

doi: 10.11835/j.issn.1005-2909.2018.06.017

欢迎按以下格式引用:李守继,王静峰,完海鹰.装配式混凝土结构施工技术课程教学探讨[J].高等建筑教育,2018,27(6):99-103.

# 装配式混凝土结构施工技术课程教学探讨

李守继,王静峰,完海鹰

(合肥工业大学 土木与水利工程学院,安徽 合肥 230009)

**摘要:**装配式混凝土结构施工技术是新时期土木工程施工的新内容,目前发展装配式混凝土结构建筑是推进建筑产业化的重要举措。根据装配式混凝土结构施工技术内容和特点探讨该课程的教学内容和教学方式,选择该课程实践教学内容和知识应用方法,提出符合高等学校土木工程专业教学特点和工程建设实践需要的装配式混凝土结构施工技术课程教学体系,探讨土木工程施工技术课程改革,以适应建筑产业化对土木工程专业人才的要求。

**关键词:**装配式混凝土结构;施工技术;教学体系;课程改革

**中图分类号:**G642.0;TU74-4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2018)06-0099-05

目前,中国政府正在大力推行一系列措施来促进建筑产业化发展。建筑产业化具有节能环保、施工周期短、模块质量标准化、劳动力成本低等诸多优势,是中国房屋建筑发展的必然趋势。而发展装配式混凝土结构建筑是推进建筑产业化的重要途径,也是建筑产业化的核心。培养具有创新精神和工程实践能力、服务国家未来工程建设发展需要的专门人才,是土木工程专业教育的根本任务之一,而土木工程专业课程教学是完成这一任务的主要途径。中国建筑产业化的不断发展,对土木工程专业创新型人才培养提出了新的要求,为土木工程专业教学赋予了新的内容。作为建筑产业化发展重要途径的装配式混凝土结构建筑必将越来越多地建设使用,因此,土木工程专业开展装配式混凝土结构施工技术教学尤为重要。

## 一、装配式混凝土结构施工技术的特点和教学现状

装配式混凝土结构(Precast Concrete Structure),简称“PC”结构,是由预制混凝土构件通过可靠连接而形成的混凝土结构。与传统的现浇混凝土结构相比,装配式混凝土结构存在大量的预制混

修回日期:2017-11-15

作者简介:李守继(1964—),男,合肥工业大学土木与水利工程学院副教授,博士,主要从事建筑施工技术、管理和土木工程防灾研究,(E-mail)lishoujif@163.com。

凝土构件。预制混凝土构件一般在工厂加工制作,利用运输车辆运到施工现场。然后,利用吊装机械吊装就位,并进行可靠连接,形成整体结构。因此,装配式混凝土结构施工包含大量的吊装、节点连接和接缝处理等工作内容,对现场施工场地布置、支撑维护等有独特内容及要求。

目前,高等学校土木工程专业鲜有专门开设装配式混凝土结构施工技术教学。作者所在的合肥工业大学土木与水利工程学院,开设的仍为传统的施工技术课程,涉及结构安装内容主要是装配式单层厂房构件的吊装,装配式混凝土结构安装的内容少,与目前发展需求存在一定的差距。高等学校土木工程专业开设装配式混凝土结构施工技术课程,是对传统施工技术教学的改革,不仅需要合适内容的教材,而且还需要探索课堂和实践教学的有效方法,构建系统的土木工程施工技术教学新体系和新模式。

## 二、装配式混凝土结构施工技术教学内容

与现浇混凝土结构相比,装配式混凝土结构存在大量的预制混凝土构件。预制混凝土构件一般在工厂加工制作,然后运到施工现场。因此,装配式混凝土结构施工技术的内容包括现场施工场地布置、预制混凝土构件进场及堆放、预制混凝土构件吊装、节点连接、防水、BIM 吊装施工仿真,以及相应的质量、安全控制措施等。涉及内容较多,如何在有限的课时内完成教学,是教学过程中需面对和解决的难点,如何有效地将应知应会内容传授给学生,需做到课堂教学内容主次分明。以下内容是课堂讲授的重点。

### (一) 现场施工场地布置

预制装配式混凝土结构现场施工场地布置以方便吊装为原则,做到分类堆放。预制构件堆场应结合现场及周边环境进行具体安排。一般应考虑施工现场出入口及其与社会道路的衔接,场内道路布置,预制构件、钢筋加工、模板及临时材料的堆场,起重设备停放位置及作业半径,塔吊位置及作业半径,其他必要设施和设备布置位置等。由于预制构件多采用大型车辆进行运输,进入施工现场后再由起重机械卸下并在堆放场地进行堆放,现场出入口要求方便运输车辆的出入,场内运输道路要求坚实,方便运输车辆行驶。预制构件场内堆放位置一般应根据塔吊位置确定,以减少二次搬运。堆放场地地面应该平整坚实,利于排水,一般应为混凝土地面。

### (二) 预制混凝土构件进场及堆放

预制混凝土构件进场要进行检查验收工作,检查验收内容包括构件的类型、规格、数量、外观、尺寸、预埋件和特殊部位处理等。检查验收方法应根据现有相关规范、规程以及标准等进行。

预制混凝土构件堆放应根据品种、规格和吊装顺序分别设置堆垛,并且还要根据构件类型采用直立堆放、平卧堆放等形式。堆放时应注意预制构件边角的保护,避免碰撞损坏构件。预制墙板一般采用直立堆放,采取专门制作的钢架支撑围护系统,保证堆放稳定,并在底部设置柔性垫块,如橡胶垫块等,垫块数量及位置符合设计或构件受力要求,避免损伤构件边角,防止伸出的预埋钢筋和构件棱角等伤人。预制柱、预制楼板、预制楼梯、预制阳台等一般平卧堆放,底部设置柔性垫块,如木方等。为减少堆放占地面积,可采用叠层堆放,但堆放层数应根据情况进行限制。

### (三) 预制混凝土构件吊装

装配式混凝土结构的主要预制构件包括:预制柱、预制梁、预制(叠合)楼板、预制外墙板、预制楼梯和预制阳台等。装配式混凝土结构根据结构形式不同,可分为装配整体式框架结构、装配整体

式剪力墙结构和装配整体式框架-现浇剪力墙结构等。预制外墙板体系可分为全预制外墙板和部分预制部分现浇的 PCF 外墙板形式。不同结构体系涉及的预制构件种类不尽相同,吊装施工既有共性又有区别,因此,应根据具体结构形式合理选择吊装施工工艺和方法。预制混凝土构件吊装施工内容一般包括:吊装机械和吊具的选择确定、吊装方法和吊装工艺顺序选择及实施等。

### 1. 吊装机械和吊具

装配式混凝土结构多采用汽车吊和塔吊相结合的吊装施工方式。

汽车吊主要用于预制构件进场验收合格后的卸货以及场内水平运输,也可用于底层预制构件的吊装施工。应根据预制构件的规格尺寸和重量选择合适的汽车吊。保证卸货时汽车吊支撑脚具有足够的伸开空间,相应的地面应具有足够的强度和平整度。保证回转半径空间范围内没有障碍物,以免发生碰撞。汽车吊场内行驶道路应平整坚实,排水通畅。

塔吊主要用于装配式结构预制构件的吊装施工,同时也用于其他材料和构配件的吊装运输。装配式混凝土结构由于预制构件数量和种类繁多,与传统的现浇混凝土结构施工相比,塔吊起吊频繁,而且往往布置多台塔吊。塔吊布置位置除了要考虑方便吊装施工,还要根据主体结构特点、吊装构件特点确定,特别是塔吊需要每隔一定高度设置附墙杆,以保证塔吊稳定,但由于风荷载及吊装施工时,塔臂旋转等可能引起塔身位移、变形和振动等,因此,附墙杆对结构安全有一定程度的影响。由于预制外墙板和预制(叠合)楼板的设置,以及施工过程中这些预制构件连接整体性与现浇混凝土结构有所不同,不仅影响塔吊附墙杆与结构的连接方式,而且影响附墙杆的数量和布置位置。采用多台塔吊吊装的工程,需要根据起吊半径合理安排各个塔吊的吊装时间顺序,避免碰撞。

装配式混凝土结构预制构件吊装,一般采用专门的吊具,包括专门的吊索、吊钩和横梁等。马鞍形吊钩较常用,由于吊具使用频繁,吊钩容易磨损,因此需要对吊具进行定期及不定期的检查,发现问题及时更换。预制梁、柱、墙板和楼梯等大型构件,一般都需要使用起吊横梁,横梁上吊点位置及吊索长度需要根据预制构件中预埋吊环间距及起吊时预制构件受力情况等进行计算确定。

### 2. 吊装方法和工艺顺序

预制构件吊装主要依靠预先设计预埋于构件中的吊点进行吊装施工,严禁用绷带或绳索直接绑扎构件进行吊装。根据预制构件类型采用两点或四点吊装,预制柱、梁、墙板采用两点吊装,预制楼梯、楼板采用四点吊装。吊索与吊装预制构件的夹角一般应控制在 45~60 度之间。预制构件吊装应采用慢起、快升、缓放的操作方式。

预制构件吊装工艺顺序主要包括:吊装准备、吊装就位、支撑安装、预制构件垂直度调整、支撑系统锁定、吊钩脱钩、连接节点灌浆等。其中,吊装准备主要包括预制构件混凝土外观、预埋钢筋、连接套筒质量检查及预留孔道清理,下层预埋连接钢筋位置及垂直度调整,预制构件就位处底部混凝土清理找平,预制构件安装位置放样弹线,粘贴预制外墙板就位处外侧橡胶泡沫条,另外还包括支撑等工具准备到位。吊装就位主要是使预制构件下部预埋套筒与底面预埋的续接钢筋对正插入到位,对于预制外墙板,吊装就位还包括使用标高调节装置调节标高符合设计要求。预制构件吊装就位后需要进行临时支撑,对于预制梁、楼板、楼梯、阳台等水平构件,采用竖直支撑系统,与传统的现浇混凝土构件模板竖直支撑类似,预制楼梯可采用专门的支撑架,预制阳台应设置防倾覆支撑架。对于预制柱、墙等竖直构件,采用斜撑系统,斜撑系统一般由两端可旋转的撑脚,以及可调节长

度的撑杆组成,一般应使支撑杆与水平方向夹角在 $45\sim 60$ 度范围内,斜撑系统安装一般按照先下节点后上节点的顺序进行施工。首先,将撑杆下端撑脚孔穿插在底部楼地面的预埋螺栓中,调整好撑杆方向,接着拧紧预埋螺栓的螺帽;其次,将撑杆上端撑脚对正预制构件连接预埋件或预埋螺孔处,调整支撑杆长度,接着拧紧相应螺栓或螺帽,调整预制构件垂直度至符合设计要求,固定撑杆长度,锁定支撑系统。

#### (四) 节点连接

装配式混凝土结构预制构件吊装完成后,通过节点连接形成整体结构。装配式结构节点连接包括预制构件与预制构件之间的节点连接以及预制构件与现浇构件之间的连接。节点连接施工内容包括钢筋连接、现浇构件模板支立、灌浆及浇筑混凝土等。钢筋连接方式主要有传统的绑扎、焊接、直螺纹连接。竖向预制构件钢筋与底部结构连接常采用套筒灌浆连接,套筒灌浆前需要对连接节点接缝采用模板或专用封堵砂浆进行封堵,使用灌浆机进行无收缩砂浆灌浆,最后进行养护,套筒灌浆质量好坏将直接影响主体结构的安全性。

#### (五) 防水

装配式混凝土结构比现浇混凝土结构有更多的防水薄弱部位,包括预制外墙板之间的竖向及底部水平方向接缝部位,采用外挂架时预制外墙板中的脚手眼部位,预制屋面板拼接缝部位等。为避免这些部位出现渗漏,首先,要设计制作合理的预制构件防水节点构造,并避免运输吊装时损坏;其次,使用合适的防水胶泥进行封堵。装配式混凝土结构房屋卫生间地板现仍多采用现浇混凝土,其防水和传统做法类似。

#### (六) BIM 吊装施工仿真

装配式混凝土结构预制构件吊装施工,是一个涉及多道工序的复杂的动态工作,有多种不同的吊装方案,可以利用 BIM 可视化的特点,进行预制构件吊装施工仿真模拟,通过对不同吊装施工方案的仿真模拟比较,从而获得最优吊装方案。另外,通过 BIM 技术模拟吊装施工,获得全面直观的质量及安全影响因素,从而可以更好地做到事前控制,进而减少实际吊装施工时预制构件损坏、返工和安全隐患等情况的发生。

### 三、装配式混凝土结构施工技术教学方法

#### (一) 将课堂教学与认识实习相结合

装配式混凝土结构施工技术是一门应用性极强的课程,而其技术知识又比较抽象,虽然课堂上可以用多媒体播放图片和视频,但与实际施工现场相比还有很大的局限性。因此,应将见习和生产实习穿插在教学中,使学生对装配式混凝土结构的施工具有一定的感性认识,从而理解巩固课堂所学知识。例如,课堂讲授完预制构件及其类型等内容后,可以安排学生去预制构件生产工厂进行参观学习,了解预制构件的工厂化制作过程及特点。合肥工业大学所在的合肥市,拥有西伟德混凝土预制件(合肥)有限公司等著名企业,该类型公司拥有多条自动化的叠合楼板、墙板等预制构件生产线。不同的装配式混凝土结构体系,所使用的预制结构构件各不相同,同时预制构件类型也多种多样,如剪力墙可采用预制叠合墙板、预制夹心墙板等。施工内容复杂多样,单凭课堂讲授无法使学生对装配式混凝土结构施工有系统的认识。若能在课堂讲授期间带领学生到附近的工地进行实地见习,有助于学生对所学的预制构件通过吊装施工形成完整结构有感性认识,有利于学生对课堂讲

授知识的理解和巩固。例如,可将生产实习安排在大学三年级的暑期进行,而课堂教学安排在大四的第一学期进行。学生在对装配式混凝土结构及其施工有了整体认识后,便进入装配式混凝土结构施工技术课堂学习,提高了学生的学习兴趣和学习动力,有利于提高学生对课堂讲授知识的理解掌握。另外,装配式混凝土结构施工周期较长,故在讲授某些主要构件吊装施工时,可联系学校所在地附近构件吊装施工的工地,进入现场进行认识学习。

## (二) 安排适当的课程设计

装配式混凝土结构施工技术课程课堂教学及生产实习完成后,可安排一周,就某一种主要预制构件吊装施工,如预制柱、梁、楼板或外墙板吊装进行课程设计。选择一种主要预制构件,利用 BIM 技术进行吊装施工仿真模拟实验。通过课程设计使学生在掌握装配式混凝土结构主要预制构件吊装内容、吊装方法、质量及安全控制措施等基本知识的基础上,编制出某类预制构件吊装方案设计,使学生具备分析和解决装配式混凝土结构主要预制构件吊装施工技术和施工组织问题的初步能力。

## 四、结语

为适应新时期创新型人才培养要求,土木工程施工技术专业课程内容与课程体系的改革势在必行。建立包括装配式混凝土结构施工技术的土木工程施工技术教学新体系,既是土木工程专业课程建设改革的一项具体内容,也是适应建筑产业化对土木工程专业人才新需要的有效途径。

### 参考文献:

- [1]徐礼华,傅旭东,彭华,等.土木工程专业复合型创新人才培养体系的构建与实践[J].高等建筑教育,2016,25(1):55-60.
- [2]覃荷瑛,邢心魁.突出工程能力和创新能力培养的土木工程专业实践教学体系[J].高等建筑教育,2017,26(3):86-90.
- [3]上海隧道工程股份有限公司.装配式混凝土结构施工[M].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [4]葛继平.基于装配式技术理念的墩台与基础课程教学探讨[J].高等建筑教育,2017,26(3):78-81.

## Teaching of precast concrete structure construction technology

LI Shouji, WANG Jingfeng, WAN Haiying

(College of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, P. R. China)

**Abstract:** Precast concrete structure is one of the most important modern building structures. Teaching contents and methods of the precast concrete structure construction technology are proposed, according to the characteristics and requirements of the precast concrete structure construction. And the teaching system, including practical teaching sectors, of the course is designed. Innovations on the teaching of traditional course of the civil engineering construction technology are discussed, to adapt graduates to the demand of the development of architectural industrialization.

**Key words:** precast concrete structures; construction technology; teaching system; course reform