

方盒空心板受力及计算模式分析

谢靖中

(上海交通大学土木工程系, 上海 200030)

=摘要> 本文分析了现浇方盒空心板的受力特点。通过四边简支板和四角柱支承连续板的分析表明, 现浇方盒空心板作为复合薄壁结构, 仍呈现板的受力特点。方盒板的肋间板有轻度的应力滞后现象, 但在总体上与肋梁达到等应力水平。通过与细分有限元模型计算结果对比, 表明方盒板可以用各向异性等效刚度板单元进行计算, 并且 STRAT 软件的关于方盒板的单元具有很高的计算精度。

=关键词> 现浇空心板, 方盒板, 应力滞后, 各向异性板单元

1 引言

现浇方盒空心板是近几年发展起来的一种新型空心板类型。相比较圆孔空心板, 方盒空心板具有明显的优势:

首先, 方盒板孔洞率高。方盒空心板孔洞率可达到 50%~70%, 使楼盖自重更轻, 材料的利用效率更高, 从而有效节省混凝土及钢筋用量。

其次, 方盒板在方向受力性质相同, 可明确为双向受力结构。并且可以通过调节两方向的肋梁截面宽度, 调整两方向的刚度比, 使适应不同长宽比板的受力要求, 具有更大的使用灵活性。

再次, 方盒板的施工更方便。预制方盒可以同时有效支护模板, 减少施工支模工作量, 加快施工进度。

在妥善解决预制模壳与现浇板、肋的连接, 以及解决好施工问题之后, 现浇方盒板明显的技术、经济优势, 必将替代早期的圆孔现浇空心板, 成为现浇空心楼盖结构的下一步发展方向。采用合理的模壳构造、正确的有效的设计计算方法, 根据已有的工程实例, 现浇方盒空心板能够达到比普通梁板体系结构混凝土、钢筋用量均节省的效果。

现有方盒板预制芯模长宽约 1m 左右, 高度可根据楼板实际高度需要, 一般在 0.2~0.6m 之间, 肋间小板厚度约 4~6cm, 肋宽 10cm 左右。

在这种尺寸范围内, 方盒空心板本身即为薄壁复合结构。在楼盖作为一个大板整体受力变形的同时, 肋梁、肋间板作为一个小结构也受力变形。这种小结构的局部变形有多大, 在是否影响了方盒空心板作为一个整体大板的受力特点, 需要进行研究。此外, 对这种复合结构的计算分析, 按各向异性板进行分析计算, 其合理性、精确性也需要深入研究。本文对现浇方盒空心板进行有限元分析, 研究其受力性能。

STRAT 软件针对方盒空心板开发了专门的计算单元。根据方盒板两方向的实际肋梁、肋间板的尺寸, 计算板的等效弯曲、剪切刚度, 构造各向异性中厚度板单元, 用于方盒板的计算。本文将接合该软件中的计算单元, 进行分析对比。

首先分析简单的四边简支板，这是一种相对简单的模型，便于深入分析方盒板受力的规律性，也便于与理论解对比。然后的四角柱支承连续板，这是实际工程中方盒板空心板的受力情况，将定量、定性分析其受力特点。

2 四边简支板

方盒空心板边长 $10 \times 10 \text{m}^2$ ，板厚 0.5m ，四边简支。方盒尺寸 $1.0 \times 1.0 \text{m}$ ，肋间板厚 6cm ，肋梁宽 10cm 。作用面均布荷载 10kN/m^2 。为了简化分析，不计空心板自重。

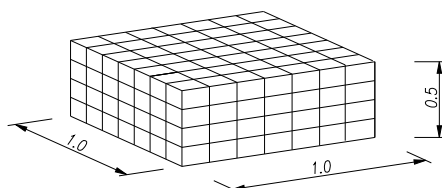
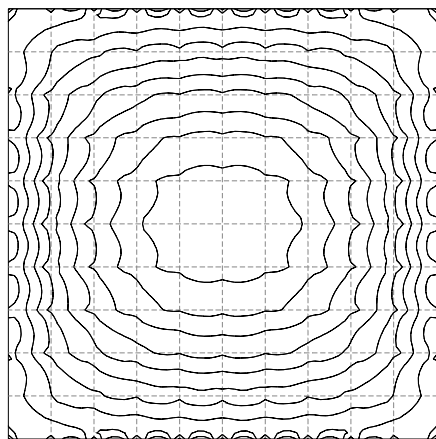


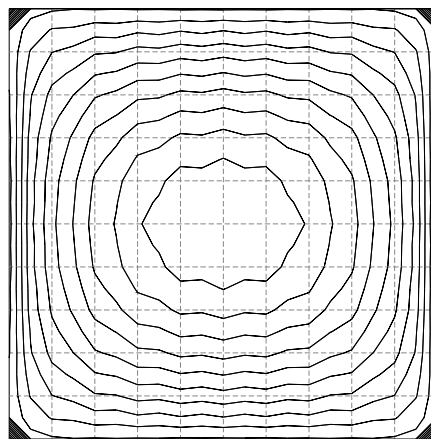
图 1、一个方盒范围内的细分单元

有限元计算单元划分如图 1 所示，肋间板、肋梁均用细分板单元，整个结构节点数 14405，单元总数 15960，计算也采用 STRAT 软件。计算得到的方盒顶板的正应力分布如图 2(a)所示。在这种计算模型中，顶底面肋间板的正应力体现了板整体弯矩的分布特点，因此可以通过图 2(a)分析方盒板的整体受力特征。

同时用 STRAT 软件的空心板单元，将计算该简支板，得到的板弯矩分布如图 2(b)所示。



(a)、细分有限元分析肋间顶板板 X 向正应力



(b)、STRAT 空心板单元计算弯矩 M_y

图 2、简支板内力

比较图 2 两种内力分布图形可看出：

- 1、两图反映的板弯矩的分布趋势相同，表明方盒板在总体上仍体现为板的受力特性。可以用刚度等效的各向异性板进行计算；
- 2、肋间板在肋梁之间呈现轻度的应力滞后现象，其中边缘大于跨中。但这种应力滞后

是轻微的、小范围的，肋间板在总体上与肋梁达到等应力水平。可以认为整个肋间板作为肋梁翼缘，与肋梁一起参与整体受力。

下面分析跨中最大弯矩。细分有限元计算模型中，板跨中弯矩由肋间小板上下面正应力形成的弯矩和肋梁形成的弯矩两部分组成。其中肋间板弯矩 44.609kN*m，肋梁弯矩 4.717N*m。则有：

细分有限元计算的跨中弯矩： $M_1=49.326\text{kN}\cdot\text{m}$;

STRAT 软件空心板单元计算弯矩： $M_2=48.168\text{kN}\cdot\text{m}$;

四边简支方形板跨中弯矩理论解： $M_3=0.4798\cdot ql^2/10=47.890\text{kN}\cdot\text{m}$

三种方法计算得到的跨中最大弯矩基本相同，由此可见方盒空心板仍满足一个楼板的受力特点。同时也表明 STRAT 软件利用各向异性等效刚度板单元计算方盒板的方法是合理的，并且达到了很高的计算精度。

从前面计算跨中最大弯矩值可知，肋间板对总体弯矩的贡献，接近肋梁的 10 倍。可见正是由于上下肋间板的参与受力，使方盒空心板具有很好的力学和经济性能，其效果优于只有顶部肋间板的密肋梁结构。

细分有限元模型计算得到的肋间板的局部弯矩分布如图 3 所示。可见肋间板的局部弯矩是小范围的，是由于肋梁的局部变形引起。其中跨中部位最大局部弯矩为 0.125kN*m，支座部位最大局部弯矩为 0.295kN*m。相比较整个楼板的跨中弯矩值，这些局部弯矩均为极小值，可以在设计中忽略。

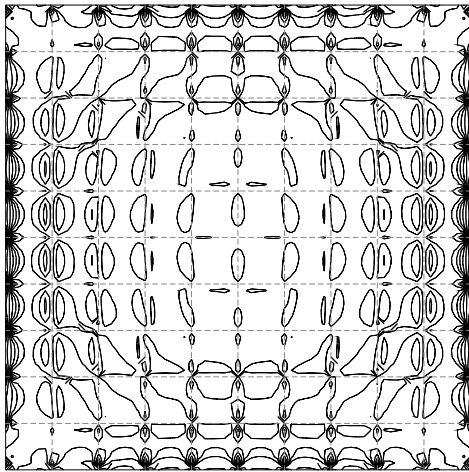


图 3、细分有限元分析肋间顶板板 X 向正应力图

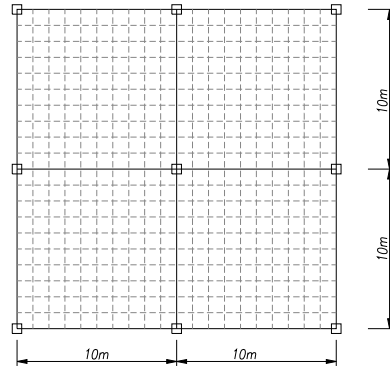


图 4、四角柱支撑连续板

3 四角柱支撑连续板

四角柱支撑连续板如图 4 所示，方盒板的细部尺寸和作用荷载仍如前面的模型。细分有限元模型计算结果得到的肋间板 X 向正应力示于图 5(a)，用 STRAT 软件空心板单元计算得到的弯矩 M_y 示于图 5(b)。

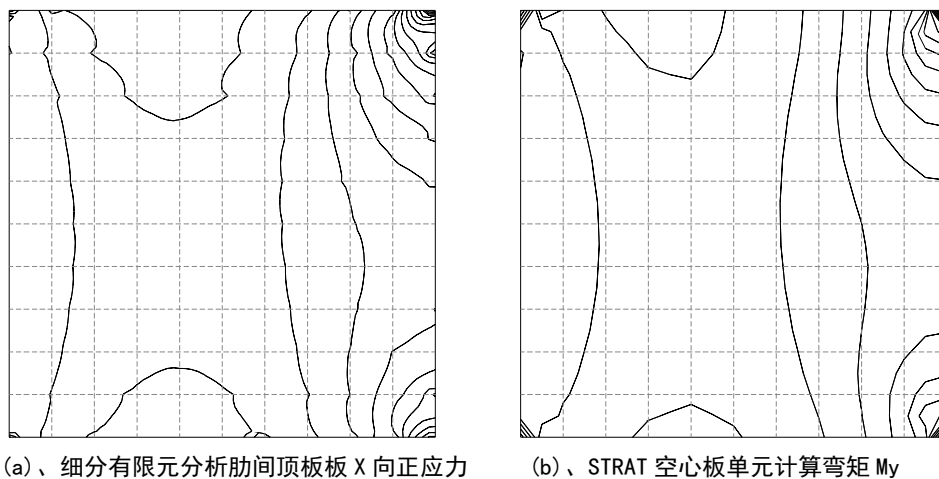


图 5、四角支承连续板内力

表 1、连续板弯矩 M_y (单位: $kN \cdot m$)

	自由边跨中	板跨中心
细分有限元模型	90.236	56.254
STRAT 空心板单元	90.764	57.584

两种内力分布形状基本相同，表明在四角柱支承的情况下，方盒板仍体现为板的受力特性。肋间板在肋梁之间仍有轻度的应力滞后现象，但滞后程度小于四边简支板。

两种模型计算得到的弯矩值如表 1。可看出两种模型的结果基本一致，表明四角支承方盒板体现为板的受力特性。同时也表明 STRAT 软件利用各向异性等效刚度板单元计算方盒板的方法是合理的，且具有很好的计算精度。

4 结语

本文通过细分有限元模型，分析了现浇方盒空心板的受力特点。通过四边简支板，和四角支承连续板的分析表明，方盒空心板作为复合薄壁结构，仍呈现板的整体受力特点。

方盒空心板的肋间板有轻度的应力滞后现象，但这种应力滞后是轻微的、小范围的，肋间板在总体上与肋梁达到等应力水平。可以认为整个肋间板作为肋梁翼缘，与肋梁一起参与整体受力。

方盒空心板的肋梁、肋间板的局部受力是较小量。

方盒空心板可以利用各向异性等效刚度板单元进行计算。通过与细分有限元的分析结果对比表明，STRAT 软件中有关方盒空心板的计算单元计算方法是合理的，并且达到了很高的计算精度。