

[变电站]

智能预制舱变电站的设计与应用

文/孟晨旭 姚光久 罗海鑫 王振刚 侯 伟
广东电网有限责任公司中山供电局

集智能化、模块化和经济化于一体的预制舱式变电站，实现了节能减排、高效智能等诸多优点，解决了现场空间利用不合理、工程成本高、维护难度大、施工时间长、施工质量差、施工量过大及智能化过低等问题。通过对预制舱的研究及应用，为后续预制舱式变电站的标准制定和建设改进提供了良好借鉴。

现有变电站采用钢筋混凝土结构构造，存在功能区结构设计不合理、环评要求高、建设周期长、噪声、粉尘及扰民等问题，且一二次设备必须等土建装修完工才能安装，施工效率低下。

智能预制舱采用工厂模块化设计、现场模块化组装，实现舱室施工和一二次设备施工同时进行，现场模块化组合避免了粉尘、噪声和对接方式不统一的影响，内部设备的合理布局解决了舱室狭小造成检修维护不便的问题，智能设备的应用提高了电力人员作业的效率。

本文对预制舱的结构、保温通风照明、智能设备、内部布置及一二次设备的集成进行设计与研究，为后续预制舱的制定标准改进提供良好的借鉴。

预制舱的结构

1. 预制舱面板材料和结构

目前，预制舱式变电站存在以下问题：①变电站预制舱多在工业区附近，所在地污染严重，污染、污水和白蚁等对舱室腐蚀严重；②常规舱室结构承重低，造成室内面积过小，抗震性能差，材料易腐蚀，无法阻燃防凝露；③普通舱室不防噪，影响机构动作声音探测仪的正常采集判断；④常规胶

泥容易干燥龟裂落灰，容易脱落导致封堵孔洞的扩大，造成安全隐患，而且影响美观；⑤常规预制舱无法做到对SF₆气体检漏、红外测温、紫外成像和金属探伤的24 h不间断诊断。

新型预制舱面板组合要求具有防水、防污、防噪、防滑和防白蚁等优点。

1) 外舱体刷特种防污纳米乳液，化学稳定性好，不腐蚀舱体，超强渗透力。舱体外表面有许多纳米级毛细孔，纳米乳液可通过并渗透外舱体内部1~2 mm，干燥后形成肉眼无法识别的疏水层，当雨水、污水、油渍和灰尘等落在舱体表面自动滑落时，起到防渗透、自清洁作用。

2) 舱体结构，外中内，外部材料镀锌钢板防锈蚀，支撑框架，轻钢结构的抗震性能远优于传统的混凝土和砖混住宅，中间的材料防火隔热，内部材质阻燃防凝露。

3) 防白蚁。舱体墙面内外采用防腐蚀材质，防止白蚁等昆虫对预制舱的腐蚀。

4) 防噪。舱体内部采用吸音棉，阻挡外界噪声对精密仪器的干扰，目前GIS室安装有声音采纳识别装置，GIS室内部通过机构分合产生的声音判断机构的分合是否正常，并将识别到的机构动作声音上传后台存档。若缺乏消音防噪装置，舱内的杂音

将干扰声音采集器,误判断机构动作,向后台报出错误的判断信号。

5) 舱体的缝隙、舱体内的进出线孔洞、开关柜底部走线孔洞及舱室内部底线孔洞等破坏舱室整体性的功能性缝隙孔洞,采用新型无机纳米胶泥封

堵,防潮、抗渗、强粘性、阻燃、堵烟、耐油、耐水和耐腐蚀,常规胶泥容易干燥龟裂落灰,也容易脱落造成封堵孔洞的扩大,影响美观。如图1~图3所示。

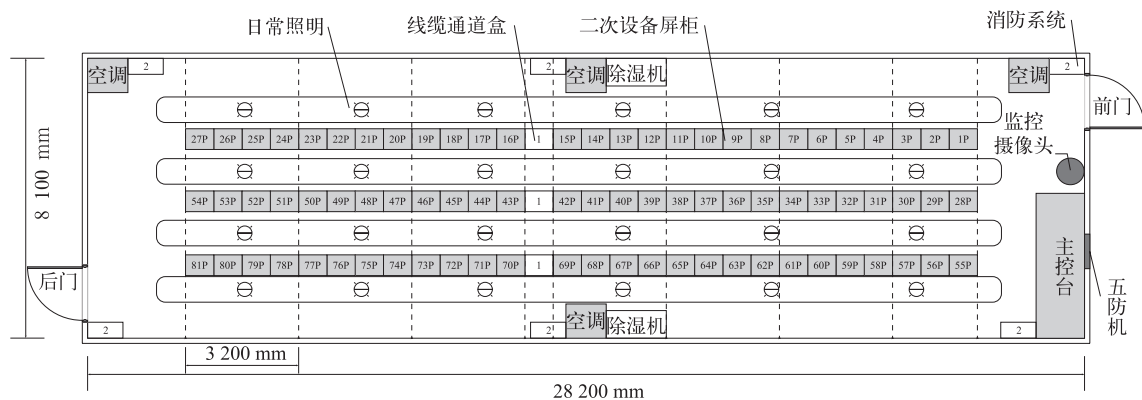


图1 预制舱式主控室俯视图

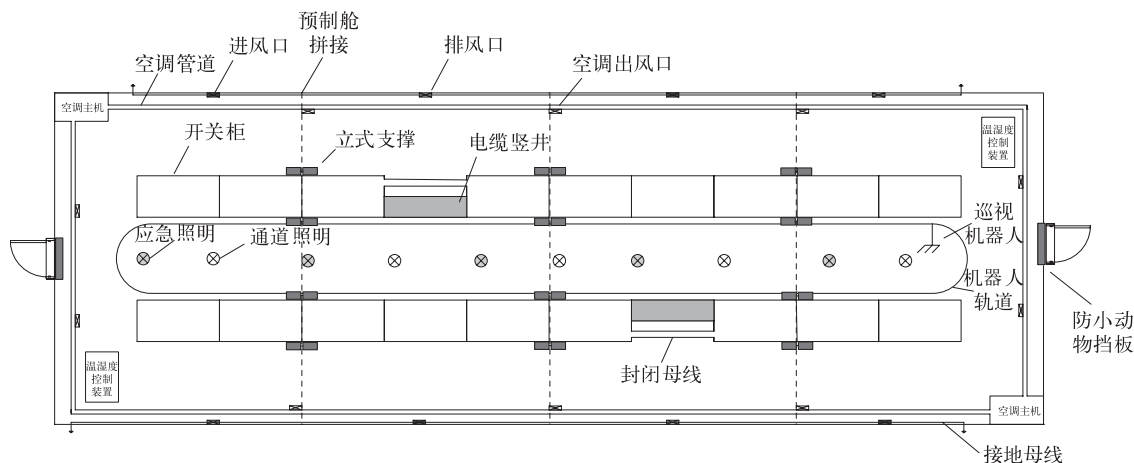


图2 预制舱式高压室俯视图



图3 上层主控室下层高压室的预制舱

2. 预制舱内部—二次电缆走线

舱室内布线一般有上部屋顶走廊布线、下部地下室电缆室布线和上下组合布线三种方式。

上部屋顶走廊布线,当遇到开关柜爆炸或火灾时,顺延而上的火势会烧毁屋顶的电缆。下部地下

室电缆室线在潮湿密闭的环境会加速电缆的老化。本文创新性地提出高压室二次电缆竖井布线,解决了上述难题。

二次电缆竖井设置于个别预制舱单元中间开关柜位置,将原开关柜位置改为用于敷设二次电缆的竖井。二次电缆竖井连通高压室底部与顶部,二次电缆在预制舱高压室底部电缆层汇集后,经过二次电缆竖井穿至预制舱高压室上层的主控室,用于控制站内设备,竖井盖板将经过高压室内的二次电缆封装起来,起到一定的美观效果。二次电缆竖井与高压开关柜正面并排列,二次电缆沟后部位置用于布置开关柜母排,母排使用封柜将其封装起来成

为封闭母线。次电缆竖井由预制电缆隧道多个部分拼接而成，一个拼接部分由环形隧道主体、接地系统、支撑系统和柔性螺栓结合轴组成，支撑系统包括槽形构件和悬臂交叉支撑，悬臂交叉支撑通过柔性螺栓结合轴固定连接槽形构件，电缆直上直下，恒温恒压安全运行，尽量减少弯曲，避免室外电缆室过度弯曲电缆造成故障，排除天气和小动物灰尘对电缆的侵蚀，便于检修和维护。如图4所示。



图4 二次电缆竖井图

预制舱内的微环境智能设计

针对无人智能变电站的要求，对舱室内的通风、照明、应急、消防和压力等微环境的智能化和自启动能力进行设计。

1) 室内照明采用光伏板发电，屋顶采用半透明结构设计，最大化利用自然光，采用声控、光感、智能识别调节光的亮度和色彩，节约环保。

2) 室内的通风采用悬挂于预制舱侧壁顶部的支撑架支撑风冷系统，挂置于上侧实现冷风的自然下降，热风的自然上升，自然的交流循环，提高制冷效率，实现了空间利用最大化，使室内保持恒温恒湿恒压环境，充分利用狭窄预制舱环境。

3) 应急采用智能启动系统，当系统识别到预制舱内部发生爆炸、明火、烟雾、有毒气体和照明失效等紧急情况时，启动声光显示应急系统，此时预制舱内闪烁红光，告警装置发出“危险，请撤离”指示，应急灯发出安全通道箭头指示。

4) 紧急排风系统也通过风冷系统实现，当室内环境出现压力异常或空气检测异常时，风冷系统

紧急大推力排风，消除异常情况对设备和人身的伤害。

5) 高压室内部安装有 SF_6 检测装置，检测轻微 SF_6 气体时，导通抽风机排出 SF_6 气体， SF_6 超标时，启动告警装置并发送后台。

6) 内外部空气过滤系统，进风口安装于预制舱高压室墙壁上侧，出风口安装于预制舱高压室墙壁下侧，用于内部与外部空气流通和冷热空气的循环。进出风口采用象鼻结构，内置防尘网，防止沙土灰尘进入预制舱。

7) 环形接地铜牌固定于预制舱高压室内墙壁底部，起到接地作用，对应开关柜的环形铜牌有开孔，可以挂接地线地锁。环形接地铜牌有荧光逃生指示荧光箭头，当发生供电电源失去供电，漆黑环境荧光指示箭头会指示逃生通道。如图5所示。



图5 吊装风冷装置现场图

预制舱内的智能设备

针对预制舱内设备智能化、模块化和低碳化的要求，对舱室内的开关状态和刀开关状态综合判断，对智能巡检技术、智能复位功能、警戒系统、开关柜动静触头测温装置、吊轨机器人、检漏装置及红外紫外超声波探测装置等进行智能化改造。

1) 开关状态综合判断技术。基于机器视觉的变电站设备状态智能识别系统，主要采集开关位置遥信、开关遥测数据和智能图像识别服务器基于图像识别的开关位置等数据综合判断开关状态。通过CT采集的电流、PT采集的电压作为判断依据识别开关状态。

2) 刀开关状态综合判断技术。基于机器视觉的变电站设备状态智能识别系统，主要采集刀开关位置遥信、智能图像识别服务器识别的刀开关位置等数据，综合分析确定刀开关状态。通过分析刀开关

在分闸位置、合闸位置时不同特征信息，识别刀开关分合状态。

针对敞开式开关设备，机器识别采用霍夫变换直线检测算法，再通过卷积神经算法，识别刀开关状态。针对全封闭GIS设备，机器识别通过外接的分合闸显示装置采用霍夫变换直线检测算法，再通过卷积神经算法，识别刀开关状态。

3) 智能巡检技术。分为正常巡检和操作联动巡检，正常巡检任务可关联后台工单任务，读取后台工单任务后开启巡视，如定期巡视维护、定期工器具保养、定期开关柜指示灯维护、定期高压室压板投退和定期蓄电池保养等校验并生成报告。操作联动巡检任务可随时根据后台新增的电力票，提前识别对应设备相关的压板、二次室状态、开关及刀开关，电力票完成后再次识别对应设备相关的压板、二次室状态、开关及刀开关，生成检测结果文本并反馈后台。

4) 智能复位功能。当系统接收到电力设备位置改变、异常告警及跳闸后重合闸成功的情况，智能审核电力设备相关状况，发现信号应复归时，启动智能复位功能，当设备出现状况，不应该自动复位时，不启动自动复位功能，避免了人工复位的低效率。

5) 激光围栏警戒系统。常见预制舱开关柜柜前两侧立有遮拦柱，当需要在此开关柜工作时，拉开遮拦柱的遮拦条；当不需要在此开关柜工作时，合上遮拦柱的遮拦条，此种方式不能避免误入带电间隔。采用激光围栏警戒系统，可以避免误入带电间隔，预制舱开关柜柜前两侧立有遮拦柱，一侧柱子安装有发射激光装置，另一侧柱子安装有激光接收装置，无工单任务误入开关柜，激光装置断电，警告提示声关闭。

6) 无线无源测温检测系统。此装置用于检测开关柜动静触头的温度，并将数据实时传输后台，避免了传统示温蜡和人工测温的局限性，实现了实时动态检测。

7) 智能挂轨机器人。轨道位于一排开关柜上方一圈，机器人沿轨道运行，实现对开关柜的无死角无障碍监控，机器人关联电力票，当需要在相应开关柜工作时，机器人提前定位进入相应开关柜，探测识别相关数据，电力票做完后，机器人根据定位

进入相应开关柜，探测识别相关数据，并与电力票上对应开关柜状态作对比。

8) 开关柜前面板粘贴有通电发绿光荧光条，用于开关柜的定位，缩短电力人员的找寻时间，防止误入带电间隔，此荧光条关联电力票的系统和激光系统一致，电力票上提到相关开关柜，则相关开关柜前面板荧光条通电发绿光，电力人员不用逐个柜子搜索，而是直接走到发绿光的开关柜门前，否则，荧光条不发光。

9) GIS室吊轨机器人。吊柜围绕GIS设备上方一圈，机器人可上下收缩调节高度，方便勘探设备，当开关或刀开关分合时，三种方式判断分合闸是否到位；第一种方式圆球红绿色球区分分合闸（圆球内红色合闸，圆球内绿色分闸）；第二种方式外联机构拐臂；第三种方式指针刻度罗盘。当需要在相关设备间隔操作改变位置状态时，机器人从电力票读取数据，移动到相应间隔设备面前，一次识别三种状态，三种状态都正确，则判断分合闸成功，否则不成功。

10) 激光漫反射检测开关柜地开关分合闸到位装置：能够不受角度、视线、高度、距离和光线等客观因素干扰，不受人为因素干扰，反应快，高解析，精度高，灵敏度高，结构简单，无接触式固定安装，不随传动机构位置变化而变化，不会损伤探测物体，也不受探测物体的影响，无须停电维护精密测量仪器，可节省停电时间，减小对电网供电可靠性的影响。作用于刀开关，红外激光探测，上下分合模式的地开关，地开关左右两边有红外激光探头，断开时红外激光探头是通的，控制线路发送后台地开关为绿色状态，闭合时红外激光探头光线被阻挡，红外激光探头失效，控制线路发送后台地开关为红色状态。漫反射装置避开振动部分，可实现不停电更换，探测数据反馈后台，实现对地开关分合闸到位的判断依据。

11) 预制舱内部装有检漏仪，对SF₆经过的管道进行全天候检测，特别是对表头、接口等连接部位进行检测，防范于未然，在出现漏气征兆前精准定位反馈后台及时处理，传统设备出现漏气，SF₆表指示偏低告警后才派人处理，现场需要人员查找漏气位置，无法准确判断漏气位置、漏气开始时间、漏出气体的量和强度等。

12) 预制舱内部装有红外线测试仪, 用于测试各间隔部件的温度, 达到预设的温度时, 红外线会将测到的温度传输后台, 后台告警提示运维人员及时处理, 避免了人员测温的间断性。

13) 预制舱内部装有紫外成像检测仪, 通过捕捉高压设备电气放电时产生的紫外信号, 经过处理后成像并与可见光图像叠加, 确定电晕位置和强度, 精确捕捉瓷绝缘子闪络位置, 对绝缘子串及金具进行污闪放电检测, 对比光子数值检测出设备本体是否存在污闪放电风险, 同时检测数据以图像形式同步、实时、清晰和准确地反馈到后台及在线监测终端, 为评价电力设备的运行状况提供依据, 将缺陷发现在萌芽阶段。

14) 预制舱内高压设备无损超声波探伤, 遇到缺陷与零件部件时发生反射波, 形成脉冲波形, 探伤仪根据脉冲波形智能判断缺陷位置和大小并反馈后台, 超声波探伤对人体无害, 灵敏度高, 波声的方向性好, 频率越高, 方向性越好, 在确定缺陷位置后, 以很窄的波束向介质中辐射, 易于确定缺陷具体位置。

15) 常规舱室出现故障, 要现场核对图样检查, 新型舱室内部间隔出现故障, 后台反馈故障特点和类型, 并于红色图标显现, 桌面弹出相关机构的二次图样, 图样上标红部分显示有故障的线路、端子排、节点序列号, 省去了人工查找故障、寻找二次图样、测量故障节点的烦琐步骤, 将孤立的信息集成到一起并且智能诊断, 提高了检修人员的效率。如图6、图7所示。



图6 照明模块及机器人轨道



图7 吊轨机器人

智能预制舱应用案例

1. 外观及内置构造

南方电网采用的预制舱如图8~图10所示。



图8 预制舱内部图



图9 预制舱外观图



图10 预制舱舱内效果图

2. 一体化机架设计

采用基于一体化设计的机架结构解决方案, 搭建一个贯通舱体上下空间的设备安装平台, 充分利用舱内有效空间, 取代传统二次设备屏柜, 解决目前屏柜进舱的重复防护处理和屏柜统一规格改扩建困难、成本高等问题。如图11~图15所示。

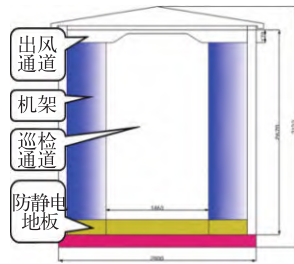


图11 一体化设计示意图

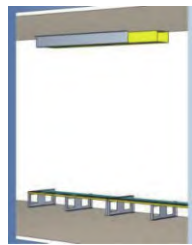


图12 机架顶部、底部基础图

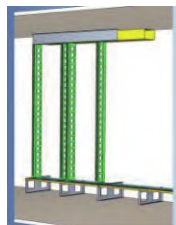


图13 机架安装平台安装示意图

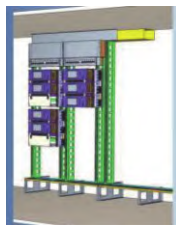


图14 设备模块安装示意图



图15 机架结构整体效果图

采用机架方案较二次屏柜方案, 舱内布局更加

紧凑，空间布局更为合理。机架式方案可多放置3个屏位，较二次屏柜方案提升12%；二次屏柜方案中间巡检通道宽为1 390 mm，机架式方案中间巡检通道宽至少为1 500 mm，舱内空间优化效果显著，运维检修空间更大，实际进舱用户体验提升明显。如图16所示。

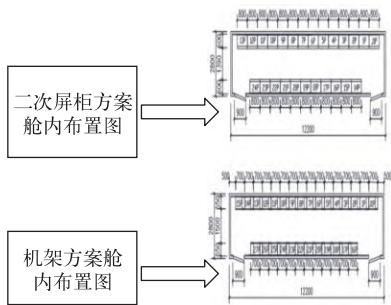


图16 舱内布置对比图

3. 二次设备监测

系统设计遵循分层、分布式思想，网络可配置为单网或双网，网络拓扑结构可设计为总线型以太网、光纤星形网或光纤环形以太网。如图17所示。

变电站端系统由两部分组成：BZJ-8500智能变电站二次设备在线监测及智能诊断系统和DSM-851智能变电站二次设备状态监测及诊断装置。

BZJ-8500智能变电站二次设备在线监测及智能诊断系统，实现面向全站二次设备的运行状态监视、保护管理、智能安措、智能诊断、SCD模型管控、报文监视和分析功能。

DSM-851智能变电站二次设备状态监测及诊断装置，实时采集过程层设备各种运行数据，监测过程层设备运行状态，抓取过程层SV/GOOSE报文，并将相关信息传输至数据管理单元。

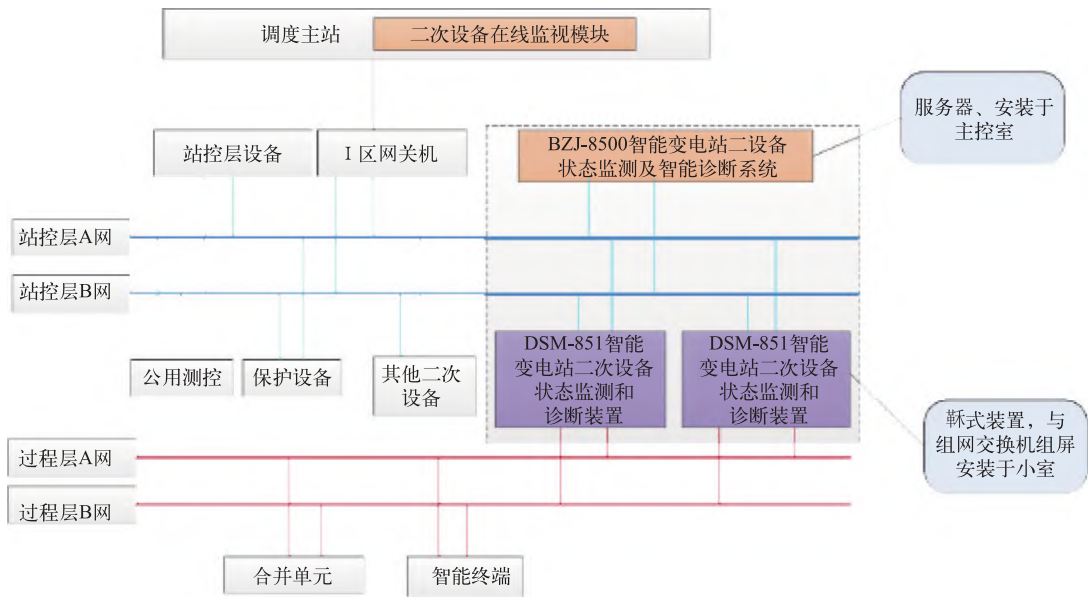


图17 二次设备在线监测系统结构图

结束语

针对以往变电站空间利用不合理、工程成本高、维护难度大、施工时间长、施工质量差、施工量过大和智能化过低等问题，本文提到的新型智能预制舱不仅具有智能监控、标准统一、多业务融合、人为干预少、智能运维、智能操作和数据自动归纳上送等优点，而且为后续预制舱的制定标准改进提供了良好的借鉴，同时降低了电力人员巡视维护操作检修的次数，提高了电网经济效益和社会效益，对变电站

设备运维管理水平提升有积极推动作用。EA

(收稿日期：2023-06-29)

参考文献

[1] 张大庆. 预制舱式变电站模块化设计方法[J]. 电子测试, 2018(14): 5-7.
[2] 牛亮, 王沙沙, 李满春, 等. 智能变电站二次回路故障智能诊断技术研究[J]. 电气应用, 2022, 41(3): 22-27.