

叠合楼板底板结构性能试验研究

文 / 康 云 江苏瑞利山河建设工程质量检测有限公司

摘要: 随着建筑行业的发展,装配式建筑逐渐成为主流,其中叠合楼板因其快速施工、节能减排以及降低现场湿作业等优势,得到了广泛的应用。该楼板由预制的底层板和现场浇筑的混凝土组合而成,预制底层板在专业化工厂生产,达到一定强度后运输至工地进行装配和混凝土的浇筑作业。然而,叠合楼板作为一种需要二次成型的构件,预制底板的质量极其重要,如果不能满足验收规范、国家现行有关标准规范和设计的要求,将会给工程带来很大的风险。本文对叠合楼板底板结构性能进行试验研究。

关键词: 叠合楼板底板; 结构性能; 试验

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.044

引言

在预制装配式建筑中,底板作为预制构件的一种,通常在专业化工厂生产,并在其强度达标后运输至工地进行拼接作业。现场浇筑的钢筋混凝土则是在这些预制板的基础上完成施工。对于制造商而言,预制底板是一种标准化产品,但在生产过程中难免会出现不符合标准的产品。若这些次品被用于建筑项目中,将对装配式混凝土结构的整体安全构成严重威胁,因此对预制底板的质量检验至关重要。为了保障预制构件的质量,国家标准GB 50204-2015《混凝土结构工程施工质量验收规范》要求,梁、板等受弯构件在进场时须进行结构性能的检测,并制定了相应的检测方法、规定了合格性判定。GB/T 50152《混凝土结构试验方法标准》也规定了批量生产的预制构件应根据现行国家标准的规定按产品检验批抽样进行合格性检验。这些表明,结构性能检测是评估预制构件质量的关键环节。进行荷载试验旨在核实复合楼板底部结构(挠度、裂缝宽度或抗裂、承载力)能否达到验收标准或设计的要求。通过荷载试验也可核实底部结构的尺寸、钢筋布局以及混凝土强度是否符合设计图纸和相应规范的规定。

一、试验研究

本次研究对两组桁架式钢筋组合楼板的预制底层板进行了静态加载测试,详尽地记录了测试样本在加载期间的构件的弯曲变形和极限荷载。通过对照分析测试过程中桁架钢筋的变形规律及其极限荷载数据,本研究旨在验证标准叠合底板承载能力与受力主筋不足叠合底板承载能力的不同,从而通过结构性能检测有效控制预制叠合底板的工程质量,也可以帮助生产厂商进行质量分析。

(一) 试件设计

为了深入探究预制构件在结构性能检测中的表现,本次实验着重分析了预制底板中桁架钢筋的变动特性,测定预制底板的承载能力,以及在受力钢筋数量不足时的支撑性能。同时,观察了在加载过程中桁架钢筋上弦部分钢筋的应力与应变变化。为贴近实际工程中预制底板的验收流程,选取了特定工程中使用的一款桁架

钢筋预制底板作为实验对象。通过人工调整受力钢筋的数量,制作了两块实验试件,分别标记为A1和A2,每块试件均嵌入了三根桁架钢筋,预制底板尺寸均为(3.62*1.61*0.06)m。

(二) 试件配筋

依据钢筋桁架混凝土叠合板的图集,对试件进行钢筋配置,选用HRB400级公称直径8mm的钢筋作为受力钢筋和分布钢筋,选用HRB400级公称直径12mm的钢筋作为钢筋桁架弦杆钢筋,选用HPB级公称直径6mm的钢筋作为钢筋桁架腹杆钢筋。在实施过程中,选取一块板材,按照设计上指定的标准进行钢筋布置,标记为A1。而在另一块板A2,对其跨度的纵向受力钢筋进行削减,减少4根主筋(A1配备16根主筋),其余区域的钢筋配置保持与设计一致。

(三) 材料性能

为保障试验的顺利进行,避免因材料性能不达标而导致的试验失误,对用于预制底板制造的钢筋进行了拉伸力学性能测试,钢筋力学性能试验结果如下:

表 1

钢筋品种	直径 (mm)	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	伸长率 (%)
HPB300	6	355	530	35
HRB400	8	450	630	28
HRB400	8	445	640	29
HRB400	12	445	605	26

两块预制底板于同日浇筑完成,且使用了相同的C30混凝土材料。在浇筑作业期间,特地制备了相应批次的两组规格为150mm*150mm*150mm立方体试件,并对这两组试件的强度进行了力学试验,获得了混凝土的实际抗压强度值,具体数据如表2所列。观察表格数据可见,混凝土的实际强度均达到C30的设计要求。

表 2 混凝土抗压试验结果

试件编号	强度等级	抗压强度值	强度代表值
A1	C30	36.6、37.0、36.4	36.7
A2	C30	36.2、35.9、36.7	36.3

（四）试件制作及成型

在预制构件生产基地，桁架钢筋复合楼板的底部构件通过标准化流程生产。这一过程与常规预制件制造流程无异。首先，将预制底板的钢制模具组装到位，接着在底模表面均匀涂抹脱模油，确保立模与底模间的缝隙得到妥善封闭，以避免混凝土浇筑时发生渗漏，确保构件成型质量。其次，钢筋绑扎和混凝土浇筑完成后，对混凝土表面进行粗糙处理，随后进行养护。最后，待构件强度满足设计要求后，方可拆除模具。

二、试验方案

（一）试验参数计算

依据GB 50204-2015《混凝土结构工程施工质量验收规范》附录B的规定，该试验一端采用固定式铰支承，另一端则采用滚动支承。遵循标准中对试验支座间距的设定，确保支座的中心点与桁架钢筋的最外侧保持50mm的距离，同时试验支座的跨度定为1800mm。预制底板尺寸均为(3.62*1.61*0.06)m，测试控制参数：1、现浇层恒荷载：1.8kN/m²（不含预制板自重）；预制板自重：1.5kN/m²，合计：3.3kN/m²。2、施工阶段活荷载：1.5kN/m²。计算荷载准永久组合值为4.10kN/m²，计算荷载基本组合值为7.29 kN/m²。3、根据GB50204-2015《混凝土结构施工验收规范》中附录B规定，挠度及裂缝宽度检验荷载设计值为4.10kN/m²（按准永久组合）4、挠度控制值：L0/250=7.2mm，计算得挠度检验限值为3.6mm。5、裂缝控制值：根据GB50010《混凝土结构设计规范》中3.5.2条规定的类别环境，按表3.5.5的规定，同时按GB50204-2015《混凝土结构施工验收规范》中附录B规定，最大裂缝宽度不大于0.2mm；得裂缝的检验限值为0.15mm。6、承载力检测设计值为：7.29kN/m²（按基本组合）。鉴于试件在破坏后可能产生倒塌风险及其潜在危害，在每块试验板加载测试过程中，跨中下侧区域均配备了安全支座以策安全。

（二）试验测量

在底板两侧端面及中间跨中两端安装经过检定校准的百分表以量测其弯曲变形，百分表测定均粘贴涂布黄油的玻璃板。进行正式加载测试之前，先行对试件执行预加载处理，检验支座是否平稳，仪表及加载设备是否正常，并对仪表设备进行调零。鉴于测试初期弯曲变形增量不大，但随着加载力度的增强，变形量将逐步增加，因此在加载阶段初期使用百分表进行弯曲变形的测量，分别在预应力混凝土板的两侧及中央位置布置百分表。当预计变形量即将超出百分表测量范围时，转而使用牵线配合钢直尺的方法来跟踪变形量的变化，并翔实记录每一级加载下产生的弯曲变形数据。

在桁架的上弦钢筋中央及四分之一点位置，安装应变计以监测钢筋的应变变化，每块板上的布置位置均保持一致，总计设置五个监测点。应变计选用120欧姆的

非焊接型，试验前需对预应力混凝土板桁架钢筋上预定粘贴应变计的区域进行打磨和清洁，粘贴完成后对电阻值进行复查。应变数据的采集利用静态电阻应变仪，并通过连接至计算机的自动采集系统进行，该系统能够实时捕捉应变数据并展示每次采集到的应变值。

（三）加载程序

试验采用均布加载法，使用砂袋作为加载工具。在荷载小于标准荷载前，每级的荷载不大于标准值的20%，当大于标准荷载时，每级的荷载不大于标准值的10%，接近承载力检验荷载时，每级荷载不大于荷载设计值的5%。预制构件自重作为第一次加载的一部分，每级加载完成后，持续10min，在标准荷载作用下持续30min。在持续时间内，观察量测裂缝的出现和开展，记录各级荷载下构件挠度值，直至达到其极限承载力。鉴于试件在破坏后可能产生倒塌风险及其潜在危害，在每块试验板加载测试过程中，跨中下侧区域均配备了安全支座以策安全。

三、试验过程与现象

（一）试件A1试验结果

1. 试验现象

每完成一次加载，待百分表数值稳定后，立即测量并记录桁架钢筋在该荷载下的挠度。依照GB 50204-2015中关于挠度测量的规定，当竖直向下的试验荷载作用于水平放置的试件时，各个荷载级别下的跨中挠度测量值，应将底板自重引起的挠度计算在内。当荷载达到4.10kN/m²（含自重）时，构件底部未出现裂缝，此时达到正常使用状态，当加载到5.69kN/m²时，板底出现裂缝最大宽度为0.12mm。随着荷载的提升，试件底部出现不同级别的裂痕，裂痕宽度持续扩大，但上弦钢筋各部分均未出现扭曲或弯曲等异常。当荷载增至8.80kN/m²时，此时的挠度已逼近支撑跨度的1/50，板边的裂缝数量明显增多。当荷载加至9.02kN/m²时，试件出现承载能力极限状态的检验标志，即底板跨中的挠度达到36mm，结束加载。

2. 上弦钢筋应变分析

针对预置底板上弦钢筋，选取五个监测点对其应变数据进行详尽剖析。在实验启动阶段，对所有监测点的应变初始值进行了均衡处理，确保从加载伊始，各监测点的应变数据同步记录。观察初期加载过程中，位于跨中的1号、2号及3号监测点曲线走势保持一致，均显示为负应变，表明上弦钢筋处于受压状态；同时，3号与4号监测点的应变变化同样保持一致，说明这些区域的上弦钢筋同样承受压力。可见，在加载至后期，2号监测点的应变值突然上升为正值，实验观察揭示，该监测点处的上弦钢筋在构件承载力达到极限时发生向上弯曲隆起，监测点的应变表现与钢筋的实际变化相吻合。在加载至6.75kN/m²时，记录的1号

监测点应变值为 $-2788\mu\epsilon$ ，2号监测点为 $-2542\mu\epsilon$ ，3号监测点为 $-3587\mu\epsilon$ ，4号监测点为 $-1320\mu\epsilon$ ，5号监测点为 $-1261\mu\epsilon$ 。通过荷载-应变曲线图分析，从加载开始至 6.75kN/m^2 的荷载，荷载与应变之间基本保持线性关系，钢筋应变未出现显著突变，这表明上弦钢筋未发生失稳现象。根据实验数据，上弦钢筋的屈服强度为 445MPa ，由此推断，1号、2号和3号监测点的上弦钢筋已达到屈服状态，而4号和5号监测点的上弦钢筋尚未屈服，这表明桁架的腹筋对上弦钢筋提供了有效的支撑，避免了其首先出现失稳破坏。当加载至 9.02kN/m^2 时，各监测点的应变数据如下：跨中位置的1号监测点应变值为 $-10607\mu\epsilon$ ，2号监测点为 $10220\mu\epsilon$ ，3号监测点为 $-11626\mu\epsilon$ ，这表明这些位置的上弦钢筋经历了显著的应变，与实际钢筋的向下或向上凸起现象相符；而在跨长 $1/4$ 位置的4号和5号监测点，应变值分别为 $-1704\mu\epsilon$ 和 $-1694\mu\epsilon$ ，由此推断这两点的上弦钢筋仍未屈服，仍处于弹性状态。实验结果显示，桁架钢筋对预制底板的弯曲同样有抑制作用，桁架钢筋与预制底板共同变形。

（二）试件 A2 试验结果

1. 试验现象

经过与A1试样的承载测试比较，A2试样在测试的初始阶段便展现出显著的破坏特征。在主筋减少4根的情况下，预制底板在初期加载时跨中弯曲变化显著。随着荷载的提升，弯曲量依然保持线性增长。在施加至 4.10kN/m^2 的荷载时，板底未出现裂缝，在施加至 4.63kN/m^2 的荷载时开始出现细小裂缝，荷载继续增加，到达 5.16kN/m^2 时，裂纹数量增至4条，其中有2条裂纹相互连接，最大裂缝宽度达到 0.28mm 。此时未观察到任何部位的弦筋发生弯曲。而当荷载加至 8.34kN/m^2 时，此时的挠度已逼近支撑跨度的 $1/50$ ，板边的裂缝数量明显增多。当荷载加至 8.56kN/m^2 时，试件出现承载能力极限状态的检验标志，即底板跨中的挠度达到 36mm ，结束加载。

观察到在主筋减少4根的情况下，预制底板在初期加载时跨中弯曲变化显著。随着荷载的提升，弯曲量依然保持线性增长。

2. 上弦钢筋应变分析

观测结果显示，所有测点的应力变化均为负向，表明上弦钢筋承受压力。这些测点的应力变化趋势与A1样本高度相似，其中跨中区域的应力最为显著，而在跨长四分之一处的应力相对较低。当施加荷载达到 5.16kN/m^2 时，1号至5号测点的应力值依次为 $-2889\mu\epsilon$ 、 $-2554\mu\epsilon$ 、 $-3130\mu\epsilon$ 、 $-1153\mu\epsilon$ 、 $-1289\mu\epsilon$ 。可以看出，此时上弦钢筋的应力变化并未出现显著突变，整体上呈现线性增长。通过对比各测点的应力值计算出的强度数据与实际屈服强度，发现1号、2号和3号测点的钢筋已

达到屈服状态，而4号和5号测点的钢筋尚未屈服，这表明上弦钢筋整体上并未发生破坏。在试件达到极限荷载时，1号测点的应力值为 $-10269\mu\epsilon$ ，2号为 $-9531\mu\epsilon$ ，3号为 $-8508\mu\epsilon$ ，这三个位置的应力值略低于A1样本的对应位置，但钢筋仍经历了显著的应力变化；在跨长四分之一位置的4号测点应力为 $-1476\mu\epsilon$ ，5号测点为 $-1531\mu\epsilon$ ，计算结果显示这两个位置的钢筋仍处于弹性状态。

四、试验结果与分析

在对两件试样的实验现象和结果进行梳理后，本研究着重分析了影响桁架钢筋预制底板承载能力的关键参数——正常使用状态下的挠度、裂缝宽度和极限荷载。经计算，严格按设计制作钢筋桁架预制板A1在正常使用状态下的挠度值为 2.94mm ，板底未出现裂缝，极限承载力 9.02kN/m^2 ，满足设计要求，可用于工程使用。而主筋减少4根的试样A2，正常使用状态下的挠度值为 3.82mm ，挠度超过检测限值。正常使用状态下板底未出现裂缝，极限承载力 8.56kN/m^2 低于设计限制，不能满足设计要求，不可用于工程使用。

观察发现，在相同的加载条件下，试样A2的挠度较试样A1更为显著，这一现象一直持续到试样达到承载能力极限，表明钢筋数量的适当配置对于预制板抗形变能力至关重要。两个试样的挠度变化趋势均为初期线性上升，随着加载力的提升，挠度上升的速率逐渐减缓，但总体上仍保持线性增长。这表明桁架钢筋在底板出现裂缝后，对挠度的增加起到了一定的抑制作用，并能与底板共同承受由外部荷载引起的弯矩，桁架钢筋显著增强了预制底板的刚度。主筋减少4根的试样A2的极限承载力相较于A1下降了5%，出现明显的承载能力降低。

综上所述，预制构件的结构性能试验能够对叠合楼底板的生产质量进行评估，满足人们对建筑工程质量的要求，也能帮助生产厂商进行质量分析。

参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院. GB50204-2015混凝土结构工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] 中国建筑科学研究院. GB/T50152-2012混凝土结构试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] 郝际平, 王敬华, 宁树哲, 等. 装配式蒸压加气混凝土底板叠合楼板力学性能研究[J]. 建筑结构, 2024, 54(19): 147-156.
- [4] 王钊. 密拼钢管桁架混凝土双向叠合楼板受力性能分析[D]. 山东建筑大学, 2024.
- [5] 李文贤, 李琼, 岳藏, 等. 钢筋桁架混凝土叠合楼板的预制底板在H型钢梁上的支承长度分析[J]. 科学技术创新, 2023, (20): 186-190.