

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.CDZ005

可移动式电动汽车充电桩的设计

吴钟鸣, 卢军锋, 孙丽, 胡天, 汪岚昕

(金陵科技学院机电工程学院, 江苏 南京 211169)

摘要: 电动汽车快速发展对充电桩提出了更高的要求。为更好地满足电动汽车充电需求, 研究一类可移动式电动汽车充电桩具有重要的意义。通过分析移动式充电桩的环境要求和技术需求, 设计了可移动充电桩的硬件结构和软件系统。移动充电桩结构采用了 CATIA 进行建模, 通过有限元软件 ANSYS Workbench 进行仿真分析验证强度和可行性。充电桩控制系统与车辆 BMS 及充电模块采用 CANBUS 总线通信, 并由 ADUM1412 构成 CAN 隔离电路避免干扰。采用北斗 GPS 模块 ATK-1218-BD 构成无线定位系统, 系统设计了充电急停安全模块和充电枪的检测模块。研究结果表明, 硬件结构最大变形值为 3.07 mm, 最大应力为 134.41 MPa, 充电桩重心的垂线在结构底面范围内, 结构符合强度和稳定性要求。控制系统功能完备, 安全急停模块和充电枪安全模块保障了充电桩使用的安全, 有一定的工程实践参考价值。

关键词: 移动式充电桩; 结构设计; 优化; 控制系统; 设计

Design of a mobile electric vehicle charging pile

WU Zhongming, LU Junfeng, SUN Li, HU Tian, WANG Lanxin

(Department of Mechanical & Electronic Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: The rapid development of electric vehicles has posed higher demands for charging piles. It is important to investigate a class of mobile charging piles for electrical vehicles to better satisfy the charging demands. By analyzing the environmental and technical requirements of mobile charging piles, the hardware and software system for a mobile charging pile are designed. CATIA is used to mimic the model of the mobile charging pile structure, while ANSYS Workbench, which is a finite software, is used to simulate and analyze strength and feasibility. The CANBUS bus is applied to establish the communication between the charging pile control system, vehicle BMS and the charging module. A CAN isolation circuit including ADUM1412 is used to avoid interference. ATK-1218-BD, which is a module of Beidou GPS, is employed to constitute the wireless positioning system, followed by a designed emergency charging stop safety module and a charging gun detection module. Results show that the maximum deformation value of the hardware structure is 3.07 mm, while the maximum stress is 134.41MPa. The vertical line of the charging pile gravity center is within the range of the structure bottom. This meets the requirements of strength and stability. The control system has shown complete functions. Specifically, the safety emergency stop module and charging gun safety detection module ensure safety while using the charging pile, providing a useful guideline for future engineering practice.

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51515072).

Key words: mobile charging pile; structural design; optimization; control system; design

0 引言

随着环保和能源问题日益受到全社会的重视, 新能源汽车产业成为社会可持续发展的必然要求^[1-3]。

以电动汽车为代表的新能源车发展迅速, 截至 2020 年底, 中国新能源汽车保有量达 492 万辆。作为电动汽车运行的必备条件, 充电设施的发展是关键的因素, 充电设备的质量、性能和工艺水平等, 将直接影响到电动汽车的使用与推广^[2,4]。至 2020 年底中国公共类和私人类充电桩数量为 168.1 万台, 车

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(51515072)

桩比接近 3:1。部分停车场固定公共充电桩存在充电速度慢、布局不合理、重建设轻运维等问题, 同时在人群流动密集换乘区域和大型活动举行时, 对充电桩的需求量会更大。随着电动汽车的销量上升, 根据电动汽车充电的需要, 设计一类可移动式充电桩十分必要。可移动充电桩可快速布置、移动便捷、体积小可弥补固定式充电桩不足, 在需要布置时可方便投放安装, 响应快速, 提升充电桩布置速度^[5-6]。

1 充电桩技术要求

1.1 充电桩的环境要求

电动汽车充电桩主要在户外使用, 在设计时, 需要考虑天气环境因素的影响。材质上应选择防腐防锈材料, 不锈钢材料较好地做到防尘、防雨、防极端恶劣天气的影响, 可选择作为结构材料。同时, 电动汽车充电桩的显示区、刷卡区应采用 PC 材料, 该材料具有很强的抗腐蚀性, 并具有阻燃、自熄等优点, 其韧性和强度都较好, 满足功能区材料要求。

国家电网 Q/GDW485-2010《电动汽车交流充电桩技术条件》标准中对环境要求有明确具体的规定。充电桩的设计应满足户外使用环境要求, 环境温度: $-20^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$; 湿度: 5%~95%(无凝结); 海拔高度不大于 2 000 m。IP 防护设计上应满足《GB4208-1993 外壳防护等级(IP 代码)》IP54 等级的防护等级要求, 并满足 GB/T4797.6-1995 中《电工电子产品自然环境条件尘、沙、盐雾》的要求, 以保证充电桩能在户外潮湿、含盐雾的环境下正常运行^[6-7]。考虑到移动安装布置的需要, 在充电桩的底部可设计移动装置。

1.2 充电桩能耗评价标准

中国新能源汽车评价规程建立了一个关于能效的指标“30 min 快速充电效能”, 即在车辆行驶的过程中, 电池电量接近“无”的状态时, 用功率为 120 kW 的充电桩对电动汽车进行 30 min 的持续充电, 检测充入的电量换算为一般工况下可以行驶的里程数。该“充电效能”的评分标准如表 1 所示。

表 1 充电效能的评分标准

Table 1 Charging efficiency rating standard

30 min 快充常温 WLTC 续航里程/km	评分标准 S(百分制)
$D < 45$	$S = 0$ 分
$45 \leq D < 110$	$0 \text{ 分} \leq S < 60$ 分线性插值
$110 \leq D < 155$	$60 \text{ 分} \leq S < 80$ 分线性插值
$155 \leq D < 225$	$80 \text{ 分} \leq S < 100$ 分线性插值
$D \geq 225$	$S = 100$ 分

2 充电桩整体设计

2.1 系统硬件组成

可移动充电桩主要包含数据采集模块、显示模块、打印机和读卡器、控制模块等, 其整体框架如图 1 所示。

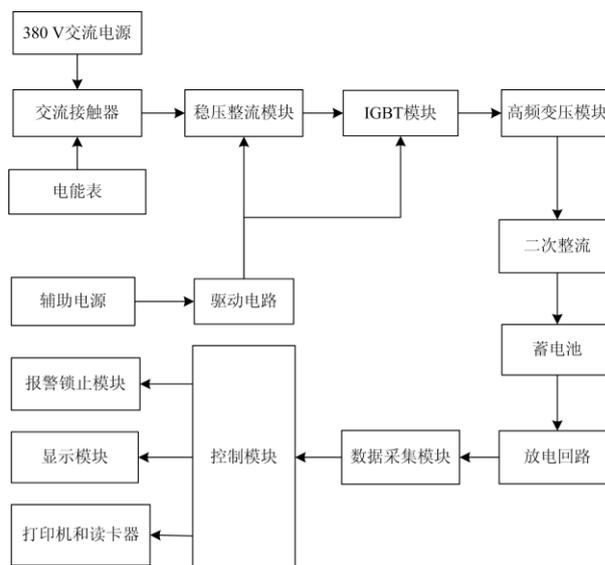


图 1 充电桩系统整体框架

Fig. 1 Overall frame of the charging pile system

充电桩由电网提供 380 V 交流电, 计费电表通过交流接触器与 380 V 电源联接, 确保实时监控记录, 并进行计费结算工作。380 V 电源输入主电路后, 分别进行稳压整流、高频变压、二次整流后, 对电动汽车的蓄电池组进行充电。在进行充电时, 数据采集模块把实时监控充电单元的温度、电流、电压等相关信息反馈给充电桩控制模块。监控数据出现异常时可以直接反馈给报警锁止模块, 立即停止充电并使系统锁止, 等待工作人员进一步处理。读卡器和打印机形成数据输出的直接通道, 构成用户的消费刷卡方式, 并用打印机输出消费记录凭证^[8]。

2.2 控制系统软件

充电桩控制系统软件采用模块化开发方式, 方便管理维护和后期升级。控制系统管理各主要功能模块的工作, 包括电费计量、CAN 端口控制、RS485 模块的通信、人机交互控制和环境安全监测等。

系统控制软件采用 Keil Software 公司的 Keil uVision5 软件作为充电桩控制系统软件开发平台, 通过 C 语言编写相应的充电桩控制系统程序代码。

3 可移动式充电桩结构设计

充电桩结构采取模块化设计方式进行, 由智能

控制模块、主控单元、人机交互界面、充电接口、计量与计费单元、通信接口等部分组成^[8]。各功能模块如图 2 所示,其中:1 为液晶屏幕;2 为急停按钮;3 为刷卡区;4 为指示灯;5 为充电口。图 2 中的人机交互模块包含液晶屏幕、指示灯、刷卡区等,设计在桩体的上方;控制模块中包含微处理器,是充电桩的控制核心部分,安装在桩体右前方;数据通信模块包括与人机交互系统连接的串口通信和与电动汽车连接的 CAN 总线通信,该模块设计在充电口和人机交互模块的下方,即桩体右后侧。电能监控模块主要为电费计量部分,该模块还提供了远程通信控制接口,设计在通信模块下方。安全防护模块包括急停开关、熔断器、防雷器等,设计在控制模块旁,即桩体左侧^[9]。

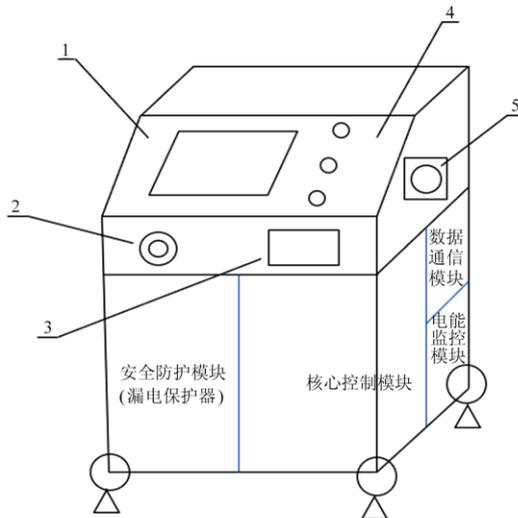


图 2 充电桩功能模块区设计

Fig. 2 Design sketch of charging post functional module area

3.1 桩体的结构设计

可移动式充电桩在移动或随车携带时,由于振动等原因,会同时受到多种载荷的作用,桩体内的部件容易损坏,因此,便携式充电桩必须有较好的强度和刚度^[10]。依据现有便携式充电桩的资料作为参考,借鉴其桩体骨架构造和设计思路,依据静力学知识和抗倾倒性的设计,设计可移动电动汽车充电桩的结构。图 3 所示为充电桩桩体的设计结构。该结构主要由一块横向底板、四根纵向立柱以及若干支承板组成,其承载框架主要采用型材。

根据设计标准的要求,充电桩桩体外立面选用不小于 2 mm 厚度的冷轧不锈钢钢板制成,钢板箱门、钢板盘面厚度不小于 2 mm,背板厚度不小于 3 mm,充电桩的结构应完整坚固^[11]。本设计的充电

桩桩体骨架结构采用低碳钢,充电桩整体尺寸设计为:长为 1 000 mm,宽为 1 400 mm,高为 1 460 mm,骨架采用焊接的加工方式,采用 3 mm 厚的角钢作为桩体的立柱、支撑架等构件。

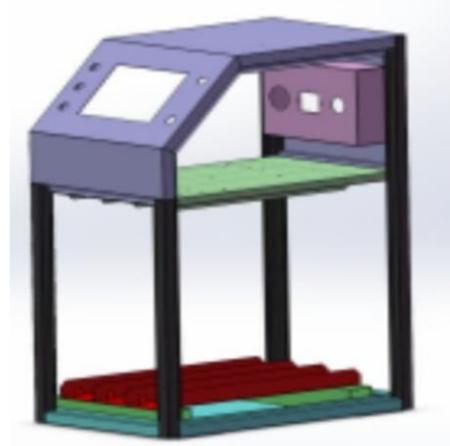


图 3 充电桩桩体框架示意图

Fig. 3 Design sketch of framework of charging pile body

3.2 充电桩强度分析

依据设计对桩体结构进行 CATIA 建模,其中四根立柱采用角钢,其余支架采用方钢,底部设有四个轮子,考虑到充电桩桩体结构的复杂性,在不影响整体强度的前提条件下对复杂零件进行简化,简化的力学计算模型如图 4 所示。

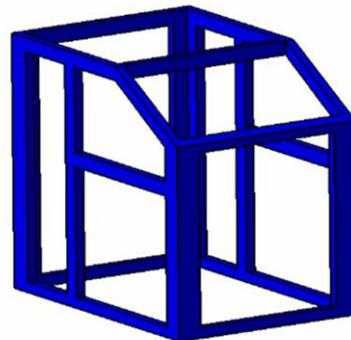


图 4 桩体框架简化结构模型

Fig. 4 Simplified structural model of pile frame

由于便携式充电桩需要经常运输,参照列车车辆设备的振动与冲击确立工况^[12-13],在行驶过程中的三个加速度分别为:纵向(X 方向)的加速度为 5g,车辆横向(Z 向)加速度为 6g,车辆垂向(Y 向)加速度为 6g, g 为重力加速度, $g=9.80 \text{ m/s}^2$ 。四个仿真分析工况如表 2 所示。

通过仿真四种工况下静力学分析结果如表 3 所示。

表 2 充电桩桩体计算工况

工况	纵向 X	垂向 Y	横向 Z
1	5	6	6
2	5	6	-6
3	-5	6	8
4	-5	6	-8

表 3 四种工况下静力学分析结果

工况	最大变形/mm	最大应力/MPa
工况 1	2.79	110.13
工况 2	2.80	113.34
工况 3	3.07	130.01
工况 4	3.05	134.41

由表 3 可得最大变形值为 3.07 mm, 最大应力为 134.41 MPa, 主要发生在边角部位, 结构符合强度和安 全裕度的要求。

充电桩的抗倾 倒稳定性是移动充电桩的一个重要指标。根据力学中结构稳定性理论, 重心所在点的垂线落在结构底面的范围内, 结构是稳定的。对于充电桩而言, 结构形状是固定的, 在不变更整体外观尺寸的前提下, 影响稳定性的因素主要是箱体重心的位置和箱体底部与地面接触的支撑面面积, 可通过计算充电桩的重心来校核其结构是否稳定^[14]。

通过软件对充电桩整体骨架进行重心的仿真, 结果如图 5 所示, 重心的位置约为(0, 59.48, 718.78)mm, 重心所在点的垂线落在结构底面的范围内, 所设计的充电桩骨架结构是稳定的。

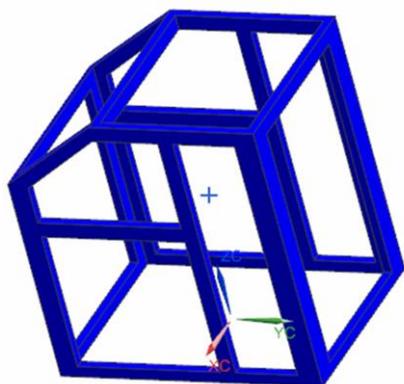


图 5 软件测得模型重心

Fig. 5 Software measures the center of gravity of the model

4 控制系统设计

充电桩系统依据前述功能要求, 控制系统的设

计主要完成各功能模块的要求^[14]。

4.1 主控制芯片及供电电源

设计选用的主控芯片为 STM32F103ZET6 芯片。该芯片拥有内嵌的 8 MHz 的 RC 振荡器, 串行单线调试(SWD)和 JTAG 接口, 多达 8 个定时器、2 个 I2C 接口、3 个 USART 接口和 2 个 SPI 接口。可以满足本设计的系统控制需求。芯片需要电压为 3.3 V, 选用 NCV1117 芯片实现 5 V 转 3.3 V, 可以提供芯片所需要电源需求。

4.2 各单元控制电路设计

4.2.1 通信接口电路的设计

控制系统需要 2 路 CAN 接口, 一路与充电模块相连接, 一路与被充电车辆的 BMS 相连接。主控芯片内部只有一路 CAN 接口, 选用 MCP2515 独立控制器进行扩展, 如图 6 所示。MCP2515 自带的 2 个验收屏蔽寄存器, 可优先存储报文同时由 6 个验收滤波寄存器过滤掉不想要的报文, 从而减小主控板的计算压力^[15]。

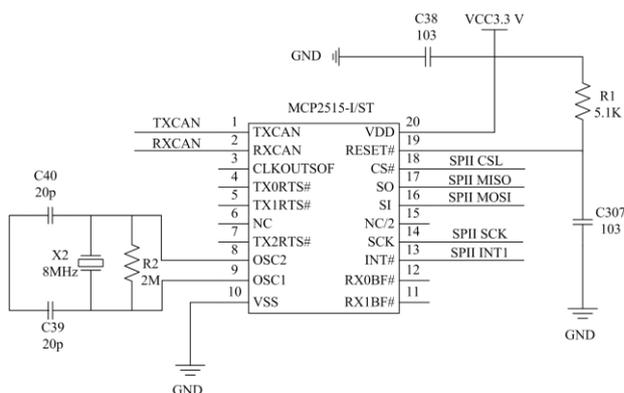


图 6 CAN 扩展电路

Fig. 6 CAN BUS expansion circuit

MCP2515 与 MCU 的连接是通过业界标准串行外设接口(SPI)来实现的, CAN 的收发电路采用的芯片为 A82C250 芯片。充电桩工作时强电流会产生电磁干扰, 从而影响通信信号的质量, 为避免干扰在 CAN 收发器和 CAN 控制器之间加入了 ADUM1412 构成磁耦隔离电路。具体电路如图 7 所示^[15-17]。

采用了 RS485 总线与计量电表、语音模块和触摸屏等外设的信号传输。主控单片机的 I/O 口输出 TTL 的电平信号, 为了使外设与单片机之间可以直接通信, 需要将 TTL 电平信号转换为 RS485 电平信号。接口电路主要选择 MAX3485 芯片为核心, 工作电源电压为 3.3 V。

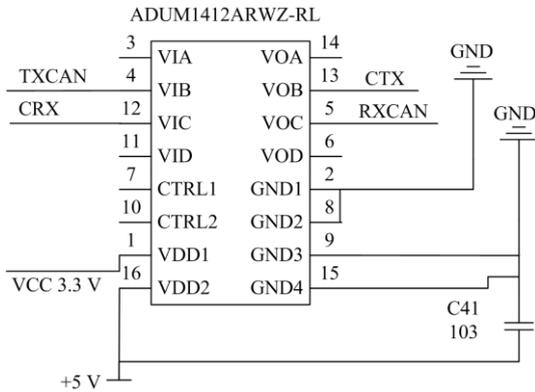


图 7 CAN 隔离电路

Fig. 7 CAN BUS isolation circuit

4.2.2 定位模块设计

定位模块选用的 GPS 芯片为北斗 GPS 模块 ATK-S1216F8-BD，此芯片定位速度快，精准度高，抗干扰能力强，可以通过网络实时上传地址到云端，并在移动端形成实时数据，方便进行统一管理。具体电路如图 8 所示。

4.2.3 安全急停模块

充电桩必须要有安全设置，急停开关是安全保障措施。系统选用 NP4 型按钮实现急停功能。急停开关目前有两种控制方式，一种是控制切断交流端的输入电源，另一种是切断直流输出端串接形式接入接触器供电线圈，从而通过操作使继电器(CJX2-1810)线圈断电，达到断开电路的目的，如图 9 所示。

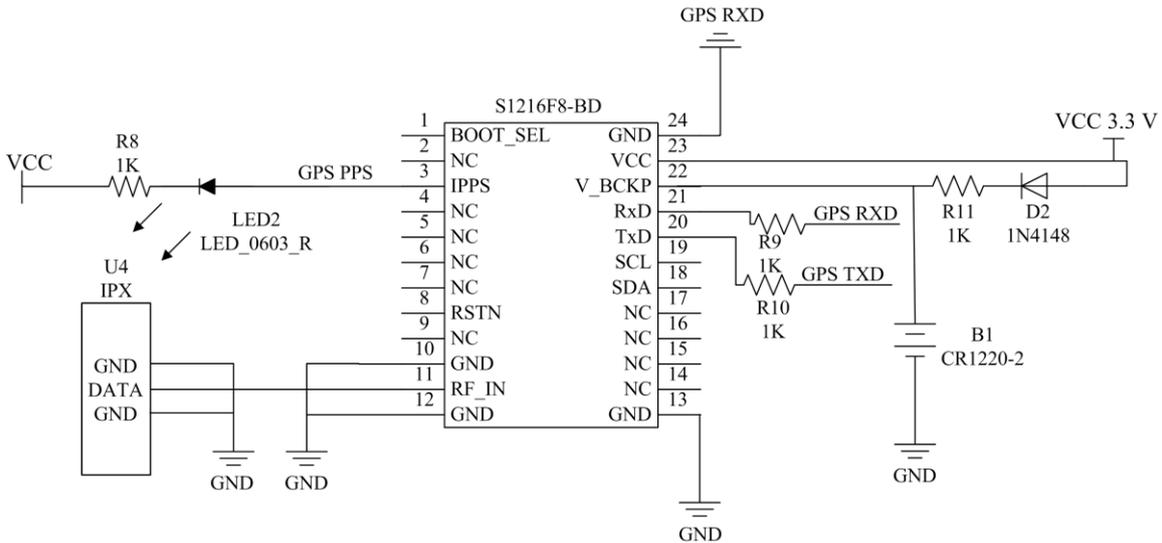


图 8 GPS 模块电路

Fig. 8 GPS circuit

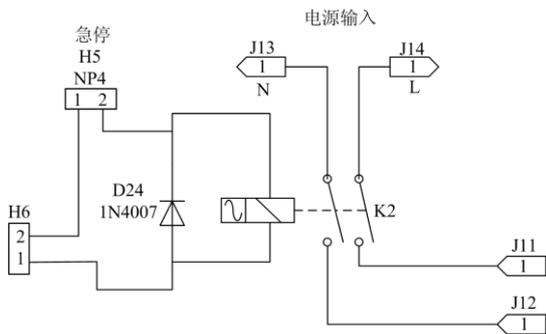


图 9 急停模块电路

Fig. 9 Emergency stop circuit

4.2.4 充电枪安全功能模块设计

充电枪的安全操作是系统安全稳定运行的前提，为防止充电时枪头链接不充分或者使用完未将

充电枪头放回，需设计枪头锁的检测电路，通过外部的信号确定枪头的实时状况，同时将信号反馈回主控芯片，由主控芯片控制语音系统进行提醒。为了防止充电枪头在未充电的状态下落下，对用户造成伤害，设计了充电枪状态检测电路，使其拥有两种状态，即解锁和锁定状态。具体电路如图 10 所示^[17-18]。

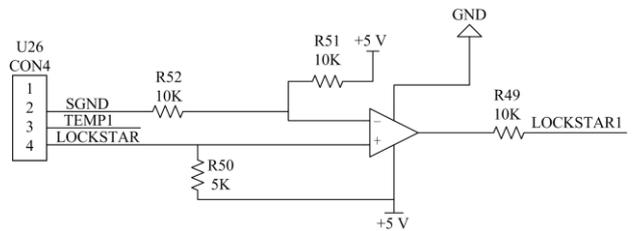


图 10 充电枪状态检测电路

Fig. 10 Charging gun driving circuit

5 充电桩系统工作流程

根据使用流程, 用户连接充电桩, 通过刷卡或是手机 APP 扫码进行登录。在确认信息后, 开始进行安全性检测充电桩是否到位并连接可靠。在确认安全可靠后启动充电过程, 进行费用计量和电流等状态监测。充电完毕后, 计费并打印有关票据, 形成数据上传到管理云端。一般的工作流程如图 11 所示^[18-21]。

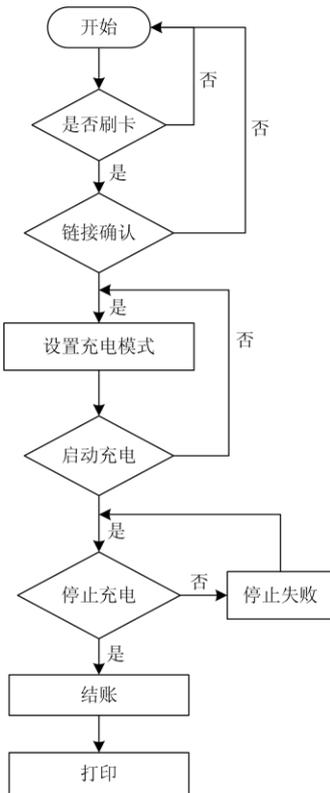


图 11 充电桩的充电流程

Fig. 11 Charging process of charging post

6 结论

1) 本文针对充电桩结构稳定性问题, 分别从结构的强度和稳定性对设计进行了分析和仿真验证, 结构在设定载荷情况下的变形和位移满足要求。同时基于 ARM 架构的 STM32F103ZET6 主控芯片设计了各控制系统电路, 形成了设计方案, 为工程实践提供了参考方案。

2) 未来可在以下两方面进一步强化研究。一是根据需求对充电桩的材料进一步研究, 选择密度更小、强度更高的一类材料, 以减少重量。深入开展充电桩结构疲劳失效研究, 以提升可靠性。二是构建系统时, 结合电网的负荷情况, 开展有关充电策略的优化, 以进一步提升电网利用效率, 设计智能

充电系统, 提升充电成效^[22-25]。

参考文献

- [1] 严俊, 严凤. 峰谷分时电价背景下的居民电动汽车有序充电策略[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(15): 127-134.
YAN Jun, YAN Feng. An orderly charging and discharging strategy for residential electric vehicles based on peak-valley electricity tariffs[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(15): 127-134.
- [2] 汤向华, 朱富云, 吕帅帅, 等. 新能源汽车智能充电桩的设计与研究[J]. 中国高新科技, 2020(10): 26-28.
TANG Xianghua, ZHU Fuyun, LÜ Shuaishuai, et al. Design and research of new energy vehicles intelligent charging pile[J]. China High-tech, 2020(10): 26-28.
- [3] HAWKINS S. The design of the electric vehicle charging pile[J]. SAE International Journal of Alternative Powertrains, 2015, 5(3): 213-221.
- [4] 姚颖蓓, 陆建忠, 傅业盛, 等. 华东地区电动汽车发展趋势及用电需求预测[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(4): 141-145.
YAO Yingbei, LU Jianzhong, FU Yesheng, et al. Electric vehicle development trends and electricity demand forecast in East China[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(4): 141-145.
- [5] 吴永富. 新能源汽车充电桩选型以及安装研究[J]. 内燃机与配件, 2019(24).
WU Yongfu. Research on type selection and installation of charging pile for new energy vehicles[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2019(24).
- [6] 侯慧, 徐焘, 柯贤彬, 等. 电动汽车快充对配电网的风险研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(16): 87-93.
HOU Hui, XU Tao, KE Xianbin, et al. Research on risks of electric vehicle charging to distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(16): 87-93.
- [7] 赵斯衍. 电动汽车智能充电桩的设计与功能实现探究[J]. 时代汽车, 2020(15): 78-79.
ZHAO Sikan. Research on the design and function realization of intelligent charging pile for electric vehicles[J]. Auto Time, 2020(15): 78-79.
- [8] 田梦瑶. 基于 CMF 的电动汽车充电桩设计研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2020.
TAIN Mengyao. Design of electric vehicle charging pile based on CMF[D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2020.
- [9] 李明, 田梦瑶. 电动汽车公共充电桩的 CMF 创新设计方法[J]. 工业设计, 2019(12): 46-47.

- LI Ming, TIAN Mengyao. CMF innovative design method for electric vehicle public charging station[J]. *Industrial Design*, 2019(12): 46-47.
- [10] 周志敏, 纪爱华. 电动汽车充电站(桩)工程设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [11] 孙炜焯, 陈毅, 王帅, 等. 电动汽车无人充电桩设计与实现[J]. *自动化技术与应用*, 2019, 38(4): 29-32, 53.
SUN Weixuan, CHEN Yi, WANG Shuai, et al. Development and design of unmanned rechargeable pile for electric vehicle[J]. *Techniques of Automation and Applications*, 2019, 38(4): 29-32, 53.
- [12] 李鹏程, 杨婧, 张俊玮, 等. 电动汽车充电桩优化选址模型设计[J]. *电工技术*, 2018(21): 47-50.
LI Pengcheng, YANG Jing, ZHANG Junwei, et al. Design of optimized location model for electric vehicle charging pile[J]. *Electric Engineering*, 2018(21): 47-50.
- [13] 刘超. 配电柜结构性能分析及轻量化设计[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
LIU Chao. Structural performance analysis of combined distribution cabinet based on finite element method[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- [14] 殷自力, 郑佩祥, 陈宇星, 等. 含电动汽车和分布式电源的配电网的可靠性评估[J]. *电力系统保护与控制*, 2017, 45(24): 77-83.
YIN Zili, ZHENG Peixiang, CHEN Yuxing, et al. Reliability evaluation for distribution network with electric vehicle and distributed generation[J]. *Power System Protection and Control*, 2017, 45(24): 77-83.
- [15] 张红涛, 李鸥, 肖连飞. 纯电动汽车充电桩电子锁功能逻辑研究[J]. *汽车电器*, 2017(12): 1-4.
ZHANG Hongtao, LI Ou, XIAO Lianfei. Functional logic research of charging gun electronic locks on EV[J]. *Auto Electric Parts*, 2017(12): 1-4.
- [16] 杨晶. 电动汽车智能充电桩的设计[J]. *电子技术与软件工程*, 2019(11): 214-215.
YANG Jing. Design of intelligent charging pile for electric vehicle[J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2019(11): 214-215.
- [17] 俞志强. 新能源汽车充电桩系统设计研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2020.
YU Zhiqiang. Research on the design of new energy vehicle charging pile system[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2020.
- [18] 时盟. 电动汽车智能充电桩控制系统研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2020.
SHI Meng. Research on the control system of intelligent charging pile for electric vehicle[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2020.
- [19] 陈奎, 马子龙, 周思宇, 等. 电动汽车两阶段多目标有序充电策略研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(1): 65-72.
CHEN Kui, MA Zilong, ZHOU Siyu, et al. Charging control strategy for electric vehicles based on two-stage multi-target optimization[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(1): 65-72.
- [20] 黄海涛, 吴洁晶, 顾丹珍, 等. 计及负荷率分档的峰谷分时电价定价模型[J]. *电力系统保护与控制*, 2016, 44(14): 122-129.
HUANG Haitao, WU Jiejing, GU Danzhen, et al. Pricing model of time-of-use electricity tariff considering customers classified by load factor[J]. *Power System Protection and Control*, 2016, 44(14): 122-129.
- [21] KWEON D J, CHIN S B, KWAK H R, et al. The analysis of ultrasonic signals by partial discharge and noise from the transformer[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2017, 20(3): 1976-1983.
- [22] 钱科军, 刘乙, 张新松, 等. 考虑电动汽车充电负荷的配电系统场景概率潮流分析[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(24): 62-70.
QIAN Kejun, LIU Yi, ZHANG Xinsong, et al. Scenario-based probabilistic power flow calculation of distribution systems with electric vehicle charging loads[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(24): 62-70.
- [23] YUAN H, WEI G, ZHU L, et al. Optimal scheduling for micro-grid considering EV charging-swapping-storage integrated station[J]. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2020, 6(14): 1127-1137.
- [24] DOST P K, SPICHAZ P, SOURKOUNIS C. Charging behavior of users utilizing battery electric vehicles and extended range electric vehicles within the scope of a field test[J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2018, 54(1): 580-590.
- [25] YI T, ZHANG C, LIN T, et al. Research on the spatial-temporal distribution of electric vehicle charging load demand: a case study in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 242(1): 1-15.

收稿日期: 2021-03-31; 修回日期: 2021-08-25
作者简介:

吴钟鸣(1975—), 男, 通信作者, 硕士, 副教授, 研究方向为电动汽车驱动系统关键技术。E-mail: zhmingwu@jit.edu.cn

(编辑 张爱琴)