

基于装配式叠合板防裂缝技术的研究

陈妍儒¹ 王皓^{*通讯作者} 王海超¹ 牛子鹏¹ 刘浩宇¹ 陈丽丽²

1. 南通理工学院 土木工程学院; 2. 南通科达建材股份有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i7.8117

[摘要] 为响应住房和城乡建设部印发关于“十四五”绿色节能与绿色建筑发展, 装配式建筑将走向更大规模的国内市场。而装配式建筑结构中的叠合板还存在着裂缝问题, 这一问题不仅使得叠合板在处理裂缝问题上时间成本、人工成本等的提高, 还导致了开发商与业主交房之间的民事纠纷问题增多。该文根据薄膜效应原理与拱板效应相结合的一种新型叠合板的相关数据的统计与分析。来证明该新型叠合板在结构上的防裂缝性能的提升。

[关键词] 装配式建筑结构; 叠合板; 薄膜效应; 防裂缝技术

Research on Crack Prevention Technology Based on Prefabricated Composite Plates

Chen Yanru¹ Wang Hao^{*} Wang Haichao¹ Niu Zipeng¹ Liu Haoyu¹ Chen Lili²

1. School of Civil Engineering, Nantong University of Science and Technology;

2. Nantong Keda Building Materials Co., Ltd

[Abstract] In response to the Ministry of Housing and Urban Rural Development's issuance of the "14th Five Year Plan" for green energy conservation and green building development, prefabricated buildings will move towards a larger domestic market. However, there is also a problem of cracks in the composite panels in prefabricated building structures, which not only increases the time and labor costs in dealing with crack problems, but also leads to an increase in civil disputes between developers and property owners. This article presents the statistical analysis of relevant data for a new type of composite panel that combines the principle of thin film effect with arch plate effect. To demonstrate the improvement of crack prevention performance of this new type of composite panel in structure.

[Keywords] Prefabricated building structure, laminated panels, thin film effect, crack prevention technology

前言

本文主要研究内容是“在制造与计算过程中对叠合板的裂缝问题进行研究与解决”。基于这一主题的研究, 本设计主要板边采用弧形的拱脚式支承结构, 通过拱板结合的方式, 板的支座采用拱脚式结构, 拱脚高 240mm, 按照板的厚度为 120mm 计算, 弧高 120mm 形成室内棚顶弧线棚顶角线, 同时在曲线拱的断面上, 设置 80mm 直径的孔洞作为埋线管道等; 芯板为平板, 芯板由于支撑在曲线拱支座上, 拱脚有效支承长度可达 250mm 以上, 使得芯板的实际跨度减少 500mm 左右, 四边简支板的挠度计算系数偏小为 0.00460; 四边固定板的挠度系数是 0.00127; 因此计算挠度较小, 拱脚对芯板的支承非简支情况, 且计算跨度可减少一定的尺寸, 这样使得装配式楼板的实际挠

度将大为减少, 更好地满足使用要求, 克服目前楼板裂缝的质量通病, 从而可以避免楼板开裂, 其配筋按规范要求进行计算。

利用类似空间穹拱结构, 有非常好的空间拱作用, 有利于提高在竖向荷载作用下的抗弯刚度。但是鉴于现场制作和试验条件的情况, 采用平面结构试件, 得到的结果是偏于保守的, 用于空间结构完全满足要求, 并且对单向板构件, 也可以给出可行性的研究结果。

通过弹性构件的挠度计算结果分析^[1]表明, 四边支撑板的挠度计算结果, 与计算跨度呈 4 次幂的关系, 因此若计算跨度可以减小一点, 也可以提高抗弯刚度, 减小裂缝产生机遇。

通过试验, 验证新型板拱结构对构件刚度的增强作用, 我们增强的目标不是改变承载力的安全等级, 仅仅是通过提高构

件的刚度, 消除叠合板的板底裂缝, 提高构件抗弯刚度的平均值。

1 实验国内外现状

一般民用建筑工程中叠合板主要的用处主要分布在墙体、楼层、屋顶等基本构件中。其叠合板取决于主要工程实物的工程尺寸等因素, 而实物工程量的大小是由工程设计的建筑结构参数决定的。对现有的叠合板进行实验数据的验证, 通过多次加压测试所得数据整理以及资料整理^[2]可以得出叠合板多是因为剪切、斜压破坏等造成的永久性裂缝。而荷载以剪力的形式通过钢筋架腹板传递。在边缘跨点截面附近的两根钢管中最大实测应变小于屈服应变, 在加载截面处观察到冲切破坏^[3]。而国外研究为解决 T 梁桥横向联系不足的问题, 研究了在跨中对称安装两个组合桁架的加固方法。采用组合桁架加固的 T 梁试件的最大横向刚度提高了 12.4 %。同时对裂纹的发展有极好的抑制作用。观察到在控制梁上用组合桁架加固的钢筋混凝土 T 梁达到 39.7 时, 最大荷载对应的挠度下降百分比最大。此外, 根据刚接板(梁)法研究了荷载横向分布系数。选择组合桁架作为中间膜片来计算转动惯量。在相同的加载条件下, 解析模型与实验结果吻合较好^[4]。但此实验方法在国内还没有得到很好的验证与应用。因此国内在叠合板的裂缝问题上还没有得到更好的解决。

2 实验设计原理

当支撑结构无法被自主调整时, 它会受到垂直于它的压缩力的影响, 这种压缩会导致板的内压减小, 从而对次梁施加主要的水平压缩^[6]。另外, 板的最大承载力 q_1 也取决于它的压缩性。通过应用弹塑性理论, 我们可以得出 q_1 的最大荷载, 而 q_2 则是构建混凝土拱的最大承载能力。

因此, 总的极限荷载可以由 $q=q_1+q_2$ 来表示。

当钢筋混凝土板的支撑面被严格限制时, 其所处的受力状态会比没有被限制的情况下更加严重, 这种差异的程度等同于纯弯曲时板的受力状态加上被严格限制的板所产生的混凝土拱的总长。

$$\text{挠度验算公式: } f = \alpha \frac{M l_0^2}{EI} = \alpha \frac{M}{B} l_0^2 \quad (1-1)$$

其中: B 为弯曲刚度, $B=EI$ 。

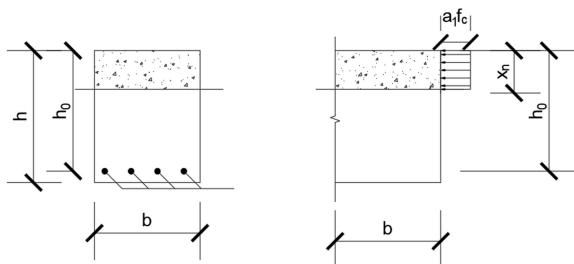


图 2-1 考虑薄膜效应时板截面计算简图

3 试验加载方案

首先对叠合板试件进行打磨与应变片的黏贴。根据《建筑

结构荷载规范》(GB50009-2012)^[6], 板面均布荷载取 2.0 kN/m^2 , 如图 3-1 所示, 每块板均匀布置 5 块 0.293T 标准混凝土试块以模拟板面均布荷载。

表 3-1 各试件尺寸 (mm)

试件编号	试件形式	试件宽度 (mm)	试件厚度 (mm)	净跨 (mm)	备注
1	JY	1500	80	2920	加腋
2	PT-1	1500	80	2400	不加腋
3	PT-2	1500	80	2920	不加腋

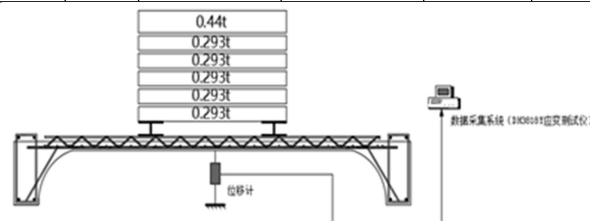


图 3-1 加腋叠合板实验加载示意图

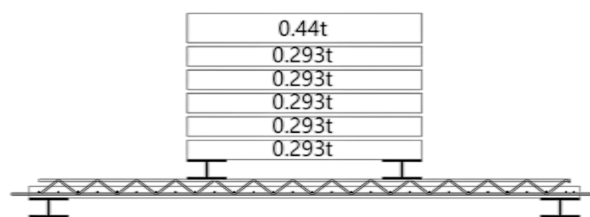


图 3-2 普通叠合楼板的加载示意图

4 测点布置

本试验在试件跨中位置和支座处布置位移传感器, 以观测叠合板的跨中变形值和端部变形值。为探究拱弧度的增加对叠合板防裂缝性能的影响, 在试件跨中和 $1/4$ 跨位置处, 沿板长每隔 20mm 布置一个应变片并在跨中处, 在钢筋桁架的上弦筋和下弦筋上各布置一个应变片, 以探究受力钢筋在受力过程中的位移变化情况^[7]。

5 实验过程

首先在加腋叠合板浇筑过程中在内置钢筋上加装应变片, 浇筑完成后对加腋叠合板进行逐级加载处理, 在叠合板上放置两条横木使得叠合板受力均匀避免加载块对挤压叠合板对内置应变片造成影响增加实验误差, 然后放置一块 0.293T 的普通加载块对试件 JY-1 施加 2.93 kN 的荷载观测并记录试件 JY-1 的挠度变化、钢筋应变变化、混凝土应变变化, 然后对 JY-1 进行逐级加载分别加装 2 块、3 块规格相同的加载块依次记录下挠度变化的数据如表 6-1 所示、钢筋应变变化的数据如表 6-2 所示、混凝土应变变化的数据如表 6-3 所示。对试件 JY-2 进行相同处理并记录相关数据分别如表 6-1、6-2、6-3 所示。

其次利用数据采集系统 (DH3818Y 应变测试仪) 对普通叠合板进行逐级加载实验, 首先在试件 PT-1 上放置两块横木使试件 PT-1 受荷载均匀减小实验误差。然后在试件 PT-1 上放置

一块 0.293T 加载块对试件 PT-1 施加 2.93KN 的荷载并记录挠度变化的数据如表 6-4 所示、混凝土应变变化的数据如表 6-5 所示。然后对 PT-1 进行逐级加载分别放置 2 块、3 块加载块并且记录相关数据如表 6-4、6-5 所示。对试件 PT-2 进行相同处理并且记录数据如表 6-6、6-7 所示。



图 5-1 现场应变片连接图（1）

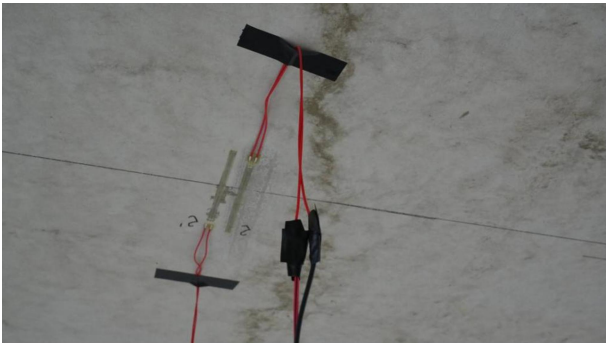


图 5-2 现场应变片连接图（2）

6 实验数据整理

表 6-1 JY 叠合楼板试件挠度测试结果（单位：mm）

荷载	测试点		
	1	2	平均值
0.293	1.340	1.349	1.345
0.586	2.800	2.827	2.810
1.465	4.830	4.899	4.860

表 6-2 JY 叠合楼板试件钢筋应变测试结果（单位：με）

荷载	测试点		
	1	2	平均值
0.293	14	47	30.5
0.586	38	63	50.5
1.465	74	46	60.0

表 6-3 JY 叠合楼板试件混凝土应变测试结果（单位：με）

荷载	测试点		
	1	2	平均值
0.293	33	23	28
0.586	48	44	46
1.465	87	81	84

（2）PT1 板试验结果：净跨度 3200mm*（3200*1500）

表 6-4 PT1 叠合楼板试件挠度测试结果（单位：mm）

荷载	测试点		
	1	2	平均值
0.293	3.61	3.56	3.58
0.586	10.45	10.01	10.23
1.465	20.24	20.19	20.22

表 6-5 PT1 叠合楼板试件混凝土应变测试结果（单位：με）

荷载	测试点		
	1	2	平均值
0.293	96	88	92
0.586	338	437	387
1.465	587	645	616

（3）PT2 板试验结果（净跨 2400mm）*（2400*1500）

表 6-6 PT2 叠合楼板试件挠度测试结果（单位：mm）

荷载	测试点		
	1	2	平均值
0.293	4.06	2.96	3.51
0.586	9.58	9.32	9.45
1.465	19.25	17.82	18.53

表 6-7 PT2 叠合楼板试件混凝土应变测试结果（单位：με）

荷载	测试点		
	1	2	平均值
0.293	96	99	97.5
0.586	420	341	380.5
1.465	786	597	691.5

7 数据分析

7.1 混凝土应变变化

从实验数据结果可以看出加腋叠合板的混凝土应变变化随着加载块的增加也就是荷载的增加仍能保持较小数值，而普通叠合板的混凝土应变变化随着加载块的增加变化非常大，在加装第一块加载块的时候平均混凝土应变变化就达到了 $98 \times 10^{-6} \mu\epsilon$ 。

从对比数据可以看出，随着荷载增加，两种叠合板的混凝土应变变化都在增加，但加腋叠合板的混凝土应变变化较小，而普通叠合板的混凝土应变变化较大。这表明加腋叠合板在承受相同荷载时，混凝土的应变变化较小，具有更好的变形控制性能。

加腋叠合板的性能分析：加腋叠合板的混凝土应变变化较小，说明其刚度相对较高，能够有效抵抗荷载引起的变形，提供更好的结构稳定性。较小的混凝土应变变化也意味着加腋叠合板在承受荷载时可能会减少开裂和损伤的风险。

由于加腋叠合板的性能较好，可能可以在要求较高的结构中使用，例如承受较大荷载或需要较低变形的工程项目。

普通叠合板的性能分析：普通叠合板的混凝土应变变化较大，可能意味着其刚度较低，对荷载变形较敏感。较大的混凝土

土应变变化可能导致叠合板的开裂和损伤,降低结构的稳定性和耐久性。普通叠合板可能更适合用于要求较低的结构,例如承受较小荷载或对变形要求不太严格的工程项目。

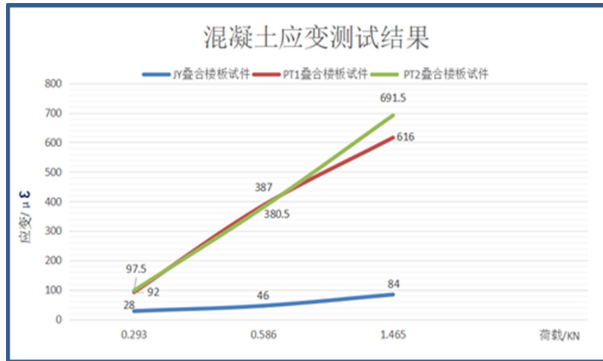


图 7-1 混凝土应变测试结果统计表

7.2 挠度变化

从实验数据结果可以看出加腋叠合板随着加载块的增加所受荷载的增加试件的挠度变化并不大平均维持在 1mm-5mm 之间,而普通叠合板的挠度受加载块重量也就是荷载的影响很大,在加载第一块加载块时挠度变化平均就已经达到 3.58mm,在加装第二块加载块之后挠度变化更是成倍增长达到 10.45mm,在加装第三块加载块之后挠度变化又几乎翻倍达到 20.24mm,与加腋叠合板相比可见普通叠合板的挠度在加了荷载之后变化非常大,没有加腋叠合板稳定。

从对比数据可以看出,在相同荷载作用下,加腋叠合板的挠度变化均小于普通叠合板的挠度变化。

变形控制能力: 加腋叠合板相比普通叠合板,在承受相同荷载时具有更好的变形控制能力。加腋叠合板的挠度变化较小,表明其具有较高的刚度和抗挠度能力,能够有效抵抗荷载引起的变形。

结构刚度: 加腋叠合板相对于普通叠合板具有较高的刚度。挠度变化的差异表明加腋叠合板在受荷载作用下产生的弯曲变形较小,结构刚度较大。普通叠合板的挠度变化较大,可能意味着其刚度较低,容易发生较大的结构变形和挠度。

结构稳定性: 加腋叠合板的较小挠度变化有助于提高结构的稳定性。结构稳定性是指结构在受到荷载作用时保持稳定的能力,即不容易发生失稳和塌陷。由于加腋叠合板的挠度变化较小,它能够限制结构的变形和挠度,提高结构的稳定性。

结构安全性: 普通叠合板的较大挠度变化可能导致结构的变形超过设计限值,增加结构破坏和失效的风险。相比之下,加腋叠合板的较小挠度变化可以降低结构破坏的风险,提高结构的安全性。

适用性: 根据挠度变化的差异,加腋叠合板更适用于对结构刚度和变形控制要求较高的工程项目。它们可以应用于需要减小结构挠度和变形的场所,如桥梁、高层建筑和重要结构的设计。普通叠合板则可能更适用于对变形要求较低的一些应用场景。

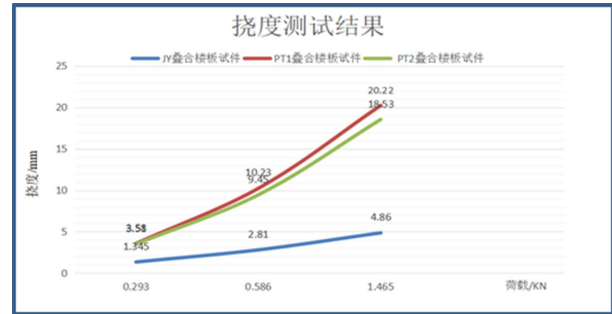


图 7-2 挠度测试结果统计图

8 结论

加腋叠合板相对于普通叠合板具有更好的变形控制能力和刚度,能够有效抵抗荷载引起的变形。加腋叠合板的挠度变化较小,能够提供更好的结构稳定性和安全性,降低结构破坏的风险。

普通叠合板的挠度变化较大,可能意味着其刚度较低,容易发生较大的结构变形和挠度。加腋叠合板适用于对结构刚度和变形控制要求较高的工程项目,可以用于需要减小结构挠度和变形的场所。

在装配式建筑施工中采用叠合板施工工艺,可以减少工程造价,减少工期,保证工程的质量,提高项目的经济效益,使越来越多的工程单位愿意采用这种技术。若能对该技术进行进一步的优化和推广,可促使其在今后的工程建设中获得更好的运用。

[参考文献]

- [1] 齐风波, 任红伟, 辛海亮等. 框架结构侧向刚度比与砌体墙高厚比分析[J]. 工程建设, 2022, 54 (02): 40-44. DOI: 10.13402/j.gcjs.2022.02.021.
- [2] 陈哲, 吴仲勤, 尹刚等. 桁架钢筋混凝土叠合板抗弯承载性能研究现状探析[J]. 工程质量, 2023, 41 (08): 35-39.
- [3] Studies of In-Plane Ultimate Loads of the Steel Truss Web-RC Composite Arch[J]. Jiangang Wei, Baocun Chen, Ton-Lo Wang. Journal of Bridge Engineering.
- [4] Adding composite truss to improve mechanical properties of reinforced concrete T-girder bridge[J]. Yang Caiqian, Du Wenping, Hou Peng, Zhu Fawang, Chen Yaojing, Ma Changjun, Pan Yong, Zhang Honglei. Advances in Structural Engineering.
- [5] 王栋梁. 预应力叠合板拼缝构造试验研究与有限元分析[D]. 导师: 刘庆文. 南昌航空大学, 2022.
- [6] 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [7] 丁克伟, 房尚京, 贾高宗等. 新型角钢连接的钢-叠合板组合梁在负弯矩下的受力性能[J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2023, 43 (04): 68-81. DOI: 10.19721/j.cnki.1671-8879.2023.04.008.

项目: 江苏省 2023 年省级重点大学生创新创业项目 (202312056019Z)