辽宁省教育厅2014年人文社科研究，项目号：W 2014250
作者简介：秦敏静，女，辽宁沈阳人，沈阳音乐学院乐器工艺系副教授，硕士生导师，主要从事乐器工艺学钢琴制造及钢琴调律理论研究。
 邮箱：qinminjing@163.com       电话： 18640255533

**摘要**：弦槌整音技术是改善钢琴声音品质的重要手段。从声学角度分析，弦槌的品质直接影响到钢琴声音的振动能量、泛音结构等声学品质参量，同时对主观听觉的声音统一度、均匀度有重要影响。针对乐器之本——音质这一研究对象，从弦槌整音技术与音质评价标准进行科学的研究与分析，将会为钢琴弦槌的结构设计、材料应用、调试改良等关键性环节产生重大的提升作用，并为提高我国钢琴声学品质提供科学客观的理论依据。

**关键词**：弦槌   整音  音质评价

钢琴弦槌的出现，经过了许多钢琴制造家精心研制发展至今。据史料记载，弦槌的形制于1826年由法国钢琴制造家帕勃确立。由此在钢琴制造的声音改进工艺里出现了整音工艺，即通过对弦槌形状、硬度、弹性等方面的调整使音色得到改善的专项技术。弦槌整音技术经过几百年来的不断改进和完善，已经成为钢琴生产和钢琴维修服务中不可或缺的调整工艺，对钢琴品质的提升产生一定的影响。

**一、弦槌制作工艺及应力分布**

在钢琴结构中，影响钢琴音质的因素有很多，弦槌是其中重要的一部分。钢琴生产出厂之后，若要进一步改善钢琴音质，则需对弦槌进行音质的再次整理，因此弦槌的整音技术在很大程度上，为改善钢琴音质起到至关重要的作用。
弦槌的结构主要由木质的槌楦和羊毛质的呢毡构成。呢毡又分为外层呢毡和内层呢毡。外层呢毡由于直接接触琴弦，因此对音质的影响显得尤为重要。内层呢毡介于槌楦和外层呢毡之间，起到内外软硬过渡的作用。
弦槌的呢毡是由不同种类的羊毛混制而成。羊毛的种类不同而弦槌的品质也有所区别。羊毛在加工制成弦槌呢毡之前，首先要检测整张毛毡的重量是否合乎要求，然后根据毛毡的外观几何形状、颜色、纤维排列、层次等情况，进行各项感官指标的测定。根据毛毡不同点的厚度硬度的测试，找出能够发出理想音质的呢粘特性，作为制作优质弦槌的性能标准，为后期钢琴生产中获得良好音质提供理论依据。
弦槌的制作一般采用压制和胶合两种工艺，毛毡经除酸处理后，在专用的弦槌压力机上加压定型，其加压方法和压力值必须符合标准，压制后的弦槌打磨成由高音区向低音区逐渐加厚的梯型薄片形状。薄片毛毡在模具的巨大压力作用下，会使弦槌的内部产生压应力和拉应力，由于这两种力的存在，将影响到弦槌的相对硬度以及产生不同声音特质。
    制作弦槌的毛毡在不同音区厚度不同，这些不同厚度的变化，在压制成弦槌以后形成了不同的应力区（如图）。在弦槌的内层毛毡A区内，受到压应力的作用，而外层毛毡的B区内，受到拉应力的作用，在整音时可以感觉到两个区域的毛毡硬度有所不同。因此品质良好的弦槌在整音时，可以说是很敏感的，从不同的角度和深度进行针刺，都会产生很明显的声音变化。由于不同品牌的钢琴的音质特点不同，因此弦槌所受到的压应力力和拉应力，通过整音的方法最大限度的挖掘弦槌的内在潜力，满足钢琴所需要的音质要求。



    A——压应力
    B——拉应力
虚线——毛毡纤维纹理走向

**二、弦槌整音前提**

在整音的实践操作中，根据不同的钢琴品牌和不同的弦槌品质，调整整音方案是非常重要的。很多情况下，像给音乐会钢琴整音，不仅要因琴而异，更要因人而异。因为钢琴家有自己的声音概念，有时候他们希望调律师把钢琴的声音处理成他们所习惯的音色，也许其他人认为那种音色是不能接受的，但是钢琴音色本身就是因人喜好而不同的，这完全是个人爱好的区别，没有好与不好之分。但是这不能说明，整音不分好坏，这其中存在本质上的差异。调律师应在不断的实践中提高自己，满足越来越多的演奏者对音质方面的需求。因此培养钢琴技师对音质评价标准的确立非常重要，具体方法有如下四种：
1、通过聆听钢琴音乐会及钢琴音乐音像制品，建立正确的主观判断钢琴音质听觉系统；
2、通过钢琴演奏家和音乐家对钢琴音质的评价的要求，确定良好钢琴音质的标准，建立一套完整的主客观音质评价的专业用语；
3、通过广泛阅读有关钢琴音质方面的文献书籍，了解影响钢琴音质的相关理论；从而确定整音方案：
4、能够快速而准确的弹出半音音阶，通过与钢琴制造者的技术交流，了解他们自己设计的钢琴，其音质方面的具体要求，并针对一组弦槌整音前后的音质比对，总结出获得理想音质的个性整音方法；

**三、弦槌的整音注意事项及整音方法**

三角钢琴整音与立式钢琴整音方法基本是一致的，但三角钢琴在整音前需要注意很多问题。在击弦机反复推拉时，要特别注意不要碰触琴键，避免被压起的琴槌柄被折断。整音时不要把琴槌针刺的过于“成熟”，也就是不要一下子达到想要的效果；如果过于整音后，很多情况是在后期时候无法弥补。音乐会用三角钢琴的整音，因左踏板为演奏弱音踏板，是很多钢琴家及弹奏者经常使用的踏板，以达到改变音量和音色的目的；踩下做踏板后，击弦机产生移位，所有琴槌在移位时同时偏移出同音弦组，移位后的弦槌由原来的敲击三根弦，变成了敲击2 根弦；这样就要求弦槌与同一弦组的琴弦非常精准的对位，否则就会出现不清晰的声音和不均匀的音色变化现象；所以在整音之前要调整好弱音踏板及击弦机的正确位置。三角钢琴整音前要对中高音区的击弦点进行检查, 通过调整键盘的前后位置来确定击弦点位置。（立式钢琴通过调整击弦机高度来完成）整音前要对琴槌整体走向的整齐度进行检查调整。同时对琴弦的张弦系统进行检查，包括弦码上的琴弦安装，挂弦钉处低音弦扣的位置，低音缠弦是否有沙音、木音等杂音现象，作出正确的判断。
常规的整音方法在《三角钢琴弦槌整音技术》中已有详尽的论述，以下是针对有些钢琴的音质处于比较极端的状态下，即是音量已超出正常范围，需要如下整音操作：
    1. 对于声音很脆的、声音短促，琴槌具有很多的表面应力的三角钢琴，用2 -3毫米稍短的4针排针进行渐次的轻啄刺法。需要注意的是当刺到琴槌顶端击弦区域时，深度不能超出1到1.5毫米，同时不能直接针刺击弦点的位置。
    2. 对于特别硬并且没有弹性的弦槌进行整音时，用稍长的7 毫米长3针排针进行核心放射针刺啄法，从f 区（如图）到距琴槌击弦区前约1.5厘米之间针刺约10次左右；这样琴槌质量会逐渐向上推移，在核心区域产生弹性效应。然后换4-5毫米长度的排针，以垂直于毛毡纹理走向的刺法，从f 区到距离击弦区5毫米处，进行15次左右的针刺，注意进针深度均匀变化，从琴槌顶端到琴槌下方应逐渐增加进针的深
度。

3. 处理较软且声音空洞无力的弦槌时，用稍长的7毫米长3 针排针进行垂直纹理推法，从ff 区上部分开始向上至距离击弦点区域1.5厘米处针刺20次左右。然后打磨琴槌，再用3毫米长的排针，以同样角度，用浅啄法从侧面到距离击弦点区域5毫米处。严重的无力的弦槌需用8-9毫米长的单根针排针，在拉应力区向上斜刺法针刺5次左右，直到获得满意音色。

**四、钢琴弦槌整音的音质评价实验模型的建立**

钢琴的音质评价是建立在主观（听觉）感受与客观（物理）特性之间的两种评价系统的相互统一，现今对钢琴音质的评价主要是以主观评价为主，因为钢琴被使用的第一时间是与人的接触，人作为主观评价钢琴的一个载体，首先要根据个人对钢琴音质的理解描述出声音的主观属性，制定音质主观评价术语以及客观评价方法。
音质评价由客观评价与主观评价两部分构成，客观评价即用科学仪器测出声音的频谱图，并使用科学语言对频谱图进行解读。而主观评价依靠若干名评价者的人耳听辨，通过人的主观感受对音色做出评价，再将评价内容进行数据统计，进而得出最终结论。
选择YAMAHA C1钢琴作为实验对象，调律师根据经验对现有音色进行判断，在此基础上进行弦槌的针刺、打磨等整音工作。
针对钢琴弦槌整音前后，笔者随机选取＃D5音对整音前后的音质进行了对比客观分析，其频谱（如图）
该频谱为622HZ的#D5音在整音前的频谱，其基音能量远远高于第二、三、四等谐音，主观听觉上比较单一、干涩；而图二为整音后#D5音的频谱，其基音能量依旧很高，但可以看出其二、三、四谐音能量高于图一中二、三、四谐波能量，也就是在其八度、十二度、十五度音程的音量具有增益的效果，因此，主观听觉感受为丰满、圆润。
以客观为依据笔者涉及主观评价流程，主观评价流程的设定首先要符合以下几个方面：
    1、明确评价目的
    钢琴音质的主观评价是以突显整音效果为核心的评价内容，目的是通过人耳听觉的感知能力分辨整音前后的音质差别，从而找出整音工作的一般规律。因此，对于弦槌整音后音强、音色两方面的改善都要有较为清晰的评价，进而全面展示出整音工作对音质的具体影响。
2、规范评价用语
    由于人的感性认识以及感官用语的模糊性、象征性，不同个体对同一听觉感受的表述各有不同，这就导致了评价结果的杂乱性。在此，笔者列举出一部分听觉感受的规范用语，以便于评价数据的统计。
  （1）丰满：音质的动态范围大，泛音丰富，混响效果明显，饱满厚实、有弹性；反之干瘪、单薄。
  （2）柔和：中低频能量充足，混响效果适度，声音温和舒适；反之尖锐、刺耳。
  （3）明亮：中高频振动充分，听感清晰明朗；反之灰暗。
  （4）清晰：声音纯净，层次分明；反之模糊、浑浊。
  （5）圆润：混响效果适中，音质纯，声音润泽饱满；反之粗糙。
  （6）均衡：各音区音色、音量比例协调、平衡统一；反之不均衡。
    3、筛选评价人群
    对音质的主观评价具有艺术性的特点，因此，在评价人员的选择上要着重于评价者的音乐感知能力与音乐素养。评价者应具有将生理的、自然的听觉感受提升至具有文化艺术品格的听感的能力。
    另外，虽然评价人员都有良好的音乐基础，但依然需要进行一定的培训，如交代评价目的、评价步骤等，必要时应进行模拟评价，交流听觉感受，使大家能够更加明确地理解评价术语，减少评价差异。
    4、优化听音环境
    良好的听音环境对于评价结果有很大的影响。为了尽可能地减少听音时的干扰，应选用具有良好声学环境的视听室、消声室等实验场所。
    5、选定评价方法
    评价方法的选定对于突出评价效果有极为重要的作用。由于评价目的是为了找寻弦槌整音技术对音质的影响，因此，整音前后的音质对比是评价人员的听辨点。所以，我们选择“比较法”来进行该项测试。“比较法”应用于此评价活动中，即对弦槌整音前与针刺后的击弦效果分别做出评价，再将评价结果进行对比，进而明确整音工作对音质的具体影响。
    6、机械化实验操作
    弦槌整音时的针刺过程是影响音质的关键，人为的操作无法确定其针刺力度与深度，而整音前后需要弹奏琴键从而获得音效，如果用人工的方法，既无法量化触键力度，也无法保证每次触键的施力均衡。因此，实验时应使用机械手，并设定好针刺及触键力度，从而减少实验过程中的变量，突出实验目的。
    7、盲化实验过程
    为使评价人员的主观评价更加客观，我们要对实验过程进行盲化处理。原因是评价人员的主观评价受心理状态的影响，一旦给出“整音前”或“整音后”的设定，评价者就会有意识地诱导听觉感受为客观设定服务，导致评价结果的不稳定。盲化实验过程则有助于减少评价结果的波动性，提高准确率。
    8、统计评价数据
    对评价数据进行统计前要逐一检验评价者数据的可靠性，之后便可以进行数据的统计与归纳。将所有评价者的评价数据整合后，趋于一致的评价结果即可作为最终的结论，如果出现与整体评价数据偏差过大的极个别情况，可忽略不计。必要时应进行反复实验，大量收集评价结果，以保证结论的普遍性和准确性。
    根据上述音质主观评价的要求，选择YAMAHA C1钢琴作为实验对象，对中音区小字一组白键音进行整音前后的音质主观评价，评价过程及结果如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|   | 音质主观评价项目 | 总体音质 | 显著特点说明 |
|   | 清晰度 | 丰满度 | 圆润度 | 明亮度 | 柔和度 | 均衡度 |
|   整音前   |   评价分数 | c1 | 82 | 85 | 85 | 86 | 87 | 90 | 88 | 各音音色不均衡，存在个别音清晰度差、不够丰满的问题。 |
| d1 | 80 | 86 | 87 | 87 | 85 | 80 | 87 |
| e1 | 85 | 83 | 90 | 88 | 90 | 85 | 87 |
| f1 | 85 | 82 | 85 | 85 | 86 | 85 | 88 |
| g1 | 82 | 85 | 88 | 82 | 95 | 87 | 86 |
| a1 | 86 | 83 | 87 | 89 | 88 | 87 | 89 |
| b1 | 83 | 85 | 87 | 90 | 90 | 90 | 89 |
|   整音后 |   评价分数 | c1 | 93 | 90 | 93 | 91 | 93 | 87 | 88 | 清晰度有明显提高，且丰满度适中，各音的音色比较均衡 |
| d1 | 90 | 90 | 92 | 92 | 88 | 89 | 90 |
| e1 | 90 | 92 | 92 | 90 | 90 | 92 | 91 |
| f1 | 93 | 86 | 90 | 90 | 92 | 93 | 92 |
| g1 | 90 | 90 | 92 | 92 | 88 | 90 | 90 |
| a1 | 93 | 95 | 90 | 95 | 92 | 92 | 92 |
| b1 | 95 | 91 | 93 | 95 | 92 | 94 | 93 |

综上所述，清晰度整音前平均值为83.3分，整音后为92分，提高10.4%；丰满度整音前平均值为84.1分，整音后为90.6分，提高7.7%；圆润度整音前平均值为87分，整音后为91.7分，提高5.4%；明亮度整音前平均值为86.7分，整音后为92.1分，提高6.3%；柔和度整音前平均值为87.3分，整音后为90.7分，提高3.9%；均衡度整音前平均值为86.3分，整音后为91分，提高5.4%；总体音质整音前平均值为87.7分，整音后为90.9分，提高3.6%；
由此可见，整音后的弦槌在音色的各项指标中都有所提升，针对个别音清晰度不够，或音色过于柔和的问题，通过针刺的方法有针对性地调整，协调各音之间的比例，使音色平衡统一，人耳的听觉感受也随之有了变化。因此，该评价活动足以证明整音工作的重要性及其改善音质的有效性。

**结语：**从国外有关钢琴弦槌的整音技术及声音的主观评价方面的研究的总体状况看，尽管在钢琴弦槌研究中涉及了相关方法的应用问题，但对钢琴整音后的测试及评价系统本身进行专门阐述的论著并不多见。此外，大多研究都侧重与钢琴弦槌的整操作方法层面上的研究，并未与钢琴音色的主客观评价做综合分析。笔者认为对于弦槌整音与钢琴音色的关系的研究，不能仅仅停留在弦槌整音的一般技术层面上对钢琴声学品质的影响，还应与听者作为声音受众主观感受紧密相连，将物理测量与数据分析的结果结合至主观评价的研究，方能形成全面而系统的研究。总之，本课题的研究不仅对于钢琴生产实践具有重大的现实意义及经济效益，同时还是对乐器学学科体系中研究内容及研究方法具有积极探索意义。

**参考文献：**
Matt Grossman, Louisville, KY, Chapter: Voicing Concepts, Piano Technicians Journal, 1991.7.
Jack Greenfield: Acoustics Theories Of Thomas Young, Piano Technicians Journal,1990.12.
Jack Greenfield: Pitch Measurement And Vibration Theory; Science Of Acoustics  Established 1990.1
Neugbauer feine pianos seit  Voicing piano 1878
[1] 韩宝强 《音的历程——现代音乐声学导论》[M]中国文联出版社，2003年版
[2] 龚镇雄. 《音乐声学》[M]电子工业出版社，1995年版
[3] 孟子厚.《音质主观评价的实验心理学方法》[M].国防工业出版社，2008
[4] 包紫薇.关于乐器音质评价的一些意见［J］ 乐器 1988(3)
[5] 秦敏静《三角钢琴的音色整理》［J］ 乐器 2010(7、8)
[6] 秦敏静 《三角钢琴弦槌整音技术》［J］ 演艺科技 2014(1）