

## 一种工业园区的110 kV预制舱式变电站建设方案

程昕, 简翔浩, 殷雪莉

引用本文:

程昕, 简翔浩, 殷雪莉. 一种工业园区的110 kV预制舱式变电站建设方案[J]. 南方能源建设, 2022, 9(增刊1): 99-104.

CHENG Xin, JIAN Xianghao, YIN Xueli. A Construction Scheme of 110 kV Prefabricated Cabin Substation in Industrial Area[J]. *Southern Energy Construction*, 2022, 9(增刊1): 99-104.

---

### 相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

#### 智能交流变电站预制光缆针脚定义应用研究

Research on the Application of the Pin Definition of Prefabricated Optical Cable in Smart Substation

南方能源建设. 2016, 3(z1): 116-121 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.025>

#### 标准配送式变电站预制光缆工程应用方案研究

Research on the Engineering Application of Prefabricated Optical Cable in Standard Distribution Substation

南方能源建设. 2018, 5(4): 117-123 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.04.018>

#### 基于泛在电力物联网的无人值守变电站消防策略研究

Research on Fire Control Strategy for Unattended Power Substation Based on Ubiquitous Electric Power Internet of Things

南方能源建设. 2020, 7(4): 75-80 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.04.011>

#### 500 kV江门变电站不停电改造关键技术分析

Key Technology of Live Retrofit in 500 kV Jiangmeng Substation

南方能源建设. 2015, 2(z1): 244-248 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.054>

#### 装配式控制楼在500kV变电站中的应用研究

Application Research on Control Building in 500 kV Substation

南方能源建设. 2019, 6(1): 109-113 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.019>

# 一种工业园区的110 kV预制舱式变电站建设方案

程昕<sup>1,✉</sup>, 简翔浩<sup>1</sup>, 殷雪莉<sup>2</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663;

2. 南方电网能源发展研究院有限责任公司, 广东 广州 510663)

**摘要:** [目的] 新的一种110 kV预制舱式变电站建设方案, 可极快地响应工业园区的快速建站的需求, 推进我国城市化的快速发展。[方法] 提出了一套完整的电气设计方法, 在变电站通用设计经验基础上, 根据工业园区的负荷性质、负荷规模和用地条件特点, 确定110 kV变电站建设的布局方案以及电气设备的选型, 形成110 kV变电站的建设模式, 包括电气接线、电气预制舱的大小及拼接方式。[结果] 根据工业园区的负荷大小、等级及用地条件, 模拟了3种经典的工业园区建设模型——模式A/模式B/模式C, 可综合考虑可靠性、经济性, 设计出对应的3种建设方案, 并进行了技术经济比较。[结论] 3种典型的电气建设方案可指导我国工业园区的110 kV变电站设计, 具有一定的推广意义。

**关键词:** 快速建站; 工业园区; 110 kV变电站; 预制舱式变电站; 电气设备预制舱

中图分类号: TM7; TM63

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)S1-0099-06

开放科学(资源服务)二维码:



## A Construction Scheme of 110 kV Prefabricated Cabin Substation in Industrial Area

CHENG Xin<sup>1,✉</sup>, JIAN Xianghao<sup>1</sup>, YIN Xueli<sup>2</sup>

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd, Guangzhou 510663, Guangdong,

China; 2. Energy Development Research Institute Co., Ltd, GSG, Guangzhou 510663, Guangdong, China)

**Abstract:** [Introduction] A new construction scheme of 110 kV prefabricated cabin substation is proposed which can quickly respond to the needs of rapid station construction in industrial parks and promote the rapid development of urbanization in China. [Method] A complete set of electrical design method was proposed. Based on the general design experience of substation, the layout scheme of 110 kV substation construction and the selection of electrical equipment were determined according to the characteristics of load nature, load scale and land conditions of industrial park. Form the construction mode of 110 kV substation, including electrical wiring, size and splicing mode of electrical prefabricated cabin. [Result] According to the load size, grade and land conditions of the industrial park, three classical industrial park construction models are simulated which are mode A, mode B and mode C considering reliability and economy. Three corresponding construction schemes are designed, and technical and economic comparisons are analysed. [Conclusion] Three typical electrical construction schemes can guide the design of 110 kV substation in industrial park, and have certain popularization significance.

**Key words:** rapid construction of substation; industrial park; 110 kV substation; prefabricated cabin substation; prefabricated cabin for electrical equipment

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

近年来, 随着经济快速发展, 城市用地日益紧张, 电网建设规模飞速发展, 传统的110 kV变电站

的设计及建设方案开始显现用地及建设周期的短板。110 kV变电站分为户外和户内变电站, 变电站

收稿日期: 2021-10-13 修回日期: 2022-03-07

基金项目: 中国能建广东院科技项目“500kV全户内变电站设计研究”(EX03631W)

的建设包括结构、建筑、排水、暖通、电气安装、站区照明及动力、防雷接地等内容,涉及“规划、选址、勘察、设计、工程报建、物资采购、四通一平、建筑和安装施工、调试、绿化恢复、投产验收等”全周期各方面的工作内容。一般需设变电站站界围墙,用地规整方正,建设周期一般需要20个月<sup>[1-2]</sup>。

工业园区一般处于城市中心或附近,具有负荷密集、经济发展快、对电力需求高的特点。作为工业园区的心脏,110 kV变电站被赋予了“绿色、智能、集约、快速建设”的要求,传统变电站人工、土建成本以及建设周期长等问题越发不能满足工业园区的发展需求。因此,工业园区的110 kV变电站电气设计方法应紧密贴合工业园区的电力需求特性,以实现快速建站、灵活用地的发展目标<sup>[3-4]</sup>。

## 1 预制舱式变电站的技术特点

预制舱式变电站是由预制、模块化组合及成套设备组成的变电站,包括一次设备预制舱、二次设备预制舱、预制舱体、舱体附属系统。其在电气设备选型、结构、建设模式均有显著的特点<sup>[5-6]</sup>。

### 1.1 预制舱式变电站电气设备选型特点

110 kV电气设备采用集成度最高的气体绝缘开关设备GIS,其将断路器、隔离开关、接地开关、电压互感器、电流互感器、避雷器和母线等元件封装在接地的金属壳体内,壳内充0.4~0.6 MPa压力的SF<sub>6</sub>气体作为绝缘介质。

10 kV电气设备采用开关柜型式。

总的来说,预制舱式变电站电气设备选型特点可以概括为集成。

### 1.2 预制舱式变电站结构特点

电气设备均舱内模块化布置,舱体内预留巡视维护通道,舱体内已整合消防、安防、暖通、照明、通信等辅助系统。根据电气设备的功能,可以分为GIS舱、开关柜舱、无功补偿舱、二次设备舱等单元舱。

模块单元在工厂内完成试验、调试后,以单元模块为单位进行运输,根据用地条件的不同,模块单元到现场后可以分散布置或组合布置,如开关柜舱和二次设备舱拼接、GIS舱和二次设备舱拼接等,形成功能多元化的组合舱。整个变电站安装过程更像是搭积木,即使苛刻的用地条件也能很好的适应。

总的来说,预制舱式变电站结构特点可以概括为集约、灵活<sup>[7-9]</sup>。

### 1.3 预制舱式变电站的建站模式

预制舱模块化变电站的建站模式为根据负荷性质及大小确定电气接线,根据用地条件确定电气布置,采用分散或组合式预制舱,在工厂预制模块后,运到现场进行主要进行舱体间的拼接以及舱间的电气连接,现场的工程量非常小,整个建设工期可控制在3~6个月。

总的来说,预制舱式变电站的建站模式可以概括为快速。

## 2 工业园区110 kV变电站电气设计方法

本文提供一套完整的电气设计方法,在工业园区的电站建设可以推广应用。具体如下:

首先确定通用变电站电气设计的影响因素集合:包括工业区域负荷级别、负荷大小、运输条件、用地条件、站址的自然条件(污秽水平、海拔高度)、短路水平等相关因素。

确定110 kV变电站建设的布局方案以及电气设备的选型。结合用地情况确定预制舱式变电站的布局是整体式还是分散式,根据站址所在自然条件及短路水平,确定采用气体绝缘还是空气绝缘设备。

形成110 kV变电站的建设模式,包括电气接线、电气预制舱的大小及拼接方式<sup>[10-11]</sup>。

确认110 kV变电站的适用条件和适用范围。结合用户单位的运维要求,确认变电站适用条件和适用范围是否满足。

最终在确定的方案上进行详细的电气设计。具体的流程如图1所示。

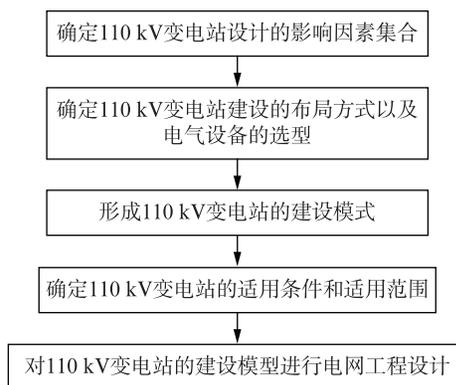


图1 电气设计流程

Fig. 1 Electrical design process

### 3 工业园区的110 kV变电站3种经典建设方案

110 kV变电站在电网系统中比较重要, 尤其在工业园区承担着能源供给的重要责任, 工业园区的110 kV变电站一般是降压变电站, 通过变压器将电网中的110 kV系统转化为10 kV送至各个用电设施, 工业园区一般深入城市中心, 用地紧张, 对能源的要求紧迫。本文主要探讨适用工业园区110 kV变电站的电气主接线以及电气布置。

影响电气方案的三个因素为工业园区的负荷大小、负荷等级以及用地条件。针对不同的情况模拟三种经典的工业园区情况, 分别为:

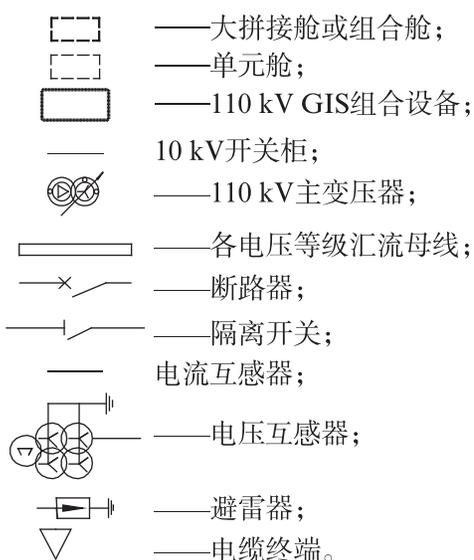
**模式A:** 用电负荷大 (最大负荷需求约120 MVA), 负荷等级为一、二级, 用地条件紧张但规整的工业区。

**模式B:** 用电负荷小 (最大负荷需求约60 MVA), 负荷等级为二、三级, 用地条件紧张但规整的工业区。

**模式C:** 用电负荷小 (最大负荷需求约60 MVA), 负荷等级为二、三级, 用地紧张且不规整的工业区。

利用预制舱式变电站具有设备集成、舱体拼接的特点, 创新地将电气接线、电气布置以及舱体综合设计, 使设计方案更加全面、直观。

不同舱体类型图及电气元件符号的各项图示如下:



拼接舱由单元舱进行拼接形成较大的舱体, 舱内可以根据需要包容更多更大的电气设备; 单元舱

无需进行拼接, 可作为独立的运输单元以及功能单元, 舱内空间有限。各个元器件通过导体 (架空线或电缆) 形成电气连接<sup>[12-15]</sup>。

#### 3.1 适用模式A的110 kV变电站建设方案

模式A的负荷等级高, 且用电需求大, 用地条件紧张但规整。因此本模式要求接线可靠性高, 同时占地要小而规整。

站内终期设3台63 MVA主变压器, 每台主变配置3组无功补偿装置; 110 kV配电装置出线约6~8回, 10 kV出线约为30~45回。

考虑到负荷等级高, 本站电气接线的选择主要要考虑可靠性、灵活性。110 kV采用单母线分段接线, 设专用分段断路器; 10 kV采用单母线分段接线。

电气设备选型考虑满足集成、集约的要求, 110 kV采用GIS设备; 10 kV采用移开式手车柜或充气柜。

在考虑建设规模的基础上, 电气布置应尽可能的节地, 尽量采用组合舱的布置。

GIS舱为GIS单元舱逐个拼接而成, 形成GIS的整体舱, 优先选择在单元舱的长边进行拼接, 以控制舱体的长度。

10 kV开关柜采用双列布置, 并在单元舱的长边逐个拼接, 站用变、无功补偿装置等一次设备也与10 kV开关柜舱拼接, 形成10 kV的整体舱。同时将二次设备舱布置在10 kV开关柜舱的上面, 形成两层式的组合舱。

图2为模式A的电气接线及舱体类型图。

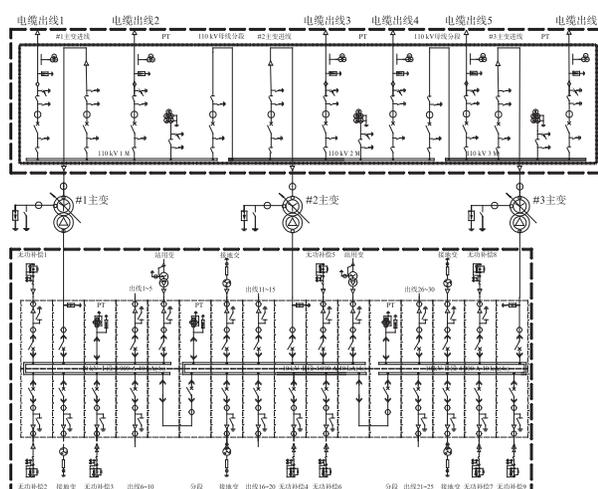


图2 模式A的电气接线及舱体类型图

Fig. 2 Electrical wiring and cabin type diagram of mode A

### 3.2 适用模式B的110 kV变电站建设方案

模式B的负荷等级一般,且用电需求不大,用地条件紧张但规整。因此本模式对电气接线可靠性较模式A低,同时占地要小而规整。

站内终期设2台63 MVA主变压器,每台主变配置2组无功补偿装置;110 kV配电装置出线约2回,10 kV出线约为20回。

考虑到负荷等级为二、三级,本站电气接线的选择要兼顾可靠性及经济性。110 kV采用线变组接线;10 kV采用单母线分段接线。

电气设备选型考虑满足集成、集约的要求,110 kV采用GIS设备;10 kV采用移开式手车柜或充气柜。

在考虑建设规模、占地小且规整的基础上,本模式的布置尽量减少舱体的拼接,以节省现场工作量及建设周期,达到经济性最优。

GIS舱为GIS单元舱,可根据用地条件灵活选择舱体布置方向,优先紧邻主变压器布置以方便高压侧的接线。

10 kV开关柜采用双列布置,并在单元舱的长边逐个拼接,站用变、无功补偿装置等一次设备也与10 kV开关柜舱拼接,形成10 kV的单层整体舱。

图3为模式B的电气接线及舱体类型图。

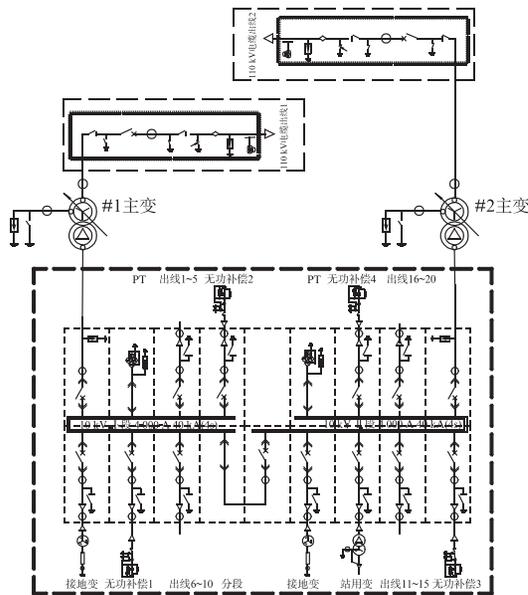


图3 模式B的电气接线及舱体类型图

Fig. 3 Electrical wiring and cabin type diagram of mode B

### 3.3 适用模式C的110 kV变电站建设方案

模式C的负荷等级一般,且用电需求不大,用

地紧张且不规整。因此本模式对电气接线可靠性较模式A低,同时占地要灵活,尽量迎合用地条件。很多工业园区的变电站布置在园区的角落,用地会有不规则的情况。

系统规模与模式B一致,站内终期设2台63 MVA主变压器,每台主变配置2组无功补偿装置;110 kV配电装置出线约2回,10 kV出线约为20回。

考虑到负荷等级为二、三级,本站电气接线的选择要兼顾可靠性及经济性。110 kV采用线变组接线;10 kV采用单母线分段接线。

电气设备选型考虑满足集成、集约的要求,110 kV采用GIS设备;10 kV采用移开式手车柜或充气柜。

在考虑建设规模的基础上,本模式的布置尽量利用预制舱式的优势以适应不规则的用地条件。

GIS舱为GIS单元舱,可根据用地条件灵活选择舱体布置方向,可以不对称甚至倾斜角度布置,以适应不规则的用地。

10 kV开关柜采用双列布置,并在单元舱的长边逐个拼接形成10 kV开关柜的单层整体舱。无功补偿、10 kV站用变等采用单元舱,利用不规则的地形单元化分散布置,最大程度的利用占地。

图4为模式C的电气接线及舱体类型图。

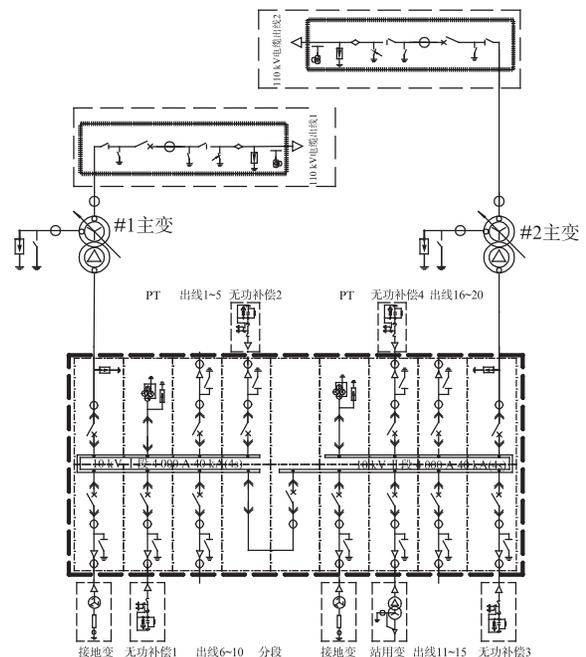


图4 模式C的电气接线及舱体类型图

Fig. 4 Electrical wiring and cabin type diagram of mode C

### 3.4 三种模式的技术经济性比较

以上分析的三种经典模式的工业园区建设方案各具特点, 技术经济性具体如表1所示。

表1 三种模式的技术经济性比较表

Tab. 1 Technical and economic comparison table of three modes

方案类型	模式A	模式B	模式C
负荷	大	小	小
负荷等级	较重要	一般	一般
用地条件	小而规整	小而规整	小而不规整
系统规模	① 主变:3×63 MVA; ② 110 kV:6~8回; ③ 10 kV:30~45回; ④ 无功补偿:9组低压电容器。	① 主变:2×63 MVA; ② 110 kV:~2回; ③ 10 kV:~20回; ④ 无功补偿:4组低压电容器。	同模式B
电气主接线	① 110 kV:单母线分段接线; ② 10 kV:单母线分段接线。	① 110 kV:线变组接线; ②. 10 kV:单母线分段接线。	同模式B
设备选型	① 主变:三相双卷油浸式自冷有载调压变压器; ② 110 kV:GIS; ③ 10 kV:移开式手车柜或充气柜; ④ 无功补偿:框架式或柜式。	同模式A	同模式A
电气布置及舱体型式	①主变:户外布置或舱内布置均可; ② 110 kV:大拼接舱; ③ 10 kV:多功能组合舱,10 kV开关柜双列布置在组合舱首层,继保及通信屏布置在组合舱上层; ④ 无功补偿:布置在10 kV多功能组合舱的首层,即与10 kV舱相拼接。	① 主变:户外布置; ② 110 kV:单元舱,紧邻主变布置,直接与主变相连; ③ 10 kV:同模式A; ④ 无功补偿:同模式A。	① 主变:同模式B; ② 110 kV:同模式B; ③ 10 kV:同模式B; ④ 无功补偿:单元舱,分散布置。
可靠性	较高	较模式A低	同模式B 设备成本同模式B,舱体成本较模式B低,用地成本较高但 适应性高
投资成本	设备、舱体成本较高,用地成本较低	模式A低,用地成本本低	同模式B,舱体成本较模式B低,用地成本较高但 适应性高

### 4 结 论

针对工业园区特有的要求展开预制舱式变电站的电气设计方法的研究, 本文研究结论如下:

1) 分析预制舱式变电站的电气设备、结构及建站模式的特点。可以得出预制舱式变电站具备集约、灵活、建站快速的特点。

2) 在常规变电站设计的基础上, 根据工业园区的用电特点, 以及预制舱式变电站的特点, 确定了一套完整的电气设计方法。

3) 根据工业园区的负荷大小、负荷等级及用地条件, 模拟了3种经典情况, 综合考虑可靠性及经济性, 形成3种变电站建设方案, 并进行了技术经济比较。

随着城市用地成本提高以及用户对于设备集成化的需求提升, 预制舱式变电站顺应时代的发展, 其特有的现场工作量小、布置灵活、建站周期短的优势与城市化的发展相呼应, 发展前景大。本文提供的3种经典电气方案可用于指导工业园区的110 kV变电站设计, 实现工业园区的快速建站。

#### 参考文献:

[1] 许成昊. 110 kV标准配送式变电站的设计与发展[J]. 电工技术, 2020(19): 58-60. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2020.19.017.  
XV C H. Design and development of 110 kV standard distribution substation [J]. Electric Engineering, 2020(19): 58-60. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2020.19.017.

[2] 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. DOI:10.3969/j.issn.1007-290X.2019.008.002.  
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. DOI:10.3969/j.issn.1007-290X.2019.008.002.

[3] 蔡晶, 冉旺, 韩丹, 等. 大功率车载式移动变电站设计应用系统研究[J]. 广东电力, 2020, 33(1): 86-92. DOI: 10.3969/j.issn.1007-290X.2020.001.011.  
CAI J, RAN W, HAN D, et al. Study on design and application system of high-power vehicle-mounted mobile substation [J]. Guangdong Electric Power, 2020, 33(1): 86-92. DOI: 10.3969/j.issn.1007-290X.2020.001.011.

[4] 陈晨. 预装式建站技术在铁路牵引变电站中的应用[J]. 电工技术, 2021(4): 113-115. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2021.04.044.  
CHEN C. Application of prefabricated substation construction technology in railway traction substation [J]. Electric Engineering, 2021(4): 113-115. DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2021.04.044.

- [5] 韩银龙. 110 kV 预装式变电站在电网中的应用分析 [J]. 电工技术, 2016(11): 33. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1388.2016.11.016.  
HAN Y L. Application analysis of 110 kV prefabricated substation in power grid [J]. Electric Engineering, 2016(11): 33. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1388.2016.11.016.
- [6] 杨丽薇, 王立丹, 支沛. 110 kV 预装式变电站在新能源电网中的应用与分析 [J]. 工程建设与设计, 2018(23): 87-89. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2018.12.023.  
YANG L W, WANG L Dan, ZHI P. The application and analysis of the 110 kV pre-installed substation in the new energy power grid [J]. Construction & Design for Project, 2018(23): 87-89. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2018.12.023.
- [7] 张杰, 黄满华. 预制舱式变电站的防腐蚀技术研究 [J]. 电工技术, 2019(7): 117-118+121. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2019.07.047.  
ZHANG J, HUANG M H. Study on anticorrosion technology of prefabricated cabin substation [J]. Electric Engineering, 2019(7): 117-118+121. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2019.07.047.
- [8] 张军, 张宇峰, 孟庆林, 等. 预制舱类工业建筑热平衡及能耗分析模型的建立与实验研究 [J]. 建筑节能, 2018,46(5): 146-152. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7237.2018.05.031.  
ZHANG J, ZHANG Y F, MENG Q L, et al. Thermal balance and energy consumption model and experiment on prefabricated cabin type of industrial building [J]. Journal of Building Energy Efficiency, 2018, 46(5): 146-152. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7237.2018.05.031.
- [9] 顾铭飞, 袁涤非. 变电站模块化建设中的组合式预制舱技术 [J]. 华电技术, 2018, 40(4): 40-41+44. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1951.2018.04.013.  
GU M F, YUAN D F. Combined prefabricated cabin technology in modular construction of Substation [J]. Huadian Technology, 2018,40(4):40-41+44. DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2018.04.013.
- [10] 张振, 聂建春, 张晓妍, 等. 内蒙古电网 110 kV 智能变电站模块化建设通用设计 [J]. 内蒙古电力技术, 2021, 39(4): 73-77. DOI: 10.19929/j.cnki.nmgdljs.2021.0083.  
ZHANG Z, NIE J C, ZHANG X Y, et al. Analysis on general design of modular construction of 110 kV smart substation in Inner Mongolia power grid [J]. Inner Mongolia Electric Power, 2021, 39(4): 73-77. DOI: 10.19929/j.cnki.nmgdljs.2021.0083.
- [11] 燕飞飞, 何显江, 卢旭涛. 预装式户内 GIS 变电站预制舱设计探讨 [J]. 机电信息, 2020(24): 1-3+5. DOI: 10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2020.24.001.  
YAN F F, HE X J, LU X T. Discussion on prefabricated cabin design of prefabricated indoor GIS substation [J]. Mechanical and Electrical Information, 2020(24): 1-3+5. DOI: 10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2020.24.001.
- [12] 程卓, 聂独. 预制式变电站结构方案及其技术特点研究 [J]. 中国新技术新产品, 2019(4): 96-97. DOI: 10.13612/j.cnki.cntp.2019.04.054.  
CHENG Z, NIE D. Study on structural scheme and technical characteristics of prefabricated substation [J]. New Technology & New Products of China, 2019(4): 96-97. DOI: 10.13612/j.cnki.cntp.2019.04.054.
- [13] 景建龙, 翟红晓, 李凤兰. 预制舱变电站的技术对比及方案选择 [J]. 能源与节能, 2018(3): 106-108. DOI: 10.16643/j.cnki.14-1360/td.2018.03.048.  
JING J L, ZHAI H X, LI F L. Technology comparison and scheme selection of prefabricated cabin substations [J]. Energy and Energy Conservation. 2018(3): 106-108. DOI: 10.16643/j.cnki.14-1360/td.2018.03.048.
- [14] 莫素敏. 海南中部地区模块化智能变电站方案研究与设计 [D]. 广州: 华南理工大学, 2020. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2020.005146.  
MO S M. Research and design of modular intelligent substation in central Hainan province [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2020.005146.
- [15] 李争. 220 kV 装配式智能变电站设计、安装、调试技术研究与应用 [D]. 南京: 东南大学, 2019. DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau.2019.004277.  
LI Z. Research and application of design, installation and commissioning technology of 220 kV assembled intelligent substation [D]. Nanjing: Southeast University, 2019. DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau.2019.004277.

---

#### 作者简介:



程昕

程昕 (第一作者, 通信作者)

1983-, 女, 安徽安庆人, 高级工程师, 电力系统及其自动化硕士, 主要从事变电站电气一次设计工作 (e-mail) 550387644@qq.com。

#### 简翔浩

1975-, 男, 广东云浮人, 高级工程师, 电气工程及其自动化学士, 主要从事变电站及换流站的电气一次校审工作 (e-mail) jianxianghao@gedi.com.cn。

#### 殷雪莉

1979-, 女, 新疆乌鲁木齐人, 教授级高级工程师, 主要从事变电站设计评审及技术咨询工作 (e-mail) shirely110@sohu.com。

(责任编辑 郑文棠)