

空心板楼盖受力特性及受力岛设计理论

谢靖中

(上海交通大学土木工程系, 上海 200030)

〈摘要〉 本文首先分析了板式楼盖结构与梁式楼盖结构受力差异, 表明板式楼盖呈现岛状受力特性, 即内力向柱端岛状区域内集中, 而其它部位相对较小。板式楼盖与密肋梁楼盖的受力较为接近, 而与普通梁格楼盖差别显著。用等代梁格计算板式楼盖只是一定程度上的近似, 计算结果受梁扭转刚度折减系数的取值影响显著。本文经分析表明, 空心板楼盖仍呈现板式楼盖的受力特点, 并且岛状受力特性更明显, 内力更集中于柱端区域。

本文在深入分析板式楼盖受力特性的基础上, 提出了板式楼盖设计的受力岛理论: 不将板式楼盖的设计人为地纳入到梁式楼盖的体系, 充分认识、并体现板式结构内力的岛状特性, 并根据该项基本认识, 1) 确定板式楼盖合理的配筋方式; 2) 采取符合板式结构受力特点的、合理有效的结构优化方法;

本文提出了板式楼盖合理的配筋方式。板顶配筋分为分受力岛区、核心加强区、跨中区, 板底配筋分为实心板带区、边板区、中板区。这种配筋方式, 体现了板式楼盖的受力特点, 并能有效降低配筋量。

本文提出加强受力岛区域的结构优化方法。加厚受力岛区域, 在不影响建筑功能, 在很少增加混凝土用量情况下, 能全面降低楼盖各部位的配筋量, 并且降低配筋峰值。

本文分析了影响板式楼盖抗震性能的因素。提出加强受力岛区域以提高结构抗侧刚度。并提出加厚受力岛区域, 减小混凝土受压区高度, 提高受力岛区域内板的延性, 从而提高结构在大震作用下的性能的技术思路。

〈关键词〉 板式楼盖, 空心板楼盖, 等代梁格, 受力岛, 结构优化, 结构抗震

1 引言

现浇空心板无梁楼盖结构是近年来发展起来的新型混凝土结构类型。现浇空心板结构充分利用空腔板结构良好的力学性能, 能有效降低结构层高度、获得较好的使用空间, 并且钢筋构造及支模简单, 施工速度快, 有效克服现浇混凝土结构费人工、施工周期长的缺点。

在众多厂家和研究单位的努力下, 现浇空心板结构仍在不断发展, 更有效的新型结构不断涌现。尤其是最近发展起来的方盒空心板结构, 空洞率高、材料利用效率好、有效减少支护模板、施工速度快, 在一般情况下能达到普通梁板体系结构混凝土、钢筋用量均节省的效果。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, 方盒空心板作为一种有潜力的新型结构类型, 必将得到大范围的推广应用。

现阶段现浇空心结构的设计, 在一定程度上仍延续了早期的实心板无梁楼盖的设计思想。由于计算手段等技术条件的限制, 早期的无梁楼盖结构设计, 实际上采用的是梁式结构的设计方法, 即将大板划分成柱上板带、柱间板带, 按柱间主、次梁的计算内力, 并进

行配筋构造。如此同时，对于空心板楼盖结构，现阶段在一些设计中着重强调柱间实心板带和空心板之间刚度的差异，也将空心板楼盖结构按梁式楼盖进行计算和构造。

实际上，板式楼盖的受力和梁格楼盖的受力具有显著不同的特点。现浇空心板结构的实心板带和空心板之间有刚度差异，但其总体上仍呈现板的受力特点。现浇空心板结构按梁格进行计算，在一定程度上是近似计算；按梁板楼盖进行配筋构造，将不能充分发挥现浇空心板结构的技术优势，导致配筋量的增加。

本文将对比分析板式楼盖与梁格楼盖的受力差异，并分析现浇空心板结构的内力分布特点。

本文还针对浇空心板结构的受力特点，提出“受力岛”设计方法。该方法符合现浇空心板结构的竖向重力荷载、侧向荷载作用下的受力特点，符合抗震结构的设计要求，并且能有效降低配筋量。本文将对受力岛设计方法所涉及的计算、配筋构造、结构优化、抗震等方面的问题进行较为全面的阐述。

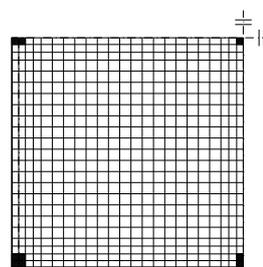
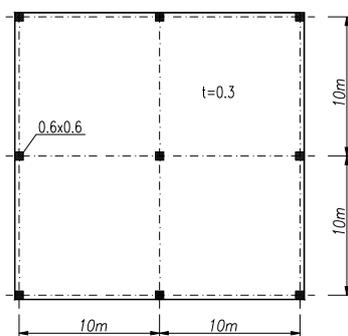
2 板式楼盖的受力特点

这里通过具体的结构算例分析板式楼盖与梁式楼盖受力的差异。为了便于得出规律性认识，分析针对实心平板楼盖进行。

如图 1(a)所示柱支承多跨连续板式楼盖，实心平板厚 0.3m，作用均布面荷载 10kN/m^2 。分别用板单元进行精确有限元分析，和等代梁格进行近似模拟。这是板式楼盖两种计算模式的分析对比，其结果实际上是反映了板式楼盖，与密肋梁楼盖、梁式楼盖不通的受力性能。

用板单元进行有限元计算的单元网格如图 1(b)所示，有限元平均网格小于 0.5m。在柱范围内加深梁，模拟柱截面对其范围内板变形的接近刚性的约束作用，同时也避免一点支承时产生板内力集中的情况。

等代梁格有两种情况。一种按间隔 1.0m 的 10 梁格，相当于密肋梁楼盖，如图 1(c)所示。一种是间隔 2.5m 的 4 梁格，即为普通的梁板式楼盖，如图 1(d)所示。梁截面高度同楼板厚度，宽度取梁格间距。10 梁格的梁扭转刚度折减 0.5，4 梁格的梁扭转刚度折减 0.75，有关扭转刚度的取值，将在后面专门讨论。



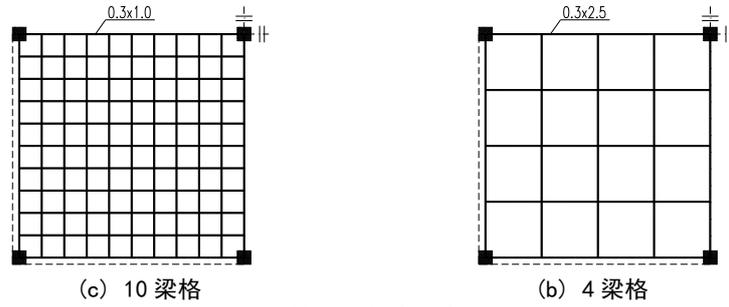


图 1、柱支承多跨连续板

三种模型计算得到 X 向梁的弯矩，相当于楼盖整体绕 Y 轴的弯矩 M_y ，绘制成等高线图，示于图 2(只显示左下 1/4 楼盖)。

对于梁格模型，由于存在 Y 向梁的扭矩，使得 X 各梁段端部弯矩不相等。图 2(b,c)绘制的是弯矩的平均值，用于反映整体内力的分布特点。图 2(d,e)绘制的是弯矩最大值，实际工程设计中用该值计算配筋。从图中可看出，梁格弯矩的平均值、最大值差别较大，由此可见扭转刚度的影响。

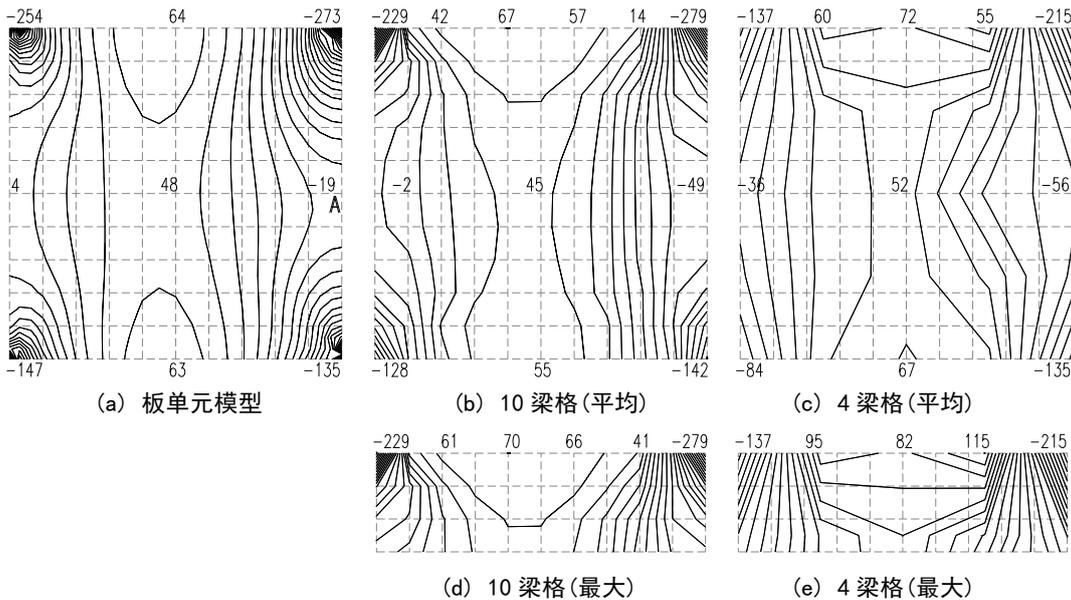


图 2、弯矩 M_y 分布

比较图 2 各内力图，可看出板式楼盖与梁式楼盖的受力的不同特点。

1、板式楼盖的内力分布与密肋梁楼盖(10 梁格)较为接近，与梁式楼盖(4 梁格)差别较大。板式楼盖、密肋梁楼盖的柱端负弯矩、板底正弯矩的分布趋势、具体数值均较为接近。

2、由于板良好的双向受力特性，使得柱端负弯矩按环状分布，呈现一个较大范围的岛状受力区域。

3、板式楼盖的柱端负弯矩较大，柱端负弯矩与跨中正弯矩的比值，远大于梁式楼盖的比值(与图 2e 中数值比较)。而跨中板带的端部负弯矩相交较小(图 2a 中的 A 点)。这些均体

现了板式楼盖的岛状的受力特性。

4、由于精确考虑了柱截面范围的面支承作用，板式楼盖的边柱、中柱的负弯矩值差别相对较小。

根据图 2 可看出，10 梁格等代梁计算，和用板单元计算，得到的板式楼盖的内力分布图及具体数值均较为接近。随着进一步加密等代梁格，可以肯定两者的结果会趋于一致。这也反过来说明，用板单元计算板式楼盖的结果是合理的。

下面分析板式楼盖在侧向荷载作用下的受力特点。对图 1 的三类结构施加相同的侧向荷载，得到的弯矩 M_y 示于图 3。

比较弯矩分布图形可知，在侧向荷载作用下，板式楼盖的内力仅限于柱端的一定区域内，且随距柱边的距离增大急剧降低，也呈现岛状的受力特性。梁式楼盖(4 梁格)内力分布较为分散，且柱间梁弯矩基本呈线性变化。密肋楼盖(10 梁格)介于板式楼盖、梁式楼盖之间。

计算得到板式楼盖、密肋楼盖、梁式楼盖的相对侧移为 1: 0.86: 0.38，板式楼盖的侧向刚度较小。

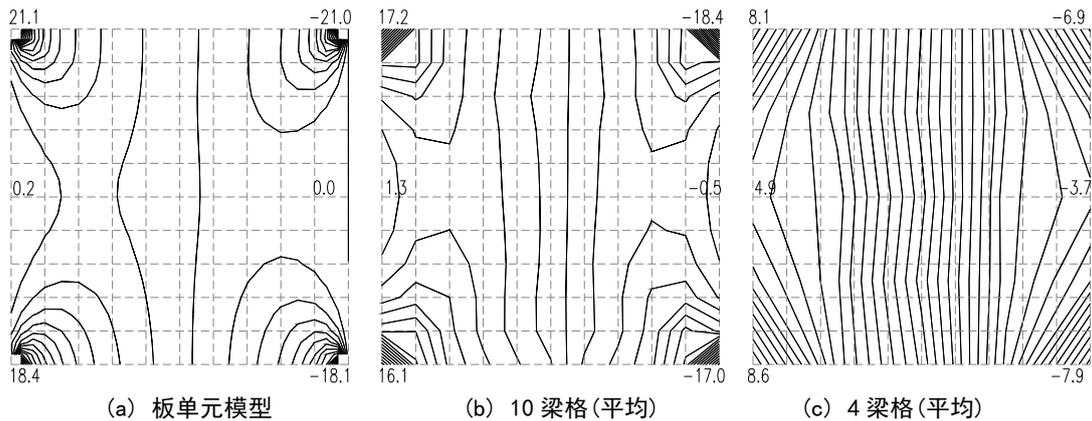


图 3、侧向荷载作用下 1/4 板弯矩 M_y 分布

3 等代梁格计算板式楼盖的扭转刚度折减

由图 2、图 3 所示内力分布图可以看出，用等代梁格计算计算板式楼盖，存在误差相当大，尤其是梁格数较少时误差更大。

此外，用等代梁格计算板式楼盖，还涉及到梁扭转刚度的折减问题。在双向梁格结构中，一个方向梁的扭转刚度正好是另外方向的弯曲刚度。由于梁的宽度等于梁格间距，一个方向梁的弯曲刚度已经是板该方向的全部弯曲刚度。如在加上另外方向梁的扭转刚度，梁格的刚度将大于板的实际刚度。因此需要对梁的扭转刚度进行折减。但是，由于板是双向受力结构，而双向梁格的两方向的关联性小于板的关联性，如果将双向梁格的扭转刚度折减为 0，又将使梁格的刚度小于板的实际刚度。因此需要针对不同的结构类型、边界条

件及梁格划分疏密程度采用合适的扭转刚度折减系数。

对于图 1(c)所示的细分 10 梁格的情况，根据重力荷载作用下板跨中挠度一致的原则，可以确定梁扭转刚度折减系数为 0.5。前面的内力图即按照该折减系数计算，得到的内力分布图形基本上与板单元计算结果较为接近。

对于图 1(d)所示的 4 梁格的情况，即使不折减梁扭转刚度的情况下，挠度也大于板单元计算的挠度。因此，这种梁的数量较少的等代梁格，已经不能很好地模拟板式结构的受力。在前面的计算中，只按一般水平取扭转刚度折减系数为 0.75。

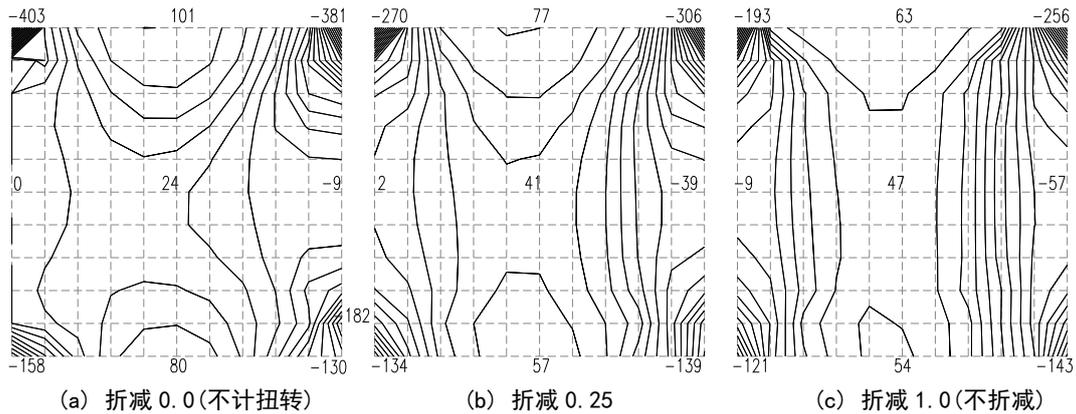


图 4、10 梁格在不同扭转刚度折减系数下的板弯矩 M_y

对 10 梁格模型，在前面图 2 中折减 0.5 之外，再分别折减 0.0(完全不计扭转刚度)、折减 0.25、折减 1.0(不进行折减)进行计算，重力荷载作用下的弯矩 M_y 分布示于图 4。可见在不同的扭转刚度折减系数下，柱端负弯矩、板底正弯矩均不相同，且差别特别显著。

扭转刚度折减系数，在不同的等代梁格数、不同的板纵横跨度比、不同的边界条件下(连续板长短跨、点支承与边支承等)，其合理的取值均不同。很难给出合理的、统一的值，这是等代梁格计算板式楼盖的一个很难克服的缺陷。

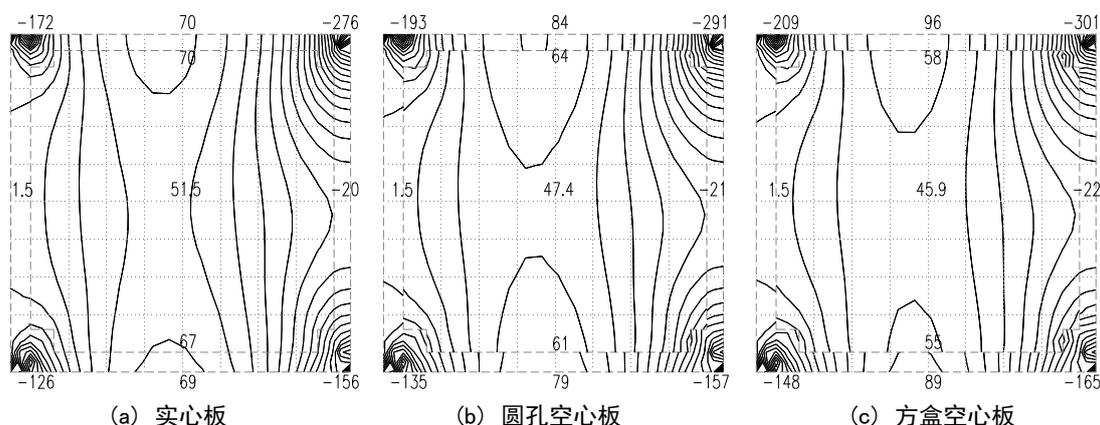
4 空心板楼盖的受力特点

结构情况仍如图 1(a)所示。为了符合空心板的尺寸范围，设板厚度为 0.4m。中间柱间实心板带宽度 1.0m，周边柱间实心板带宽度 0.6m，柱上实心板块 2.0m×2.0m。为体现柱截面对板的面支承作用，在柱截面范围内设小梁。分别计算圆孔空心板、方盒空心板及实心板三种结构。为便于分析，板面统一作用荷载 10kN/m^2 ，不计板自重。

圆孔空心板：孔直径 0.3m，孔间距 0.35m，纵向横肋宽 0.1m 间隔 2m。

方盒空心板：肋间距 1.0m，肋梁宽 0.1m，肋间板厚 0.05m，两方向尺寸相同。

利用 STRAT 软件的实心板、空心板单元，进行空间三维计算。计算得到的三种楼盖的弯矩 M_y 示于图 5(只显示左下 1/4 楼盖)。

图 5、实心板、空心板楼盖弯矩 M_y (绕 Y 轴的弯矩)

分析图 5 内力图，可看出三类板式楼盖的共同点：

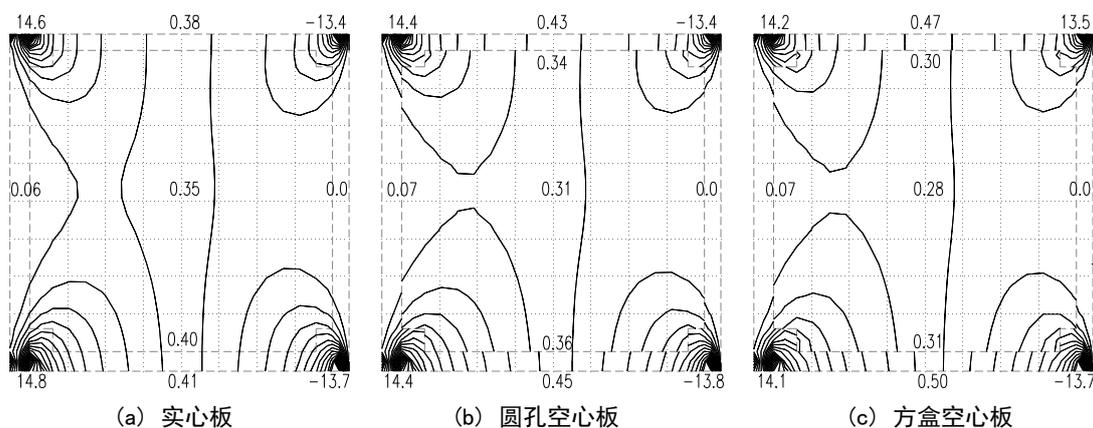
- 1、内力分布形状基本相同。
- 2、内力均向柱端集中，形成明显的岛状内力集中区域。柱端负弯矩与柱间板带跨中正弯矩的比值介于 2.6~3.2 之间，远大于一般梁式楼盖 1~2 的比值(见图 2e)。
- 3、跨中板带的弯矩均较小，尤其是端部弯矩，数值也基本接近。

与等厚度实心板楼盖相比，圆孔、方盒空心板楼盖具有如下特点：

- 1、空心板楼盖柱间板带与跨中区域板的刚度不同，使得内力向柱上实心板带集中，其内力大于相应位置内部空心板的内力。其中方盒板大于圆孔板。
- 2、在相同的荷载作用下，空心板楼盖的柱端负弯矩更大，岛状受力区域更明显。其中方盒板大于圆孔板。
- 3、在跨中区域，板底正弯矩值相对较小，且内力分布趋于均匀。即跨中弯矩板带的弯矩与考虑柱间实心板带边的弯矩较为接近。其中方盒板最为显著。

上述有关空心板楼盖的三个特点，方盒板比圆孔板更明显。空心板楼盖由刚度相对较大的柱间实心板带，和刚度相对较小的跨中范围内的空心板组成，上述三个特点与楼盖内两部分楼板的刚度相对大小相关。如两部分刚度差别大，则特点更显著，例如方盒板比圆孔板显著。

虽然空心板楼盖与实心板楼盖的内力分布有所不同，但只是量的区别，空心板在整体上仍呈现板式楼盖的受力特点。并且与梁式楼盖相比，空心板的作为板式楼盖的特征更明显，即内力更集中于柱端，形成明显的岛状区域。

图 6、实心板、空心板楼盖在侧向作用下的弯矩 M_y (绕 Y 轴的弯矩)

对上述三类楼盖结构，施加相同的侧向荷载作，用 STRAT 软件计算得到的弯矩 M_y 分布图示于图 6。

从图中可看出，三类板式楼盖的在侧向作用下的内力基本相同。空心板楼盖内力也向柱间实心板带集中，但幅度不大。

从图中可看出，板式楼盖在侧向荷载作用下，内力也集中在柱端一定范围内，形成明显的岛状区域。

5 空心板楼盖的受力岛设计理论

经过前文的分析，相比较梁式楼盖，板式楼盖的受力呈现岛状特性：即内力向柱端集中，柱端负弯矩较大，且负弯矩不局限于柱间板带，呈丰满的环状分布，同时跨中正弯矩相对较小。

经过前文的分析，现浇空心板楼盖，由于存在刚度相对较大的柱端实心板块，使得岛状特性更加明显。

由于计算手段等技术条件的限制，早期的无梁楼盖结构设计，实际上采用的是梁式结构的设计方法，即将板划分成柱上板带、柱间板带，按柱间主、次梁的计算内力，并进行配筋构造。现阶段空心板无梁楼盖的设计，在一定程度上仍延续了早期的实心板无梁楼盖的设计思想，并且过多地强调柱间实心板带和空心板之间刚度的差异，对现浇空心板结构按梁板结构进行计算和构造。

本文认为，将板式结构，尤其是空心板无梁楼盖结构，按梁式结构进行设计，存在如下问题：

1、不符合板式结构实际的受力特点。通过前面分析可知，梁式楼盖、板式楼盖的受力差异很大，用等代梁格计算板式楼盖，只是在一定程度上的近似，并不能真实反映板式楼盖的受力特点。并且存在很现实的问题，即很难确定等代梁格的扭转刚度折减系数的合理取值。

2、不能充分发挥空心板结构的经济、技术优势。等代梁格计算使跨中正弯矩偏大，即

板底配筋偏大。一般板底钢筋需要大范围的通长配筋，而柱端负钢筋长度有限，跨中弯矩的增加将明显增加配筋梁，降低空心板结构的经济优势。

因此，本文提出针对现浇空心板楼盖结构的受力岛的设计方法：

不将板式楼盖的设计人为地纳入到梁式楼盖的体系。

充分认识、并体现板式结构内力的岛状特性，并据此：

- 1、确定板式楼盖合理的配筋方式；
- 2、采取符合板式结构受力特点的、合理有效的结构优化方法。

6 受力岛理论的配筋方式

对图 1 所示多层框架空心板楼盖结构，在一般的重力、风、地震作用下，用 STRAT 软件计算得到 X 向板底、板顶的配筋，左下 1/4 楼盖示于图 7。

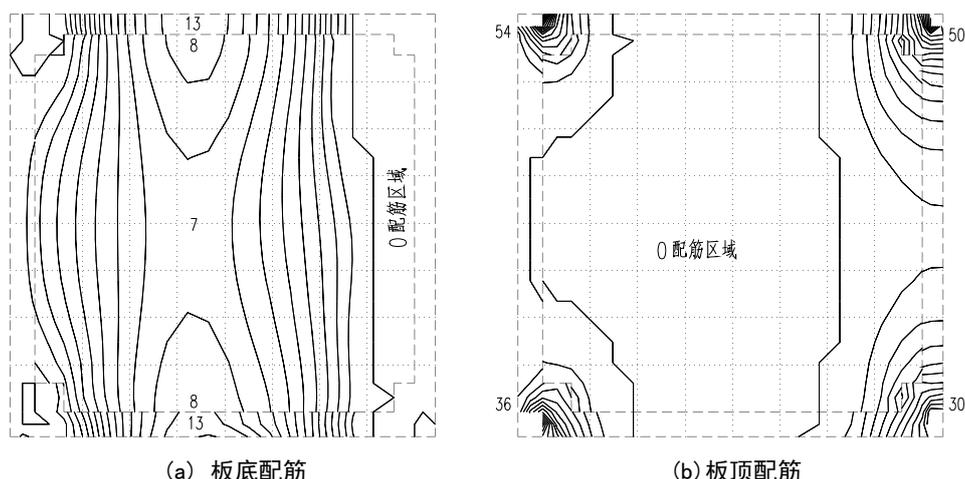


图 7、空心板楼盖的配筋图(X 方向)

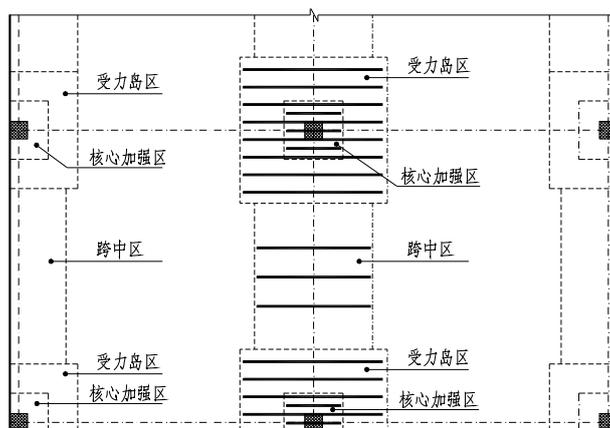
空心板楼盖的配筋分布图，基本上反映了内力分布特点(对比图 5、图 6)。

板底配筋中，柱间实心板带上配筋有所集中，而跨中空心板配筋基本基本均匀，实心板带的配筋量接近跨中空心板配筋的 1.5 倍。板顶配筋集中在柱端较小的环状区域内，即受力岛内。柱边最大，并向周边急剧降低。

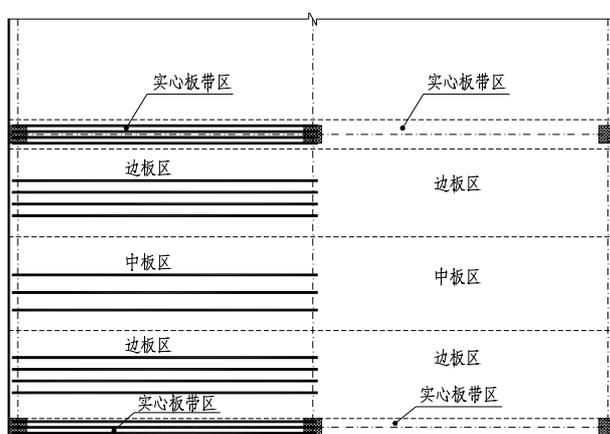
板底、板底配筋的分布特点：板底配筋分布范围大，分布较为均匀，且数值较小；板顶配筋分布范围小，变化剧烈。但板顶最大配筋值很大，是板底最大配筋值的数倍。

空心板楼盖配筋分布特点，很明显与梁式楼盖有很大的差异。如果仍按照梁式楼盖进行配筋，一方面将使某些部位配筋偏小，另一方面是“遍洒胡椒面”而使整体上配筋偏大。

根据上面配筋分布特点，并按照适度均匀便于施工的原则，本文提出空心板楼盖的合适配筋方式，如图 8 所示。



(a) 板顶配筋



(b) 板底配筋

图 8、受力岛理论的配筋方式(X 方向)

图 8(a)为板顶配筋。板顶配筋分受力岛区、核心加强区、跨中区。受力岛区为柱端范围内的配矩形、圆形、或截角矩形区域，宽度受跨度、柱截面尺寸、中柱边柱等因素影响，一般为跨度的 $1/3 \sim 1/5$ ，具体需根据配筋等高线图确定。核心加强区位于受力岛区内部，宽度约为受力岛区的 $1/2.5 \sim 1/3.5$ 。受力岛区是空心板楼盖配筋最大的区域，区域内的配筋可以取横向端面的平均值。在受力岛区域内，板顶钢筋量基本上呈二次曲线增加，这样核心加强区配筋基本上是在受力岛区配筋基础上的一倍加密，如受力岛区为 $\Phi 18 @ 100$ ，核心加强区为 $\Phi 18 @ 50$ 。跨中区是受力岛区之间的剩余区域，宽度由配筋等高线确定。这部分的配筋一般不大，基本上与构造钢筋量接近。

图 8(b)为板底配筋。分实心板带区、边板区、中板区等三个区域。实心板带区即为空心板楼盖的柱间实心板带，该部分相对较大，可以作为暗梁进行箍筋构造。实心板带区之间按配筋量的大小分成边板区、中板区，各区内配筋可取区域内最大配筋断面的平均值，一般边板区配筋大于中板区配筋。对于方盒板楼盖、或有柱间板带加厚楼盖，柱间板带与跨中板带刚度相差较大时，边板区与中板区配筋较为接近，也可以按一种规格确定配筋。

对于墙支承空心板楼盖，将根据配筋分布特点，确定板底、板顶各配筋区域的范围和配筋量。

图 8 的空心板楼盖的配筋方式，符合板式楼盖的受力特点。由于较大的配筋集中于受力岛区及核心加强区，因此总体上能有效减小空心板楼盖的配筋量。

7 受力岛理论的结构优化

充分认识空心板楼盖结构的岛状受力特性，有针对性地在一些关键受力部位进行加强，将有效减少混凝土用量、钢筋用量，并且改善结构受力性能，提高空心板楼盖的经济、技术指标。

由前面分析可知，空心板楼盖受力最大、配筋最大的部位是在柱端环状区域内，即受力岛内。该区域一般为实心板块。如将该区域板厚适当加厚，将有效降低整个楼盖的配筋，改善受力岛区配筋集中的状况，起到事半功倍的效果。

对图 1 所示结构，设为方盒空心板，将柱端实心板块(2m×2m)由原来的 0.4m 加厚到 0.6m，计算在竖向重力荷载下内力和配筋。

同时，按常见的空心板楼盖的加强措施，将柱间板带 0.6m 宽范围内加厚为 0.5m，即设明梁，计算在竖向重力荷载下的内力和配筋。

上述两种加强措施计算得到的结果，与等厚度板的结果，列于下表。

表 1、加厚受力岛与加厚柱间板带效果的比较

		等厚度 空心板楼盖	加厚柱间 板带(明梁)	加厚受力岛	加厚受力岛与 加厚板带的比值
混凝土增加量(m ³)*		0	1.800	1.058	0.588
板底最大变形(mm)		7.372	6.318	6.154	0.974
弯矩 (kN*m/m)	中柱端部	301.0	384.0	371.5	0.967
	边柱端部	209.3	231.2	250.3	1.083
	柱间跨中	100.0	170.3	88.2	0.518
	板中心	48.40	45.01	44.58	0.990
配筋 (cm ² /m)	中柱端部	42.51	41.66	32.15	0.771
	边柱端部	28.40	24.25	21.44	0.884
	柱间跨中	12.90	17.43	11.32	0.649
	板中心	6.122	5.685	5.631	0.991

* 混凝土增加量为一个柱间大板的统计量

从表中各项数据可看出，加强受力岛区，对结构受力和配筋影响非常显著。与加强柱间板带相比，增加混凝土量少，挠度变形小，内力更小，配筋全面降低。

1、对于柱端部，受力岛区加厚之后，内力有所集中，相对于等厚度板而言内力有所增大。但由于板厚度增加，配筋显著减少。这部分的配筋是整个楼盖的峰值，降低配筋峰值，将极大地方便配筋构造。

如此同时，对于加厚柱间板带的加强措施，由于受力岛区范围大于加厚板带的宽度，板带加厚之后局部刚度增加，受力岛区的内力向加厚板带集中，使加厚板带的最大端弯矩反而更大，甚至大于受力岛区加厚之后的端弯矩，配筋也更大，没有能够达到降低配筋峰值的目的。表中“中柱端部”即是这种现象。

2、对于柱间板带跨中部位，加厚受力岛区后，弯矩向端部集中，跨中弯矩显著减少，配筋也有所降低。而加厚柱间板带，使弯矩向柱间板带集中，使弯矩增大，配筋也比等厚度板显著增加，由于跨中板底配筋是通长配筋，因此总体配筋量增加是很可观的。

3、对于大板中部，加厚受力岛和加厚柱间板带，均能降低弯矩和配筋。并且加厚受力岛的效果更好。由于板底跨中范围大、并且通长配筋，截面配筋的稍微减少，放大到整个大板，将是一个可观量。

4、对于挠度，两种加强措施均能有效降低挠度，但加厚受力岛效果更好。受力岛区加强后，内力向受力岛区集中，但由于厚度增加了，应力水平仍低于等厚度板，同时跨中弯矩减小，使得整体挠度显著减小。

总之，加强受力岛区的处理措施，由于充分针对空心板楼盖的受力特点，因此在较少增加混凝土用量的条件下，起到了四两拨千斤的效果。总体而言，加强受力岛区起到两个效果：**一是全面降低配筋量，一是降低配筋峰值。**

从使用的角度看，由于受力岛区范围不大，设备管道完全可以绕开这一区域，而且增加的厚度小于设备管道需要的高度，因此加强受力岛区在有设备管道时基本上不增加层高。而加强柱上板带时，因不能避开设备管道，层高总会增加。

在风、地震等侧向作用下，由图 3、图 6 可知，内力更向受力岛区集中，因此加强受力岛区，其效果比重力作用下更显著。

8 空心板楼盖结构的抗震

空心板楼盖结构的抗震性能是设计中必须考虑的因素。各类规范对此均有规定，如层数限制、适用烈度范围等。

一般而言，认为空心板楼盖结构不利于抗震的认识，主要基于如下两方面考虑：

首先，相对于一般的梁式楼盖而言，板式楼盖的厚度较小。地震力作为一种侧向作用，将在柱端较小的区域内(受力岛)产生较大的集中内力，超出该部位楼板的有效承载(在设计计算中表现为柱端配筋非常大)。同时板式楼盖的抗侧刚度较小，地震作用下侧移不易控制。

其次，梁式楼盖结构可以过强柱弱梁、强剪弱弯的控制措施，使结构在强震作用下，塑性铰出现在梁端，从而使结构有较好的延性，达到“大震不倒”的控制目标。而对于板

式楼盖结构，能否通过相关处理措施，受力岛区域内的板有较好的延性，并在大震作用下达到开裂屈服，从而使结构整体具有较好的抗震性能。

由前面的分析可知，加厚受力岛区域能显著改善板式楼盖的受力并减少配筋。对于图 1 所示多跨空心板楼盖，按三层结构作用侧向荷载，计算在不同受力岛厚度下的侧移。以受力岛与空心板等厚度时(0.4m)结构侧向刚度为 1.0，受力岛加厚对结构侧向刚度的影响示于图 9。

从图 9 可看出，加厚受力岛区域的板厚度，在有限增加混凝土用量，和基本不影响建筑使用性能的情况下，能显著增加结构的抗侧刚度。这是控制空心板楼盖结构在小震、中震下的性能一种有效措施。

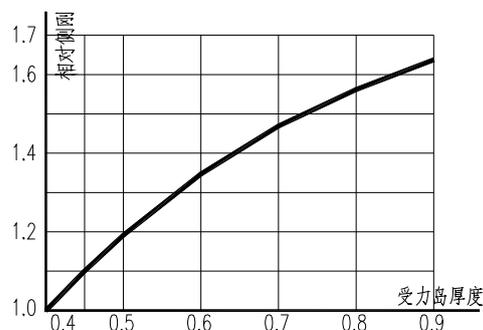


图 9、受力岛区域加厚对抗侧刚度的影响

为了提高大震下的性能，需要确保柱的承载能力大于板受力岛区域的承载能力。虽然板的刚度尤其在受力岛区域加强后的板的刚度，可能大于柱的刚度。但强柱弱梁原则并不指刚度强弱，而是指作用力与承载能力的相对大小。(例如多层框架结构中梁的刚度总大于柱的刚度，也能满足强柱弱梁的要求)。通过合适的设计方法，有针对性的加强柱的承载力，板式楼盖结构也能达到强柱弱梁的设计要求。

由于板式楼盖的受力集中于受力岛区域，受力岛区域的延性性能对结构耐震性能很关键。混凝土截面的延性与抗弯时混凝土受压区的高度和配筋水平相关。通过加厚受力岛区域，降低板在柱端范围内的配筋峰值，将会减小混凝土受压区高度，以利于提高受力岛区域内板的延性，从而提高结构在大震作用下的性能。

有关板的抗震性能，尤其是在局部作用下混凝土板的开裂、塑性区开展的性能，相关的实验研究还较少。我们将有关企业的资助下，进行实验研究，以期有较为深入的认识，得出可供设计采用的处理措施。

9 结论

1、本文首先分析了板式楼盖结构与梁式楼盖结构受力差异，认为板式楼盖呈现岛状受力特性，即内力向柱端岛状区域内集中，而柱端岛状区域之外相对较小。在竖向重力荷载作用下，柱端负弯矩与跨中正弯矩的比值，远大于梁式楼盖的比值；在侧向荷载作用下，板式楼盖的内力仅限于柱端的一定区域内，且随距柱边的距离增大急剧降低。

板式楼盖与密肋梁楼盖的受力较为接近，而与普通梁格楼盖差别显著。表明用等代梁格计算板式楼盖只是一定程度上的近似。等代梁格计算结果受梁扭转刚度折减系数的取值

影响显著，折减系数不同结果差别很大。

2、本文比较了实心板式楼盖与各类空心板楼盖的受力，认为空心板楼盖仍表现为板式楼盖的受力特点，并且岛状受力特性更显著，内力更集中于柱端区域。由于空心板与实心板带之间的刚度差异，使内力相对向柱间实心板带集中，而空心板部分的内力分布相对均匀。

3、在深入分析板式楼盖受力特性的基础上，本文提出了板式楼盖设计的受力岛理论：不将板式楼盖的设计人为地纳入到梁式楼盖的体系。充分认识、并体现板式结构内力的岛状特性，并根据该项基本认识，1)确定板式楼盖合理的配筋方式；2)采取符合板式结构受力特点的、合理有效的结构优化方法。

4、根据板式楼盖实际的配筋分布特点，本文提出了板式楼盖合理的配筋方式。板顶配筋分为分受力岛区、核心加强区、跨中区，板底配筋分为实心板带区、边板区、中板区。这种配筋方式，体现了板式楼盖的受力特点，并且能有效降低配筋量，充分发挥空心板楼盖的经济技术优势。

5、本文提出加强受力岛区域的结构优化方法。加厚受力岛区域，在不影响建筑功能，在很少增加混凝土用量情况下，能全面降低楼盖各部位的配筋，并且降低配筋峰值。

6、本文最后分析了影响板式楼盖抗震性能的因素。提出加强受力岛区域以提高结构抗侧刚度。并提出加厚受力岛区域，减小混凝土受压区高度，提高受力岛区域内板的延性，从而提高结构在大震作用下的性能的技术思路。