

文章编号:1673-0062(2012)04-0051-05

卷烟机风力送丝系统管网结构的稳定性分析

李金凤¹,李国荣^{1,2*},罗清海¹,刘尚友³,张 雄²,王伟浩¹

(1. 南华大学 城市建设学院,湖南 衡阳 421001;2. 衡阳三力高科技开发公司,湖南 衡阳 421001;
3. 淮阴卷烟厂,江苏 淮安 223002)

摘 要:针对卷烟厂中“集束式”、“鱼刺状”两种不同管网结构形式的风力送丝系统,根据卷烟机工艺特性,采用关闭某个或某些支路来模拟系统送丝状态和改变某支路阻抗大小来模拟系统送丝过程.运用 MATLAB 网络解算工具,计算出所有工况下送丝支路的流量偏离系数,分析比较两种管网系统的稳定性.结果表明:集束式系统的稳定性优于鱼刺状系统.变工况运行条件下,集束式系统中阻抗越小的支路对系统稳定性的影响越大.而鱼刺状系统中距离安装有风机的主管段越近的支路稳定性越好.

关键词:集束式系统;鱼刺状系统;流量偏离系数;网络解算;稳定性

中图分类号:TP273

文献标识码:B

Stability Analysis of Structure of Pipe in Pneumatic Cut Tobacco Feeding System of Cigarette Maker

LI Jin-Feng¹, LI Guo-rong^{1,2*}, LUO Qing-hai¹, LIU Shang-you³,
ZHANG Xiong², WANG Wei-hao¹

(1. School of Urban Construction, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;

2. Hengyang San Li High-Tech R&D Company, Hengyang, Hunan 421001, China;

3. Huaiyin Cigarette Factory, Huai'an, Jiangsu 223002, China)

Abstract: In view of pneumatic feeding system of cut tobacco characterized by two different kinds of “cluster” and “fishbone-shaped” pipe network structures in cigarette factory, the state and process of pneumatic feeding system are simulated respectively by shutting one or some subcircuits and changing the subcircuits impedance of systems based on processing properties of cigarette machine. The flow deviation coefficients of other subcircuits in all operating conditions are computed with MATLAB network calculating equipment, and the stability of two pipe network systems is analyzed and compared. The results show that the stability of the cluster system is superior to the fishbone-shaped system. Under variable operating conditions, the

收稿日期:2012-09-10

作者简介:李金凤(1986-),女,河南民权人,南华大学城市建设学院硕士研究生.主要研究方向:工艺风力系统稳定性.*通讯作者

influence is greater on stability of cluster system as smaller as impedance of subcircuit. In the fishbone-shaped system, the nearer to the fan, the better stability of subcircuit.

key words: cluster system; fishbone-shaped system; flow deviation coefficient; network calculating; stability

卷烟机风力送丝系统管网一般有 4~8 个并联支路, 风力送丝系统中卷烟机的开、停具有随机性, 并且卷烟机的供丝是间断性的^[1], 如一个支路或其中某几个支路的供丝阀门关闭或开启将会影响其他支路流量的变化, 各支路间相互干扰的问题, 就是系统稳定性问题, 简称稳定性^[2]. 随着系统内卷烟机组数量的增加, 系统中送丝管之间的长度差也随之增大, 每根送丝管道的阻力变化也不均等, 不同机组的集丝箱在吸丝过程中有效过滤面积也不一样, 使系统中管网阻力的变化越来越复杂^[3]. 在短暂的时间内保持整个系统中的每个吸丝管的速度波动小, 对系统的调节与控制措施要求较高^[4]. 为提高系统运行的稳定性, 一种有效的办法是合理设计管网系统, 减弱各支路间的干扰, 再辅之以适当的自动控制装置. 本文针对目前卷烟厂中常用的“集束式”、“鱼刺状”两种不同管网结构形式的风力送丝系统. 利用图论原理, 将实际中的管网结构简化成网络图, 分析管网结构的网络拓扑关系^[5]. 探讨不同管网结构的风力送丝系统的稳定性^[6].

1 分析方法

对于具有 m 个支路的鱼刺状风力送丝系统 (如图 1 所示), 和具有 m 个支路的集束式系统 (如图 2 所示), 将 m 个支路同时吸丝的状态作为系统的设计工况, 该工况下 m 个支路的流量 q_i 为设计流量. 采用关闭某个或某些支路来模拟系统送丝状态和改变支路阻抗来模拟系统送丝过程, 运用 MATLAB 可计算出各种工况下的流量^[7]. 将每一工况下第 i 个支路的新流量 q'_i 与设计工况下的理想流量 q_i 的比值称为第 i 个支路的流量偏离系数 X_i ^[2], 则:

$$X_i = q'_i / q_i \quad (1)$$

显然, X_i 越接近于 1, 则说明相对于主动调节的支路, 第 i 个支路的稳定性越好.

对于具有 m 个支路的风力送丝系统, 由于各支路的阻抗各不相同, 对系统稳定性的影响也各不相同, 分别关闭不同的支路, 将系统的送丝状态共分 N 种工况进行模拟^[8] 计算, 来分析管网的稳定性.

$$N = C_m^1 + C_m^2 + \cdots + C_m^{m-1} \quad (2)$$

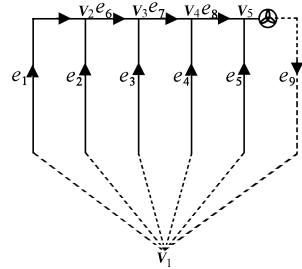


图 1 鱼刺状风力送丝系统

Fig. 1 Fishbone shape pneumatic cut tobacco feeding system

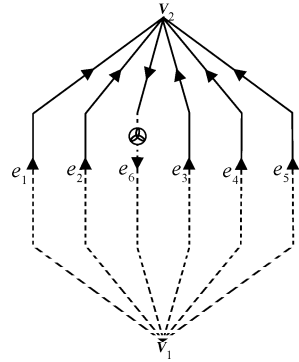


图 2 集束式风力送丝系统

Fig. 2 Cluster pneumatic cut tobacco feeding system

用系统中支路的并入节点到安装有风机的主管段的距离来表示支路到主管段的距离. 如图 1 所示, 节点 v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 到管段 e_9 的距离表示支路 e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 到主管段的距离.

对于具有 5 个支路的风力送丝系统的送丝状态, 所包含的 30 种工况下, 每个支路在 15 种工况下是关闭状态, 15 种工况下是供丝状态, 对于第 i 个支路, 计算所有工况下支路 i 的流量偏离系数 X_i 的平均值, 记为 $\bar{X}_i$.

$$\bar{X}_i = (X_1 + X_2 + \cdots + X_{15}) / 15 \quad (3)$$

支路的 $\bar{X}$ 值越小, 说明了系统中该支路的稳定性越好. 同时再对各支路的 $\bar{X}$ 值求平均得到对应管网结构系统的流量偏离系数 $\bar{X}$.

对于不同形式的管网结构, $\bar{X}$ 值的大小反应系统的稳定性优劣. $\bar{X}$ 值越小的, 管网结构的稳定性越好.

2 稳定性对比分析

2.1 系统送丝状态变化稳定性对比分析

对于风力送丝系统状态发生变化,如一个系统有 5 台机组,设计工况按照 5 台机组同时吸丝来设计,但系统分别有 1 台,2 台,3 台,4 台吸丝的状态变化,对于不要吸丝的机组采用关闭支路来模拟计算分析,则共有 30 种工况变化,每个支路在 15 种工况下是关闭状态,15 种工况下是供丝状态,对于第 i 个支路,计算所有工况下支路 i 的流量偏离系数 X_i .

选定两种管网系统各支路的阻抗分布如表 1,表 2,风机的特性曲线为 $H = 576.6775 + 384.3648Q - 248.7933Q^2$. 通过网络解算,不难验证两种管网系统具有相同的设计流量,结果如表 3. 模拟系统送丝状态的变化,解算出相应工况下各支路的流量偏离系数如表 4 所示,表中的 X' 表示各支路的 $\bar{X}$ 值;关闭其中的某一支路,解算出相互相应工况下其余支路的流量偏离系数如表 5 所示,关闭的支路 X 值为 0.

表 1 鱼刺状系统阻抗分布
Table 1 Impedance of the branch in fishbone shape system (s²/m⁶)

分支	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	11 598	9 999	9 137	9 573	11 808	257	154	93	126

表 2 集束式系统阻抗分布
Table 2 Impedance of the branch in cluster system (s²/m⁶)

分支	1	2	3	4	5	6
S	16 206	13 972	11 653	10 819	11 808	126

表 3 支路的设计流量
Table 3 Design flow of the branch (m³/h)

流量	1	2	3	4	5
Q	672.1	723.9	792.6	822.6	787.4

由表 4 和表 5 可以归纳出两种管网系统送丝状态变化的一些规律:

1)表中的 X 值均大于 1,说明当关闭其中某些支路时,主管段上总的流量将会减小,但未关闭支路的流量增大. 关闭系统中的 3 个支路的送丝状态,各支路的 X 值最大,关闭 1 个支路时,各支路的 X 值最小.

2)集束式系统最大的 $X = 1.093$,说明集束式系统在送丝状态变化下,支路的流量波动最大不超过 10%. 鱼刺状系统最大的 $X = 1.265$,说明鱼刺状系统在送丝状态变化下,支路的流量波动最大可达到 27% 左右. 从表 5 中每一行数据可以看出,当关闭其中的某一支路时,其余未关闭支路的 X 值相等,表 5 中每一列数据从上至下逐渐增大,即 $1.044\ 9 < 1.048\ 0 < 1.051\ 6 < 1.051\ 9 < 1.053\ 6$,表 2 中各支路的阻抗值 $S_1 > S_2 > S_5 > S_3 > S_4$,由此说明集束式系统中各支路本身的稳定性主要与引起工况变化的支路的阻抗大小有关,且阻抗

越小的支路,对系统稳定性的影响越大. 且小阻抗支路对大阻抗支路的干扰强度(支路 4 对支路 1 的干扰强度 1.053 6)大于大阻抗支路对小阻抗支路的干扰(支路 1 对支路 4 的干扰强度 1.044 9). 相对送丝系统状态变化的鱼刺状系统每个支路的 $\bar{X}$ 值,按照支路的编号顺序从小到大,支路的 $\bar{X}$ 值逐渐减小,说明鱼刺状系统中距离安装有风机的主管段越远的支路,稳定性越差,越近的支路稳定性越好. 最远的两个支路距主管段的距离相等,是完全的并联关系,阻抗小的支路稳定性好.

3)集束式系统的流量偏离系数 $\bar{X}_j = 1.076$,鱼刺状系统的流量偏离系数 $\bar{X}_y = 1.134$. 两种系统的流量偏离系数 $\bar{X}_j < \bar{X}_y$,说明集束式风力送丝系统的稳定性比鱼刺状系统的稳定性好,但并不能说明集束式系统每一支路的稳定性都比鱼刺状系统好. 如集束式系统中每个支路的稳定性,优于鱼刺状系统的第 1 ~ 4 支路,但是比支路 5 的稳定性差.

表 4 集束式、鱼刺状系统的 $X, \bar{X}$ 的计算结果

Table 4 The flow deviation $X, \bar{X}$ of branches in cluster system and fishbone shape system

关闭支路个数	X_1		X_2		X_3		X_4		X_5	
	集束式	鱼刺状	集束式	鱼刺状	集束式	鱼刺状	集束式	鱼刺状	集束式	鱼刺状
1	1.048	1.137	1.045	1.128	1.045	1.091	1.045	1.06	1.045	1.037
	1.052	1.111	1.052	1.111	1.048	1.099	1.048	1.064	1.048	1.04
	1.054	1.08	1.054	1.08	1.054	1.08	1.052	1.073	1.052	1.046
	1.052	1.052	1.052	1.052	1.052	1.052	1.052	1.052	1.054	1.05
	1.087	1.116	1.087	1.116	1.087	1.116	1.086	1.111	1.087	1.083
2	1.086	1.15	1.086	1.15	1.084	1.14	1.084	1.105	1.085	1.08
	1.084	1.18	1.082	1.172	1.082	1.134	1.082	1.101	1.083	1.079
	1.087	1.175	1.087	1.175	1.085	1.166	1.084	1.128	1.084	1.08
	1.085	1.207	1.083	1.199	1.083	1.16	1.082	1.125	1.082	1.078
	1.084	1.233	1.082	1.226	1.08	1.182	1.08	1.122	1.08	1.076
3	1.091	1.185	1.091	1.185	1.092	1.179	1.092	1.142	1.092	1.093
	1.092	1.221	1.092	1.215	1.092	1.176	1.093	1.141	1.092	1.093
	1.092	1.248	1.093	1.244	1.093	1.201	1.093	1.14	1.093	1.093
	1.092	1.265	1.092	1.261	1.093	1.218	1.093	1.157	1.093	1.093
	1.063	1.237	1.066	1.236	1.07	1.197	1.071	1.136	1.069	1.069
5	1.076	1.173	1.076	1.17	1.076	1.146	1.076	1.11	1.076	1.073

表 5 关闭某一支路工况下集束式系统各支路的 X 值

Table 5 The flow deviation X of branches in cluster system for shutting one branch conditions

关闭某一支路	X_1	X_2	X_5	X_3	X_4
关闭支路 1	0	1.044 9	1.044 9	1.044 9	1.044 9
关闭支路 2	1.048 0	0	1.048 0	1.048 0	1.048 0
关闭支路 5	1.051 6	1.051 6	0	1.051 6	1.051 6
关闭支路 3	1.051 9	1.051 9	1.051 9	0	1.051 9
关闭支路 4	1.053 6	1.053 6	1.053 6	1.053 6	0

2.2 系统送丝过程变化稳定性对比分析

风力送丝系统单台机组送丝过程是集丝箱从空箱到吸满的过程,其支路可看成阻抗从小变大的过程,为了简化计算,将各支路的阻抗增大 $\Delta S = 6\,000\text{ s}^2/\text{m}^6$ 来模拟系统送丝过程变化. 如一个系统有 5 台机组,则系统分别有 1 台,2 台,3 台,4 台,5 台送丝过程变化,共有 31 种工况. 分析

比较两种管网系统的稳定性,计算结果如图 3,图中蓝色线表示鱼刺状系统中支路的稳定性,如 Y_1 指鱼刺状系统中支路 e_1 的稳定性,红色线表示集束式系统中支路的稳定性,如 J_1 表示集束式系统中支路 e_1 的稳定性. 其中集束式系统中增大某一支路的阻抗,各支路的 X 计算结果如表 6.

表 6 增大某一支路阻抗工况下集束式系统各支路的 X 值

Table 6 The flow deviation X of branches in cluster system for change one branch impedance conditions

增大某支路的 S 值	X_1	X_2	X_5	X_3	X_4
增大 S_1	0.860 3	1.007 0	1.007 0	1.007 0	1.007 0
增大 S_2	1.008 5	0.843 5	1.008 5	1.008 5	1.008 5
增大 S_5	1.010 5	1.010 5	0.822 8	1.010 5	1.010 5
增大 S_3	1.010 6	1.010 6	1.010 6	0.821 1	1.010 6
增大 S_4	1.011 6	1.011 6	1.011 6	1.011 6	0.811 4

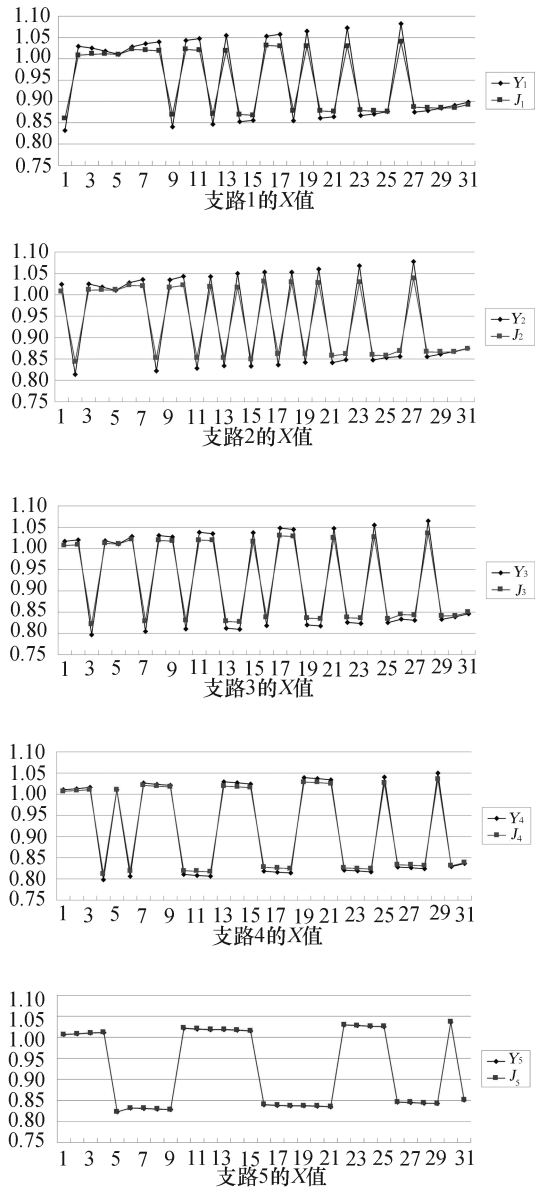


图 3 集束式、鱼刺状系统送丝过程稳定性对比
Fig.3 Comparing the stability of cluster system with fishbone shape system in operating conditions

由图 3 和表 6 可以归纳出两种管网系统具有如下一些规律:

- 1) 随支路阻抗增大,支路本身的流量减小,其它支路的流量增大.
- 2) 鱼刺状系统中支路的 X 值波动范围是 0.79 ~ 1.09,按照编号次序从小到大,支路的 X 值波动范围逐渐减小,最远两个支路的稳定性规律与集束式系统一致.集束式系统中支路的 X 值波动范围是 0.81 ~ 1.04,且由表 2 集束式系统支路阻抗 $S_1 > S_2 > S_5 > S_3 > S_4$,从表 6 可以得出,增大支路的阻抗,则支路本身的流量会明显减小,其它

支路的流量均有所增加,且 X 值相同,说明同一个支路的阻抗变动对其它支路的稳定性影响程度相同.小阻抗支路的阻抗变化,所带来的系统各支路 X 值的波动范围越大,对系统的稳定性影响越大.两种管网系统中的第 5 个支路 X 值的波动曲线几乎是重合的,稳定性相同.对于第 1 ~ 4 支路,集束式系统的稳定性明显优于鱼刺状系统.

3 结 论

通过以上研究,可以归纳出机组数目相同的两种管网结构系统稳定性的一些规律:

- 1) 鱼刺状管网中,各支路及主管段间的相互干扰比较复杂,各支路的稳定性有较大差别,距安装有风机的主管段越远的支路,稳定性较差.
- 2) 集束式系统的管网布置特点是,各支路之间是完全的并联关系.支路间的干扰是相互的,变工况运行条件下,小阻抗支路对大阻抗支路的干扰强度大于大阻抗支路对小阻抗支路的干扰,且阻抗越小的支路,它的阻抗变化对系统的稳定性影响越大.同一个支路的阻抗变动对其它支路的稳定性影响程度相同.
- 3) 当两种管网结构选用同一台主风机且吸丝流量设计相同时,集束式系统中各支路的阻抗整体大于鱼刺状系统.鱼刺状风力送丝系统的流量波动范围达 60%,集束式系统的流量波动范围为 30% 左右,集束式系统的稳定性明显优于鱼刺状系统,有利系统风速的动态调节.

参考文献:

- [1] 匡志亮,李国荣,马伏旗,等.烟丝输送与梗签收集复合系统可行性分析[J].烟草科技,2010(3):11-14.
- [2] 符永正,吴克启.闭式水循环系统的稳定性分析[J].流体机械,2005,33(12):45-48.
- [3] 张雄,李国荣.烟丝气力输送系统送丝管风速的测量[J].烟草科技,2006(2):18-21.
- [4] 张雄.卷烟厂风力送丝系统输送风速稳定性分析与控制研究[D].衡阳:南华大学,2006.
- [5] 付祥钊.流体输配管网[M].2 版.北京:中国建筑工业出版社,2005:282-303.
- [6] 江亿.管网可调和稳定性的定量分析[J].暖通空调 HV&AC,1997,27(3):1-7.
- [7] 肖益民,付祥钊.用 matlab 分析流体输配管网的初步研究[J].重庆大学学报,2002,25(8):14-17.
- [8] 胡小英,吴九辅,程环,等.支状管网的数学模型[J].工业自动化装置,2004(3):58-60.