

真空干燥厢式压滤机在制药行业的应用研究

赵力宁

中煤张家口煤矿机械有限责任公司, 河北省高端智能装备技术创新中心

摘要: 本文通过介绍真空干燥厢式压滤机的工作原理、功能和工艺流程, 以及它在制药行业的具体应用, 阐述了真空干燥厢式压滤机在制药行业的应用优势与发展前景。文章认为真空干燥厢式压滤机是制药行业选择三合一设备时的一种选择和补充, 具有推广价值。

关键词: 过滤; 真空干燥; 厢式压滤机; 优势; 产能

1 引言

近年来, 国家愈发重视制药行业装备的提升, 要求制药设备不仅要安全、环保、节能, 还要符合工艺及 GMP 要求。为此, 将过滤、洗涤和干燥功能集中于一台设备的罐式三合一设备以及球形干燥机应运而生^[1]。然而, 对于黏度高、难以过滤、需洗涤提纯、要低温干燥失重脱水且产量大的医药中间体处理, 罐式三合一设备和球形干燥机无法满足工艺和产能要求。普通的厢式压滤机对医药中间体的工艺适应性强, 产能也能满足需求, 但无法满足低温干燥的工艺要求。而集过滤、洗涤、隔膜压榨、低温干燥功能于一体的真空干燥厢式压滤机^[2], 恰好为制药行业在选择三合一设备时提供了新的选择和补充。

2 真空干燥厢式压滤机工作原理

真空干燥厢式压滤机是一种集固液分离、洗涤、隔膜压榨和真空干燥功能于一体的低温干燥厢式压滤机, 它将入料压滤和真空干燥等工艺集成在一台厢式压滤机中完成。其干燥介质为热水, 干燥温度不超过 100℃。经过真空干燥后的物料含水率可降至 1% 以下。

普通厢式压滤机的脱水机理为: 料

浆由泵压送入由滤板组成的各个密封滤室, 利用泵压提供的过滤动力, 使滤液透过过滤介质排出, 从而实现液固两相分离 (图 1)。

图 2 为细粒级物料过滤过程示意图。料浆在入料压力作用下通过过滤介质, 过滤初期, 部分物料颗粒可能随水一同透过过滤介质排出滤室, 但大部分物料颗粒被过滤介质阻拦在表面, 相互搭桥形成滤饼层。随着过滤过程继续进行, 滤饼层逐渐增厚, 物料颗粒完全被滤饼层代替过滤介质截留, 而水则透过滤饼层和过滤介质排出滤室, 也就是设备排出的滤液。在正常过滤过程中, 滤液基本为澄清液。在入料初期, 滤布上的滤饼层较薄, 过滤阻力小, 因此入料量较大。随着过滤进行, 滤饼逐渐增厚,

滤饼的空隙率相对减少, 导致过滤阻力增加, 入料量随之减少。当物料充满滤室时, 过滤期结束。传统压滤机会继续向滤室内压入滤浆, 进入过滤压密阶段, 通过入料压力压缩滤饼颗粒, 挤出滤饼的外水。压滤脱水干燥系统选择在过滤期结束时停止入料, 即在最佳过滤期间高效过滤; 摒弃了在密实成饼阶段长时间进料压密滤饼的做法 (这一阶段过滤效率非常低, 仅为增加滤饼的致密性和对滤饼的夹心进一步脱水, 需占全部过滤时间的 60% ~ 70%)。

在密实成饼阶段, 采用高压水使包裹滤饼的隔膜进行压榨, 二维方向的压榨力破坏颗粒间形成的“拱桥”, 使滤饼压密, 挤出残留在颗粒空隙间的滤液; 滤饼中的毛细水则利用强气流通过滤饼

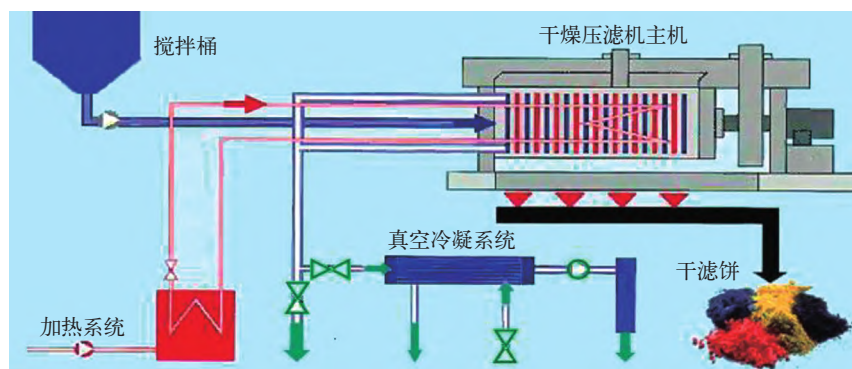


图 1 压滤脱水干燥工艺示意图

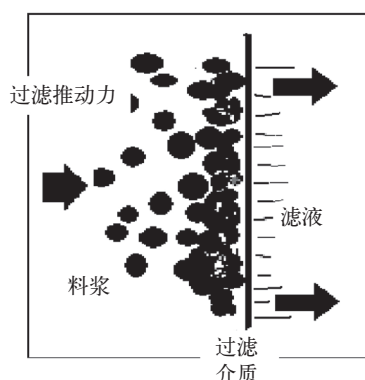


图2 细粒级物料过滤示意图

进行穿流置换，进一步排出滤饼中的毛细水，以最大程度降低滤饼水分。

在“隔膜压榨脱水阶段”，加热系统同时向干燥板和隔膜板内通入流体热介质，隔膜持续挤压滤饼，真空系统对过滤腔室抽真空。如此，“压榨、加热、真空”三者结合，在短时间内使靠近干燥板加热面的滤饼的毛细管内的水因热传导而汽化。当汽化的水蒸汽压力大于相应的毛细管压力时，所产生的蒸汽急剧膨胀并局部喷爆，受高压蒸汽驱使，滤饼的毛细管远端的水以液态形式喷出，类似于自然界的“热间歇泉”效应^[3]，完成物料的毛细水脱除。滤饼毛细管中的这部分水分的去除并非依靠汽化，而是通过喷爆实现，消耗的能量远少于传统的直接加热蒸发，节约了滤饼干燥所需的能源。

3 真空干燥厢式压滤机在医药行业应用的优势

真空干燥厢式压滤机是一款集成了过滤、压榨脱水与真空干燥功能的一体化设备，它在厢式压滤机的基础上增添了真空干燥功能，对物料的工艺适应性良好，产能也能满足需求。以下从工艺、产能、能耗、合规与自动化等多个维度，系统说明它在制药生产中的核心优势：

- 融合了“过滤—洗涤—压榨—干燥”四步工艺：可在一台设备中连续完成，减少了物料转移环节，降低了交叉污染风险（符合 GMP 要求），同时减轻了劳动强度；

- 设备产能大，干燥效率高：其容积较大，还可以根据产能大小进行适当调节。工作室采用双面加热方式，提升了干燥效率；

- 低温干燥优势：真空干燥厢式压滤机采用热水循环加热，热介质温度不超过 100℃，不属于特种设备，无需申请特种设备操作证。在真空环境下，水的沸点降至 30 ~ 60℃，可避免高温破坏药物活性成分（如蛋白质、疫苗）；

- 密闭系统设计：真空干燥厢式压滤机采用密封滤布，设备整体密封性高，干燥腔室内真空度高，能够大幅节省能源。从入料压滤到真空干燥全程密闭操作，适用于有毒、易爆或高价值物料（如抗癌原料药），溶剂回收率 > 95%；

- 对物料适应性强：真空干燥厢式压滤机采用并列厢式板框设计，入料后物料会自动平铺成厚度约为 20 ~ 25 mm 的均匀一层，受热均匀，干燥时间短，适用于各种物料；

- 便于实现产线自动化：设备可直接与后续破碎设备连接，无需人工转料，方便实现产线自动化；

- 数据完整，具有可追溯性：各种运行数据会自动存储，保存时间可按需设定。各类工艺数据不会丢失，具有可追溯性，能为长期安全运行和工艺控制调整提供依据。

4 真空干燥厢式压滤机的功能和工作流程

真空干燥厢式压滤机具有入料过滤、洗涤提纯、吹风降水、压榨脱水、真空干燥、自动卸料、滤布自动清洗等功能。其具体工作流程为：入料过滤—洗涤提纯—压榨脱水—反吹—吹风降水—真空干燥—自动卸料—滤布清洗。

4.1 入料过滤

入料通过泵压入料过滤，入料泵采用变频控制，入料压力可以调节，最高入料压力可达 1.0 Mpa。入料压力根据不同材料的实验结果来确定。

4.2 洗涤提纯

根据物料中需去除杂质的差异，选用相应的洗涤液进行洗涤提纯，洗涤方式可以采用正洗或者反洗，使洗涤液均匀穿过物料，带走其中的杂质；还可以采用揉洗，让洗涤液与物料充分混合反应，去除其中的杂质。

4.3 压榨脱水

通过向隔膜滤板内通入带压热水，对处理的物料进行挤压脱水，同时也可以对处理的物料进行预加热，压榨压力可以控制调整。

4.4 反吹

反吹是指向入料通道内正向或反向吹风，将入料管道内残存物料清除，防止物料在管道内沉积，堵塞管道而影响入料，同时也能减轻真空干燥工序负担。

4.5 吹风降水

通过吹风穿过物料，带走物料内的毛细水分，降低物料的含分量，减少后续真空干燥工序的脱水负担。

4.6 真空干燥

向干燥过滤元件内通入热水，同时对腔室进行抽真空，使腔室内形成真空负压状态。物料内的水分受热升温后，接触干燥板一侧的物料水分迅速蒸发，形成热喷泉效应。通过控制真空度和干燥时间，使物料内的水分达到要求。

4.7 自动卸料

干燥时间达到要求后，结束真空干燥，自动拉开滤板进行卸料，然后转入下一道工序。

4.8 清洗滤布

卸料结束后，可开启滤布自动清洗程序，对滤布进行自动清洗。滤布清洗干净后，进入下一个循环。

5 医药行业典型应用案例

碘海醇是一种黏性非常高的医药中间体，其制造工艺流程中的干燥工序进行过多次改进。厂家曾选用双锥干燥、微波干燥、闪蒸干燥、耙式干燥等多种干燥设备，然而均无法满足工艺要求。



图3 真空干燥厢式压滤机

无奈之下,厂家选择了厢式真空干燥箱进行干燥。具体操作是,物料先经过厢式压滤机压滤,再由人工均匀铺在厢式真空干燥箱的托盘内,放入箱式真空干燥箱进行干燥,干燥时间长达36h才能达到要求。之后,还需人工从干燥箱内取出物料,再从托盘内取下,进行下一道工序。这种方式生产效率非常低,还需耗费大量人工操作,工作量非常大。

制药厂家经过多次选型,并开展多次工业性实验,最终在干燥工序改用了真空干燥厢式压滤机,一次性取代了厢式压滤机和厢式真空干燥箱的组合,取得了良好效果。

所选用的真空干燥厢式压滤机(图3),过滤面积为120 m²,一次产能约为1t纯干料,一次循环时间约为15h。从入料到卸料、破碎装袋均采用自动化操作,操作工人由原来每班6人减至每班2人。处理的物料失重率在1%以下,大大提高了生产产能,降低了劳动强度,车间的操作环境也得到了极大改善。

发展趋势:2024年全球医药真空干燥设备市场规模达12.8亿美元,低温真空干燥技术占比年增11.3%。

6 真空干燥厢式压滤机的工艺优化措施

可以通过优化调整设备的各项参数、升级换代设备关键部件以及针对不同药品设计标准化工艺流程,实现真空干燥厢式压滤机干燥效率与药品质量的平衡。具体的工艺优化措施如下:

- 真空度与温度协同:针对热敏物料(如酶制剂),采用“低真空度

(50~100 mbar)+中温(40~60℃)”组合,避免过热降解^[4];

- 优化工艺时间:某实验通过控制干燥时间(2~4h)、加热速率(2~5℃/min),使药瓶含水量标准差从±0.3%降至±0.1%^[4];

- 待提高方向:高效干燥与能耗平衡——真空度越高(如<10 mbar)脱水越快,但真空泵能耗增加30%~50%,需通过工艺模拟工具(如Aspen Plus)优化平衡点^[4]。

7 结论

通过介绍真空干燥厢式压滤机的工作原理、优势、功能以及在医药行业的应用实例,表明在黏性高的医药中间体的干燥工序上,选用真空干燥厢式压滤机具有很大的优势,值得推广,为制药行业的装备升级提供了另一种思路和补充。

参考文献:

- [1] 周立法. 过滤、洗涤、干燥三合一设备的原理和要求[J]. 机电信息, 2005(8): 19-25.
- [2] 许太明, 孙洪娟, 曲献伟, 刘建鸿, 王卫东, 牛炳晔. 污泥低温真空脱水干化成套技术[J]. 中国给排水, 2013, 29(02): 106-108.
- [3] 王辉, 朱谦, 韩镭, 朱克松. GM型脱水干燥压滤机处理市政污泥[J]. 通用机械, 2008(10): 108+110+112+114-115.
- [4] 茅颖丽. 阿特拉斯·科普柯干燥设备在食品与医药行业的应用[J]. 通用机械, 2016(2): 79-80.

我们在全球生物制药、食品饮料领域的下磁力搅拌合作伙伴 - KEST

拥有超过 30 年
市场经验的下磁
力搅拌制造商

产品线完整,可提供适用于不同工况的产品,性能可靠,低维护,寿命长



设计特点

- 开放式桨叶设计,提高 CIP/SIP 效率
- 采用 SiC 阴轴承、ZrO₂ 阳轴承,减少磨损,延长寿命
- 无菌设计,阴轴承采用热收缩压制技术、无螺纹连接、无需粘合剂
- 专利的 Kest-Lock 连接方式,安装拆卸便捷
- 直流电机,交流电机

材质

EN 1.4435/316L;
904L; SMO254;
HC22; Ti2; PP



诺戈(上海)贸易有限公司

地址:上海市松江区小昆山镇光华路489号3幢

电话:021-51688300

传真:021-51688380

www.kest.se

www.neumo-Vargus.com.cn