

真空回潮机故障维修时间优化方法的研究

王志敏 王静 杜鹏 王于栋 王建华

云南省烟草烟叶公司，云南省昆明市，650000；

摘要：“真空回潮机在打叶复烤环节主要用来提升原烟水分、松散烟叶，可减轻后续热风润叶工序加温增湿负担，并有效减少生产加工过程烟叶造碎的情况。特别是在生产加工中后期（12月至次年3-4月）烟叶水分过多散失，烟叶仓储板结严重等问题的出现，使用真空回潮机进行烟叶预回潮处理更显得尤为关键。而目前排查、维修处理真空回潮机的故障时间过长，对正常生产造成了一定的影响，不利于打叶复烤行业配方打叶均质化加工的顺利进行。本文通过对故障的分类统计、关键因素实验验证、技术改造以及效果追踪的研究方法，得出门密封性、棘爪响应速度、射流水泵监控为关键影响因素的结论，改造后真空回潮机月均维修时间降低了56.1%，生产效率得到了有效提升。

关键词：打叶复烤；真空回潮机；设备维修；技术改造

DOI：10.69979/3041-0673.26.01.016

引言

真空回潮机作为烟草加工的核心设备，在打叶复烤环节承担着提升烟叶水分、松散烟叶结构的关键职能。其工艺效果直接影响后续热风润叶工序的能耗效率及加工过程烟叶碎损率。然而，在云南某公司的实际生产中，受地理气候和超长加工周期（约8个月/年）的影响，烟叶中后期易出现水分过度散失和仓储板结问题，使真空回潮机的预回潮处理成为保障生产连续性的必要环节。

本研究旨在通过系统性优化方案解决真空回潮机维修时间过长这一问题，具体目标为：精准定位故障根源，量化分析门密封性、棘爪响应速度等关键参数对维修时间的影响；开发针对性改造技术：提升密封结构耐高压性能，优化门控机构响应时间（动作时间 $< 0.5s$ ），加装射流水泵动态监测系统。实现月维修时间 ≤ 180 分钟，年度经济效益增加51.13万元。

1 问题现状

表1 2023年12月真空回潮机故障维修时间统计

序号	回潮机组	故障维修时间（分）
1	A机	427.0
2	B机	395.0
3	C机	393.0
4	D机	425.0
平均		410.0

结论：开关门故障频次少，但是平均维修时间长；抽真空系统故障平均维修时间短，但是故障频次高。开关门故障和抽真空系统故障的总故障维修时间合计占

比为76.10%，因此导致真空回潮机总故障维修时间长的关键故障类型为“开关门故障平均维修时间长”和“抽真空系统故障频次高”。

2 关键影响因素分析

2.1 门密封胶条耐压性差

为了确认真空回潮机箱体门密封性是否符合标准，小组成员使用麦氏计分别对4台真空箱体的真空度进行现场测量，使用真空表读取并统计。真空回潮机真空度符合相关标准要求，小组成员调查发现由于真空回潮机程序控制设计模式为设定真空度值后通过一定的抽真空时间满足该条件的执行，因此小组成员进一步调查为达到真空度要求所用的抽真空时间。4台真空回潮机的抽真空时间均在5.5分钟以上，而抽真空工艺设计值为4.5分钟，远超过了标准要求，不符合相关要求，箱体门存在微小泄露的情况。

为进一步探究门密封胶条耐压性差对抽真空系统故障次数的影响程度，小组将真空度分别设置为0.070MPa、0.075MPa、0.080MPa、0.085MPa、0.09MPa，分别对真空回潮A机进行了6次保压试验（保压5分钟，保压时间低于5分钟视为故障），统计了试验期间保压时间。真空度设定越低越难保压，决定系数（ R^2 ）为0.9227，方程拟合优度高，相关性显著，因此为要因。

2.2 棘爪响应时间过长

为确认棘爪响应时间是否符合标准，小组现场采用高速相机测量了真空回潮机箱门的棘爪动作响应时间，

测量10组数据，每组测3次。箱门棘爪响应时间有时会大于0.5s，不符合要求。

为进一步探究棘爪响应时间过长对开关门故障平均维修时间长的影响程度，在其它设备正常运行的前提下小组进行了进一步的调查和统计分析。测量10组，每组测3次，统计对应的开关门故障维修时间。对棘爪响应时间与开关门故障进行相关性分析， p 值 ≤ 0.05 ，表明两者相关性显著，故确认为要因。

2.3 射流水泵供水量不足

我司使用的真空回潮机抽真空系统采用三流体联合射流真空系统抽空，射流水泵是此系统的重要组成部分。

小组成员查看真空回潮机使用说明书可知：

10.2.4 射流水箱
要求 射流水箱水位应不低于600mm，若水位低于规定值，应立即停机检查，补充用水。

图1 真空回潮机相关部分截图

为了保证真空回潮机射流水泵在抽真空过程中的正常运行，射流水箱的水位高度应大于等于600.0mm。

小组成员使用玻璃管液位计对射流水箱的水位进行了测量，目前射流水箱的水位小于600.0mm，不符合要求。

由于真空回潮机程序中设定抽真空时间超过5分即报抽真空系统故障，因此小组成员可通过测量抽真空时间判断抽真空系统的故障。为了验证射流水泵供水量不足对抽真空系统故障频次高的影响程度，小组成员做了

如下试验：

将真空回潮机的射流水箱设置不同的水位，并统计不同水箱水位下抽真空系统的抽真空时间。

方程决定系数(R^2)为0.9237，拟合优度好，所以射流水箱水位和抽真空时间相关，由公式计算得出，当射流水箱水位低于573.3mm时，抽真空时间大于5分钟。根据调查结果，射流水箱水位均低于600mm，73%的水位低于573.3mm，射流水箱水位低，抽真空时间会延长，就会出现抽真空系统故障，因此为要因。

3 技术改造方案设计与实施

3.1 真空箱门密封系统升级

技术方案：针对密封胶条耐压性不足导致的真空泄漏问题，设计复合硅橡胶密封结构(D型截面)，通过压缩量优化提升密封性能。

实施过程：

参数优化：开展密封条压缩量单因素试验，通过测试了密封条不同压缩量(10.0%、15.0%、20.0%、25.0%、30.0%)下的密封效果，选取了一组最优值20%。此时真空度稳定在0.074-0.078MPa，优于目标值0.08MPa。

工程安装：对真空箱门原有的密封安装位置进行测量，确定密封条整体尺寸及安装位置，并采购密封条，要求表面需光滑无毛刺，内部无气泡，对采购的密封条进行尺寸核验，经过检查尺寸符合要求后，小组成员以密封条压缩量为20%为标准进行了安装调整。

验证结果：使用麦氏计分别对4台真空箱体的真空度进行现场测量，使用真空表读取并统计，统计结果如下：

表2 测量数据统计表

序号	A机		B机		C机		D机	
	真空度(MPa)	抽真空时间(分)	真空度(MPa)	抽真空时间(分)	真空度(MPa)	抽真空时间(分)	真空度(MPa)	抽真空时间(分)
1	0.0756	4.57	0.0707	4.50	0.0755	4.42	0.0785	4.69
2	0.0727	4.67	0.0760	4.46	0.0730	4.38	0.0766	4.35
3	0.0726	4.53	0.0717	4.53	0.0722	4.68	0.0727	4.54
4	0.0773	4.35	0.0744	4.31	0.0742	4.44	0.0740	4.58
5	0.0754	4.55	0.0739	4.47	0.0768	4.61	0.0778	4.61
6	0.0773	4.39	0.0724	4.54	0.0759	4.57	0.0789	4.52
7	0.0725	4.41	0.0763	4.33	0.0708	4.69	0.0717	4.60
8	0.0715	4.65	0.0780	4.38	0.0775	4.47	0.0779	4.54
9	0.0779	4.64	0.0747	4.44	0.0775	4.31	0.0771	4.45
10	0.0747	4.44	0.0744	4.42	0.0716	4.56	0.0775	4.57
11	0.0723	4.59	0.0768	4.33	0.0774	4.57	0.0711	4.43
12	0.0745	4.52	0.0727	4.35	0.0721	4.46	0.0740	4.35

由表可知，真空度均低于 0.08MPa，抽真空时间均在 4.50 分左右，达到对策目标。

3.2 箱门防坠落机构改造

技术方案：开发离心力控制式制动装置，通过高速旋转触发滑块自锁，解决棘爪响应延迟问题。

关键技术：滑动制动片在基座的滑槽内滑动，受到重力（Mg），摩擦力（f）和支撑力（FN）的共同作用，旋转时会产生离心力（FC）。

摩擦力计算公式为：

$$f = u \cdot F_N = u \cdot mg \cos \theta \quad (1)$$

其中 u 为动摩擦系数，数值为 0.12~0.60，g 为重力加速度，数值为 9.80m/s²，θ 为滑动制动片与水平方向的夹角。

滑动制动片滑出时应满足的条件为：

$$F_C \geq mg \sin \theta + f \quad (2)$$

离心力计算公式为：

$$F_C = m\omega^2 r \quad (3)$$

其中 ω 为转速，r 为滑动制动片质心距离旋转中心的距离。

由上式计算可知，滑动制动片滑动的临界转速（nc）为：

$$n_c = \frac{60}{2\pi} \cdot \omega = \frac{60}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{(\sin \theta + u \cdot \cos \theta) \cdot g}{r}} \quad (4)$$

滑动制动片在竖直方向滑出时，θ 为 90°，r 为 10cm，代入公式(4)计算可得，临界转速为 95.0r/min。

结构强化：采用高强度合金钢基座，经有限元分析验证最大应力 200MPa < 材料屈服强度

实施验证：箱门正常下落时，转速为 84.0r/min，并不会触发防坠装置。所有超临界转速（≥95.0r/min）工况下，防坠装置均会触发，制动响应时间均低于 0.50s，满足设计要求，且转速越高，滑动制动片离心力越大，滑出速度越快，响应时间会进一步缩短。

3.3 射流水泵供水量动态调控

技术方案：集成气动执行器（OMAL DA-40 型）与水

位监测系统，实现供水压力闭环控制。

实施要点：安装高精度角行程执行器，流量调节精度 ±1.0%。编写了水位监测和报警程序。新增了射流水箱水位模拟量输入信号处理程序段，该程序段的作用为：将液位计输出的液位高度模拟量信号输入到 CPU 的中间映像区，以便 CPU 在执行后续程序时能够调用此信号。在变量表中添加射流水箱高、低水位报警变量，通过这两个变量能够实现前端屏幕显示与后端程序的互联，能够使报警信息及时在控制屏幕上显示。添加水位监测和报警程序，该程序能够对射流水箱液位计的液位高度信号与设定的射流水箱最低高度值进行比较，一旦射流水箱的液位高度低于设定值，射流水箱的气动执行器将自动开启，实现射流水箱的自动补水，同时在控制屏幕上显示“射流水箱低水位”报警，及时提醒现场的操作人员。

效果验证：改造后供水压力稳定在 0.29 - 0.40MPa，杜绝空载运行风险。

4 结论与展望

本研究通过系统性改进措施，成功将真空回潮机月故障维修时间从 410 分钟降至 180 分钟，显著优于目标值（281 分钟）。关键突破在于精准锁定三大核心影响因素，并针对性实施三项创新改进。本研究成果对打叶复烤行业具有普适性价值：防坠落装置改造方案适用于同类型真空回潮机，已通过云南某公司四台机组验证；多因素实验验证与动态监测系统为设备故障预防提供新范式，相关技术可推广至其他设备管理。

参考文献

- [1] 赵淑华, 朱建新. 基于不同故障特征的设备维修策略与实施分析[J]. 中国设备工程, 2023, (08): 15-18.
- [2] 马峰. 真空回潮机传动系统改进措施[J]. 科技与企业, 2013, (19): 311. DOI: 10.13751/j.cnki.kjyqy.2013.19.069.
- [3] 张培中, 张道林, 吕建华. 西门子 S7-200PLC 在真空回潮机自动控制系统中的应用[J]. 烟草科技, 2002, (03): 30-32.