

流体冰技术在制药领域的应用

李红宝

苏州珐玛德克净化设备有限公司

摘要：流体冰兼具液体水的流动性与固体冰的潜热特性，融合了水和冰的优异属性，在暖通领域展现出广阔的应用潜力。流体冰不仅流动性良好，其内部的冰晶还具备一定的机械强度，使其适用于工业管道的清洗工作。采用流体冰进行工业管道的清洗，能够有效避免引入外部杂质。流体冰技术起源于海洋渔业资源保鲜的需求，本文将基于其技术特点，探讨其在制药领域的潜在应用。

关键词：流体冰；冰晶；比表面；潜热；原位清洗

1 流体冰技术介绍

流体冰，亦称流态冰或冰浆，是一种冰含量介于 0 ~ 40% 的流体形态，由无数微小的冰晶与水溶液混合而成。采用尖端技术制备的冰晶呈圆形球体，避免了碎冰或片状冰的尖锐或锯齿状边缘。这些微小的冰晶颗粒直径通常在 0.25 ~ 0.50 mm 之间。该技术最初于 1978 年由 Sunwell Engineering Inc. 在加拿大获得专利，流体冰的制冰机如图 1 所示。流体冰技术起源于远洋捕鱼业的需求，因为在捕捞上岸的鱼类快速预冻过程中，需使用不会损伤鱼体表面的冰晶。因此，冰晶的球形设计能确保覆盖预冷时不会划伤产品。



图 1 流体冰制冰机

流体冰的比热远高于水，这是由于其潜热的存在。相较于普通冰，流体冰具有更大的比表面积，因此在制冷应用中表现更佳。图 2 展示了流体冰与其他类型冰的比表面对比。从图 2 中可以明显看出，流体冰的比表面积数值显著高于其他类型冰。在使用流体冰进行物料冷却时，物料几乎可以被流体冰完全覆盖，从而实现最佳的降温效果。

尽管国内已有仿制流体冰制冰机的供应商，但由于目前技术尚未成熟，所制备的冰晶难以完全呈现球状颗粒。这样的冰晶在覆盖被冷却物料时，可能会导致物料表面受损。当然，如果对这种损伤可以接受，那么可以考虑尝试使用。

2 流体冰技术在制冷领域的应用

由于流体冰具有丰富的相变潜热，它被广泛应用于快速预冷、蓄冷保鲜以及制冷领域。尤其在超市货架保鲜方面。流体冰是一种先进的制冷介质，由微小的冰晶与水或盐水混合而成。

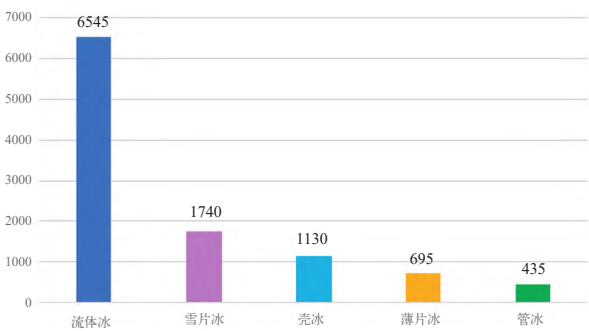


图 2 物料的比表面积（单位：m²/t）

图 3 展示了流体冰系统相较于冷却水系统所具有的优势。

从图 3 中可以看出，在冷却能力方面，随着流体中冰含量的增加，其冷却能力是 7℃ 水的数倍。在工程设计参数如流量和压力方面，流体冰也显示出优于冷冻水的性能。若用流体冰替代冷冻水，可以显著降低设备的初次投资成本。例如，洁净空调箱若从使用冷冻水改为使用流体冰进行冷却，表冷器的容量和冷媒输送管道的管径都可以大幅缩小。

在制药生产过程中，许多生物制品含有蛋白质、多肽、核酸等生物大分子，这些分子的结构和活性对温度非常敏感。

对于蛋白质类生物制品，必须考

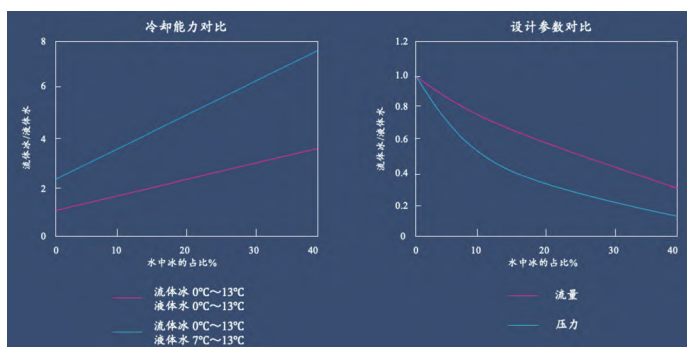


图3 流体冰与冷冻水在工程领域的对比情况

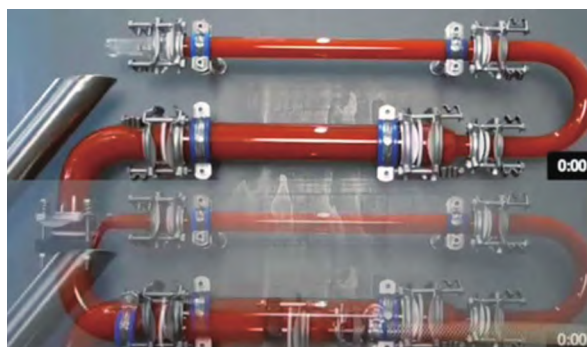


图4 流体冰与水清洗管道的对比

虑其热稳定性。高温可能导致其空间结构改变,从而失去生物活性。而低温能够减缓分子的热运动,降低化学反应速率,有助于保持其结构和功能的稳定性。因此,这类制品通常需要在 $-20\sim-80^{\circ}\text{C}$ 的温度下保存,对于某些特别不稳定的蛋白质,甚至可能需要液氮储存(-196°C)。

对于核酸类生物制品,同样需要特定的温度条件以维持其完整性和活性。例如DNA和RNA,尽管它们对温度的稳定性相对较高,但长期储存仍需在 $-20^{\circ}\text{C}\sim-80^{\circ}\text{C}$ 的低温环境中,以防止核酸的降解。

此外,一些生物制品可能还包含易氧化(如某些含巯基的蛋白质)或易水解的成分,不合宜的温度可能加速这些化学反应,影响产品质量。

生物制品原液(DS)一般为液体状态,在加工成制剂前都需要低温保存。储存温度通常根据产品不同而定,发范围在 $-10\sim-80$ 之间。低温条件下,能有效抑制微生物的生长和繁殖,降低DS污染和变质的风险。

DS在完成除微生物、病毒及下游纯化后,一般呈现液体状态。因此,通常会将其灌装进一次性生物袋内,然后送入冰柜或低温冷库内保存。

鉴于上述原因,DS在灌装进一次性生物袋后,希望整体物料能迅速降温。然而,如果直接将装有液体DS的一次性生物袋放入冰柜或低温冷库内,降温过程依赖于空气对流进行热交换,会导

致生物袋内物料的降温速率较慢。如果能够将装有物料的一次性生物袋用流体冰来覆盖,那么其降温速率将比直接放入冰柜或冷库都要快,待温度降至一定程度后,再移入冰柜或低温冷库。

3 流体冰在工业管道原位CIP中的应用

流体冰含有小颗粒的球形冰,在流动过程中产生的径向扰动和轴向摩擦,赋予了其卓越的清洗能力。图4展示了充满番茄酱的管道,分别使用流体冰和水进行清洗的对比。图片上部显示,使用流体冰作为清洗介质,大约57s时清洗完毕。图片下部开始时使用水作为清洗介质,直到7分44秒时切换为流体冰进行清洗。

从上述实际清洗效果来看,流体冰作为管道清洗介质,在清洗管道内黏稠的水溶性物料方面具有显著优势。在工业化装备的实际应用中,适用于发酵液输送管道、牛奶输送管道、中药浸膏及化妆品输送管道的清洗。冰颗粒能有效去除壁面沉积物和微生物膜,清洗效率比传统冲洗技术高出千倍以上。与传统以水为介质的清洗技术相比,流体冰可减少50%以上的用水量,并且清洗时间也能缩短一半以上。流体冰是管路和容器清洗技术中最高效、最环保的高新技术之一。

4 结论

流体冰是一种由冰颗粒和水溶液组

成的均匀两相混合物。它具有高冰冷能量和快速冷却速度,且在冷却过程中温度基本保持不变,是理想的制冷和食品保鲜介质。因此,流体冰适用于食品保鲜和预冷,特别是在DS冷冻之前的预冷阶段。由于流体冰在热交换过程中发生相变,其释放的冷量远超冷冻水。使用流体冰作为冷媒介质,可以显著减少过程装备的容量,包括换热器的容量和输送管道直径的大小等。

另一方面,流体冰中的小颗粒球形冰在流动过程中的径向扰动和轴向摩擦,使其具备了出色的清洗能力。它广泛适用于发酵液输送管道、牛奶输送管道、中药浸膏及化妆品输送管道的原位清洗,国外还有用于市政供水管道清洗的案例。

流体冰技术已在日本、美国、英国、荷兰、冰岛以及大洋洲等得到广泛应用。在南非、智利、纳米比亚的渔业和采矿空调领域也有一定的应用。

目前,国际制冷公司如日本大金、美国JOHNSON CONTROL根据技术转让合同生产不同类型的流体冰制冰机。流体冰技术尚未在中国大规模引进、开发和应用,主要原因是现有制冰机成本偏高,对流体冰系统和应用技术了解不足。随着国内对高效、节能和环保技术的日益重视以及对高品质食品需求的增长,流体冰技术可望在多个领域得到广泛应用。流体冰技术是当前制冷、空调、食品加工及过程工程中最有潜力的高科技之一。