

弹性板设计改进及梁的设计优化

在上部结构计算中，软件楼板的计算模型提供刚性板、弹性膜、弹性板 3、弹性板 6 四种计算模型。弹性膜只有面内刚度、无面外刚度；弹性板 3 只有面外刚度，面内刚度无穷大；弹性板 6 是壳单元，既有面内刚度又有面外刚度。

一、默认的平板刚性板和斜板弹性膜

1、默认的平板刚性板

软件自动将同平面的、有厚度的（厚度可以不同）、连续的水平平板合并成一个刚性板块，并采用刚性楼板假定来计算，同一层可以有多个刚性板块。

在前处理的【计算简图】菜单上，勾选“刚性板主从关系”项后，楼板位置出现一张绿色网线，他从平面质心发源，通过网线联系同层平板的所有节点。这个网表现的是一种约束，他约束了所有连接的弹性节点，使他们之间没有相对变形，整张网联系的平面只能整体地滑动和转动，如图 3.7.1 所示。通过这种网线表现刚性板是一般通用有限元软件常用的方式。

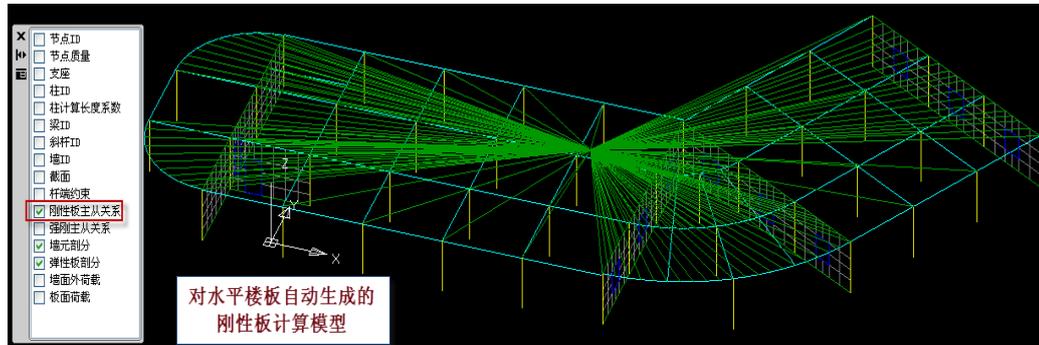


图 3.7.1 墙面外荷载定义与布置

可以看出，刚性板的计算模型只是确立了板周边节点的刚性约束关系，并无一个明确的刚性板块存在。刚性楼板的计算模型是楼板平面内刚度无限大，平面外刚度为零。

在采用刚性楼板假定进行整体分析时，每块刚性楼板在水平面内做刚体运动。除刚性板主节点外，其余每个节点的独立自由度只剩下 3 个，即绕 X、Y 方向的转角、和 Z 方向位移，而 X、Y 方向平动以及绕 Z 方向的转动由主节点自由度确定。

采用上述假设后，结构分析的自由度数大大减少，使计算过程和计算结果的分析大为简化，并在过去的大多数工程分析中采用而成为传统的设计习惯。

但是，由于假定楼板内的节点没有相对水平位移，也即楼板内的梁等杆件的轴向变形为零，因此无法得出这些构件的轴力。

全房间洞和板厚为零的楼板均不参与生成刚性楼板，软件将忽略在建模中输入的房间内的楼板开洞。

2、错层楼板生成分开的刚性板

错层结构将在不同的标高处各自生成刚性板块，软件可以自动搜索到不同标高处的楼板，各自形成刚性板块，如图 3.7.2 所示。

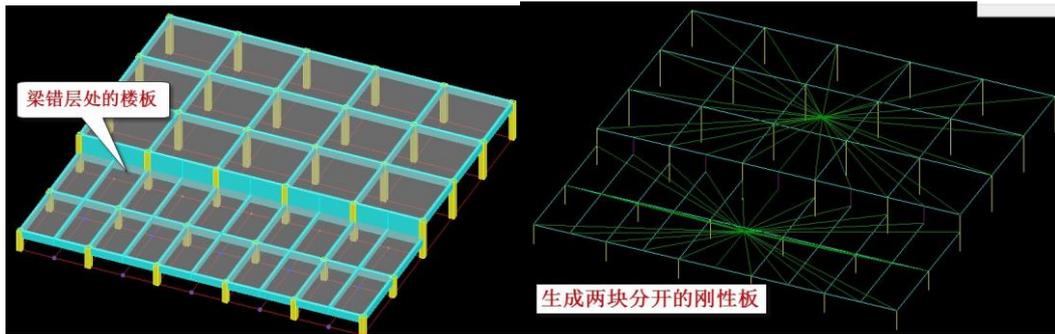


图 3.7.2 错层楼板计算模型

3、全楼刚性板假定下的计算模型

在全楼刚性板假定参数被勾选时，软件将对同一标高处的刚性板、弹性板和孤立的柱、撑部分都用刚性板假定约束，但是对于错层结构分开的楼板仍分别设置为不同的刚性板。

对于没有设置弹性板、没有孤立的柱、撑的平面，全楼刚性板假定的计算模型和默认的计算模型是相同的。

4、对坡屋面板等斜板默认设置为弹性膜

由于坡屋面、斜板等周边梁不在同一标高处，软件不可能用刚性板去约束这些梁，设置弹性膜可以有效地约束这些梁的受力，使梁的计算内力更符合实际的受力状况。没有弹性板约束的这些斜梁的内力配筋结果可能异常地大。

5、应人工设置弹性板的情况

《高规》3.4.6 条规定：“当楼板平面比较狭长、有较大的凹入和开洞而使楼板有较大削弱时，应在设计中考虑楼板削弱产生的不利影响。”第 5.1.5 条进一步规定：“当楼板会产生较明显的面内变形时，计算时应考虑楼板的的面内变形或对采用楼板面内无限刚性假定计算方法的计算结果进行适当调整。”

对于复杂楼板形状的结构工程，如楼板有效宽度较窄的环形楼面或其他有大开洞楼面、有狭长外伸段楼面、局部变窄产生薄弱连接的楼面、连体结构的狭长连接体楼面等部位，楼板面内刚度有较大削弱且不均匀，楼板的的面内变形可能会使楼层内抗侧刚度较小的构件的位移和内力加大（相对刚性楼板假定而言），计算时应考虑楼板面内变形的影响。

有时在梁的设计中需要考虑梁的轴力，当梁的周围都是刚性板时计算将得不出梁的实际轴力，这种情况下这些梁的周围必须设置成考虑板面内变形的弹性楼计算模型。

考虑温度荷载时应将楼板设置为弹性板（弹性膜或者弹性板 6，不能为弹性板 3），否则梁在温度荷载下的的伸缩变形将受到刚性板的约束，并使梁产生异常大的轴力导致计算结果不合理。

对于转换层中的梁，在设计中应考虑梁受拉力的情况。为此，用户一般应将转换层全层设置成弹性膜或弹性板 6。

二、YJK 大大提升的计算能力为弹性板 6 的扩大应用创造了条件

刚性板是一种近似计算的模型，他使结构分析的自由度数目大大减少，但这种模型忽略了楼板本身可以作为结构受力构件的能力，刚性板相当于把楼板只当做约束，而完全忽略了楼板平面外的抗弯承载能力。即便弹性膜计算模型，也把楼板平面外的抗弯承载能力忽略掉了。

弹性板 6 是壳单元，既有面内刚度又有面外刚度，这是最符合楼板实际状况的力学模型，并可发挥楼板的平面外的抗弯承载能力。弹性板 6 比刚性板模型增加计算自由度数 4 倍左右，比弹性膜、弹性板 3 的计算自由度数也增加很多。

YJK 大大提升了结构计算软件的计算能力，把软件支持的自由度数量提高了十几倍或几十倍，并极大地提高了计算速度，从而使软件的有限元计算能力得到很大提升。再配合高质量的有限元划分，为弹性板 6 的普遍应用创造了条件。

三、较厚楼板时应采用弹性板 6 计算

结构计算时对楼板较厚（如大于 150mm 时）的板应将其设置为弹性板 3（厚板单元）或者弹性板 6（壳元）计算，这是梁板共同工作的计算模型，可使梁上荷载由板和梁共同承担，从而减少梁的受力和配筋。既节约了材料，又实现强柱弱梁，改善了结构抗震性能。对于地下室顶板、转换层、加强层或承受人防荷载、消防车荷载等情况更需这样设置。

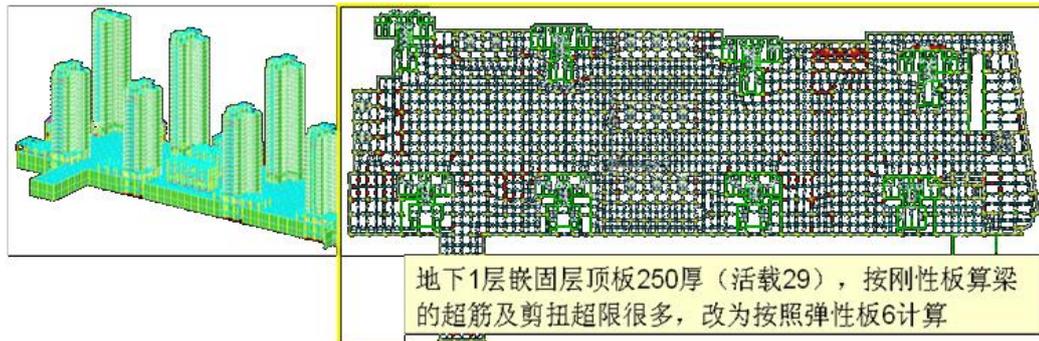


图 3.7.3 地下室顶板按弹 6 计算

如图 3.7.3 所示工程地下室 1 层顶板承受消防车荷载等楼板 250mm，以前按刚性板计算梁的超筋及抗扭超限很多，现改为按照弹性板 6 计算，旧、新算法结果对比如下：整层梁的顶部钢筋减少 54%，底部钢筋减少 22%，原来的 16 根超限梁都不再超限，如图 3.7.4 所示。

第2层梁配筋总面积 (mm ²)		YJK1	YJK2	相差 (%)
顶部		11960914	5398113	-54.9%
底部		10206416	7932871	-22.3%
箍筋		554391	399306	-28.0%
超筋梁数		16	0	
抗剪超限梁数		43	21	
剪扭超限梁数		176	52	
超限梁数		222	69	

图 3.7.4 地下室顶板按刚性板与按弹 6 计算后梁配筋结果对比

傅学怡《实用高层建筑结构设计》14 章：“不考虑实际现浇钢筋混凝土结构中梁、板互相作用的计算模式，其弊端主要有：1) 对于单独计算的板，由于忽略支座梁刚度的影响，无法正确反映板块内力的走向，容易留下安全隐患。2) 对于梁，由于忽略楼板的翼缘作用，重力荷载下往往高估梁端截面弯矩，其结果不仅仅是造成材料的浪费，更重要的是过高的框架梁支座截面受弯承载力使得水平荷载下梁端形成延性结构的可能性大为减小。”

考虑楼板翼缘的作用，可实现强梁弱柱的设计效果，有利于抗震，同时明显降低造价。另一方面，对按照弹性板 3 或弹性板 6 计算的楼板，应在楼板计算时考虑梁的弹性变形。

四、考虑弹性板和梁之间的竖向偏心

1、计算模型

对于弹性板和梁之间的连接计算，也可以考虑弹性板和梁之间的竖向偏心。YJK 设置参数“弹性板与梁协调时考虑梁向下相对偏移”，如图 3.7.5 所示。勾选此参数后，在计算简图的弹性板单元和梁单元之间也画出红色短线示意它们之间的竖向偏心。

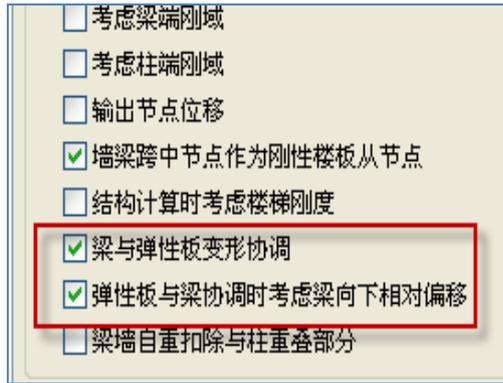


图 3.7.5 弹性板与梁协调时考虑梁向下相对偏移

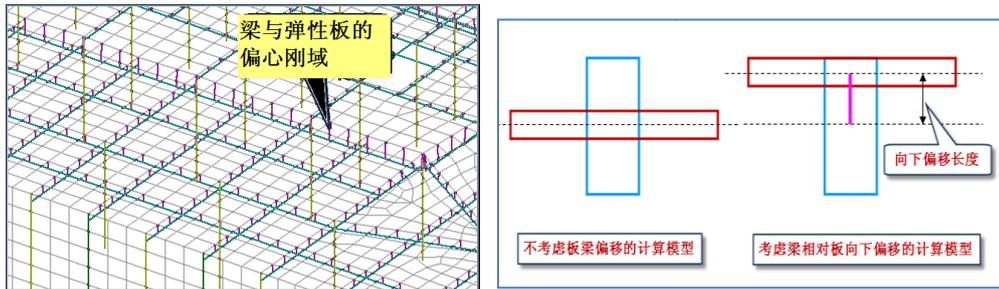


图 3.7.6 弹性板与梁协调时考虑梁向下相对偏移时的计算模型

图 3.7.6 为是否考虑梁和弹性板之间的偏心的计算模型对比。

右侧计算模型的抗弯刚度显然比左侧模型大很多，此时楼板对梁的帮助更大。大量工程实例表明，右侧计算模型可使梁的支座弯矩和配筋明显减少。

2、计算结果主要特点

(1) 梁配筋减少显著

傅学怡《实用高层建筑结构设计》14 章介绍了他们做的“重力荷载下钢筋混凝土整浇楼盖工作性能”课题的研究成果，其中特别用实体单元模拟梁、板、柱计算，就是为了表现板和梁实际的位置关系。课题主要结论是：“这种计算模型下，梁支座弯矩大幅下降，且存在较大轴压力，可按偏心受压配筋，配筋可大幅度下降（折减系数 50-70%），这不仅节省钢筋，还利于梁端塑性铰的形成。梁跨中受拉，按偏心受拉配筋，配筋量稍小（80-90%）。”

(2) 用户设置的梁刚度放大系数不再起作用

设置弹性板 6、且考虑梁向下相对偏移后，用户设置的梁的刚度放大系数将不再起作用（放大系数取 1）。

(3) 梁按拉弯或者压弯计算配筋

设置弹性板 6、且考虑弹性板和梁之间的竖向偏心时，软件对梁的设计可自动考虑梁的拉、压轴力状况，并按拉弯或者压弯构件计算梁的配筋。

(4) 弹性板配筋按拉弯或者压弯配筋

设置弹性板 6、且考虑弹性板和梁之间的竖向偏心时，弹性楼板的配筋不仅考虑弯矩的作用，还考虑板单元受到的拉力或压力的作用，按拉弯或者压弯构件计算板的配筋。

五、设置地震内力按全楼弹性板 6 计算选项

在【计算参数】的【计算控制信息】中设置参数“地震内力按全楼弹性板 6 计算”，如图 3.7.7 所示。

如果保持竖向的恒、活荷载仍驻留在弹性板上，则通过弹性板的有限元计算不仅得到板的内力配筋，还将荷载导算到周边的杆件上，而且这种导算不像以前的楼板导荷方式那样只将板上荷载传给周边的梁和墙，还同时可将荷载传导给柱。我们在后文中称这种楼板导荷方式为“有限元计算”方式。

2、上部结构计算中同时进行弹性楼板设计的改进

在【计算控制信息】中增加参数“弹性板荷载计算方式”，包含两个选项：平面导荷和有限元计算，如图 3.7.8 所示。

平面导荷方式就是以前的处理方式，作用在各房间楼板上恒、活面荷载被导算到了房间周边的梁或者墙上，在上部结构的考虑弹性板的计算中，弹性板上已经没有作用竖向荷载，起作用的仅是弹性板的面内刚度和面外刚度，因此也得出弹性楼板本身的配筋计算结果。



图 3.7.8 弹性板荷载计算方式

有限元方式是在上部结构计算时，恒、活面荷载直接作用在弹性楼板上，不被导算到周边的梁、墙上，板上的荷载是通过板的有限元计算才能导算到周边杆件。

选择弹性板荷载有限元方式后，计算简图上可见弹性板上的竖向荷载分布，如图 3.7.9 所示。

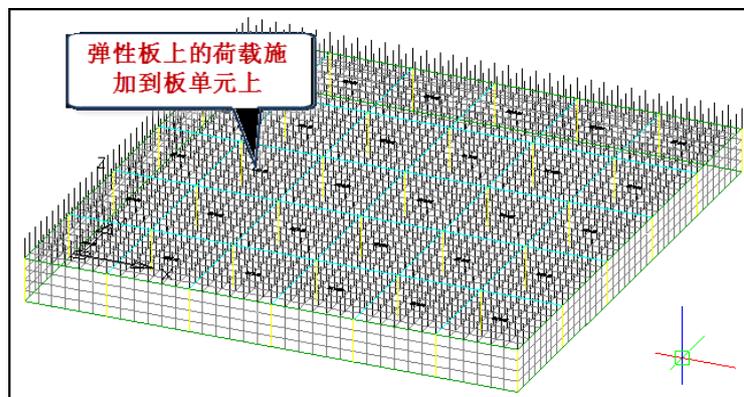


图 3.7.9 有限元方式计算模型

这样的工作方式与第一种方式相比有几个主要变化：

- (1) 经有限元计算板上荷载不仅传到周边梁、墙，部分荷载直接通过板传给柱，换句

话说，梁承受的荷载将减少；

(2) 平面导荷方式传给周边梁、墙的荷载只有竖向荷载，没有弯矩。而有限元计算方式传给梁、墙的不仅有竖向荷载，还有墙的面外弯矩和梁的扭矩，对于边梁或边墙这种弯矩和扭矩常是不应忽略的；

(3) 弹性板既参与了恒、活竖向荷载计算，又参与了风、地震等水平荷载的计算，计算结果可以直接得出弹性板本身的配筋；

(4) 和在【板施工图】菜单下的楼板配筋计算相比，这里弹性板的配筋不仅考虑了风、地震等水平荷载的计算，还考虑了结构的整体变形，包括各层的累积变形、墙柱竖向构件的变形等；

(5) 对于不仅承受本层荷载，还需承受上层荷载的楼板，只能用这种方式计算，如厚板转换层结构，因为只有经过整体有限元计算上层荷载才能传到本层楼板。

有限元方式适用于无梁楼盖、厚板转换等结构，可在上部结构计算结果中同时得出板的配筋，在【等值线】菜单下查看弹性板的各种内力和配筋结果。注意为了查看等值线结果，在计算参数的结构总体信息中还应勾选参数“生成绘等值线用数据”。

有限元方式仅适用于定义为弹性板 3 或者弹性板 6 的楼板，不适合弹性膜或者刚性板的计算。

3、边墙、边梁的面外弯矩增加

平面导荷方式传给周边梁墙的荷载只有竖向荷载，没有弯矩。而有限元计算方式传给梁墙的不仅有竖向荷载，还有墙的面外弯矩和梁的扭矩。对于边梁或边墙，这种弯矩和扭矩常是不应忽略的。

图 3.7.10 所示为上有覆土的水池，其顶板为无梁楼盖结构，池壁按剪力墙输入。

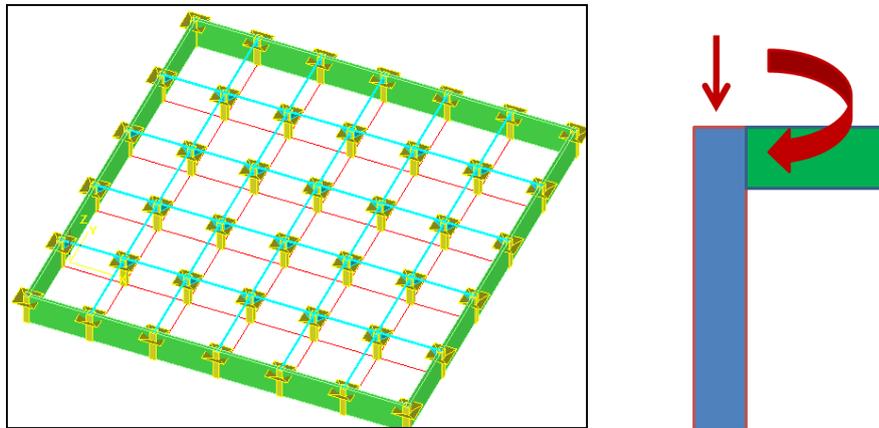


图 3.7.10 边墙、边梁的面外弯矩

对无梁楼盖弹性板按照传统的导荷方式和有限元方式分别计算并对比水池墙的面外弯矩如图 3.7.11 所示。可以看出，有限元方式在本例中可使边墙的面外弯矩增大近一倍，说明在板较厚时这种面外弯矩不应忽略；而传统的导荷方式不能考虑这种面外弯矩，会使得墙肢面外弯矩比实际情况偏小，不利于结构安全。

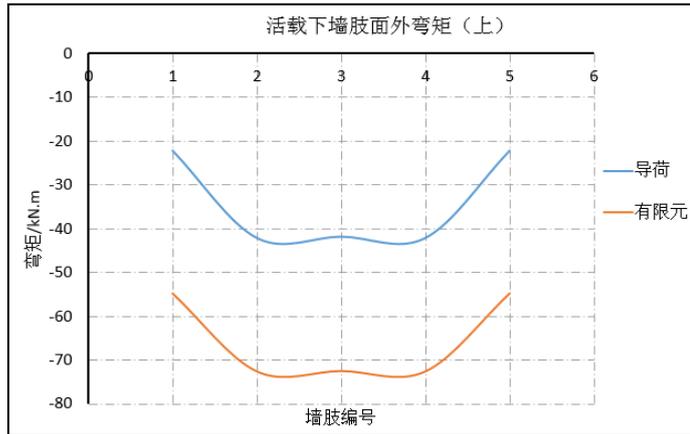


图 3.7.11 平面导荷与有限元计算下墙肢面外弯矩对比

4、弹性板的配筋计算结果

图 3.7.12 为某无梁楼盖层在平面导荷方式（左）和有限元导荷方式（右）下，弹性板在恒载作用下的 M_{xx} 弯矩，可以看出在平面导荷方式下弹性板的受力不能反映在竖向荷载下的作用效果。

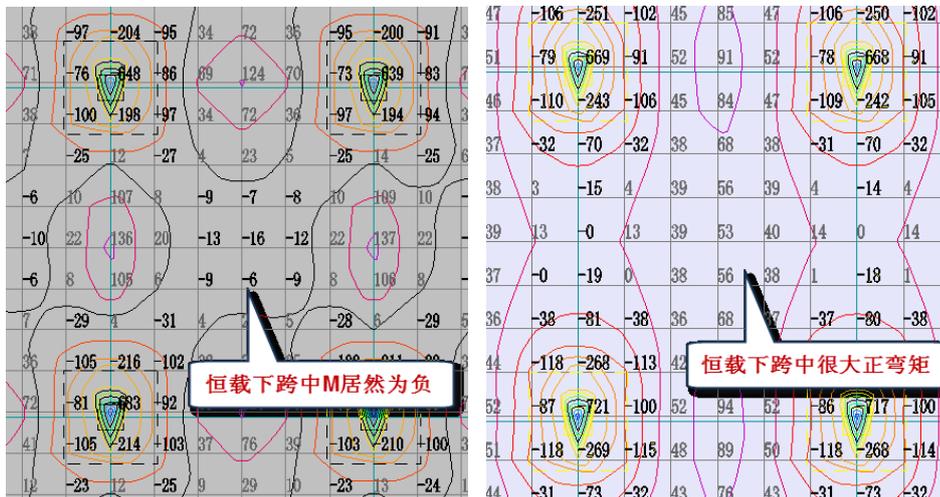


图 3.7.12 平面导荷与有限元计算下楼板内力对比

图 3.7.13 为 YJK 计算结果中的弹性板变形图，第一张为平面导荷方式的计算结果，可见最大竖向变形出现在柱之间的梁的位置，板跨中的变形相对小，这显然不符合实际情况。第二张为有限元导荷方式的计算结果，可见板的跨中位置竖向变形最大。

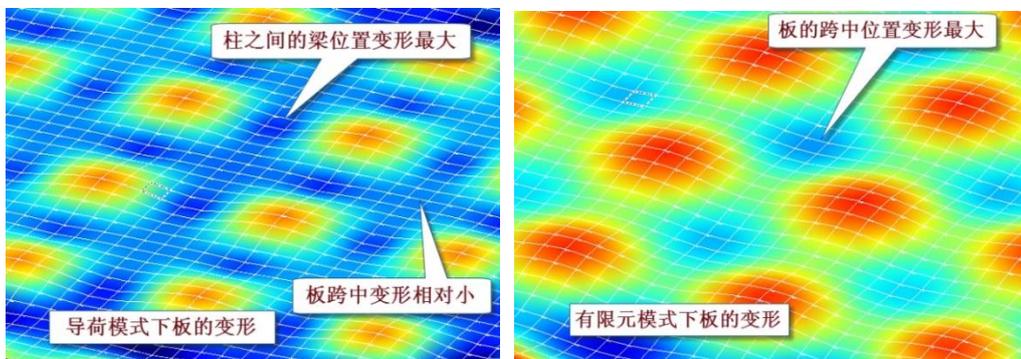


图 3.7.13 平面导荷与有限元计算下楼板变形图

在【设计结果】的【等值线】菜单下，可以查到弹性板的配筋，图 3.7.14 是按照有限元方式计算出的弹性楼板 X 向底部配筋图。

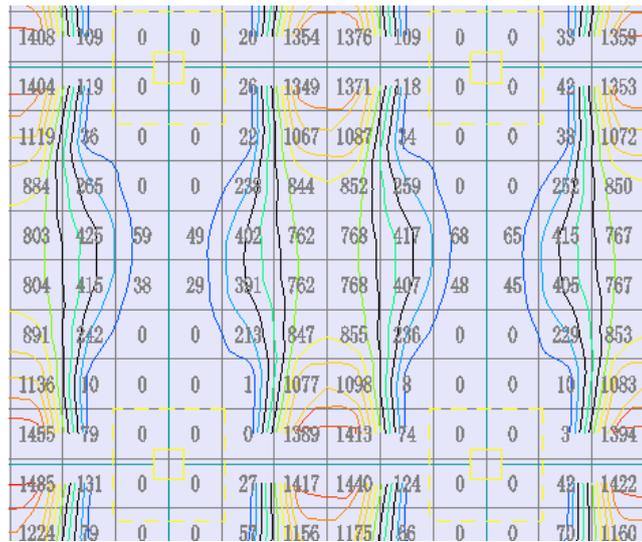


图 3.7.14 等值线中楼板单元配筋图

注意这里对弹性板的计算是三维的计算，不但求出板的弯矩，还可求出板的轴力。当考虑梁板协调工作时，必须按板实际承受的轴力设计，因此这里给出的楼板配筋是按照对每一个单元偏拉或者偏压计算得出的配筋。

5、考虑楼梯的计算后可给出梯板平台板配筋

上部结构计算中选择考虑楼梯时，软件在作楼梯有限元计算时，楼梯荷载直接加载到各个单元上。软件计算出这些楼梯单元的恒、活、风、地震等工况内力后进行内力组合，最终可给出梯板平台板配筋。

6、楼板配筋考虑温度荷载时必须采用这种计算模式

板施工图中的楼板配筋不能考虑温度荷载的影响，楼板配筋需要考虑温度荷载的影响时就应按照本节所讲的模式计算，即对楼板设置为弹性板 6（不能设置为弹性板 3），对计算控制信息中的弹性板荷载计算方式选择“有限元计算”。

七、结构错层处梁板的合理计算模型

错层结构非常普遍，合理的建模方式是对错层部分用上节点高来整体控制错层部分的层高，在高低跨衔接处，调整梁一端的高差实现梁的水平放置，如图 3.7.15 所示。

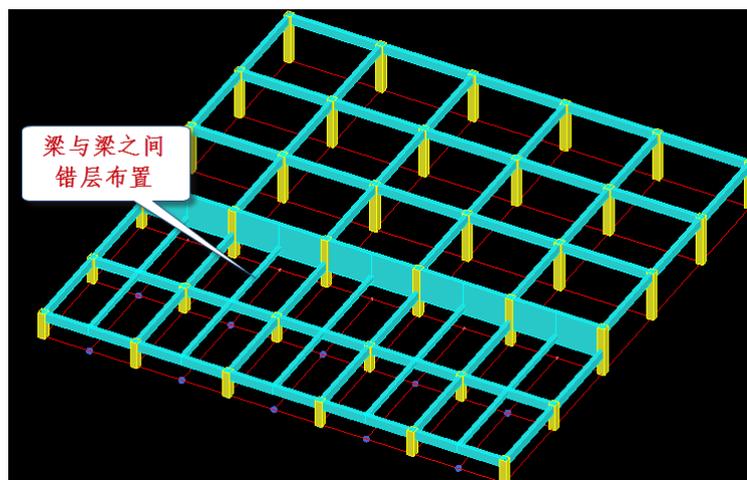


图 3.7.15 错层结构建模

1、错层结构处楼板计算模型的改进

以前软件对错层结构处理的主要缺陷有两个：

(1) 将错层高低跨梁相交处的梁在计算模型中当作了斜梁计算，如图 3.7.16 所示，斜梁的计算模型会使梁产生不应有的很大轴向力，导致不应有的梁配筋过大或者超筋。

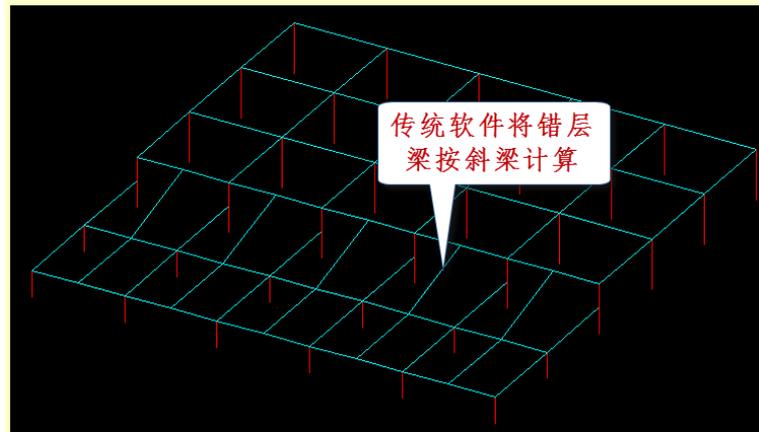


图 3.7.16 错层结构次梁被拉斜

(2) 错层处丢失楼板的连接。由于错层处的房间周边梁不能共面，常导致这里楼板不能正常生成。在刚性板计算模型下，刚性板的约束在错层低跨处丢失；在弹性板计算模型下，错层低跨处房间也不能生成弹性楼板，如图 3.7.17 所示。这种楼板约束的丢失常使错层处梁柱结构的内力配筋出现异常。

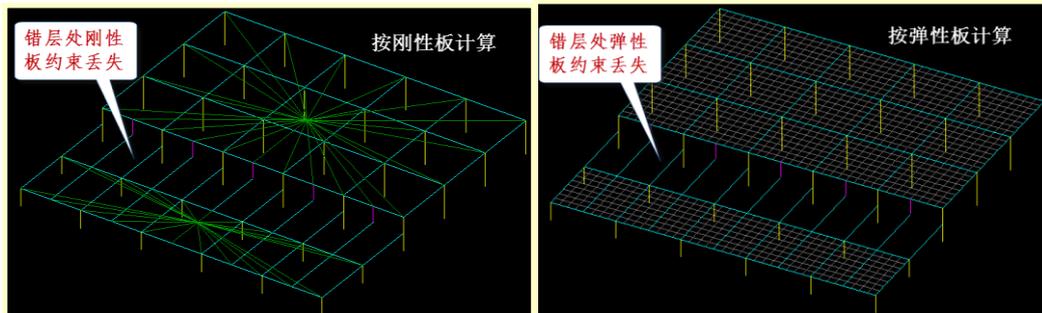


图 3.7.17 错层交接部位计算模型中部分楼板丢失

YJK 的改进是：

(1) 错层高低跨梁相交处的梁在计算模型中仍保持水平梁的状态，他们之间由刚性连接相连，如图 3.7.18 所示。这种计算模型避免了梁产生不应有的轴力，避免了错层梁配筋过大的异常现象。

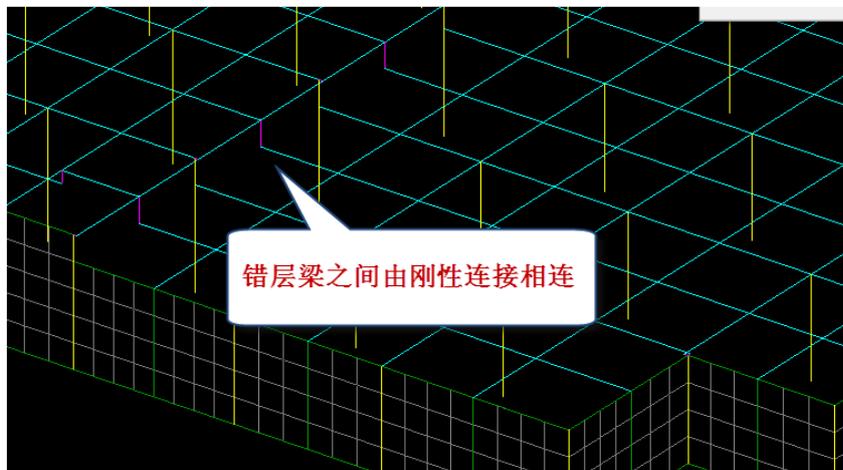


图 3.7.18 错层交接部位梁计算模型

(2) 采取措施使错层处的楼板不丢失。对建模中错层处自动生成的楼板智能地放置到合理的高度,用户可在自动生成楼板后查看,对个别位置不对的楼板通过输入楼板错层值调整。

在计算简图上可以看出,刚性板模型下错层处的刚性连接连接到错层处的所有杆件,如图 3.7.19 所示,弹性板模型下错层低跨处的房间弹性板不丢失,如图 3.7.20 所示。

这样的计算模型避免了以前常出现的错层处构件内力配筋异常现象。

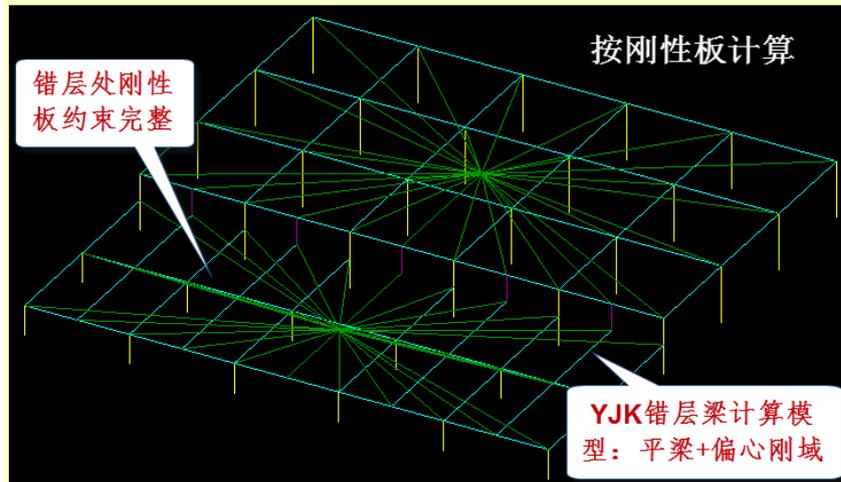


图 3.7.19 错层交接部位刚性板下计算模型

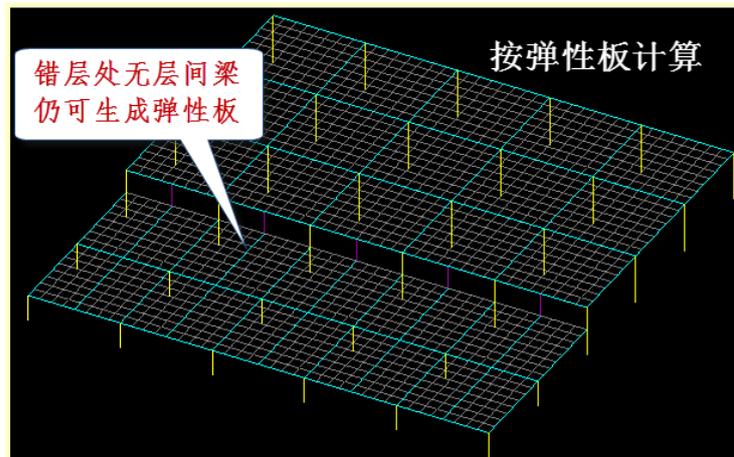


图 3.7.20 错层交接部位弹性板下计算模型

2、错层结构常见超限问题的解决方案

错层结构常见超限问题的解决方案是——错层处楼板应使用弹性膜。

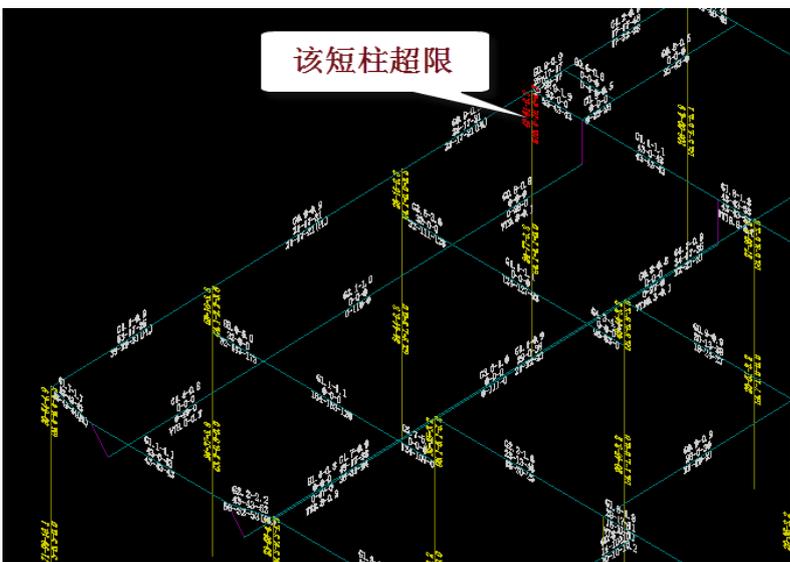
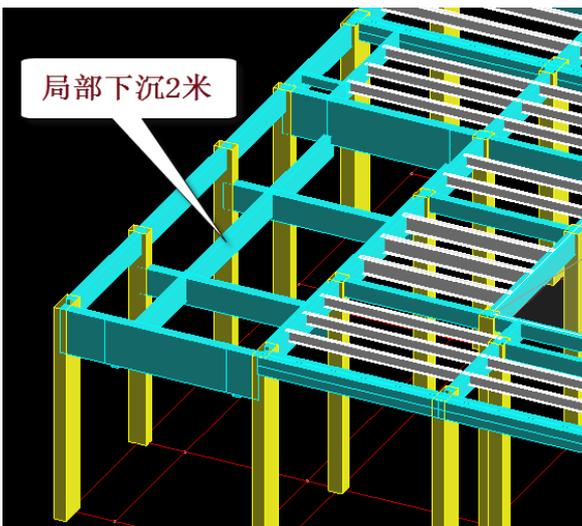
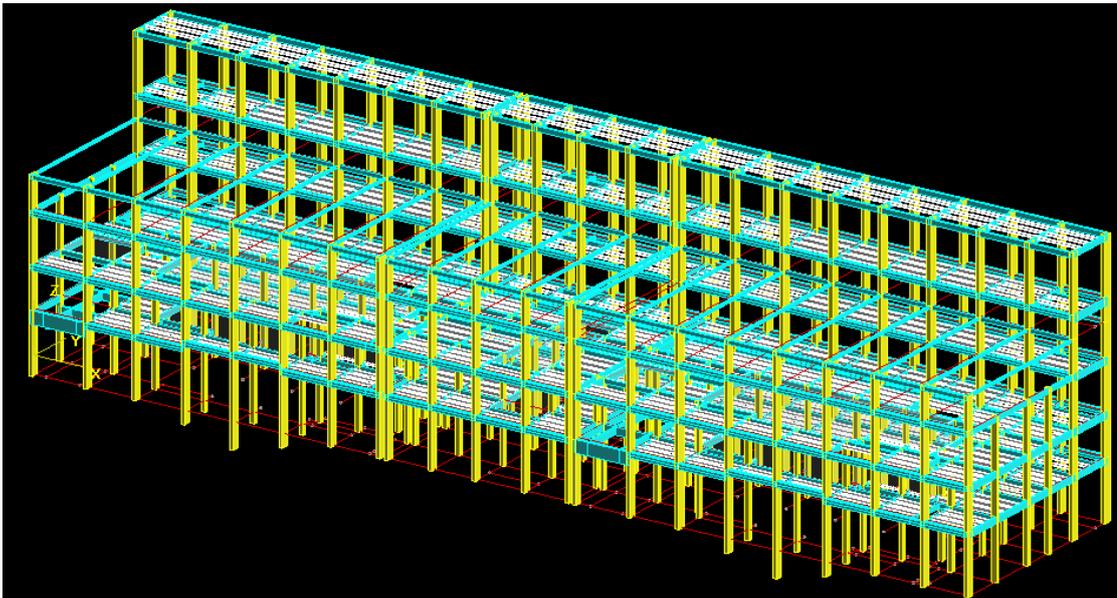
上部结构计算中,软件对于水平的楼板自动按照默认的刚性板计算。当楼板出现错层时,软件默认按照竖向错开的两块或者多块刚性板计算,这种相距过近的刚性板容易导致应力集中、导致某些构件的内力异常现象。

为了避免错层结构的计算异常,可把存在错层楼板的楼层设置为全部或者局部弹性板,至少设置为弹性膜,设置弹性板将增加计算工作量,按照现在 YJK 的计算能力,这种计算量的增加对计算效率的影响很小。

当错层结构出现某些构件超限时,可首先采取的措施就是将超限构件周边的楼板设置为弹性膜或者其他类型的弹性板。

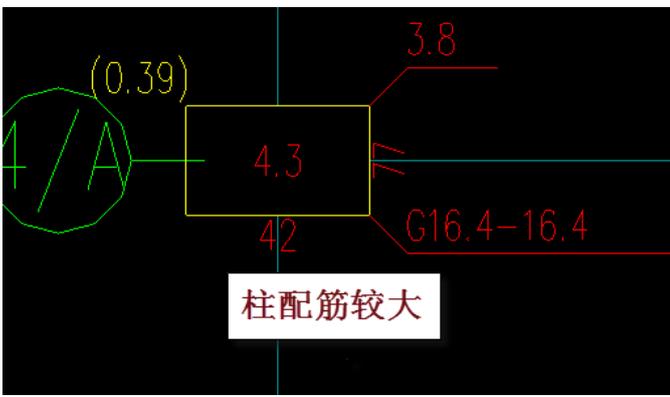
以下为一个错层结构的常出现的典型问题。

用户问题：第一层中左侧局部梁降标高 2m，造成相连的三根柱计算结果超限，什么原因？



N-C=125 (I=1000231, J=1000004)(1)B*H(mm)=1000*600									
Cover= 25(mm) Cx=1.00 Cy=1.00 Lcx=12.10(m) Lcy=12.10(m) Nfc=1 Nfc_gz=1 Rcc=50.0 F									
砼柱 矩形									
livec=1.000 brc=1.250									
$\eta_{\mu}=1.700 \quad \eta_{\nu\mu}=2.581 \quad \eta_{md}=1.700 \quad \eta_{\nu d}=2.581$									
$\lambda_c=6.352$									
(77)Nu=	-5282.6	Uc=	0.38	Rs=	2.56(%)	Rsv=	3.56(%)	Asc=	380
(82)N=	-2269.4	Mx=	1467.3	My=	200.8	Asxt=	4135	Asxt0=	4135
(80)N=	-2094.9	Mx=	682.3	My=	1027.3	Asyt=	1561	Asyt0=	433
(1)N=	-2733.1	Mx=	-10.8	My=	-60.4	Asxb=	2349	Asxb0=	0
(80)N=	-2108.0	Mx=	228.1	My=	-3334.0	Asyb=	6086	Asyb0=	6086
(80)N=	-2122.5	Vx=	-3309.5	Vy=	356.3	Ts=	-0.9	Asvx=	944
(80)N=	-2122.5	Vx=	-3309.5	Vy=	356.3	Ts=	-0.9	Asvy=	1633
节点核心区设计结果:									
(77) N=	-2817.6	Vjx=	-827.9	Asvjx=	344.0	Asvjxcal=	0.0		
(78) N=	-2169.0	Vjy=	2595.7	Asvjy=	421.7	Asvjycal=	421.7		
** (组合号:80)	截面不满足抗剪要求 $V/h/b=5.82>1/\gamma_{re}*0.20*\beta_c*f_c=5.44$								
** (组合号:80)	截面不满足抗剪要求 $V/h/b=5.82>1/\gamma_{re}*0.20*\beta_c*f_c=5.44$								
** (组合号:80)	截面不满足抗剪要求 $V/b/h=6.02>1/\gamma_{re}*0.20*\beta_c*f_c=5.44$								
** (组合号:80)	截面不满足抗剪要求 $V/b/h=6.02>1/\gamma_{re}*0.20*\beta_c*f_c=5.44$								

剪力太大抗剪超限

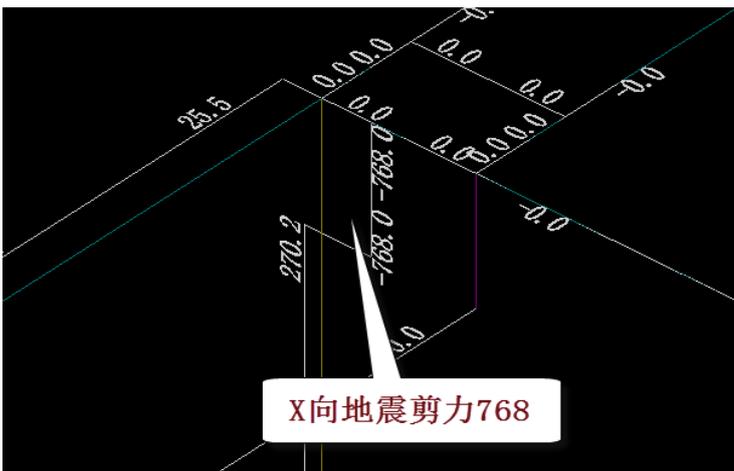


错层处的柱抗剪超限，查看该柱的构件信息，可见 X 向组合剪力达到 3309kn，截面不满足抗剪要求。查看 X 向地震的单工况剪力，该柱剪力突变，达到 768kn。

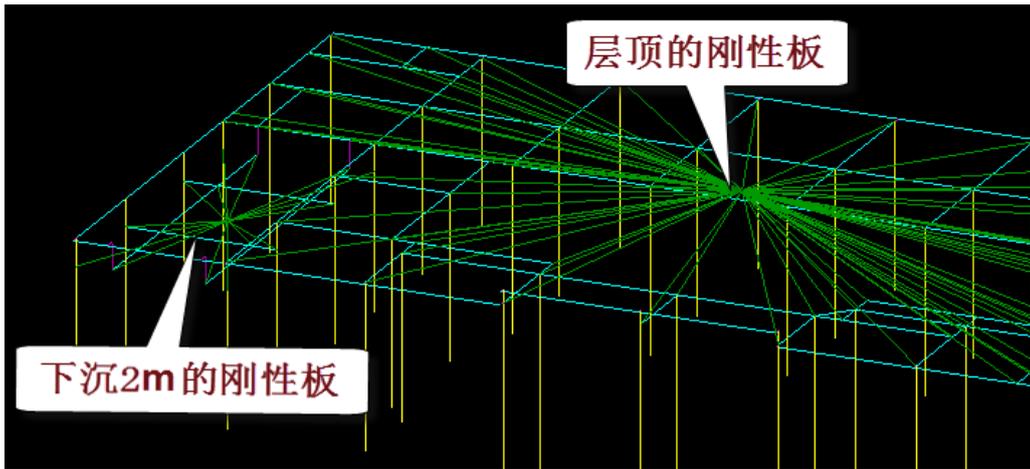
该柱的纵向配筋也较大。

下面查找问题原因。

YJK 错层处短柱抗剪超限，经查 X 向地震剪力达到将近 800，出现突变增大，而相邻柱的剪力在 100-200。

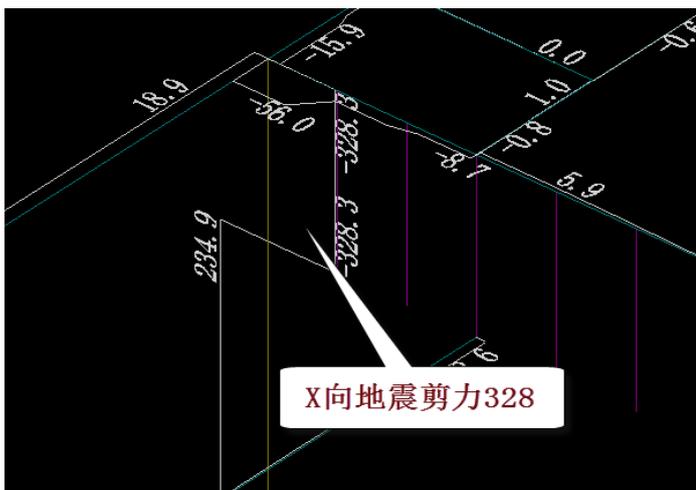
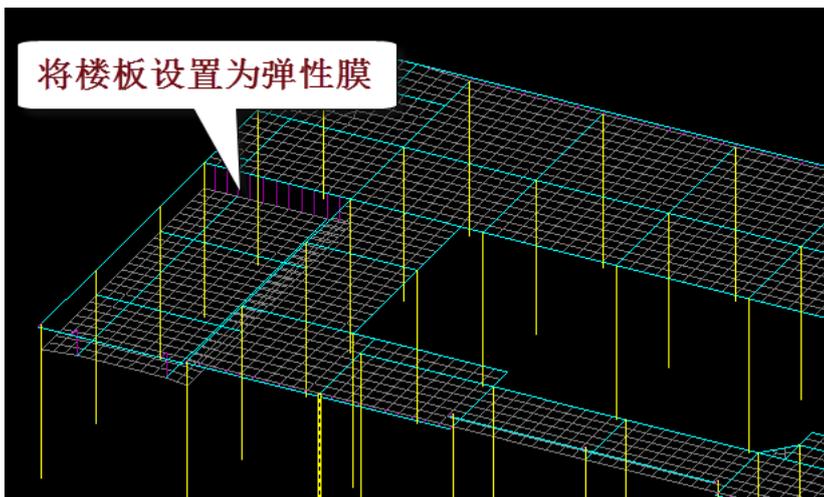


剪力出现突变增大的原因是错层高低跨处按照默认的刚性板计算，由于上下两块刚性板作用，容易发生短柱的剪力突变。



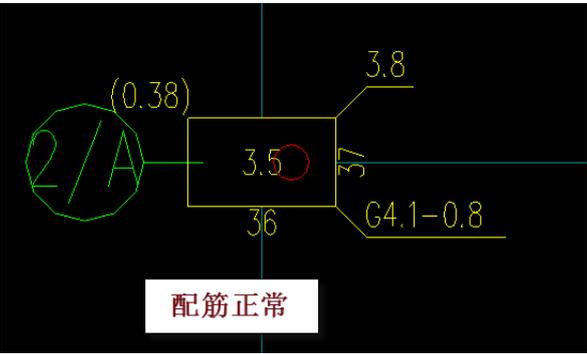
解决方案是将这里的楼板设置为弹性膜，本例设为弹性膜再计算后，错层处短柱剪力降为 328，X 向组合剪力从 3309 降低到 1560，不到原来的一半，不再抗剪超限。该柱的纵向配筋也大大较少。

错层处刚性板模型容易剪力突变，解决方案为把楼板设置为弹性膜，这是一个典型常见问题。



N-C=125 (I=1000231, J=1000004) (1)B*H(mm)=1000*600									
Cover= 25(mm) Cx=1.00 Cy=1.00 Lcx=12.10(m) Lcy=12.10(m) Nfc=1 Nfc_gz=1 Rco									
砼柱 矩形									
livec=1.000 brc=1.250									
$\eta_{\mu u}=1.700$ $\eta_{\nu u}=2.581$ $\eta_{md}=1.700$									
$\lambda_c=6.352$									
(77)Nu=	-5155.5	Uc=	0.37	Rs=	1.91(%)	Rsv=	1.20(%)	Asc=	380
(82)N=	-2344.0	Mx=	864.5	My=	83.1	Asxt=	2609	Asxt0=	
(1)N=	-2730.6	Mx=	42.4	My=	122.9	Asyt=	1561	Asyt0=	
(83)N=	-4352.9	Mx=	-614.7	My=	90.9	Asxb=	2349	Asxb0=	
(80)N=	-2216.9	Mx=	-249.0	My=	-2574.9	Asyb=	4130	Asyb0=	
(77)N=	-5111.9	Vx=	1560.8	Vy=	-94.9	Ts=	51.8	Asvx=	37
(77)N=	-5111.9	Vx=	1560.8	Vy=	-94.9	Ts=	51.8	Asvy=	59
节点核心区设计结果:									
(77) N=	-2821.5	Vjx=	-1312.7	Asvjx=	344.0	Asvjxcal=	0.0		
(78) N=	-2165.4	Vjy=	2505.5	Asvjy=	396.0	Asvjycal=	396.0		
抗剪承载力: CB_XF= 651.60 CB_YF= 266.25									

剪力大幅减少不再超限



八、改进不共面斜楼板的弹性板计算

上部结构计算时，软件对于斜的楼板自动按照弹性膜计算，但是一般软件不能考虑不共面的斜楼板，软件不能对不共面的斜板划分单元，而把这样的楼板丢掉，这可能对结构计算造成较大的误差，对于和不共面相连的梁的计算误差也比较大。

YJK 可对不共面程度较轻的斜板仍进行单元划分，从而在结构计算时考虑到这样斜板的作用，避免结构计算较大的误差，并改进了与这种不共面板相连的梁的计算结果。

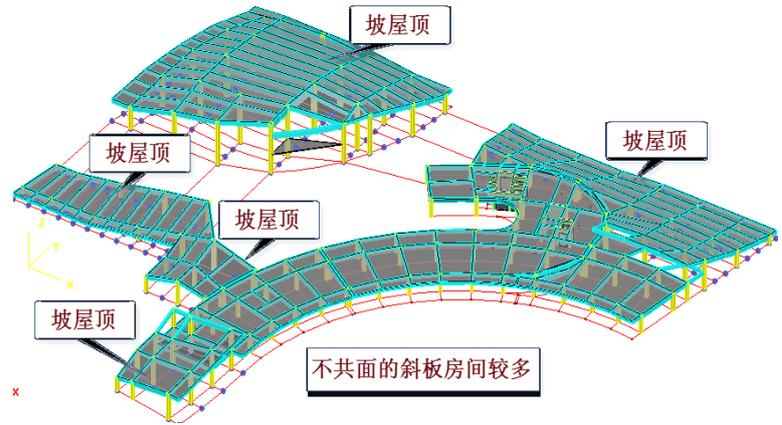


图 3.7.21 不共面板工程实例

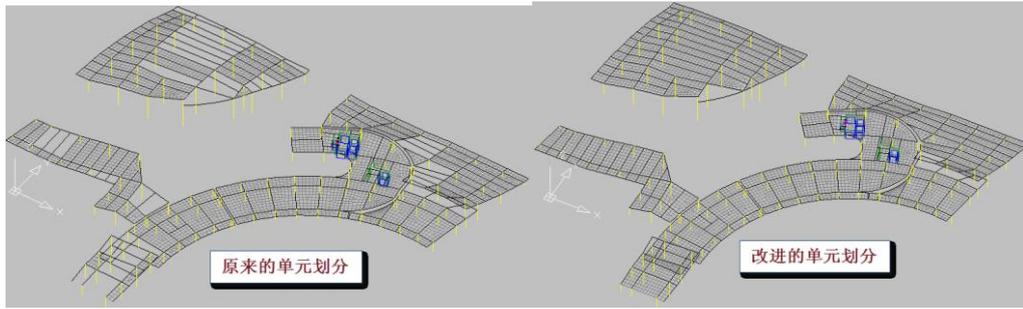


图 3.7.22 不共面房间弹性板丢失

图 3.7.21 所示工程，原来的单元划分是指用其他结构计算软件进行的弹性板单元划分，可见有很多房间没有划分单元呈现空洞状态，说明该处的楼板丢失了，如图 3.7.22 所示。丢失的原因是这些房间周边构件不共面。在配筋结果下，可以看到这些丢失了弹性板的房间周边梁的配筋比其他房间大很多，如图 3.7.23 所示。

改进的单元划分是 YJK 改进的单元划分，YJK 对不共面的斜板尽量用弹性板单元连接，可见原来呈现空洞的房间都正常进行了单元划分。有了弹性板连接的梁的内力和配筋都很正常，如图 3.7.24、3.7.25 所示。本工程丢失了弹性板空洞房间梁的配筋增大了 20%~50%。这也说明，对于坡屋面等斜楼板，弹性膜起的作用不可忽略。

13-9-32 14-23-16 VT4.5-0.2	60.2-1.5	51-9-11 16-19-12 VT4.0-0.2	20-9-19 13-17-12
65-43-2617 VT14.5-0.4	G1.3-1.0 72-0-79 8-83-8	62.8-2.560 0-0-27 74-47-2617 VT18.1-0.5	G1.0-0.8 85-0-9 27-7-6
53-62-64 VT14.5-0.4	G1.3-0.9 70-0-74 8-86-8	60.8-0.8 0-0-0 57-70-73 VT18.5-0.3	G0.9-0.8 87-0-9 28-7-7
31-37-50 VT6.7-0.2	G1.3-0.9 54-12-58 31-88-33	63.0-2.7 69-20-20 34-37-40-57 VT8.5-0.3	G1.1-0.7 60-11-15 33-17-15
51-38-3 VT6.1-0.2	G1.3-1.0 70-0-71 8-88-8	60.8-0.8 0-0-0 54-55-54	G1.0-0.8 89-0-7 30-8-7
51-52-51 VT6.1-0.2	G1.3-1.0 70-0-71 8-88-8	60.8-0.8 0-0-0 54-55-54	G1.0-0.8 90-0-7 31-9-7

图 3.7.23 不共面房间弹性板丢失下梁配筋结果

12-9-39 12-16-19 VT10.0-0.5	60.6-1.8	39-9-14 19-16-12 VT10.8-0.5	20-9-24 12-16-12
51-34-2617 VT8.5-0.2	G1.2-1.1 42-8-50 10-45-8 VT7.4-0.2	61.7-1.460 0-0-28 56-37-2617 VT8.7-0.3	G0.7-0.6 71-0-10 17-10-6
48-53-54 VT5.7-0.2	G1.0-0.8 61-0-63 8-67-8	60.8-0.8 20-20-20 51-58-59 VT8.7-0.3	G0.8-0.7 79-0-9 23-8-7
31-33-47 VT4.8-0.1	G1.4-0.8 55-12-59 31-77-33	61.7-1.460 0-0-28 56-37-2617 VT8.7-0.3	G1.2-0.8 60-11-15 33-18-15
46-35-29 VT5.7-0.2	G1.0-0.7 60-0-62 8-74-8	62.4-2.0 20-20-61 48-36-32 VT7.7-0.2	G0.8-0.7 82-0-7 25-8-7

图 3.7.24 不共面房间弹性板未丢失下梁配筋结果

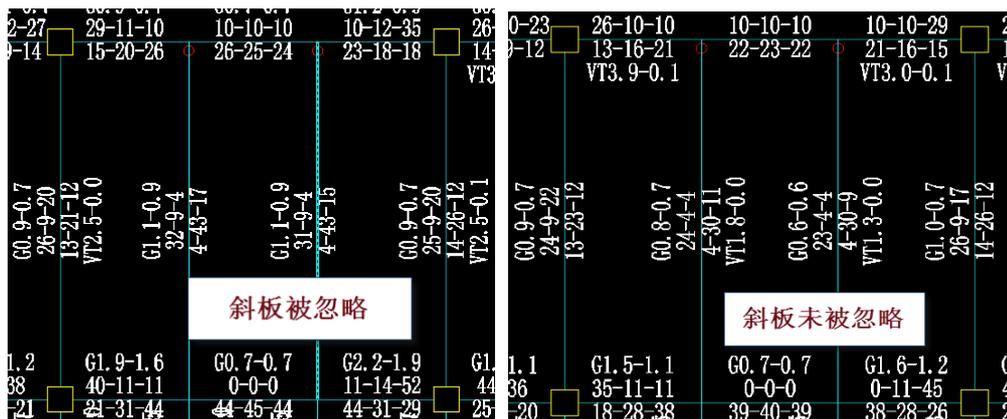


图 3.7.25 不共面房间弹性板丢失与否梁配筋结果

九、使用蒙皮结构补充层间楼板等的计算

在建模的【空间结构】菜单下，用户可以交互操作生成蒙皮。蒙皮有两个作用，一个是对布置在其上的各种荷载工况进行自动导荷，二是蒙皮本身可具有刚度并作为结构构件进行本身的设计计算。如果需要蒙皮的第二种作用，就必须给蒙皮赋值材料属性。

对于软件不能自动生成的楼板，用户可以在建模的【空间结构】菜单下，通过生成蒙皮来手动生成需要的楼板。蒙皮可在空间结构杆件或者参照楼层的杆件上生成，再通过蒙皮材料菜单给他赋值材料属性，如图 3.7.26 所示，软件对赋值了材料属性的蒙皮将自动划分单元并进行有限元计算。



图 3.7.26 蒙皮材料

软件对每个结构层只能自动生成一层的楼板，在同一标准层内目前不可能生成重叠的楼板。如图 3.7.27 所示，该层层顶处已经自动生成楼板，而层中间位置由层间梁也形成了封闭的房间，但软件不可能生成由层间梁围成的楼板。

可由人工使用蒙皮补充生成这种层中间位置的楼板。在空间结构菜单下，使用该层作为参照楼层，并用层间梁生成蒙皮，再用蒙皮材料菜单对该蒙皮赋值 150mm 厚度、混凝土材料、C40 强度等级，如图 3.7.28 所示。

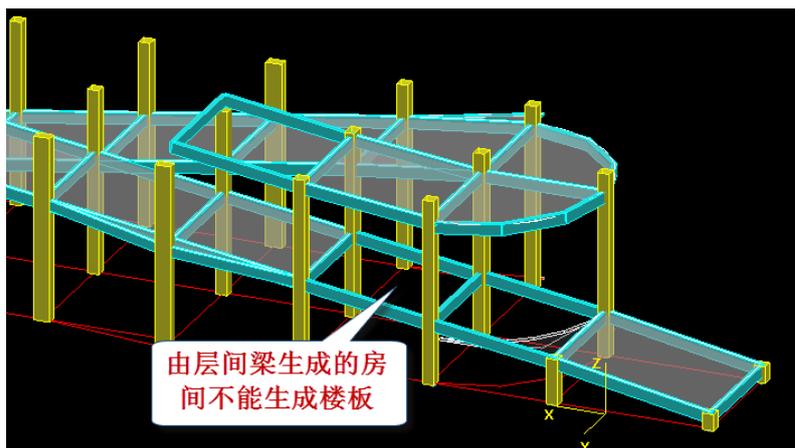


图 3.7.27 层间梁生成的房间不能生成楼板

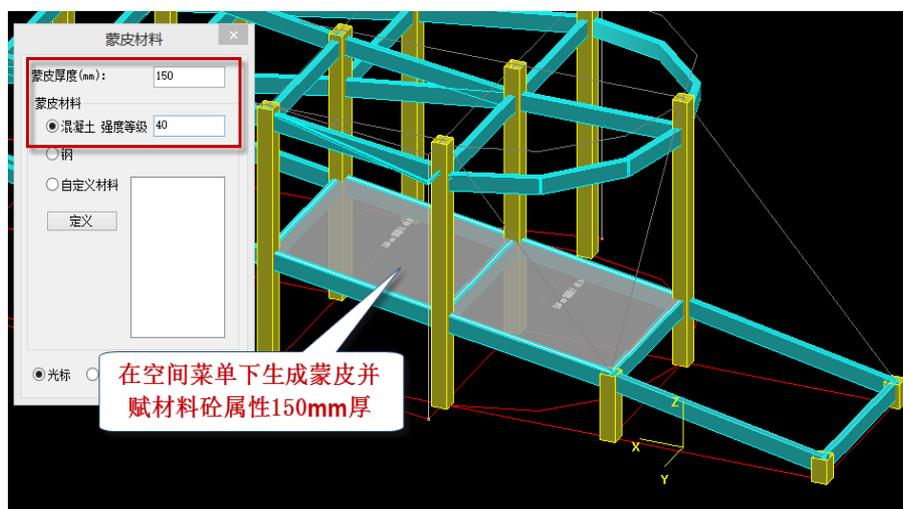


图 3.7.28 用蒙皮生成层间梁围成的房间楼板

十、设置弹性板的局部坐标系

板单元计算结果的内力、配筋方向是按照该板局部坐标系指定的方向输出的。在整体模型有限元分析时，软件对弹性板计算的局部坐标系的取用是：平楼板时按照整体坐标系的 X、Y、Z 方向；斜楼板时取斜板的局部坐标系，按照随机取到的斜板的第一条斜边设定为该斜板 X 坐标的方向。由于这种随机性导致相邻斜板、甚至相同斜度的斜板局部坐标系不同，导致计算结果给出的 X、Y 方向结果和用户预期不同。

图 3.7.29 为一个景观造型，外径 16m，圆环内部放水景，上面设置一平台可以走人，三根柱子支撑。除了柱间和圆环底部设置大梁之外，其余位置均采用虚梁建模搭成与实际相近的空间造型。全楼弹性板 6 计算，并可在计算结果中查看弹性板的等值线配筋结果。

用户问题是：如果用户不去修改软件设置的局部坐标，则在板单元计算结果显示中，三个内力相同的支座处和三个跨中处，每个单元的 X、Y 两向板配筋显示不同，局部坐标系如图 3.7.30 所示。

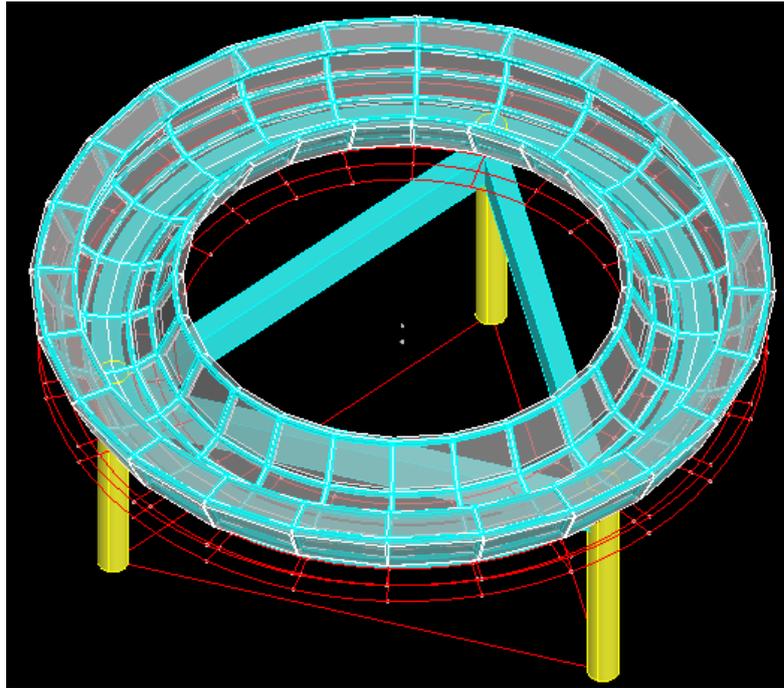


图 3.7.29 工程实例

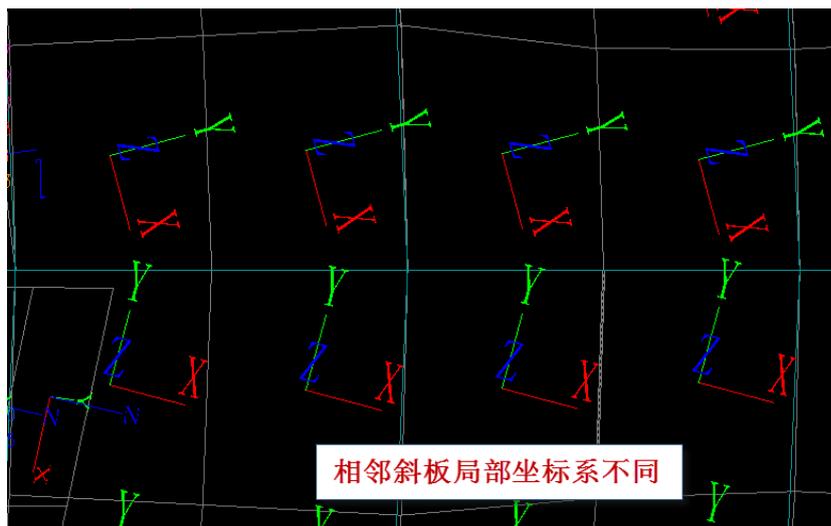


图 3.7.30 弹性板局部坐标系

在【前处理及计算】-【板属性】菜单下，设置了【局部坐标系】菜单，可由用户修改软件默认设置的局部坐标系，如图 3.7.31 所示。 X' 、 Y' 即为局部坐标的方向，一般可通过对话框上的“拾取”按钮，用鼠标点取图形中的两点来拾取坐标系方向。对于斜板，软件支持切换到三维显示进行操作。其中 Y' 轴在拾取过程中不要求一定与 X' 轴垂直，软件会自动进行正交化处理，并根据 X' 、 Y' 轴按右手系确定 Z' （板法向）方向。

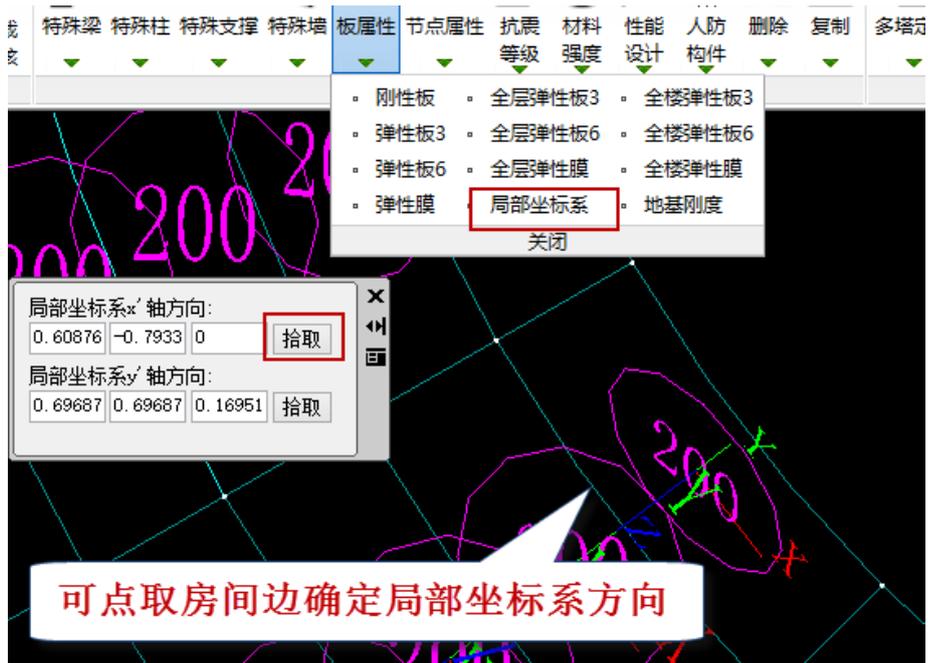


图 3.7.31 弹性板局部坐标系修改菜单

十一、可对弹性板施加基础弹簧刚度模拟基础筏板

【前处理及计算】下设置了【地基刚度】菜单，可对弹性板设置地基刚度。地基刚度是向上作用的基础弹簧刚度，以楼板房间为单元输入，如图 3.7.32 所示。



图 3.7.32 前处理地基刚度输入

地基刚度输入对话框上的说明：输入刚度后表示该板为基础底板，自动在板底附加弹性支座，强制按弹性板 6 及有限元导荷方式计算。

有些情况下，用户可将基础筏板当做厚度同筏板的普通楼板输入，筏板上承受的恒、活荷载当做楼板荷载输入，在计算前处理对筏板楼板输入地基刚度，这样就相当于在上部结构模型下直接输入基础模型，使上部结构和基础合在一起分析计算，同时得到上部结构和基础结构的计算结果。这种方法特别适用于水池、隧道等结构的设计，如图 3.7.33 所示。

对于基床反力系数局部有差异情况，可用虚梁将底板分割为不同板块，设置不同的地基刚度；如需模拟桩基，可用柱建模进行模拟，承台、柱墩等构件可按柱帽建模模拟。

注意对这样建立的模型上不应出现底层柱下、墙下的支座。为了不出现支座，可将参数“与基础相连构件的最大底标高”填写为比柱底标高低很多的数值，并不要理会软件给出的“楼层悬空”的警告。

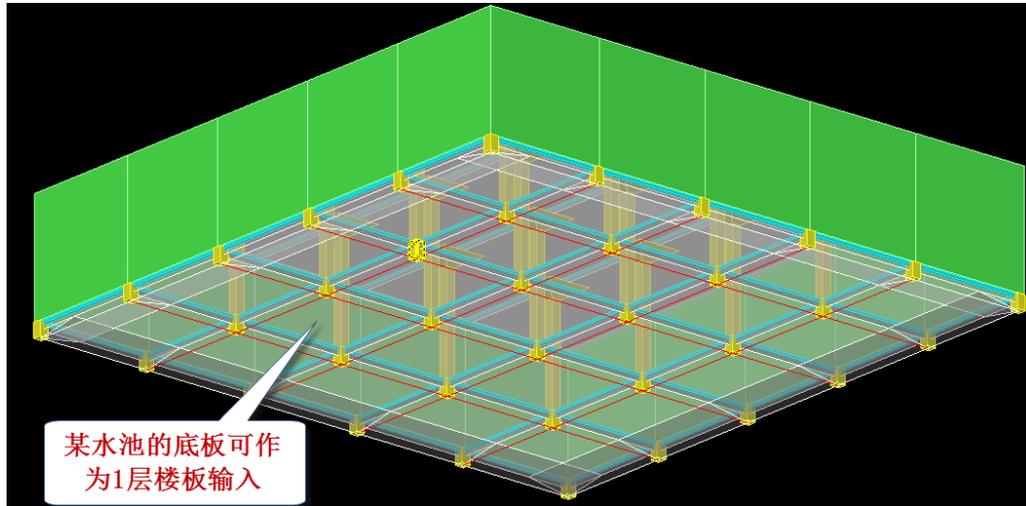


图 3.7.33 某水池工程示例

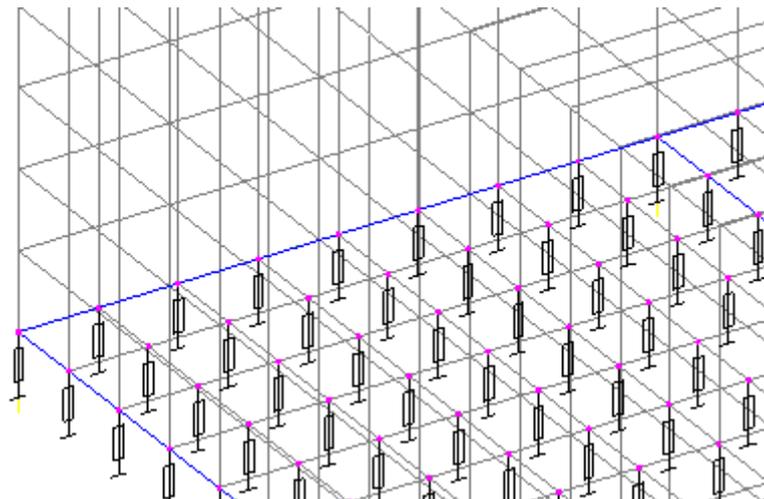


图 3.7.34 地基土弹簧计算模型

如某水池底板，原来只能当做基础筏板输入，整个水池的设计分为两部分进行，上部结构软件完成池顶池壁的计算，基础软件完成池底的设计。

现在可把水池池底当做 1 层楼板输入（1 层的柱只要不作为支座就不会起作用），将 1 层楼板设置为弹性板 6 并输入地基刚度，如图 3.7.34 所示，计算完成后在【等值线】菜单下用查看一般弹性板有限元结果的方法查看筏板楼板的各项计算结果。

十二、弹性板 6 对应平面施工图中板有限元算法

楼板本身的配筋计算一般在板施工图中完成，他仅考虑了恒、活、人防等竖向荷载。

如果用户在上部结构计算中对某层楼板是按照弹性板 6 计算的，特别是对恒、活等竖向荷载是按照弹性板 6 计算的，也就是说梁的配筋考虑了楼板共同参与的作用，那么对应的在平面施工图中的楼板计算应采用有限元算法，也就是说在板的配筋计算时也应采用有限元壳元计算并考虑梁的弹性变形。

在板施工图的楼板计算参数中，对楼板的计算方法增加了“有限元算法”，如图 3.7.35、3.7.36 所示，并设置了“考虑梁弹性变形”选项。对应上部结构计算某层楼板的弹性板 6 计算，该层的楼板配筋应选择“有限元算法”并勾选“考虑梁弹性变形”。



图 3.7.35 板施工图中楼板计算参数

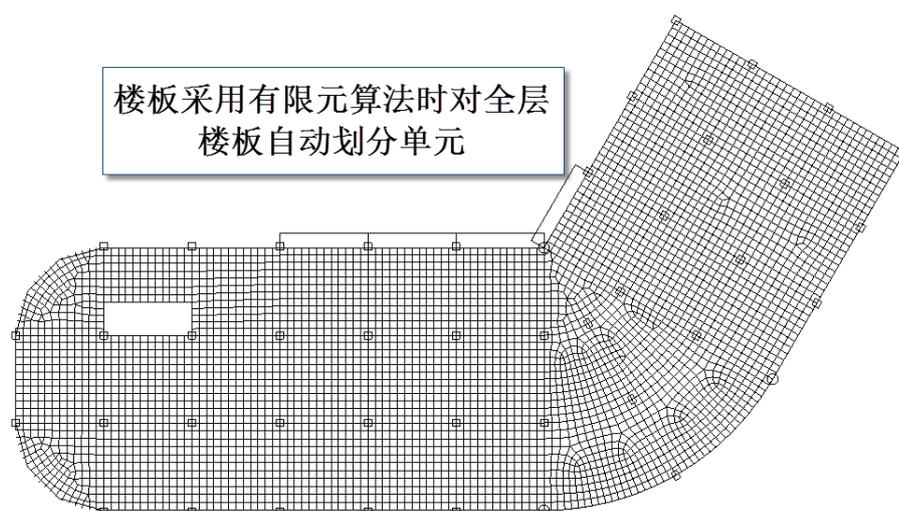


图 3.7.36 板施工图中有限元方法时的网格划分

传统软件计算楼板时，仅提供如上参数中的“手册算法”，即对每个房间的楼板分别计算，对于相邻房间的公共支座的弯矩和配筋的取值，是取两房间分别计算的支座弯矩较大值，因此支座配筋常常偏大。实际上，用户应该按照楼板连续的概念计算，考虑不等跨、不同荷载、不同板厚影响，支座两边应是协调工作、弯矩平衡的结果。早期采用手工计算楼板配筋时，都还按照连续板模式配筋，近十几年电算推广效率高了，但配筋量明显偏大了。

YJK 提供对楼板的全层按照有限元计算的方法。利用 YJK 在有限元计算方面的先进性，软件对全层楼板自动划分单元并求解计算。这种计算使房间之间的楼板保持协调，支座两边弯矩平衡，可以考虑到相邻房间的跨度、板厚、荷载等的不同影响，计算精确合理。特别是可避免对支座两边弯矩人为取大造成的配筋浪费现象，如图 3.7.37 所示。

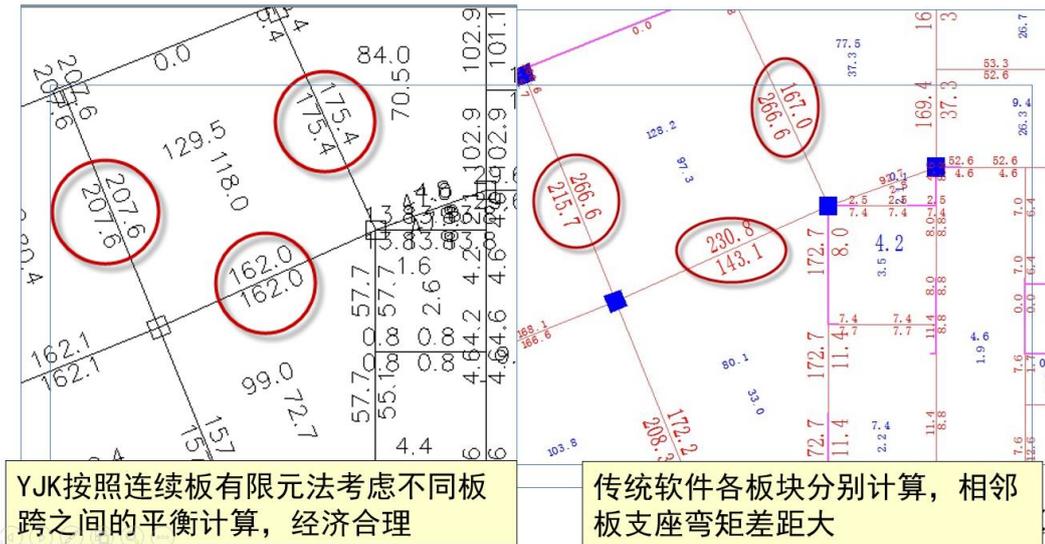


图 3.7.37 有限元方法与手册方法配筋结果对比

以往的软件计算楼板多是假定板的周边支座没有竖向位移，如果支撑板的梁的跨度较大、刚度较弱时，梁的挠度对板计算有较大影响，考虑梁的刚度和实际情况更加符合。YJK 在板施工图中设置参数“考虑梁弹性变形”。有时考虑梁的刚度也会得到更经济合理的楼板配筋结果。

在平面施工图中还设置了参数“取整体计算弹性板配筋结果”，勾选该参数软件将不再按照当前的楼板计算结果，而直接读取上部结构整体计算分析时对楼板按照弹性板 6(或 3)计算得出的各有限元单元的配筋结果。

十三、无梁楼盖

1、楼板有限元为核心的计算

无梁楼盖结构中的梁一般为虚梁形式，他起的作用主要是板带的设置依据，所以无梁楼盖中梁的作用远小于楼板本身的作用。

在 YJK 的上部结构计算中对无梁楼盖应设置为弹性板 6，并勾选弹性板荷载计算方式为“有限元方式”，在平面施工图也必须采用“有限元计算”方式并考虑梁的弹性变形。因此，无梁楼盖结构计算的核心就是楼板的有限元计算。

2、柱上板带跨中板带的配筋方式

普通楼板的配筋以各个房间的板块为单元进行，而无梁楼盖的配筋以柱上板带和跨中板带为单元进行，因此在 YJK 中专门设置了对柱上板带的自动生成和修改菜单，柱上板带包围的中间净跨部分即为跨中板带。

软件可对柱上板带的弯矩采用积分方式求出，即对板带内各个单元值在板带宽度方向积分，这样求出的柱上板带的弯矩更为合理。对于跨中板带的弯矩软件采用跨中板带内各个单元结果的较大值。

3、柱帽和加腋板

对于柱帽和加腋楼板，结构计算分析中自动以有限元的不同厚度体现，比如柱帽处的板单元厚度为楼板厚度+柱帽高度，加腋楼板处板单元厚度为楼板厚度+加腋的厚度等。

软件对柱帽处补充了相关的冲切计算，对加腋楼板房间的裂缝计算考虑了加腋的影响。

对无梁楼盖的详细技术条件可参照软件自带的、可用 F1 打开的帮助说明，或是《结构软件难点热点问题应对及设计优化》(中国建筑工业出版社)相关章节。

十四、现浇空心板

对于布置了现浇空心板的部分，软件默认按照单层模型的弹性板 6 模型计算，即按照弹性楼板的有限单元法计算，在空心板处考虑了空心板的因素取用楼板的折算刚度，计算折算刚度的公式取自现浇空心板设计规范。而在暗梁处、柱周围的实心区处按照实心板计算，对于柱帽处，按照变厚度的不同板单元计算。而且在板的计算中把暗梁当做板的一部分，为了避免刚度重复计算，忽略了暗梁作为梁杆件单元的刚度。

软件对每层的现浇空心板按照单层的计算模型计算，只考虑了板上作用恒、活、人防荷载的情况，没有考虑其它荷载工况。单元尺寸采用的默认值是 0.5m，比上部结构弹性板的尺寸小很多。

软件对楼板的有限元计算结果积分为肋梁的弯矩，仍是以肋梁为单位输出弯矩和配筋。输出内力和配筋的形式和第一种按照密肋梁计算模式相同。

对现浇空心板结构的详细技术条件可参照软件自带的、可用 F1 打开的帮助说明，或是《结构软件难点热点问题应对及设计优化》（中国建筑工业出版社）相关章节。