

动态冻干系统的设计研究

姚琦

上海东富龙制药设备工程有限公司

摘要: 冻干技术在医药、食品、化工等多个领域得到了广泛的应用。但基于冻干设备成本高、能耗大、冻干工艺周期时间长的特点,本文从冻干原理和功能出发,研发出可实现减少能耗、提高干燥效率、降低成本的新型冻干系统——动态冻干系统,对其性能、结构、功能、用途等进行详细分析,并对设备组成和实际案例进行了介绍。

关键字: 动态冻干;球形;旋转;螺旋桨叶;冻干机

1 研究背景和意义

某些热敏性干燥产品,如发酵类生物产品,在干燥加工过程中,其干燥温度通常不会超过 40℃。在这样的低温环境下才能确保菌体本身的特性和活性得到最大程度的保留。对于诸如此类对热敏感、需要保持生物活性的产品,冷冻干燥技术展现出了其独特的优势。低温真空下的干燥过程,保证了生物组织和细胞结构不会受到损害,保护了其中许多热敏性成分的稳定性和活性。

相比于其他干燥技术,真空冷冻干燥技术(简称“冻干技术”)具有一系列显著的优点。例如低温干燥,对于大多热敏性的物质如蛋白质、微生物等非常适合,因为它们不会失去生物活力或者发生变性。在冻结状态下进行真空干燥,产品内的水分将直接由固态升华为气态,跳过了液态水的过程,因此不会发生浓缩现象,且冻干产品的体积几乎不会发生变化,从而产品原来的结构也能够维持^[1]。同时,物质中的营养成分和生物活性能够得到最大程度的保留。真空状态下氧含量低,保护了一些易氧化的物质,避免了在干燥过程中发生氧化反应。

对于药液等液体物质,在经过真空冷冻干燥后,样品将被干燥成固态,因此可以方便地进行运输,减少了运输过程中的损失和变质风险。而当需要重新使用样品时,冻干产品极好的水溶性保证了样品容易且迅速地重新溶解在水或其他溶剂中,恢复其原有的性状和活性。这些优点使得它在医药、食品、化工等多个领域得到了广泛的应用。

但同时,高昂的设备购买价格以及运营成本、低温高真空带来的高能耗问题、低温干燥导致耗时较长的工艺带来的时间成本以及严格的工艺要求等,使得冻干技术在选用时均需要考虑和权衡特定场景下的应用。因此,真空冷冻干燥技术的大规模应用,减少能耗、提高干燥效率、降低成本是该技术的主攻方向。

随着人民生活水平的持续提升,不断增长的物质需求已然成为现代社会发展的显著趋势。可以预见,冻干技术设备的大规模应用将成为行业发展的必然趋势。若要在行业内赢得先发的竞争优势,那么攻克冻干设备核心技术领域的主要挑战定将带来巨大的收益。而攻克冻干设备核心技术领

域的内容,即是发展高效率和能耗低的冻干设备。

2 国内冻干机发展现状

中国冻干事业起步相对较晚,五十年代开始涉足该领域,但因技术、产品和经营等挑战,初期发展并不顺利。自七十年代至八十年代后期,我国开始在真空冷冻干燥技术和设备方面进行深入的探索与科研。到了 1995 年后,我国在冻干技术上的研究与真空冷冻干燥设备上的开发上已取得了显著进步,冻干工艺研究已能够与国际接轨。九十年代后生产的冻干机大多采用计算机自动控制,实现了对运行程序、温度、真空度、时间和含水量等关键参数的自动监控和调整。

真空冷冻干燥的优越性使得冻干工艺的理论研究和设备工艺研究也逐渐受到重视,并在国内逐步发展起来。国内曾多次召开关于真空冷冻干燥的学术交流会,如在 2002 年北京和哈尔滨召开的两次大会上,就有多篇关于真空冷冻干燥技术和设备的论文发表。有专家预测,中国的冻干产品将逐渐占据市场主导地位,并有望在全球范围内受到热烈追捧^[2]。

到了近年来,我国冻干设备技术与冻干工艺研究已取得了显著的进步,其发展水平提升迅猛,不仅推动了我国冻干产品市场的快速增长,我国与欧美国家在冻干产品市场规模方面的差距日益缩小。当前国内冻干机市场已经可以较好地满足国内市场的需求。

3 一种新型冻干系统整体设计方案

在设计冻干系统时,其设计的合理性直接决定着在生产线上设备的运行稳定性、可靠性及适用性。因此,在方案设计时,除了确保设备满足基本功能需求外,还需特别关注其布局的合理性以及操作的便捷性。只有这样的全面考虑和精心规划,才能提高真空冻干机在生产线上的综合性能和生产效率。下面对本新型冻干系统的主要创新点进行介绍。

3.1 冻干机的工作流程

冻干机的主要工作过程是,首先将需要冻干的产品放在冻干前箱内的金属板层上或装入未完全密封的瓶内整齐排列在板层上进行冷冻阶段,将样品快速冷冻至凝固点以下,使水分结晶。下一步便是进行升华阶段。冻干机大门锁紧,保证在打开真空泵的开关后,冻干前箱的气密性能够得到保证以建立起适当的负压,并使冻干机在处于真空状态下进行升温,使产品内水分升华。冷冻干燥箱与冷阱相连接,升华出的水汽被吸入冷阱中被其中可达到 -70°C 的金属表面冻结吸附,从而实现对水汽的捕集。

3.2 冻干容器和冷阱

目前市面上的冻干设备的前箱多为箱式。产品的干燥往往是静态的,即目前的冻干设备多为静态干燥。因此,为提高冻干效率,将原来的静态干燥转变为动态干燥过程,本冻干系统设计具有弧形内表面,用于容纳物料颗粒并对其进行冻干的冻干容器。

其冻干容器,即前箱的外表面大体为球形,因此下面用“球”来代称前箱。

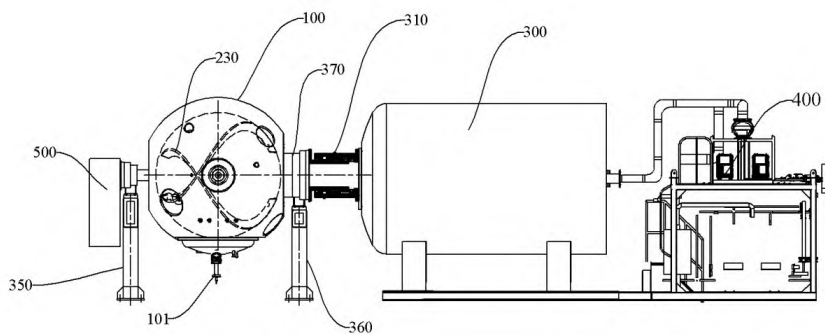
为进一步实现冻干容器的加热及保温效果,球由内向外依次设置的内套层、换热媒介循环层和保温层,弧形内表面设置在内套层上,容器换热流道设置在换热媒介循环层。通过分层设置,能够在保证球与物料颗粒进行热交换的情况下,提高保温效果,进而提高热交换的效果,提高换热媒介的能量利用效率。冷阱外表面大体为水平平放圆柱形,二者结构如图1所示。

为实现动态干燥,在进行干燥作业时,球与冷阱可同时进行摆动。为实现球与冷阱之间的共同摆动以及摆动时的密封性,在球与冷阱间设计了旋转接头组件。系统的旋转接头组件包括固定对接法兰、旋转对接法兰、

轴承和密封组件。其固定对接法兰用于与冷阱固定连接;旋转对接法兰用于与冻干容器固定连接;轴承设置在固定对接法兰和旋转对接法兰之间从而使得二者能够相对转动,而密封组件用于密封固定对接法兰和旋转对接法兰之间的间隙。从而实现球与冷阱的共同摆动。同时,为了防止干燥过程中物料由容器进入冷阱,球与冷阱间还设有滤网。

3.3 进料系统与搅拌机构

为实现动态的真空冷冻干燥过程,提高干燥效率,本系统设计了一种进料方法。首先对配液完毕料液通过管道输送至造粒罐中进行制冷液氮造粒,获得物料颗粒。进料时,球摆动到一定角度,使进料口正对于上方造粒罐螺杆,连接螺杆出口与球进料口,通过螺杆将物料颗粒运输至球内进行冻干。



100: 冻干容器; 101: 出料阀; 230: 搅拌桨叶; 300: 冷阱; 310: 旋转接头组件; 350: 第一支架; 360: 第二支架; 370: 支撑筒; 400: 冻干机组; 500: 驱动机构

图1 球形动态干燥设备

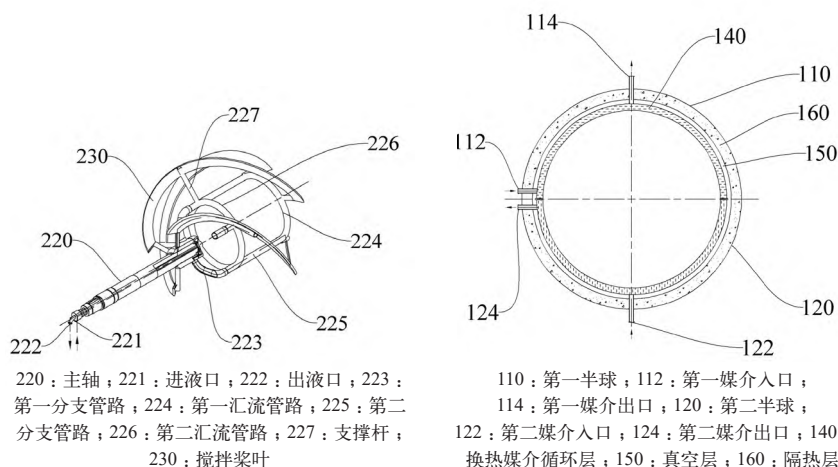


图2 球形动态干燥搅拌机构

图3 冻干容器的剖视图

但仅靠球的自由摆动,无法使球内的颗粒物料进行充分的动态干燥,基于此问题,本系统设计了一种搅拌桨,搅拌桨结构如图2所示。拌桨叶为螺旋线形,桨叶的转动轨迹能够围成球形面保证了对球内颗粒物料的充分搅拌,且为避免搅拌桨在搅拌过程中与球形内表面发生干涉,搅拌桨叶与球形内表面之间存在较小间隙。同时,在搅拌桨叶内设计有换热流道用于换热媒介的通入,使得在搅拌过程中物料颗粒间能进行充分换热以提高水分升华速率。

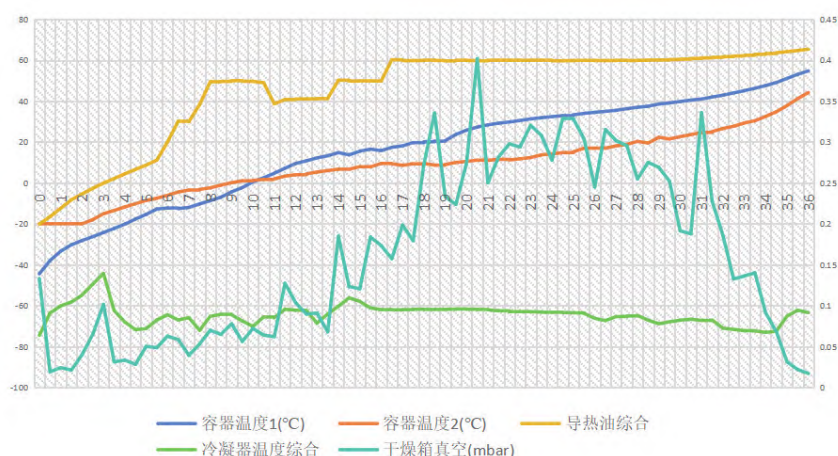
在球左右摆动与搅拌桨的共同作用下,球内的物料颗粒能处于一种动态的干燥过程。一方面,球带动物料颗粒转动;另一方面,物料颗粒在冻干容器中被搅拌,使得物料能够充分地进行热交换,从而能够提高物料颗粒的干燥速度,使物料中的水分更快速的升华,进而提高了冻干效率。

3.4 加热系统

为提高干燥效率,降低能量消耗和时间成本,冻干容器具有容器换热流道。容器换热流道设置在冻干容器的夹层中,用于通入换热媒介。如图3所示,冻干容器分为固定连接在一起的第一半球110和第二半球120,第一半球110和第二半球120中均设置有容器换热流道,且两个半球中的容器换热流道相互独立。第一半球110中的容器换热媒介经过有第一媒介入口112和第一媒介出口114,第二半球120中的容器换热流媒介有第二媒介入口122和第二媒介出口124,从而实现与物料颗粒进行换热,有利于提升冻干效率。

4 实际工程应用案例

以35 kg 脱脂奶粉、15 kg 甘露醇与水为原料进行配液后再经液氮造粒,物料颗粒投入冻干前箱后进行动态干燥作业。在动态冻干系统设计设定下,



图上各曲线分别代表:容器温度1、2分别表示上下半球中的温度探头;导热油综合温度表示夹套内换热媒介的温度;冷凝器温度表示冷阱温度;干燥箱真空表示冻干前箱真空度

图4 作业数据曲线

通过计算机系统进行设备操作并记录数据,根据数据生成曲线结果图如图4所示。

由于球的摆动以及搅拌桨的搅拌作用,使物料在每一次翻转运动过程中,大量水汽升华,而升华后的水汽又迅速被冷阱捕集,使前箱真空出现波动。当前箱内物料上升至一定温度后,进行掺气加热传热后进一步加快干燥效率。

脱脂牛奶的冻干工艺干燥过程约为42 h^[3],而通过本新型动态冻干干燥过程缩短至36 h,冻干效率提升明显,在大规模生产中将能大幅度节约成本。

5 总结与展望

本文对一种动态干燥系统进行了介绍。考虑到以往的传统的静态冻干工艺耗时长等问题,设计出一种动态冻干系统。通过球的自由摆动以及特殊的搅拌结构和加热系统,确保物料在干燥过程中保持均匀的温度分布,避免出现过热或干燥不均的现象。

同时,动态冻干系统还具备出色的物料处理能力。系统采用配液罐到造粒罐再到冻干前箱,这个过程仅需要通过远程控制而非通过人员运输,避免了人员流动过程中的可能造成的污

染问题,在实现产品无菌性GMP要求上具有巨大的优势。同时,动态冻干过程能大大减少了冻干工艺的时间成本与能耗成本,在生产中展现了其巨大的优越性。

动态冻干系统的高效、节能、环保的特点,可以预见在未来的冻干产业中,动态冻干系统将成为主流。随着科技的不断进步和工业发展的需求日益增长,冻干行业对于提高生产效率、保证产品质量以及实现绿色可持续生产的要求也日益提高。动态冻干系统凭借其独特的优势,正逐步满足这些需求,并引领冻干技术的新潮流。

参考文献

- [1] 张擂.真空冷冻干燥机控制系统的设计与实施[D].华东理工大学,2011.
- [2] 徐成海,刘军,王德喜.发展中的真空冷冻干燥技术[J].真空,2003(05):1-7.
- [3] 王军,崔晓钰,肖鑫.脱脂牛奶冷冻干燥过程的实验研究[C]//2006中国工程热物理学会传热传质学术会议.