

基于三层电气网络结构的移动电站集中控制柜设计

韩云龙¹, 翟庆超², 唐长明¹, 胡志峰¹, 李治朋¹, 孙红斌¹, 徐凯峰¹

1. 中国石油集团济柴动力有限公司 山东 济南 250306; 2. 海军装备部 山东 青岛 266011

摘要:为解决传统集中控制柜集成度低、抗干扰能力弱、空间利用率不足等问题,提出一种基于三层电气网络结构的集中控制柜设计方案,设计控制柜的机械结构、电气系统等部件,并进行工业性试验验证。结果表明:相比传统集控柜,基于三层电气网络结构的集控柜体积减小、质量减轻,减振性能、电磁屏蔽性能和散热性能等显著提高,集控柜的空间利用率提高至 85%,散热系统温升改善 40%,双曲面减震器振动衰减率为 78%,电磁兼容性符合国际电工委员会标准。

关键词:移动电站;集中控制柜;三层网络结构;电磁兼容性;热管理系统

中图分类号: TM641

文献标志码: A

文章编号: 1673-6397(2025)04-0096-08

引用格式: 韩云龙, 翟庆超, 唐长明, 等. 基于三层电气网络结构的移动电站集中控制柜设计[J]. 内燃机与动力装置, 2025, 42(4): 96-103.

HAN Yunlong, ZHAI Qingchao, TANG Changming, et al. Design of centralized control cabinet for mobile power station based on three-tier electrical network architecture [J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2025, 42(4): 96-103.

0 引言

随着能源应急保障、灾害救援、基建施工等领域对移动电站需求的快速增长,其核心部件控制柜的性能短板日益凸显。以油田钻井应用场景为例,在沙尘、油污、振动及盐雾等严苛环境中,传统控制柜的热管理、抗振性能及电磁兼容性均难以满足要求^[1-3]。当前行业正朝着集成化方向发展,但针对复杂应用场景下移动电站控制柜的优化研究不足。现有研究多聚焦在通用性控制柜改进,针对特殊应用场景下移动电站的系统性优化明显不足,尤其在抗振性能、电磁兼容性与热管理设计等方面尚未形成有效的解决方案^[4-5]。

本文中基于三层电气网络结构的分层设计理念,通过功能集成与结构优化等措施,提高集中控制柜(简称集控柜)的热管理、抗振性、电磁兼容性等性能,提高柜内空间利用率,减轻集控柜质量,为集控柜在石油钻探、应急供电领域的应用提供参考。

1 集控柜总体设计

基于电气元器件的发热量、电磁干扰、抗振性、质量等自有特性,集控柜采用三层结构设计:上层为控制层,主要包括进线断路器、变频器及人机交互模块等;中层为配电层,主要配置配电用分路断路器、接触器及保护器件;下层为执行层,主要安装有可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)、浪涌保护器、扩展模块及重型元件^[6-8]。基于三层电气网络对集控柜进行空间划分,既可以通过分层管理实现故障快速定位,简化故障诊断流程,缩短故障维护时间;还可以通过合理化空间分割,减少各电气元件之

收稿日期:2025-07-10

第一作者简介:韩云龙(1984—),男,陕西延安人,高级工程师,主要研究方向为发动机控制、发电机组控制及电站控制技术,E-mail:13668808625@163.com。

间的强弱电干扰,优化电磁兼容性^[9-11]。分层时将发热量高的元器件布置在上层,结合热空气上升特性,优化气流路径以减少热量上升时的影响范围,有助于利用柜内负压将上层热量迅速排出^[4,8]。将重型元件如浪涌保护器放置于下层,降低集控柜的整体振动影响。

各层元器件的安装依赖于机械结构设计,机械结构主要包括分体式操作面板、骨架安装系统、三层电气安装横梁、散热结构、抗振防护结构等。集控柜电气系统设计主要包括三级配电架构设计、控制回路设计、保护机制设计、电磁屏蔽设计、热管理系统以及人机交互系统等。

2 机械结构设计

2.1 分体式操作面板设计

设计前面板时,考虑操作的逻辑顺序和 workflows,通过功能集中与分区优化,可以有效提高操作效率。由于分层清晰,各元器件的功能相对集中,有利于前操作面板的集中设计,因此,对前面板采取分体式设计,将控制按钮、显示器和仪表等功能区进行集中设计。

为便于观察和整体操作,将显示器、仪表、总控制开关置于面板的上半部分;为便于频繁操作,将其余指示灯和按钮开关集中于下面板,分体式前面板设计示意图如图1所示。显示器、仪表、总控制开关置于面板上半部分,符合人体工程学中视线自然平视或略向上看的习惯,将其余指示灯和按钮开关集中于下面板,对于需要频繁操作的按钮,操作人员无需过度伸展手臂或改变身体姿势,可以有效降低操作的疲劳程度。设备在使用的过程中一旦上、下面板同时打开,存在较高的误操作风险,尤其是操作人员同时接触多个可能引发危险的操作区域。为确保设备在操作过程中,不因人为误操作而引发设备故障,在设计中采取上、下面板的磁吸式电子互锁结构,只允许同时打开其中的一个面板,保证操作的安全性。磁吸式电子互锁结构能够实现稳定可靠的互锁功能,且成本可控、易于安装和维护^[6,12]。

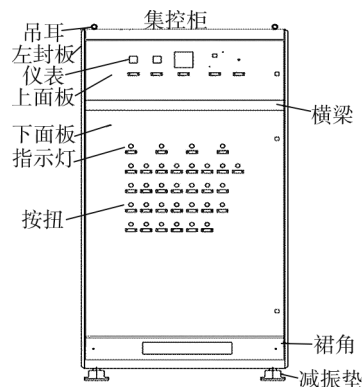


图1 分体式前面板设计示意图

2.2 骨架安装系统

根据分层设计理念及需求,各骨架分层承担不同的力学性能。为便于快速组装、拆卸和更换部件,增强安装、调试和维护的便捷性,设计中采用符合文献[13]要求的C型材,支持所有符合德国标准化协会(Deutsches institut für normung e. V., DIN)标准的断路器、继电器等元器件直接安装。由导轨组成的模块化安装框架主要由立柱、横梁和减震等组成,如图2所示。主承重立柱选用45#钢方管制作,经过淬火-回火处理后可以显著提高钢材的强度、硬度和韧性。为了适应潮湿、盐雾等恶劣的工业环境,在钢方管的表面镀锌,锌层厚度不低于8 μm。高抗弯强度和承载能力使立柱能够承受集控柜内各种电气设备和动态载荷,经测试其抗弯强度可达320 MPa,是普通角钢的2.3倍,最高可承载动态载荷约11.76 kN^[14-15]。立柱之间采用具有良好连接强度和稳定性的榫卯结构,对接精度控制在±0.5 mm。

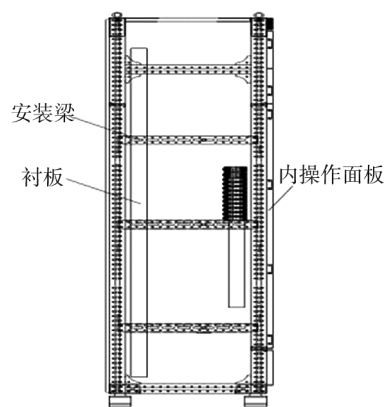


图2 骨架设计

2.3 电气安装横梁

为方便安装、调试和维护,在设计中采用三层电气安装横梁,形成多功能分区的布局,上层布置总进线断路器、变频器等器件,中层配置分路断路器及接触器等器件,预留30%安装余量空间,下层配置安装PLC、扩展模块及浪涌保护器等重型元件,横梁间距可实现无级调节,为适配不同高度电气元件^[16],调节步距为5 mm。

2.4 散热结构设计

由于各层元器件的散热量不同,散热拓扑结构应科学合理配置。变频器等发热量大的电子元器件若散热不足,导致元器件性能衰减、使用寿命缩短,甚至引发设备故障。因此,本文中采用三段式导流散热结构,主要包括在右侧板嵌入式安装主动散热轴流风机,用于变频器和集控柜内部的散热,如图 3 所示。

为减少因风机故障导致的设备停机时间和维修成本,选用滚珠轴承电机,平均无故障时间可达 50 000 h。为避免不必要的能源消耗,在设计中配置智能温控模块,当柜内温度高于 25 ℃ 时自动启动散热设备^[15]。

为满足多尘土、多盐雾等恶劣环境的散热效果,在设计中对集控柜的顶板进行可拆卸式防尘滤网的被动散热设计,采用初效尼龙网-活性炭层-高效微粒空气(high efficiency particulate air, HEPA)滤纸的三层复合过滤结构,有效过滤空气中的灰尘、异味和微小颗粒^[10]。控制底板开孔率不大于 35%,并形成烟囱效应,利用自然对流原理辅助散热,且可以保证控制柜的防护等级。为增强散热效果和降低能耗,在设计中利用元器件的布局形成导流槽。通过计算流体动力学(computational fluid dynamics, CFD)方法仿真优化风道结构,能够精确设计导流槽和气流路径,以较小的能耗实现较好的散热效果。

2.5 抗振防护结构设计

由于各层元器件的振动频率和抗振性能不同,需进行抗振结构的整体设计。发电机组在运行时产生周期性振动,如果减振器的固有频率与激励频率相近,将引发共振并破坏设备。因此对柜体的底部安装 4 组非线性刚度双曲面阻尼减振器,为避开机组在额定转速为 1 000~1 500 r/min 时产生的激励为频率为 10~25 Hz 的周期性振动,设计控制柜固有频率为 5~15 Hz。振动台测试表明:该设计可有效抑制频率小于 15 Hz 的振动干扰,集控柜内部的元器件振动加速度衰减率约为 78%。针对该平台主频为 10~25 Hz 振动特性开发抗振防护技术,使用双曲面阻尼减振器作为柜体底部支撑,其刚度在频率为 5 Hz 时约为 1 200 N/mm、频率为 15 Hz 时约为 800 N/mm。加强筋采用 Q345B 钢材,屈服强度约为 345 MPa,使用防松螺母和 65Mn 弹簧钢垫圈安装。

抗振防护的设计思路为:该平台的振动主频为 10~25 Hz,其加速度的幅值为 0.5~0.8g(g 为自由落体加速度),若控制柜固有频率接近 5~15 Hz,其叠加部分的振动加速度可能放大 10 倍以上,易导致元件松动或疲劳失效,进而导致螺栓松动、电缆断股、接插件接触不良等问题,无法满足传统设计中故障间隔时间为 500 h 的要求。因此,在设计中采取三级减振安全防护设计:第一级为减振器,吸收低频振动能量,降低传递至柜体的加速度;第二级为优化柜体结构,提高柜体刚度,避免共振;第三级为连接强化,防止长期振动导致链接失效。减振器设计中,为满足低频高阻尼与高频低刚度的需求,选用双曲面阻尼减振器方案。该方案可以实现在频率为 5 Hz 时减振器刚度约为 1 200 N/mm,15 Hz 时降至约 800 N/mm,其硅橡胶基体-微球填料-双曲面的材料与几何设计,可通过变形自动调整刚度。在柜体机构的优化设计中,沿柜体对角线布置屈服强度约为 345 MPa 的 Q345B 钢材加强筋提高抗扭刚度,同时通过拓扑优化中的固体各向同性材料惩罚模型(solid isotropic material with penalization, SIMP)方法去除冗余材料,预测可使柜体质量减轻约 15%,同时刚度提高约 20%。在连接的强化设计中,选用预紧力损失不超过 5%的

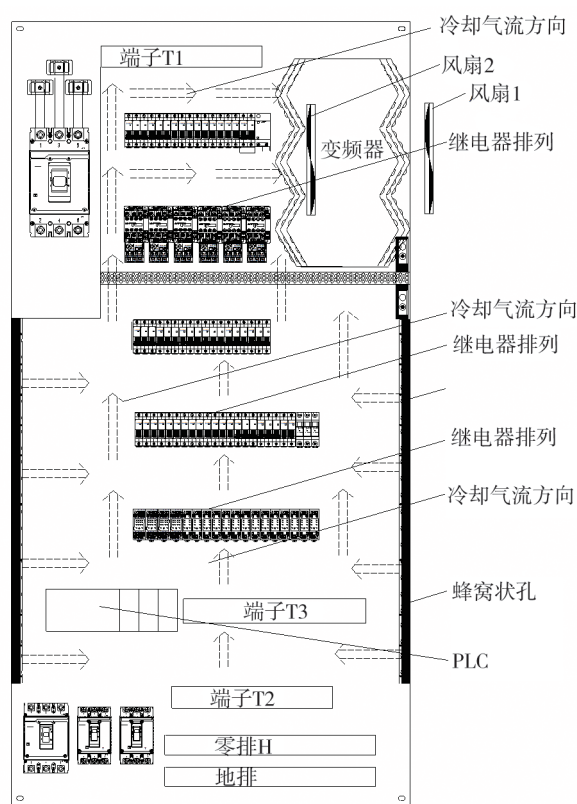


图 3 三段式散热结构设计

施罗伊德防松螺母,比传统螺母的紧固效能提高6倍。选用HRC硬度为45~50的65Mn弹簧钢垫圈,其弹性极限不低于800 MPa,可有效地补偿振动导致的接触面分离问题^[11]。

2.6 机械结构集成效果

传统控制柜的长、宽、高分别为1 500、800、2 000 mm,体积约为2.4 m³,质量(含元件)约为800 kg。通过分体式面板、骨架导轨系统、三层横梁布局等机械结构的设计,结构优化后集控柜的长、宽、高分别为1 200、700、2 100 mm,体积约为1.8 m³,减少约26.5%,质量(含元件)降至约580 kg,减轻约27.5%。传统控制柜往往独立布置总进线断路器、分路断路器、PLC、变频器等,辅助元器件约为45件,柜内空间利用率约65%。通过上层总进线、中层分路、下层PLC的三层横梁分区优化后,辅助元件减少至32件,减少约29%,柜内整体空间利用率提高至约85%,并预留一定的扩展空间。优化前、后元器件密度(元器件数量与体积的比)增大约25%,效果明显。传统控制柜组装时间约为12 h,优化设计后通过模块化导轨系统组装时间缩短至8 h,安装时间减少约1/3。采用分体式面板设计,使日常巡检由2人减为1人,效率提高约50%。磁吸互锁结构,可减少误操作风险,将误操作率从传统方案的约1%降至约0.2%,降低约80%。三段式导流结构经测试表明:可在元器件与柜门间形成流速约为0.5 m/s的强制气流,可以带走发热量的60%,比传统设计温升改善约为40%。

3 电气系统的设计

3.1 配电架构设计

配电层采取三级配电架构是电力分配系统中极为有效的设计方案,任一级出现问题均可快速定位故障点,提高系统的整体可靠性,若出线端出现故障,不直接影响进线和母线的正常运行。本设计采用进线、母线、出线三级配电架构,通过分层配置实现电力分配的可靠性与扩展性,变频器配电和控制回路如图4所示。

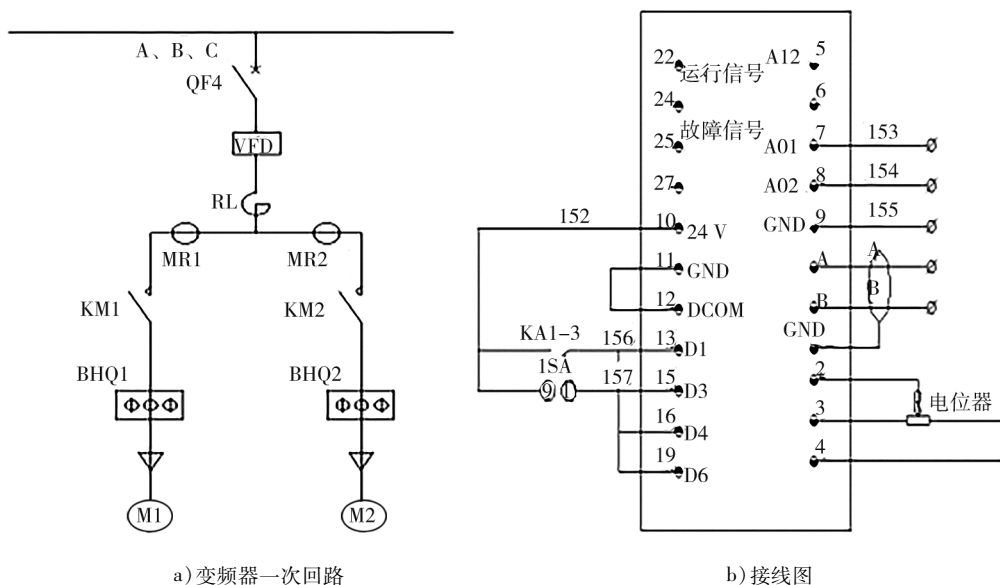


图4 变频器配电和控制回路

为提高短路保护性能,选用CM3 400C/3340型塑壳断路器作为主进线开关,额定电流为400 A,短路分断能力最高约为50 kA,可承受最大预期短路电流冲击,保障整个配电系统安全。考虑到过负荷及未来用电的情况,设计中主母线采用截面积为300 mm²的T2紫铜排,最高载流量约为630 A,预留20%余量以满足未来扩容需求。为了提高系统的扩展性和灵活性,设置8路独立分路断路器,采用导轨式安装结构,每路出线配置状态指示灯及手动操作手柄,分断能力与主进线开关构成选择性双重保护配合^[16]。

3.2 控制层与执行层电气回路设计

为确保控制系统持续稳定运行,控制层与执行层电气回路采用双冗余控制架构,可以显著提高控制系统的可用性。为关键控制操作提供可靠保障,即使 PLC 部分出现故障,中间继电器仍能通过硬线连接维持如电机起、停、急停等关键控制功能,采取硬件逻辑控制-PLC 数字量输出模块直接驱动的双冗余方式,实现关键控制回路的硬件冗余,响应时间不超过 10 ms,满足电机起停、急停等快速保护需求。为保证数据交互的连续性,避免因通信中断导致的控制失灵或数据丢失问题,对通信采用 ModbusTCP 工业以太网协议实现与变频器的数据交互,配置双网口交换机,单链路故障时自动切换时间不超过 300 ms。

3.3 电气保护机制设计

为应对电气故障多样性、复杂环境变化、电磁干扰等复杂的运行环境,设计三级保护机制,包括电气保护、热保护到电磁兼容保护。电气保护可应对过载、短路等常规电气故障;热保护能防止设备因过热而损坏;电磁兼容保护可减少电磁干扰对系统的影响^[7]。在集控柜中配置智能电动机保护器,集成过载反时限特性、堵转延时时间为 3 s、缺相时间在 0.5 s 内瞬动等保护功能,具备故障记忆及事件顺序记录功能。在变频器进线端加装 PT100 电阻温度传感器,实时监测整体温度,设置预警阈值为 85 ℃、保护跳闸阈值为 90 ℃,配备温度补偿电路确保温度为 -20~70 ℃ 时的测量精度^[8,14]。变频器的主回路安装三相 LC 滤波器,共模抑制比和差模抑制比均满足文献[17]电磁兼容标准要求,可有效抑制变频器产生的高频谐波干扰。

3.4 电磁兼容优化设计

为优化电集控柜的电磁兼容性能,采用三层网络设计,将电磁干扰源(如变频器)与其它敏感元器件(如 PLC)进行空间分割,从物理上可以减少电磁波的干扰。基于电磁场衰减模型,通过仿真确定变频器与 PLC 在集控柜内的最优对角线长度为 1 500 mm,电磁耦合度低至优于文献[18]中的限值。变频器外壳采用厚度为 1.5 mm 冷轧钢板,接缝处嵌入导电泡棉,通风窗口配置六边形蜂窝状屏蔽网,单点接地结构采用截面积为 50 mm² 紫铜接地排。在变频器主回路设计双级 LC 滤波器,滤波器的电感 $L=2.2$ mH、电容 $C=47$ μF,可较好地完成频段插入损耗测试。PLC 模拟量通道串联阻抗为 120 Ω(频率为 100 MHz)的铁氧体磁珠,共模抑制比有效提高。

针对复杂电磁环境中变频器开关暂态、电机起停冲击、外部无线电干扰等干扰源,变频器与 PLC 间的高频信号可能形成进场耦合,变频器主回路产生的共模电压通过各回路耦合至 PLC 模拟信号通道产生共模噪声,变频器输出的脉冲宽度调制高频谐波产生谐波干扰问题等。为解决这些问题,采用某主流电磁仿真软件,构建控制柜三维模型,定义变频器绝缘栅双极晶体管开关暂态作为近场辐射源,通过场-路协同仿真进行耦合路径分析。仿真发现,当变频器与 PLC 对角线间距为 1 500 mm 时,空间电磁耦合度约为 60 dB。设计变频器外壳及接地系统,屏蔽外壳采用厚度为 1.5 mm 的冷轧钢板,在接缝处嵌入导电泡棉并设计六边形蜂窝状屏蔽网,以 dB 为单位的屏蔽效能 E_s 的数值

$$\{E_s\} = 20\lg[\sigma/(2\pi f\mu)] + 20\lg(d/l), \quad (1)$$

式中: σ 为钢导电率, S/m; f 为电磁场的频率, Hz; d 为屏蔽材料的厚度, mm; l 为在电磁波传播方向上屏蔽体占据的空间长度, m; μ 为磁导率, H/m。

$\sigma=5.8\times 10^7$ S/m, $f=10$ MHz, $d=1.5$ mm, $l=1$ m, 由式(1)可得: $E_s\approx 65$ dB, 满足要求。接地排采用截面积为 50 mm² 的紫铜排,接地电阻不大于 0.1 Ω,通过单点连接至控制柜底板以避免接地环路的干扰。所有屏蔽层均通过接地排汇总进行等电位联结,确保共模电压路径最短^[3,7]。

在针对变频器产生的频率为 2~15 kHz 的载波及频率为 0.1~1.0 MHz 的高次谐波,采取差模及共模的两级滤波:第一级差模滤波的截止频率约为 500 Hz,可有效抑制电机起、停时的低频差模噪声;第二级共模滤波的截止频率约为 1 kHz,可有效抑制共模噪声。同时对变频器开关频率为 100 MHz 附近的高次谐波,选用阻抗为 120 Ω 的铁氧体磁珠串联在 PLC 模拟量的输入端抑制共模干扰。

3.5 热管理系统设计

考虑到风机能够根据设备的实际散热需求精确调整风量并降低噪声,主动散热风扇选用电子换相(electrical commutation, EC)风机,型号为 EBM-PAPST 4650N;风扇采用铝合金框架和铁铝合金叶片,电

气接口为2根截面积为 0.5 mm^2 、长度为 70 cm 的柔性导线;选择精密双滚珠轴承;发电机转速为 $0\sim 2\,600\text{ r/min}$,风量为 $0\sim 120\text{ m}^3/\text{h}$,噪声为 $28\sim 52\text{ dB}$,预期使用寿命为 $100\,000\text{ h}$ 。风扇参数如表1所示。

表1 散热风扇参数

长/mm	宽/mm	高/mm	工作电压/V	工作电流/A	转速/($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	输入功率/W	输出功率/W	噪声/dB
120	120	38	230	0.12	2 600	19.0	5.7	≤ 40

温控策略采用比例积分微分(proportion integration differentiation, PID)控制,算法参数设置为:比例因数 $K_p=2.3$ 、积分因数 $K_i=0.15$ 、微分因数 $K_d=0.05$ 。采用PID控制可以根据温度的偏差、偏差变化率等因素自动调整风机的转速,使设备温度快速稳定在设定温度附近。为及时应对温度突变,避免设备因温度波动过大受到影响,采用温度滞后补偿,加入前馈控制,响应时间可缩短至 1.2 s 。为了引导气流按照特定的路径流动,使气流更有效地经过散热部件,被动散热采取导流设计。在散热翅片表面进行阳极氧化处理,材料使用6063铝合金,导热系数约为 $201\sim 205\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,高于电解亚铅镀锌钢板的4倍,可更快地将设备产生的热量传递到散热翅片上。

3.6 人机交互系统设计

考虑到操作便捷性、故障排查准确性和用户体验,设计人性化的人机交互(human and machine interface, HMI)系统。为了在光线不足、低温、潮湿、多尘等情况下能够准确操作,在按键区设计背光雕刻标识技术,在环境温度为 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 时,可见光透过率保持在 85% ;按键行程设计为 $(2.5\pm 0.3)\text{ mm}$ 以适配防寒手套操作需求。同时采用对角线长度约为 18 cm 的工业级电容屏用钢化玻璃,支持防水防尘及手套触控模式,并搭载定制化HMI软件,可自动生成包含时间戳、事件代码的故障日志。HMI系统配置对角线长度约为 18 cm 的触摸屏,可支持实时数据曲线显示、故障录波回放及参数在线整定功能,操作界面采用组态软件构建,支持多语言切换,其数据监控界面如图5所示。

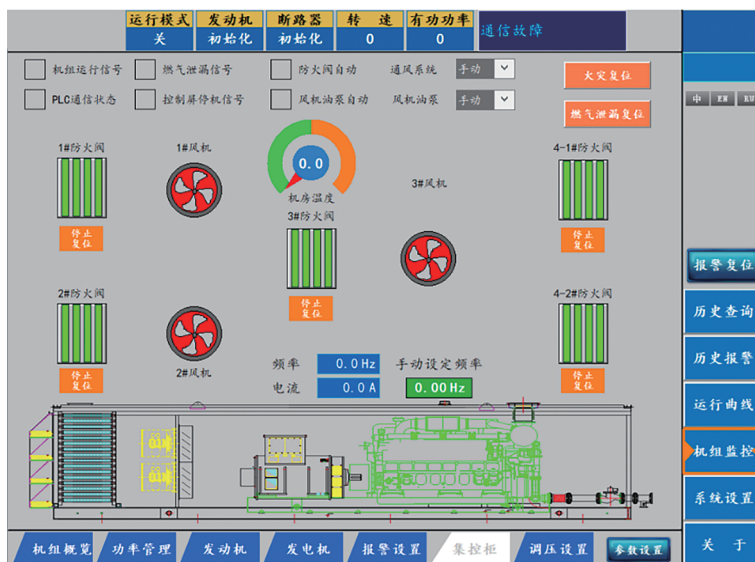


图5 数据监控界面

4 工业应用验证

环境温度为 $-20\sim 45\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 95% 、振动主频率为 $5\sim 15\text{ Hz}$ 、盐雾浓度(单位体积空气中悬浮的盐颗粒或盐溶液微滴的质量浓度)为 $0.8\text{ mg}/\text{cm}^3$ 时,集控柜在某平台进行6个月的工业应用验证,验证对象包含3台功率为 $2\,000\text{ kW}$ 发电机组及其配套控制系统。连续运行 168 h 进行可靠性验证,监测集控柜温升、振动衰减率及误动作频率等,同时进行低温启动、盐雾腐蚀及电磁干扰等环境适应性测试。

4.1 热管理性能

环境温度 25 ℃,改进后的集控柜持续运行 72 h,前 4 h(传统控制柜运行 4 h 后因温度过高、温升过快停止运行)温升测试结果对比如图 6 所示。由图 6 可知:控制柜运行 4 h 后,本文中设计的集控柜内温度约为 32 ℃,比传统方案降低约 23 ℃,温升处于安全可控范围。

强制气流速度约 0.5 m/s 时,测试关键元器件的温度变化,结果表明:PLC 模块的温升控制在(15±1)℃以内,可以有效保护关键元器件及贵重部件;集控柜的被动散热系统在停机状态可维持 48 h 内的温升梯度不高于 5 ℃,大幅提高运行时的温度控制能力,还可以增加集控柜静态在高温环境的储存放置的时间。在环境温度为-20 ℃的低温环境时,开启集控柜内的防潮加热设备,可以使内部温度维持为-5~0 ℃。

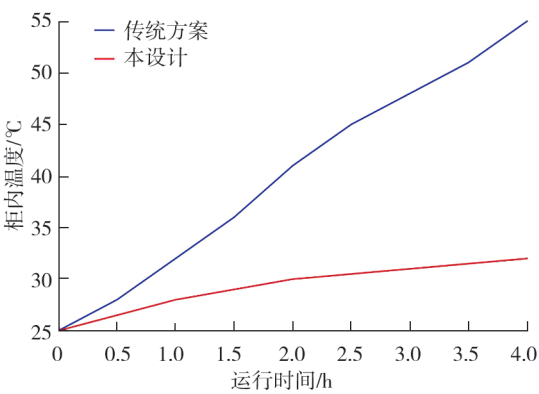


图 6 集控柜优化前后持续运行时温度对比

4.2 振动抑制效果

在机组运行时,在振动频率为 15 Hz 的环境下使用 GJ7-HY-105 振动分析仪等设备进行测试,减振系统频率响应特性测试结果如表 2 所示。由表 2 可知:集控柜内元器件最大振动加速度衰减率为 78.3%,显著提高设备运行可靠性。双曲面减振器使集控柜共振频率偏移至(8.0±0.5)Hz,可以避开平台主振频段,避免共振造成的设备损坏;电缆及各元器件之间的连接可靠性提高约 1 个数量级,经估算故障间隔时间从约 500 h 延长至约 1 500 h。

表 2 减振系统频率响应特性

振动频率/Hz	5	10	15	20	25
振动加速度衰减率 ^① /%	72.2	76.5	78.3	76.1	73.2

①振动加速度衰减率采用频域法计算。

4.3 电磁兼容性

受现场条件限制,电磁兼容性采用估算方式。经估算,LC 滤波器频率为 0.1~1.0 MHz 时,插入损耗约为 60 dB;PLC 控制回路误码率可以由传统方案的 1.2×10⁻³ 降低至约 3.5×10⁻⁴,降低 1 个数量级,满足国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)标准。

现场工业性试验结果表明:新型集控柜在恶劣天气中仍保持正常显示和操作,误停机现象(以往每月发生 1~3 次)基本消除。分体式面板设计使日常巡检人员由 2 人减为 1 人,节省了人力,且磁吸互锁结构有效防止误操作。

5 结论

- 1)根据电气特性,对移动电站控制柜进行了分层设计,将控制柜划分为配电层、控制层和执行层,提高了移动电站用集控柜电磁兼容、振动抑制及散热性能。
- 2)通过对控制柜物理空间的分隔,空间利用率提高至 85%、散热系统温升改善 40%、双曲面减振器最大振动衰减率达到 78%、电磁兼容性满足 IEC 标准。
- 3)实际工业应用表明,新型集控柜在恶劣天气中仍保持正常显示和操作,基本消除了误停机现象。

参考文献:

[1] 张伟. 移动电站综合控制系统的研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2008.
[2] 杨淑霞,王新,吴东建. 电站控制柜检测系统的设计[J]. 移动电源与车辆, 2011(1):19-20.

- [3] 叶艳琴. 柴油发电机组振动测试及有限元分析[D]. 南昌:南昌大学,2010.
- [4] 薛松. 电动汽车热系统协同管理试验平台开发与研究[D]. 杭州:浙江大学,2020.
- [5] 李晶,刘义,潘涵,等. 模块化的电磁干扰测试软件设计与应用[J]. 微波学报, 2010(增刊2):137-138.
- [6] 任清晨. 电气控制柜设计制作:结构与工艺篇[M]. 北京:电子工业出版社,2014.
- [7] 孙艳,智小军,刘杰,等. 模块化组合构建滤波舱体改进引信电磁兼容性的方法[J]. 探测与控制学报, 2024, 46(4): 152-156.
- [8] 吕良. 面向节能的汽车发动机热管理系统建模与优化控制[D]. 长春:吉林大学,2020.
- [9] 王炜. GIS设备智能化就地控制柜的应用[J]. 高压电器, 2006(4):304-306.
- [10] 岳肖. 基于协作分布式优化控制的FCHV集成热管理系统研究[D]. 重庆:重庆理工大学,2022.
- [11] 苟飘,徐俊,刘晓艳,等. 电动汽车锂电池模块化热管理系统的设计及实验研究[J]. 西安交通大学学报, 2019, 53(12):104-110.
- [12] 王庆义,王新明. 智能变电站模块化设计研究[J]. 东北电力技术, 2019, 40(4):12-15.
- [13] IEC. Dimensions of low-voltage switchgear and controlgear-standardized mounting on rails for mechanical support of switchgear, controlgear and accessories; IEC 60715—2017[S]. Geneva, Switzerland; IEC, 2017.
- [14] 危仁贤. 内燃机电站模块化设计探讨[J]. 机械研究与应用, 1995(1):21-22.
- [15] 邵迎安. 内燃机车柴油机与车体耦合振动研究[D]. 成都:西南交通大学,2014.
- [16] 黄超峰. 新一代移动电站性能测控系统设计[D]. 长春:长春理工大学,2014.
- [17] IEC. Adjustable speed electrical power drive systems; Part 3: EMC requirements and specific test methods for PDS and machine tools; IEC 61800-3—2022[S]. Geneva, Switzerland; IEC, 2022.
- [18] IEC. Electromagnetic compatibility (EMC): Part 6-4: generic standards-emission standard for industrial environments; IEC 61000-6—2018[S]. Geneva, Switzerland; IEC, 2018.

Design of centralized control cabinet for mobile power station based on three-tier electrical network architecture

HAN Yunlong¹, ZHAI Qingchao², TANG Changming¹, HU Zhifeng¹, LI Zhipeng¹,
SUN Hongbin¹, XU Kaifeng¹

1. CNPC Jichai Power Company Limited, Jinan 250306, China;

2. Naval Equipment Department, Qingdao 266011, China

Abstract: To address the issues of low integration, weak anti-interference capability, and poor space utilization in traditional centralized control cabinets, this paper proposes a design scheme for a centralized control cabinet based on a three-tier electrical network architecture. The mechanical structure and electrical system components of the control cabinet are designed, and industrial trial verification was conducted. The results show that compared to traditional centralized control cabinets, the cabinet based on the three-tier electrical network architecture achieves reduced volume and mass, improved vibration damping performance, electromagnetic shielding performance, and thermal dissipation performance. Specifically, the space utilization rate of the centralized control cabinet is increased to 85%, the temperature rise of the cooling system is improved by 40%, the vibration attenuation rate of the hyperboloid dampers reaches 78%, and the electromagnetic compatibility meets the standards of the International Electrotechnical Commission (IEC).

Keywords: mobile power station; centralized control cabinet; three-tier network structure; electromagnetic compatibility (EMC); thermal management system

(责任编辑:刘丽君)