

圆管带式输送机连续计量方法研究

□广东中南钢铁股份有限公司 郑建忠 黄飞骛 旋石婵

【摘要】分析圆管带式输送机的桁梁、托辊、输送带等的结构特点及直线段桁梁受力情况，针对秤斗式连续计量方法的不足，提出一种将圆管带式输送机的桁架直线段部分区间作为承载器的整体桁架式连续计量法，将该方法应用到双向传输的圆管带式物料输送系统中，对秤斗式和整体桁架式两种连续计量系统的标定进行探讨。

【关键词】圆管带式输送机；桁梁；称重传感器；托辊；物料；重量；标定
文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2024）01-0030-06

引言

普通带式输送机在钢铁企业曾经被认为在散状物料转运中比汽车、火车运送有更多的优势，烧结矿、球团矿、石灰石、煤炭、焦炭、水渣等散状物料基本采用带式输送机运输，物料重量采用连续累计自动衡器（皮带秤）计量。随着企业超低排放改造，普通带式输送机已满足不了排放要求，取而代之是绿色环保、地形空间适应性好、输送物料品质保持好的圆管带式输送机^[1-2]。圆管带式输送机按结构分为单圆管和全圆管型，全圆管型的承载和回程输送带分支都是圆管状^[3]。目前有关圆管带式输送机物料计量相关研究较少，本文分析秤斗式连续计量法的应用，提出一种圆管带式输送机连续计量新方法，对两种计量方法的系统标定进行探讨。

1 圆管带式输送机

1.1 圆管带式输送的特点

圆管带式输送机的驱动方式、拉紧装置、滚筒结构与普通带式输送机基本一样，不同的是其输送带在过渡段逐步围成圆管形状，可单机实现按空间曲线的输送，不需要中间转运站^[4]。

圆管带式输送机托辊组通常为正六边形或者正八边形，托辊布置在托辊窗体框板的两侧，每侧3个或者4个间隔布置。托辊窗体安装在桁架上面，在托辊摩擦力的作用下圆管皮带带着物料一起移动。

跨度在25m~30m的桁架通常采用如图1所示的两种平行弦桁架，桁架两端有固定铰接、滑动支座和辊轴支座等连接方式^[5]。

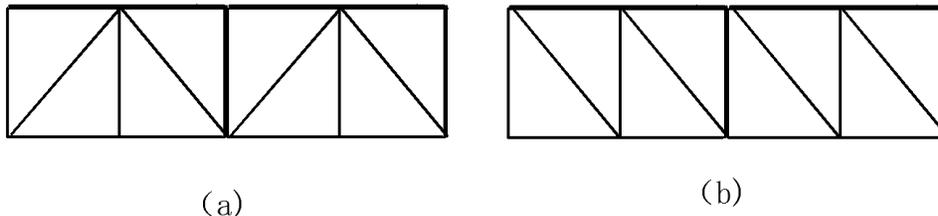


图1 平行桁架

在物料装载区域，输送带由平状变成槽形，再变成U形，最后卷成圆管形状。这区域输送带称为过

渡段，槽形区域是物料装料点。在物料卸载区域输送带从圆管形状反过来逐步展开变成平状进行卸载^[6]。

过渡段对输送机的稳定运行起重要作用，需要合理设置过渡段的长度^[7]。通常对于织物芯输送带为圆管直径的25倍，钢丝芯输送带为圆管直径的50倍^[8-9]。

1.2 直线段受力分析

圆管带式输送机在直线段所受到的力有成形力、垂直力和水平力等三种。成形力是托辊使输送带保持圆管状的力，输送带和物料的重力组成的合力是垂直力，在水平方向上拉紧输送带运行的力是水平力^[10]，垂直力和成形力作用在托辊的合力也称为托辊正压力。

单位长度物料对托辊正压力的仿真结果表明，六托辊组最下面托辊承受40%~50%物料重力，下侧面两个托辊各承受25%左右的物料重力^[11]。同样，最下方托辊承受约70%的输送带重力，下侧面两托辊各承受15%左右的输送带重力。输送带成形力却是最上方托辊的承受最大输送带成形力，是其他5个托辊承受成形力平均值的1.49倍^[12]。

因此，可以理解直线运行时六托辊组底部3个辊承受输送带和物料的重量，顶部的3个托辊维持输送带成圆管形^[13]。

1.3 双向传输圆管输送系统

全圆管带式输送机的输送带上下部两个分支都是圆管状，两个输送带同时输送物料，可以实现承载物料和回程物料双向输送。如将运量大的输送带作为主承载分支，运量小的输送带作为副承载分支^[14]，达到减少投资成本，提高输送机输送效率。

双向输送系统与单向系统主要不同之处需要增加翻带装置，让回程分支输送带与物料接触的厚胶面始终朝上，夹辊式引导翻转装置输送带翻转距离一般为输送带宽度的12.5倍^[15]。

2 圆管输送机连续计量方法

从前面分析可以看出，圆管带式输送机的桁架、输送带、托辊组及受力情况等与普通带式输送机有较大差别，其过渡段、翻转段的长度等也有特定的要求，传统皮带秤的计量方法难以在圆管带式输送机中使用^[16]，下面介绍两种可实现连续的计量方法。

2.1 秤斗式系统

2.1.1 系统构成

系统由秤斗、称重传感器、称重指示器、中间给料仓、给料仓翻板、物料控制装置等组成，如图2所示。

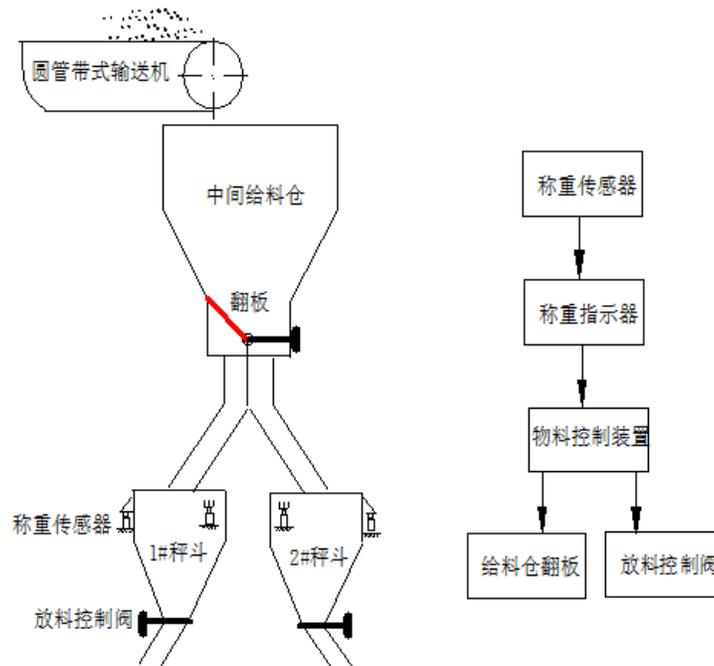


图2 秤斗式系统

秤斗式连续计量方法：圆管带式输送机输送散状物料从中间给料仓进入1#、2#秤斗，当1#、2#秤斗重量值达到控制上、下限时，物料控制装置分别发出给料仓翻板翻转信号和1#、2#秤斗放料控制阀开启、关闭信号，记录放料控制阀开启时刻1#、2#秤斗物料重量值。经往复循环，1#和2#两个秤斗物料累计重量值就是圆管带式输送机输送物料重量值。

2.1.2 存在不足

(1) 秤斗放料流量要大于进料流量，使放料中的秤斗比进料中的秤斗先完成排空物料的条件成立，这样圆管输送机物料输送能力的调节受到了制约。

(2) 给料和放料过程出现新的环保问题。

(3) 采用密封罩或者软连接等防扬尘措施时，需要增加秤斗维护频次。

(4) 当秤斗物料存在不能完全排空时，会有物料累计重量误差。

(5) 秤斗容量大小决定了秤斗切换频率^[17]。

2.2 整体桁架式连续计量法

整体桁架式连续计量法将圆管带式输送机的桁架直线段部分区间作为承载器，该桁架直线段包含桁架梁、托辊窗体、输送带等，与普通带式输送机的称量台式承载器具备类似的作用，因此，可以采用普通带式输送机物料连续累计计量的方法。

2.2.1 基本系统

如图3所示，全圆管带式输送机桁架直线段由桁架1、桁架2、桁架3段组成，每段桁架内包含多个托辊组，桁架3为独立桁架，与桁架1、桁架2不连

接。桁架1、桁架2靠桁架3一侧的托辊窗体框板边均各安装限位器4，限位器可以调节两个桁架托辊窗体框板之间的间隙。桁架3结构梁上弦杆顶部对称位置安装4个及以上悬挂拉式称重传感器5，称重传感器下拉杆连接桁架梁，上拉杆连接悬挂支撑点。桁架3形成一个整体桁架式承载器，桁架梁、托辊窗体、输送带、物料载荷全部落在称重传感器上面。桁架梁包括桁架梁结构杆件（不包含过道、栏杆），托辊窗体包括托辊、辊架以及窗体结构等。桁架3结构梁上弦杆顶部传感器安装位置焊接加强筋板，增加受力点结构的强度，上弦杆和下弦杆一般不采用拼接件。桁架1、桁架2与支撑支座间的连接采用刚性连接^[18]。

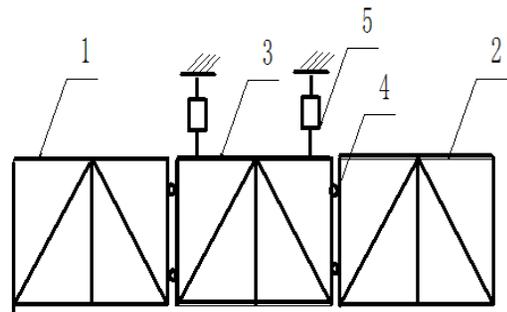


图3 整体桁架式承载器

在输送机传动滚筒（或者输送带）位置安装速度传感器作为圆管输送带速度测量传感器，同时配置数据采集模块、重量测量计算模块、电源模块、显示输出模块等，构成圆管带式输送机连续累计计量基本系统，如图4所示。

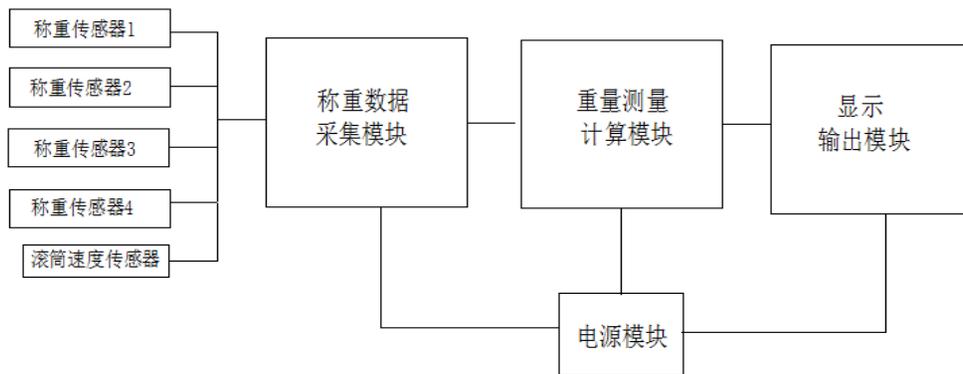


图4 连续累计计量基本系统

2.2.2 双向输送计量系统

如图5所示，3个桁架式承载器103、203、303分别安装于双向圆管带式输送机直线段。承载器103为双托辊窗带式输送机整体桁架，105悬挂拉式称重传感器，104限位器，106传动滚筒速度（第一速度）传感器，101、102前后桁架梁。承载器203为上托辊窗体桁架，与213下托辊窗体桁架组合成双托辊窗带

式输送机桁架，102、204前后桁架梁，205悬挂拉式称重传感器，204限位器，206圆管输送带速度（第二速度）传感器。承载器303为下托辊窗体桁架，与313上托辊窗体桁架组合成双托辊窗带式输送机桁架，204、302前后桁架梁，305悬挂拉式称重传感器，304限位器，306圆管输送带速度（第三速度）传感器。

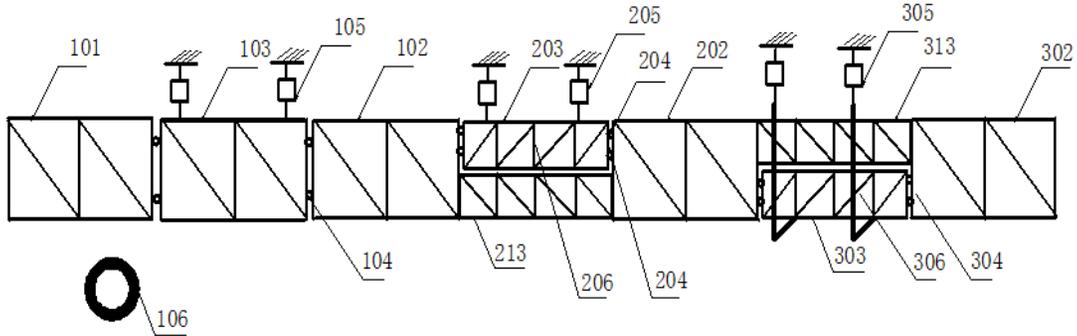


图5 双向输送系统承载器

设双向输送机上部输送带为主承载分支，下部输送带为辅承载分支，承载器103、203、303三个桁架梁长度相同，此基础上增加数据采集模块、重量测量计算模块、电源模块、显示输出模块等，构成3个圆管带式输送机连续累计计量基本系统。承载器103双托辊窗计量系统测量主承载物料和回程辅承载物料的总重量，称为总称量段。承载器203上部托辊窗计量系统测量主承载物料的重量，称为主称量段。承载器303下部托辊窗计量系统测量辅承载物料的重量，称为辅称量段。

行的水平力可能会分解成垂直方向的力，使承载器的受力除输送带和物料的重力外增加了干扰外力。当输送带张力或者输送带运行速度发生变化时，水平力和成形力跟着发生变化，当输送带与托辊之间摩擦力发生变化时，也会影响成形力的大小，成形力的变化也会影响输送带的张力，这样水平力也会发生变化。

2.2.3 影响计量因素分析

整体桁架式计量系统中承载器桁架与其前后输送桁架之间仅有限位器存在，没有其他刚性连接部件，管状输送带在连续运转过程中，拉紧输送带运

上述几种外力在垂直方向形成的分解力，对承载器受力会造成严重的干扰，为减少干扰产生的误差，建议采用如下方法克服对称重的影响：

(1) 承载器桁架与其前后输送桁架要处于水平直线段，水平直线段尽量留有足够长度，前后水平直线段建议大于50d以上（d为圆管直径）。直线段内输送桁架支架柱脚采用支撑式时，需要设置较为

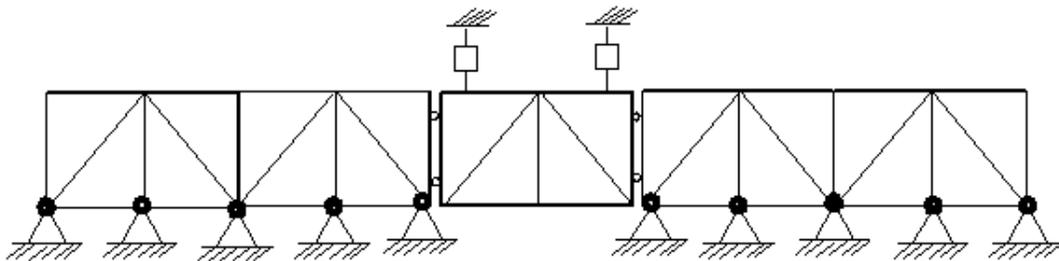


图6 输送桁架支架示意

密集的支架，桁架梁与支架采用刚性连接，保证物料输送过程中，直线段内（含承载器）托辊窗体中心点在处于同一水平线上，托辊窗体间距保持一致，支架设置如图6所示。

(2) 承载器内同一个水平位置的托辊受力大小、磨损情况基本一致，托辊转动灵活。

(3) 限位器间隙大小要一致，建议接触点为球面结构。

(4) 物料加载时适宜匀给料，建议使用带式给料机或振动给料机，以提供均匀的料流，减少输送带受到的切向力（即压陷阻力）大范围的波动。

(5) 输送机宜采用刚性良好输送带，配置防跑偏装置，动态调整拉紧张力等手段保证输送机运行的平稳性，减少外部因素对承载器受力的影响。

3 圆管带状机称量系统的标定

3.1 秤斗式系统的标定

静态标定：使用标准砝码依次对1#、2#秤斗进行独立静态校准。

动态标定：使用输送物料进行标定，秤斗放料后转运到汽车衡称量。根据秤斗累计称量与汽车衡称量偏差对秤斗增益系数调整后再标定，也可以连续标定几次，求出偏差平均值后再对秤斗增益系数进行调整。

3.2 整体桁架式系统的标定

首先按照静态衡器标定方法在桁架式承载器用标准砝码进行标定。静态标定结束后，在无物料状态下进行零点累计误差标定，将输送带以某一速度运行，输送带运行3min以上，将重量测量值设置为零，至少改变两次输送带的运行速度。如重量测量值不为零，则传感器的安装位置、调整托辊阻力或输送带张力等减少偏差。

动态标定采用静态汽车衡作为控制衡器，参照JJG195-2019《连续累计自动衡器(皮带秤)检定规程物料检定方法》进行标定。

3.3 双向输送计量系统的标定

双向圆管带式输送计量系统由图5所示的总称量段、主称量段和辅称量段三个连续累计计量系统组成。先采用标准砝码对三个称量段的重量计量系统

分别进行静态标定。静态校准结束后，在输送带无物料且在输送带运行状态下对每个称量段重量计量系统分别零点累计误差标定。然后在输送带带有物料运行状态下采用控制衡器进行动态标定，修正每个称量段测量计算模块物料重量增益系数。

物料标定按照输送带上部有料（主承载单一物料）、下部无料（辅承载无料），上部无料、下部有料（辅承载单一物料），上下部都有料（双承载物料）三种情况分别进行标定。

3.3.1 主承载单一物料的标定

采用汽车衡作为控制衡器，设主承载物料的实际重量为M，将待测物料从受料点经过总称量段和主承载称量段输送卸料点，物料输送完成后读取重量测量计算模块内总称量段累计重量M1和主承载称量段累计重量M2。

将总称量段累计重量M1除以主承载物料的实际重量M，确定出总称量段重量增益修正系数Q1，即 $Q1=M1/M$ 。

将主承载称量段累计重量M2除以主承载物料的实际重量M，计算出主承载称量段重量增益修正系数Q2，即 $Q2=M2/M$ 。

3.3.2 辅承载单一物料的标定

采用汽车衡作为控制衡器，设辅承载物料实际重量为M0，将待测物料从受料点经过总称量段和辅承载称量段输送到卸料点，物料输送完成后读取重量测量计算模块内总称量段累计重量M11和辅承载称量段累计重量M21。

将总称量段累计重量M11除以辅承载物料实际重量为M0，计算出总称量段增益重量修正系数Q11，即 $Q11=M11/M0$ 。将辅承载称量段累计重量M21除以辅承载物料实际重量M0，计算出在辅承载称量段重量增益修正系数Q21，即 $Q21=M21/M0$ 。

3.3.3 双承载物料的标定

采用汽车衡作为控制衡器，设主承载物料的实际重量为M01，辅承载物料实际重量为M02，将待测物料从受料点经过总称量段、主承载称量段和辅承载称量段输送到输送带上半部卸料点和下半部卸料点，物料输送完成后读取重量测量计算模块内总称

量段累计重量M10、主承载称量段累计重量M20 和辅承载称量段累计重量M30。

将总称量段累计重量M10除以主承载物料的实际重量M01与辅承载物料实际重量M02之和,计算出总称量段重量增益修正系数Q12,即 $Q12=(M01+M02)/M10$ 。

将主承载称量段累计重量M20除以主承载物料的实际重量M01,计算出主承载称量段重量增益修正系数Q22,即 $Q22=M20/M01$ 。

将辅承载称量段累计重量M30除以辅承载物料实际重量M02,计算出辅承载称量段重量增益修正系数Q33,即 $Q33=M30/M02$ 。

4 结语

秤斗式连续计量法需要增加中间料仓、秤斗等设备,使整个输送系统更加复杂,新增环保治理点,不具备推广应用价值。整体桁架式计量法具有普通皮带秤连续、简单,能够保留原有输送系统绿色、环保、适应性广的特点,该计量方法应用需要与圆管带式输送机一起设计、安装、调试,重点对直线段位置选择、承载器长度确定、桁架及托辊组结构等统筹考虑,统一安装调试,输送机系统物料输送正常达标,再对计量系统进行调试、标定。随着圆管带式输送机越来越多的使用,整体桁架式连续计量法是比较适合的计量方案。

参考文献

- [1] 袁道幸. 管状带式输送机的应用[J].《江西冶金》, 2009,02:25-27.
- [2] 王鹰, 孟庆俊, 辜志钦. 封闭型带式输送机国内外现状与展望[C]. 中国机械工程学会物料搬运分会第六届学术年会, 上海: 中国机械工程学会, 2000.
- [3] JB/T 10380-2013 圆管带式输送机[S]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [4] 宋伟刚, 于野, 战悦晖. 圆管带式输送机的设计要点及其关键技术[J].《水泥工程》, 2005,04:42-47.
- [5] 曹西斌. 管状带式输送机大跨度桁架的设计与优化[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016.
- [6] 邵寅华. 管状带式输送机的特点与应用[J].《水

泥技术》, 1997,06:9-12.

- [7] 杨蕊琪. 圆管带式输送机过渡段的仿真及关键技术的研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2020.
- [8] 谢庆军. 圆管带式输送机的关键技术研究[J].《科技与企业》, 2014,01:272-273.
- [9] 安跃锋. 管状带式输送机综述[J].《硫磷设计与粉体工程》, 2006,02:39-43.
- [10] 刘畅. 圆管带式输送机输送带与托辊接触力及压陷阻力的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2017.
- [11] 龚博. 圆管带式输送机受力状态的分析方法研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2012.
- [12] 黄伟. 圆管带式输送机直线段输送带与托辊接触力学特性研究[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2019.
- [13] 孟文俊, 王鹰, 吴志方. 管状带式输送机的发展和设计要点[J].《起重运输机械》, 2001,B11:29-35.
- [14] 刘春晖, 王增晖. 双向输送圆管带式输送机的创新设计[J].《起重运输机械》, 2017,09:106-109.
- [15] 王增晖, 刘春晖, 姜建宁等. 双向输送圆管带式输送机的设计及应用[J].《起重运输机械》, 2017,03:12-14.
- [16] 肖兴华. 实现管状皮带连续计量的新方法[J].《衡器》, 2010,03:29-31.
- [17] 兰志明, 肖兴华. 管状皮带称重计量的方法[J].《工业计量》, 2009,05:32-34.
- [18] 胡明伟. 圆管带式输送机机架结构的设计及优化[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2013.

作者简介

郑建忠(1967—), 男, 福建晋江, 工程硕士, 高级工程师。研究方向: 计量仪表检测方向。