

真空冻干机选型指南

从共晶点测试到量产机型 · 面向工厂与研发

东莞市源鲜食品机械有限公司 | Vacuum-Fresh | www.vacuum-fresh.com



一、冻干是怎么发生的

冻干（真空冷冻干燥）分三步，顺序不能乱：

1. **预冻**：物料水分全部结成冰。物料内部水分完全结冰的那个温度叫共晶点，预冻温度要低于共晶点 5~10℃。
2. **升华干燥（一次干燥）**：抽真空到 15Pa 以下，冰直接变成水蒸气，被冷阱（捕水器）凝结截留。这一步抽走物料中 90% 左右的水分。
3. **解析干燥（二次干燥）**：提高搁板温度，把残余的结合水带走，把最终含水率压到目标值。

关键点：**升华阶段的热量要给够，但不能给多**。给少了冻干慢、周期长；给多了物料局部融化塌陷，整批报废。所以搁板温度是围着共晶点设计的。

二、先测共晶点，再定曲线

1. 共晶点不测，曲线就是猜的

- 共晶点 = 物料中水分全部结冰的温度
- 预冻温度 = 共晶点 - 5~10℃
- 升华段搁板温度上限，不高于共晶点（安全余量下运行）

2. 一组真实数据（木瓜蛋白酶浓缩液）

项目	参数
批量	1000 kg/批
物料含水率	80%
预冻	20℃ → -30℃，4 小时完成
升华移走水量	798 kg
每 kg 水升华吸热	2,830 kJ
冷阱峰值负荷	52~65 kW
升华期真空度	15 Pa 以下
整批周期	24 小时
制冷配置	双级螺杆压缩机，下限 -65℃
真空配置	三级泵组（保证升华期抽速）
单位能耗	约 4.4 kWh/kg（该批次实测口径）

一句话：**批量 × 含水率 × 2,830kJ 就是升华期必须搬走的热量**，冷阱和压缩机的排量由这个数倒推。

三、按批量选面积：三组量产机型

机型	搁架面积	典型物料	批量	周期	冷阱温度	真空度	泵组
CVD-1000	10 m ²	水果	100 kg/批	25 h	-40℃	15 Pa	旋片泵 + 罗茨泵
CVD-5000	50 m ²	茶粉	500 kg/批	—	—	—	—

机型	搁架面积	典型物料	批量	周期	冷阱温度	真空度	泵组
CVD-10000	100 m ²	浓缩液	1000 kg/批	24 h	—	≤15 Pa	三级泵组

CVD-5000 配套参数：制冷量 80.8 kW，箱体 22.6 m³，双舱门，蒸发式冷凝器。

选型顺序：先定批量和物料，再倒推搁架面积。 顺序反过来（按场地面积选机）是常见的返工来源。

四、研发与家用：HFD 系列

小试、配方验证、教学研发场景，用 HFD 系列（搁架面积 0.25~5.0 m²）：

型号段	面积	单压缩机冷阱 ≤ -60℃	双压缩机冷阱 ≤ -75℃
HFD-1 ~ HFD-10	0.25 ~ 1.0 m ²	✓	—
HFD-15 ~ HFD-50	1.5 ~ 5.0 m ²	—	✓

- HFD-1：0.25 m²，单批约 2~3 kg
- HFD-5：0.50 m²，单批约 6~7 kg
- HFD-50：5.0 m²，单批约 50~60 kg

研发机型的价值在于先把曲线跑通（预冻速率、搁板温度、升华时间），再放大到量产机型。曲线放大是冻干项目最容易出问题的环节。

五、配套系统怎么定

1. 真空系统

- 目标真空度 ≤15Pa：必须罗茨泵 + 旋片泵，大型机组用三级泵组
- 罗茨泵需要前级泵先把压力降到 1kPa 左右才能启动，管路与阀件顺序按方案执行
- 升华期抽速不足，压力回升，冰面温度上升 → 塌陷。抽速按升华负荷配，不按箱体容积配

2. 冷阱与捕水器

- 冷阱温度决定能凝住多少水蒸气：常规量产 -40℃，生物制品级配双级螺杆下限 -65℃
- 冷阱表面积按升华峰值水量设计（上例峰值 52~65 kW）
- 冷阱与搁板共用一个制冷系统时，按最不利工况（升华中期）配冷量

3. 加热与控温

搁板温度、升温速率、真空度三者联动。控制系统的价值在于把曲线稳定复现，而不是提供几个固定程序。

六、选型常见误区

1. **按场地面积选机**：应该按批量与物料反推搁架面积
 2. **不测共晶点就上量**：预冻温度猜的，整批报废的风险自己承担
 3. **只看搁架面积不看含水量**：同样 10 m²，含水 80% 与含水 40% 的物料周期完全不同
 4. **抽速按箱体容积配**：应按升华负荷配，否则中期压力回升
 5. **拿热风干燥做能耗对比**：冻干是脱水 + 保存工艺，与热风干燥的产品品质、复水性、货架期不在一个对标维度
 6. **研发机型曲线没跑通就放大**：小试 → 中试 → 量产，逐级放大最稳
 7. **忽略冷阱除霜与切换**：连续生产需要考虑双冷阱切换或停机除霜，这会影响班产
 8. **忽略前处理**：物料形状、装载厚度、托盘材质直接影响干燥周期
-

七、冻干产品的适配范围

按实际项目经验，冻干工艺常见于：

- **食品类**：水果片/块、蔬菜、茶粉、咖啡、汤料、宠物食品、海产品、调味品
- **生物与精细化工类**：酶制剂、蛋白浓缩液、菌种、生物制品
- **农产品加工**：特色果蔬、食用菌、中药材

是否适合冻干，取决于产品定位（复水性、风味保留、货架期要求）与成本承受能力，需按产品逐项评估。

八、联系我们

- 公司：东莞市源鲜食品机械有限公司
- 官网：www.vacuum-fresh.com
- 邮箱：sales@vacuum-fresh.com
- 联系人：Kenny Pan / WhatsApp: +86 188 2550 1449

冻干方案需要结合物料、批量、含水率与场地条件，共晶点与曲线以实测为准。

