

硅表面活性剂在聚氨酯泡沫中的作用及其泡孔结构的影响

引言

表面活性剂是聚氨酯泡沫生产过程中重要的添加剂之一。它在泡沫稳定、液体相乳化以及泡孔尺寸控制方面起着重要作用。此外，表面活性剂还可以改善泡沫表面，并有助于防止“橘皮”现象和孔洞等表面缺陷。

表面活性剂可分为硅基型和非硅基型。硅基表面活性剂有助于在发泡过程中稳定聚氨酯泡沫。通过降低表面张力，它可以改善由于亲水性和疏水性差异而难以充分混溶的液体相之间的均匀性。

表面活性剂可以通过调节泡孔尺寸和均匀性来控制泡沫的泡孔结构。因此，应根据泡沫的具体应用和所需的最优性能选择合适的表面活性剂。

硅表面活性剂的结构及其对聚氨酯泡沫的影响

聚氨酯泡沫的制备需要使用泡沫稳定剂等表面活性化合物。在发泡初期，球形气泡随着发泡气体的分散而生成，而硅基表面活性剂在控制和稳定这种泡孔结构方面起着重要作用。

硅基表面活性剂由亲水链段和疏水链段组成，并分布在两相之间的界面区域。

硅基表面活性剂的性能取决于多种结构参数，包括疏水性 PDMS（聚二甲基硅氧烷）主链的链度、亲水性聚醚链的数量和链度，以及某些链中氧乙烷（EO）与氧丙烷（PO）的比例。

EO/(EO + PO) 和 (EO + PO)/Si 等结构比例是硅基表面活性剂中的重要参数。增加聚醚链中的氧乙烷含量以及聚醚链度可以提高泡沫稳定性。硅基表面活性剂同样有助于提高泡沫的稳定性。

硅表面活性剂的作用

- 降低体系的表面张力。
- 乳化作用：通过降低表面张力，促进空气的混合与分散，并提高反应混合物中各相之间的相容性。
- 促进混合过程中的气泡成核。
- 通过降低泡孔壁中的张力来稳定正在生成的泡沫。
- 控制排液（Drainage）：控制液体在气泡壁中的流动和排出，有助于防止泡沫生产过程中泡孔融合合并。

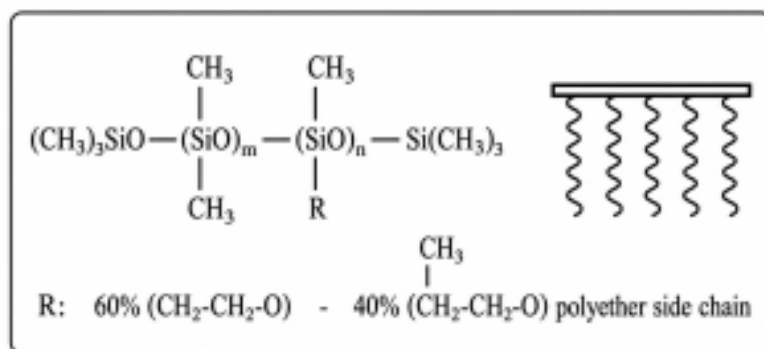


图 1. 聚氨酯泡沫中硅表面活性剂的构

不同类型聚氨酯泡沫中硅表面活性剂的

聚醚体系（Conventional）

聚醚体系需要良好的稳定性和加工性能。因此，聚醚/硅氧烷体系通常需要高的分子量，其分子量可在 20,000 至 80,000 g/mol 之间。同时，聚醚的接枝聚醚以及高的聚氧丙烯含量对于此类体系也十分重要。

聚醚体系

与聚醚体系相比，聚醚体系通常具有更高的稳定性，因此可以使用分子量低的硅表面活性剂。这类表面活性剂有助于形成适当的泡孔结构，并改善空气的乳化和混合。

聚醚泡沫通常需要活性低的表面活性剂，其分子量在 500 至 1,500 g/mol，并具有短的聚醚链。

HR 体系和模塑泡沫

由于多元醇具有高的反应活性，并且体系中存在交联，HR 体系通常具有良好的稳定性。在这些体系中，形成开孔结构尤为重要。因此，适合采用硅氧烷段和聚醚段分子量低的硅表面活性剂。

对于模塑泡沫（Flexible Molded Foam），可以使用分子量在 300 至 1,500 g/mol 的低分子量硅表面活性剂。

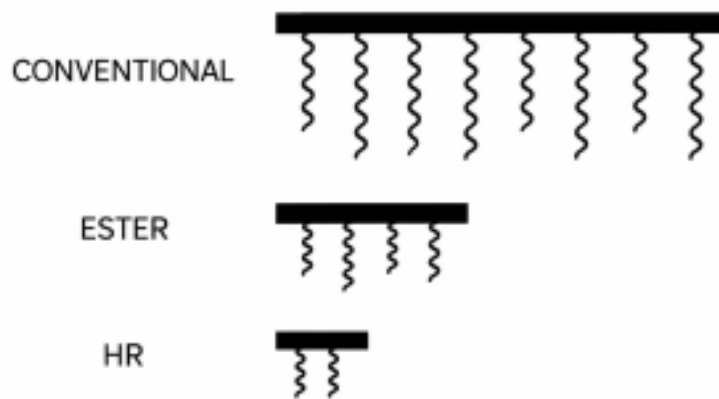


图 2. 硬脂聚氨基泡沫用硅基表面活性剂的结构

硬脂聚氨基泡沫中的硅基表面活性剂

用于硬脂聚氨基泡沫的硅基表面活性剂通常要比普通泡沫用表面活性剂具有更高的表面活性。其分子量可在 1,500 至 15,000 g/mol 之间，并可由接枝在疏水性 PDMS 上的亲水性聚氧乙烷聚醚链组成。

硅基表面活性剂在排液（Drainage）过程中的作用

温度、排液以及毛细作用等因素可能导致相邻气泡之间的共同泡孔壁逐渐变薄，并最终造成泡孔壁破裂。这种现象可能扩展至周围泡孔，从而导致泡沫出现裂开，甚至产生整体塌泡。

硅基表面活性剂促使液体向变薄区域移动，从而帮助恢复泡孔壁的适当厚度。同时，它还可以固定或降低泡孔壁中的表面张力梯度，提高液膜的稳定性。

在这种情况下，表面张力可以从表面张力较低的区域向表面张力较高的区域移动，从而帮助液膜恢复到适当的厚度。

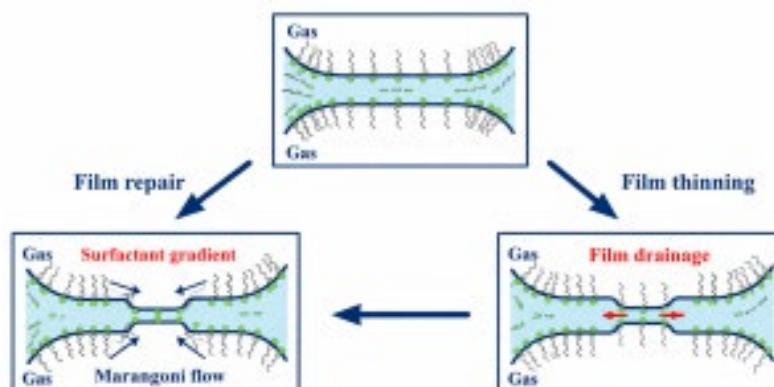


图 3. 硅基表面活性剂在泡沫排液过程中的作用

硅表面活性剂的云点（Cloud Point）

表面活性剂的云点温度越低，例如接近 25°C 或更低，其气泡成核能力通常越强。相反，云点高的点，例如接近 90°C，可能表明表面活性剂具有更好的乳化和分散性能。

由于表面活性剂的云点通常在水中发生，因此云点可以提供有关表面活性剂与水之间的相互作用及其亲水程度的信息。

如果云点出现在接近 90°C 的高温度，则表明表面活性剂与水的相分离发生在高温度。这通常意味着表面活性剂具有更强的亲水性以及更高比例的亲水段，从而有助于提高其在体系中的混溶性。

相反，如果云点出现在接近 25°C 的低温度，则表面活性剂具有更强的疏水性，并含有较少的亲水段。因此，它更倾向于分布在空气气泡界面，并可充当成核剂的作用。在进行此类比较时，应考虑 EO 或 PO 亲水基团的类型。

因此，可以利用硅表面活性剂的云点来评价其成核、乳化及稳定性性能，从而有助于特定聚氨酯体系选择合适的硅表面活性剂。

结论

硅表面活性剂是控制聚氨酯泡沫形成和稳定性的重要成分。其化学结构、硅氧键和聚醚的硬度以及 EO/PO 比例均会影响气泡成核、乳化、泡沫稳定性和泡孔结构。

聚醚、聚酯、HR、热塑性泡沫和硬质泡沫体系对硅表面活性剂的要求也有所不同。因此，应根据泡沫类型、生产工艺以及所需的最优性能选择合适的硅表面活性剂。