

看似简单的沙子，如何实现强大的净化？



慢砂过滤（Slow Sand Filtration）是一种古老而优雅的技术，它仅利用沙子、砾石和一个微型生态系统，就能将水变得纯净。

但其真正的秘密，并非藏在沙粒之中，而是“栖息”于其上。

净化的三重奏：三种力量的协同作用

慢砂过滤的卓越效果，源于三种核心原理的紧密配合。



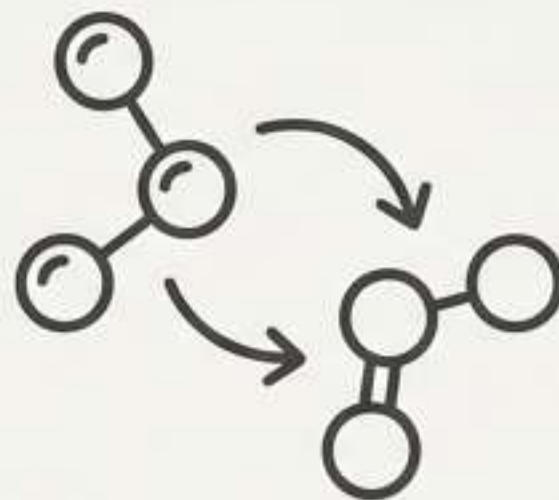
① 物理过滤

像“筛子”一样，拦截水中的悬浮颗粒。



② 生物作用

一个活的生态系统，分解看不见的污染物。



③ 化学/生物化学作用

通过吸附与转化，进一步改善水质。

基础防线：砂层如何拦截杂质

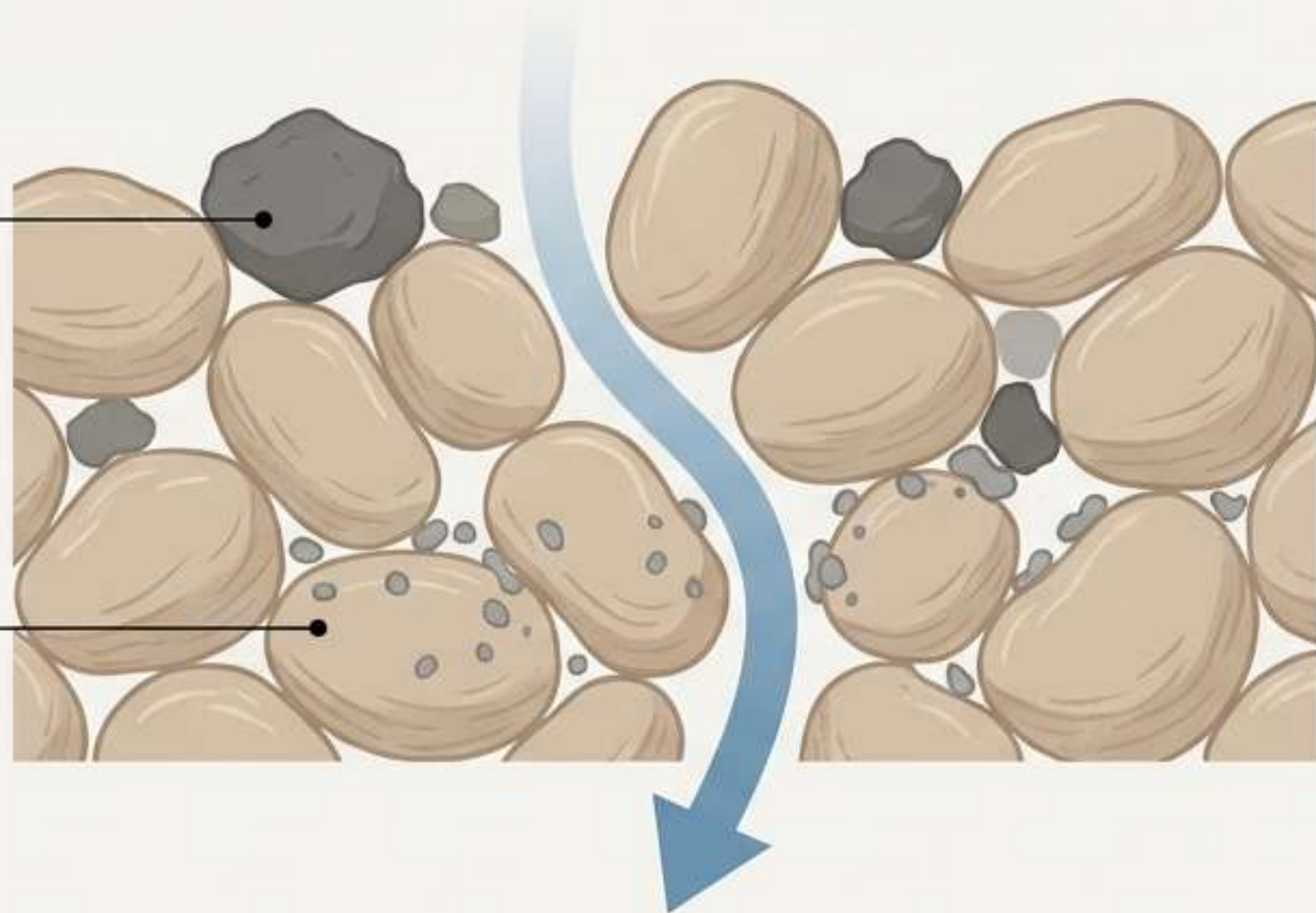
当水缓慢通过细密的砂层时，一个纯粹的物理过程首先发挥作用。

拦截大颗粒

较大的泥沙、碎屑、藻类等被直接卡在砂粒之间的孔隙中。

捕获小颗粒

由于水流速度极慢，更微小的颗粒也会因沉降、粘附而被困住。



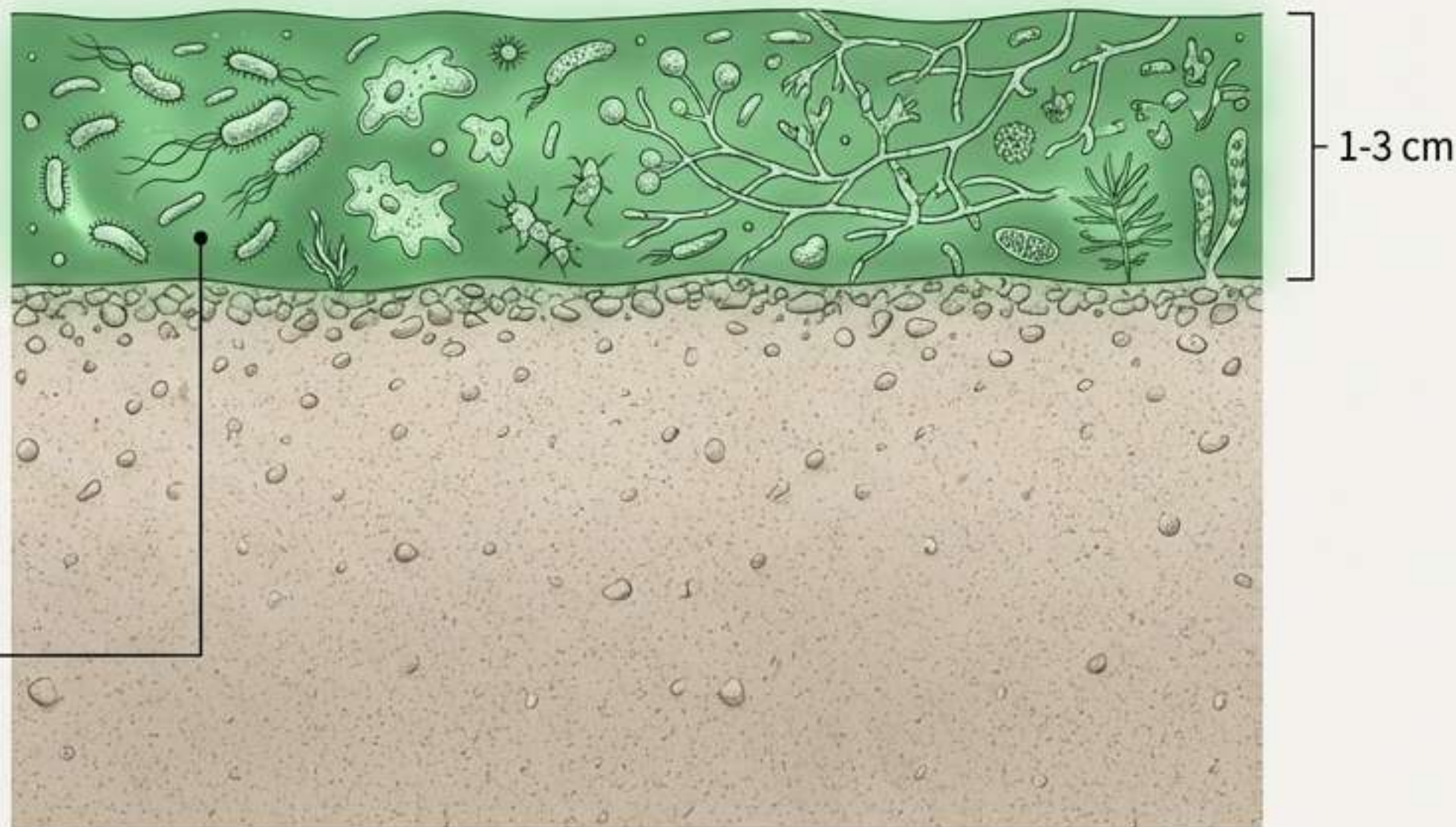
水速越慢 → 颗粒越容易停留 → 出水更清澈

真正的核心引擎：一个微型水下生态系统

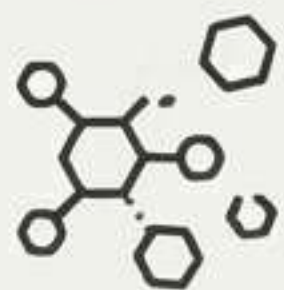
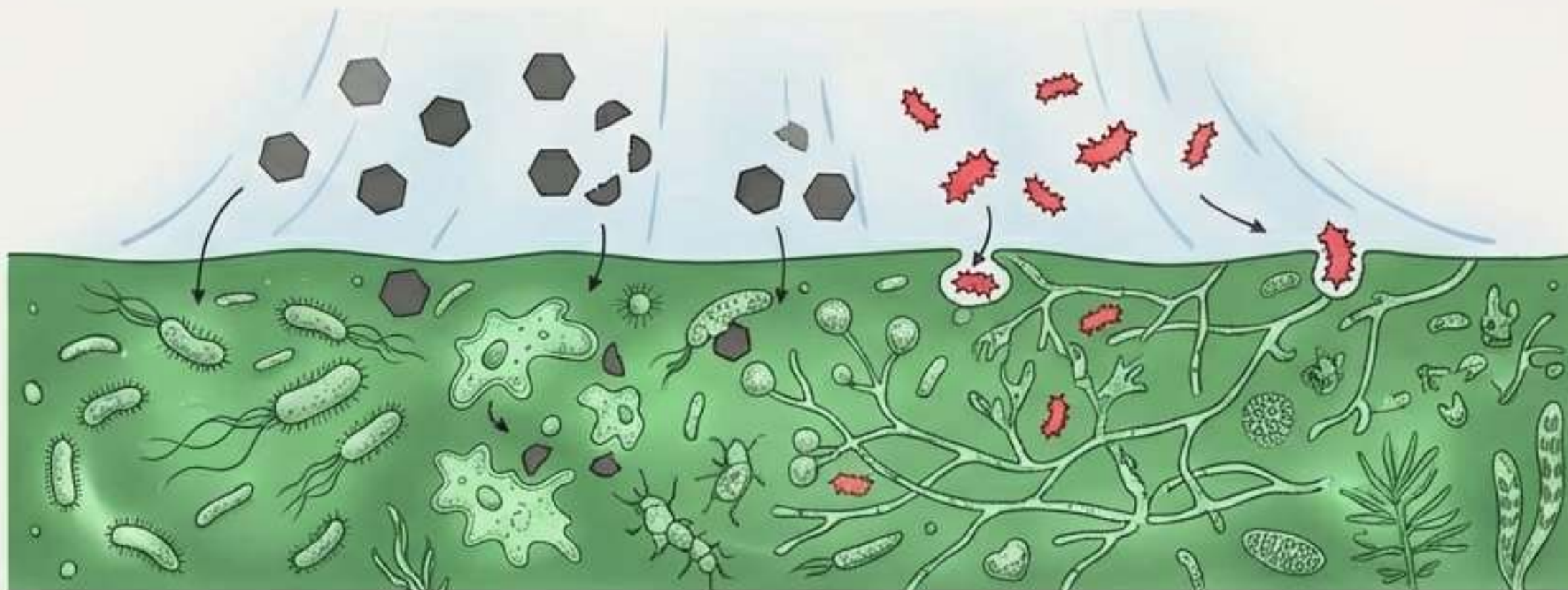
慢砂过滤的净化能力远超物理拦截。其关键在于砂层顶部自然形成的、一层富有生命的薄膜——**Schmutzdecke**。

Schmutzdecke（德语：“污物层”）：
中文常称为“**生物膜层**”。

这层 1-3 厘米的薄膜，是由细菌、真菌、原生动物、微小昆虫幼体和藻类共同组成的生命共同体。



生物膜如何净化看不见的污染物？



分解有机物

将水中的有机物作为“食物”，分解为更简单的无害物质。



抑制病原体

通过三种方式有效降低有害细菌数量。

- **竞争作用 (Competition)**: 有益微生物抢夺有害菌的生存资源。
- **捕食作用 (Predation)**: 原生动物直接吞食病原菌。
- **吸附作用 (Adsorption)**: 病原菌被固定在膜层中，随后被分解。

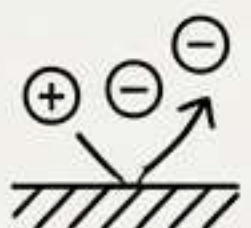
最后的精修：化学与生物化学的深度净化

在生物膜与上层砂区，除了生物分解，还发生着一系列微观的化学反应，进一步提升水质。



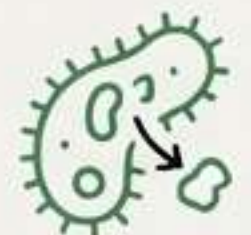
氧化反应 (Oxidation)

例如，将水中的氨氮转化为毒性更低的硝酸盐。



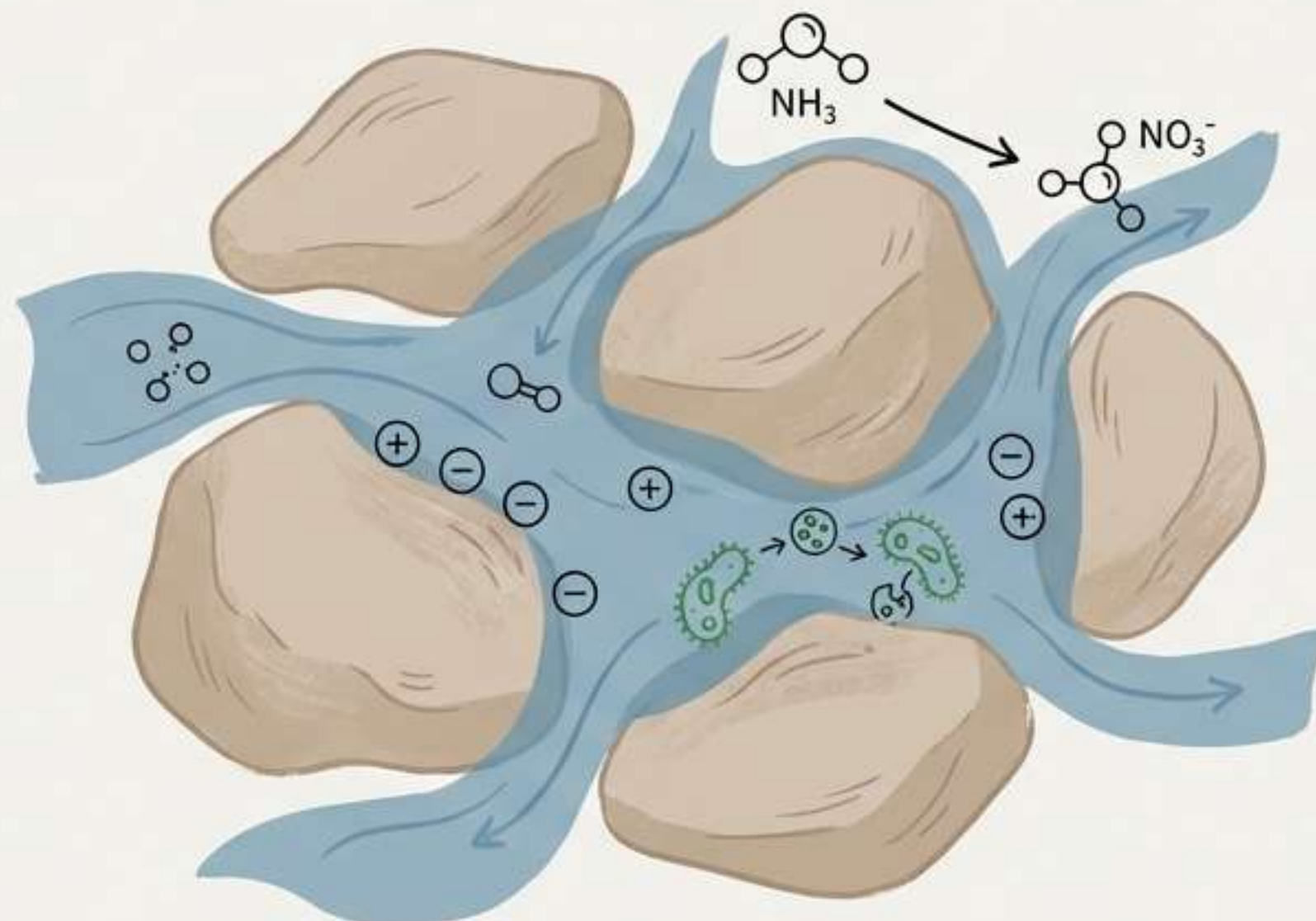
吸附作用 (Adsorption)

砂粒表面带有的电荷会吸附一部分阴阳离子。



同化作用 (Assimilation)

微生物将某些污染物作为营养物质直接摄入体内。

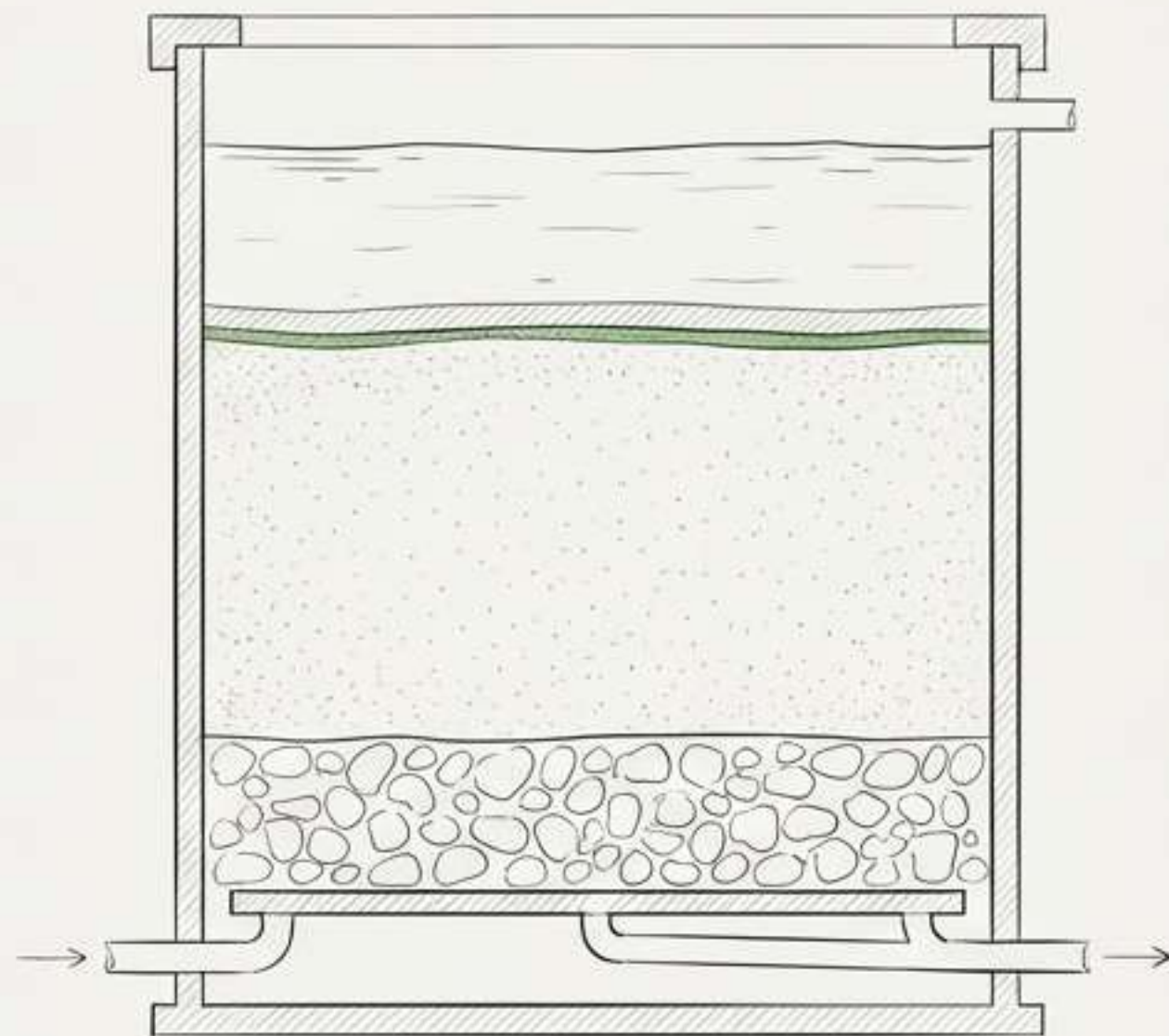


最终效果：水的味道、气味和浑浊度得到明显改善。

为生命而设计：慢砂过滤的结构蓝图

理解了净化原理后，我们再来看过滤装置的物理结构。它的每一层设计，都是为了给核心的生物膜系统创造最佳的工作环境。

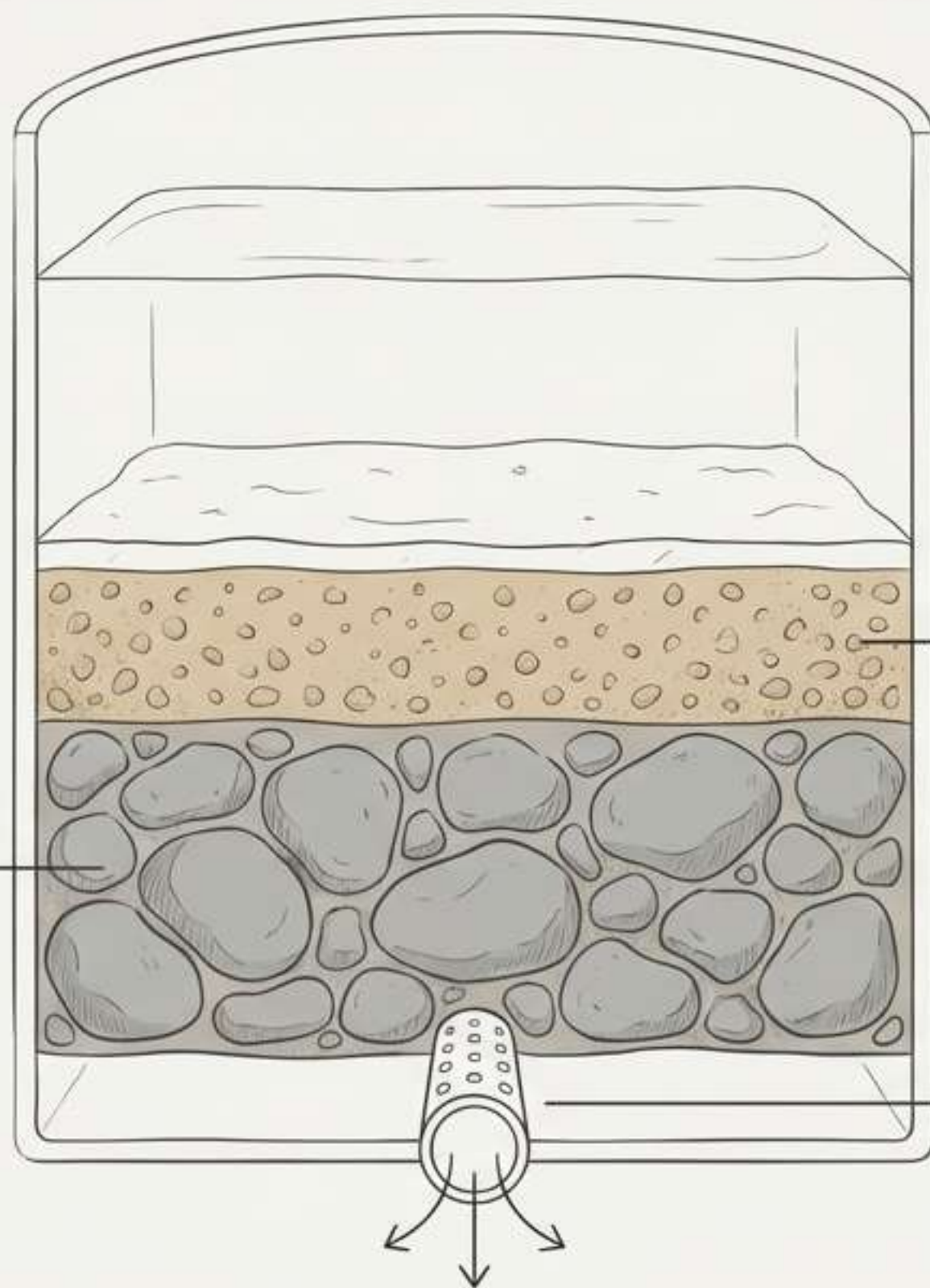
Noto Sans SC Regular



下面是用于科普理解的概念蓝图，并非精确的工程施工图。

搭建稳固的基石： 从支撑到过渡

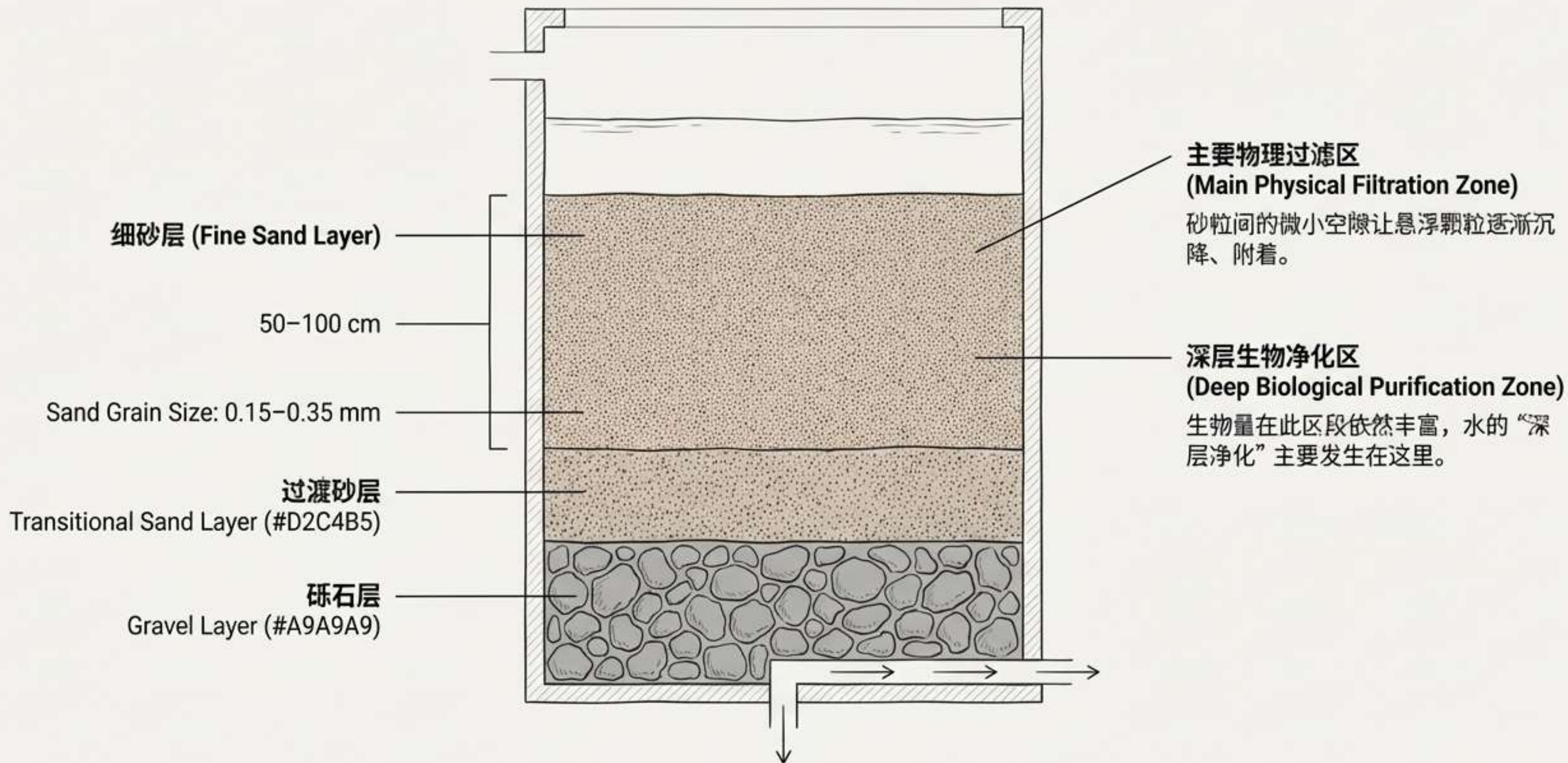
砾石层 (Gravel Layer)
20-40 cm
支撑上方的砂层，并形成“反压”，让水能够均匀顺利地排出。确保结构不会塌陷。



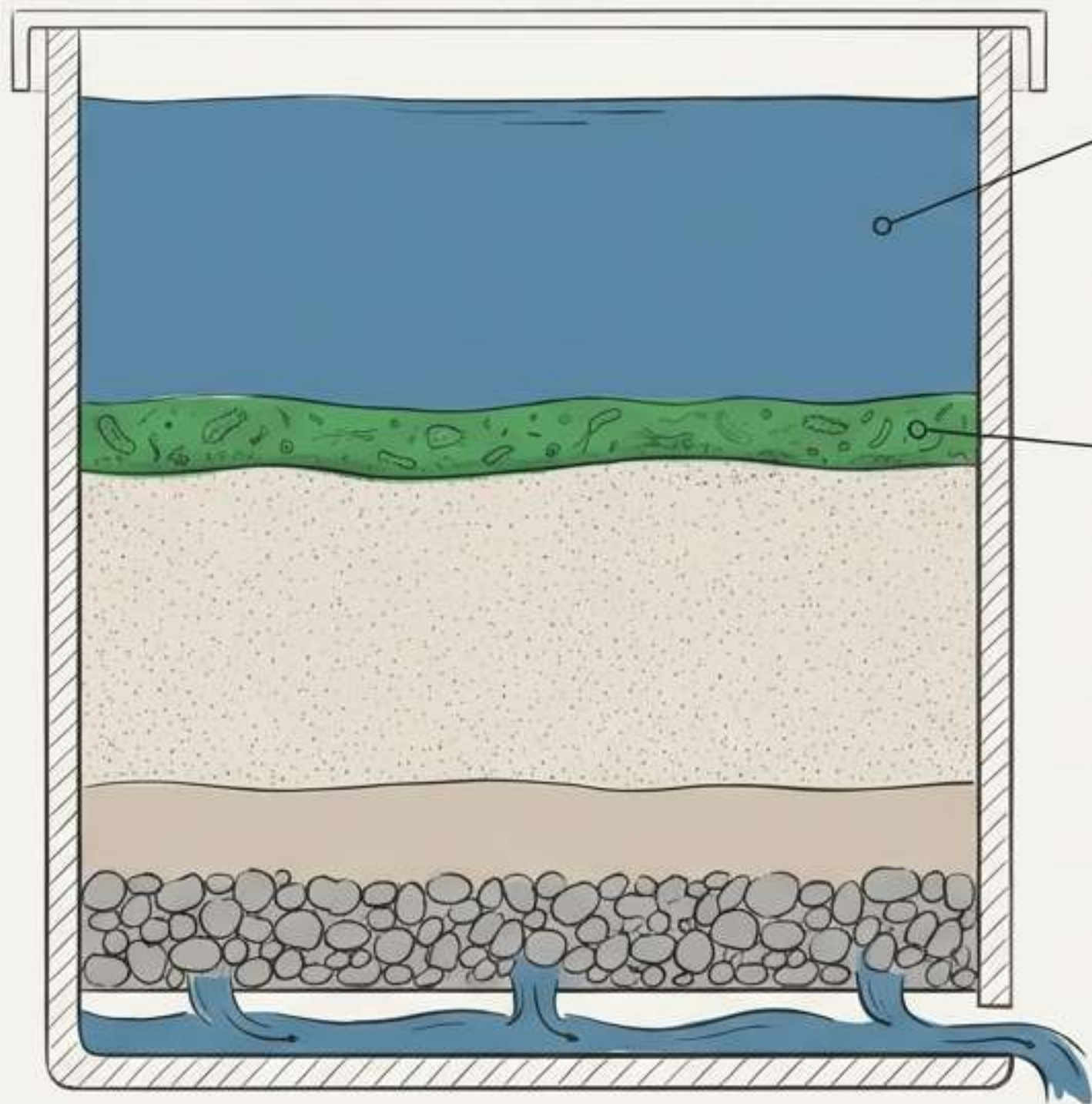
过渡砂层 (Transitional Sand Layer)
5-10 cm (中砂 - Medium Sand)
防止上方的细砂被水流冲入砾石层，保证水流均匀分布。

底部集水区 (Bottom Collection System)
保证过滤后的水被均匀收集，防止“短路”。

核心过滤区：物理与生物作用的主要场所



系统之“心”的栖息地



上部水层 (Upper Water Layer / Reservoir)

约 30-50 cm

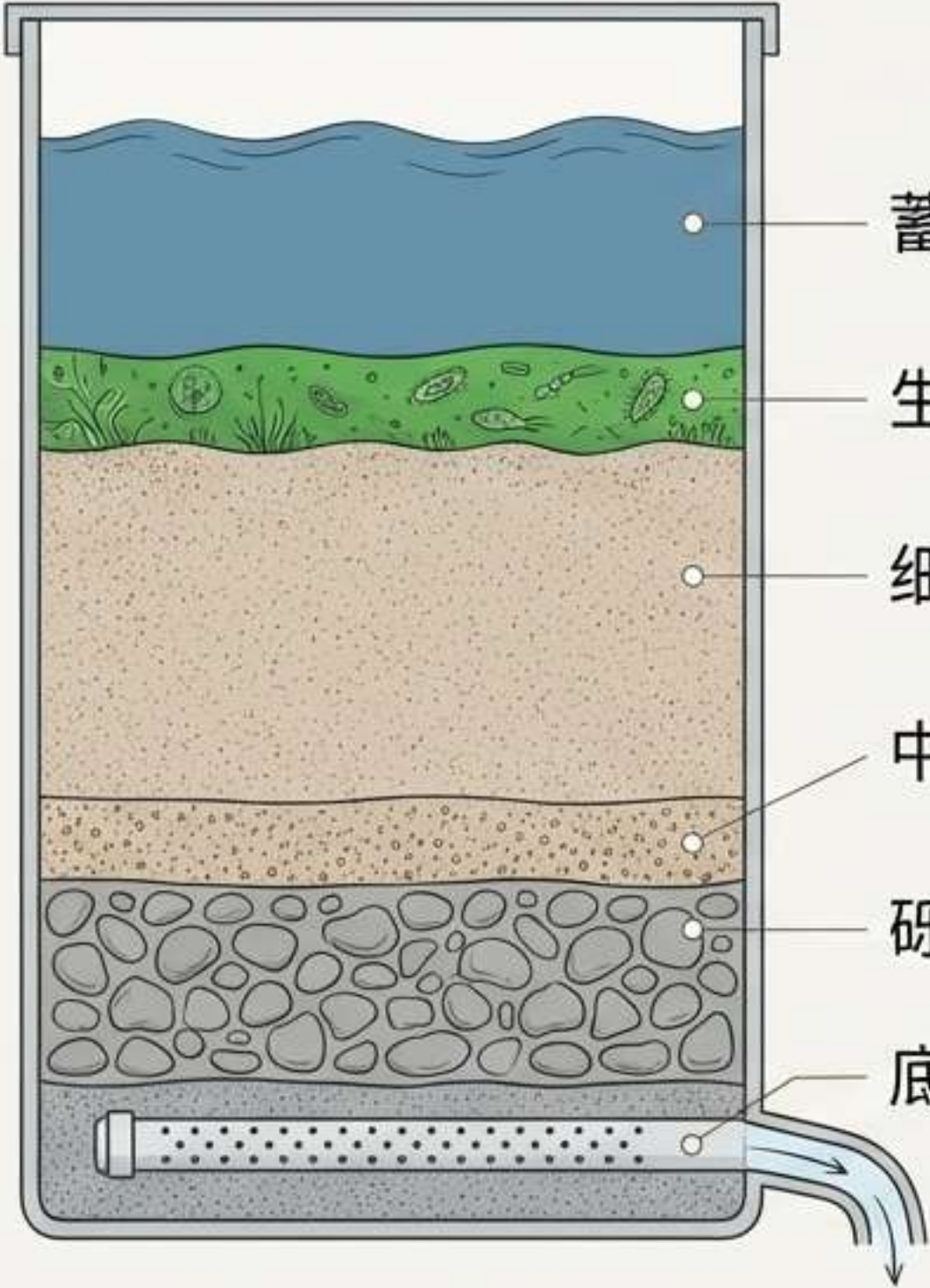
提供恒定的水头压力 (hydrostatic pressure)，使水能够缓慢、稳定地向下渗透。水位越稳定，生物膜越健康。

生物膜层 (Schmutzdecke)

1-3 cm

整个系统的“心脏”。主要负责分解有机污染、处理细菌。需要数天时间自然形成。

慢砂过滤“经典模型”参数总览



蓄水层

生物膜层

细砂层

中砂层

砾石层

底部集水区

部分

典型厚度

功能

蓄水层

30-50 cm

提供稳定水头

生物膜层

1-3 cm

分解有机物/抑制细菌

细砂层

50-100 cm

核心过滤区

中砂层

5-10 cm

过渡结构

砾石层

20-40 cm

支撑与排水

底部集水区

—

均匀出水

精心呵护一个生态系统

运行慢砂过滤不仅是机械操作，更像是培育一个微型生态系统。



极慢的流速 (Extremely Slow Flow Rate)

进水量必须被严格控制，典型速率为 0.1~0.4 米/小时。这是保证充分接触和净化的前提。



独特的清洁方式 (Unique Cleaning Method)

当流速因生物膜过厚而减慢时，只需刮掉表层 1-1.2 厘米的砂和生物膜。绝不能深层翻动，以免破坏下方的生物群落。

结论：慢砂过滤的智慧



**慢砂过滤的本质，不是依靠‘砂’，
而是精心构建并利用一个‘砂上的生态系统’。**

它融合了物理的拦截、生物的分解和化学的吸附，将自然净化力封装于一个简单而高效的结构之中。