

## “腹中宇宙”的声学现象：从胃肠蠕动到多相流物理

当我们聚焦于宇宙的弦振动与量子涨落时，或许可以花一分钟，聆听一个更近的“宇宙”——我们自身的消化系统。它正遵循着经典物理与流体力学定律，上演一场持续不断的“腹内交响乐”。

### 核心机制：一个生物软管中的多相流声学问题

#### 1. 声源激励：胃肠的主动蠕动波

胃肠壁平滑肌的周期性收缩，形成了自组织的行进波。这不仅是生物学过程，更是一个活性物质系统的典型范例——系统能自发产生定向机械运动，并对外做功（推动内容物）。

饥饿时的强力清扫波（移行性复合运动）：可类比为管道内周期性启动的强压力脉冲，旨在清除残留物，为下一餐做准备。此时腔体相对空旷，气液两相界面振动剧烈，产生低频共振。

#### 2. 传播介质：非牛顿流体与气液混合体

食糜是一种典型的剪切稀化非牛顿流体：在静止或低剪切速率下较稠，但在胃的强力搅拌（高剪切）下流动性增加。

声音正是气体在这种复杂流体中运动时产生的：气泡的生成、融合、振荡与破裂，都伴随着声能的释放。其频谱特征蕴含了流体的物性信息。

#### 3. 两类典型“声学工况”的物理对比

工况	生理状态	物理类比	主要声学特征	关键控制参数
工况 A	饥饿 / 空腹	柔性空腔的受迫振动	低频、高振幅、间歇性咕噜声	蠕动波压力幅值高，气体体积分数低，腔体 Q 值较高
工况 B	饱腹 / 消化期	柔性管道内的气液两相流	高频、宽频、连续的流水/气泡声	流动雷诺数较高，气液界面面积大，蠕动波频率稳定

### 从人体声学中获得的交叉学科启发

#### 1. 一个天然的“活性物质”与“流固耦合”研究平台：

消化过程展现了自驱动柔性边界如何调控复杂流体的输运。这与我们研究的微流控、软体机器人驱动有概念上的相通之处。

胃肠的“分节运动”（局部混合）与“蠕动”（整体输送）的协调，是在空间上解耦的混合与输运策略，对设计微流体芯片或高效反应器具有启发意义。

#### 2. 一个内置的“声学故障诊断”系统：

临床医生通过听诊肠鸣音进行诊断，本质上是通过声学信号反演系统内部状态。

异常高调音（似金属声）：常提示肠道可能存在梗阻，对应物理图像是高速流体通过极度狭窄通道时产生的涡旋脱落与管壁振动。这与管道风鸣、涡街现象有类似的流体动力学起源。

### 3. 能量转换与信息传递的微观模型：

食物（化学能） $\rightarrow$ ATP（生物能） $\rightarrow$ 平滑肌收缩（机械能） $\rightarrow$ 流体动能与声能。

这条能量链的每一步都涉及高效的分子机器（如 ATP 酶、肌球蛋白），其转换效率与鲁棒性值得材料与能源领域深思。

---

### 今日思考：尺度间的对话

从宇宙的暴涨到胃肠的蠕动，从星系的旋转到肠道内容物的涡旋，虽然尺度跨越了 40 多个数量级，但支配其运动的守恒律、波动方程和稳定性原理却有着深刻的内在统一性。我们研究极大与极小的物理，而连接这二者的，正是我们自身这个中等尺度的、动态的、嘈杂的、却无比精妙的物理系统。

祝大家今日科研，既有“移行性复合运动”般定期清理、轻装上阵的节奏，也有“消化期”般高效混合、充分吸收的深度！

 P.S. 如果某个方程或数据让你感到“肠道应激”，不妨暂时放下，喝口水，走一走。身体的智慧有时在于其节律性，思维的突破也常常发生在张弛之间。

本期投稿者：

刘倩楠

编辑与整理：DeepChat 团队