

燃煤火力发电厂皮带液压张紧系统故障分析

翁春华

(厦门华夏国际电力发展有限公司,福建 厦门 361026)

摘要:为了解决带式输送机自动液压张紧系统工作的不稳定性问题,首先通过对火力发电厂在用的皮带张紧系统工作过程进行分析,明确了液压张紧系统的工作原理和优势,探讨了电—液联合控制在皮带张紧应用上的本质联系;然后解析了液压张紧系统的缺点,根据实际出现的不同故障,提出了具体故障检测和处理方法;最后对液压自动张紧系统提出了综合改进对策。实践结果表明,所提出的故障处理方法和改进对策能够有效提高带式输送机运行的安全可靠。

关键词:燃煤火力发电厂;带式输送机;液压自动张紧系统;缺点分析;故障分析;改进对策

中图分类号:TH222;TH137.9;TP273.06

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)11-0021-06

Malfuction analysis of hydraulic belt tensioning system in coal-fired power plant

WENG Chun-hua

(Xiamen Huaxia International Power Development Co., Ltd., Xiamen 361026, China)

Abstract: In order to solve the problems of instability in hydraulic automatic tensioning system for belt conveyor, after the analysis of the working process about being used hydraulic tensioning system for belt conveyor in power plant, the workings and the advantage were firstly established. The essential relation of electro-hydraulic control in the application of belt tension was discussed. Then, the disadvantages of hydraulic system were parsed, according to the different current malfunctions, methods of diagnosis analysis and disposal were provided. The integrative improvement countermeasure on the hydraulic automatic tensioning system was provided lastly. The experimental results show that methods of malfunction disposal and improvement countermeasure can effectively enhance the security and reliability of working belt conveyor.

Key words: coal-fired power plant; belt conveyor; hydraulic automatic tensioning system; disadvantage analysis; malfunction analysis; improvement countermeasure

0 引 言

带式输送机是以输送带作为牵引机构和承载机构的一种连续运输机械,它是输送散状物料的主要设备之一,广泛运用于燃煤火电厂、煤矿、矿山和港口等场合。张紧装置作为带式输送机中的重要组成部分,其性能的好坏直接关系到带式输送机的安全经济运行及使用寿命,特别在大运量、长距离等大型带式输送机的正常运行中,它的重要性更加突出^[1]。液压自动张紧系统在输煤皮带上的应用日臻广泛,它不但能根据主

动滚筒的牵引力来自动调整拉紧力,而且还能补偿胶带的伸长。在张力传感器的配合下,当输送皮带张力发生变化,超过输送机正常运行的范围时,自动张紧装置迅速动作,调整输送带张力,保证输送机正常运行。这种拉紧装置可以很好地适应皮带张力的变化,延长了皮带的使用寿命,提高了工作效率,保证了皮带机的安全运行^[2]。

笔者通过对在用的皮带液压自动张紧系统存在的缺陷进行分析研究,不断完善和改进系统工作的安全可靠。

1 燃煤火电厂输煤系统皮带拉紧系统简介

1.1 皮带拉紧装置的分类

带式输送机拉紧装置的结构形式很多,按其工作原理不同,常见的拉紧装置有螺旋拉紧装置、重力拉紧装置、固定绞车拉紧装置、自动拉紧装置等^[3]。

(1) 螺旋拉紧装置。螺旋拉紧装置适用于短距离输送机,当皮带机的长度小于 80 m 时,由于皮带伸长量不大,可以选用它。缺点是当胶带自行伸长后,不能自动拉紧。

(2) 重力拉紧装置。重力拉紧装置结构简单,是一种比较原始的拉紧装置。它利用重锤来自动拉紧,能保证拉紧力在各种工况下保持恒定不变,拉紧位移可变,能适当自动补偿胶带的伸长。重力拉紧装置的缺点是拉紧力不能调节,空间要求大,在空间受限制的地方,无法使用。

(3) 固定绞车拉紧装置。固定绞车拉紧装置利用小型绞车来拉紧,绞车用蜗轮蜗杆减速器带动卷筒来缠绕钢绳,从而拉紧胶带。这种拉紧装置的优点是体积小、拉力大;缺点是拉紧力不能自动调节,当绞车和控制系统出现问题时,会导致拉紧力失效,其安全性相对较低。

(4) 自动拉紧装置。在长距离、大运量皮带机传输系统里,胶带长度的延长和整芯胶带的使用使胶带的伸长量急剧增加,以前大量使用的钢丝绳芯胶带其伸长率为 1‰,而阻燃整芯胶带的伸长率为 1%,整整提高了十倍,因而对拉紧装置的行程和拉力提出了更高的要求,基于检修和运行的安全性考虑,传统的皮带拉紧装置已经适应不了 500 m 以上皮带张紧要求。典型的利用液压拉紧装置的皮带机布置图如图 1 所示。

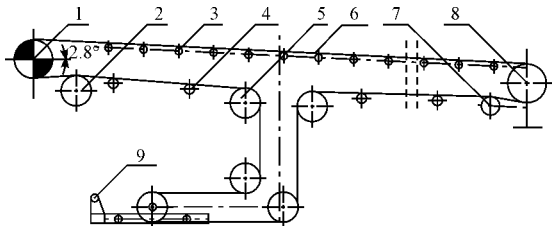


图 1 带式输送机布置图

1—驱动滚筒;2—头部增面滚筒;3—上托辊;4—下托辊;
5—拉紧滚筒;6—皮带;7—尾部增面滚筒;8—尾部改向滚筒;
9—液压拉紧小车

1.2 皮带输送机三种状态的特性分析

(1) 启动时。皮带启动时松边瞬间松弛,皮带会

伸长^[4],此伸长量需要补偿,不然会造成启动不平稳,对胶带损伤大,甚至使张紧装置失效而产生事故。启动是个加速过程^[5]。

(2) 正常运行时。皮带正常运行时必须保持足够张紧力,以保证皮带与滚筒、托辊等有足够的摩擦力,否则运行中容易跑偏、打滑。皮带正常运行时是个匀速运动过程。

(3) 停机时。皮带停机时与启动时工况相反,胶带会缩短,此缩短量也需要得到补偿,否则,胶带处于过度张紧状态,使用寿命会降低,拉紧装置若不能起到缓冲作用,将对皮带驱动系统、滚筒、皮带本身、滑轮、钢丝绳等部件造成很大冲击,不但影响皮带使用寿命,安全生产也受到考验。停机是个减速过程。

1.3 三种状态的的关系

一般情况下,启动时皮带的松边张力是稳定运行时的 1.4 ~ 1.5 倍;停机时的张紧力是稳定运行时张紧力的 0.9 倍左右。

2 液压张紧装置的优点和工作原理

2.1 皮带液压张紧装置的优点

基于对几种拉紧装置的对皮带输送机 3 种状态的特性分析,可以看出皮带液压张紧装置具有以下几点显著的优点^[6-9]:

(1) 张紧力可自动调节。针对皮带机的工况及对皮带张力的不同要求,可以自动调节皮带机启动时和稳定运行时的拉紧力,完全可以达到启动时的拉紧力比稳定运行时的拉紧力大 1.4 ~ 1.5 倍的要求,以满足皮带启动时不发生打滑及胶带正常运行对张紧力的不同要求。

(2) 响应快。皮带机启动时,皮带的松边会突然松弛伸长,此时液压张紧系统在压力变送器和在蓄能器的共同作用下,液压张紧油缸能立刻收缩活塞杆,及时补偿皮带的伸长量,减小了皮带松边对紧边的冲击,不但使得皮带机启动平稳、安全,而且较好地保护了皮带,可减少断带事故的发生。

(3) 适应性强。与普通拉紧装置相比,液压拉紧装置可提供较大的拉紧力(可达 600 kN)和拉紧行程(最大可达 24 m),适应范围广,可满足各种大型带式输送机对拉紧系统的要求。

(4) 安全可靠。当皮带发生断带或撕裂等意外情况时,液压拉紧系统能立即停机,避免了普通拉紧装置配重从高处坠落对人身和设备造成的伤害;当输送机皮带出现打滑现象时,液压拉紧装置能自动增加

拉紧力,实现皮带自保护功能;当皮带需要更换时,只需把液压系统卸压就可以实现放松皮带,无需繁杂危险的拉放配重工作。

2.2 皮带液压张紧系统工作原理

2.2.1 皮带液压张紧装置液压系统

以厦门华夏国际电力发展有限公司嵩屿电厂输煤系统#11 皮带液压张紧系统为例,#11 皮带液压张紧系统工作原理图如图 2 所示。它由拉紧小车、液压油缸、电磁球阀、压力表、压力变送器、蓄能器、液控单向阀、比例溢流阀、电磁/手动换向阀、液压泵、电动机构成液压系统。其中张紧小车的最大张紧力为 10 kN,张紧小车最大行程为 6 m。该液压系统采用比例溢流阀,比例溢流阀用于控制执行元件的输出力和输出扭矩,它具有比普通溢流阀更强大的功能:①构成液压系统的恒压源,改变控制信号,可无级调节系统压力,且压力变化平稳,对系统的冲击小,还可根据工况改变系统压力;②将控制信号置为零,即可实现卸荷的功能;③通过合理调节控制信号的幅值可获得液压系统的过载保护功能。该系统使用蓄能器,以实现提供瞬时能量、吸收脉动和压力冲击,同时保持恒定张紧力。

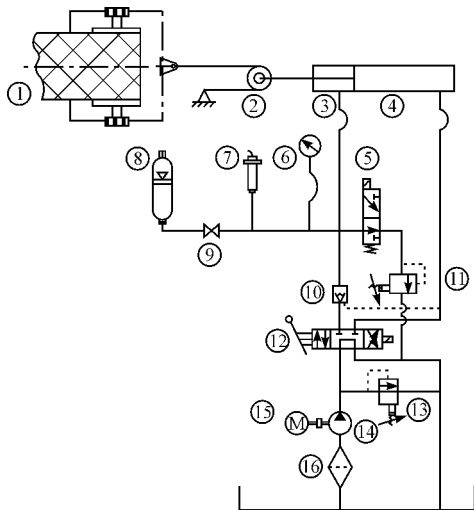


图 2 #11 皮带液压张紧系统工作原理图

1—拉紧小车;2—油缸滑轮;3—高压胶管;4—液压油缸;5—电磁球阀;6—压力表;7—压力变送器;8—蓄能器;9—蓄能器截止阀;10—液控单向阀;11、13—比例溢流阀;12—电磁/手动换向阀;14—液压泵;15—电动机;16—滤油器

2.2.2 液压张紧装置电气控制系统

该系统由 PLC 实现电—液联合控制,并且与输煤远程程控 PLC 连锁。该液压拉紧系统的 PLC 程序设计流程图如图 3 所示,#11 皮带液压张紧系统程序原理图如图 4 所示。B08 可以设定启动压力,启动压力上限 = 启动最高压力,启动压力下限 = 工作压力上限,它们的关系

为:启动压力上限 = 工作压力上限 × 1.4;B06 可以设定工作压力,工作压力上限 = 启动压力下限,工作压力下限 = 工作压力上限 × 0.9;B17 可以设定报警压力,报警压力上限 = 工作压力下限,下限比上限稍微小。

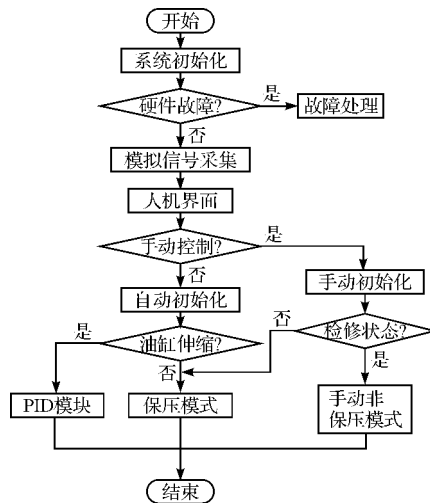


图 3 液压拉紧系统 PLC 程序设计流程图

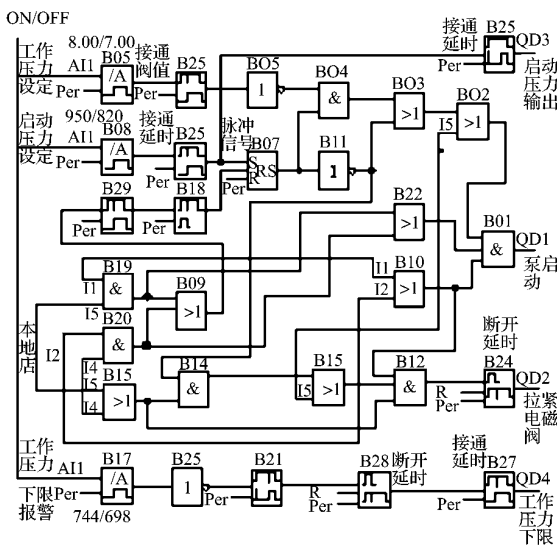


图 4 #11 皮带液压张紧系统程序原理图

2.2.3 液压张紧系统工作过程

该液压拉紧系统设有自动、手动两种工作模式。在自动模式下工作过程:输煤远程程控 PLC 发信号给电控箱,电磁球阀 5 得电吸合截止,三位四通电磁/手动换向阀 12 打在左位,启动电机,带动油泵运转,系统压力上升至皮带启动设定值,压力变送器 7 指示电控箱自动停止油泵电机,电控箱向输煤远程 PLC 反馈信号启动皮带,皮带启动加速运行;当皮带正常匀速运行时,电磁球阀 5 失电常开,通过溢流阀 11 的调压和蓄能器 8 的保压功能,保证液压系统压力降低至工作压力设定的范围内;由于液压系统存在泄漏,压力将逐渐下降,蓄能器 8 将补偿系统压力,当压力降至工作压

力下限报警设定值时,如果蓄能器不足以补偿系统正常运行所需压力,压力变送器 7 向电控箱发信号,电控箱指令油泵电机重新启动运行,使系统压力重新稳定在工作压力设定范围内,如此循环工作。由此可见,系统压力始终稳定在工作压力设定范围内,从而保持皮带张紧力处在“压力正常”范围;当皮带运行中出现打滑时,由输煤系统远程 PLC 根据速度保护的动作情况通过通讯线传送到电控箱,电控箱控制油泵自动上升压力;当皮带出现断裂时,压力变送器 7 检测到系统瞬间失压并通过电控箱反馈给输煤系统远程 PLC,实现皮带自动停机。

当自动模式因故不能实现或系统需要检修时,采用手动模式。手动模式在正常工作状态下,三位四通电磁/手动换向阀 12 仍然打在左位,在蓄能器和溢流阀的维持下可以实现保压功能,但因无法与远程实现通讯,故不具备远程监测和断带保护功能;手动模式在检修状态下,蓄能器的截止阀 9 应截止,三位四通电磁/手动换向阀 12 打在右位,系统压力可以强制卸荷,活塞杆被强制拉伸。

3 原张紧系统故障分析

3.1 液压张紧系统存在问题

虽然#11 皮带液压拉紧系统在设计上有其科学先进性,但经过实践检验后进行分析,还是存在一些需要改进的功能:

(1) 系统无法实现皮带停机后的张紧力控制。皮带机停机后,输煤系统远程 PLC 通常指令液压站电控箱也处于停机模式,就算系统压力降到报警值也对其放任不管,油泵不执行启动补偿压力。如果皮带机在较长时间不用时,系统压力在蓄能器短时间的维持后将不再保压,有时甚至由正常工作压力 10 MPa 下降到 2 MPa,直至下次皮带启动时系统重新建立张紧压力,这样将导致油缸频繁性大行程伸缩,一方面将缩短油缸及密封圈的使用寿命,另一方面造成皮带机工作时和停机时张力突变过大,无法保证相对稳定的恒张力,对皮带的使用寿命也有影响。

(2) 系统没有油缸行程的保护功能。油缸受到工艺限制,其行程不可能很大,设计时所留的裕度不可能很多,但皮带的伸长率不仅与材质有关,而且与皮带本身老化的程度有关,另外还受到季节性变化温度的影响。液压系统有时受到内外因素的扰动从而使系统压力无法按照预设的压力条件正常工作,比如压力变送器或溢流阀等故障导致系统超压,油缸将超行程收缩,

这样可能会对油缸产生破坏性的损伤,也可能造成皮带因超张力而断裂。另外,在皮带断裂时,当液压拉紧系统与输煤远程 PLC 通讯出现故障或压力变送器失灵时,可能会出现液压缸超限收缩而皮带没有停机的情况,因此,系统没有油缸极限行程的保护功能,也没有皮带断裂时二次保护停机功能。

(3) 系统没有故障情况下的应急保障功能。在液压张紧系统出现故障而无法正常工作张紧皮带时,皮带机将处于丧失输送能力的状态,修复液压系统的故障有时需要较长的时间,在燃煤火力发电厂发电任务紧张时,关键输煤皮带的故障有时会导致机组锅炉断煤而被迫停机,给发电厂的安全经济生产造成危害。因此,该系统还需要一个在液压张紧出现故障时替补的拉紧皮带装置,保证能够在紧急情况下应急张紧皮带。

3.2 液压张紧系统故障分析

正因为该拉紧系统存在以上缺点,所以在实际使用过程中频繁出现了一些影响安全生产的故障。

(1) 起动后无压力或压力调不上去。这种故障是液压系统的通病,就本液压系统而言,产生这一现象可能的原因有如下几种:三位四通电磁/手动换向阀 12 没有动作;溢流阀 11 或 13 卡涩,起不到调压功能;液压油泵 14 的旋向不对。解决的方法应该对症下药,通常,除了解决油泵正确的转向外,清洗阀件,保持液压油的清洁是很好的措施,这样,就要求整个液压泵站要有良好的密封,防止煤粉污染液压油系统,且应定期更换液压油,更换时应该进行严格的过滤,并按要求的液位加油。

(2) 高压报警失效油泵长时间运转。嵩屿电厂#11 皮带液压拉紧系统就曾经产生这一现象:系统正常稳定运行的压力整定在 9 MPa ~ 13 MPa,当压力升到 13 MPa 启动压力上限时,油泵本该停止,但是系统压力一直飙升到 18 MPa 油泵也不会停止。在对系统故障排查时发现启动溢流阀 13 和工作溢流阀 11 整定压力过高,导致系统产生高压,失去对液压系统的管路与阀件的保护功能;压力变送器 7 受到通讯信号线的干扰导致无法正常报警停止油泵工作。处理这个故障时,首先要把工作溢流阀和启动溢流阀的整定压力降至正常的报警压力值,保证保护液压系统的管路和阀件不会因系统压力过高而损坏,然后检查压力变送器的电接点等控制线路。

(3) 系统有时无法保压而频繁启动。这种故障是液压系统的难点,解决该问题则是保证系统安全可靠性的重点。以嵩屿电厂#11A/#11B 皮带液压拉紧系统为例,在投运的初期,经常性出现这种故障,严重影响

皮带机的正常工作。后来,经过技术攻关,成功解决了该问题。其分析过程如下:

由液压油缸 3,蓄能器 8,溢流阀 11,电磁/手动换向阀 12,电磁球阀 5,液控单向阀 10 构成的工作保压回路里,可能出现的故障点是:油缸密封圈老化或性能不佳导致严重内泄漏,这是常见问题;换向阀内泄漏;液控单向阀内泄漏;蓄能器的充气压力不足或气囊损坏。根据这些因素分析,对两套液压张紧系统进行全面的排查,发现以下隐蔽问题:#11A 皮带液压拉紧系统在用压力表检测气囊压力时显示只有 2 MPa 的压力(正常充气压力为 6.5 MPa ~ 7 MPa),并且伴有压力油从开关口冲出,初步判定为气囊破裂,更换气囊并重新充氮气至要求压力后,系统恢复正常保压功能。#11B 皮带液压拉紧系统通过与#11A 相同的排查后,其结果表明气囊压力正常,在排除了油缸密封圈和换向阀故障点后,大胆尝试对液控单向阀进行清洗,系统保压功能恢复正常。

4 液压张紧系统改进对策

根据#11 皮带液压拉紧装置存在缺点和常见故障的分析,为了提高系统工作的安全可靠,本研究提出了如图 5 所示的改进措施。与图 2 相比,改进后的液压拉紧系统有如下特点:

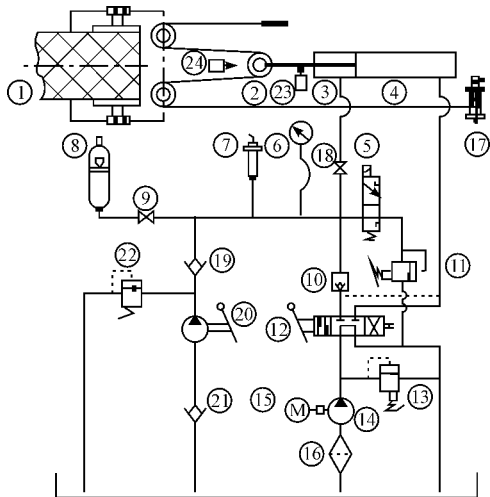


图 5 改进后皮带液压张紧系统图

1—拉紧小车;2—油缸滑轮;3—高压胶管;4—液压油缸;5—电磁球阀;6—压力表;7—压力变送器;8—蓄能器;9—蓄能器截止阀;10—液控单向阀;11、13—比例溢流阀;12—换向阀;14—液压泵;15—电动机;16—滤油器;17—电动绞车;18—常开应急截止阀;19、21—单向阀;20—手动油泵;22—溢流阀;23、24—油缸伸缩行程限位开关

(1) 增设了手动泵强制应急压力补偿回路。由常

开应急截止阀 18,单向阀 19、21,手动油泵 20,溢流阀 22,构成了手动泵强制应急压力补偿子回路。增设该子回路的目的是为了在液压油泵或马达出现故障无法给液压系统提供压力而皮带需要正常工作情况下应急设置的,手动油泵 20 在溢流阀 22 的配合下,可以手动给系统补偿所需压力,在紧急情况下保证皮带正常的张紧。另外手动泵子回路可以作为备用系统,在液压系统维修时,由备用系统对输送带进行张紧,常开应急截止阀 18 暂时关闭,可保证不停机实现检修和维护。因此,增设手动泵子回路可以大大提高皮带液压张紧系统的稳定性和可靠性。

(2) 增设了电动绞车装置。液压油缸密封圈内泄漏严重时,就算手动液压油泵子回路紧急投入也无济于事,导致整个皮带液压拉紧装置处于瘫痪的紧急情况出现,这就需要一种类似机械拉紧小车并能够暂时取代液压拉紧油缸功能的装置。增设电动绞车 17 就是基于这种状态考虑的^[10]。

电动绞车的控制回路也包括自动与手动方式。在自动模式下,电动绞车的控制回路与液压拉紧系统油泵电机连锁,其工作过程如下:皮带启动时,电磁球阀 5 得电截止,液压张紧系统工作的同时打开电动绞车制动器,液压张紧系统把皮带张紧至启动所需的张力值,并向输煤系统远程 PLC 发出皮带电机可以启动的信号,皮带加速运转,当皮带正常匀速工作时,一般以时间继电器给触发信号,电控箱 PLC 延时控制电磁球阀 5 使其失电常开,在工作溢流阀 11 的调压作用下,系统压力降低至设定的工作压力值,皮带张力降低到匀速运转时所需的张力值,PLC 自动停止油泵电机,并制动电动绞车,保持皮带恒定的张力。在皮带机正常运转过程中,如果皮带张力降低到匀速运转即工作压力下限,PLC 发出信号重新启动液压系统,电动绞车的制动器也同时打开,调整皮带张力达到所要求的张力值,张力调整结束后,油泵电机自动停止并制动液压绞车。在这个过程中,电动绞车可以根据压力变送器的信号适当收放少量钢丝绳。

在手动模式下,电动绞车参与工作,根据需要手动操作电动绞车,使其收放钢丝绳至皮带张紧要求拉力,然后制动电动绞车。

(3) 增设了油缸伸缩行程极限限位保护开关。在油缸活塞杆伸缩距离两头各装有 1 只行程开关。液压油缸活塞杆收缩行程限位开关 23 的作用是防止油缸活塞杆过量收缩导致活塞或密封圈损坏。当皮带断带、伸长量过大或者系统出现超高压时,压力变送器检

(下转第 32 页)

机,作为动力源取代电机,避免直接排空或不合理的资源浪费。

随着化工、炼油、石油化工、冶金、轻工和纺织等工业的发展,以及节约能源的需要,工业汽轮机将得到更广泛的应用。随着石油化工等生产流程系统向大型、高效方向发展,工业汽轮机的蒸汽参数和功率等级范围也将相应地提高。为了更好地节约能源,合理利用品位较低的余热,开发利用蒸汽或其它工质的小型工业汽轮机将会日益受到重视。

参考文献 (References) :

[1] 张 军. 工业汽轮机的广泛应用[Z]. 乌鲁木齐:八钢学习与创新,2008.

[2] 张 强. 汽轮机拖动空压机运行可行性分析报告[R]. 乌鲁木齐:工程设计分析报告,2007.

[3] 程 周. 电机拖动与电控技术[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

[4] HOCHART C, GUY F, JEAN P. Wind turbine performance

under icing conditions[J]. **Wind Energy**, 2008, 11(4): 319 - 333.

[5] 张 强. 电机拖动空压机运行可行性分析报告[R]. 乌鲁木齐:工程设计分析报告,2007.

[6] MARTINEZ E, SANZ F, PELLEGRINI S. Lifecycle assessment of a multi-megawatt wind turbine[J]. **Renewable Energy**, 2009, 34(3): 667 - 673.

[7] 哈尔滨工业大学《节能技术》编辑部. 节能技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1983.

[8] MECROW B C, JACK A G. Efficiency trends in electric machines and drives[J]. **Energy Policy**, 2008, 36(12): 4336 - 4341.

[9] 张 强. 汽轮机与电机投资报价书[Z]. 乌鲁木齐:工程设计投资分析报告,2007.

[10] 朱红永. 基于 555 定时器的三相异步电动机电子控制设计[J]. 现代制造技术与装备, 2009(1): 19 - 21.

[11] 胡 静, 丰宋波. 三相混合式步进电机驱动器设计[J]. 机电技术, 2010(2): 70 - 72.

[编辑:张 翔]

(上接第 25 页)

测到系统压力下降,将自动启动油泵进行压力补偿,油缸活塞收缩,直到触动限位开关 23,液压油泵电机将自动断开,保证油缸不继续收缩,并把信号反馈至输煤系统远程 PLC,实现皮带保护性停机。液压油缸拉杆拉伸行程限位开关 24 的作用是防止油缸活塞拉杆过量拉伸,当液压系统出现严重故障系统无法建立压力时,活塞拉杆将被拉伸,直到触动限位开关 24,输煤系统远程 PLC 接收到停机信号后紧急停机,达到既保护油缸又保护皮带的目的。

5 结束语

笔者以厦门华夏国际电力发展有限公司嵩屿电厂输煤系统#11 皮带液压拉紧系统为例,对燃煤火力发电厂输煤系统拉紧装置进行比较,阐述了皮带输送机加速启动、匀速正常运行和停机三种状态的特性及其相互关系,把皮带液压拉紧系统的液压回路和电气控制相结合,介绍了其工作原理和工作过程,突出了皮带液压拉紧系统的优势,并详实地分析了液压系统存在的缺点与故障,并提出了具体可行的改进措施,以完善和提高皮带液压拉紧系统的安全可靠性。该研究对已经使用皮带液压拉紧系统和即将引进该系统的同行具有一定的参考价值。

参考文献 (References) :

[1] LODEWIJKS G. Two decades dynamics of belt conveyor systems[J]. **Bulk Solids Handling**, 2002, 22(2): 124 - 132.

[2] 黄东东. 皮带机液压自动张紧装置结构和液压系统设计[D]. 安徽:安徽理工大学机械工程系,2007:7 - 24.

[3] 李福霞. 长距离带式输送机自动张紧装置的研究[D]. 西安:西安科技大学机械工程学院,2009:17 - 63.

[4] NORDELL L K, COIZDA Z P. Transient belt stresses during starting and stopping: elastic response simulated by finite element methods[J]. **Bulk Solids Handling**, 1984, 1(1): 93 - 98.

[5] HARRISON A. Simulation of conveyor dynamics[J]. **Bulk Solids Handling**, 1996, 16(1): 43 - 49.

[6] GB50431—2008 带式输送机工程设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008.

[7] 吴春信,薛本峰. 带式输送机输送带的张紧与张紧装置[J]. 煤矿机械, 2004(8): 91 - 93.

[8] 王建生,杨寅威,黄嘉兴,等. AHD 型带式输送机全自动液压张紧装置[J]. 矿山机械, 2007, 35(2): 79 - 80.

[9] 陈兴根,潘 骏,陈文华,等. 电液伺服机构故障树分析[J]. 机电工程, 2009, 26(4): 25 - 27.

[10] 侯 波. 带式输送机液压张紧装置设计探讨[J]. 煤炭工程, 2008(1): 23 - 24.

[编辑:张 翔]