

# 基于直方图的集装箱正面吊称重算法

□李泉<sup>1,2</sup> 宫兴琦<sup>1,2</sup> 孔德顺<sup>1,2</sup>

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司标准计量研究所 2. 北京华横科技有限公司)

**【摘要】**为了提高集装箱正面吊的称重精度，提出了一种基于直方图的集装箱正面吊称重算法。该算法通过竖向加速度的大小进行数据筛选，剔除了称重过程中的超、失重数据。通过直方图的统计分析，获取稳定的称重输出。试验结果表明，空、重集装箱的称重结果极差小、精度高，满足动态称重精度 0.7% 的标准要求。高精度、稳定的称重数据，将为下一步超偏载的分析提供数据基础。

**【关键词】**加速度；直方图；集装箱正面吊；称重

文献标识码：B 文章编号：1003-1870 (2023) 03-0041-07

## 引言

随着现代物流的快速发展，集装箱货运已成为铁路货运的重要发展方向。集装箱货运因其安全性和高效性，更适宜应用于水路、铁路和公路的多式联运中。在铁路集装箱货场中，用于装卸集装箱的大型机械设备主要包括正面吊运机、集装箱叉车、轮胎式门吊、轨行式门吊等<sup>[1,2]</sup>。正面吊作为铁路集装箱货场的重要辅助装卸机械，在满足吊卸作业的同时，也可实现短距离运输。集装箱正面吊作业机动灵活，装卸效率高，在货场得到了广泛应用<sup>[3]</sup>。

集装箱在铁路货运中可能存在的货运安全问题主要包括：因货物装载不均，造成的超偏载问题；因货场作业不规范造成的空、重集装箱混装问题。为提升铁路运输装卸技术与装备水平，按照铁路运输装卸机械发展政策措施的要求，集装箱装卸作业机械的发展方向为研发、应用高可靠性的具有超偏载检测的集装箱吊具，以及应用具备联网监控功能的装载机称重装置<sup>[4]</sup>。集装箱超偏载、空重箱混装等问题若在装车列前解决，将大大减少铁路集装箱货运安全事故。

集装箱门式起重机具有减摇功能，且其各吊点为轴对称结构，各吊点受力均衡，因此在门吊吊具上发展起来的称重及超偏载检测装置相对较成熟。

称重及超偏载检测的核心就是称重传感器，它是获取重量信息的关键部件。为了检测集装箱的重量信息，同时又不改变吊具的结构，目前普遍的做法是将传感器内置在吊具的关键部件中，既可以充当吊具中的机械部件，同时又能检测称重信息。一种常见的结构是将其钮锁内贴应变片改造成吊钩传感器，用于检测吊装集装箱时的拉力<sup>[5]</sup>。

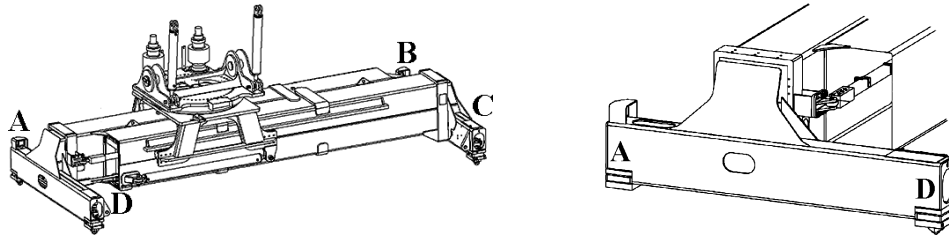
集装箱正面吊称重早期是通过油压、力臂进行换算，称重精度低而且只能给出总重，各吊点的称重结果无法给出<sup>[6]</sup>，因此想要实现集装箱各吊点的称重，还需要借助传感器实现。用于正面吊称重的传感器近年来发展较快，目前主要有两种：一种是上文提到的吊钩传感器；另一种是将钮锁卡箍内贴应变片改造成的轮辐式传感器，它检测的是压力。集装箱正面吊作为车载装卸特种设备，相对于门吊在称重研究中还需考虑车辆状态对称重结果造成的影响，例如车辆本身的振动、启动、停止、加速、减速、颠簸等对称重结果均有影响，因此不能将原有的门吊称重算法直接移植使用。按照中国国家铁路集团有限公司企业标准《Q/CR 791—2020 铁路集装箱超偏载检测装置》的要求，悬吊式吊装设备的动态称重结果精度不低于 0.7%，以此作为标准进行算法的研究<sup>[7]</sup>。

## 1 集装箱正面吊称重系统

### 1.1 集装箱正面吊吊具

一种集装箱正面吊吊具如图1所示，其中图1-(a)为吊具的整体结构，图1-(b)为吊具的左侧结构。当吊具的伸缩油缸呈收拢状态时，正面吊可用于20英尺集装箱的吊卸，当伸缩油缸处于伸长状

态时可用于40英尺的集装箱吊卸。中心的旋转装置不但可以实现吊具的整体旋转，同时兼具左右侧滑功能。吊具的主体结构呈中心对称分布，图1中A点距吊架起吊点的距离小于D点，C点距吊架起吊点的距离小于B点。四吊点通过钮锁装置实现集装箱的起吊。



(a) 吊具整体示意图

(b) 吊具侧视图

图1 集装箱正面吊吊具

因吊具的非中心对称结构，当正面吊起吊集装箱时，各吊点为非均匀受力。为了说明各吊点的实

际称重情况，随机选取5个集装箱静态称重，正面吊的实际称重情况如表1所示。

表1 正面吊各吊点称重表

(t)

序号	吊点 A	吊点 B	吊点 C	吊点 D
1	8.55	6.42	8.39	6.25
2	9.46	6.08	9.04	7.01
3	8.67	5.76	8.33	5.69
4	8.91	6.36	8.88	5.89
5	8.81	6.28	9.07	6.17

通过表1可以看出，吊点A、C的实际称重值要明显大于吊点B、D点的实际称重值。在集装箱的超载检测中，假设集装箱门在吊架B、C侧，则当吊点A、D的称重大于吊点B、C的称重时，称作A、D点正向偏重。当吊点A、B的称重大于吊点C、D的称重时，称作A、B侧正向偏载。当整体称重值高于限载值时，称作集装箱超载。另外，在进行集装箱称重测量时，需保持中心旋转装置对中，否则会因机械结构原因造成集装箱的偏重。

### 1.2 集装箱正面吊称重系统

集装箱正面吊称重系统由吊具上的室外设备和驾驶室内设备组成，数据传输通过正面吊上的通信电缆完成。其中室外设备包括吊钩传感器、加速度传感器和数据传输模块，1号至4号吊钩传感器分别安装在吊具的A点、B点、C点、D点，加速度传感器用于检测与吊具上表面垂直的竖向加速度大小；驾驶室内设备包括数据接收模块、数据处理显示终端和无线传输模块。系统组成如图2所示。

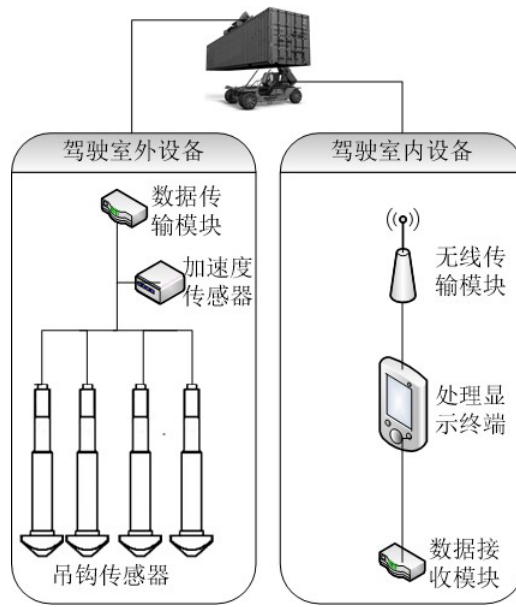


图2 集装箱正面吊称重系统

完整的称重过程包括：集装箱吊起后，吊钩传感器、加速度传感器将实时采集数据，通过数据传输模块发送到正面吊驾驶室内，驾驶室内数据接收模块将接收的数据发送到处理显示终端，通过对数据的处理显示称重结果并通过无线传输模块发送到集装箱货场的服务器。因此，称重数据可以在驾驶室内实时显示，同时也可通过计算机终端、手持终端进行历史称重记录查询。

其中系统所用称重传感器为数字型传感器，可将称重值直接实时发送到驾驶室内设备。系统中的加速度传感器，可以用于剔除车辆颠簸造成数据突变，当检测到超重、失重状态时，剔除当前的称重数据，避免称重结果的剧烈变化。4路吊钩传感器与加速度传感器设置为相同的采样频率，并控制其在相同的时刻进行数据采集，从而保证数据的同步性。

## 2 称重算法

考虑到集装箱正面吊为车载设备，在进行称重处理时需要考虑车辆的行驶状态，同时要保持吊具中心旋转装置的对中，避免影响称重结果。算法的核心就是在称重任意时刻所计算出的总重数据既要满足动态精度要求，又要保证先后各时刻计算的称

重值极差要小。具体的称重算法步骤如下：

步骤 1：称重等待。正面吊未吊起集装箱时，持续记录各传感器的零点值；同一时刻采集的 4 路吊钩传感器数据求和，记为当前时刻的总重，当检测到总重大于设定阈值时  $m_{Thre}$ ，开始进入称重状态。集装箱空箱一般都大于 1t，这里取阈值  $m_{Thre}$  设为 1。

步骤 2：将当前同一时刻采集的 4 路吊钩传感器数据按照同步采集到的加速度的大小进行数据筛选，若当前时刻出现超重、失重情况，剔除对应时刻 4 路吊钩称重数据。未出现超重、失重情况时，计算总重，存放于总重时间序列  $S$  的队尾。随着时间推移， $S$  序列数据逐渐增大。

步骤 3：将当前总重序列  $S$  所有数据归一化到  $[0, a]$ ，归一化公式如式 (1) 所示。

$$a \quad (0 < i < N) \quad (1)$$

上式中， $i$  表示某一时刻总重序列的编号， $N$  表示当前序列  $S$  中的数据总数， $S_{NOR}(i)$  表示  $i$  时刻的归一化总重大小， $S_{max}$  表示总重序列中的最大值， $S_{min}$  表示总重序列中的最小值。正面吊装卸重箱时，总重序列  $S$  的极差一般在  $3t$  以内，为减小误差这里  $a$  取 1000。通过归一化后，总重序列  $S$  的最大值将归

一化为 1000，最小值将归一化为 0。

步骤 4：将当前的序列  $S_{NOR}$  进行直方图统计，得到各归一化总重数据的频率统计，即得到以归一化重量为 x 轴（范围为 [0,1000]），以归一化重量出现频率为 y 轴的统计直方图。

步骤 5：计算直方图每一点的前 M 个点至后 M 个点频率之和。序列  $S_{NOR}$  数据总数 N，取 M 的大小为 N 的 5%。查找和中最大值对应的点，将该点的前 M 点与后 M 点对应的归一化重量记为  $S_{NOR1}$  与  $S_{NOR2}$ ，通过式（1）进行反算，即可得到当前序列 S 的上下阈值  $S_{Thre1}$  与  $S_{Thre2}$ ，计算公式如式（2）所示。

$$\frac{(S_{NOR1} \quad n)}{(S_{NOR2} \quad n)} \quad (2)$$

步骤 6：在序列 S 内查找所有在  $[S_{Thre1}, S_{Thre2}]$  范围内的数据平均值，以此平均值作为当前时刻总重

值。

步骤 7：称重结束前，重复步骤 2 至步骤 6，得到一个先后各时刻的称重结果序列。序列中的每一点表示当前时刻计算出的总重，最后一个数据为称重最终结果，其余数据作为称重过程数据可用来判断实时的总重是否超限。

步骤 8：检测序列 S 出现低于阈值  $m_{Thre}$  的时刻，此时认为正面吊已将集装箱卸下，本次称重结束，记录最终的称重值。

### 3 试验验证

#### 3.1 空箱验证

选择一 20 英尺 35 t 敞顶箱进行测试，其标称空箱质量为 2.78t。通过正面吊称重其完整的总重序列图像如图 3 所示，为展示其吊装过程中的数据波动情况，将其原始称重过程中的序列放大如图 3-（b）所示，从称重开始至称重结束共计 128 个采样点，传感器的采样频率为 5Hz，称重时间共计 25.6s。

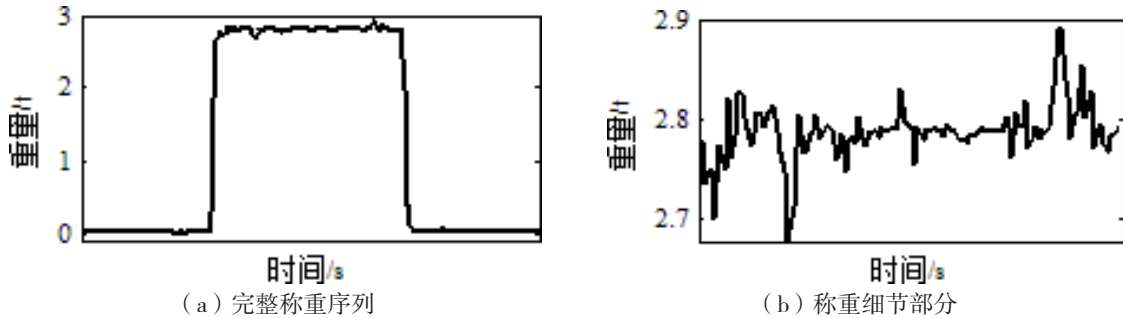


图3 集装箱称重序列

与吊钩传感器检测数据对应时刻采集到的加速度如图 4-（a）所示，通过加速度值对原始总重序列

筛选后的称重序列 S 如图 4-（b）所示。

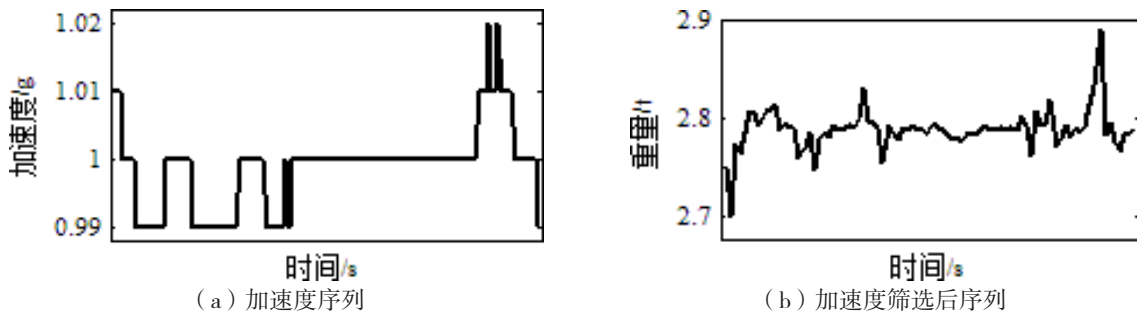


图4 加速度的筛选

将序列 S 按照步骤 3 进行归一化处理，得到  $S_{NOR}$  序列如图 5 所示。

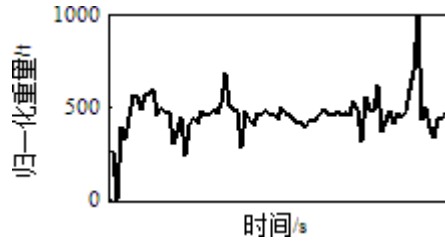


图5 归一化称重序列

然后将归一化重量序列进行统计，绘制直方图如图 6 所示。归一化重量的均值为 460，对应的实际重量为 2.788t。按照步骤 5 得到的两个归一化重量阈值为 470、479，通过公式 (2) 反算阈值为 2.787t、2.791t。

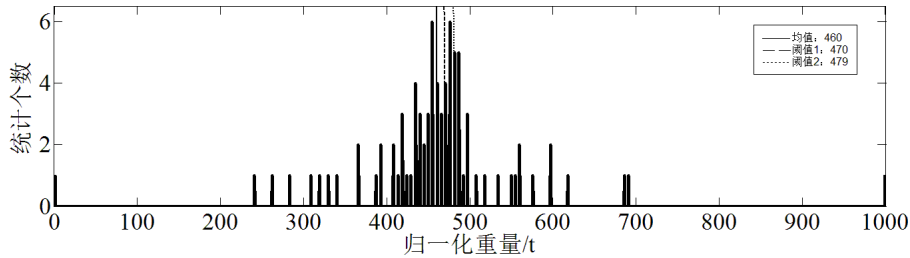
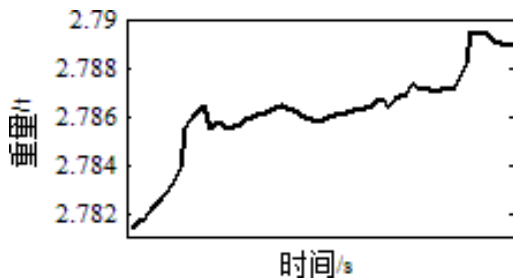


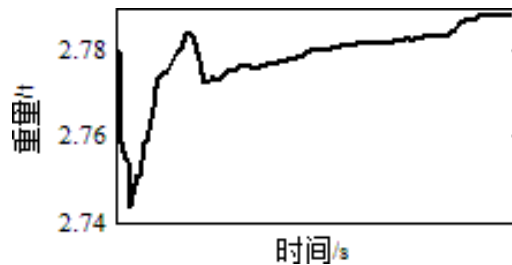
图6 归一化重量的统计直方图

按照步骤 6 处理后得到本次称重结果为 2.789t。从称重开始至称重结束，每新增一个总重数据都按步骤 2、3、4、5、6 进行处理，得到一个称重结果序列如图 7-(a) 所示。为验证算法的有效性，通过直接计算序列内的平均值得到称重结果序列如图 7-(b) 所示。从图中观察可以发现，应用本文算法称

重结果最小值为 2.781t，称重结果最大值为 2.789t，极差为 0.008t，称重误差最大为 0.32%。而直接用平均值所得的结果最小值为 2.743t，称重结果最大值为 2.788t，极差为 0.045t，称重误差最大为 1.33%。因此通过空箱验证该算法有效且稳定性优于均值算法，满足动态称重精度 0.7% 以内的要求。



(a) 本文算法称重结果序列



(b) 平均值称重结果序列

图7 称重结果序列

将此空箱连续称重 3 次，用所提称重算法计算集装箱重量。记录每次的称重时间、总重、误差如

表 2 所示。从表 2 中可以发现，3 次称重结果均满足动态称重精度的要求。



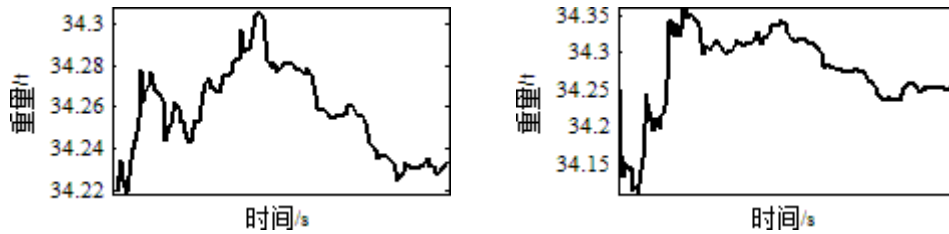
表2 空箱验证

序号	称重时间 (s)	总重 (t)	误差 (%)
1	25.6	2.789	0.32
2	56.2	2.788	0.29
3	125.8	2.788	0.29

### 3.2 重箱验证

选择一 20 英尺 35 t 敞顶箱的重箱进行验证, 从称重开始至称重结束共计 212 个采样点, 传感器的采样频率为 5Hz, 称重时间共计 42.4s。该重箱在静态称重台上称重结果为 34.138t。通过算法计算得到其称重结果序列如图 8 所示。从图中可以发现, 本文的称重算法结果最小值为 34.218t, 称

重结果最大值为 34.305t, 极差为 0.087t, 称重误差最大为 0.49%。而直接用平均值所得的结果最小值为 34.109t, 称重结果最大值为 34.360t, 极差为 0.251t, 称重误差最大为 0.65%。因此, 通过重箱验证该算法有效且稳定性优于均值算法, 满足动态称重精度 0.7% 以内的要求。



(a) 本文算法称重结果序列 (b) 平均值称重结果序列

图8 称重结果序列

将此重箱连续称重 3 次, 用所提称重算法计算集装箱重量。记录每次的称重时间、总重、误差如

表 3 所示。从表 3 中可以发现, 3 次称重结果均满足动态称重精度的要求。

表3 重箱验证

序号	称重时间 (s)	总重 (t)	误差 (%)
1	42.4	34.234	0.28
2	60.6	34.233	0.28
3	125.8	34.227	0.26

### 4 结束语

该集装箱正面吊称重算法利用加速度进行数据筛选, 通过对归一化的序列进行直方图统计分析, 将序列中离散程度较低的数据均值作为当前称重值, 通过空、重箱称重进行试验验证, 得到结论如下:

- (1) 该算法通过重力加速的筛选, 剔除一部分超、失重的称重数据, 在一定程度上降低了数据的离散程度。
- (2) 通过直方图的统计处理方法, 进一步降低

了数据的离散程度, 最终得到的各时刻称重值, 数据更稳定、精度更高。

(3) 该算法同样适用于 4 路传感器的称重结果的处理分析, 通过得到的各路称重结果, 可以对集装箱正面吊的超偏载情况做进一步分析处理。

### 参考文献

[1] 杨广全, 李瑞, 梁永刚. 铁路门式起重机安全监控系统 [J]. 起重运输机械, 2018(12): 149-153.

[2] 李鑫. 正面吊为主型机械的铁路集装箱中心站核心资源配置优化 [D]. 北京交通大学, 2017.

[3] 杨广全, 梁永刚, 李瑞. 铁路集装箱正面吊安全监管平台设计研究 [J]. 铁道货运, 2017, 35(12): 45-49.

[4] 刘庆渔. 铁路门式起重机集装箱偏载监控的实践 [J]. 铁道货运, 2016, 34(11): 37-41.

[5] 许如俊. 悬吊式集装箱超偏载检测装置 [P]. CN207050819U, 2018-02-27.

[6] 任光合. 某集装箱正面吊大臂举升关键技术研究 [D]. 燕山大学, 2012.

[7] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路集装箱超偏载检测装置: Q/CR 791-2020 [S]. 北京: 中国铁道

出版社, 2020.

### 基金项目

中国铁道科学研究院集团有限公司基金(2020YJ058)

中国铁道科学研究院集团有限公司标准计量研究所基金(BJ2020S15)

### 作者简介

李泉(1989-), 男, 汉族, 山东莱州人, 硕士, 工程师。主要从事计量技术、设备研制。