超厚密桶结构+超高平整“华夫板”施工方法

胡炳泉
中铁建工集团第四建设有限公司，上海 200000

[摘要]近年来，我国正处于产业升级换代阶段，在产业高速发展、政策利好以及技术进步等因素的共同助力下，全球 IC 半导体、光电企业向中国转移，现代高新技术产业的发展步伐大大加快很大程度上归功于这种产业结构的调整，并且拥有广阔的发展前景，此类电子产品对其生产及加工的环境要求比较高，大型电子洁净厂房应运而生，大面积、高等级洁净需要对厂房的设计、施工、运行等多方面提出来严格、复杂的要求。
[关键词]超厚密桶结构；超高平整“华夫板”；施工
DOI：10.33142/ec.v6i6.8506　　中图分类号：TU755　　文献标识码：A

Construction Method of Ultra-thick Dense Barrel Structure and Ultra-high Flat "Waffle Board"

HU Bingquan
China Railway Construction Group Fourth Construction Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

Abstract: In recent years, China has been in the stage of industrial upgrading and upgrading. With the joint assistance of high-speed industrial development, favorable policies, and technological progress, global IC semiconductor and optoelectronic enterprises have shifted to China. The greatly accelerated development pace of modern high-tech industries is largely attributed to the adjustment of this industrial structure and has broad development prospects. This type of electronic product has high environmental requirements for its production and processing. Large electronic clean factories have emerged, and large-scale and high-level cleaning requires strict and complex requirements for the design, construction, operation, and other aspects of the factory building.
Keywords: ultra-thick dense barrel structure; ultra-high flat "waffle board"; construction

建立洁净室立体空调通风系统才能使无尘洁净室大面积生产车间的空气洁净度符合要求，因此设计采用了极其特殊的“华夫板”结构设计形式，利用其楼板内的圆柱形垂直空洞，以形成回风通道，再加上须具有足够强度以承受制程机台之重量，以及抑制微振动影响制程之质量，因此衍生出洁净室楼板之特殊设计“华夫板”。

“华夫板”是以 FRP（环氧玻璃钢）做模板浇捣而成的钢混凝土结构，大刚度的密肋交叉梁系和钢筋砼柱与浇筑后的混凝土组合，从而形成楼层结构防微振系统，不拆除底模，进而让底模取代有洁净要求的顶棚环氧涂料，然后作为永久性的模板，这样一来就能满足对电子厂房的洁净度要求。

1 特点

作为一种新型的结构体系，“华夫板”目前来说尚无比较成熟的施工经验进行推广应用，洁净房功能的发挥很大程度上依赖华夫板的施工质量好坏，那么我们通过对一系列工序的分解、制定质量控制措施来保证其一次成型效果以达到推广。超厚密桶结构+超高平整“华夫板”施工工法采用新型一体化 SMC 模壳，具有生产效率高，表面光洁，易清洁，安装效率高，不需要使用油漆表面涂装，整体效果美观、大方，生产、安装对环境对环境友好等特点。

经“五次调平”施工方法，从人、机、料、法、环等环节控制，一次浇筑成型的楼板平整度完全符合设计要求。经过多次试配混凝土配合比，初凝和终凝间隔时间不少于 4 小时保证收面时间和效果。多次调配混凝土添加剂，实现了不起灰、不起砂、不开裂、不积水。

2 适用范围

可广泛应用于大型电子芯片、模块、射频集成电路厂房等工程。

3 工艺原理

采用“五步调平，四次收面”的施工方法，来减小华夫板的平整度误差，保证其在 2mm/3m 以内。在支设板底模板时也需要拉十字交叉线以及水准仪控制，两种方法综合使用，确保平整度。混凝土浇筑前试配、架体验收、主龙骨验收、模板平整度验收、钢筋绑扎完成四个阶段实现精平覆盖率 100%。砼浇筑时全程控制，浇筑后测量复核。完成浇筑后进行圆盘提浆打磨、二次找平磨光、2m 刮尺精平、人工铁抹子四次收面压光，确保达到华夫板平整度要求。

4 施工工艺流程及操作要点

4.1 施工工艺流程

4.1.1 施工流程

超厚密桶结构+超高平整“华夫板”具体施工流程如下图所示：

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

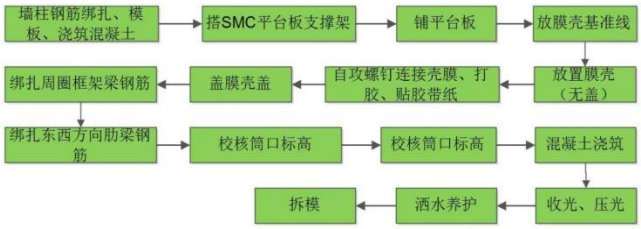
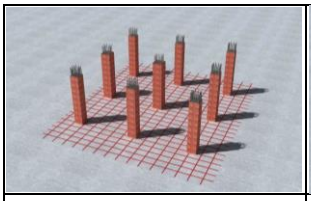
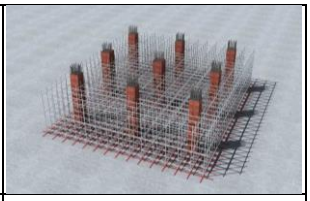
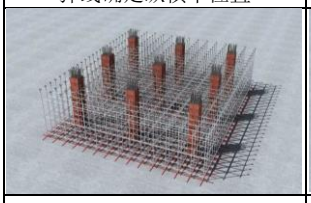
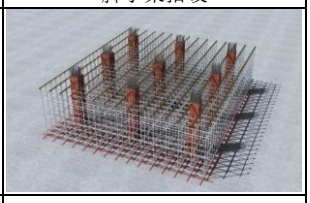
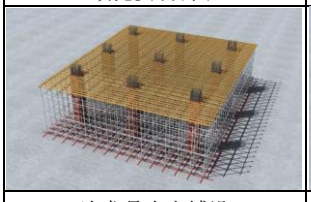
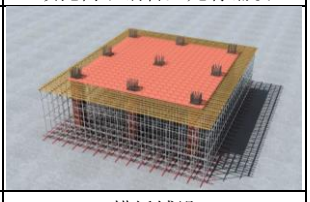
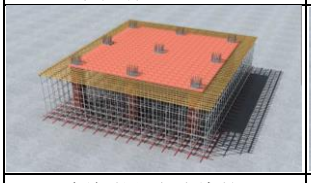
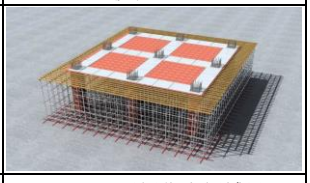


图 1　施工流程图

4.1.2 施工流程效果

超厚密桶结构+超高平整“华夫板”具体施工流程效果如下表所示：

表 1　施工流程效果图汇总表

	
弹线确定纵横干位置	脚手架搭设
	
顶托安装调平	顶托内双钢管主龙骨铺设
	
次龙骨木方铺设	模板铺设
	
框架柱混凝土浇筑	1200mm 平板华夫板铺设

4.2 操作要点

采用“五步调平、四次收面”平整度误差控制 3mm/m。

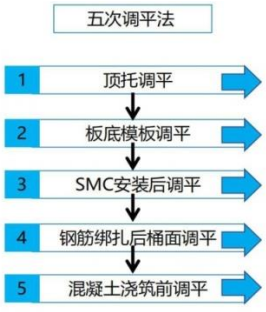


图 2　五次调平流程图

4.2.1 满堂架搭设要点

满堂架采用盘扣式架体，架体采用Φ48×3.5mm 钢管。板底主龙骨采用Φ48×2.75mm 双钢管，次龙骨为 40*40 方钢，板与板拼缝处 40×90mm 木枋。顶托采用 U 型托。盘扣架材料必须保证品质良好，尺寸长短必须整齐划一，每批次进场后必须检查其完整性；顶托丝扣必须连续完整，托板无变形，顶托统一为 18cm 宽托口，丝扣完整的 600mm 管。

（1）满堂架架体设计。满堂架立杆间距 600mm×900mm，步距 1.5m，主龙骨采用Φ48×2.75mm 双钢管，次龙骨为 40×40mm 方管，主龙骨放置顺 600mm 立杆间距方向，次龙骨放置顺 900mm 立杆间距方向，方管间距 200mm，要求方管与主龙骨双钢管用铁丝进行绑扎，两跨一绑，保证方管顶标高在一个平面。立杆以中间后浇带为起点界线向四周延展。因采用定型盘扣架，靠柱边架体可能不合模数，柱边用普通钢管配合盘扣进行加固处理。

（2）满堂架架体剪刀撑设置。根据《建筑施工承插型盘扣式钢管支架 安全技术规程 JGJ 231-2010》要求：

当搭设高度不超过 8m 的满堂模板支架时，支架架体四周外立面向内的第一跨每层均应设置竖向斜杆，架体整体底层以及顶层均应设置竖向斜杆，并应在架体内部区域每隔 5 跨由底至顶纵、横向均设置竖向斜杆（图 3）或采用扣件钢管搭设的大剪刀撑（图 4）。当满堂模板支架的架体高度不超过 4 节段立杆时，可不设置顶层水平斜杆；当架体高度超过 4 节段立杆时，应设置顶层水平斜杆或扣件钢管水平剪刀撑。如图 3、图 4 所示：

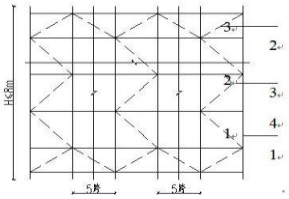


图 3　竖向斜撑

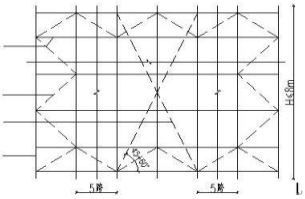


图 4　剪刀撑

（3）标高点的设置以及架管和方管的调平

①标高点的设置

a. 施工华夫板时，在每根柱子上设置标高控制点，框架柱设置对角 2 个标高点；

b. 框架柱上 2 个标高点为：利用精密水准仪从原始标高引到每根大小框架柱钢筋（或模板）上高出二层楼板 1m 标高点（对角设置）；在华夫板层梁钢筋和模壳安装完毕后，需要在框架柱柱筋上设置楼板 50cm 的标高点。示意图如下：

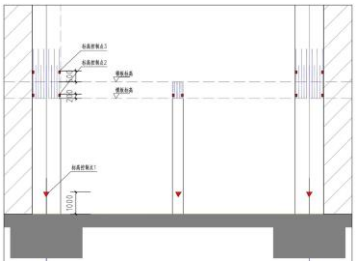


图 5　标高点示意图

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

②架管的调平

a.满堂架搭设后，利用精密水准仪从柱身将 1m 标高控制点引到每根满堂架立杆上，再采用卷尺拉出架管的标高位置，然后调整顶托，放置架管，对架管进行初平；

b.在架管初平后，十字交叉线需要从高处模板面 20cm 的标高控制点处拉出，利用卷尺配合精密水准仪对顶托进行 100%覆盖率的精平。

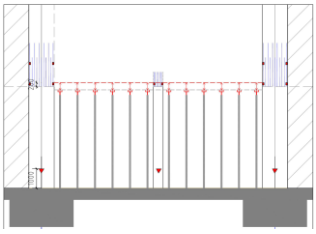


图 6 顶托调平平面示意图

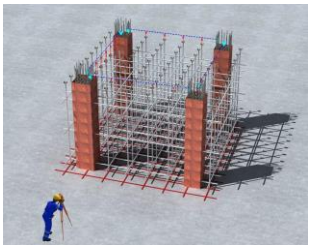


图 7 顶托调平三维示意图

③方管的调平

按要求铺设方管，并将其绑扎在架管之后，从高处模板面 20cm 的标高控制点将十字交叉线拉出，利用精密水准仪配合卷尺对木枋进行覆盖率为 100%的精平。

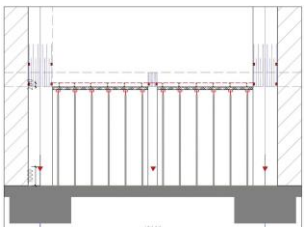


图 8 顶托调平平面示意图

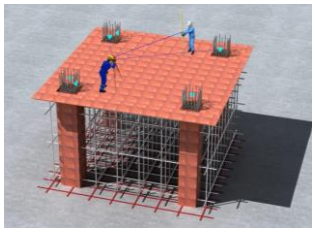


图 9 顶托调平三维示意图

4.2.2 华夫板模板采购、运输、搬运、安装要求

（1）华夫板采购、运输、搬运

①项目派专人驻厂家对厂家华夫板施工质量进行监控，对第一批成品进行验收后方可大面积生产。

②SMC 模板出厂时光滑装修面已进行包装，模板应摆放在平整地面上，防止因地面不平整且长期堆放引起模板变形。

③可以叠放，但在放第二层时，在上一层铺放足够刚度的平板形成平整面。

④华夫板利用定制三角带倒运，不得采用其他吊具，以免损坏；华夫板上平台后，采用人工倒运，轻拿轻放。

⑤搬运过程中，应小心不能使模承板引起较大的弯曲，以防折断。

⑥合理协调好现场进货时间，最好直接吊运至模板面，如需备货，事先选择平整场地进行堆放。

（2）华夫板安装

①木模板铺设完成后，将轴线投射至模板上，用墨线将每条轴线弹在模板平台上。

②对华夫板进行 CAD 及三维铺设放样，优化排版位置及成型效果。

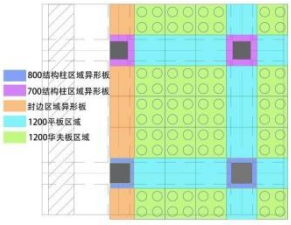


图 10 华夫板放样排版图

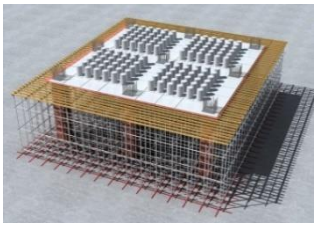


图 11 华夫板三维排版效果图

③采用“平面施工法”，将华夫板平板和四孔板在所有位置上纵横向弹线，柱边异型处弹出控制线，误差小于 2mm。

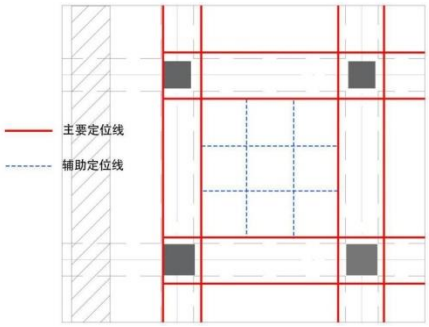


图 12 华夫板弹线定位图

④将华夫板按照铺排设计图和已弹好的墨线位置，将华夫板对号入座，准备铺排。

⑤模板搬运时注意表面不能在建筑模板上拖拉，不能磕磕碰碰。

⑥管帽要盖紧，并进行检查，若有比较松动，要和其他管帽互换一下。

⑦华夫板采用自攻螺钉固定，每边 3 个点，共 12 个点。

⑧缝隙处打密封胶封闭，防止漏浆，保证缝隙在一条线上，密封胶固化需要 1 个小时，此期间避免人员踩踏。

4.2.3 钢筋安装要求

华夫板的井字梁密集，而圆筒间净宽仅 180～240mm，高度却达 650mm；必须分区段绑扎，才能解决整体架空却又无法落放的问题；在某些小区段内，主梁与次梁的节点处钢筋比较集中，在确保混凝土保护层厚度的同时要方便插筋施工，所以必须分主次梁分方向对其进行绑扎落位。确定以下方案：主梁钢筋需要先绑扎，肋梁筋绑扎采取纵横向肋梁分开绑扎方法，先绑扎横向或者纵向（此方案需要横向先绑），肋梁架空逐根绑扎完毕后落放入模的方法，架空采取在华夫板盖板间架立木方，悬挂梁面筋，摆底筋，穿箍筋最后成型。待横向肋梁就位后穿筋绑扎纵向肋筋。由于纵横梁的绑扎均需要穿过主筋，所以腰筋要先不绑扎，最后要等到梁绑扎完毕后再穿筋绑扎。保护层垫块，华夫板的板沿有翻边可控制梁筋的保护层，现场根据梁的下挠情况在底部加设 2cm 的垫块。

4.2.4 施工中其他控制事项

（1）华夫板上必须分散堆放钢筋成品，并在其下方垫木方模板。在钢筋成品吊放过程中一定要注意吊钩，控

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

制其缓慢下落，保护模板不被破坏；（2）钢筋梁吊放时，只能放置在模板圆柱体与圆柱体间的防护挡板或平面部分上，不可触碰到华夫板的圆柱体部分；（3）模板上要加装防护挡板，保证当有电焊作业的时候，火花不能溅到模板上损害模板；（4）华夫板的圆筒盖板不得随意揭开，更不得往圆筒内丢放垃圾材料工具等；（5）钢筋绑扎之前应复核华夫模板的板面标高，否则出现问题后期整改困难；（6）后浇带位置采用钢筋+快易收口网进行混凝土拦截，安排专人进行看护，如漏浆及时进行清理。

4.2.5 混凝土浇筑要求

混凝土浇筑之前钢筋绑扎必须完毕，并经过隐蔽验收，因为环氧地坪直接铺设在混凝土表面上，因此对混凝土表面的平整度要求比较高。所以在多次权衡后决定在混凝土沉实精平和下料粗平，进而保证面层的平整度，以华夫模板筒面标高作为混凝土下料振捣和粗平时的控制依据。沉实和泌水的厚度损失表现为混凝土浇筑高于筒面 3-5mm。精确找平磨光时用 2m 刮尺。在交接验收与模板施工过程中反复控制标高平整度，故 5mm 内一般为此时最大标高误差，采取补料或减料，满足 3mm/m 的平整度要求。砼要求：流动性较大、和易性较好、骨料粒径小、初凝时间长。浇筑：泵送混凝土流动性大，所以在混凝土振捣时应控制好振捣后的坡度及浇筑厚度。为使上下层混凝土紧密结合，要求浇上层混凝土时，需插入下层混凝土内 10mm，并振捣时应做到快插慢拔。应以拌和物停止下沉不再冒气泡并泛出水泥砂浆作为振捣器在每一位置振捣的持续时间的标准，不得过振。振动棒不能振动到华夫筒上。

找平：混凝土浇筑前在 4.8*4.8m 的柱主筋上设置标高控制点，控制整体平整度；另外根据筒盖面控制砼面标高，因筒高同板厚，将混凝土浇筑至筒面平齐控制平整度。

收光：华夫楼板的表面应原浆压光，并保证一次成型，以满足后续工序要求。若采用人工收光就会导致收光效果差，且影响施工进度。因为筒面与混凝土表面大致平齐，而华夫筒体间距又较小，机械打磨困难。全面分析好坏，最后确定以下方案：视气温、混凝土坍落度等具体情况静停 4h 左右，使混凝土处在临界初凝期，其判定方法是：脚踩到上面有脚印痕深 5mm。

养护：在混凝土表面可以上人后，对华夫楼板进行施水保湿养护，并覆盖一层薄膜。

4.2.6 施工中控制事项：

（1）此项施工须在固定模板后 3-5 天内进行，可防止意外破坏确保品质。（2）浇捣混凝土前先确认胶带纸和固定夹有无破损，若有要及时修补。（3）浇捣时要有 FRP 保护措施：①泵送管路下方须铺模板及轮胎，使管路重力不致破坏 FRP 模板。②浇筑时，水泥喷头不能正对模板，要在冲击面处加装挡板。③捣实时，捣实棒不能碰到 FRP 模板。④施工中若管帽掉落，应立即复原，以免混凝土灌到 FRP 模板内。

4.2.7 支撑架及模板拆除

模板拆除过程清理局部的漏浆和污染。楼面筒体的孔洞密布，做好必要的安全围护后再揭除筒体盖板，并修整筒口局部混凝土毛刺。移交环氧地坪施工前做工艺验收。

4.2.8 华夫板清洁

架体拆除后必须彻底地清除漏浆部分的灰迹和残渣，所有缝隙用密封胶将其填满。然后用刮板将密封胶刮平，最后去掉密封胶残渣后开始清洗模板。

施工中控制事项：（1）清除残渣、灰迹和密封胶的时候要注意模板表面不能被破坏。（2）在用密封胶填其中的缝隙时，缝隙表面的密封胶要稍微凸出。（3）刮平缝隙表面的密封胶，不能出现明显的凹凸不平。（4）最后使用清洁柔软的棉布将表面擦拭干净。

[参考文献]

[1]李习硕,漆志祥,张帅.超长结构华夫板平整度控制技术研究及应用[J].施工技术,2019,48(1):964-966.
[2]曾范永,陶红林,刘明月.现浇华夫板设计及施工技术[J].广东交通职业技术学院学报,2017,16(1):39-43.
[3]张勇.华夫板施工工艺[J].科技创新导报,2009(7):67.
[4]中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑施工承插型盘扣式钢管支架 安全技术规程 JGJ 231-2010[S].2010-11-17.

作者简介：胡炳泉（1983.10-），男，汉族，江西景德镇人，2004 年 8 月参加工作，2009 年 12 月入党，本科学历，一级建造师，工程师，现任中铁建工集团第四建设有限公司副总经理。

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.