

基于滑槽称量技术的散粮装车系统设计与应用

□程粤¹ 梅雪峰² 丁中禹³ 高国平¹ 倪富明¹

- (1. 烟台港集团莱州港有限公司, 山东烟台 261442
- 2. 山西新元自动化仪表有限公司, 山西太原 030000
- 3. 龙口港集团有限公司, 山东烟台 265700)

【摘要】港口粮食筒仓侧壁或仓下放流口处空间受限, 难以安装常规计量设备, 散粮发放作业期间员工仅能凭感觉和经验进行装车。受超载源头治理和运输价格提高等因素影响, 车辆基本均需要进行二次加减载, 导致疏港车辆装车作业时间、过称次数和司机排队等候时间等作业环节成倍增加, 作业现场车辆秩序管理难度加大的同时影响装车效率和港口声誉。滑槽秤可直接在原放流溜管上进行安装, 能够实现装车重量的精确控制, 适用于散装物料的连续累计计量, 计量准确度达到0.5级, 系统开发了滑槽秤定量自动装车功能, 在保持了粮食筒仓侧壁和仓下放绿色节能优势的基础上, 实现了散粮装车的精准化和智能化。

【关键词】港口粮食筒仓; 滑槽称量技术; 连续计量衡器; 定量装车系统

文献标识码: A 文章编号: 1003-1870 (2024) 05-0026-07

背景

港口粮食筒仓一般设计装车塔用于粮食集中发放, 除该发放方式外, 水泥筒仓一般设计侧壁和仓下两种发放方式, 钢板筒仓一般设计仓下一种发放

方式。散粮发放作业期间, 每个装车作业点配备1名操作员工, 人工控制电动阀门或操作出仓皮带机进行散粮装车作业, 仅凭经验和感觉进行散粮装车作业, 通过人工敲击放料平台提示货车司机完成

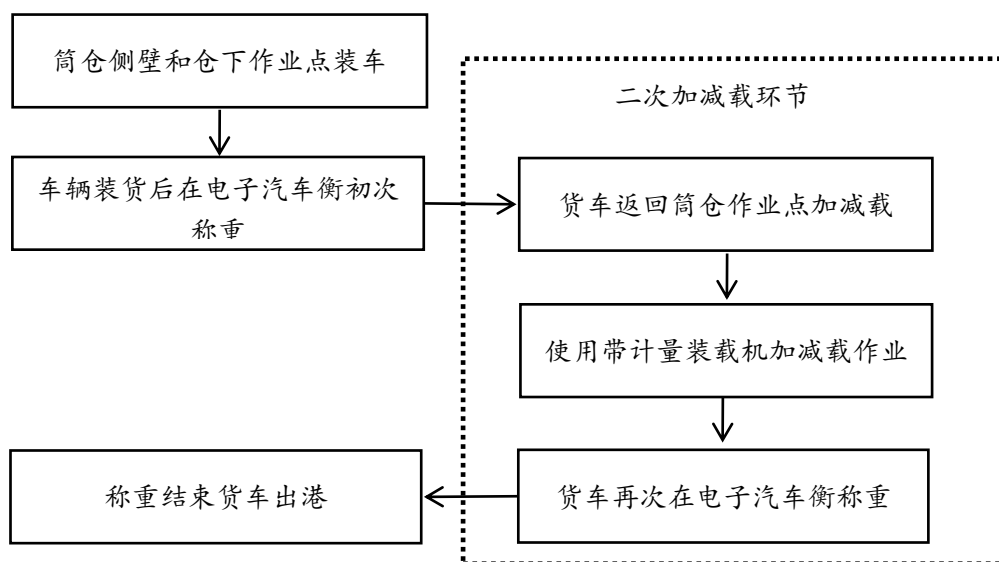


图1 粮食疏港车辆装车作业流程示意图

前进、停止等装车动作。筒仓侧壁和仓下散粮发放方式较装车塔集中发放方式具有显著的绿色节能优势，但受限于装车作业点现场安装高度和安装空间，非连续累计秤、电子汽车衡等常规计量设备安装难度大。疏港车辆受超载源头治理和运输价格提高等多种因素影响，均需要进行二次加减载作业，图1为粮食疏港车辆装车作业流程示意图。为完成疏港车辆二次加减载，作业期间每班至少需配备一台带计量的装载机进行加减载作业。疏港车辆装车作业时间、过衡次数和司机排队等候时间等作业环节成倍增加，作业现场车辆秩序管理难度加大的同时影响装车效率和港口声誉。散粮疏港车辆二次加减载也是目前港口散粮发放作业普遍存在的难点、痛点和堵点问题，解决该问题的关键在于省掉货车

返回筒仓作业点加减载，使用带计量装载机加减载作业，货车再次在电子汽车衡称重三个作业环节，即实现筒仓侧壁和仓下散粮发放方式的精准计量。

1 常用散粮计量设备

以山东港口烟台港集团龙口港公司粮食筒仓发放作业为例，粮食筒仓除集中装车塔发放方式外，设计了侧壁和仓下两种发放方式。侧壁和仓下放料口溜管尺寸为350mm×350mm，设计流量为300t/h。侧壁抑尘料斗下沿距地面高6米，疏港车辆高度最高为4.5米。常用的散粮发放计量设备主要有电子汽车衡、非连续累计秤、皮带秤、冲板流量计、滑槽秤等，表1为各种常用计量设备计量准确度、计量方式及使用优缺点对比。

表1 常用计量设备优缺点对比

	准确度	计量方式	优点	缺点
非连续累计秤	0.2级	动态计量	计量精准	一般需配备装车塔和缓冲斗，整体造价成本高
电子皮带秤	0.5级	连续累计计量	可多场景适用	日常维护工作量较大，出仓皮带机启停料流控制难度大，装车作业难以达到准确计量要求
冲板流量计	1.0级	连续累计计量	造价较低	受环境因素影响大，计量准确度较低，装车作业难以达到准确计量要求
滑槽秤	0.5级	连续累计计量	安装简单，计量精准	移动难度大，灵活性较差

结合常用散粮计量设备优缺点，设计多个粮食侧壁和仓下计量装车作业工艺，并对其优缺点对比分析。

1.1 移动非连续累计秤计量作业工艺

该方案将非连续累计秤安装于移动漏斗下料口处，车辆在其下方装车和通行，图2为移动漏斗作业工艺示意图。因侧壁发放方式设备整体安装高度仅有1.5米，安装空间受限，非连续累计秤安装难度大。方案在移动漏斗侧面设计并安装散粮提升设备，漏斗整体高度得以增加，以便有足够高度和空间安装非连续累计秤。该方案作业时侧壁或仓下自然流出的粮食首先通过提升设备提升至漏斗上方料斗内再计量装车。该作业工艺可实现散粮计量装

车，但增加提升设备后整体重量也大幅增加，同时提升设备工作时产生的震动会影响非连续累计秤计量准确度。

1.2 先计量后提升作业工艺

筒仓侧壁或仓下自然流出的散粮经非连续累计秤计量后再使用埋刮板机提升装车，图3为先计量后提升作业工艺示意图。该方案设备整体高度约10米，设备整体稳定性较差，同时埋刮板工作时产生震动，会影响重力式自动装料衡器计量的准确性。设备整体长度约17米，部分装车区域场地空间较小，难以满足作业要求。埋刮板作业期间，内部会存有部分余料，装车计量准确度难以保证。

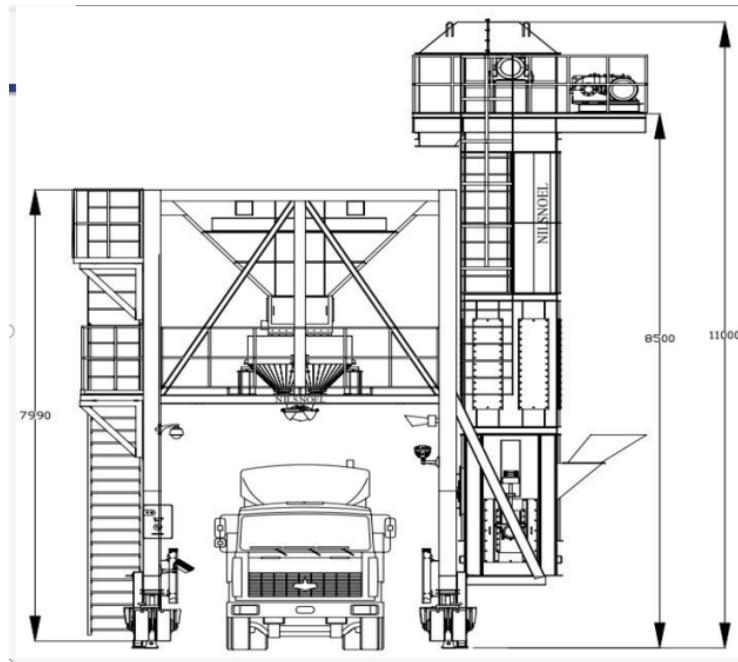


图2 移动非连续累计秤作业工艺示意图

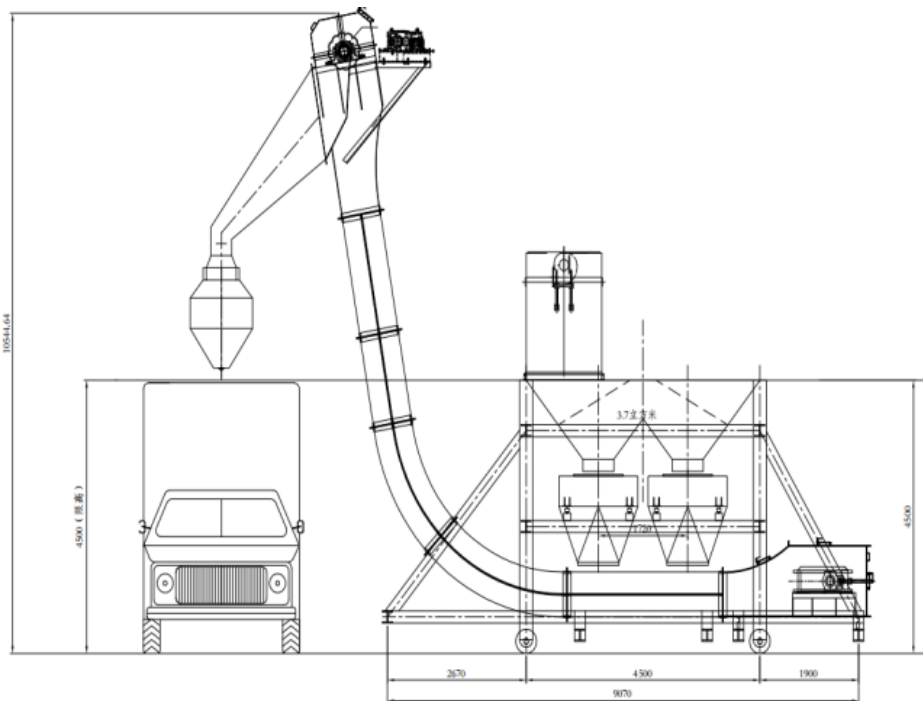


图3 先计量后提升作业工艺示意图

1.3 装车塔计量装车作业工艺

单个或多个筒仓建设一个装车塔，采用埋刮板或斗提机等提升设备，将仓下自然流出的散粮提升至装车塔上料斗内，散粮经上料斗→计量装置→下料斗进行装车，图4为装车塔计量装车作业工艺示意图。该方案计量准确度高、装车作业速度快、作

业工艺实现难度小。但是该方案单台装车塔投资费用高，作业单吨能耗高，失去了侧壁和仓下发放的绿色节能优势。同时已建成筒仓仓下设备安装空间小，难以在筒仓仓下再布置安装埋刮板或皮带机等设备。

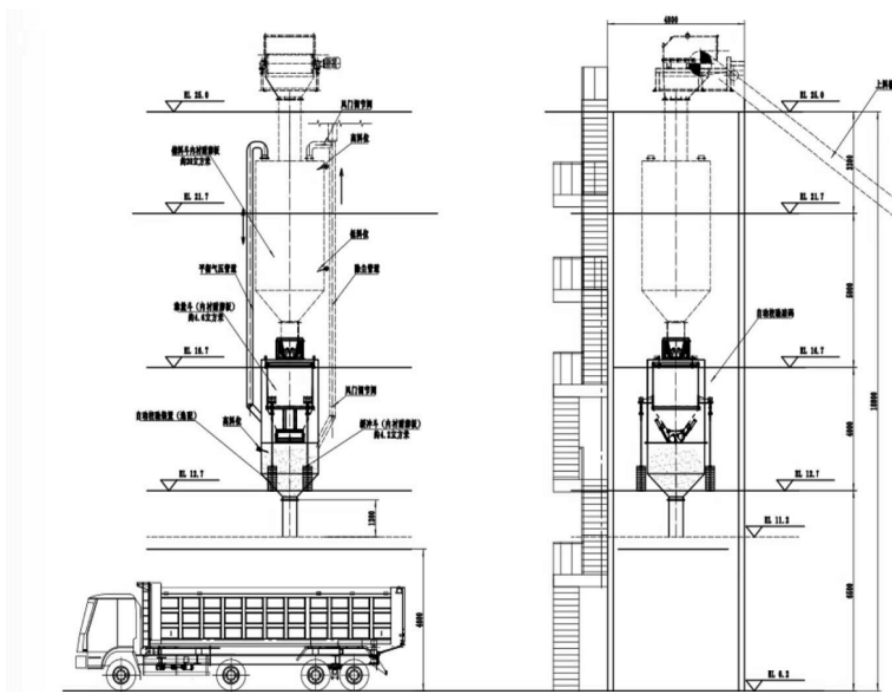


图4 装车塔装车作业工艺示意图

1.4 电子皮带秤计量作业工艺

出仓皮带机安装电子皮带秤，筒仓仓下放流口散粮自然流出后经出仓皮带机计量后装车。该方案作业方式灵活，可通过出仓皮带机实现仓下散粮发放方式的计量。但因疏港车辆单次装车重量较小且作业不连续，难以满足散粮疏港车辆精准发放要求，仍需较为频繁地进行二次加减载作业，问题没有得到彻底的解决。

1.5 电子汽车衡计量作业工艺

在每个筒仓侧壁或仓下装车点安装一台电子汽车衡，边装车边计量。粮食筒仓组一般依次排列布置，单个筒仓直径为22米左右，筒仓装车口位于仓中间位置。疏港车辆长度在17.5米以下（按照车厢14米，车头及牵引部分4.5米计算）。装车采用电子汽车衡计量，汽车衡一般采用规格为3.2×21米汽车衡。若每个筒仓均安装电子磅，安装空间不足、难以规划合理的装车及通行路线。表2为不同作业工艺计量方案优缺点对比。

表2 不同作业工艺计量方案优缺点对比

项目	移动非连续累计秤计量	先计量后提升	定量仓	电子皮带秤	电子汽车衡	滑槽秤
优点	作业方式灵活	作业方式灵活	装车速度快，计量准确度高	作业方式灵活，价格较低	计量准确度高	与现场工况适配度高，安装简便；计量准确高
缺点	设备整体重量大；提升设备引起震动会影响计量准确度；单台价格高	设备高度高、长度长，稳定性较差；提升设备存料引起震动会影响计量准确度；单台价格高	筒仓仓下空间小，设备安装难度大；单台和总体费用高	计量准确度较差；侧壁放流仍难以实现发放计量	占用现场作业场地，不利于规划合理的装车及通行路线	不能直接用于贸易结算；仓内有板结块或杂物时容易堵塞

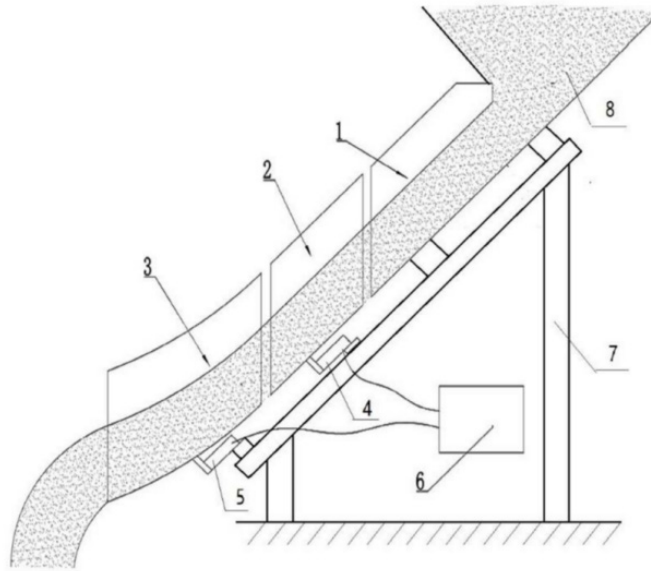
2 滑槽称量技术研究与应用

2.1 滑槽称量技术

滑槽秤由山西新元自动化仪表有限公司研制，是一种新型连续累计自动衡器，可实现散状物料动

态连续精确称重，与传统的人工手动装车方式相比有了革命性的进步。滑槽秤主要由重力测量单元、

冲力测量单元、称重显示仪表单元和软件单元等四个部分组成，图5为滑槽秤工作原理示意图。



1 引导滑槽 2 重力测量单元 3 冲力测量单元 4 重力测量单元传感器
5 冲力测量单元传感器 6 称重显示仪表单元 7 安装支架

图5 滑槽秤工作原理示意图

重力测量单元实现散状物料经引导滑槽整形进入重力滑槽，通过重力滑槽下方安装的重力传感器将滑槽中单位长度上的重量转化为重力电信号。冲力测量单元实现物料从重力滑槽流出后冲到冲力滑槽后自然落下，冲力滑槽上安装的冲力传感器将冲力转化为冲力电信号。图6为滑槽秤力学分析示意图。

力测量单元圆弧半径；F1为重力测量单元受到物料及其滑动对它的作用力；F2为冲力测量单元收到物料及其滑动对它的作用力。

称重显示仪表单元将检测到的重力电信号和冲力电信号进行转换和运算后得到物料流量V。

$$V = \sqrt{\frac{L}{\beta} g \cos(\alpha) \frac{F_2}{F_1} - R g \cos(\alpha - \frac{1}{2}\beta)}$$

根据计算的物料流量V，进一步计算得到物料流量Q。

$$Q = V \frac{F_1}{g L \cos(\alpha)}$$

称重显示仪表单元对物料流量Q积分，可得到流过滑槽的物料累计重量W。

$$W = \int Q dt$$

滑槽称量技术配合编程计算可对物料瞬时和累计流量进行计算和显示，可在连续不卡料的情况下对不同粒度和速度的物料进行精确称重，特别适用于粮食、煤炭等散状物料流量的精确流量测量和连续累计计量。

2.2 滑槽秤计量准确度及稳定性

滑槽秤计量稳定性、计量准确度、检修难度和

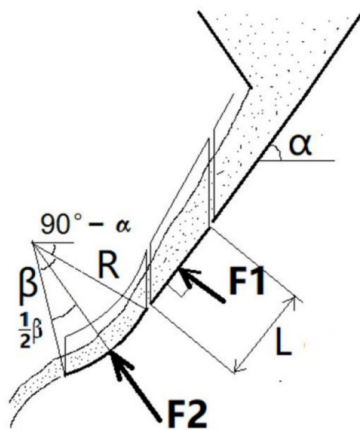


图6 滑槽秤力学分析示意图

图6中，L为重力测量单元滑槽长度；α为引导滑槽底面与水平面的夹角；β为冲力测量单元圆弧角；R为冲

检修周期等指标，是粮食侧壁或仓下精准发放计量实现的前提条件。滑槽秤在单位长度滑槽中部设置了一个重力传感器（即只有一个受力点），实现重量信号检测，不存在受力不平衡问题，因此系统稳定性较好，检验周期可达3-6个月/次。滑槽秤根据一个地区重力加速度是稳定不变的原理，利用重力检测速度，实现速度信号检测，因此滑槽秤计量稳定、准确度优异。滑槽秤由引导滑槽、称重滑槽、称重传感器和安装支架等组成，结构简单、便于检查和维护。

2.3 滑槽秤粉尘防爆性能和抑尘能力

散粮装车发放作业过程中产生的粉尘，不仅是筒仓粉尘爆炸管控的一个重要危险源，也是绿色港口建设亟需解决的一个难点和痛点。滑槽秤采用的传感器、电气柜、电动阀门、接线盒等电气部件，均按照粉尘防爆21区要求设计和选用，满足作业区域粉尘防爆要求。

滑槽秤整体长度约1.5米，一般为倾斜或垂直

安装，对安装空间要求小，可作为溜管一部分来使用。滑槽秤工作时物料依靠自身重力在滑槽内流动，因滑槽秤仅由引导滑槽、重力测量单元和冲力测量单元组成，没有转动部分，部件均为刚性连接，能够和管道密封在一起。因此滑槽秤可设计为全封闭式，避免作业中产生扬尘。同时滑槽秤在保留原有抑尘斗抑尘方式的基础上，与溜管连接处采用软连接进行封闭和在抑尘斗下方设置快开阀，装车作业时待抑尘斗内充满一定粮食后再打开快开阀等方式，进一步提升抑尘效果。

3 滑槽称量技术在粮食筒仓装车作业中的应用

粮食筒仓装车主要有筒仓侧壁放出口自然流装车、仓下流出口出仓皮带机装车和装车塔集中装车三种方式，表3为粮食筒仓三种出仓作业方式对比。粮食筒仓侧壁和仓下出仓皮带机发放方式较装车塔集中发放方式具有明显的绿色节能和作业方式灵活等优势。

表3 粮食筒仓三种装车作业方式对比

装车方式	装车流量	设备功率	优缺点
散粮侧壁发放	300t/h	0kW	依靠粮食自身重力装车，节能优势明显
散粮仓下发放	150t/h	22kW	装车效率较低，节能效果较好
散粮装车塔发放	800t/h	685kW	装车效率高，耗能较高

3.1 滑槽秤在粮食筒仓侧壁或仓下定量装车作业中的应用

在粮食筒仓侧壁和仓下放流溜管上依次安装电动快动阀门、滑槽秤和抑尘斗。疏港车辆装车量可通过电气控制柜内称重仪表，手持遥控操作器和称量控制系统三种方式进行设定。装车作业时，称重仪表实时监测并显示瞬时流量和单次累计重量等信息，并反馈至中控室控制系统。操作人员根据车辆装车情况控制电动快动阀门开关，并指挥司机前进、停止等装车动作。累计重量达到设定装车量后，系统发出停止信号，电动快动阀门自动关闭。

粮食筒仓侧壁放出口末端安装抑尘斗，用于减少粮食发放作业中产生的粉尘。在散粮发放作业过程中，抑尘斗内充满粮食后可产生空心柱状料流，此时抑尘斗抑尘效果最佳。安装于抑尘斗上部的滑槽秤根据其称重原理，需要粮食滑动通过其测量单

元，不能在此处积堵。当电动阀门控制的喂料流量大于抑尘斗额定流量时，散粮会在放流溜管内堆积；当电动阀门控制的喂料流量小于抑尘斗额定流量时，抑尘斗抑尘效果会减弱。根据滑槽秤和抑尘斗工作原理和使用特性，滑槽秤称量准确性和抑尘斗抑尘效果是装车系统设计的两个关键要素。系统据此设计、制作、安装了流量自适应抑尘料斗，抑尘斗下料口开度大小由弹簧控制，可根据斗内散粮重量在设定流量上下50-100t/h范围内自动调整，使用效果优异。

3.2 滑槽秤在散粮筒仓装车塔定量装车作业中的应用

粮食筒仓装车塔集中发放方式，目前依靠粮食在溜管内自然流下进行装车，由现场工作人员在装车塔二层平台上观察装车情况并现场控制。滑槽秤可安装在装车塔垂直溜管上或在装车塔下料口下

方安装电子汽车衡。装车作业时，操作人员设定装车量并指挥疏港车辆装车和移车，达到装车设定量后，电动阀门自动停止。

3.3 散粮自动定量装车系统

现场装车作业主要依靠操作人员在作业点观察、判断和指挥，作业车辆多、劳动强度大、安全风险高、工作环境差。散粮自动定量装车系统如图7，主要由滑槽秤、激光扫描传感装置、激光雷达料

位计、LED显示系统、数据处理和操作系统等部分组成。激光扫描传感装置安装于装车点车道侧部，扫描车辆的侧身轮廓。激光雷达料位计安装在车道正上方，扫描得到车辆的长高轮廓和实时装料的堆高高度。LED显示系统安装于车道侧前方，实时显示装车高度、重量等数据，司机根据装车高度提示移车。数据处理和操作系统位于控制室内，操作人员可通过监控查看装车流程并远程指导。



图7 散粮自动定量装车系统现场

4 结语

滑槽称量技术完美实现了筒仓侧壁和仓下放流口粮食发放精准计量，解决了疏港车辆二次加减载问题，保留了侧壁和仓下散粮发放绿色节能和作业灵活等优势。基于滑槽称量技术的散粮装车系统实现了筒仓侧壁和仓下自动定量装车作业，将传统的人工作业操作模式变革为“系统自动操作、人工远程监控”的数字化控制、自动化操作模式。散粮自动定量装车系统实施后，单车装车时间减少37.46%，按照三班次运行，可减少负责加减载铲车司机3人，现场操作员9人。该技术在粮食筒仓装车方面具有广阔的应用推广前景。

参考文献

[1] 程粤. 门座起重机边下降边开斗功能控制系统

设计[J]. 港口装卸, 2016(3), 26-28.

[2] GB 50058-2014. 爆炸危险环境电力装置设计规范[S].

[3] 张质文, 王金诺, 程文明, 邹胜, 刘权, 王少华. 起重机设计手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013, 8.

[4] 陶德馨. 工程机械手册[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017, 9.

[5] 程粤, 王杨. 基于双站PLC的输煤皮带机控制系统[J]. 港口科技, 2015(12), 23-26.

作者简介

程粤, 男, 1982年8月, 山东青岛莱西人, 汉族, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事仪器仪表及其自动化和大型装卸机械电控系统研究。