

卷烟加工重点工序工艺参数与卷烟主流烟气中苯酚释放量的关系研究

薛芳¹, 李东亮^{1*}, 陈昆燕¹, 曾建¹, 曾正蓉¹, 谭兰兰¹, 戴亚¹, 陈小林²

(1 川渝中烟工业公司, 四川 成都 610066 2 川渝中烟重庆烟草工业公司, 重庆 408000)

摘要: 为研究卷烟工艺参数对主流烟气中苯酚释放量的影响, 选择制丝工序中 HT+ 烘丝、切丝、松散回潮及微波松散 4 个重点工序进行均匀设计试验。结果表明: (1) 在 HT+ 烘丝工序中, 筒体转速、HT 工作蒸汽压力与筒体转速交互作用、排潮风门开度与热风风门开度交互作用对苯酚释放量有负作用; 热风温度与筒体转速交互作用对苯酚释放量有正作用, 影响大小顺序依次为: 筒体转速, HT 工作蒸汽压力与筒体转速交互作用, 排潮风门开度与热风风门开度交互作用, 热风温度与筒体转速交互作用。(2) 微波松散工序中, 加工时间对苯酚释放量具有负作用。建立了 HT+ 烘丝工序的回归模型, 并对回归模型进行了参数优化, 得到了低苯酚含量的 HT+ 烘丝工序工艺参数组合。验证结果表明, 牌号 A、牌号 B 的工艺参数优化样品苯酚含量分别比正常生产样品降低 10.05% 和 19.90%。

关键词: 卷烟; 工艺参数; 苯酚

中图分类号: S572.092 文献标志码: A 文章编号: 1000- 2286(2010)06- 1307- 06

A Study on Effects of Processing Parameters on Yield of Phenol in Cigarette Mainstream Smoke

XUE Fang¹, LI Dong-liang^{1*}, CHEN Kun-yan¹, ZENG Jian¹, ZENG Zheng-rong¹, TAN Lan-lan¹, DAI Ya¹, CHEN Xiao-lin²

(1 China Tobacco Chuanyu Industrial Corporation, Chengdu 610066 China 2 Chongqing Tobacco Industry Corporation, Chongqing 408000, China)

Abstract In order to study the effects of processing parameters on phenol release, four important processes, namely, HT drying, microwave loosening, cutting, loosening and conditioning, were studied by DPS analysis and intuitionistic analysis. The results showed that: 1) the running rate of cylinder, mutual acts of the pressure of HT and the running rate of cylinder, mutual acts of the opening of moisture exhaust valve and the opening of hot-air temperature negatively affected phenol release in cigarette mainstream smoke, while the mutual acts of hot-air temperature and the running rate of cylinder positively affected phenol release in cigarette mainstream smoke. The order was as follows: the running rate of cylinder > mutual acts of the pressure of HT and the running rate of cylinder > mutual acts of the opening of moisture exhaust valve and the opening of hot-air temperature > the mutual acts of hot-air temperature and the running rate of cylinder. 2) in the

收稿日期: 2010- 08- 31 修回日期: 2010- 09- 30

基金项目: 中国烟草总公司科技项目 (200947)

作者简介: 薛芳 (1981-), 女, 硕士, 主要从事气相、液相色谱等分析烟草化学成分研究, E-mail: xuefang@prile56.com

* 通讯作者: 李东亮, 博士, 高级工程师, E-mail: lidongliang163@yahoo.com.cn

microwave loosening processing processing time negatively affected yield of phenol in cigarette mainstream smoke. After establishing the regression model of HT drying processes and optimizing the parameters of the regression model, the HT drying processing parameters on low yield of phenol was obtained. The result of parameter verification showed that the yields of phenol in cigarette A and cigarette B were lower than that of the normal production sample by 10.05% and 19.90%, respectively.

Key words cigarette; processing parameter; phenol

随着人们对吸烟与健康问题的关注,卷烟烟气中有害成分越来越受到人们关注,其中酚类物质对健康具有一定危害,特别是苯酚对皮肤及呼吸道粘膜有强烈的刺激作用^[1]。如何降低卷烟烟气中苯酚释放量,减少吸烟对健康的危害,成为烟草行业工作重点之一。近年来,烟草化学工作者主要从烟丝添加剂^[2-4]、烟草薄片^[5]、新型减害滤嘴^[6-7]方面对降低卷烟烟气中酚类物质的释放量进行了广泛深入的研究,但卷烟加工工艺参数对卷烟主流烟气中苯酚释放量的影响迄今还未见报道,为此本文从卷烟加工工艺角度考察重点工序工艺参数对卷烟主流烟气中苯酚释放量的影响。

1 材料与方 法

1.1 材料与设备

材料:某三类烤烟型卷烟(川渝中烟工业公司涪陵卷烟厂生产)。

设备: FT112微波松散机(江苏智思机械制造有限公司); WQ3313滚筒式叶片回潮机(昆明船舶制造有限责任公司); SQ313切叶丝机(昆明船舶制造有限责任公司); 隧道式叶丝回潮机(昆明船舶制造有限责任公司); SH15D型管板式烘丝机(秦皇岛烟草机械有限责任公司); Agilent 1100高效液相色谱仪和 Agilent 1100 FLD 检测器; 二十孔道转盘式吸烟机(德国 BORGWALDT 公司)。

1.2 试验设计

根据现行制丝设备的运行状况,对各制丝工艺参数进行分析,确定微波松散、松散回潮、切丝、HT+烘丝这 4 个工序为重点工序,通过均匀设计^[8-9]形成重点工序组合的不同显著性因素的组合水平。按照设定的工艺参数进行烟丝加工,然后用相同辅材进行卷制。

均匀设计是一种试验设计方法,它由方开泰教授和数学家王元在 1978 年共同提出,是数论方法中“伪蒙特卡罗方法”的一个应用。其具体应用过程一般分以下 6 个步骤:(1)确定试验指标、因素、因素水平范围和因素水平数;(2)选择合适的均匀设计表建立分次试验的具体因素水平组合;(3)执行分次试验并取得每次试验的指标值;(4)用分次试验的指标值和取得该指标值的各因素水平值,建立试验指标和各因素水平关系的回归模型;(5)成功地建立回归模型后,在各试验因素的试验范围内寻找最佳的各因素水平组合并进行该组合的验证试验。

试验选定松散回潮工序中水汽喷嘴压力、热风温度、筒体转速 3 个因素,微波松散工序中微波功率、加工时间 2 个因素;切丝工序中切丝宽度;HT+烘丝中 HT 工作蒸汽压力、热风温度、热风风门开度、排潮风门开度、筒体转速 5 个因素,分别进行均匀设计。并制备 1 个对照样品 KB-2,各工序工艺参数如表 1 所示。

1.3 试验方法

(1)每个工序进行试验时,其他工序参数保持不变。

(2)按表 1 所列对应工艺参数进行随机试验,在设备运行稳定并保持烘后叶丝含水率符合工艺要求的情况下,按文献[10]中规定的方法在烘丝机出口处分别取样 5 次,10 kg/次;混合均匀后用四分法保留样品至 20 kg 左右,做好标识备用。

(3)将烘后叶丝样品自然平衡水分到 11.8%~12.5% 后,所有样品用同一机台卷包,卷制材料统一并与该牌号的工艺标准一致。

(4)按照标准^[11](YC/T 255-2008),进行卷烟主流烟气中苯酚释放量的测定。

(5)数据的统计分析采用 DPS 数据处理软件^[12]。

表 1 工艺参数
Tab 1 Processing parameters

工序 Process	样品编号 Sample number	松散回潮 Loosening and conditioning			微波松散 Microwave loosening		切丝 Cutting		HT+ 烘丝 HT + drying			
		水汽喷嘴 压力 /MPa Pressure of vapor nozzle	热风 温度 /℃ Hot air temperature	筒体转速 /(r·min ⁻¹) Running rate of cylinder	微波功率 /kW Power of microwave	加工 时间 /s Processing time	切丝宽度 /mm Tobacco cutting width	HT工作蒸 汽压力 /MPa HT operating steam pressure	热风温度 /℃ Hot air temperature	排潮风门开 度 % Exhaust valve opening	热风风门 开度 % Hot air temperature opening	筒体转速 /(r·min ⁻¹) Running rate of cylinder
对照样 Control sample	KB- 2	0.2	48	11	140	320	0.9	0.25	90	50	60	11
松散回潮 Microwave loosening	SS- Y- 01	0.1	60	13	140	320	0.9	0.25	90	50	60	11
	SS- Y- 02	0.3	50	11	140	320	0.9	0.25	90	50	60	11
	SS- Y- 03	0.2	70	8	140	320	0.9	0.25	90	50	60	11
微波松散 Loosening and conditioning	WB- Y- 01	0.2	48	11	180	300	0.9	0.25	90	50	60	11
	WB- Y- 02	0.2	48	11	150	360	0.9	0.25	90	50	60	11
	WB- Y- 03	0.2	48	11	120	240	0.9	0.25	90	50	60	11
切丝 Cutting	SS- Y- 01	0.2	48	11	140	320	0.75	0.25	90	50	60	11
	SS- Y- 02	0.2	48	11	140	320	1	0.25	90	50	60	11
	SS- Y- 03	0.2	48	11	140	320	1.25	0.25	90	50	60	11
HT+ 烘丝 HT and tobacco drying	HS- Y- 01	0.2	48	11	140	320	0.9	0.35	85	30	30	13
	HS- Y- 02	0.2	48	11	140	320	0.9	0.1	85	80	70	13
	HS- Y- 03	0.2	48	11	140	320	0.9	0.35	111	30	70	9
	HS- Y- 04	0.2	48	11	140	320	0.9	0.64	114	80	30	9
	HS- Y- 05	0.2	48	11	140	320	0.9	0.1	135	65	30	9
	HS- Y- 06	0.2	48	11	140	320	0.9	0.6	132	65	70	13

2 结果与分析

2.1 HT+ 烘丝工序与卷烟烟气中苯酚释放量的关系

从图 1 可以看出, 苯酚释放量由高到低依次为 HS- Y- 04 HS- Y- 02 HS- Y- 03 HS- Y- 01 HS- Y- 05 HS- Y- 06 KB- 2。样品编号为 HS- Y- 04 的卷烟烟气中苯酚的释放量最高, 对应的 HT

+ 烘丝工序工艺参数为: HT 工作蒸汽压力 0.64 MPa, 热风温度 114 ℃、排潮风门开度 80%、热风风门开度 30%、筒体转速 9 r/min, 而样品编号为 KB- 2 的卷烟烟气中苯酚的释放量最低, 对应的 HT+ 烘丝工序工艺参数为: HT 工作蒸汽压力 0.25 MPa, 热风温度 90 ℃、排潮风门开度 50%、热风风门开度 60%、筒体转速 11 r/min。

通过 DPS 数据处理软件对试验结果进行多因子及交互作用的逐步回归分析, 可得到回归方

程为: $Y_{\text{苯酚}} = 32.8219 - 0.6366X_{\text{筒体转速}} - 0.2408X_{\text{HT工作蒸汽压力}} \times X_{\text{筒体转速}} - 0.0011X_{\text{热风温度}} \times X_{\text{筒体转速}} + 0.0002X_{\text{排潮风门开度}} \times X_{\text{热风风门开度}}$, 对方程进行真实性检验, F 值 = 15 759.760 6, P 值 = 0.006 0, 说明所

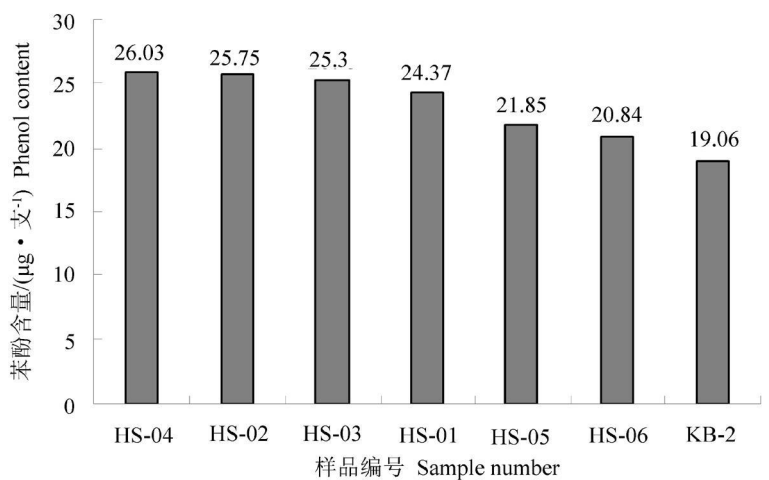


图 1 烘丝工序样品苯酚释放量

Fig 1 Yields of phenol in cigarettes of HT drying

建立的回归方程是有效的。对方程各系数进行检验(表 2),由表 2 可知, P 值均小于 0.05 说明方程中各系数有效。

途径分析结果(表 3)表明,筒体转速、HT 工作蒸汽压力与筒体转速交互作用、排潮风门开度与热风风门开度交互作用对苯酚释放量有负作用;热风温度与筒体转速交互作用对苯酚释放量有正作用。各因素对苯酚释放量的影响大小顺序依次为:筒体转速, HT 工作蒸汽压力与筒体转速交互作用,排潮风门开度与热风风门开度交互作用,热风温度与筒体转速交互作用。

表 2 偏相关系数、偏回归系数分析结果

Tab 2 Analysis of partial correlation coefficient and partial regression coefficient

	偏相关 Partial correlation coefficient	t 值 t value	P 值 P value
$r(y_1, x_1) =$	- 1	162 657 5	0 000 1
$r(y_1, x_2x_1) =$	- 0 999 9	70 232 3	0 000 2
$r(y_1, x_3x_1) =$	- 0 999 5	30 787 5	0 001 1
$r(y_1, x_4x_5) =$	0 999 8	48 784 5	0 000 4

y_1 为苯酚释放量; x_1 为筒体转速; x_2 为 HT 工作蒸汽压力; x_3 热风温度; x_4 为排潮风门开度; x_5 为热风风门开度。

y_1 : Phenol delivery; x_1 : the running rate of cylinder; x_2 : the pressure of HT; x_3 : hot-air temperature; x_4 : the opening of moisture exhaust valve; x_5 : the opening of hot-air temperature

表 3 途径分析

Tab 3 Pass analysis

因子 Factor	x_1	x_2x_1	x_3x_1	x_4x_5	
x_1	- 0 793 4		- 0 105 0	- 0 086 5	0 113 6
x_2x_1	- 0 358 2	- 0 232 7		- 0 100 9	0 008 5
x_3x_1	- 0 177 0	- 0 387 5	- 0 204 2		0 104 2
x_4x_5	0 240 4	- 0 374 8	- 0 012 6	- 0 076 7	

2 2 微波松散工序与卷烟烟气中苯酚释放量的关系

图 2 表明,苯酚释放量由高到低依次为:WB-Y-02 WB-Y-03 KB-2 WB-Y-01。其中样品 WB-Y-02 的苯酚释放量最大,对应的微波松散工序工艺参数为:微波功率 150 kW,加工时间 360 s 样品 WB-Y-01 的苯酚释放量最小,对应的微波松散工序工艺参数为:微波功率 140 kW,加工时间 320 s

通过 DPS 数据处理软件对试验结果进行多因子及交互作用的逐步回归分析,得到回归方程为: $y_{\text{苯酚}} = - 87 600 000 0 + 600 000 0X_{\text{加工时间}}$,对方程进行真实性检验, $R = 0 996 7$, F 值 = 300, P 值 = 0 036 说

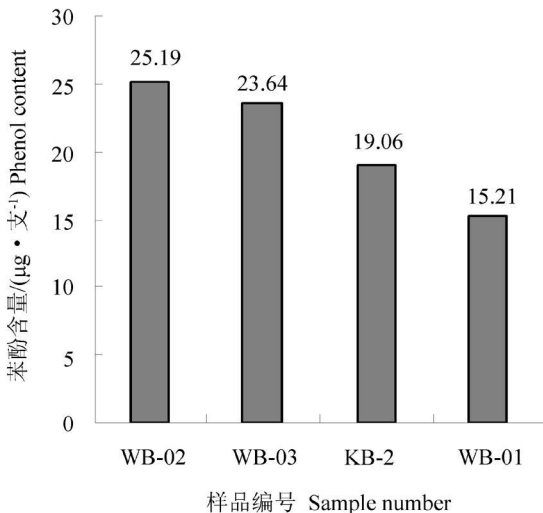


图 2 微波松散工序样品苯酚释放量
Fig 2 Yields of phenol in cigarettes of microwave loosening

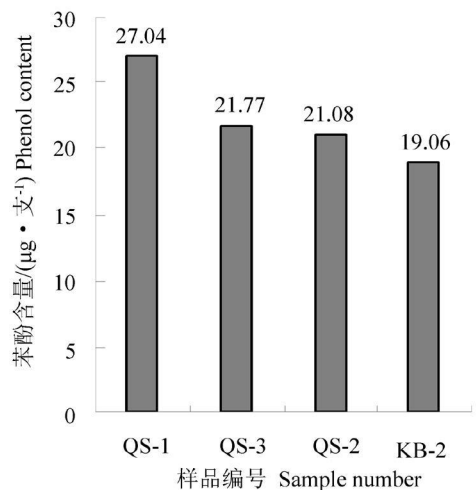


图 3 切丝工序样品苯酚释放量
Fig 3 Yields of phenol in cigarette of cutting

明所建立的回归方程有效。对回归方程中变量系数进行检验, P 值为 0.003 3 说明回归方程中变量的系数也有效。经途径分析, 直接作用为 -0.986 9 说明微波松散工序中加工时间对苯酚释放量有负作用。

2.3 切丝工序与卷烟烟气中苯酚释放量的关系

从图 3 可以看出, 苯酚释放量由高到低依次为: QS-Y-01、QS-Y-03、QS-Y-02、KB-2 相对应样品的切丝宽度分别为 0.75 mm、1.25 mm、1.00 mm、0.90 mm。通过方差分析发现, QS-Y-03 与 QS-Y-02 没有明显相关性, 其他具有明显相关性。通过工艺参数比较, 从图 2 可以看出当切丝宽度为 0.75 mm 时相应的苯酚释放量最大; 当切丝宽度为 0.90 mm 时相应的苯酚释放量最小; 而后随着切丝宽度继续增加, 相应的苯酚释放量也随之增大。因此本实验中当切丝宽度为 0.90 mm 时, 对应样品的苯酚释放量最低。

2.4 松散回潮工序与卷烟烟气中苯酚释放量的关系

从图 4 可以看出, 苯酚释放量由高到低依次为: SS-Y-02、SS-Y-01、SS-Y-03、KB-2。样品编号为 SS-Y-02 的卷烟烟气中苯酚释放量最高, 其对应的松散回潮工序工艺参数为: 水汽喷嘴压力 0.3 MPa、热风温度 50 °C、筒体转速 11 r/min; 样品编号为 KB-2 的卷烟烟气中苯酚释放量最低, 其对应的松散回潮工序工艺参数为: 水汽喷嘴压力 0.2 MPa、热风温度 48 °C、筒体转速 11 r/min。

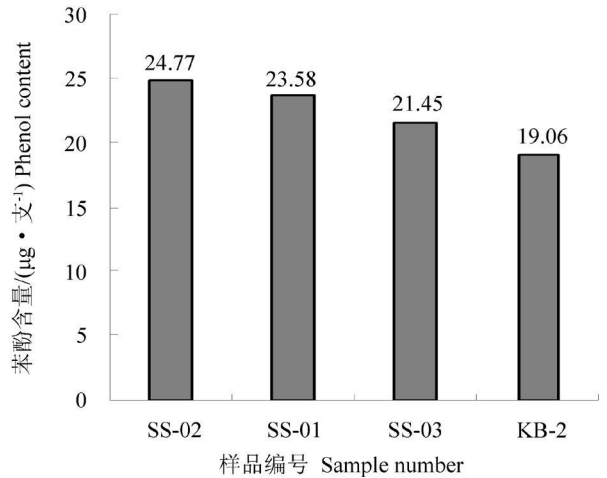


图 4 松散回潮工序样品苯酚释放量

Fig 4 Yields of phenol in cigarettes of loosening and conditioning

2.5 HT+ 烘丝工序与卷烟烟气中苯酚释放量关系的试验优化及验证

对 HT+ 烘丝工序和微波松散工序建立的回归模型进行模型诊断, 由于微波松散工序建立的回归模型存在特异值, 不适合做优化分析, 所以只对 HT+ 烘丝工序建立的回归模型进行优化。利用 MATLAB 统计软件采用遗传算法^[13-15]对 HT+ 烘丝工序建立的回归模型进行低目标值优化(表 4)。

表 4 HT+ 烘丝工序回归模型优化结果

Tab 4 The optimized result of regression model of HT drying

指标 Index	优化参数 Parameters verification				
	HT工作蒸汽压力 MPa HT operating steam pressure	热风温度 / °C Hot-air temperature	排潮风门开度 / % Opening of moisture exhaust valve	热风风门开度 / % Opening of hot-air temperature	筒体转速 / (r·min ⁻¹) Running rate of cylinder
苯酚 Phenol	0.3	135	80	50	11

选择另外 2 种卷烟牌号 A 和卷烟牌号 B, 应用优化参数组合进行 HT+ 烘丝工序工艺试验, 结果见表 5。

表 5 HT+ 烘丝工序回归模型优化参数验证结果

Tab 4 The optimized result of parameters verification of regression model of HT drying

	牌号 A Grade A	牌号 B Grade B
正常生产样品苯酚释放量 / (µg·支 ⁻¹) Yields of phenol in normal production samples	20.9	20.6
参数优化后样品苯酚含量 / (µg·支 ⁻¹) Yields of phenol in optimized samples	18.8	16.5

表 5 表明, 工艺参数优化后 2 个牌号的苯酚含量都低于正常生产样品苯酚含量, 且牌号 A、牌号 B 分别比正常生产样品降低 10.05% 和 19.90%。验证结果说明优化的工艺参数是有效的, 可应用在实际

生产中进行低苯酚含量产品设计。

3 结 论

本试验所选择的卷烟加工重点工序对卷烟主流烟气中苯酚的释放量均有一定的影响。在烘丝工序中,筒体转速、HT工作蒸汽压力与筒体转速交互作用、排潮风门开度与热风风门开度交互作用对苯酚释放量有负作用;热风温度与筒体转速交互作用对苯酚释放量有正作用。各因素对苯酚释放量的影响大小顺序依次为:筒体转速,HT工作蒸汽压力与筒体转速交互作用,排潮风门开度与热风风门开度交互作用,热风温度与筒体转速交互作用。微波工序中加工时间对苯酚释放量具有负作用。本试验中当切丝宽度为 0.90 mm 时,对应样品的苯酚释放量最低。松散回潮工序中,当水汽喷嘴压力 0.2 MPa 热风温度 48 ℃、筒体转速 11 r/min 时,对应的苯酚释放量最低。

建立了 HT+ 烘丝工序的回归模型,并对回归模型进行了参数优化,得到低苯酚含量的 HT+ 烘丝工序工艺参数组合。验证结果表明,牌号 A、牌号 B 的工艺参数优化样品苯酚含量分别比正常生产样品降低 10.05% 和 19.90%。

参考文献:

- [1]张颖璞,陈笃建,张国强,等.中草药在中式低危害卷烟中的应用[J].科技信息,2008(11):33-34
- [2]Crossthaite L, Sheen S J, Burton H R. Alkylating activity in the extract and pyrolyzate of tobacco leaves varying in genotype and chemical treatment[J]. Tob Sci 1979, 23: 35-37.
- [3]Kallianos A G, Means R E, Mold J D. Effect of nitrates in tobacco on the catechol yield in cigarette smoke[J]. Tob Sci 1968, 12: 125-129.
- [4]García Roche M O, Cabrera A, Becquer A, et al. Health risk due to the use of nitrate in the manufacture of Cuban golden cigarettes[J]. Rev Cubana Hig Epidemiol 1986, 24: 487-489.
- [5]Halter H M. Reconstituted tobacco smoking and health possibilities[J]. J Natl Cancer Inst 1972, 44: 1869-1883.
- [6]Laurene A H, Cundiff R, Greene H. Determination of glycerol and propylene glycol in cigarette smoke[J]. Tob Sci 1965, 9: 1-4.
- [7]谭海风,金勇,王诗太,等.一种高苯酚去除率的纸质卷烟滤嘴及含氟表明活性剂在纸质卷烟滤嘴应用[P].中国:01243901A,2008-08-20.
- [8]李云雁,胡传荣.试验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2008:162-165.
- [9]袁志发,周静芋.试验设计与分析[M].北京:高等教育出版社,2000:179-198.
- [10]秦前浩.卷烟工艺测试与分析大纲[M].成都:四川大学出版社,2004:23-25.
- [11]国家烟草专卖局. YC/T 255-2008 卷烟主流烟气中主要酚类化合物的测定 高效液相色谱法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [12]唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统[M].北京:科学出版社,2006:562-568.
- [13]玄光男,程润伟,于韵杰,等.遗传算法与工程优化[M].北京:清华大学出版社,2009:36-38.
- [14]王小平,曹立明.遗传算法——理论、应用与软件实现[M].西安:西安交通大学出版社,2002:78-81.
- [15]雷英杰,张善文,李继武,等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2006:21-22.