

文章编号: 0254-0096(2020)03-0029-05

搅拌式风力致热装置启动性能研究

李永光, 马云玲

(上海电力大学能源与机械工程学院, 上海 200090)

摘 要: 搭建搅拌式风力致热试验台, 以自制的2种致热器为研究对象, 使其分别在3个不同平均角加速度24.92、14.66、8.04 rad/s²下启动。通过动态扭矩测试仪和数据采集仪测试记录致热器启动阶段的相关数据。结果表明: 致热器启动时所需扭矩与角加速度的一次方、转速、叶片半径的二次方成正比, 同时得出这些因素之间的关系式; 满负荷时, 启动扭矩会出现一个峰值, 且角加速度越大峰值越大, 自然风必须提供峰值以上的扭矩, 否则装置无法启动。

关键词: 风能; 风力致热; 搅拌器; 启动性能; 扭矩

中图分类号: TK89

文献标志码: A

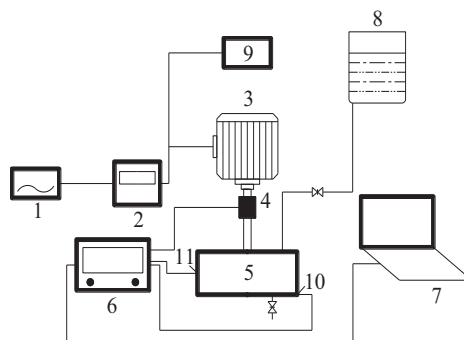
0 引 言

风力致热因其能量利用率高、绿色环保而被推崇。与风电相比, 其对风的质量要求低, 对风况变化适应性强, 易于存储能量^[1-3]。风力致热主要有8种方式^[4], 其中搅拌式风力致热的致热效率高, 搅拌桨与风力机较易匹配, 装置结构简单、成本低, 因而受到关注。目前, 国内外对搅拌式风力致热系统的研究主要集中在温升和致热效率等方面。文献[5]发现转速越高, 致热效率越高。文献[6]发现分层搅拌、节流小孔能提高致热效率。文献[7]指出阻流板与平直叶片间隙越小致热越好。荷兰也研制出一个搅拌式风热系统, 产生的热水温度可达80~90℃。搅拌式致热装置的基本原理是: 风力机直接带动搅拌器高速转动并使液体发热。但在自然环境中, 风速不断变化, 且时有时无, 对搅拌式致热装置而言, 转速一直变动, 时常于启停工况下运行。不良的启动性能会导致致热装置无法运行, 因此, 搅拌式致热装置的启动性能是重要的关键特性之一, 但目前相关研究还较少。本文组建一套风力致热试验系统, 对搅拌式风力致热装置启动阶段所需扭矩与搅拌叶轮半径、角加速度等之间的关系进行研究, 并得到一些有意义的结果。

1 试验系统与试验过程

1.1 试验系统

图1为搅拌式风力致热试验系统示意图, 主要部件包含: 变频器(FC-051)、三相电机(QABP100L4B-4)、自制致热器、热电偶(T型)、数据采集仪(34970A)和动态扭矩测试仪(HK-TL308)等。试验台主要用于测试致热器的启动性能、变转速性能和致热性能。



1. 三相电源 2. 变频器 3. 变频电机 4. 动态扭矩测试仪
5. 搅拌致热装置 6. 数据采集仪 7. 电脑 8. 水桶
9. 三相功率表 10. 热电偶 11. 热电偶

图1 搅拌式风力致热试验系统示意图

Fig. 1 Schematic of stirring wind thermal system

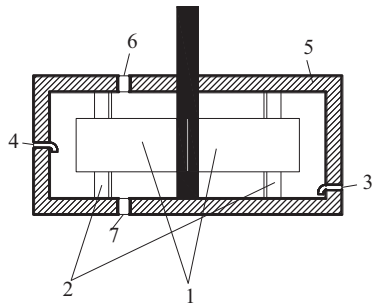
收稿日期: 2017-08-29

基金项目: 上海市科委地方能力建设项目(12250501000); 上海市教委助推计划(12ZT11)

通信作者: 李永光(1957—), 男, 博士、教授、硕士研究生导师, 主要从事风能的利用方面的研究。liyongguang@shiep.edu.cn

1.2 致热器结构

致热器结构如图 2 所示。因为致热器中液体温度可达 90 ℃ 以上,所以致热器采用两层不锈钢桶,中间填充 20 mm 厚的石棉保温并密封。在致热器中设置 4 块阻流板,用于消除液体的打旋现象,强化传热,削弱搅拌器振动和搅拌轴的磨损。2 只热电偶插在浸有油的 2 个内径 4 mm 的弯管中来测温,1 只在致热器底部,另 1 只在致热器中间高度处。涡轮由 4 个平直叶片构成。



1. 搅拌叶片 2. 阻流板 3. 测温点 4. 测温点
5. 保温层 6. 进水口 7. 出水口

图 2 致热器结构

Fig. 2 Heater structure

为了研究不同类型致热器启动性能,本文研究 2 种致热器(致热器 A、B),其容积相同、叶片横扫面积相同、阻流板与叶片之间的间隙均为 5 mm。具体尺寸见表 1。

表 1 致热器主要尺寸

Table 1 Main dimensions of heater

主要尺寸参数	致热器 A	致热器 B
内径/mm	324	260
高度/mm	65	100
叶轮直径/mm	264	210
叶片宽度/mm	40	50
阻流板宽度/mm	28	20

1.3 测试过程

首先将致热器中注满搅拌液体(水),然后接通三相电源,设置变频器中加速类型、加速时间参数和转速参数等,启动变频器,使电动机带动致热器按照设置的方式启动,并稳定在设置转速,使致热器中液体(水)致热。同时,利用动态扭矩测试仪和数据采集仪测试记录致热器启动阶段的扭矩和转速。数据采集仪采样时间

间隔为 0.126 s。实验分别使致热器 A、B 在 24.92、14.66、8.04 rad/s² 的平均角加速度下启动,最终稳定在 300、400、500 r/min。

2 试验结果与分析

2.1 试验分析

图 3 为致热器 A 在不同角加速度下启动,稳定在 300、400、500 r/min 转述工况的扭矩特性曲线。图 4 为致热器 B 在不同角加速度下启动,稳定在 300、400、500 r/min 转述工况的扭矩特性曲线。图 3、图 4 中 1~3 状态分别表示平均角加速度为 24.92、14.66、8.04 rad/s²。

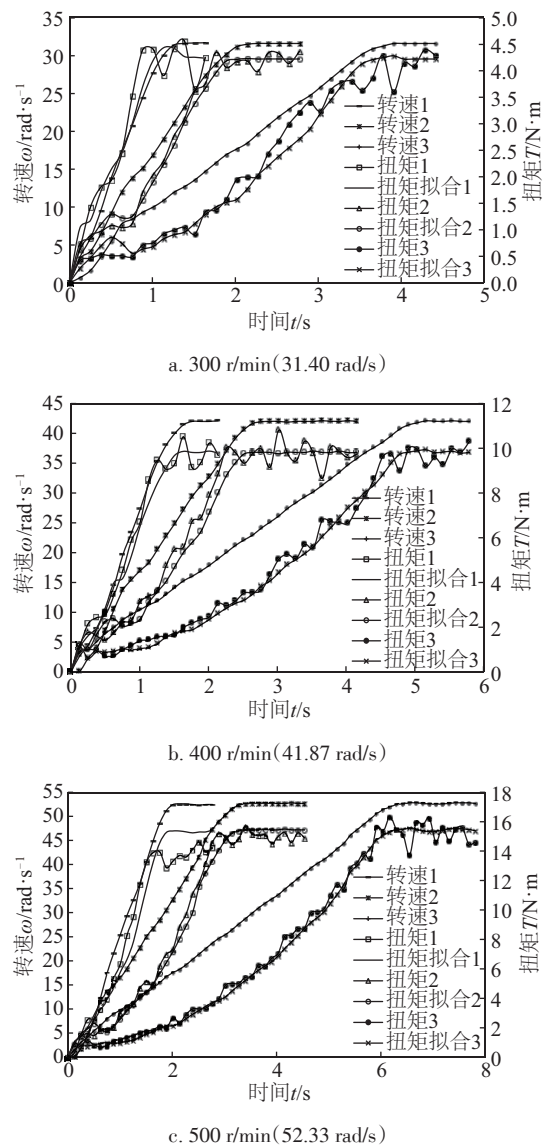


图 3 致热器 A 启动阶段扭矩特性曲线

Fig. 3 Torque characteristics of start-up phase of heater A

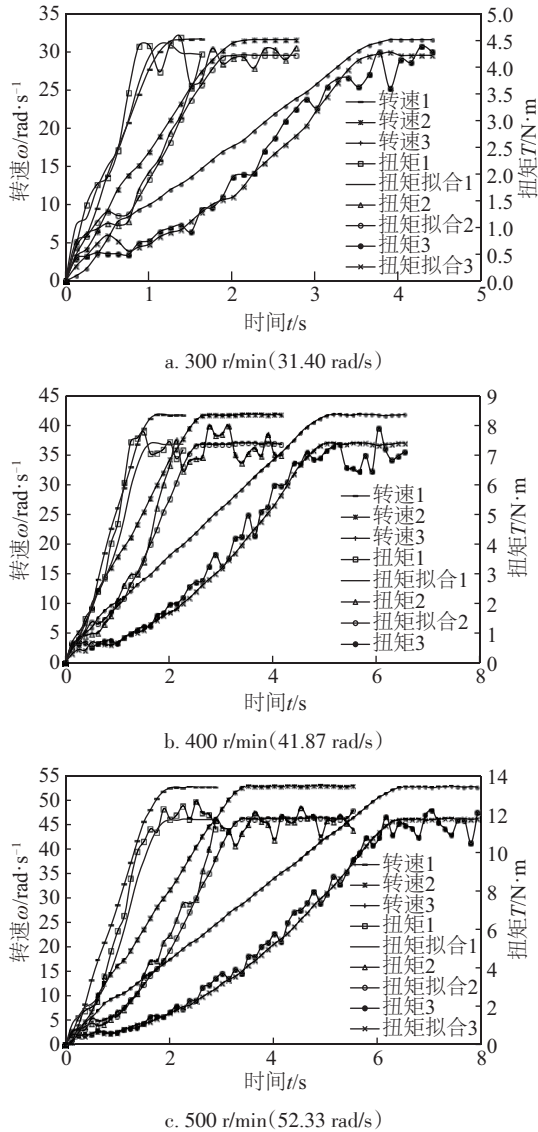


图4 致热器B启动阶段扭矩特性曲线

Fig. 4 Torque characteristics of start-up phase of heater B

由图3、图4可知,在启动阶段:

1)同一致热器、同一转速时,平均角加速度依次为8.04、14.66、24.92 rad/s²时,所需扭矩不断增大,说明角加速度越大,所需的扭矩越大。对于自然风,如需短时间内达到额定转速,就要求风能提供较大的扭矩,即需要较大的风速。

2)同一致热器,平均角加速度恒定时,当搅拌器A稳定在300、400、500 r/min后,扭矩也稳定在5.5、10.0、15.5 N·m。当搅拌器B稳定在300、400、500 r/min后,扭矩也稳定在4.2、7.4、11.8 N·m,说明扭矩与角加速度和转速均有关,运转稳定后,扭矩也不变。因此,设置目标转速越高,所需扭矩越大。对于自然风,如需在一定的时间内达到较高的转速,就需要较大的风速。

3)保持设置转速、平均角加速度不变,致热器A、B启动特性相似,但对应时刻,致热器A的扭矩大于致热器B。因为致热器A的叶片半径较致热器B大,说明在有关条件不变的工况下,直径越大所需的扭矩越大,也就是说所需的风速越大。

图5为致热器A在角加速度为24.92、0.87 rad/s²时启动瞬间(刚启动时)的扭矩特性曲线,其中,状态1、2分别表示平均角加速度为24.92、0.87 rad/s²。由图5可知,启动瞬间存在静摩擦力矩,约为0.2 N·m,在满负荷情况下,可以忽略。致热器在启动瞬间, $t=0.252$ s时,扭矩出现1个峰值,并且角速度越大对应的扭矩峰值越大。

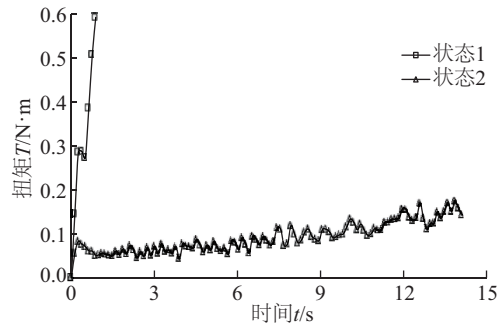


图5 致热器A启动瞬间扭矩特性曲线

Fig. 5 Torque characteristics of start-up torque of heater A

综上所述,这2种致热器启动性能相似,扭矩与转速、角加速度以及叶片半径都有关,并且对同一致热器而言,转速越高、角加速度越大、叶轮半径越大扭矩越大,所以若要使致热器在较短时间内完成启动,达到较高的目标转速,需要较大的风速,并且在启动瞬间必须提供峰值以上的扭矩,否则装置可能无法启动。

2.2 关系式确定

根据测试数据图3和图4,启动时扭矩与角速度、叶片半径、工质密度、角加速度等有关,可表示为:

$$T = f(\omega, \rho, r, \alpha) \quad (1)$$

式中, T ——扭矩,Nm; ρ ——水密度,kg/m³; r ——叶轮叶片半径,m; ω ——角速度,rad/s; α ——角加速度,rad/s²。

搅拌液体(水)是不可压缩介质,并且致热器容积不变,所以密度的影响等同于质量。因为扭矩与转速、角加速度以及叶轮半径都有密切联系,当转速稳定后,角加速度为零,扭矩也不再变化,这时,只有叶轮半径和转速影响扭矩,假设:

$$T(t) = C_1 m^{x_1} r^{y_1} \omega(t)^{z_1} + C_2 m^{x_2} r^{y_2} \alpha(t)^{z_2} \quad (2)$$

式中, $T(t)$ ——扭矩,Nm; m ——搅拌液体的质量,kg; r ——叶片半径,m; $\omega(t)$ ——角速度,rad/s; $\alpha(t)$ ——角

加速度, rad/s^2 ; t ——时间, s ; C_1 、 C_2 ——常数, 由试验确定。

由量纲分析法可知: $x_1=1$; $y_1=2$; $z_1=2$; $x_2=1$; $y_2=2$; $z_2=1$ 。因此, 式(2)可表示为:

$$T(t) = J(C_1 \cdot \omega(t)^2 + C_2 \cdot \alpha(t)) \quad (3)$$

$$J = \frac{mr^2}{2} \quad (4)$$

式中, J ——拟转动惯量。

由图 3 和图 4, 通过数据回归法, 确定致热器 A、致热器 B 的 C_1 分别为 0.153、1.530。 C_2 分别为 0.116、1.530。

3 结 论

通过本文研究, 得到以下主要结论:

1) 启动阶段, 转速越高、角加速度越大、叶轮叶片半径越大致热器所需扭矩越大, 所以若要使致热器在较短时间内完成启动, 达到较高的目标转速, 需要较大的风速。

2) 满负荷时, 静摩擦力矩约为 0.2 Nm, 其影响可忽略, 因为启动瞬间不稳定, 瞬间角加速度较大, $t=0.252\text{ s}$ 时, 扭矩出现 1 个峰值, 并且角速度越大, 峰值越大。扭矩随时间的延长先增长较慢, 后因为转速的增大扭矩又增长较快, 所以在启动瞬间(刚启动时), 自然风必须提供峰值以上的扭矩, 否则装置可能无法启动。

3) 角加速度较大时, 即短时间内完成启动, 需要立即提供较大的风速, 角加速度较小时, 可用较长时间完成启动, 意味着所需风速较小。

4) 本文研究的 2 种致热器启动性能相似, 且在转速与角加速度相同时, 叶轮半径越大, 所需扭矩越大。

5) 启动阶段, 扭矩与转速、角加速度以及叶轮半径都有密切相关, 且每种致热器所需扭矩与角速度的一次方、转速的平方、叶片半径的平方成正比。

[参考文献]

- [1] STUART M. An investigation into the efficiency of a wind to heat converter [D]. Edinburgh: Heriot- Watt University, 2010.
- [2] AL NIMR M A, AL SHOHANI W A M. Design of a wind water heater[J]. Applied mechanics and materials, 2011, 110-116: 4970-4976.
- [3] OKAZAKI T, SHIRAI Y, NAKAMURA T. concept study of wind power utilizing direct thermal energy conversion and thermal energy storage heater[J]. Renewable energy, 2015, 83: 332-338.
- [4] 王士荣, 沈德昌, 刘国喜. 风力提水与风力致热[M]. 北京: 科学出版社, 2012, 168-175.
WANG S R, SHEN D C, LIU G X. Wind and wind-induced hot water [M]. Beijing: Science Press, 2012, 168-175.
- [5] 刘洋, 胡以怀. 搅拌式风力致热装置的参数设计[J]. 太阳能学报, 2014, 35(10): 1977-1980.
LIU Y, HU Y H. Parameter design of stirring wind thermal device [J]. Acta energiae solaris sinica, 2014, 35(10): 1977-1980.
- [6] 赵建柱, 宗玉峰, 王国业, 等. 分层式液力搅拌致热系统致热效能研究[J]. 太阳能学报, 2014, 35(6): 1034-1039.
ZHAO J Z, ZONG Y F, WANG G Y, et al. Study of heating efficiency of layered- hydraulic stirring system [J]. Acta energiae solaris sinica, 2014, 35(6): 1034-1039.
- [7] 高向宗, 李永光, 凌冬冬, 等. 平直叶片搅拌致热特性的试验研究[J]. 能源与节能, 2016 (5): 111-113.
GAO X Z, LI Y G, LING D D, et al. Experimental study of heating by direct stirring with flat blades [J]. Energy and energy conservation, 2016 (5): 111-113.

STUDY ON START-UP PERFORMANCE OF STIRRING WIND THERMAL DEVICE

Li Yongguang, Ma Yunling

(College of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: A stirring wind-heating testing system was built. Two kinds of self-made heater were used as the research objects, and were started at the three different angular accelerations of 24.92, 14.66, 8.04 rad/s² respectively. using dynamic torque tester and data acquisition instrument, the relevant data of the start-up phase of the heater was recorded, with which, the start-up performance of the heater was studied. The test results show that the torque of each heater requirement is directly proportional to angular acceleration, and the square of the rotational speed and the blade radius in the start-up phase. At the same time, the relation formula between torque and these factors are obtained; in addition, under the conditions of the full load operation, the start-up torque will achieve a peak, also, the greater the angular acceleration is, the higher the peak is. The natural wind must provide more than the torque of peak value, otherwise, the heaters will not start.

Keywords: wind energy; wind heating; agitator; start-up performance; torque