

Comparative Analysis and Platform Design of Large Structure Weighing System

Zongyuan Li Weifeng Yang Yong Wang

Luoyang Shuangrui Special Equipment Co., LTD., Luoyang, Henan, 471000, China

【Abstract】the paper through the bridge rotating engineering weighing weight link and ocean platform, vehicle system weighing test method, summarizes the weight of the existing weighing system, the overall weight measurement problem, and the weight of large structure accurate measurement implementation scheme.

【Keywords】large structures; large tonnage; weighing; system design; accuracy comparison

大型结构物称重系统对比分析与平台设计

李宗源 杨卫峰 王勇

洛阳双瑞特种装备有限公司, 中国·河南 洛阳 471000

【摘要】论文通过对桥梁转体工程中的称重配重环节与海洋平台、车辆系统称重测试方法的对比, 总结现有称重系统中的重心测量方法的异同点, 对大型结构物称重系统的重心测量问题、整体重量问题等提出技术设想, 对大型结构物的重心精确测量提出可实施性方案。

【关键词】大型构筑物; 大吨位; 称重; 系统设计; 精度对比

DOI: 10.26789/jzjg.v7i7.1665

1 引言

大型结构件、超大型构筑物的称重测量广泛存在于各个领域。现有的桥梁转体施工、海洋平台、大型油气设备、航天装备等大型结构件, 在工程使用中, 基于安全、设计等方面的要求, 往往需要进行重心测量、实际重量的称重等要求^[1-3], 而实际工程中, 由于大吨位、超大型构筑物的重量往往无法直接测量, 而现有称重系统的最大量程有限, 因而需要对此类称重工作进行独立设计, 通过多种方式实现称重、重心测量等目的。

现有的大型结构件中, 桥梁转体施工需要在施工前进行称重工作, 以确定转体中的重量分配要求; 在海洋石油钻井平台设计、建设全过程, 都需要确定平台主体结构重心和重量, 以确定实现设计目标, 为平台吊装、运行过程中的重心与配重提供支撑; 在航空航天装备中, 运载火箭的重心, 导弹发射车的起降发射等工作, 都涉及重心测量等工作。因此, 在现有称重测试的方法上, 通过对比称重精度、适用特点, 为大型结构物的称重系统提供借鉴和参考的目的。

【作者简介】李宗源(1991-), 男, 中国河南洛阳人, 硕士, 助理工程师, 从事结构健康监测、桥梁安全装备研究。

2 现有大吨位称重方式介绍

2.1 桥梁转体施工中的称重方法

桥梁转体施工是指在桥梁建设过程中, 因地形、环境等因素对桥梁结构在非设计位置上进行建造成型, 通过转体施工的方式使桥梁结构在水平或竖向等方向上旋转, 实现桥梁与设计位置重合, 实现桥梁建设的目的。最早的转体施工方法由国际发明, 经逐渐发展之后^[4], 在给中国大范围使用。

桥梁转体之前, 需要对转体的桥梁整体结构进行称重, 当桥梁采用连续浇筑的方式进行建造时, 整桥重量往往达到上万吨。重心的偏移对结构整体的安全性, 转体施工的便捷性产生重大影响, 必须通过称重的方式测定桥梁转体前的重心位置, 以满足安全要求。在测定转体重心过程中, 对转体过程中的摩阻力进行初步测试, 为转体过程中的牵引力提供数据支持。

现有转体施工常用的称重方式为不平衡力矩法, 原理见图1。

转体桥梁的重心在偏心不大的状态下, 重力引起的弯矩无法克服静摩阻力矩, 本体处于自平衡状态。当偏心弯矩与静摩阻弯矩的相差较大时, 梁体发生转动, 此时需外部支撑设备提供附加弯矩以克服转动弯矩。

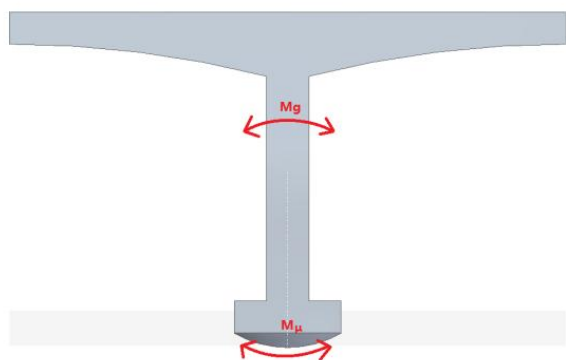


图1 转体自平衡状态

不平衡力矩法是为了测出偏心弯矩与相应的静摩擦矩，动摩擦系数等参数，方便对桥梁整体状态和质量进行再调整，通过配重、支撑等方式使偏心距在合理范围内。调整后的桥梁能够通过牵引、顶推等方式实现绕中心轴的转动，最终与设计位置重合，实现桥梁转体到位的目的。

使用该方法能够得到重心位置，实现质心、重心测量的目的。但不平衡力矩法无法实现对桥梁整体重量的测量，基于桥梁的整体大部分为均匀材质的混凝土，配筋率等设计参数完整，因此设计过程，可根据混凝土、钢筋等重量对整体结构进行预估。

2.2 海洋平台称重系统及原理

大型海洋钻井平台主体结构一般在陆上建设，海上拼装。在陆上建设完成后，通过称重以确定重心，满足平台吊装、运输过程中的安全要求。现有最大吨位海上平台为国产“蓝鲸一号”，重量在41000吨左右，钻井平台的吊装、运输的示意图见图2。



图2 海洋钻井平台示意图

根据现有海洋平台称重系统的设计，海上钻井平台等大型构筑物所使用的重心测量方法为液压顶升称重法，具体示意图见图3。

随着重量的增加，海洋平台现有的称重系统将

越发庞大，液压称重系统的管路将承受更大压力，造价成本急速上升。液压称重法的原理为：将平台用千斤顶顶升一定高度，通过保压方式获取每台千斤顶的油压，通过顶升面积和油压的乘积，计算多点支撑下的钻井平台重心。



图3 液压顶升称重法

液压顶升过程中，必须控制顶升同步的问题，若液压顶升不同步将导致平台发生严重的变形，破坏平台结构。同步顶升之后，在计算重心的过程中，千斤顶的摩擦特性和保压特性是影响称重准确度的重要影响因素，因此在称重前需要对每一个千斤顶进行摩擦特性测试和保压特性测试。

从大型海洋钻井平台称重系统来看，液压称重系统存在较明显的称重上限，称重过程耗时长、成本高。称重精度受千斤顶的影响大，顶升同步控制困难等多种不利因素。同时，现有的海洋平台在建设过程中，需要对整体重量进行控制，一旦出现超重，往往对海洋平台整体的可用性产生极大影响，因此需要全流程称重。而液压顶升法在现有大型结构物称重系统中适用性有限，需要考虑对现有称重系统进行改进。

2.3 车辆系统重心测量方式

在车辆测试系统中，现有质心测量技术主要有：摇摆法、悬挂法、零位法、平台支撑反力法、质量反应法五种方式。

汽车衡中，较为精确测量质心的方法首推摇摆法，其具体原理见图4、图5。



图4 摇摆法质心测量



图 5 摇摆法质心测量

在摇摆法中,利用单自由度微阻尼振动理论,得到汽车的质心位置,但摇摆法测试系统复杂,承载力底,针对大吨位车辆无法满足要求,而导弹发射车、轴线车等特种车辆对承载物的重心具有硬性要求。运载物往往体积大、重量重,对运输的安全影响极大。而传统车辆测试系统无法对大型特种车辆、超重型车辆进行测试,因而存在局限。

3 称重平台设计

为实现对大型结构物称重系统的改进,实现运输等环节的要求,结合不平衡力矩法,液压顶升法和摇摆法,对大型结构物称重系统进行改进,设计针对大型结构物称重的平台,具体设计如下。

3.1 称重原理

称重核心装备为球铰,采用弹性体元件的应变法进行称重,部分专利已应用于桥梁支座,该方法能够满足大吨位称重的要求。结合文献中对偏载状态下球铰性能的分析。论文中称重整体模型简化示意图如图 6 所示:

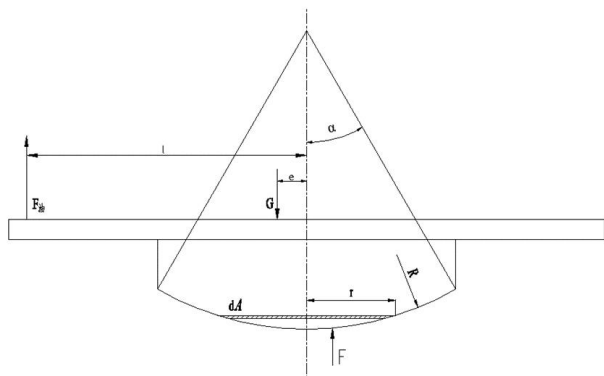


图 6 简化模型示意图

$$G = F_{\text{油}} + F \quad (1)$$

$$G \cdot e - \int_0^\alpha dM_\mu - F_{\text{油}} \cdot l = 0 \quad (2)$$

$$F = \int \sigma dA \quad (3)$$

$$dM_\mu = R \cos \theta df, \quad df = \mu \sigma dA \quad (4)$$

$$dA = 2\pi r ds, \quad ds = R d\theta \quad (5)$$

其中:

$$\sigma = \sigma_0 \cos \theta \quad \theta \in (0, \alpha) \quad (6)$$

$$\alpha = \arcsin(r_1 / R) \quad r = R \sin \theta \quad (7)$$

式中: G 为上部重量; F 为球铰支撑反力; $F_{\text{油}}$ 为液压千斤顶的顶升力; e 为偏心距; R 为球铰球面半径; r_1 为球面弦长一半, μ 为静摩擦系数; l 为球铰中心至液压千斤顶施力中心距离。

在本方案中, σ 可通过应变采集设备在球铰底部进行测量。假设 σ_0 的分布满足余弦分布,用测得的 σ 对公式⑥进行线性拟合分析,得到关于 σ 的球面分布。最终推算出质量 G , 偏心距 e 。

3.2 转体球铰称重平台设计

在桥梁转体中,转体关键装备为转体球铰,在本次大型结构物称重平台设计中,沿用该装备并做智能化改造。智能化内容包括使用弹性体应变方式,对位于球铰转动面进行应变测量或称重测量,得到球铰面的应力分布。球铰的压力测试与标定见图 7。



图 7 测力球铰结构与测试图

球铰上平台采用六角星型结构,使用钢桁梁或混凝土梁进行布置,测试试验中使用工字梁支撑,结构形式见图8。

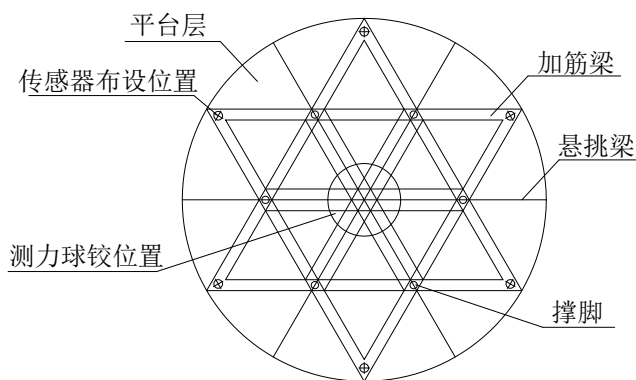


图8 六角星型称重平台

称重平台整体结构借鉴桥梁转体施工所用技术,测力球铰采用钢筋混凝土结构作为基础,密植钢筋方式加强底部刚度。平台层铺设钢筋网方式进行加强,底部的加筋梁增加纵向钢筋,球铰上部采用加宽加筋的框架梁承担整体的结构重量,悬挑梁的设计满足设计要求。

结构整体的六角星型的实际理念主要源于某航天专用电子秤的启示,平台具备较高的刚度和抗弯能力,适合对后续的力矩测试方法进行测试。

在六角星型结构的六个顶角,分别设置液压千斤顶,保证结构平台整体在承载前后的水平面内水平,液压千斤顶能够进行调整平台基准水平度的能力,同时能够在施加荷载的过程中,比如车辆驶入等过程中,避免结构发生倾转。同时为了保护整个平台的完整性和安全性,在加筋梁交汇处,设置保护装置——撑脚,避免过载、偏载状态下对称重平台的破坏。

当所测结构在平台上部建设完毕或重型结构进入平台之后,由于球铰能够转动,水平向存在力矩使千斤顶的压力出现变化,通过测量顶升千斤顶之间的压力变化,得到上部结构的重心。

确定重心之后,由球铰弹性体作为受力元件,对整体重量进行测量。在测量之前,对千斤顶油缸进行调整,控制千斤顶的施力大小,如有必要对结构进行配重,保证结构的整体不受偏心压载而出现破坏,尽量使重心位于中心位置,得到整体的质量。

作为标定或测量工具,测力球铰与液压千斤顶可相互对比,在重量测量过程中,采用组合方式,对上部整体结构进行测量,数据之间相互验证,得到准确的测量结果。由此可实现称重系统的自标定功能。

3.3 测试系统设计

在本次称重系统中,测试系统包含两个部分,一部分为智能球铰内部弹性体应变采集系统,另一部分为液压千斤顶的油压测量和控制系统。整个系统采用PLC工控机进行控制,方便对整体数据的采集、分析和控制。

智能测力球铰的应力应变采集系统采用的传感器为称重传感器,相对于力传感器来说,称重传感器能够满足本次系统设计的要求,因此不必采用高精度的力传感器。因测力球铰上部采用弹性体应变作为测量方式,而组装精度对测量误差会产生较大的影响,为控制组装精度,在加工过程中对装配间隙进行详细设计和控制,组装过程中使用三坐标测量仪对测力球铰的整体组装进行精度控制,使测力球铰的组装精度满足系统要求。

在测试过程之前,测力球铰和液压千斤顶装置应进行校准,同时对于球铰内部的摩阻力应进行初步检测。在测试过程中,上部荷载首先应进行标准重量的标定过程,然后再对实际称重的结构或构筑物进行称重测量。对重心进行测量时,可在平台面上进行小幅度的单自由度微阻尼振动,对整体结构的重心进行复测,能够验证所测结果的精准性。若使用摇摆法对整体重心进行测量,需要对液压千斤顶进行同步控制和测量。

在测量过程中,对测力球铰的竖向标定是整个测试系统的关键,由于使用了弹性应变方法对测力球铰进行竖向测力,实际工程应用中的材料极少能够满足纯弹性的应力应变,因此测力球铰的测量必须在满量程的一半处才能够起到较好的测量效果,得到的数据才是较为准确可靠的。

当称重平台采用摇摆法进行重心复测时,竖向摇摆的角度应受到严格控制,对超高结构物或水平向较低刚度的构筑物进行测试时,应进行仿真分析确定转动角度,实现测试功能。

4 改进结果对比

采用此方法,能够充分利用现有称重系统中的优点,避免液压称重法的称重限制,同时能够结合摇摆法对整体结构进行测量,得到较为准确的质心位置。

整体设计相比汽车衡、液压称重法等更为经济可靠,是实现大型结构物称重的可靠方式。若应用在海洋平台、大型连续梁浇筑等建设领域,不仅能够实现建造全过程的重量控制,同时能够及时发现建造过程中重心迁移,对实现全流程、全周期的生产建设管理提供极大帮助。

在实际设计过程中,影响称重平台的因素较多,应

准确把控各系统误差对整体称重精度的影响，特别是现有称重系统的大量程设计以及大型称重系统的建造和应用，不仅能够深刻改变现有工程建设领域的管理模式，也是科学管理，精益管理的有效实践，研制和推广大型称重系统具有极大的工程价值和社会效益。

5 结语

在应用实践中，大型结构物的称重系统应用领域增多，但针对大型结构物的称重方案存在或多或少的问题，论文通过对大型结构物称重系统对比，提出一种崭新的称重平台设计方案，为后续的大型结构物的称重工作开展提供方向，提供理论支撑。

参考文献

- [1] 朱红伟.转体桥称重试验技术研究[J].天津建设科技,2010(06):46-47.
- [2] 张会良,黄凯.海洋平台设计建造过程中的重量控制方法[J].船海工程,2015.
- [3] 丛大成,姜洪洲,韩俊伟,等.大型特种车辆质心试验系统机床与液压,2005(3):26-27.
- [4] 宋刚.T形刚构桥水平转体施工控制及施工风险评估研究[D].西安:长安大学,2011.
- [5] 张锦宝,陶华,杨君树,等.40000吨称重系统在大型海洋平台建造中的应用[J].中国造船,2013.