

Discussion on the Application of Prefabricated Building in the Civil Construction of Nuclear Island Plant

Wei qun Liang^{1,2} Shou fu Ji² Wei hua Chen² Xu tao Jiang² Xin Pan²

1. Hainan University, Haikou, Hainan, 570100, China

2. Guangxi Fangchenggang Nuclear Power Company Limited, Fangchenggang, Guangxi, 538000, China

Abstract

In recent years, with the continuous development of the construction industry towards industrialization, the prefabricated building using the industrial assembly line has been more and more widely used. By investigating the prefabricated construction development status, combined with the nuclear island plant seismic requirements, structure from the major, construction positioning accuracy requires higher characteristics, analysis of prefabricated buildings in nuclear island plant application faces four difficulties: connection node force weak, component weight and site limit lifting, assembly accuracy control is difficult, difficult to achieve scale economy. Finally, according to the engineering practical experience, five feasible suggestions are put forward for the application of prefabricated buildings in the nuclear island plant: innovate the node connection technology, improve the on-site assembly accuracy, improve the lifting capacity, the first simulation test, give priority to the key path work, for the reference of nuclear power related practitioners.

Keywords

prefabricated building; nuclear island plant; civil construction; application suggestions

浅谈装配式建筑在核岛厂房土建施工中的应用

梁为群^{1,2} 吉守富² 陈伟华² 蒋旭涛² 潘欣²

1. 海南大学, 中国·海南 海口 570100

2. 广西防城港核电有限公司, 中国·广西 防城港 538000

摘 要

近年来, 随着建筑业朝着工业化方向不断发展, 应用工业流水线高效生产构配件的装配式建筑得到越来越广泛应用。通过调查装配式建筑发展现状, 结合核岛厂房抗震要求高、结构自重大、施工定位精度要求高等特点, 分析装配式建筑在核岛厂房应用面临四项难点: 连接节点受力薄弱, 构配件自重及场地限制制约吊装, 装配精度控制难度大, 难以实现规模经济性。最后根据工程实践经验, 提出核岛厂房应用装配式建筑的五项可行建议: 创新节点连接技术, 提升现场装配精度, 提升吊装能力, 首件模拟试验, 优先应用于关键路径工作, 供核电相关从业人员参考。

关键词

装配式建筑; 核岛厂房; 土建施工; 应用建议

1 引言

近年来, 装配式建筑发展较快, 特别是在房地产行业, “像造汽车一样造房子”已经成为现实, 显著提升施工现场安全和质量, 缩短工期同时显著降低成本。然而, 对于核电站的核岛厂房, 除个别部位的钢结构应用装配式建筑外, 混凝土结构仍主要采用现场浇筑方式, 装配式建筑应用技术还有待完善。

2 装配式建筑发展现状

2.1 装配式建筑概念

装配式建筑, 是指把传统建造方式中的大量现场作业工作转移到工厂进行, 在工厂加工制作好建筑用构件和配件, 运输到建筑施工现场, 通过可靠的连接方式在现场装配安装而成的建筑。

2.2 装配式建筑发展现状

近年来, 中国人口老龄化持续加深, 使得劳动密集的建筑行业面临较大用工缺口, 开始实施工业化改革, 其中改革的重要措施便是装配式建筑研究与应用。2020 年 8 月 28 日, 住房和城乡建设部、教育部、科技部、工业和信息化部等九部门联合印发《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》。意见提出: 要大力发展钢结构建筑、推广装配式混凝土

【作者简介】梁为群(1987-), 男, 中国广西横县人, 硕士, 工程师, 从事隧道渗漏及核岛土建施工研究。

土建筑,培养新型建筑工业化专业人才,以新型建筑工业化带动建筑业全面转型升级,打造具有国际竞争力的“中国建筑”品牌。当前,国家坚持分区推进、逐步推广应用装配式建筑。

2.3 装配式建筑优缺点分析

根据实践经验,总结得到装配式建筑优点:

①并行施工,节省工期。装配式建筑,一般在专业预制工厂制作构配件,设置多条生产线同步进行预制作业,因此,预制工厂可以同时预制不同楼层、不同厂房的构配件。这突破了现场单一作业面的限制,将依次施工顺序变为并行施工顺序,因此可以节省大量时间。

②施工成本低。一是装配式建筑采用工厂流水线批量化生产,生产效率高,辅助材料周转率高;二是预制工厂拥有流水施工线,施工环境相对较好,构配件合格率高,返修率报废率低,因此,装配式建筑有利于降低成本。

③预制构件质量优良。一方面,工厂流水线生产施工环境良好,且采用专用工具、专业工人生产;另一方面,相对于现场施工,预制厂更容易实施标准化管理,管理难度较小。因此,预制构配件质量更优良。

④节能环保。一方面,预制构件在工厂集中化生产,模具使用率高,模板消耗少;另一方面,施工现场减少许多作业内容,现场粉尘、噪音、污废水、固体废物等显著减少。

但同时,装配式建筑在施工中也存在以下缺点:

①抗震性不足。当前装配式建筑连接技术单一,连接部位钢筋锚固长度有限,且连接部位一般处于受力复杂的部位,因此结构整体性低于现浇结构。

②连接部位不密实与渗漏水缺陷。连接部位现场浇筑或灌浆施工,容易出现排气不畅或是振捣不足,形成不密实与渗漏水缺陷,影响整体结构的承载力。

③现场吊装安全风险较高。装配式建筑每一个预制件都需要吊装作业,且吊装后还需临时固定,后续再精调位置和最终固定。上述过程中,面临较高的吊装安全风险。特别是对于大型的混凝土结构,自重较大,现场的吊装风险更高。

④缺棱掉角问题。从装配式构件到现场完成安装,构件共需经过七个环节:预制、装车、运输、卸车、吊装就位、调整、连接部位施工。上述每一个环节中,很容易发生磕碰,轻则缺棱掉角,重则降低构件承载力。

3 装配式建筑在核岛厂房土建施工中应用的难点

3.1 核岛厂房特点

核岛厂房主要是指包容可控的核反应并保证其安全运行、存储其新旧核燃料的厂房,主要包括反应堆厂房、燃料厂房、核辅助厂房、安全厂房等。

3.1.1 抗震要求高

核电站建设秉持核安全高于一切的理念,抗震要求很

高,需要在地震作用下确保核安全,相关厂房和系统不发生放射性物质泄漏。例如,中国具有完全自主知识产权的三代核电“华龙一号”要求9级抗震,安全停堆地震水平达0.3g,设防水平约为一般工业与民用建筑抗震能力的6倍。

3.1.2 厂房结构厚自重

一方面,出于保守原则,核电站抗震要求较高,加上需要屏蔽放射性的要求,核岛厂房一般设计为抗震结构,结构设计尺寸较大;另一方面,作为工业厂房,核岛厂房布置重型设备或高能大型管道,墙体和楼板一般设计为厚重笨粗形式。因此,核岛厂房设计为厚墙厚板结构,自重极大。例如,华龙一号外安全壳厚1.5m,其他核岛厂房楼板厚度不小于0.5m。

3.1.3 埋件多、孔洞多、定位要求高

核岛厂房内主要设置发电的工艺系统及其专项安全系统,厂房内布置许多穿墙工艺管道,因此厂房墙板布置了许多设备的埋件与穿管道的孔洞。为了使这些设备及管道正常安装可用,则需要精确定位这些埋件、孔洞。因此,核岛厂房对于土建结构施工定位要求比较高。

3.2 装配式建筑在核岛厂房应用的难点

对于普通的工业与民用建筑来说,装配式建筑对进度和质量有较大提升作用,但具体对核电站的核岛厂房来说,当前存在以下困难制约装配式建筑推广应用。

3.2.1 连接节点受力薄弱

由于核岛厂房是围绕核反应安全开展所设计的专门厂房,其抗震性能要求极高,因此,当前核岛厂房混凝土结构基本上采用现场整体浇筑方式,该方式结构整体成型、均匀无明显薄弱点。然而,装配式建筑的连接节点采用后浇方式,后浇连接节点与预制件之间整体性弱于整体浇筑方式,连接的分界面属于受力薄弱部位,难以满足核岛厂房的抗震性要求。因此,装配式建筑在核岛厂房推广的第一个难点是保证连接节点的牢固性。

另外,墙板交接部位钢筋密集不利于振捣密实,装配式构件和现浇混凝土分界面易造成后期局部开裂,不密实和开裂问题导致构件碳化加速,进而降低连接部位的结构耐久性,进而影响核岛厂房功能性和耐久性。

3.2.2 构配件自重及场地限制制约吊装

首先,核岛厂房为钢筋混凝土结构,且结构尺寸厚大,若采用装配式建造,则构配件自重非常大,那么吊装荷载极大,吊装安全风险较大。例如,外安全壳楼板一般规格5m×3m×1.5m计算,预制构件自重达到56.25t。

其次,核岛各厂房以反应堆厂房为中心相邻布置,土建结构施工时间基本一致,因此,吊车站位只能选择核岛厂房的最外围区域,吊装幅度较大,吊装风险较大,进一步制约装配式建筑应用。比如:核岛厂房部分区域吊装幅度可达80m。

因此,构配件自重及场地限制对吊装作业提出很高要

求,既要吊装荷载大又要吊装幅度大,综合来看吊装风险较大,不利于装配式建筑推广应用。

3.2.3 装配精度控制难度大

由于核岛厂房布置较多设备与工艺管道,因而相应的设备埋件及管道孔洞数量较多,为使得设备与管道能够正常安装,需要严格控制现场埋件及孔洞的位置与平整度,装配施工精度要求极高。然而,当前土建现场装配施工精度较低,调整偏差的手段单一且简单粗暴,往往通过手拉葫芦钢丝绳强行牵拉拽引,很难达到设计毫米级别的允许偏差要求。此外,部分核岛厂房房间分隔较小,采用装配式建筑,在反复调整的过程中,很容易造成构配件磕碰损坏。比如,在核岛厂房预制活动墙、预制楼梯吊装的安装过程中,吊装路径狭窄,需要耗费较长时间调整就位,最后活动墙平整度,楼梯搭接部位,仍然发生达不到设计允许偏差要求的情况。

3.2.4 难以实现规模经济性

从经济性上考虑,应用装配式建筑的重要原因是实现构配件批量化生产,降低成本。然而,当前核岛厂房实现规模经济性存在较大困难。其一,考虑到核电站事故后果危害非常大,因此国家谨慎审批核电项目,每年获得核准的机组极少,难以通过批量化建设降低建设成本。据统计,2011年至今,平均每年核准的机组数量仅有3台。其二,核岛厂房的设计并未考虑构配件通用性,核岛各厂房的墙体楼板规格尺寸不同,甚至部分异形结构带有弧度,因此,很多构配件模具是唯一的,很难实现规模经济性。实际上,不同核岛厂房的墙板厚度、配筋、埋件、孔洞均不一样,特别是反应堆厂房,多为异形不规则形状,构配件不具有通用性。

4 核岛厂房应用装配式建筑的建议

从上述核电土建设计施工特点及装配式建筑在核岛厂房应用的难点出发,提出核岛厂房应用装配式建筑建议。

4.1 创新节点连接技术

由于核电站厂房需要确保抗震性能,而对于装配式建筑来说,连接部位的连接技术是核心关键技术。因此,设计须充分考虑连接技术可靠性、整体性,并优化简化连接方式,降低现场施工难度。此外,现场正式施工前,为确保连接强度,必要时开展模拟件试验确认施工工艺可行性。

4.2 提升现场装配精度

一是高精度定位放线。应用智能建造技术或高精度的测量放线仪器设备,从而实现精准定位放线。如全站仪、水平仪等仪器等。

二是开发分级精调工艺。针对预制构件首次吊装以及

精准就位,应分别开发大、小偏差位置调整工艺,现场根据实际情况分别采用。

三是设置专门的培训课程,培养现场装配的高技能人才。

4.3 提升吊装能力

针对核岛厂房构配件自重大,且场地受限,造成吊装荷载重、吊装幅度大,因此,需要采用更大型的吊装设备,不仅能够提升吊装荷载,还能增大吊装幅度,从而确保吊装安全。

4.4 首件模拟试验降低不确定风险

对于首次应用装配式建筑工艺,在没有成熟经验可供参考时,建议先采取首件模拟试验。首件模拟试验可以对工厂预制、运输吊装、现场装配各环节进行全流程试验,验证工艺可行性,并根据试验效果优化改进工艺参数。首件模拟试验适用于施工安全质量风险较大,后果严重的结构部位,可以很大程度降低施工不确定风险。

4.5 优先应用于关键路径工作

核岛厂房施工按照先土建、后安装、再调试的顺序开展,土建施工进度对整个项目进度存在决定性影响作用。实际上,核岛厂房土建施工有许多条施工路线,但只有在关键路线加快施工,才能缩短土建施工总工期,发挥装配式建筑的最大效益。

5 结论

装配式建筑具有很大的优势,是建筑业借鉴工业化生产的良好经验实践,是未来建筑行业的大趋势。但考虑到核电站核岛厂房具有抗震要求高、结构自重大、定位要求高等固有点,以及核安全是国家安全的重要组成部分,因此,在核电站核岛厂房应用装配式建筑,需要从设计到施工做通盘考虑优化,不能简单把住宅施工中措施拿来生硬照搬。通过采取创新节点连接技术、提升现场装配精度、提升吊装能力、采用首件模拟试验降低不确定风险、优先应用于关键路径工作等措施,装配式建筑同样也可以用于核岛厂房土建施工建设,取得良好的安全、质量、进度、成本效果。

参考文献

- [1] 程亚茹,郑生钦,刘金花.装配式建筑发展制约因素分析[J].山东建筑大学学报,2021,36(6):54-61.
- [2] 杨博.装配式建筑施工技术难点及应对措施研究[J].工程建设与设计,2022(22):195-197.
- [3] 蔡尚洋,吴金树,张科,等.装配式建筑公差分析研究[J].施工技术(中英文),2022,51(22):17-20.