

基于某装配式项目的异形叠合板设计拆分与应用分析

朱学文¹, 张亚东¹, 袁廷威^{2,3}

- (1. 山东海龙建筑科技有限公司, 山东 济宁 272000;
2. 山东科技大学 土木工程与建筑学院, 山东 青岛 266590;
3. 山东科技大学 山东省土木工程防震减灾重点试验室, 山东 青岛 266590)

摘要:通过对桁架钢筋混凝土叠合板在设计拆分阶段和使用阶段的性能进行研究,提出了基于桁架钢筋的异形机电一体化叠合板的合理设计方案,有效提高叠合底板的整体刚度,进而提高叠合底板的开裂荷载,降低挠度极值;在此基础上,分析了桁架钢筋混凝土各类叠合板在设计、生产、施工、使用全过程的性能的影响,为深入理解装配式建筑的叠合板拆分与应用提供了相关实践经验与技术支持,并为准确设计和理论评估此类结构形式奠定了基础,提供了思路。

关键词:装配式建筑;异形板;叠合板;设计拆分

中图分类号: TU398

文献标志码: A

文章编号: 1671-5322(2020)02-0047-06

随着社会经济的飞速发展,高层建筑越来越多。以往的高层建筑施工流程复杂、施工时间长,且容易发生质量问题,不能适应现代经济急速发展的需求^[1]。装配式建筑因经济发展需要而产生,它将建筑分为多个组装模块分别进行施工,具有节能、环保、工期短、劳动力和质量得到保障等优点,在现代建筑施工中得到了广泛的运用^[2]。

然而装配式建筑面对日益增多的异形建筑也出现了一定的困难,即异形建筑的异形区域无法根据传统装配式拆分方案进行简单的模块化拆分,从而使得多数项目的装配率无法满足当地的设计要求。本文通过建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)和数值分析软件ABAQUS等技术进行模拟分析,将异形整体结构拆分成可以简易拼装的单个构件,统一进行机电配件设计,以便在生产之前解决管件与钢筋之间的相互冲突,并在工厂标准化、批量化生产后再进行现场装配,从而降低模具成本,加快施工速度,提高经济效益^[3]。

1 设计原理

随着现阶段建筑形式、风格的日益增多,其结

构类型越来越多种多样,使得装配式建筑项目中异形钢筋混凝土板开始被大量使用。叠合板作为钢筋混凝土叠合体系中的重要一环,钢筋混凝土叠合板是在工厂中先对楼板的底层进行预制,待其达到设计强度后运至施工现场进行装配,再在底板之上现浇一层混凝土所形成的一种结合了现浇与预制的整体式结构^[4]。在预制底板除正常配置板底钢筋外,还配有突出板面的弯折型细钢筋桁架,该桁架将混凝土楼板的上下层钢筋连接起来,组成能够承受空间荷载的空间小桁架,现浇层混凝土成型后,空间小桁架成为混凝土楼板的上下层配筋,承受后期的各项使用荷载^[5]。与传统的混凝土叠合板相比,这种叠合板钢筋间距均匀,混凝土保护层厚度容易控制,且由于腹杆钢筋的存在,对新旧混凝土起到了约束作用,使其具有更好的整体工作性能。由于桁架钢筋的存在,在施工阶段的短期刚度比普通楼板要强,甚至在施工阶段也不需要模板与支撑。陈赛国^[6]通过对PK(快速拼装预应力混凝土)叠合楼板在配置一定的纵向预应力钢筋和构造所需的横向穿孔钢筋情况下的研究,得出其良好的双向受力性能,同时对现阶段装配式项目中叠合楼板的结构进行了受

力分析,为异形叠合板的设计提供了佐证。支正东等^[7]对结构的 U 型 RC(reinforce concrete 钢筋混凝土)梁外壳的制作方法 & 工艺进行了研究,设计并制作了 U 型外壳的制作模板,为异形叠合板生产过程中的模板设计和生产工艺提供了参考。崔士起等^[8]研究了分离式接缝叠合板的预制和现浇混凝土的协同工作、破坏模式、应变发展以及试件构造对抗弯刚度的影响,为预制异形叠合板拼装施工过程提供了理论支撑。张敬书等^[9]建议在实际工程中叠合板宜适当提高穿孔钢筋和负筋的配筋率,以防止剪切滑移破坏,为异形叠合板的结构配筋方式提供了参考。丁克伟等^[10]对新型拼缝结构和现浇结构进行了全过程

的受力性能对比分析,提高了现阶段异形叠合板的施工效率。

2 设计拆分要求

图 1 为某装配式项目底层预制构件平面布置图,图 2 为该底层预制构件平面装配率计算图。通过分析计算可知,若两端曲线框选标注的位置区域不进行装配式叠合板的拆分(即不进行预制,直接在施工现场进行现浇),则其装配率计算不满足当地的装配率设计要求。因此,需要对该平面图两端曲线框选标注的位置进行不规则形状的装配式拆分,使其整体建筑项目的装配率达到当地的设计要求。

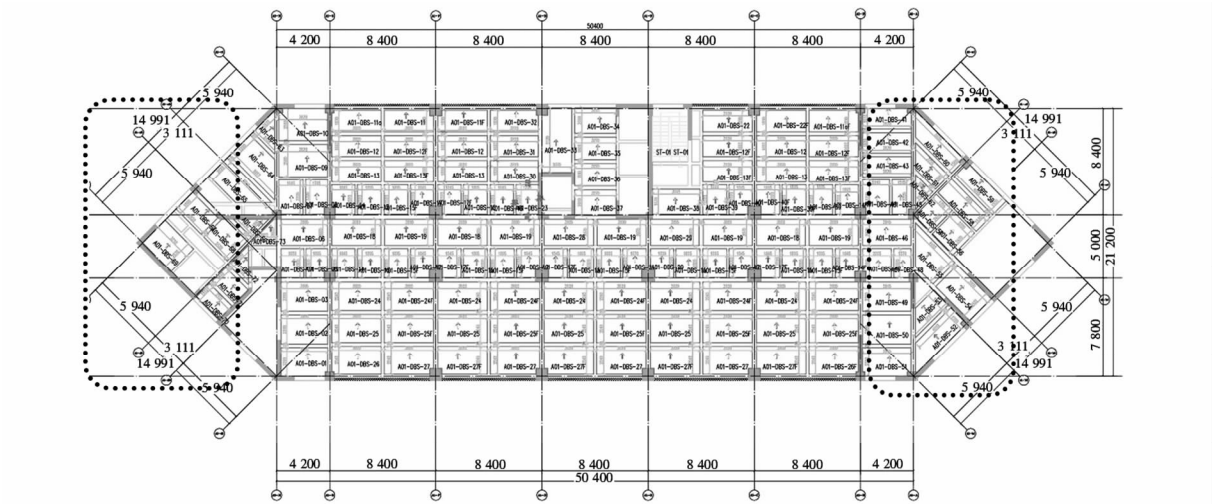


图 1 某装配式项目底层预制构件平面布置图(mm)

Fig 1 Layout plan of prefabricated components on the ground floor of an assembly project (mm)

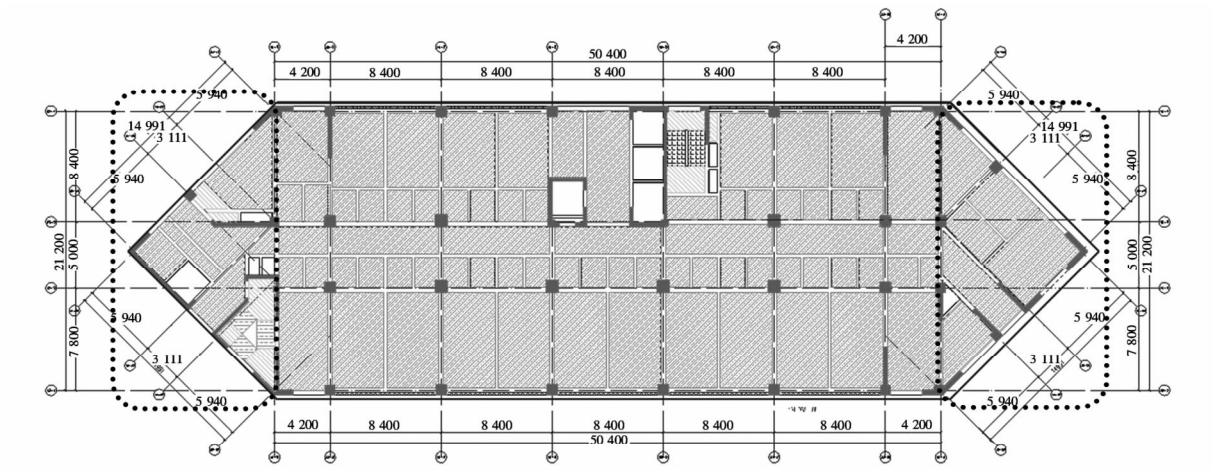


图 2 某装配式项目底层预制构件平面装配率计算图(mm)

Fig 2 Calculation diagram of plane assembly rate of prefabricated components on the bottom floor of an assembly project (mm)

对该装配式项目整个底层平面图两端的曲线框选的三角形区域进行装配式拆分时,首先将其拆分为对称的多个异形叠合板预制构件;再对单个的异形叠合板通过 ABAQUS 软件进行 MESH 网格划分,然后对单个网格进行受力分析与叠合模拟分析,得出其弯曲方程式;最后再根据各板的边界条件对板的弯曲方程式进行假说,并分块求解,最终利用各小板间的变形方程得到整体异形板的弯曲方程。

异形叠合板的设计拆分工作基本要求需要满足以下规定:

- (1)当异形叠合板的设计跨度大于 3 000 mm 时,宜采用桁架钢筋混凝土叠合板;当叠合板的跨度大于 6 000 mm 时,宜采用预应力混凝土叠合板。
- (2)叠合板的预制厚度不宜小于 60 mm,现浇叠合板的厚度不应小于 60 mm;当叠合板的板厚大于 180 mm 时,宜采用混凝土空心板。主要受力方向桁架钢筋的设置距离叠合板外边缘 50 mm。
- (3)桁架钢筋应沿主要受力方向布置;桁架钢筋优先考虑多个叠合板的共模,且距板边不应大于 300 mm,桁架钢筋之间的距离不宜大于 600 mm。
- (4)无论何种异形叠合板的设计拆分,叠合板两端边缘的吊点应位于叠合板边缘 650 mm 处;若两端边缘吊点之间的距离大于 2 000 mm 时,将两吊点中线处设置吊点;若两端边缘吊点之

间的距离小于 2 000 mm 时,两吊点之间不设置吊点。

图 3 为异形叠合板预制构件的模板图,其吊点设置在上弦节点处的就近位置(图中△位置处);吊点两侧各加 1 根 $\phi 8$ mm 的附加钢筋,长度为 350 mm。起吊时应同时勾住上弦钢筋与腹杆斜筋。

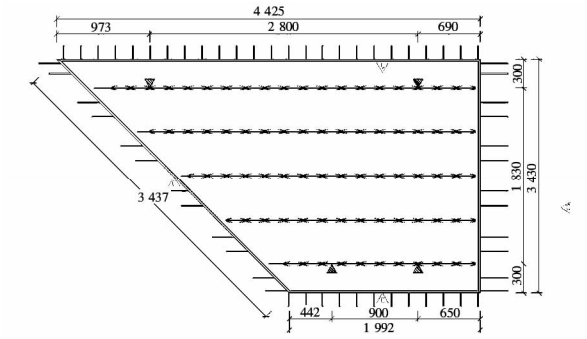


图 3 异形叠合板预制构件模板图 (mm)
Fig 3 The mould diagram of prefabricated special-shaped laminated slab (mm)

3 技术难点

图 4、图 5 分别为异形叠合板预制构件的配筋图和钢筋关键节点示意图。根据叠合板的拆分设计要求进行拆分时,若叠合板边缘钢筋与梁相搭接,则此方向的外伸筋伸出尺寸为叠合板边缘至梁中线的尺寸;若叠合板边缘与其他叠合板互相搭接,则为相邻叠合板边缘的中线距离。

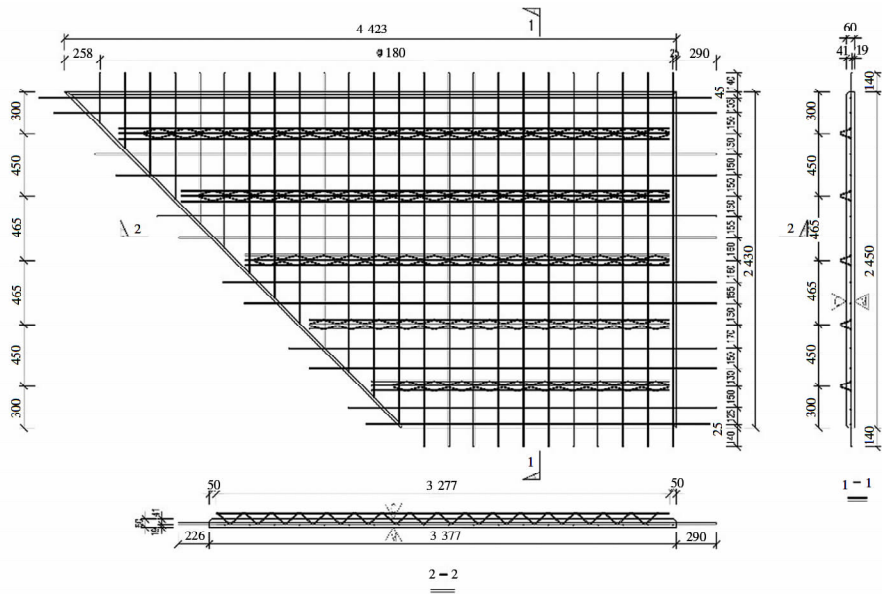


图 4 异形叠合板预制构件钢筋图 (mm)
Fig 4 Reinforcement drawing of prefabricated members of special-shaped laminated slab (mm)

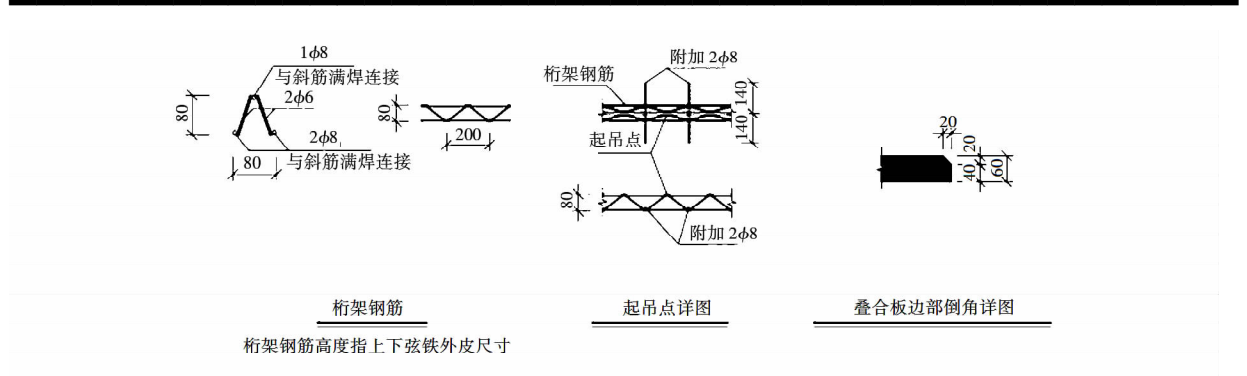


图 5 异形叠合板预制构件的关键点构造详图 (mm)

Fig 5 The detail drawing of key node construction of prefabricated special-shaped laminated slab (mm)

在设计过程中可利用 BIM 技术提前做好机电配套的布局工作,设计机电一体化异形叠合楼板与各类墙或拼缝的构造方式。图 6 和图 7 分别为异形叠合楼板与上下层内、外墙连接的构造节点图。

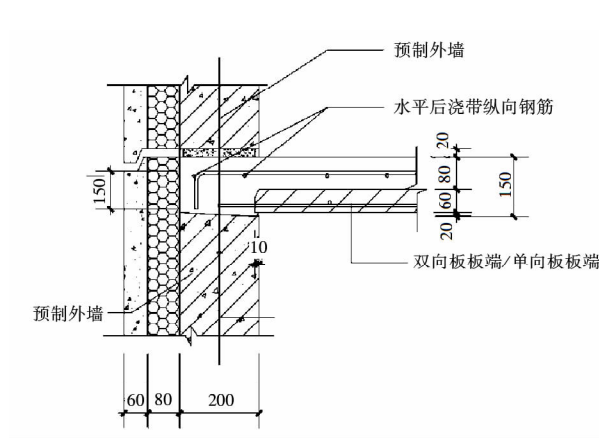


图 6 上下层外墙与叠合板连接构造节点图 (mm)

Fig 6 The joint diagram of upper and lower exterior wall laminated slab (mm)

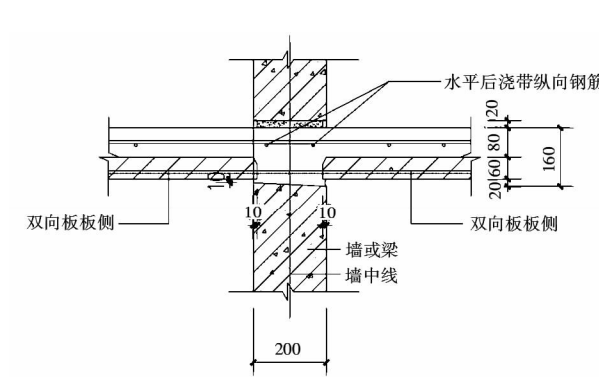


图 7 上下层内墙与叠合板连接构造节点图 (mm)

Fig 7 The joint diagram of upper and lower inner wall laminated slab (mm)

通过多次试验与测量可知:叠合板的刚度高于现浇板的刚度,现浇板的延性略高于叠合板;在叠合板中,增加配置支座负筋能够使其滞回曲线更为饱满,还可以有效地延迟开裂、提高延展性、增加刚度和提高能量吸收;叠合板的预制板与现浇板的裂缝发展及分布基本一致,二者协同工作性能良好。

若在设计过程中未设置桁架钢筋,当单向叠合板(预制底板一般在非受力方向设置构造钢筋)跨度大于4 000 mm 时,在距离支座 1/4 跨范围内设置抗剪构造钢筋;当双向叠合板(按设计要求在拼接方向设置受力钢筋)短向跨度大于4 000 mm 时,在距离四边缘支座 1/4 短跨范围内设置抗剪构造钢筋。

图 8、图 9 分别为双向叠合楼板、单向叠合楼板拼缝构造节点图。在叠合板的拼缝节点处,结构安全性与整体性问题一直是预制构件的薄弱环节,在单双层叠合楼板的拼缝构造处采用附加通长构造钢筋与底层连接纵筋相配合的做法,既能有效保证传统竖缝装配式结构的安全性能,又增强了节点处的整体性能和抗震受力作用后的防水能力。

通过多次试验与数值模拟异形叠合板的挠度、钢筋及混凝土应力应变、裂缝开展等,并进行对比可知:叠合板具有双向受力性能,且叠合整板的厚度对受力性能影响最大;当拼缝钢筋长度大于 200 mm 时,拼缝钢筋的长度对受力性能几乎没有影响。

传统装配式建筑工艺中,预制叠合楼板为 60 mm 厚,现浇叠合层为 80 mm 厚,所需机电管线都需在施工现场模板支设完成后现场安装定位。这种建筑工艺具有施工随意性较大、定位控制不准

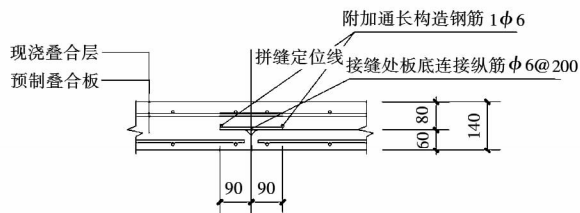


图 8 双向叠合楼板拼缝构造节点图 (mm)

Fig 8 Structural joint diagram of bidirectional superposed floor slab (mm)

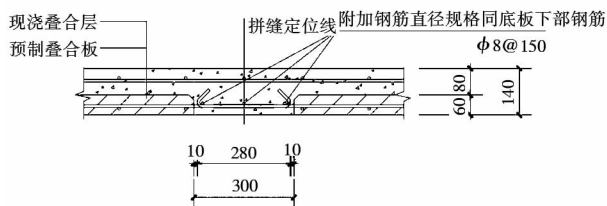


图 9 单向叠合楼板拼缝构造节点图 (mm)

Fig 9 Structural joint diagram of unidirectional superposed floor slab (mm)

确、容易造成物料浪费等缺点,同时由于和钢筋安装工程同时施工,交叉作业不利于浇筑前的成品保护,易造成配件错位。现将现场铺设机电管线预留到叠合板中,叠合板厚度由 60 mm 改到 80 mm,增加的 20 mm 可容纳机电配件及各专业管线;现浇叠合层由原来的 80 mm 改为 60 mm,工厂一次成型,实现机电一体化的工厂生产。

4 应用分析

使用三维建模,统一进行机电配件设计;运用 BIM 技术检测设计中存在的问题,并在生产之前解决管件与钢筋之间的相互冲突,以及设计中机电配套设施的定位问题;运用精准的测量工具进行测量并设置机电配件限位,保证机电配件安装误差控制在合格标准之内;对机电配件及配件限位进行统一编号,在此基础上对装模工种进行培训,使其不断提高配件安装能力,以及解决配件安装与其他生产工艺配合问题的能力;在配件中运用活口支架固定防止配件变形,用固定夹板固定防止配件在后续工艺中发生位移,解决机电预埋配件在后续工艺中发生位移或漏浆污染的问题。

5 结论

通过实际的装配式项目案例研究了由于不可避免的因素造成的异形叠合板拆分设计方案的应用问题。设计过程中使用三维建模,统一了电气线路与机械零件设计;使用 BIM 技术检测出设计中存在的问题,不仅满足了客户的使用需求,还能解决管件和钢筋之间的位置冲突问题。实践证明,该方案具有制作方法简单、效率高、灵活,能实现大量的工厂化制作;连接方式能够更好地传达弯曲力矩和剪断力,且组装方便、灵活,具有良好的工程应用前景;预制重合板具有节约成本、缩短施工时间等优点,是未来建筑业发展的重要方向。总之,该方案能够缩短施工周期、加速施工进度、保证施工质量和安全、提高技术水平和平衡施工能力等,具有非常重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 刘训良. 建筑节能成本探析[J]. 盐城工学院学报(社会科学版), 2010, 23(1): 33-35.
- [2] 张维荣. 自承式钢筋桁架预应力混凝土叠合板设计方法研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2015.
- [3] 翟伟. 拼接叠合板的抗弯性能研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2015.
- [4] CUI J H, WENG C Y, LIU Y L. Experimental study about bearing capacity and deformation on concrete composite slabs with additional bars[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 482: 7-10.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 装配式混凝土结构技术规程: JGJ1—2014[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [6] 陈赛国. 四边简支 PK 预应力叠合楼板试验与分析[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
- [7] 支正东, 张大长, 卢中强, 等. 外壳预制核心现浇装配整体式结构 RC 梁 U 型外壳的制作方法[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2011, 24(1): 66-70.

[8] 崔士起,刘传卿,刘文政,等. 分离式接缝叠合板垂直缝方向抗弯刚度的试验及计算方法研究[J]. 建筑结构学报, 2018,39(9):75-84.

[9] 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.

[10] 丁克伟,陈东,刘运林,等. 一种新型拼缝结构的叠合板受力机理及试验研究[J]. 土木工程学报,2015,48(10):64-69.

Design Splitting and Application Analysis of Special-shaped Laminated Plate Based on an Assembly Project

ZHU Xuewen¹,ZHANG Yadong¹,YUAN Tingwei^{2,3}

1. Shandong Hailong Construction Technology Company Limited, Jining Shandong 272000, China;

2. College of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong 266590, China;

3. Shandong Provincial Key Laboratory of Earthquake Prevention and Disaster Mitigation in Civil Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong 266590, China

Abstract:Based on the study of the performance of truss reinforced concrete composite plates in the design and use stages, a reasonable design scheme of special-shaped mechatronic composite plates based on truss reinforcement is proposed, which can effectively improve the overall stiffness of the composite plates, thus increasing the cracking load of the composite plates and reducing the maximum deflection. On this basis, the paper analyzes the influence of the performance of all kinds of composite plates of truss reinforced concrete in the whole process of design, production, construction and use, which provides the relevant practical experience and technical support for the in-depth understanding of the split and application of composite plates of prefabricated buildings, and lays a foundation for the accurate design and theoretical evaluation of such structural forms, and provides ideas.

Keywords:prefabricated buildings; irregular slab; composite plate; design splitting

(责任编辑:李华云)