

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2019.06.014

整车汽车衡装配式承载基础的分块设计与强度分析

李金凤¹, 杨晓翔^{1,2}, 梁伟^{1,3}, 姚进辉³

(1. 福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350000; 2. 泉州师范学院, 福建 泉州 362000; 3. 福建省计量科学研究院, 福建 福州 350000)

摘要:对整车汽车衡基础进行分块预制然后运到现场安装,可以有效降低整车汽车衡施工与安装周期,满足运输和吊装的可行性,相邻分块基础之间通过内置预埋件焊接进行连接,满足连接的便捷性和可靠性要求。为检验设计方案是否满足强度要求,通过有限元方法对整车汽车衡在检定时的满载荷工况进行分析,对混凝土承载基础、钢筋和焊接钢板进行结构强度分析,结果表明混凝土和焊接钢板最大应力均小于其屈服强度值。最后对分析结果中出现应力较大的地方提出改进建议。

关键词:整车汽车衡; 预制装配式结构; 有限元

中图分类号: TB21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2019)06-0055-04

Design of Assembled Load Bearing Foundation for Vehicle Truck Scale and Its Strength Analysis

LI Jinfeng¹, YANG Xiaoxiang^{1,2}, LIANG Wei^{1,3}, YAO Jinhui³

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350000, China; 2. Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China; 3. Fujian Institute of Metrology and Science, Fuzhou 350000, China)

Abstract: To effectively reduce the construction and installation cycle of the truck scale, the whole truck scale foundation can be prefabricated and transported to the field for its installation. It meets the feasibility of the transportation and hoisting. The adjacent sub-blocks are connected by welding embedded parts, it meets the convenience and reliability requirements of the connection. In order to check whether the design scheme meets the strength requirement, the full load condition of the vehicle scale is analyzed by finite element method, and the structural strength of the concrete bearing foundation, steel bar and welded steel plate is analyzed. The results show that the maximum stress of the concrete and the welded steel plate is less than the yield strength. Then, the suggestions for improvement are made on the areas where the stress is greater in the analysis results.

Keywords: vehicle truck scale; prefabricated structure; finite element method

0 引言

为有效控制超限超载运输,目前高速公路收费站普遍采用轴重式称重系统^[1]对过往车辆进行计重收费,但是轴重式称重系统在实际称量过程中容易出现司机因跳秤、走S弯、贴边形式等导致称量不准的现象,而且其称量精度较低。为解决轴重式称重系统存在的问题,近年来出现了一种整车式称重计费系统——整车汽车衡^[2]。

整车汽车衡的称量过程是对整车进行完全称量,有效避免了单轴称重带来的问题。目前对整车汽车衡的布置方式普遍采用浅基坑的方案^[3],在安装整车称重系统的地方进行基础开挖,然后对整车汽车衡的承载基础使用钢筋混凝土浇筑。整车汽车衡总体长度一般在18~21m,因此整车秤体承载基础施工工程量也较大,现场浇筑的钢筋混凝土基础也需要一定凝固时间才可以达到理想强度,导致整个施工周期延长,需要长达1个月以上的道路封堵,

严重影响了高速公路正常的通行和收费。

本文结合预制装配式钢筋混凝土结构^[4]的发展现状对整车汽车衡的承载基础进行分块处理。对钢筋混凝土基础进行分块预制,然后送到施工现场进行装配,通过分块预制达到缩短钢筋混凝土承载基础施工周期的目的。考虑承载基础分块设计装配后的连接和强度问题,在实际施工前需对其强度进行分析。在对混凝土材料有限元分析方面,国内外学者提出了基于各种理论的混凝土本构模型,本文采用ABAQUS中的混凝土损伤塑性本构模型^[8]对其进行模拟。然后对计算结果进行强度分析,并提出相应的注意事项和改进措施。

1 工程概况

整车汽车衡实际安装情况如图1所示。秤体安放在混凝土基坑中,额定称量为120~150t,整体长度为18~21m。实际使用过程中的工况分两种(图2)。检定工况:

基金项目: 泉州市科技计划重点项目(2017G011)

作者简介: 李金凤(1992—),男,河南商丘人,硕士研究生,主要从事结构设计及优化方面研究。

在初始安装和后期维护过程中需对其称量值进行检定,整车汽车衡的检定是通过秤体左右两边的标准液压装置施加1个竖直方向大小相等、方向相反的力,根据施加反力的标准力值对整车汽车衡进行标定。通车工况:需要称重车辆的所有轮胎均在秤体台面上,对称重车辆所有轴重采取整体称重的方式进行称量。

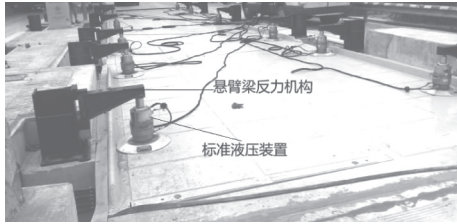


图1 整车汽车衡现场实物图

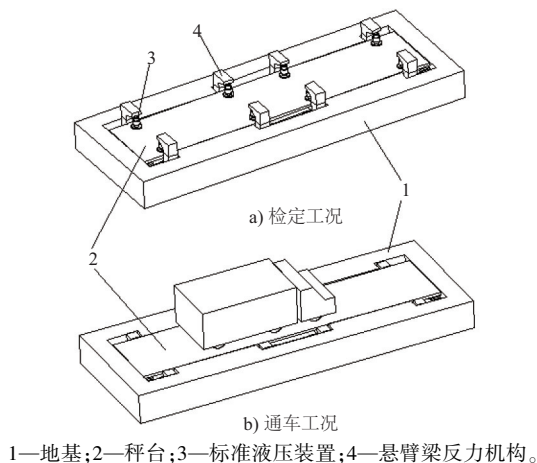


图2 整车汽车衡检定工况与通车工况简图

2 秤体承载基础分段预制设计

2.1 装配连接要求

分块基础进行装配时除了要满足强度要求,还要满足在装配过程中的操作可行性与连接强度。目前预制混凝土框架结构常用连接方式^[4]有牛腿连接、榫式连接、螺栓连接和焊接等。分块基础进行装配时需在基坑中进行,而且也要保证在长期使用过程中连接处的可靠性,所以分块基础之间通过预埋钢结构焊接的方式进行装配连接。

2.2 衡器载荷测量仪标准载荷单元安装位置选定

整车汽车衡在安装后,实际称重示数需要经过标定后才可以投入使用,本文采用衡器载荷测量仪^[6]进行标定(图1),即在秤体承载基础两侧加装悬臂梁反力机构,通过悬臂梁反力机构与秤体台面之间的标准液压装置施加反力来模拟标准砝码。图3是衡器载荷测量仪检定规程中对标准载荷单元位置要求。以整车汽车衡秤体台面为基础进行区域划分,其中支承点是放置传感器的位置。采用均匀分布的方式,标准载荷单元指的是标准液压装置,主要起施加标准载荷的作用。使用过程中为便于传感器

的维护,标准载荷单元距离支承点中心约1~2m,同时为满足对单个传感器的偏载检定,标准载荷单元的位置选取需在图3中阴影部分内^[7]。

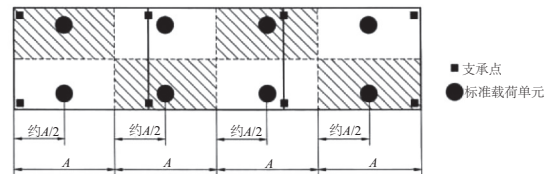


图3 标准载荷单元安装位置

2.3 分块方案设计

整车汽车衡承载基础尺寸总长为15.6m,为减少装配过程中因装配件过多引起的误差累积,将承载基础分为5段。称重传感器均匀布置,为便于传感器的维护,固定墩台与称重传感器之间在长度方向上的相对距离为1m。根据目前浅基坑式混凝土承载基础的设计尺寸和整车汽车衡实际过秤中的实际工况,拟定分块基础混凝土主梁结构的横截面尺寸为0.8m×0.65m,相邻两块基础连接处次主梁的横截面尺寸为0.8m×0.5m。图4为分块设计方案图,其中最左端显示的为其中一段分块基础的钢筋分布。为显示清晰隐藏了钢筋的直径尺寸,布筋情况后文有详细介绍。

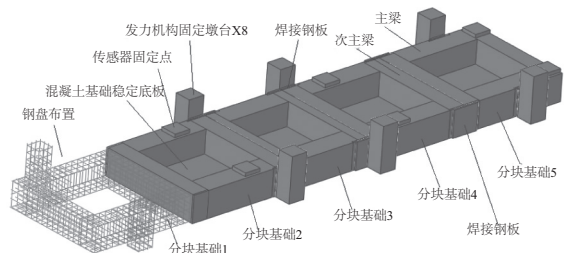


图4 承载基础分块方案与钢筋分布图

考虑到投入市场后对批量生产的要求,对预制构件的尺寸做到尽量统一,分块基础1-2、分块基础4-5轮廓尺寸均为3.35m×3.3m×0.8m,分块基础3的轮廓尺寸为3.35m×2.6m×0.8m。安装反力机构墩台的布置位置如图4所示。为避免出现分块基础框架在加载中出现因地基不牢引起的倾斜现象,在分块基础底部浇筑厚度为120mm的钢筋混凝土基础底板。分块基础之间和基础与墩台之间通过内置预埋件进行焊接,其中预埋件与混凝土内的纵筋焊接为一体。

根据上述主梁和次主梁的横截面尺寸,遵照我国现行《混凝土结构设计规范》^[9]对分块基础和安装反力机构的墩台进行配筋,配筋方案如图5所示。最外侧钢筋与混凝土边界距离为25mm,图5中外轮廓为混凝土外表面边界,右视图内部轮廓线表示的是箍筋,其间距为200mm,垂直于纸面向内的点表示主筋。

3 基于 ABAQUS 混凝土损伤塑性模型

由上述对承载基础的分块方案可以看出,可以将混凝

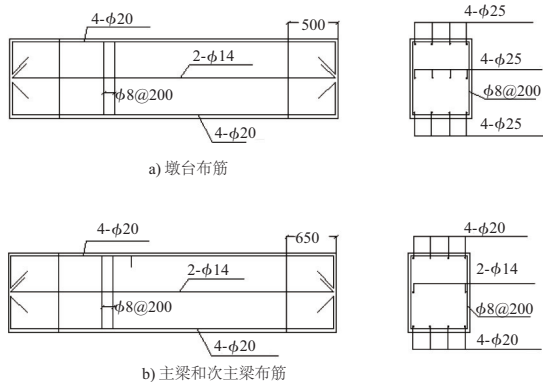


图5 钢筋布置图

土基础等效为框架梁结构进行有限元分析。混凝土损伤塑性模型^[10]是基于塑性的连续介质损伤模型。该模型是使用各向同性损伤塑性与各向同性拉伸和压缩塑性相结合的原理来表示混凝土的非弹性行为^[11]。

3.1 应变率的关系式

总的应变率可表示成塑性应变率部分与弹性应变率两部分:

$$\dot{Y} = \dot{Y}^{el} + \dot{Y}^{pl} \quad (1)$$

其中: \dot{Y} 为总的应变率; \dot{Y}^{el} 为弹性应变率; \dot{Y}^{pl} 为塑性应变率。

3.2 应力与应变表达式

本文研究的模型中应力和应变之间的关系指的是弹性损伤关系,其表达式为

$$Q = (1-c)d_0^d : (Y - Y^{pl}) = d^d : (Y - Y^{pl}) \quad (2)$$

式中: d_0^d 是指材料在还没有发生损伤时候的弹性刚度; d^d 是指已经发生损伤时候的弹性刚度; c 指的是损伤因子,损伤因子的值为0~1,其中 $c=0$ 表示无损伤, $c=1$ 表示已经全部损伤。

3.3 屈服状态

屈服函数在有效应力空间中的函数表达式如下:

$$H(\bar{Q}, \bar{Y}) = \frac{1}{1-\alpha} (\bar{q} - 3\alpha p + \eta(\bar{Y}^{pl}) \langle \hat{Q}_{max} \rangle - \gamma \langle \hat{Q}_{max} \rangle) - \bar{Q}_c(\bar{Y}_c^{pl}) \leq 0 \quad (3)$$

其中: $\eta(\bar{Y}^{pl}) = \frac{\bar{Q}_c(\bar{Y}_c^{pl})}{\bar{Q}_t(\bar{Y}_t^{pl})} (1-\alpha) - (1+\alpha)$, \bar{Q}_c 和 \bar{Q}_t 为受压和受拉的有效粘聚力;

$\alpha = \frac{Q_{b0} - Q_{c0}}{2Q_{b0} - Q_{c0}}$, Q_{b0} 和 Q_{c0} 为双轴和单轴受压时的初始屈服应力;

$\gamma = \frac{3(1-K_c)}{2K_c - 1}$, 对于混凝土,材料参数 K_c 可以取为 2/3。

3.4 模型的流动法则

塑性流动法则为基于 Drucker-Prager 流动面的非关联流动,其公式为

$$\dot{Y}^{pl} = \lambda \frac{\partial G(\bar{Q})}{\partial \bar{Q}} \quad (4)$$

式中 λ 为非负塑性乘子。由于采用非关联流动,该模型混凝土的材料矩阵是不对称的。

4 分块承载基础有限元静力分析

整车汽车衡在检定工况时是对其施加极限载荷,最大载荷值大于整车汽车衡的额定载荷,所以对承载基础的有限元分析时只需对秤体满载检定工况进行强度分析。

4.1 建立有限元模型

整车汽车衡检定工况下的载荷施加:在悬臂梁反力机构和秤体台面之间放置标准液压装置(图1)。标准液压装置分别对悬臂梁反力机构和秤体台面施加竖直向上、向下的载荷。由于悬臂梁反力机构的位置与对应传感器固定位置并不在同一竖直平面内,为准确模拟检定满载工况下标准液压装置向下传递给承载基础的实际载荷,在建立有限元模型时需添加秤体和悬臂梁结构,但两者并不作为研究对象,将秤体和悬臂梁结构简化为刚体。

钢筋混凝土结构中混凝土采用 ABAQUS 中的混凝土塑性损伤本构模型,钢筋单元通过 Embedded 的方式将钢筋嵌入到混凝土单元中。焊接钢板与预埋在混凝土中的钢筋进行耦合,以此建立焊接板与混凝土之间的连接,通过线面耦合约束的方式来模拟焊接。

本文主要分析基础混凝土结构强度、钢筋强度、分段之间焊接连接强度和墩台与混凝土基础焊接连接强度。整车汽车衡在满载检定工况下的有限元模型如图6所示,图中 F_1 表示标准液压装置对悬臂梁结构施加向上的力, F_2 为标准液压装置对秤体结构施加向下的力。混凝土用 C30 型号,有限元计算参数如表1所示。

表1 混凝土计算参数

E/GPa	ν	$D/(kg/m^3)$	M	K_c
30	0.2	2 500	0.1	0.667
β	α	f_c/MPa	f_t/MPa	
38	1.16	14.3	1.43	

表1中: E 为杨氏模量, ν 为泊松比, M 为偏心率, K_c 为屈服常数, β 为膨胀角, α 为双轴与单轴抗压强度比值, f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值, f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值。

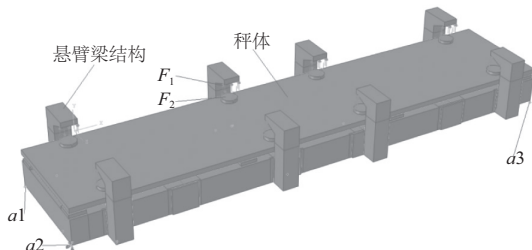


图6 有限元模型

配筋采用 HRB335 热轧带肋二级钢筋,焊接板使用 Q235 普通碳素钢,两者有限元计算参数如表 2 所示。

表 2 钢筋与焊接板计算参数

材料	σ_s /MPa	E /GPa	ν	D /(kg/m ³)
HRB335	335	200	0.300	7 850
Q235	235	212	0.288	7 860

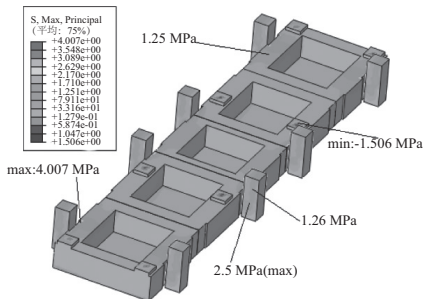
4.2 加载及边界条件

本文所研究的整车汽车衡的额定承载质量为 150t。为了保证秤体在实际称量过程中称重范围的安全性,秤体满载检定工况设定为 160t,每个标准载荷单元位置处施加的压力为 20t。对应反力机构悬臂梁处施加总载荷为 200kN 向上的均布载荷,在秤体标准载荷单元处施加总载荷为 200kN 向下的均布载荷。此受力系统为自平衡系统,只要限制其刚体位移即可,所以边界条件:a2 点施加完全固定约束,a1、a3 点施加竖直方向和水平的位移约束。

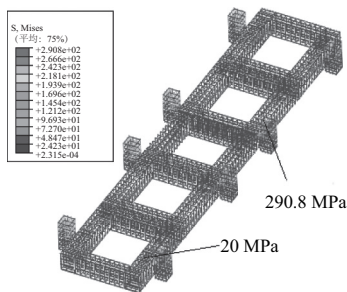
4.3 有限元分析结果

通过 ABAQUS 软件进行有限元分析,根据计算结果可得整车汽车衡装配式承载基础的混凝土基础部分、钢筋、墩台与基础连接区域、分块基础之间连接区域的应力云图,如图 7 所示。

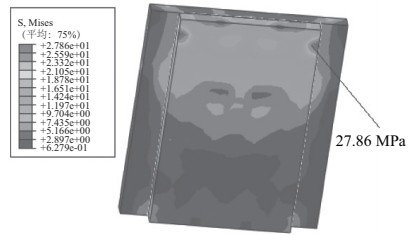
由表 1 知 C30 混凝土轴心抗压强度的设计值为 14.3 MPa,抗拉强度的设计值为 1.43 MPa。由图 7a)可知,混凝土承载基础的最大压应力发生在传感器放置的位置,最大压应力值为 1.5 MPa,满足强度要求;最大拉应力发生在承载基础外侧边缘与焊接板连接的拐角处,最大值为 4.00 MPa,属局部应力集中,对整体强度不会产生影响。



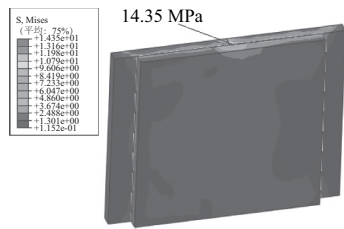
a) 混凝土基础第一主应力



b) 钢筋Mises应力



c) 墩台焊接板Mises应力



d) 基础连接焊接板Mises应力

图 7 各部件应力云图

混凝土墩台受到最大拉应力发生在墩台内部钢筋与混凝土交界处,其值为 2.5 MPa,表层混凝土拉应力值为 1.26 MPa,说明墩台外部混凝土满足强度要求,但是混凝土内部与受拉钢筋接触的位置已开始出现塑性损伤,此时拉应力由其内部的钢筋承受。由图 7b)可以看出,混凝土承载基础内部受拉钢筋的最大 Mises 应力为 20 MPa,墩台内部受拉钢筋最大 Mises 应力为 290.8 MPa,而钢筋 HRB335 的屈服极限为 335 MPa,小于屈服强度,所以分块承载基础和墩台均满足强度要求。

由图 7c)可知,墩台焊接板的最大 Mises 应力为 27.86 MPa,发生在靠近秤体的上方位置处,主要是检定工时受到反力机构向外的弯矩造成的。由图 7d)可知,基础连接处焊接板的最大 Mises 应力为 14.35 MPa,发生在两块焊接板连接的位置,焊接钢板 Q235 的屈服极限为 235 MPa,满足强度要求。

5 结语

本文针对现有整车汽车衡施工周期过长提出对秤体承载基础进行分块预制的解决方案,得到如下结论:

- 1) 分块后的承载基础满足汽车起重机的吊装和运输车的装载要求,在吊装和运输方面均具有可行性。
- 2) 在进行承载基础分块时有考虑检定需求,进行现场装配后的承载基础满足衡器载荷测量仪的检定规范要求。
- 3) 分块承载基础之间和墩台与分块承载基础之间通过焊接板进行连接具有施工的可行性,并且有效降低了安装成本。
- 4) 通过上述分析可知,钢筋最大应力在墩台上安装反力机构的位置处,在实际施工预制过程中可增加墩台的内置预埋件,降低墩台该位置内钢筋的最大应力。

(下转第 66 页)