

# 卷烟材料对焦油及危害性指数影响研究\*

刘光伟, 郭磊, 李山\*, 张进文

(甘肃烟草工业有限责任公司, 甘肃兰州 730050)

**摘要:** 为研究不同卷烟材料及其不同设计参数对卷烟焦油及危害性成分释放量的影响规律, 共对6种卷烟材料及各5个水平参数的设计进行了研究分析。结果表明, 卷烟纸透气度对降焦减害具有较大作用, 与焦油、H、CO、NNK、B[a]P、氨、苯酚、HCN呈显著线性负相关; 卷烟纸克重对降焦减害显著不明显, 与B[a]P、苯酚呈显著线性负相关; 卷烟纸助燃剂含量对降焦减害具有一定效果, 与焦油、H呈线性负相关; 卷烟纸含麻比例含量增大, 卷烟焦油释放量及危害性指数整体呈递增趋势, 卷烟纸含麻比例与焦油无显著相关关系, 与H呈线性正相关; 滤嘴通风率对降焦减害具有较大作用, 滤嘴通风率与焦油、H、CO、B[a]P、氨、苯酚、HCN呈显著线性负相关, 与NNK、巴豆醛释放量之间有一定负相关关系; 滤嘴长度对于降焦减害具有较大作用, 滤嘴长度与焦油、H、NNK、B[a]P、氨、苯酚、HCN呈显著线性负相关。

**关键词:** 卷烟材料; 危害性指数; 焦油

卷烟材料及其参数的设计和不同的组合对卷烟品质及焦油和危害性成分的变化都有不同程度的影响。20世纪末, 加拿大以法律法规的形式强制烟草生产企业定期检测卷烟主流烟气中46种有害成分<sup>[1]</sup>的含量。2006年1月8日《烟草控制框架公约》<sup>[2]</sup>在我国正式生效, 烟草行业面临“吸烟与健康问题”的压力进一步加强。谢剑平<sup>[3]</sup>等经过研究, 确定了表征卷烟危害性的7个定性有害成分指标, 即: CO、HCN、NNK、NH<sub>3</sub>、苯并[a]芘、苯酚、巴豆醛, 并给出了危害性指数的计算方法。因此卷烟降焦减害一直是烟草行业研究的重要课题, 并投入了较多的人力物力<sup>[4]</sup>。

本文系统研究卷烟主要材料(三纸一棒)及其

参数的不同设计对焦油及危害性成分释放量的影响规律, 从而全面考察卷烟材料(三纸一棒)设计参数对焦油及危害性成分释放量的影响, 以期卷烟设计者选择卷烟材料不同的参数组合提供一种较为合理、有效、便捷的综合评价的参考依据。

## 1 样品的设计与制备

以公司重点产品且具有一定的市场影响力卷烟产品设计标准为基准, 叶组配方、香精香料、卷制参数保持一致, 设计制作不同材料参数样品卷烟。烟用材料某一因素变化时, 其他参数保持一致。各样品参数设计及实测结果具体见表1。

表1 样品设计及测定

| 因素          | 样品编号 | 设计值 | 实测值  | 因素                        | 样品编号 | 设计值   | 实测值   |
|-------------|------|-----|------|---------------------------|------|-------|-------|
| 滤嘴通风率 (%)   | TF-1 | 0   | 1.1  | 卷烟纸克重 (g/m <sup>2</sup> ) | KZ-1 | 26    | 26.6  |
|             | TF-2 | 10  | 8.3  |                           | KZ-2 | 28    | 28.0  |
|             | TF-3 | 20  | 21.7 |                           | KZ-3 | 30    | 30.4  |
|             | TF-4 | 30  | 33.0 |                           | KZ-4 | 32    | 32.7  |
|             | TF-5 | 40  | 38.9 |                           | KZ-5 | 34    | 33.7  |
| 滤棒长度 (mm)   | CD-1 | 20  | 20.1 | 卷烟纸助燃剂 (%)                | ZJ-1 | 0.50  | 0.52  |
|             | CD-2 | 24  | 23.9 |                           | ZJ-2 | 0.80  | 0.81  |
|             | CD-3 | 25  | 25.1 |                           | ZJ-3 | 1.10  | 1.14  |
|             | CD-4 | 27  | 27.1 |                           | ZJ-4 | 1.80  | 1.83  |
|             | CD-5 | 30  | 30.0 |                           | ZJ-5 | 2.00  | 2.04  |
| 卷烟纸透气度 (CU) | TQ-1 | 20  | 19.3 | 卷烟纸含麻比例 (%)               | HM-1 | 0.0   | 0.0   |
|             | TQ-2 | 40  | 40.1 |                           | HM-2 | 25.0  | 24.2  |
|             | TQ-3 | 50  | 50.1 |                           | HM-3 | 50.0  | 51.1  |
|             | TQ-4 | 60  | 57.2 |                           | HM-4 | 75.0  | 76.3  |
|             | TQ-5 | 80  | 77.8 |                           | HM-5 | 100.0 | 100.0 |

**基金项目:** 国家烟草专卖局重点实验室资助项目“卷烟通风分配对烟气成分及感官质量风格影响规律研究”(110201603006); 甘肃烟草工业有限责任公司研究项目“卷烟滤嘴通风对烟气香味成分释放量影响规律研究”(2017130)。

**作者简介:** 刘光伟, 硕士, 工程师, 从事卷烟材料及叶组配方研究。

**通讯作者:** 李山, 硕士, 工程师。

由表1可以看出,样品实测值与设计值较为接近,且同一因素不同水平之间存在一定梯度,样品满足设计要求。

## 2 测定方法与指标

卷烟主流烟气焦油,七种危害性成分CO、HCN、NNK、NH<sub>3</sub>、苯并[a]芘、苯酚、巴豆醛的释放量测定方法如下:

1) GB/T 23356-2009 卷烟烟气气相中一氧化碳的测定 非散射红外法

2) YC/T 157-2001 卷烟 总粒相物中水分的测定方法 气相色谱法

3) GB/T 19609-2004 卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油

4) YC/T 253-2008 卷烟主流烟气中氰化氢的测定 连续流动法

5) NH<sub>3</sub>采用加拿大卫生部方法(离子色谱法)

6) YC/T 255-2008 卷烟主流烟气中主要酚类化合物的测定,采用高效液相色谱法

7) GB/T 23228-2008 卷烟 主流烟气总粒相物中烟草特有N-亚硝胺的测定 气相色谱-热能分析联用法

8) GB/T 21130-2007 卷烟 烟气总粒相物中苯并[a]芘的测定

9) YC/T 254-2008 卷烟主流烟气中主要羰基化合物的测定 高效液相色谱法

危害性指数:

$$H = (CO/14.2 + NNK/5.5 + \text{苯并}[a]\text{芘}/10.9 + \text{巴豆醛}/18.6 + \text{苯酚}/17.4 + \text{NH}_3/8.1 + \text{HCN}/146.3) \times 10/7$$

## 3 结果与分析

### 3.1 卷烟纸透气度

不同卷烟纸透气度样品焦油及危害性指数具体测定结果及影响规律见图1和表2。由图1可以看出随着卷烟纸透气度增加,卷烟焦油释放量及危害性指数呈降低趋势。最大透气度与最小透气度样品焦油极差值为2.0mg/支,危害性指数极差值为1.8。研究表明,增加卷烟纸透气度对于降焦减害具有较大贡献。

试验所测数据运用DPS和SPSS13.0数据分析软件<sup>[14-15]</sup>进行回归分析。由表2可以看出,卷烟纸透气度与焦油、H、CO、NNK、B[a]P、氨、苯酚、HCN呈显著线性负相关,P值均小于0.05;与巴豆醛

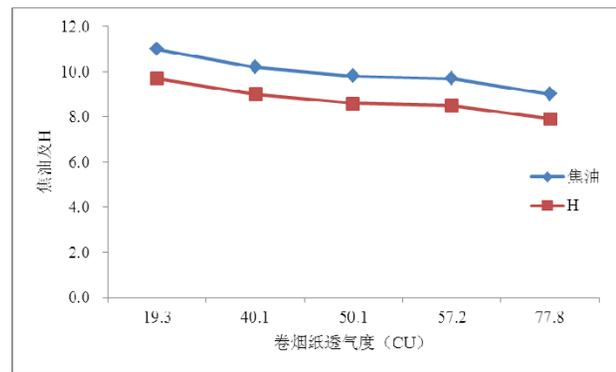


图1 卷烟纸透气度对焦油释放量及H影响

表2 卷烟纸透气度与焦油、H、有害成分线性回归方程

| 成分    | 线性方程                    | r      | P     | 透气度每增加5CU有害成分释放量差异 |
|-------|-------------------------|--------|-------|--------------------|
| 焦油    | $y = -0.0339x + 11.597$ | 0.9958 | <0.01 | -0.1695            |
| H     | $y = -0.0307x + 10.243$ | 0.9955 | <0.01 | -0.1535            |
| CO    | $y = -0.0545x + 15.926$ | 0.9977 | <0.01 | -0.2725            |
| NNK   | $y = -0.0031x + 3.7539$ | 0.9594 | <0.01 | -0.0155            |
| B[a]P | $y = -0.0402x + 14.246$ | 0.9004 | 0.037 | -0.2010            |
| 氨     | $y = -0.035x + 8.7515$  | 0.9882 | <0.01 | -0.1750            |
| 苯酚    | $y = -0.0439x + 15.208$ | 0.9206 | 0.027 | -0.2195            |
| 巴豆醛   | $y = -0.003x + 15.546$  | 0.2145 | 0.729 | /                  |
| HCN   | $y = -0.7458x + 177.23$ | 0.9754 | <0.01 | -3.7290            |

释放量之间无显著相关关系,P值为0.729。由方程可算出,卷烟纸透气度每增加5 CU,焦油、H、CO、NNK、B[a]P、氨、苯酚、HCN分别可降低0.169 5 mg/支、0.153 5、0.272 5 mg/支、0.015 5 ng/支、0.201 0 ng/支、0.175 0 μg/支、0.219 5 μg/支、3.729 0 μg/支。卷烟纸透气度增加对降低巴豆醛释放量显著性不明显。

### 3.2 卷烟纸克重

不同卷烟纸克重样品焦油及危害性指数具体测定结果及影响规律见图2和表3。由图2可以看出,不同克重样品,卷烟焦油释放量及危害性指数差异不大。不同克重样品之间焦油极差值为0.5 mg/支,危害性指数极差值为0.4。研究表明,卷烟纸克重对于降焦减害无显著作用。

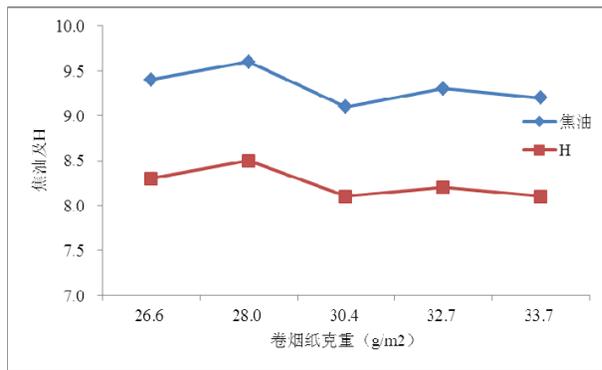


图2 卷烟纸克重对焦油释放量及H影响

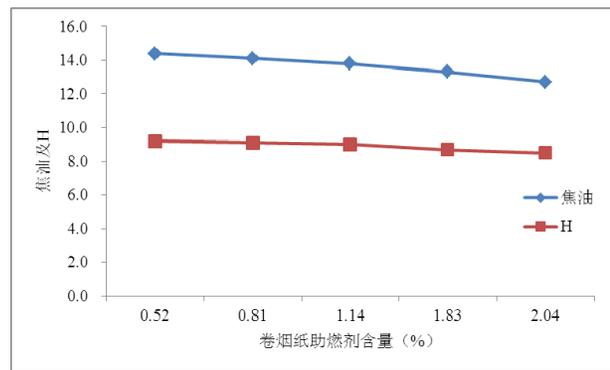


图3 卷烟纸助燃剂含量对焦油释放量及H影响

表3 卷烟纸克重与焦油、H、有害成分线性回归方程

| 成分    | 线性方程              | r      | P     | 克重每增加<br>2g/m <sup>2</sup><br>有害成分释<br>放量差异 |
|-------|-------------------|--------|-------|---|
| 焦油    | y=-0.0391x+10.503 | 0.6117 | 0.273 | /   |
| H     | y=-0.0387x+9.4126 | 0.6972 | 0.191 | /   |
| CO    | y=0.1656x+7.6061  | 0.8125 | 0.095 | /   |
| NNK   | y=-0.0028x+3.4834 | 0.0678 | 0.914 | /   |
| B[a]P | y=-0.1369x+15.227 | 0.9415 | 0.017 | -0.2738                                     |
| 氨     | y=-0.0633x+8.6181 | 0.7486 | 0.145 | /   |
| 苯酚    | y=-0.3241x+22.134 | 0.9636 | <0.01 | -0.6482                                     |
| 巴豆醛   | y=-0.008x+14.742  | 0.0200 | 0.973 | /   |
| HCN   | y=0.2885x+125.02  | 0.2717 | 0.658 | /   |

由表3可以看出，卷烟纸克重与焦油、H、CO、NNK、氨、巴豆醛、HCN无显著相关关系，P值均大于0.05。卷烟纸克重虽与危害性指数整体相关显著性不明显，但与B[a]P、苯酚具有显著线性负相关关系，P值均小于0.05，卷烟纸克重每增加2g/m<sup>2</sup>，B[a]P、巴豆醛释放量分别可降低0.2738ng/支、0.6482μg/支。

### 3.3 卷烟纸助燃剂

不同卷烟纸助燃剂含量样品焦油及危害性指数具体测定结果及影响规律见图3和表4。由图3可以看出，样品助燃剂含量增大，卷烟焦油释放量及危害性指数呈降低趋势。不同克重样品之间焦油极差值为1.7mg/支，降低趋势较为明显，危害性指数极差值为0.7。研究表明，增加卷烟纸助燃剂含量对降焦减害具有一定效果。

表4 卷烟纸助燃剂含量与焦油、H、有害成分线性回归方程

| 成分    | 线性方程              | r      | P     | 助燃剂每增<br>加0.5%<br>有害成分释<br>放量差异 |
|-------|-------------------|--------|-------|---------------------------------|
| 焦油    | y=-1.0111x+14.942 | 0.9787 | <0.01 | -0.5056                         |
| H     | y=-0.4418x+9.4602 | 0.9872 | <0.01 | -0.2209                         |
| CO    | y=-0.4523x+13.394 | 0.9461 | 0.015 | -0.2262                         |
| NNK   | y=-0.2662x+5.0575 | 0.9693 | <0.01 | -0.1331                         |
| B[a]P | y=-1.2067x+11.29  | 0.9618 | <0.01 | -0.6034                         |
| 氨     | y=-0.5618x+7.7523 | 0.9513 | 0.013 | -0.2809                         |
| 苯酚    | y=0.1071x+14.344  | 0.3219 | 0.597 | /                               |
| 巴豆醛   | y=0.0038x+18.735  | 0.0045 | 0.994 | /                               |
| HCN   | y=-6.0802x+136.51 | 0.9392 | 0.018 | -3.0401                         |

由表4可以看出，卷烟纸助燃剂含量与焦油、H呈线性负相关关系，助燃剂含量每增加0.5%，焦油、H分别可降低0.5056mg/支、0.2209。其中H降低主要是由于卷烟纸助燃剂含量增加，可降低卷烟烟气中CO、NNK、B[a]P、氨、HCN的缘故，助燃剂含量每增加0.5%，该5种成分分别可降低0.2262mg/支、0.1331ng/支、0.6034ng/支、0.2809μg/支、3.0401μg/支。但卷烟纸助燃剂含量增加，对于降低烟气中苯酚、巴豆醛释放量显著性不明显。

### 3.4 卷烟纸含麻比例

不同含麻比例卷烟纸样品焦油及危害性指数具体测定结果及影响规律见图4和表5。由图4可以看出，样品含麻比例含量增大，卷烟焦油释放量及危害性指数整体呈递增趋势。不同含麻比例样品之间焦油极差值为1.0mg/支，危害性指数极差值为0.2。

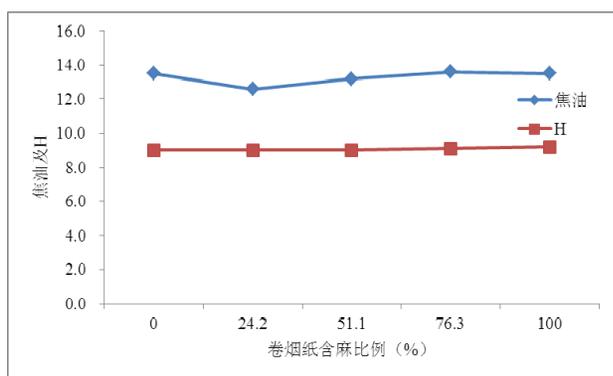


图4 卷烟纸含麻比例对焦油释放量及H影响

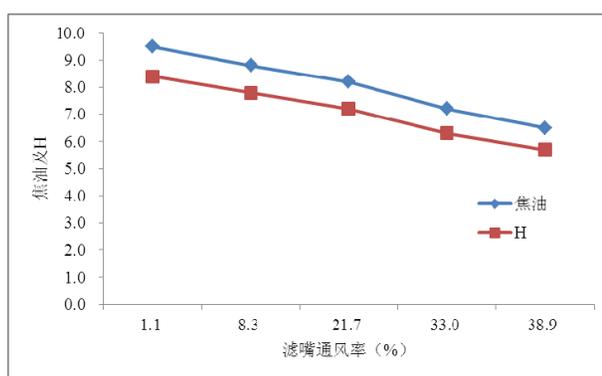


图5 滤嘴通风率对焦油释放量及H影响

表5 卷烟纸助燃剂含量与焦油、H、有害成分线性回归方程

| 成分    | 线性方程                | r      | P     | 含麻比例每增加5%有害成分释放量差异 |
|-------|---------------------|--------|-------|--------------------|
| 焦油    | $y=0.0041x+13.075$  | 0.3970 | 0.548 | /                  |
| H     | $y=0.002x+8.9608$   | 0.8787 | 0.050 | +0.01              |
| CO    | $y=0.0111x+13$      | 0.8913 | 0.042 | +0.06              |
| NNK   | $y=-0.002x+4.521$   | 0.6138 | 0.271 | /                  |
| B[a]P | $y=0.0084x+10.117$  | 0.7438 | 0.150 | /                  |
| 氨     | $y=0.0112x+6.6984$  | 0.9217 | 0.026 | +0.06              |
| 苯酚    | $y=-0.0111x+15.239$ | 0.4436 | 0.454 | /                  |
| 巴豆醛   | $y=-0.0061x+18.167$ | 0.3659 | 0.545 | /                  |
| HCN   | $y=-0.0333x+135.21$ | 0.3614 | 0.550 | /                  |

由表5可以看出，卷烟纸含麻比例与焦油无显著相关关系，与H呈线性正相关关系，含麻比例每增加5%，H增加0.01。卷烟含麻比例与H线性相关关系，主要是由于增加含麻比例可增加CO、氨释放量，对NNK、B[a]P、苯酚、巴豆醛、HCN等释放量显著不明显。

### 3.5 滤嘴通风率

不同滤嘴通风样品焦油及危害性指数具体测定结果及影响规律见图5和表6。由图5可以看出随着滤嘴通风度增加，卷烟焦油释放量及危害性指数呈降低趋势。最大通风率与最小通风率样品焦油极差值为3.0mg/支，危害性指数极差值为2.7。研究表明，增加滤嘴通风率对于降焦减害具有较大贡献。

由表6可以看出，滤嘴通风率与焦油、H、CO、B[a]P、氨、苯酚、HCN呈显著线性负相关，P值均小于0.01；与NNK、巴豆醛释放量之间有一定负相关

表6 滤嘴通风率与焦油、H、有害成分线性回归方程

| 成分    | 线性方程                | r      | P     | 滤嘴通风每增加5%有害成分释放量差异 |
|-------|---------------------|--------|-------|--------------------|
| 焦油    | $y=-0.0746x+9.5776$ | 0.9895 | <0.01 | -0.3730            |
| H     | $y=-0.0679x+8.4795$ | 0.9923 | <0.01 | -0.3395            |
| CO    | $y=-0.1376x+12.715$ | 0.9985 | <0.01 | -0.6880            |
| NNK   | $y=-0.0037x+3.5762$ | 0.8364 | 0.078 | /                  |
| B[a]P | $y=-0.062x+11.358$  | 0.9926 | <0.01 | -0.3100            |
| 氨     | $y=-0.0611x+7.5787$ | 0.9878 | <0.01 | -0.3055            |
| 苯酚    | $y=-0.0824x+12.858$ | 0.9808 | <0.01 | -0.4120            |
| 巴豆醛   | $y=-0.1131x+14.59$  | 0.8638 | 0.059 | /                  |
| HCN   | $y=-1.6983x+126.66$ | 0.9874 | <0.01 | -8.4915            |

关系。利用这些方程可计算出，滤嘴通风率每增加5%，焦油可降低0.373 0 mg/支，危害性指数可降低0.339 5，CO可降低0.688 0 mg/支，B[a]P可降低0.310 0 ng/支，氨可降低0.305 5  $\mu$ g/支、苯酚可降低-0.412 0  $\mu$ g/支，HCN可降低8.491 5  $\mu$ g/支。

### 3.6 滤棒长度

不同滤棒长度样品焦油及危害性指数具体测定结果及影响规律见图6和表7。由图6可以看出随着滤棒长度增加，卷烟焦油释放量及危害性指数呈降低趋势。最大滤棒长度与最小滤棒长度样品焦油极差值为2.8mg/支，危害性指数极差值为1.8。研究表明，增加滤嘴长度对于降焦减害具有较大贡献。

由表7可以看出，滤嘴长度与焦油、H、NNK、B[a]P、氨、苯酚、HCN呈显著线性负相关，P值均小于0.01；与CO、巴豆醛释放量之间无显著相关关系，P值分别为0.279、0.179。利用这些方程可计算出，滤

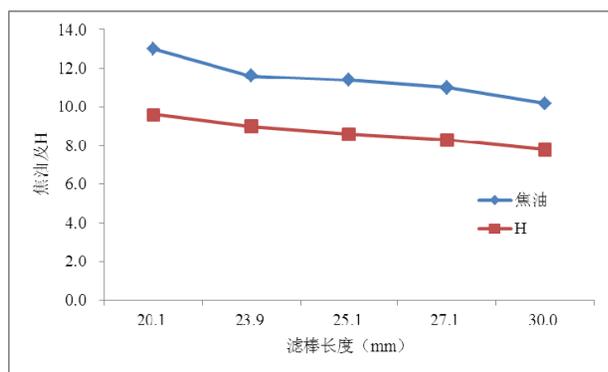


图6 滤嘴长度对焦油释放量及H影响

表7 滤嘴通风率与焦油、H、有害成分线性回归方程

| 成分    | 线性方程                    | r      | P     | 滤嘴长度每增加5mm有害成分释放量差异 |
|-------|-------------------------|--------|-------|---------------------|
| 焦油    | $y = -0.275x + 18.382$  | 0.9903 | <0.01 | -1.3750             |
| H     | $y = -0.1848x + 13.323$ | 0.9955 | <0.01 | -0.9240             |
| CO    | $y = -0.022x + 13.496$  | 0.6056 | 0.279 | /                   |
| NNK   | $y = -0.1176x + 7.1892$ | 0.9896 | <0.01 | -0.5880             |
| B[a]P | $y = -0.0633x + 11.137$ | 0.9682 | <0.01 | -0.3165             |
| 氨     | $y = -0.1973x + 11.8$   | 0.9575 | <0.01 | -0.9865             |
| 苯酚    | $y = -0.6983x + 33.345$ | 0.9542 | <0.01 | -3.4915             |
| 巴豆醛   | $y = -0.1597x + 20.292$ | 0.7099 | 0.179 | /                   |
| HCN   | $y = -4.0706x + 232.92$ | 0.9887 | <0.01 | -20.3530            |

嘴长度每增加5 mm, 焦油、H、NNK、B[a]P、氨、苯酚、HCN分别可降低1.375 0 mg/支、0.924 0、0.588 0 ng/支、0.316 5 ng/支、0.986 5 μg/支、3.491 5 μg/支、20.353 0 μg/支。滤嘴长度增加虽可降低CO、巴豆醛释放量, 但显著性不明显。

#### 4 结论

通过以上研究分析, 明确了各卷烟材料及其不同参数对焦油、有害成分释放量的影响规律:

(1) 卷烟纸透气度: 卷烟纸透气度与焦油、H、CO、NNK、B[a]P、氨、苯酚、HCN呈显著线性负相关; 增加卷烟纸透气度对降焦减害具有较大贡献。

(2) 卷烟纸克重: 卷烟纸克重与B[a]P、苯酚呈显著线性负相关; 不同克重卷烟纸对焦油释放量及危害性指数差异不大, 影响不显著。

(3) 卷烟纸助燃剂: 卷烟纸助燃剂含量与焦油、H呈线性负相关; 卷烟纸助燃剂含量对降焦减害具有一定效果。

(4) 卷烟纸含麻比例: 卷烟纸含麻比例与焦油无显著相关关系, 与H呈线性正相关; 卷烟纸含麻比例含量增大, 卷烟焦油释放量及危害性指数整体呈递增趋势。

(5) 滤嘴通风率: 滤嘴通风率与焦油、H、CO、B[a]P、氨、苯酚、HCN呈显著线性负相关, 与NNK、巴豆醛释放量之间有一定负相关关系; 增加滤嘴通风率对降焦减害具有较大贡献。

(6) 滤嘴长度: 滤嘴长度与焦油、H、NNK、B[a]P、氨、苯酚、HCN呈显著线性负相关; 增加滤嘴长度对于降焦减害具有较大贡献。

#### 参考文献

- [1] [http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/tobac-tabac/legislation/reg/indust/index\\_f.html](http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/tobac-tabac/legislation/reg/indust/index_f.html).
- [2] 世界卫生组织烟草控制框架公约编. 世界卫生组织烟草控制框架公约[M]. 世界卫生组织, 2009.
- [3] Xie Jianping, Development of a novel hazard index of mainstream cigarette smoke and its application on risk evaluation of cigarette products, CORESTA 2008,(6):23-26.
- [4] 刘华. 卷烟材料与焦油量关系的回归设计与分析[J]. 烟草科技, 2008,(5):9-11.
- [5] AYERS C W. Determination of ammonia in tobacco and smoke[J]. s. n., 1969, 16 (7): 1085-1088.
- [6] 唐启义, 冯明光. DPS数据处理系统(实验设计、统计分析 & 数据挖掘) [M]. 北京: 科学出版社. 2007: 1027-1055.
- [7] 余建英, 何旭宏, 数据统计分析与SPSS应用[M]. 北京: 人民邮电出版社. 2003: 165-173.