

AP1000 核电工程运用“SC 结构”土建施工管理的实证研究

何德胜, 邹树梁^①

(南华大学 经济管理学院, 湖南 衡阳 421001)

[摘要] 钢板—混凝土结构(Steel Plate Reinforced Concrete Structure)简称“SC 结构”,为钢板和混凝土的组合结构,是一种没有钢筋和模板的新型结构。通过该结构在三门 AP1000 核电工程中的应用,证实其具有缩短施工工期、降低施工成本、提高工程质量等特点,并且能够降低现场劳动强度、提高结构的抗震能力,满足低碳施工的要求,具有广阔的应用前景。

[关键词] AP1000 核电工程项目; 钢板—混凝土结构; 自密实混凝土

[中图分类号] FL37 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2011)06-0001-04

随着建筑科学技术的发展,“SC 结构”是近些年来推出的一种全新的建筑结构类型,它不但充分发挥了钢材和混凝土的材料特性,而且经过组合后产生了许多新的结构力学特征,使得“SC 结构”具有承载力高、抗震性能好等突出优点,当前,“SC 结构”已在三门 AP1000 核电站中得以应用。本文结合在实际工程中“SC 结构”的应用情况,介绍了“SC 结构”的特点,并对“SC 结构”的施工技术及应用效果作一介绍。

一 “SC 结构”模块施工的概述

(一)“SC 结构”模块施工特点

三门 AP1000 核电工程采用模块化施工,CA 模块和 CB 模块是典型的钢板—混凝土组合结构。其主要特点是在车间制作,在钢板上焊接锚固钉和角钢,通过槽钢进行连接,形成若干个单元,并将这些单元组合成一个较大的子模块(“SC 结构”),然后运输至施工现场指定区域进行组装,组装成完整的结构模块后,再运输至吊装区进行吊装就位,然后在“SC 结构”中浇筑混凝土,其中 CB 模块和单面钢板的 CA 模块浇筑普通混凝土,双面钢板的 CA 墙体模块内填充自密实混凝土。典型的“SC 结构”墙体详见图 1^[1]。

(二)“SC 结构”土建施工难点

“SC 结构”墙体较高,一次性将墙体和楼板结构拼装到位,整体吊装,墙体最高达 20.955m,给混凝土浇筑时的下料带来困难,为防混凝土离析和避免混凝土的高抛冲击墙体,必须将混凝土的下料出口伸入模块墙内部。

“SC 结构”形式复杂,墙体上有很多门洞口,墙体内有许多隔板,混凝土只能通过隔板上的长圆孔往前流动,混凝土

容易在门洞口下方形成空鼓。

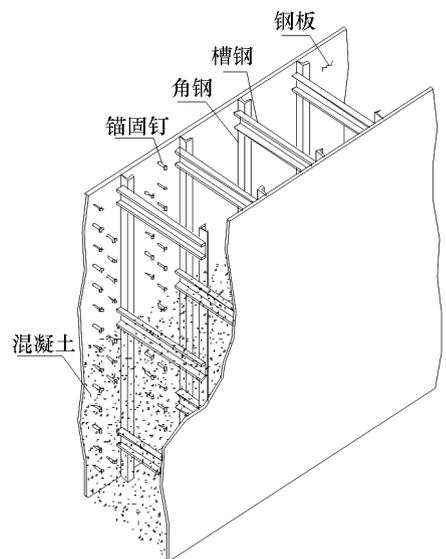


图 1 典型的 SC 墙体

“SC 结构”墙体内部填充自密实混凝土,而该配合比的混凝土流动性大,锚钉墙上贯穿件、锚固钢筋等穿过墙面存在一定缝隙,墙体底部有凹槽,密封不严容易产生漏浆,形成混凝土缺陷。

“SC 结构”形状不规则,墙体内分布大量的锚固钢筋、锚固钉、贯穿件、预埋管道、型钢及加劲钢板等诸多阻隔材料,墙体又窄,墙体内部清理、施工过程质量监控以及人员上下通行非常困难。

[收稿日期] 2011-10-12

[基金项目] 湖南省社科联成果立项课题(编号:1011279B),湖南省科技厅软课题(编号:2011ZK3169)

[作者简介] 何德胜(1966-),男,湖南衡阳人,南华大学经济管理学院硕士研究生,中国核工业第二建设有限公司高级工程师。

^①南华大学经济管理学院教授。

设计要求“SC 结构”锚钉墙抗侧压能力不超过 50KPa,未凝混凝土高度不大于 2134mm,自密实混凝土的初凝时间又长,极大的限制了混凝土的浇筑速度。

“SC 结构”浇筑完成后,对于墙体内混凝土的泌水和水泥浆的清除、水平施工缝的处理以及是否出现空鼓等质量问题的检查相当困难,并且国内无“SC 结构”的验收规范。

二 “SC 结构”土建施工准备

(一) 技术准备

首先要确保施工技术文件的有效性。要求认真熟悉施工图纸及设计技术规格书等文件,清除漏、错、碰、缺等问题,解决施工技术与施工工艺之间的矛盾。其次是认真编制材料、机具、劳动力及周转工具的需用计划和半成品的加工计划。同时,做好施工方案、工作程序的培训以及施工安全技术交底工作,以保证自密实混凝土配比成功且性能满足设计要求。

(二) 人员准备

人员进场前必须进行 HSE 培训,考核合格后方可进场,特种作业人员需持证上岗。要保证人员组织落实到位,职责分工明确到人,其中,主要人员及其职责详见表 1。

表 1 主要人员及职责表

人员	数量	职责
队长	1	现场全面负责组织与协调
副队长	2	现场组织与协调
技术负责人	1	现场技术工作分配、安排、检查
技术员	4	负责解决技术问题,进行技术交底,提制材料及机具需用计划
工长	2	负责组织施工,安排人员、材料、机具,协调现场施工工作
电焊工	6	现场施工焊接
架子工	10	搭设泵管支撑架,通道等
混凝土工	6	负责混凝土浇筑时的布料、养护、施工缝处理等
钢筋工	2	负责混凝土浇筑时看护钢筋
施工缝处理及养护工	6	混凝土浇筑完后施工缝处理,混凝土覆盖、养护工作
机具维修工	3	负责浇注过程中用水用电、机械设备的维修保养工作
泵车操作工	8	操作泵车和固定泵
其它	10	现场清理、搭拆施工通道及其他配合工作

(三) 材料准备

施工用材主要为混凝土养护材料、泵管及泵管架、料斗等应提前组织到位,确保满足施工需要。

(四) 机具准备

混凝土浇筑所使用的机具设备应提前组织到位,并且使用前应进行相关性能的检测,主要机具设备清单详见表 2。

表 2 主要机具设备表

名称	数量	用途	备注
混凝土泵车	2 台	混凝土布料,主要用于墙体浇筑	
固定泵	1 台	用于楼板混凝土浇筑	
振捣棒	6 台	对非自密实混凝土进行振捣	
镝灯	3 盏	夜间施工主要照明	
探照灯	16 盏	模块墙体内辅助照明	
低压灯	若干	模块墙体内辅助照明	
头顶矿灯	7 盏	模块墙体内辅助照明	
碘钨灯	10 盏	模块房间内辅助照明	
手持红外线测距仪	1 台	测量混凝土浇筑厚度	
钢筋杆	7 只	墙体内水平施工缝的处理	

(五) 现场准备

做好现场测量控制网及控制点的建立和保护工作。按照平面布置的要求规划好机械设备、周转工具及施工材料的堆放场地。落实好施工用水用电,分别接送至各分配电箱,将水源按总平面布置图接至指定的地点,以满足工程施工的需要。确保模块内管道、埋件、模块内的钢筋、楼板钢筋、模块顶部施工缝处插筋等均已全部施工完毕。模块的各种预留洞口,钢筋与模块的连接处均已密封完毕,模块墙体钢板与底板之间的缝隙均已封堵严密,人员通道安全可靠。为保证混凝土供应流畅,应建立良好的混凝土供应协调体系。

三 “SC 结构”土建施工部署

(一) 墙体下料点布置

自密实混凝土的最大水平流动距离不能大于 10m,因此,根据模块的结构形式,在 CA20 结构模块墙体内一共布置 8 个固定布料泵管。由于结构模块墙体高度较大,为保证混凝土下落不产生离析,在结构模块墙体内设置直径 125mm 的垂直下料泵管,并且泵管末端架设一个逐步缩径后直径为 80mm 的颈缩口,并且确保颈缩口与浇筑面之间的高差小于设计要求的下料高度 1829mm。泵管搭设详见图 2。

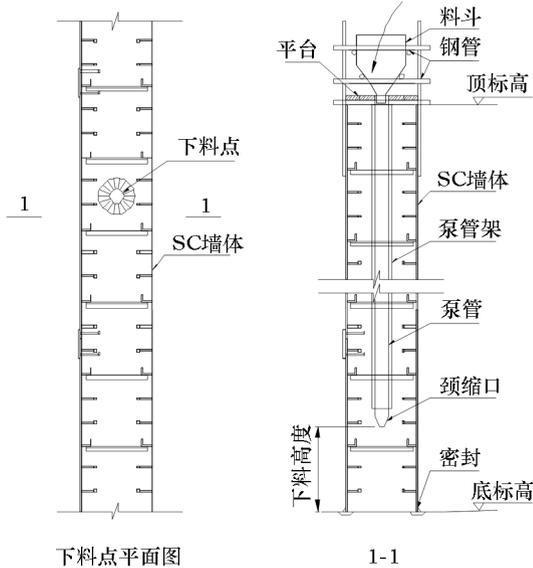


图 2 SC 墙体下料点布置图

墙体模块泵管采用直管拼接,在墙体模块内沿竖直方向布设,上端采用钢筋进行悬挂固定,中间及底部利用钢管及扣件固定在“SC 结构”内部槽钢上,防止泵管架在浇筑时晃动。泵管外采用角钢及钢筋焊接的泵管架保护,泵管上端头设漏斗,下端头设颈缩口。在模块墙体顶部搭设操作平台,墙体浇筑时,每浇筑完成一层混凝土,从墙体上口取出一段泵管,直至最上一层混凝土浇筑时,直接采用泵车布料。泵管的布置位置应避开门洞以及其它障碍物。泵管穿过墙体时如果不可避免地碰到楼板在墙体的锚筋,在征得设计方同意后,可将打架锚筋弯曲处理,以避免泵管架^[2]。

(二) 墙体布料的具体要求

对于模块墙体,采用泵车进行定点布料,布料点仅在拆除顶部泵管的时候需要垂直提升,不需要水平移动。对于模块楼板,随着浇筑进度逐步拆除泵管架及泵管。根据浇筑进度和每一层的厚度,逐节将泵管的上部分拆除,并将泵管提升到合适高度并重新安装漏斗,每次拆除提升后均要保证自密实混凝土的自由下落高度不能大于 1829mm,以防产生骨料离析。每一层墙体分为多次下料,一次布料高度不大于 457mm,且两次布料间隔不宜过长,应在混凝土的初凝时间(根据模拟试验确定)内覆盖下层混凝土。楼板布料:原则上采用固定泵配合泵管进行布料。每一层楼板布料完毕后拆除该层的泵管及支撑,再搭设更高标高处的泵管,再开始布料。对于固定泵配合泵管布料不方便的楼板,可采用塔吊配合料斗的方式进行布料。

四 施工过程的检查

(一) 混凝土空鼓的检查

根据“SC 结构”的构造及特点,在施工前将自密实混凝土不易充实的门洞口位置、拐角位置、贯穿件及预埋件比较密集的区域等进行标识,施工过程中安排专人对该区域进行重点监控,采用敲击的方式在模块外进行检查,并采用橡皮锤在钢板墙外辅助敲击,以提高混凝土的流动性,确保内部结构混凝土密实、不出现空鼓现象。

(二) 混凝土标高的检查

混凝土施工过程中分层浇筑标高的控制,以及分次下料厚度的控制,可采用手持式红外线测距仪直接进行测量,或者采用软绳系上贴有反光片的钢板坠进行测量,通过强光手电筒照明进行观测,根据每次的下料厚度,在软绳上等距离的作好标识,软绳子的另一端系上贴有反光片的钢板坠,在墙体混凝土下料点的附近进行测量,一边浇筑混凝土,一边测量混凝土的浇筑高度,严格控制混凝土的每一次浇筑厚度和每一层的浇筑标高。

(三) 混凝土的养护

应在墙体自密实混凝土浇筑完并且施工缝处理之后,在自密实混凝土面浇水养护,并一直保持湿润。养护除可以采用浇水养护外,视情况可在处理完成的施工缝处盖上一层塑料薄膜以保证养护效果,在下层自密实混凝土浇筑之前,施工缝处应一直保持湿润,但不得有积水。墙体最终的自密实混凝土外露表面,应在自密实混凝土抹压和压光后,在表面浇水,覆盖一层塑料薄膜,并视情况在薄膜上覆盖麻袋养护,

养护时间至少为 14 天。

对于浇筑自密实混凝土的楼板,应在浇筑完毕并抹压和压光后,待自密实混凝土硬化至可上人时,在混凝土表面浇水,并覆盖一层塑料薄膜,如果气温较低,可视情况加盖麻袋进行保温养护,养护时间至少为 14 天。

混凝土浇筑完毕并抹压和压光后,在混凝土表面浇水,覆盖一层塑料薄膜。如果气温较低,可视情况在薄膜上覆盖麻袋进行保温养护,养护时间至少为 7 天。

五 质量保证措施

(一) 提前做好施工技术准备

施工人员应完全了解“SC 结构”的物理构造,对于内部结构复杂,在混凝土浇筑过程中容易产生混凝土潜在缺陷的部位,应提前做好技术准备,加强施工过程中的质量控制,采用敲击法进行抽查,必要时采取针对性的措施,如:浇筑过程中可在墙体模块外部辅助敲击,主要是门洞及拐角部位,以提高混凝土的流动性,确保工程施工质量^[3]。

(二) 提前进行“SC 结构”混凝土施工模拟试验

为了掌握自密实混凝土的流动性、填充性、初凝及终凝时间、施工缝的处理方法、下落高度过大是否产生离析等,在正式的“SC 结构”施工实施之前,需要进行有针对性的研究、试验和模拟工作,并将相应的试验和模拟施工的结果、数据提交给业主和设计方进行审查,从而形成一个各方认可的操作流程,在实际施工的时候,完全按照经批准的流程进行实施。

(三) 加强自密实混凝土性能检测

在自密实混凝土入场入泵前,应按照设计要求的检测频率进行技术性能的检测,确保入泵浇筑的混凝土符合设计要求。对于自密实混凝土,应在入泵口处进行入模温度、含气量、扩展度和密度的检验,检测结果应满足设计要求。

(四) 控制混凝土缺陷的产生

对于可能不易充满自密实混凝土的门洞口部位,下料时要保证只从门洞口的一个方向下料,对方出料并高出钢板后,方可从对方开始下料。

对于“SC 结构”拐角位置、贯穿件及预埋件比较密集的区域,采用橡皮锤在钢板墙外辅助敲击的方法,以提高混凝土的流动性,以避免空气聚集到该区域形成空鼓。

对于与“SC 结构”相连的基础或连接部件之间的缝隙,均应在混凝土浇筑之前进行密封,防止漏浆,产生烂根现象。

(五) 控制模块变形满足要求

提高模块预制、拼装、安装的精度,以避免出现未浇筑混凝土就出现模块变形超标的现象。控制混凝土的浇筑速度,采用分层下料,适当延长每层下料的间隔时间,但是,要在初凝前将已浇筑的混凝土覆盖,以达到控制混凝土的侧压力不超过模块墙的设计值。施工过程中进行模块变形的实时监测,采用百分尺直接测量出模块的变形值,以实时指导现场施工。

(六) 混凝土最终标高的控制

自密实混凝土浇筑后,静停过程中,因气泡溢出而导致混凝土沉降,可在浇筑最上层混凝土时适当提高所要求的标

高,也可在混凝土初凝前补充浇筑至所规定的标高,最终表面应是光滑、平整,且满足设计标高要求。

六 “SC 结构”土建施工管理效果

(一)施工工期缩短,工程进度加快

由于采用模块化施工,取消了钢筋、模板和脚手架的现场施工,基本实现了“SC 结构”生产的工厂化,施工的机械化,减少了现场的湿作业,因此劳动生产率提高,施工周期可比一般钢筋混凝土结构缩短 40% 左右。

(二)施工成本降低,工程造价适中

“SC 结构”体系比传统的建筑体系在使用功能、结构性能上有了很大的提高,但由于该体系的科技含量比较高,减少了总的劳动力需求量和总的钢材用量,因而其造价并没有提高,一般它比纯钢结构建筑可降低 20% 以上,基本与钢筋混凝土结构持平。

(三)施工质量更高,抗震性能更好

由于“SC 结构”的钢结构部分采用车间生产,现场组装,整体吊装,因此施工质量更易于保证,并且在抗剪连接键的作用下,钢板与混凝土之间接合完好,未出现脱空现象;另外,“SC 结构”不但充分发挥了钢材和混凝土的材料特性,而且经过组合后,钢结构对混凝土产生套箍效应,使得混凝土的物理性由原来的脆性转变为塑性材料,因而使得“SC 结构”具有了更高的承载力和更好的抗震性。

(四)施工环保节能,实现低碳生产

由于“SC 结构”取消了钢筋、模板和脚手架的施工,最大限度地减少了施工材料的浪费,有效地控制了现场施工对环境生产的污染,减少了施工现场的粉尘、噪声、建筑垃圾等,体现了绿色环保工程的特点,基本实现了低碳生产的要求。

七 小结

“SC 结构”是近 20 年来随着建筑科学技术的发展而推出的一种全新的建筑结构类型,目前在三门 AP1000 核电站中得到了较好的应用。该结构在施工进度、工程质量、成本控制、环境保护等方面均达到了预期的效果,特别是自密实混凝土在该结构中的应用,更是将施工过程质量控制中人为因素的影响降到最低,为今后“SC 结构”在核电工程中的推广应用,奠定了坚实的基础。

[参考文献]

- [1] 聂建国. 钢—混凝土组合结构原理与实例[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 刘维亚. 钢与混凝土组合结构理论与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [3] 薛建阳. 钢与混凝土组合结构[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007.

Empirical Study on Construction Management of Steel Plate Reinforced Concrete Structure in AP1000 Nuclear Power Project

HE De-sheng, ZOU Shu-liang

(University of South China, Hangyang 421001, China)

Abstract: Steel plate reinforced concrete structure (referred to as SC structure), a steel plate and concrete composite structure without steel bar and template, is a new type of structure. This structure, through its application in Sanmen AP1000 nuclear power project, has been confirmed that it can shorten the construction period, lower construction costs, improve project quality, etc., and also can reduce labor intensity and improve the seismic capability to meet the requirements of low-carbon construction, thus has broad application prospects.

Key words: AP1000 nuclear power project; steel plate reinforced concrete structure; self-compacting concrete