

# 基于 VB 的阶梯搅拌轴临界转速算法实现

林 卿

(宿迁学院 机电系, 江苏 宿迁 223800)

**摘要:**针对阶梯搅拌轴的临界转速计算问题,提出了一种计算方法。该算法先将带叶轮的阶梯搅拌轴去除其叶轮及阶梯部分,运用传统算法计算出了简化后的临界转速;再计算所去除的叶轮及阶梯部分临界转速,该部分通过综合运用经典算法及积分法进行计算并得出了其临界转速;最后,利用邓柯莱累加法得出了原搅拌轴的临界转速。利用 VB 编程软件对算法进行了编程,以几种常用搅拌轴为例,对其一阶临界转速进行了计算。利用 ANSYS 软件对算例结果进行了计算对比。研究结果表明,该算法准确可靠,简单方便。

**关键词:**阶梯搅拌轴;临界转速;VB;算法

**中图分类号:**TH122

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-4551(2013)11-1366-04

## Critical speed algorithm of multi-diameter agitating shaft based on VB

LIN Qing

(Mechanical and Electronic Engineering Department, Suqian College, Suqian 223800, China)

**Abstract:** In order to calculate critical speed of multi-diameter agitating shaft with impellers, a critical speed algorithm was proposed. Multi-diameter agitating shaft with impellers was simplified as the shaft without any impeller and multi-diameter parts. The critical speed value of this part can be calculated by the traditional algorithm. Then, critical speed value of the deducted components was calculated by classical algorithm and integral method. Eventually, the critical speed of original agitating shaft was obtained by dunkerley formula. The algorithm was programmed by VB software, the first order critical speed value of several commonly used agitating shafts was calculated. The results were compared through ANSYS software. The results indicate that the algorithm is simple, convenient and correct.

**Key words:** multi-diameter agitating shaft; critical speed; VB; algorithm

## 0 引 言

在搅拌过程中,当搅拌轴的转速达到或接近其固有频率时,搅拌轴会发生剧烈振动并出现很大的弯曲现象,引起这一现象的搅拌轴速度,叫做搅拌轴的临界转速。如果搅拌轴的转速保持在临界转速附近,轴的变形将急剧增大,会对搅拌轴造成严重破坏。对于工程使用的搅拌轴必须计算其临界转速,并使搅拌轴的工作转速尽可能避开其临界转速。

目前,计算转轴临界转速的方法有:邓柯莱累加法、等效重量法、雷列能量法、库舒耳方法、有限元法等<sup>[1]</sup>。但是,对于不等轴径的阶梯搅拌轴临界转速的计算,单一运用前 3 种方法的任一种方法均不能有效

解决,库舒耳法和有限元法虽可以解决<sup>[2]</sup>,但后两种方法均较为复杂,在实际工程设计中尚未被广泛采用。我国现行的行业标准 HG/T20569-94《机械搅拌设备》针对悬臂等径轴、悬臂二阶轴、单跨等径轴(两端简支)、单跨等径轴(一端简支一端固支)这 4 种情况给出了计算公式<sup>[3]</sup>,但未讨论阶梯搅拌轴临界转速的计算问题。

因此,本研究在综合传统经典算法的基础上提出一种解决算法。

## 1 算法步骤

### 1.1 算法解析

该算法先将带叶轮的阶梯搅拌轴转化为无叶轮的二阶轴,运用等效重量法计算出二阶轴的临界转速。

再将其进行还原,增加部分运用邓柯莱累加法及积分法进行计算得出增加部分的临界转速,最后利用邓柯莱累加法将两结果累加得出原搅拌轴的临界转速。三阶两叶轮搅拌轴如图 1 所示,本研究以该典型的搅拌轴为例来具体解析新算法。

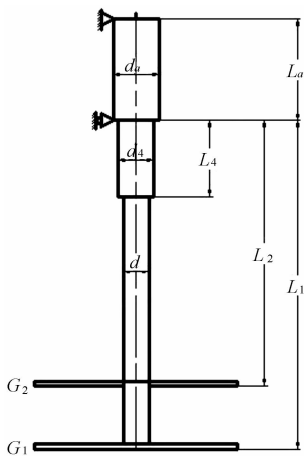


图 1 三阶两叶轮搅拌轴

## 1.2 模型简化

令图 1 中的  $L_4$  段轴径  $d_4$  等于  $L_1$  段轴径  $d$ , 去掉阶梯部分及搅拌叶轮。简化后的搅拌轴如图 2 所示。笔者利用等效重量法计算出该部分的临界转速。

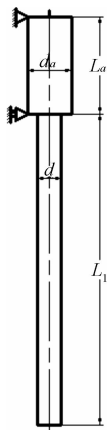


图 2 简化后的二阶轴

轴自身质量的当量载荷为:

$$W_{sm} = \frac{140L_a^2m^2 + 231L_1L_am + 99L_1^2}{420(L_1 + L_a)m^2}G_{L_1} + \frac{8}{420\left(\frac{L_1}{L_a m}\right)^2 + \left(1 + \frac{L_1}{L_a m}\right)^2}G_a \quad (1)$$

如图 2 所示的二阶轴的临界转速为:

$$n_{k1} = 300 \sqrt{\frac{3EI_1}{L_1^2(L_1 + L_a)mW_{sm}}} \quad (2)$$

式中:  $E$ —材料弹性模量,  $N/m^2$ ;  $\rho$ —材料密度,  $kg/m^3$ ;  $I_1$ —如图 2 所示的  $L_1$  段惯性矩,  $m^4$ ;  $I_4$ —如图 2 所示的

$L_4$  段惯性矩,  $m^4$ ;  $I_a$ —如图 2 所示的  $L_a$  段惯性矩,  $m^4$ 。

其中:

$$m = I_1/I_a, G_a = \rho\pi d_a^2 L_a/4, G_{L_1} = \rho\pi d^2 L_1/4, I_1 = \pi d^4/64, I_a = \pi d_a^4/64。$$

代入具体数据,可求出该部分的临界转速  $n_{k1}$ 。

## 1.3 简化阶梯部分及叶轮的临界转速

首先求出各叶轮处的感应系数(即在各叶轮处施加  $P = 1 \text{ kgf}$  所引起该处的挠度<sup>[4]</sup>)。分别给出两叶轮处的感应系数:

$$\alpha_{11} = \frac{P(L_1 - L_4)^3}{3EI_1} + \left[ \frac{PL_4^2}{2EI_4} + \frac{(L_1 - L_4)PL_4}{EI_4} \right] (L_1 - L_4) + 2L_4 \frac{PL_4^2}{6EI_4} + \frac{(L_1 - L_4)PL_4^2}{2EI_4} + \frac{L_1^2 PL_a}{3EI_a} \quad (3)$$

$$\alpha_{22} = \frac{P(L_2 - L_4)^3}{3EI_1} + \left[ \frac{PL_4^2}{2EI_4} + \frac{(L_2 - L_4)PL_4}{EI_4} \right] (L_2 - L_4) + 2L_4 \frac{PL_4^2}{6EI_4} + \frac{(L_2 - L_4)PL_4^2}{2EI_4} + \frac{L_2^2 PL_a}{3EI_a} \quad (4)$$

则各叶轮处的挠度分别为:

$$\begin{cases} y_{st1} = \alpha_{11} G_1 \\ y_{st2} = \alpha_{22} G_2 \end{cases} \quad (5)$$

对于  $L_4$  轴段,去除的  $(d_4 - d)$  轴径部分所引起的挠度可通过积分法得出:

$$y_{st3} = \int_0^{L_4} \left( \frac{Px^3}{3EI_4} + \frac{PL_ax^2}{3EI_a} \right) \left[ \rho \frac{\pi(d_4^2 - d^2)}{4} \right] dx \quad (6)$$

则总挠度:

$$y_{st} = y_{st1} + y_{st2} + y_{st3} \quad (7)$$

如果临界转速以“r/min”为单位,则邓柯莱临界转速公式可改写成:

$$n_{k2} = \frac{60}{2\pi} \omega = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{y_{st}}} \quad (8)$$

根据式(2,8)所得结果,运用邓柯莱累加法最终得出此搅拌轴的临界转速:

$$n_k = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1}{n_{k2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{n_{k1}}\right)^2}} \quad (9)$$

## 2 实例计算

### 2.1 算法 VB 编程实现

本研究利用 VB 软件对该算法进行编程<sup>[5]</sup>,界面中的图像使各相关参数的含义更直观地表达出来。由于该算法只计算搅拌轴的一阶临界转速,故在程序界面中予以说明。以工程中常见的几种搅拌轴为例,进行实例计算,输入阶梯轴尺寸和搅拌叶轮质量参数,计算结果如图 3 所示。

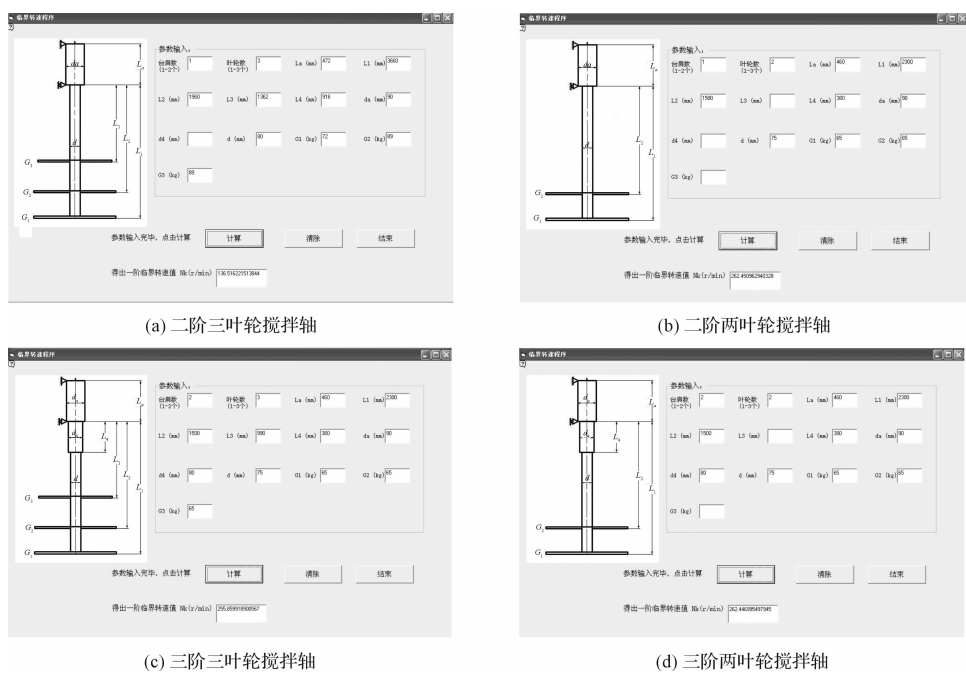


图 3 几种常见搅拌轴临界转速算例

2.2 ANSYS 算例对比

本研究选取图 3 中结构最为复杂的三阶三叶轮搅拌轴,利用 ANSYS 软件进行计算对比。选用梁盘模型建模<sup>[6-7]</sup>,建模时保证搅拌轴的几何尺寸、质量均和图 3 中的原始数据一致。模态分析结果如图 4 所示。对叶轮进行建模时,先根据所选用叶轮的直径和质量计算出每个叶轮的厚度<sup>[8-12]</sup>。ANSYS 计算结果为  $FREQ=4.456\text{ Hz}$ ,换算成临界转速为  $n_k=4.456\times60=267.4\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

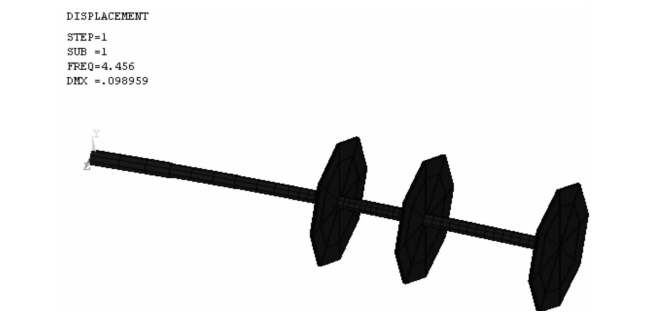


图 4 模态分析结果

表 1 计算结果比较

| 三阶三叶轮搅拌轴算例 | 临界转速/( $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | 相对误差 |
|------------|-----------------------------------------|------|
| 新算法        | 255.9                                   | 4.3% |
| ANSYS      | 267.4                                   |      |

研究表明,该算法的计算结果和 ANSYS 计算结果的误差不超过 5%,证明该方法准确度较高,适应工程需要。

3 结束语

由上可见,该算法可计算任意阶梯搅拌轴,研究者在计算更多叶轮感应系数时,可按照阶梯轴求解载荷挠度的方法求出各叶轮的感应系数;在计算阶梯部分的感应系数时,可参照本研究算法求出。利用 VB 软件对该算法编程后,只要在界面中输入给定参数,便可算出临界转速值。相比有限元算法,该算法不需要软件建模,更为节省时间,通过编程软件基本涵盖常用搅拌轴的临界转速设计,使设计工作更为便捷。

参考文献 (References):

[1] 曾 真,王为国. 搅拌轴临界转速近似计算方法的比较[J]. 化工设计通讯,2009,35(4):55-58.  
[2] 张朝晖. ANSYS11.0 结构分析工程应用实例解析[M]. 北京:机械工业出版社,2008:170.  
[3] 化工部第一设计院. HG/T20569-94 机械搅拌设备[S]. 北京:中华人民共和国化学工业部,1995:130.  
[4] 刘鸿文. 材料力学:上册[M]. 北京:高等教育出版社,2004:80-85.

(下转第 1378 页)

本文文献著录格式:

林 卿. 基于 VB 的阶梯搅拌轴临界转速算法实现[J]. 机电工程,2013,30(11):1366-1369,1378.

LIN Qing. Critical speed algorithm of multi-diameter agitating shaft based on VB[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013,30(11):1366-1369,1378.

- electronics Group of Companies, 2009.
- [3] STMicroelectronics Group of Companies. STM32F107 Datasheet Revision 4.0[Z]. STMicroelectronics Group of Companies, 2009.
- [4] 刘 新, 吴秋峰. 无线个域网技术及相关协议[J]. 计算机工程, 2006, 32(22): 102-110.
- [5] 黄太波, 赵华伟, 潘金秋, 等. ZigBee 协议栈的安全体系综述[J]. 山东科学, 2012, 25(2): 60-66.
- [6] 杨 斌. 基于 AES 的 ZigBee 标准安全机制分析[J]. 计算机工程与科学, 2010, 32(7): 42-45.
- [7] 齐曰霞, 韩正之. 2.4 GHz 频段无线技术标准[J]. 现代电子技术, 2011, 34(9): 35-37.
- [8] 中国建筑科学研究院建筑机械研究分院. GB/T 7588-2003 电梯制造与安装安全规范[S]. 北京: 中国建筑科学研究院建筑机械化研究分院, 2003.
- [9] 代清友, 李桂平. 电梯安全电路试验中需注意的几个问题[J]. 机电工程技术, 2012, 41(5): 95-98.
- [10] 周 林, 陈 玉, 冯婷婷. 基于 ZigBee 的自愈组网与协议实现[J]. 通信技术, 2012, 45(4): 1-6.
- [11] 王均晖, 赵国军, 顾德强, 等. 无线数传在电梯监控系统中的应用[J]. 轻工机械, 2012, 22(3): 60-63.

[编辑: 洪炜娜]

(上接第 1361 页)

- [2] 石维亮, 王兴松, 贾 茜. 基于 Mecanum 轮的全向移动机器人的研制[J]. 机械工程师, 2007(6): 18-21.
- [3] 吕伟文. 全方位移动机构的原理和应用[J]. 无锡职业技术学院学报, 2005, 4(2): 15-16.
- [4] COONEY J A, XU W L, BRIGHT G. Visual dead-reckoning for motion control of a Mecanum-wheeled mobile robot[J]. **Mechatronics**, 2004, 14(9): 623-637.
- [5] GFERRER A. Geometry and kinematics of the Mecanum wheel[J]. **Computer Aided Geometric Design**, 2008, 25(9): 784-791.
- [6] VIBOONCHAICHEEP P, SHIMADA A, KOSAKA Y, et al. Position rectification control for Mecanum wheeled omni-directional vehicles[C]//Proc. of the 29<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE. Roanoke, VA: Industrial Electronics Society, 2003: 854-859.
- [7] 高光敏, 张广新, 王 宇, 等. 一种新型全方位移动机器人的模型研究[J]. 长春工程学院学报, 2006, 7(2): 71-74.
- [8] 陆卫丽, 卞新高, 焦 建, 等. 四足爬行机器人步态分析与运动控制[J]. 机电工程, 2012, 29(8): 886-889.
- [9] 林德龙. 舵机驱动仿生四足机器人设计[J]. 机械, 2011, 38(2): 66-69.
- [10] 贾巨民, 刘宝波, 许爱芬, 等. 螺旋式滚轮设计原理[J]. 机械科学与技术, 2001, 20(1): 17-18.
- [11] 关利赢, 郝 鑫, 常力欣, 等. 万向电动叉车螺旋滚轮轮体设计[J]. 军事交通学院学报, 2009, 11(2): 65-68.

[编辑: 张 翔]

(上接第 1368 页)

- [5] 牛又奇, 孙建国. 新编 Visual Basic 程序设计教程[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2002: 40-59.
- [6] RIVERA C A, HENICHE M, TAKENAKA K, et al. Finite element modeling of the laminar and transition flow of the Superblend dual shaft coaxial mixer on parallel computers[J]. **Chemical Engineering Science**, 2009, 64(21): 4442-4456.
- [7] 冀 成, 杨兆建, 宋高峰, 等. 多轮盘转子系统临界转速的计算方法分析[J]. 机械设计与制造, 2012(12): 28-30.
- [8] 李建丰, 徐 鸿, 马 鑫, 等. 有限元法求解搅拌轴临界转速[J]. 石油化工设备, 2003, 32(2): 28-30.
- [9] 张 谦, 曹 磊. 基于 ANSYS 的临界转速计算[J]. 振动工程学报, 2004, 17(S1): 234-236.
- [10] 冯春亮, 张高丽, 封旭开, 等. 基于 ANSYS 小型食品机械用电机转子模态分析[J]. 包装与食品机械, 2012(4): 55-68.
- [11] 王建红, 华茂发, 周 寻. 基于 VB 和 Master CAM 的凸轮参数化设计与加工仿真[J]. 机电工程技术, 2012, 41(11): 9-11.
- [12] 张彦立, 王广庆, 李 曼. 基于 VB 和 ANSYS 的风机塔筒参数化建模与分析[J]. 机电工程, 2012, 29(2): 175-176.

[编辑: 洪炜娜]

本文引用格式:

张 俊, 赵国军, 魏君燕, 等. ZigBee 无线通信在电梯轿厢控制系统中的应用[J]. 机电工程, 2013, 30(11): 1373-1378.

ZHANG Jun, ZHAO Guo-jun, WEI Jun-yan, et al. Application of ZigBee wireless communication technology in elevator car control system[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2013, 30(11): 1373-1378.《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>