

预应力混凝土楼板设计关键技术分析

贾世龙 乔繁华 崔鹏涛 于晨鸣 王福民
中建一局集团第二建筑有限公司 北京 100000

摘要：“十四五”规划中对建筑业发展提出了新的要求，即积极推进建筑业的转型升级，以实现绿色发展，有效提高发展质量和效益，满足人民群众对美好生活的需要。在这样的背景下，现代建筑中开始积极采用预应力混凝土楼板。对比钢筋混凝土，预应力混凝土是以高强度的钢材、混凝土为主材，所以有良好的抗裂性、抗渗性、抗剪力、抗疲劳性等优势，尤其是实现了材料的节约化。本文从三个方面，分析了预应力混凝土楼板设计要点，供参考。

关键词：预应力混凝土楼板；设计；要点

预应力混凝土楼板作为预制构件之一^[1]，能弥补混凝土过早裂缝的情况，它主要是在构件使用前预先向混凝土施加预压力，也就是说在混凝土受拉区，通过人工加力方式的应用，张拉钢筋件，从而基于钢筋回缩力的应用，保障混凝土受拉区预先受压力。预应力混凝土楼板对于构件高效生产、原料节约、综合成本降低、产品性能改善等有极大的促进作用。虽然这种楼板在我国的发展步伐较快，但从发展现状来看，设计不科学及节点连接不安全等诸多缺陷问题仍然存在，所以有必要进一步探讨其设计要点。

1 预应力混凝土带肋叠合板

1.1 构件设计要点

该叠合板的形成是立足预应力带肋底板，开展相应的混凝土现浇作业，之后从后浇层出发，做好钢筋的配置工作，这样即可以使叠合板有形成。对于这一带肋底板来说，其宽要处在1.2~2.4米的范围内，而底板厚要统一，即50mm，上表面存在的粗糙面凹凸差要控制在 $\geq 4\text{mm}$ 的范围中^[2]。正式布置预应力筋的过程中，要侧重预制带肋叠合板内，开展针对性的布置工作。设计中为保障预制带肋叠合板刚度、整体性有效提升，四等分处要做好矩形肋的设置工作，其宽为200mm。这种叠合板的突出优势体现在以下几个方面：较高的承载力，达设计荷载2倍以上；材料节约，可节省的钢材至少有30%；能实现高效生产，通过一次张拉长线台座生产工艺的应用，一次可实现多块预制板的生产目的；能高效施工，施工中无需以模板为依靠；具备优良的使用性能，可保障大空间建筑功能需求的充分满足。该叠合板适宜应用的建筑一般是住宅、学校等，这类建筑跨度通常处在3~8m的范围内。

具体设计这种叠合板的过程中，要在以下工作条件上进行综合考量：一是要以放张、脱模等第一阶段的工

况为依据，做好精确的计算工作；二是应以施工第二阶段、使用阶段工况为依据，开展必要的计算工作。以放张为例，这一过程要验算该叠合板裂缝控制^[3]；而对于脱模和起吊来说，要计算或验算承载力、裂缝控制；后续的施工、使用两个阶段，需计算的参数为承载力、裂缝控制等。

1.2 关键节点构造

带肋叠合板的设计中，要想为其和支撑结构整体性、叠合楼盖可靠度提供一定保障，各支撑条件下的叠合板要确保支承长度、浇筑需求的充分满足。第一，于钢梁上搁置的情况下，其支承长度要控制在 $\geq 50\text{mm}$ 的范围内。第二，于预制混凝土梁上搁置的情况下，其支承长度要处在 $\geq 80\text{mm}$ 的范围内，与此同时，支座部位也要做好坐浆找平这项处理工作。第三，在同步浇筑叠合板后浇混凝土、混凝土梁，或是同步浇筑叠合板后浇混凝土、剪力墙的情况下，其底板需向梁或者是剪力墙边进行针对性的延伸，不仅如此底板中纵受力钢筋在板端最好是向支座方面伸入，这样可以为生产、运输、施工等提供便利作用，且该方面也可基于附加钢筋的配置，为楼面整体性、连续性提供进一步的保障。混凝土梁、剪力墙等部分挑耳等支撑未能设置的情况下，可将一节钢筋桁架布设于叠合板两侧，这种设置方式有助于底板后浇层抗剪性、拉结性的同步提升^[4]。

这一叠合板侧的拼接作业进行时，适合采用的拼接方式为密拼，拼接中可选砂浆抹缝的方式来应用，也可以采取细石混凝土灌缝的手段^[5]。而为了保障叠合板拼接部位抗裂性的有效增强，同时防范拼接处剪切破坏情况的出现，加上对拼接部位裂缝的延伸进行有效控制，拼接部位之上要注意拼接防裂钢筋的针对性设置^[6]。研究和实践证明^[7]，这种叠合板板肋和后浇混凝土的配合，有助于抗剪效应的形成，而与拼接防裂钢筋这一叠合板整

体性强化措施有机结合,可以为叠合板楼盖整体性达标奠定坚实基础。

1.3 工程实例

深圳市某综合工程项目中涉及公共住房、附属工程两部分,公共住房是以高层、超高层为主,其中高层住宅有5栋,超高层住宅则19栋,同时还包含幼儿园3所。从各住宅标准层来看,应用的预应力带肋叠合板跨度处在6.2~6.4m的范围内,共分5种类型,有较高的标准化程度,也实现了高效施工的目的。本工程中的10#楼涉及2种面积的6个户型,其中65m²户型的为4个,80m²户型的为2个。叠合板、后浇混凝土为C30、C40的强度等级。叠合板上布置了消除应力螺旋肋钢丝,级别为1570级,数量为11根,钢丝直径处在9mm的状态中,对比预应力钢筋强度标准值来说,其张拉控制应力是它的0.7倍,6.7kN/m²是楼板荷载参数^[8]。

2 预应力混凝土空心板

2.1 构件设计要点

该空心板的厚度、宽度相对标准,是一种先张法预应力混凝土空心构件,构成部分是多个规则布置的通风孔洞^[9]。通常而言,长线台支座部位针对性开展预应力钢绞线张拉作业的前提下,即可以通过干硬性混凝土冲捣、挤压成型工艺的应用,正式进行生产作业,而这一生产过程能达到一次成型的目的,其涉及的工序共有5个:张拉钢绞线—挤压底板和板肋、面板浇筑—捣实作业—孔芯成型—键槽成型。该空心板的优势体现在高承载力、大刚度、大跨度、优良防火性、良好隔音效果等诸多方面,也已被建设部纳入到重大科技推广产品列表之中,其在6~20m的大跨度建筑中相对适用,比如商场、工厂等^[10]。

在设计这一空心板的过程中,要在放张、脱模、起吊、施工与使用等阶段的工况上进行综合考量^[11]。以空心板叠合层为例,施工期支撑未设置的情况下,要分别做好两个阶段的计算工作。阶段一,在后浇叠合层混凝土暂未与强度设计值统一的情况下,预应力空心板是承担荷载的主体,该方面计算要以简支构件为依据,开展对应的计算作业,具体涉及自重、叠合层自重等方面的荷载。阶段二,混凝土强度已达设计值的情况下,要以整体结构为参照,针对性计算叠合构件。

2.2 关键节点构造

通过大量实践的开展,我国对空心板设计、生产、施工方面的经验也越来越丰富。然而,从具体工程情况来看,待解决的关键问题仍然很多。特别是应用到高层建筑的情况下,需要设计人员着重关注的要点内容就

是空心板楼板整体性、节点连接安全情况。以高层、超高层建筑中预应力空心板的应用为例,要想未楼盖水平力的传递提供促进作用,同时为各节点的安全性提供保障,一些研究人员与试验、工程实践紧密结合,对构造提出了相应的建议,首先,空心板的板顶进行叠合层的后浇作业,该叠合层为60mm,层内要注意双向单层通长钢筋的布置,该钢筋要选直径为8mm的钢筋,布置中要保持200mm的间距进行布置。其次,将桁架钢筋安设在板端空腔之中,同时要与细石混凝土相配合,做好灌注处理工作。最后,板缝之中也要进行对应构造的设置,即针对性开展抗剪构造钢筋的设置工作,它的设置目的在于促进空心板、后浇层抗剪性的有效提升。

2.3 工程实例

笔者参与的一个学校项目中,就采用了现浇预应力空心板,芯模采用复合多孔腔拼合结构,该结构隔热、隔音性能相对显著。其中空心板结构技术和空心板填充材料都是新专利内容,空心板中采用缓粘结预应力筋技术,低松弛预应力钢绞线为其母材,这种预应力筋构成主要有钢绞线、外涂换粘胶剂、外包PE。该预应力筋外包PE表面需具备斜肋压痕,这种压痕要呈现出凹凸不平的状态。除笔者参与的该项目外,深圳坪山某产业园项目中也采用了这种空心板,该项目中的两栋研发办公楼所用结构体系就是钢管混凝土框架-核心筒结构,构成部分主要包含钢管混凝土柱、钢混核心筒、钢梁等,标准层是以预应力空心板为主,楼板总厚260mm,其中200mm为板的厚度,60mm为后浇层的厚度。

3 预应力混凝土双T板

3.1 构件设计要点

这种双T板也属于先张法预应力混凝土构件之一,构成部分主要包含板面、2根高窄肋梁,在板上方的钢混平板就是面板,而双T板纵向轴线则是肋梁,其主要处于面板下部。这种预应力混凝土板的结构力学性相对优良,几何形状也较为简洁,横截面受力也处在科学合理的状态,尤其是自重小及承载力大,所以这种构件能制作成承载构建,具有良好的经济性。双T板在8~40m大跨度且对重载有较高需求的工业厂房、停车场等建筑中相对适用。具体设计中,要在短暂、持久两方面设计状况进行综合考量,前者是以预应力放张、脱模等为主;而后者则是以正/斜截面抗裂、挠度验算等为主。因构件处于脱模和起吊状态的情况下,混凝土强度低,也会承受较大的荷载,所以在运输、堆放支座、吊点和脱模起吊点处于相同位置的情况下,上述验算可无需进行。

3.2 关键节点构造

对于这种板的搁置节点来说,以构件间接触面不同为参照,主要可分为两种,即刚性、柔性两种。以刚性搁置节点为例,设计要点主要体现在预制和支撑构件混凝土局部受压承载力上;以柔性节点为例,要以有关产品手册为参照,验算好垫板性能,如厚度、转动与压缩变形等。在预制底板选大跨双T板应用的情况下,因为它的高度大,所以应避免将其在框架梁挑耳上直接进行搁置,要减小它的端部截面高,这样可以使一种企口端部逐步形成。梁端以企口构造方式为主的双T板,由于其连接受力的突出特征就是相对复杂,加上国内规范对其的计算方式也不够明确,所以可对美国相应的计算方式进行参考,从而做好这一部位配筋设计方面的工作。

3.3 工程实例

广东汕尾市某实验办公楼项目约有5150m²的建筑面积,其建筑高21m,建筑框架结构是以装配混凝土铰接式为主,而建筑首层双T板楼面跨度为18.2m,利用该楼面对上三层结构自重、荷载进行承载。以功能需求为参照,本项目在一个柱网范围中所布设的双T板数量为6,板宽、面板厚、肋梁高分别是2000mm、70mm、1300mm;企口长、上方肋梁高、底宽、上高分别为200mm、860mm、160mm、220mm,同时选预应力钢绞线设置于肋梁内,该钢绞线设置数量为10,直径为15.2mm。项目整体性和稳定性较好,具有较高经济性。

结束语

近些年,我国对预应力混凝土楼板的应用相对广泛,且这种楼板发展步伐也越来越快。但从实际情况来看,构件设计、节点构造方面的提升空间仍然很大,在一定程度上制约了预应力混凝土楼板的全面普及和发展,所以本文从不同构件的设计要点、节点构造、工程

实例出发进行了深入的分析,希望能起到借鉴意义,推动其发展前景、空间的进一步拓宽。

参考文献

- [1]崔现沅.新型预制预应力带肋混凝土叠合楼板施工技术[J].建筑技术开发,2021,48(24):54-55.
- [2]王小平,曾晖,刘立.模块化预应力预制混凝土楼板承载力试验及分析[J].建筑结构,2018,48(7):91-96.
- [3]吴运伸,王滋军,朱建,等.灌芯加固预应力混凝土空心楼板抗弯性能试验研究[J].南京工业大学学报(自然科学版),2018,40(2):118-124.
- [4]曹刘坤,杨磊,沈浅灏.预应力混凝土肋梁楼板临时支撑应用及分析[J].建筑施工,2021,43(10):2060-2062.
- [5]王洪欣,孙占琦,钟志强,等.预制预应力混凝土楼板设计关键技术与应用[J].混凝土与水泥制品,2022(11):63-67.
- [6]王子龙.薄壁方箱现浇混凝土空心楼板与预应力梁相结合技术应用[J].江苏建材,2021(6):80-81.
- [7]张伟.沙漠高温超长预应力后张楼板混凝土抗裂施工技术[J].安阳工学院学报,2020,19(2):78-81.
- [8]刘永伟.装配式预应力铁尾矿混凝土空心楼板设计研究[J].电脑高手,2020(3):3747-3748.
- [9]吴小婷.高层钢筋混凝土框架结构楼板裂缝成因研究[J].广东建材,2024,40(5):49-51.
- [10]李明明.基于压电传感器对L形钢管混凝土柱-带楼板钢梁节点试件的损伤监测[J].施工技术(中英文),2024,53(4):58-62,92.
- [11]李鑫鑫,陆琨,覃秋冬.高延性混凝土蒙皮压型钢板预制组合楼板的试验研究[J].四川建筑科学研究,2024,50(1):35-42.