

# PSC 变截面箱梁施工阶段及 PSC 设计例题

北京迈达斯技术有限公司

2007 年 3 月 19 日

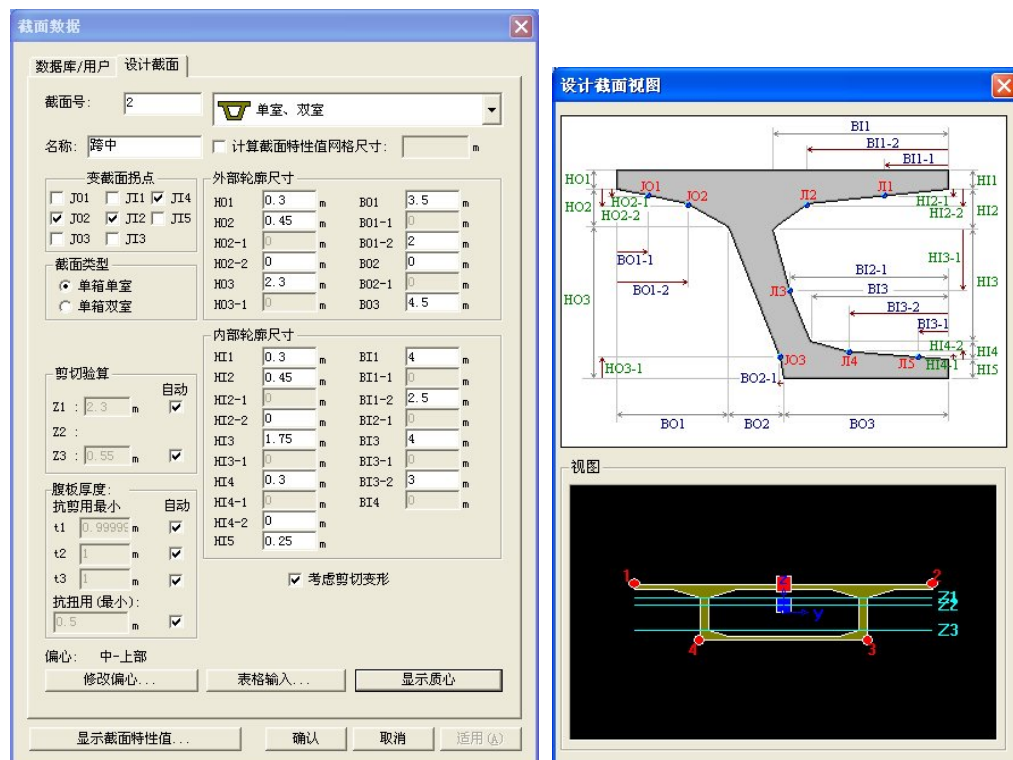
一、结构描述.....	2
二、结构建模.....	4
三、分步骤说明.....	4
1、定义材料和截面特性.....	4
2、建立上部梁单元并赋予单元截面属性.....	7
3、定义结构组并赋予结构组单元信息.....	11
4、定义边界组并定义边界条件.....	12
5、定义荷载工况和荷载组.....	13
6、定义施工阶段.....	14
7、分阶段定义荷载信息.....	14
8、分析及后处理查看.....	20
9、按照 JTG D62 规范的要求对结构进行 PSC 设计.....	21

## PSC 变截面箱梁施工阶段及 PSC 设计例题

对于常规的 PSC 连续梁桥我们通常可以参考建模助手建立的模型，对于特殊的桥型或有特殊要求的结构我们需要按照一般方法建立有限元模型，施加边界和荷载进行分析。这个例题主要说如何使用一般方法建立 PSC 连续梁桥并定义施工阶段进行施工阶段分析和按照 JTG D62 规范对结构进行设计验算。

### 一、结构描述

这是一座 50+60+50 的三跨预应力混凝土连续箱梁桥，这里仅模拟其上部结构。施工方法采用悬臂浇注，跨中截面和端部截面如图 1 所示。



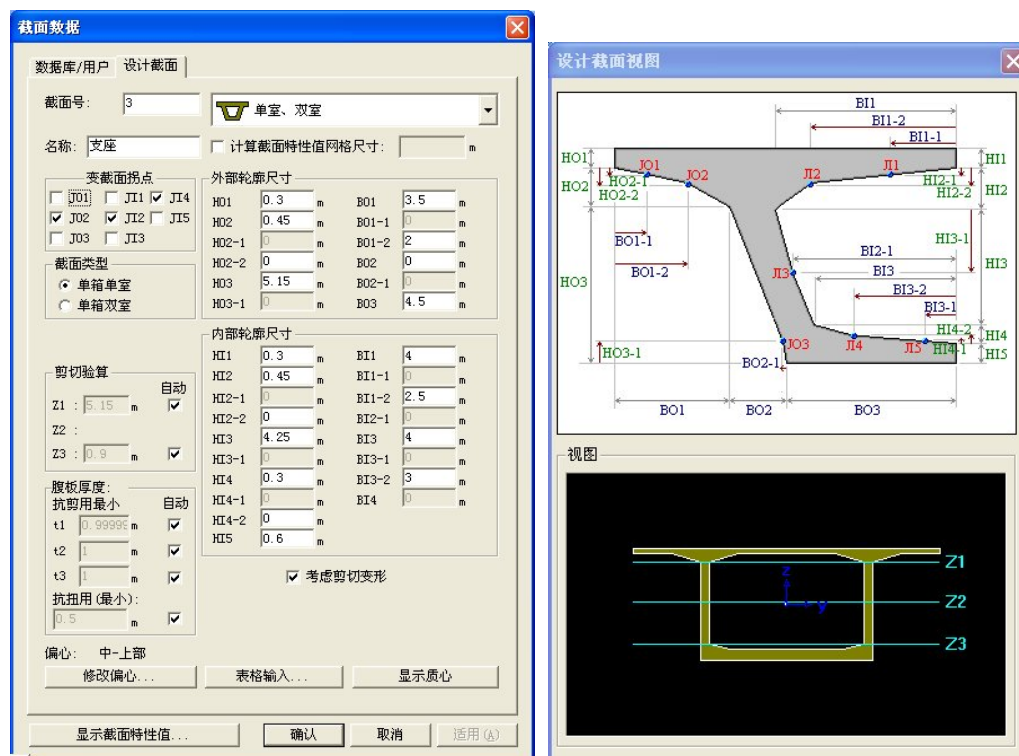


图 1-2 支座截面示意

桥梁立面图如图 2 所示。

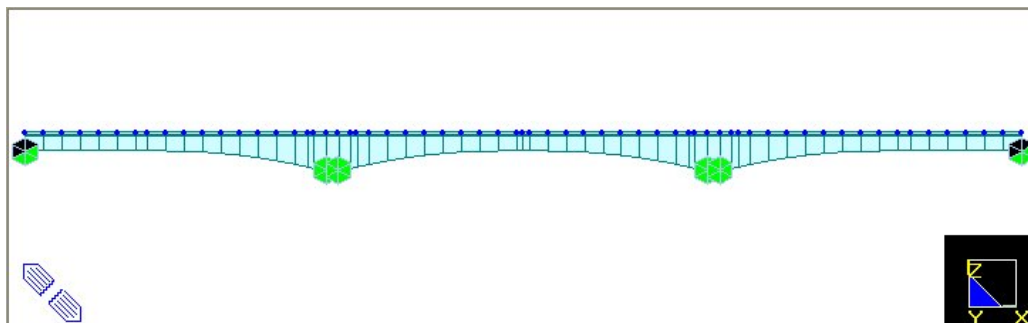


图 2 连续梁立面图

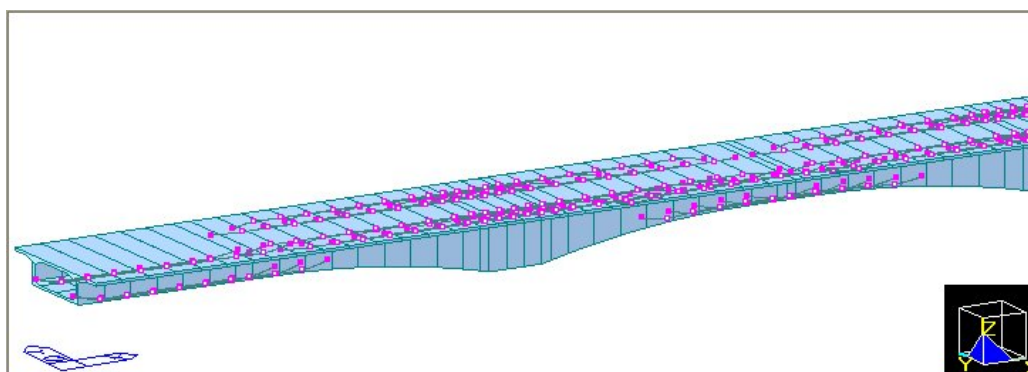


图 3 钢束布置形状

## 二、结构建模

对于施工阶段分析模型，通常采用的建模方法是：

- 1、定义材料和截面特性（包括混凝土收缩徐变函数定义）；
- 2、建立上部梁单元并赋予单元截面属性；
- 3、定义结构组并赋予结构组信息；
- 4、建立边界组并定义边界条件；
- 5、定义荷载工况和荷载组；
- 6、定义施工阶段；
- 7、分阶段定义荷载信息（分施工阶段荷载和成桥荷载两部分）；
- 8、分析，分析完成后定义荷载组合进行后处理结果查看；
- 9、定义设计验算参数按照 JTG D62 对结构进行长短期及承载能力验算。

下面就每个步骤分别详述如下——

## 三、分步骤说明

### 1、定义材料和截面特性

本模型中涉及的材料包括混凝土主梁（C40）、预应力钢绞线（Strand1860）。如下图 4 所示。



图 4 材料列表

通常对于预应力混凝土结构（PSC 结构）按照现浇施工时，要考虑混凝土的收缩徐变效应，因此需要在建模前要定义混凝土的收缩徐变函数，按照如下图所示定义混凝土收缩徐变函数。

**添加/编辑时间依存材料 (徐变/收缩)**

名称:  设计规范:

China (JTG D62-2004)

28天龄期混凝土立方体抗压强度标准值, 即标号强度 ( $f_{cu,k}$ ):   $\text{kN/m}^2$

$f_{cm} = 0.8 f_{cu,k} + 8$

环境年平均相对湿度 (40~99):  %

构件理论厚度:  m

$h = 2 A_c / u$  ( $A_c$ : 构件截面面积,  $u$ : 构件与大气接触的周边长度)

水泥种类系数 ( $B_{sc}$ ):

收缩开始时的混凝土龄期:  day

这里输入非 0 正值即可, 建立模型后通过程序自动修正所有单元的有效厚度。

图 5 混凝土收缩徐变函数定义

主梁截面为变截面箱梁, 共有两个控制截面, 一个是跨中截面, 一是支座位置处截面。以跨中截面和支座处截面定义变截面。截面列表如图 6 所示。其中跨中截面和支座截面在前面的结构描述中都有图示。“跨中-支座”以及“支座-跨中”的变截面定义通过分别导入跨中截面和支座截面来定义就可以了。如图 6 所示。

**材料和截面**

材料 | 截面 | 厚度

号	名称	类型	形状
1	跨中	设计截面	1CEL
2	支座	设计截面	1CEL
3	跨中-支座	变截面	1CEL
4	支座-跨中	变截面	1CEL

图 6-1 截面列表

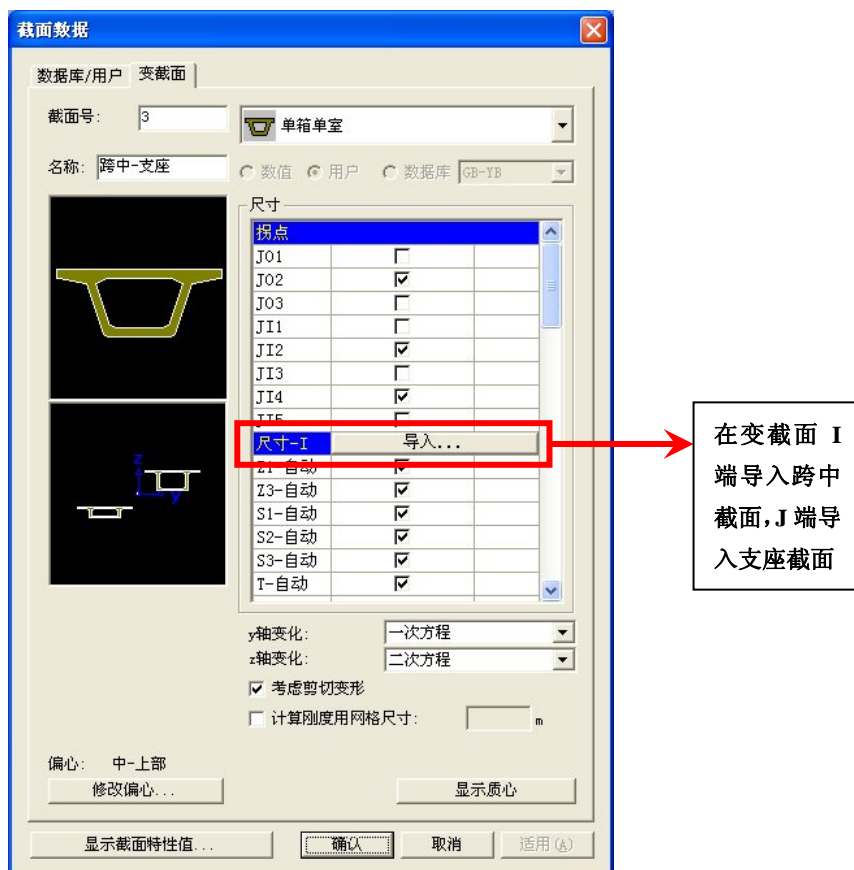


图 6-2 跨中-支座段变截面

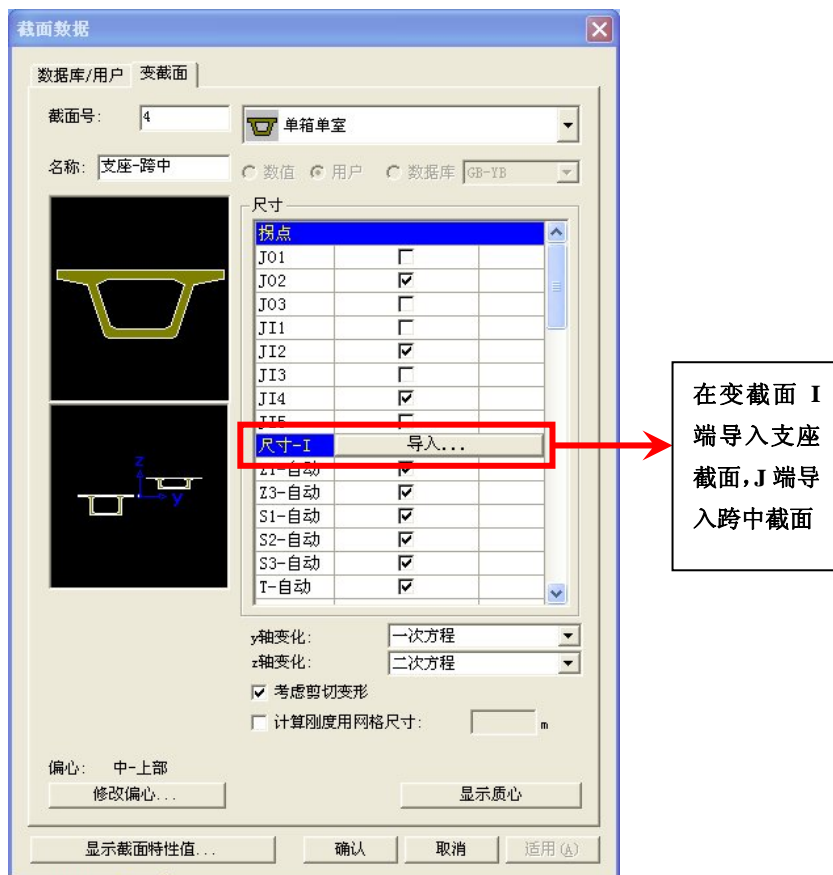


图 6-3 支座-跨中段变截面

## 2、建立上部梁单元并赋予单元截面属性

建立桥梁模型时，如果要同时进行施工阶段分析，要针对施工的特点建立有限元模型，例题中所示结构按照悬臂法施工，悬臂施工段为每段 3m，因此在建立模型时考虑按 1.5m 或 3m 长度单元建立模型，本例题中主梁是直梁结构，因此建模方式可选性很广，可以通过扩展单元的方式建立、或者从 AutoCAD 导入已划分节段的主梁中心线、或者通过逐个建立单元的方式，这里采用扩展单元的方式建立一半主梁，然后通过镜像单元生成另一半主梁。

首先在 (0,0,0) 位置上建立主梁端部节点，然后通过对该节点进行扩展生成左半部主梁结构。如下图所示——

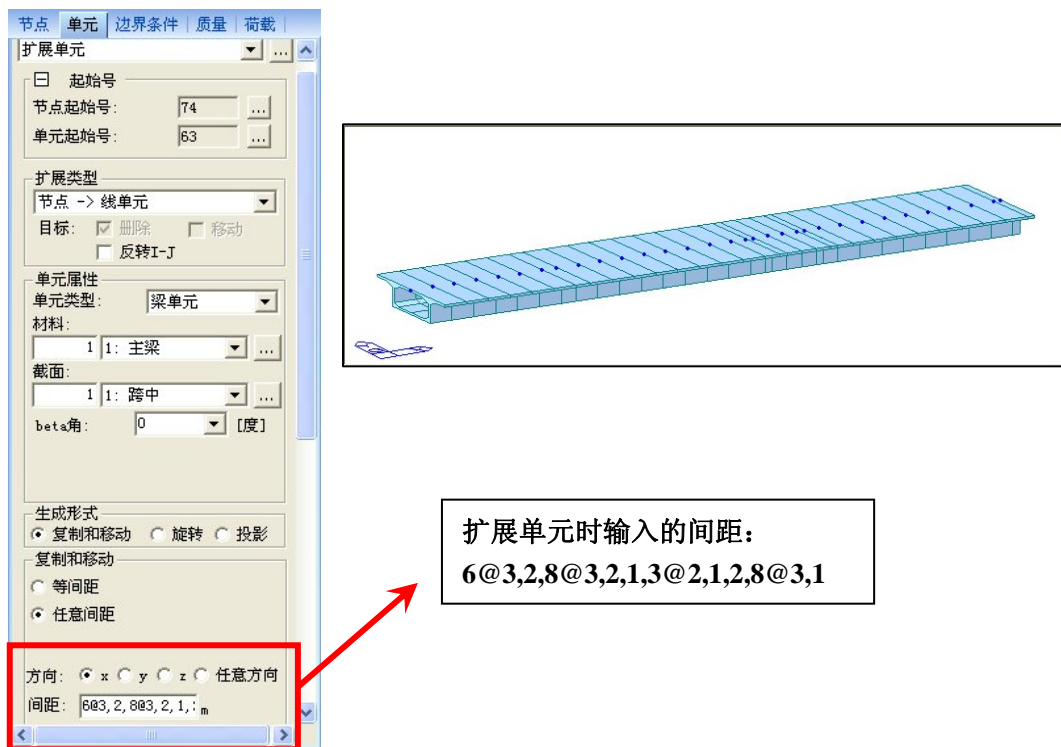


图 7 扩展生成左半边主梁

然后对生成的左半边主梁进行镜像生成另一半主梁，如下图所示，

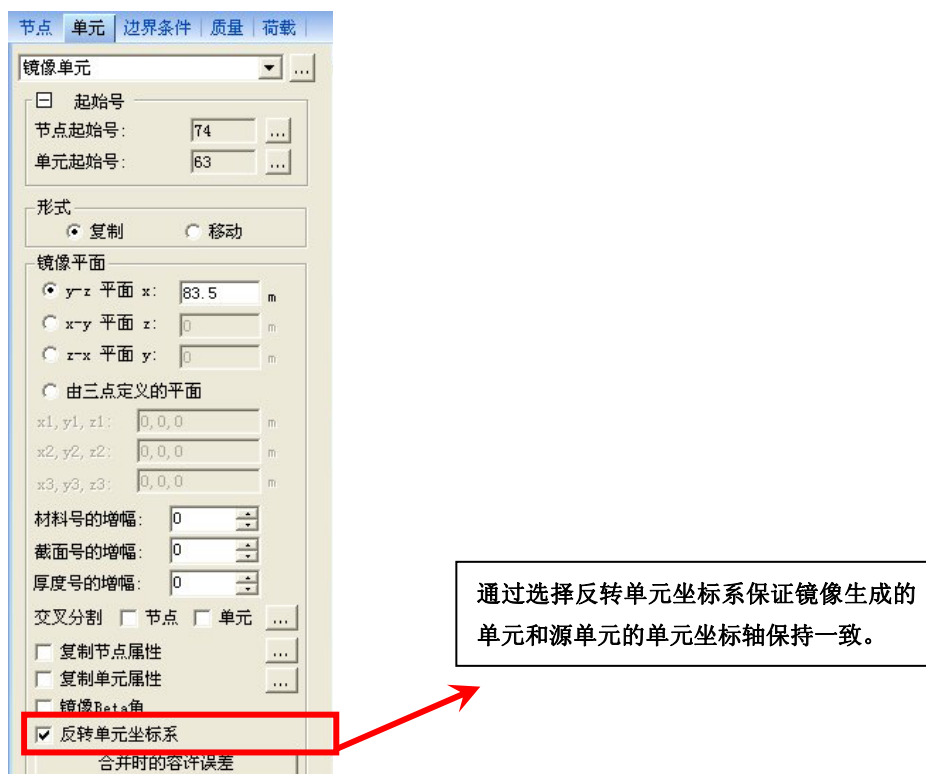


图 8 镜像生成另一半主梁

生成全桥单元后，因为由镜像生成的梁单元的编号顺序也是镜向的，因此要对所有梁单元进行重新编号，以便于后续的单元选择（保证单元编号有规律的连续性对单元的选择操作很有帮助）。

上述步骤生成全桥单元时使用的是跨中截面，因此对生成的全桥单元应根据其实际对应的截面信息修改单元的截面信息，可以通过修改单元参数修改单元信息，也可以通过 MIDAS 特有的**拖放**功能赋予单元截面信息，这里以拖放的方式赋予每段单元实际的截面信息。

首先选择支座附近单元，修改其截面类型为“支座”截面，打开单元编号显示，选择单元“18to20, 43to45”，如下图——



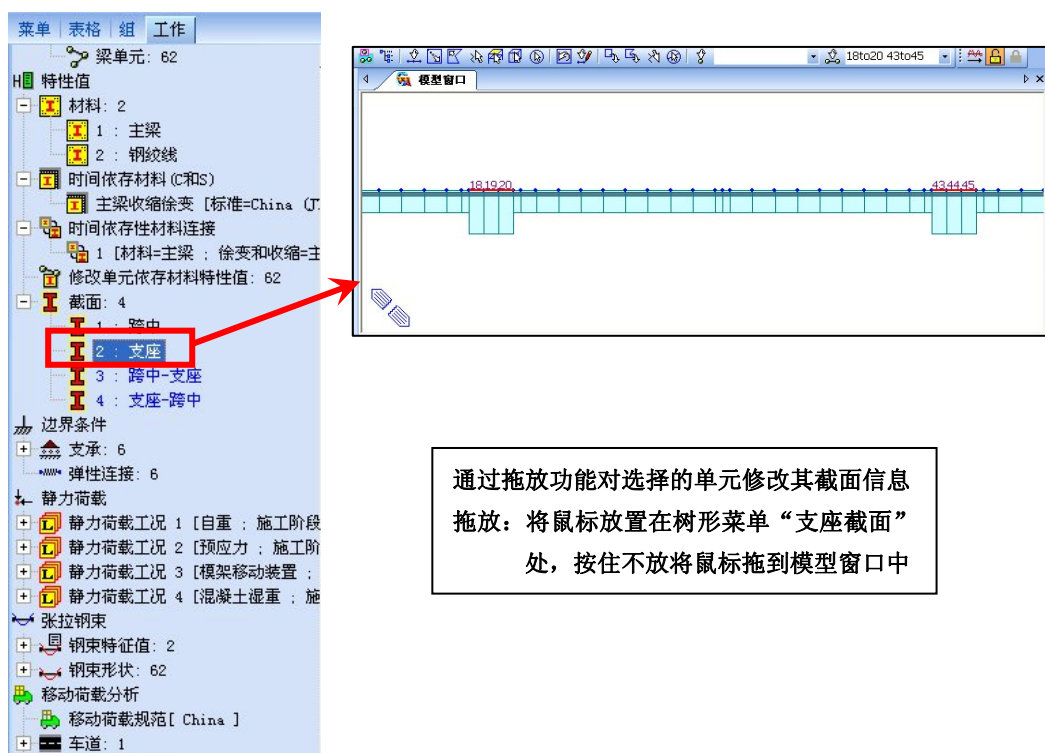


图 9 拖放功能修改支座附近单元的截面信息

同样的方法，选择单元“9to17, 34to42”，将截面“3：跨中-支座”拖放至模型窗口，得到如下图所示的模型——

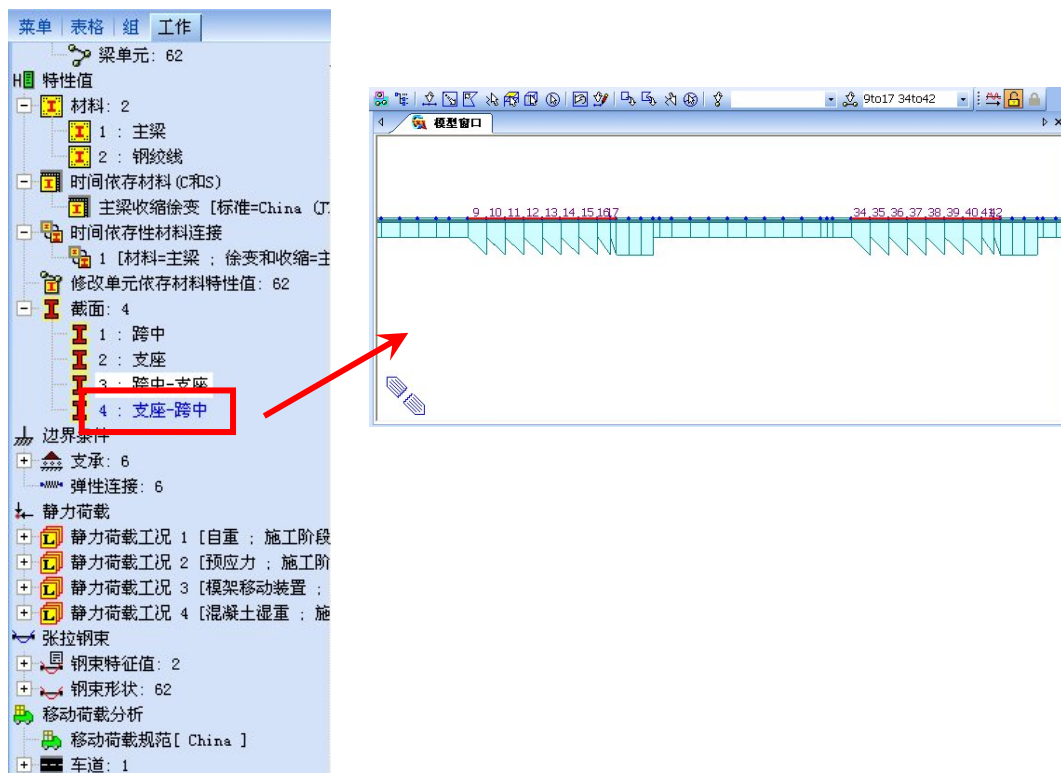


图 10 修改截面高度由低变高段（跨中-支座）

同样的方法，选择单元“9to17, 34to42”，将截面“3：跨中-支座”拖放至模型窗口，得到如下图所示的模型——

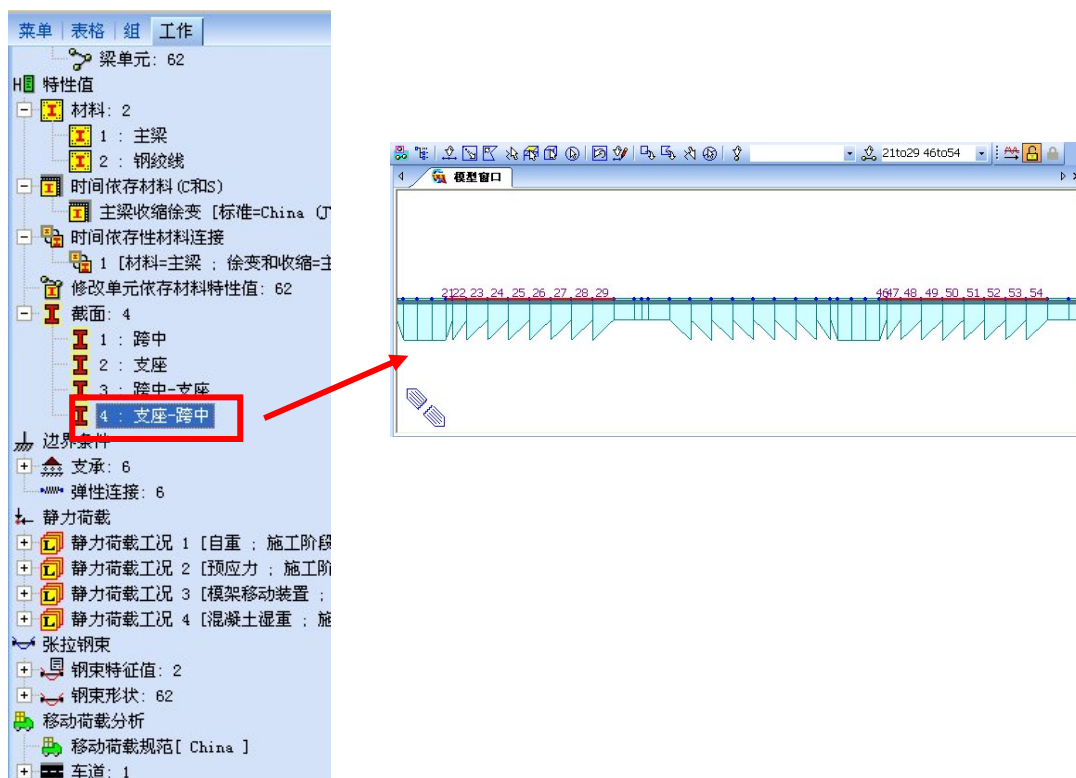


图 11 修改截面高度由低变高段（支座-跨中）

赋予变高梁段变截面信息后，发现桥梁模型显示都是锯齿状，此时需要将同类的变截面定义为一个变截面组，保证单元截面变化的连续性。在树形菜单双击“跨中-支座”，在变截面组信息中定义名称为“跨中-支座”，z 轴变化选择 2 项式变化，对称轴为单元组的 i 端；

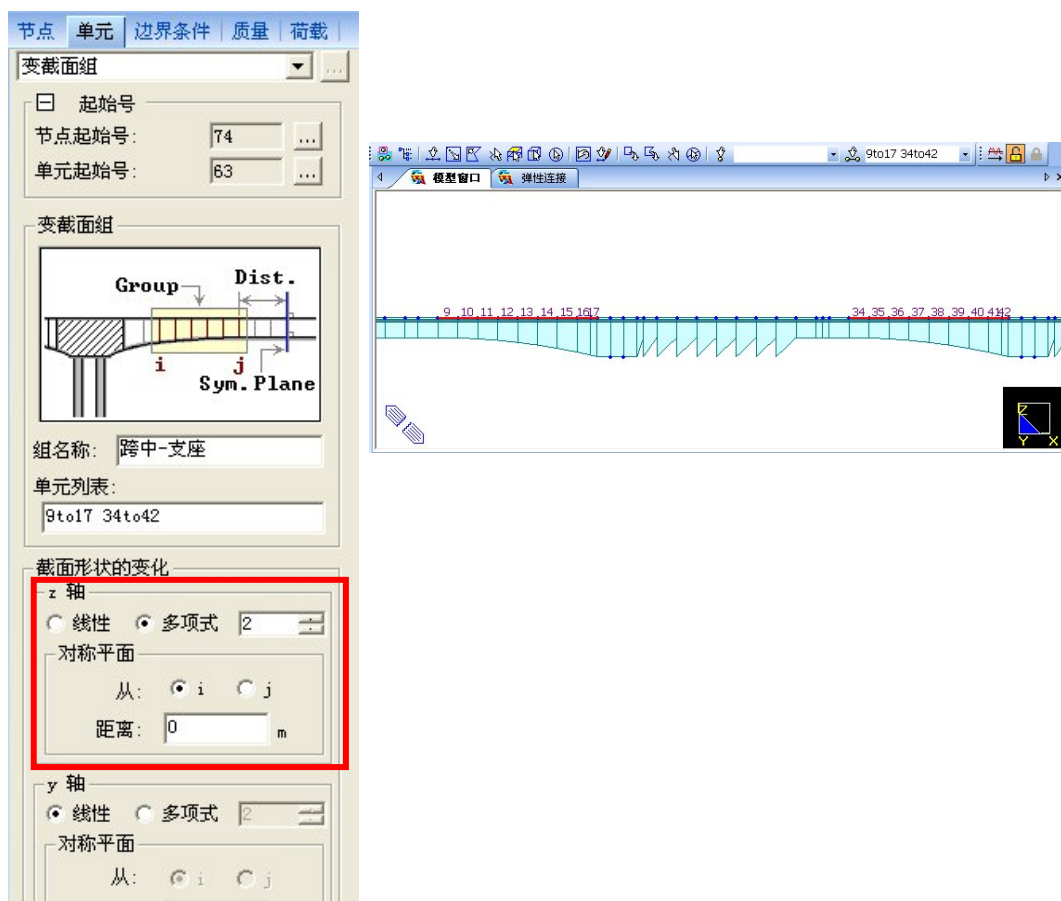


图 12-1 变截面组“跨中-支座”定义图示

在树形菜单双击“支座-跨中”，在变截面组信息中定义名称为“支座-跨中”，z 轴变化选择 2 项式变化，对称轴为单元组的 j 端；

### 3、定义结构组并赋予结构组单元信息

结构组名称及结构组单元信息如下表所示——

结构组名称	结构组所含单元	结构组名称	结构组所含单元
左支座处梁段	17to21	桥梁段 2-3	39 49
右支座处梁段	42to46	桥梁段 2-4	38 50
桥梁段 1-1	16 22	桥梁段 2-5	37 51
桥梁段 1-2	15 23	桥梁段 2-6	36 52
桥梁段 1-3	14 24	桥梁段 2-7	35 53
桥梁段 1-4	13 25	桥梁段 2-8	34 54
桥梁段 1-5	12 26	桥梁段 2-9	33 55
桥梁段 1-6	11 27	左边跨合龙段	7
桥梁段 1-7	10 28	跨中合龙段	31 32
桥梁段 1-8	9 29	右边跨合龙段	56
桥梁段 1-9	8 30	左侧满堂支架区段	1to6
桥梁段 2-1	41 47	右侧满堂支架区段	57to62
桥梁段 2-2	40 48	所有合龙段	7 31 32 56

	桥梁主梁	1to62
--	------	-------

\*注：“左支座处梁段”、“右支座处梁段”、“左侧满堂支架区段”、“右侧满堂支架区段”还应包括在步骤 4 中建立的支座节点。

建立好模型后，就可以对执行程序自动修改构件理论厚度的功能了。如图选择所有梁单元，在“模型〉材料和截面特性〉修改时间依存材料特性”中选择修改构件理论厚度——



图 13 修改构件理论厚度

#### 4、定义边界组并定义边界条件

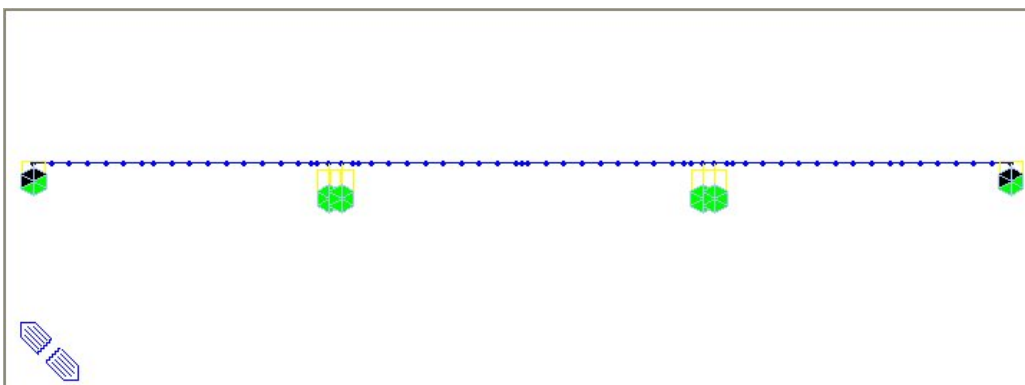
边界采用一般支承来模拟，因为截面选择的是顶对齐，因此需要在梁底支座支承的位置处建立支座节点，然后将支座节点和主梁节点通过弹性连接〉刚性连接起来。

选择中部节点 19、20、44、45，选择节点〉复制移动，对选择的两个节点向下复制 5.9m，生成新节点 64~67；选择边跨端部节点 1 和 63，选择节点〉复制移动，对选择的两个节点向下复制 3.05m，生成新节点 68、69。（新生成的支座节点要按照步骤 3 的注释中说明的将节点放置在对应的结构组中。）

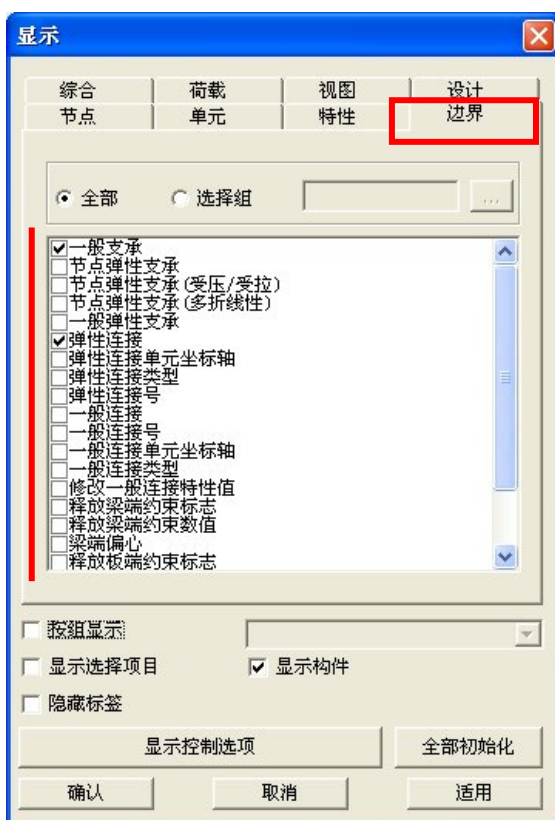
定义边界组和边界信息如下表所示。

边界组名称	支座约束		支座与主梁约束	
	一般支承	适用支座节点	弹性连接	适用节点
支承	111111	64to67	刚性	19-64, 20-65, 44-66, 45-67
左边跨	011100	68	刚性	1-68
右边跨	011100	69	刚性	63-69

得到结构的边界条件如下图所示——



\*注：约束、荷载及其他模型中内容可以在“视图〉显示”中定义显示，如上述边界条件的显示，在显示菜单中选择要显示内容进行显示即可——



## 5、定义荷载工况和荷载组

荷载工况和荷载组定义如下表所示——

编号	荷载工况名称	荷载类型	荷载组	说明
1	自重	施工阶段荷载 (CS)	自重	结构自重
2	预应力	施工阶段荷载 (CS)	钢束 1-0to 钢束 1-9 钢束 2-0to 钢束 2-9	不同施工阶段对于预应力钢束的预应力
3	挂篮重	施工阶段荷载 (CS)		模架移动装置换算荷载

## 6、定义施工阶段

本模型采用悬臂浇注施工方法，从施工零号块开始，对称浇注两端悬臂段，直至全桥合龙，共分 12 个施工阶段。施工阶段信息如下表所示——

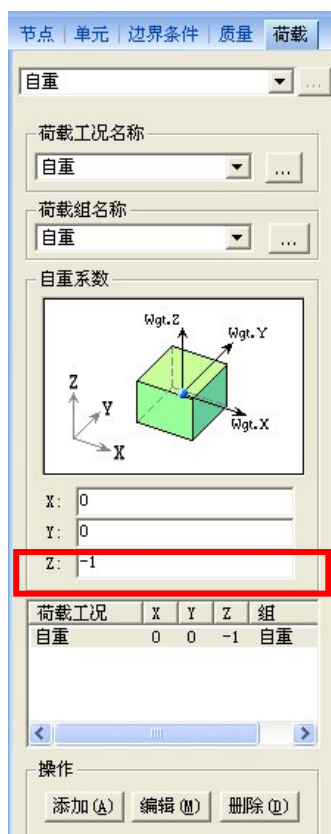
施工阶段 名称	结构组		边界组		荷载组	
	激活	钝化	激活	钝化	激活	钝化
1-零号块施工	左、右支座处梁段	——	支承	——	自重，挂篮 1，钢束 1-0，钢束 2-0	——
2-悬浇 1	桥梁段 1-1， 桥梁段 2-1	——	——	——	挂篮 2，钢束 1-1， 钢束 2-1	挂篮 1
3-悬浇 2	桥梁段 1-2， 桥梁段 2-2	——	——	——	挂篮 3，钢束 1-2， 钢束 2-2	挂篮 2
4-悬浇 3	桥梁段 1-3， 桥梁段 2-3	——	——	——	挂篮 4，钢束 1-3， 钢束 2-3	挂篮 3
5-悬浇 4	桥梁段 1-4， 桥梁段 2-4	——	——	——	挂篮 5，钢束 1-4， 钢束 2-4	挂篮 4
6-悬浇 5	桥梁段 1-5， 桥梁段 2-5	——	——	——	挂篮 6，钢束 1-5， 钢束 2-5	挂篮 5
7-悬浇 6	桥梁段 1-6， 桥梁段 2-6	——	——	——	挂篮 7，钢束 1-6， 钢束 2-6	挂篮 6
8-悬浇 7	桥梁段 1-7， 桥梁段 2-7	——	——	——	挂篮 8，钢束 1-7， 钢束 2-7	挂篮 7
9-悬浇 8	桥梁段 1-8， 桥梁段 2-8	——	——	——	挂篮 9，钢束 1-8， 钢束 2-8	挂篮 8
10-悬浇 9	桥梁段 1-9， 桥梁段 2-9	——	——	——	合龙段挂篮 1、 2-1、2-2、3，钢束 1-9，钢束 2-9	挂篮 9
11-边跨合龙		——	左、右边跨	——	合龙段钢束 1、3，	合龙段挂篮 1、3
12-中跨合龙		——	——	——	合龙段钢束 2，	合龙段挂篮 2-1、2-2

## 7、分阶段定义荷载信息

本例题主要模拟 5 种荷载作用：结构自重、挂篮荷载、预应力荷载、混凝土收缩徐变荷载、公路一级车道荷载。以上 5 种荷载，除收缩徐变由程序根据已定义的收缩徐变函数自动计算外，其他的都要定义荷载信息。下面分述如下——

1) 自重：在荷载中选择自重，按照下图指定荷载工况名称、荷载组、自重系数添加即可。



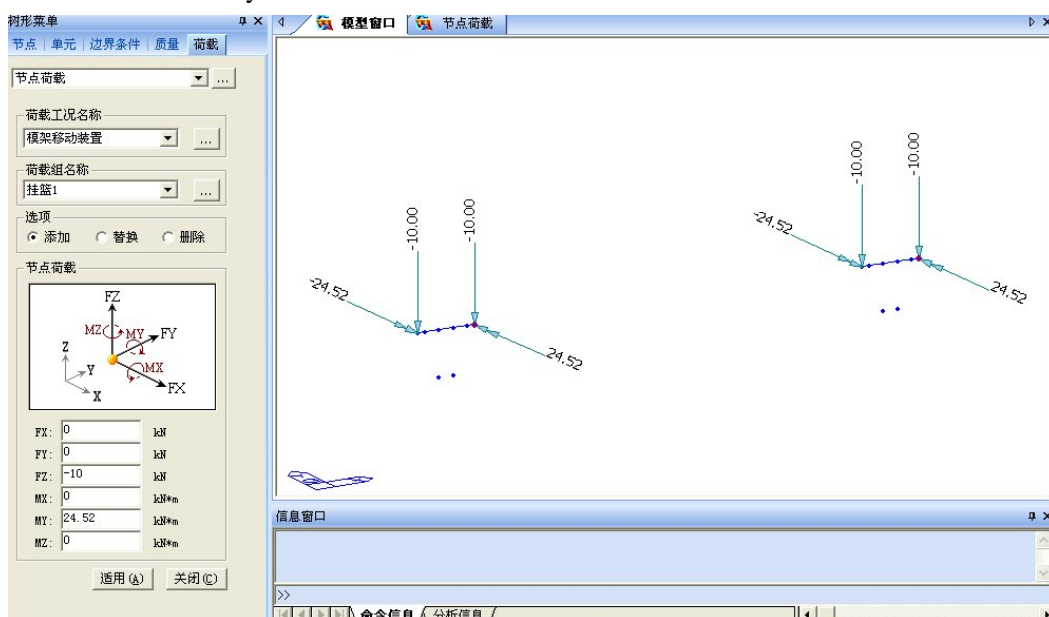


程序根据自重系数、当前施工阶段结构模型自动计算结构自重。

2) 挂篮荷载：主梁合龙前，在悬臂端都有挂篮荷载的作用，由于结构是对称施工，而且结构本身也是对称结构，因此施工过程中的等效挂篮荷载也是对称的。在这里通过节点荷载来模拟。挂篮作用在悬臂端外 2.452m 处 m 处，挂篮换算荷载为 10kN 及附加弯矩 24.52kNm。

以第一阶段挂篮 1 为例，定义挂篮荷载如下图所示——

选择显示第一施工阶段，然后选择两个零号块的右端节点 22 和 47，选择荷载工况为“模架移动装置”，荷载组选择“挂篮 1”，添加节点荷载值  $F_z = -10\text{kN}$ ， $M_y = 24.52\text{kNm}$  适用，然后再选择节点 17 和 42，选择荷载工况为“模架移动装置”，荷载组选择“挂篮 1”，添加节点荷载值  $F_z = -10\text{kN}$ ， $M_y = -24.52\text{kNm}$  适用。



3) 预应力荷载: 定义预应力荷载分三步骤, 钢束特性值——钢束布置形状——钢束预应力荷载。钢束布置形状只能在基本状态下添加, 而预应力荷载可以在施工阶段添加。

例题中的结构顶板和底板均配预应力钢束, 因此涉及两种钢束特性值, 如下图所示——

**添加/编辑钢束特性值**

钢束名称: 顶板束

钢束类型: 内部(后张)

材料: 2 2: 钢绞线 ...

钢束总面积: 0.00168 m<sup>2</sup> ...

导管直径: 0.1 m

☒ 钢筋松弛系数 JTG04 0.3

☐ 超张拉

预应力钢筋抗拉强度标准值 (f<sub>pk</sub>): 1860000 kN/m<sup>2</sup>

预应力钢筋与管道壁的摩擦系数: 0.3

管道每米局部偏差的摩擦影响系数: 0.0068 1/m

体外索弯矩放大: 0 kN/m<sup>2</sup>

锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩值: 开始: 0.006 m 结束: 0.006 m

粘结类型: ☒ 粘结 ☐ 无粘结

确认 (Q) 取消 (C) 适用 (A)

**添加/编辑钢束特性值**

钢束名称: 底板束

钢束类型: 内部(后张)

材料: 2 2: 钢绞线 ...

钢束总面积: 0.0021 m<sup>2</sup> ...

导管直径: 0.1 m

☒ 钢筋松弛系数 JTG04 0.3

☐ 超张拉

预应力钢筋抗拉强度标准值 (f<sub>pk</sub>): 1860000 kN/m<sup>2</sup>

预应力钢筋与管道壁的摩擦系数: 0.3

管道每米局部偏差的摩擦影响系数: 0.0068 1/m

体外索弯矩放大: 0 kN/m<sup>2</sup>

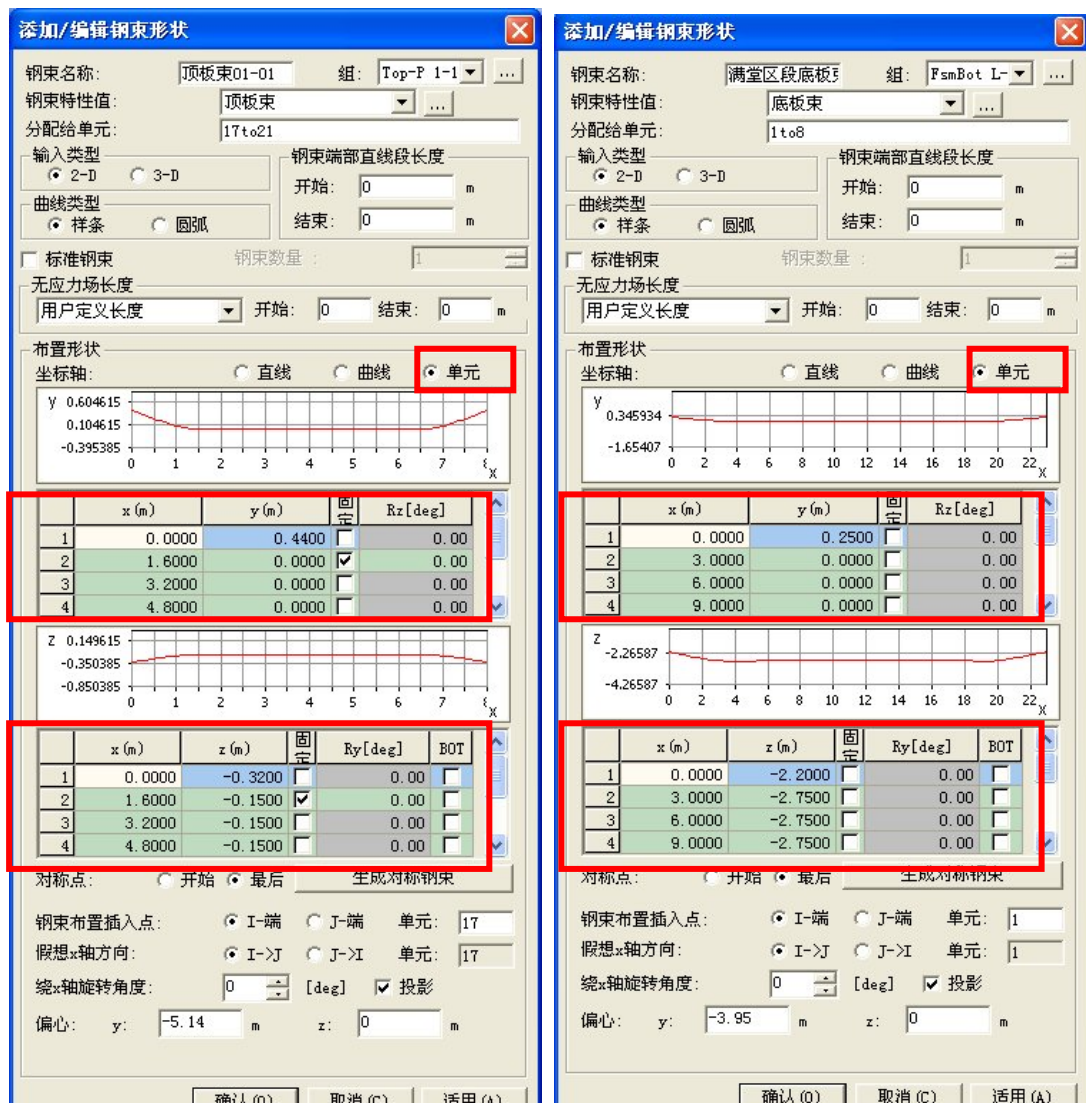
锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩值: 开始: 0.006 m 结束: 0.006 m

粘结类型: ☒ 粘结 ☐ 无粘结

确认 (Q) 取消 (C) 适用 (A)

钢束布置形状首先定义一对顶板束和一对底板束作为标准钢束, 其他位置的钢束通过钢束的复制移动功能生成。将第一施工阶段顶板束作为顶板的标准束。底板束采用第 11 阶段边跨合龙时的左侧底板束作为底板标准束。

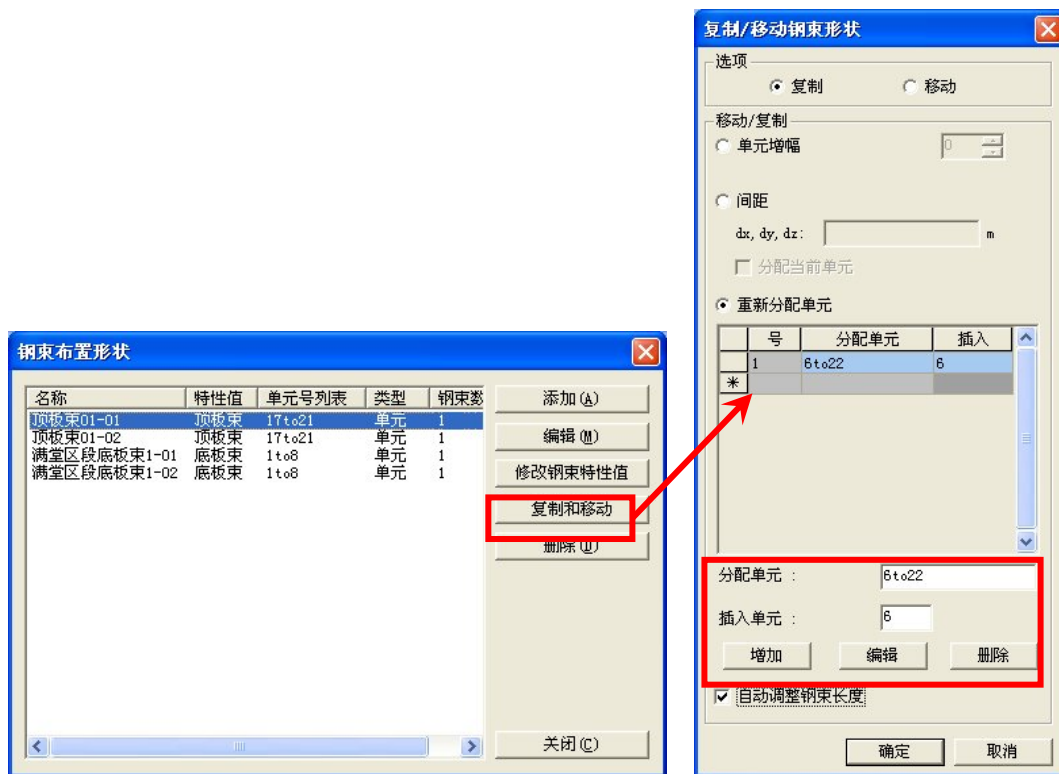




\*注: 只有“单元”类型钢束支持复制移动钢束时重新分配单元以及根据分配单元长度自动调整钢束长度的功能。所以选择钢束坐标轴为“单元”类型, 方便使用钢束的复制移动功能建立其他钢束形状。

其他钢束形状的建立通过钢束复制移动建立, 复制钢束时最重要的是要保证钢束位置准确。

顶板束 1-2: 在钢束布置形状中选择钢束“顶板束 1-1”, 建立第二阶段顶板束——



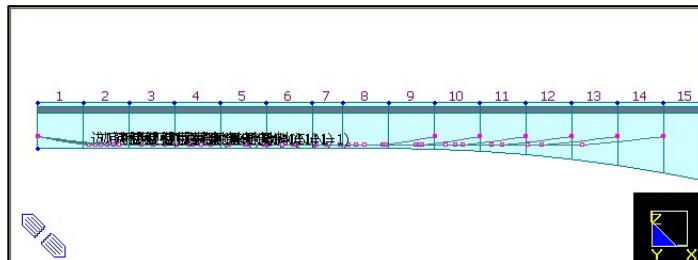
\*注：如果选择了“自动调整钢束长度”功能，程序根据重新分配单元的长度通过调整钢束的直束部分来调整建立新钢束。然后对复制生成的钢束名称更名为顶板束 01-02。重新分配单元编号可通过查看每个施工阶段主梁段的单元编号即可。

对于顶板上的钢束形状可以通过复制功能很快的生成，钢束复制移动的时候可以一次复制或移动生成多根钢束，以顶板束 01-01 为例，以此钢束为源钢束，可以一次性生成主梁顶部所有靠近主梁右侧的钢束。如下图所示——



选择多组重新分配单元和对应的单元插入点添加即可一次性定义多根钢束布置形状。对于生成的钢束程序自动生成钢束名称，如果需要改动可以在钢束布置形状特性值里修改钢束名称。

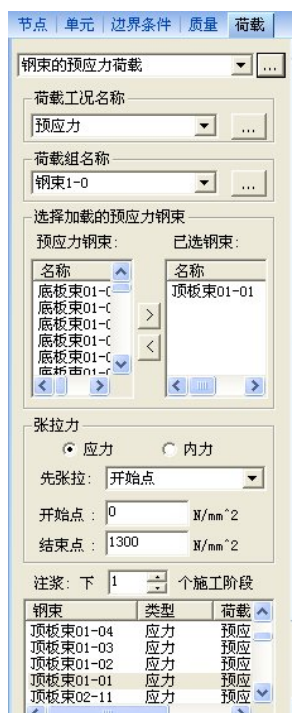
在复制底板束时，仅通过对源钢束形状的复制移动对于变高度梁单元的底板束是不够的，还需要使用钢束布置形状中的另一项功能，即程序根据底板变化形状自动调整钢束在 x 向的布置形状。



显然底板钢束布置形状在右侧深入主梁内部的 z 向位置偏上，需要按照底板的变化向下弯曲。

对上述定义好的底板束中，钢束深入到变截面单元 10 及其后面单元的钢束，其形状需作改动，改动方式如下图所示，

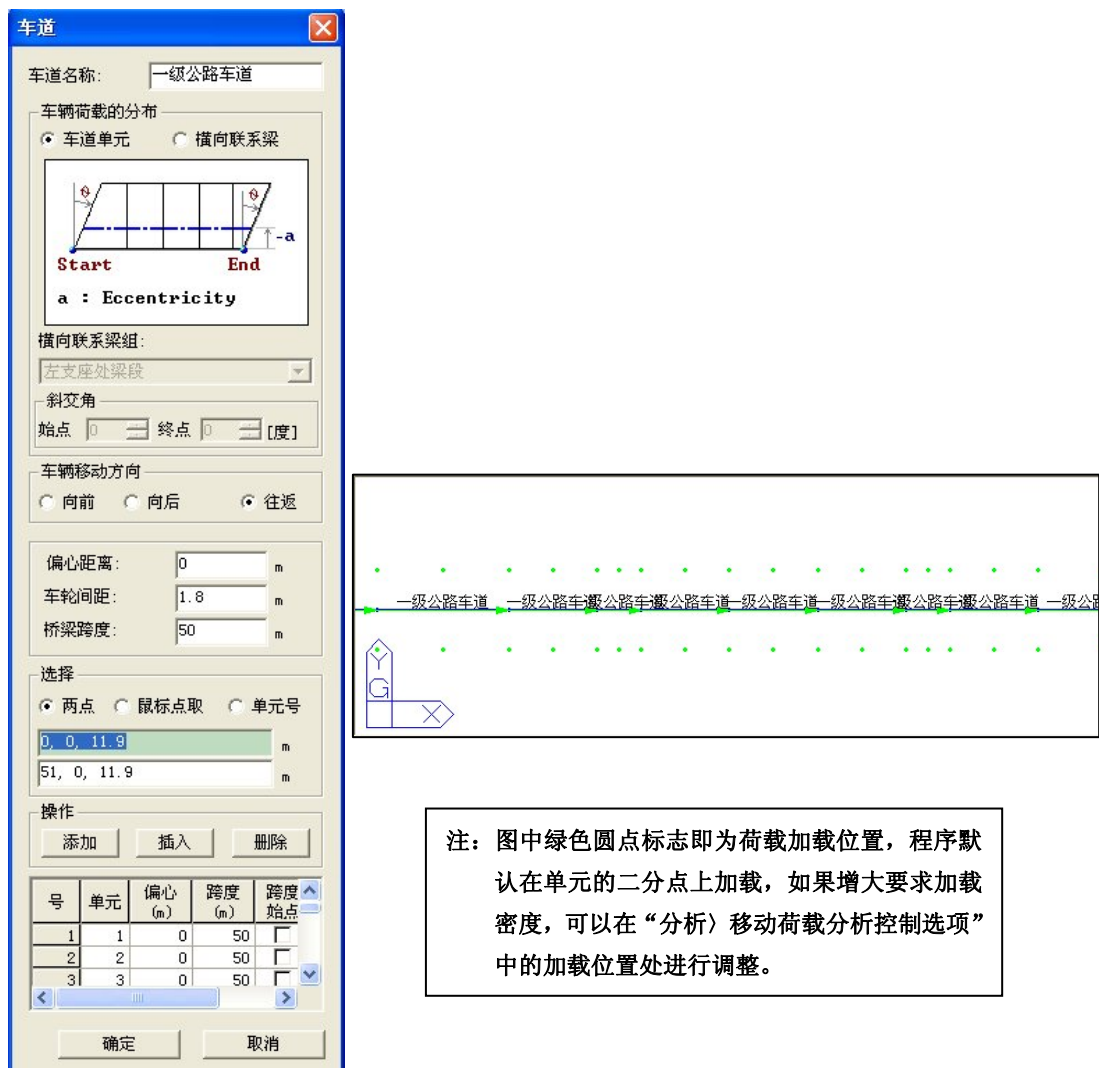
定义好钢束布置形状后，就可以定义钢束预应力荷载了，这项内容建议在施工阶段执行。如第一施工阶段要张拉零号块顶板两根钢束，在阶段显示第一施工阶段，然后选择荷载〉预应力荷载〉钢束预应力，荷载工况选择“预应力”，荷载组选择钢束 1-0，如下图所示——



4) 公路一级车道荷载：按照“选择移动荷载规范——定义车道——定义车道——定义

移动荷载工况”的顺序定义移动荷载。移动荷载属于成桥荷载，必须在基本状态下定义。

在定义车道时，可以指定车轮间距，来模拟车辆或车道的三维布载形式，如果车轮间距输入为 0，则该荷载即为规范规定的等效二维荷载。



## 8、分析及后处理查看

定义好以上各项荷载后，就可以选择执行分析了，但在进行分析计算之前，首先要在主菜单分析中定义相应的分析控制选项，这里要定义的是移动荷载分析控制选项和施工阶段分析控制选项，前者包括定义移动荷载分析输出内容和冲击系数计算方法，后者包括施工阶段分析的各项参数。

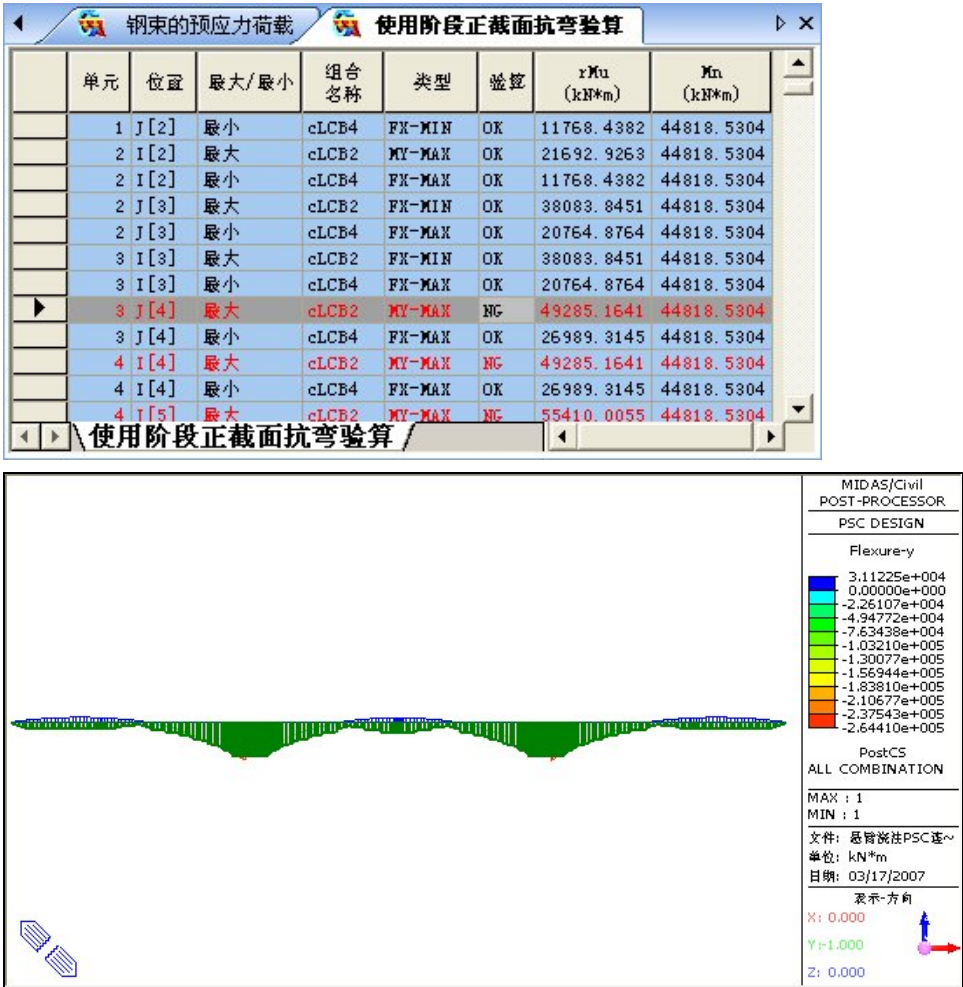
在查看后处理结果之前，要先定义荷载组合，在分析结果查看时，可以在任何一栏内定义荷载组合中，可以选择按照规范自动生成组合，也可根据经验自定义荷载组合。

后处理的查看除常规的反力、位移、内力、应力查看外，对于移动荷载分析还可利用一旦荷载追踪功能查看移动荷载的最不利布置情况，并可将这种荷载布置形式转化为静力荷载，在动力分析、非线性分析中代替移动荷载使用。还可查看每个施工阶段的分析结果，以及预应力损失计算的详细结果，在结果〉分析结果表格〉预应力钢束〉预应力损失...结果表格中按照施工阶段查看每项预应力损失。





内容均以红色显示。对于 PSC 设计承载能力验算结果还可以以图形的形式显示，即以设计内力图和承载能力包络图的形式给予直观的显示。



如果要考虑结构中普通钢筋的作用，可以在前处理通过定义截面钢筋来实现，并且在分析）主控数据中选择考虑普通钢筋作用。

