

DOI: 10.7667/PSPC161553

# 智能变电站预制舱式二次组合设备舱体环境控制优化研究

彭朝钊<sup>1</sup>, 程凌飞<sup>2</sup>, 刘邦海<sup>2</sup>, 殷建刚<sup>3</sup>, 鲁万新<sup>1</sup>

(1. 湖北省电力勘测设计院, 湖北 武汉 430040; 2. 国网十堰供电公司, 湖北 十堰 442000;  
3. 国网湖北省电力公司, 湖北 武汉 430077)

**摘要:** 针对智能变电站预制舱式二次组合设备舱, 结合框架式二次设备机架方案, 研究预制舱式二次组合设备的特点。对舱体结构、运行环境控制和舱体内部设计进行优化, 对机架结构与舱体结构进行一体化融合设计, 并对舱内高效散热通风方案及舱内工作环境进行优化设计。介绍了机架与舱体整体设计方案以及机架散热通风方案。以郧县 220 kV 变电站工程项目为例, 介绍其二次组合设备舱体环境优化设计方案。对优化后的预制舱进行高温散热仿真计算分析, 验证了其良好的散热通风性。

**关键词:** 智能变电站; 预制舱; 环境优化; 一体化风道; 热仿真

## Optimization control research on secondary combination device cabin environment of prefabricated cabin in smart substation

PENG Zhaozhao<sup>1</sup>, CHENG Lingfei<sup>2</sup>, LIU Banghai<sup>2</sup>, YIN Jiangan<sup>3</sup>, LU Wanxin<sup>1</sup>

(1. Hubei Electric Engineering Corporation, Wuhan 430040, China; 2. State Grid Shiyan Power Supply Company, Shiyan 442000, China; 3. State Grid Hubei Electric Power Company, Wuhan 430077, China)

**Abstract:** Aiming at secondary combination device cabin of prefabricated cabin in smart substation, and combining rack-mounted secondary device project, this paper researches characteristics of secondary combination device of prefabricated cabin. The cabin structure, operating environment control, internal space of the cabin are optimized. Design of rack construction and cabin structure are integrated. Design of efficient heat dissipation and work environment in cabin is optimized. Design of efficient heat dissipation and ventilate in cabin is optimized. Through a case study of 220 kV Substation in Yunxian County, an optimized design scheme of secondary combination device cabin environment is introduced. High temperature heat simulation result analysis in prefabricated cabin verifies its good heat dispersion.

**Key words:** smart substation; prefabricated cabin; environment optimization; integration of air duct; heat simulation

## 0 引言

模块化智能变电站通过采用“标准化设计、工厂化加工、模块化建设”的变电站创新模式, 经过一年多的工程试点, 取得了较大的建设效益<sup>[1-5]</sup>。预制舱式二次组合设备在模块化智能变电站中的应用, 实现了整套二次设备由厂家集成, 最大化实现工厂化加工, 减少了现场二次接线, 减少了设计、施工和调试工作量, 简化了检修维护工作, 缩短了建设周期, 为配送式智能变电站建设带来革命性进步<sup>[6-10]</sup>。

在目前的工程实施过程中, 存在预制舱内噪音过大、温湿度及通风有待优化等环境问题<sup>[11-13]</sup>。根据国家电网公司现有智能变电站设计规范、运营规则和试点工程技术成果, 对现有模块化建设智能变电站预制舱式二次组合设备方案重新设计, 可从以下两个方面优化舱内环境。

### 1) 舱内高效散热通风方案优化设计

充分利用机架顶部空间, 采用一体化设计风道方案, 通过出风量的可调节方案, 针对不同散热特性的机架进行温控量化, 解决目前开放式温控方式效率低、设备温控不均匀和不可调节的问题, 做到有限资源的按需分配, 优化通风系统, 提高舱内通风散热效率, 降低散热能耗, 低碳高效, 节能环保。

### 2) 舱内工作环境方案优化设计

基金项目: 2015年国家电网公司依托工程基建新技术研究应用项目

针对舱内噪音较大的问题进行相应的优化方案研究，改善舱内工作环境。

### 1 机架与舱体整体设计

二次设备预制舱本体设计在现有的国网公司规范基础上实施，预制舱规格和外观等满足现有规范要求<sup>[14-15]</sup>。图 1 为 110 kV 二次设备舱外观效果图，采用空调安装于同侧，预制舱短边侧开门方案。



图 1 110 kV 二次设备舱外观效果图

Fig. 1 Appearance of 110 kV secondary device cabin

舱体采用整体融合性设计，将预制舱和机架进行有机融合，使人们进入一个整体的立体操作空间，给人以耳目一新的感觉，消除过去陈旧和压抑的不舒适感。空调侧设立空调消音隔断检修门，舱门开设在短边侧时，在舱体进门处可设置电脑工作台，并在电脑工作台上部留下空间，可安装吊柜式配电箱。增加舱内辅助设施功能，通过整体性设计优化完善工业环境，方便运维。预制舱内整体效果图见图 2，预制舱内截面示意图见图 3，预制舱通风截面示意图见图 4。

### 2 机架散热通风

#### 2.1 防雨通风方案

舱体采用迷宫式防水屋檐设计，确保顶部雨水不会渗入舱体，内部门板与舱体结合处采用多级密封条密封，门板上部安装导水槽，进风口设置斜百叶窗及通风过滤棉。热空气上浮，自动排到舱外，并利用聚氨酯保温板隔绝外排的热气。

#### 2.2 风道温控方案

传统的舱内温控采用空调直接将冷/热风吹向过道，再通过盘柜散热孔形成对流完成盘柜内外的热交换，这种被动的散热方式往往导致散热效果不佳，在单舱双列布局模式下玻璃屏门又影响了盘柜中外的空气对流，从而导致前接线盘柜后部需要预

留足够的散热空间。



图 2 预制舱内整体效果图

Fig. 2 Overall effect in prefabricated cabin

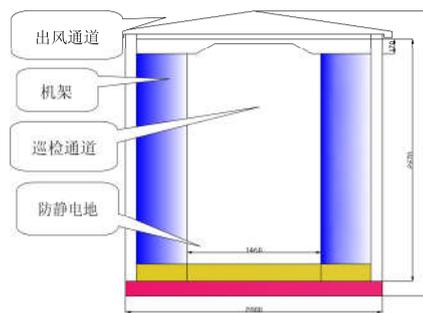


图 3 预制舱截面示意图

Fig. 3 Sectional view of prefabricated cabin

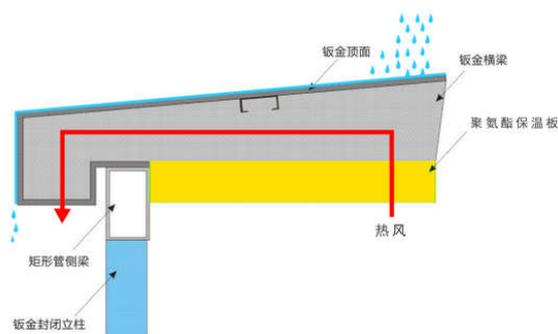


图 4 预制舱通风截面示意图

Fig. 4 Ventilate sectional view of prefabricated cabin

如图 5 所示的传统屏柜热仿真分析：环境温度 37℃，同时考虑太阳辐射的影响，舱内屏柜总发热量 1910 W，2 台空调同时工作(制冷)，空调出风温度 18℃，舱内最低温度 18℃，最高温度 25℃。可以看出舱内温度并不均匀，且在空调出风口处温度接近 18℃，在远离空调的位置温度接近 25℃，因此距空调较远的屏柜散热效果较差，温度较高。

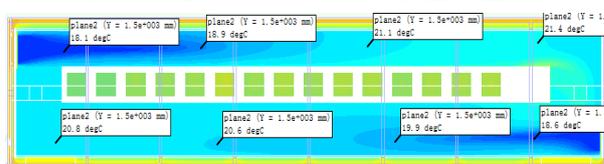


图 5 传统屏柜舱内热仿真示意图

Fig. 5 Thermal simulation analysis in traditional cubicle cabin

针对多间隔设备安装密度大和发热量不均匀的特点, 取消传统开放式温控方案, 采用量化风冷方案。空调出风口通过风道直接引导至装置侧, 出风量可根据需要调节, 解决装置发热量不均或装置安装高度差距导致的出风量差别。风道的设计具有以下特点: 1) 强制冷风在装置后部由上而下进行热交换后, 最后从底部检修通道挡板的出风口处进入检修走廊, 做到温控的高效利用; 2) 通过机架面板上开孔大小, 调节出风量, 根据每个机柜的发热量进行出风调节, 做到可量化调节功能。

将空调全部安装在舱体端侧, 节省舱体内部空间, 通过消音隔断降低舱内噪音, 优化工作环境, 并且风道的设计使空调出风更加顺畅, 出风风道位于机架上部, 风道出风口正对机架后部, 可顺畅通风, 并且出风口可根据风压进行大小调节, 以达到更好的制冷效果。风道结构示意图如图 6 所示, 冷风道位于屏柜上方, 热风道位于屏柜下方, 形成合理的散热通道。在每一组屏柜背部上方的冷风道均开有风口, 风口大小可根据屏柜温度进行实时调节, 以保证屏柜在预期的温度达到热平衡。

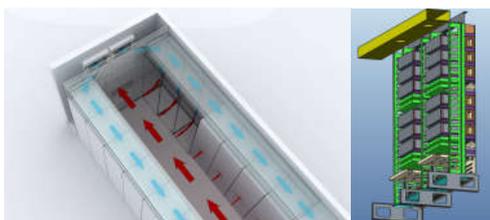


图 6 风道结构示意图

Fig. 6 Structural representation of air flue

### 2.3 空调降噪方案

工业行业的室内噪音标准为小于 65 dB(A), 而常规二次设备舱内布满大量二次设备屏柜, 舱内发热严重, 空调长期处于过载运行, 噪音大约在 80 dB(A)左右。通过以下 3 个方面可以将噪音降低到 60 dB(A)左右。

1) 对空调本体降噪。在空调风机处加装阻性或阻抗复合式消声器, 在空调安装固定支架处配置弹性材料或器件, 均可有效降低空调本体噪音。

2) 通过风道送风降低噪音。在舱内设置集中风道, 避免空调出风的直吹, 并在风道外壁粘贴保温棉, 能够有效降低噪音 5 dB(A)左右。

3) 舱内增加隔音专用门。在舱内空调侧增加专用隔音门, 采用 2 cm 厚隔音棉, 可以降低噪音 5 dB(A)左右。将空调安装在预制舱同一端侧, 在空调外部使用消音材料设立隔断, 减小空调噪音在舱

内的影响, 起到噪音集中处理的作用, 达到优化舱内工作环境的目的。

## 3 郟县应用方案

### 3.1 预制舱一体化风道温控系统

设置一体化风道温控系统(如图 7), 实现预制舱的量化温控, 同时通过设立消音隔断, 优化舱内空间布局, 降低噪音, 改善舱内工作环境。风道出风口大小通过仿真计算, 解决风压的差别导致的出风不均匀问题。通过将空调设置在预制舱同侧并设立消音隔断, 解决舱内噪音问题。



图 7 一体化风道温控系统实例

Fig. 7 Integration of air duct temperature control system

### 3.2 预制舱高温散热仿真计算分析

郟县预制舱外形尺寸为 9.2 m×2.8 m×3.133 m, 通过查阅最近 10 年的气象资料发现郟县极端高温 40℃, 极端低温-5℃。根据 QGDW11157-2014《预制舱式二次组合设备技术规范》和 JG30201-02-2013《预制舱内部辅助电气系统设计技术规范》, 预制舱太阳辐照度为 1120 W/m<sup>2</sup>, 内部所有电气发热为 2000 W, 散热方式采用 2 台 5000 W 的工业一体空调, 空调温度设定为 25℃, 风量可调, 进行风道集中冷却, 预制舱内部温度要求控制在 18℃~25℃。通过一系列的模型简化和处理, 预制舱温度场仿真分析模型及网格划分如图 8 所示, 共划分流体网格 124 930 个, 固定网格 13 709 个, 部分网格 119 324 个。

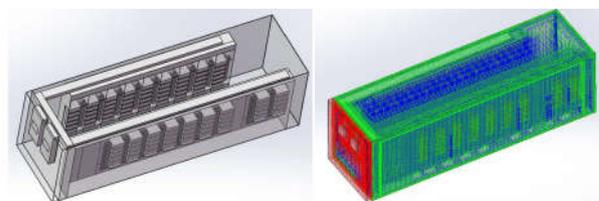


图 8 预制舱温度场仿真分析模型及网格划分

Fig. 8 Temperature field simulation analysis model and meshing of prefabricated cabin

高温散热仿真分析结果如图 9—图 12 所示。预制舱在环境温度 45℃, 太阳辐照度 1120 W/m<sup>2</sup>, 两台 5000 W 空调同时运行工况下舱内的温度能够很好地控制在 18℃~25℃, 且在预制舱长度方向上温

度较为均匀, 热分布情况良好, 证明一体化风道起到效果, 满足相关标准的要求。

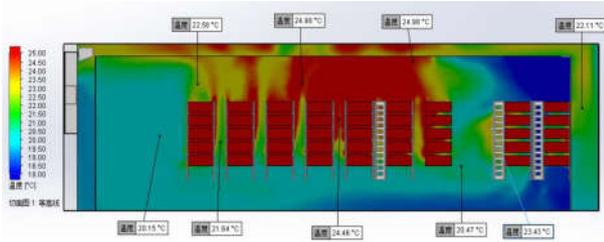


图 9 预制舱中间截面温度场分布云图(距离舱壁 1.34 m)  
Fig. 9 Temperature field cloud picture of middle section in prefabricated cabin (1.34 m far away from bulkhead)

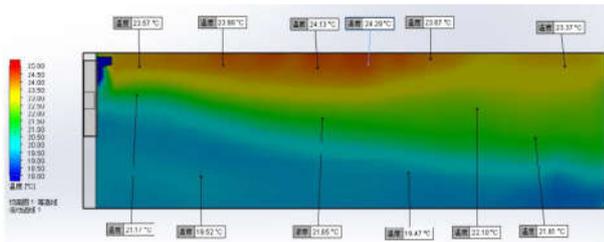


图 10 预制舱截面温度场分布云图(距离舱壁 1 m)  
Fig. 10 Temperature field cloud picture of middle section in prefabricated cabin (1 m far away from bulkhead)

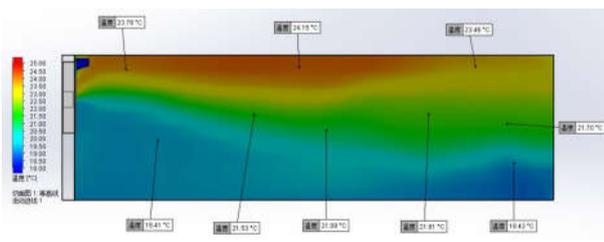


图 11 预制舱截面温度场分布云图(距离舱壁 0.5 m)  
Fig. 11 Temperature field cloud picture of middle section in prefabricated cabin (0.5 m far away from bulkhead)

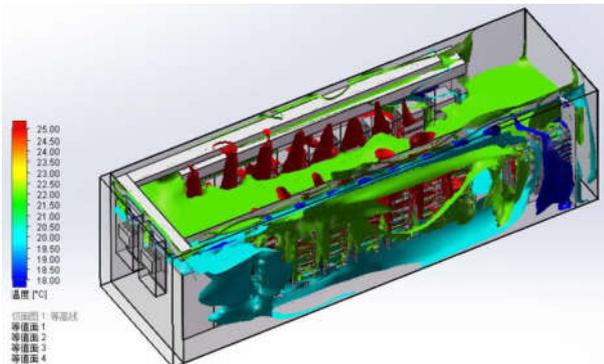


图 12 预制舱等温面分布图  
Fig. 12 Isothermal surface profile of prefabricated cabin

### 4 结论

二次组合设备预制舱环境的优化设计方案以及一体化风道系统的使用解决了传统开放式温控方式中温度分布不均匀和温控效率低的问题, 在实现按需的风量控制和高效节能的同时, 通过设立消音隔断解决了舱内噪音过大的问题。此外, 空调设置在同侧的方案, 使得舱门可设立在短边侧, 进一步提高了舱内空间利用率。

### 参考文献

[1] BO Zhiqian, LIN Xiangning, WANG Qingping, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 8pp. DOI 10.1186/s41601-016-0012-2

[2] 何志鹏, 郑永康, 李迅波, 等. 智能变电站二次设备仿真培训系统可视化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 111-116. HE Zhipeng, ZHENG Yongkang, LI Xunbo, et al. Visualization research on secondary equipments simulation training system for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 111-116.

[3] 李妍, 车勇, 单强, 等. 智能变电站二次系统在线监测评估的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 66-70. LI Yan, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Research on secondary system on-line monitoring and evaluation in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 66-70.

[4] 李孟超, 王允平, 李献伟, 等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 59-62, 79. LI Mengchao, WANG Yunping, LI Xianwei, et al. Smart substation and technical characteristics analysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 59-62, 79.

[5] 李瑞生, 李燕斌, 周逢权. 智能变电站功能架构及设计原则[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 25-27. LI Ruisheng, LI Yanbin, ZHOU Fengquan. The functional frame and design principles of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 25-27.

[6] 秦红霞, 武芳瑛, 彭世宽, 等. 智能电网二次设备运维新技术研讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 35-40. QIN Hongxia, WU Fangying, PENG Shikuan, et al. New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid[J]. Power System Protection

- and Control, 2015, 43(22): 35-40.
- [7] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵, 等. 智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 148-153.  
YE Yuanbo, SUN Yueqin, HUANG Taigui, et al. Online state detection and fault diagnosis technology of relay protection secondary circuits in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 148-153.
- [8] 刘颖. 提高智能变电站采样可靠性的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(19): 150-156.  
LIU Ying. Research on improvement of sampling reliability in smart substation and application[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(19): 150-156.
- [9] 师元康, 姜振超, 安寸然. 智能变电站继电保护装置状态评估实用化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 119-125.  
SHI Yuankang, JIANG Zhenchao, AN Cunran. Research on practical state evaluation of protection device in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 119-125.
- [10] 蔡骥然, 郑永康, 周振宇, 等. 智能变电站二次设备状态监测研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 148-154.  
CAI Jiran, ZHENG Yongkang, ZHOU Zhenyu, et al. A survey of research on secondary device condition monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 148-154.
- [11] 孙建龙, 鲁东海. 基于预制舱的配送式智能变电站设计[J]. 江苏电机工程, 2014(5): 43-47.  
SUN Jianlong, LU Donghai. Distribution-mode smart substation design based on prefabricated cabin[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014(5): 43-47.
- [12] 徐长宝, 庄晨, 蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 127-131.  
XU Changbao, ZHUANG Chen, JIANG Hongtu. Technical research of secondary equipments' state monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 127-131.
- [13] 余高旺. 新一代智能变电站中多功能测控装置的研制与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 127-132.  
YU Gaowang. Research and application of multifunctional measurement & control device of new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 127-132.
- [14] 秦红霞, 武芳瑛, 彭世宽, 等. 智能电网二次设备运维新技术研讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 35-40.  
QIN Hongxia, WU Fangying, PENG Shikuan, et al. New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 35-40.
- [15] 纪陵, 李忠明, 蒋衍君, 等. 智能变电站二次系统仿真测试和集成调试新模式的探索和研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(22): 119-123.  
JI Ling, LI Zhongming, JIANG Yanjun, et al. Exploration and research of smart substation secondary system simulation testing and integration testing new mode[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(22): 119-123.

收稿日期: 2016-09-19; 修回日期: 2017-03-03

作者简介:

彭朝钊(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统自动化。E-mail: 397475167@qq.com

(编辑 葛艳娜)