

在一次性生物反应器中将 AseptiQuik 和 Kleenpak 接头与 Aber 探针配合使用

一次性系统中的电极无菌连接：高压灭菌波纹管组件

在一次性生物反应器（SUB）的应用中，核心技术挑战在于如何将非无菌的重复使用电极安全地接入已灭菌的容器。为实现这一目标，业界普遍采用**高压灭菌波纹管组件（Autoclave Bellow Assembly）**，将电极完整封装在一次性塑料护套内进行整体灭菌，从而在电极与无菌环境之间建立可靠屏障。

该连接组件由以下三个关键部件构成：

- **螺纹接口**：顶端采用标准 PG13.5 内螺纹（直径 13.5mm），可兼容 Aber 生物量电极或 Mettler/Hamilton pH/DO 等主流电极的头部。
- **风琴式波纹管**：位于中间的管状伸缩结构，能够在电极向容器内推送时随之压缩。
- **无菌接头**：底部配有 AseptiQuik 或 Kleenpak 接头。在连接时，电极尖端将穿过接头内部的无菌隔膜，以无菌方式引入生物反应器内部。



图 1 高压灭菌波纹管组件示意图，展示了包含 PG13.5 螺纹接口和 Kleenpak 无菌接头的风琴式波纹管结构。

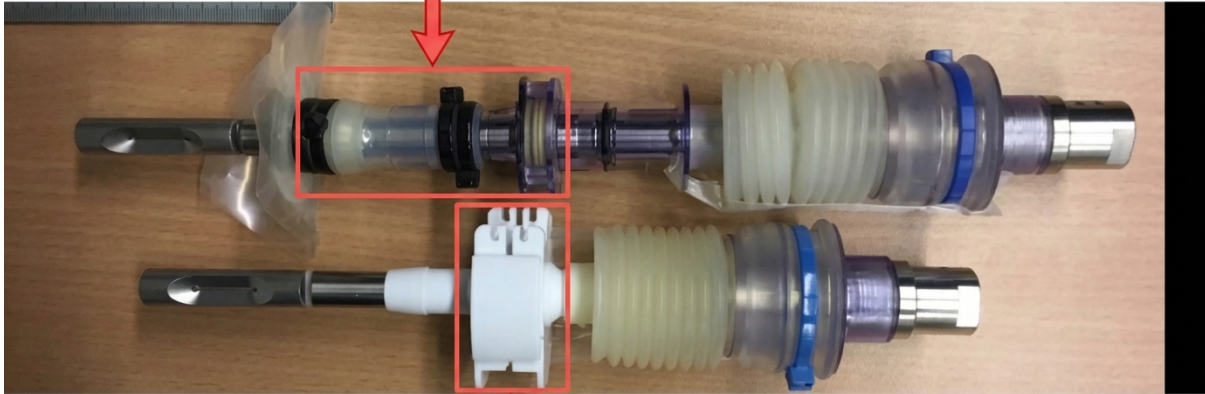
无菌接头的工作原理

保持连接过程无菌的关键在于 Kleenpak 或 AseptiQuik 接头内部的预灭菌膜。该膜充当物理屏障，防止在将电极插入容器或补料袋的过程中，污染物进入电极路径。

在建立连接时，将电极侧和反应器侧的接头对接并移除无菌膜。此时无菌路径开启，随着波纹管的压缩，电极可顺利插入反应器内部。



Kleenpak Connector



AseptiQuik Connector

图 2 AseptiQuik 接头与 Kleenpak 接头的直观对比图

用于 DO 和 pH 电极的高压灭菌波纹管

5 折叠风琴式：在一次性系统中，电极长度的行业标准通常为 220mm。因此，5 折叠风琴式波纹管是常用选择，其长度足以包裹 220mm 的电极。该长度既能保证电极穿过容器壁进入液位，又不会因过度伸入而干扰搅拌桨等内部组件。这种设计非常适合 pH 和 DO 电极，因为它们仅通过尖端表面进行测量。

为 Aber 生物量电极选择合适的一次性接头

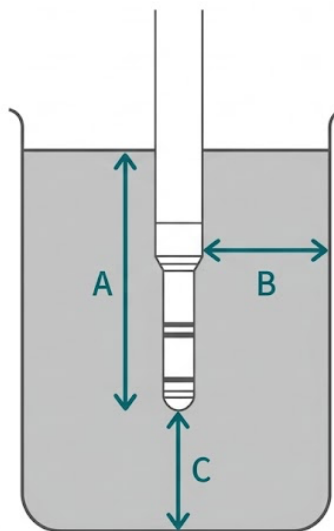
电容式生物量传感器与上述传感器不同，其测量电场以电极尖端为中心呈三维延伸，感应范围约为网球大小。其安装间隙要求如下：

测量信号在电极尖端乒乓球大小范围内生成，通过检测该体积内活细胞的电容变化来确定活生物量。



探头最小间距要求 (12 mm 环形/标准型)

A - 浸入深度 (毫米)	60
B - 侧面间隙 (毫米)	40
C - 底部间隙 (毫米)	40



标准型 12 mm 探头 (环形)

图 3 Aber FUTURA12mm 环形电极安装位置要求

将 AseptiQuik 接头与 Aber 电极配合使用

如果 SUB 使用 AseptiQuik 接头，则应配合使用兼容的无性别 AseptiQuik 波纹管。AseptiQuik 设计中不存在“死区”，不会导致电极插入深度不足。因此，220mm 的标准电极搭配常规 5 折叠波纹管即可满足使用要求，无需特殊调整。

将 Kleenpak 接头与 Aber 电极配合使用

研究发现，与 AseptiQuik 相比，Kleenpak 接头在电极尖端和反应器壁之间会产生一定的死体积 (Deadspace)。为了确保生物量测量的准确性，电极尖端必须超出反应器壁约 30mm，以保证整个 3D 测量场完全位于反应器内部，避免信号受到干扰或衰减。

因此，在使用 Kleenpak 波纹管时，传统的 220mm 电极长度不足以抵消接头带来的死区。为此，Aber Instruments 专门设计了长度为 287mm 的长款电极。

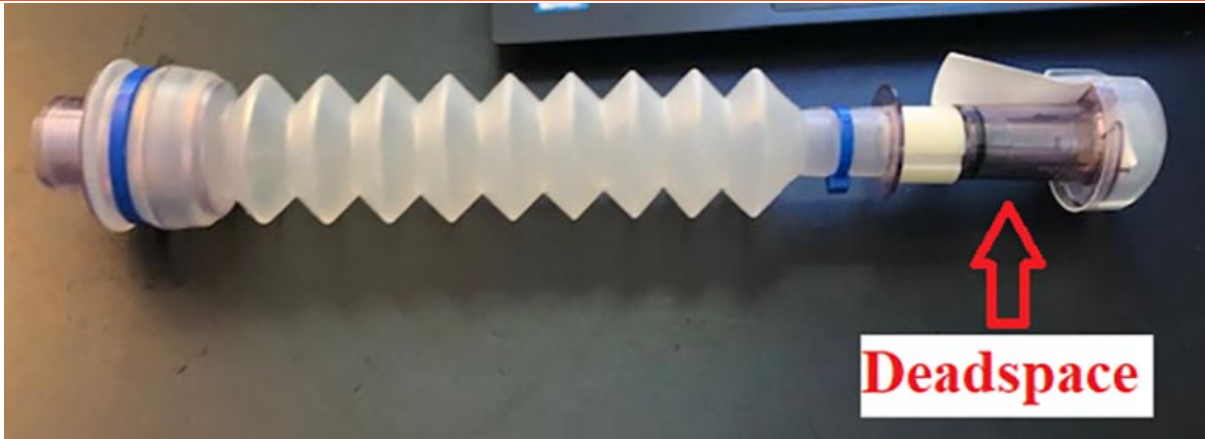
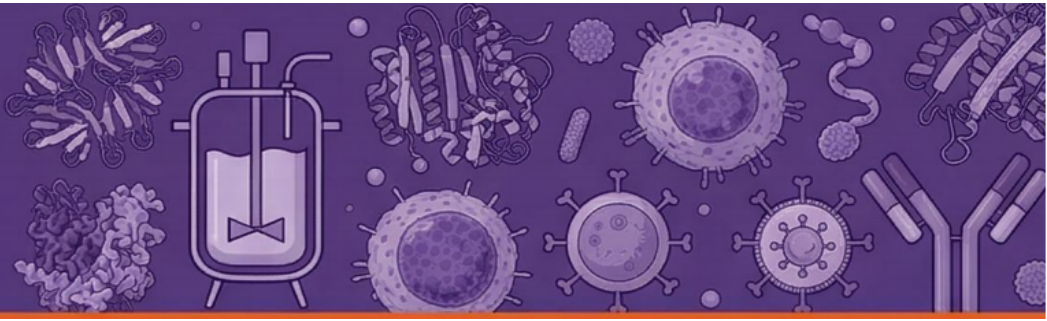


图 4 Kleenpak 电极波纹管组件连接细节，展示了接头内部形成的死区 (Deadspace)

用于电容式传感器的高压灭菌波纹管

折叠风琴式：由于 287mm 的电极无法放入标准的 5 折叠护套中，业界随之开发了更长的 9 折叠风琴式波纹管。增加电极长度是解决 Kleenpak 死区问题的关键第一步，而 9 折叠波纹管则确保了长电极在高压灭菌和插入过程中的完全封装，从而保证了生物量测量场能有效穿透 SUB 壁并进入反应液。

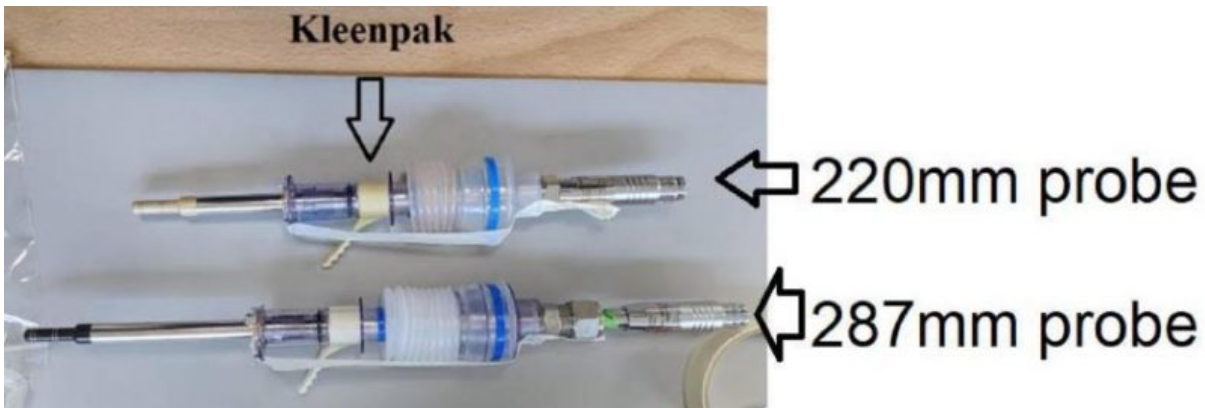
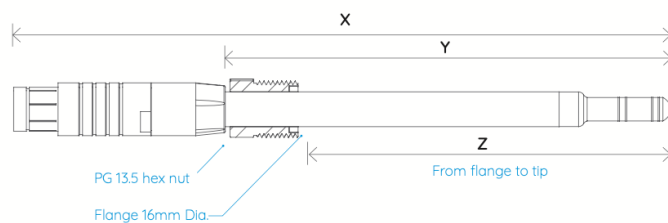


图 5 将电极插入长度从标准的 220mm 增加至 287mm，是解决 Kleenpak 接头死区问题的关键举措

来自 **Aber** 的官方建议：“针对 Kleenpak 接头用户，建议使用 320mm 电极配合定制的 PG13.5 接头 (PN: 6570-52)。增加的长度和优化的螺母位置可实现理想的浸入深度，同时完美契合波纹管护套，确保连接稳固。”



Part Number	Description	X	Y	Z
6531-52/PG	12 X 120mm Annular Probe - Pre fitted PG 13.5 Nut	223	152	128
6532-52/PG	12 X 220mm Annular Probe - Pre fitted PG 13.5 Nut	323	252	228
6530-52/PG	12 X 320mm Annular Probe - Pre fitted PG 13.5 Nut	423	352	328
6534-52/PG	12 X 450mm Annular Probe - Pre fitted PG 13.5 Nut	555	482	458

图 6 Aber FUTURA 12mm Annular (环形) 电极的尺寸

结论

综上所述，一次性生物反应器 (SUB) 凭借其高性价比和极短的转换周期已成为生物技术行业的首选。虽然非无菌电极的接入曾是技术瓶颈，但通过 AseptiQuik 和 Kleenpak 等无菌接头配合波纹管护套，这一难题已得到圆满解决。对于 pH 和 DO 等常规电极，标准设计完全适用；而对于电容式生物量传感器，则需选用更长的电极和配套的 9 折叠波纹管，以确保测量的精准性。