



装配式变电所在某港口工程中的应用

徐章

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 随着国内装配式钢结构箱式房建造技术的发展以及供配电系统设备的更新换代, 变电所由单一的钢筋混凝土结构逐渐向多元化发展, 钢结构形式的变电所由早期的传统箱变慢慢过渡到模块化预装配式变电所(E-house)形式。通过研究E-house在港口项目中的实际运用案例得出, 传统撬装式变电所存在内部空间狭小不能完全满足设备操作维护需要、且接线形式较为简易导致变压器容量受到限制等明显的局限性。E-house在客户定制化、节约现场安装调试成本、缩短项目建设周期等方面存在明显优势, 更适用于地域位置条件苛刻、现场人员配置有限且工期紧张的港口工程。

关键词: E-house; 装配式变电所; 钢结构; 预制舱

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0028-05

Application of E-house substation in harbor project

XU Zhang

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: With the development of prefabricated steel structure box-type house construction technology, as well as the upgrading of power supply and distribution system equipment, the structural type of substation has gradually developed from reinforced concrete structure to a diversified one, the steel structure substation also gradually transited from the early traditional box-type to the modular prefabricated substation (E-house). Through the study of the actual application of E-house in the harbor project, it is concluded that the traditional box-type substation has some obvious limitations, such as narrow internal space, which cannot fully meet the space required for equipment operation and maintenance, and the internal wiring form is relatively simple, which leads to the limitation of the transformer capacity. E-house has obvious advantages in customer customization, saving on-site installation and commissioning costs, shortening project construction cycle and so on. It is more suitable for port projects with harsh geographical conditions, limited on-site staffing and tight construction period.

Keywords: E-house; prefabricated substation; steel structure; prefabricated cabin

模块化预装配式变电所(简称“E-house”)最初起源于欧洲国家模块拼接化工厂的概念, 是一个集成的、工程化的变电所电气解决方案。它是基于现有传统户外箱式变电所产品的成熟制造技术, 结合标准化设计、工厂化加工、装配式建设的特点, 将变电所内一次、二次系统设备在工厂内安装调试好, 装入一个可移动、高密封、防潮、防锈的预制舱体, 在保证可靠性的同时, 简化了一

次设备与土建之间的接口。在传统的变电所建设周期中, 承包商通常提前分批采购所内电气设备, 工程现场会出现材料堆积的情况, 且土建与暖通、消防等其它专业交叉施工, 若维护不当, 会出现电气设备损坏的情况。E-house的基础建设与内部电气设备生产同步进行, 有效减小了设备损坏的可能性, 同时提高变电所的建设效率。考虑到运行环境的复杂性, 预制舱采用全工况设计, 舱内

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 徐章(1990—), 男, 工程师, 从事港口电气设计工作。

设备高度集成化，具有较好的抗风、抗震强度等，保证设备的安全运行。E-house 实现了变电所内各电压等级供电系统的集成化、装配模块化、建设过程工厂化、施工简单化的“四化”功能，缩短建设周期、降低工程造价，运行可靠，是一种新型的变电所建设模式^[1]。

1 港口行业引入 E-house 技术的意义

不同于传统箱式变电站，E-house 具有高定制化、快速安装、即插即用、灵活可靠的特点，成为矿山机械、海上风电、石油石化、市政轨道交通等用电密集型行业的首选，但在港口行业还没有广泛运用。E-house 较常规钢筋混凝土变电站具有较多的优势，除了能大幅缩短建设周期与劳动力成本，还可以有效减少前期设计人力投入、节省人工成本^[2]。譬如变电站的建筑与结构、照明动力、CCTV 系统、火灾报警系统、消防系统、空调通风等专业设计均纳入 E-house 承包商范围内。常规电气设计过程中，业主、设计、厂家三方在项目建设初期应对变电所整体设计思路进行统一，避免由于厂家设备采购规格或接线形式不匹配引起施工图变电所设备开孔预埋件、业主调整变电所用途和需求等引起的设计返工问题。因此，有必要尽早对 E-house 标准进行系统研究，理清 E-house 的设计要点尤其是一些重要的设计参数，以便在工程前期较为准确地核定工程量，为后期的工程设计提供便利；同时也能在后期施工图设计过程中准确运用这些设计理念满足业主的需求，为工程的顺利开展奠定良好的基础。

2 E-house 与传统变电所比较分析

目前港口变电所主要有 3 种结构形式：第 1 种为最常见的钢筋混凝土结构；第 2 种为传统箱式变电所结构，主要用于维护工作量较少的小型变电所；第 3 种为模块化预装式 E-house 结构，在国内目前仍处于摸索阶段，主要在国家电网中使用。

钢筋混凝土结构在港口变电所建设中较为常见，但是模块化预装式 E-house 结构的应用还较少。E-house 与传统钢筋混凝土结构的外观及结构形式对比见图 1、表 1^[3]。



a) 钢筋混凝土结构



b) E-house 结构

图 1 两种结构形式外观对比

表 1 不同变电所结构形式对比

结构	建设模式	建设周期/月	现场施工	现场安装调试工作量	内部环境
钢筋混凝土	传统建设模式，各专业互提衔接工作多，土建工作量大，完工后进行现场设备安装、试验、调试	3~4	土建工作量大，施工场地环境复杂，电气设施运至现场，后若管理不当，存在被灰尘污染的可能性	各品牌电气设备现场交叉作业安装、调整，对专业人员要求高，协调工作量大	常规变电所室内环境，不同电气系统、消防等专业单独进行设计施工
E-house	设备全部实现标准化设计、工厂化加工、装配式建设，各组模块全部实现工厂化	1~2	模块化结构，现场吊装，装配周期短；施工现场地面以上仅建设 E-house 的基础结构，土建工作量大；避免各专业交叉作业的情况发生	工厂化加工和联调，现场只需做验收调试等简单工作	整套变电所采用一体化技术，不同电气系统高度集成化，内部环境舒适

续表1

结构	所址要求	扩建方式	工程管理	施工质量	运维检修
钢筋混凝土	所址方正,无特殊地形	需要拆除变电所墙面并搬运相关设备,现场工作量较大,且可能存在设备受损的情况	土建施工与电气设备安装调试大多由不同分包商负责,现场协调工作量大	现场安装和调试,受限于现场人员和施工设备水平,施工质量较设计标准存在降低的可能性	空间大,检修方便,但存在空间浪费的可能性
E-house	采用分模块形式,灵活适用于不同地形	根据近远期规划,设计阶段预留增加相应模块的接口位置,无复杂的拆除工作	土建与预制舱安装界面清晰,最大程度地减少现场工作量	工厂化、模块化、标准化,相关技术与流程管理较为成熟,能够更好地保证设备装配质量	成套集成技术,布局紧凑,满足运维检修要求的同时节约空间

通过表 1 对比可以发现, E-house 在工程建设期间对于土建专业的需求度不高, 尤其是对于工期较为紧张的项目, 现场人员可以更灵活地安排施工环节; 依托于 E-house 成熟的工厂化流水线制作工艺, 可以保证变电所的整套产品质量满足设计要求, 且因为在工厂内已经提前完成了包括设备组装、接线、调试等主要电气工作内容, 为后续的现场作业进一步节省了工程进度与人力资源。

3 应用案例

印度尼西亚北马鲁古省奥比岛 (OBI) 项目 HPAL 二期件杂货码头工程临近马鲁谷海, 项目处在与内陆完全隔开的海岛上, 材料采购与人员配置存在较大困难, 因此项目初设阶段即考虑采用 E-house 作为变电所的主要结构形式。工程施工图设计阶段完成了 1 套适用于项目的预装式变电所技术规范书, 并且根据总平面与工艺设备的最终布置, 设计了变电所的平面布置图、系统单线图、基础布置图、基础内桥架布置图、基础接地平面布置图以及 CCTV 平面示意图等。结合现场实际施工问题, 针对建筑结构、空调暖通、所内供配电系统、消防系统、等电位接地系统等几方面进行设计。

3.1 建筑结构

E-house 常规结构形式为预制装配式集装箱钢结构, 考虑本工程变电所尺寸较大, 需分段拼接, 常规集装箱难以满足此要求, 不适应电气设备使用要求, 同时针对海岸气候环境, 采用了市场主流双层冷轧钢+保温隔热防火层定制箱体, 可根据项目规模灵活调整, 满足不同设备的舱体需求, 结构性更强, 环境适应性更高。

工程的 E-house 建筑安全等级定为二级, 结构重要性系数为 1.0。在定期维护的情况下, E-house 的使用寿命按照 25 a 进行建筑设计, 为无人值守变电站。预制舱墙面采用双层门板结构 (外侧为 2.0 mm 镀锌板+中间聚氨酯发泡+内侧 1.2 mm 镀锌板), 预制舱天花板采用 50 mm 岩棉板。预制舱墙体分为室内隔墙、内墙和外墙。外墙为双层门板结构, 内侧为 50 mm 岩棉板结构; 室内隔墙采用 50 mm 岩棉板; 预制舱底座采用 100 mm 保温聚氨酯发泡板, 用 2 mm 镀锌钢板密封。变电所内的中低压配电设备外围地面敷设 2 mm 钢板, 室内地板敷设 5 mm 绝缘胶垫。

E-house 使用的全部钢材按现行国家标准和规范保证抗拉强度、伸长率、屈服强度、冷弯试验和碳、硫、磷含量的限值, 墙面及屋面板采用预制舱耐候钢^[4]。E-house 工艺平面布置见图 2。

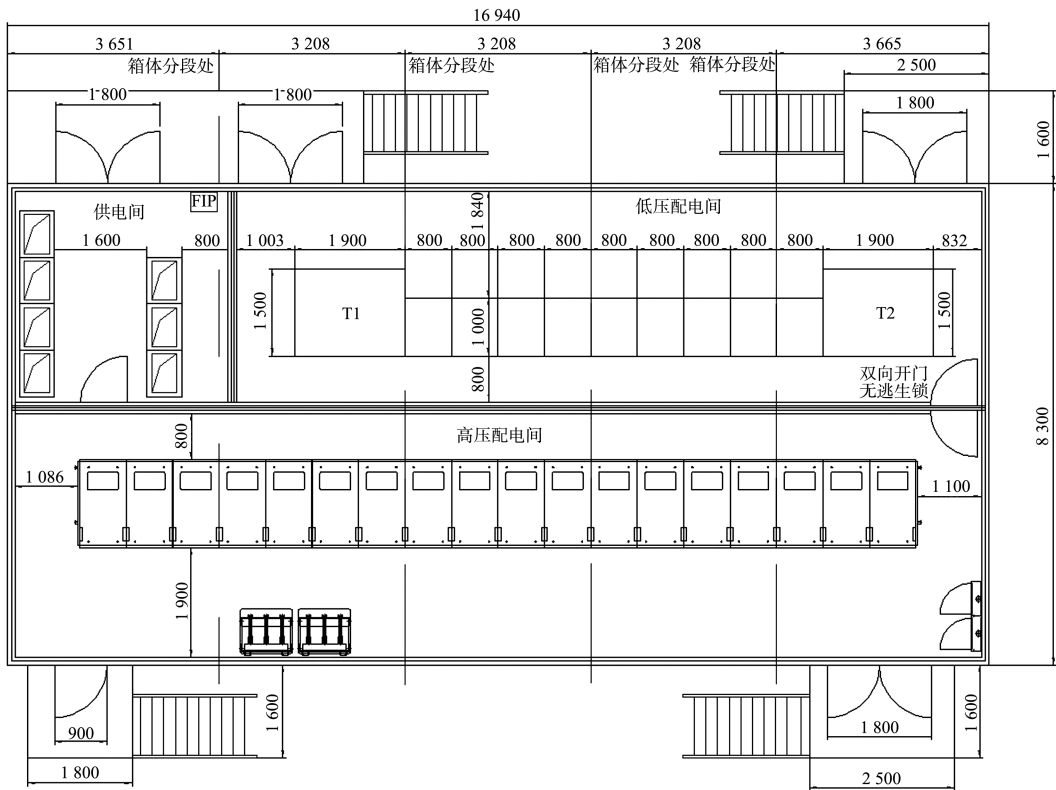


图 2 印尼 OBI 项目 E-house 工艺平面布置 (单位: mm)

3.2 空调暖通

印尼 OBI 岛属于典型的热带雨林气候，年平均气温为 25 ~ 27 ℃，月均相对湿度在 90.0% ~ 94.8%，对于室内制冷空调设施的依赖度较大。

E-house 中低压配电室均采用空调制冷，根据外界的环境温度、相对湿度、日照强度、海拔、钢结构材料热特性、建筑面积、保温材料、电气设备发热量、室内目标温度和室内目标相对湿度等输入条件，计算和选型空调设备。为保证其可靠性，中低压配电室的空调配置应遵循 N+1 冗余设计、100% 制冷量备份原则。

所内变压器室采用机械强制性排风通风制冷系统，在变压器室靠近地面 300 mm 处安装 90° 防雨罩壳、进风机械百叶、防尘过滤器和电动防火阀形成变压器室的进风口，靠近天花板 300 mm 处安装电动防火阀、排风风机和 90° 防雨罩壳作为变压器室的出风口。在进风口和出风口设置电动防火阀，用于封闭及隔离变压器防火分区，可顺利完成火灾时气体灭火的喷放动作。

3.3 供配电系统

初步设计阶段已明确采用中国国标进行供配电系统的设计，E-house 厂家负责的内部电气系统应包括配电箱、插座、照明、电缆桥架和线缆预埋管道等。

各 E-house 厂家选用的中低压开关柜的品牌、型号等不尽相同，导致桥架布置需根据厂家深化后的设备平面位置进行调整；整个 E-house 的基础设计存在类似的情况，整体焊接预埋件、基础承重梁的位置等都需要根据最终采购产品进行调整。因此在 E-house 招标阶段，由 E-house 供货厂家来深化设计桥架路由（或支架、托架）与基础布置更为合理，可以有效避免设计重复返工，同时也不会过度限制整个 E-house 的平面尺寸、设备布局等。施工图设计初期阶段可以根据拟定的设备平面布置图，在总平面图上框定整个 E-house 的占地面积，明确室外管道的敷设路由，其它均待招标确认后另行设计。

在 E-house 中应设置若干配电箱用于建筑配

电,配电箱的容量根据照明、暖通空调和消防的计算负荷确定。变电所照明分为室内正常照明、室内应急照明、疏散指示照明和户外照明(进户入口处照明、基础内检修用照明)。其中所内应急、疏散照明系统和火灾报警系统等应考虑是否需要与整个项目的主系统统一控制与规划,尤其是目前大部分国内港口项目都需要采用集中型应急照明系统。建议在招标阶段明确上述系统的产品需求与项目最终采购的主系统厂家一致,以确保后期整个系统的整合兼容性不存在问题。

3.4 消防系统

E-house 厂家应对中低压配电室、电源室等房间设计火灾自动报警系统、柜式七氟丙烷灭火系统,具体设计方式取决于项目选用中国国标或美国国家防火协会(NFPA)标准,本工程火灾报警系统亦采用中国国标。

每个房间为一个单独保护区,当房间内任意一个烟感、手报动作(烟感温感动作代表自动探测到火灾,手报动作代表人员发现火情),保护区内将发出声光报警,同时报警主机向监控中心发出报警信号,火灾报警控制器自动启动联动程序,关闭防火分区的防火门、电动百叶窗等开口设备形成密闭空间,60 s 后(期间可通过门外紧急停止按钮停止延时取消灭火指令)启动七氟丙烷灭火,此时门外放气指示灯和声光警报器提示外部人员本区域正在进行灭火、切勿进入。发现火情也可通过门外紧急启动按钮直接启动气体灭火过程^[5]。

3.5 等电位接地系统

E-house 不同于常规土建变电所,整体均采用钢结构,因此电气设备外壳、电缆桥架、室外平台、楼梯、扶手、门和集装箱钢结构等均要求可靠接地,防止漏电伤害人员,并环网连接构成等电位接地系统。等电位接地系统分为 PE 和 IE,即一次电气设备主回路和钢结构接地排、二次仪器仪表设备接地排。所有一次电气设备和二次设备的接地端分别用黄绿色接地导线连接到对应的

PE 和 IE 接地排上,然后 PE 和 IE 接地铜排再通过接地电缆与预制舱室外底座上的接地终端连接,最后预制舱室外底座上的接地终端再通过接地引下线与预埋的人工接地网络连接。

4 结论

1) 国内港口较多采用钢筋混凝土结构变电所或传统钢结构箱式变电所,极少应用 E-house 建设港口供配电系统。E-house 在印尼 OBI 项目 HPAL 二期件杂货码头工程上的成功应用为其他港口大规模应用提供了设计思路。

2) 应用 E-house 进行港口供配电系统设计,简化了建站流程,减少了工程接口;预制舱替代土建建筑物,减少了现场施工工作量和窗口期,降低项目 HSE(健康、安全与环境)管理风险;工厂化生产确保产品质量;配送式运输和装配式建设缩短了建设工期。

3) E-house 可根据需要灵活移动,港口使用功能改变时可以整站移位,重复使用,减少工程项目的投资。

4) 作为一种资源节约、环境友好型技术,E-house 为港区供配电建设注入绿色和可持续发展的新技术、新理念。

参考文献:

- [1] 孙靖宇,王宇佳. E-House 的设计及应用探讨[J]. 冶金动力, 2018(8): 7-9, 28.
- [2] 陈德高. E-house 预装式模块化变电站的设计及应用研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2016.
- [3] 林冬生. 预装式箱式变电站设计技术要点探讨[J]. 科学技术创新, 2018(14): 182-183.
- [4] 西安高压电器研究院有限责任公司. 高压/低压预装式变电站: GB/T 17467—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [5] 中国电力科学研究院. 高压/低压预装式变电站选用导则: DL/T 537—2018[S]. 北京: 中国电力出版社, 2018.

(本文编辑 王传瑜)