

水下高光谱成像技术

1 引言

水下高光谱成像技术作为海洋探测领域的重要突破，正在彻底改变我们对水下环境的认知方式。与传统的宽波段水下成像相比，这项技术能够获取连续窄波段（通常 5–10nm）的光谱特征，实现对水下物质的精准识别和定量分析。然而，水体介质独特的光学特性给高光谱成像带来了前所未有的挑战：水分子对红光（600–700nm）的吸收强度达到蓝绿光（450–550nm）的 100 倍，造成严重的波长选择性衰减；悬浮颗粒引发的强烈散射导致图像模糊和对比度下降；加之水下环境的动态变化和平台稳定性等工程难题，使得传统的高光谱处理技术在水下场景中完全失效。本文聚焦水下高光谱成像在光谱重建和图像增强方面的关键技术突破，系统分析针对水体特殊性质开发的物理模型反演、计算成像和深度学习方法，为相关研究提供全面的技术参考。

2 水下高光谱成像技术

2.1 水下与非水下高光谱成像的本质差异

高光谱成像技术无论在陆地还是水下环境，其核心目标都是获取场景的空间-光谱联合信息。然而，水下环境的特殊性使得水下高光谱成像（UHI）面临一系列陆地高光谱成像（HSI）所不具备的挑战。从物理本质上看，这种差异主要源于光与水体介质的相互作用机制。在陆地成像中，光主要在大气中传播，其衰减主要来自瑞利散射和气溶胶吸收，且各波段衰减相对均匀。相比之下，水体的光学特性表现出三个显著差异：一是水分子对红光（600–700nm）的强烈吸收，导致光谱范围受限；二是悬浮颗粒引起的强烈散射，造成图像模糊和对比度下降；三是水体的光学参数（如衰减系数、散射相函数等）随水质变化显著。

从系统设计角度，陆地 HSI 通常采用推扫式或凝视式成像，光谱分辨率可达 1–2nm，空间分辨率可达厘米级。而 UHI 系统必须解决三个特殊问题：一是