

## “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）→ ATP（生物能）→ 平滑肌收缩（机械能）→ 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