

膜分离技术的主要类型及在乳品中的应用

孙永杰

膜分离技术根据膜元件孔径大小和分离精度，大致分为微滤、超滤等四类：

表格描述

膜类型	孔径范围	截留分子量	主要应用
微滤 (MF)	0.1~10 μ m		乳品除菌、除脂肪球、澄清
超滤 (UF)	0.001~0.1 μ m	1,000~150,000 Da	蛋白浓缩、脱乳糖、乳清蛋白分离
纳滤 (NF)	1~10 nm	100~1,000 Da	乳糖浓缩、脱盐、小分子分离
反渗透 (RO)	0.1~1 nm	1~100 Da	深度脱盐、水回收

膜分离技术在乳品加工中的核心应用及解决方案

1. 冷杀菌（微滤除菌）

传统巴氏杀菌和超高温灭菌（UHT）需高温加热，易引发美拉德反应，导致牛奶褐变、蛋白质变性，并产生糠氨酸等潜在有害物质。

陶普森膜过滤装备技术优势：

采用 1.4 μ m 级别牛乳过滤专用微滤膜，除菌率≥99.99%，可去除细菌、芽孢、体细胞，低温无相变，保留热敏性维生素、免疫球蛋白、天然风味。

低温操作（15~40℃），无热损伤，保留天然风味和活性营养，被称为"冷杀菌"，是国际乳品加工的主流工艺方向。

2. 乳清蛋白浓缩与分离（超滤）

乳清是奶酪生产的副产品，通过超滤可将其转化为高价值乳清蛋白产品：

浓缩乳清蛋白 (WPC)：用于婴幼儿配方奶粉、运动营养品

分离乳清蛋白 (WPI)：纯度更高，适合特殊营养需求

水解乳清蛋白 (HWPI)：更易消化吸收

超滤膜可精准截留乳清蛋白和酪蛋白，同时让乳糖、矿物质等小分子透过，实现蛋白富集。

3. 低乳糖/无乳糖牛奶生产

针对乳糖不耐受人群，膜分离技术提供物理脱乳糖方案：

工艺流程：

原料奶 → 预热(25-35℃) → 微滤除菌 (1.40μ m) → 超滤脱乳糖 → 纳滤浓缩回收乳糖 → 低温杀菌 → 成品

技术优势：

乳糖脱除率≥95%，可降至≤0.5%（无乳糖级）

不添加乳糖酶，无葡萄糖/半乳糖生成，GI 值较酶解法降低 40%

全程常温运行，蛋白保留率≥98%，活性保留率≥95%

4. 酪蛋白与乳清蛋白分离或成分重装配比

利用两者分子量差异，陶普森膜超滤可实现：

酪蛋白 (CN)：用于食品添加剂、医药传递系统、工业胶粘剂

乳清蛋白 (WP)：高生物价值蛋白质补充剂

5. 乳清废水资源化

膜技术可将乳清废水中的乳糖、小分子肽等成分分离回收，实现废水增值利用，符合绿色制造趋势。

膜分离技术作为乳品加工的绿色高效分离手段，在冷杀菌、蛋白浓缩、低乳糖生产、乳清资源化等方面展现出显著优势。相比传统热加工和酶解工艺，它能更好地保留牛奶的天然风味和活性营养，同时降低能耗和环境污染。随着技术成熟和成本下降，膜分离技术将在我国乳品深加工领域迎来更广泛的应用。