

高速公路智慧行车 ETC 门架系统技术研究

彭立, 龚平, 王祥, 梁东

(湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410008)

摘要:作为高速公路智慧行车的核心系统技术之一,ETC 门架系统的设置、设计、施工安装对实现高速公路智慧行车具有重大意义。该文从四车道和六车道不同车道宽度入手,系统研究了高速公路智慧行车的 ETC 门架系统,并得出省界路段和普通路段的门架系统布设原则及其设计系统构成、门架设计尺寸;通过采用 Midas 程序计算,确保了门架结构的合理性、安全性、稳定性;通过合理的施工组织方案,在尽量减少交通干扰、确保工程安全的前提下,实现了边立柱、中立柱、横梁的安全吊装。

关键词:高速公路智慧行车; ETC 门架系统; Midas 程序; 门架吊装

1 ETC 门架系统介绍

在美国,专用 ETC 车道的电子不停车收费网络承担了上个月平均交易量的 43%,在日本,全国范围内的所有高速公路收费站均已开通了 ETC 系统^[1]。中国 ETC 装载率与世界上的一些发达国家如日本相比,仍有较大的差距。2016 年中国安装 ETC 的用户占比 31%左右。同期日本 ETC 装载量早已超过 70%,并依旧保持平稳的增长。因此从 ETC 装载来看,中国仍有较大的发展空间,这代表 ETC 在高速公路上存在长远发展机遇^[2]。2018 年 5 月 16 日,国务院常务会议提出推动取消高速公路省界收费站。交通运输部会同有关方面坚决贯彻落实党中央、国务院决策部署,成立了专项工作组,按照“试点先行、稳妥有序”的原则,确定了试点省份,印发了试点技术方案、工程实施方案、测试方案及关键技术要求,开展了大量基

础性测试以及部省两级系统建设改造等工作,于 2018 年 12 月 28 日试点取消了江苏和山东、重庆和四川的 15 个高速公路省界收费站,省界收费站的交通拥堵现象得以解决,取得了良好社会效益,积累了宝贵经验^[3-4]。

为适应收费公路体制改革要求,提高收费公路服务质量,达到收费公路提质增效的目的,ETC 迎来大发展机遇。大力发展 ETC 用户,依托电子不停车快捷收费(ETC)技术,建立 ETC 门架系统,对于实现 ETC 车辆分段收费、MTC 车辆分段计费、出口统一收费。实施高速公路入口治超,实现所有车辆按车型收费。2019 年基本实现取消全国 29 个联网省份省界收费站,实现全国高速公路一张网运营的工作目标。

1.1 高速公路智慧行车省界路段 ETC 门架系统

在省界路段,为避免门架间信号相互干扰,同向设置两个门架(图 1),其最小间距应不小于 500 m。对于同向不具备设置两个门架条件的路段,可根据实际情况设置单排门架,同时应考虑关键设备的冗余设置。

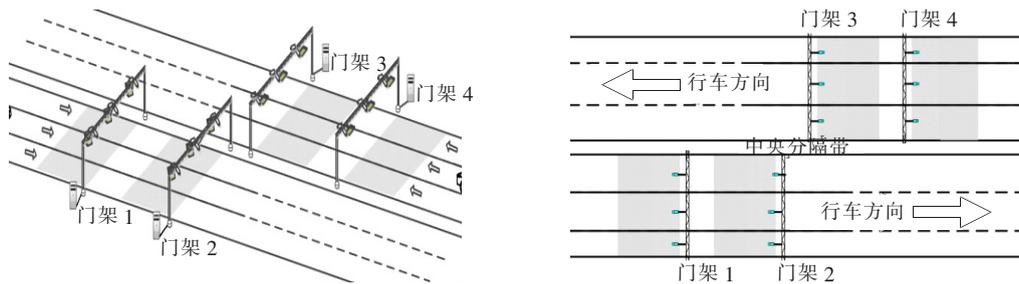


图 1 高速公路智慧行车 ETC 门架系统省界路段布局示意图

1.2 高速公路智慧行车普通路段 ETC 门架系统

设置在非省界的普通路段 ETC 门架系统,上、下行方向各设置一个门架,其布局示意如图 2 所示。

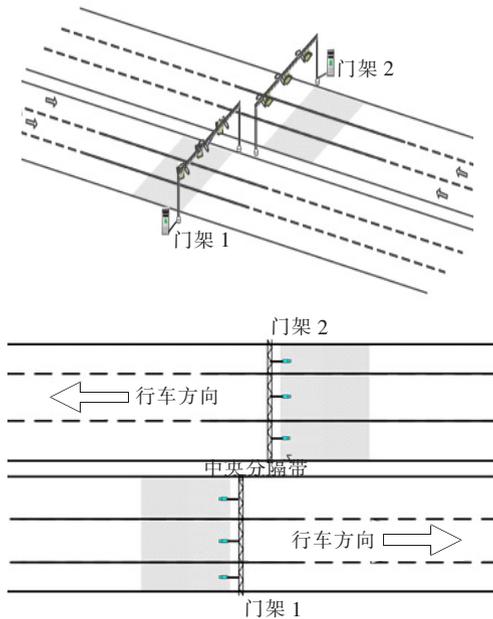


图 2 高速公路智慧行车 ETC 门架系统普通路段布局示意图

2 设计方案

2.1 门架系统

高速公路智慧行车 ETC 门架系统主要由 5.8 G 天线采集系统、高清车牌识别系统、ETC 门架控制、传输系统、供电系统、ETC 门架及交安设施等子系统构成,其关键设备主要包括门架服务器、车道控制器、RSU、高清监控摄像机、车牌图像识别设备、网络安全设备、补光灯、供电设备、车辆检测器等构成,其工作过程主要是通过工业以太网交换机、收费站三层交换机形成以太网环网保护,与 ETC 门架服务器、业务管理工作站相连^[5]。

5.8G 天线采集系统:主要包括 5.8 G RSU 天线、天线控制器、配套线缆、安装支架、供电、防雷设施等。

高清车牌识别系统:主要包括高清车牌识别一体机、补光设备、配套线缆、安装支架、供电、防雷设施等,具有高清车牌识别功能,与 RSU 天线标识单元同断面设置,识别结果通过网络上传至上级管理机构,此结果是经过 ETC 门架系统的车辆行车通过的有力证据,对收费车辆的溯源和稽查有重要作用,车牌识别设备是分段计费收费的重要补充。

ETC 门架控制、传输系统:主要包括户外综合机柜、ETC 门架服务器、车道控制器、以太网交换机等,主要实现对 ETC 门架系统前端设备信息的采集与处理,具备自检、程序和应用在线更新功能,并将 ETC 门架系统及设备状态信息实时发送至上级管理部门。

供电及通信系统:ETC 门架系统在就近收费站箱变接电,通过调整箱变回路,提高 ETC 门架系统的供电回路优先级,确保现有发电机组可优先应急供电;通信光缆采用 2 根铠装 8 芯(使用 2 芯、预留 6 芯)单模光缆,光缆与电缆同路由敷设。

防雷接地系统:ETC 门架采用联合接地方式,接地极以 L50 mm×50 mm×5 mm 长 2.5 m 镀锌角钢(端头为尖端)打入土层,接地极顶端埋深应大于 0.7 m;角钢之间及角钢与基础地脚螺栓之间用 4 mm×40 mm 的镀锌扁钢以焊接方式连接;焊接完成后,焊接处应进行防腐防锈处理;接地极表面应有光滑的、清洁的、连续的镀锌层;安全接地电阻应 $\leq 4 \Omega$,防雷接地电阻应 $\leq 10 \Omega$ 。

各系统构成如图 3、4 所示。

ETC 门架能够实现高速公路车辆不停车快捷收费功能,借助大数据技术,加深对路网实时数据的挖掘分析,动态预测 ETC 用户的行经路线,结合路段通行能力,分析路段的拥挤度,并及时将信息反馈给 ETC 用户,加强高速公路运营管理。当取消省界收费站后,ETC 用户上交的通行费,由国家统一的清分平台获取,再按实际里程的省际归属,将金额按比例划拨至各省市^[2]。

2.2 门架结构

门架结构采用镀锌钢管桁架式结构,所有构件均宜采用闭口截面;桁架下弦杆中心距路面最高点的高度不小于 6.0 m;桁架宜满足人员检修通行需要,其前后弦管中心宽度 1.0 m,其上下弦管中心高度 1.8 m;栏杆高度不小于 1.2 m(图 5、6)。经计算,结构的强度、整体稳定性及基础的抗倾覆能力均满足要求。

3 结构计算

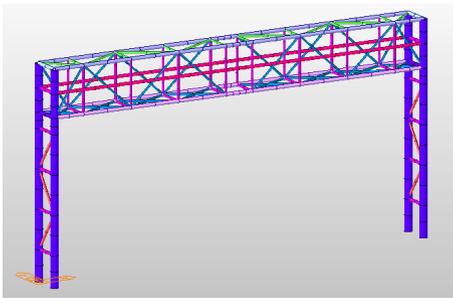
3.1 有限元模型的建立

利用有限元软件 Midas/Civil 建立空间杆系模型,所有杆件均采用梁单元模拟,各构件的连接均按照固结模拟,立柱底固结。对于四车道门架模型,单元划分为 552 个,节点 386 个;对于六车道门架模型,单元

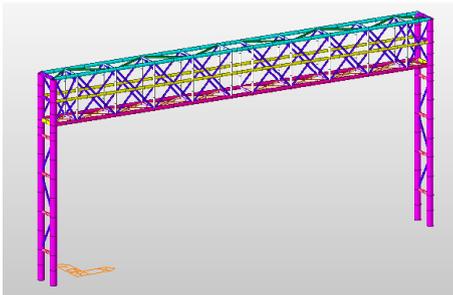


图 6 高速公路智慧行车 ETC 门架系统实景照片

划分为 660 个,节点 458 个。模型施加的荷载有结构自重、风荷载和施工人员荷载,其中风荷载按照 GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》第 8.1.1 条取值,施工人员荷载作用在门架跨中,其值为 1 kN。建立的有限元模型见图 7。



(a) 四车道门架



(b) 六车道门架

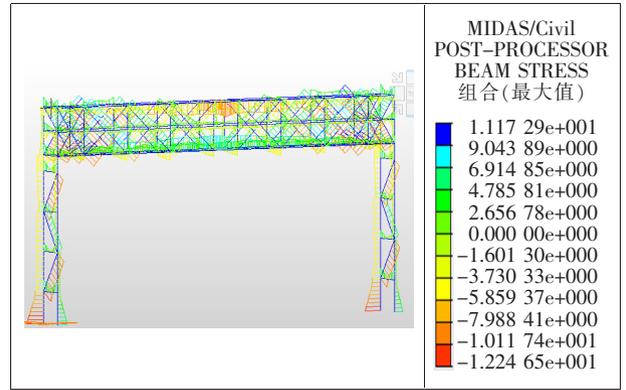
图 7 高速公路智慧行车 ETC 门架系统 Midas 有限元模型

3.2 计算结果

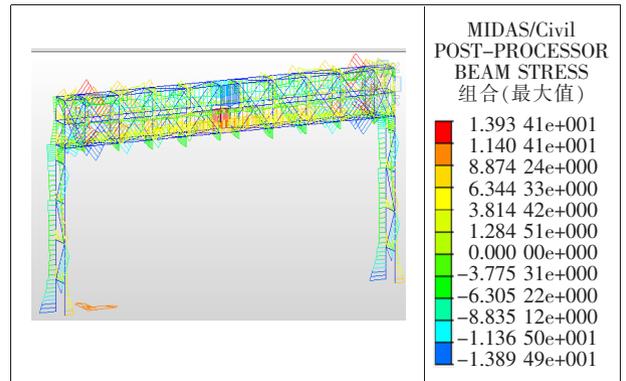
3.2.1 应力计算

智慧行车 ETC 门架系统四、六车道门架应力计算结果如图 8 所示。

图 8 表明:四车道最大拉应力为 11.1 MPa,最大压应力为 12.2 MPa;六车道最大拉应力为 13.9 MPa,最大压应力为 13.9 MPa,均小于 Q235 强度设计值 215 MPa,满足规范要求。



(a) 四车道门架



(b) 六车道门架

图 8 高速公路智慧行车 ETC 门架系统四、六车道门架应力计算结果(单位:MPa)

3.2.2 位移计算

智慧行车 ETC 门架系统四、六车道门架位移计算结果见图 9。

图 9 表明:四车道最大竖向位移为 1.1 mm,横向位移为 1.6 mm;六车道最大竖向位移为 2.18 mm,横向位移为 2.3 mm,均小于 $l/400=45$ mm(l 为跨径),满足规范要求。

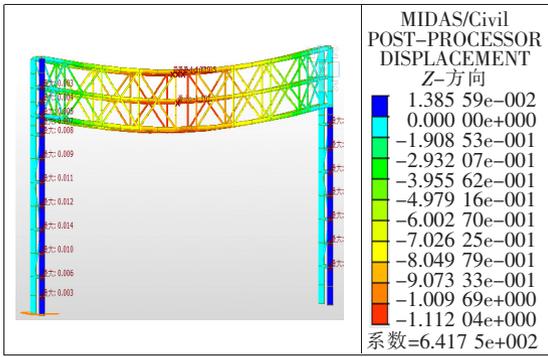
3.2.3 整体稳定性计算

智慧行车 ETC 门架系统四、六车道门架系统整体稳定性计算结果如图 10 所示。

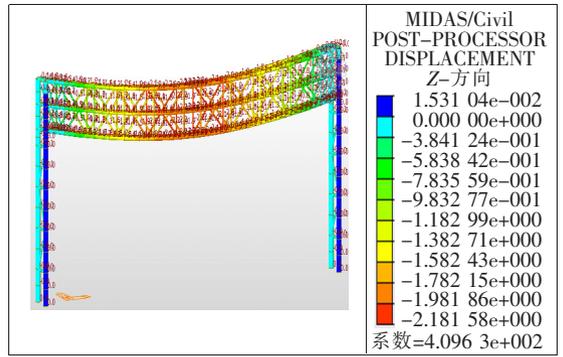
整体结构 1 阶屈曲模态结果表明:四车道 1 阶屈曲系数为 271,六车道 1 阶屈曲系数为 242,失稳点为立柱斜腹杆,失稳时结构应力已远超结构钢材强度,表明该结构在强度破坏前不会发生失稳破坏,结构安全^[6]。

3.2.4 抗倾覆验算

智慧行车 ETC 门架系统四、六车道支反力—集中力、支反力—弯矩计算结果见图 11。

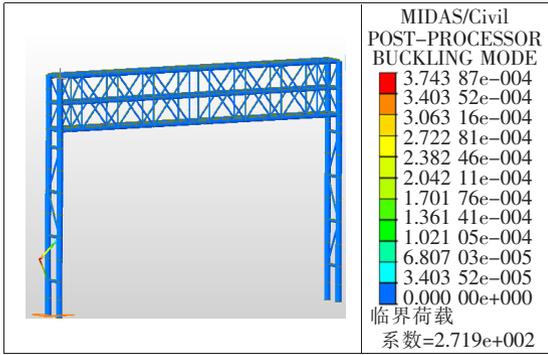


(a) 四车道门架

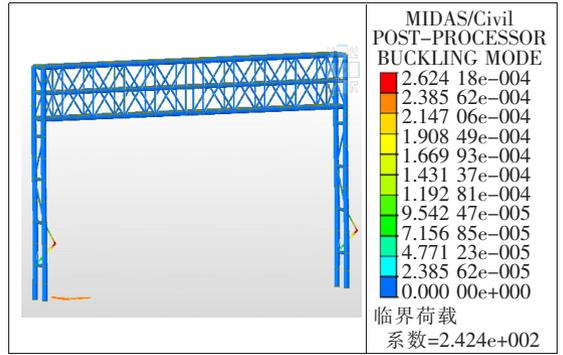


(b) 六车道门架

图 9 高速公路智慧行车 ETC 门架系统位移计算结果(单位:mm)

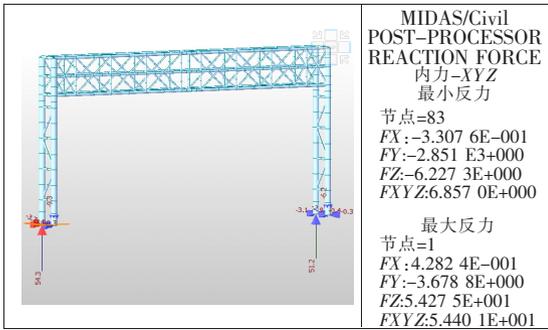


(a) 四车道门架

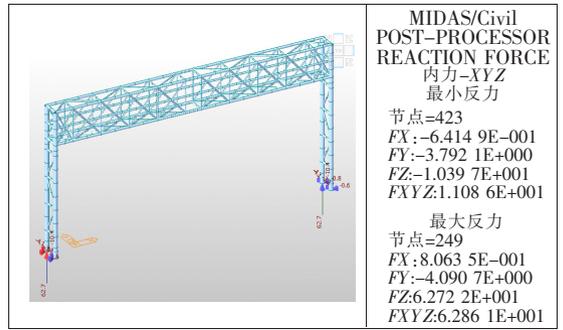


(b) 六车道门架

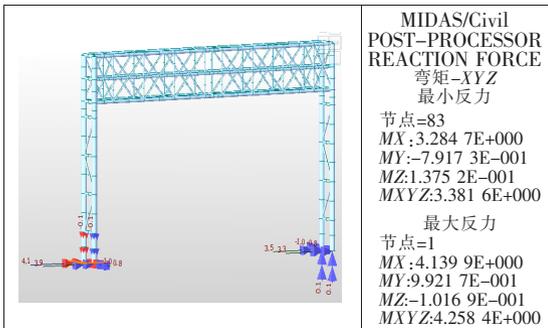
图 10 高速公路智慧行车 ETC 门架系统整体稳定性计算结果



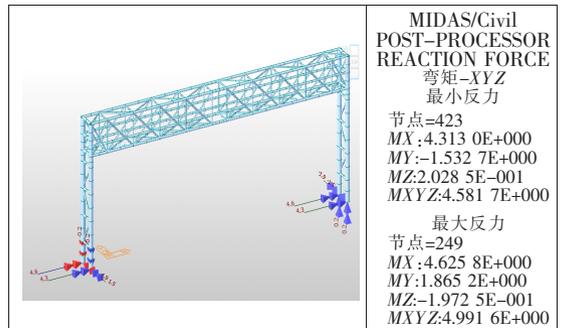
(a) 四车道门架系统支反力-集中力(单位:kN)



(b) 六车道门架系统支反力-集中力(单位:kN)



(c) 四车道门架系统支反力-弯矩(单位:kN·m)



(d) 六车道门架系统支反力-弯矩(单位:kN·m)

图 11 高速公路智慧行车 ETC 门架系统计算结果

图 11 表明:① 对于四车道门架:混凝土基础顶部位置受向下及向上集中荷载可分别近似取 54、9.3 kN,水平方向近似取 3.7、3.4 kN,附加弯矩为 8.0 kN·m;对应中分带基础底座长×宽×高为 2.8 m×1.5 m×1.2 m,基础抗倾覆稳定性系数 $k_0 = \frac{s}{e_0} = 4.96 > 1.5$,满足规范要求;对应路侧基础底座长×宽×高为 3.0 m×1.6 m×2.4 m,基础抗倾覆稳定性系数 $k_0 = \frac{s}{e_0} = 7.37 > 1.5$,满足规范要求;② 六车道门架:混凝土基础顶部位置受向下及向上集中荷载可分别近似取 62.7、10.4 kN,水平方向近似取 4.1、3.8 kN,附加弯矩为 8.9 kN·m;对应中分带基础底座长×宽×高为 2.8 m×1.5 m×1.2 m,基础抗倾覆稳定性系数 $k_0 = \frac{s}{e_0} = 4.63 > 1.5$,满足规范要求;对应路侧基础底座长×宽×高为 3.0 m×1.6 m×2.4 m,基础抗倾覆稳定性系数 $k_0 = \frac{s}{e_0} = 8.03 > 1.5$,满足规范要求。

4 结 论

(1) 高速公路智慧行车 ETC 门架系统是确保网络安全、计算及存储等设备稳定性的关键设备。ETC 门架系统参照网络安全等级保护中在安全通信网络、安全区域边界及安全计算环境等方面的三级安全保护要求,同时充分考虑外场设备的物联网属性,开展安全

保护,以此对联网收费系统实现良好的安全保障。

(2) 为确保高速公路智慧行车 ETC 门架系统的门架立柱和横梁顺利施工安装,应加强对基础施工控制,尤其是对角偏位的位移控制。

(3) 各高速公路智慧行车 ETC 门架系统安装施工应做好充分的准备工作,确保施工及通行安全。综合考虑施工安全、高速通行秩序及安全,制定施工期间各工况下的交通组织方案,另外还针对门架施工安装过程中的风险源进行辨识与分析,并制定相应的风险防范措施。

(4) 各高速公路智慧行车 ETC 门架系统配置户外综合机柜 1 套。

参 考 文 献:

- [1] 姚秀霞. 改革中的高速公路,路在何方? ——论高速公路 ETC 发展的现状与前景[J]. 现代经济信息, 2015(1): 396.
- [2] 刘益岑,陈京晶. 重庆高速公路 ETC 发展现状与未来创新畅想[J]. 中国交通信息化, 224(11): 81-83.
- [3] 蒋强,唐敏. 基于收费政策的高速公路通行费预测方法研究[J]. 公路工程, 2019, 44(5): 263-268.
- [4] 徐东彬,王倩,何培舟. 取消高速公路省界收费站跨省域联网方案研究[J]. 中国交通信息化, 2019(12): 89-93.
- [5] 杨绪银. ETC 收费系统在高速公路收费站的应用[J]. 电子测试, 2017(15): 58-59
- [6] 张东岭,余术刚,张剑,等. 某市政钢桁架桥吊装施工工艺及施工稳定性验算[J]. 公路工程, 2019, 44(2): 126-130.