

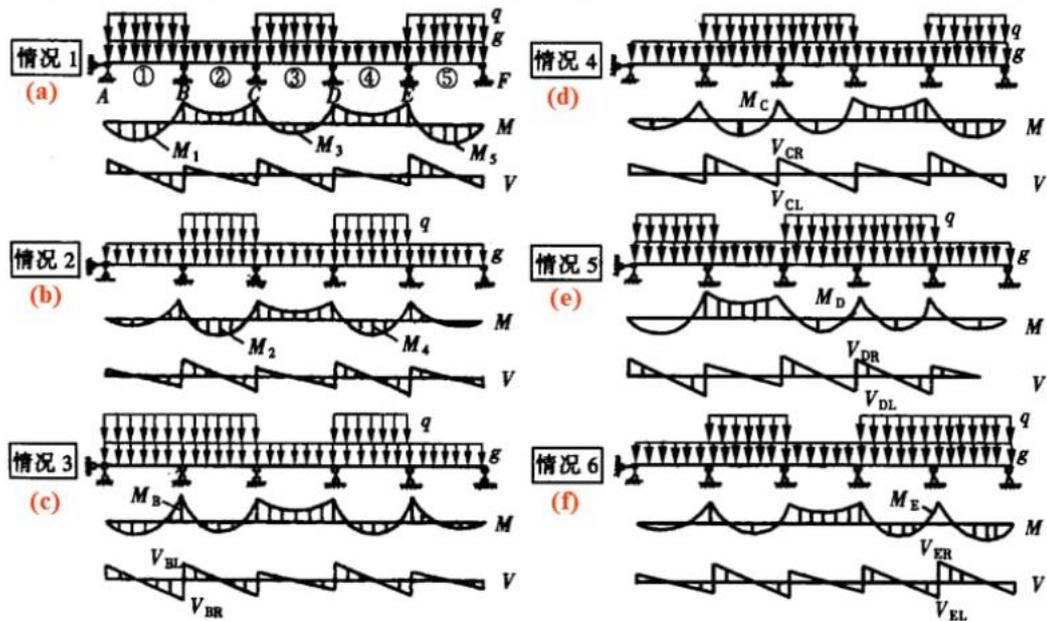
YJK 如何实现活荷载不利布置——上部结构计算

张月月

活荷载不利布置也是用户时常咨询的一类问题，YJK 软件在上部结构计算和施工图模块对活荷载不利布置都进行了考虑，今天我们重点聊聊上部结构计算如何实现活荷载不利布置。

一、为什么要考虑活荷载不利布置

1、工程设计时，由于活荷载是随时间、空间变化的，所以在计算内力时要考虑活载分布带来的最不利组合和内力包络问题。图一所示为五跨连续梁在六种荷载布置下的最不利组合和内力图，图二所示为《实用建筑结构静力计算手册》提供的五跨连续梁内力计算系数表。



图一

表 4-19 五跨连续深梁在均布荷载作用下的内力计算系数

序号	计算简图	l_0/h	弯矩系数 a 或 a_1								
			M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_B	M_C	M_D	M_E
1		2.5	0.083	0.039	0.044	0.039	0.083	-0.092	-0.081	-0.081	-0.092
		2.0	0.087	0.042	0.042	0.042	0.087	-0.084	-0.083	-0.083	-0.084
		1.5	0.092	0.047	0.039	0.047	0.092	-0.070	-0.086	-0.086	-0.070
		1.0	0.104	0.064	0.046	0.064	0.104	-0.045	-0.079	-0.079	-0.045
2		2.5	0.102		0.085		0.102	-0.049	-0.040	-0.040	-0.049
		2.0	0.102		0.085		0.102	-0.048	-0.040	-0.040	-0.048
		1.5	0.102		0.082		0.102	-0.049	-0.043	-0.043	-0.049
		1.0	0.098		0.073		0.098	-0.058	-0.052	-0.052	-0.058
3		2.5		0.083		0.083		-0.043	-0.041	-0.041	-0.043
		2.0		0.086		0.086		-0.036	-0.043	-0.043	-0.036
		1.5		0.093		0.093		-0.021	-0.043	-0.043	-0.021
		1.0		0.119		0.119		-0.013	-0.027	-0.027	0.013
4		2.5	0.082	0.061		0.083		-0.094	-0.037	-0.042	-0.043
		2.0	0.089	0.062		0.088		-0.079	-0.049	-0.040	-0.035
		1.5	0.101	0.069		0.094		-0.051	-0.062	-0.042	-0.020
		1.0	0.121	0.083		0.113		-0.009	-0.080	-0.040	0.013
5		2.5		0.062	0.062		0.102	-0.041	-0.088	-0.037	-0.049
		2.0		0.068	0.065		0.103	-0.042	-0.072	-0.047	-0.047
		1.5		0.083	0.072		0.101	-0.039	-0.045	-0.064	-0.051
		1.0		0.129	0.099		0.092	-0.009	-0.017	-0.079	-0.071
6		2.5	0.101					-0.051	-0.004	0.0	0.0
		2.0	0.104					-0.043	-0.006	0.001	0.0
		1.5	0.110					-0.031	-0.022	-0.001	0.0
		1.0	0.114					-0.022	-0.053	-0.015	-0.001
序号	计算简图	l_0/h	弯矩系数 a 或 a_1								
			M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_B	M_C	M_D	M_E
7		2.5		0.082				-0.043	-0.043	0.002	0.0
		2.0		0.088				-0.037	-0.037	-0.006	0.0
		1.5		0.104				-0.020	-0.022	-0.019	0.0
		1.0		0.147				-0.027	-0.016	-0.043	-0.014
8		2.5			0.081			-0.002	-0.044	-0.044	0.002
		2.0			0.089			-0.005	-0.036	-0.036	-0.005
		1.5			0.103			-0.019	-0.022	-0.022	-0.019
		1.0			0.142			-0.035	0.017	0.017	-0.035

图二

2、规范对活荷载不利布置有如下要求：

- a、《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068-2018 第 5.2.3 条的条文说明：“……按随空间变化的分类属于自由作用，应考虑它在结构上的最不利位置；……”
- b、《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 第 3.2.1 条：“建筑设计应根据使用过程中在结构上可能同时出现的荷载，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载组合，并应取各自的最不利的组合进行设计。”
- c、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010 第 5.1.8 条：“高层建筑结构内力计算中，当楼面活荷载大于 4kN/m² 时，应考虑楼面活荷载不利布置引起的结构内力的增大；当整体计算中未考虑楼面活荷载不利布置时，应适当增大楼面梁的计算弯矩。”
- d、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010 第 5.1.8 条条文说明：“如果活荷载较大，其不利分布对梁弯矩的影响会比较明显，计算时应予考虑。除进行活荷载不利分布的详细计算分析外，也可将未考虑活荷载不利分布计算的框架梁弯矩乘以放大系数予以近似考虑，该放大系数通常可取为 1.1~1.3，活载大时可选用

较大数值。近似考虑活荷载不利分布影响时，梁正、负弯矩应同时予以放大。”

二、 YJK 软件上部结构计算是如何处理的

程序前处理【计算参数】-【活荷载信息】下提供“活荷载不利布置”选择框，如下图所示：

活荷载不利布置	
<input type="checkbox"/> 全楼考虑活荷载不利布置	
活荷载不利布置最高层号	7
<input checked="" type="checkbox"/> 计算模型(多层)	
起始层号	
终止层号	
梁活荷载内力放大系数	1

图三

1、 活荷载不利布置最高层号

该参数主要控制梁考虑活荷载不利布置时的最高楼层号，填 0，表示不考虑梁活荷载不利布置作用；若填入大于零的数，则表示小于等于该楼层号的各层均考虑梁的活荷载不利布置，高于该楼层号的楼层不考虑梁的活荷载不利布置。

从 3.1.1 版本开始，“活荷载不利布置最高层号”的默认值，当结构层数小于等于 8 层时，取最高层数，当结构层数大于 8 层时，取 0。

2、 全楼考虑活荷载不利布置

从 6.0.0 版本开始，在活荷载不利布置中，增加“全楼考虑活荷载不利布置”参数。该参数默认不勾选，勾选后，不再需要手动填最高层号。

需要注意的是：以上两个参数功能限于所计算层本层活荷载对梁的影响。软件采用分层刚度模型，该刚度由本层所有梁和相连的上下层的柱、支撑、墙等竖向构件的刚度贡献而成。考虑活荷载不利布置计算是对房间逐个加载实现的，即对每一个房间加活荷载作用时，保持其它房间空载，并对每根梁的内力进行叠加计算，形成正负弯矩包络。除每个房间楼面传来的活荷载外，对于梁上的外加活荷载，软件还按梁循环，每个有外加活荷载的梁都作一次独立的加载计算。

为了能同时考虑楼层之间影响，软件在活荷载满布状态下，是用整体刚度求解的内力作为活荷载作用工况之一，称之为“活载”，将分层活荷载不利布置形成的梁正、负弯矩包络作为两种活荷载作用工况，分别记为“活 1”和“活 2”，这三种活荷载工况均参与荷载组合计算。即：

活载：整个结构活荷载一次性满布作用工况。

活 1：各层活荷载不利布置作用的负弯矩包络工况。

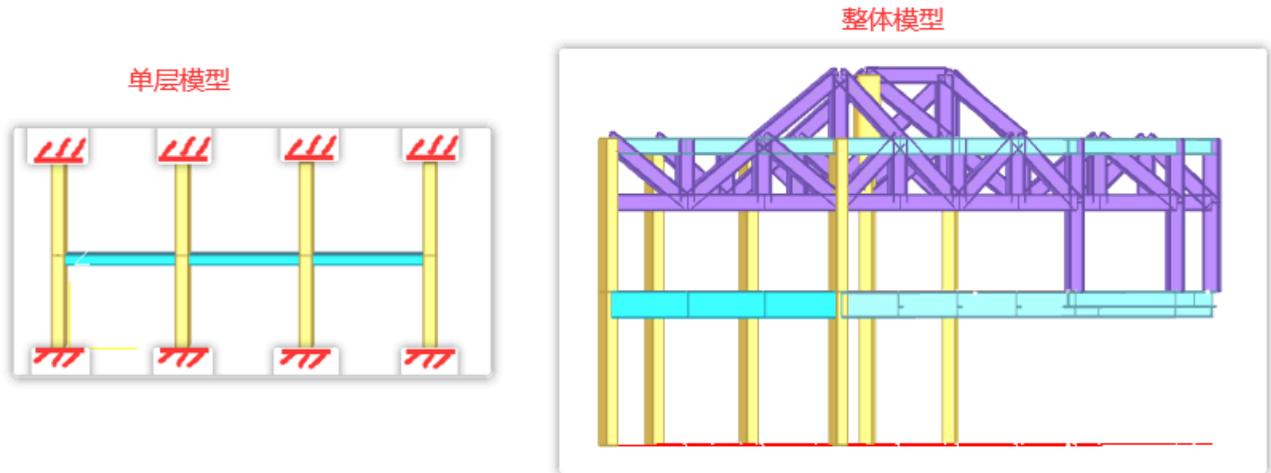
活 2：各层活荷载不利布置作用的正弯矩包络工况。

软件在荷载组合时，对这三种活荷载采用“包络”组合方式，即不考虑三种活荷载相互组合，每种活荷载分别参与一次组合，以最不利配筋结果作为最终结果。

3、 计算模型（多层）

软件进行活荷载不利布置计算时，原理是将每个楼层单独生成一个计算模型，在该层竖向构件底部生成固定约束进行计算。对于一般情况，这种假定没有问题，但是对于一些特殊情况，比如悬挑梁上托柱，这样的假定会造成结果不合理，故从 5.1.0 版本开始增加该参数，由用户指定计算模型的起始、终止层号。该起始、终止层号以外的层号仍按单层模型计算。

需要注意的是：程序仅支持一组起始、终止层号，并且起始层号不能填 0。



图四

4、梁活荷载内力放大系数

该参数依据《高层建筑混凝土结构设计规程》JGJ 3-2010 第 5.1.8 条及条文说明。如果用户选择了活荷载不利布置计算，则本系数填 1 即可；如果用户选择不计算活荷载不利布置，则本系数可按 1.1~1.3 填入。

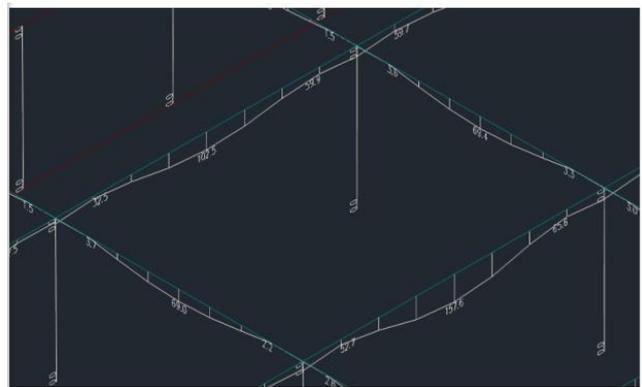
三、与活荷载不利布置相关的常见问题

以下通过几个常见问题为大家进一步说明活荷载不利在软件中的应用。

问题 1: 地下室顶板的设计中，梁底在柱位置附近处为什么会有正弯矩。我查看了各工况下的弯矩图，发现只有在活荷载不利布置 2 下，此处有正弯矩，但此处相应的恒载负弯矩很大，按正常的组合，梁在柱边位置处应是负弯矩。那么梁配筋弯矩包络图也不应当是这样的。请帮我分析下梁底在柱边的弯矩图。

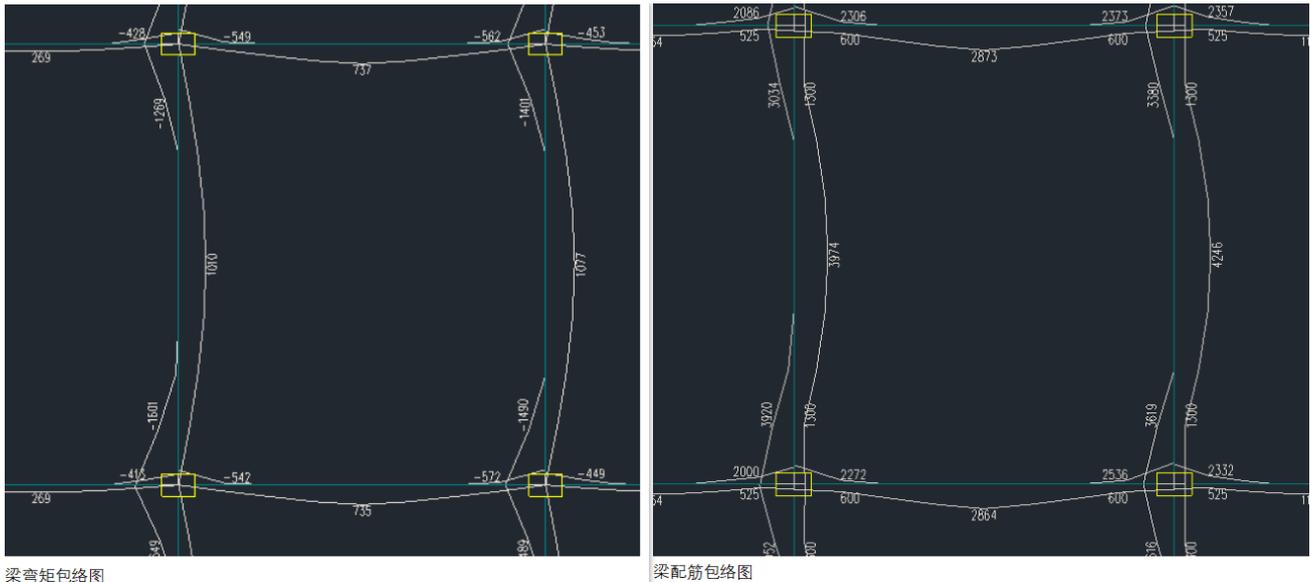


恒载工况下弯矩图



活载不利布置 2 下的弯矩图

图五

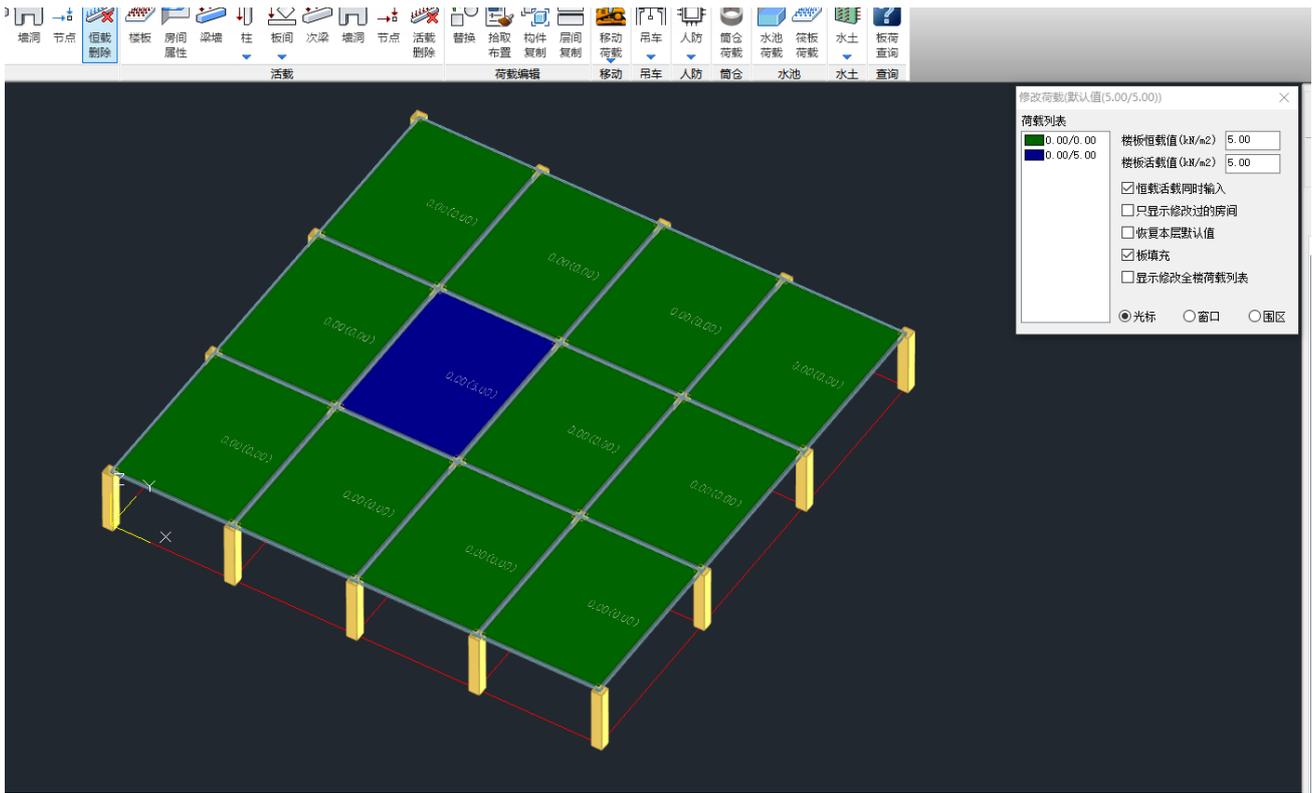


图六

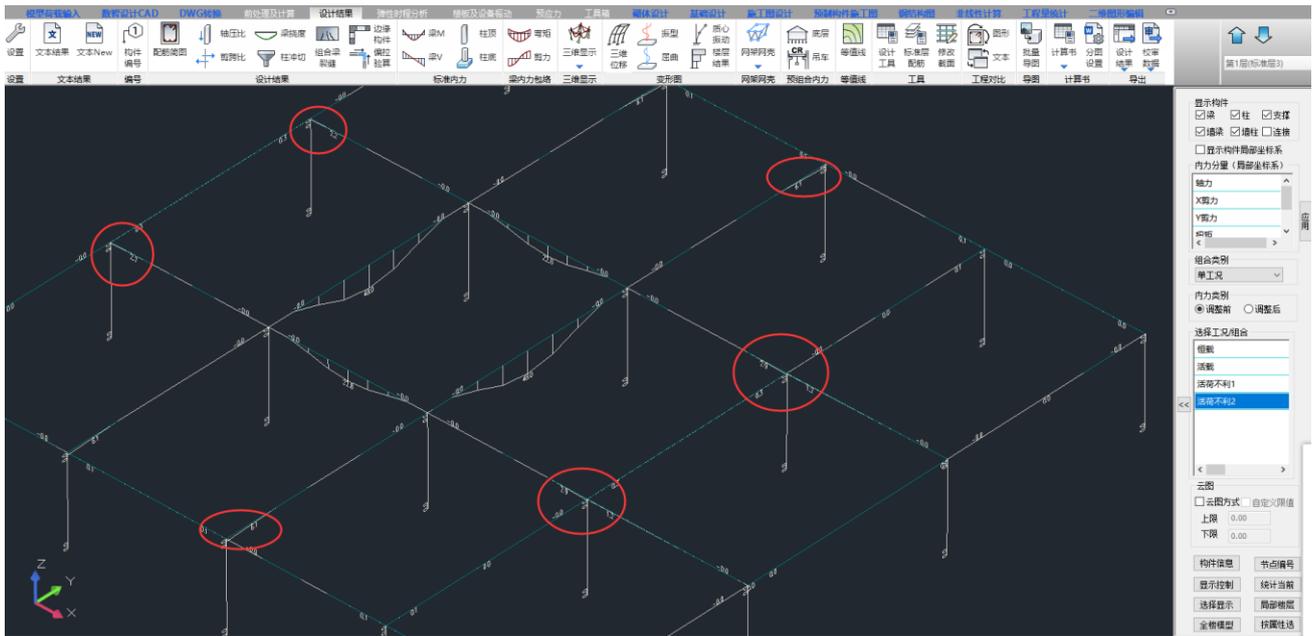
工程分析：模型没有勾选“计算模型（多层）”，那么活荷载不利布置是采用分层刚度模型计算的，活荷载不利布置 2 工况本身就是一个正弯矩包络工况。这里用一个简单模型说明，仅加载一个房间，见图七。计算完成后查看内力，可以看到相邻房间支座产生正弯矩，见图八。这也符合连续梁内力计算规律，见图九。每个房间都加载一遍，再将正弯矩叠加得到的结果就是您看到的“活 2”工况内力。

至于梁配筋弯矩包络图为何会有梁底弯矩，以图十所示梁为例进行说明。简化模型计算参数，恒活一次性加载，不计算风、地震，计算后，查看构件信息，见图十一。软件设计时考虑《高规》5.2.3-4 条，控制框架梁跨中截面正弯矩设计值不应小于竖向荷载作用下按简支梁计算的跨中弯矩设计值的 50%。如果简支梁的设计内力控制配筋，则输出对应组合号为 0。图十一中 9 个截面的梁底正弯矩设计值控制组合均为 0，说明都是由简支梁的设计内力得到。

以下手核计算 8 截面对应的弯矩值 384。将该梁两端点铰，重新计算，查看弯矩包络图，跨中最大值为 2014，见图十二，对应 5 截面， $2014 \times 50\% = 1007$ ，与图十一输出的弯矩值一致。梁长 8 米，9 个截面分为 8 段，每段 1 米，将梁分为 8 段重新计算，各截面弯矩值见图十三，其取值的 50% 基本与图十一输出一致，略微差异是精度原因。



图七



图八

序号	计算简图	l_0/h	弯矩系数 a 或 a_1								
			M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_B	M_C	M_D	M_E
7		2.5		0.082				-0.043	-0.043	0.002	0.0
		2.0		0.088				-0.037	-0.037	-0.006	0.0
		1.5		0.104				-0.020	-0.022	-0.019	0.0
		1.0		0.147				-0.027	-0.016	-0.043	-0.014
8		2.5			0.081			-0.002	-0.044	-0.044	0.002
		2.0			0.089			-0.005	-0.036	-0.036	-0.005
		1.5			0.103			-0.019	-0.022	-0.022	-0.019
		1.0			0.142			-0.035	0.017	0.017	-0.035

图九



图十

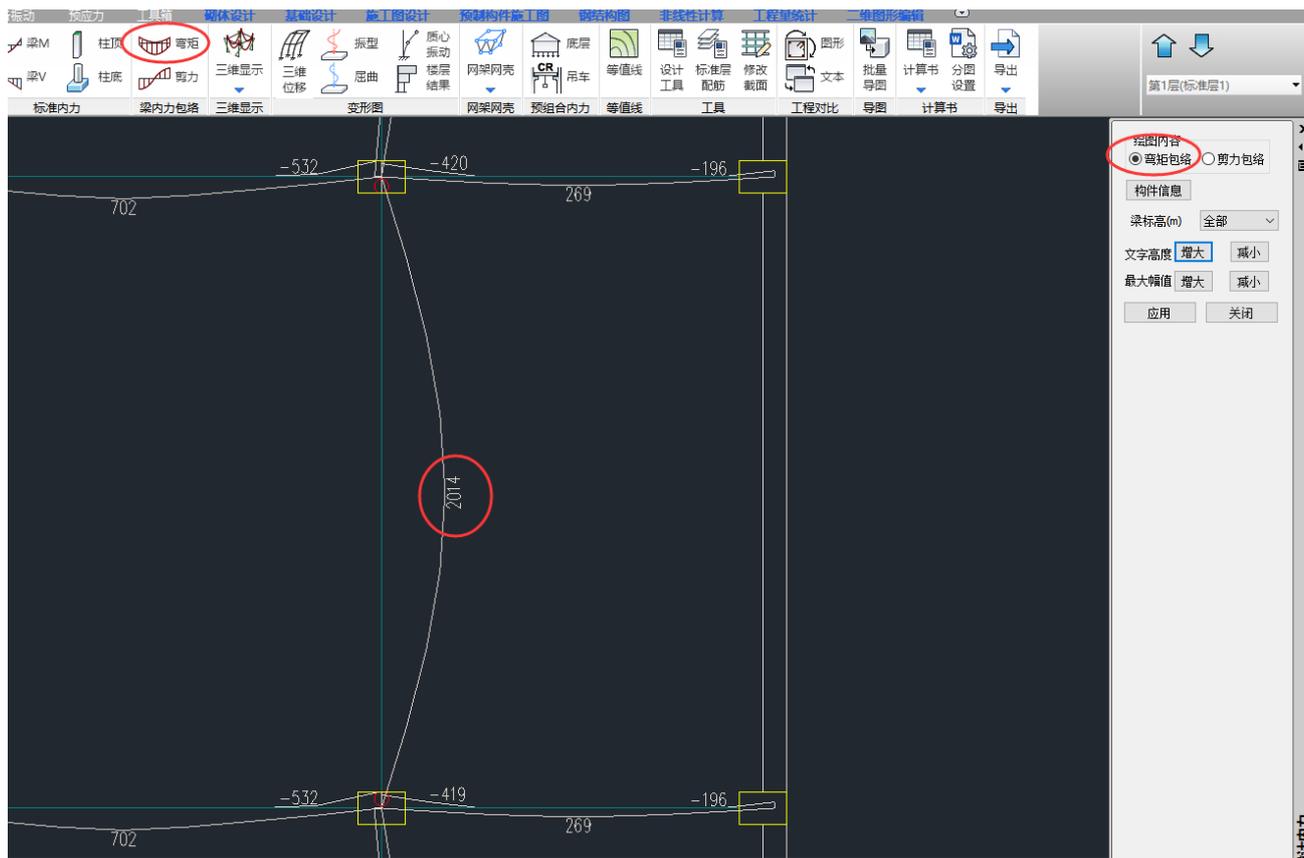
N-B=56 (I=1000047, J=1000040) (1)B*H(mm)=400*800 按T形梁设计(1900*250) 左竖向加腋下(L=1500,H=500) 右竖向加腋下(L=1500,H=500)
 Lb=8.00(m) Cover= 20(mm) Nfb=4 Nfb_gz=4 Rcb=30.0 Fy=360 Fyv=360
 砼梁 C30 框架梁 调幅梁 矩形 两端加腋
 livec=1.000 stif=2.000 stif_w=2.000 stif_s=2.000 tf=0.850 nj=0.400
 $\eta v=1.000$

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-
-M(kNm)	-1394	-591	0	0	0	0	0	-559	-1351
LoadCase	(1)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(1)	(1)
Top Ast	3363	1897	0	0	0	0	0	1790	3246
% Steel	0.67	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.65
+M(kNm)	0	384	707	926	1007	926	707	384	0
LoadCase	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
Btm Ast	1300	1164	2653	3631	3960	3631	2653	1164	1300
% Steel	0.25	0.31	0.88	1.24	1.35	1.24	0.88	0.31	0.25
V(kN)	828	765	593	335	34	-322	-579	-750	-814
LoadCase	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Asv	72	118	106	41	41	41	101	114	68
Rsv	0.18	0.30	0.27	0.10	0.10	0.10	0.25	0.29	0.17

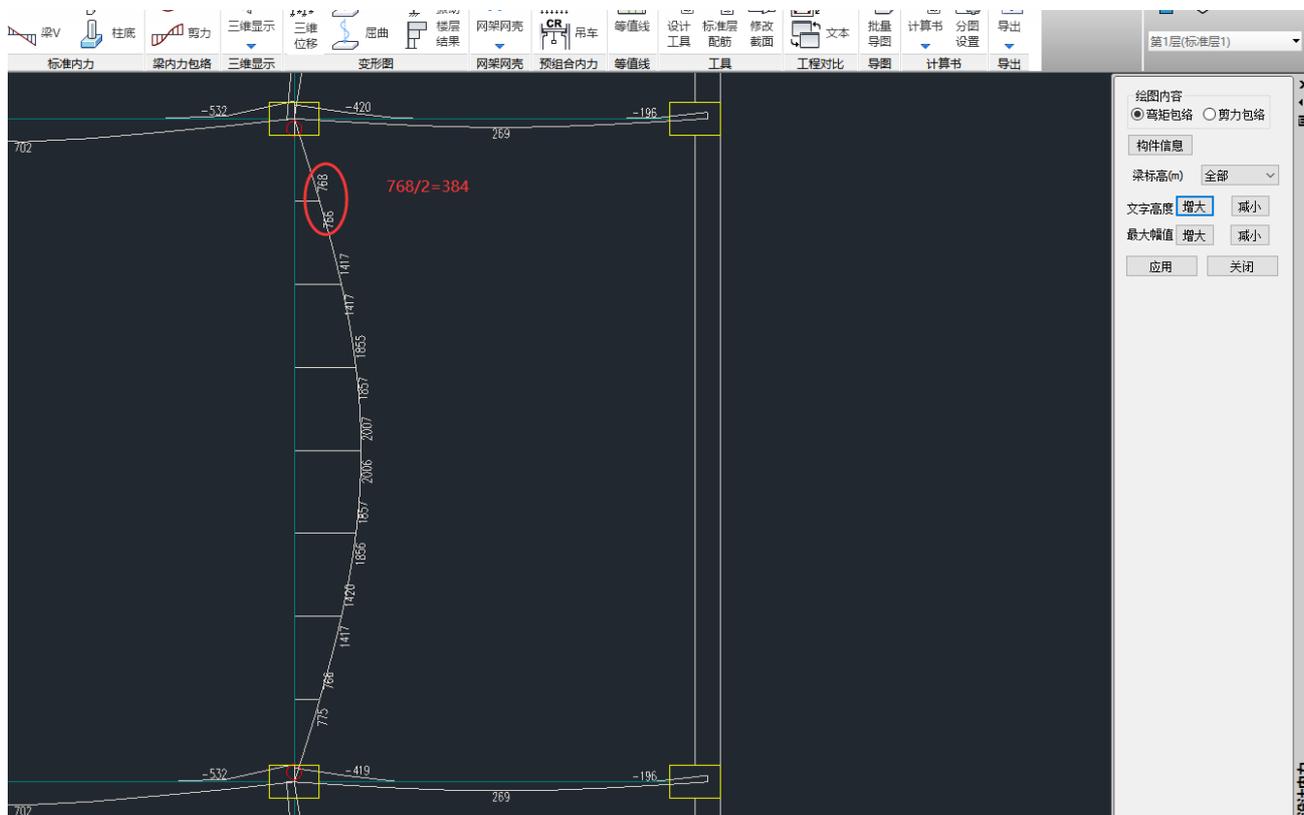
非加密区箍筋面积: 48

招隔未判断
 《高规》5.2.3-4规定：“截面设计时，框架梁跨中截面正弯矩设计值不应小于竖向荷载作用下按简支梁计算的跨中弯矩设计值的50%”。
 该参数用来控制框架梁系数，默认0.5。

图十一

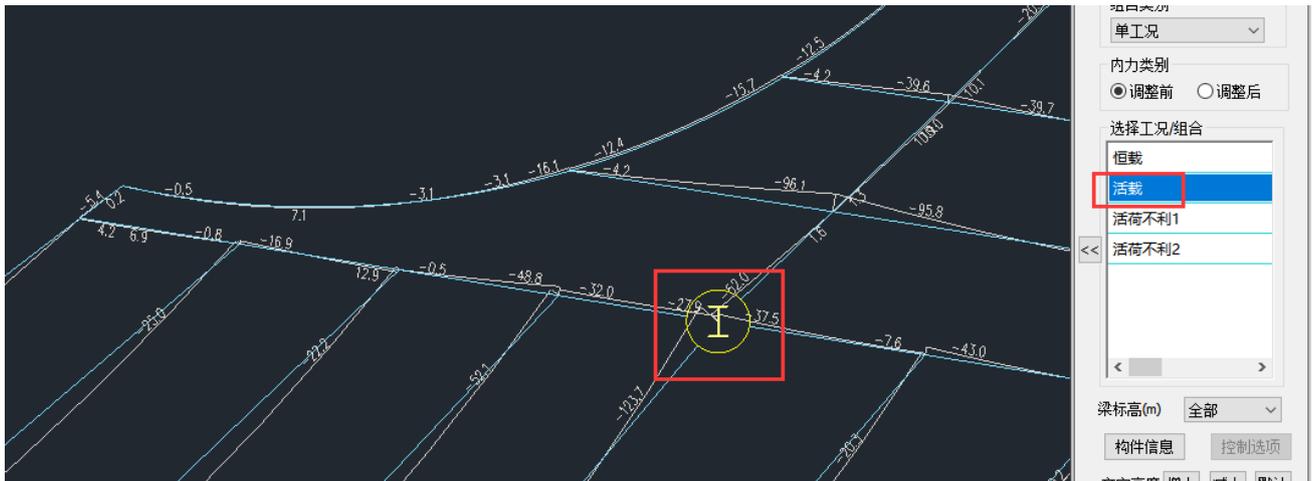


图十二

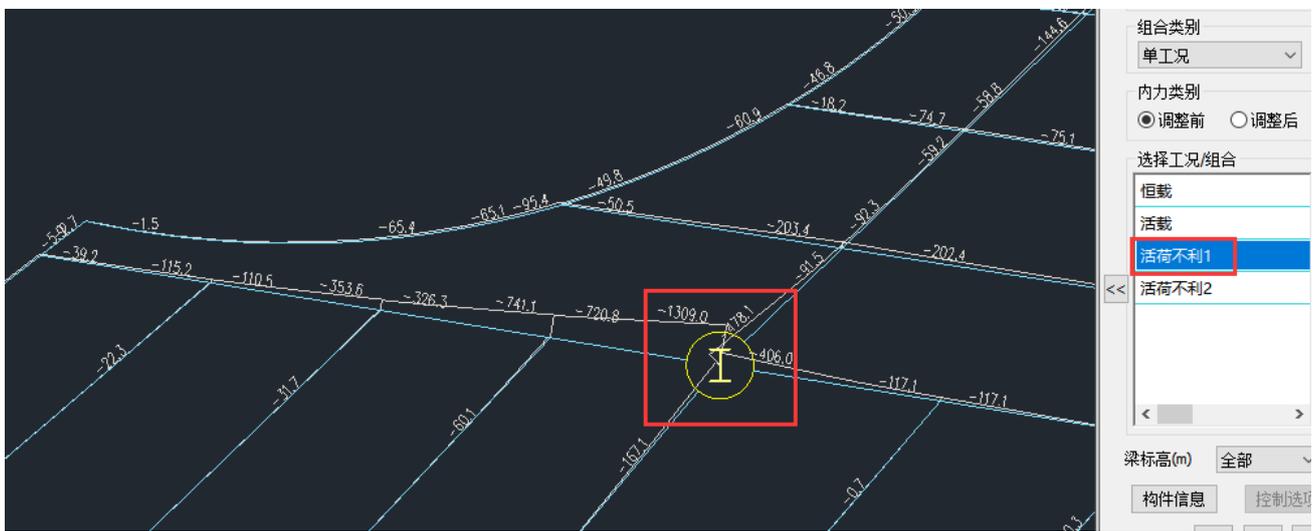


图十三

问题 2: 在活载不利工况下，为何桁架上弦杆会出现异常的弯矩？其他单工况下的内力都是比较正常的。麻烦查一下。



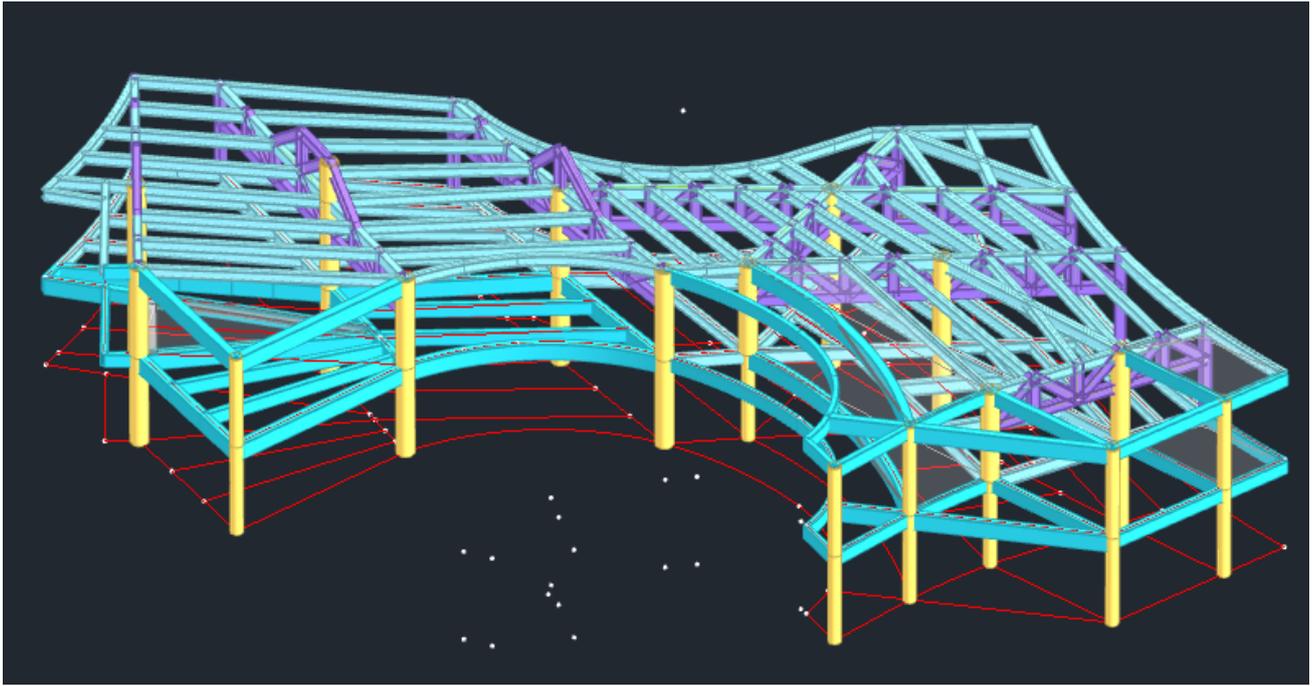
图十四



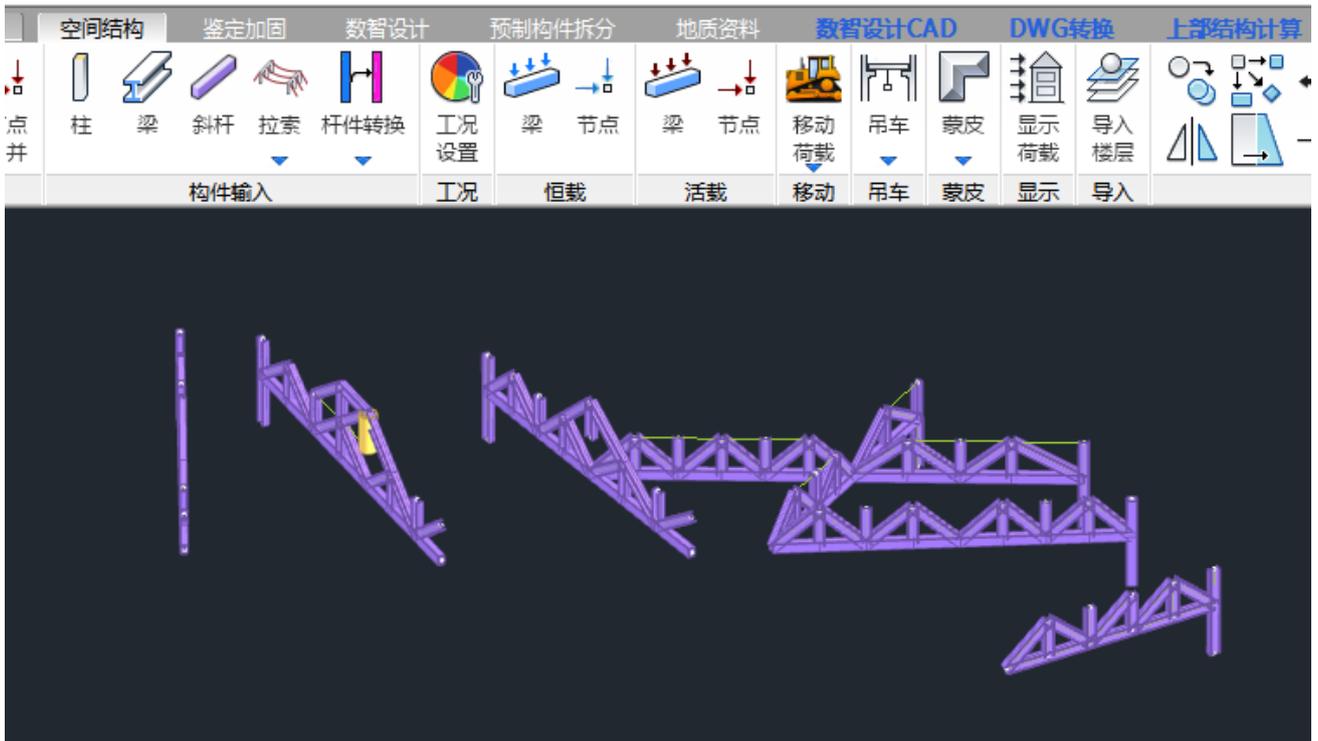
图十五

工程分析: 查看整体模型有两层，二层局部带桁架结构，见图十六，而实际建模桁架的斜杆均建在空间层中，见图十七，这样二层剩余结构会形成大悬挑，见图十八。由于活荷载不利布置采用的单层模型，实际计算时二层就仅是图十八看到的这个模型，悬挑梁计算出的弯矩自然就比较，最终看起来是活荷载不利布置内力异常的效果。

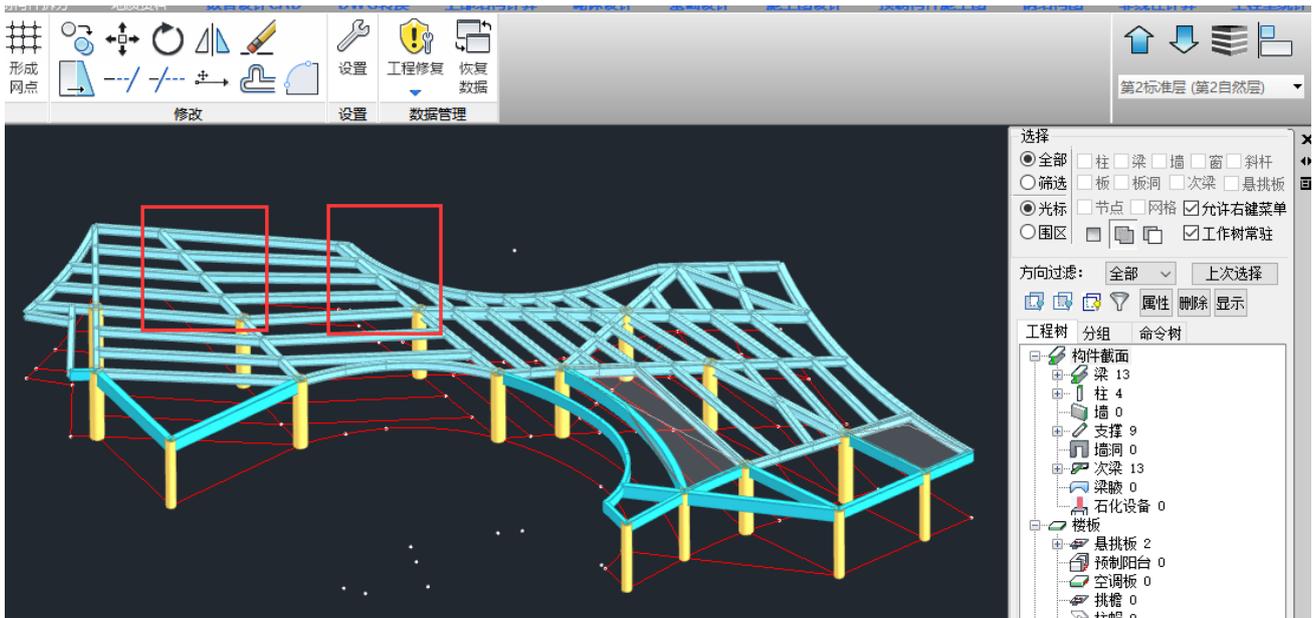
对于此类普通层+空间层组合建模的模型，可以用 5.1.0 及之后版本的【计算模型（多层）】功能处理。上述模型填写起、止层号为 1、3 后，可以得到合理的计算结果，见图十九。



图十六



图十七



图十八



图十九

问题 3: 前处理参数有输入活荷载不利布置最高层号，但计算时提示求解取消，是何原因？

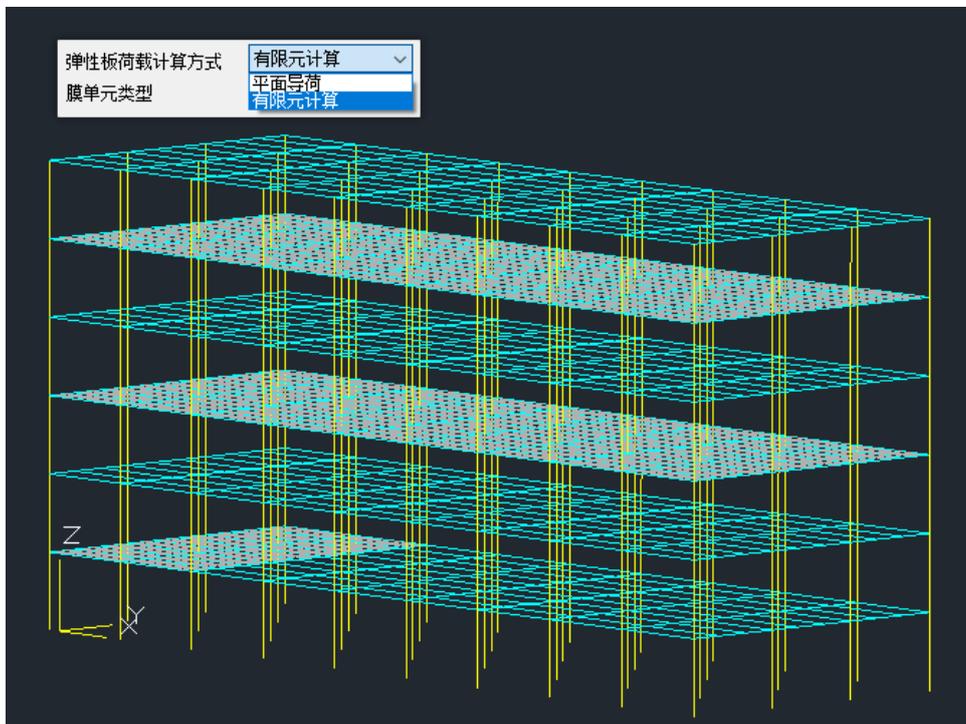
```

0:00:01.11 [INFO] 反应谱分析完成.
0:00:01.11 [STAG] 规定水平力分析
0:00:01.11 [STAG] 构件内力计算
0:00:01.59 [STAG] 活荷载随机布置分析
0:00:01.59 [INFO] 开始梁活载不利布置分析.
0:00:01.59 [INFO] 开始第 1 层梁活载不利布置分析
0:00:01.59 [INFO] 开始第 2 层梁活载不利布置分析
0:00:01.61 [INFO] 开始第 3 层梁活载不利布置分析
0:00:01.61 [WARN] 楼层 3 没有活荷不利的分组信息, 求解取消。
0:00:01.61 [INFO] 开始第 4 层梁活载不利布置分析
0:00:01.61 [INFO] 开始第 5 层梁活载不利布置分析
0:00:01.63 [WARN] 楼层 5 没有活荷不利的分组信息, 求解取消。
0:00:01.63 [INFO] 开始第 6 层梁活载不利布置分析
0:00:02.02 [ERRO] [活荷载随机布置分析]求解器计算失败(BA03)[-1].
0:00:02.02 [ERRO] 没有计算的工况.
0:00:02.30 [ERRO] [活荷载随机布置分析]求解器计算失败(BA05)[-1].
0:00:02.30 [ERRO] 没有计算的工况.
0:00:02.44 [INFO] 梁活载不利布置分析完成.
0:00:02.44 [INFO] 开始输出计算结果
0:00:02.44 [INFO] 计算结果输出完成.
0:00:02.50 [STAG] 保存文本结果
0:00:02.50 [INFO] 开始保存计算结果文本文件.
0:00:02.50 [INFO] 计算结果文本文件输出完成.
0:00:02.50 [STAG] 计算完成

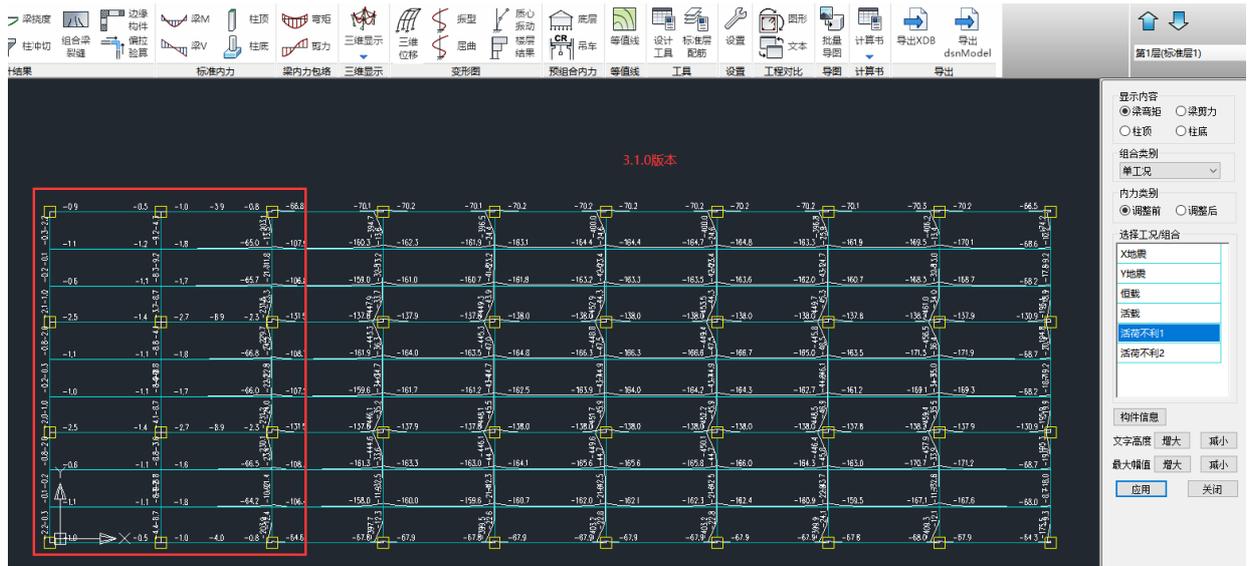
```

图二十

工程分析: 查看用户计算使用的是早期的 3.1.0 版本, 该模型前处理设置了弹性板 6 属性。对设置弹性板 6、弹性板 3 的模型 YJK 按默认计算参数是可以考虑活荷载不利布置的。但需要注意, 对 3.1.1 及之前的版本, 如果【弹性板荷载计算方式】选择了“有限元法计算”, 则这部分荷载不参与活荷不利布置计算。如图二十一所示模型, 一层部分区域设置弹性板 6, 三层和五层全层设置弹性板 6, 计算过程提示 3、5 层活荷载求解失败, 计算后, 查看活荷载不利布置工况内力, 图二十二可以看到 1 层左侧弹性板 6 区域内力(活荷不利 1)明显较小, 图二十三可以看到三层内力(活荷不利 1)均为 0。软件从 4.0.0 版本开始, 支持弹性板选择有限元计算、活荷载不利布置同时出现, 可以正常计算并得到相应的内力。对同一模型采用 6.0.0 版本计算, 可以看到相应楼层和区域能够显示活荷不利工况内力, 见图二十四、二十五。



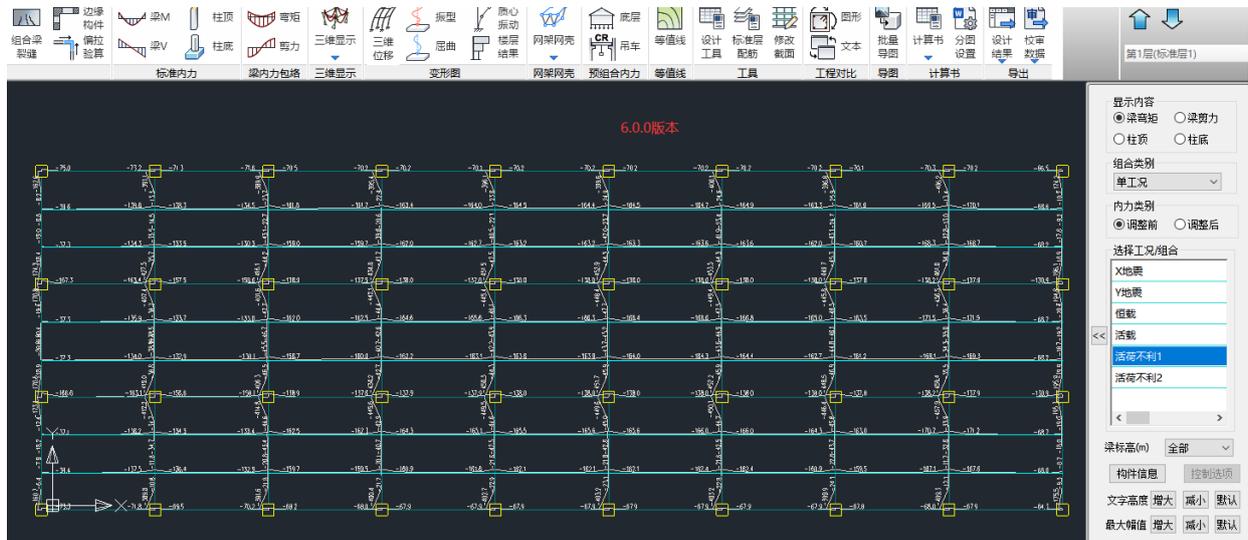
图二十一



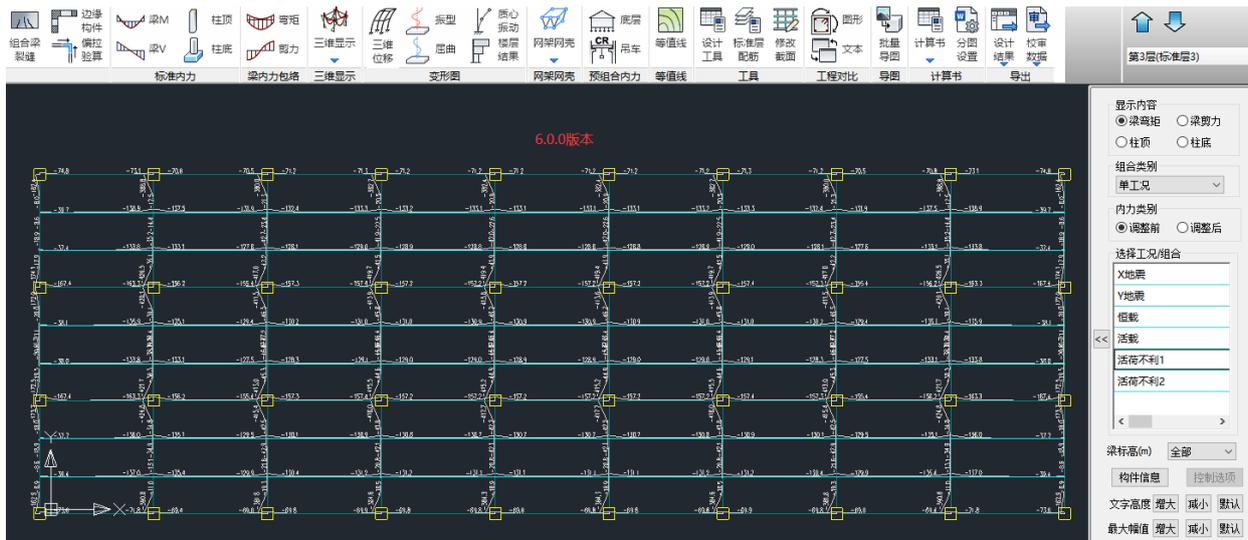
图二十二



图二十三



图二十四



图二十五

问题 4: 通过自定义荷载输入消防车荷载时，软件里是否能够考虑消防车荷载的不利布置？

工程分析: 软件目前能够考虑“活荷载不利布置”的活荷载仅限于按照普通活荷载输入方式的活荷载；对自定义活荷载不能考虑其活荷载不利布置；若需要消防车荷载的不利布置时，可以通过建模定义多组自定义消防车荷载工况，结合前处理自定义工况组合实现。

四、 总结

1、程序前处理参数【活荷载不利布置】提供考虑活荷载不利布置的功能。“活荷载不利布置最高层号”功能限于所计算层本层活荷载对梁的影响。设置大于零的数表示小于等于该楼层号的各层均考虑梁的活荷载不利布置，此时软件对各计算层采用分层刚度模型，该刚度由本层所有梁和相连的上下层的柱、支撑、墙等竖向构件的刚度贡献而成。软件将分层活荷不利布置形成的梁正、负弯矩包络作为两种活荷作用工况，分别记为“活 1”和“活 2”。

从 3.1.1 版本开始，“活荷载不利布置最高层号”的默认值，当结构层数小于等于 8 层时，取最高层数，当结构层数大于 8 层时，取 0。

从 6.0.0 版本开始，在活荷载不利布置中，增加“全楼考虑活荷载不利布置”参数。该参数默认不勾选，勾选后，不再需要手动填最高层号。

2、程序从 5.1.0 版本开始增加功能“计算模型（多层）”，由用户指定计算模型的起始、终止层号，可根据起止层号形成活荷载不利布置计算的多层模型。该起始、终止层号以外的层号仍按单层模型计算。

3、“梁活荷载内力放大系数”可近似考虑活荷载不利布置。如果用户选择了活荷载不利作用计算，则本系数填 1 即可；如果用户选择不计算活荷载不利布置，则本系数可按 1.1~1.3 填入。

4、程序从 4.0.0 版本开始，支持弹性板选择有限元计算、活荷载不利布置同时出现，可以正常计算并得到相应的内力。对 3.1.1 及之前的版本，设置弹性板 6（弹性板 3）的模型，如果【弹性板荷载计算方式】选择了“有限元法计算”，则这部分荷载不参与活荷不利布置计算。另外，如果前处理——特殊梁中指定某根梁为“壳元梁”，从 4.0.0 版本开始，支持计算和输出该梁活荷不利工况内力，并参与设计内力组合；对 3.1.1 及之前的版本不支持。

5、程序前处理参数【活荷载不利布置】目前仅对按普通活荷载方式输入的活荷载起作用，对于自定义工况方式输入的活荷载尚不能考虑；若需要消防车荷载的不利布置时，可以通过建模定义多组自定义消防车荷载工况，结合前处理自定义工况组合实现。