

SPCS 结构体系-装配整体式剪力墙结构施工工法

编制单位：三一筑工科技有限公司

1 前言

建筑工业化是传统的建筑业生产方式向工业化生产方式转变的过程，以设计标准化、生产预制化、施工装配化为特征，整合设计、生产、施工等产业链，实现建筑产品节能、环保、全生命周期价值最大化的可持续发展的新型建筑形式。

三一筑工科技有限公司响应国家建筑工业化的号召，组织进行了混凝土空腔结构技术的研究，通过理论研究、装备研发、构件试验、工程示范等方式，创新研发了“装配整体式混凝土空腔结构体系”（SPCS）。

三一筑工 SPCS 剪力墙结构施工是通过预制空腔构件，将竖向空腔墙、水平叠合构件（板、梁）、墙体边缘约束构件（现浇）等通过现浇混凝土结合为整体，充分发挥了预制混凝土构件和现浇混凝土的优点。通过对 SPCS 剪力墙结构示范项目的应用，三一筑工总结完成了 SPCS 剪力墙结构施工工法，为 SPCS 结构施工赋能，让天下建筑更好更快更便宜！

2 特点

2.0.1 整体安全性高。利用混凝土叠合原理，将空腔墙（竖向构件）与叠合梁、叠合板（水平构件）、墙体边缘构件（现浇段）通过现浇混凝土结合为整体，整体刚度和抗震性等同于现浇结构。

2.0.2 施工质量好。SPCS 空腔墙为工厂钢模台生产，构件尺寸精度控制在毫米级，混凝土外观质量好，达到免抹灰。

2.0.3 节约成本。SPCS 剪力墙钢筋为工厂自动焊接成笼，减少大量钢筋工绑扎作业量，混凝土外壳即可作为受力构件，亦可作为现场施工模板用，可减少现场模板 80%工程量，尤其高空或其他困难条件下，提高施工效率，节约人工及材料费用，提高经济效益。

2.0.4 防水性能好。SPCS 剪力墙通过空腔与边缘构件及叠合板叠合层现浇成为整体，避免了传统装配式的建筑接缝漏水问题。

2.0.5 构件质量轻。相对于传统的装配式施工方法，SPCS 装配式整体混凝土叠合结构中的空腔墙中间含有空腔，既减少了构件约 50%的自重，便于运输，现场施工塔吊选型等同于现浇结构，不增加机械费用，也便于现场施工安装。

2.0.6 施工进度快。空腔墙与钢筋间接搭接，容错能力强，墙板吊装速度快，竖向刚性组装，另外大量的钢筋和模板工程量已经完成，现场施工进度更快，达到三天一层的施工标

准。

3 适用范围

SPCS 剪力墙结构施工工法适用于满足空腔结构高度要求下的所有剪力墙结构。空腔结构房屋最大高度见下表：

结构类型	抗震设防烈度			
	6 度	7 度	8 度 (0.2g)	8 度 (0.3g)
空腔剪力墙结构	130	110	90	70
空腔框架-剪力墙结构	130	120	100	80
空腔框架-核心筒结构	150	130	100	90

注意：房屋高度是指室外地面到主要屋面的高度，不包括局部突出屋顶的部分。

4 工艺原理

SPCS 剪力墙结构设计的基本原理是采用“等同原理”。通过采用可靠的连接技术和必要的结构与构造措施，使得 SPCS 剪力墙结构体系与现浇混凝土结构的性能基本相同。其中结构模型和计算与现浇模式相同，仅个别微调；配筋与现浇相同，仅在连接或个别部位加强；水平缝受剪承载力计算理论与现浇相同。在混凝土预制与现浇的结合面设置粗糙面，键槽等抗剪构造措施。SPCS 剪力墙结构中重要且经典的连接节点若下图所示：

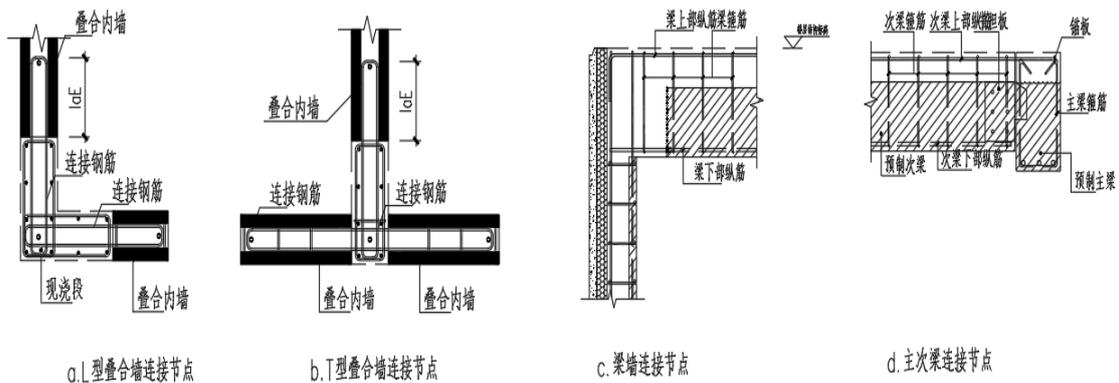


图 4-1 主要节点示意图

5 工艺流程及操作要点

5.1 工艺流程

基层清理→测量放线→插筋校正→标高调节→墙板吊装→临时固定→墙板校正→节点

钢筋绑扎→空腔墙竖向拼缝封堵→空腔墙与楼板水平缝封堵→节点模板安装→竖向支撑搭设→叠合梁、板吊装→水电预留预埋→叠合板上层钢筋绑扎（含预埋及插筋）→浇筑混凝土

5.2 操作要点

5.2.1 基层清理

安装预制空腔墙前，应对基层进行凿毛清理，用水清理结合面，并保持基面清洁。

5.2.2 测量放线

测量放线人员使用经纬仪在作业层混凝土表面，弹设控制线以便安装墙体就位，包括：墙身线、墙端线、洞口边线、墙体平面位置 200mm 控制线。并使用水准仪或激光水平仪在空腔墙底部进行测量，计算出垫片的高度。

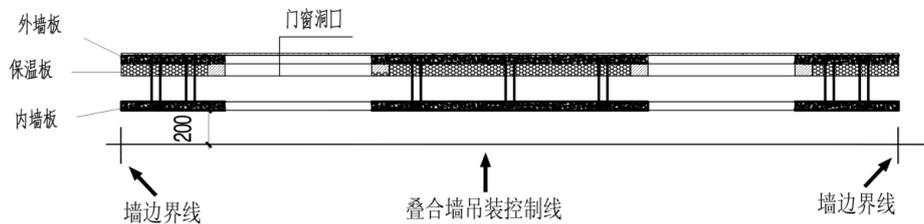


图 5-1 放线控制示意图

5.2.3 插筋校正

空腔墙外露连接钢筋主要包括空腔区间接搭接钢筋及后浇节点连接钢筋，首先应去除预留钢筋上的保护，并清洁预留钢筋，同时，采用专用钢筋卡具等检查预留钢筋的位置与尺寸，对超过允许偏差的钢筋进行校正处理。预制构件安装层的底板浇筑混凝土之前与预制构件连接的竖向钢筋应依据设计图纸事先预留并采用专用卡具进行固定，保证钢筋的间距、垂直度等。

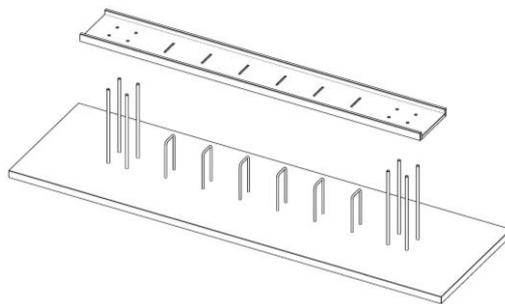


图 5-2 钢筋预埋示意图

5.2.4 标高调节

空腔墙安装前，测量人员将预制件底部设计标高标注至预留钢筋处，施工人员依据设计标高放置垫片进行标高调节及找平，找平层通常设计为 50mm，垫片采用专用垫块，应放置在空腔墙预制墙体下方。

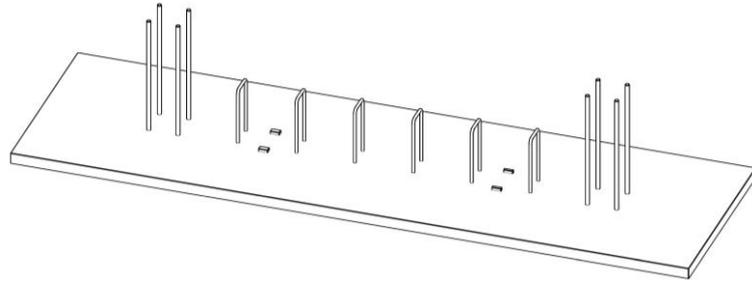


图 5-3 垫块标高调节示意图

5.2.5 墙板吊装

(1) 空腔墙板吊装前，施工管理及操作人员应熟悉施工图纸，按照吊装流程核对构件类型及编号，确认安装位置，并标注吊装顺序。

(2) 起吊预制空腔墙板宜采用专用吊装钢梁，用卸扣将钢丝绳与外墙板上端的预埋吊环（或经设计确定的桁架钢筋、格构钢筋吊装点）连接，并确认连接紧固。起重设备的主钩位置、吊具及构件中心在竖直方向上宜重合，吊索与构件水平夹角不宜小于 60° ，不应小于 45° ，如下图所示，起吊过程中，应注意预制外墙板板面不得与堆放架或其他预制构件发生碰撞。

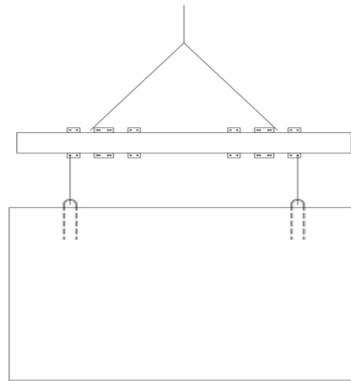


图 5-4 空腔墙起吊示意图

(3) 待板的底边升至距地面 500mm 时略作停顿，再次检查吊挂是否牢固，板面有无污染破损，若有问题需立即处理，不得继续吊装作业。确认无误后，继续提升使之慢慢靠近安装作业面。

(4) 当空腔墙板吊装至在距作业面上方 500mm 左右的地方时略作停顿，施工人员可以用搭钩勾住两根控制绳索，通过拉拽方式使墙板靠近作业面，手扶墙板，控制墙板下落方向。

(5) 安装就位

1) 墙板缓慢下降，待到预留引导钢筋顶部时，对准空腔区预留钢筋，将墙板缓缓下降，使之平稳就位。

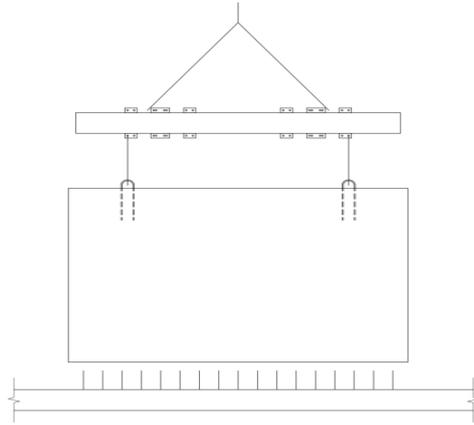


图 5-5 空腔墙下落示意图

2) 墙板顺引导钢筋下落, 墙体根部可预先安装好角钢, 便于墙板快速下落就位, 实现墙板快速吊装, 也可以待吊装就位后安装角钢。角钢也可以采用木方或其他材料替换。

3) 三明治外墙及内墙吊装连接节点详见下图。

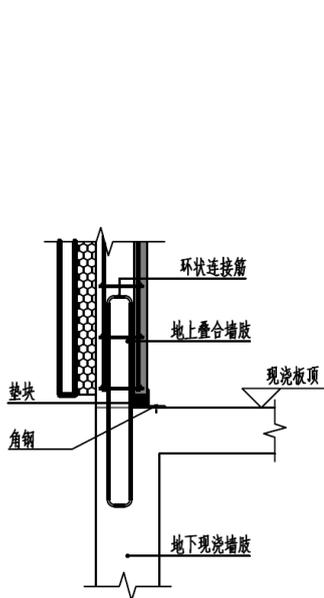


图 5-6 保温外墙首层

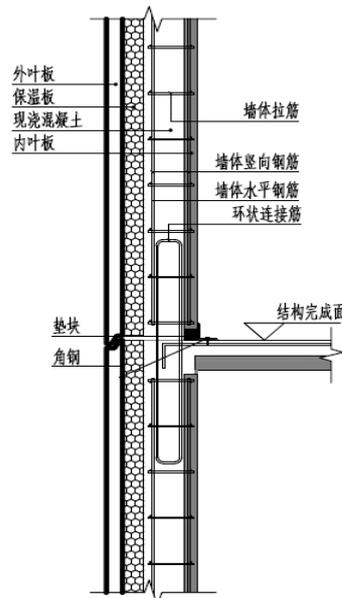


图 5-7 保温外墙中间层

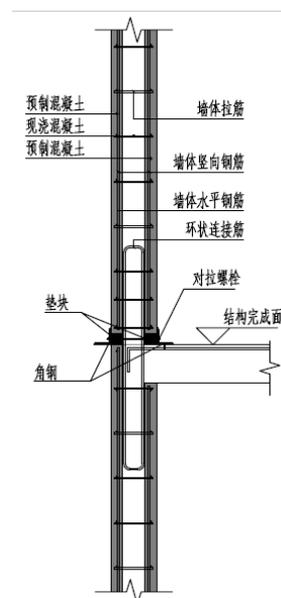


图 5-8 无保温墙体

5.2.6 临时固定

预制空心墙板应设置不少于 2 道可调节长度的斜支撑, 斜支撑两端应分别与墙体和楼板固定, 长斜支撑距离板底的距离宜为构件高度 $2/3$, 短斜支撑距离板底的距离宜为构件高度 $1/4$; 空腔墙板校正包括平面定位, 垂直度等方面, 如下图所示, 具体措施如下:

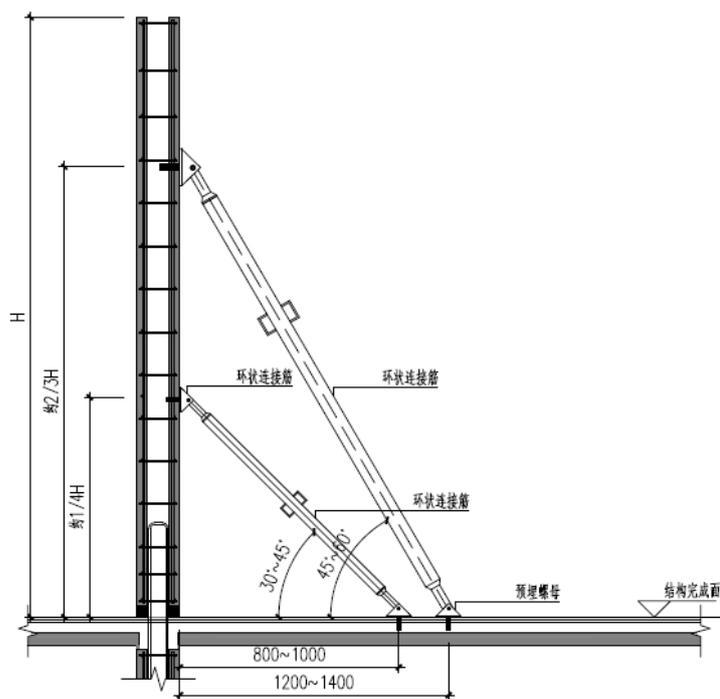


图 5-9 墙板安装校正

5.2.7 墙板校正

空腔墙板校正包括平面定位，垂直度等方面，具体措施如下：

(1) 平行墙板方向水平位置校正措施：根据楼板上弹出的墙板位置线对墙板位置进行校正。如有偏差可用撬棍进行相应微调。

(2) 垂直墙板方向水平位置校正措施：利用短斜撑调节杆，对墙板根部进行调节来控制墙板水平的位置。

(3) 墙板垂直度校正措施：待墙板水平就位调节完毕后，利用长斜撑调节杆，通过调整墙体顶部的水平位移来调节墙体的垂直度。

(4) 墙板垂直度检测：待墙板位置调整完毕后，使用垂直度检测尺对墙板的垂直度进行确认，满足允许误差方可进入下一个施工环节。

(5) 墙板校正结束后，将墙板斜撑进行拧紧，拧紧后再次检查墙体位置、垂直度是否满足要求，避免浇筑混凝土后出现错台问题；并确定浇筑混凝土前斜撑未被扰动。（墙体错台的原因有以下两点：1、构件自身误差；可在构件进场时按验收要求进行检查，对不符合要求的构件进行退场处理，避免此种情况出现；2、下层构件位置存在偏差；此种情况原因有两种，其一为墙体校正最终完成时未对其进行再次检查，其一为后续施工作业时对斜撑进行扰动，导致墙体拉结力不够，将会在浇筑吊装水平构件及浇筑混凝土时对墙体位置和垂直度造成影响。针对此情况，施工人员应按本工法要求进行操作，切勿省略墙体斜撑校正后的再次检查；并向所有作业人员交底，使其明白斜撑的重要性。并在吊装水平构件时再次检查墙体位置及其垂直度，以避免后期出现墙体错台情况。）

5.2.8 节点钢筋绑扎

预制空腔墙后浇节点的水平附加钢筋、竖向连接钢筋的规格、数量、型号应参照设计图纸，三一筑工采用成品定型钢筋笼，与预留钢筋有效连接，省去大量的现场钢筋绑扎工作。其主要连接方式分为L型连接、T字型连接，连接流程如下图所示：

以典型L型墙体约束边缘暗柱钢筋笼绑扎步骤为例：

第一步：空腔墙安装就位后在内部放置U型连接钢筋；

第二步：吊装L形成型钢筋笼

三一筑工将钢筋笼在工厂采用自动焊接机器人整体焊接成型，将手工绑扎作业变为机械焊接，将现场钢筋绑扎作业变为工厂整体成型，即保证了钢筋笼的成型质量，加快了钢筋安装速度，提升施工效率，大大减轻了工人作业强度，减少人工。

第三步：将预放在空腔墙体内部的U形钢筋笼穿入到L形成型钢筋笼内。

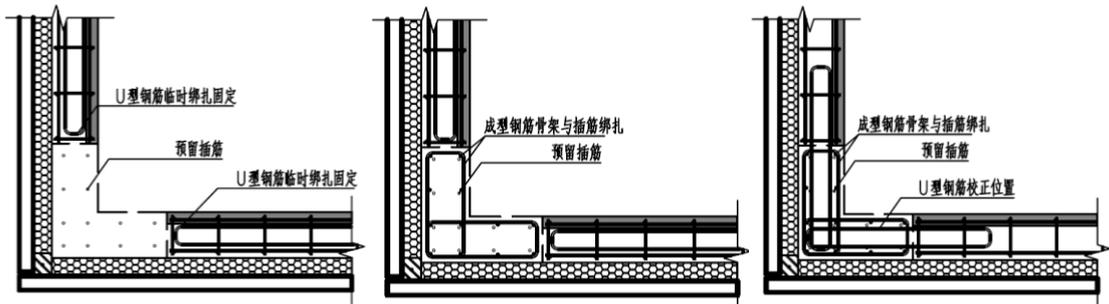


图 5-10 L 形连接段钢筋安装图

5.2.9 空腔墙竖向接缝封堵

空腔墙拼接缝位于建筑物室外时，应在浇筑混凝土之前用 PE 棒做好堵缝工作，并于外墙外装施工时，填补防水密封胶。空腔墙拼接缝在建筑物室内时直接支设模板浇筑混凝土。

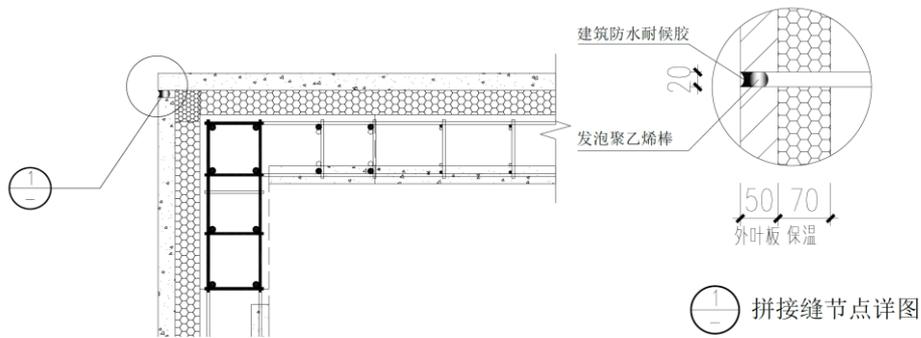


图 5-10 L 形连接段竖向接缝封堵图

5.2.10 空腔墙与楼板水平缝封堵

空腔墙与下部楼板之间的缝隙通常为 50mm，如下图所示；可选用木方或角钢进行封堵后进行加固。

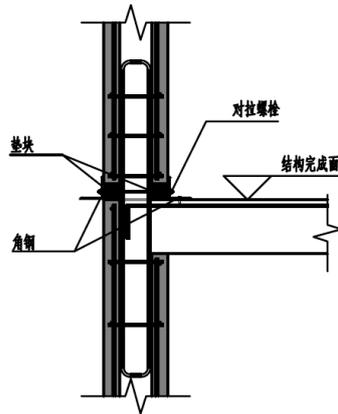


图 5-11 水平接缝封堵图

5.2.11 节点模板支设

空腔墙节点处模板安装宜采用铝模，采用内外侧双侧支模，通过墙板拼缝处及空腔墙板留洞设置对拉螺杆。如下图所示。支设模板时，构件与现浇段连接处应采取粘贴海绵条等防漏浆措施，以保证混凝土的性能符合要求。

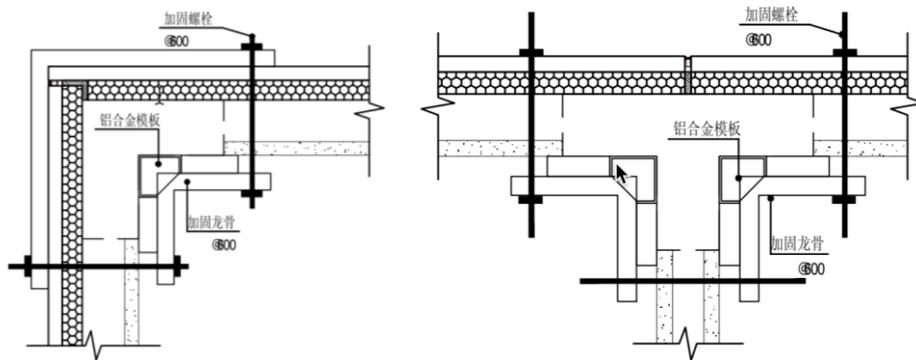


图 5-12 T形连接节点模板安装图

5.2.12 竖向支撑搭设

叠合梁、叠合板的安装均需竖向支撑体系，选用合适的支撑体系并通过验算确定支撑间距，模板优先选用轻质高强的面板材料。支撑可采用独立支撑、满堂脚手架等多种支撑形式。其中叠合梁底可采用独立支撑或满堂脚手架搭设，依据图纸标高及施工荷载确定其纵距、步距。满足叠合梁的后续施工要求。叠合板竖向支撑可采用独立支撑或满堂脚手架搭设，依据图纸标高及施工荷载确定其纵距、步距。满足叠合板的后续施工要求。

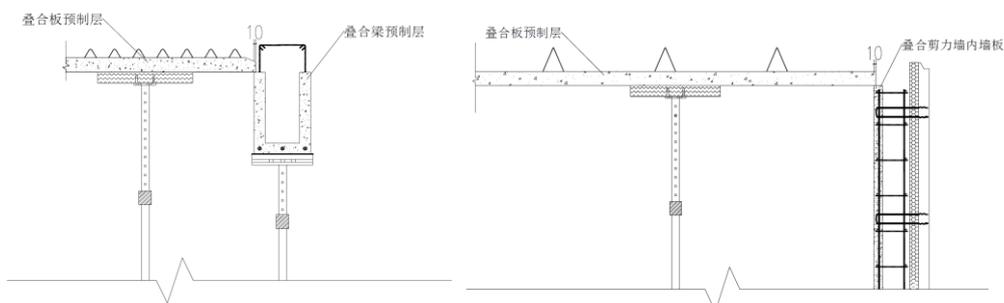


图 5-13 竖向独立支撑及节点图

5.2.13 叠合梁吊装

(1) 预制叠合梁起吊时，宜采用一字型吊梁进行吊装，预制板吊装时，应选用框架吊梁进行吊装。同时使吊绳吊钩与梁、板预埋吊钉或桁架钢筋上指定的吊点位置。

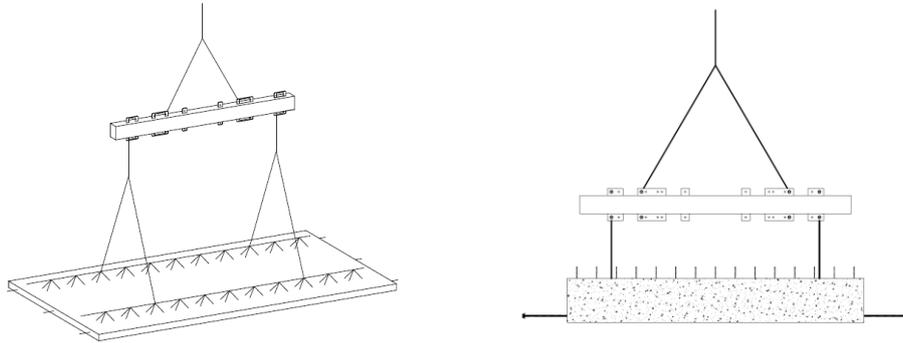


图 5-14 叠合梁、板吊装

(2) 起吊时，先吊至距地面 500mm-1000mm 处略作停顿，检查钢丝绳、吊钩的受力情况及叠合梁、板下方有无裂缝等质量问题，确认无误后，保持叠合板、梁水平吊至作业面上空。

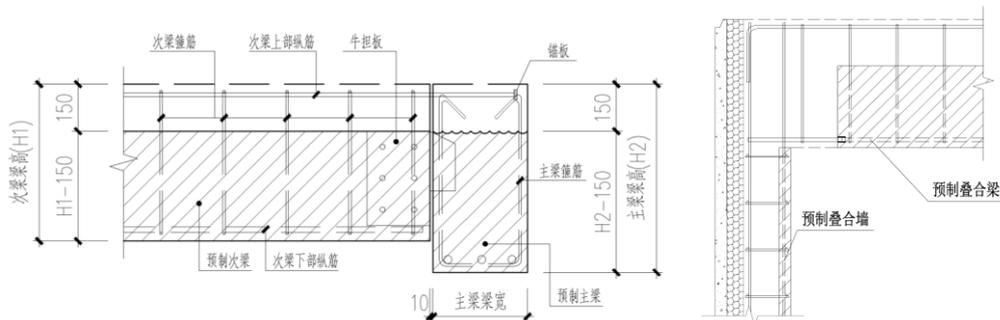


图 5-15 梁墙节点、主次梁节点

(3) 叠合梁、叠合板就位时，应从上向下垂直安装，并在作业面上空 200mm 处略作停顿，施工人员手扶叠合梁、板调整，将梁、板的边线与位置线对准，注意避免预制叠合板底板上预留钢筋与墙体或梁箍筋碰撞变形。其中叠合梁吊装时，应仔细审查图纸，按标高从低至高进行吊装。

(4) 叠合梁、板吊至施工位置时，如有些许偏差，应及时调整。调整叠合梁时，可使用橡胶锤轻轻敲击梁侧对梁进行微调，调整板的位置时，宜采用楔形小木块嵌入调整，不宜直接使用撬棍，以避免损坏板边角。注意叠合梁、板调整时，吊钩不松钩。

(5) 叠合梁、板安装就位后，利用板下可调支撑（如采用满堂脚手架可调整 U 托）调整预制叠合板底板标高

(6) 预制叠合梁、板位置及标高调整完毕后，摘掉吊钩。

5.2.14 水电预留预埋

机电管线铺设：叠合梁、叠合楼板安装之后，首先应铺设结构现浇层的机电管线。机电管线的深化设计阶段应进行优化，然后照图施工，合理排布，管线连接处应采用可靠的密封措施。

5.2.15 叠合板上层钢筋绑扎（含预埋件安装）

在叠合层钢筋绑扎之前首先应对上一层的斜撑拉环进行预埋，以免后期对楼板进行打眼

设置预埋螺栓。斜撑拉环可采用圆钢加工制作而成，并依据图 5.2.2-1 位置进行留置，固定方式可采用与叠合板绑扎或焊接等方式进行连接。

空腔层钢筋绑扎前清理干净叠合板上面的杂物，并根据钢筋间距弹线绑扎，上部受力钢筋带弯钩时，弯钩向下摆放，应保证钢筋搭接和间距符合设计要求。插进留置时，应仔细阅读结构插筋平面图及其详图，明确钢筋的规格、间距及其平面位置，为保证插筋位置准确，可将插筋下半部分与墙体内钢筋进行绑扎，或放置一根辅助钢筋固定好后，与插筋焊接连接，以确保钢筋位置不发生偏移。插筋上端部统一放置一根辅助钢筋，将所有插筋与辅助钢筋绑扎牢靠，待混凝土浇筑完成后再进行拆除。

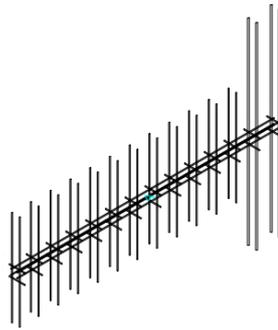


图 5-16 插筋构造图

在有叠合梁及叠合板时，应先将叠合梁上铁进行绑扎，叠合梁通长上铁钢筋可采用直螺纹接头连接或采用金砼链接件进行连接。

5.2.16 混凝土浇筑及养护

为使叠合层与预制叠合板板底结合牢固，混凝土浇筑前应清洁叠合面，如有污染部分，应先将污染部分凿去一层，露出未被污染的表面。

混凝土浇筑前，应采用定位卡具检查并校正预制构件的连接预埋钢筋，对浇筑混凝土前将插筋露出部分做好保护，避免浇筑混凝土时污染钢筋接头。混凝土的选择墙体空腔墙空腔部分采用自密实混凝土（保证其和易性、坍落度满足要求），楼板部分选用普通混凝土（方便混凝土收面，并节约成本）。

混凝土浇筑时，应先浇筑空腔墙空腔混凝土，且应按顺序就行分层浇筑，每层混凝土厚度不超过 1000mm，待所有空腔墙均浇筑完第一层混凝土后方可进行第二层浇筑。浇筑叠合板时，为保证预制叠合板板底受力均匀，混凝土浇筑宜从中间向两边浇筑。混凝土浇筑时，应控制混凝土入模温度。混凝土应连续浇筑，一次完成。

空腔构件与周边现浇混凝土结构连接处混凝土浇筑时，应加密振捣点，保证结合部位混凝土振捣质量。混凝土浇筑完成后，做好养护。

6 主要材料及设备

6.1.1 主要起重设备：塔吊、汽车吊

6.1.2 空腔墙板安装机具：撬棍、塑料垫片、电动扳手、检测尺、平衡梁、缆风绳等；

6.1.3 混凝土浇筑设备：铁铲、小锤、插入式振动器、计量器具、试件制作器具；

6.1.4 各种质量检测工具：激光经纬仪、水准仪、钢卷尺等检测器具、混凝土塌落度测量筒；

6.1.5 主要材料：铝模、钢管、斜撑、木方、木模板、角钢、膨胀螺栓、人字梯、直螺纹套筒、自密实混凝土，楼板支撑件等

6.1.6 其他：全站仪、吊绳、马蹄扣、墨斗、记号笔、小锤、手套、电钻、扎丝等；

6.1.7 SPCS 施工常见主要材料及工具见下表

表 6.1.7 SPCS 施工主要材料和工具

序号	名称	规格型号	图片	用途
1	吊钩	/		吊装工装
2	塑料垫片	20mm/10mm/5mm/2mm /1mm		预制件标高调节
3	电动扳手	/		螺栓锁紧
4	调节垫块	/		标高调节
5	斜支撑	/		固定预制墙板
6	吊绳（钢丝绳）	/		构件吊装
7	框架吊梁	/		叠合板、楼梯吊装
8	单根吊梁	/		空腔墙板、柱吊装
9	全站仪	/		测量放线

10	水准仪	QS24-DL9		标高测量
11	倒链	5t/10t		构件校正
12	角磨机	GWS 8-100		墙体切割
16	PE 棒	25mm/20mm		外墙构件接缝处封堵
17	防水密封胶	/		构件接缝处外部封堵
18	检测尺	/		构件安装垂直度、平整度检测
19	撬棍	/		构件调整

7 质量控制

7.1 质量控制标准

7.1.1 《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB 50300）

7.1.2 《混凝土结构工程施工规范》（GB 50666）

7.1.3 《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）

7.1.4 《装配式混凝土技术规程》（JGJ 1）

7.1.5 《装配整体式钢筋焊接网叠合混凝土结构技术规程》（T/CECS 579）

包括但不限于以上规范和技术规程。

7.2 质量控制要求

7.2.1 主控项目

(1) 外观偏差。装配整体式混凝土空腔结构施工后，其外观质量不应有一般缺陷。

(2) 预制构件位置、尺寸偏差。装配整体式混凝土空腔结构施工后，预制构件位置、尺寸偏差及检验方法应符合设计要求及国家标准；

(3) 外墙板接缝的防水节点做法与防水性能应符合设计要求。

(4) 装配整体式混凝土空腔结构中后浇节点混凝土结构的模板安装尺寸偏差应符合表 7.2.1-4 的规定。

7.2.2 一般项目

(1) 预制构件的首层插筋的规格、数量、型号、位置、长度应满足设计要求。

(2) 有外观质量问题的预制构件不得吊装、安装。

(3) 预制构件在安装过程中应保证位置、标高准确，不得超过最大允许误差。

(4) 预制构件水平、竖向拼缝构造做法应满足设计要求。

(5) 预制构件后浇节点的做法应满足设计要求。

表 7.2.1-1 预制空腔墙板类预制构件外形尺寸允许偏差和检验方法

序号	检查项目		允许偏差(mm)	检验方法
1	墙板水平长度		±4	尺量,
	上下层相同位置墙片边缘位置差		5	用尺量两端和中部, 取偏差绝对值较大者
	内页板安装缝宽度		5	尺量,
	外页或内页墙板厚度		-3	用尺量四角和四边中部位置, 去其中偏差绝对值较大者
	总厚度		±3	
	墙板高度		±3	用尺量两端和中部, 取偏差绝对值较大者
2	表面平整	内表面	5	2m 靠尺和金属塞尺测量, 取靠尺与构件表面的最大缝隙
		外表面	3	
3	对角线差	墙板、门窗口	5	尺量两对角线
4	侧向弯曲		L/1000 且≤10	拉线, 尺量最大弯曲处
5	扭翘		L/750	四对角拉两根线, 量测两线交点之间的距离, 其值的 2 倍为扭翘值
6	预留孔洞	中心线位置偏移	5	用尺量纵横两个方向尺寸, 取其中较大者
		孔洞尺寸, 深度	±5	用尺量纵横两个方向的中心线位置, 取其中较大者
7	墙板上对应梁安装的槽口	槽口宽度、高度	5	尺量, 取其中较大者
		槽口侧壁定位偏差	5	
8	门窗洞	中心线位置偏移	5	用尺量纵横两个方向尺寸, 取其中较大者
		宽度、高度	±3	用尺量纵横两个方向的中心线位置, 取其中最大者

序号	检查项目		允许偏差(mm)	检验方法
9	预埋螺栓等预埋件	预埋锚板中心位置	5	尺量，取其中较大者
		预埋锚板与混凝土面平面高差	0, -5	
		预埋螺栓中心位置	2	
		预埋螺栓外露长度	±5	
		预埋套筒、螺母中心位置偏差	2	
		预埋套筒、螺母与混凝土面平面高差	0, -5	
		线盒、电盒、吊环中心位置偏差	15	
		线盒、电盒、吊环与构件表面偏差	0, -10	
10	预留插筋	中心线位置偏差	3	尺量，取其中较大者
		外露长度	±5	
11	键槽	中心线位置偏移	5	尺量，取其中较大者
		长度、宽度、深度	±5	

表 7.2.1-2 梁类预制构件尺寸允许偏差和检验方法

序号	检查项目		允许偏差(mm)	检验方法
1	叠合梁	梁水平长度	±5	尺量
		梁截面宽度	-3	
		梁截面高度	±5	
2	表面平整	梁、内表面	5	2m 靠尺和金属塞尺测量
		空腔柱外表面	3	
3	对角线差		5	尺量两对角线
4	侧向弯曲		$L/750$ 且 ≤ 10	拉线，钢尺量最大弯曲处
5	扭翘		$L/750$	对角线用细线固定，尺量中心点高度差值
6	预留孔洞	中心线位置偏移	5	尺量
		孔尺寸	±5	
7	预埋螺栓等预埋件	预埋锚板中心位置	5	尺量
		预埋锚板与混凝土面平面高差	0, -5	
		预埋螺栓中心位置	2	

		预埋螺栓外露长度	±5	
		预埋套筒、螺母中心位置偏差	2	
		预埋套筒、螺母与混凝土面平面高差	0, -5	
8	键槽	中心线位置偏移	5	尺量
		长度、宽度、深度	±5	

表 7.2.1-4 板类、墙板类构件模具尺寸允许偏差及检验方法

项目		允许偏差 (mm)	检验方法
轴线位置		5	尺量
底模上表面标高		±5	水准仪或拉线、尺量
截面内部尺寸	基础	±10	尺量
	空腔柱、墙、梁	±5	尺量
	楼梯相邻踏步高差	5	尺量
柱、墙垂直度	层高≤6m	8	经纬仪或吊线、尺量
	层高>6m	10	经纬仪或吊线、尺量
相邻模板表面高差		2	尺量
表面平整度		5	2m 靠尺和塞尺测量

注：检查轴线位置，当有纵、横两个方向式，沿纵、横两个方向量测，并取其中偏差的较大值。

7.3 控制措施

7.3.1 叠合板、叠合梁的支撑体系宜采用工具式独立支撑并进行施工荷载验算。

7.3.2 空腔墙、空腔柱混凝土浇筑时应分层浇筑，避免导致涨模及墙板开裂。

7.3.3 SPCS 空腔结构预制构件应采用专用运输车运输，避免运输过程中对构件造成损伤并方便安装施工时的吊装。

7.3.4 空腔墙、叠合梁宜采用一字型吊梁进行吊装作业，叠合楼板、楼梯宜采用框架吊梁进行吊装作业。

7.3.5 首层预留钢筋安装时，应仔细核对钢筋位置，并使用专用卡具确保其在混凝土浇筑时位置不发生移动。

7.3.6 空腔墙在浇筑混凝土时，宜采用自密实混凝土，振捣过程中应选用较小型号的振动棒且避免在振捣中碰撞保温连接件。

8 安全措施

8.0.1 吊装施工前召开全体吊装人员安全专题会议，根据吊装交底明确责任，具体责任

到各人员，统一指挥、统一协调。

8.0.2 对各工种人员经行针对性的安全教育、安全交底使各施工人员熟知本工程的操作规程和吊装安全要求及职责。

8.0.3 吊装前对钢丝绳等进行系统的检查,确保在良好状态下经行作业,对使用的吊梁、吊具、吊钩经行检查(重点检查各用具是否匹配吊装重量)。起重吊环、吊带不准运送人员,起重机具要安全保护装置齐全。

8.0.4 对现场用电进行排查,吊装用电开关箱、电缆、保持良好,无隐患。

8.0.5 现场设置吊装区域,吊装区域设置警戒线,由警戒人员看管,非作业人员一律不许入内。

8.0.6 安全员、信号工、吊索工、警戒人员配备红袖箍,提前进行沟通磨合。

8.0.7 吊装前对所吊构件的重量和距汽车吊中心的距离及位置由技术人员明确,使每个施工人员能掌控基本信息,加强掌控。

8.0.8 吊装构件时,应垂直缓慢起吊,等升到离地面 20cm 左右时停止检查,试吊合格后在进行吊装。

8.0.9 现场杜绝“违章指挥”“违章操作”。

8.0.10 每天吊装完成后,由专职人员对汽车吊及吊具、临时用电等进行检查,确保安全。

8.0.11 检查信号工通信设施,确保通信设施完好无故障。

8.0.12 预制外墙构件进场采用吊钩吊运时,不得攀爬堆放架,需采用专用操作架进行作业。

8.0.13 当预制外墙起吊时,预制外墙窗洞处需设置保险绳,与吊梁连接,防止因吊钩脱落、断裂造成高空坠物。所有人员撤离至 5m 范围以外,构件吊装路线范围下方严禁人员穿越,由警戒人员看管;

8.0.14 预制外墙吊钩锚固后,所有人员撤离至 5m 范围外;

8.0.15 吊装预制外墙时,应垂直起吊,待外墙升至制高点 $H+4m$ (H 为作业层楼层标高)时,水平吊运至楼层指定位置上空,随后预制外墙缓慢下降,待其降落至距地面 0.5m 时,由两名专业工人手扶预制构件进行降落;

8.0.16 构件吊装路线范围下方严禁人员穿越,由警戒人员看管;

8.0.17 预制外墙即将落地时,严禁工人用手去触摸构件下部边缘;钢筋对孔矫正时,应使用专用撬棍对钢筋进行微调,严禁用手调试,以免夹伤手指;

8.0.18 预制外墙安装时,地面半径 5m 范围内严禁站人,防止墙体倾斜倒塌及高空坠物。

8.0.19 墙板吊装采用模数吊装梁;根据空腔墙板的吊环位置采用合理的起吊点;用卸扣将钢丝绳与外墙板的预留吊环连接,起吊要求缓慢匀速,保证空腔墙板边缘不被损坏;空腔墙板吊装时,要求汽车吊缓慢起吊,吊至作业层上方 500mm 左右时,施工人员用两根溜绳

用搭钩钩住，用溜绳将板拉住，缓缓下降墙板。

9 环保措施

9.0.1 环境保护目标

遵守国家法律、法规及地方有关的环境保护规定。

9.0.2 防止空气污染措施

加强现场 PM2.5 等粉尘污染监测，加强作业场所的通风，防止作业场所有毒气体超过国家标准，危害施工人员健康。

9.0.3 防噪音污染措施

为防止噪声对人身的侵害，对易产生噪声的磨光机等机具，设备将集中放置在棚或箱内，剃凿作业安排在白天施工。

10 效益分析

10.1 经济效益

采用 SPCS 剪力墙结构施工工法，吊装作业只需要 4-5 人，钢筋绑扎及模板安装现场节省人工 80%，塔吊等机械费用没有增加，相较于传统装配式结构施工，节约成本 15% 以上。具体测算如下：

10.1.1 人工费：

(1) 传统现浇人工费为现场制作安装人工费，而传统 PC 与 SPCS 的人工费由三部分组成，为工厂人工费、现场吊装费和现场制作安装人工费。工厂预制构件人工工效对整个构件的成本影响较大。

(2) 工厂人工费部分：本次测算传统 PC 工效均按照 $0.43\text{m}^3/\text{工日}$ ，SPCS 构件的工效均按照 $0.35\text{m}^3/\text{工日}$ 考虑，经考察我公司目前各工厂（北京 PC 工厂、上海 PC 工厂、长沙 PC 工厂）的人均单方产量在 0.4-0.67 之间，主要原因是构件标准化程度低，业务量小，不能满足流水线连续生产。

10.1.2 材料费：

(1) 钢筋：因钢筋含量增高，所以 SPCS 比传统预制高 $5.37\text{元}/\text{m}^2$ ，SPCS 比现浇高 $13.7\text{元}/\text{m}^2$ 。

(2) 混凝土：SPCS 与传统预制持平。

(3) 模板及模具：因模板含量降低，同时增加模具费，传统 PC 比 SPCS 高 $37.65\text{元}/\text{m}^2$ ，SPCS 比现浇低 $36\text{元}/\text{m}^2$ 。

(4) 墙面抹灰：因传统现浇结构墙面需要抹灰，传统预制与 SPCS 结构混凝土墙体平整度提高，不需要再抹灰，所以传统 PC 与 SPCS 墙体抹灰一项比现浇结构低 15.78 元/m²。

(5) 外墙保温：因外墙保温含量降低，所以传统 PC 与 SPCS 结构预制部分比现浇每平方米低 6.37 元/m²。

(6) 套筒、灌浆料及保温连接件：SPCS 保温连接件（片状+针状）价格为 51.82 元/m²；传统预制保温连接件（片状+针状）价格为 19.45 元/m²，套筒价格为 20.23 元/m²，灌浆料价格为 19.88 元/m²，坐浆料价格为 8.89 元/m²，合计为 68.45 元/m²；综上，传统预制比 SPCS 高 16.64 元/m²。

10.1.3 机械费：

(1) 现浇部分塔吊测算：2、3#楼共用一台塔吊，采用 QTZ6015 型号，估算月租金 24000 元，现浇施工工期两个月，另计进出场费一次，本次测算现浇部分塔吊总费用为 24000*3/2=36000 元，约为 9.42 元/m²；

(2) SPCS 结构部分塔吊测算：2、3#楼共用一台塔吊 QTZ7015，估算月租金 40000 元，工期两个月，另计进出场费一次，本次测算传统预制及 SPCS 部分塔吊总费用为 (40000*2+60000)/2=70000 元，约为 18.31 元/m²；传统预制与 SPCS 比传统现浇高 8.89 元/m²。

(3) 传统预制结构部分塔吊测算：2、3#楼共用一台塔吊 QTZ8015，估算月租金 50000 元，工期两个月，另计进出场费一次，本次测算传统预制及 SPCS 部分塔吊总费用为 (50000*2+60000)/2=80000 元，约为 20.92 元/m²；传统预制与 SPCS 高 2.61 元/m²。

10.1.4 结论

(1) SPCS 较传统预制低 151.75 元/平米；

(2) 全寿命周期成本（地产）：从设计、施工到销售，考虑装配式建筑的国家政策、工期效益及环境效益等增量收益后 SPCS 较传统现浇节约 106.94 元/平米。

10.2 社会效益

通过采用 SPCS 剪力墙结构体系施工，相对于其他施工方法，无增加额外的施工工艺及工种，加快了施工进度，保证了施工质量及安全，节约了工程的综合成本。SPCS 结构体系含有多项发明专利及实用新型专利，得到了社会和行业内专家的广泛认可，具有较好的社会效益。

10.2.1 SPCS 结构可节约大量的施工现场作业量，工厂机械化的生产提高了效率，降低能源消耗，减少碳排放量。

10.2.2 运输 PC 构件比运输混凝土减少了罐的重量及转动罐的能源消耗。

10.2.3 减少现场较多的模板安装及钢管脚手架等措施费用，节约木材，减少工地建筑垃圾。

圾约 80%。

10.2.4 减少大量的现场混凝土浇筑，从而减少现场工地养护用水，节约水资源。

10.2.5 构件外观质量达到免抹灰，减少现场抹灰及修补湿作业，减少大量粉尘污染。

10.2.6 施工现场主要为吊装作业，减少现场施工噪声。

11 应用实例

11.0.1 禹城市站南路片区棚户区 2#楼板示范工程

禹城市站南路片区棚户区 2#楼板示范工程位于山东省德州市禹城市解放路以东、兴华巷以北、铁路以西，建筑面积 4973 m²，结构形式为框架剪力墙结构。现已施工至地上 7 层。

工期为：2018 年 02 月 18 日至 2022 年 10 月 17 日。

本项目地下两层，地上 11 层。最大高度为 33.2 米。本工程在主体结构工程施工中采用了“SPCS 结构体系-装配整体式剪力墙结构施工工法”，其施工方法安全可靠，为建筑施工提供了先进的施工技术，工程质量优良，取得了较好的经济效益及社会效益，施工中没有发生任何安全和质量问题。并且施工速度较传统现浇结构节约 50%以上，标准层达到 2.5 天一层的施工速度，平均每层施工时间为 4-5 天。

11.0.2 三一街区商住小区(一期)项目

三一街区商住小区(一期)项目位于湖南省娄底市经开区，一期建筑面积 11.76 万 m²，结构形式为剪力墙结构。本项目最大高度为 99.95 米。

工期为：2019 年 12 月 15 日至 2023 年 03 月 01 日。

本项目将在主体结构工程施工中采用了“SPCS 结构体系-装配整体式剪力墙结构施工工法”，其施工方法安全可靠，施工速度快，施工成本可控，为建筑施工提供了先进的施工技术。

11.0.3 临澧三一翡翠湾项目

临澧三一翡翠湾项目项目位于湖南省常德市临澧市，一期建筑面积 73506.21 m²，结构形式为剪力墙结构和框架结构。本项目共 9 栋楼，最大高度为 90.75 米

工期为：2019 年 12 月 25 日至 2020 年 07 月 20 日。

本项目将在主体结构工程施工中采用了“SPCS 结构体系-装配整体式剪力墙结构施工工法”等工法，其施工方法安全可靠，施工速度快，施工成本可控，为建筑施工提供了先进的施工技术。