

三维姿态跟踪式可移动皮带秤在港口中的应用

南京三埃自控设备有限公司 袁延强

【摘要】 港口料场的堆取料机位于输料线的前端，用安装于其旋臂上的移动式皮带秤作为定量装船的计量控制点，控制精度和工艺合理性要比输料线末端卸料点水尺计控和中部固定式皮带秤计控两种模式都优越。但因移动式皮带秤处于运动之中，倾角频繁变化，影响了称重结果的准确性。传统的移动式皮带秤采用检测皮带机倾角并加以角度修正的补偿技术有着种种先天的弊病。本文披露了一种采用了“三维姿态跟踪技术”的新颖移动式皮带秤，解决了传统移动式皮带秤存在的问题，并介绍了其在定量装船中的两类典型应用实例。

【关键词】 散料装船计量控制模式；移动式皮带秤；三维姿态跟踪技术；典型应用

大宗散状物料（煤炭、矿石等）的装、卸是港口作业的基本方式。如何在输送过程中对物料进行准确地计量和控制，对于提高港口作业率、降低设备空转率及确保船舶航行安全有着重要的意义。

本文拟在计量控制点设置模式的分析基础上，介绍“移动式皮带称重”的相关技术，并对利用“移动式皮带秤”进行“定量装船”和“原煤配送”的控制方法进行介绍。

1 前端控制是定量装船的最佳模式

为实现定量装船之目的，必须对所输送的物料量加以控制，使装船的货物量不多不少地在允差范围之内。从前端取料点到末端装船点之间的整条输料线上都可以设置计量控制点，但设置在不同位置的效果大相径庭。下面将对计量控制点分别设在末端、中部、前端这三种散料装船模式加以比较，分析其孰优孰劣。

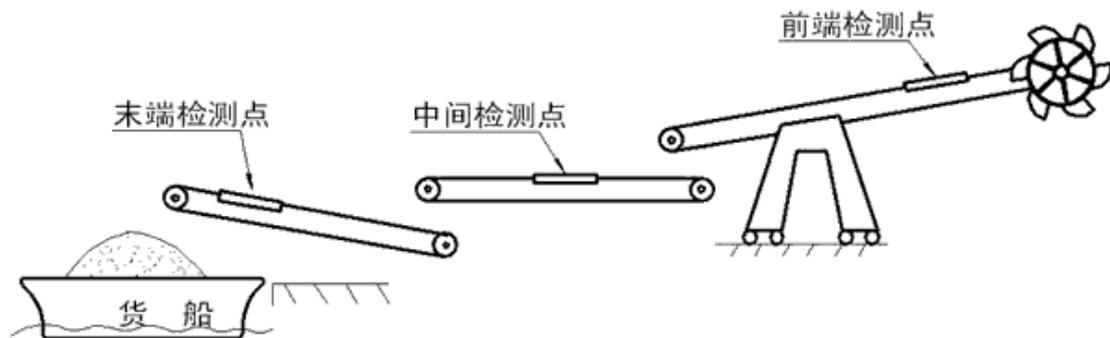


图1 装船控制点示意图

1.1 模式一：控制点设在末端

以水尺计重数据为依据，在输料线的末端设置控制点。

首先设定一个停机提前量，待水尺读得的装船量达到设定值（设定值=额定装船数—提前量）时，停止输料线前端取料设备。此时从前端取料点到末端装船点之间有物料

停留，停留的物料量有以下三种情况：

A. 停留物料量等于设定值，此次装船量控制成功。

B. 停留物料量小于设定值，则在途物料全部装船后，仍未达到额定装船量。如需补足，则需要重复上述控制过程。

发生此种情况后，要求对补加量有一个更为准确的控制，同时在两次补料作业过程中，存在一段输料设备空转期。导致装船作业时间延长和设备空转耗能，输料线越长、其影响越大。

C. 停留物料量大于设定值，则将出现实际装船物料量大于额定装船量的现象。如其超过了允许的偏差值，则会造成船舶超载，而这是严格禁止的，必须将超装的物料卸出并返回原场地，如此势必造成作业时间延长和作业成本增加的后果。

如果为避免出现超载，在作业途中就得停止装船，造成输送线带料停车，而带料停车将导致整条输送线无法启动的严重后果。

显然这种控制模式不是理想的模式。

试举一例：

输送线皮带机额定流量：6000t/h、皮带速度：4m/s、取料点至装船点距离：2500m，经计算，此时的设定停料量：1041.7t、提前停止输料时间：625s。为保险起见，提前时间应大于625s。由于输送线物料量不易控制、流量不均匀恒定，最终导致装船量有较大的变数，二次补料不可避免。

1.2 模式二：控制点设在输料线中途

在整个装船输料线的某个中间位置设置一台计量皮带秤，对装船物料进行计量与控制。

显然，控制点距前端取料点越近、补料量越小，对准确控制越有利。但这一控制模式同样有一个提前量的设定问题，当这个设定量出现偏差时，结果与“末端控制”模式相同。尤其是当散货料场纵深较长时，取料机取料时的位置就成了不可忽略的影响因素。例如货场长度为1000m时，取料机在料场两端的位置差将造成约1000m皮带长度的物料量偏差。

仍以前例：输送线额定流量：6000t/h、皮带速度：4m/s，则此1000m皮带的物料偏差即为416.7t。显然，这一误差量还是很大的，对装船作业是不能允许的。另一种常见情况是当多台取料机共同作业装船时，情况将更为复杂，补料量将更难确定和控制。

显然，在这种情况下，只能通过调度员对实际情况的及时跟踪了解，并根据经验计算得出计量控制的提前量，最终实现准确装船。

由于对于装船总量的单向性要求（不允许超载），依据调度人员的经验和估算就存在较大的风险。因此，模式二也不理想。

1.3 模式三：控制点设在前端

此种模式是在整个输送线最前端的取料机上安装一台皮带秤，对取料机所取的物料进行计量。由于计量控制点跟取料机同在前端，取料机的启停信号可以直接与皮带秤的

累计量挂钩。在此前端控制模式下，皮带秤的期望累计总量是按预定的装船物料量事先设定的，当通过皮带秤的物料累计量尚未达到设定值时，取料机不断取料；一旦达到设定值，皮带秤的控制单元就对取料机发出指令终止取料。因此，取料机取到输送带和皮带秤上的物料就等于装船所需的物料量；只要把皮带上已经计量过的物料继续走完送到船上，装船物料的总量应正好是误差范围内的期望值，无需如末端或中部控制模式那样设定提前量，更不必为了使装船的物料总量等于装船期望值而频繁地开停输送带和皮带秤。显然，该模式的定量控制效果要优于前两种。

2 前端计控设备——移动式皮带秤

装船输送带的前端取料设备一般都是移动式堆取料机，通过堆取料机悬臂前端的旋转头轮将物料“刮”起，再通过数十米长的悬臂皮带机将物料送出，在悬臂皮带机上安装皮带秤是目前绝大多数前端计量设备所共同采用的方法。

由于该皮带秤是在悬臂作多维移动的情况下计量的，故称之为“移动式皮带秤”。这是一种特殊形式的皮带秤，由于其对解决类似的装船控制问题的独特作用，受到用户的欢迎；也由于使用中存在精度低、耐久性差的问题，普遍受到用户的诟病。

2.1 移动式皮带秤的现状

众所周知，固定式皮带秤（普通皮带秤）在使用中问题多多，尤其是皮带秤的长期稳定性，更是其难以克服的顽疾。综观皮带秤使用情况，凡使用较好者大多是具备方便的实物检定条件、具有专业队伍精心维护的用户。这些要求对于大部分港口用户来说过于苛刻。目前的现状是，港口在用的皮带秤中，如能做到适度维护，计量准确度大致在1~5%之间；而不能正常维护的用户，情况会更差。

现在使用的移动式皮带秤，基本都是在固定式皮带秤基础上，加装一个角度检测装置构成。由于皮带秤常常处于移动状态，使得原来影响皮带秤长期稳定性的因素大为扩大，常规的角度测量又引入新的误差，使得移动式皮带秤的误差在固定式皮带秤的基础上又有较大的增加，其准确度指标大大下降，称量的数据仅作参考用，且其不确定性大。可以说，目前意义上的移动式皮带秤已从计量装置蜕变为提供定性参考的工具，与“秤”的概念渐行渐远了。

2.2 移动式皮带秤主要技术难点

移动式皮带秤存在以下技术难点：

A. 秤体受力状态不断改变

在固定式皮带秤中，物料的重力方向竖直向下，作用于秤架上力的方向是恒定的。而在移动式皮带秤中，物料的重力仍竖直向下，但作用于秤体力的方向则随着悬臂的倾角变化而不断改变。这就意味着，相同的物料重量在秤体上的作用力大小是不同的，空带运行时的皮重也是不同的，常规的皮带秤数学模型已不适用。因此，在移动式皮带秤中，确定的状态消失了，一切都随角度而变化。

B. “角度”的定义与“角度”的“二维”变化

移动式皮带秤的计量准确度取决于“角度”测量得准确与否。而“角度”的准确定义是

什么?从严格意义上讲,这里的“角度”并不是指悬臂的倾角,而应当是皮带秤架在该状态下物料运行方向与重力方向之间的夹角。重力方向竖直向下,物料的运行方向如何确定?经过分析我们发现,物料的运行方向是由秤架上称重托辊所确定的,也就是说,皮带秤的称重托辊与皮带接触部分的切向决定了物料的运行方向。对于现代皮带秤来说,一般都采用多托辊方式,多组托辊上表面切向角度才是物料的实际运行方向。

当我们考虑实际情况时还发现:皮带秤架不仅随着悬臂的俯、仰运动改变角度,悬臂本身还会产生左、右侧倾。即对于皮带秤来说,承载于其上的物料重力有了上、下和左、右的二维角度变化,而任一维角度的变化都会直接影响到皮带秤称重传感器载荷的数值变化。

因此,移动式皮带秤需要解决以下两个问题:

- (1) 如何确定多托辊秤架所等效的物料运行角度?
- (2) 如何准确测量皮带秤二维方向的角度变化?

这两个问题无论从技术上和实际应用的可操作性上都有相当大的难度。

C. 角度检测的难度

如上所述,移动式皮带秤秤架的角度是一个等效角度,且这个变化有二维度变化量,如何检测这一角度的变化量是一个技术难点,其关键是在什么位置上进行角度测量才能代表实际的等效角度。

现有的移动式皮带秤大多都采用在悬臂转轴安装角度传感器来检测悬臂角度及变化量,实践证明,这一方法引入的误差很大。

这种方法的主要误差有二个:一个是不能测量悬臂左、右侧倾造成的角度变化;另一个是转轴处的绝对角度值并不是秤架的真正的等效角度,它与秤体等效角度值之间存在一个固定的角度差,而这一差值在不同角度时引起的误差很大。

D. 余弦函数的非线性影响

如上分析,在移动式皮带秤中,物料重力与等效运行方向之间产生夹角,秤架上称重传感器所受力为:

$$P=G \times \cos \alpha$$

其中: P—称重传感器受力; G—物料重力; α —重力与等效运行方向夹角

cos 为余弦函数,其典型特性是其非线性,相同的角度变化在 0° 附近时,影响很小,而在一定角度(如 15°) 时则引起很大变化,下表为各种角度时每增加 0.5° 时的情况:

基本角度 α	0°	5°	10°	15°
$\cos \alpha$	1	0.99619	0.98481	0.96593
$\cos (\alpha+0.5^{\circ})$	0.99996	0.99540	0.98325	0.96363
误差 %	0.004	0.0793	0.1584	0.2381

从上表可以看出：同样角度增加 0.5° ，在 0° 附近时基本没有变化，而在 15° 时则变化达 0.2381% ，由此可有以下结论：

(1) 角度测量的准确度要求较高，微小的偏差，带来的影响很大。

(2) 当角度测量点位置选择不当，造成所测角度值和物料运行等效方向的角度值有所偏差（如上表的 0.5° ）时，将引入误差。

(3) 角度测量的准确性是传统移动式皮带秤的主要误差来源。

E. 秤体结构对角度变化的适应性

对于大部分结构型式的皮带秤架而言，整个秤体发生移动时，对其称重准确度的影响来说是致命的。这是因为皮带秤为了追求消除皮带张力影响采用了较大刚度和多点支承与紧固的方法，这些笨重的秤体在角度变化时产生了侧向分力，并给各紧固点施加了额外的并不断变化的力，这打破了秤体稳定的受力平衡系，直接造成了秤体结构的位移或受力状态的变化，最终导致了原有准确度的丧失。

2.3 采用三维姿态跟踪技术的新一代移动式皮带秤

针对移动式皮带秤的上述技术难点，我们设计建造了一套移动式皮带秤的实物试验系统，用于对移动式皮带秤技术进行系统研究。通过大量的试验和深入研究，我们成功地实现了全新一代的移动式皮带秤技术——三维姿态跟踪技术。该技术在秤体结构和补偿原理上都迥异于现有技术，彻底解决了传统移动式皮带秤存在的种种问题。目前依据这一新技术所研制出来的产品已成功应用于某港口的堆取料机上（皮带秤带宽 $B=1800\text{mm}$ ，带速 $v=4.5\text{m/s}$ ）。经过调试和实际运行试验，在堆取料机以最高速度行走、同时悬臂作左右旋转、上下俯仰动作时，在最大和最小角度的计量误差优于 0.5% ，实现了在三维运动情况下保持称重准确度的目标。

该项新技术有以下特点：

A. 采用阵列式称重技术，整个称重系统由多个称重单元组成，一方面扩大了有效的称重范围，更重要的是利用其“内力理论”克服了皮带张力带来的影响。

B. 采用最新发明专利三维姿态跟踪技术——“全方位称重单元姿态跟踪”，完成称重系统的角度变化跟踪、检测。解决了悬臂运行时产生的二维角度变化的影响，对物料重力的变化进行准确补偿。

C. 独有的称重数学模型和软件技术，准确计算各角度下重量的变化，有效地解决了余弦函数的非线性误差影响；各称重单元等效运行角的相关计算与补偿；温度对称重系统影响的自动补偿；安装与使用简便易行。

D. 具有独创性的称重结构设计，可以在各种运动状态下保持称重系统的稳定性，消除因运动对称重结构带来的各种影响。

E. 可以在长期免维护的情况下实现称重准确度 $\leq 0.5\%$ ，完全满足港口装船与计量的要求。

3 移动式皮带秤的典型应用

3.1 单物料装船系统

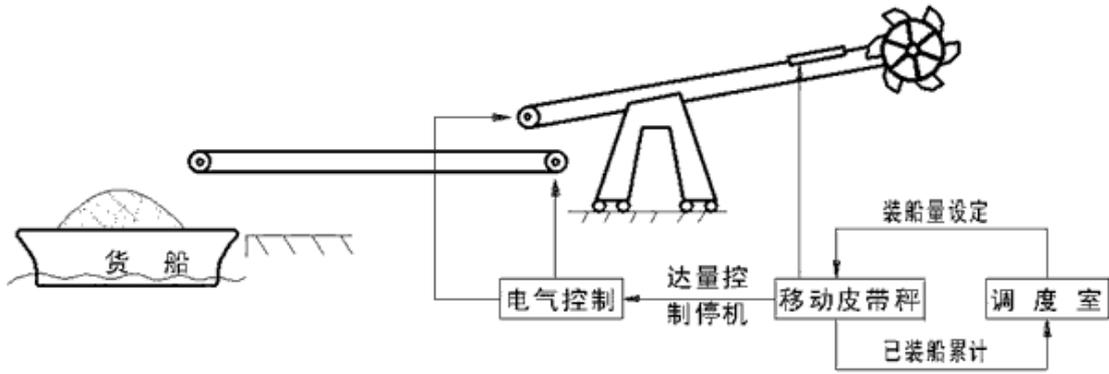


图2 单料种定量装船系统

系统构成：

移动式皮带秤系统一套（含称重单元一组；测速系统一套；姿态跟踪单元一套；移动式皮带秤仪表一套）；与调度室联络系统；与输送线皮带机电气控制连锁系统。

运行流程：

由调度室发出装船总量信息送往皮带秤仪表→皮带秤对所取物料进行计量→到达调度室发出的总量数值时发出停机信号→人工停止装料或系统自动按顺序停机。

系统装船控制准确度 $\leq 0.5\%$

系统特点：一旦调度室给出装船总量信息后，不再需要人工干预，由移动皮带秤在总量到达时发出信号，完成停止装料程序。

在装船准确度 $\leq 0.5\%$ 可以满足要求的情况下，一次即可完成整个装船过程，无需设置提前量和进行多次补料作业。

3.2 多种物料配比装船

当有两种或更多种物料（如不同种类的煤）需在装船时进行配比控制，以保证其理化指标（如热值）符合用户要求时，则需要两台（或多台）取料机同时工作，在完成各自装船总量控制的同时，需按设定的流量进行瞬时量控制，保证各种物料混合均匀，达到配比要求。

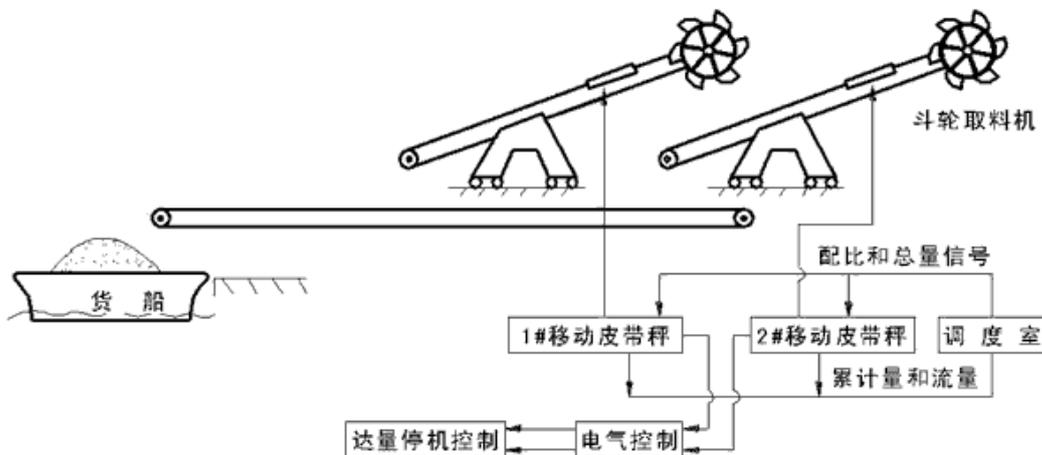


图3 双料种配比装船系统

系统构成：

移动式皮带秤系统两套（或多套）；与调度室联络系统；与输送线皮带机电气控制联锁系统；其中取料机具有按设定流量进行取料速度自动控制的功能。

运行流程：

调度室对各台移动式皮带秤分别设定各自的瞬时流量与装料总量数值——各皮带秤按设定流量数值控制装料物料流量——到达预定装船总量时发出提示信号或控制停机。

各物料装船总量准确度 $\leq 0.5\%$ ；配比控制准确度 $\leq 1\%$ （与取料机控制性能有关）

系统特点：

调度室发出配比与总量指令后，配料工作由皮带秤仪表自动控制完成，无需人工干预，调度室可随时观察二种物料配料过程与总量情况，直至装船过程结束。

装船总量准确度 $\leq 0.5\%$ ，整个装船过程可一次完成，无需二次补料作业。

当取料机可控性能好时，配比控制可达较高精度，保证两种物料的瞬时混合配比误差达到 $\leq 1\%$ 的指标，使系统运行发挥最大效益。

结束语

要把移动式皮带秤做得好，有很大的技术难度。但由于其有独特的用途，例如在港口装船控制等作业环境中所具有的不可替代性，研究并发展这一技术对促进港口物流技术的进步、提高装卸作业的效率及提高经济效益的作用是十分明显的。为此我们将在业已取得的成果基础上进一步努力，为实现整个港口行业的装船控制技术的更新换代贡献力量！

作者简介

袁延强，1954年生，南京三埃工控股份有限公司董事长，南京大学EMBA。

邮箱：yuanyanqiang@vip.163.com