

空腔四联孔华夫板支模架优化设计施工技术

陈建超 苏元洪

中国五冶集团有限公司, 四川 成都 116000

[摘要] 华夫板是电子厂房建筑特有的带密集孔洞肋梁板混凝土结构板, 采用玻璃钢 SMC 模具嵌固在钢筋混凝土板内, 形成上下洁净通风孔道。模具有平底板四连孔深直筒、下部空腔四连孔浅筒、独立奇式筒、格子梁等形式。楼板设计厚度通常达到 1m 左右, 具有足够强度和刚度, 能够承受制程机台的重量, 同时抑制微振动。华夫板混凝土结构荷载较大, 通常支模架采用重型 60mm 盘扣支撑架、工字钢或槽钢主楞、连续密排木方次楞。文中结合空腔四连孔浅筒华夫板结构特点, 支模架优化采用普通 48mm 轻型钢管大间距立杆, 主楞采用轻型矩形钢管代替重型型钢, 次楞采用普通脚手钢管代替大量木方, 形成轻量化、环保型支撑体系, 大大降低支撑材料用量, 缩短工期、降低成本, 为类似工程的实施提供有益的参考和指导。

[关键词] 华夫板; 盘扣架; 轻量化; 环保; 组合式次楞

DOI: 10.33142/ect.v2i9.13463

中图分类号: TU974

文献标识码: A

Optimization Design and Construction Technology of Hollow Four Hole Huafu Board Formwork Support

CHEN Jianchao, SU Yuanhong

China MCC5 Group Corp. Ltd., Chengdu, Sichuan, 116000, China

Abstract: Huafu board is a concrete structural slab with dense holes and ribbed beams unique to electronic factory buildings. It is embedded in the reinforced concrete slab with fiberglass SMC molds to form clean ventilation ducts at the top and bottom. The mold has various forms such as flat bottomed plate with four connected holes deep straight tube, lower cavity with four connected holes shallow tube, independent odd shaped tube, and grid beam. The design thickness of the floor slab is usually around 1m, with sufficient strength and rigidity to withstand the weight of the process machine while suppressing micro vibrations. The concrete structure of Huafu board has a large load, and usually the formwork adopts heavy-duty 60mm buckle support frame, universal beam or channel steel main ribs, and continuous dense wooden square ribs. Based on the characteristics of the shallow tube Huafu board structure with four connected holes in the cavity, the support frame is optimized by using ordinary 48mm lightweight steel pipes with large spacing upright poles. The main ribs are replaced with lightweight rectangular steel pipes instead of heavy-duty steel, and the secondary ribs are replaced with ordinary scaffold steel pipes instead of a large number of wooden beams, forming a lightweight and environmentally friendly support system. This greatly reduces the amount of support materials used, shortens the construction period, and reduces costs, providing useful reference and guidance for the implementation of similar projects.

Keywords: Huafu board; buckle rack; lightweight; environment protection; combination type secondary ridge

1 工程概述

华夫板是电子厂房建筑特有的带密集孔洞肋梁板混凝土结构板, 采用玻璃钢 (SMC) 模具嵌固在钢筋混凝土板内, 形成上下洁净通风孔道。模具有平底板四连孔深直筒、下部空腔四连孔浅筒、独立奇式筒、格子梁等形式。电子厂房生产工艺要求华夫板结构抗微振动, 刚度要求高, 华夫板厚度设计通常 750~1150mm, 柱距 6m, 扣除孔洞后, 华夫板折算成实心混凝土板厚为 500~700mm 左右, 支模架面荷载达 22KN/M², 超过 15KN/M² 限值, 属于超危大工程。12 英寸集成电路主厂房轴线长宽为 232.8m×133.2m, 分为核心区与支持区, 核心区为两层混凝土框架结构+顶层钢结构屋盖, 支持区为四层混凝土框架, 其中华夫板结构位于核心区三层楼面, 结构面标高+11.6m, 柱距 6*6m, 层高 6m, 华夫板厚度 1m, 单层面积达 23300m²。

目前 1.2*1.2m 华夫板支模架设计采用 60 型盘扣架支

撑体系, 立杆间距 1800mm, 主楞采用 16#工字钢或 L165 铝梁, 次楞采用木方或方管, 施工过程中主楞工字钢重, 安装过程中暂用塔吊时间长, 功效低, 如采用铝梁做主楞, 市场租赁资源有限, 不利于工期, 次楞采用木方一次性采购量大, 过程中也不能周转使用, 增加项目施工成本。针对以上弊端进行分析, 我们采用了轻量化大间距无木方次楞优化设计施工技术, 架体搭设及拆除高效, 缩短工期及成本控制效果显著。

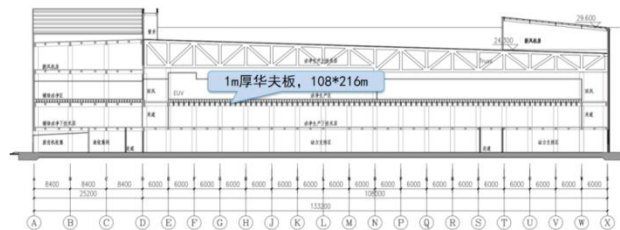


图 1 厂房剖面图

2 华夫板支模架设计

12 英寸集成电路主厂房华夫板混凝土肋梁板带密集通风孔,采用下部整体空腔四连浅孔华夫筒模具,平面尺寸 1.2*1.2m,整体高度 1m,圆孔直径 380mm,圆孔高度 250mm。华夫板支模架搭设在+5.6m 混凝土平台上,+5.6m 混凝土框架梁 500*600、次梁 350*600、板厚 180mm,华夫板施工时,一层支模架不拆除。由于主厂房工期非常短,一二层支模架均不能周转,架体工程量巨大、成本高,支模架体系设计力求简单方便、工效高,少用塔吊,快速搭拆。

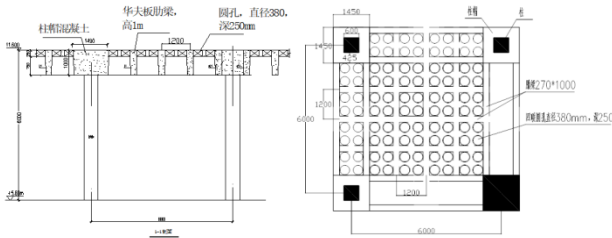


图2 华夫板大样图

盘扣架设计分为两个部分:6*6m 华夫板、1.5*1.5m 柱帽。

2.1 华夫板下支模架

2.1.1 立杆设置

华夫板在 X、Y 两个方向均有 270*1000mm 肋梁,纵横间距为 1.2m,250mm 厚板的荷载由 SMC 华夫筒模具四边传递到肋梁底模板,因此整体支模架设计围绕肋梁布局进行,立杆间距依据肋梁 1.2*1.2m 间距的交点进行布置,将立杆有规律地布置在肋梁荷载最大位置,充分发挥立杆承压性能。

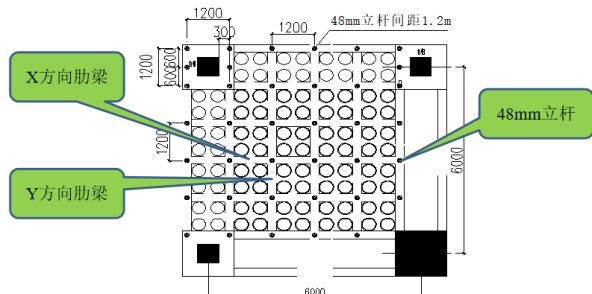


图3 立杆平面布置图

2.1.2 X方向肋梁主次楞设计

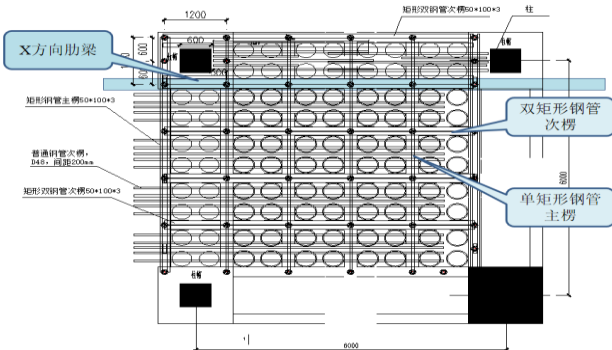


图4 X方向肋梁主次楞平面布置图

(1) 主楞:主楞布置在 Y 方向,按照顺着 Y 方向肋梁下部,布置在可调托撑内。主楞选用一根 100*50*3mm 矩形钢管,小面朝上立放,间距 1.2m。采用矩形钢管代替 12#工字钢,每米重量由 13.987kg 减轻到 6.782kg,实现人工轻易布置调整主楞,无须每根主楞采用塔吊进行就位吊装,加快进度,减少人员窝工。

主楞矩形钢管长度 6m,接头位置在可调顶托内对接,左右侧主楞分别承受两侧次楞的端部。

(2) 次楞:次楞位于主楞上面,顺着 X 方向肋梁底部布置。

在肋梁下部的次楞线荷载最大,选用两根 100*50*3mm 矩形钢管作为次楞,矩形钢管平放,宽度 200mm,高度 50mm,其高度与肋梁之间的 48mm 圆钢管次楞高度保持一致,便于模板平整铺设。

2.1.3 Y方向肋梁主次楞设计

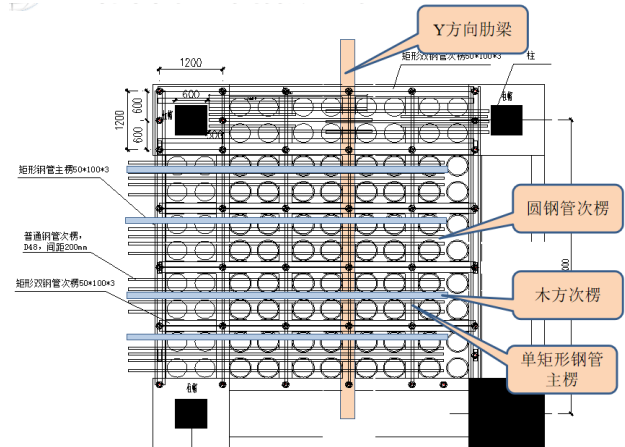


图5 Y方向肋梁主次楞平面布置图

(1) 主楞:Y 方向肋梁下部的的主楞同时利用 X 方向肋梁的主楞,不另外单独设置,矩形钢管主楞顺着 Y 方向肋梁,布置在可调托撑内。

(2) 次楞:采用组合式次楞,由直径 48mm 脚手圆钢管、少量木方组合。次楞主要采用普通圆脚手钢管,顺着 X 方向布置,间距 200mm。为保证模板平整,同时木模板与次楞形成整体,在模板拼缝处采用 48*70mm 木方次楞,铁钉与模板钉牢。为协调次楞表面标高一致,便于铺模板,木方平放,厚度 48mm。X 方向肋梁的矩形钢管次楞平放,高度 50mm,与 Y 方向肋梁组合式次楞高度一致,模板表面平整。

2.1.4 立杆高度方向组合

华夫板层高 6m,净高 5m,立杆采用 2m+2m 接长组合。采用 $\phi 48 \times 3.2$ mm 直径立杆,套管朝下,底部采用一根 $\phi 48 \times 3.2 \times 350$ mm 带盘直管接长,带盘直管下端套入可调底座的螺杆。

横杆采用直径 $\phi 42 \times 2.5$ mm,长度 1.2m,步距 1.5m,共四层横杆。形成筒状,布置在柱子四周。

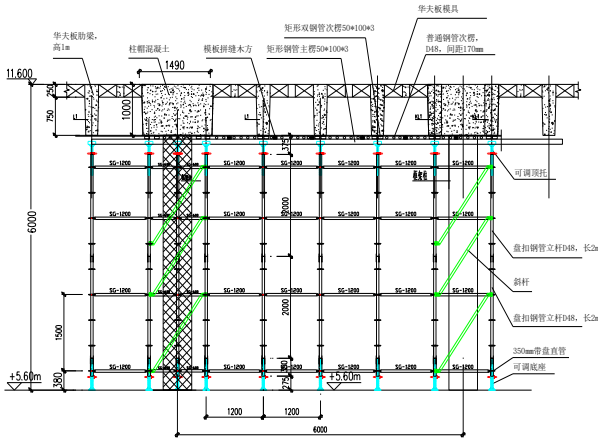


图6 华夫板支模架剖面图

2.2 柱帽下支模架

柱帽数量达700根,支撑系统设计的较小变化,对成本与工期将产生很大影响。

2.2.1 立杆布置

原则:柱帽1.5*1.5m,厚度1m,集中荷载远大于柱间的华夫板荷载,需要单独考虑该部位支模架,其支模架布局力求简单,并与华夫板下支模架协调一致,便于施工。

方法:柱帽扣除柱子600*600mm后,柱帽四周净宽450mm,长度1.5m,高度1m,根据华夫板立杆布置1.2*1.2m扩展,柱帽四角下各布置一根立杆。

2.2.2 主次楞布置

主楞:华夫板下矩形钢管主楞南北向延伸,作为柱帽主楞,在东西两侧柱帽下通过;南北侧柱帽下次楞:肋梁下双矩形钢管次楞东西向延伸,作为次楞,从南北侧柱帽下通过。东西侧柱帽下次楞:采用华夫板下5根普通圆钢管延伸,悬挑300mm。

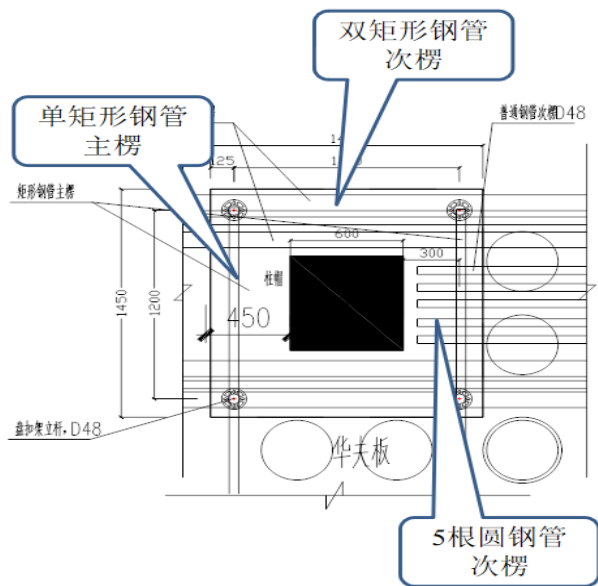


图7 柱帽主次楞平面布置

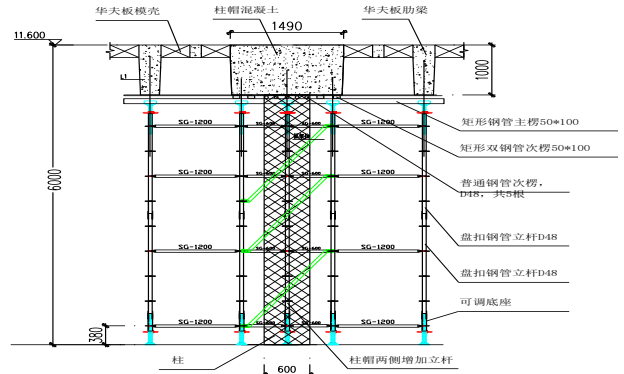


图8 柱帽支模架剖面图

2.3 精细化措施

(1)柱帽处集中荷载较大,经计算,四根立杆及主楞承载能力不足。

(2)为使柱帽处架体参数与华夫板架体参数一致,方便搭设,东西两侧主楞下增加一根立杆,主楞跨度从1.2m减小到600mm,满足抗弯要求,同时四角立杆荷载分担减小,满足稳定性要求。

(3)在柱帽四侧设置斜杆,形成四个筒状稳定体系。

3 支模架计算

3.1 荷载传递分析

3.1.1 华夫板X方向肋梁荷载传递路径:

肋梁和华夫板混凝土→肋梁底膜→次楞双矩形钢管→主楞单矩形钢管→立柱。

3.1.2 华夫板Y方向肋梁荷载传递路径:

肋梁和华夫板混凝土→肋梁底膜→次楞圆钢管→主楞单矩形钢管→立柱。

3.1.3 南北侧柱帽荷载传递路径

柱帽混凝土→底模→双矩形钢管次楞→单矩形钢管主楞→立柱。

3.1.4 东西侧柱帽荷载传递路径

柱帽混凝土→底模→双圆钢管次楞→单矩形钢管主楞→立柱。

3.2 华夫板折算厚度:

当计入X、Y两个方向所有肋梁、华夫板时,折算厚度 $h_1=500\text{mm}$ 。

当计入一个方向肋梁、华夫板时,折算厚度 $h_2=340\text{mm}$ 。

当不计入肋梁、仅考虑华夫板区域时,折算厚度 $h_3=150\text{mm}$ 。

在计算不同部位的不同杆件,应采用不同折算厚度。

3.3 X方向肋梁架体计算

X方向肋梁下部初选双矩形钢管次楞,跨度1.2m。主楞位于Y方向肋梁下部,Y方向肋梁荷载对主楞抗弯是主要因素,因此主楞验算结果仅供参考,以Y方向肋梁验算结果为准。x方向次楞承担荷载如下阴影部分面积,主要为肋梁,少量250mm板的荷载,该板荷载按照10*1000mm

并入肋梁。

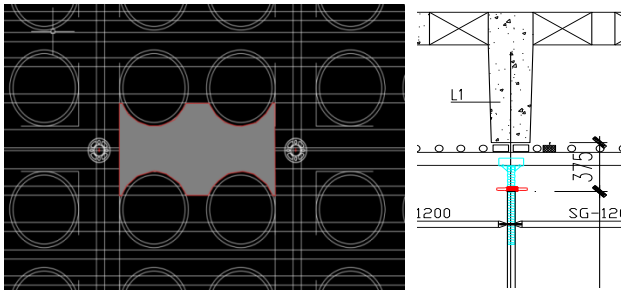


图9 双矩形管次楞节点

(1) X方向肋梁下部初选双矩形管次楞 100*50*3, 跨度 1.2m。

次楞按二等跨连续梁计算结果显示, 次楞钢管弯矩达:
 $\sigma = M_{max}/W = 1.962 \times 106 / 13000$
 $= 151 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 205 \text{ N/mm}^2$ 满足要求!

(2) 主楞选单矩形钢管 100*50*3mm, 跨度 1.2m。主楞钢管弯矩 $\sigma = M_{max}/W = 1.908 \times 106 / 21290$

$= 89.638 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 205 \text{ N/mm}^2$ 满足要求!

(3) 立杆选盘扣架 $\phi 48 \times 3.2 \text{ mm}$, 间距 $1.2 \times 1.2 \text{ m}$ 。

$f = N / (\phi A) + M_w / W = 33075.941 / (0.288 \times 450) + 0.111 \times 106 / 4730$
 $= 278.683 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 300 \text{ N/mm}^2$ 满足要求!

3.4 Y方向肋梁架体计算

Y方向肋梁下部次楞选普通脚手圆钢管 $\phi 48 \times 2.8 \text{ mm}$, 间距 200mm, 跨度 1.2m。各杆件承担荷载如下阴影部分面积, 包括肋梁、华夫板荷载, 该板荷载按照折算厚度 340mm。

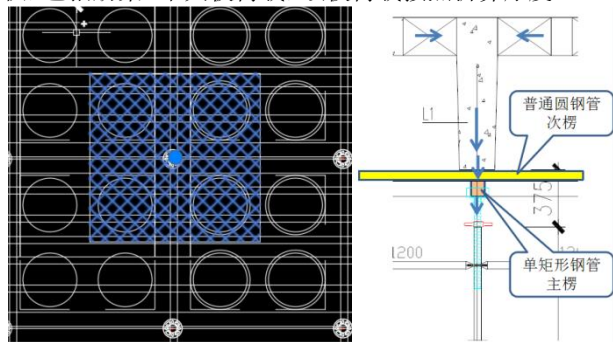


图10 圆钢管次楞节点

(1) 次楞选用普通脚手钢管 $\phi 48 \times 2.8 \text{ mm}$, 间距 200mm, 跨度 1.2m。

次楞计算结果, 钢管弯矩达:
 $\sigma = M_{max}/W = 0.286 \times 106 / 4250$
 $= 67.377 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 205 \text{ N/mm}^2$ 满足要求!

(2) 选用单矩形钢管 100*50*3mm 主楞, 立放, 跨度 1.2m。

主楞采用简支梁计算方式, 计算结果, 钢管弯矩达:
 $\sigma = M_{max}/W = 2.878 \times 106 / 21290$
 $= 135.181 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 205 \text{ N/mm}^2$ 满足要求!

(3) 选用盘扣钢管 $\phi 48 \times 3.2 \text{ mm}$ 作为立杆, 间距 $1.2 \times 1.2 \text{ m}$ 。

立杆稳定性计算结果显示, 稳定性压应力达:
 $F = 28841.068 / (0.269 \times 450) + 0.115 \times 106 / 4730$
 $= 262.57 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 300 \text{ N/mm}^2$ 满足要求!
 与 X 肋梁计算值相近。

3.5 柱帽计算

X方向柱帽次楞选双矩形钢管 100*50*3mm, 间距 200mm, 跨度 1.2m。承担荷载宽度 450mm、厚度 1000mm。柱帽次楞承载面积图如下:

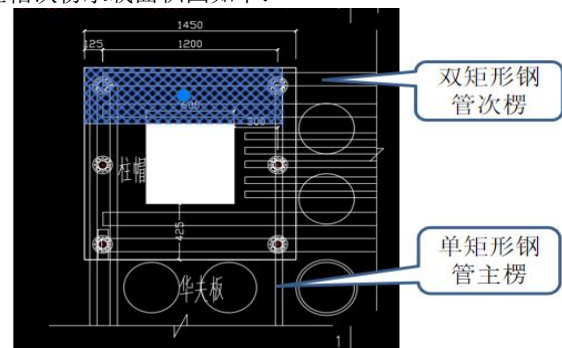


图11 X方向柱帽次楞承载面积图

(1) X方向柱帽选双矩形钢管 100*50*3mm 次楞, 跨度 1.2m。

次楞采用简支梁计算结果显示, 次楞钢管弯矩满足要求
 $\sigma = M_{max}/W = 2.17 \times 106 / 13000$
 $= 167 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 205 \text{ N/mm}^2$ 满足要求!

(2) Y方向柱帽下部次楞选普通圆钢管 $\phi 48 \times 3 \text{ mm}$, 间距 200mm, 跨度 1.2m, 悬挑 300mm。次楞承担荷载宽度 450mm、厚度 1000mm。

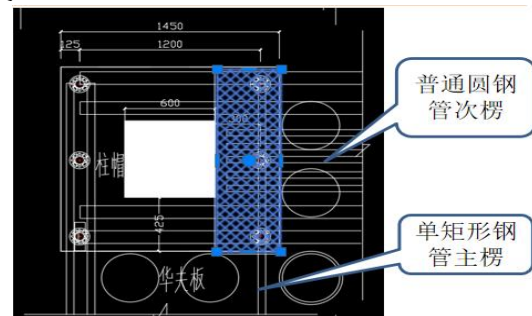


图12 Y方向柱帽次楞承载面积图

柱帽下立杆间距若按照 $1.2 \times 1.2 \text{ m}$ 布局:

(1) 次楞选普通脚手圆钢管, 间距 200mm, 悬挑 300mm, 跨度 1.2m。

计算结果合格!

(2) 主楞选单根矩形钢管主楞, 跨度 1.2m。计算应力 206MPa, 不合格!

(3) 立杆受力中, 软件未计入 X 方向柱帽荷载, 单根立杆实际受力不止 27KN, 达到 33KN, 应力 297MPa, 接

近强度设计值，不合格。

柱帽下立杆间距若按照 1.2m 中间加密一根立杆布局：

(1) 次楞仍选普通脚手圆钢管，间距 200mm，悬挑 300mm，跨度 1.2m。合格！

(2) 主楞选单根矩形钢管主楞，跨度 1.2m。

$\sigma = M_{max}/W = 0.679 \times 106/21290 = 31.893\text{N/mm} \leq [f] = 205\text{N/mm}^2$ 满足要求！

(3) 立杆受力中，应力 $f = 218\text{MPa}$ ，合格！

两侧增加立杆后，主楞及立杆受力改变较大。

板面按折算厚度 500 板计算

立杆间距 1.2*1.2m 计算，主楞采用矩形钢管 100*50*3，次楞圆钢管

(1) 次楞选用普通脚手钢管 $\phi 48 \times 2.8\text{mm}$ ，间距 200mm，跨度 1.2m。 $\sigma = 195.226\text{N/mm}^2 \leq [f] = 205\text{N/mm}^2$ 合格！

(2) 主楞选用单矩形钢管 100*50*3mm 主楞，立放 $\sigma = 189.02\text{N/mm}^2 \leq [f] = 205\text{N/mm}^2$ 满足要求！

(3) 选用盘扣钢管 $\phi 48 \times 3.2\text{mm}$ 作为立杆，间距 1.2*1.2m。

$f = N1 / (\Phi A) = 36950.772 / (.288 \times 450) = 285.114\text{N/mm}^2 \leq [f] = 300\text{N/mm}^2$ 合格！

4 支模架实施效果

目前在建电子厂房华夫板支模架多采用盘口架体系，其中主楞采用工字钢笨重，主楞安装时占用塔吊时间长，工作效率低，次楞采用木方，由于电子厂房工期紧，木方次楞均为一次性采购使用，施工成本高，本文针对以上缺点，设计主楞采用矩形钢管、次楞采用钢管，在实施应该过程中取得如下效果：

(1) 主楞矩形钢管轻便，不占用塔吊，工效高。

(2) 次楞矩形钢管组合圆钢管代替木方，无须采购，储运、租赁成本低，环保。

(3) 采用 48mm 盘扣架，市场资源充足。

(4) 空间含钢量 12.5kg/m^3 ，费用低。(包括架体、底座、顶托、矩形钢管主楞)。

(5) 项目工期提前一个月完成业主指定的结构封顶重大节点。

5 结论及建议

本文先以 12 英寸集成电路电子厂房项目的建筑施工现场为依托，通过市场现状的调查及类似项目架体成果分析，充分考虑材料租赁资源和架体搭设及拆除功效问题，以本项目结构特点，精细化设计电子厂房华夫板盘扣式支模架体系，采用了大间距轻型盘扣架支撑，XY 肋梁的主楞采用轻型矩形钢管代替重型钢，方便施工，次楞采用圆钢管与木方组合式代替密集排布的木方，节省大量木材，不仅达到降本增效及节约工期的效果，同时减少木材用量和森林砍伐，更加绿色环保。

[参考文献]

[1]程毅. 承插型盘口架式脚手架在建筑工程高支模施工中的应用[J]. 价值工程, 2020, 11(39): 11-12.

[2]滕尊莉. 盘扣式脚手架在工程中应用及施工该技术[J]. 居舍, 2018, 12(35): 12-13.

作者简介：陈建超（1985.11—），毕业院校：海军工程大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前工作单位：中国五冶集团有限公司，职务：项目总工，职称级别：高级工程师。