

doi: 10.7690/bgzd.2013.05.024

纤维素硝酸酯真空热脱水工艺设备的优化设计

韩智鹏, 王国英, 汪炼, 伍凌川

(中国兵器工业第五八研究所弹药自动装药研究应用中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对原纤维素硝酸酯真空热脱水设备在生产过程中, 干物料产能受原料透水性能和环境温度的影响较大问题, 分析问题产生的原因和影响因素的作用机理, 提出提高滤水段滤水比重、保持棉饼温度的设备改进方法。介绍了优化的布料系统、真空-压榨滤水机构和滤水段棉饼保温机构的设计及工作原理。结果表明: 该方法显著提高设备滤水能力, 降低能源消耗, 并减少硝化棉的分解量, 使生产过程安全性更高。

关键词: 纤维素硝酸酯; 真空热脱水; 滤水比重; 棉饼保温; 安全生产

中图分类号: TJ410.5⁺2 **文献标志码:** A

Optimal Design for Apparatus of Vacuum Thermally Dehydrating Nitrocellulose

Han Zhipeng, Wang Guoying, Wang Lian, Wu Lingchuan

(Research & Application Center of Ammunition Automatic Charging & Assembly, No.58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

Abstract: In the production process of nitrocellulose's vacuum thermally dehydrating, water permeability of materials and environmental temperature affect lot on material productivities. This paper analyzes reasons and functional factors in the operation process, introduces an optimal design consideration of advancing draining properties of the draining parts and maintaining material temperatures. It also presents design and working principles of the optimal material system, the vacuum-pressing draining machine, and the material heat holding system at the draining parts. Result shows that this solution evidently improve the draining properties, decreases the energy consumption, and reduces nitrocellulose's decomposition, it affords a safer dehydrating process.

Key words: nitrocellulose; vacuum thermally dehydrating; water discharge; material attemperator; safe production

0 引言

纤维素硝酸酯(Nitrocellulose, NC)真空热脱水工艺利用真空抽滤和高温气流烘干双重作用,使NC浆料脱水后的含水量降低到1.2%~1.7%,保证在NC喷酒精后含水量保持在≤3%的水平,以满足某些以NC为原料的新产品对NC水分含量的要求^[1]。基于该工艺研发的试验生产线已于2011年完成工艺调试,整个系统实现了较高度度的自动化,烘干间现场无人操作,设备的本质安全程度高,系统具有故障自诊断及监控运行状况等功能;系统在环境温度(25±50)℃的情况下,能以最高约120 kg/h的产能(以干燥硝化棉计量)生产出含水量小于3%,酒精含量在24%左右的含酒硝化棉。但是现有系统受环境温度和原料透水性影响,产量会出现较大波动,在烘干间温度低于15℃时,最高产量约92.5 kg/h,减少约23%;在使用透水性较差的原料硝化棉生产时,最高产量约只有72 kg/h,减少约40%^[2]。根据工艺设备调试中发现的可改进点,笔者针对原系统的原料适应性和环境温度适应性问题,对提高烘干前脱水效率、棉饼温度和改善布料性能等工艺设备优化方法进行阐述。

1 问题分析

1.1 湿态物料透水性影响滤水与烘干

在生产线上进行的带料试车过程中,因原硝化棉生产厂家产能原因而更换了另一厂家提供的粗脱水硝化棉进行带料试车。

经过铺料试车发现,在原来的参数设置下,真空滤水段的真空负压增加50%,棉层布满烘干段后烘干段的真空负压提升超过100%和滤带打滑等问题。在降低铺料厚度10%后,不再出现滤带打滑,但棉饼经烘干后,只有表层附近30%左右厚度范围内水分含量低于1.7%,下层的棉层平均水分含量迅速提高至5.4%~7.7%。当铺料厚度调低35%时,经烘干后棉层整体水分含量在1.3%~2.1%之间。

经分析发现,由于原料棉的细断度减小,物料堆叠后孔隙变小,棉浆中的游离水抽滤效率降低,滤水后棉饼表面和中间非结合水含量增加,在不同铺料厚度下滤水后棉饼含水量对比如表1。由于上述原因^[3],延长了棉饼在烘干段内表面湿分排除时间,而内部湿分向表面的迁移由于外部热量传导受阻变大而变缓,最终造成在同样的滤带速度、棉层厚度、热风温度和风量条件下,棉饼表层约30%厚度烘干

收稿日期: 2012-11-16; 修回日期: 2012-12-11

作者简介: 韩智鹏(1983—),男,四川人,硕士,工程师,从事弹药自动化生产设备设计研究。

后含水 1.7% 以下，而中下层仍然含有大量水分。

表 1 新旧原料滤水后水分含量对比 %

铺料厚度/mm	旧原料滤水后含水量	新原料滤水后含水量
10	50~55	54~62
12	51~56	59~67
14	52~55	61~70
16	53~57	68~75
18	53~58	82~87

1.2 低环境温度延长烘干时间

冬季试车时，烘干车间的环境温度低于 15℃，由于真空滤水段对环境开放，即使在棉浆加温的情况下，由于环境中较低温度空气穿过棉层，将棉层中水分的温度降低，这些低温的水分在烘干过程中需要吸收更多热量才能蒸发并被空气带走，于是，在按照原 (25±5)℃ 环境温度条件下设置的工艺参数生产时，棉饼上层约 75% 厚度烘干后含水 1.7% 以下，而下层含水量迅速增加。后经参数的调整，设备烘干能力仅达到 25℃ 以上环境温度下的最高产能的 77%，且由于热风温度的提高，实际单位干料产量消耗能量增加超过 25%。

1.3 棉浆初始布料不均匀

在初始布料时，只采取调节阀阀门开度控制出料，从高位槽开始泵入棉浆到棉浆溢流这段时间内，因高位槽内棉浆仅受到泵入棉浆流的冲击而产生少量的搅拌效果，而硝化棉的沉淀较快，流入出料管道的棉浆亦得不到有效搅拌，由此造成了在初始出料开始前，在高位槽底部和出料管至出料调节阀段的管道内有部分沉积硝化棉，在打开出料调节阀后，使在滤布上散布的棉浆浓度极高，滤水后的棉饼厚度最高达到 30 mm 以上，且在滤布上分布极不均匀。初始布料出现布料不均匀的时间大约为 15 s，之后厚度平稳调整至预设值附近，但这一小段分布不均匀的厚棉饼极易造成厚度检测仪的破坏和棉料从棉饼的剥落，剥落的棉料又容易在烘干箱入口处形成累积或进入烘干箱被烘干成游离的干燥硝化棉球，而不管是干燥或者含水的剥离棉料，都很容易被烘干箱泄漏的热风吹散，增加烘干车间的粉尘量。

2 设备优化设计思路

根据上述分析，原设备在湿态物料低透水性和低环境温度下都将增加单位干料产量的能耗，而这些因素在滤水段产生的影响直接影响了后段的烘干效果，所以对于设备的改进应在提高滤水段脱水比重和棉饼的保温脱水进行改进设计。另外，还需改善布料性能均匀性和流量。

3 布料系统的优化设计

笔者所指的布料系统由高位槽、高位槽出料管

道、出料调节阀、缓冲布料器及布料厚度检测仪等组成^[4]。优化布料系统的目的—是为了消除在初始布料时棉浆浓度过大造成布料太厚的现象；二是改善低流量布料时布料不均匀情况，以使布料机构能在 5~10 mm 可调厚度内在滤带上散布出均匀的棉层。

原系统和改进后的系统如图 1 所示，在原料料系统基础上，配置立式搅拌器；在高位槽的出料管道进料端加装电控开关阀；缓冲布料器的导向溜板改为两段式结构，下溜板加装振动装置，可使下溜板可以在垂直于滤带运动方向做横向振动。

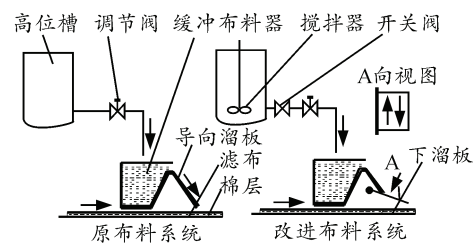


图 1 NC 浆料布料系统改进示意图

高位槽加装搅拌器的主要作用是为了在高位槽初始进料到出料阶段对棉浆进行充分搅拌，以避免高位槽内硝化棉纤维聚集结团沉淀在罐底；另外在高位槽出料过程中，高位槽内棉浆不间断搅拌也保证了出料棉浆与调浓槽配制的棉浆浓度的一致性，否则在出料过程中，由于高位槽出料流量较小，高位槽内的棉浆内部流动依然较弱，棉纤维总是会沉降，而溢流的棉浆是高位槽顶部的部分，于是这部分棉浆的浓度总是小于底部棉浆浓度，所以在整个出料过程中会出现棉浆浓度由大变小的情况，若调节阀的动作灵敏度不够，便会出现一罐棉浆布料过程中厚度逐渐变小的情况。厚度的变化会影响后续喷酒后的产品含酒精和含水量，在棉浆浓度不高且布料厚度较高的情况下这个厚度变化造成的含酒量和含水量变化还不至于引起产品质量的改变，但当棉浆浓度较高、布料厚度较小时，厚度的变化可能会造成最终产品含水和含酒精量过高而不符合质量要求。所以，系统改进后工艺应进行相应调整，高位槽搅拌器在整个布料期间应保持开启，对棉浆进行搅拌。

高位槽出料管道进料端加装的电控开关阀，主要作用是防止高位槽内棉浆在溢流前流入出料管道产生沉淀，当高位槽内棉浆达到溢流液位后控制系统再打开蝶阀出料，安装时尽量缩短罐体与阀门间的连接管道长度以减少阀门进料端的硝化棉沉积。

导向溜板的改进—是为了在使用不同棉浆浓度时，可以由调节下溜板的倾斜角度调节棉浆流在滤布上的布料形态；二是借由下溜板的横向振动，下溜板上棉浆流受到横向的来回摆布作用，分散效果更好，棉浆在较小的布料流量下都能散布到滤布的

整个有效宽度上, 提高低厚度布料时布料均匀性, 以消除原布料系统在薄棉层布料时棉层在滤布的滤水面内分布不均匀而造成的烘干不均匀现象。

经试验观察和样本分析, 优化后的布料系统布料情况与原系统的布料情况对比如表 2, 改进后的系统初始布料亦会出现不均匀现象, 但只是棉层在滤布上分布的位置不均匀, 滤水后的棉饼厚度不再呈现最开始突然增大至超过上限值, 厚度的变化在初始布料时较快的逼近预设值, 接近后变化速度减慢并逐渐达到预设值; 稳定后布料厚度的变化范围减小, 但不明显; 最小均匀布料厚度在 4 mm 左右, 且布料横向均匀度较高。

表 2 优化前后布料系统布料情况对比

系统	初始布料厚度	最小均匀布料厚度/mm	横向布料均匀度	布料最大棉浆浓度(最小厚度情况下)/%
原系统	最厚大于 30 mm	11	棉浆浓度较小或较大时呈明显 M 形, 边缘厚度小。	6.5
优化系统	不高于预设值厚度	4	棉浆浓度对均匀性影响较小, 横向厚度差 2 mm 左右。	11

4 真空-压榨滤水机构设计

真空-压榨滤水机构是在原脱水机滤水段(含重力滤水和真空滤水段)增加能自主转动的碾压辊, 对布料后的棉层增加压力滤水作用, 使经滤水后的湿态棉饼湿分含量减少^[5]。

原滤水段和改进后的真空-压榨滤水段如图 2 所示, 相较于原滤水段, 在真空滤水段的起始位置、厚度检测仪之后共增加了三级碾压辊, 真空滤水段起始位置一级, 厚度检测仪之后连续安装 2 级。第 1 级碾压辊安装在真空滤水段前端, 一是对刚刚形成的含湿量很大的物料层施加一定压力, 配合真空负压加强滤水效果, 同时经过碾压辊对物料的碾压让棉层在滤布上分散得更加均匀平整。第 2 级碾压辊安装在厚度检测仪之后, 处于真空滤水段的后半段前部, 此碾压辊将以较大的压力挤压棉饼, 通过强力挤压与真空负压的强力作用, 将棉饼中间部分难以通过负压滤水的结合水与非结合水排出, 非结合水的减少, 一是加快了恒速烘干阶段速度; 二是加快了降速干燥阶段热量往棉饼内部传递的速度, 而部分结合水的排出也增加了湿态棉饼的毛细孔隙数量, 减小了降速干燥阶段外部热量传递到棉饼内部的阻力。第 3 级碾压辊安装位置只需保证在第 2 级之后即可, 该碾压辊表面均匀布满有一定突出高度金属突棘, 通过该级碾压辊以较小的压力和稍快于滤带速度的线速度将经过压滤的结构较致密的棉

饼进行一定程度的松解, 以减小降速干燥阶段热量传递和湿分的向外扩散阻力。3 个碾压辊均由动力装置提供独立的转动动力, 安装碾压辊采用托辊安装, 以减小滤带摩擦阻力。

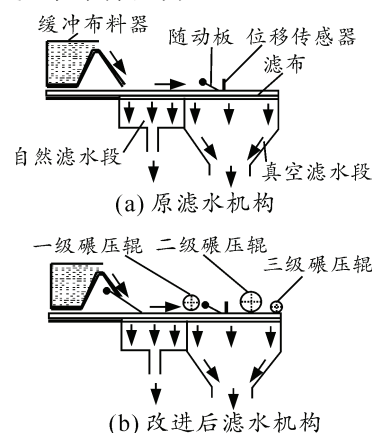


图 2 滤水机构改进示意图

在使用新原料进行滤水的试验中, 测得改进后的滤水机构在不同的布料厚度情况下, 滤水效率均有很大提高, 已低于旧原料的滤水后含水量, 试验数据对比见表 3。

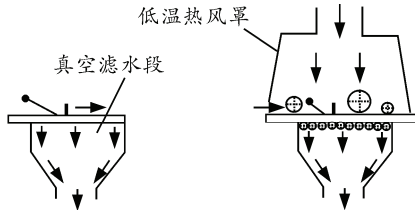
表 3 改进前后滤水机构对新原料的滤水效果对比 %

铺料厚度/mm	改进前滤水含水量	改进后滤水后含水量
10	54~62	30~35
12	59~67	31~35
14	61~70	33~36
16	68~75	32~38
18	82~87	35~41

5 滤水段棉饼温度保持机构设计

对真空滤水段的改进如图 3 所示, 相较于原滤水段, 在真空滤水段上增加了一个低温热风罩。通常在环境温度较低时, 棉浆会经过加温至 40~50 °C 再进行布料烘干, 其目的就是尽量提高棉饼中湿分的温度。在增加低温热风罩以后, 低环境温度时, 棉浆依然加热至 40 °C 左右, 由独立的热风机向低温热风罩内提供 40 °C 左右的低温热风, 风量略高于此段真空抽吸量, 棉层在真空滤水段滤水时, 由于穿过棉层的空气介质温度接近或者高于湿分温度, 经过此段后棉饼的温度依然保持在 40 °C 左右, 这样便避免了棉饼湿分温度的降低消耗更多的烘干热量。而之所以不将烘干段热风罩直接延伸到滤水段, 主要是因为滤水段的热风量需求并不大, 此段主要还是以机械压力和负压相结合的方式脱水, 热风温度只需要在 30~40 °C 保持棉层不过度降温即可, 温度较高的热风也会延长硝化棉在高温中的滞留时间, 加速硝化棉自身分解^[6]。所以整个改进方式都是为

了在安全的前提下尽量提高烘干速率，同时又兼顾能量利用效率和产能。



(a)原真空滤水段结构 (b)改进后真空滤水段结构

图 3 真空滤水段加低温热风罩示意图

6 结束语

笔者所提出的设备优化设计，其目的都在于减少原料变化与环境温度对棉层铺料和滤水效果的影响，根据之前大量试车中的抽样检测，原设备在棉饼经过滤水段滤水后，棉饼通常含水量约为 50%~60%，通过设备优化，在使用低透水性原料试验中将滤水后的棉饼水含量降低至 30%~41%，同时棉饼温度较高，单位干物料对应的烘干段水分蒸发量大大减少，且棉饼水分减少后热量扩散速度更快，

(上接第 86 页)

1) 使用 Matlab 工具箱中的 newrbe (P,T,SPREAD)函数,将输入层的神经元个数设为 9,输出层神经元个数设为 3,隐含层是由 RBF 网络自动选择数目。隐含层单元的激励函数为高斯函数,加权函数为 dist;输出层神经元的激励函数为纯线性函数 purelin,加权函数为 dotprod^[7]。实验样本数据如表 1 所示。

2) 网络的学习训练过程如图 3 所示,当网络训练到第 32 步时,其得到的均方差为 2.458e-003,预测的均方差为 2.106e-003。

能提高烘干速度，显著降低对热量的消耗和真空压力的要求，提高能源利用率，且低厚度棉饼的快速烘干，又进一步减少了硝化棉的分解量，提高了成品质量，未安定干燥硝化棉在线制品量减少，使生产过程安全性更高。

参考文献:

[1] 邵自强. 硝化纤维素生产工艺及设备[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002: 185-212.

[2] 陈洋. 热分析在炸药研制过程中的应用[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(12): 47.

[3] 潘永康. 现代干燥技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 926-1045.

[4] 韩智鹏, 汪炼, 王国英, 等. 纤维素硝酸酯真空热脱水工艺含水量多值逻辑控制系统[J]. 兵工自动化, 2011, 30(3): 75-77.

[5] 刘锡朋, 诸洪. 纤维素硝化酯热脱水装置控制系统安全可靠设计[C]. 2010 年含能材料与钝感弹药技术学术研讨会论文集, 绵阳: 中国工程物理研究院, 2010: 373-377.

[6] 王国英, 刘锡朋, 汪炼, 等. 硝化棉真空热脱水装置棉浆输送技术研究[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(8): 85-86.

3) 将训练好的网络参数代入 RBF 网络, 将重新采集的样本进行仿真, 得到表 2 所示结果。分析可知, 该网络模型的预测值与真实值之间的误差很小, 其预测结论与实际情况基本一致。

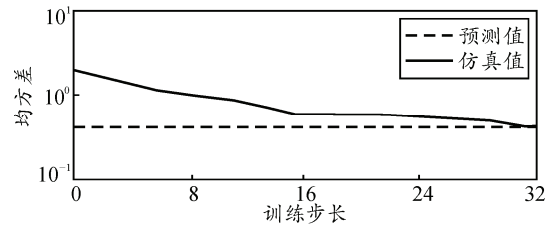


图 3 RBF 网络训练曲线

表 2 某保障设备运行状态及预测结果

序号	Input sample									Output sample		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1	0.283	0.715	0.318	0.501	0.910	0.942	0.974	0.368	0.107	0.001	0.857	0.000
2	0.032	0.189	0.411	0.756	0.621	0.333	0.623	0.981	0.878	0.851	0.002	0.978
3	0.557	0.281	0.227	0.298	0.554	0.665	0.367	0.348	0.205	0.001	0.981	0.005

3 结束语

笔者利用 Matlab 仿真工具, 通过对样本数据进行训练, 构造设备故障的神经网络诊断器。仿真结果表明: RBF 神经网络作为预测网络能较好解决该保障设备的故障预测问题, 具有较准确和快速的诊断能力, 可为复杂设备的预防性维修提供科学依据。

参考文献:

[1] 田景文, 高美娟. 人工神经网络算法研究及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.

[2] 何勇枢, 陈贛. 基于 BP 神经网络模型的故障预测分析[J]. 微计算机信息, 2006, 22(6): 220-223.

[3] 郭红梅. 遗传算法在 BP 神经网络学习中的应用[J]. 辽宁大学学报, 2007, 34(2): 151-152.

[4] 唐湘燕, 陈效华. 基于神经网络的火炮自动供输弹装置故障预测[J]. 火箭发射与控制学报, 2007, 23(1): 54-58.

[5] 孟宪超, 刘纯武, 刘晔. 基于径向基神经网络的水声微弱信号检测[J]. 鱼雷技术, 2011, 19(5): 349-354.

[6] 施彦, 韩力群, 廉小亲. 神经网络设计方法与案例分析[M]. 北京: 邮电大学出版社, 2009.

[7] 刘安, 刘春生. 基于 RBF 神经网络的非线性系统故障诊断[J]. 计算机仿真, 2007, 24(2): 141-144.