

煤矿立井装载用板式定量输送机技术研究

刘竞雄 尚仕波 席启明 袁 华

(天地科技股份有限公司 北京 100013)

摘 要: 根据我国西部地区大型和特大型矿井建设需要,为提高50 t级箕斗装载的自动化、智能化水平,在分析现有装载方式使用情况及存在问题的基础上,提出国内首套50 t煤矿立井装载用板式定量输送机装载的方案,并对工艺流程和整机结构、链轮链条等关键部件可靠性、称重元件配置和计量精度、变频驱动智能调速控制等关键技术进行研究。研究表明,板式定量输送机装载速度连续可调,最大可达1.4 m/s,装载时间不大于40 s,满足50 t级箕斗装载的要求。研究结果为样机试制奠定基础,并为千万吨级安全高效立井开采矿井装载系统设计提供参考。

关键词: 板式定量输送机; 输送链; 箕斗; 装载方式

中图分类号: TD528

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2016)01-0161-05

Research on technology of plate type quantitative conveyor for mine shaft loading

Liu Jingxiong, Shang Shibo, Xi Qiming, Yuan Hua

(Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: According to the construction needs of the large and extra large mine in the western region of China and in order to improve the automation & intelligent level of 50 tons skip's loading, based on the existing shaft loading patterns and usage, a loading program with the first set measuring conveyor was proposed and its key technologies were researched, such as the whole structure, the key components chain sprockets design, precision weighing and measuring devices, automatic mode with a intelligent speed-regulation system of frequency conversion technology and others. The theoretical analysis showed that loading speed continuous operation and up to 1.4 m/s, the loading time less than 40 s, met the requirements of 50 tons skip's loading. These results laid the foundation for the prototype trial and provided reference for the shaft loading system design of ten-million ton level mine.

Key words: plate type quantitative conveyor; conveyor chain; skip; loading method

0 引 言

煤矿生产要求各生产环节相互配套,特别是矿井提升系统的安全、可靠运行对矿井的安全高效生产十分重要。主井箕斗装载系统与提升系统配套,其生产能力和设备状况直接关系到矿井安全生产和效益的提高,因此装载方式和装载设备的选择很重要^[1]。箕斗的装载方式主要有定量斗和定量输送机2种,定量输送机又分为定量板式定量输送机和定量带式输送机^[2]。现代化煤矿生产能力的不断扩大要求主立井所使用的提升容器不断加大^[3],目前已逐渐形成了20~50 t系列立井大型箕斗,大同

煤矿集团麻家梁煤矿的45 t箕斗已成功应用投产^[4],矿井的生产能力和经济效益显著提高。但随着箕斗的增大,采用定量斗方式装载时相应的装硐室高度高,施工周期长,支护难度大,对于软岩层或奥陶纪含水层浅的矿井尤为突出。板式定量输送机具有显著降低硐室高度的优点,德国研制出第1台板式定量输送机并得到了广泛的应用^[5],国内也进行了引进和开发。开滦集团钱家营煤矿^[6]、潞安集团常村煤矿^[7]和屯留煤矿^[8]分别引进德国板式定量输送机,文献[6~9]等对钱家营煤矿的称重系统进行改造。董一良^[10]、余梦桐等^[11-12]分别设计制造了25、32 t样机并在永城陈四楼煤矿、开滦吕家

收稿日期: 2015-07-29; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.01.027

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA06A404)

作者简介: 刘竞雄(1969—),男,重庆人,研究员,硕士,现任天地科技股份有限公司高新技术事业部副总经理。E-mail: tdgx3032@sina.com

引用格式: 刘竞雄,尚仕波,席启明,等.煤矿立井装载用板式定量输送机技术研究[J].煤炭科学技术,2016,44(1):161-165.

Liu Jingxiong, Shang Shibo, Xi Qiming et al. Research on technology of plate type quantitative conveyor for mine shaft loading[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 161-165.

吨煤矿进行了试验和应用。国内学者采用加密托辊的方法,利用输送带承载,研制了带式定量输送机,应用到龙煤鸡西公司荣华立井^[13]和平煤十三矿的改造^[14]。综合比较起来,板式定量输送机是除定量斗外应用最广的装载方式,但受国内制造水平限制、国外引进设备价格昂贵以及在部分矿井使用中存在缺陷等多方面影响,在国内没有大范围推广。国家西部大开发“十二五”规划中提出“重点建设一批现代化露天煤矿和千万吨级安全高效矿井”,针对西部地区矿井的特殊地质条件和为实现装载技术装备的自动化、智能化,国家高技术研究发展计划(863计划)“特大型矿井提升系统关键设备的研制”课题提出将“板式定量输送机定量装载技术研究”作为关键任务进行研究,以期重新认识和探讨主井箕斗的板式定量输送机装载方式。

1 立井箕斗装载系统规范要求

立井开采生产流程如图 1 所示,立井箕斗装载系统将井下煤仓的原煤装入立井提升箕斗中。为保证矿井安全高效生产,对装载系统的运行时间提出了如下的要求:一是在箕斗提升过程中,装载系统要完成煤的计量与储存;二是箕斗到位后,装载系统在箕斗休止时间内要完成启动、加速、运行等装载过程。

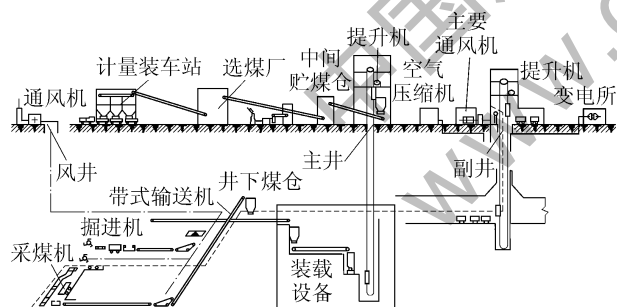


图 1 立井开采生产流程示意

Fig. 1 Production process of vertical shaft mining

装载在箕斗的休止时间范围内完成,根据《煤炭工业矿井设计规范》的规定“标称容量 6 t 及以下箕斗提煤的休止时间宜为 8 s; 8 ~ 9 t 箕斗宜为 10 s; 12 ~ 30 t 箕斗可按每吨 1 s 计算; 30 t 以上箕斗以及特制靠外动力卸载的箕斗,应按有关设备部件环节联动时间计算确定”。需根据井筒深度、提升速度、箕斗运量选取箕斗的装载速度^[15]。装载设备与箕斗常采用一对二的安装方式,即采用一套设备装载通过分岔溜槽装 2 个箕斗。一对二布置的双箕斗

提升时,装载和卸载时间之和不得大于一次净提升时间的 85%,超过者需选用 2 台板式定量输送机装载,即采用一对一布置。

2 板式定量输送机组成

板式定量输送机的关键在于采取合适的驱动方式实现慢速动态计量和快速装载 2 个过程,为了满足实际工况要求,必须提高计量精度和设备可靠性,逐步实现控制系统的自动化、智能化,以降低维护成本、减少装载误差。

由板式定量输送机、板式给料机及配套的闸门等组成的箕斗装载系统包括井底煤仓闸门、平板分配闸门及分叉溜槽。因采用水平布置,降低装载硐室高度,减轻了井壁承载能力,减小了井筒深度和提升高度,降低了土石方开采量和矿建工程量,节约了施工成本,缩短建设周期^[16]。

板式定量输送机布置如图 2 所示,当箕斗在井上卸载完毕向井下运行,一定延时后板式定量输送机慢速启动,井底煤仓大闸门打开向板式定量输送机装煤,在箕斗提升时间内装载到额定质量后,板式定量输送机的称重传感器发出信号关闭闸门,板式定量输送机低速运行等待箕斗到位,此时分料闸门动作,开通当前装载箕斗分叉溜槽通路。箕斗到位后发出到位信号,检测到分料板到位后板式定量输送机加速,快速向箕斗装煤,在休止时间内将板式定量输送机上的煤向箕斗装载。装载完成后称重传感器发出信号箕斗上提,板式定量输送机转入慢速运行,等待下一箕斗装载,完成下一个循环^[17]。

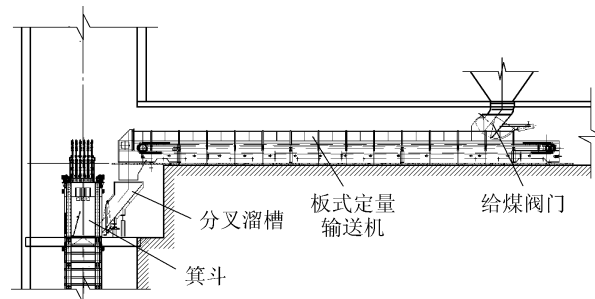


图 2 板式定量输送机布置

Fig. 2 Layout schemes of plate type quantitative conveyor

板式定量输送机主要由电动机、减速器、机头链轮、机尾链轮、承载链板及滚轮等组成,链板是承载运输物料的主要部件,链板与承载滚轮通过链条传动。采用储存式结构,整体计量。由主机和辅机组成,主机由机头、机尾、输送部分、驱动装置、称体、计

量元件等组成。机头、机尾落地, 称体由若干节槽形箱体联接构成, 支撑架和底梁构成 π 形支架, 分段悬浮安装在传感器上。

与现有单台变极电动机或多台定极电动机驱动方式不同, 新研制的板式定量输送机采用变频调速的驱动技术。通过主动追踪箕斗位置、速度等运行参数实时调整运行策略, 以实现与箕斗同步运行, 在等待箕斗期间不停机, 避免频繁重载启动对设备的损害。现有设备上链传动采用链轮啮合滚子与承载滚轮共用, 放置在内链节之间的结构, 滚轮内轴承在与链轮啮合时受到周期性的冲击载荷造成轴承易疲劳损坏, 结构拆装困难造成检修不足, 加剧了轴承的破坏。新设计采用传动啮合滚子与支撑滚轮分体式设计, 将承载滚轮外置于链节, 便于检修和更换。在工作时只负责承载, 不参与啮合传动, 改善了滚轮内轴承的受力状态, 延长了轴承的使用寿命。50 t 板式定量输送机主要参数如下:

有效载荷/t	50
机头轮和机尾轮中心距/m	35
设备外形尺寸/(m × m × m)	40.0 × 3.0 × 3.5
物料尺寸/(m × m × m)	27.2 × 1.8 × 1.2
物料速度/(m · s ⁻¹)	0.4
装载速度/(m · s ⁻¹)	1.2
电动机功率/kW	280
减速器型号	B3SH14
变频器功率/kW	400

3 板式定量输送机关键技术

3.1 链传动可靠性

板式定量输送机由 2 条大节距、高强度的输送链完成物料承载和驱动, 链条的可靠性决定了整机的工作性能。链传动是一种多边形传动, 存在多边形效应。随着链速的增加, 链轮与链条滚子啮合时的冲击增大, 运行平稳性降低, 噪声增大, 严重时引起跳链。齿数一定的链轮随着节距增加, 许用极限转速降低, GB/T 5269—1985^[18] 给出了有效齿数 6 ~ 60 齿、节距 25.4 ~ 76.2 mm 的许用极限转速。为提高系统的平稳性并降低噪声, 按装载速度 1.2 m/s 的要求对链轮齿数 Z 和节距 p 等参数进行优化。根据已有 11 ~ 13 齿数的极限转速 ω , 采用 MATLAB 拟合出极限转速函数, 根据传动的链轮分度圆直径 φ 求出最大线速度 v_{\max} 。

$$v_{\max} = \omega \varphi / 2, \omega = e^{\alpha} / p^{\beta}, \varphi = p / \sin(\pi / Z)$$

其中 α, β 为系数。求解的链条节距 - 线速度 ($p - v$) 曲线如图 3 所示, 求得不同齿数和节距的最大线速度见表 1, 根据计算结果及减少链节数量的要求, 取 $Z \geq 12$ 齿, $p \geq 200$ mm, 理论速度可达 1.4 m/s。

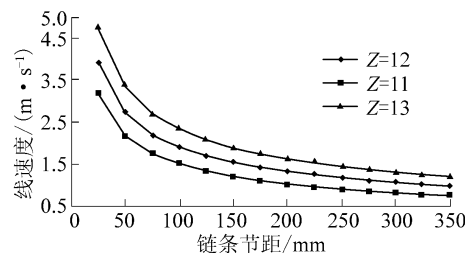


图 3 链条节距 - 线速度曲线

Fig. 3 Chain pitch - line speed curves

表 1 不同齿数和节距的最大线速度

Table 1 The maximum line speed of different teeth and pitches

齿数	α	β	3 种节距对应的最大线速度/(m · s ⁻¹)		
			150 mm	200 mm	250 mm
11	11.46	1.54	1.21	1.04	0.92
12	11.55	1.52	1.55	1.34	1.19
13	11.63	1.51	1.90	1.64	1.47

板式给料机工作时频繁加减速, 链条不断经受大的紧边张力和较小的松边张力的反复作用。在交变载荷的作用下, 经过一定的循环次数, 链板孔两侧的应力集中区易产生疲劳裂纹导致疲劳破坏^[19]。通过对不同链条孔形状受力分析, 修改形状设计减少孔板应力集中点, 从而提高链条强度。常见的链板孔为两侧切边的长圆孔防转结构, 共形成 4 个应力集中点; 德国采用 T-ALPHA 专利技术抗拉强度比 DIN 标准提高了 20%^[20]; 国内对孔板形状进行了修改, 将切边内置, 将应力集中点减小到 2 个; 针对内链节和套筒摩擦副系统产生磨损的原因, 采用圆孔可消除应力集中点。由链板应力分析图可知, 在相同驱动张力下圆孔比长圆孔链板最大应力 σ_{\max} 降低约 13%, 高应力区域面积较单切口方式大幅缩小, 可有效延长链条的使用寿命, 提高整机可靠性。

3.2 称量技术

板式定量输送机能否实现准确计量, 直接关系到提升系统的安全与经济运行, 其精度取决于整机支撑架的刚度和传感器的性能, 既要准确承重, 又要抗冲击, 抗水煤, 可靠耐用。

由于板式定量输送机为细长杆状的水平向称重

框架结构,为保证称重精度采用多点支撑方式,按照下式进行称重传感器数量 N 的选择。

$$N = k(A + B + C) / D$$

式中: k 为安全系数,取 $1.5 \sim 2.0$; A 为板式定量输送机质量; B 为箕斗装载量; C 为附加设备的质量; D 为传感器的额定量程。

为抵抗驱动装置工作时产生的水平力影响称重精度,增加水平拉杆抵消水平力对称重的不利影响。通过研究支撑框架的挠性形变与称重精度,当框架本身的挠性形变(即2个支撑点之间的形变量与其长度的比值)控制在 $1/600$ 以内能满足 1% 的精度要求。在称重传感器实现定重计量的基础上,煤位的定容传感器实现系统的可靠运行,当定重系统出现故障不能达到相应停机的情况下,靠定容传感器或慢速运行时间来实现辅助计量,以保证箕斗不超载。

3.3 智能化装载

在一个箕斗运行周期内,板式定量输送机以慢速和快速2种速度实现煤的称量和箕斗装载。储煤时按 $0.15 \sim 0.40 \text{ m/s}$ 慢速运行进行布料至箕斗吨位,向箕斗内装载时以 $0.9 \sim 1.2 \text{ m/s}$ 快速运行。由于箕斗运行受不确定因素的影响,现有的双速电动机、2台不同功率电动机加超越离合器等驱动方式无法满足不同井深、不同速度的箕斗提升要求,称量完成后箕斗不到位时链传动系统停止工作,待箕斗到位后重载启动。通过比对分析提出了基于变频调速的驱动方法,启制动性能和调速性能实现快速响应速度平滑转换($0.5 \sim 2 \text{ s}$),提高效率的同时降低对设备的冲击。

通过对提升系统、箕斗及相关设备的运行状态数据进行集成,相关信息除就地实时显示外,通过通信接口传至集控系统中,实现井上、井下同步显示和工况的动态模拟显示。板式定量输送机运行控制系统主动识别箕斗位置、运行速度等信息,对箕斗到位时间进行预测,在此基础上根据储料量、储料速度等参数指定装载策略并动态调整运行速度图,实现装载过程的智能化控制。板式定量输送机与提升系统的协同控制,实现了运行速度的平滑调节,正常运行可消除重载启动现象。板式定量输送机的智能化装载主要有双速度运行和三速运行2种策略,如图4和图5所示。

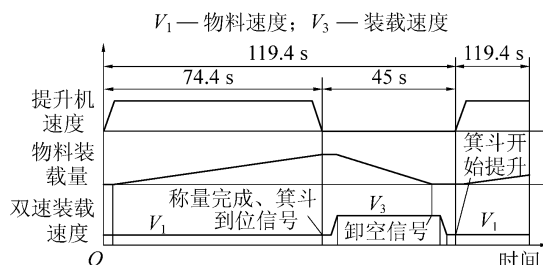


图4 板式定量输送机双速运行策略时序

Fig. 4 Sequence chart of two-speed operation strategy for plate type quantitative conveyor

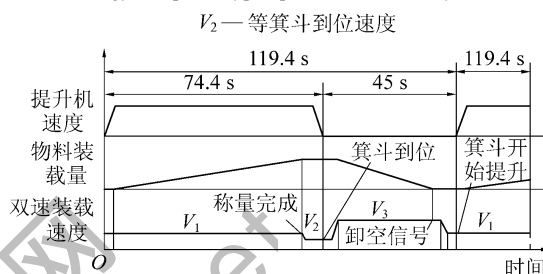


图5 板式定量输送机三速运行策略时序

Fig. 5 Sequence chart of three-speed operation strategy for plate type quantitative conveyor

采用双速度运行策略时,板式定量输送机储料时根据箕斗位置、速度实时预测到位时间修正储料速度,称量完成后在箕斗完全停稳后即可加速至装载速度,在休止时间内完成向箕斗的装载。

采用三速运行策略时,板式定量输送机以设定恒速完成储料,称重完成时再读取箕斗位置等信息预测等待时间,主动计算等待速度并减速,待箕斗到位后加速至装载速度完成箕斗装载。

4 结 论

大型板式定量输送机在我国运用较少,分歧和争论一直不断,笔者对其装载工艺和关键技术部分进行了理论分析计算。对我国西部地区特殊地质条件的大型矿井设计,以及实现装载技术装备的自动化和智能化,具有一定的参考价值。根据项目的进度要求正在进行样机试制并积极进行工业性试验场地的落实工作,设备的可靠性、维护性及称量精度等有待进一步研究和现场工业性试验检验。

参考文献(References):

- [1] 张美芹. 梵王寺矿井主井箕斗定量装载方式的选择[J]. 煤炭工程 2012(3): 12-13, 16.
Zhang Meiqin. Quantitative loading method choice of the main shaft skip for Fanwangsi Mine[J]. Coal Engineering 2012(3): 12-13,

- 16.
- [2] 聂建华, 安忠林, 王 磊. 浅议煤矿立井箕斗提升定量装载方式[J]. 矿山机械, 2007, 35(3): 66-67.
Nie Jianhua, An Zhonglin, Wang Lei. General discussion to quantitative loading method for the skiphoisting in the shaft of coal mine [J]. Mining & Processing Equipment, 2007, 35(3): 66-67.
- [3] 赵东岭. 葫芦素矿井大型提煤箕斗断面尺寸的确定[J]. 煤炭工程, 2010(8): 18-20.
Zhao Dongling. Determination of large coal skip section size for Hulusu Coal Mine [J]. Coal Engineering, 2010(8): 18-20.
- [4] 孙 洁. 新型大功率高效全自动提升机系统[J]. 同煤科技, 2013(2): 11-13, 16.
Sun Jie. New high power efficient automatic hoisting system [J]. Science and Technology of Datong Coal Mining Administration, 2013(2): 11-13, 16.
- [5] 李 志. 西德大型箕斗与装卸载设备[J]. 煤矿设计, 1992(8): 21-25.
Li Zhi. Large skip and loading unloading equipment of west Germany [J]. Coal Mine Design, 1992(8): 21-25.
- [6] 齐 玫, 臧 梦. 钱家营煤矿主井提升定量重载安全系统的研制[J]. 微计算机信息, 1998(4): 36-38.
Qi Mei, Zang Meng. The study on automatic loading and safety system for main shaft hoist - scuttle of Qianjiaying Mine [J]. Micro-computer Information, 1998(4): 36-38.
- [7] 马大峰, 丰胜成, 苗明春, 等. 常村矿主井装载系统控制改造[J]. 煤, 2002, 11(4): 28-29.
Ma Dafeng, Feng Shengcheng, Miao Mingchun, et al. Control transformation of main shaft loading system in Changcun Mine [J]. Coal, 2002, 11(4): 28-29.
- [8] 马 萍, 王 梅. 屯留矿主立井装卸载系统和井架设计特点[J]. 煤炭工程, 2012(S1): 31-32, 35.
Ma Ping, Wang Mei. Tunliu Mine main shaft loading - unloading system and derrick design characteristics [J]. Coal Engineering, 2012(S1): 31-32, 35.
- [9] 乔 华, 刘宝峰. 主井箕斗自动定量重载系统技术改造[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(8): 41-43.
Qiao Hua, Liu Baofeng. Technical reform for auto quantitative loading system of mine skip [J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(8): 41-43.
- [10] 董一良. 主井箕斗装载设备的研究[J]. 煤矿设计, 1994(5): 38-39.
Dong Yiliang. Research of main shaft skip loading equipment [J]. Coal Mine Design, 1994(5): 38-39.
- [11] 余梦桐. 吕家坨矿混合井主副提系统装备设计介绍[J]. 煤矿设计, 1994(7): 28-30.
She Mengtong. Introduction of the main equipment design for Lvjiatuo mixing shaft hoisting system [J]. Coal Mine Design, 1994(7): 28-30.
- [12] 余梦桐, 韩建国. 板式定量运输机装载系统的设计及应用[J]. 煤炭工程, 2005(10): 18-20.
She Mengtong, Han Jianguo. The design and application of plate conveyor quantitative loading system [J]. Coal Engineering, 2005(10): 18-20.
- [13] 杜建国, 孙正凤. 液压定量称重水平装载系统[J]. 山东煤炭科技, 2010(1): 69-71.
Du Jianguo, Sun Zhengfeng. System of loading for level quantify of using hydraulic pressure [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2010(1): 69-71.
- [14] 王建忠. 定量称重皮带机在十三矿的研究和实施[J]. 科技信息, 2011(13): 497.
Wang Jianzhong. The study and implementation of quantitative weighing belt conveyor in No. 13 Mine [J]. Science & Technology Information, 2011(13): 497.
- [15] 秦 强, 吴焱明, 赵 韩. 立井箕斗装卸载协同性分析[J]. 煤炭工程, 2007(5): 15-17.
Qin Qiang, Wu Yanming, Zhao Han. Unloading collaborative analysis of vertical shaft skip [J]. Coal Engineering, 2007(5): 15-17.
- [16] 陈瑞祥. 一种新型的箕斗装载设备: 计量装载机[J]. 煤矿设计, 1984(2): 20-23.
Chen Ruixiang. A new kind of skip loading equipment: measuring loader [J]. Coal Mine Design, 1984(2): 20-23.
- [17] 李 凡. 立井箕斗定量装载方式和设备的选择[J]. 煤矿设计, 1998(9): 37-38.
Li Fan. The vertical shaft skip quantitative loading method and the choice of equipment [J]. Coal Mine Design, 1998(9): 37-38.
- [18] GB/T 5269—1985. 传动及输送用双节距精密滚子链和链轮[S].
- [19] 郑志峰. 链传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [20] 德国蒂勒公司. T - Alpha Variante "Patentlochung" [EB/OL]. [2014-03-01]. <http://www.thiele.de/>.