

显示设备固定结构在高铁既有站的应用研究

冯子豪¹, 贾振兴², 高峰¹, 戴建强¹, 邓胜江¹

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司 电子计算技术研究所, 北京 100081; 2. 北京经纬信息技术有限公司, 北京 100081)

摘要:研究一种高铁既有车站站台的 LED 显示设备安装固定结构的应用。这种抱柱式站台显示屏固定结构通过将 LED 显示屏固定于站台层两支撑立柱之间, 解决了高铁线路中一些老式铁路既有车站运行班次多、运营状态不允许长时间站台施工和不能破坏站台钢筋混凝土结构的问题。基于三维建模和数值仿真对这种设备固定结构进行一系列静力学结构分析, 包括在极端工况环境下的静态应力、应变和位移分析, 结果安全有效, 安装作业符合现场施工要求, 实现了此类高铁既有站站台结构上 LED 显示设备的安装和使用。为了研究这种抱柱式站台显示屏固定结构的工作可靠性, 应用数值分析软件对结构模型进行预应力模态分析, 在风荷载作用下分析各阶频率下结构的变形程度以及对地震灾害的预防影响, 从而验证了这种 LED 显示设备固定结构在铁路信息显示技术上, 特别是在高铁既有车站上应用的有效性及其应用价值。

关键词:高铁既有站; 显示设备固定结构; 安全性分析; 数值仿真; 预应力模态分析; 地震

中图分类号: U293.25 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2021)04-0314-05

当前发达国家在铁路建设项目中已经建立起了一套较为完善的信息显示系统, 具有丰富的信息显示经验和功能强大的综合服务平台。作为铁路信息显示的输出设备, LED 显示设备具有核心和主导地位。

在中国铁路建设蓬勃发展的同时, 铁路信息显示也愈加重要, 告别传统的静态显示, 引入 LED 显示屏, 展示铁路通知信息和铁路售票信息, 引导旅客乘坐信息, 从固有的一成不变, 到如今, 已经初具规模, 渐渐形成一套以 LED 显示屏为主体的铁路信息显示系统^[1-2]。本文旨在高铁线路中老式铁路既有车站站台结构和运行状态施工环境的限制下, 解决站台层 LED 显示设备的安装和使用问题。

1 数值仿真技术在铁路站台显示设备固定结构上应用的意义

数值仿真技术是将一个连续的物体划分有限个单元, 从而使一个连续的无限自由度问题变成离散的有限自由度问题。数值仿真模拟不但可以加速理论、实验研究的进程, 而且具有很大的经济效益, 因此数值仿真模拟在各领域工程实际中广泛应用^[3]。

显示屏固定结构基本上均为钢结构, 具体结构

形式根据工程实际变化很大。铁路站台是旅客的聚集地, 人流密度很大, 因此铁路站台显示屏固定结构的安全性要求很高。为保证铁路站台显示屏固定结构的安全性, 参考中外钢结构校核方式, 目前安全校验主要考虑静态力学校核和预应力模态校核, 而数值仿真技术又是计算结构应力和模态位移分布的重要手段。因此采用数值仿真技术对一种新型高铁既有车站显示屏固定结构进行分析, 对指导工程实际应用具有重要意义。

2 显示屏固定结构空间静力学结构分析及动力学模态分析数学模型

2.1 空间静力学结构分析数学模型

静力学结构分析主要是校核各构件的强度, 根据实际数据对显示屏固定结构进行三维建模, 将模型导入数值分析软件, 运用以下静力学方程对其强度进行校核分析^[4-7]。

平衡微分方程:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x = 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + f_y = 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + f_z = 0 \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期: 2020-11-05

基金项目: 中国铁道科学研究院集团有限公司研究开发计划课题(1851DZ1002)。

作者简介: 冯子豪(1984—), 男, 北京人, 中国铁道科学研究院集团有限公司电子计算技术研究所, 高级工程师, 工学硕士, 研究方向为机电设备研制。

几何方程：

$$\begin{cases} \epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \\ \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \\ \epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \\ \gamma_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \\ \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial x} \\ \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \end{cases} \quad (2)$$

物理方程：

$$\begin{cases} \epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)] \\ \epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] \\ \gamma_{yz} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{yz} \\ \gamma_{zx} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{zx} \\ \gamma_{xy} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{xy} \end{cases} \quad (3)$$

2.2 模态分析数学模型

模态分析是研究结构动力性能的一种方法。机械结构的动力性能主要取决于它的主阵型、固有频率等模态参数,这些系统的固有频率特性对系统的动态响应、振动形式等都具有主要参考作用^[8-10]。

对于 n 自由度的多自由度系统,假设材料特性为线弹性的,无阻尼无激振力的自由振动方程为^[11-12]

$$(\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}) \{\boldsymbol{\phi}_i\} = 0 \quad (4)$$

式中： $\mathbf{K}$ 为刚度矩阵； ω_i 为第 i 阶模态的自然频率，rad/s； $\mathbf{M}$ 为质量矩阵； $\boldsymbol{\phi}_i$ 为第 i 阶模态响应的振型特征向量。

当系统处于自由振动时,各节点振幅 $\{\boldsymbol{\phi}_i\}$ 不为 0,即

$$\det |\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}| = 0 \quad (5)$$

有限元软件计算自然频率的方程为

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi} \quad (6)$$

式中， f_i 为自然频率，Hz。

3 高铁既有站站台显示屏固定结构静态应力和预应力模态计算

抱柱式站台显示屏固定结构应用于高铁线路

中老式铁路既有车站站台层信息显示,此类既有车站运行班次多,且运营状态不允许长时间站台施工和不能破坏站台钢筋混凝土结构,这种抱柱式站台显示屏结构将 LED 显示屏固定于站台层两支撑立柱之间,可以很好地解决此类老式铁路既有车站中的施工限制,实现 LED 信息显示技术在此类高铁既有车站站台层的有效应用。现以承德某高铁既有车站站台显示屏的数据参数为算例进行研究。

3.1 抱柱式站台显示屏固定结构几何模型

固定结构包含抱柱结构、LED 显示屏固定结构等部分,其承受荷载主要包括固定结构自重、显示屏自重、风荷载等,建立三维几何模型,如图 1 和图 2 所示。



图 1 抱柱式站台显示屏固定结构模型

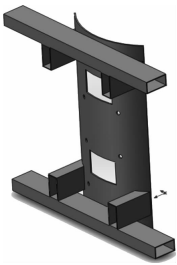


图 2 抱柱结构模型

3.2 抱柱式站台显示屏固定结构模型初始条件载荷施加

结构自重按材料实际重度以体积力加在模型上;风荷载根据《建筑结构荷载规范》^[13] 确定。抱柱式站台显示屏整体结构包括固定结构自重和显示屏自重,总重 500 kg。依据垂直于灯箱表面的风荷载标准值,计算围护结构风载荷,即

$$W_k = \beta_{gz} \mu_{s1} \mu_z \omega_0 \quad (7)$$

式中： W_k 为风荷载标准值，kN/m²； β_{gz} 为高度 z 处的风振系数； μ_{s1} 为风荷局部载体型系数； μ_z 为风压高度变化系数； ω_0 为基本风压，kN/m²。

根据《建筑结构荷载规范》，城市或建设地点的基本风压值在规范表中选取。进而可确定本算例

中 $\omega_0=0.3\text{ kN/m}^2,\mu_z=2.91$ 。

计算围护构件及其连接的风荷载时,根据国标规定可取 $\mu_{s1}=2.0,\beta_{gz}=1.7$,由此可得

$W_k=0.3\times1.7\times2\times2.91=2.968\text{ 2 kN/m}^2$ 。

3.3 抱柱式站台显示屏固定结构空间静力学结构分析

抱柱式站台显示屏固定结构分析包括静态节应力分析、静态应变分析和静态位移分析。选择固定结构的材料为 Q235B,其材料属性如表 1 所示。将自重外载 $G=500\text{ kg}$ 的力和最大风荷载 $W_k=2.968\text{ 2 kN/m}^2$ 分别代入载荷分布中,得到计算结果如图 3~图 5 所示。

表 1 Q235B 材料属性

弹性模量/(N·m ⁻²)	泊松比	密度/(kg·m ⁻³)
2.10×10 ¹¹	0.274	7.83×10 ³

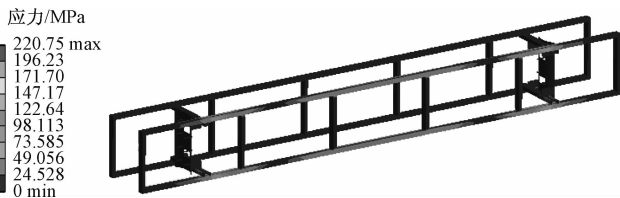


图 3 抱柱式站台显示屏固定结构应力分析结果

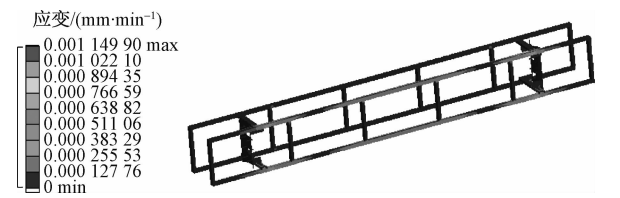


图 4 抱柱式站台显示屏固定结构应变分析结果

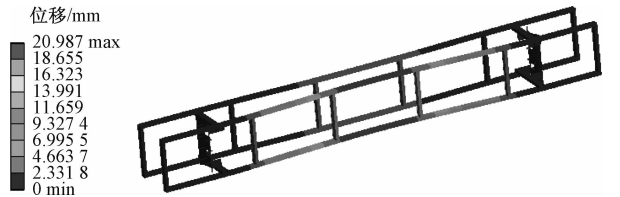


图 5 抱柱式站台显示屏固定结构位移分析结果

根据数值仿真力学分析结果显示,在当地最大风载的极端工况环境下工作时,抱柱式站台显示屏固定结构未出现较大位移,其最大应力值也在 Q235B 的容许范围之内,证明这种抱柱式站台显示

屏固定结构能满足实际工况下的使用要求。

3.4 抱柱式站台显示屏固定结构动力学模态分析

为了研究这种抱柱式站台显示屏结构的工作可靠性,借助数值分析软件对抱柱式站台显示屏固定结构模型进行预应力模态分析,在当地最大风荷载作用下分析各阶频率下固定结构的变形程度。提取显示屏固定结构模型的前 10 阶模态频率(图 6),模态频率如表 2、图 7 所示。

前 10 阶固有频率中 1~4 阶固有频率趋于平稳,4、5 阶固有频率发生激越,5~10 阶固有频率又趋于平稳。前 6 阶固有频率的模态振型主要为结构中部发生变形,且位移量较小,具有较好的动态特性。

抱柱式站台显示屏固定结构的动态特性分析补充了静态特性分析的不足,提高了设计的合理性和可靠性。由于当外部激励与结构的固有频率重合时会发生共振现象,会造成较大的位移量。通过分析得出该结构的薄弱环节,优化设计中应当避免外部激励与抱柱式站台显示屏固定结构的前几阶固有频率重合,防止共振现象发生,也为其他站台台屏同步设计及后续结构改进提供了重要的参考意义。

表 2 抱柱式站台显示屏固定结构前 10 阶固有频率

阶次	1	2	3	4	5
振动频率/Hz	16.48	16.80	17.63	18.01	33.36
阶次	6	7	8	9	10
振动频率/Hz	33.55	34.96	35.70	38.09	41.71

4 高铁既有站台显示屏固定结构对地震灾害的预防

地震灾害对站台显示屏固定结构的影响主要源于地震波的频率。当站台显示屏固定结构各级模态频率与地震波的频率发生重叠,会引起站台显示屏结构产生共振现象,对结构产生不可逆的损坏。

根据表 3^[14] 的各级地震的频率与站台显示屏固定结构的各级模态频率对比发现,地震的频率远小于各级的模态频率。因此这种显示屏固定结构对地震灾害的预防有一定的积极作用。

5 结论

本文的抱柱式站台显示屏固定结构是一种针对此类高铁既有车站站台结构的 LED 显示设备有效安装方法,符合现场的施工要求和正常使用。

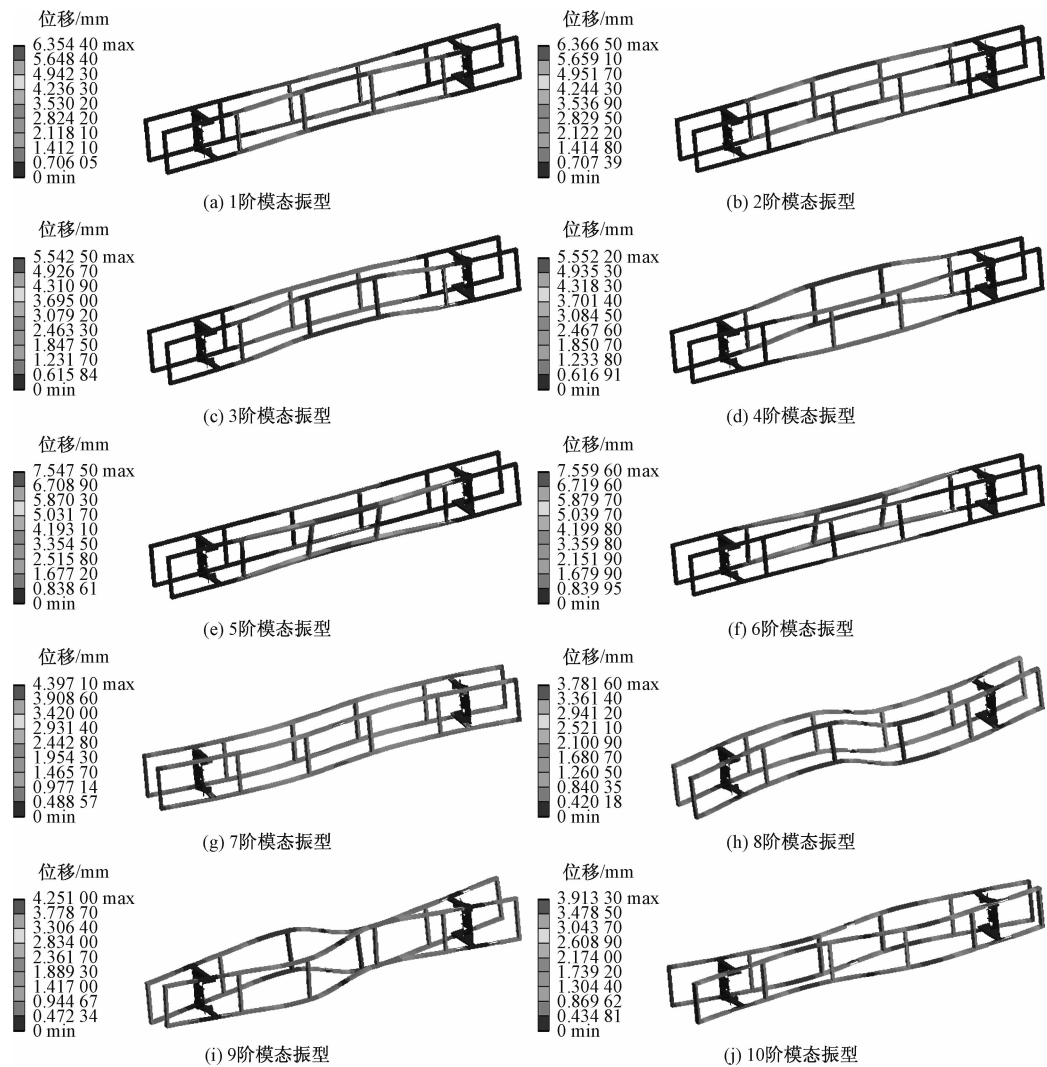


图 6 抱柱式站台显示屏固定结构前 10 阶模态

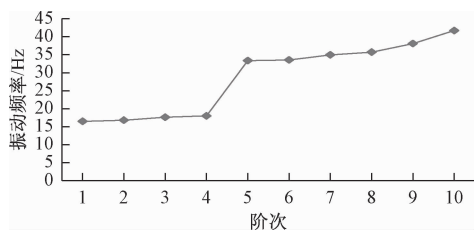


图 7 前 10 阶固有频率

表 3 不同频率地震波的峰值加速度及烈度等级^[14]

频率/Hz	峰值加速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	地震烈度等级/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	
1.0	0.790	Ⅵ	0.45~0.89
1.5	1.770	Ⅶ	0.90~1.77
2.0	3.158	Ⅷ	1.78~3.53
2.5	4.935	Ⅸ	3.54~7.07
3.0	7.106	Ⅹ	7.08~14.14
3.5	9.672	Ⅹ	7.08~14.14
4.0	12.633	Ⅹ	7.08~14.14

1)通过对这种抱柱式站台显示屏固定结构的静力学结构分析和动力学模态分析,得出了该种典型工况下的静力强度和刚度以及前几阶的固有频率和各阶振型特点,验证了这种结构的安全性及其应用价值。实验分析结果表明,采用抱柱式安装可以很好地解决高铁既有站台结构的铁路 LED 屏显示设备应用,并获得良好的效果。

2)可为各类型铁路站台层显示屏设备的实际应用和后续研究提供有一定价值的方法和数据。

3)各级地震的频率与站台显示屏固定结构的各级模态频率对比发现,地震的频率远小于各级的模态频率。因此这种显示屏固定结构对地震灾害的预防有一定的积极作用。

参考文献

[1] 曹晋源. 铁路客列车编组应用系统设计与实现[D]. 北京. 北京工业大学,2008.

[2] 杨倩. 铁路客运信息化专项规划渐行渐进[J]. 中国铁路, 2006(4):47—51.

[3] 杨燕. 数值仿真技术在建筑力学教学中的应用[J]. 砖瓦世界, 2019(12):27.

[4] 徐芝纶. 弹性力学[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 191—202.

[5] 叶国林, 曾建谋, 杜宝雷. 柴油机连杆有限元分析[J]. 内燃机, 2008(1):11—14.

[6] 李海川. 单臂锚杆钻车臂架结构有限元分析[J]. 煤矿机械, 2019, 40(11):81—83.

[7] 吴宝剑, 苏小平. 某 SUV 车型拖曳臂的轻量化设计[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(31):151—155.

[8] 谢海东, 周照耀. 粉末冶金斜齿轮系统模态分析[J]. 现代制造工程, 2010(5):84—86.

[9] 钟佩思, 赵丹, 孙雪颜. 基于 ANSYS 的汽车车架的建模与模态分析[J]. 机械设计与制造, 2008(6):52—53.

[10] 于艳美, 刘亚雷, 孟春宁. 异步电机典型构件系统的模态及结构位移分析[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(14):357—364.

[11] 傅志方, 华宏星. 模态分析理论与应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2000:36.

[12] 赵红伟, 田爱琴. 基于动车组车体结构改进的低阶模态分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2011, 35(3):623—625.

[13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑结构荷载规范: GB50009—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[14] 吴潇, 丁军君, 黄运华, 等. 地震作用下铁路货车运行安全性研究[J]. 铁道机车车辆, 2019, 39(6):66—70.

Research on Application of Display Equipment Fixed Structure in Existing High-speed Railway Station

FENG Zi-hao¹, JIA Zhen-xing², GAO Feng¹, DAI Jian-qiang¹, DENG Sheng-jiang¹

(1. Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China;
2. Beijing JingWei Information Technologies Co., Ltd., Beijing 100081, China)

Abstract: The application of a fixed structure for installation of LED display equipment on platform of existing high-speed railway station is studied. This kind of column-holding display screen structure fixes the LED display between the two supporting columns on railway platform. The limitation that the old existing high-speed railway station can not be constructed for a long time and the reinforced concrete structure on railway platform can not be destroyed due to the frequent running is solved. Based on 3D modeling and numerical simulation, a series of static structural analysis are carried out for the structure. It includes static nodal stress analysis, strain analysis and displacement analysis under extreme working conditions. The results show that the fixed structure is safe and effective, and the installation and application of LED display equipment on the existing high-speed railway platform are realized. In order to study the working reliability of this kind of column-holding display screen, the modal analysis of equipment structure with prestress is carried out by using numerical analysis software. Under the action of wind load, the deformation degree of the structure under different frequencies is analyzed. The prevention of earthquake disaster by this structure is also analyzed. The validity and application value of the fixed structure of LED display equipment in railway information display technology, especially in existing high-speed railway stations are verified.

Key words: existing high-speed railway station; display equipment fixed structure; safety analysis; numerical simulation; prestressed mode analysis; earthquake