

# 物理学史中的七月

1680年7月8日：启发18世纪  
克拉尼图形的早期实验  
(译自 *APS News* 2017年7月)



萧如珀<sup>1</sup> 杨信男<sup>2</sup> 译

(1. 自由业; 2. 台湾大学物理系 10617)

达文西(Leonardo da Vinci)注意到质点因振动所形成的不寻常图形,伽利略(Galileo)也注意到乐器共鸣板上少量的毛发,在有的地方会动,有的地方不会。然而这些所谓的“克拉尼图形”都使用德国物理学家和音乐家克拉尼(Ernst Florens Friedrich Chladni)的名字,他是最早对此现象做深入研究的人。



图1 克拉尼(Ernst Florens Friedrich Chladni)

1756年,克拉尼出生在德国威登堡(Wittenberg)的学术世家,父亲是法律教授,也是威登堡大学的法学院院长。克拉尼很小时,他的母亲和妹妹就都过世了,他大都在家接受父亲严格的教育。他经常白天被限制在他的房间里学习,不允许出去交朋友,但他很喜欢研究星星和地图,渴望外出旅行,7岁时就开始阅读科学书籍。青少年时,他被送到来比锡附近的寄宿学校,但没和同学住一起,而是和一位老师同寝室。他父亲反对他学医的愿望,坚持要他取得法律学位。

克拉尼因此在莱比锡大学取得法律和哲学学位,但当他刚完成学位时,他父亲即过世,留下克拉尼照顾他的继母。然而,这也让他终于可以自由地追求他的科学兴趣。他节俭地靠着讲课维持居无定所的生活,一开始授课法律,后来授课几何学、地理学和他成为研究员后贡献显著的声学。

克拉尼最早在他的公寓做实验,跳过一般弦乐器和管乐器振动的研究,而专注于杆的横向振动,这是受到欧拉(Leonhard Euler)和伯努利早期研究的启发,之后他转而研究金属板的振动,这在当时多半是未知的领域。克拉尼当时也许不知道,因为在他留下来的著作中没特别提及,在一世纪前,1680年7月8日,虎克(Robert Hooke)在实心金属板上面撒下沙粒,然后以小提琴的弓沿着板的边缘拉,让金属板振动,注意到沙粒会沿着振动节点重新排列而形成独特图案。

克拉尼进一步对圆形、正方形和长方形板声音类型做系统的探讨,提高研究层面。根据他的自述,他在利希滕贝格(Georg Christoph Lichtenberg)的研究中找到了灵感。利希滕贝格将粉末撒在带电的树脂块表面,产生现在为人所知的利希滕贝格图形。克拉尼认为声音也可以这样做,所以他开始把沙粒洒在杆和平板上。他有着音乐家的耳朵,可以分辨些微小的频率改变,因此他注意到不同的频率产生了明显不同的图形,并将其仔细记录下来。同时,他发展出一个公式,可以预测振动圆板的沙子图形。他将结果——包括11块板和166个图型——发表在他1787年的书《声音理论的发现》(*Entdeckungen über die Theorie des Klanges*)中。然而他

最重要的专著是1802年的《声学》(*Die Akustik*)一书,系统地解说弹性物体的振动,为他赢得了“声学之父”的美名。

至于移动质点的基本机制显然有两方面,沙粒子在快速振动的板子上蹦跳,撞击高峰的表面,然后往节点移动;此外,克拉尼还注意到他的弓弦横过板子时会引导更细的质点移往反节点处,这是由于第二个输送机制,声流,最先是法拉第于更早1831年观察到的。它和气流在乐器产生振动的方式相反;在此情形下,垂直振动的板子沿着它的表面产生流体侧向流动。

因为振动图案确切地显示出振动方式会落在乐器背板的哪个地方,所以克拉尼的技术很快地成为小提琴以及其他乐器制造者的重要方法,目前仍广泛地被采用。克拉尼自己发明了两种乐器:一是受到富兰克林玻璃琴启发的优风尼(euphony),另一是键盘玻璃琴,这是改良自虎克(Hooke)早期的音乐筒,或“弦筒”。

克拉尼的研究持续地鼓舞了其他的科学家。去年(2016年)《物理评论快报》(*Physical review Letters*)有一篇论文说明在法国格勒诺勃大学(University of Grenoble)的物理学家如何做他们自己的克拉尼开创性实验。他们不在金属板上洒上沙粒,而是在水中悬挂聚苯乙烯细珠,然后将此悬挂插入一个微流控的设备,在底部的圆形孔上撑着一层聚硅氧烷薄膜,做成会振动的鼓。之后,他们配在显微镜中的照相机记录细珠的位置。当板振动时,细珠会自己排列到反节点处,形成反向的克拉尼图形,是声音在液体中流动的结果。能在此微流控的设备中形成此图形开启了使用声波来将物体组成特定的图案,做各种科技应用,例如将细胞聚集成群体,然后改变频率来变动它们的大小与分布,从而影响它们的成长。

1827年4月,克拉尼在波兰布雷斯劳(Breslau)巡回演讲时过世,他从未获得正式的学术职位。他

未婚,没小孩,墓地也被遗忘,但是他的图形持续激励着科学家和艺术家。伟大的德国作家歌德(Johann Wolfgang von Goethe)第一次于1803年在德国威玛(Weimar)和他见面时,对他有点轻视,但当他过

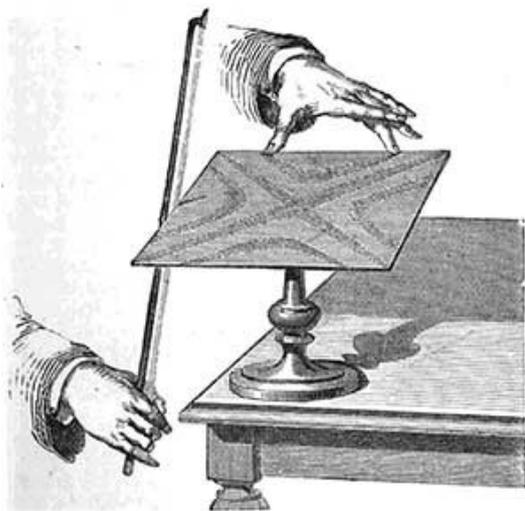


图2 在振动板上的沙粒显示出独特图案,被称为“克拉尼图形”

世时,歌德改变语气,写道:“谁会挑剔我们的克拉尼啊?他是德国的骄傲喔。世人都要感激他,因为他让声音看得见。”

(本文转载自台湾大学科学教育发展中心“CASE 报科学”,网址 <http://case.ntu.edu.tw/blog/?cat=3145>)

