

# 装配式建筑在变电站中的应用及研究

曾锐碧, 范绍有

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 装配式建筑具有绿色施工、环保节能、节约工期、提高质量等优点, 顺应电网建设的发展潮流。本文结合电力工程实例, 对装配式建筑的现状、建设模式、材料应用、造价和建设工期等方面进行比较分析和研究, 并重点论述装配式电力构筑物设计方案、技术难点、施工要点, 为日后该建筑模式在变电站的推广应用提供借鉴。

**关键词:** 装配式建筑; 装配材料; 技术方案; 技术难点; 施工要点

中图分类号: TM63

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)S1-0239-05

## Application and Research of the Prefabricated Building for Substation

ZENG Ruibi, FAN Shaoyou

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

**Abstract:** Based on the analysis of practical project in electric power engineering community, This paper studied and analyzed many issues including the model of prefabricated building, material application, its cost keeping and construction period. mainly discussing the prefabricated Building design, technical difficulties and construction points of Electric Power Engineering, aiming to provide reference for popularization and application of prefabricated building in electric power engineering community.

**Key words:** prefabricated building; material; technical difficulties; construction points

随着社会的发展, 工程建设在“四节一环保”(节能、节材、节水、环境保护)方面要求越来越高, 对于变电站建设, 传统的现浇混凝土建筑模式在目前电力建设工期越来越短的情况下, 其弊端更加突出, 主要表现在: 现场户外作业周期长、容易受天气影响、施工占用场地大、耗费大量劳动力、对周围环境的影响大等; 同时大量湿作业施工, 耗费过多的水泥、砂浆、水, 并产生施工废料、废水, 不利于节材和绿色环保。另外, 这种现浇施工模式, 基本需要现场人工实施, 由于施工队伍水平参差不齐, 工程完成质量难以保证。近年来, 国内两大电网公司国家电网和南方电网, 分别提出“两型一化”<sup>[1-2]</sup>、“3C 绿色”的变电站建设理念, 对变电站的建设提出更高要求, 其中核心涵盖人性、绿色、环保、环境协调几个方面, 而工厂化、模块化、标准化的装配式建筑模式, 正是顺应电网建设的发展潮流。

## 1 装配式变电站的产生及发展

装配式建筑<sup>[3]</sup>又称为建筑工业化, 在西方也被称为“积木式建筑”, 建筑模式的最大变化是由最初的“建造”变成“制造”。装配式建筑一般通过工厂加工半成品和现场安装两个阶段进行建设。大部分建筑主要构件在工厂通过现代化生产线加工, 现场安装则是工厂生产线的延续, 工人按照一定的顺序进行安装, 大部分的工序交由更精密的机器来完成, 从而大大提高工程精细化程度。装配式建筑因其独特的建筑优势, 在欧美及日韩发达国家被广泛使用, 并形成了一套完整的建筑体系及产业化渠道。

国内电网建设于 2007 年开始出现装配式变电站<sup>[4]</sup>, 截止 2014 年, 全国有数十个装配式变电站已建成投运或建设中。其中, 2009 年建成投产的广东 500 kV 樟州变电站, 是国内首个实现全装配式的 500 kV 变电站。该站的所有构筑物(包括主控通信楼、配电室等辅助生产建筑、主变防火墙、高抗防火墙、围墙)均采用装配式建设模式。上述构筑物结构主体为钢结构, 墙体采用 ALC 板(蒸压

收稿日期: 2015-06-11

作者简介: 曾锐碧(1974), 女, 广东广州人, 高级工程师, 学士, 主要从事变电站设计及项目管理等方面工作(e-mail)zengruibi@gedi.com.cn.

加气混凝土板)(防火墙则因防火需要采用混凝土柱+ALC板的模式),实现建筑构件工厂加工、现场装配,从完成情况看,该工程在缩短工期、节水节材、绿色环保、提高施工质量等方面取得了良好的效益,并于2013年被评为国家优质工程奖。

## 2 装配式变电站工程实例应用和难点分析

为实现绿色施工、规范质量、节约工期和减少现场人力成本的工程建设目的,500 kV 漳州站尝试采用建筑部件工厂化预制,现场装配化施工的建筑模式,以创建绿色工业化装配式建筑变电站。

装配式建筑其结构大多为钢结构或钢混结构,不论哪种结构模式的技术都已经非常成熟,不做详细说明<sup>[5]</sup>。装配式建筑的维护结构(即墙体材料)是目前国内所有装配式建筑需要面对的共性问题。因此对围护墙体材料设计方案进行了研究。

### 2.1 围护墙体材料的国内应用情况

根据目前国内已建成的装配式建筑情况,围护墙体材料可归为两大类:预制板类、预制砌块类。

第一类,预制板类。预制板类是目前国内装配式建筑维护墙体的主流,其最大特点是薄壁、轻质、环保,有利于工厂加工现场装配、干作业施工、施工快,使建筑空间得到充分利用,提高墙体的抗震能力。国内现有的且相对成熟的该类材料有:蒸压加气混凝土板(ALC板)、增强纤维水泥板、石膏板、埃特外墙板(佳美板、佳壁板)、彩钢板(单板、复合板)等。

第二类,预制砌块类。预制砌块常见的有蒸压加气混凝土砌块、预制水泥砖等,其主要特点是体积大、质量轻,砌筑速度比普通砖快,但砌筑工艺与普通砖差别不大,装配式程度有待提高,仍需要采用水泥砂浆砌筑,墙体成型主要还是靠人工作业、湿作业来完成,所以作为装配式建筑,除了出于墙体防火考虑外,一般情况下很少采用预制砌块类。

预制板类材料也有各自的不同特性,需要根据建筑不同的使用性质、环境条件、工程预算等实际情况确定。

由于增强纤维水泥板、石膏板、埃特外墙板、彩钢板等属于薄壁板,厚度一般在8~20 mm之间,因此其缺点是保温、防火性能较差,单用其作为墙体维护,难以满足建筑的保温隔热、防火要求,通用做法是采用双层板中间夹玻璃保温棉(或岩棉防

火面)。该类墙体构造施工相对繁琐,还需考虑防潮、防凝露问题,增加防潮设计。

与增强纤维水泥板、埃特外墙板等相比,蒸压加气混凝土板的厚度适中,厚度一般在50~300 mm之间,但其隔声、保温隔热、耐火极限等性能却优势明显,根据相关检测,100 mm厚的蒸压加气混凝土板墙体其耐火极限大于3.0 h,高于一般防火墙的要求,适用城市户内变电站等防火、节能、噪声控制要求较高的变电站。相对于其他预制板材,蒸压加气混凝土板墙体无论是施工技术或设计标准,都已较为成熟,近年华东、华南地区的电力工程多有实践。另外,由于蒸压加气混凝土板具有优异的防火、防水性能,除了用于建筑围护墙体,还可用于常规布置的变电站防火墙、围墙,可大大缩短施工安装周期。

华东地区已建成投产的变电站大多采用蒸压加气混凝土板作为墙体维护材料,而外装修材料则根据周围环境协调需求有所不同,有铝塑板、外墙涂料、墙面砖、石材等。铝塑板及外墙涂料都存在耐久性问题,特别是酸雨较多的南方湿热地区,对其耐久性影响更大;石材除了造价过高外,还因为重量过大而不能直接挂在ALC板上;贴墙面砖耐久性有保证,但需要耗费大量人工而且需要湿作业,与装配式变电站宗旨相违背;外墙采用彩钢板,可实现墙体材料和装修材料的全装配,通过工厂加工、现场装配,达到全过程干式作业,施工效率高,受气候条件影响较小,不产生施工废料和废水,适合装配式变电站的外装修。

### 2.2 500 kV 漳州站建构筑物结构型式和墙体材料方案分析

500 kV 漳州站主要建构筑物有主控通信楼、中央配电室、警传室、消防泵房、围墙、防火墙等,各建构筑物结构型式和墙体材料见表1。

表1 500 kV 漳州站建构筑物结构型式和墙体材料方案  
Table 1 Design of Structure Type and Wall Materials of Building Structures in 500 kV Zhenzhou Substation

类别	建筑物名称	结构形式	墙体材料	内装修	外装修
单层建筑物	380 V 中央配电室、消防泵房	门式刚架结构	双层压型钢板(夹岩棉)	压型钢板	压型钢板
多层建筑物	主控通信楼	钢框架支撑结构	ALC板	刮腻子涂乳胶漆	压型钢板
构筑物	防火墙、围墙	现浇钢筋混凝土柱(设凹槽)	ALC板	-	乳胶漆

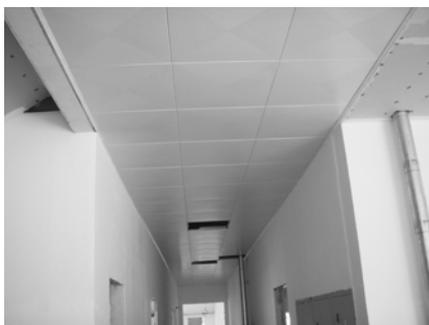
### 2.2.1 主控通信楼

主控通信楼主体框架采用钢梁、钢柱, 楼板采用钢筋桁架支撑式现浇混凝土。建筑墙体均采用 150 mm 厚蒸压轻质加气混凝土板 (ALC), 墙板通过角钢、钩头螺栓、板管等连接件与钢结构的梁、楼地面连接。

钢柱采用箱型截面, 钢梁采用 H 型钢, 钢号 Q345B。楼板及屋面板采用钢筋桁架现浇楼板, 混凝土强度 C30。该楼板底模及主要钢筋均在工厂预制, 现场铺设后只需进行简单钢筋工程便可浇筑混凝土, 有利于加快装配式变电站的施工进度。



(a) 主控通信楼



(b) 主控通信楼室内走廊

图 1 建筑物

Fig. 1 Building

### 2.2.2 水泵房及 380 V 中央配电室

水泵房及中央配电室的主体结构及屋面均采用轻钢结构。墙体和屋面均采用双层压型钢板, 中间夹岩棉。

钢结构装配方案为单跨双坡门式刚架结构体系, 基础采用柱下独立钢筋混凝土基础形式。中央配电室和泵房的刚架梁柱分别采用 HW200 × 200 HW150 × 150, 钢号 Q235B。

### 2.2.3 围墙和防火墙

围墙和防火墙采用 150 mm 厚蒸压轻质加气混凝土 (ALC) 板, 板的两端嵌镶在钢筋混凝土柱预设

的槽内。墙内外表面涂丙乳密封液一道、披防水腻子一道、刷外墙防水弹性涂料两道。各块 ALC 板材宽度均为 600 mm。



图 2 变电站装配式围墙

Fig. 2 Fabricated Walls in Substation



图 3 变电站装配式防火墙

Fig. 3 Fabricated Firewalls in Substation

## 2.3 工程技术难点

### 2.3.1 防火

钢结构的防火。根据《建筑设计防火规范》GB 50016 的要求, 柱和梁的耐火极限分别为 2.5 h、1.5 h, 为了满足防火要求, 所有的柱、梁及其与墙板的连接钢件均作防锈处理后采用薄涂型防火涂料。

墙体材料的防火。选用的 ALC 板材料, 根据国家标准图集检测报告, 150 mm 厚度 ALC 板的墙体耐火极限大于 4.0 h, 满足《建筑设计防火规范》及《火力发电厂及变电站设计防火规范》规定的防火墙耐火极限不小于 3.0 h 的要求。

### 2.3.2 墙板缝处理和防水

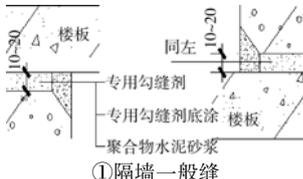
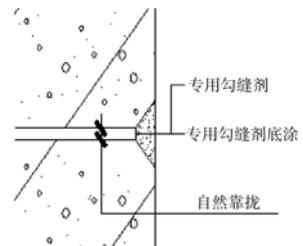
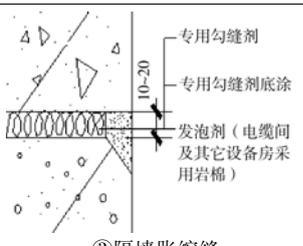
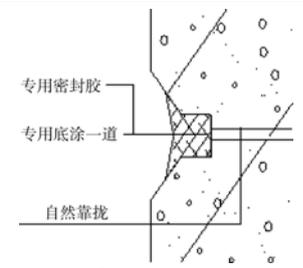
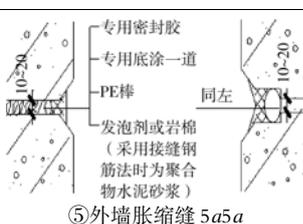
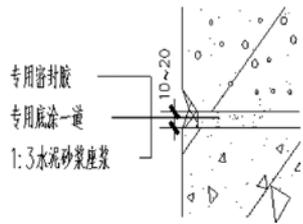
ALC 墙板与墙板、墙板于楼地面、墙板梁柱之间的缝隙处理方法有所区别, 采用的填缝剂均有厂家配套提供。板缝在挂腻子之前采用耐碱玻纤网格布或钢丝网防裂。其具体处理方法见表 2。

防止构件拼接处不漏水, 设计在水平拼缝处采用三道防水措施: 材料密封防水、空腔构造防水排水、空心橡胶密封条防水。墙体与窗框处的防水可

采用铝合金窗框与墙板整体制作。

表2 ALC 墙板缝处理方法

Table 2 ALC Wall Slab-joint Treatment Method

板缝编号、分类及处理方法	板缝位置
 <p>①隔墙一般缝</p>	采用插入钢筋法安装的隔墙板顶缝和板底缝。
 <p>②隔墙一般缝(包括外墙内面)</p>	隔墙板侧边之间的接缝。
 <p>③隔墙胀缩缝</p>	1) 隔墙两端缝。 2) TU板的顶缝。
 <p>④外墙一般缝</p>	外墙除胀缩缝以外的全部板与板间的接缝。
 <p>⑤外墙胀缩缝 5a</p>	1) 外墙板全部横缝。 2) 外墙板转角处竖缝。 3) 长度大于20 m板墙面, 每隔20 m约一道竖缝。
 <p>⑥外墙胀缩缝</p>	外墙板墙端部与其他材料相接缝。

### 2.3.3 钢结构防腐

钢结构的防腐在刷防火涂料前完成, 钢结构防锈防腐做法为: 所有构件最低除锈等级 Sa2 1/2 级。采用“冷喷锌 + 面漆”防腐: 喷涂 ZD96 - 1 冷喷锌一道 60 μm, ZS43 - 40 可复涂聚氨酯面漆一道 40 μm。要求冷喷锌层锌含量在 96% 以上, 喷锌层耐盐雾考核 1 800 h 以上。采用有气喷涂或无气喷涂施工方式。防腐要求满足 30 年免维护使用寿命。埋在地下的钢构件外包至少 50 mm 厚混凝土。

### 2.4 关键施工要点

#### 2.4.1 主控通信楼

主控楼 ALC 板施工顺序: 墙板放线→ 钢梁翼缘焊角钢→ 墙板开钩头螺栓孔→ 墙板底打入管板→ 立板就位→ 板材校正→ 板顶固定钩头螺栓(焊接)→ 板底管板固定(射钉)。

外墙板安装: 在钢梁底翼缘上通长焊接 L63 × 6 的导向角钢, 外墙 NALC 板上部角钢位置钻钩头螺栓孔, 墙板就位后, 通过 φ12 钩头螺栓@600 与钢梁底翼缘所焊角钢连接固定(焊接)。外墙板底部与基础地梁或楼地板采用管板@600 连接固定, 每个管板采用 2 个射钉固定在混凝土上。

内墙板安装: 墙板顶部及底部均采用管板@600 与地面和天花板底混凝土固定连接, 用射钉固定; 当墙板位置顶部有钢梁时, 管板与钢梁采用焊接固定。

门窗洞口加固处理: 外墙门窗洞口: 尺寸大于 2 400 mm 时, 门洞口采用横料和竖料均为 L110 × 10 角钢加固铁件, 竖料上端焊接在钢梁上, 下端焊接钢板, 钢板采用 4M12 膨胀螺栓固定楼地板上, 横料根据门洞口高度与两侧的竖料焊接; 其它外墙门窗洞口加固铁件横料采用 L80 × 8 角钢、竖料采用 L90 × 8 角钢, 作法与上相同。

内隔墙所有门窗洞口则根据孔洞大小分别采用横料及竖料为 -100 × 8、-80 × 8、-70 × 8 的扁钢加固, 竖料扁钢顶部与钢梁焊接后, 还需与墙板采用 φ8 自攻螺钉@300 固定, 横梁扁钢根据洞口高度与两侧竖料焊接, 顶部还需采用 20 × 3 扁钢或 φ8 钢筋与上钢梁焊接固定(吊住门窗洞口顶部墙板); 小于 800 的孔洞采用现场直接开孔。

#### 2.4.2 防火墙及围墙

防火墙及围墙 ALC 板施工顺序: 墙板钻孔→ 吊机起吊安装→ 板材平衡就位→ 安装托架(≤5 块)

→墙板弹线调直→吊装完后现浇压顶梁。

防火墙、围墙 ALC 板采用横向安装, 防火墙和围墙柱留设凹槽(内镶 ALC 墙板用), 压顶梁必须在 ALC 板吊装完成后施工; 横装法采用吊机安装, 在板中间靠上位置钻孔穿钢丝绳或采用专用夹具将板水平吊起到柱顶, 对准凹槽往下放, 在凹槽通过木尖调整板的垂直度; ALC 板为轻质材料, 承重性能较差, 防火墙高度较高, 为防止底部墙板受压损坏, 需在 $\leq 5$ 块墙板位置设置托板, 减轻底墙板受力。调整好水平和垂直度后板缝之间和板与柱之间采用专用填缝胶封堵。



图 4 ALC 板吊装

Fig. 4 ALC Panel Hoisting

#### 2.4.3 ALC 板垂直度平整度控制及裂缝技术处理

1) 对建筑物内外墙板进行排版策划, 合理编排门窗孔洞位置; 施工过程中严格按照排版策划图施工。

2) 全墙安装完成后, 墙板上下板端缝以 1:3 聚合物水泥砂浆填充, 达到强度后撤掉木楔, 并再用水泥砂浆填实。外墙面板缝必须采用密封胶防水, 胀缩缝或宽度超过 15 mm 的间隔缝内必须填发泡剂或嵌入 PE 棒, 有防火要求的可以填岩棉, 再涂勾缝剂底涂, 最后打密封胶, 密封胶封闭时应留凹缝。

3) 对于内墙面板缝, 不需要填发泡剂, 接缝处先涂刷高分子密封底涂, 再用专用勾缝剂填缝, 专用勾缝剂与板材材质基本接近, 补平后面再贴防裂耐碱玻纤网格布加强。

### 3 应用效果

500 kV 涪州变电站采用装配式方案后, 装配式建筑物、围墙、防火墙等施工工期缩短了近一半, 现场湿作业和施工废料大幅度减少, 在工期、环保方面表现出很大优势<sup>[6]</sup>。由于目前 ALC 板的生产厂家主要集中在华东地区, 本工程板材异地采购, 运输成本较高, 但随着装配式建筑的发展和应用推

广, 其材料成本问题会逐步得到改善。造价对比见表 3<sup>[7]</sup>。

表 3 装配式结构与钢筋混凝土结构土建造价对比表

Table 3 Civil Cost Comparison Table for Fabricated Structure & Reinforced Concrete Structure

工程或费用名称	装配式/万元	常规(钢筋混凝土)式/万元	差值/万元
主控楼一般土建	425.74	222.01	203.73
380 V 配电装置室一般土建	35.70	26.81	8.89
生活及消防水泵房一般土建	14.70	8.96	5.74
主变压器防火墙	45.99	27.27	18.72
高抗系统防火墙	105.37	68.79	36.58
围墙	94.80	45.26	49.54
合计	722.30	399.10	323.20

注: 钢筋混凝土结构梁、柱、板采用钢筋混凝土结构, 而装配式结构梁、柱采用 H 型钢, 楼板采用压型钢板作为底模、墙板采用 ALC 板。其他的装饰、装修同钢筋混凝土结构。

### 4 结论

通过大量装配式建筑的实践探索, 有效验证了其特点和优越性。在统一质量标准、节省人力物力、缩短工期、绿色环保等方面具有一定优势。装配式建筑的应用与推广, 技术创新体系和工业化生产方式达到新水平, 建筑产业结构实现全面升级, 全面实现现代建筑工业化。

#### 参考文献:

- [1] 国家电网公司基建部. 国家电网公司“两型一化”试点变电站建设设计技术导则 [R]. 2007.
- [2] 王尉, 王磊, 杨明. “两型一化”变电站设计的初步实践 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2008, 41(S1): 300-302.
- [3] 柳国良, 张新育, 胡兆明, 等. 变电站模块化建设研究综述 [J]. 电网技术, 2008, 32(14): 36-38.
- [4] 徐峰. 装配式变电站的发展及土建设计 [J]. 科技传播, 2010(5): 86-87.
- [5] 叶建峰. 110 kV 全预制装配式变电站建设实践 [J]. 供用电, 2010(2): 42-45.
- [6] 全国一级建造师执业资格考试用书编写委员会. 建设工程项目管理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [7] 南方电网公司. 中国南方电网公司标准设计和典型造价 V1.0 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

(责任编辑 高春萌)