



# E-House 在港口供配电系统中的应用

王 闯，李春祥，张立斌，陈晓宏

(中交水运规划设计院有限公司，北京 100007)

**摘要：**港口工程具有用电设备多、功率大、供电设施规模庞大且系统复杂的特点。在海外项目中，如果采用传统土建变电所，电气设备安装受土建施工进度制约，且设备在现场安装调试周期较长，对整体施工进度不利。通过对 E-House 和混凝土变电所在建设周期、质量保障、占地面积、投资等 4 个方面的比较，得出“E-House 方案在海外港口建设中更具优势”的结论。对 E-House 的电气设计、结构设计、防尘防腐措施等进行阐述，可为类似项目设计提供参考。

**关键词：**E-House；港口供配电；模块化；箱体防腐；抗内燃弧

中图分类号：U 653.95

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)10-0248-04

## Application of E-House in port power supply and distribution system

WANG Chuang, LI Chun-xiang, ZHANG Li-bin, CHEN Xiao-hong

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** Port engineering is characterized by a large number of electrical equipment, large power consumption, large-scale power supply facilities and complex systems. In overseas projects, if traditional civil substations are used, the installation of electrical equipment is restricted by the progress of civil construction, and the installation and commissioning cycle of equipment on site is long, which is detrimental to the overall construction progress. This paper compares the construction period, quality assurance, floor space, and investment of E-House and concrete substations, and concludes that “the E-House program is more advantageous in overseas port construction”. The electrical design, structural design, dust-proof and anti-corrosion measures of E-House are expounded, which can provide reference for the design of similar projects.

**Keywords:** E-House; port power supply and distribution; modularization; cabinet anticorrosion; anti-internal arc

中远海运港口秘鲁钱凯港一期工程位于秘鲁钱凯湾，共建设 4 个泊位，是以集装箱、散杂货和滚装为主的现代化港区。港区主要用电设备为岸桥、门机、场桥、皮带机、冷藏箱、附属建筑物和室外照明设施。初期规模港区用电设备总装机容量为 55.79 MVA，计算负荷为 17.8 MVA，共需建设 1 座 220 kV 降压站和 12 座变电所。220 kV 降压站位于后方辅建区附近，12 座变电所均匀布置在辅建区和重箱堆场。港区具有用电设备多、

用电功率大、供电设施规模大且系统复杂的特点，如果采用传统土建变电所，则电气设备安装将受土建施工进度制约，且设备在现场安装调试周期较长，对整体施工进度不利，甚至会延迟整个项目的竣工日期。因此，在设计之初，供配电系统即考虑采用 E-house 设备的模块化设计方案。

### 1 E-House 概念

E-House (electrical house) 是近年在中国电气应

用领域出现的一个新术语, 相当于欧洲的 power house, 美国的 power distribution center。它是集成 MV 和 LV 开关柜、不间断电源、远程控制单元、母线槽、桥架等各类电气设备的预制式集装箱, 集装箱内还设置有照明、空调、消防、报警等辅助设施<sup>[1]</sup>(图 1)。

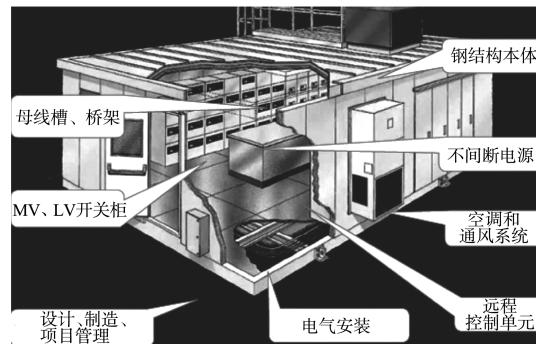


图 1 E-House 内部构造

## 2 变电所方案比选

### 2.1 供电方案

港区初期规模共需建设 1 座 220 kV 降压站和 12 座 22.9 kV 变电所, 在后方辅建区新建 1 座 500-ER-001 变电所, 为后方辅建区建筑物和照明设施提供电源。在前方生产作业区新建 1 座 200-ER-001 中心变电所和 10 座区域变电所。中心变电所为各区域变电所提供电源, 其电源均引自 220 kV 降压站。图 2 显示 220 kV 降压站和 2 个中心变电所的相对位置。

变电所作为港口供配电系统的核心, 选取适合当地和港口特点的建设方案对整个项目的建设尤其重要。笔者结合海外实际工程的特点, 对 E-House 和混凝土变电所从建设周期、质量保障、占地面积、投资等 4 个方面进行比较。



图 2 港区降压站和中心变电所位置

### 2.2 建设周期

变电所的建设通常分为深化设计和报批、土建施工、设备制造、现场安装调试 4 部分, 其中土建和设备制造可以同步进行。E-House 由供应商进行设计和集成, 设计接口少, 深化设计、报批和设备制造时间短; 其现场土建仅需建设设备基础, 工作量小、施工较快, 现场安装调试内容少、周期短。如表 1 所示, 建 1 个 E-House 约需 6 个月, 建 1 个混凝土变电所约需 12 个月。可见, 采用 E-House 比混凝土变电所可缩短约 50% 的建设周期。

表 1 变电所建设周期对比

类别	月			合计
	深化设计和审批	土建/设备制造	安装调试	
E-House	2	3	1	6
混凝土变电所	4	6	2	12

### 2.3 质量保障

#### 2.3.1 E-house

供应商在工厂内将 E-house 内所有设备进行安装和调试, 现场仅需要进行简单的电缆连接和试验。由于大量工作在工厂环境内完成, 具有技术工人充足、生产流程标准化程度高、质量保障体系完善等特点, 因此产品质量得以保障。

#### 2.3.2 混凝土变电所

供应商只提供单体设备, 电气承包商须对各类设备进行安装、集成和调试, 调试效果和质量受电气承包商技术和组织协调能力的影响, 且通常海外项目配置电气专业人员不足, 电气安装调试工作的质量保障措施较少。

### 2.4 占地面积

#### 2.4.1 E-House

近期建设 12 座 E-House, 总占地面积为 1 085 m<sup>2</sup>。E-House 采用紧凑型布置, 单独设置变压器室, 高低压设备、直流屏、控制屏等集成在一个房间; 高压柜采用 SF<sub>6</sub> 气体绝缘柜, 高低压柜、控制柜采用靠墙安装方式。

#### 2.4.2 混凝土变电所

考虑到混凝土变电所建设难度, 遵循在满足供电距离要求的前提下应尽量合并建设的原则, 近期共需建设 9 个变电所, 占地面积为 3 186 m<sup>2</sup>。变电所按照常规布置方案, 变压器室、高压配电室、低

压配电室、直流室、弱电室单独设置；高压柜采用空气绝缘柜，高低压柜、控制柜采用离墙安装方式。

## 2.5 投资分析

E-House 方案中，E-House 壳体、免维护的 SF6 高压气体绝缘柜投资比混凝土价格高；土建成本、管理成本低于传统混凝土变电所。综合分析，2 种形式的变电所投资基本相同。

## 2.6 对比结论

与混凝土变电所相比，E-house 具有建设周期快、质量可靠、结构紧凑等特点，而港口作为货物中转的中心，装卸流程的正常运转需要高可靠性的供电设施作为保障；同时，港口作为存储货物的中心，堆存场地的增加可以提高货物的堆存周期，直接创造经济效益。因此，本港口变电所设计采用 E-House 形式。

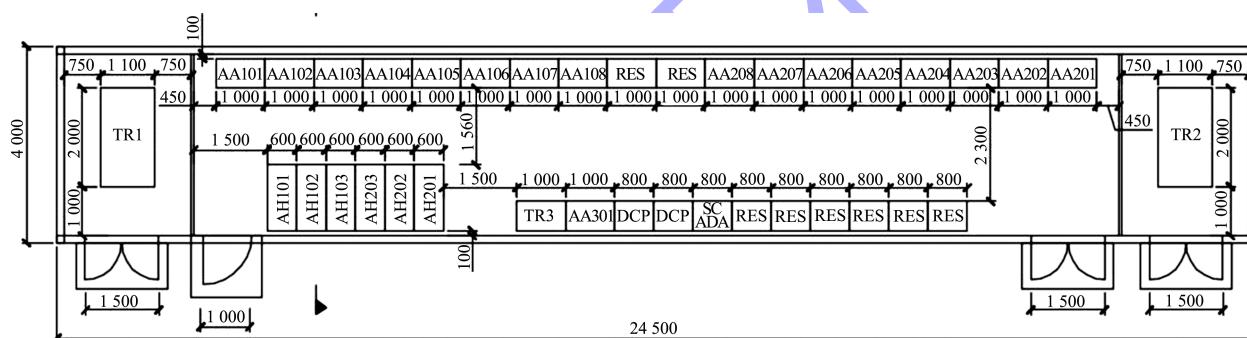


图 3 E-House 内部设备布置 (单位: mm)

### 3.1.2 照明系统

E-House 内设置了工作照明、备用照明和疏散照明系统。工作照明平均照度按 300 lx 设计，采用 LED 光源的管型灯具，并自带 90 min 蓄电池作为后备电源。当变电站断电时，灯具自动切换至蓄电池供电，以确保设备能正常检修和操作。在各出入口设置自带 30 min 蓄电池的安全出口灯，确保在发生火灾时，人员能够顺利疏散。

### 3.1.3 空调系统

为保证空调系统 365 d×24 h 安全持续运行，E-House 配电室内设置工业级的空调系统，采用 N+1 备份配置方式，气流闭环运行。空调系统的设计综合考虑设备散热、箱体的隔热系数、箱体体积等因素，并预留 10% 的制冷量，确保室内  $(25\pm5)^\circ\text{C}$  设备最佳运行温度。空调系统与火灾报

## 3 E-House 设计

### 3.1 电气设计

#### 3.1.1 供电系统

本着分散布置、集中管理的原则，使每一座 E-House 均位于各区域用电负荷中心，以减少末端用电负荷的供电距离，既可提高电能质量，又能减少电缆和管道的损耗。

E-House 内主变压器单独布置，高低压柜等设备合室布置。22.9 kV 系统采用两路电源进线，当一路电源故障或检修时，另一路电源可负担全部用电负荷；高压系统采用单母线分段接线方式，分列运行；生产用低压系统采用单母线分段接线方式，分列运行<sup>[2]</sup>。变电所内交流和直流电源为内部照明、空调系统和开关柜操作系统供电。E-House 内部设备布置见图 3。

警系统设置连锁，火灾发生时，火灾报警系统可远程自动切断空调供电。

#### 3.1.4 火灾报警系统

E-House 室内设置一套火灾报警系统，由消防报警主机和烟感探测器、声光报警器和输出模块组成。火灾发生时，该系统可将报警信号传送至监控中心，并切除空调等非消防电源，有效降低电气火灾造成的经济损失<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.5 接地系统

E-House 的接地系统不仅关系到电力系统和电气设备的可靠运行，还须保障运行和维修人员的人身安全。设计采用防雷接地、工作接地和保护接地共用接地系统，利用 E-House 的金属屋顶作为接闪装置，利用其结构柱作为接地引下线，利用基础内钢筋网作为接地装置，并在混凝土基础

外 3 m 位置敷设一圈 25 mm×4 mm 铜带, 每隔 5 m 加打 1 根长 2.5 m 且直径 20 mm 的铜棒作为接地极。在箱体内设置接地母线和等电位连接系统, 工作人员在箱内可处于同一电位以保障安全, 并对箱体外部接触电压和跨步电压进行校验, 确保人员安全。

### 3.2 结构设计

#### 3.2.1 结构强度

E-House 箱体是根据配电设备的要求定制的, 因此每个 E-House 的结构设计均不相同。本工程采用 STAAD. PRO 有限元计算软件进行结构计算和校核, 主体结构采用 C 型钢和 H 型钢整体焊接而成, 结构强度满足动载荷、静载荷、风载荷、地震、吊装和运输的要求<sup>[4]</sup>。

#### 3.2.2 耐火保温措施

箱体采用双层墙板结构, 内、外墙板中间采用岩棉保温。地板采用 6 mm 钢板整体焊接, 地板上部采用 2 mm 厚工业级防静电地垫。

#### 3.2.3 人员逃生

E-House 箱体上配置有双扇和单扇的门, 其尺寸满足设备检修和人员逃生的要求。门的设计采用双层防火结构, 内部装有阻燃保温层, 门上设有闭门器和推杆式应急逃生门锁, 供紧急逃生使用。

### 3.3 防腐、防尘和抗内燃弧措施

#### 3.3.1 箱体防腐

项目地处太平洋东海岸, 港区周围为沙漠, 属于热带沙漠气候, 干旱少雨、多盐雾, 自然条件比较恶劣, 因此, 箱体的防腐直接影响 E-House 的使用寿命。E-House 箱体的防腐处理遵循 GB/T 30790.5—2014《色漆和清漆 防护漆体系对钢结构的腐蚀防护》标准, 采用多道防腐工艺, 包括前处理、锌层、中间层、面层等多重处理工艺。标准定义了 6 类大气腐蚀环境: C1 很低、C2 低、C3 中、C4 高、C5-I 很高(工业)、C5-M 很高(海洋), 本工程按照 C4 级别控制。

#### 3.3.2 箱体密封与防尘

为了给 E-House 内部设备提供良好的使用环境、保证设备安全稳定运行, 箱体防护等级须达

到 IP54 以上, 并安装微正压系统, 配置微正压空调和风机, 同时采取多层过滤措施, 配合风道均压系统, 使箱体内部产生略高于外部大气压 25 Pa 的气压差, 实现舱内均衡的微正压系统, 使得外界的潮气、灰尘、盐雾等不能侵入 E-House 内部。

#### 3.3.3 抗内燃弧措施

E-House 内的中压开关柜在发生短路故障时故障电弧快速释放能量, 在短时间内形成高压和高温, 破坏柜体结构, 向外壳喷射热气体和炽热粒子, 对人身和设备造成极大伤害, 所以设计能耐受内部电弧故障的开关柜非常必要<sup>[5]</sup>。本项目选用抗内燃弧设计的开关柜实现人身安全防护的最高等级, 确保电气故障时运维人员的人身安全。

### 4 结论

- 1) E-House 作为电气系统模块化、工业化设计的典型方案, 适用于港口工程建设;
- 2) E-House 现场施工简单, 建设周期短, 质量保障体系完善, 投资与混凝土变电所相当, 在海外项目中具有明显优势;
- 3) E-House 结构紧凑, 可为港口节省出空间布置集装箱箱位, 经济效益显著;
- 4) 对 E-House 的电气设计、结构设计、防腐等措施进行阐述, 可为类似项目提供参考。

### 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.
- [2] 中国航空规划设计研究总院有限公司.工业与民用供配电设计手册(上册)供配电系统设计[M].4 版.北京:中国电力出版社, 2016: 43-106.
- [3] 中华人民共和国公安部.火灾自动报警系统设计规范: GB 50116—2013[S].北京: 中国计划出版社, 2013.
- [4] CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. General Technical Specification for E-HOUSE[R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2021.
- [5] 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.