

文章编号: 1671-251X(2010)09-0142-04

大型胶带输送机多驱动控制策略的研究

付峻青

(晋煤集团技术中心, 山西 晋城 048006)

摘要:以晋煤集团成庄矿的主斜井胶带输送机为例, 提出了一种胶带输送机双滚筒、三电动机驱动控制策略。该控制策略采用以 I 驱动滚筒驱动的 1 号电动机为主驱动, 按速度给定, I 驱动滚筒驱动的 2 号电动机按力矩跟踪, II 驱动滚筒驱动的 3 号电动机按给定速度的 1.1 倍跟踪, 并采用力矩限制的方式对胶带输送机进行控制。仿真实验结果验证了该控制策略的可行性。

关键词: 胶带输送机; 多滚筒驱动; 电动机; 控制策略

中图分类号: TD634

文献标识码: A

0 引言

随着矿井生产规模向现代化、大型化发展, 对胶带输送机的输送能力、输送长度和驱动功率的要求也随着提高。长距离、大运量、高强度大型胶带多采用滚筒、多电动机、多点驱动, 即在胶带输送机的头部、中部和尾部分别设置多台电动机, 形成相距数千米的多滚筒、多台电动机拖动同一胶带输送机系统的拖动系统。协调好胶带输送机启动、制动过程中的各电动机状态是输送机正常运行的关键。

具有 2 个及 2 个以上驱动滚筒的传动系统称为多滚筒驱动系统, 分单滚筒驱动、双滚筒驱动和三滚筒驱动^[1-2]。双滚筒驱动有头部双滚筒驱动、布置在空载段任意点上的双滚筒驱动、头尾双滚筒驱动等布置方式; 三滚筒驱动为头部双滚筒驱动、尾部单滚筒驱动布置方式。多滚筒驱动的胶带输送机常见的布置方式如图 1 所示, 其中, (a) 为头部双滚筒驱动的胶带输送机布置方式, (b) 为空载段任意点上的双滚筒驱动的胶带输送机布置方式, (c) 为头、尾双滚筒驱动的胶带输送机布置方式, (d) 为头部双滚筒、尾部单滚筒驱动的胶带输送机布置方式。

合理的多滚筒驱动控制策略可以保证胶带输送机系统的正常工作, 防止驱动滚筒与输送带的滑动, 防止胶带输送机系统的共振, 减小胶带输送机过程中的电气冲击、弹性振动和机械振动, 延长胶带输送机输送带、托辊、减速器、滚筒装置的使用寿命, 节省

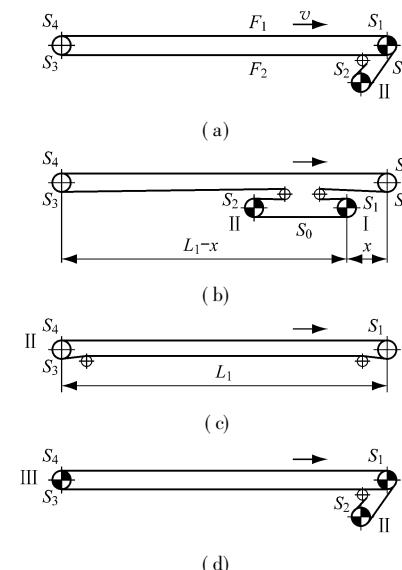


图 1 多滚筒驱动的胶带输送机常见的布置方式

能耗。本文以晋煤集团成庄矿的主斜井胶带输送机为例, 介绍一种胶带输送机双滚筒、三电动机驱动控制策略。

1 多滚筒驱动控制策略确定

成庄矿主斜井胶带输送机采用双滚筒、三电动机驱动方式, 自动绞车张紧装置设在机头回程侧, 其驱动模型如图 2 所示。

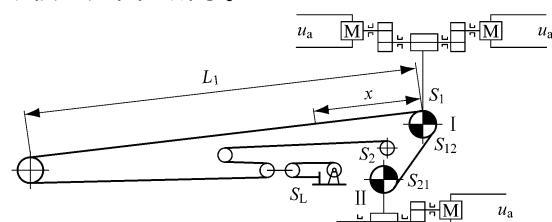


图 2 胶带输送机双滚筒、三电动机驱动模型

收稿日期: 2010-06-24

作者简介: 付峻青(1963-), 男, 高级工程师, 博士后, 现为晋煤集团技术中心主任。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

根据图2, 可确定以下3种胶带输送机多滚筒驱动控制策略^[3-6]:

(1) 以II驱动滚筒驱动的电动机为主驱动, 按速度给定, I驱动滚筒驱动的1号和2号电动机按速度跟踪, 并进行力矩限制。

(2) 以I驱动滚筒驱动的1号电动机为主驱动, 按速度给定, I驱动滚筒驱动的2号电动机、II驱动滚筒驱动的3号电动机按速度跟随, 没有力矩限制。

(3) 以I驱动滚筒驱动的1号电动机为主驱动, 按速度给定, I驱动滚筒驱动的2号电动机按力矩跟踪, II驱动滚筒驱动的3号电动机按给定速度的1.1倍跟踪, 并进行力矩限制。

2 多滚筒驱动时的牵引力计算

胶带输送机多滚筒驱动的牵引力计算包括各驱动滚筒之间的牵引力分配系数、总功率分配系数及速度关系的计算^[7]。

2.1 驱动滚筒牵引力的分配

设位于2个驱动滚筒之间输送带的运行阻力为 F_{12} , 其值为 $F_{12} = S_{21} - S_{12}$ (S_{21} 为II驱动滚筒趋入点的张力, S_{12} 为I驱动滚筒奔离点的张力), 可得2个驱动滚筒之间的牵引力分配系数为

$$k_y = (1 - \sigma_1) \frac{e^{\mu a_1} (e^{\mu a_1} - 1)}{e^{\mu a_2} - 1} \quad (1)$$

式中: $\sigma_1 = F_{12}/S_{21}$, 为2个驱动滚筒之间的相对阻力; $e^{\mu a_1}$ 为I驱动滚筒的牵引系数; $e^{\mu a_2}$ 为II驱动滚筒的牵引系数; a_1 、 a_2 分别为2个驱动滚筒的工作弧角。

如果2个驱动滚筒都布置在机头, 那么 σ_1 可以忽略, 则2个驱动滚筒之间的牵引力分配系数为

$$k_y = e^{\mu a_2} \frac{(e^{\mu a_1} - 1)}{e^{\mu a_2} - 1} \quad (2)$$

取 $a_1 = a_2 = a$ 则 $k_y = e^{\mu a}$, 这说明2个驱动滚筒在工作弧角相同时, I驱动滚筒的牵引力为II驱动滚筒的 $e^{\mu a}$ 倍。

成庄矿主斜井胶带输送机的参数为 $\mu = 0.3$, $a = 205^\circ$, $a = 225^\circ$, 则 $k_y = 1.924$, 这说明在2个驱动滚筒的围包角都变为滑动弧时, I驱动滚筒的牵引力一般为II驱动滚筒的1.924倍以上。

2.2 驱动滚筒功率的分配

设2个驱动滚筒的圆周速度分别为 v_1 和 v_2 , 则2个驱动滚筒的功率分别为 $P_1 = F_{d_1} v_1 / (1000\eta)$ 和 $P_2 = F_{d_2} v_2 / (1000\eta)$, 其中 F_{d_1} 为I驱动滚筒的圆周

驱动力, N; F_{d_2} 为II驱动滚筒的圆周驱动力, N; η 为传动效率, 则2个驱动滚筒之间的功率分配系数为

$$k_m = \frac{1 - \sigma}{1 - \varepsilon} \frac{e^{\mu a_1} (e^{\mu a_1} - 1)}{e^{\mu a_2} - 1} \quad (3)$$

式中: ε 为2个驱动滚筒输送带的相对变形量。

若忽略2个驱动滚筒输送带的相对变形量, 则2个驱动滚筒之间的功率分配系数等于牵引力分配系数。这表明成庄矿主斜井胶带输送机在2个驱动滚筒的圆周速度相同的情况下, 当2个驱动滚筒的围包角都变为滑动弧时, I驱动滚筒更容易出现滑动现象。

2.3 驱动滚筒间的速度关系

假设I驱动滚筒的绕入点的速度为 v_1 , I驱动滚筒绕出点的速度和II驱动滚筒的绕入点速度相同, II驱动滚筒的绕出点的速度为 v_2 , 在考虑输送带弹性变形后, 2个驱动滚筒之间的速度关系为

$$\frac{v_1}{v_2} = 1 - \frac{F_{d_1}}{EA} \quad (4)$$

式中: E 为输送带的弹性模量, N/mm²; A 为输送带的面积, mm²。

由式(4)可知, 要使 v_2 恒大于 v_1 , 取决于 F_{d_1} 与 EA 的比值。取 $F_{d_1} = 282.2$ kN, $EA = 382 \times 106$ N, 则 $v_1/v_2 = 0.9993$; 若取 $F_{d_1} = 648$ kN, 则 $v_1/v_2 = 0.9983$ 。

在2个驱动滚筒的围包角都变为滑动弧时, 2个驱动滚筒传递功率的比值为

$$k_m = \frac{P_1}{P_2} = \frac{F_{d_1} v_1}{F_{d_2} v_2} = 1.924 \times 0.9983 = 1.921 < 2 \quad (5)$$

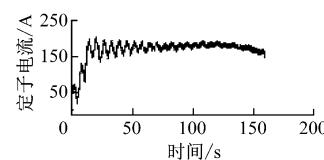
因此, 成庄矿主斜井胶带输送机采用双滚筒、三电动机驱动方式的控制策略应为I驱动滚筒为主驱动、II驱动滚筒跟随方式; 否则会造成I驱动滚筒过载、打滑或跳闸事故。II驱动滚筒如果采用速度跟随, 则其跟随速度应大于I驱动滚筒的速度, 由上述计算可知, $v_2/v_1 \geq 1.041$ 。

3 控制策略的仿真

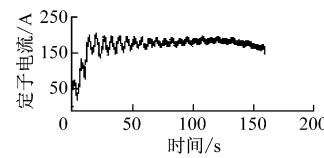
主从控制模式一般都是以某一个电动机作为主驱动, 其矢量控制模型中计算得到的给定转矩和电动机本身的转速作为控制其它电动机的给定输入^[8]。笔者将同轴拖动滚筒的电动机称为一次1号电动机和一次2号电动机, 另外一台电动机称为二次电动机。3台电动机的负载力矩都取实际负载力矩的1/3, 速度都按照单机仿真效果较好的组合

加速度给定。

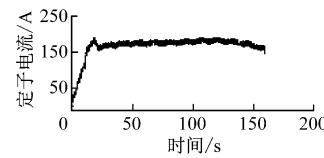
A 方案: 以二次电动机为主驱动, 按照速度给定, 一次 1 号和 2 号电动机按照速度跟踪, 并进行力矩限制。该方案的 3 台电动机电流、输出电磁转矩仿真波形如图 3、图 4 所示。



(a) 二次电动机电流仿真波形

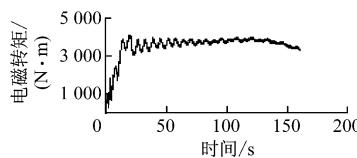


(b) 一次 1 号电动机电流仿真波形

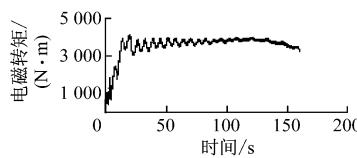


(c) 一次 2 号电动机电流仿真波形

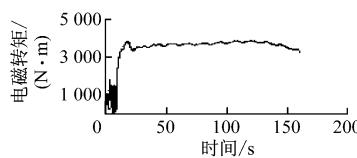
图 3 A 方案的 3 台电动机电流仿真波形



(a) 二次电动机输出电磁转矩仿真波形



(b) 一次 1 号电动机输出电磁转矩仿真波形

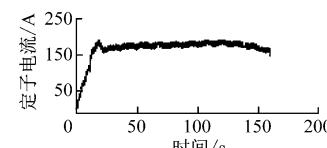


(c) 一次 2 号电动机输出电磁转矩仿真波形

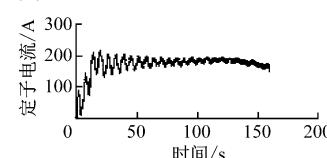
图 4 A 方案的 3 台电动机输出电磁转矩仿真波形

B 方案: 以一次 1 号电动机为主驱动, 按照速度给定, 一次 2 号电动机和二次电动机按照速度跟随, 没有力矩限制。该方案的 3 台电动机电流、输出电磁转矩仿真波形如图 5、图 6 所示。

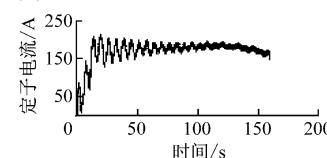
C 方案: 以一次 1 号电动机为主驱动, 按照速度给定, 一次 2 号电动机按照力矩跟踪, 二次电动机按照给定速度的 1.1 倍进行跟踪, 并进行力矩限制, 该方案的 3 台电动机矢量控制模型如图 7 所示。



(a) 一次 1 号电动机电流仿真波形

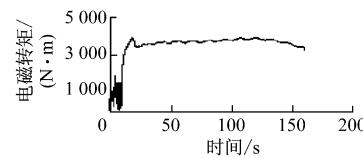


(b) 一次 2 号电动机电流仿真波形

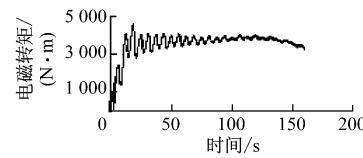


(c) 二次电动机电流仿真波形

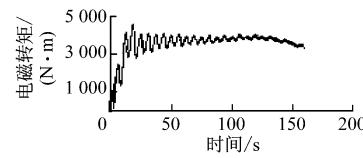
图 5 B 方案 3 台电动机电流仿真波形



(a) 一次 1 号电动机输出电磁转矩仿真波形



(b) 一次 2 号电动机输出电磁转矩仿真波形



(c) 二次电动机输出电磁转矩仿真波形

图 6 B 方案的 3 台电动机输出电磁转矩仿真波形

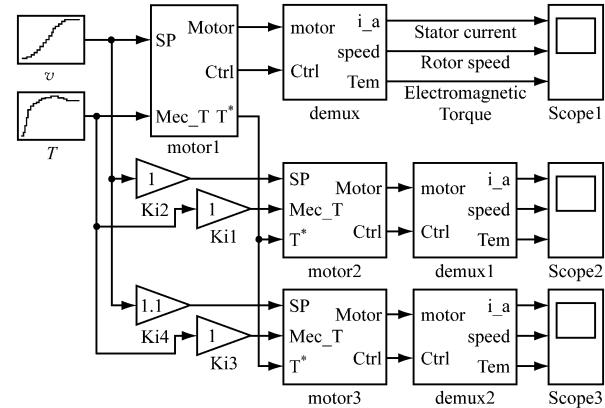
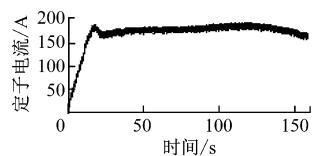


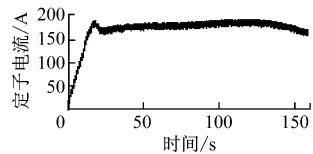
图 7 C 方案的 3 台电动机矢量控制模型

C 方案的 3 台电动机电流、输出电磁转矩仿真
© 1994-2010 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

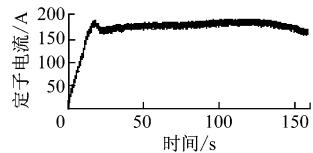
波形如图8、图9所示。从图8、图9可看出,C方案的3台电动机输出电磁转矩的同步性和电流的同步性都较前两个方案有较大的提高。因此,C方案为优选方案。



(a) 一次1号电动机电流仿真波形

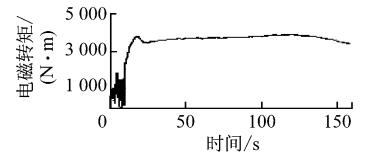


(b) 一次2号电动机电流仿真波形

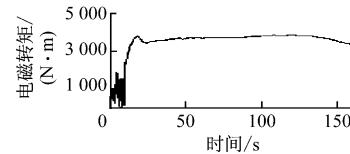


(c) 二次电动机电流仿真波形

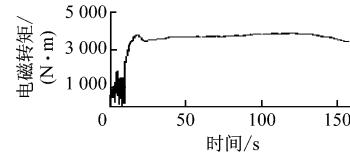
图8 C方案的3台电动机电流仿真波形



(a) 一次1号电动机输出电磁转矩仿真波形



(b) 一次2号电动机输出电磁转矩仿真波形



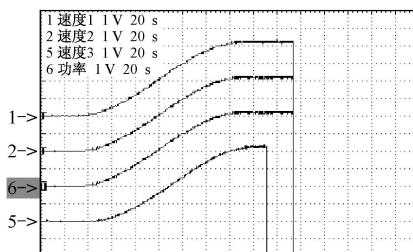
(c) 二次电动机输出电磁转矩仿真波形

图9 C方案的3台电动机输出电磁转矩仿真波形

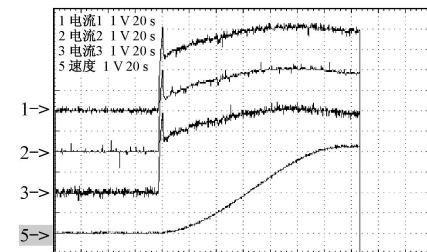
4 实验结果分析

笔者在现场对成庄矿主斜井胶带输送机采用C方案进行了大量的实验和测定,示波器显示的波形如图10所示。

从图10可看出,在启动过程中,3台电动机的速度与功率波形非常接近,这说明C方案非常有效,并且在输送带按4 m/s的速度长期运行时,2个驱动滚筒没有出现剧烈振动现象,胶带输送机系统运转非常平稳。



(a) 3台电动机速度与功率波形



(b) 3台电动机电流与功率波形

图10 主斜井胶带输送机采用C方案时示波器显示的3台电动机速度与功率、电流与功率波形

5 结语

实验结果表明,成庄矿主斜井胶带输送机采用以I驱动滚筒驱动的1号电动机为主驱动,按速度给定,I驱动滚筒驱动的2号电动机按力矩跟踪,II驱动滚筒驱动的3号电动机按给定速度的1.1倍跟踪的控制策略充分发挥了各个电动机的能力,降低了输送带的工作张力,有利于安装和维护。

参考文献:

- [1] FU Junqing, WANG Cong, LI Yujin. Optimal Driving of Large Belt Conveyor with Multiroller Variable frequency Drive[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2004, 14(2): 231-237.
- [2] FU Junqing, WANG Cong, HUO Wei. Development of Belt Conveyor Driving System[J]. Journal of Coal Science and Engineering, 2004, 10(1): 83-87.
- [3] 付峻青,王聪,李玉瑾.带式输送机多滚筒驱动特性的研究[J].起重运输机械,2005(1): 33-36.
- [4] 付峻青,王聪,吉莉萍.带式输送机驱动系统的分析与探讨[J].煤矿机电,2004(6): 39-42.
- [5] 宋伟刚.散状物料带式输送机设计[M].沈阳:东北大学出版社,2000.
- [6] 中国矿业大学.矿山运输机械[M].北京:煤炭工业出版社,1980.
- [7] 付峻青,李玉瑾,杜春玲.带式输送机驱动装置振动测试分析[J].起重运输机械,2007(5): 47-51.
- [8] 付峻青,王聪.大型带式输送机机电耦合系统的计算机仿真研究[J].煤炭工程,2007(8): 88-90.