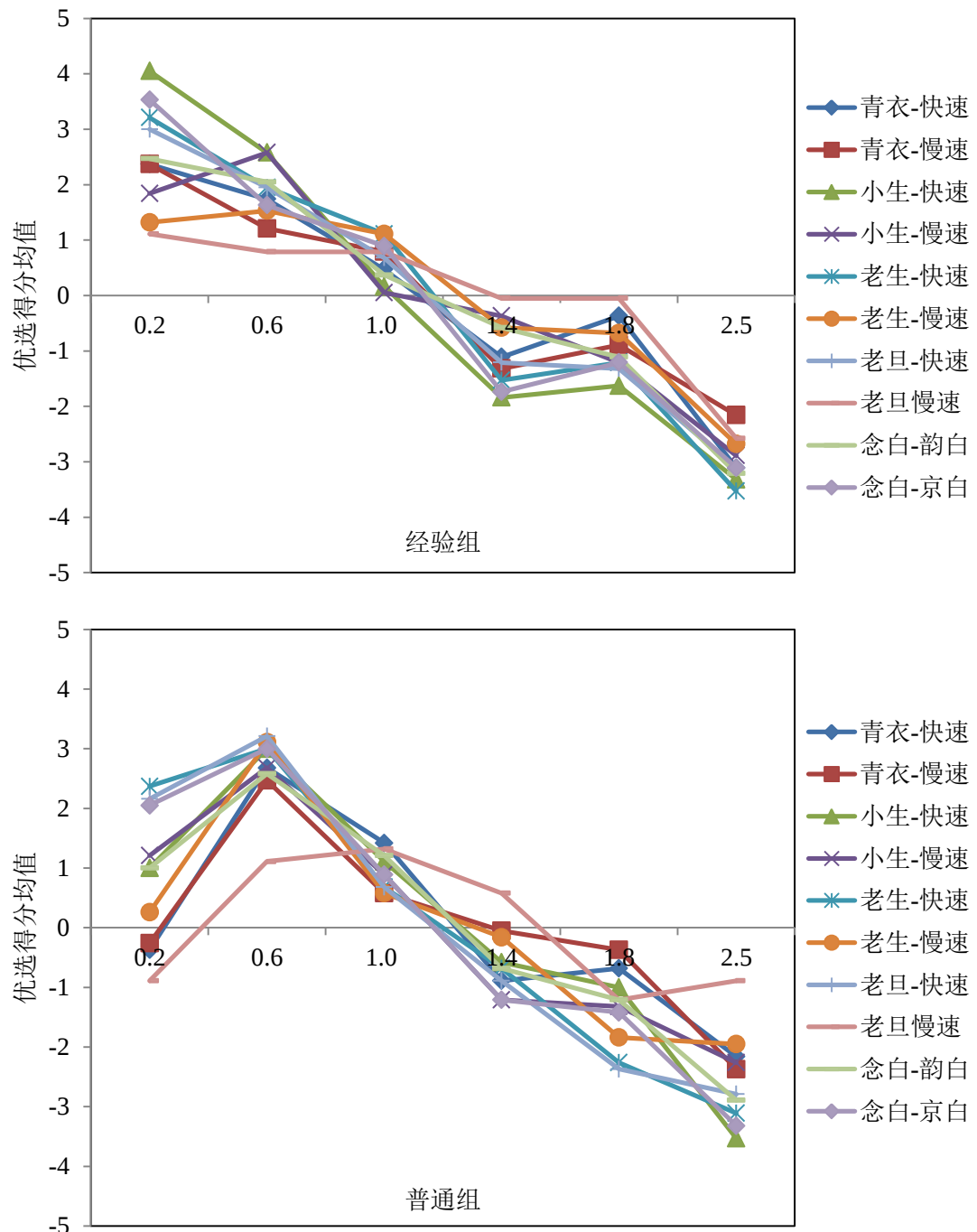


图4-5 两组被试对10个京剧素材的混响时间优选均值

对同一素材、不同被试组别之间的结果既有一致性又存在一定的差异，见图4-4。一致性体现在对大部分实验素材来说，两组被试在前3个混响时间值(0.2s、0.6s、1.0s)上的得分均值均为正，在剩余后3个混响时间值(1.4s、1.8s、2.5s)上的得分均值均为负，基本上说明整个被试群体更喜欢具有较短混响时间的样本。差异性体现在对青衣-快速、青衣-慢速、小生-快速、老生-快速、老旦-快速、念白这7个素材上，经验组的最高得分值是0.2s，普通组的最高得分值是0.6s；剩余的小生-慢速、老生-慢速，经验组和普通组的最高得分值均为0.6s；对老旦-

慢速，经验值的最高得分值为 0.2s，普通组的最高得分值为 1.0s。可以看出本次实验的大部分素材的优选混响时间集中在 0.2s~0.6s 的范围。

对同一被试组别、不同实验素材之间的结果也是既有一致性又存在一定的差异，见图 4-5。一致性体现在对经验组来说，全部 10 个实验素材中对混响时间值为 0.2s、0.6s、1.0s 的样本的得分均值为正，对混响时间值为 1.4s、1.8s、2.5s 的样本的得分均值为负；对普通组来说，全部 10 个实验素材中对混响时间值为 0.6s、1.0s 的样本的得分均值为正，对混响时间值为 1.8s、2.5s 的样本的得分均值为负，对混响时间值为 0.2s、1.4s 的样本的得分均值有正有负。差异性体现在经验组中对除对小生-慢速、老生-慢速的混响时间最高得分值为 0.6s 外，其余 8 个素材的最高得分值均为 0.2s；普通组中对除对老旦-慢速的混响时间最高得分值为 1.0s 外，其余 9 个素材的最高得分值均为 0.6s。

4.8.2 单样本 t 检验

从统计学的角度看，最高得分值不一定能就表示它是优选值，还要分析该值与同一素材其他混响时间的得分均值之间在统计学上是否具有显著差异。所以进行单样本 t 检验，对经验组和普通组的全部 10 个实验素材进行最高得分对应的混响时间变量与其他 5 个混响时间变量之间的检验，结果见表 4-25、表 4-26。

表4-25 经验组单样本t检验汇总

青衣-快速						
	Test Value = 2.37 (RT0.2s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.6s	-1.296	18	.211	-.63316	-1.6599	.3936
RT1.0s	-5.130	18	.000	-1.89632	-2.6730	-1.1197
RT1.4s	-6.708	18	.000	-3.47526	-4.5637	-2.3869
RT1.8s	-5.647	18	.000	-2.73842	-3.7572	-1.7196
RT2.5s	-9.753	18	.000	-5.47526	-6.6547	-4.2958
青衣-慢速						
	Test Value = 2.37 (RT0.2s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.6s	-2.034	18	.057	-1.15947	-2.3572	.0383
RT1.0s	-3.465	18	.003	-1.58053	-2.5388	-.6222
RT1.4s	-8.942	18	.000	-3.68579	-4.5518	-2.8198

RT1.8s	-4.718	18	.000	-3.26474	-4.7187	-1.8108
RT2.5s	-8.436	18	.000	-4.52789	-5.6555	-3.4002
小生-快速						
	Test Value = 4.05 (RT0.2s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.6s	-4.495	18	.000	-1.47105	-2.1586	-.7835
RT1.0s	-11.037	18	.000	-3.89211	-4.6329	-3.1513
RT1.4s	-18.544	18	.000	-5.89211	-6.5596	-5.2246
RT1.8s	-13.988	18	.000	-5.68158	-6.5349	-4.8282
RT2.5s	-17.870	18	.000	-7.36579	-8.2318	-6.4998
小生-慢速						
	Test Value = 2.58 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-1.021	18	.321	-.73789	-2.2558	.7800
RT1.0s	-7.906	18	.000	-2.52737	-3.1990	-1.8558
RT1.4s	-6.407	18	.000	-2.94842	-3.9152	-1.9816
RT1.8s	-6.216	18	.000	-3.79053	-5.0716	-2.5095
RT2.5s	-14.069	18	.000	-5.47474	-6.2923	-4.6572
老生-快速						
	Test Value = 3.21 (RT0.2s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.6s	-2.041	18	.056	-1.26263	-2.5626	.0374
RT1.0s	-5.882	18	.000	-2.10474	-2.8565	-1.3530
RT1.4s	-12.812	18	.000	-4.73632	-5.5130	-3.9597
RT1.8s	-8.757	18	.000	-4.42053	-5.4811	-3.3599
RT2.5s	-16.838	18	.000	-6.73632	-7.5768	-5.8958
老生-慢速						
	Test Value = 1.53 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-.337	18	.740	-.21421	-1.5493	1.1209
RT1.0s	-.954	18	.353	-.42474	-1.3601	.5106
RT1.4s	-4.708	18	.000	-2.10895	-3.0501	-1.1678
RT1.8s	-3.216	18	.005	-2.21421	-3.6606	-.7678
RT2.5s	-7.566	18	.000	-4.21421	-5.3844	-3.0440

老旦-快速						
	Test Value = 3 (RT0.2s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.6s	-1.882	18	.076	-1.05263	-2.2275	.1222
RT1.0s	-6.050	18	.000	-2.31579	-3.1199	-1.5116
RT1.4s	-7.982	18	.000	-4.21053	-5.3187	-3.1023
RT1.8s	-7.748	18	.000	-4.31579	-5.4860	-3.1456
RT2.5s	-12.969	18	.000	-6.10526	-7.0943	-5.1163
老旦-慢速						
	Test Value = 1.11 (RT0.2s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.6s	-.635	18	.533	-.32053	-1.3811	.7401
RT1.0s	-.635	18	.533	-.32053	-1.3811	.7401
RT1.4s	-1.879	18	.077	-1.16263	-2.4626	.1374
RT1.8s	-1.879	18	.077	-1.16263	-2.4626	.1374
RT2.5s	-8.761	18	.000	-3.68895	-4.5735	-2.8043
念白-韵白						
	Test Value = 2.47 (RT0.2s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.6s	-.720	18	.481	-.41737	-1.6354	.8006
RT1.0s	-4.842	18	.000	-2.10158	-3.0134	-1.1898
RT1.4s	-5.221	18	.000	-3.04895	-4.2758	-1.8221
RT1.8s	-7.595	18	.000	-3.57526	-4.5643	-2.5863
RT2.5s	-14.145	18	.000	-5.68053	-6.5243	-4.8368
念白-京白						
	Test Value = 3.53 (RT0.2s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.6s	-3.915	18	.001	-1.89842	-2.9172	-.8796
RT1.0s	-6.303	18	.000	-2.63526	-3.5137	-1.7568
RT1.4s	-12.824	18	.000	-5.26684	-6.1297	-4.4040
RT1.8s	-11.804	18	.000	-4.74053	-5.5843	-3.8968
RT2.5s	-12.808	18	.000	-6.63526	-7.7237	-5.5469

表4-26 普通组单样本t检验汇总

青衣-快速						
	Test Value = 2.68 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-3.521	18	.002	-3.04842	-4.8676	-1.2292
RT1.0s	-2.156	18	.045	-1.25895	-2.4858	-.0321
RT1.4s	-6.618	18	.000	-3.57474	-4.7096	-2.4399
RT1.8s	-6.866	18	.000	-3.36421	-4.3936	-2.3348
RT2.5s	-7.831	18	.000	-4.83789	-6.1358	-3.5400
青衣-慢速						
	Test Value = 2.47 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-3.365	18	.003	-2.73316	-4.4398	-1.0265
RT1.0s	-3.995	18	.001	-1.89105	-2.8855	-.8966
RT1.4s	-4.690	18	.000	-2.52263	-3.6527	-1.3926
RT1.8s	-6.168	18	.000	-2.83842	-3.8052	-1.8716
RT2.5s	-9.112	18	.000	-4.83842	-5.9540	-3.7229
小生-快速						
	Test Value = 3 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-2.615	18	.018	-2.00000	-3.6066	-.3934
RT1.0s	-7.561	18	.000	-3.57895	-4.5734	-2.5845
RT1.4s	-10.677	18	.000	-4.00000	-4.7871	-3.2129
RT1.8s	-14.350	18	.000	-6.52632	-7.4818	-5.5708
小生-慢速						
	Test Value = 2.68 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-1.926	18	.070	-1.46947	-3.0727	.1338
RT1.0s	-3.607	18	.002	-1.78526	-2.8252	-.7454
RT1.4s	-9.053	18	.000	-3.89053	-4.7934	-2.9877
RT1.8s	-8.584	18	.000	-3.99579	-4.9738	-3.0178
RT2.5s	-7.791	18	.000	-4.94316	-6.2762	-3.6101

老生-快速						
	Test Value = 3 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-.946	18	.357	-.63158	-2.0341	.7710
RT1.0s	-6.050	18	.000	-2.31579	-3.1199	-1.5116
RT1.4s	-6.614	18	.000	-3.68421	-4.8544	-2.5140
RT1.8s	-12.815	18	.000	-5.26316	-6.1260	-4.4003
RT2.5s	-13.713	18	.000	-6.10526	-7.0406	-5.1699
老生-慢速						
	Test Value = 3.11 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-3.332	18	.004	-2.84684	-4.6420	-1.0517
RT1.0s	-5.650	18	.000	-2.53105	-3.4722	-1.5899
RT1.4s	-5.855	18	.000	-3.26789	-4.4404	-2.0954
RT1.8s	-11.228	18	.000	-4.95211	-5.8787	-4.0255
RT2.5s	-9.402	18	.000	-5.05737	-6.1874	-3.9273
老旦-快速						
	Test Value = 3.21 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-1.653	18	.116	-1.05211	-2.3892	.2850
RT1.0s	-6.128	18	.000	-2.52579	-3.3918	-1.6598
RT1.4s	-7.599	18	.000	-4.10474	-5.2396	-2.9699
RT1.8s	-10.096	18	.000	-5.57842	-6.7393	-4.4175
RT2.5s	-10.924	18	.000	-5.99947	-7.1533	-4.8456
老旦-慢速						
	Test Value = 1.32 (RT1.0s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-3.125	18	.006	-2.21474	-3.7037	-.7257
RT0.6s	-.456	18	.654	-.21474	-1.2037	.7743
RT1.4s	-1.190	18	.250	-.74105	-2.0494	.5673
RT1.8s	-4.150	18	.001	-2.53053	-3.8116	-1.2495
RT2.5s	-3.464	18	.003	-2.21474	-3.5579	-.8716

念白-韵白						
	Test Value = 2.58 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-1.886	18	.076	-1.58000	-3.3400	.1800
RT1.0s	-3.002	18	.008	-1.36947	-2.3278	-.4112
RT1.4s	-8.528	18	.000	-3.26421	-4.0684	-2.4601
RT1.8s	-6.422	18	.000	-3.79053	-5.0306	-2.5504
RT2.5s	-11.630	18	.000	-5.47474	-6.4637	-4.4857
念白-京白						
	Test Value = 3 (RT0.6s)					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RT0.2s	-1.230	18	.235	-.94737	-2.5658	.6710
RT1.0s	-5.410	18	.000	-2.10526	-2.9228	-1.2877
RT1.4s	-12.443	18	.000	-4.21053	-4.9214	-3.4996
RT1.8s	-8.495	18	.000	-4.42105	-5.5144	-3.3277
RT2.5s	-11.792	18	.000	-6.31579	-7.4410	-5.1906

经验组对实验素材“青衣-快速”的主观评价结果可知，样本 RT0.2s 得到最高平均值。对于样本 RT0.6s，可知 t 检验的显著性水平为 $0.211 > 0.05$ ，因此认为 RT0.2s 与 RT0.6s 两个样本在均值上相等，不存在显著差异；对于样本 RT1.0s、RT1.4s、RT1.8s、RT2.5s，可知 t 检验的显著性水平分别为 $0.000 < 0.05$ 、 $0.000 < 0.05$ 、 $0.000 < 0.05$ 、 $0.000 < 0.05$ ，因此认为 RT0.2s 分别与 RT1.0s、RT1.4s、RT1.8s、RT2.5s 样本在均值上存在显著差异，即 RT0.2s 的均值显著高于 RT1.0s、RT1.4s、RT1.8s、RT2.5s 的均值。即对于实验素材“青衣-快速”，样本 RT0.2s、RT0.6s 的均值显著高于样本 RT1.0s、RT1.4s、RT1.8s、RT2.5s，且 RT0.2s 与 RT0.6s 两个样本在均值上不存在显著差异，所以素材的混响时间优选值为 0.2s、0.6s。其他实验素材的优选值的分析类似。优选值汇总结果见表 4-27。

表 4-27 混响时间优选值

实验素材	被试组别	优选值
青衣-快速	经验组	0.2s、0.6s
	普通组	0.6s
青衣-慢速	经验组	0.2s、0.6s
	普通组	0.6s

小生-快速	经验组	0.2s
	普通组	0.6s
小生-慢速	经验组	0.2s、0.6s
	普通组	0.2s、0.6s
老生-快速	经验组	0.2s、0.6s
	普通组	0.2s、0.6s
老生-慢速	经验组	0.2s、0.6s、1.0s
	普通组	0.6s
老旦-快速	经验组	0.2s、0.6s
	普通组	0.2s、0.6s
老旦慢速	经验组	0.2s、0.6s、1.0s、1.4s、1.8s
	普通组	0.6s、1.0s、1.4s
念白-韵白	经验组	0.2s、0.6s
	普通组	0.2s、0.6s
念白-京白	经验组	0.2s
	普通组	0.2s、0.6s

综合上述分析得到混响时间的优选值集中在 0.2s 和 0.6s，说明实验被试在听京剧时对清晰度的要求较高。对于演唱速度较慢的素材，如老生-慢速、老旦-慢速，混响时间的优选范围较大。

4.8.3 方差分析

从上面的分析可以看出，行当、演唱速度、被试组别、唱腔与念白这些因素都是有可能影响混响时间优选的因素。本节将对这四个因素进行深入分析，主要是从数据统计的角度采用方差分析的方法。

4.8.3.1 多因素方差分析

对实验的评价结果进行多因素方差分析，以判断被试组别、演唱速度、行当三个因素及之间的交互作用对评价结果是否有显著影响，统计分析结果见表 4-28。

表 4-28 多因素方差分析表

	因变量	df	均方	F	Sig.
被试组别	RT0.2s	1	225.803	23.250	0.000
	RT0.6s	1	57.316	14.042	0.000
	RT1.0s	1	5.263	1.435	0.232
	RT1.4s	1	20.013	4.171	0.042
	RT1.8s	1	16.118	3.002	0.084
	RT2.5s	1	22.118	4.367	0.038

演唱速度	RT0.2s	1	139.592	14.373	0.000
	RT0.6s	1	25.474	6.241	0.013
	RT1.0s	1	0.053	0.014	0.905
	RT1.4s	1	36.961	7.703	0.006
	RT1.8s	1	12.645	2.355	0.126
	RT2.5s	1	55.592	10.977	0.001
行当	RT0.2s	3	15.241	1.569	0.197
	RT0.6s	3	13.105	3.211	0.023
	RT1.0s	3	1.737	0.474	0.701
	RT1.4s	3	4.996	1.041	0.375
	RT1.8s	3	12.048	2.244	0.083
	RT2.5s	3	7.241	1.430	0.234
组别 * 速度	RT0.2s	1	1.592	0.164	0.686
	RT0.6s	1	0.211	0.052	0.821
	RT1.0s	1	0.842	0.230	0.632
	RT1.4s	1	1.592	0.332	0.565
	RT1.8s	1	0.013	0.002	0.961
	RT2.5s	1	2.224	0.439	0.508
组别 * 行当	RT0.2s	3	10.329	1.064	0.365
	RT0.6s	3	3.982	0.976	0.405
	RT1.0s	3	6.035	1.646	0.179
	RT1.4s	3	0.996	0.207	0.891
	RT1.8s	3	10.610	1.976	0.118
	RT2.5s	3	2.224	0.439	0.725
速度 * 行当	RT0.2s	3	23.908	2.462	0.063
	RT0.6s	3	9.544	2.338	0.074
	RT1.0s	3	1.456	0.397	0.755
	RT1.4s	3	3.838	0.800	0.495
	RT1.8s	3	6.575	1.224	0.301
	RT2.5s	3	2.434	0.481	0.696
组别 * 速度 * 行当	RT0.2s	3	10.961	1.129	0.338
	RT0.6s	3	2.105	0.516	0.672
	RT1.0s	3	2.316	0.632	0.595

RT1.4s	3	8.680	1.809	0.146
RT1.8s	3	2.013	0.375	0.771
RT2.5s	3	5.627	1.111	0.345

从表 4-28 可以看出, 在 0.05 的显著水平下, 被试组别、行当、演唱速度对评价结果都有一定的显著影响, 且三个因素之间均不存在交互作用。

4.8.3.2 单因素方差分析

通过多因素方差分析, 可以发现被试组别、行当、演唱速度均对评价结果都有一定的显著影响。被试组别包含经验组、普通组两个水平, 行当包含青衣、小生、老生、老旦四个水平, 演唱速度包含快速、慢速两个水平。

4.8.3.2.1 从行当上进行分析

表4-29是基于行当的单因素方差分析结果, 结果表明, 在0.05的显著水平下, 被试对混响时间是0.6s的样本评价上存在显著差异 ($0.03 < 0.05$), 在其他混响时间值的样本评价上无显著性影响, 即不受行当的影响。

表 4-29 基于行当的单因素方差分析表

		平方和	df	均方	F	显著性
RT0.2s	组间	45.724	3	15.241	1.386	.247
	组内	3299.632	300	10.999		
	总数	3345.355	303			
RT0.6s	组间	39.316	3	13.105	3.012	.030
	组内	1305.474	300	4.352		
	总数	1344.789	303			
RT1.0s	组间	5.211	3	1.737	.477	.698
	组内	1091.579	300	3.639		
	总数	1096.789	303			
RT1.4s	组间	14.987	3	4.996	1.012	.388
	组内	1481.000	300	4.937		
	总数	1495.987	303			
RT1.8s	组间	36.145	3	12.048	2.214	.087
	组内	1632.895	300	5.443		
	总数	1669.039	303			
RT2.5s	组间	21.724	3	7.241	1.384	.248
	组内	1569.316	300	5.231		
	总数	1591.039	303			

4.8.3.2.2 从速度上进行分析

表4-30是基于演唱速度的单因素方差分析结果，结果表明，在0.05的显著水平下，被试对混响时间为0.2、0.6、1.4、2.5s的样本在评价上存在显著差异，对其他混响时间值为1.0s和1.8s的样本在评价上无显著性影响。从图4-6可以看出，节奏快的实验素材在短混响时间值上的得分较高，相应的在长混响上的得分就较低，两者差异较大。节奏慢的的实验素材在短、长混响时间上得分值差异不如快节奏的明显。这反映出演唱速度快、字词多的唱段，对清晰度的要求要高于慢节奏的唱段。

表 4-30 基于速度的单因素方差分析表

		平方和	df	均方	F	显著性
RT0.2s	组间	139.592	1	139.592	13.150	.000
	组内	3205.763	302	10.615		
	总数	3345.355	303			
RT0.6s	组间	25.474	1	25.474	5.831	.016
	组内	1319.316	302	4.369		
	总数	1344.789	303			
RT1.0s	组间	.053	1	.053	.014	.904
	组内	1096.737	302	3.632		
	总数	1096.789	303			
RT1.4s	组间	36.961	1	36.961	7.650	.006
	组内	1459.026	302	4.831		
	总数	1495.987	303			
RT1.8s	组间	12.645	1	12.645	2.305	.130
	组内	1656.395	302	5.485		
	总数	1669.039	303			
RT2.5s	组间	55.592	1	55.592	10.934	.001
	组内	1535.447	302	5.084		
	总数	1591.039	303			

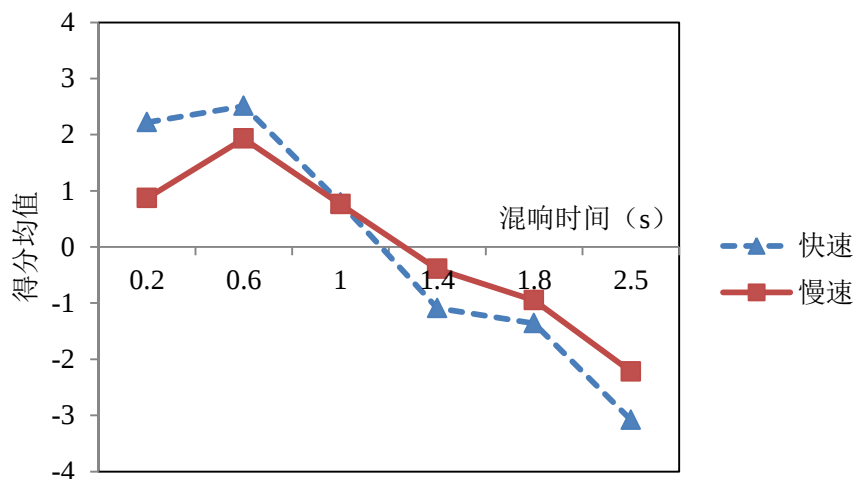


图4-6 快速和慢速的混响时间优选偏爱度均值

4.8.3.2.3 从被试组别上进行分析

表 4-31、表 4-32 是基于被试组别的唱腔和念白的单因素方差分析结果。结果表明，对于唱腔来说，在 0.05 的显著水平下，不同被试组别在对混响时间为 0.2、0.6、1.4、2.5s 的样本评价上存在显著差异，不同的被试人群对实验结果是有一定影响的。在其他混响时间值为 1.0s 和 1.8s 的评价上无显著性影响，即不受实验组别的影响。可以看出不同的被试人群对实验结果是有一定影响的。两类被试人群中戏迷是具有最少 20 年听戏唱戏的经验，是一类对京剧声乐有着较深了解和感悟的人群。普通组的学生在剧院内听京剧的经验很少，他们的实验结果基本能反映普通被试对京剧片段的混响时间优选。对于念白来说，在 0.05 的显著水平下，不同组别的被试的评价结果无显著性差异，两组的优选情况是比较一致的，见表 4-30。

表 4-31 唱腔基于被试组别的单因素方差分析表

		平方和	df	均方	F	显著性
RT0.2s	组间	225.803	1	225.803	21.860	.000
	组内	3119.553	302	10.330		
	总数	3345.355	303			
RT0.6s	组间	57.316	1	57.316	13.444	.000
	组内	1287.474	302	4.263		
	总数	1344.789	303			
RT1.0s	组间	5.263	1	5.263	1.456	.228
	组内	1091.526	302	3.614		
	总数	1096.789	303			
RT1.4s	组间	20.013	1	20.013	4.095	.044
	组内	1475.974	302	4.887		
	总数	1495.987	303			

RT1.8s	组间	16.118	1	16.118	2.945	.087
	组内	1652.921	302	5.473		
	总数	1669.039	303			
RT2.5s	组间	22.118	1	22.118	4.258	.040
	组内	1568.921	302	5.195		
	总数	1591.039	303			

表 4-32 念白基于被试组别的单因素方差分析表

		平方和	df	均方	F	显著性
RT0.2s	组间	41.263	1	41.263	4.561	.036
	组内	669.474	74	9.047		
	总数	710.737	75			
RT0.6s	组间	17.053	1	17.053	3.808	.055
	组内	331.368	74	4.478		
	总数	348.421	75			
RT1.0s	组间	3.368	1	3.368	.994	.322
	组内	250.737	74	3.388		
	总数	254.105	75			
RT1.4s	组间	.842	1	.842	.223	.638
	组内	278.947	74	3.770		
	总数	279.789	75			
RT1.8s	组间	.474	1	.474	.102	.750
	组内	343.263	74	4.639		
	总数	343.737	75			
RT2.5s	组间	.053	1	.053	.012	.913
	组内	322.632	74	4.360		
	总数	322.684	75			

4.8.3.2.4 从唱、念上进行分析

表 4-33 是基于唱、念的单因素方差分析结果，结果表明，在 0.05 的显著水平下，被试在全部 6 个混响时间上都不存在显著差异，即混响时间优选值与素材是唱、是念无关。

表 4-33 基于唱、念的单因素方差分析表

		平方和	df	均方	F	显著性
RT0.2s	组间	31.266	1	31.266	2.914	.089
	组内	4056.092	378	10.730		
	总数	4087.358	379			

RT0.6s	组间	.516	1	.516	.115	.735
	组内	1693.211	378	4.479		
	总数	1693.726	379			
RT1.0s	组间	.263	1	.263	.074	.786
	组内	1350.895	378	3.574		
	总数	1351.158	379			
RT1.4s	组间	5.813	1	5.813	1.237	.267
	组内	1775.776	378	4.698		
	总数	1781.589	379			
RT1.8s	组间	.445	1	.445	.084	.773
	组内	2012.776	378	5.325		
	总数	2013.221	379			
RT2.5s	组间	14.024	1	14.024	2.770	.097
	组内	1913.724	378	5.063		
	总数	1927.747	379			

4.9 本章小结

本章重点介绍了混响时间主观优选实验的实验设计及实验结果处理及分析。实验以不同行当、不同演唱速度的 10 个京剧片段为实验素材，被试分为有多年听京剧经验的戏迷和经验较少的普通大学生两组，采用成对比较法对同一素材具有不同混响时间的实验样本进行主观优选比较判断。最后，对主观评价结果进行数值化处理，将经过数据检验并剔除掉误判率较大的被试的评价结果汇总后进行数据统计分析，得到 10 个京剧素材的混响时间优选结果。

综合上述分析得到适合京剧演出厅堂的混响时间的优选值集中在 0.2s 和 0.6s，说明实验被试在听京剧时对清晰度的要求较高。对于演唱速度较慢的素材，如老生-慢速、老旦-慢速，混响时间的优选范围较大些。

对比西方音乐厅的优选值 1.5~2.0s、中国民族器乐的优选值（琵琶-1.2s、二胡 1.8s、笛子 1.6s）、《剧场、电影院和多用途厅堂建筑声学设计规范》和《剧场建筑设计规范》中提到的戏曲合适的混响时间范围 0.8~1.4s，本研究的主观优选值要小一些。当然，这样比较不一定很可靠，因为几者的研究条件、方法等方面存在差异。但从本研究的主观优选结论看，京剧的混响时间优选值较低，更适合在短混响的声环境下演出，十分注重清晰度。

第五章 响度主观优选实验研究

在厅堂音质评价中，响度是一个基本参数。由于音乐特性、听觉习惯、演出条件等的不同，京剧与音乐、歌剧、话剧及其他戏曲之间合适的响度值或范围也有所差异。本研究对京剧演出厅堂响度优选值的确定，是在实验室条件下进行主观优选实验。该实验结果对确定京剧院建筑围护结构所需的隔声量、室内吸声处理和确定允许噪声级有一定的指导意义。

5.1 主观优选实验详情

5.1.1 样本处理

响度优选实验选用的实验素材为男声、女声各 1 个，共 2 个。男声选用的是《捉放曹》老生唱段，其长度约为 24s，女声选用的是《春闺梦》青衣唱段，其长度约为 21s。结合之前进行的混响时间优选实验的研究结果，选用的这 2 个实验素材的混响时间都为 0.6s，以保证样本的声学参数只有声压级的不同。Ando 等人^[46]曾对音乐厅响度进行主观听音评价实验，本研究进行的初次实验的响度取值就是基于他们的研究，如表 5-1 所示。初次实验的被试一共 6 人，为天津大学建筑学院的研究生，听力均正常。对 6 名被试的评价结果进行分析得到男声和女声的优选响度值分别是 70dBA、73dBA，最不优选的响度值均为 79dBA。但是初次实验在响度范围的设计中 70dBA 是最低限，79dBA 是最高限，所以为获得更准确的实验结论需要对响度范围进行调整，进一步降低最低限值和最高限值。在正式实验中响度取值的为 67 dBA、70 dBA、73 dBA 和 76 dBA。

表 5-1 响度取值

实验研究	响度范围划分 (dBA)			
Ando 等人	74	77	80	83
预备实验	70	73	76	79
正式实验	67	70	73	76

5.1.2 实验设计

为减少环境噪声的影响,实验选在半消声室内进行,采用扬声器放音的方式。扬声器位置固定并播放某一响度值的样本(假设是 73 dBA),然后调节座椅位置并用声级计测试该位置的平均声压级直到该位置处的平均声压级满足要求(为 73 dBA)。实验采用成对比较法,每次实验由 2~3 个被试一起进行。实验正式开始之前,向被试交代实验任务并进行演示,让被试熟悉实验流程。实验方案的大体流程如下:实验准备→交代实验任务→实验演示→正式实验。

实验只要求被试对一对样本做出相对的偏爱判断即可。除研究人员外,被试均不知道所播放京剧片段的声压级是多大。评价时,实验样本一般只播放一次,如果被试有特殊要求时,可以多次重放。2 个京剧片段作为 2 组单独的小实验分别进行,分别为 A 组(男声—老生)、B 组(女声-青衣)。每组又各自进行 12 对样本的比较(考虑样本的前后顺序),因此每个被试完成两组实验一共需要做出 24 次判断。每个样本的播放时长在 25s 左右,两样本播放间隔 5s,所以平均一组的样本实验时间在 11 分钟左右,以避免被试听力疲劳而影响评价结果,两组实验之间被试休息 10 分钟,加上被试作答前的介绍,整个实验总时间约为 40 分钟。

5.1.3 确定被试

被试共 20 人,为天津大学建筑学院的研究生,年龄在 24~30 岁之间,其中女生 12 人,男生 8 人,被试听力均正常。

5.2 主观评价结果实验结果及数据检验

在 2 组京剧片段的主观优选实验结束之后须对评价结果进行数值化处理,然后进行检验。数值化处理是指被试对一个对比组(包括样本 i 、 j)的比较结果进行赋值,被试若认为样本 i 比 j 更令人感觉好,则比较结果为“1”;被试若认为样本 j 比 i 更令人感觉好,则比较结果为“-1”。

5.2.1 误判分析

(1) 不同回放顺序比较 (ij - ji) 误判分析

同上一章节的混响时间优选实验进行数据检验的原理相同,除三角循环误判分析外,还增加了不同回放顺序误判分析。不同回放顺序 (ij - ji) 比较误判指的是在整个评价序列对中,对没有关联的两次评价中的判断中,得到的结果不一致。

即样本对为 ij 时, 判断 $i > j$ (或 $i < j$), 样本对为 ji 时, 判断 $j > i$ (或 $j < i$), 即矛盾属于误判。本次实验各被试的不同回放顺序比较误判统计结果见表 5-2。

表 5-2 不同回放顺序比较误判统计结果

被试	误判次数		被试	误判次数	
	A 组实验	B 组实验		A 组实验	B 组实验
TP01	2	1	TP11	1	2
TP02	0	0	TP12	1	1
TP03	0	2	TP13	1	0
TP04	1	2	TP14	1	1
TP05	2	1	TP15	0	1
TP06	2	0	TP16	1	2
TP07	1	2	TP17	2	1
TP08	0	0	TP18	0	1
TP09	2	1	TP19	0	0
TP10	2	1	TP20	0	2

(2) 三角循环误判分析

三角循环误判分析的方法同混响时间主观优选实验, 本次实验各被试的三角循环误判统计结果见表 5-3。

表 5-3 三角循环误判统计结果

被试	误判次数		误判率		被试	误判次数		误判率	
	A 组	B 组	A 组	B 组		A 组	B 组	A 组	B 组
TP01	0	0	0.00	0.00	TP11	0	0	0.00	0.00
TP02	0	0	0.00	0.00	TP12	0	1	0.00	0.25
TP03	0	0	0.00	0.00	TP13	0	0	0.00	0.00
TP04	0	1	0.00	0.25	TP14	1	0	0.25	0.00
TP05	1	0	0.25	0.00	TP15	0	1	0.00	0.25
TP06	0	0	0.00	0.00	TP16	0	0	0.00	0.00
TP07	0	0	0.00	0.00	TP17	0	0	0.00	0.00
TP08	0	0	0.00	0.00	TP18	0	0	0.00	0.00
TP09	1	0	0.25	0.00	TP19	0	0	0.00	0.00
TP10	0	0	0.00	0.00	TP20	0	0	0.00	0.00

5.2.2 数据有效性检验

除了三角循环误差统计，本次实验还包括了对不同回放顺序误差的考察。因此，采用计权一致性系数 ξ_w 的方法进行数据的筛选，能够综合考虑这两种误差对总的误判统计结果的影响。相关的计算公式如下：

$$\xi_w(n) = 1 - C_w(n), n = 1, 2, \dots, 20 \quad (5-1)$$

$C_w(n)$ 为计权误判率，计算公式如下：

$$C_w(n) = \frac{\sum C_i(n) E_i(n)}{\sum E_i(n)}, n = 1, 2, \dots, 20 \quad (5-2)$$

式中， $C_i(n)$ 为第 i 种误判实际产生的误判次数， $E_i(n)$ 为第 n 个被试的第 i 种误判可能产生的总次数。

根据以上公式计算的所有被试的计权一致性系数见表 5-4、5-5。考虑到各种因素的影响，剔除表现相对较差的被试的评价结果。最终分别剔除 A 组中表现较差的被试 TP05 (0.70)、TP09 (0.70)；B 组中的被试 TP04 (0.70)。

表 5-4 A 组计权一致性系数统计结果

被试	TP01	TP02	TP03	TP04	TP05	TP06	TP07	TP08	TP09	TP10
ξ_w	0.80	1.00	1.00	0.90	0.70	0.80	0.90	1.00	0.70	0.80
被试	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
ξ_w	0.90	0.90	0.90	0.80	1.00	0.90	0.80	1.00	1.00	1.00

表 5-5 B 组计权一致性系数统计结果

被试	TP01	TP02	TP03	TP04	TP05	TP06	TP07	TP08	TP09	TP10
ξ_w	0.90	1.00	0.80	0.70	0.90	1.00	0.80	1.00	0.90	0.90
被试	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
ξ_w	0.80	0.80	1.00	0.90	0.80	0.80	0.90	0.90	1.00	0.80

5.3 主观评价实验结果的统计与分析

经过上一节误差分析和数据检验后，A 组中剩余 18 名被试，B 组剩余 19 名被试。将这些有效被试的评价结果进行汇总统计，一个对比组的前后两个样本，将被试选择“听起来感觉更好”的那个样本记为“1 分”，而另一个样本被记为“-1 分”。因此，得分越高表明该样本被越多的选为“听起来感觉更好”。

5.3.1 均值分析和单样本 t 检验

将所有有效被试对同一样本的优选分值进行求和后取算数平均，就得到所有样本的优选得分均值，评价结果见表5-6、图5-1。

表 5-6 主观评价结果均值

男女声		67dBA	70 dBA	73 dBA	76 dBA
男声	均值	-1.44	3.11	2.00	-3.67
	N	18	18	18	18
女声	均值	-4.21	3.89	2.32	-2.00
	N	19	19	19	19
总计	均值	-2.86	3.51	2.16	-2.81
	N	37	37	37	37

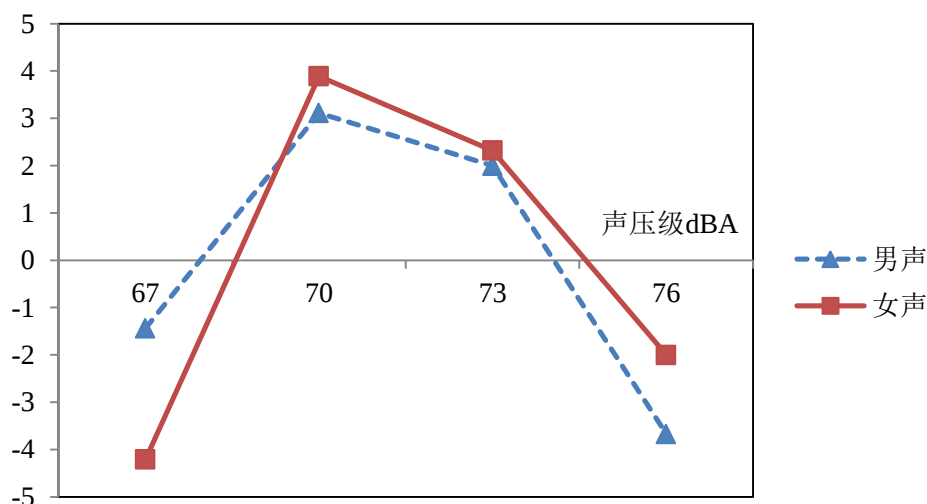


图 5-1 主观评价结果均值

观察图5-1中2个京剧片段的主观优选值的趋势可以发现，每个曲线都可以找到一个峰值，该峰值所对应的就是实验素材的最高得分值，两个京剧素材得分最高的样本对应的平均声压级均为70 dBA。单样本t检验的结果见表5-7、表5-8。

表5-7 男声单样本t检验汇总

	Test Value = 3.11					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
67 dBA	-4.995	17	.000	-4.55444	-6.4783	-2.6306
73 dBA	-1.464	17	.162	-1.11000	-2.7101	.4901
76 dBA	-11.514	17	.000	-6.77667	-8.0184	-5.5349

表5-8 女声单样本t检验汇总

	Test Value = 3.89					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
67 dBA	-17.759	18	.000	-8.10053	-9.0588	-7.1422
73 dBA	-4.113	18	.001	-1.57421	-2.3784	-.7701
76 dBA	-7.553	18	.000	-5.89000	-7.5284	-4.2516

对实验素材“男声”的主观评价结果可知，样本70 dBA的平均值得分是最高的。对于样本73 dBA，可知t检验的显著性水平为 $0.162 > 0.05$ ，因此认为70 dBA与73 dBA两个样本在均值上相等，不存在显著差异；对于样本67 dBA、76dBA，可知t检验的显著性水平分别是为 $0.000 < 0.05$ 、 $0.000 < 0.05$ ，因此认为70 dBA分别与67dBA、76 dBA两个样本在均值上存在显著差异，即70 dBA的均值显著高于67dBA、76 dBA的均值。所以素材“男声”的响度优选值是70dBA、73dBA，也就说优选范围是70~73 dBA。

对实验素材“女声”的主观评价结果可知，样本70 dBA的平均值得分是最高的。对于样本67 dBA、73dBA、76dBA，可知t检验的显著性水平分别是为 $0.000 < 0.05$ 、 $0.001 < 0.05$ 、 $0.000 < 0.05$ ，因此认为70 dBA分别与67 dBA、73dBA、76dBA这三个样本在均值上存在显著差异，即70 dBA的均值显著高于67 dBA、73dBA、76dBA的均值。所以素材“女声”的响度优选值是70dBA。

5.3.2 方差分析

对评价结果进行方差分析，用于判断京剧中响度的优选是否存在男声、女声之间的差异。表5-9是基于男、女演唱的方差分析结果，结果表明，在0.05的显著水平下，被试在67 dBA（ $0.009 < 0.05$ ）上有显著差异，认为不同的男、女唱腔对67 dBA 的优选值产生了显著影响。

表5-9 基于男、女演唱的方差分析结果

		平方和	df	均方	F	显著性
67 dBA	组间	70.722	1	70.722	7.602	.009
	组内	325.602	35	9.303		
	总数	396.324	36			
70 dBA	组间	5.676	1	5.676	.696	.410
	组内	285.567	35	8.159		
	总数	291.243	36			

73 dBA	组间	.922	1	.922	.143	.708
	组内	226.105	35	6.460		
	总数	227.027	36			
76 dBA	组间	25.676	1	25.676	2.862	.100
	组内	314.000	35	8.971		
	总数	339.676	36			

5.4 本章小结

本章重点介绍了响度主观优选实验的实验设计及实验结果处理及分析。实验以男、女声 2 个京剧片段为实验素材,采用成对比较法对具有不同平均声压级的实验样本进行主观优选比较判断。最后,对主观评价结果进行数值化处理,将经过数据检验并剔除掉误判率较大的被试的评价结果汇总后进行数据统计分析,得到响度优选值。

实验结果表明,平均声压级的最优值为 70dBA,优选范围是 70~73dBA。对比日本学者对西方音乐的研究,其最佳响度是 74dBA;国内研究人员对民乐合奏曲目“喜洋洋”的研究表明其最佳响度为 77dBA,本研究的响度优选值偏低,原因可能与本次响度实验选择的被试背景有关系,被试均为在校研究生都是年轻人,对京剧演出讲究热闹的习惯并没有亲身感受,所以其优选值偏低。建议在将来的研究工作中,应增加有多年听戏经验的被试者的数量。

第六章 总结与展望

6.1 总结

厅堂音质设计的依据是与主观听觉效果相关的客观声学参数,而且客观声学参数的主观优选值对指导厅堂音质设计实践具有重要的参考价值。因此本文开展了针对京剧演出厅堂的音质评价及声学参数的优选值研究。

首先进行了对京剧音质评价的主观问卷调查,调查以经常观看京剧演出的观众为主体,结果发现观众更注重演唱的清晰度、丰满感、嘹亮感及声像平衡这些主观参量,对亲切感和空间感则较不注重。

其次,结合问卷调查的结果选取了混响时间和响度两个参数进行主观优选实验研究。混响时间优选实验采用成对比较法,将行当、节奏等不同的 10 个京剧片段干信号与 6 个不同混响时间的脉冲响应进行卷积得到实验样本,被试分为有多年听戏经历的经验组和代表普通群众的普通组。分析实验结果并考虑其他因素,得到京剧演出厅堂的混响时间的优选范围为 0.2~0.6s。对响度的优选实验的结果表明,平均声压级的最优值为 70dBA,优选范围是 70~73dBA。

通过上述的优选实验,可以初步得到适合京剧演出厅堂的混响时间和响度的一些结论,当然这些结论是通过主观评价实验得到的。由于实验是应用可听化技术进行的实验素材的处理,但该技术在准确再现厅堂某一位置的响应方面还具有一定的不准确性,所以本研究的结论在应用于实际情况时需要适当的修改。但本研究为寻找中国京剧适合的演出环境提供了一定程度的理论依据,对指导京剧演出厅堂的音质设计有一定的应用价值。

6.2 研究展望

由于作者在本研究过程中的时间和精力有限,针对京剧演出厅堂的音质评价的问卷调查只在天津市内进行,因此下一步的研究应考虑增加其他城市的有观看京剧演出经验的评价人员的数量。对客观声学参数在京剧演出厅堂中的主观优选问题,本研究只选取了其中的两个参数,下一步的研究应增加其他参数的优选研究。

对京剧演出厅堂的声学特性研究只是厅堂声学研究中很小的部分,希望鉴于

此研究之上,有更多关于中国传统戏曲演出厅堂的声学特性的研究出现,如评剧、豫剧、越剧等,进一步提高中国传统戏曲演出场所的音质效果。

参考文献

- [1] 孙玫,“三大戏剧体系”说和“三种古老戏剧文化”说辨析[J],艺术百家,1994,02:39~41
- [2] 北京市艺术研究所,上海艺术研究所组织编著,中国京剧史(上卷)[M],北京市:中国戏剧出版社,2005
- [3] 杜长胜编,京剧与中国文化传统,第二届京剧学国际学术研讨会论文集[M],北京市:文化艺术出版社,2008
- [4] 王季卿著,建筑厅堂音质设计[M],天津市:天津科学技术出版社,2001.204~205
- [5] 项端祈著,演艺建筑——音质设计集成[M],中国建筑工程工业出版社,2003
- [6] Kuhl, W. Über Versuche zur Ermittlung der günstigsten Nachhallzeit großer Musikstudios, Acta Acustica, 4(1954), 618~634(17)
- [7] 吴硕贤,赵越喆,王红卫. 民族音乐厅堂混响时间优选试验[A]. 中国声学学会. 中国声学学会 2006 年全国声学学术会议论文集[C]. 中国声学学会:2006:2
- [8] 孟子厚,赵凤杰. 民乐片段混响感主观偏爱度的初步实验[J]. 应用声学,2007(01):41~45
- [9] 项瑞祈著,剧场建筑声学设计实践[M],北京市:北京大学出版社,1990
- [10] 中国建筑西南设计研究院, JGJ57-2000, 剧场建筑设计规范[M], 北京市:中国建筑工程工业出版社,2001
- [11] GB/T50356—2005, 剧场、电影院和多用途厅堂建筑声学设计规范[S]
- [12] (美)威廉 J·卡瓦诺夫, (美)约瑟夫 A·威尔克斯编著, 赵樱译, 建筑声学——原理和实践[M], 北京市:机械工业出版社,2005
- [13] Hass. H. “The Influence of a single Echo on the Audible Speech”. J. Audio Engr. Soc. 1972
- [14] A.H. Marshall. A note on the importance of room crosssection in concert halls, Journal of Sound and Vibration. 1967, 5(1): 100~12
- [15] Barron M, A.H. Marshall. Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls: the derivation of a physical measure. Journal of Sound and Vibration. 1981
- [16] (美)白瑞纳克(Leo Beranek)著,王季卿等译,音乐厅和歌剧院[M],上海市:同济大学出版社,2002
- [17] V.L. Jordan, Auditoria acoustics: Developments in recent years. App. Acoust. 1975 (08)

- [18] W. Reichardt, O. Abdel Alim, W. Schmidt, "Definitionen und Meßgrundlage eines objektiven Maßes zur Ermittlung der Grenze zwischen brauchbarer und unbrauchbarer Durchsichtigkeit bei Musikdarbietungen", *Acustica* 32 (1975), 126
- [19] P. Lehmann, "Über die ermittlung raumakustischer kriterien und deren zusammenhang mit subjektiven beurteilungen der harsamkeit dissertation", TU Berlin (1976)
- [20] Schroeder, M. R. Acoustic parameters. *J. Acoust. Soc. Am*, 1979, (65): 956~964
- [21] Gattlob D, Comparison of objective acoustic parameters in concert halls with results of subjective experiments, 1973
- [22] Barron M, Marshall A H., Spatial responsiveness in concert halls and the origins of spatial impression[J]. *Applied Acoustics*, 2001, 62(2): 91~108
- [23] Morimoto M, Maekawa, Z., Auditory Spaciousness and Envelopment. 13th ICA, Yugoslavia 1989
- [24] Bradley J S, Soulodre G A, The influence of late arriving energy on spatial impression. *The Journal of The Acoustical Society of America*, 1995
- [25] Ando Y, Architectural acoustics, blending sound sources, sound fields, and listeners[M], New York: Springer-Verlag, 1998
- [26] Furuya H, Fujimoto, et al. Arrival direction of late sound and listener envelopment. *Applied Acoustics*, 2001
- [27] 王季卿, 音乐厅音质设计进展述评[J], *应用声学*, 2003, 01: 1-7+34
- [28] M. R. Schroeder, D. Gottlob, and K. F. Siebrasse, Comparative study of European concert halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters. *J. Acoust. Soc. Amer*, 56(1974), 1195-1201
- [29] Ando Y. Okura M. Yuasa K. On the Preferred Reverberation Time in Auditoriums, *Acustica*, 50(1982), 134-141(8)
- [30] Ando Y, Architectural acoustics[M], New York: Springer-Verlag, 1998
- [31] S. J. Sarwono and Y. W. Lam, "Subjective Preference of Reverberation Time in a Javanese Gamelan Concert Hall", *ISSM 2000*, October 2000, Paris, France
- [32] S. J. Sarwono and Y. W. Lam, "Subjective Preference of Initial Time Delay Gap in a Javanese Gamelan Concert Hall", 140th ASA Meeting, paper 5pAA2, Newport Beach, CA, December 2000
- [33] J. Sarwono and Y. W. Lam, "The Preferred Acoustic Parameters For A Javanese Gamelan Performance Hall", *Proc. 17th ICA*, Rome, 2001
- [34] S. J. Sarwono and Y. W. Lam. The preferred initial time delay gap and interaural cross correlation for a Javanese gamelan performance hall[J], *Journal of Sound and Vibration*, 2002 (3)
- [35] 孟子厚, 赵凤杰, 民乐片段混响感主观偏爱度的初步实验[J], *应用声学*, 2007(01): 41~45

- [36]何穆,民乐混响感主观偏爱度的实验测量和分析[D],中国传媒大学硕士学位论文,2008
- [37]吴硕贤,中国民族音乐厅堂音质研究(英文)[J],华南理工大学学报(自然科学版),2007,S1:17~20
- [38]郭天葵,中国民族音乐厅堂 ITDG 和 IACC 的主观优选研究[D],华南理工大学,2013
- [39]吴硕贤主编,建筑声学设计原理[M],北京市:中国建筑工业出版社,2000
- [40]项端祈编著,音乐建筑 音乐•声学•建筑[M],北京市:中国建筑工业出版社,1999
- [41] Ando Y. Okano T. Takezoe Y. “The running autocorrelation function of different music signals relating to preferred temporal parameters of sound fields”J. Acoust. Soc.Am.,86,644~649 (1989)
- [42] H. David, The Method of Paired Comparisons, Oxford University Press, New York,1988
- [43] N. Kousgaard, The application of binary paired comparisons to listening tests. Symp. on Perception of Reproduced Sound, Denmark (1987)
- [44] Parizet E.Pairde Comparison Listening Tests and Circular Error Rates. ACTA Acustica United with Acustica . 2002
- [45] D. Kato, W. Eaton, Sound quality engineering for RV generator sets, SEA technical paper series, 1999, 1999-01~1816
- [46] Y.Ando, Concert hall acoustics [M].Berlin: Springer-Verlag,1985

发表论文和科研情况说明

发表的论文:

[1]杨娇娇,马蕙,“探究声学设计与室内装饰设计的有机结合”,《建筑与文化》,2014(03):109~110

[2]杨娇娇,马蕙,“基于 ACF 和 IACF 的交通噪声识别方法”,《噪声与振动控制》增刊(2014),已录用

[3]杨娇娇,马蕙,“京剧音质主观评价的问卷调查”,《建筑新技术》,已投稿

参与的科研项目:

- 1、参与同仁堂天津制药厂多功能报告厅、中国大戏院观众厅的声学设计
- 2、参与大连富丽华公寓式酒店的噪声控制项目
- 3、参与《建筑设计资料集》(声环境设计)部分的编写工作
- 4、参与环境噪声自动监测系统的研制与噪声数据库开发(天津市自然科学基金,编号 10JCZDJC24400)项目中噪声数据库开发部分

附录

京剧音质主观评价问卷

1、演员演唱的声音要浑厚、丰满，不干涩

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

2、唱词要清晰，每个字都要听清楚

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

3、高音嘹亮，感觉声音明亮、干净

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

4、低音丰富，感觉声音浑厚、温暖

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

5、演员与观众之间有交流（感觉演员距离自己很近，有亲切感）

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

6、声音和形象是同步、不分离的，不是声音在一个方向而演员在另一个方向

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

7、声音有环绕感，感觉声音来自上方、前方、后方等多个方向

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

8、不同乐器的声音要能准确地辨识

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

9、乐器伴奏的声音要浑厚、丰满，不干涩

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

10、您觉得听京剧时，演员和伴奏的声音在听觉上的宽和窄是否重要？

很不重要 较不重要 一般 比较重要 非常重要

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

11、您对这个剧院音质的总印象

☐很差 ☐较差 ☐一般 ☐较好 ☐很好

12、根据亲身感受，列出您欣赏京剧时最看重的是声音的哪些效果？

(1) _____

(2) _____

(3) _____

13、对问卷中提出的问题，您有哪些不明白的地方？

(1) _____

(2) _____

14、在过去的 1 年您大约观看过多少场演出？ _____

15、您的年龄_____ 性别_____

16、您的座位： _____楼_____排_____座

17、演员演唱的声音大小在什么程度您才喜欢？

非常弱 较弱 适中 较强 非常强

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

18、乐器伴奏的声音大小在什么程度您才喜欢？

非常弱 较弱 适中 较强 非常强

☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

致谢

本文能够得以顺利的完成，首先要感谢我的导师马蕙老师。由于读研之前对建筑声学的接触较少，最初的研究框架及论文写作都突显肤浅与幼稚，是马老师不遗余力的帮助才使得研究工作得以顺利进行。两年半的研究生学习过程中，马老师踏实稳重、勤奋严谨的治学作风给我留下深刻的印象，使我在学习生活中受益匪浅，也将鼓励我在今后的工作和生活中不断进取，完善自我。

感谢高辉、王立雄、王爱英、朱丽、张明宇、刘刚、党睿老师对我学习、工作和生活上的关心与帮助，感谢袁品老师对我在实验室中的帮助。

感谢课题组的于博雅、宫盛男、聂文静、杨立博、张兰、杨璐等对我研究工作和生活上的给予的热情帮助。同时要感谢王依、石越、涂颖佳和周淑玲同学在生活中给予我的帮助和支持，硕士阶段的生活因为有了你们而变得多彩和温馨。

另外，感谢我的家人和男友一直以来对我的鼓励和支持！

最后想说：师恩难忘，友谊长存，亲情无价！