



散货码头智能化全变频节能算法研究与应用

潘俊峰, 鲁东起, 赵芳

(交通运输部水运科学研究院, 北京 100088)

摘要: 目前散货码头皮带机在各种作业工况下均恒速运行, 电能浪费严重。针对全变频散货码头, 研究智能化全变频调速算法, 实现皮带机根据源头物料流量大小采用智能速度, 解决了皮带机由于料流分布不均、长时间空(低)载运行而造成的设备效率低、单位能耗高等问题。经实际应用验证, 该算法节能效果显著。

关键词: 散货码头; 变频调速算法; 智能化; 节能

中图分类号: U 656.1⁺39

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)01-0078-04

Study and application of energy-saving algorithm of intelligent variable frequency speed regulation system in bulk terminal

PAN Jun-feng, LU Dong-qi, ZHAO Fang

(China Waterborne Transport Research Institute, Beijing 100088, China)

Abstract: At present, belt conveyors in bulk terminal move at constant speed in a variety of operating conditions, which causes serious waste of power energy. In view of the above-mentioned facts, intelligent variable frequency speed regulation algorithm is studied to achieve that the belt conveyors regulate their speed intelligently according to the material flow. And the problems of low efficiency and high unit energy consumption of belt conveyors caused by uneven distribution of material flow, long time no-load and low load operation were solved. It has been verified by practical applications that this algorithm has remarkable effect on energy saving.

Keywords: bulk terminal; variable frequency speed regulation algorithm; intelligent; energy saving

目前, 我国大多数散货码头皮带机能耗较高, 主要原因在于驱动电机设计时裕量较大, 存在“大马拉小车”现象, 且皮带机无论料多料少都工频恒速运行, 效率低下、能源浪费严重^[1]。为降低皮带机能耗, 国内外也做了大量研究, 提出了皮带机流量控制技术、减电机技术^[2]等, 但以上技术或多或少都有一定的局限性, 不能做到节能效果最大化。针对以上现状, 提出了智能化全变频调速节能算法, 使皮带机根据物料源头流量大小自适应调节运行速度, 以解决各种作业工况下带式输送机由于料流分布不均、长时间空(低)载

运行而造成的设备效率低、单位能耗高等问题。

1 节能原理

1.1 圆周驱动力 F_U 计算

传动滚筒上所需圆周驱动力 F_U 为所有阻力之和, 可按式(1)^[3]进行计算:

$$F_U = C f L g [q_{r_0} + q_{r_u} + (2 q_B + q_G) \cos \delta] + q_G H g + F_{s_1} + F_{s_2} \quad (1)$$

式中: C 为系数, 可查表获取; f 为模拟摩擦系数, 根据工作条件及制造、安装水平选取; L 为输送机长度(m); g 为重力加速度, 取 9.8 m/s^2 ;

收稿日期: 2016-04-18

作者简介: 潘俊峰(1984—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口自动化设计、研究工作。

q_{r_0} 为承载分支托辊每米旋转部分质量(kg/m);
 q_{r_u} 为回程分支托辊每米旋转部分质量(kg/m);
 q_B 为每米输送带的质量(kg/m); q_G 为每米输送物料的质量;
 F_H 为主要阻力(N); F_N 为特种阻力(N); F_{s_1} 为特种主要阻力,即托辊前倾摩擦阻力及导料槽摩擦阻力(N); F_{s_2} 为特种附加阻力,即清扫器、卸料器及反转回程分支输送带的阻力(N); F_{s_t} 为倾斜阻力(N), $F_{s_t} = q_G H g$, H 为输送机卸料段和装料段的高差(m), q_G 取值为

$$q_G = \frac{Q}{3.6v} \quad (2)$$

式中: Q 为输送量; v 为带速(m/s)。

1.2 传动功率计算

$$P_A = F_U v \quad (3)$$

将式(1)代入式(3)得:

$$P_A = \{ C f L g [q_{r_0} + q_{r_u} + (2 q_B + q_G) \cos \delta] + q_G H g + F_{s_1} + F_{s_2} \} v \quad (4)$$

将式(2)代入式(4)得:

$$P_A = \{ C f L g [q_{r_0} + q_{r_u} + (2 q_B + \frac{Q}{3.6v}) \cos \delta] + \frac{Q}{3.6} H g + F_{s_1} + F_{s_2} \} v = [C f L g (q_{r_0} + q_{r_u} + 2 q_B \cos \delta) + F_{s_1} + F_{s_2}] v + \frac{C f L g Q \cos \delta}{3.6} + \frac{Q H g}{3.6} \quad (5)$$

驱动电机轴所需功率 P_M 即皮带机所需正功率:

$$P_M = \frac{P_A}{\eta_1} \quad (6)$$

式中: $\eta_1 = 0.78 \sim 0.95$ 。

由于 q_{r_0} 、 q_{r_u} 、 q_B 以及 C 、 f 、 L 、 g 、 δ 、 H 、 F_{s_1} 、 F_{s_2} 在皮带机建成以后为常量, 取

$$k_1 = [C f L g (q_{r_0} + q_{r_u} + 2 q_B \cos \delta) + F_{s_1} + F_{s_2}] \quad (7)$$

$$b_1 = \frac{C f L g \cos \delta + H g}{3.6} \quad (8)$$

$$\text{可得: } P_A = k_1 v + Q b_1 \quad (9)$$

则

$$P_M = \frac{k_1}{\eta_1} v + \frac{Q b_1}{\eta_1} \quad (10)$$

令 $k = \frac{k_1}{\eta_1}$, $b = \frac{b_1}{\eta_1}$ 可得

$$P_M = k v + b Q \quad (11)$$

由式(11)可知, 当输送量 Q 一定时, P_M 与皮带机速度 v 成正比。散货码头装卸工艺主要包括进堆作业和出堆作业, 进堆或出堆时皮带机的物料主要由卸船机或堆取料机提供, 皮带机作为承载对象, 被动从卸船机或斗轮机接收物料。由于卸船量和出堆量是一定的, 因此对皮带机来说, 输送量 Q 也是恒定的。综上, 在充分保证皮带机不会由于速度与流量不匹配造成堵料或撒料的前提下, 降低运行速度可以有效节约能量消耗。

以某港务集团 C201 皮带机为例计算节能效果, C201 参数为: 模拟摩擦系数 $f = 0.027$, 皮带机长度 $L = 115.1$ m, 皮带机提升高度 $H = 10$ m, 倾角 $\delta = 16^\circ$, 设计最大运量 $Q = 4\,500$ t/h, 设计额定速度 $v = 4$ m/s。根据式(11)计算得出, 驱动 C201 皮带机电机所需功率为:

$$P_M = 21\,845v + 41Q \quad (12)$$

经计算, 与传统皮带机工频(50 Hz)运行相比, 在不同流量、不同频率下, C201 皮带机理论节能情况见表 1。

表 1 C201 皮带机理论节能情况

输送量 $Q/(t/h)$	频率/Hz	速度/ (m/s)	驱动电机 所需功率/kW	节能 百分比/%
3 000	50	4.0	210.380	0
	40	3.2	192.904	8.3
	30	2.4	175.428	16.6
2 000	50	4.0	169.380	0
	40	3.2	151.904	10.3
	30	2.4	134.428	20.6
	20	1.6	116.952	31.0
1 000	50	4.0	128.380	0
	40	3.2	110.904	13.6
	30	2.4	93.428	27.2
	20	1.6	75.952	40.8
	10	0.8	58.476	54.5
	0	0	0	100.0
0	50	4.0	87.380	0
	40	3.2	69.904	20.0
	30	2.4	52.428	40.0
	20	1.6	34.952	60.0
	10	0.8	17.476	80.0

根据表 2 数据, 绘制不同输送量下带速与节能百分比关系曲线, 见图 1。

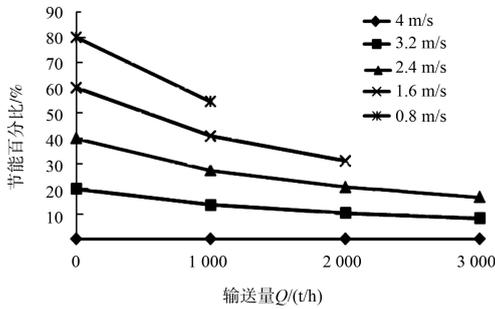


图1 不同输送量下带速与节能百分比曲线

分析图1可以得出以下结论: 1) 皮带机输送量相同时, 在保证不撒料的前提下, 降低皮带机运行速度, 可有效节约能源; 2) 皮带机流量越小, 降低皮带机速度, 节能效果越明显; 3) 皮带机空载时, 节能效果最高, 节能比 = 当前速度与
设计额定速度的比值 = $\frac{\text{当前运行频率}}{50} \times 100\%$;
4) 皮带机输送量越接近额定输送量, 降速运行, 节能效果越不明显。

散货码头在卸船清仓、装船移仓、空载启动、混配料作业时, 都处于轻载运行状态, 如果在以上工况时降低皮带机运行速度, 可有效节约能源。

2 智能调速算法研究

为了解决散货码头轻、空载工况下的节能问题, 本文提出了智能调速算法。算法核心是输送设备以源头负载(流量)为基准, 随源头负载流量变化自适应调节运行速度。当源头流量增大时, 下游输送设备自动逐级延时加快运行速度; 源头流量减小时, 下游输送设备自动逐级延时降低运行速度, 保证各级输送设备上料流均匀分布并接近额定填充率, 提高设备利用效率, 降低空载或轻载时的能耗, 使节能效果最大化。

2.1 全变频调速响应时间计算算法

智能调速算法对系统实时性要求很高, 当源头物料流量增大时, 皮带机如果响应不及时, 加速太慢, 则大流量的物料落下时, 皮带机不能及时将物料运走, 势必造成皮带机落料位置的堵料、撒料。但如果物料流量增大时, 响应时间过快, 变频器输出频率改变过快, 则影响系统工作的连

续性。因此必须对全变频调速响应时间做出科学计算, 以提高系统的实时性。

本系统建立了如下方程来计算各级皮带机的响应时间:

$$t_d = \frac{L}{v_u} + \frac{S}{Q_u} \quad (13)$$

式中: Q_u 为上游皮带机瞬时流量; v_u 为下游皮带机运行速度; L 为上游皮带机缓冲距离; S 为落料口/缓冲仓容量。

2.2 全变频调速速度与流量匹配算法

皮带机的最大输送能力是由带上物料的最大截面积、带速和设备倾斜系数决定的。在皮带机最大输送能力一定时, 如果运行速度较低, 但物料流量较大时, 则可能实际物料界面超过输送带上物料的最大截面积, 此时, 物料就会撒出。所以全变频调速时速度与流量匹配尤其重要, 本系统依据不同速度时均保证皮带机额定填充率原则, 来计算不同流量时皮带机的最佳匹配速度。因为只有到达额定填充率时, 皮带机的效率最大, 节能效果最显著。计算公式如下:

$$v = \frac{Q}{Q_{\max}} \cdot v_{\max} \quad (14)$$

式中: Q 为物料流量(t/h); Q_{\max} 为皮带机设计最大运量(t/h); v 为计算带速(m/s); v_{\max} 为设计最大带速(m/s)。

2.3 全变频调速算法

该算法要求当物料源头皮带秤检测到来料发生变化时, 为了防止堵料, 下游皮带机按照响应时间和匹配速度, 逐级做出调节运行速度。

以某港3#斗轮机装车流程(3#斗轮机→B103→C101→C201→C301→装车楼)为例, 介绍智能调速算法的计算过程, 见图2。

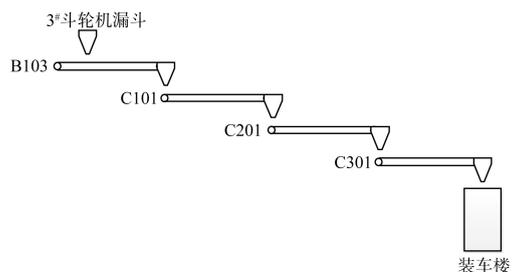


图2 装车流程

3[#]斗轮机机上皮带装有皮带秤, 用来测量斗轮机取料的流量和累积量, 斗轮机下皮带 B103 和其它下游皮带以该流量作为调速依据。当斗轮机皮带秤流量加大/减小时, B103 延迟一段时间 t 后 ($t=t_d$, 按 2.1 计算) 按照匹配速度加速/减速运行, 下游皮带 C301、C201、C101 依次按相应的响应时间和匹配速度调节运行速度。调速流程见图 3。

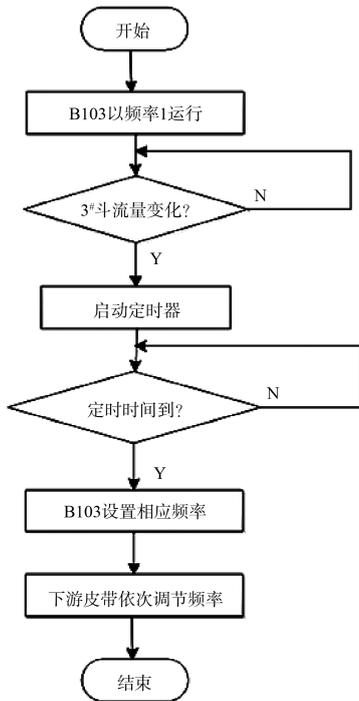


图 3 调速过程

3 节能效果

该技术在某港口投入运行以后, 仅 2014 年, 节约电能 136 万 kW·h, 节约成本 147 万元。

1) 智能化全变频节能技术未投入运行时能耗情况。2013 年试运行期间, 智能化全变频节能

技术尚未投入运行, 带式输送机均采用工频运行时, 年装卸量为 8 010 257.44 t; 年耗电量为 3 465 251.57 kW·h。可得单位能耗为 0.432 6 kW·h/t。

2) 智能化全变频节能技术投入后能耗情况。2014 年智能化全变频节能技术实际投入运行, 全年装卸量为 22 411 116 t; 年耗电量为 8 330 392.23 kW·h。可得单位能耗为 0.371 7 kW·h/t。

3) 年省电量。年省电量 = 单位输送量节电量 × 项目实施后年度输送量 = 1 364 837 (kW·h/t)

4) 年节约成本。按照工业用电 1.08 元/(kW·h) 计算, 节约成本 1 474 023.96 元。

4 结论

1) 在满足皮带机承载力的前提下, 降低运行速度可降低能源消耗。

2) 结合散货码头装卸工艺提出了智能化全变频节能算法, 使皮带机速度与流量做到最佳匹配, 大大提高了皮带机的工作效率。

3) 该算法已成功应用于某港口, 经实际运行检验, 年节电率 14.1%, 节能效果显著。

参考文献:

- [1] 韩力. 变频调速技术在带式输送机中的节能应用研究[J]. 神华科技, 2009(10): 94-96.
- [2] 李丹丹. 港口皮带机传输系统节能技术的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010: 12-16.
- [3] 北京起重运输机械研究所. DT II (A) 型带式输送机设计手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

振华重工签约世界最大起重能力风电安装船

2016 年 12 月 23 日, 龙源振华 2 000 t 海上风电安装船项目签约仪式在振华重工总部举行。

此次签约的龙源振华 2 000 t 风电安装船将由振华重工自主设计制造, 船长 100.8 m、型宽 43.2 m、型深 8.4 m、起重能力高达 2 000 t, 是目前世界起重能力最大的风电安装船, 具有自带翻桩功能、起重机臂架采用包容式节点等十大创新技术。该项目的签约, 实现了振华重工与国电融资租赁公司、龙源振华三方的资源共享和优势互补。

http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/jcxw/jx/201612/t20161226_87099.html (2016-12-26)