

变电站装配式建筑的研究与探讨

冉兴宇

中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司

摘要: 变电站的建设周期至关重要, 建筑物的施工占用了大量的建设工期。本文通过对变电站建筑物主体结构、楼屋面板结构形式、墙体维护材料的技术指标对比分析, 推荐安全可靠、绿色环保、施工便利、造价合理的装配式建筑物方案。

关键词: 变电站; 装配式; 建筑物

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2022. 13. 095

一、概述

常规变电站建筑物大多采用现浇钢筋混凝土框架结构、砌体填充墙的建设模式。混凝土框架需现场搅拌浇筑成型, 有模板安装拆除、钢筋运输绑扎混凝土拌制、浇筑振捣养护等施工工序, 施工现场噪声大、扬尘多, 施工周期较长、生产效率低, 施工速度慢, 对周围环境污染大、建筑材料废料垃圾多, 工人劳动强度大, 施工质量难以控制等弊端, 该种建设模式已越来越不适应社会发展的要求。

我国正在大力推进新型建筑工业化, 其主要实现途径是创新发展装配式建筑。有利于节约资源能源、保护周边环境、提升劳动生产效率、提高质量安全水平, 有利于促进建筑业与信息化工业化深度融合、推动化解过剩产能。

二、主体结构选型

根据国内目前装配式建筑物的发展现状, 结合变电站建筑物的特点, 可选择的装配式结构方案主要有装配式钢结构与装配式混凝土结构这两类。



图2-1 装配式钢结构



图2-2 装配式混凝土结构

(一) 装配式混凝土结构

装配式混凝土结构是用起重机械及其他施工机械将工厂化生产的预制混凝土构件进行组合安装的一种结构形式。该结构形式制造速度快, 对周边的环境影响小, 建筑材料节约, 且防腐、耐久性好。其整体性能和抗震性较差, 节点连接复杂且可靠性较差, 同时梁板柱等大型构件的运输、堆放、吊装难度较大, 二次湿作业工作量大, 不能完全实现工业化、标准化、模块化, 小规模应用时生产成本较高。

(二) 装配式钢结构

装配式钢结构是用钢结构作为承重骨架的结构形式。钢构件在工厂加工后, 运到现场进行组装, 主体均采用螺栓连接, 结构无须二次湿作业, 施工周期短、

整体性好, 其结构传力路径清晰, 具有良好的延性和抗震性能, 能维持承载能力和较大塑性变形。装配式钢结构建筑是最符合产业化的生产方式, 易做到设计标准化、模数化, 构配件生产的工厂化、装配化, 施工也便于机械化。

(三) 对比分析

变电站的预制建筑主体结构材料可选用混凝土及钢构件。变电站建筑图主体结构形式对比详见表1。

表1 变电站建筑物主体结构形式对比

	装配式钢结构	装配式混凝土结构
自重	轻质高强	自重大
施工速度	工厂加工, 现场拼装, 施工简单,	主要构件工厂预制, 现场需要湿作业
工业化程度	工厂全预制, 预制程度高	部分构件工厂预制, 预制程度较高
节能环保	回收率高, 对环境的影响和能源消耗小	回收率不高, 对环境的影响和能源消耗较小
抗震性能	钢结构延性好, 抗震性能好	对拼接节点要求高, 处理不好存在安全隐患
连接性能	节点连接技术成熟, 安全可靠	对节点设计、施工要求高
建筑质量	施工质量高	部分构件工厂预制, 施工质量较高
经济效益	全寿命周期内经济效益好	全寿命周期内经济效益较好

综上所述, 装配式钢结构具有明显优势, 符合装配式建设的发展需求, 具有更强的适用性, 故推荐采用装配式钢结构方案。

三、楼屋面板结构形式及材料选择

与传统的现浇混凝土板相对的新型楼屋面板结构形式主要包括: 钢筋桁架自承式板、混凝土叠合板、压型钢板-混凝土组合板、压型钢板等, 通过对比分析, 选出适用的楼屋面板结构形式及材料。

(一) 钢筋混凝土现浇板

常规钢筋混凝土现浇板, 强度高、刚度大, 防火和耐久性好, 具有整体性、耐久性、抗震性好, 刚度大, 预留孔洞方便等优点。但需要大量的模板及满堂脚手架, 只能逐层施工, 养护周期长, 需要劳动力多, 周转材料多, 施工进度慢, 工业化程度低, 不能体现节能环保的要求。



图3-1 钢筋混凝土现浇板

(二) 钢筋桁架自承式板

钢筋桁架自承式板是将钢筋加工成钢筋桁架，通过斜腹杆连接在一起，并将钢筋桁架与压型钢板焊接连接成一体的组合楼板。其自身具有足够的强度及刚度，铺设后不需另行设置支撑，省去了支模及拆模的工序。同时钢筋桁架替代部分楼板钢筋，减少现场钢筋绑扎工作量，具有成本节约、工期加快等特点。该种楼板采用工厂标准化生产，无论是钢筋布置还是上下层钢筋间距、保护层厚度，都通过高精度、自动化设备来控制，但加工精度要求高、工作量大也是该类型楼板工程的重点和难点。

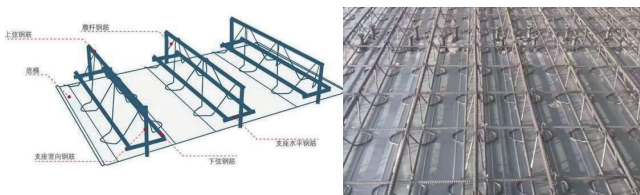


图3-2 钢筋桁架自承式板

(三) 混凝土叠合板

混凝土叠合板是由预制板和现浇钢筋混凝土层重叠而成的装配整体式楼屋面板。预制板既是楼板结构的组成部分之一，又是现浇钢筋混凝土叠合层的永久性模板，现浇叠合层内可敷设水平设备管线。预制板底面平整光滑，板缝经专业处理后，顶棚可以不再抹灰。

混凝土叠合板具有现浇楼板的整体性好、刚度大、抗裂性良、减少钢筋消耗、模板节约等优点。其主要受力部分构架在工厂加工制造，工业化程度高，质量易于保证，流水作业生产速度快，并且可以提前加工制造，不占建设工期，预制部分的模板可以重复使用。

其缺点为薄板刚度较差，运输和安装过程中易损坏；与叠合层混凝土交界处龄期存在差别，板缝间易出现裂缝；现场需要湿作业，不能完全实现工业化，在节能环保的要求上尚有缺陷。

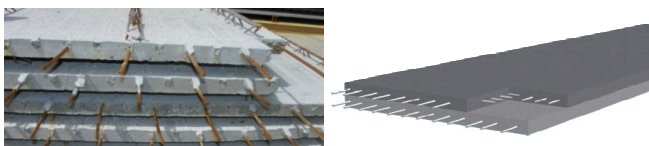


图3-3 混凝土叠合板

(四) 压型钢板混凝土组合板

压型钢板混凝土组合板是利用凹凸相间的压型薄钢板做衬板与现浇混凝土浇筑在一起支承在钢梁上构成整体型楼板，主要由钢梁、楼面层和组合板三部分组成。

压型钢板作为永久性模板，承受混凝土自重和施工荷载；压型钢板作为底面配筋，与混凝土产生组合效应，充分发挥了钢材与混凝土两种材料的力学性质，由于组合楼板承担着传递水平力的作用，故而钢梁与压型钢板连接处应设置必要的抗剪栓钉，设计时考虑钢梁与楼板的组合作用，可明显改变梁的承载力及稳定性，有效降低梁高。压型钢板较传统木模板，施工时发生火灾概率大为降低，有利于安全文明施工。

压型钢板便于铺设通信及电力等管线，其本身为下部房间提供了平整的顶棚表面，可直接作顶棚使用，不需二次装修，室内不需吊顶。多层建筑装配式钢框架结构安装完成后，各层楼板可平行多层作业互不干扰，可大大加快施工进度。

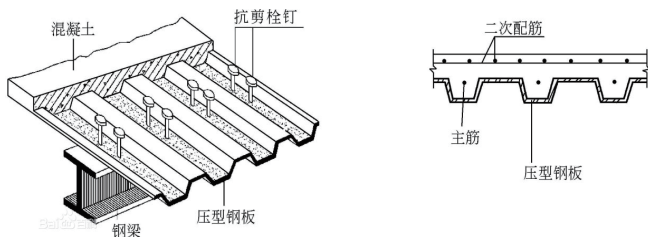


图3-4 压型钢板-混凝土组合板

(五) 压型钢板

压型钢板屋面是利用凹凸相间的压型钢板支承在钢檩上形成的轻型屋面结构。该屋面结构形式最为轻质，屋面恒荷载最小；其施工工期短，安装简单，无须大型吊装设备及拆支模，机械化、工业化程度高。受限于其承载力，其上建筑做法亦需采用轻质做法，且需与压型钢板有较强的适应性，同时需考虑其防水保温性能，满足建筑节能设计要求。



图3-5 压型钢板

(六) 对比分析

钢筋混凝土现浇板、钢筋桁架自承式板、混凝土叠合板、压型钢板混凝土组合板、压型钢板等几种楼屋面结构分析对比详见表2。

综上所述，变电站建筑物推荐楼面板选用压型钢板-混凝土组合楼板，屋面板选用压型钢板屋面，更符合构配件的工厂化、装配化的要求。

四、墙体围护材料选择

相对于传统的墙体材料，新型墙体材料的品种和用途十分多样、适用性更强。板材是装配式建筑墙体材料的主要类型，板材轻质高强，减少结构自重荷载，提高劳动生产率，扩大建筑使用范围。

目前市场上常见的预制板材有：FC板（纤维水泥板）、GRC（玻璃纤维增强水泥板）集成复合板、压型钢板夹芯板、ALC板（蒸压轻质加气混凝土板）等，通过对比选出适用的墙体维护材料。

(一) FC板（纤维水泥板）

FC板是以硅质、钙质材料为主原料，加入植物纤维，经过制浆、抄取、加压、养护而成的一种新型建筑围护材料。

FC板具有以下特点：（1）防火绝缘：不燃 A 级；导电系数低。（2）防水防潮：在半露天和高湿度环

表2 楼屋面板结构形式及材料对比

	钢筋混凝土现浇板	钢筋桁架自承式板	混凝土叠合板	压型钢板混凝土组合板	压型钢板
施工速度	现场支模, 绑钢筋, 施工速度慢	钢筋绑扎减少70%, 施工速度较快	现场需绑扎钢筋, 施工速度较慢	无需模板和脚手架, 施工速度快	吊装方便, 安装快捷
工程质量	完全依靠现场手工劳动, 质量偏低	部分构件工厂生产, 质量一般	现场部分湿作业, 质量一般	无需模板和脚手架, 质量较高	拼缝和节点处理简单, 质量易控制
经济效益	成本较低	楼板较厚, 经济效益一般	成本较低, 经济效益一般	上部结构荷载减小, 节约下部基础费用	成本低, 经济效益好
耐久性	耐久性一般	耐久性一般	耐久性较好	耐久性好	耐久性好
节能环保	现场工作量很大, 需模板, 环境污染较严重	现场湿作业量较大, 不需模板, 污染较少	现场湿作业量较大, 不需模板, 污染较少	现场湿作业量较大, 不需模板, 污染较少	工业化程度较高, 无污染, 重复利用率高

境, 性能稳定, 不会下陷或变形。(3) 隔热隔音: 导热系数低、隔热保温性能好, 产品密度高、隔音好。

(4) 轻质高强: 强度高且不易变形、翘曲; 重量小、结构自重荷载小。(5) 施工简易: 干作业方式, 龙骨与板材的安装施工简单, 速度快。(6) 经济美观: 外观颜色均匀、表面平整, 可使建筑表面色彩统一。

(7) 安全无害: 无放射性物质。(8) 耐久性好: 耐酸碱、耐腐蚀等。

但是FC板需要现场进行骨架施工, 贴制FC板, 不能实现全预制, 导致施工效率不高, 不能完全符合工业化的要求。



图4-1 FC板(纤维水泥板)



图4-2 GRC集成复合板

(二) GRC(玻璃纤维增强水泥板)集成复合板

GRC 集成复合板是用水泥砂浆作为基材、抗碱玻璃纤维作为增强材料制成板材面层, 然后将其与其他保温绝热材料复合而成的一种新型复合板, 该板具有高强、轻质、环保、防火、防水、耐候性强、艺术质感好、安装简便等优点。

GRC集成复合板特点: (1) 耐水: 优异的耐水性能。(2) 防火: 耐火极限大于3.5h, 超强的防火性能。(3) 隔音: 轻质隔墙墙体可隔音40-50分贝, 墙体厚度和表面处理不同而隔音效果不同。(4) 轻质高强: 9cm、12cm厚度的内墙板, 重量仅60kg/m²~64kg/m², 与红砖、灰砂砖相比, 结构荷载约60%; 强度远远超过同类墙材的抗震性能。(6) 易施工: 由于是多孔, 可钻、可锯、可钉, 自由调整尺寸, 故对水电的管道安装及埋设等施工方便。(7) 效率高: 高度按实际施工尺寸定制, 特殊尺寸还可现场切割, 可大大

缩短建筑施工工期。

(三) 压型钢板夹芯板

压型钢板夹芯板是两侧采用压型钢板材料形成面层, 中间夹以保温隔热材料, 这种墙板具有质量轻、强度高、施工方便快捷、色彩鲜艳、可多次拆装、保温、隔热性能较好, 在钢结构建筑中应用较为广泛。该种墙体具有以下特点: (1) 预制化程度高: 外墙板工厂预制。(2) 轻质高强: 能降低建筑物的结构荷载。(3) 施工快: 现场无须二次加工, 不影响其他工序的施工; (4) 气密性、防水性: 双重密封防水设计系统使建筑外墙达到更优异的气密、水密效果。(5) 防火性能: 不燃A级防火性能。(6) 隔声、吸音: 岩棉等夹芯板可以有有效的消减噪声的传播, 同时具有极好的吸音效果。(7) 保温隔热: 材料有一定的空隙, 导热系数低, 保温隔热性好, 能防止内墙表面结露的产生。

(四) ALC板(蒸压轻质加气混凝土板)

ALC板是由硅砂、水泥、石灰等为主要原料, 由经过防锈处理的钢筋增强, 经过高温、高压、蒸气养护而成的多孔混凝土板材, 是一种性能优越的新型建筑材料。

ALC板具有以下特性: (1) 较好的耐火性、耐久性、隔音性以及抗渗性, 能满足变电站建筑物防火耐久要求。(2) 生产工业化、标准化, 安装产业化; 造价低, 绿色环保。(3) 施工简单, 易于操作, 具有科学合理的节点设计和安装方法, 方便吊挂空调热水器洗手盆等。(4) 采用干法施工, 适用于降低现场噪声污染; 场地条件适应性强, 可大大节约工期, 减少能源消耗。



图4-3 压型钢板夹芯板

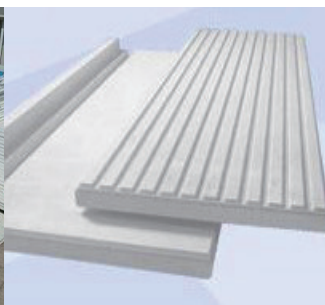


图 4-4 ALC板

表3 墙体围护材料对比

	FC板	GRC集成复合板	压型钢板夹芯板	ALC板
自重 (kg · m ⁻³)	900~2000	1300 ~2000	70~200	500
强度 (MPa)	抗折: 17~28Mpa; 抗冲击 2~2.5kJ/m ²	抗折: 18~26Mpa 抗冲击8~10kJ/m ²	抗弯强度为 0.5kN/m ² 时, 挠度应小于跨度的1/250	抗压≥4
耐火	2h	耐火极限≥3.5h	1h	100厚3.23h
抗渗	性能稳定	优异的耐水性	抗渗性好	抗渗性好
隔音	>40dB	40~50dB	40~50dB	100厚两侧涂料41.2dB, 隔音好
耐久	耐久性较好	耐久性较好	耐久性一般	无机硅酸盐材料, 耐久性好
运输	运输方便	运输方便	运输方便	运输方便
现场作业情况	需龙骨或基材配合使用	需连接件配合使用	无湿作业, 需拼接安装	无湿作业, 安装方便
绿色环保	安全无害	无放射性, 无有害物质	安全无害	无放射性, 无毒害气体

表4 装配式建筑方案

建筑物 \ 结构部位	主体结构	楼面	屋面	墙体围护材料
多高层建筑	钢框架	压型钢板-混凝土组合板	压型钢屋面	外墙: 压型钢板夹芯板; 内墙: GRC集成复合板
单层建筑	单层门式刚架轻钢结构	\	压型钢屋面	外墙: 压型钢板夹芯板; 内墙: GRC集成复合板

(五) 对比分析

纤维水泥板 (FC板)、GRC (玻璃纤维增强水泥板) 集成复合板、压型钢板夹芯板、ALC 板 (蒸压加气混凝土板) 等几种围护材料的对比分析见表3。

由于变电站建筑物本身的特殊性, 高等级的防火指标决定了变电站建筑应选用防火、保温、隔热、防水效果好、施工方便的轻型墙体材料, 故选择 GRC集成复合板。

五、小结

经过分析对比, 变电站建筑物的主体结构、楼面、屋面、墙体维护材料的装配式设计方案如下表所示:

综上所述, 考虑装配式钢结构作为一种新技术、新形式, 符合新型建筑工业化建设要求, 故变电站建筑物推荐采用装配式钢结构方案。

参考文献

[1] 熊承伟. 装配式变电站土建[J]. 低碳时间,

2014, (11).

[2] 李元齐, 杜志杰, 陆志浩, 安东亚, 苏磊, 郑华海. 装配式钢结构体系建筑一体化建造技术研发和实践[J]. 建筑钢结构进展, 2021, 23 (10).

[3] 曹万林, 杨兆源, 周绪红, 石宇. 装配式轻钢组合结构研究现状与发展[J]. 建筑钢结构进展, 2021, 23 (12).

[4] 吴刚, 冯德成, 徐照, 缪昌文. 装配式混凝土结构体系研究进展[J]. 土木工程与管理学报, 2021, (08).

[5] 张超. 基于BIM的装配式结构设计与建造关键技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2016.

作者简介:

冉兴宇 (1987-), 男, 汉族, 河北广宗县人, 本科, 工程师, 主要从事变电站土建设计及三维数字化设计。