

预制混凝土体系设计及生产研讨会

2021.6.25 天津

考虑设计、制作、施工全过程的 叠合楼板经济性思考

中冶建筑研究总院有限公司 王晓锋

个人简历

- 工学博士，中冶建筑研究总院有限公司研究员
- 中国工程建设标准化协会副秘书长，预应力工程专业委员会副主任委员、秘书长，混凝土结构专业委员会副主任委员
- 国家重点研发计划“建筑工业化技术标准体系与标准化关键技术”负责人
- 主编《装配式建筑密封胶应用技术规程》T/CECS 655、《装配复合模壳体系混凝土剪力墙结构技术规程》T/CECS 522、《冷轧带肋钢筋混凝土结构应用技术规程》JGJ 95等7项标准
- 参编《装配式混凝土建筑技术规范》GB/T51231等14项标准
- 获国家科技进步二等奖1项，省部级一等奖4项，二、三等奖7项

目录

content

01

经济性概述

02

桁架钢筋混凝土叠合板

03

预应力混凝土叠合板

04

结语

1 经济性概述

■ 装配式建筑（建筑工业化）发展趋势

国务院办公厅

关于大力发展装配式建筑的指导意见

国办发〔2016〕71号

因地制宜发展装配式混凝土结构、钢结构和现代木结构等装配式建筑。力争用10年左右的时间，使装配式建筑占新建建筑面积的比例达到30%

2016.9.27

住建部 发改委 科技部等 13部委

关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见

建市〔2020〕60号

到2025年，我国智能建造与建筑工业化协同发展的政策体系和产业体系基本建立；产业基础、技术装备、科技创新能力以及建筑安全质量水平全面提升；打造“中国建造”升级版

2020.7.3

住建部 发改委 科技部等 9部委

关于加快新型建筑工业化发展的若干意见

建标规〔2020〕8号

推动构件和部件标准化；完善集成化建筑部品；推进构件和部品部件认证工作；大力发展钢结构建筑；推广装配式混凝土建筑；推进建筑全装修；大力推广建筑信息模型（BIM）技术

2020.8.28

住建部 发改委等7部委

关于印发绿色建筑创建行动方案的通知

建标〔2020〕65号

到2022年，城镇新建建筑中绿色建筑面积占比达到70%，既有建筑能效水平不断提高，住宅健康性能不断完善，装配化建造方式占比稳步提升，绿色建材应用进一步扩大

2020.7.15

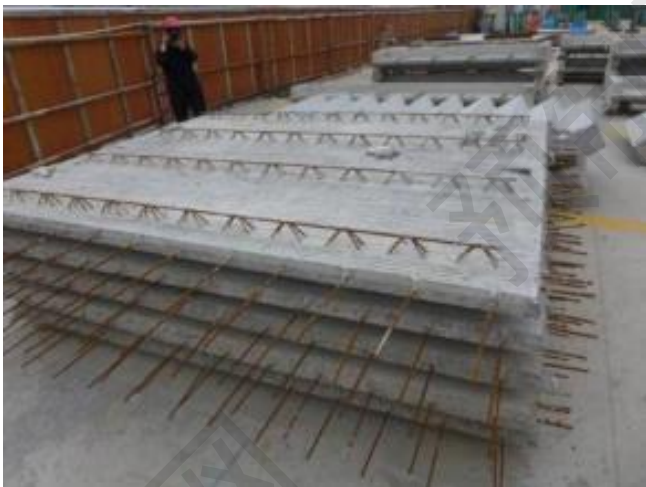
1 经济性概述

■ 装配式建筑（建筑工业化）发展趋势

- 装配式建筑将会长期发展，政策将进一步细化
- 叠合楼板是最主要的应用技术
 - ✓ 钢结构：楼板、内墙板、外墙板
 - ✓ 装配式混凝土结构：楼板、内墙板、楼梯

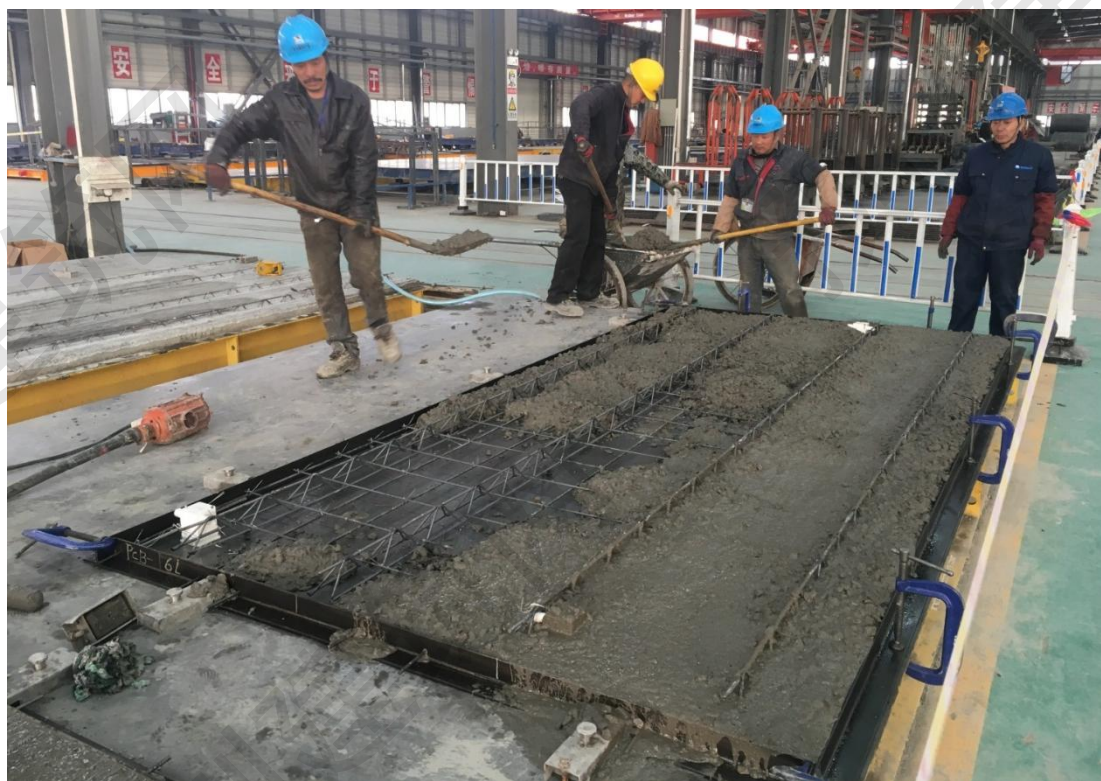
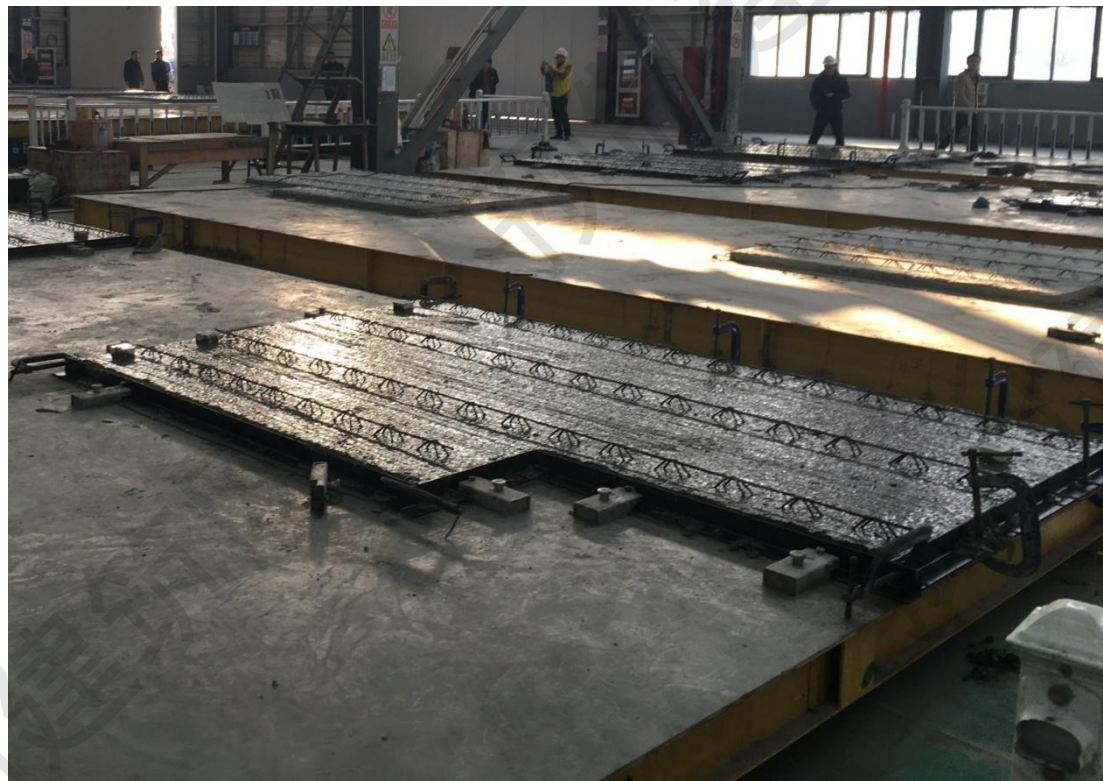
1 经济性概述

■ 叠合板应用现状



1 经济性概述

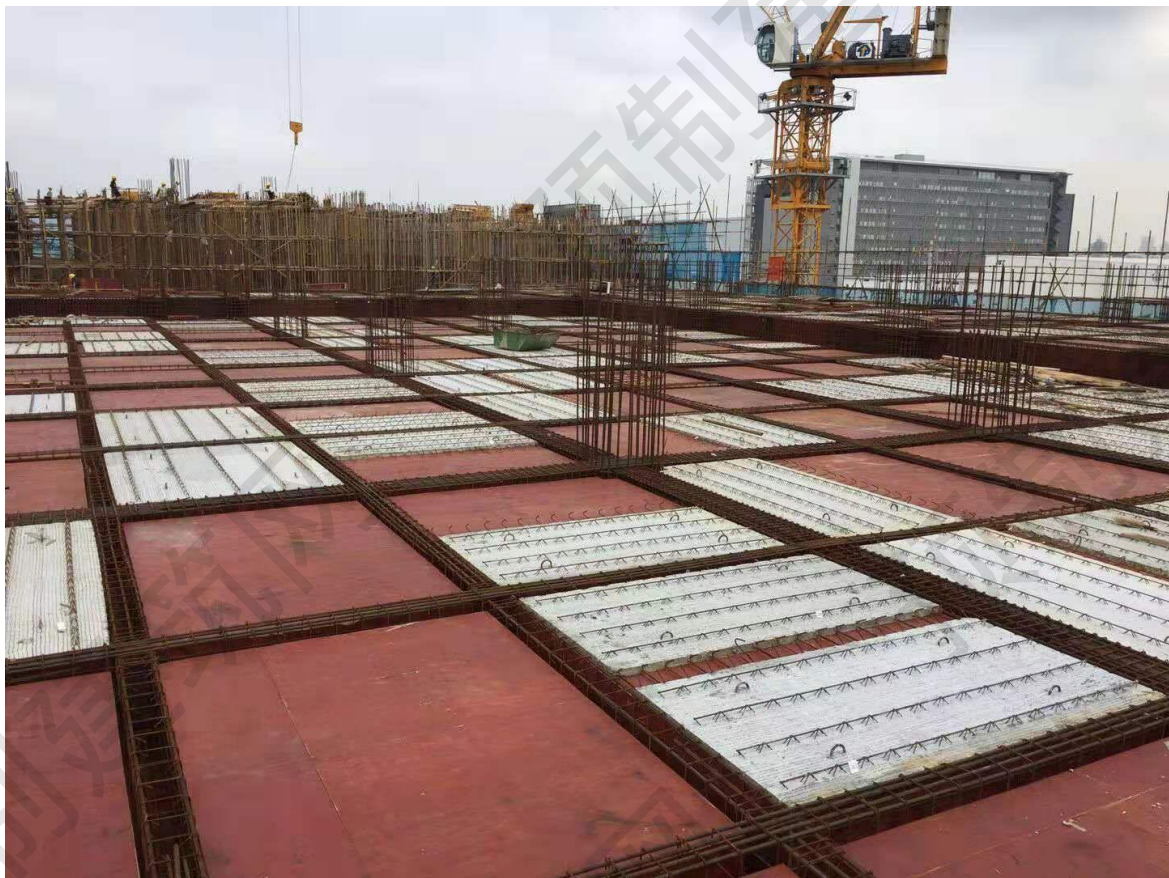
■ 叠合板应用现状



目前我国钢筋桁架叠合板的生产效率较低，经济优势不明显

1 经济性概述

■ 叠合板应用现状



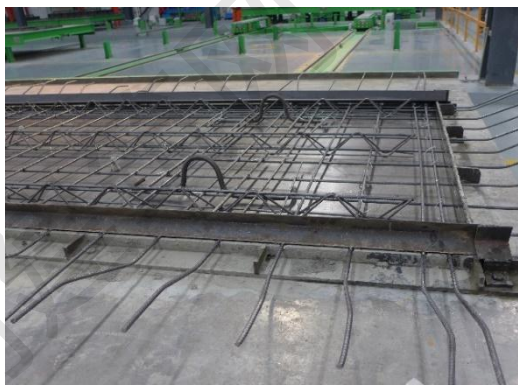
支撑方式不统一、不科学，造成浪费

1 经济性概述

■ 叠合板应用现状



生产线（中国上海）



PC预制叠合板

名称	规格	单位	含税价 (元)	含税价 (kg/m ²)
PC预制外墙板	清水	m ²	3955.71	130
PCF预制外墙板	清水	m ²	4155.71	130
PC预制阳台	清水	m ²	3628.63	110
PC预制内墙	清水	m ²	3628.63	110
PC预制楼板	清水	m ²	4183.13	130
清水 60mm板厚		m ³	3512.65	
清水 70mm板厚		m ³	3461.96	
PC夹心保温外墙板	清水30mm厚	m ²	4579.93	120
PC内墙板		m ²	3413.99	120
加瓷砖饰面		m ²	125.00	不含瓷砖费
加石材饰面		m ²	380.00	不含石材费

销售价已经
到了指导价6
折以下了

先进流水线，生产出筋叠合底板，生产效率不高，经济优势不明显

1 经济性概述

■ 叠合板应用现状

➤ 不经济、效率低的问题将长期存在

- ✓ 与建设、设计、施工、生产各方协调机制与管理密切相关

- ✓ 存在即合理

- ✓ 为了行业发展不得不改变

➤ 经济性问题也难以回避

- ✓ 建设方要考虑

- ✓ EPC要考虑

- ✓ 行业主管部门更要考虑

1 经济性概述

■ 什么决定了叠合楼板的经济性？

- 生产效率
- 材料用量
- 施工效率（支撑系统、操作简单）

1 经济性概述

■ 设计是决定叠合楼板经济性的关键

- 现有管理机制下，设计只管承载力，不算施工（施工验算、支撑设置），也是必然的
 - ✓ 管：增加工作量，缺乏经验，增加责任
 - ✓ 不管：简单、快速、责任少
- 建筑师如何负责？
- 设计单位责权利一致，才有利于技术进步，更有利于经济性
 - ✓ 造价降低额度在建设、总承包方（施工、设计、生产）间如何分配？

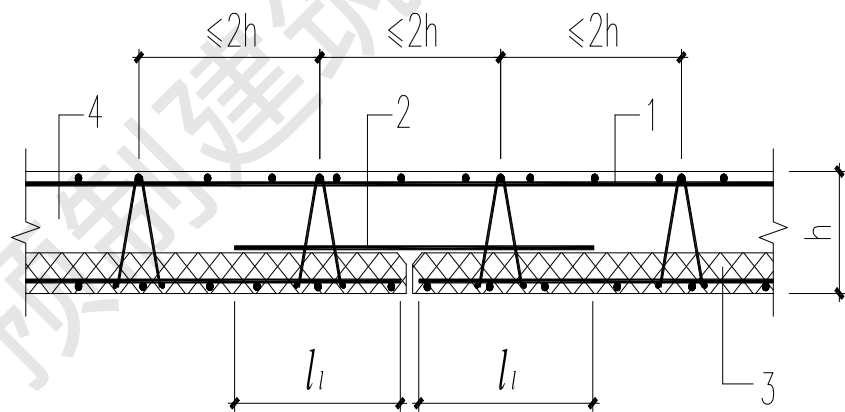
2 桁架钢筋混凝土叠合板

■ 桁架钢筋的作用？



德国

- 增加刚度
- 增加叠合面受剪
- 施工“马镫”
- 吊装“吊钩”
- 密拼双向板钢筋间接搭接辅助钢筋



2 桁架钢筋混凝土叠合板

■ 桁架钢筋的作用？



中国（大陆）

- 增加刚度
- 增加叠合面受剪
- 施工“马镫”
- 吊装“吊钩”
- 密拼双向板钢筋间接搭接辅助钢筋

2 桁架钢筋混凝土叠合板

■ 桁架钢筋的作用？



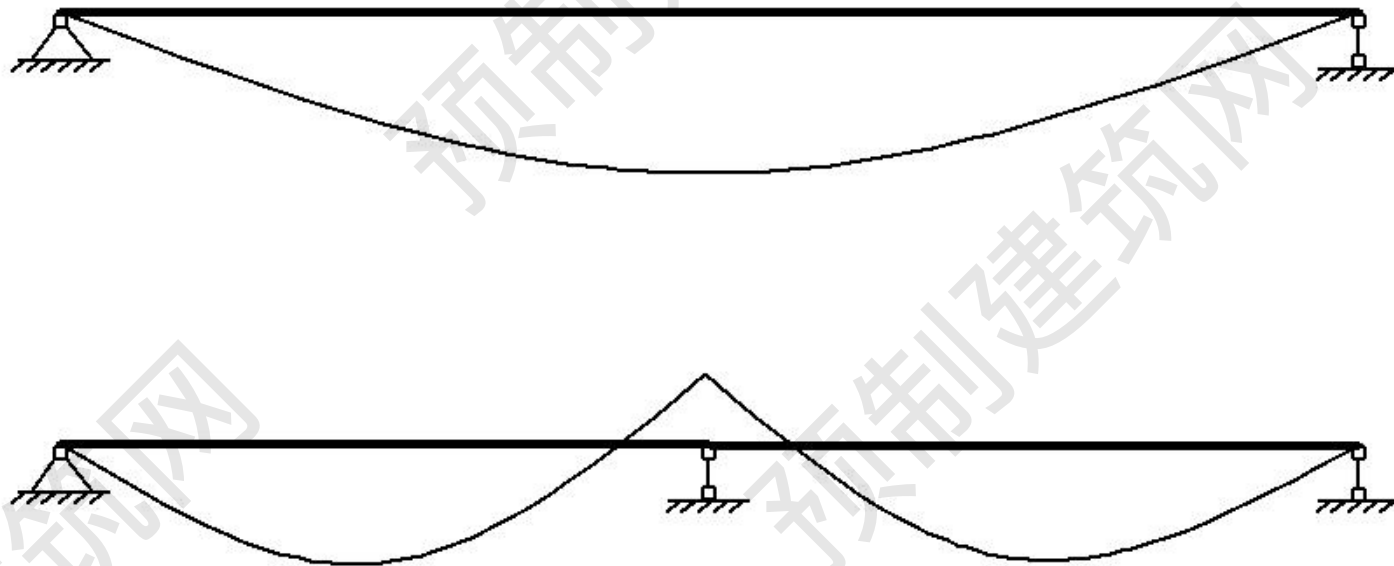
中国香港

2 桁架钢筋混凝土叠合板

■ 桁架钢筋的作用？

➤ 主要与施工支撑有关

- ✓ 无支撑叠合板没有必要设置钢筋桁架（刚度有限，不如带肋叠合板）
- ✓ 钢筋（钢管）桁架的意义：施工有支撑、连续板



2 桁架钢筋混凝土叠合板

■ 密拼问题

- 《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》 T/CECS 715-2020

第5.1.4条，拼缝的选择：

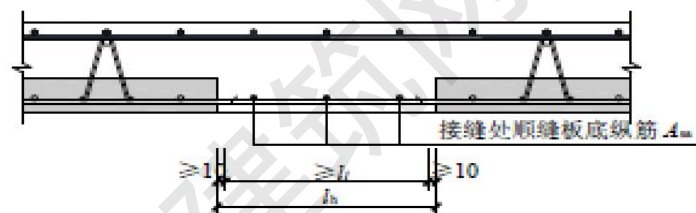
- ✓ 长宽比大于2时，宜按单向板设计（密拼分离式拼缝）
- ✓ 长宽比不大于2时，宜按双向板设计（后浇整体式拼缝、密拼整体式拼缝）

2 桁架钢筋混凝土叠合板

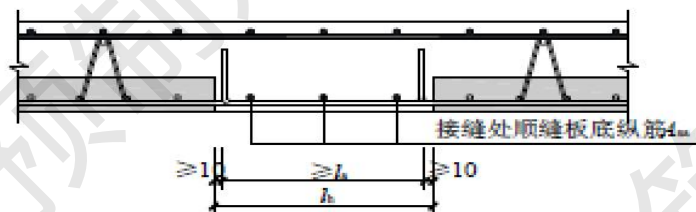
■ 密拼问题

➤ 《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》 T/CECS 715-2020

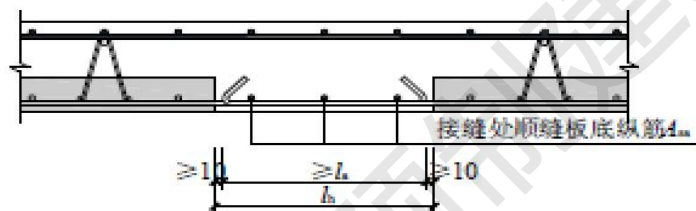
后浇整体式拼缝



(a) 板底纵筋直线搭接



(b) 板底纵筋末端带 90°弯钩搭接



(c) 板底纵筋末端带 135°弯钩搭接

图 5.3.1 双向叠合板后浇带接缝构造示意



2 桁架钢筋混凝土叠合板

■ 密拼问题

- 《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》 T/CECS 715-2020
 - ✓ 密拼整体式拼缝（双向板）：后浇不小于底板厚1.5倍，且不少于75mm

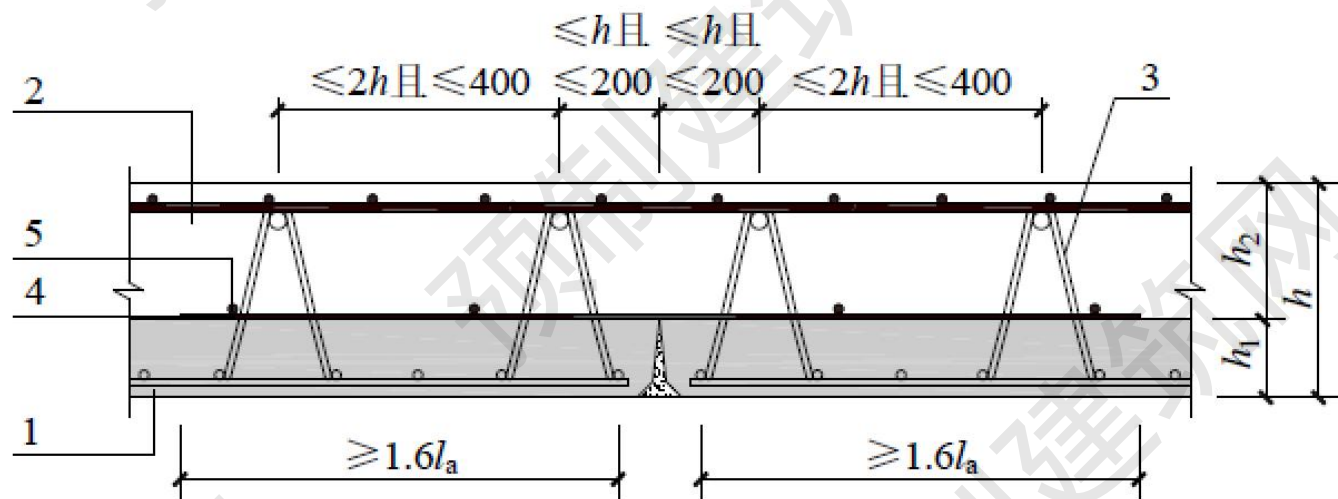


图 5.3.2 钢筋桁架平行于接缝的构造示意

1—桁架预制板；2—后浇叠合层；3—钢筋桁架；4—接缝处的搭接钢筋；5—横向分布钢筋

2 桁架钢筋混凝土叠合板

■ 密拼问题

➤ 《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》 T/CECS 715-2020

✓ 密拼分离式拼缝（单向板）：构造配筋

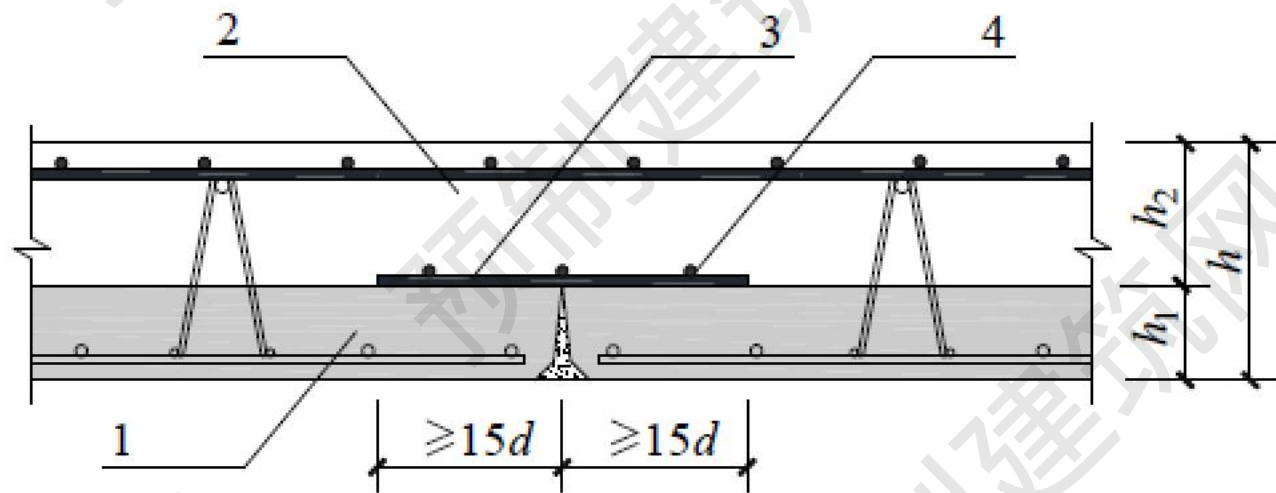


图 5.3.6 密拼式分离接缝构造示意

1—预制板；2—后浇叠合层；3—附加钢筋；4—横向分布钢筋

2 桁架钢筋混凝土叠合板

■ 不出筋问题

- 《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》 T/CECS 715-2020
 - ✓ 第5.4.6条：后浇不小于底板厚1.5倍，且不少于75mm；对附加搭接钢筋的数量、锚固及横向钢筋构造提出了要求

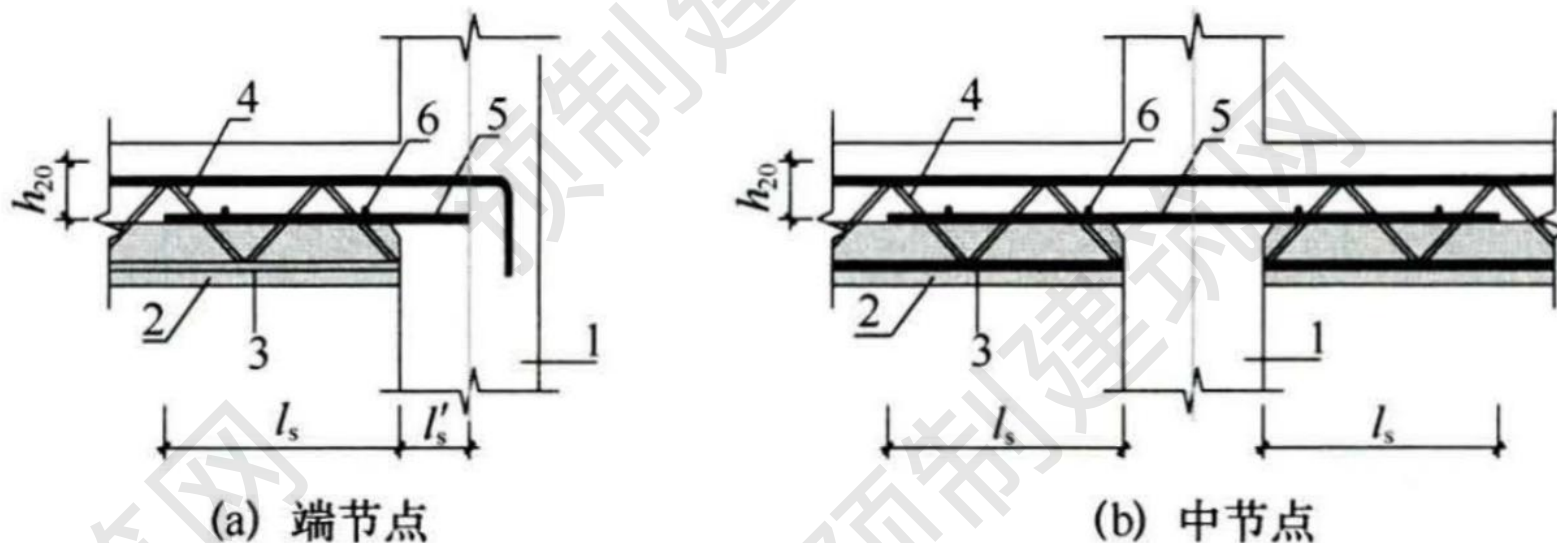


图 5.4.6 无外伸纵筋的板端支座构造示意

3 预应力混凝土叠合板

■ 预制预应力混凝土构件

- 预应力技术是20世纪建筑结构领域最主要的技术创新
- 先张法预应力构件更能发挥预制结构、预应力结构二者的优势
 - ✓ 节约材料
 - ✓ 生产效率高
 - ✓ 降低层高
 - ✓ 提高性能：抗裂
 - ✓ 提高效率：无支撑
 - ✓ 扩大跨度

3 预应力混凝土叠合板

■ 预制预应力楼板种类

- 光面叠合板
- 带肋叠合板：混凝土肋、钢肋……
- 桁架叠合板：钢筋桁架、钢管桁架
- 后浇空心叠合板

3 预应力混凝土叠合板

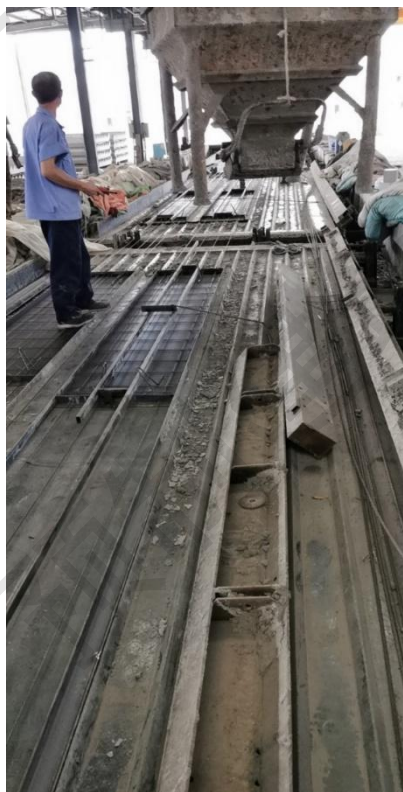
■ 预应力光面叠合板



- 双向后浇拼缝预应力混凝土叠合板，2003年研发成功，应用较少
- 适用于密支撑，当底模用

3 预应力混凝土叠合板

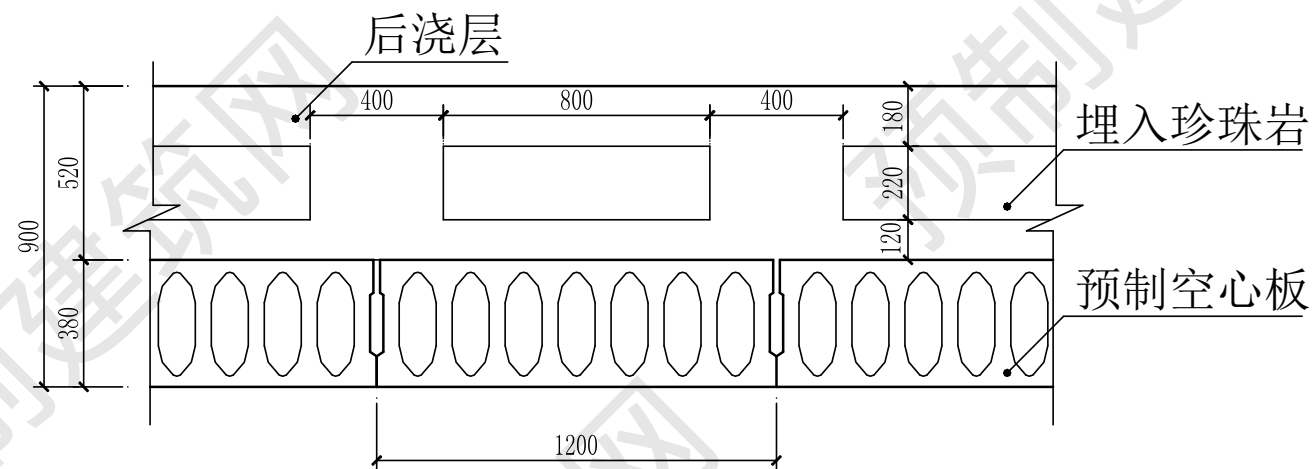
■ 预应力带肋叠合板



- 便于实现**免支撑**，经济效益更显著
- 可以长线台生产，也可以设备生产

3 预应力混凝土叠合板

■ 后浇空心叠合板



- 荷载：53kN/m²
- 现浇没法实现，需要高支模

黄河拉西瓦水电站工程750kV户外出线楼
顶层叠合楼盖结构设计

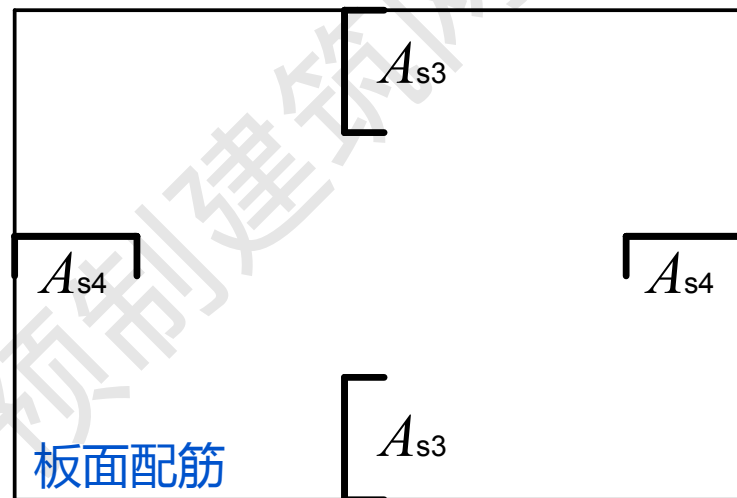
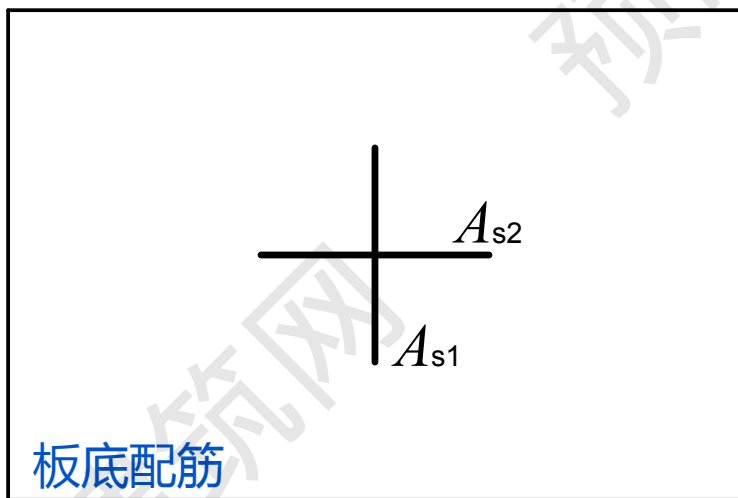
3 预应力混凝土叠合板

■ 单向板更有利于发挥预应力的作用

➤ 1570预应力钢丝设计强度1110，400MPa钢筋设计强度360，同截面可节约60%钢筋。假设 A_{s1} - A_{s4} 相等，原总配筋为 $4A_{s1}$

✓ 单向板的配筋约为 $(2+0.4 \times 2) = 2.8A_{s1}$ ，约减少30%

✓ 单向板的配筋约为 $(3+0.4) = 3.4A_{s1}$ ，约减少15%



3 预应力混凝土叠合板

■ 单向板更有利于发挥预应力的作用

➤ 预应力叠合板按单向板设计不受区格长宽比影响

✓ 板底不开裂设计

✓ 变形协调，非受力方向同样不开裂

✓ 支承构件包络设计

➤ **密拼 单向 免支撑**是最合理的预应力混凝土叠合板应用形式

➤ 一定条件下经济性可以优于现浇混凝土楼板

✓ 材料、工期、支模人工均可减少

3 预应力混凝土叠合板

■ 框架结构中应用

- 大跨、重载工业建筑、物流建筑（单层、多层）效果更优
- 支承梁可以是混凝土，也可是钢结构
- 楼板厚度较大时可以设置后浇空心叠合层减重
- 尽可能做到免支撑体系
- 设置支承时不宜采用（肋中不配筋、无钢筋桁架的）带肋叠合板

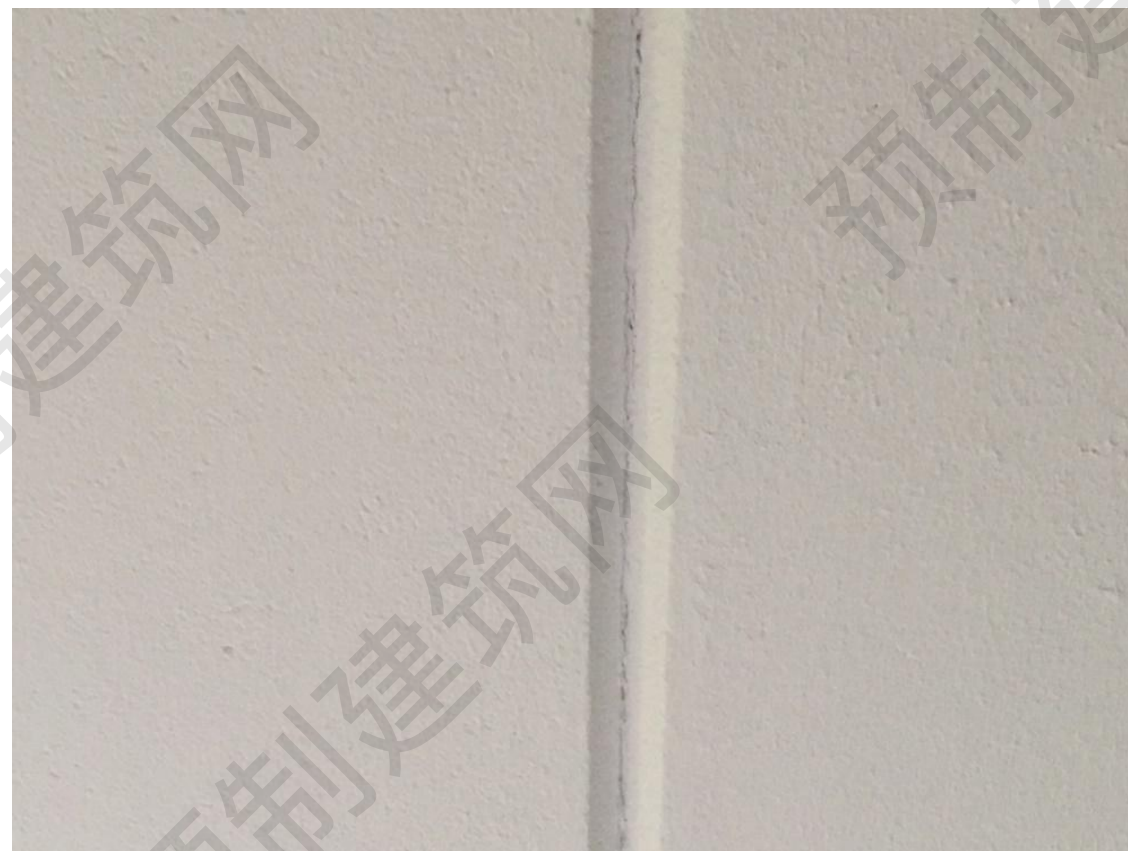
3 预应力混凝土叠合板

■ 住宅中应用要点

- 厚度薄：120mm或130mm
- 后浇层走管线
 - ✓ 混凝土肋：开槽
 - ✓ 钢肋：打孔
 - ✓ 钢筋（钢管）桁架：下穿
- 免（少）支撑
 - ✓ 精装吊顶：免支撑
 - ✓ 普通住宅：免支撑或加一道找平支撑

3 预应力混凝土叠合板

■ 住宅中密拼叠合板底缝抹灰处理

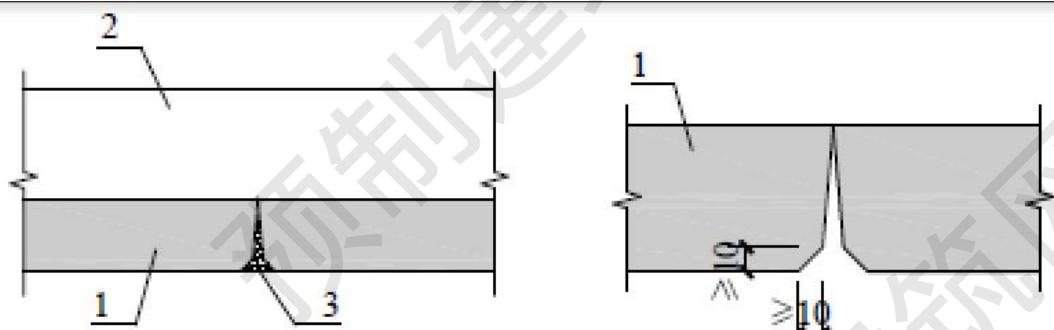


国外做法

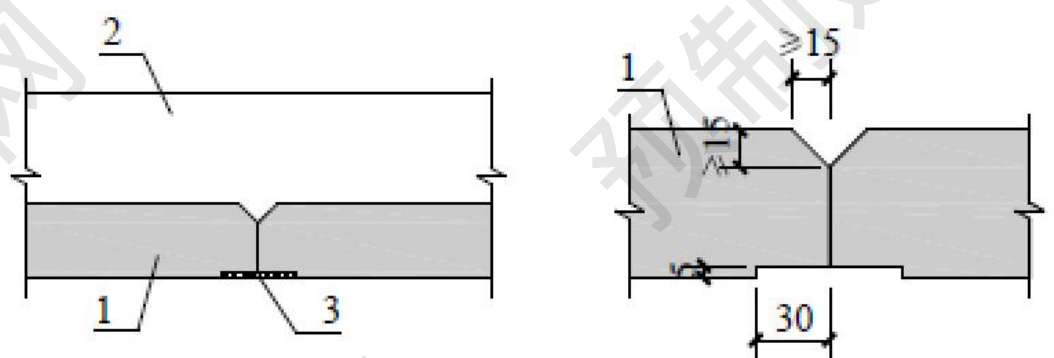
3 预应力混凝土叠合板

住宅中密拼叠合板底缝抹灰处理

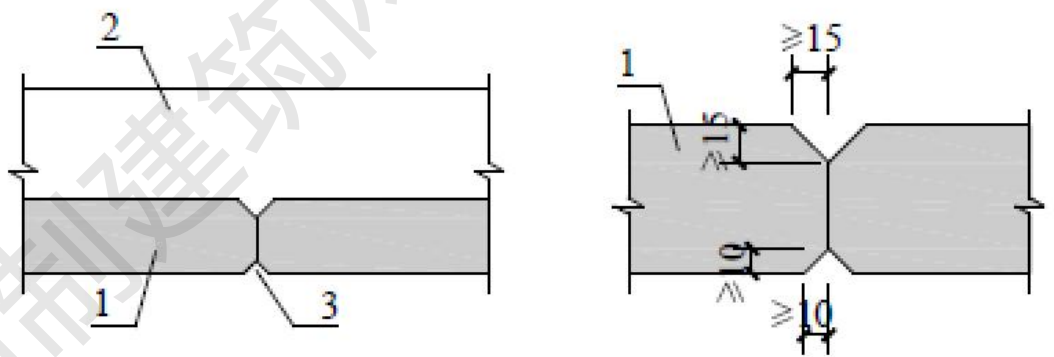
➤ 可靠施工可以保证



(a) 底面倒角、侧面倾斜面做法



(b) 带底槽、上面倒角做法



(c) 底面、顶面倒角做法

中国做法

图 5.3.7 桁架预制板密拼式接缝构造示意

3 预应力混凝土叠合板

■ 预应力混凝土叠合板有关标准

标准名称与编号	类别	主要内容	主编单位	阶段
预制带肋底板混凝土叠合楼板技术规程JGJ/T 258-2011	工程标准	一般工业与民用建筑楼板的设计、施工及验收	湖南省高岭建设集团股份有限公司	已发布
钢管桁架预应力混凝土叠合板技术规程T/CECS 722 - 2020	工程标准	钢管桁架预应力混凝土叠合板设计、施工、验收	山东建筑大学、山东万斯达科技股份有限公司	已发布
密拼单向预应力混凝土叠合板应用技术规程	工程标准	密拼单向预应力混凝土叠合板的设计、施工及验收	中冶建筑研究总院有限公司	准备开题
密拼预应力叠合楼盖技术规程	工程标准	密拼预应力叠合楼板的工程设计、施工及验收	东南大学、中民筑友建设科技集团有限公司	征求意见
支架预应力混凝土叠合板技术标准	工程标准	多、高层工业与民用建筑楼面板和屋面板	山东乾元泽孚科技股份有限公司、山东建筑大学	立项中
钢肋预应力混凝土叠合板技术规程	工程标准	8度及8度以下地区的工业与民用建筑混凝土楼板的设计、制作、施工及验收	山东大学、荣华(青岛)建设科技有限公司	立项中
密拼叠合板用预应力混凝土底板	产品标准	密拼叠合板用预应力混凝土底板产品生产	中冶建筑研究总院有限公司	准备开题
预制混凝土构件结构性能检验标准	工程标准	混凝土构件型式检验、生产检验、出厂检验、进场检验、使用中检验等的结构性能检验	中冶建筑研究总院有限公司	准备开题

3 预应力混凝土叠合板

■ 密拼单向预应力混凝土叠合板应用要点

- **设计流程：根据承载力估算配筋→各阶段抗裂与挠度验算→迭代确定肋尺寸与预应力配筋**
- **预应力钢筋：永久承载力、永久正常使用、构件反拱、施工挠度、施工抗裂、吊装等**
- **肋尺寸（高、宽）：构件反拱、施工挠度、施工抗裂、吊装等，及非受力方向应力分布与设计核算**
- **叠合楼板后浇层管线布置方法及底板设计**

3 预应力混凝土叠合板

■ 密拼单向预应力混凝土叠合板应用要点

- 后浇层非预应力配筋：受力方向（单跨、多跨）、非受力方向
- 二次受力造成的底板、后浇层配筋调整问题
- 不同宽度预应力带肋底板反拱一致性控制
- 单向、双向板对支承梁（剪力墙）传力的包络设计
- 有支承预应力混凝土叠合底板设计及支承系统设计
- 大跨、重载预应力混凝土叠合板设计及有关构造
- 密拼拼缝抹灰防开裂构造与施工工艺

4 结语

- **叠合楼板的经济性是决定装配式建筑、建筑工业化发展与预制混凝土行业生存的关键因素**
- **EPC工程会越来越多，建设、总包及各相关方应积极思考，有的放矢**
- **各类预应力混凝土叠合板具有广阔的发展空间，值得深入研究，加大工程推广力度**

感谢支持！

电话/邮箱：13910896802@139.com