

基于模块化钢基础的汽车衡结构设计与应用

□于海霞 王希朋 张强 韩志刚 胡晓曼

山东金钟科技集团股份有限公司

【摘要】针对传统混凝土固定式汽车衡施工周期长、成本高、不可移动且换场地使用需重新构建基础的问题，本文提出一种汽车衡模块化钢基础的设计方案。该方案通过将钢基础拆分为中间承重框架、端部承重框架及连接单元的模块化结构，配合集成化的限位组件与可匹配的钢制引坡，实现了汽车衡的快速拆装、灵活移动与重复利用。本文详细阐述了该模块化钢基础汽车衡的整体结构组成、各核心单元的设计要点及工作原理，分析了其在安装效率、成本控制及场景适配性方面的技术优势，结合有限元仿真，验证模块化钢基础结构的力学性能，结果表明：端部承重框架最大应力 $8.741 \times 10^7 \text{ Pa}$ （低于材料屈服强度 $1.85 \times 10^8 \text{ Pa}$ ），端部承重框架基础板竖向位移 0.01379 mm （变形量级极小）。该设计可将安装周期缩短至1~2天，提升设备重复利用率，降低运维成本，为计量设备轻量化、标准化发展提供可行路径。

【关键词】汽车衡；模块化设计；钢基础；可拆卸结构；有限元仿真

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2026）04-0014-04

Structural Design and Application of a Truck Scale Based on a Modular Steel Foundation

【Abstract】To address the issues associated with traditional fixed concrete truck scales – such as long construction periods, high costs, immobility, and the need for foundation reconstruction when relocating – this paper proposes a design solution for a modular steel foundation for truck scales. This solution achieves rapid assembly and disassembly, flexible relocation, and reusability of the truck scale by dividing the steel foundation into a modular structure consisting of intermediate load-bearing frames, end load-bearing frames, and connecting units, complemented by integrated limit components and adaptable steel approach ramps. This paper elaborates on the overall structural composition, design essentials of each core unit, and working principle of this modular steel foundation truck scale, and analyzes its technical advantages in terms of installation efficiency, cost control, and scenario adaptability. The mechanical performance of the modular steel foundation structure was verified through finite element simulation. The results show that the maximum stress in the end load-bearing frame is $8.741 \times 10^7 \text{ Pa}$, which is below the material yield strength of $1.85 \times 10^8 \text{ Pa}$, and the vertical displacement of the base plate of the end load-bearing frame is 0.01379 mm , indicating an extremely small deformation magnitude. This design can shorten the installation period to 1–2 days, improve equipment reusability, and reduce operation and maintenance costs, providing a feasible pathway for the development of lightweight and standardized metrological equipment

【Keywords】truck scale; modular design; steel foundation; detachable structure; finite element simulation

引言

汽车衡（又称地磅）作为大宗货物计量的核心设备，广泛应用于港口、仓储、工矿企业、交通运输

等多个领域。随着社会经济的快速发展，各行业对汽车衡的需求量持续增长，同时使用场景也日趋多元化，对设备的安装便捷性、场地适应性及成本经

济性提出了更高要求。当前主流混凝土固定式汽车衡存在施工周期长（7~10 天）、不可移动、地基要求高的缺陷，难以适配短期项目与复杂场地需求。为此，本文基于模块化理念，研发钢制模块化基础汽车衡，通过优化结构布局与连接方式实现快速拆装、重复利用；同时结合有限元仿真验证设计可靠性，为汽车衡技术升级提供解决方案。

1 模块化钢基础汽车衡的整体结构介绍

模块化钢基础汽车衡的核心设计思路是“模块化拆分、集成化装配”，通过将设备拆解为功能独立的单元模块，实现各模块的标准化生产、灵活组合及快速装配。其整体结构主要包括秤体单元、钢基础、称重传感器及称重指示器四大核心部分。具体结构组成如图1 所示，本文以我司SCS-60-3418 标准钢基础汽车衡为研究对象。

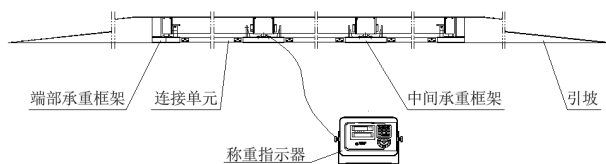


图1 模块化钢基础汽车衡整体结构示意图

其中，钢基础是实现模块化与可移动性的核心部件，采用拆分式设计，由若干中间承重框架、若干端部承重框架及若干连接单元组成，通过标准化螺栓连接形成协同承载体系。秤体单元放置于钢基础上方，用于承载待称重车辆。称重传感器均匀布置于秤体与钢基础之间，配合数字化指示器完成称重过程。两端可选配钢制引坡替代传统混凝土结构，提升场地适配性，如图2 所示。

2 核心单元设计

2.1 钢基础模块化设计



图2 模块化钢基础整体结构示意图

（1）中间承重框架设计：采用槽钢与加厚钢板焊接成型，并进行焊缝探伤检测。创新采用低安装高度与全钢板封底结构，从而增大地面接触面积、减小压强，适配普通硬化地面。集成外置式纵向限位机构，约束秤体纵向晃动，保障计量精度。标准单元

长度为3.0m、3.4m，可通过模块组合响应定制化轴载与场地需求，如图3 所示。

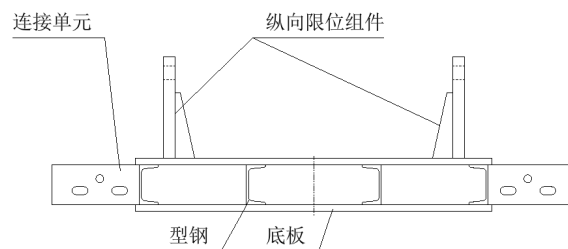


图3 中间承重框架结构示意图

（2）端部承重框架设计：集成承载、横向限位与引坡连接三大核心功能，含基础框架、横向限位组件、限位柱及缓冲支撑部。横向限位机构集成于端部承重框架，通过与秤体单元的侧面精准贴合实现横向限位，横向限位组件与中间框架纵向限位协同作用，实现全方位限位，保障计量精度与设备运行安全性。限位柱与引坡腔体配合，保障引坡稳定性。缓冲支撑部其上端面与秤体单元表面保持平齐，并与引坡相接，车辆上衡时从引坡脱离后先落在缓冲支撑部上，可有效缓冲车辆对秤体单元的冲击，降低秤体磨损，延长设备使用寿命，同时提升计量精度的稳定性，如图4 所示。

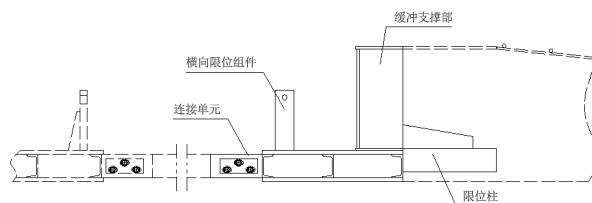


图4 端部承重框架结构示意图

（3）连接单元设计：连接单元的核心功能是实现中间承重框架与端部承重框架之间的灵活组合与稳定衔接，其核心受力体系由连接框架与高强度连接螺栓组成。其中，连接框架采用与承重框架同源的定制槽钢经精准组焊成型，框架的关键连接部位预设多组调节孔位，同时支持连接框架尺寸的定制化设计，可实现不同规格承重单元的灵活拼接，进而组合形成多种长度规格的钢基础整体结构。此设计大幅提升了各部件的互换性与通用化水平，能快速响应客户现场不同吨位、不同安装尺寸的汽车衡适配需求，显著降低定制化开发成本，如图5 所示。

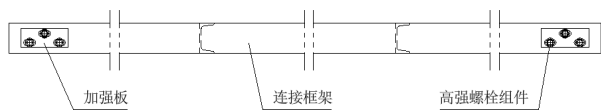


图5 连接单元结构示意图

连接框架与承重单元之间采用高强度螺栓进行刚性连接，螺栓选型经过严格的力学载荷校核，确保连接部位的承载能力与整体结构强度相匹配。连接单元与称重框架连接处螺栓主要受剪，考虑汽车衡偏载等极限情况计算螺栓实际剪切应力：

$$\tau = \frac{F}{n \times A_s}$$

F ：剪切力，60t 汽车衡轴载为25t，承重单元单元受力125KN，考虑到极限偏载情况，此处载荷按照1.5 倍计算，计算载荷约为180KN；

n ：剪切面数量（此处 $n=1$ ）；

A_s ：螺栓有效剪切面积。

连接框架与承重单元之间采用多螺栓进行刚性连接，多螺栓分担计算，需满足：

$$Z \geq \frac{F}{n \times A_s \times \tau_{des}}$$

Z ：单侧连接螺栓数量；

τ_{des} ：材料许用剪切应力。

考虑汽车衡称量极限状态，此处连接螺栓选用8.8 级M16 螺栓，单侧螺栓数量不少于3 颗。

（4）引坡设计：钢制引坡采用分段式优化设计：前半部分采用U 型梁承重结构，在满足通行强度要求的前提下，有效降低引坡整体重量，节省钢材用量。后半部分采用格栅+ 底板结构，保障车辆上坡时的核心承载强度与结构刚性，实现轻量化与实用性的平衡。引坡独立式锚定安装，隔离通行冲击，避免载荷传递至核心部件，如图6 所示。

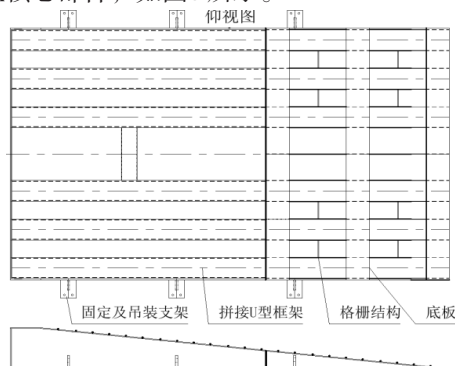


图6 分段式引坡结构示意图

2.2 秤体单元与传感系统设计

秤体单元采用标准化平板结构，秤体单元的尺寸可根据称量需求进行定制，通过与钢基础的标准化连接方式，实现与不同组合的钢基础的精准适配。

称重传感器均匀布置于秤体单元与钢基础之间，确保能够全面、准确地采集车辆重量信号。称重指示器选用数字化显示设备，具备信号放大、滤波、校准等功能，可有效提升重量信号处理精度，确保显示数据的准确性与稳定性。

由于本部分结构及传感系统均属常规成熟设计，并非本文研究创新点，故相关细节不再赘述。

2.3 局部结构设计验证（有限元仿真）

（1）仿真条件：以端部承重框架为对象，载荷设定为250K（对应目标车型轴载），约束条件模拟螺栓连接安装状态，材料选用Q235 钢（屈服强度 1.85×10^8 Pa），匹配实际设计参数。

（2）应力仿真结果：应力分布如图7 所示，最大应力发生在载荷作用点正下方的槽钢腹板与翼缘交接处，最大应力为 8.741×10^7 Pa，仅为材料屈服强度的47%，处于安全范围，验证了“槽钢+ 钢板焊接结构”的承载可靠性，支撑模块化协同承载体系设计。

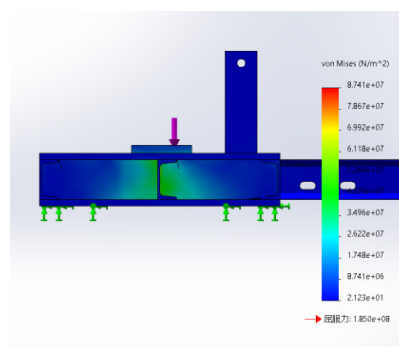


图7 端部承重框架von Mises应力仿真云图

（3）位移仿真结果：载荷方向与传感器受力方向一致，垂直作用于承载板表面。由竖向位移云图（UY）可知，结构最大竖向位移为0.01379 mm，变形量级极小。依据《固定式电子衡器》（GB/T 7723-2017）第7.1.8 条对承载器变形量的限值要求，该位移值远低于标准规定阈值，完全满足计量精度与结构刚度要求。

所采用低安装高度+钢板封底的优化设计，可形成“箱型闭合框架”，大幅提升整体抗侧移刚度。低安装高度缩短力臂，减小弯矩与变形。此设计既适配复杂场地，又保障计量精度，进一步验证设计合理性，如图8所示。

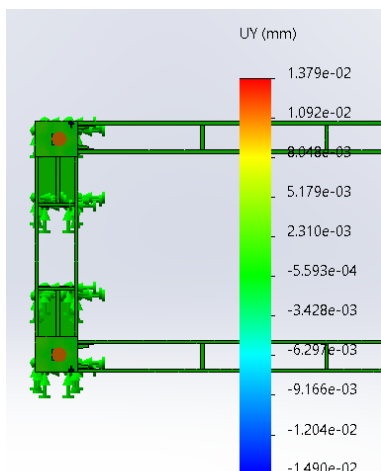


图8 钢基础部件竖向位移 (U_Y) 仿真云图

3 工作原理与装配流程

3.1 工作原理

车辆经引坡驶上秤体，重量通过秤体传递至传感器，传感器将压力信号转换为电信号，经指示器处理后显示质量。限位组件约束秤体位移，保障计量稳定。

3.2 装配流程

模块化钢基础汽车衡的装配流程采用“现场模块化拼接”模式，无需复杂的现场施工，具体流程如下：

(1) 场地预处理：对安装场地进行平整与简单硬化，确保安装场地路面坡度不大于0.3%。传感器安装基面和限位组件安装基面的地面平整度在1/1000之内。

(2) 钢基础组装：根据秤体单元尺寸与称量需求，将中间承重单元、端部承重单元通过连接单元进行螺栓连接，组合形成完整的钢基础结构。

(3) 引坡安装：将引坡与端部承重单元连接固定，确保限位柱准确伸入引坡的限位腔体，完成引坡的水平限位。

(4) 传感器安装：将称重传感器安装于钢基础的预设安装位置，确保传感器安装平整、固定牢

固。

(5) 秤体单元安装：将秤体单元吊装至钢基础上方，调整位置，确保秤体单元与传感器精准贴合，同时与横向、纵向限位组件保持合理间隙。

(6) 电气连接与调试：将称重传感器与称重显示仪进行电连接，对设备进行零点校准、量程校准等调试工作，确保计量精度满足要求。

整个装配流程无需现场焊接与混凝土浇筑，包含场地预处理（含基础找平、基准点放线与平整度复核等）在内的总安装周期可控制在1~2天内完成，大幅缩短了安装周期。当需要更换场地时，可按照相反流程将各模块拆分，运输至新场地后重新组装，实现重复利用。

4 技术优势分析

(1) 安装高效：1~2天完成装配，较传统混凝土基础周期缩短70%以上。

(2) 适配性广：模块组合可调整尺寸，低安装高度+独立引坡，适配各种松软、临时场地。

(3) 经济可靠：可拆卸设计，降低运维成本，重复利用率提升。

(4) 计量稳定：全方位限位+冲击隔离设计，配合仿真验证的力学性能，保障精度与运行安全。

5 结语

本文提出的基于模块化钢基础设计的汽车衡，通过采用“模块化拆分、集成化装配”的设计理念，将钢基础精准拆分为中间承重框架、端部承重框架及连接单元，配套设计分段式独立钢制引坡，成功解决了传统混凝土固定式汽车衡施工周期长、不可移动、换场地使用成本高的技术问题。有限元仿真，验证了端部承重框架最大应力和钢基础部件竖向位移均满足设计及国家标准要求。

目前，该模块化钢基础汽车衡已完成中储粮直属库订单交付并正式投入实际使用，在粮库粮食倒运、烘干粮入仓等作业场景中运行稳定，验证了本设计方案良好的工程适用性与可靠性。

该方案为汽车衡轻量化、标准化、可移动化发展提供可行路径，尤其适用于短期项目与复杂场地，市场应用前景广阔。未来可进一步优化材质选型，提升抗腐蚀性能，拓展其在恶劣环境下的应用范围。

参考文献

- [1] 于海霞. 模块化钢基础汽车衡: CN218885108U [P]. 中华人民共和国国家知识产权局, 2023-04-18.
- [2] JJG 539-2016, 数字指示秤检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2016.
- [3] 陶琳. 汽车衡秤体结构轻量化优化设计 [J]. 计量与测试技术, 2025, 52 (8): 101-104.
- [4] 江文帅, 杨晓翔, 赖征创. 新型平板式动态汽车衡结构设计及校准研究 [J]. 机械制造与自动化, 2024, 53 (5): 40-47.

作者简介

于海霞（1991—），女，工程师，硕士研究生。
从事工作：衡器结构设计与研发。