

DOI: 10.7672/sgjs2025180154

免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板施工阶段 受力性能试验研究*

吴自清

(中铁一局集团有限公司, 陕西 西安 710054)

[摘要] 为解决钢筋桁架混凝土叠合板底板施工阶段易开裂、需大量竖向支撑难题,提出了采用三角型钢的免支撑措施,并对免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板试件进行了施工阶段的静力加载试验,考虑是否采取免支撑措施和板跨影响,获得试件破坏现象和荷载-跨中挠度曲线,分析板底纵筋和三角型钢的应变变化规律。结果表明,采取免支撑措施后可显著提高楼承板刚度,减小板底钢筋应变,在板跨与免支撑措施适配时,板底不开裂且跨中挠度不超限,可达到免支撑效果;免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板的板底纵筋受拉、三角型钢受压,在施工阶段均不屈服;随着板跨增大,板底纵筋和三角型钢的应变均增大。

[关键词] 混凝土叠合板;钢筋桁架;免支撑;有限元分析;受力性能;静力试验

[中图分类号] TU375.2

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)18-0154-05

Experimental Study on Mechanical Performance of Free-support Steel Bar Truss Laminated Concrete Slab Floor in Construction Stage

WU Ziqing

(China Railway First Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: In order to solve the problem that the free-support steel bar truss laminated concrete slab floor in construction stage is easy to crack and needs a lot of vertical support, a free support measure using triangular section steel is proposed. Static tests are carried out on the free-support steel bar truss laminated concrete slab floor in construction stage. The effect of free support measure and slab span is considered. The failure phenomenon and curves between load and mid-span deflection are obtained, and the change law of the strain between the slab-bottom longitudinal bar and the triangular section steel is analyzed. Test results show that the adoption of free support measure can obviously improve the stiffness of floor deck and decrease the strain of steel bar at the bottom of slab, and when the slab span and the free support measure are adaptive, there is no crack at the bottom of slab and the mid-span deflection is less than the limit, indicating that the free support measure has good application effect. The slab-bottom longitudinal bar and the triangular section steel are in tension and compression respectively, and the both do not yield in construction stage. As the slab span increasing, the strain of the slab-bottom longitudinal bar and the triangular section steel increases.

Keywords: laminated concrete slab; steel bar truss; free support; finite element analysis; mechanical performance; static tests

0 引言

装配式建筑具有设计标准化、生产工厂化、施

工装配化等特点,能有效解决传统建造方式存在的有关问题,减轻劳动强度、提高住宅质量、加快建设速度、降低施工成本,其施工速度快、生产效率高^[1-2]。叠合板作为装配式建筑水平构件中主要的结构形式之一,由预制底板和上部后浇混凝土叠合而成,在装配式混凝土结构中得到广泛应用。然

* 陕西省重点研发计划专项(2022LL-JB-10);中铁一局集团有限公司科技计划项目(JA2024B207);陕西省省级国有资本经营预算科技创新专项资金项目(ZXZJ-2024-015)

[作者简介] 吴自清,高级工程师, E-mail: 156893856@qq.com

[收稿日期] 2025-07-11

而,由于普通预制底板较薄,上部桁架钢筋难以提供足够的抗弯刚度,导致其在施工过程中难以承受各类施工荷载,且易出现裂缝^[3-4]。因此,普通混凝土叠合板施工现场仍需架设大量竖向支撑,不仅增加了施工成本、延长了工期,而且与装配化施工特点不相符。

目前,国内外学者在叠合板方面开展了较多研究。周绪红等^[5]研发了 PK 预应力混凝土叠合板,具有免模板、整体性好、施工方便、工期短等优势;叶献国等^[6]通过静力加载试验对比分析了现浇混凝土整体板及在跨中拼接的混凝土叠合板的受弯性能和承载受力机理,并利用有限元软件 ANSYS 对各试件进行了非线性数值模拟,提出了改进叠合式楼板设计的建议;李杰等^[7]设计了 4 块不同形式的钢筋桁架混凝土叠合板,并对其进行了受弯性能试验,得到挠度和裂缝的发展规律及破坏特征,并提出带肋板是解决预制板施工阶段挠度过大的有效措施;Mansour 等^[8]在现有叠合板基础上涂抹一薄层钢纤维混凝土,以增强混凝土叠合板的抗弯性能;吴方伯等^[9]、Lim 等^[10]为了分析叠合板在使用阶段的性能,对其研发的新型叠合板进行了四点弯曲加载试验,结果表明,叠合板能满足使用阶段要求,延性良好。由上述可见,目前学者主要针对不同形式叠合板的受力性能开展研究,而免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板的相关研究较少,实际工程应用缺乏科学依据。

因此,本文提出将三角型钢的免支撑应用于钢筋桁架混凝土叠合板底板,该措施在现浇混凝土浇筑后可拆除并可后续周转使用。通过对免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板进行静力加载试验,分析了试件在施工荷载作用下的裂缝开展情况及挠度、板底纵筋和三角型钢应变,并在试验基础上建立了有限元模型,分析了免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板受力性能。

1 试验概况

1.1 试件设计与制作

共设计 4 个足尺试件,包括 1 个普通钢筋桁架混凝土叠合板底板试件和 3 个免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板试件。免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板是由钢筋桁架混凝土叠合板底板、混凝土支座和三角型钢组成,如图 1 所示。

每个免支撑底板采用 2 个三角型钢,三角型钢与混凝土支座通过高强螺栓连接。为了探究免支撑措施对不同跨度叠合板底板受弯性能的影响,设计制作了 3 个跨度不同的免支撑钢筋桁架混凝土叠

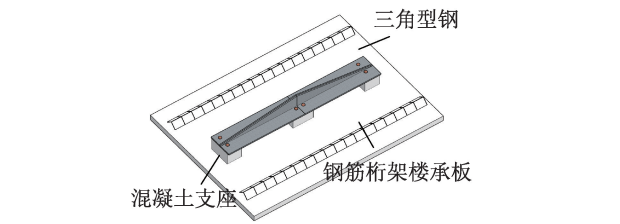


图 1 免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板
Fig. 1 Free-support steel bar truss laminated concrete slab floor

合板底板试件,跨度分别取 2.0、3.7、5.4m;为了反映免支撑措施的效果,同时制作了 1 个跨度为 2.0m 的普通钢筋桁架混凝土叠合板底板试件进行对比。试件具体设计参数如表 1 所示。

表 1 试件设计参数		
Table 1 Design parameters of specimens		
试件编号	跨度/m	免支撑措施
S-1	2.0	无
S-2	2.0	有
S-3	3.7	有
S-4	5.4	有

各试件叠合板底板均为 60mm 厚、2.2m 宽,跨度和宽度方向均布置 HRB400 级、直径为 8mm、间距 200mm 的纵向钢筋。钢筋桁架高度为 90mm,上、下弦杆采用直径为 8mm 的 HRB400 级钢筋,腹杆采用直径为 6mm 的 HPB300 级钢筋。钢筋桁架混凝土叠合板底板的几何尺寸及配筋如图 2 所示,图中给出的是试件 S-1 和 S-2 的几何尺寸及配筋,试件 S-3 和 S-4 除了跨度不同外,其余均相同。混凝土支座的长和宽均为 300mm、高为 60mm,支座中配置钢筋并锚固在预制底板中,螺栓套筒预埋在支座中。三角型钢采用 HW100×100×6×8 H 型钢沿腹板对角切割并沿腹板侧边对焊而成,在型钢翼缘开孔,以便与混凝土支座连接。高强螺栓型号为 M20。混凝土支座及三角型钢设置如图 3 所示。

制作时,先搭设模板,然后进行预制底板纵筋、桁架钢筋和混凝土支座钢筋绑扎及三角型钢安装,最后采用 C30 混凝土进行浇筑,预制底板及混凝土支座一起浇筑。工程应用时,现场叠合层施工完成且后浇混凝土达到设计强度后拆除三角型钢即可。

1.2 测点布置

试验过程中试件挠度通过位移传感器进行量测,每个试件均布置 7 个位移传感器,其中 3 个位移传感器位于试件底部跨中位置,2 个位移传感器位于试件底部的 1/4 跨位置,2 个位移传感器位于试件底部的端部位置。位移传感器具体布置如图 4

3) 试件 B-3。在第 11 级加载完成后,即加载至 35.37kN 时,试件 B-3 板侧开始出现裂缝;随着加载进行,板底不断出现新裂缝。当加载至 46.03kN 时,试件最大挠度为 10.44mm。此时试件承受的荷载已超过施工荷载,挠度并未超限(限值为 20.6mm),但板底有裂缝。

4) 试件 B-4。在第 5 级加载完成后,即加载至 29.88kN 时,试件 B-4 板底开始出现裂缝;随着加载进行,板底不断出现新裂缝。当加载至 42.89kN 时,试件最大挠度为 35.93mm。此时试件承受的荷载虽未超过施工荷载,但板的挠度已超限(限值为 30mm),且板底有大量裂缝。

由上述可知,试件 S-1 和 S-9 的刚度在施工阶段未有明显退化且挠度并未超限,但板底出现裂缝,不符合施工阶段免支撑要求;试件 S-2 由于免支撑措施整体刚度得到明显提升,在施工阶段板底未产生裂缝且挠度未超限,符合施工阶段免支撑要求;试件 S-4 虽采取了免支撑措施,但由于试件跨度过大,因此在施工阶段其刚度产生明显退化,板底出现大量裂缝且挠度超限,不符合施工阶段免支撑要求。

2.2 荷载-跨中挠度曲线

试件的荷载-跨中挠度曲线如图 7 所示。由图 7 可知,在施工阶段,试件 S-1~S-3 在整个加载过程中刚度并无明显变化,基本处在弹性阶段;试件 S-4 在整个加载过程中刚度退化显著,尤其是第 7 级加载及之后,试件明显已达到弹塑性阶段。由图 7a 可知,在相同荷载条件下,试件 S-2 的挠度远小于试件 S-1,表明免支撑措施可明显提高钢筋桁架混凝土叠合板底板的抗弯刚度。由图 7b 可知,在相同荷载条件下,试件 S-4,S-3,S-2 的挠度依次减小,表明在其他试验参数相同情况下,试件跨度越大,施工阶段的整体刚度越小。尽管采取了免支撑措施,但由于板跨太大,仍未达到免支撑效果,需增加三角型钢个数及三角型钢高度。

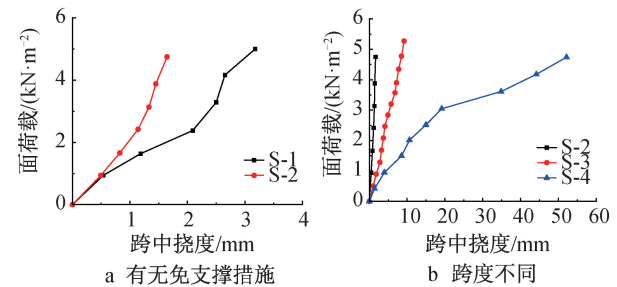


图 7 荷载-跨中挠度曲线

Fig. 7 Curves between load and mid-span deflection

2.3 板底纵筋与三角型钢应变

试件跨中位置板底纵筋和三角型钢在施工荷载作用下的应变变化情况如图 8,9 所示。由图 8 和图 9 可知,在施工阶段,板底纵筋受拉,三角型钢受压,应变均未达到屈服。在相同荷载条件下,免支撑措施可使纵筋拉应变明显减小,这符合预期的工作机制。但由于应变数据相对敏感,且加载过程中配重块按区域摆放,与理想中的均布荷载有一定差距,因此整个曲线会有略微振荡。但从整体趋势看,当荷载增大时,纵筋拉应变及型钢压应变均增大。由图 8a 可知,在相同荷载条件下,试件 S-2 的纵筋应变小于试件 S-1,表明免支撑措施可承受一部分荷载,从而减小试件中纵筋拉应变,提高整个试件承载力。由图 8b 和图 9 可知,在相同荷载条件下,试件 S-4,S-3,S-2 跨中位置的纵筋拉应变和型钢压应变整体上依次减小,表明在施工阶段其他试验参数相同的情况下,试件跨度越大承载力降低越明显。

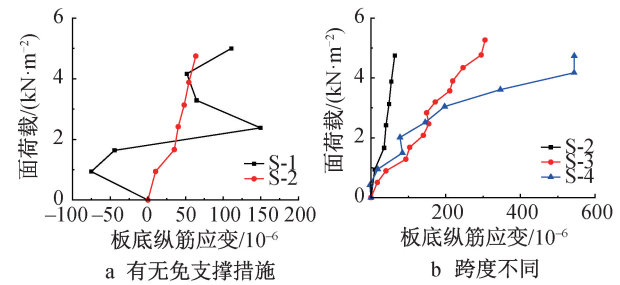


图 8 板底纵筋应变

Fig. 8 Strain of the longitudinal bar at the bottom of slab

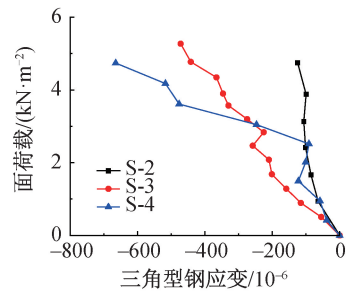


图 9 三角型钢应变

Fig. 9 Strain of triangular section steel

3 结语

本文对免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板进行了施工阶段的受力性能试验研究,得到以下主要结论。

1) 在板跨相同时,采取三角型钢的免支撑措施可显著提高钢筋桁架楼承板的刚度和承载力,且当板跨与免支撑措施适配时,钢筋桁架混凝土叠合板

底板在施工荷载作用下不会开裂,跨中挠度不超限值,能达到免支撑效果。

2)当免支撑措施相同时,随着板跨增加,免支撑措施效果逐渐变差,当板跨达到一定数值时,施工荷载作用下板底会开裂,再增加板跨,跨中挠度会超过限值。因此,建议采取本文提出的免支撑措施时,根据板跨进行设计,选取合适的三角型钢型号和列数。

3)免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板在施工荷载作用下板底钢筋受拉、三角型钢受压,且应力均达不到屈服强度,即使板跨为 5.4m、跨厚比达到 9。

4)采用免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板的板底钢筋应力明显小于普通钢筋桁架混凝土叠合板底板;随着板跨增大,免支撑钢筋桁架混凝土叠合板底板的板底钢筋和三角型钢应力均随之增大。

参考文献:

[1] 张忠良,陈玲珠,肖顺. 装配式混凝土结构套筒灌浆质量全过程管控技术[J]. 施工技术(中英文),2024,53(3):129-132.
ZHANG Z L, CHEN L Z, XIAO S. Whole process control technology for grouting quality of prefabricated concrete structure sleeve[J]. Construction technology,2024,53(3):129-132.

[2] 吴刚,冯德成,徐照,等. 装配式混凝土结构体系研究进展[J]. 土木工程与管理学报,2021,38(4):41-51,77.
WU G, FENG D C, XU Z, et al. Research developments in precast concrete structural systems[J]. Journal of civil engineering and management,2021,38(4):41-51,77.

[3] 满建政,俞凯木,皮淑萍,等. 新型预应力夹心叠合楼板双向受力分析及应用[J]. 施工技术(中英文),2023,52(4):94-100.
MAN J Z, YU K M, PI S P, et al. Analysis on bidirectional mechanical behavior and application of new prestressed concrete sandwich composite slab[J]. Construction technology,2023,52(4):94-100.

[4] 张敬书,倪永松,姚远,等. 不同拼缝方向的预制带肋底板混凝土叠合板面内受力性能[J]. 土木工程学报,2015,48(5):23-34.
ZHANG J S, NI Y S, YAO Y, et al. In-plane mechanical property of superimposed concrete slab with precast ribbed panels jointed in different directions[J]. China civil engineering journal,2015,48(5):23-34.

[5] 周绪红,张微伟,吴方伯,等. 预应力混凝土四边简支双向叠合板的设计方法[J]. 建筑科学与工程学报,2006,23(4):54-57,94.
ZHOU X H, ZHANG W W, WU F B, et al. Design method of prestressed concrete simply supported on four sides of two-way composite slab[J]. Journal of architecture and civil engineering,2006,23(4):54-57,94.

[6] 叶献国,华和贵,徐天爽,等. 叠合板拼接构造的试验研究[J]. 工业建筑,2010,40(1):59-63.
YE X G, HUA H G, XU T S, et al. Experimental study on connections of superimposed slabs[J]. Industrial construction,2010,40(1):59-63.

[7] 李杰,黄鹏飞,陈以一,等. 无支撑钢筋桁架混凝土叠合板受力性能试验研究[J]. 结构工程师,2013,29(4):132-139.
LI J, HUANG P F, CHEN Y Y, et al. Experimental research on mechanical properties of self-sustaining steel bar truss and concrete superposed slab[J]. Structural engineers,2013,29(4):132-139.

[8] MANSOUR R F, BAKAR A S, IBRAHIM S I, et al. Flexural performance of a precast concrete slab with steel fiber concrete topping[J]. Construction and building materials,2015,75:112-120.

[9] 吴方伯,秦浩,文俊,等. 新型叠合板力学性能试验[J]. 建筑科学与工程学报,2020,37(1):33-40.
WU F B, QIN H, WEN J, et al. Mechanical properties test of new type of laminated slab[J]. Journal of architecture and civil engineering,2020,37(1):33-40.

[10] LIM S S, WONG J Y, YIP C C, et al. Flexural strength test on new profiled composite slab system[J]. Case studies in construction materials,2021,15:e00638.

(上接第 143 页)

LAN X P, TIAN K. Experimental study on seismic performance of vertical hybrid structure column base[J]. Construction technology,2024,53(9):1-6,17.

[7] 侯彦果,朱博莉,郭宇飞,等. 双曲面斜交网格筒冷却塔施工关键技术[J]. 施工技术(中英文),2024,53(2):74-78.
HOU Y G, ZHU B L, GUO Y F, et al. Key construction technology of hyperbolic diagonal intersecting grid cylinder cooling tower[J]. Construction technology,2024,53(2):74-78.

[8] 谢智勇,符方渠,廖言,等. 大跨度体育场钢结构倒序法施工技术[J]. 施工技术(中英文),2023,52(23):109-113,123.
XIE Z Y, FU F Q, LIAO Y, et al. Reverse order method construction technology of steel structure for large span stadium

[J]. Construction technology,2023,52(23):109-113,123.

[9] 江筠,方真刚,罗先林,等. 大跨度钢框组合结构分形协同建造关键技术[J]. 施工技术(中英文),2023,52(12):101-108,116.
JIANG Y, FANG Z G, LUO X L, et al. Key technology of fractal collaborative construction of large-span steel frame composite structure[J]. Construction technology,2023,52(12):101-108,116.

[10] 晏金洲,周宏斌,吴兴明,等. 超长跨度钢结构网架屋盖安装关键技术[J]. 施工技术(中英文),2023,52(8):61-67.
YAN J Z, ZHOU H B, WU X M, et al. Installation key technology of super-long and large-span steel grid roof[J]. Construction technology,2023,52(8):61-67.