

密炼机混炼流场特性与转子参数的灰色关联研究

汪传生,张 磊*,翟天剑,张鲁琦

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:研究密炼机混炼流场特性与转子参数的灰色关联,进行相关优势分析和综合评价。结果表明,各转子参数对混炼流场特性的影响程度不同,长棱长度及短棱螺旋角的影响更明显。综合混炼效果最优的转子参数为:短棱长度 34 mm,长棱长度 59 mm,短棱螺旋角 39°,长棱螺旋角 36°。

关键词:密炼机;混炼流场特性;转子参数;灰色关联;优势分析

中图分类号:TQ330.4⁺3;TQ330.6⁺3

文章编号:1000-890X(2019)09-0696-03

文献标志码:A

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2019.09.0696

转子是密炼机的关键部件,密炼机的混炼性能是密炼机转子设计和改进的重要依据^[1]。转子参数十分繁杂,对密炼机混炼流场特性的影响也千差万别^[2]。转子参数存在成千上万种组合,对各种组合进行单独分析,样本数据过于庞大,需要进行大量的计算仿真。灰色系统理论由于能够解决概率统计、模糊数学中的小样本问题^[3],目前已被广泛用于优势分析中。利用不完整系统中已确定信息完成对整个系统未知领域的研究,其优势分析模型的数学意义在于:虽然整个系统不存在最优特征和最优因素,但特征与各因素的关联度是不同的,存在准优特征和准优因素,可以对特征与因素的相互变化情况进行定量描述^[4]。

本研究首先建立不同参数组合的转子模型,对密炼机混炼流场进行仿真模拟,获得混合任务下的流场特性参数,再进行统计学处理,最后采用灰色关联分析法对混炼流场特性的影响因素进行优势分析和综合评价^[5]。

1 转子参数设计和混炼流场模拟数学模型

1.1 转子参数设计

密炼机同步转子的设计参数众多,包括长短棱长度、长短棱螺旋角、棱顶宽度、契入角、拖曳角

及棱顶间隙等^[6]。分布混炼、分散混合及轴向环流等作用的混炼效果受组合参数的共同制约,本研究以长短棱长度及长短棱螺旋角为转子参数,具体参数组合如表1所示。

表1 转子参数组合

参 数	组别							
	1	2	3	4	5	6	7	8
短棱长度/mm	34	31	39	11	34	24	36	29
长棱长度/mm	59	62	54	82	59	69	57	54
短棱螺旋角/(°)	39	37	33	44	39	37	47	36
长棱螺旋角/(°)	30	33	32	31	36	33	36	27

1.2 混炼流场数学模型

本研究的主要任务是完成对密炼机混炼流场特性,包括混合效率、平均混合指数、拉伸长度自然对数等数据的收集。综合考虑计算机模拟速度以及准确性等因素,对混炼流场模拟数学模型做出以下假设^[7]:胶料在密炼室内是全充满状态;胶料为等温流动,混炼流场各点的温度一致;胶料流动属于层流,雷诺数小;胶料的重力及惯性力等远小于胶料的粘滞力,忽略不计;流体壁面无滑移现象;胶料为幂律流体,满足非牛顿流体特征。

根据以上假设,模拟选择的本构方程是Bird-Carreau模型^[2]:

$$\eta(\gamma) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(1 + \lambda^2 \gamma^2)^{\frac{n-1}{2}} \quad (1)$$

式中, η 为粘度, γ 为剪切速率, η_0 和 η_{∞} 分别为零剪切速率和无穷剪切速率时的粘度, λ 为胶料的粘弹性特征时间, n 为胶料的幂律常数。

基金项目:山东省自然科学基金重点项目(ZR2016xj003)

作者简介:汪传生(1960—),男,安徽安庆人,青岛科技大学教授,博士,主要从事橡塑机械教学及研发工作。

*通信联系人(1920398435@qq.com)

在温度100℃下测得的混炼胶粘弹性参数如下: $\eta_0=1\times 10^6\text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\eta_\infty=10\text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda=3.02\text{ s}$, $n=0.385$ 。

利用POLYFLOW软件对上述8组参数转子进行混合任务模拟分析,设置2 000个粒子,利用POLYSTAT模块进行后处理^[8]。统计流场中2 000个粒子在50 s混合时间内的拉伸长度自然对数、混合指数、平均混合效率、瞬时混合效率及剪切速率数据,结果如表2所示。

表2 混炼流场特性

转子参数组别	拉伸长度自然对数	混合指数	平均混合效率	瞬时混合效率	剪切速率/ s^{-1}
1	63 079	687.83	152.36	120.82	3 751.42
2	76 837	646.75	144.64	105.73	3 573.35
3	68 223	670.39	149.14	109.61	3 468.56
4	54 528	610.78	139.65	96.59	3 633.89
5	74 728	668.42	147.91	129.44	4 136.99
6	77 796	630.98	144.54	112.14	3 886.99
7	66 793	646.60	141.44	108.15	3 172.79
8	70 526	607.89	139.22	106.28	3 768.66

1.3 灰色关联度

密炼机混炼流场特性受多方面因素影响,存在不确定性,因而属于灰色系统。相应的混炼流场特性影响因素的优势分析也属于灰色关联分析范畴。灰色关联分析方法的基本思想是比较序列曲线的几何形状相似度,通过对曲线变化的大小、方向、速度等参数的计算,判断两因素间是否存在紧密联系^[9]。相较于传统的数理统计而言,所需要的样本数量较少。

将转子参数——长短棱长度和长短棱螺旋角作为参考数据,构成如下序列:

$$X_i = \{x_i(0), x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(8)\} \quad (2)$$

将密炼机混炼流场特性作为比较数据,构成如下序列:

$$X_j = \{x_j(0), x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(8)\} \quad (3)$$

则 X_i 与 X_j 在 k 组的灰色关联系数可按如下公式进行计算:

$$\xi(X_i, X_j) = \frac{\min_i \min_k |x_i(k) - x_j(k)| + \rho \max_i \max_k |x_i(k) - x_j(k)|}{|x_i(k) - x_j(k)| + \rho \max_i \max_k |x_i(k) - x_j(k)|} \quad (4)$$

综合8组转子参数的灰色关联系数便可得到参考序列与比较序列间的灰色关联度 $[r(X_i, X_j)]$:

$$r(X_i, X_j) = \frac{1}{n} \sum \xi(X_i, X_j) \quad (5)$$

2 结果与讨论

将表1和2数据分别作为参考序列和比较序列按照公式(4)和(5)进行计算,结果如表3和图1所示。

表3 转子参数与密炼机混炼流场特性灰色关联度

混炼流场特性	转子参数			
	短棱长度	长棱长度	短棱螺旋角	长棱螺旋角
拉伸长度自然对数	0.630 7	0.662 0	0.606 7	0.760 8
混合指数	0.743 6	0.769 6	0.800 1	0.709 9
平均混合效率	0.730 4	0.789 9	0.833 7	0.732 0
瞬时混合效率	0.720 0	0.748 5	0.775 2	0.691 3
剪切速率	0.668 5	0.768 7	0.784 8	0.756 1

从表3可以看出,各转子参数对混炼流场特性的影响程度明显不同。针对拉伸长度自然对数而言,主导因素是长棱螺旋角,其次是长棱长度。这表明通过改变长棱螺旋角容易改变拉伸长度自然对数,从而为胶料的有效层流提供保证。而对于混合指数、平均混合效率、瞬时混合效率及剪切速率而言,短棱螺旋角影响的优势更加明显,因此在研究密炼机混炼流场特性时,应强化短棱螺旋角的作用。

虽然各转子参数对混炼流场特性的影响程度不同,但综合考虑,长棱长度及短棱螺旋角对混炼流场特性的作用更加明显,这是因为两者大小直接决定长短棱交汇处的通道宽度,通过合理设计长棱长度及短棱螺旋角可以有效改善胶料在通道边缘处的流动情况,同时短棱螺旋角的反向推力作用会将流向转子两端的胶料重新顶回转子中部,以使胶料尽可能在密炼机中间部位完成混炼,从而提高胶料混炼质量。

通过灰色关联度优势分析法对8组转子参数对应的混炼流场特性在不考虑权重的条件下进行综合评价,结果如图1所示。

从图1可以看出,8组转子参数对应的混炼效果从好到劣的顺序依次为5,1,6,3,2,8,7,4。这表明在8组参数转子中,第5组参数转子可获得最优的综合混炼效果,而第4组参数转子的综合混炼效果最差。

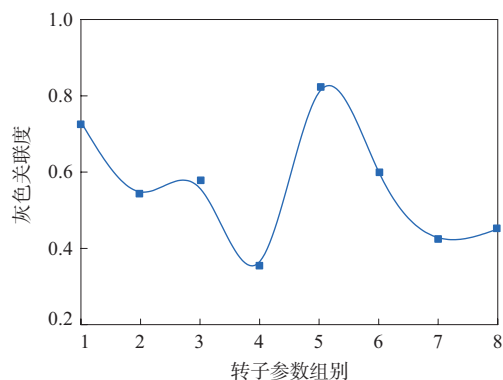


图1 灰色关联度综合评价结果

3 结论

(1) 通过密炼机混炼流场特性与转子参数灰色关联度分析得出, 转子长棱长度和短棱螺旋角对混炼流场特性的作用更加明显, 因此在优化转子构型时, 可对这两个参数进行着重考虑。

(2) 通过对8组参数转子进行评价发现, 第5组参数(短棱长度 34 mm, 长棱长度 59 mm, 短棱螺旋角 39°, 长棱螺旋角 36°) 转子可获得最好的综合混炼效果, 第4组参数(短棱长度 11 mm, 长棱长度 82 mm, 短棱螺旋角 44°, 长棱螺旋角 31°) 转子的综合混炼效果最差。

对各参数组合转子进行的混炼性能综合评价

法也可用于转子的构型改进, 通过改变混炼流场特性的权重分配, 可使组合参数转子更适用于加强特定的混炼效果, 这对转子的优化设计具有重要意义。

参考文献:

- [1] 张廷凯, 汪传生. 密炼机转子参数的优化设计[J]. 橡胶工业, 2005, 52(6): 361-363.
- [2] 梁基照. 密炼机转子凸棱断面形状的最优化设计[J]. 化工装备技术, 1990(1): 1-4.
- [3] 周名煜, 谢宁, 王承民. 基于灵敏度和灰色关联度的配电网运行方式变权重评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(13): 130-137.
- [4] 张仲彬, 卫洪刚, 姜铁骊, 等. 基于灰色关联度的风力机平均功率影响因素分析[J]. 汽轮机技术, 2017, 59(6): 447-450.
- [5] 付建军, 邱山鸣, 赵海斌, 等. 基于灰色关联度的边坡稳定影响因素分析[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(1): 53-57.
- [6] 汪传生. 同步转子密炼机混炼橡胶的理论和实验研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2000.
- [7] 莫跃飞, 胡纪全, 边慧光, 等. 不同螺旋角同步转子混炼效果的有限元分析[J]. 橡胶工业, 2017, 64(8): 493-497.
- [8] 刘金朋, 杨海波, 李凡珠, 等. 新型4:1转子与传统剪切型转子混合效率对比研究[J]. 橡胶工业, 2016, 63(1): 41-46.
- [9] 谭学瑞, 邓聚龙. 灰色关联分析: 多因素统计分析新方法[J]. 统计研究, 1995(3): 46-48.

收稿日期: 2019-04-18

Grey Relation between Mixing Flow Field Characteristics and Rotor Parameters of Mixer

WANG Chuansheng, ZHANG Lei, ZHAI Tianjian, ZHANG Luqi

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The grey relation of the mixing flow field characteristics and rotor parameters of the mixer was studied, and the related advantage analysis and comprehensive evaluations were performed. The results showed that, the effect degree of each rotor parameter on mixing flow field characteristics was different, and the effects of long-wing length and short-wing spiral angle were more significant. The rotor parameters for optimized mixing effect were as follows: short-wing length 34 mm, long-wing length 59 mm, short-wing spiral angle 39°, and long-wing spiral angle 36°.

Key words: mixer; mixing flow field characteristics; rotor parameter; grey relation; advantage analysis

欢迎在《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》杂志上刊登广告