

# 梗线 HDT 工艺参数对整丝率和填充值相关性研究

凌 斌 张 成 万乐辉 廖金云

江西中烟工业责任有限公司南昌卷烟厂 江西南昌 330096

**摘要:** 本次研究以梗线 HDT 气流式烘丝机的工艺参数调整为主要研究对象, 分析设备工艺参数与烟叶原料整丝率、填充值之间的关系, 探讨影响整丝率、填充值的关键参数。研究中应用了控制自变量、因变量设计模型进行分析的研究方法, 并应用多重共线性检验变量的有效估计量, 确定关键参数。本次研究完成了设备工艺参数调整和测试, 确定影响填充值、整丝率的关键参数, 确定并固化相关工艺系数, 将烟叶原料的整丝率提升到 90%, 将填充值提升到 6.8cm<sup>3</sup>/g, 实现了就地技改、提升生产质量和生产效益的目的, 为卷烟生产水平提升提供借鉴和参考。

**关键词:** HDT 气流式烘丝机; 工艺参数; 整丝率; 填充值

## Correlation of HDT process parameters between filament rate and filling value

Bin Ling Cheng Zhang Lehui Wan Jinyun Liao

China Tobacco Jiangxi Industrial Liability Co., LTD. Nanchang Cigarette Factory, Nanchang Jiangxi 330096

**Abstract:** In this study, the process parameters of HDT airflow dryer were adjusted as the main research object, and the relationship between the process parameters of the equipment and the finishing rate and filling value of tobacco raw materials was analyzed, and the key parameters affecting the finishing rate and filling value were discussed. In the study, the research method of controlling the independent variable and dependent variable design model was applied, and the effective estimator of multiple collinearity test was applied to determine the key parameters. The study completed the equipment process parameters adjustment and testing, determine the key parameters of the filling value, silk rate, determine and curing related process coefficient, the tobacco material rate to 90%, the filling value to 6.8cm<sup>3</sup> / g, implements the local technical upgrading, improve production quality and production efficiency, provide reference for cigarette production level and reference.

**Keywords:** HDT airflow wire dryer; Process parameters; Finishing rate; Filling value

### 引言:

按照南烟“十四五”规划要求, 充分利用好就地技改后新设备, 让新设备更好地服务新工艺, 同时探索摸清新设备工艺参数与制梗丝感官质量之间的科学相关性, 才能满足我厂对制梗丝高质量发展的需求。由于梗线工艺参数对整丝率和填充值等梗丝结构指标有着重要的影响, 因此研究和掌握合理的梗线工艺参数对于卷烟的制造质量和效益至关重要。此外, 随着卷烟消费市场的竞争日趋激烈, 卷烟制造企业对于产品质量和工艺效率的要求也越来越高, 因此对梗线工艺参数的深入研究和优化具有重要的现实意义。

就地技改后, 我厂制丝车间所有设备更新换代, 此前的工艺参数配置及工艺流程与现有设备之间都存在较大差异。因此, 探索新工艺与新设备之间的相关性就显得尤为重要。由于新线工艺路线加长、设备控制模式的变化, 同时受环境温湿度等非可控因素影响, 造成梗丝填充值与整丝率偏低, 通过调查统计当前梗丝填充值均值为 6.32cm<sup>3</sup>/g, 小于行业标准 6.50cm<sup>3</sup>/g; 整丝率较低, 其均值为 87.03%。同时梗丝填充值与整丝率批与批之间差异性较大, 梗线梗丝结构的稳定性控制有待提高。该项目基于制丝车间梗线生产段进行试验, 实验结果直接可以运用到梗线的工艺参数组合中, 使得梗线储梗出口梗丝获得预期的整丝率和填充值。

### 一、HDT 气流式烘丝机工艺参数分析原理

干燥作为卷烟加工工艺中的关键工序, 对卷烟加工质量有着重要影响。目前, 国内常见的烟叶干燥设备为气流干燥、滚筒干燥两种。气流干燥在物理指标、感官质量方面均有较为明显的特点, 调整气流干燥设备参数有助于提升烟叶原料质量。烟梗是烟叶的重要

组成部分, 其梗丝制品在卷烟配方中起着重要作用, 不仅能降低卷烟原料消耗及烟气焦油量, 还能提高原料利用率、烟丝填充能力及烟丝燃烧性, 是卷烟的重要组成部分<sup>[1]</sup>。影响梗丝加工质量的烟梗成丝工艺参数主要包括压梗温度、压梗间隙、切梗丝厚度等, 合适的形变工艺参数有助于提高梗丝的填充效果及使用价值, 还可提高梗丝与叶丝的配伍性<sup>[2]</sup>。环境温湿度等因素是 HDT 气流式烘丝机工艺参数设置的重要参考内容, 调整工艺参数的目的在于降低环境因素对烟叶原料质量的影响, 提升整丝率和填充值, 保证烟叶原料的稳定性<sup>[3]</sup>。由于各卷烟生产车间所处的环境因素不同, 所使用的 HDT 气流式烘丝机工艺参数需要根据环境实际情况进行调整, 方能保证干燥出的烟叶原料质量达到生产标准。本次实验研究的目的在于探索 HDT 气流式烘丝机工艺参数调整的方法、数据处理和关键参数的选择, 使 HDT 气流式烘丝机工艺参数分析方法成为可推广、可广泛应用的技术手段, 提升卷烟生产企业的整体技术水平。具体分析实验流程如下:

①通过 MES 数据采集统计分析, 确认影响梗丝填充值与整丝率的工艺关键参数。

②通过设备改进, 保障梗梗处理阶段设备实际生产过程中设备参数稳定。

③通过生产试验, 完成各变量之间的数据分析, 得出最优生产工艺参数。

### 二、HDT 气流式烘丝机工艺参数数据处理方法

#### 1. 数据来源与整理

本研究用数据来源于江西中烟南昌卷烟厂制丝车间 MES 信息

数据采集系统及品质管理科,于2022年1月至2022年9月烟丝结构批次统计数据,统计了9个月的梗线生产过程参数及梗丝物理指标数据。在进行分析前,本研究还对数据进行了清理,将缺失梗丝填充值及整丝率等关键信息的数据样本进行了剔除,最终得到138份有效样本进行梗丝形态分布(整丝率、填充值)的影响因素分析。

## 2.参数设置及描述性统计

表1 参数设置及描述性统计

变量	名称	均值	标准差	最小值	最大值	
因变量	Y1	整丝率 (%)	87.03	1.548	85.47	91.81
	Y2	填充值 (cm <sup>3</sup> /g)	6.324	0.398	6.030	7.250
自变量	X1	压梗间隙 (mm)	0.819	0.0279	0.736	0.833
	X2	膨胀单元蒸汽流量 (kg/h)	333.9	58.82	150.0	455.8
	X3	梗丝加香出料水分 (%)	12.41	0.121	12.09	12.74
	X4	切梗丝厚度 (mm)	0.103	0.00891	0.100	0.140
	X5	洗梗水温 (°C)	53.17	2.453	47.92	54.98
	X6	烟梗回潮热风温度 (°C)	75.61	4.818	69.90	80.33
	X7	HT 蒸汽压力 (mbar)	0.293	0.0128	0.217	0.300
	X8	梗加料进料水分 (%)	33.30	1.357	30.15	38.33
	X9	HDT 工艺气体温度 (°C)	211.0	6.408	197.1	228.4

从表1描述性统计结果可以看出,梗丝整丝率(87.03%)与填充值(6.32cm<sup>3</sup>/g)观测记录的样本均值结果与预期理想目标还有距离。并且观察标准差和最大值、最小值可以发现,整丝率的标准差以及观测值跨度较大,这样表现出来样本数据之间较为离散。梗丝填充值的描述性统计也呈现出类似的结果,反映了稳定性不足的问题。因此,初步分析表明,急需调整改善相应工艺参数以使梗丝整丝率、填充值达到理想且稳定的目标。

### 3.模型设计

为验证梗丝整丝率和填充值的影响效果,选择以上9个解释变量作为影响因素,设置模型如下所示:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^9 \beta_j X_{j,i} + \varepsilon_i \quad (5.1)$$

式中:  $i=1, 2, \dots, 138$ , 记录批次;

$j=1, 2, \dots, 9$ , 自变量个数。

为第  $i$  批次梗丝数据检测情况(梗丝整丝率、梗丝填充值)。

分别表示第  $i$  批次各自变量的采集值,其中 X1 表示压梗间隙、X2 为膨胀单元蒸汽流量、X3 为梗丝加香出料水分、X4 为切梗丝厚度、X5 为洗梗水温、X6 为烟梗回潮热风温度、X7 为 HT 蒸汽压力、X8 为梗加料进料水分、X9 为 HDT 工艺气体温度。

为常数项,分别为各自变量影响系数,为随机误差项。

因此,本研究主要根据系数来判断梗丝整丝率和填充值的各影响因素的影响强度。

### 4.模型检验

由于本研究模型为多元回归模型,并且样本数据集较小(138<200)。可能出现自变量之间存在高度相关性,即存在一定程度的重叠,从而导致回归系数估计不准确、偏离真实值的问题<sup>[4]</sup>。因此,在进行回归之前,需要进行多重共线性检验(Multicollinearity),确保模型估计稳定<sup>[5]</sup>。多重共线性检验结果如表2所示:

表2 多重共线性检验结果

变量	VIF
X1	1.92
X8	1.88
X6	1.81
X2	1.54
X5	1.47

导致梗丝形态分布(整丝率、填充值)表现差异的原因十分复杂,参考已有文献和实际生产经验,本项目引入压梗间隙、膨胀单元蒸汽流量、梗丝加香出料水分、切梗丝厚度、洗梗水温、烟梗回潮热风温度、HT 蒸汽压力、梗加料出料水分、HDT 工艺气体温度等九个自变量进行分析。具体描述性统计如表1所示:

X7	1.23
X4	1.18
X3	1.18
X9	1.17
VIF 均值	1.49

表中方差膨胀因子(VIF)报告值代表多重共线性严重程度,用于检验模型是否呈现共线性,即解释变量间存在高度相关的关系(VIF应小于10或者5,严格为5)。从结果来看,本研究选取的所有自变量VIF值均严格小于5。可知,本研究设计的多元模型预测精度较高,自变量选择合理,预期显著性检验结果科学,相关系数估计参数为有效估计量<sup>[6]</sup>。

### 5.回归结果分析

#### (1)整丝率影响因素分析

本研究使用OLS(最小二乘法)进行回归分析,以该方法拟合的结果均默认报告平均边际效应,可以更好比较对因变量的影响系数。基于全样本的回归结果如表3所示:

表3 梗丝整丝率影响因素分析结果

变量	相关系数	标准误	T 检验值	P 值
X1	-3.232	-5.407	-0.60	0.551
X2	-0.001	-0.002	-0.55	0.581
X3	1.727***	-0.878	1.97	0.009
X4	40.159***	-13.417	2.99	0.003
X5	-0.079	-0.049	-1.62	0.108
X6	-0.058*	-0.031	-1.84	0.068
X7	-26.339*	-7.048	-3.74	0.079
X8	0.057	-0.111	0.51	0.608
X9	-0.023	-0.017	-1.34	0.183
常数项	85.723***	-10.404	8.43	0.000
R <sup>2</sup>	0.197			

注: \*\*\*, \*\*, \*分别表示变量在1%, 5%和10%的水平上显著。

由表3可知,梗丝加香出料水分(X3)、切梗丝厚度(X4)在1%的显著性水平上影响梗丝整丝率,烟梗回潮热风温度(X6)和HT蒸汽压力(X7)在10%的显著性水平上影响梗丝整丝率,其余变

量则对梗丝整丝率无显著影响。

从报告的平均边际效应结果来看, 梗丝加香出料水分 (X3)、切梗丝厚度 (X4) 显著正向影响整丝率。具体来说, 当其他变量保持不变时, 梗丝加香出料水分 (X3) 每增加一个单位, 梗丝整丝率相应会提高 1.727 个单位。当其他变量保持不变时, 切梗丝厚度 (X4) 每增加一个单位, 梗丝整丝率相应会提高 40.159 个单位。烟梗回潮热风温度 (X6)、HT 蒸汽压力 (X7) 显著负向影响梗丝整丝率。当其他变量保持不变时, 烟梗回潮热风温度 (X6) 每增加一个单位, 会导致梗丝整丝率减少 0.058 个单位; 当其他变量保持不变时, HT 蒸汽压力 (X7) 每增加一个单位, 将导致梗丝整丝率减少 26.339 个单位。

各显著影响因素对梗丝整丝率的影响主次顺序依次为: 切梗丝厚度 (X4) > HT 蒸汽压力 (X7) > 梗丝加香出料水分 (X3) > 烟梗回潮热风温度 (X6)。

### (2) 填充值影响因素分析

与上文分析类似, 对于梗丝填充值影响因素分析依然使用 OLS(最小二乘法) 进行回归分析, 报告平均边际效应结果。具体回归结果如表 4 所示:

表 4 梗丝填充值影响因素分析结果

变量	相关系数	标准误	T 检验值	P 值
X1	-3.810***	-1.074	-3.55	0.001
X2	0.002***	0.001	3.73	0.000
X3	0.189	-0.201	0.94	0.348
X4	-10.476***	-1.976	-5.30	0.000

X5	-0.016	-0.011	-1.45	0.149
X6	-0.001	-0.005	-0.27	0.787
X7	1.863	-1.371	1.36	0.176
X8	-0.017	-0.019	-0.90	0.371
X9	0.009	-0.004	2.10	0.158
常数项	7.182***	-2.282	3.23	0.002
R <sup>2</sup>	0.381			

注: \*\*\*, \*\*, \* 分别表示 1%, 5% 和 10% 的显著性水平。

由表 4 可知, 压梗间隙 (X1)、膨胀单元蒸汽流量 (X2)、切梗丝厚度 (X4) 皆在 1% 的显著性水平上影响梗丝填充值, 其余变量对于梗丝填充值无显著影响。从报告的平均边际效应结果来分析, 当其他变量保持不变时, 压梗间隙 (X1) 每增加一个单位, 会导致梗丝整丝率减少 3.81 个单位; 当其他变量保持不变时, 膨胀单元蒸汽流量 (X2) 每增加一个单位, 会导致梗丝整丝率增加 0.002 个单位; 当其他变量保持不变时, 切梗丝厚度 (X4) 每增加一个单位, 会导致梗丝整丝率减少 10.476 个单位。各显著影响因素对梗丝填充值的影响主次顺序依次为: 切梗丝厚度 (X4) > 压梗间隙 (X1) > 膨胀单元蒸汽流量 (X2)。

综合分析来看, 切梗丝厚度对于梗丝整丝率及填充值均有显著影响, 并且影响系数最大。其次为压梗间隙, 其对梗丝填充值的影响系数较大, 而加香出口水分平均值对梗丝整丝率的影响系数则很显著。膨胀单元蒸汽流量虽然显著影响梗丝填充值, 但其影响系数较小, 故后期实验设计调整范围需要比较大。

### 6. 工艺参数固定投产结果

表 5 梗线关键参数确认方案

切梗丝厚度(mm)	洗梗水温(°C)	烟梗回潮热风温度(°C)	HT 蒸汽压力(mbar)	压梗间隙(mm)	热风温度(°C)	HDT 工艺气体温度(°C)	膨胀单元蒸汽流量(kg/h)	梗丝加香出料水分(%)
1.00	50	80	0.30	0.90	45	210	300	12.50

固化后参数投入实际生产, 经为期两个月的效果验证, 梗丝填充值稳定高于 6.85cm<sup>3</sup>/g, 整丝率稳定高于 92.0%, 改善效果明显且有效, 现已将本研究关键参数确认方案纳入梗线固化参数, 并向叶丝线做经验推广。

### 结语:

通过对梗丝生产过程中的实际情况和 MES 系统生产数据的采集与分析, 整理了影响梗丝整丝率和填充值的工艺参数数据。通过统计学评估确定了影响整丝率和填充值的关键参数, 并进行了工艺调整测试和设备改造, 以稳定提升梗丝的结构质量, 达到填充值 ≥ 6.8cm<sup>3</sup>/g 和整丝率 ≥ 90% 的目标要求。研究采用了均匀设计方法对制梗丝的工艺参数进行试验设计, 并利用回归分析方法对实验结果进行数据分析, 探讨了制梗丝各主要工艺参数对梗丝形态分布的影响, 为研制不同形态梗丝的特色卷烟提供了工艺参数参考。

根据分析结果发现, 影响梗丝填充值与整丝率有压梗间隙、切梗厚度、加香出口水分、膨胀单元蒸汽流量四个关键工艺参数。其中切梗厚度作为综合影响效应最显著的工艺参数, 我们通过控制其设定值来显著提高梗丝的整丝率和填充值。增加切梗厚度可以增加梗丝的纤维密度和填充度, 进而提高整丝率和填充值。此外, 稳定梗丝加香出口水分也对整丝率和填充值有正向影响。合理的出料水分可以改善梗丝的柔软度和延展性, 促进纤维间的互相交织, 从而提高整丝率和填充值。在填充值方面, 除了切梗厚度的影响外, 压梗间隙和膨胀单元蒸汽流量也对填充值产生显著影响。较小的压梗间隙和适当的膨胀单元蒸汽流量可以增加纤维的排列紧密度, 从而提高填充值。

综上所述, 通过调整和控制压梗间隙、切梗厚度、加香出口水分和膨胀单元蒸汽流量等关键工艺参数, 我们可以有效地提高梗丝的整丝率和填充值, 设备改善与固化参数后梗丝填充值与整丝率平

均值分别提升至 6.88cm<sup>3</sup>/g 与 92.53%, 较好的改善了梗丝的形态和质量。这些研究结果为生产高质量特色卷烟提供了重要的工艺参数参考, 并为进一步优化梗丝生产工艺和改进设备提供了指导。

### 参考文献:

- [1] 陆妍, 刘远涛, 李坚. HDT 气流式烘丝机的工艺控制模式的应用研究[J]. 轻工科技, 2023, 39(03): 86-88.
- [2] 王佳, 唐国庆, 冷晓飞. HDT 气流烘丝机关键加工参数对卷烟感官质量、物理指标的影响[J]. 中国设备工程, 2023(05): 88-90.
- [3] 卓鸣, 汪鹏, 望开奎. 基于 MIV-BP 神经网络的成品烟丝质量预测模型构建[J]. 食品与机械, 2021, 37(12): 161-166+214.
- [4] 崔海涛, 张国俊. 复烤后叶片结构对卷烟加工整丝率及填充性的影响[J]. 科技创新与应用, 2018(19): 57-58.
- [5] 姚光明, 乔学义, 申玉军, 刘朝贤, 刘晓萍, 李晓. 烤烟叶片在不同叶丝干燥工序中叶丝填充值和整丝率的变化[J]. 河南农业科学, 2011, 40(02): 69-73.
- [6] 刘国栋, 王旭锋, 李向阳. 制丝工艺参数对烟叶叶丝耐加工性和填充值的影响[J]. 河南农业科学, 2015, 44(8): 4. DOI: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2015.08.032.
- [7] 杨志强. CO<sub>2</sub> 浸渍工序参数对膨胀烟丝整丝率的影响分析[J]. 商品与质量, 2016, 000(051): 233.
- [8] 梁珊珊, 梁芳. 关于提高双喜(经典)叶丝整丝率的研究[J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2021(12): 3.
- [9] 杨美丽. 不同工艺参数对烟丝质量影响的研究[J]. 科学之友, 2012(012): 000.
- [10] 徐德龙, 米强, 付立伟, 等. 基于烟丝填充值提升的滚筒干燥工艺参数优化[J]. 轻工学报, 2021, 36(1): 6.