

看见声音：声音记录成像技术

(中国科学院声学研究所 李风华 编译自 Carl Haber. *Physics Today*, 2014, (3): 68, 原文详见 <http://ptonline.aip.org>)

十九世纪末至二十世纪初的录音资料提供了那个时代有限但是多样的历史记录。随着信息技术时代的来临，传统的生活方式发生了变化或消失。第一代人类学家和语言学家等采用录音记录了那个时代的部分演变。通过录音技术使得我们可以不断重复欣赏以前只能在剧场等地方聆听的声乐表演。这也推动了音乐及相关表演艺术的巨大发展。录音技术的发明者也给我们留下了这种现代技术产生的实验记录、设备和文件。早期的声音记录是世界的宝贵财富。

当今大部分声音存储在数字媒体中。但最初的声音以模拟方式存储于各种材料，包括箔、漆、金属、纸、塑料、蜡、感光乳剂等。通过在上述材料上刻录沟槽、潜像、极化等方式将声音保留下来。同时由于材料与保存的原因，记录的资料还广泛伴随有各种损坏，包括磨损、破损、化学分解、脱层、污垢、褪色、霉变、氧化、剥离和

翘曲等。解决上述问题为保护和恢复录音提出了挑战。与国会图书馆等紧密合作，劳伦斯伯克利国家实验室发展声音修复技术，使得研究人员和公众听到各种“已不能听”的关键历史文献。当然，由于存储介质和存储模式的多样性，声音修复技术还有很多问题需要解决。

本项声音修复技术的关键是光学测量技术。这种方法综合了数字图像采集、精密运动控制、图像处理等。通过光学测量，可以非接触精确测量存储介质表面。然后，通过回放过程提取记录的声音信号。此外，图像处理方法可以减少记录资料损坏的影响。

早期声音录制主要采用在存储介质上刻录沟槽方式。声音存储介质通常是圆柱或圆盘形状。对于柱状记录介质，沟槽一般垂直刻录于介质表面。对于盘状记录介质，沟槽平行于介质表面。沟槽的深度从几微米到几百微米，波动尺寸从几分之一微米到几百微米。如果展开沟槽，其总长度可以超过100 m。

为了采用光学测量方法从存储介质中提取声音信息，在测量过程中必须准确控制聚焦、排列、对齐、标定等。对于单个记录，这样的测量会产生Gb量级的数据。十几年前这样的处理是非常困难的，但是现在可以采用商业产品实现。

针对柱状与盘状存储介

质，需要采用不同的测量方法。对于圆盘状存储介质，我们可以使用数字缩微摄影技术确定沟槽的边缘(图1)。合适选取光学和图像分析方法，可获得亚微米级的分辨率。如果检测到沟槽的边缘，就可以提取声音信息。通过对沟槽边缘平均可以进一步提高信噪比。有规律的沟槽结构也可以通过图像处理确定灰尘、划痕和其他损伤。

对于柱状记录介质，数字成像技术无法确定沟槽深度。我们采用激光共聚焦显微镜进行声音修复。典型的激光共聚焦显微镜点光源通过一个透镜和分束器达到测量表面，然后反射到一个共轭探测器上。移动镜头可以确定到表面的距离，实现对存储介质表面三维成像。

在我们的使用中，并不移动镜头，而是对一个白光光源分光，不同颜色对应不同沟槽深度，然后在共轭光谱仪上检测反射信号，实现确定到表面的距离。在一个平坦的表面，该方法可以达到50 nm的深度分辨率，单点尺寸为3.5 μm ，测量范围为350 μm 。该系统有180个并行测量通道，通道间隔为10 μm ，这样的测量尺寸与早期录音方式是匹配的。

对于一个早期常见的3分钟、10英寸、每分钟78转的唱片，二维数字成像技术大约需15分钟实现声音修复。如果采用三维激光共聚焦扫描技术，测量时间大约为20分钟至几个小时，这取决于分辨率、时间采样和记录速度。

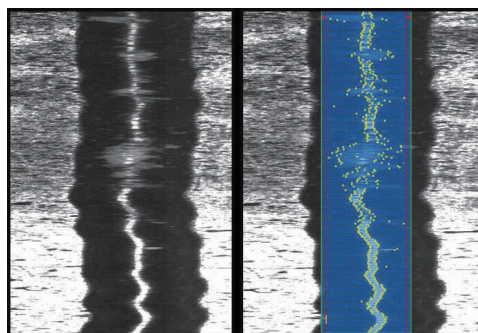


图1 圆盘状声音存储介质上沟槽光学成像结果(左)；沟槽底部边缘检测结果(右)