

便携式可移动电源系统的研制及应用研究

王宇 周明灯

贵州梅岭电源有限公司, 贵州 遵义 563000

[摘要] 面向高原、边境等远离传统能源供应地的地区电力供给需求, 本文研制开发了一种便携式可移动电源系统。该系统采用风光储能互补的方式, 通过风机、光伏将风能和太阳能转换为电能, 并通过储能电池将电能源转化为化学能进行存储, 同时通过逆变器将直流电源逆变为 220V 交流电; 考虑便携性和易安装性, 系统采用模块化设计, 单个模块重量均不超过 15kg, 整体装备可拆卸并快速组装。经仿真分析及实际应用验证, 该电源系统可在海拔超过 4000m 的边境地区正常工作, 日供电量 20kWh, 为边境巡检人员提供了持续稳定的电力供应。

[关键词] 便携式; 可移动; 电源系统

DOI: 10.33142/sca.v6i6.9350

中图分类号: TM911.4

文献标识码: A

Development and Application Research of Portable Mobile Power Supply System

WANG Yu, ZHOU Mingdeng

Guizhou Meiling Power Supply Co., Ltd., Zunyi, Guizhou, 563000, China

Abstract: In order to meet the power supply demand in areas far away from traditional energy sources such as plateaus and borders, this article has developed a portable and movable power supply system. The system adopts the wind solar energy storage complementation method, which converts wind energy and solar energy into electric energy through wind turbine and photovoltaic, converts electric energy into Chemical energy through energy storage battery for storage, and inverts DC power to 220V AC through inverter; Considering portability and ease of installation, the system adopts a modular design, with each module weighing no more than 15kg. The overall equipment can be disassembled and quickly assembled. After simulation analysis and practical application verification, the power system can operate normally in border areas with an altitude of over 4000m, providing a daily power supply of 20kWh and providing continuous and stable power supply for border inspection personnel.

Keywords: portable; movable; power system

引言

由于高原、边境地等地区的特殊性和复杂性, 电力供给面临着一些独特的挑战[1]: 诸如电力基础设施不成规模、电能源来源不稳定、极端气候环境和复杂地形限制电力输送和存储等等, 受这些因素影响, 高原、边境等地区电力供给存在不稳定、效率低等问题。为保障这些地区电力供给的稳定可靠及可持续性, 本文将设计开发一种便携式可移动的电源系统, 实现系统装备的快速安装应用, 解决高原、边境等地区电力供应困难问题。

1 系统方案设计

1.1 系统组成及工作原理

根据使用区域情况, 本系统主要由风能作为主要能源供应, 光伏作为辅助能源补充系统自消耗的能源, 储能电池作为能量储存和应急备用。系统主要由风力发电机、太阳能光伏电池组、控制器、储能电池、逆变器等组成, 经过电能的转换、存储、变换后提供给交流负载, 如图 1 所示。

太阳能光伏板将太阳光能转换为电能, 通过风光控制器将电能转化为稳定的直流电源 48V, 汇入汇流排模块中

的主功率母线;

垂直轴风能发电机将风能转换为电能, 通过风光控制器将电能转化为稳定的直流电源 48V, 汇入汇流排模块中的主功率母线。

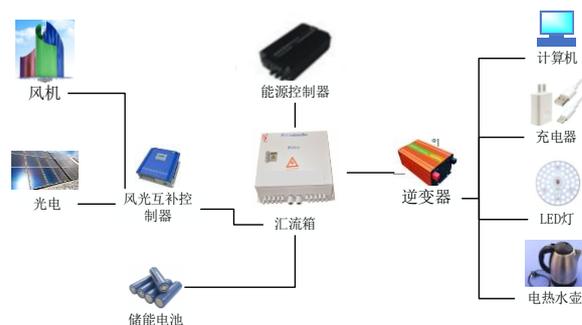


图 1 系统架构图

本系统工作原理如图 2 所示。

参考设计中采用 16 个电池模组并联输出, 标称电压为 48V (37.5V~54.75V) 直流电, 汇入汇流箱功率母线; 电池箱通过 CAN 网络将储能电池组中的单体电压、电流、温度等信息上报给配电箱中能源控制器模块, 并响应能源

控制器的控制指令（充电、放电、离网、并网）等。

汇流排模块是将风力发电分系统输出的功率电源、太阳能发电分系统输出的功率电源和储能电池模块并联输出的功率电源汇流到主功率母线正极及负极，汇流排模块控制板可控制各功率电源是否接通汇流到主功率母线；汇流排控制板通过 CAN 通信与能源控制器模块进行信息交互。

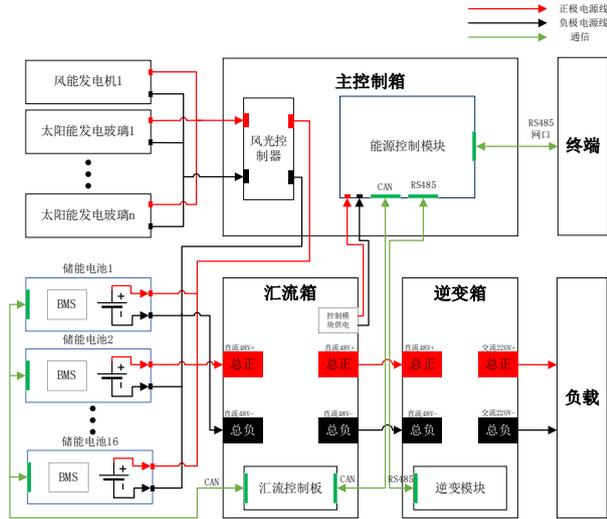


图2 系统原理图

逆变器箱中的逆变模块连接主功率母线 48V 直流电，通过 DC/AC (220V) 电源模块将 48VDC 转变为稳 220V 交流，为设备负载供电；通过控制使能信号，来实现 DC/AC 电源模块的输出控制，同时通过 CAN 通信将 DC/AC 输出电源模块的输出电压、电流信息、温度信息回传给电源主控控制器模块。

能源控制模块是整个电源系统的控制中心，各路能源（风能、太阳能、储能电池）通过 CAN 通信上报自身状态参数，以实现能源控制器模块对全系统的监测；能源控制器模块根据电源系统各设备实际工作状态，综合判断后下发控制指令，实施对各路能源的供电、放电、充电控制；通过 RS485 总线（或网口）通信，响应终端下发的控制指令并将各路能源设备的状态信息上报给终端。

1.2 储能电池箱设计

1.2.1 组成及工作原理

储能电池是能量储存和输出设备 [2]，参考设计由 16 个储能电池箱组成，每个储能电池箱由储能电池组、电池管理系统 (BMS)、组子开关、指示灯、熔断器、电连接器、机箱及线缆等组成，并在每个机箱顶板放置把手，方便运输与装配。

储能电池模块的工作原理如图 3 所示。在系统工作时，需打开组子开关对 BMS 进行供电，BMS 上电自检后会通过 CAN 通信方式将储能电池模块的各参数信息上传至电源主控控制器，确认各参数信息正常后，BMS 会进入指令等

待模式，直至收到“充电”或“放电”指令后才会对主回路的 MOS 管进行导通控制；若系统上电自检异常，BMS 则会向电源主控控制器发送故障点，并由电源主控控制器向系统上位机进行故障报警。

储能电池模块

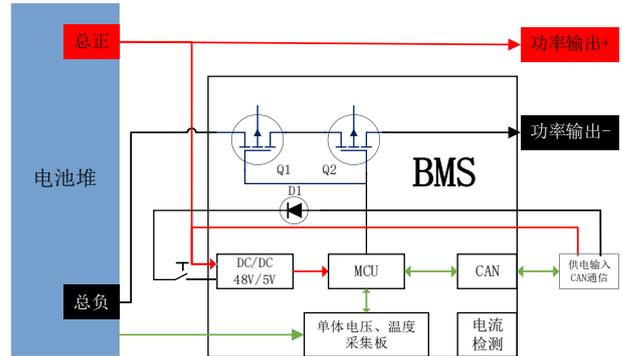


图3 储能电池模块的工作原理

储能电池模块对外接口由功率输出接口与主控供电输出 CAN 通信接口组成。功率输出接口用于系统负载供电，主控供电输出 CAN 通信接口主要用于给能源控制模块提供电能，并与电源主控控制器之间进行通信；为方便各个储能电池模块之间并联与通信，在各个机箱面板上设置了两个功率输出接口（两个功率输出+、两个功率输出-）和两个主控供电输出 CAN 通信接口。

1.2.2 单体电池设计

考虑到边境、高原等地区环境的复杂性，该储能电池需要满足负载长时间的用电需求，且使用期间环境温度变化较大。在考虑电池选型时，既要考虑电池的储能密度，又要考虑电池的使用环境及安全可靠性。磷酸铁锂材料锂离子电池同时具有较高的能量密度和很好的材料稳定性 [3]，且循环使用寿命长（大于 3000 次循环，80% 额定容量），更适合作为储能电池。针对边境、高原等地严寒酷暑等工作环境温度要求，本系统储能电池采用 26650 型低温纳米磷酸铁锂电池设计，可以满足 $-40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 超宽温工作环境需求。

1.2.3 电池组设计

本系统电池组的标称电压要求为 48V，单体电池的标称电压为 3.2V，经计算，采用 15 串单体电池设计，则电池组标称电压为 48V，单体电池电压范围为 $1.5\text{V} \sim 3.65\text{V}$ ($-40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$)，则电池组的电压范围 $22.5\text{V} \sim 54.75\text{V}$ ($-40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$)，可以满足电池组的使用要求。

储能电池采用 2160 只单体电池 15 串 144 并设计，标称电压为 48V，电压范围 $22.5\text{V} \sim 54.75\text{V}$ ($-40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$)，额定容量为 489.6Ah，电量为 23.50kWh，如表 2 所示。根据系统整个布局空间，及储能电池模块重量适宜搬运，设计 16 个储能电池模块，每个储能电池模块内有 135 个单体电池 15 串 9 并，储能电池箱容量 30.6Ah，如下表 1 所示。

表 1 储能电池箱设计指标

序号	项目	设计指标	备注
1	单体数量	135	15S9P
2	标称电压	48V	--
3	标称容量	30.6Ah	--
4	标称电量	1.468kWh	--
5	电压范围	22.5V~54.75V	--
6	工作温度	-40℃~60℃	--
7	重量	11.475kg	仅电池

1.2.4 BMS 设计

本文电池管理系统 (BMS) [4] 由储能电池模块主控控制板 (以下简称: 主控控制板)、单体电压和温度采集板 (包含主动均衡) 组成, 工作原理如图 4 所示。主控控制板主要功能是与主控模块进行通讯, 接收电池组参数信息, 并根据诊断结果对单个电池组进行管理控制。单体电压采集板主要功能是对电池组单体电压与温度进行采集, 并通过 SPI 通讯将所采集到的电池组信息发送至主控单元; 主动均衡板主要功能是单体电芯电压均衡。

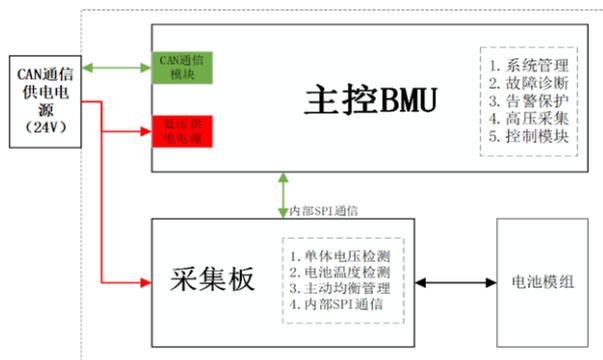


图 4 BMS 工作原理

1.2.5 结构设计

储能电池箱为标准机箱, 其外形尺寸约为 355mm×90mm×470mm (宽×高×深), 每个电池箱中放置 135 只电池 15 串 9 并 PACK, 单个储能电池模块重量 15kg 左右, 储能电池模块内部主要由电池组与 BMS 组成, BMS 带有金属外壳, 可有效防止电磁干扰。电池箱结构示意图如下图 5 所示。

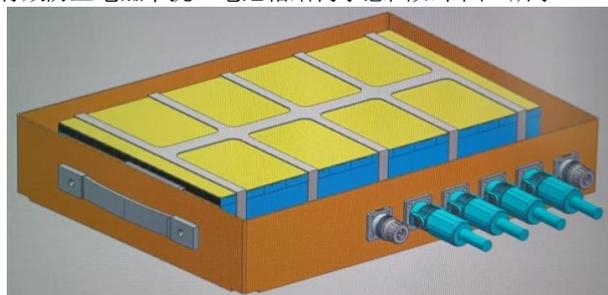


图 5 储能电池模块内部装配布局图

1.3 主控控制箱设计

主控箱主要由能源控制器、风光互补控制器、电连接

器、电缆及机箱组成。

1.3.1 能源控制器

能源控制器是整个移动电源系统的控制及管理逻辑核心, 主要负责整个系统的运行控制、过程监控、数据处理、控制策略实现、全系统内部通讯及与外部上位机通信等。

1.3.2 风光互补控制器

风能控制器采用风光互补控制器, 环境温度-40℃~60℃, 风光控制器具有 PWM 充控制模式充电具有电池反接、光伏电池反接保护功能, 两路负载过流、短路告警保护功能, 两路负载多重控制模式: 光控、时控、全开放功能, 电池过充和过放告警保护功能, 两路负载不同电压下保护功能, 光伏输入端防雷保护功能, 储能电池温度补偿功能, 有效延长储能电池的使用寿命系统异常告警保护功能, RS485 通信功能, 工作状态和发电数据可以实时上传。

本系统控制器参数如表 2 所示。

表 2 风光互补控制器参数表

序号	参数名称	参数	备注
1	电池系统电压 (V)	48	
2	光伏阵列最大开路电压 (V)	105	
3	光伏阵列最大开路后恢复电压 (V)	100	
4	光伏阵列最小工作电压 (V)	>Vbat+1V	
5	光伏额定电流 (A)	21	
6	光伏组件功率 (W)	100	最大 300W
7	风机额定电压 (V)	48	
8	风机最大开路 (V)	102.4	
9	风机额定电流 (A)	25	
10	风机发电机功率 (W)	1500	
11	充电限制电压 (V)	>Vbat < BCV+0.4V	

1.4 风机设计

风能分系统主要由冰激凌型垂直轴磁悬浮风力发电机、塔杆及电缆等组成, 冰激凌型垂直轴磁悬浮风力发电机将风能转变为电能, 通过控制器控制并转化为直流电后, 接入汇流排, 为系统供电。本系统采用风力发电机参数如表 3 所示。

表 3 风力发电机参数

序号	参数名称	参数
1	额定电压	48V
2	额定功率	1000W
3	叶片高度	1 米
4	风轮直径	米
5	启动风速	2.0m/s
6	切入风速	2.5m/s
7	额定风速	12m/s
8	最大风速	40m/s
9	重量	30kg
10	超速保护	卸荷和电磁制动
11	过载保护	电磁制动

1.5 整流逆变模块设计

整流逆变模块主要功能是将 48VDC 母线电源转换成 220VAC 为负载提供交流电源输出。

1.6 太阳能光伏模块设计

太阳能发电主要由光伏板将太阳能高转化成电能,通过风光互补控制器内的最大功率点跟踪算法^[6],在最大功率点随环境条件变化时,快速准确地跟踪光伏电池板的最大功率点,实时调节太阳能电池阵输出电压,使太阳能电池阵输出功率达到最大值,最大程度地利用太阳能。

2 系统结构设计

考虑整体装备的便携性和易安装性,系统采用模块化设计^[6-7],由风机、立柱、控制箱、储能电池箱等模块组成,所有设备以风机立柱为中心进行布置连接,单个模组重量均不超过 15kg。

其中:风机安装在立柱顶部,立柱用电池安装块与电池箱进行连接固定,并在风力发电机处用钢丝固定进行辅助;电池箱放置在地面,如图 6 所示。控制箱内置能源控制器、风光控制器、汇流箱和逆变箱。安装块安装在立柱底部,使用限位螺钉固定安装块与立柱的相对位置,防止立柱随风机运动发生转动。

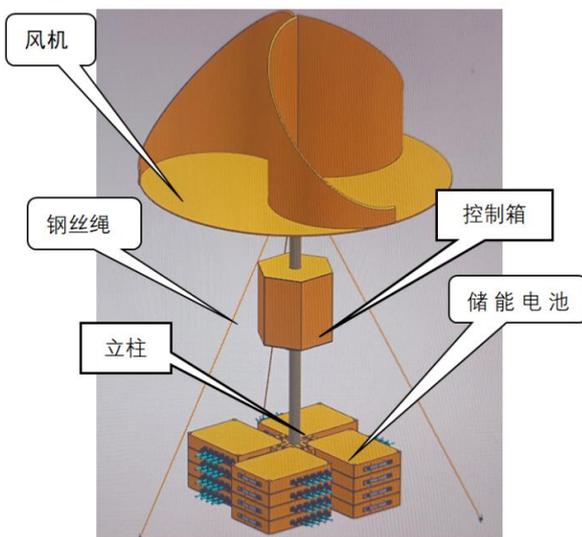


图 6 系统布置示意图

3 仿真分析

通过力学仿真对便携式可移动电源系统的抗风性能(12级风),进行流固耦合仿真分析验证。

3.1 计算域的确定及网格划分

假设系统结构最大尺寸为 L,高度为 H,通过多次仿真对比,确定最佳计算区域范围为:计算域入口至结构距离为 4L,计算域出口至结构距离为 7L,计算域侧面至结构距离为 4L,计算域顶部至结构顶部为 3H。根据本方案能源站的基本结构尺寸,设定计算区域范围为长×宽×高为 11530mm×8960mm×7000mm。并将计算域切分为近流场区域和外流场区域,如图 7、图 8 所示。

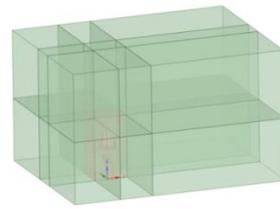


图 7 计算域切分

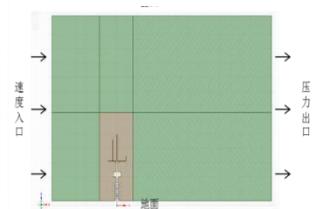


图 8 计算域示意图

近流场区域由于结构模型的不规则,采用四面体网格划分,网格尺寸为 10mm,单元数量 6483007,节点数量 1238774;外流场采用六面体网格划分,网格尺寸为 100mm,单元数量 722484,节点数量 746247,如图 9、图 10 所示。湍流模型采用 RANS 方法中的标准 k-e 模型,入口条件为速度入口,出口为压力出口。

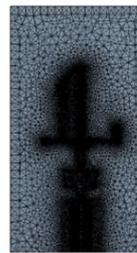


图 9 近流场网格

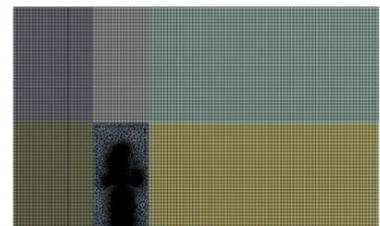


图 10 外流场网格

3.2 材料定义及配重

空气温度为 25℃,空气密度为 1.225kg/mm³,空气黏性系数为 1.7894e-05kg/m·s;电池箱、风机采用铝合金材料,密度 2710 kg/mm³,弹性模型 71000MPa,泊松比 0.3;立柱、主控箱及电池箱固定安装件采用钢材,密度 7850 kg/mm³,弹性模型 210000MPa,泊松比 0.3;整体配重 382.63kg,如图 11 所示。

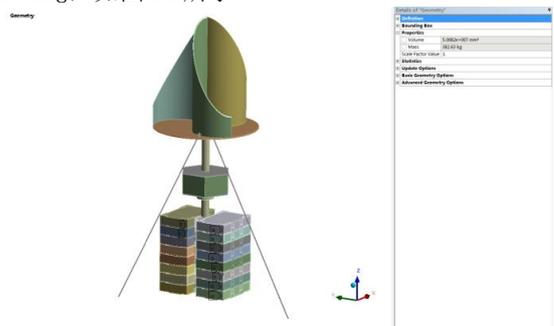


图 11 整体配重

3.3 边界条件

风向为水平方向,平均风速 37m/s (12级风)。

3.4 仿真结果

本文电源系统的抗风稳定性主要从抗风滑动、抗风侧翻和结构强度这 3 个方面进行考虑。

3.4.1 抗风滑动

风机中部截面的风压和风速分布分别如图 11、图 12

所示。由于系统结构影响，在风机叶片和电池箱的背风区域产生一定范围的湍流现象，出现负压情况。同时由于电池安装底座和风机叶片的遮挡作用，背风侧的风速极具减小，而后出现扩散式增大。

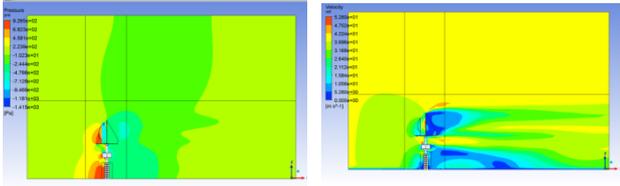


图 11 截面风压分布云图 图 12 截面风速分布云图

系统结构在水平面迎风方向所受合力如图 13 所示，计算收敛时合力为 1138N，结构自重 382.6kg，根据摩擦力计算公式 $F = \mu \times F_n$ 算出摩擦系数为 0.297，由于立柱通过三根绳索固定安装于地面，因此整个能源站在 12 级风作用下不会产生滑移。

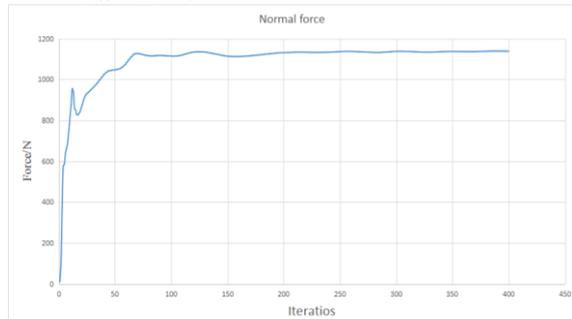


图 13 系统结构外力（水平方向）

3.4.2 抗风侧翻

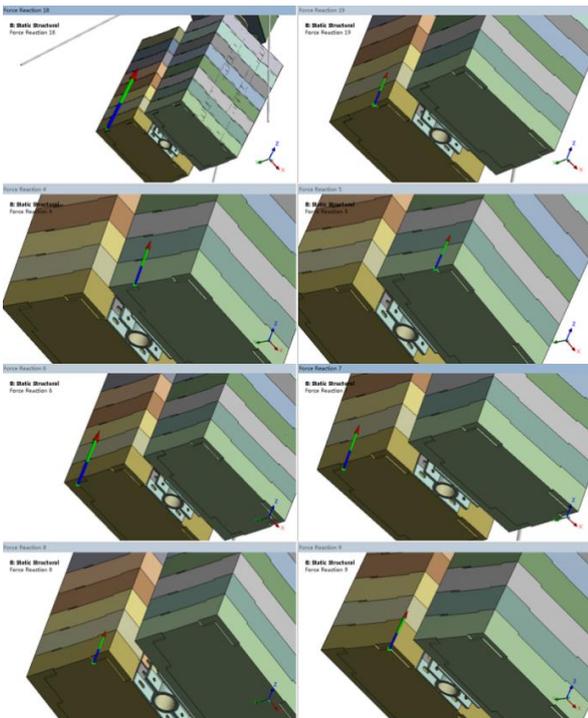


图 13 风载作用下结构底部垂直方向承载力

系统结构受到风压作用产生风载荷以及绕底座最外端点旋转的倾覆力矩，实际上结构的自重会产生一定的抗倾覆力矩，因此在结构底座端点施加弹簧单元进行约束，通过考察底座面端点承受力方向的方式判断能源系统结构是否倾覆。结果如图 13 所示：迎风面位置对应的底座作用力均为向上的支撑力，因此系统结构不存在倾覆危险。

3.4.3 结构强度

本文电源系统整个结构在平均风载荷下的表面风压、整体位移和整体应力如图 14-16 所示，最大风压位于风机叶片、电池箱和主控箱迎风面上，最大风压为 937.9Pa；最大变形位于风机叶片位置，最大位移量 1.45 mm；最大应力位于立柱绳索接地位置，最大应力值为 24.8MPa，小于钢材许用应力值。

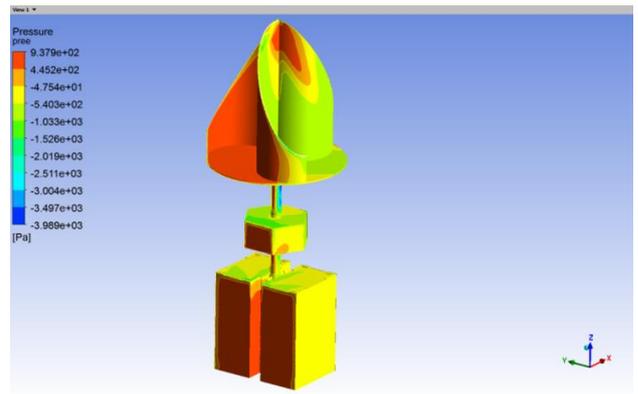


图 14 系统结构外表面风压分布云图

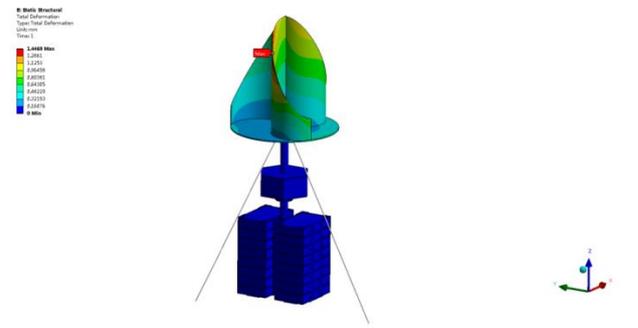


图 15 系统结构整体位移云图

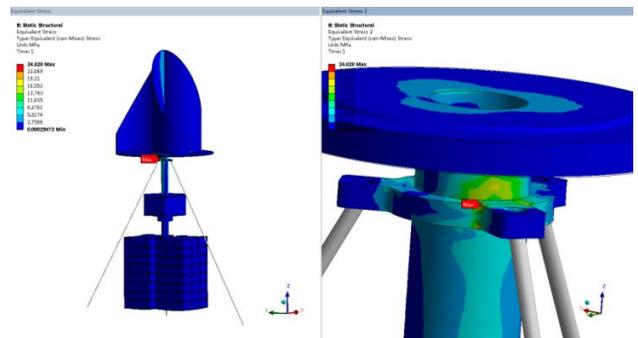


图 16 系统结构应力云图

综上仿真分析，该电源系统在 12 级大风环境下，不

会产生倾覆危险,不会出现滑移现象,结构强度满足设计应用要求。

4 应用情况

便携式可移动电源系统研制完成后,开始小批量生产制作。首批向用户交付正式产品 5 套,应用环境为海拔超过 4000m 的某边境地区,最高环境温度高于 40℃,最低环境温度低于-20℃,最大风速 32m/s,平均日照时长 9.2 h。产品经公路运输到达目的地,于现场组装并进行了超过 3 个月的不间断应用测试,期间光伏、电池充放电、供电逻辑、保护逻辑均工作正常,日供电量 20kWh。便携式可移动电源系统的成功部署,为边境巡检人员提供了持续稳定的电力供应,验证了电源系统的可靠性。

5 结论

本文研制开发的便携式可移动电源系统,采用风光储能互补的方式,通过风机、光伏板将风能和太阳能转换为电能,通过储能电池将电能源转化为化学能进行存储,同时通过逆变器将直流电源逆变为 220V 交流电,为负载提供电能源。为保障电源系统的便携性及易安装性,系统整体采用模块化设计,风机、光伏、电池及整流逆变模块均可拆卸并快速组装;同时具备实时工况及状态监控功能。经仿真分析及实际应用验证,本系统可有效为电力供应困

难地区提供持续稳定的电能源。

[参考文献]

- [1]孟正. 西藏地区高原风电机组及开发方式选择[J]. 中国高新技术企业,2016(31):64-65.
 - [2]陈宇,刘胜煜,李民英,等. 储能电源系统工程设计与实现[J]. 电气应用,2021,40(7):23-29.
 - [3]郭苏,陈为召,龙登明. 基于磷酸铁锂电池的便携式 48 V 通信直流应急电源研究[J]. 电力信息与通信技术,2021,19(1):111-115.
 - [4]钟邳杰. 储能电池管理系统状态估计研究[D]. 南京:东南大学,2021.
 - [5]黄惠豪,谭嘉祺,吴晓勇. 便携式光伏电源系统的设计[J]. 光源与照明,2022(4):90-92.
 - [6]刘志强,徐辉,李炜,等. 便携式锂离子动力移动电源系统的设计与研究[J]. 机械设计与制造,2014(3):78-80.
 - [7]任先文,力军,龚胜刚,等. 大功率锂离子电池储能电源系统的研制与应用[J]. 强激光与粒子束,2021,33(3):151-157.
- 作者简介:王宇(1973.10—)男,籍贯:辽宁,学历:大专,现有职称:助理工程师,研究方向:电源系统,从事工作,项目经理。