科学通报
第40卷 第12期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1995年6月

鸣沙石英颗粒表面结构及其声学意义*

屈建军 孙 波① 张伟民 戴枫年 王远萍 康国定
(中国科学院兰州沙漠研究所，兰州 730000; ① 中国科学院兰州冰川冻土研究所，兰州 730000)

关键词 鸣沙石英颗粒表面结构 声学特征

鸣沙被誉为神奇的自然现象，从而引起国内外学者的极大兴趣，对鸣沙发声机制提出种种推测和假说[1]. 近几十年来，尽管国内外学者做了大量的研究工作，但在鸣沙石英颗粒表面结构对鸣沙声发射影响的看法方面，迄今仍有分歧[2]，本文拟采用SEM分析和声学测试方法，进一步系统分析石英颗粒表面结构对鸣沙声发射的作用.

1 实验方法

1.1 样品选择

我们分别选取粒径(0.125～0.18 mm)相近的敦煌鸣沙山鸣沙，机械粉碎的石英砂(简称原生沙)、海滩哑沙经球磨机冲洗500 h后变鸣的海滩鸣沙(简称冲洗沙)，未经球磨机冲洗的海滩哑沙(简称海滩沙)和日常用的淀粉5种类型样品.

1.2 声学测试装置

实验采用麦克风、示波器及声学测试系统. 实验中将相同重量(50 g)的样品放入光滑玻璃容器内，容器下垫有10 cm厚的聚苯乙烯泡沫塑料板，以避免与桌子发生共震，然后用长度为8 cm、直径为1.9 cm的玻璃棒来冲击沙子(平均冲击速度为10～20 cm/s). 沙子的发声信号由传声器将声压信号转化为电压信号，经信号调制获得阻抗匹配滤去噪音的放大信号后，通过12位模/数转换成数字信号进入计算机. 再经数字信号处理程序分析后，由显示器和打印机输出3个信号表征参量：波形、均方根值、能量谱密度. 采用该发声装置的依据在于：干扰噪音的主频率范围在1 500 Hz以上，而鸣沙发声信号的主频率在1 000 Hz以内[3]. 因此采用低通滤波技术，即可消除干扰噪音.

2 实验结果

2.1 信号时域特征

(1)信号波形. 声压信号波形是样品受到玻璃棒冲击激励时，判断产生声发射的最直观的依据. 图1是3种样品的声压信号波形. 从图1可以看出，冲洗沙、淀粉、敦煌鸣沙都产生了明显的瞬态声压信号，说明这几种样品在一定的外力激励条件下，能够产生声音效果. 从波形幅值定性地判断出这3种样品的声压信号强度依次减弱，而海滩沙和原生沙产生的声压信号极弱.

1994-10-21收稿，1995-02-06收修改稿
* 国家自然科学基金和中国科学院兰州分院择优基金资助项目

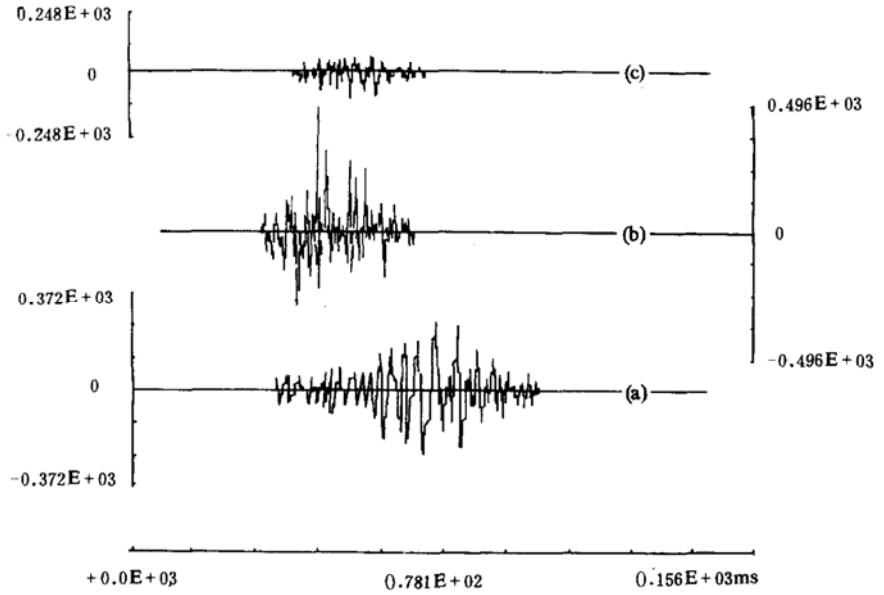

图 1 样品的声压信号波形

(a)冲洗沙, (b)敦煌鸣沙, (c)海滩沙

(2)信号均方根值(R_{ms}). 为定量地描述样品声压信号的强弱,我们计算出各样品声压信号的均方根值(R_{ms}),见表 1. 从表 1 中样品声压信号的均方根值可以看出:冲洗后的海滩沙较之未经冲洗的海滩沙声压信号强,敦煌鸣沙较之未经风力作用的原生沙声压信号强.

2.2 信号频域特征

通过分析信号的频率成分,可以增加对声发射机理的理解,并进而探求样品颗粒表面结构对声发射贡献的依据. 实验分析了声压信号的能量谱密度,确定出信号的主频率(见图 2)和对应的能量谱密度值(见表 2),从表 2 可以看出,冲洗后的海滩沙较之淀粉和敦煌鸣沙有着较宽的主频率分布范围,而淀粉和敦煌鸣沙主频率分布却相对集中.

表 1 样品声压信号均方根值(R_{ms}) (单位/Pa)

类 型	冲洗沙	淀 粉	敦煌鸣沙	海滩沙	原生沙
均方根值	0.215×10^2	0.207×10^2	0.159×10^2	0.760×10^1	0.690×10^1
信号强弱	强 ⟶ 弱				

表 2 样品声压信号主频率分布

样品类型	主频率/Hz		
冲洗沙	242.50	672.50	462.50
淀粉	270.00	325.00	452.50
敦煌鸣沙	765.00	712.50	332.50

3 结果与讨论

实验结果表明:(1)经过人工冲洗 500 h 的海滩沙不仅有较宽的主频率分布范围,而且较之未冲洗的海滩沙有着较强的声压信号(R_{ms} 冲洗沙 $=0.125\times10^2$、R_{ms} 未冲洗沙 $=0.760\times10$),其原因在于,一方面,海滩沙因受风、水两相搬运介质作用,石英砂表面(图 3(a))具有代表海滩环境的水下撞击的 V 形坑和代表风成环境的碟形坑(直径 100～160 μm)、新月形坑. 另一方面,经冲洗后的海滩沙较之未冲洗的海滩沙表面光滑,无 SiO_2 沉淀及因人为冲洗作用改造的较密集的 V 形坑(1 个/μm_2). (2)敦煌鸣沙石英砂颗粒边棱钝化,表面有风蚀环境下形成的形态不一的撞击坑,并有典型的碟形坑(直径为 52 μm),脊部有小的不规则撞击坑生成(图

3(b)). 也可能正是由于这种单一的表面结构才使得其主频率分布较之海滩沙集中. (3) 原生石英砂颗粒表面粗糙, 棱角锋利. 这种表面结构欠发育, 可能, , 成原生沙声压最弱 ($R_{ms}=0.692\times10$) 的主要原因. (4) 淀粉具有发声现象是众所周知的, 在 SEM 下, 我们惊奇地发现淀粉颗粒 (直径 3 ～20 μm) 表面有较多的蜂窝状结构, 蜂窝孔洞直径为 0.8 μm 左右 (图 3(c)). 声学测试结果表明, 淀粉声压较强 ($R_{ms}=0.207\times10^2$), 仅次于经冲洗的海滩砂, 我们将该结构称之为"蜂窝效应", 而不发声的面粉却缺乏这种表面结构.

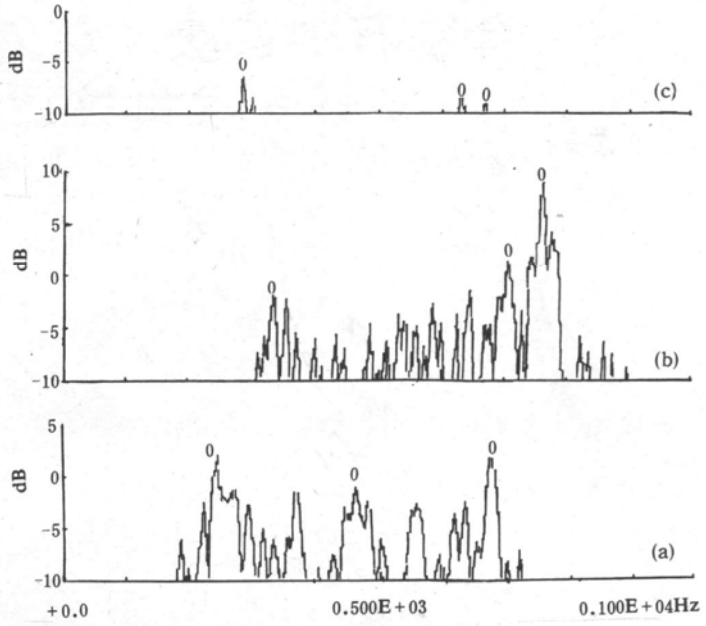

图 2　信号频域特征

(a) 冲洗沙, (b) 敦煌鸣沙, (c) 海滩沙

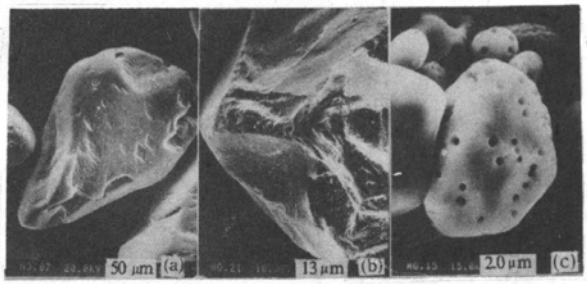

图 3

(a) 冲洗沙, (b) 敦煌鸣沙, (c) 淀粉

回顾 30 年代, 英国著名风沙物理学家拜格诺[4], 曾用极圆的称之为"冰冻的水珠"的人造玻璃球, 在不共鸣的容器中, 始终未能使其发声的原因很可能是与人造玻璃球缺乏表面结构有关. 影响鸣沙发声的因素很多, 我们初步认为, 鸣沙石英砂颗粒表面结构中类似蜂窝状的坑 (洞) 可能对鸣沙声发射有着重要的意义.

致谢　董光荣、吴正教授先后审阅了本文初稿并提出宝贵的修改意见, 在此致以衷心的谢意.

参　考　文　献

1　屈建军. 鸣沙研究及其展望. 地球科学进展, 1993, 8(4): 59～62

2　Haff P K. Booming dunes. American Scientist, 1986, 74: 377～381

3　Kyoshin Nishiyama, Senji Mori (周纪侠译). 鸣沙的发声频率. 世界沙漠, 1993, 1: 48

4　拜格诺. R A (钱　宁, 林秉南译). 风沙和荒漠沙丘物理学. 北京: 科学出版社, 1959