

DOI: 10.7672/sjgs2026100057

110kV 模块化智能变电站建造关键技术*

雷翔胜¹,董晗拓¹,张季超²,王亚辉²,许 勇²

(1. 广东电网有限责任公司电网规划研究中心,广东 广州 510080;

2. 广州大学土木与交通工程学院,广东 广州 510006)

[摘要] 从模块化变电站的国内外发展现状出发,分析了模块化变电站和常规标准变电站的平面布置,经对比分析,新型变电站通过标准化设计、工厂定制配送、现场拼装式建设,可有效提升土地空间利用率、建站灵活性和电网运行的稳定性。结合南方电网中山供电局某 110kV 模块化智能变电站的建造,提出了变电站双层预制舱、模块化一体化设计、预制舱现场拼装、变电站智能运维等关键技术,为模块化智能变电站的推广和应用提供了典型实例。

[关键词] 变电站;模块化;预制舱;一体化设计;拼装;施工技术

[中图分类号] TU758

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)10-0057-06

Key Technologies of 110kV Modular Intelligent Substations

LEI Xiangsheng¹, DONG Hantuo¹, ZHANG Jichao², WANG Yahui², XU Yong²

(1. Research Center of Grid Planning, Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou, Guangdong 510080, China;

2. College of Civil and Transportation Engineering, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006, China)

Abstract: Based on the development status of modular substation at home and abroad, the layout of modular substation and conventional standard substation is analyzed. Through comparative analysis, the new substation can effectively improve the utilization rate of land space, the flexibility of station construction and the stability of power grid operation through standardized design, factory customized distribution and on-site assembly construction. Combined with the construction of a 110kV modular intelligent substation in Zhongshan Power Supply Bureau of China Southern Power Grid, the key technologies such as double-layer prefabricated cabin, modular integrated design, on-site assembly of prefabricated cabin and intelligent operation and maintenance of substation are proposed, which provides a typical example for the promotion and application of modular intelligent substation.

Keywords: substation; modular; prefabricated cabin; integrated design; assembly; construction

0 引言

随着国民经济的发展,对电力的需求在不断增大。用地成本的提高,光伏、风电等新能源的快速建设,对施工周期短的变电站需求大幅增加。但传统变电站的建站速度和建站方式难以满足新时代电力事业的要求,亟需兴建可快速拼装、可靠先进的模块化新型变电站^[1-3]。

模块化变电站既遵循相关标准与规范,又突破

传统变电站建设理念,融合一、二次的智能设备模块,以标准化设计、工厂化预制、模块化建设的全新理念实现变电站的快速建设^[4]。与传统变电站相比,模块化变电站占地面积可减少 20%~40%,建设周期可缩短 50%~70%,调试简单,运行可靠,施工便捷^[5-6]。

本文从模块化变电站国内外研究现状出发,对比模块化变电站与常规标准变电站的平面布置,针对变电站建设过程中存在的问题,结合实例研究模块化智能变电站关键技术,为更好地开展模块化变电站建设提供参考。

1 国内外发展现状

国内外开展了预制舱式模块化变电站建设,20 世纪 60—90 年代欧美等西方发达国家推出一种户

* 广东省重点领域研发计划(2020B0101130005);广东电网有限责任公司研究项目(031000QQ00220012)

[作者简介] 雷翔胜,硕士,高级工程师, E-mail: 13751770252@qq.com

[通信作者] 张季超,俄罗斯工程院外籍院士,教授, E-mail: zhangjichao1956@126.com

[收稿日期] 2026-01-16

外成套变电设备,便于运输安装^[7],德国西门子大型电气设备厂商研制了 E-house 模块化钢结构户外箱式变电站^[8]。20 世纪 90 年代日本大量变电站就已采用模块拼装来建设^[9]。

20 世纪 90 年代中期,国内开始出现简易箱式变电站。自 2011 年开始研究预制舱变电站技术,2013 年提出标准配送式变电站的概念,实现变电站“标准化设计、工厂化生产、装配式建设”的目的,所谓的模块化预制舱应运而生。除在电力系统内,在石油和化工、太阳能光伏、风电等新能源及海上风电升压站等领域,预制舱智能变电站因其建站速度快、占地面积小、现场施工量低等特点,得到了很好的推广应用^[10]。

模块化变电站是基于模块化建筑的施工工艺,体现“设备设施预制化、现场建造低碳化”的技术原则,引入模块化设计理念^[11-13]。虽然我国模块化智能变电站技术取得了一定的发展和进步,但仍存在阻碍变电站建设的问题,较多学者开展了模块化变电站建造技术的研究,设计了变电站高压主控室双层预制舱技术^[14],研究了模块化变电站的预制舱技术、集成技术及智能运维技术^[15],并通过试验研究如何提升预制舱体的隔热、抗腐、防尘能力^[16]。

2 模块化变电站与常规标准变电站的平面布置

典型的 110kV 变电站标准总平面布置方案如图 1 所示,其配电装置楼呈垂直布置。110、10kV 配电装置位于 1 幢 3 层综合楼内。地下为电缆夹层,地上 1 层布置 10kV 配电室、接地装置室及电抗器室、电容器室等;地上 2 层布置 110kV GIS 室、10kV 电容器室等;地上 3 层布置继电器、通讯室、工具间、备品备件间、资料室等,主变压器布置于配电装置楼南侧。受土建并行施工限制,该方案存在标准化设计、工厂化加工、装配式建设的困难。

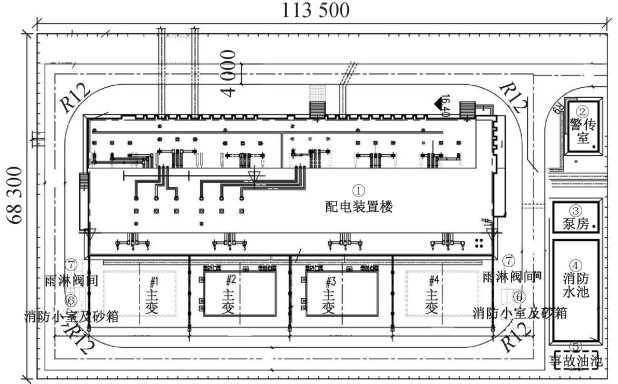


图 1 常规标准变电站平面布置

Fig. 1 Layout plan of conventional standard substation

变电站模块化设计后的总平面布置如图 2 所

示,该方案整站分区设置,110kV 配电装置采用 GIS 设备预制舱内单列布置,主变压器采用架空软导线进线,架空出线。主变压器及 10kV 配电装置舱布置在站区南侧。主变压器户外布置于 110kV GIS 舱与 10kV 配电装置舱之间,与 10kV 配电装置舱平行布置。10kV 配电装置采用移开式开关柜双列布置于 10kV 配电装置舱,柜宽 1 000mm 或 800mm,10kV 配电装置舱尺寸为 35m×8.1m。10kV 并联电容器组采用框架式电容器成套装置(配干式空心串联电抗器),户外布置于站区西北侧的场地上,干式空心串联电抗器呈品字形平放布置。

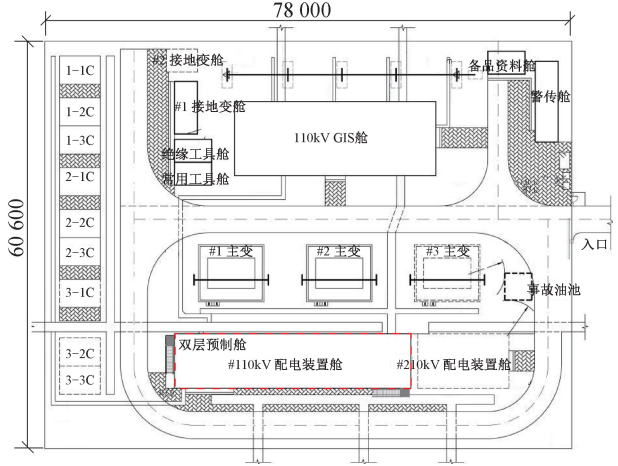


图 2 模块化变电站平面布置

Fig. 2 Layout plan of modular substation

模块化变电站可有效解决分散布置、平铺式建设带来的集成控制系统安装与调试问题,有利于形成良好的预制舱设备节能微气候环境^[17],避免了大量开挖电缆沟带来的土建工作量,有助于加快建设速度^[14]。

两种变电站方案的能效指标统计如表 1 所示。由表 1 可知,对比常规标准变电站,模块化变电站采用“模块化、层级化”设计思路,占地面积缩减了 39%,且建设周期缩短了 4 个月,投资成本降低了 20.9%,体现了更好的经济效益。

表 1 不同设计方案下变电站指标对比

Table 1 Comparison of substation indicators under different design schemes

技术经济指标	常规标准变电站	模块化变电站
围墙内面积/m ²	7 752.0	4 726.8
建设周期/月	6	2
静态投资/万元	6 751	5 340

模块化智能变电站建造流程如图 3 所示,以“设备设施预制化、现场建造低碳化、主要设备智能化、一次系统模块化、二次系统集成化”为基本技术

原则,可全面实现地面以上设备设施在工厂预制加工、现场装配式安装,确保了土建与预制舱建造、设备调试并行施工,从而实现智能变电站快速建站、高效低碳建设的目标。

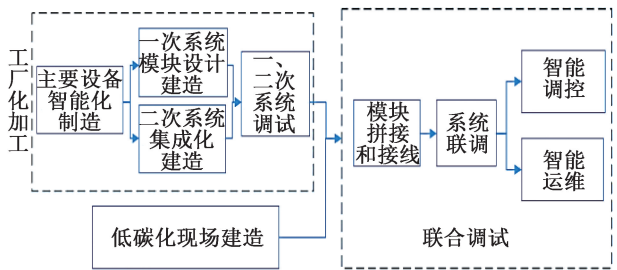


图 3 模块化智能变电站建造流程

Fig. 3 Construction process of modular intelligent substation

3 智能变电站模块化建造关键技术

预制舱式模块化变电站不同于传统变电站,为标准化设计、工厂定制配送、现场组装式建设,采用模块化组合式的电气设备,通过工厂生产调试,减少现场调试时间,模块化现场安装,减少现场施工工作量,实现“即插即用”。

3.1 双层预制舱技术

二次及通信舱与 10kV 配电装置舱均散热较大,为避免下层预制舱顶部受太阳直射,节省散热需消耗的冷却电能,本方案将二次及通信舱布置在 10kV 配电装置舱顶,形成双层立体布局(见图 4)。1 层主要包括一体式空调、方形风管、开关柜、10kV 出线电缆及电缆竖井柜,2 层包括消防主机、消防控制箱、方形风管、保护装置、楼层板和灭火剂。



图 4 双层组合预制舱

Fig. 4 Double-layer combined prefabricated cabin

由于双层预制舱内设备密集,散热问题尤为突出。双层预制舱采用一体化制冷技术,1 层空调冷气进入上、下层的风管,通过风管的方形出风口排出,出风口根据设备散热区域均匀布置,提升了空调制冷效果。双层预制舱内电缆数量众多,需合理规划电缆敷设路径,避免电缆交叉和缠绕。采用集约化电缆竖井,将下层一次设备舱的开关柜二次电缆从开关柜侧面直接引出穿入上层主控室。双层预制舱板层间电缆敷设长度明显小于平铺式预制

舱的电缆长度,节约了成本。控制电缆、通信电缆的短距离对接方便了设备调试,也大大提高了设备联动的可靠性。

3.2 模块化变电站一体化设计技术

变电站预制舱承载各类主要电气设备,是确保设备正常运行的重要模块。近年来模块化智能变电站的关键技术逐渐成熟,舱内结构形式突破了传统屏柜的概念,但仍存在空间利用率偏低、舱内操作空间略显狭小、电缆走线方案不完美等问题^[18-19]。模块化变电站一体化设计主要体现在结构和电气设备一体化、模块间接线一体化及舱体与舱内单元制造一体化等方面^[20]。

3.2.1 预制舱模块化设计

预制舱舱体底架、舱体骨架采用如图 5 所示的骨架结构,主材选用优质碳素结构钢,屈服强度 $\geq 235\text{MPa}$,确保具备足够的机械强度和刚度,使其在起吊、运输和安装时不会产生变形,满足防冲击试验要求。预制舱达到保温效果的同时,应保证舱体具有足够的机械强度。为了确保舱体稳定性,内外钢板间通过冲压槽孔点焊连接,内衬型钢,设置独立支架,立体结构根据承载计算设计足够的支撑结构并进行有限元分析。

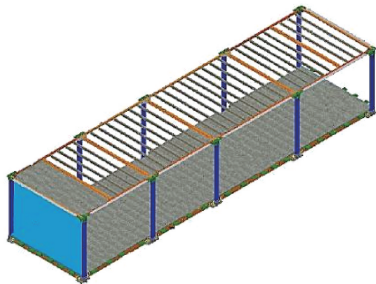


图 5 预制舱骨架结构

Fig. 5 Prefabricated cabin skeleton structure

模块化变电站舱体及舱内设备均由同一制造商建造,避免了大量技术及接口的沟通,舱内设备均采用标准零件组装。该技术将预制舱按产品全生命周期的使用功能进行模块化设计,有效解决了预制舱空间利用率低的问题,预制舱具备较大操作空间,典型舱内设备布置如图 6 所示。

3.2.2 电气设备制造与集成

采用预制舱与电气设备一体化设计方法,根据集成布置的原则对电气一次、二次部分进行模块化设计。110kV 智能变电站标准设计模块包括配电装置、建筑、二次公用及通信模块,包含变电一次、二次、土建、通信专业共 44 个基本模块,其中电气一次 31 个,电气二次 4 个。将一次设备模块与主接线、



图 6 预制舱内实景

Fig. 6 Realistic view of prefabricated cabin

母线、电缆等连接形成一个完整的电气一次系统模块。在工厂内完成二次系统模块的组装和调试工作,通过连接不同的功能模块和预制舱体形成电气二次系统模块。

变电站主要电气设备安装在钢结构舱体内,按不同设备分成不同舱体,设备及舱体在工厂内整体预制,包括变压器、开关设备及自动化系统等,分模块现场拼接安装,电气一次、二次部分联调后即可投入使用。

3.2.3 设备与管线装配一体化

预制舱走线采取“工厂预制敷设、光缆电缆分开、对外集中进出线”的方式。模块化设备采用预制光缆的即插即用方式,构建二次设备接口标准化,统一设备标准模型及扩展接口。二次设备室二次屏柜至各配电装置智能控制柜可采用双端或单端预制光缆(二次设备室侧单端预制)。室内光缆采用尾缆连接,室外光缆根据敷设方式采用非金属加强芯阻燃光缆或铠装非金属加强芯阻燃光缆,缆芯一般采用紧套光纤。光缆芯数宜选取 4 芯、8 芯。每根光缆或尾缆应预留 20% 的备用芯,最少 2 芯。

二次设备室下方设活动防静电地板,便于电缆敷设。二次及通信舱通过电缆沟、穿管、电缆竖井等设施连接各配电装置,各配电装置场地内设有电缆沟通往各主要电气设备附近,电缆在电缆沟内沿支架敷设,无电缆沟的地方穿管暗敷。10kV 及以上电力电缆(包括出线电缆)与低压动力电缆、控制电缆和通信电缆分沟敷设。

3.3 预制舱现场拼装技术

结合设备设计标准、维护检修需求及运输安装条件等因素,模块化预制舱尺寸有 3 种类型^[11],如表 2 所示。本方案基本模块尺寸为 34.8m×8.1m×3.4m,其尺寸远大于国家电网预制舱的尺寸,需在现场施工时拼接舱体,不仅要确保舱体对接成功,且预制舱内设备也要成功对接,在拼接时需提高对

接精度。以“物理布置”为模块主线,通过对模块的灵活调用和拼接,形成既满足实际需要又代表南方电网统一风格的设计方案。110kV GIS 设备采用直列式布置。110kV GIS 舱布置于地面靠围墙一侧。GIS 舱体按终期规模一次性建成,GIS 预制舱长 23m,宽 10.5m,采用大舱体短边拼接技术。

表 2 预制舱尺寸

Table 2 Dimensions of prefabricated cabin	
型号	尺寸(长×宽×高)/mm
I 型舱体	6 200×2 800×3 200
II 型舱体	9 200×2 800×3 200
III 型舱体	12 200×2 800×3 200

变电站模块化钢框架结构体系如图 7 所示。每个模块单元的预制舱底、舱顶、舱壁拼接采用螺栓连接,舱底拼接处使用槽钢。舱体模块吊装就位后,使用螺栓对两个舱底进行连接固定。

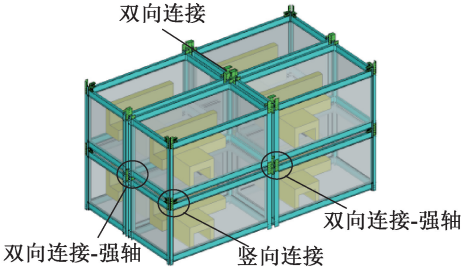


图 7 模块化预制舱建筑体系

Fig. 7 Modular prefabricated cabin building system

变电站模块化钢框架结构连接节点模型如图 8 所示^[21]。包括竖向连接、双向连接等典型节点。

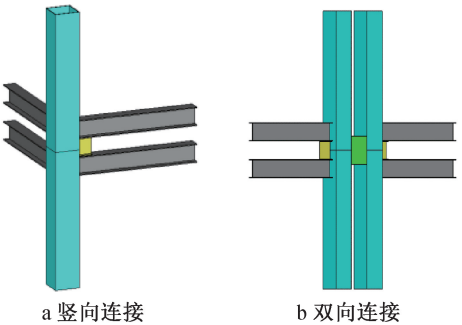


图 8 预制舱的连接节点模型

Fig. 8 Connection node model of prefabricated cabin

预制舱现场拼装时,在舱底拼缝处涂抹硅酮密封胶;预制舱上下连接施工后(见图 9),应在拼缝上方增加盖板,防止发生拼缝开裂、漏水等隐患^[15]。

3.4 智能技术的应用

模块化智能变电站在三层两网结构的基础上,应用智能一次设备、二次系统集成化、智能运维和智能调控等智能技术。通过将可见光、红外光等基



图 9 双层预制舱的连接

Fig. 9 Connection of double-layer prefabricated cabin

础技术搭载在不同载体上,自动识别设备外观、缺陷及内外部异常等巡视关注信息,利用大数据分析及人工智能技术集中管控终端、自动判别推送异常结果、追溯巡视过程、获取历史巡视情况等,综合实现巡视无人化及维护少人化。监控系统主机集成顺控操作、防误校核、运行监视、操作与控制等功能。为实现一键顺控,10kV 及以上断路器、隔离开关、接地开关、开关柜手车均采用电动操作机构,具备远程控制功能。

变电站采用智能辅助综合监控系统,包括一次设备状态监测、智能巡视设备、智能安全设备、环境监测设备和智能网关,为变电运行支持系统主站提供信息建模、数据可视化、智能巡视、智能安全等智能化手段,具备数据接入、规约转换、临时存储、人工智能、指令下达及数据上送等功能,实现主站平台对变电站的日常巡视作业、电网安全管控,支撑智能运维业务。

4 结语

1)在变电站建设过程中采用模块化设计,安装快捷,维护方便,有效提高了变电站的投资效率。通过模块化技术可成功实现变电站建设的标准化、智能化及快速化,预制舱变电站展示出更强的适应性与施工优势。

2)本文设计的 110kV 模块化智能变电站方案成果应用于中山供电局某变电站,采用集成式、集约式布设方法达到设备模块设计的标准化,在工厂预制模块完成后运输到变电站整体组装,减少了大量现场湿作业,比传统变电站建设周期缩短了 4 个月,占地面积减少了约 39%,投资成本降低了 20.9%。

3)变电站双层预制舱技术、模块化一体化设计技术、预制舱现场拼装技术及智能技术的研究等,将助推模块化智能变电站技术的发展。

参考文献:

[1] 张群. 模块化智能变电站在电力工程设计中的应用[J]. 珠江

水运,2021(23):109-110.
ZHANG Q. Application of modular intelligent substation in power engineering design[J]. Pearl river water transport, 2021(23): 109-110.
[2] 刘文平,王振刚,孟晨旭,等. 110kV 预制舱变电站技术研究与应
用[J]. 黑龙江电力,2023,45(3):193-198.
LIU W P, WANG Z G, MENG C X, et al. Research and application of 110kV prefabricated substation technology [J]. Heilongjiang electric power,2023,45(3):193-198.
[3] 马斌,郑馨怡,王昱婷,等. 基于节能降耗的模块化变电站设计
及能效研究[J]. 能源与环保,2022,44(3):158-161,168.
MA B, ZHENG X Y, WANG Y T, et al. Design and energy efficiency research of modular substation based on energy saving and consumption reduction[J]. China energy and environmental protection,2022,44(3):158-161,168.
[4] 谢方,刘文平,张晴晴,等. 预制舱式变电站建设管控措施
[J]. 中国电力企业管理,2023(15):54-55.
XIE F, LIU W P, ZHANG Q Q, et al. Construction control measures of prefabricated substation[J]. China power enterprise management,2023(15):54-55.
[5] 朱茂理,楼渊,曾天舒. 预制舱式变电站的设计及工艺技术
[J]. 电力与能源,2022,43(3):275-277.
ZHU M L, LOU Y, ZENG T S. Design and technology of prefabricated cabin substation [J]. Power & energy, 2022, 43 (3):275-277.
[6] 蔡晶,许成昊,林清如,等. 预制舱式变电站设计及应用探索
[J]. 广东电力,2019,32(8):9-16.
CAI J, XU C H, LIN Q R, et al. Design and application of prefabricated substation[J]. Guangdong electric power,2019,32 (8):9-16.
[7] 顾峰. 浅谈高压/低压预装式变电站的现状与发展趋势[J]. 电气应用,2006,25(7):16-18.
GU F. Discussion on the present situation and development trend of high/low voltage prefabricated substation[J]. Electrotechnical application,2006,25(7):16-18.
[8] 谢名勇. 基于西门子技术的 E-HOUSE 产品[J]. 电工技术, 2016(6):28-29.
XIE M Y. E-HOUSE products based on Siemens technology[J]. Electric engineering,2016(6):28-29.
[9] 林文静. 基于模块化技术的智能变电站设计[D]. 济南:山
东大学, 2023.
LIN W J. Design of intelligent substation based on modular technology [D]. Jinan:Shandong University, 2023.
[10] 肖利建,高爽. 预制舱式变电站在高海拔光伏项目中的应用
[J]. 四川水力发电,2020,39(4):131-135.
XIAO L J, GAO S. Application of prefabricated cabin type substation in high altitude photovoltaic project[J]. Sichuan water power,2020,39(4):131-135.
[11] 薛欢,刘超,王笠,等. 模块化智能变电站预制舱的多舱结构
设计[J]. 宁夏电力,2024(1):69-74.
XUE H, LIU C, WANG L, et al. Design of a multi-cabin structure of prefabricated modules in modular smart substations [J]. Ningxia electric power,2024(1):69-74.

[12] 张季超,陈泽宇,张岩,等. 预制装配整体式模块化建筑的发展历程及现状[J]. 中国高科技,2022(5):109-110.
ZHANG J C, CHEN Z Y, ZHANG Y, et al. Development course and present situation of prefabricated integrated modular building [J]. China high-tech, 2022(5):109-110.

[13] 张季超. 预制装配整体式模块化建筑施工及验收[M]. 北京: 科学出版社, 2024.
ZHANG J C. Construction and acceptance of prefabricated integral modular building[M]. Beijing: Science Press, 2024.

[14] 曾威,刘文平,张晴晴,等. 双层预制舱技术在变电站中的应用[J]. 电气技术与经济,2023(8):81-83,112.
ZENG W, LIU W P, ZHANG Q Q, et al. Application of double-deck prefabricated cabin technology in substation[J]. Electrical equipment and economy, 2023(8):81-83,112.

[15] 郭红斌,马驰,文正其. 预制舱式模块化变电站关键技术及展望[J]. 电气技术,2023,24(9):1-10,19.
GUO H B, MA C, WEN Z Q. Key technologies and prospect of prefabricated cabin substation[J]. Electrical engineering, 2023, 24(9):1-10,19.

[16] 狄谦,谢晓磊,康雪晶,等. 预制舱式模块化变电站关键技术研究[J]. 电气应用,2019,38(12):57-61.
DI Q, XIE X L, KANG X J, et al. Research on key technologies of prefabricated modular substation [J]. Electrotechnical application, 2019, 38(12):57-61.

[17] 左涛,刘建涛,李敏,等. 基于建筑设计的非金属模块化预制舱式变电站节能[J]. 电气时代,2024(2):76-80.
ZUO T, LIU J T, LI M, et al. Energy saving of non-metallic modular precast cabin substation based on architectural design [J]. Electric age, 2024(2):76-80.

[18] 陆朝阳,吴俊辉. 智能变电站二次舱一体化设计研究[J]. 电气应用,2021,40(1):49-54.
LU C Y, WU J H. The integrated design research of secondary cabin for smart substation[J]. Electrotechnical application, 2021, 40(1):49-54.

[19] 雷翔胜,张季超,杨勇,等. 某全户内 220kV 变电站建筑隔震设计[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(13):121-125.
LEI X S, ZHANG J C, YANG Y, et al. Seismic isolation design of an indoor 220kV substation [J]. Construction technology, 2023, 52(13):121-125.

[20] 广州大学,中南建筑设计院股份有限公司. 模块化装配整体式建筑设计规程:T/CECS 575—2019[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
Guangzhou University, Zhongnan Architectural Design Institute Co., Ltd. Standard for design of modular assembly monolithic building:T/CECS 575—2019[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.

[21] 秦佳俊,谭平,尚继英,等. 模块化钢框架单元新型盒式连接节点及其设计方法[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2021,43(3):37-43.
QIN J J, TAN P, SHANG J Y, et al. Design method on inovative box connections of modular steel frame units[J]. Journal of civil and environmental engineering, 2021, 43(3):37-43.