

新型直驱电机的开发及其在饮料输送线中的应用

金杰峰,王立强,楼向明*,叶 鹏

(杭州娃哈哈集团有限公司,浙江 杭州 310020)

摘要:针对目前饮料输送线中普遍使用的异步电机减速机存在效率低的缺点,为了提高饮料输送线驱动装置的效率,提出了使用低转速大转矩高效直驱电机替换异步电机减速机直接驱动输送带的设想。通过对饮料瓶输送带在不同运行工况时的运动分析,估算了驱动装置所需的转矩和功率,从而确定了直驱电机的基本参数。为了达到低转速大转矩以及高效的要求,采用稀土永磁同步电机技术设计出低转速大转矩永磁同步直驱电机,并试制了样机。通过直驱电机样机的测试和在饮料输送带上的试用,验证了其节能效果。研究表明,直驱电机的额定效率可达 83%,与异步电机减速机装置相比,实际节能率可达 30%~40%。

关键词:直驱电机;高效节能;饮料输送带;永磁同步电机

中图分类号:TS27;TH222;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)07-0832-05

Development of new direct-drive motor and its application in beverage conveyor line

JIN Jie-feng, WANG Li-qiang, LOU Xiang-ming, YE Peng

(Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310020, China)

Abstract: Aiming at the low efficiency of the asynchronous motor and retarder which used in the beverage conveyor line, and in order to improve the efficiency of the drive unit, the idea of replacing the asynchronous motor and retarder with the low-speed-high-torque and high efficiency direct-drive motor to drive the conveyor directly was presented. The torque and power requirements of the drive unit were analyzed under different operation conditions of the bottle conveyor belt, and then the basic parameters of the direct-drive motor were determined. In order to achieve the requirements of low-speed-high-torque and high efficiency, the direct-drive motor was designed based on the rare earth permanent magnet synchronous motor technology, and a prototype of the direct-drive motor was produced. The energy-saving effect of the direct-drive motor was verified by the practical test of the prototype of the beverage conveyor line. The results show that, the rated efficiency of the direct-drive motor is up to 83%, and comparing with the asynchronous motor and retarder, the direct-drive motor can save 30%~40% energy.

Key words: direct-drive motor; energy efficient; bottle conveyor belt; permanent magnet synchronous motor

0 引 言

在各类轻工业品自动化流水生产线中普遍使用的驱动装置是异步电机减速机系统,即使用小功率的三相异步电机经减速机减速并提高转矩后驱动各类设备。饮料输送线中大量使用的是 3 kW 以下的三相异步电机,其效率一般都低于 80%^[1]。而驱动装置的选型原则是等级靠大不靠小,一般饮料输送线配置的电

机均有 20%~45% 容量富余^[2],即电机运行时的实际输出功率为额定功率的 80% 以下,使其效率进一步下降。减速机方面,饮料输送线上使用的减速机多为蜗轮蜗杆减速机,其效率一般也低于 80%。因此,目前广泛使用的饮料输送线驱动装置的实际效率往往低于 50%。若能采用低转速大转矩高效直驱电机替换现有的异步电机减速机装置直接驱动输送线,则可以大大提高系统效率。

收稿日期:2013-03-14

作者简介:金杰峰(1981-),男,浙江上虞人,主要从事电气自动化控制方面的工作。E-mail:jetking@wahaha.com.cn

通信联系人:楼向明,男,博士,高级工程师。E-mail:lxm@wahaha.com.cn

在慕尼黑 Drinktec 2009 展览会上,德国海富公司展出了世界首创物料输送带直驱系统—Beetec 直驱电机,去除了减速机传动机构,比传统驱动系统节能 30%^[3],但是直至目前尚无成熟产品销售。而目前国内外市场上销售的直驱电机产品基本都为大功率或高精度伺服电机,不适用于饮料输送线。

因此,针对饮料输送线的驱动需要,本研究开发一款新型永磁同步直驱电机,并在饮料瓶输送带上进行试用。

1 驱动系统的需求分析

饮料瓶输送带的典型结构如图 1 所示。该输送带主要由链轮、链板、支撑机架和驱动装置组成。链板头尾连接形成环状套在两个链轮上,且背面有齿槽可与链轮上的齿相配合。链轮分为主动轮和被动轮,输送带运行时,驱动装置驱动主动轮转动,使链板做直线运动,从而带动链板上的饮料瓶前进。

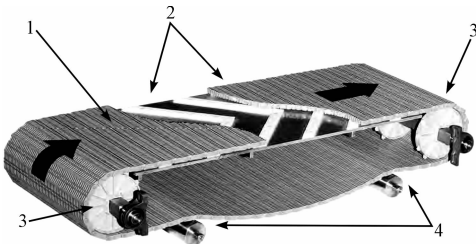


图 1 链板输送带示意图
1—链板;2—支撑条;3—链轮;4—托轮

根据物理原理,输送带匀速运动时,驱动输送带主动轮所需的转矩为:

$$T = F \times R \tag{1}$$

式中: F —链轮对链板的拉力, R —链板绕链轮转动的半径。

由于饮料瓶输送带一般都为匀速运行且水平运动,链轮对链板的拉力等于链板受到的摩擦力,为:

$$F = f_w + f_b \tag{2}$$

式中: f_w —链板与支撑条之间的摩擦力, f_b —饮料瓶与链板之间的摩擦力。

其中,链板与支撑条之间的摩擦力为:

$$f_w = \mu_w (M_b + M_w) g \tag{3}$$

式中: M_b —链板上饮料瓶的总重量, M_w —链板自身重量, g —重力加速度, μ_w —链板与支撑框架之间的摩擦系数。

当输送带正常运行时,饮料瓶与链板之间没有相对滑动,则:

$$f_b = 0 \tag{4}$$

当输送带出现堵塞情况时,链板继续运动而饮料瓶无法前进,即饮料瓶与链板之间有相对滑动,则:

$$f_b = \mu_b M_b g \tag{5}$$

式中: μ_b —链板与饮料瓶之间的摩擦系数。

输送带上饮料瓶的总重量为:

$$M_b = m_b \times N \tag{6}$$

式中: m_b —单瓶饮料重量, N —输送带上饮料瓶总数量。

对于单道运行的输送带而言,输送带上饮料瓶总数量为:

$$N = \frac{L}{D + d} \tag{7}$$

式中: L —输送带长度; D —饮料瓶身的最大直径; d —输送带上前后饮料瓶之间的间距,输送带堵塞时, $d = 0$ 。

当输送带以速度 v 匀速运动时,驱动输送带所需的功率:

$$W = F \cdot v \tag{8}$$

驱动轴的转速:

$$n = \frac{v}{2\pi R} \tag{9}$$

以 INTRALOX® 公司的链板为例,其输送带长为 10 m,链板绕链轮转动的半径 $R = 81$ mm,链板重量 $M_w \approx 33$ kg。在输送带润滑情况下,取 $\mu_w = 0.09, \mu_b = 0.09$ ^[4]。此输送带在不同工况下输送不同的饮料瓶时,根据以上公式,计算驱动输送带所需的转矩、功率和转速如表 1 所示。

表 1 输送带驱动装置理论参数估算值

产品数据	转矩/(N·m)	功率/W	转速/(r·min ⁻¹)
$m_b = 0.53$ kg			
$D = 60$ mm			
正常, $d \approx 40$ mm	6.1	63.2	98.4
$v = 50$ m/min			
$m_b = 0.53$ kg			
$D = 60$ mm			
堵塞, $d = 0$	15.0	154.0	98.4
$v = 50$ m/min			
$m_b = 1.55$ kg			
$D = 100$ mm			
正常, $d \approx 50$ mm	9.7	120.2	118.1
$v = 60$ m/min			
$m_b = 1.55$ kg			
$D = 100$ mm			
堵塞, $d = 0$	24.5	302.5	118.1
$v = 60$ m/min			

上述计算是比较理想的状况,在输送带实际运转过程中,输送带受各种大小和性质不同的载荷作用,处在极其复杂的受力状态下^[5]。所以实际驱动系统所需的转矩和功率大于计算结果。另外,还需考虑到实际应用需要预留的余量,最终确定需要开发的直驱电机基本参数如下:

- 额定功率: $P_N = 1.25\text{ kW}$;
- 额定电压: $U_N = 380\text{ V}$;
- 额定转速: $n_N = 300\text{ r/min}$;
- 额定转矩: $T_N = 40\text{ N}\cdot\text{m}$;
- 最大转矩倍数:300%。

2 直驱电机的设计

由于永磁同步电机具有体积小、重量轻、效率高、功率因数高、结构简单、可靠性高等一系列优点^[6-7],直驱电机采用了交流永磁同步技术。

对于永磁同步电机,其转速:

$$n = \frac{60f}{p} \tag{10}$$

式中: f —电机的额定频率, p —电机的极对数。

由式(10)可以看出,电机的转速与电机的极数成反比,与电源的频率成正比。因此,为了降低电机的额定转速,可以在电机设计时,增加电机极数或降低电机的额定频率。考虑到电机低频方面的低限问题,使得通过采用降低额定频率来实现低速目的的方法具有一定的局限性^[8]。本研究在直驱电机设计时,采用了增加电机极数的方法,并最终确定电机的频率和极对数为:

- 额定频率: $f_N = 80\text{ Hz}$;
- 极对数: $p = 16$ 。

在永磁材料方面,钕铁硼是目前磁性能最好的永磁材料,其剩磁和矫顽力都非常高,退磁曲线为直线,回复线与退磁曲线基本重合,且性价比高,特别适用于永磁电机^[9-10]。因此,该设计选用了牌号为 N35SH 的钕铁硼为电机的永磁体材料。

直驱电机的设计过程与一般永磁同步电机的设计过程相同,只是需要根据直驱电机低速大转矩的特点选择合适的参数。主要设计步骤如下:

(1) 直驱电机主要尺寸的初定,即根据直驱电机的额定参数和相关电机的经验参数初步确定电机的主要尺寸,包括永磁体尺寸、气隙长度、定转子内外径和轴向长度、定子槽数和极距等结构尺寸。直驱电机极数较多,使得电机直径较大,而长度较短,即为粗短型。因此电机设计时,长径比需比一般永磁同步电机小,该设计中的长径比选为 0.25 左右。

(2) 直驱电机的电磁设计与计算。电磁设计是电机设计的核心部分,需要根据永磁同步电机的理论建立等效电磁模型,然后进行绕组参数计算、磁路计算、电路参数计算和电机特性的综合计算,最终得出电机的各项参数并修正电机主要尺寸数据。由于直驱电机要求低速运行并输出大转矩,电机设计时应尽可能地提高转矩密度。该设计采用分数槽,并选择了较大的电磁负荷。

永磁同步电机的设计方法已经相当成熟,具体设计方法可参考文献[11-13],本研究不再详述,只给出电机的最终设计结果。直驱电机的各项主要参数如表 2 所示,电机示意图如图 2 所示。

表 2 直驱电机主要参数

参数	数值	参数	数值
额定功率/kW	1.25	额定电压/V	380
额定电流/A	2.3	额定转速/(r·min ⁻¹)	300
额定频率/Hz	80	额定转矩/(N·m)	40
额定效率/(%)	83	额定功率因素	0.99
最大转矩/(N·m)	140	定子相数	3
极数	32	绕组连接方式	Y 型
定子槽数	36	定子外径/mm	250
定子内径/mm	200	气隙/mm	1
铁芯长度/mm	50	转子外径/mm	198

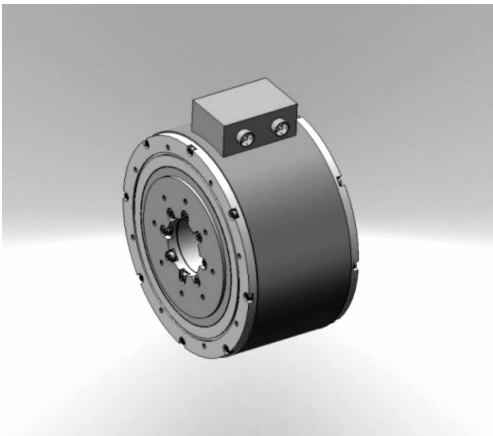


图 2 直驱电机示意图

3 直驱电机的测试与试用

根据直驱电机的设计结果,本研究试制了一台样机,并对其进行了必要的测试,以验证电机是否达到设计要求。

测试时,由测功机对直驱电机进行加载,而在电机输出轴与测功机之间串联扭矩传感器以测得电机输出的实际转矩,并加装高精度旋转编码器测试电机的实际转速,从而计算电机的实际输出功率。直驱电机由

高性能变频器驱动,以无传感控制方式实现变频启动和调速,并由变频器的输出数据直接得到电机的输入功率。直驱电机测试系统示意图如图 3 所示。

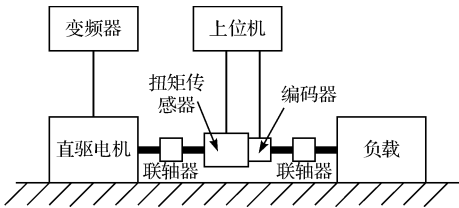


图 3 直驱电机测试系统示意图

由输入功率和输出功率即可计算直驱电机的效率,测试所得直驱电机在不同输出扭矩时的转速—效率曲线如图 4 所示。由图可得直驱电机在设计的额定转速(300 r/min)和额定负载转矩(40 N·m)时,效率约为 83%,而最大效率可达 85% 左右,说明直驱电机是符合设计要求的。而直驱电机负载和转速较低时,其效率有较大幅度的下降。

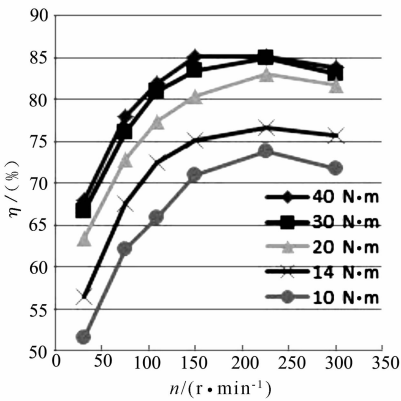
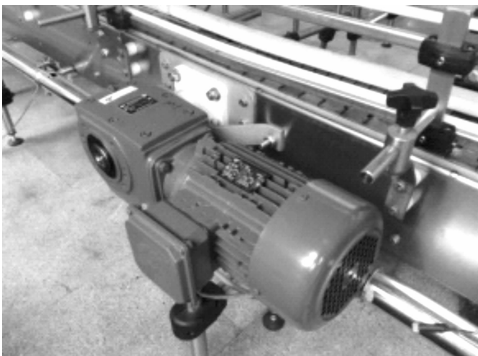


图 4 直驱电机转速效率曲线图

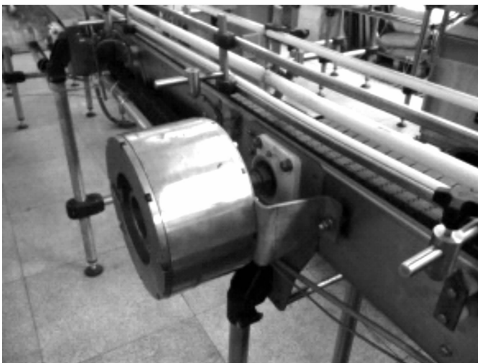
为了检验直驱电机的节能效果,本研究搭建了一段 10 m 长的实验输送带,分别安装现有的异步电机减速机装置和直驱电机作为驱动装置,并进行能耗对比。其中异步电机按照设计惯例功率为 1.1 kW,实际安装情况如图 5 所示。

输送带上实际放置 100 瓶饮料,每瓶饮料重量约 0.53 kg,分别模拟输送带空转、正常运行和堵塞运行 3 种不同工况。异步电机和直驱电机由同一款变频器驱动,并分别读出两种电机的实际输入功率;在驱动轴上安装扭矩传感器实测驱动装置的转速和输出转矩,并计算其实际输出功率;实际输出功率与实际输入功率相除即可得出系统效率。测试结果如表 3 所示。

由表 3 数据可得直驱电机与普通异步电机减速机装置相比,系统效率可提升 20% 以上,而实际节能率可达 30% ~40%。



(a) 异步电机减速机装置



(b) 直驱电机

图 5 驱动装置安装图

表 3 直驱电机与异步电机减速机装置效率对比

工况	转速/ (r·min ⁻¹)	异步电机装置		直驱电机	
		输入功率/kW	效率/(%)	输入功率/kW	效率/(%)
空载	52	0.136	30.9	0.083	50.6
	79	0.197	33.0	0.112	58.0
	100	0.219	37.9	0.133	62.4
正常	52	0.174	35.6	0.111	55.9
	79	0.243	39.1	0.157	60.5
	100	0.295	41.0	0.193	62.7
堵塞	52	0.204	37.3	0.132	57.6
	79	0.280	41.8	0.189	61.9
	100	0.341	44.0	0.23	65.2

4 结束语

新型直驱电机通过改变电机结构,并采用永磁技术,以降低转速,提高转矩密度,使其在小功率状态下输出较大转矩,去除了减速机等中间传动环节,大大提高了驱动系统的效率。该直驱电机发热少,无需冷却和润滑,降低了维护成本,并有利于保持清洁卫生的生产环境。测试和试用结果表明,该直驱电机效率较高,节能效果显著,具有广阔的推广应用前景。

参考文献 (References):

- [1] 仵均科,朱 颖. 异步电动机能效标准及节能措施[J]. 微电机,2008,41(11):73-78.
- [2] 王建防. “变频调速智能控制节电装置”在带式输送机中的应用[J]. 中国高新技术企业,2008(7):66-67.
- [3] [作者不详]. 海富创新技术在 drinktec 2009 赢得广泛赞誉[J]. 酒·饮料技术装备,2009(6):32-32.
- [4] Intralox, Inc.. Conveyor Belting Engineering Manual[K]. intralox, Inc., 2001.
- [5] 席平原,朱 江,申屠留芳. 带式输送机闭环特性动态分析与 PID 控制[J]. 农业机械学报,2010,41(12):210-214.
- [6] 贾洪平,贺益康. 永磁同步电机直接转矩控制中零矢量的作用研究[J]. 电气传动,2006,36(4):13-16.
- [7] 刘益标,陈 钧. 基于 DSP 的电梯永磁同步电机的 DTC 控制系统[J]. 机电工程技术,2011,40(11):28-31.
- [8] 王本礼. 低速直驱永磁同步电动机的研究[D]. 济南:山东大学电气工程学院,2008.
- [9] 张传林,胡文静. 稀土永磁材料的发展及在电机中的应用[J]. 微电机,2003,36(1):38-39.
- [10] 李亚峰. NdFeB 永磁材料的应用领域与发展前景[J]. 矿冶,2005,6(2):67-69.
- [11] 唐任远. 现代永磁电机理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [12] 王群京. 稀土钕铁硼永磁同步电动机的设计理论及计算机仿真[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1997.
- [13] 黄明星. 新型永磁电机的设计、分析与应用研究[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2008:23-57.

[编辑:洪炜娜]

(上接第 819 页)

完成了微弱信号的自跟踪扫频检测电路,利用 AD9850、TLC5615 等数字芯片产生扫频信号,利用继电器进行参数的自动跟踪控制,通过 AVR 芯片控制继电器的通断来实时的控制混沌检测系统内的电容参数,使系统扫频过程中处于临界状态,等待微弱小信号的合并,进入大尺度周期状态,确定小信号的信息;最后实验结果表明,该电路实现了噪声背景下一定范围中低频率微弱正弦信号的检测。

参考文献 (References):

- [1] 湛 龙,王德石. 基于 Lorenz 系统的微弱谐波信号检测[J]. 仪器仪表学报,2007,28(11):2034-2038
- [2] 冯 奇. 噪声对杜芬振子的混沌性质的影响[J]. 同济大学学报,1994,22(1):69-75.
- [3] HAYKIN S. Neural Networks, Acomprehensive Foundation [M]. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1999.
- [4] PILGRIM C J, LEUNG Y K. Appropriate use of the Internet in computer science courses [C]//Proceedings of the 1st conference on Integrating technology into computer science education. Barcelona, Spain:[s. n.], 1996:81-86.
- [5] WNAG Guan-yu, CHEN Da-jun, LIN Jian-ya, et al. The application of chaotic oscillators to weak signal detection [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1999, 46(20):440-443.
- [6] WANG Guan-yu, WEI Zheng, HE Sai-ling. Estimation of amplitude and phase of a weak signal by using the property of sensitive dependence on initial conditions of a nonlinear oscillator [J]. Signal Processing, 2002, 82(1):103-115.
- [7] 李 月,杨宝俊,石要武. 用特定的混沌系统检测弱周期脉冲信号[J]. 仪器仪表学报. 2002(S1):35-36.
- [8] 王永才,肖子才. Duffing 混沌系统电路仿真研究[J]. 电路与系统学报,2008,13(1):132-135.
- [9] 赵文礼,黄振强,赵景晓. 基于 Duffing 振子的微弱信号检测方法及其电路实现[J]. 电路与系统学报 2011,16(6):120-123.
- [10] 朱少平,钱富才,刘 丁. 基于两级算法的混沌控制[J]. 控制理论与应用,2010,27(9):1259-1.
- [11] 王冠宇. 混沌振子在具有强噪声背景的信号检测中的应用[J]. 仪器仪表学报,1997,18(2):209.
- [12] 夏其表,王 洁. 基于虚拟仪器的精密球研磨加工的振动信号检测[J]. 轻工机械,2011,29(2):79-82.
- [13] 李 月,杨宝俊. 混沌振子检测引论[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [14] BARTK S. Adaptive Stochastic Resonance [C]//Proceedings of the IEEE 1998. San Franeisco:[s. n.], 1998:2182-2183.

[编辑:张 翔]