

空心板梁格分析

目 录

1 空心板梁格分析.....	3
1.1 桥梁概况.....	3
1.1.1 主要设计技术指标.....	3
1.1.2 计算原则.....	4
1.1.3 空心板横断面几何尺寸.....	4
1.1.4 主要材料及空心板钢束布置.....	5
1.1.5 施工流程说明.....	6
1.2 建模分析.....	7
1.2.1 模型概述.....	7
1.2.2 建模要点.....	8
1.2.2.1 定义组.....	8
1.2.2.2 定义材料与截面.....	8
1.2.2.3 建立节点与单元.....	11
1.2.2.4 定义荷载工况类型.....	13
1.2.2.5 定义静力荷载.....	13
1.2.2.6 定义预应力荷载.....	14
1.2.2.7 定义移动荷载.....	17
1.2.2.8 定义边界.....	20
1.2.2.9 定义施工阶段.....	23
1.2.2.10 将荷载转化成质量.....	24
1.2.3 分析控制定义.....	25
1.2.3.1 定义施工阶段分析控制对话框.....	25
1.2.3.2 定义特征值分析控制对话框，得到竖向基频.....	26
1.2.3.3 定义主控数据和移动荷载分析控制对话框.....	27
1.3 结合规范进行设计.....	28
1.3.1 荷载组合与 PSC 设计定义.....	28
1.3.1.1 荷载组合.....	28

1.3.1.2	PSC 设计定义.....	30
1.3.2	施工阶段法向压应力验算.....	32
1.3.3	受拉区钢筋拉应力验算.....	33
1.3.4	使用阶段正截面抗裂验算.....	33
1.3.5	使用阶段斜截面抗裂验算.....	33
1.3.6	使用阶段正截面压应力验算.....	34
1.3.7	使用阶段斜截面主压应力验算.....	34
1.3.8	使用阶段正截面抗弯验算.....	34
1.3.9	使用阶段斜截面抗剪验算.....	35
1.3.10	使用阶段抗扭验算.....	35
1.4	结论.....	36

1 空心板梁格分析

1.1 桥梁概况

1.1.1 主要设计技术指标

(1) 桥梁设计基准期 100 年。

(2) 结构设计安全等级一级。

(3) 桥面宽度：

横断面布置：0.5 米护栏+11 米行车道+0.5 米护栏=12.0 米。

(4) 设计荷载

1) 永久荷载

钢结构容重 78.5KN/m^3 ，钢筋混凝土容重 25KN/m^3 ，护栏 9.5KN/m 。10cm 厚混凝土铺装和 9cm 厚沥青混凝土铺装容重 25KN/m^3 。

基础变位作用：考虑 0.01m 基础不均匀沉降作用。

2) 可变荷载

汽车荷载：公路—I 级车道荷载的均布荷载标准值 $q_k=10.5\text{KN/m}$ ；车道荷载计算弯矩时， $P_k=245.04\text{KN}$ ，车道荷载计算剪力效应时， $P_k=1.2*245.04=294.028\text{KN}$ 。

汽车冲击力：按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004) 规定取值。

本例题没有考虑汽车制动力，用户可按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004) 规定取值。

温度荷载：均匀温升按 34°C 、温降按 -3°C 考虑；温度梯度按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004) 第 4.3.10 条的规定取值。

3) 偶然荷载

地震荷载：地震烈度为 8 度，地震动峰值加速度为 $0.2g$ ，场地特征周期为 $0.40s$ ；建筑场地较良好。

本例题没有考虑汽车撞击力，用户可按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004) 规定取值。

(5) 桥面纵坡：0.5%。

(6) 桥面横坡：车行道单向（向外侧）2.0%。

1.1.2 计算原则

(1) 执行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004) 和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004)。

(2) 10cm 厚现浇 C50 混凝土和护栏不参与结构受力, 仅作为恒载施加; 封锚端 C30 混凝土以恒载施加; 模型模拟时, 忽略桥梁横坡、纵坡对结构的影响。

(3) 按 A 类构件设计。

(4) 边界条件: 矩形板式橡胶支座约束用弹性支承进行模拟, 弹簧系数 $SD_y=SD_z=1.6667 \times 10^3 \text{ kN/m}$; $SD_x=1.01124 \times 10^6 \text{ kN/m}$ 。

1.1.3 空心板横断面几何尺寸

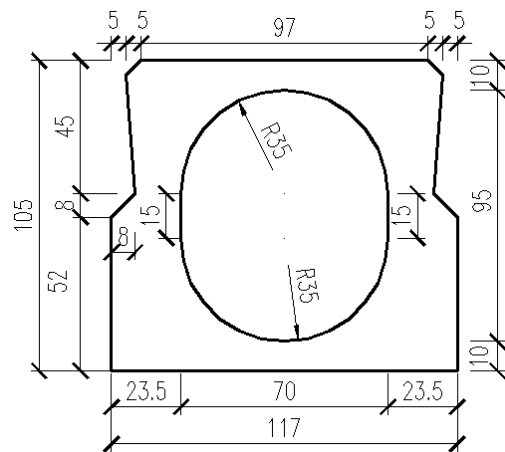


图 1-1-3-1 中板-中截面 (尺寸单位:cm)

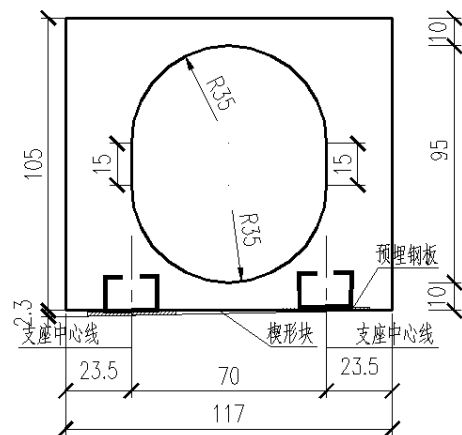


图 1-1-3-2 中板-支截面 (尺寸单位:cm)

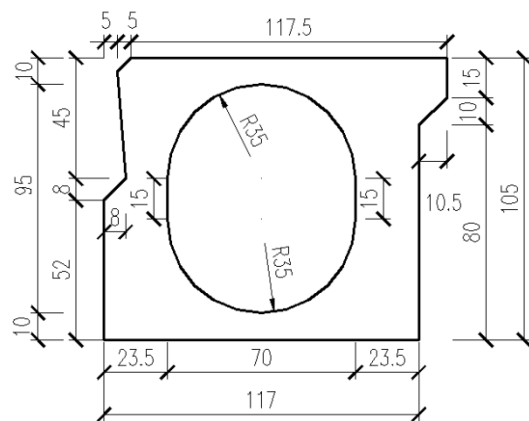


图 1-1-3-3 边板-中截面 (尺寸单位:cm)

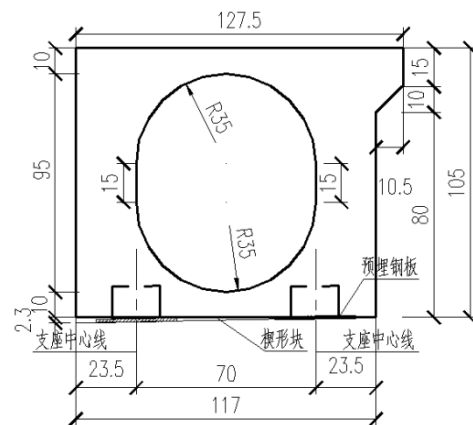


图 1-1-3-4 边板-支截面 (尺寸单位:cm)

1.1.4 主要材料及空心板钢束布置

(1) 混凝土

空心板、铰缝采用 C50 混凝土、桥面混凝土铺装采用 C50 防水混凝土。其轴心抗压强度设计值为 $f_{cd}=22.4\text{Mpa}$ ，轴心抗拉强度设计值为 $f_{td}=1.83\text{ Mpa}$ ，弹性模量为 $E_c=3.45\text{E}+04\text{ Mpa}$ ；封锚端采用 C30 混凝土，其轴心抗压强度设计值为 $f_{cd}=13.8\text{Mpa}$ ，轴心抗拉强度设计值为 $f_{td}=1.39\text{ Mpa}$ ，弹性模量为 $E_c=3.00\text{E}+04\text{ Mpa}$ 。

(2) 预应力钢筋和普通钢筋

预应力钢绞线采用 $\phi^j15.2$ 高强度低松弛钢绞线，其标准强度为 $f_{pk}=1860\text{ Mpa}$ ，张拉控制应力采用 $0.75f_{pk}=1395\text{ Mpa}$ ，弹性模量为 $E_h=1.95\text{E}+05\text{ Mpa}$ 。

钢绞线孔道采用预埋桥梁用塑料波纹管，波纹管外径 $D=77\text{mm}$ 。预应力筋与管道壁摩擦系数 $\mu=0.17$ ，管道每米局部偏差对摩擦的影响系数 $K=0.0015$ ，预应力钢绞线松弛系数 0.3。锚具采用 YM-6、7。钢束两端张拉时，两端锚具变形及钢束回缩变形值均为 6mm。

普通钢筋采用 R235、HRB335 级。R235 抗拉、抗压强度设计值 f_{sd} 、 f_{sd}' 均为 195Mpa ，弹性模量为 $E_s=2.1\text{E}+05\text{ Mpa}$ 。HRB335 抗拉、抗压强度设计值 f_{sd} 、 f_{sd}' 均为 285Mpa ，弹性模量为 $E_s=2.05\text{ E}+05\text{ Mpa}$ 。

(3) 空心板钢束布置

预应力钢束布置见图 1-1-4-1~图 1-1-4-5。预应力钢束规格及锚下张拉控制应力见表 1-1-4-1。

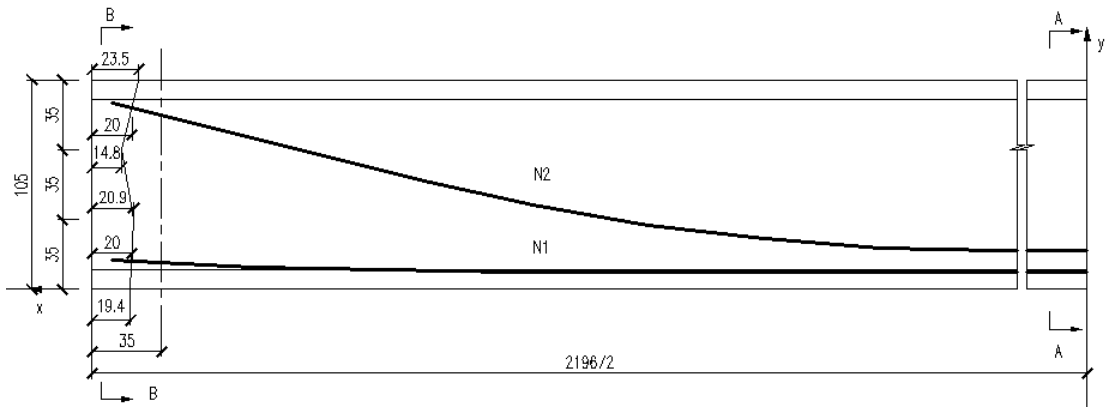


图 1-1-4-1 钢束立面布置图（尺寸单位:cm）

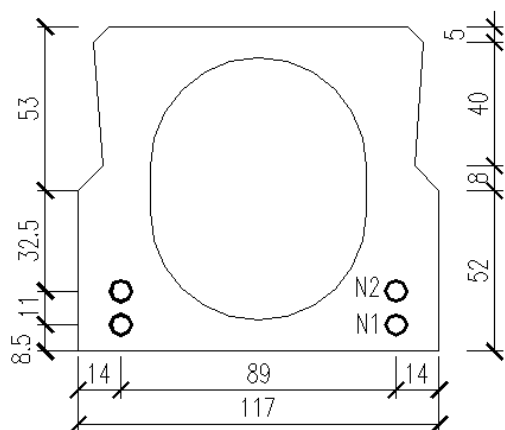


图 1-1-4-2 钢束中板-中 (尺寸单位:cm)

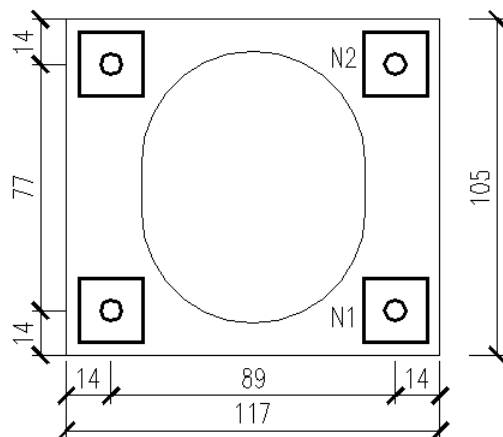


图 1-1-4-3 钢束中板-支 (尺寸单位:cm)

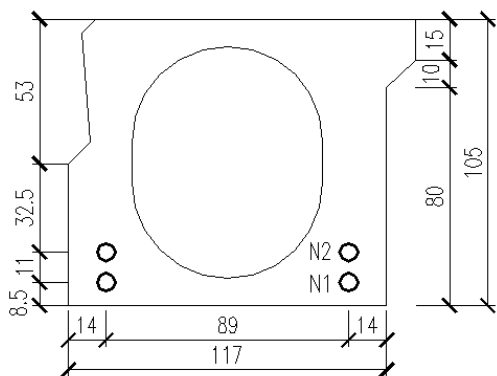


图 1-1-4-4 钢束边板-中截面 (尺寸单位:cm)

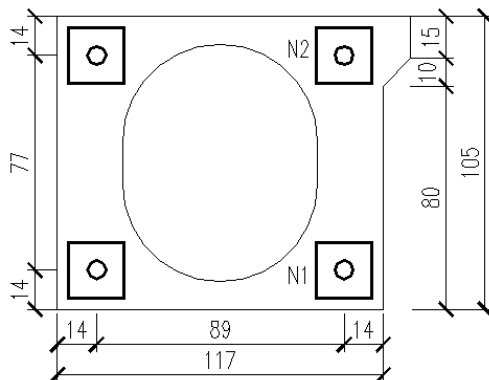


图 1-1-4-5 钢束边板-支 (尺寸单位:cm)

预应力钢束规格及锚下张拉控制应力

表 1-1-4-1

钢 束 编 号	锚 具 规 格 及 张 拉 控 制 应 力				
	中 板	束 数	边 板	束 数	σ_{con} (MPa)
N1	15-7	2	15-7	2	1395
N2	15-6	2	15-6	2	

1.1.5 施工流程说明

流程一：预制空心板，并进行混凝土洒水养护，保持混凝土面处于 80%潮湿状态，连续养护 7 天止，保证混凝土强度达到 80%以上。

流程二：混凝土拆模、预应力钢束编束、穿束共历时 3 天。

流程三：张拉预应力底层预应力钢束 N1，孔道压浆，历时 1 天。

流程三：张拉预应力顶层预应力钢束 N2，孔道压浆，历时 1 天。

流程四：存梁后并进行预制空心板的吊装就位，历时 20 天。

流程五：现浇空心板间铰缝，并浇筑边板护栏和桥面铺装，历时 1 天。

流程六：分别考虑空心板三年和十年的收缩徐变效应。

1.2 建模分析

1.2.1 模型概述

本模型中所有结构均采用梁单元模拟。模型中节点总数 537 个，梁单元总数 654 个，见图 1-2-1-1 所示。

每片空心板梁底部均采用弹性连接进行板式橡胶支座刚度的等效模拟，体现三个平动方向的约束刚度；采用材料容重为“0”的虚拟横梁进行纵梁间的横向联系，并且释放虚拟横梁的梁端约束，形成铰接，见图 1-2-1-2 所示。

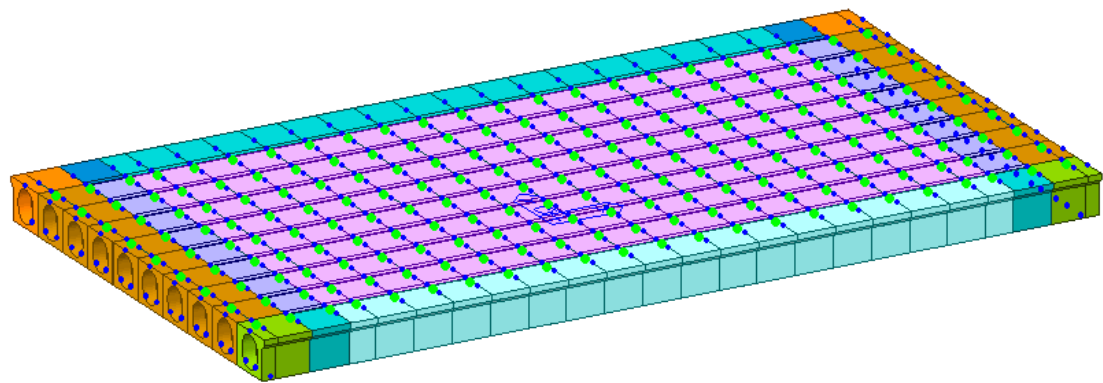


图 1-2-1-1 铰接空心板成桥总体模型

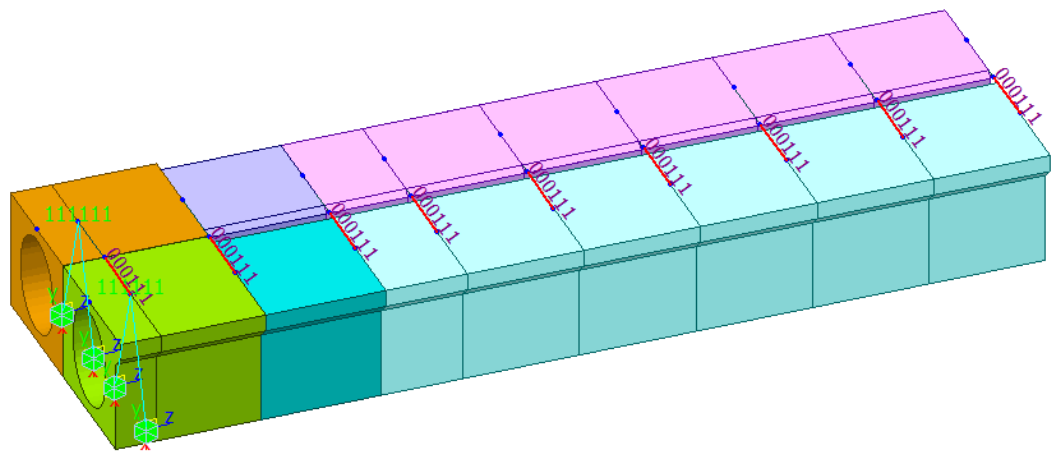


图 1-2-1-2 空心板梁横向铰接连接

1.2.2 建模要点

1.2.2.1 定义组

在“树形菜单>组”中，根据施工流程，按照可识别的名称分别进行“结构组”、“荷载组”、“边界组”的定义，见图 1-2-2-1-1。

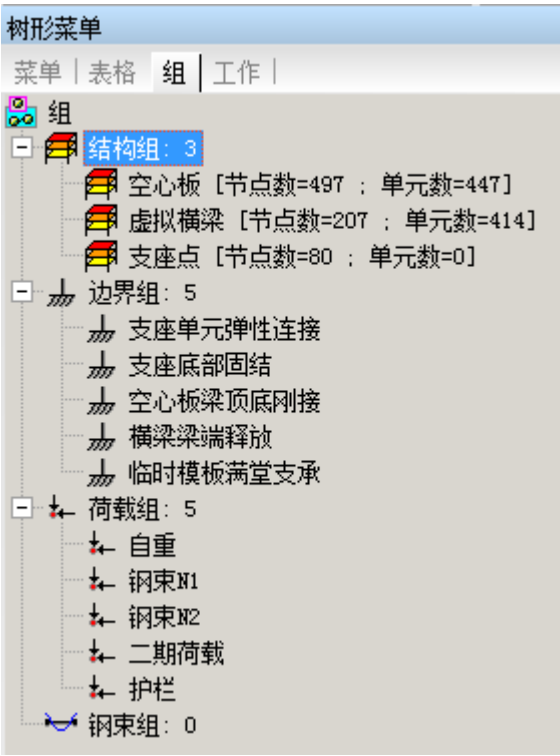


图 1-2-2-1-1 定义组图

1.2.2.2 定义材料与截面

在“模型>材料和截面特性>材料”中，定义空心板“C50”的混凝土材料、“虚拟横梁”容重为 0 的 C50 混凝土材料、预应力钢束“Strand1860”的钢材材料，见图 1-2-2-2-2。

在“模型>材料和截面特性>截面”中，分别定义虚拟横梁截面和空心板截面，见图 1-2-2-2-3~图 1-2-2-2-5。空心板截面采用“设计截面”中的“设计用数值截面”，选择“截面数据”中的“从 SPC 导入”进行截面定义，见图 1-2-2-2-4 所示。虚拟横梁截面采用“数值”截面中的“实腹长方形截面”进行 $H=1\text{m}$ 、 $B=0.2\text{m}$ 的等效刚度的定义，见图 1-2-2-2-5 所示。

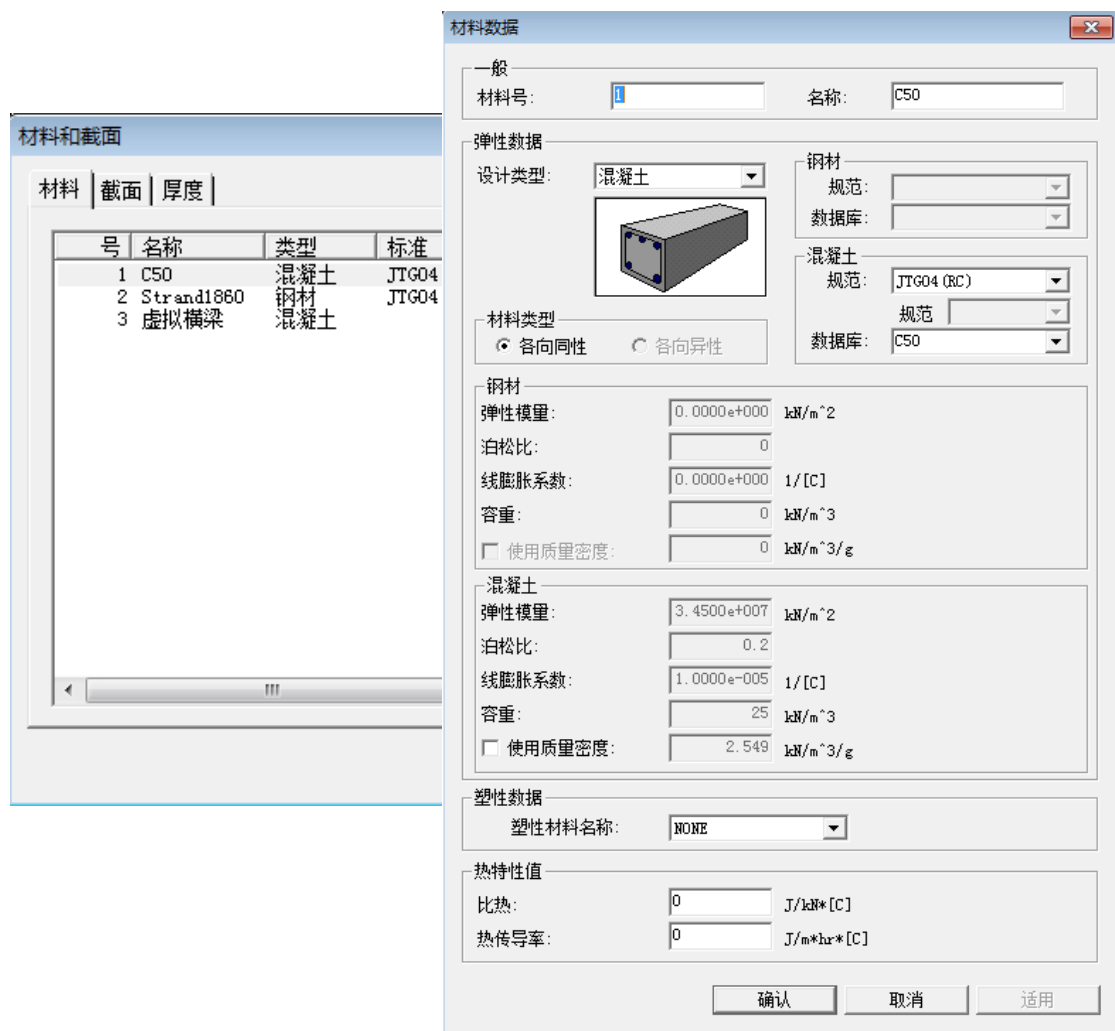


图 1-2-2-2 定义材料图



图 1-2-2-3 定义截面图

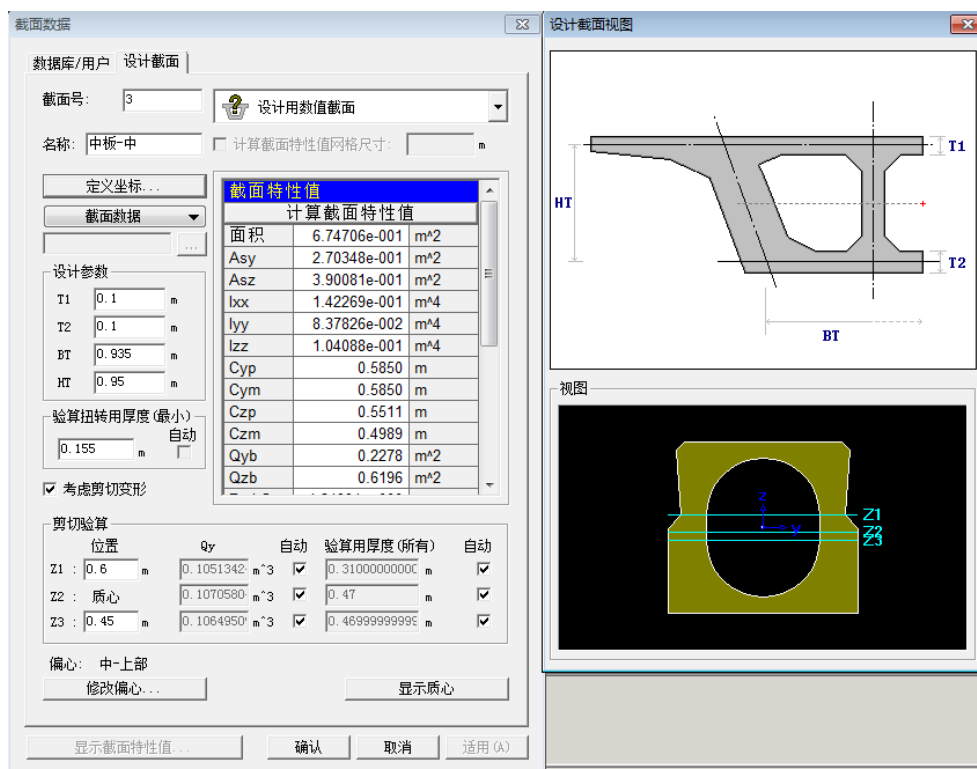


图 1-2-2-4 定义空心板截面图

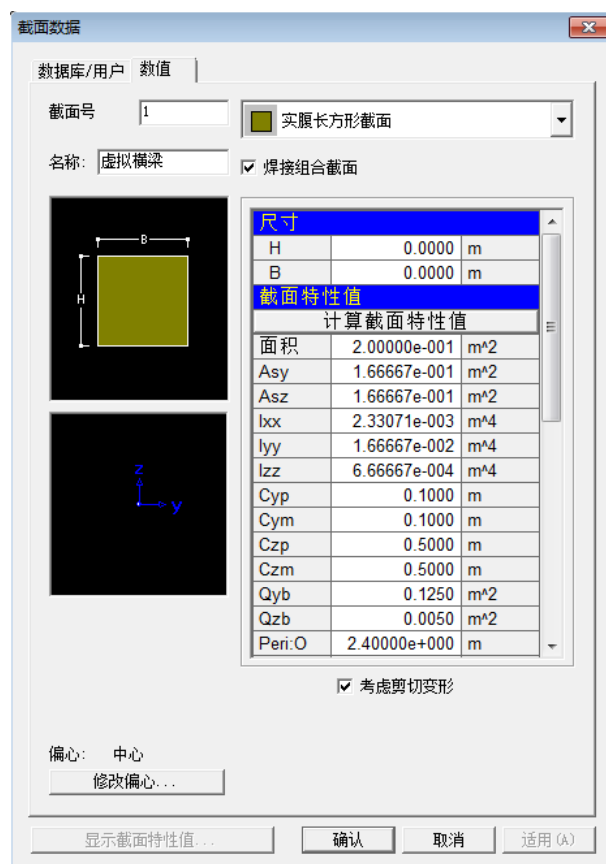


图 1-2-2-5 定义虚拟横梁截面图

1.2.2.3 建立节点与单元

将 Excel 表格中的节点坐标数据复制后，粘贴在“树形菜单>表格>节点”中， 见表 1-2-2-3-1 和图 1-2-2-3-1。

Excel 表格 表 1-2-2-3-1

节点号	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	-10.98	-5.31	1.05
2	-10.63	-5.31	1.05
3	-9.73	-5.31	1.05
4	-8.7	-5.31	1.05
5	-8	-5.31	1.05
6	-7	-5.31	1.05
7	-6	-5.31	1.05
8	-5	-5.31	1.05
9	-4	-5.31	1.05
10	-3	-5.31	1.05
11	-2	-5.31	1.05
12	-1	-5.31	1.05
13	0	-5.31	1.05
14	1	-5.31	1.05
15	2	-5.31	1.05
16	3	-5.31	1.05
17	4	-5.31	1.05
18	5	-5.31	1.05
19	6	-5.31	1.05
20	7	-5.31	1.05
21	8	-5.31	1.05
22	8.7	-5.31	1.05
23	9.73	-5.31	1.05
24	10.63	-5.31	1.05
25	10.98	-5.31	1.05

4

模型窗口

节点

	节点	X(m)	Y(m)	Z(m)
	1	-10.980000	-5.310000	1.050000
	2	-10.630000	-5.310000	1.050000
	3	-9.730000	-5.310000	1.050000
	4	-8.700000	-5.310000	1.050000
	5	-8.000000	-5.310000	1.050000
	6	-7.000000	-5.310000	1.050000
	7	-6.000000	-5.310000	1.050000
	8	-5.000000	-5.310000	1.050000
	9	-4.000000	-5.310000	1.050000
	10	-3.000000	-5.310000	1.050000
	11	-2.000000	-5.310000	1.050000
	12	-1.000000	-5.310000	1.050000
	13	0.000000	-5.310000	1.050000
	14	1.000000	-5.310000	1.050000
	15	2.000000	-5.310000	1.050000
	16	3.000000	-5.310000	1.050000
	17	4.000000	-5.310000	1.050000
	18	5.000000	-5.310000	1.050000
	19	6.000000	-5.310000	1.050000
	20	7.000000	-5.310000	1.050000
	21	8.000000	-5.310000	1.050000
	22	8.700000	-5.310000	1.050000
	23	9.730000	-5.310000	1.050000
	24	10.630000	-5.310000	1.050000
▶	25	10.980000	-5.310000	1.050000

图 1-2-2-3-1 节点表格

连接空心边板 1 开始节点（节点 1）和结束节点（节点 25），建立单元，并交叉分割，生成 24 个空心边板 1 单元，并赋予相应的截面，见图 1-2-2-3-2。

在“模型>单元>复制和移动”中，见图 1-2-2-3-3。选择空心边板 1 所有单元，进行坐标轴 y 方向,间距 9@1.18m 的其它 9 片空心板梁的复制生成,并赋予相应的截面,见图 1-2-2-3-4。

根据支座的位置，建立支座的空间节点。

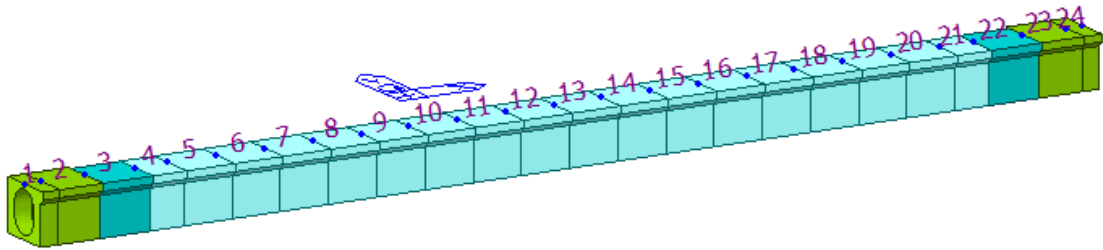


图 1-2-2-3-2 空心边板 1



图 1-2-2-3-3 复制单元图

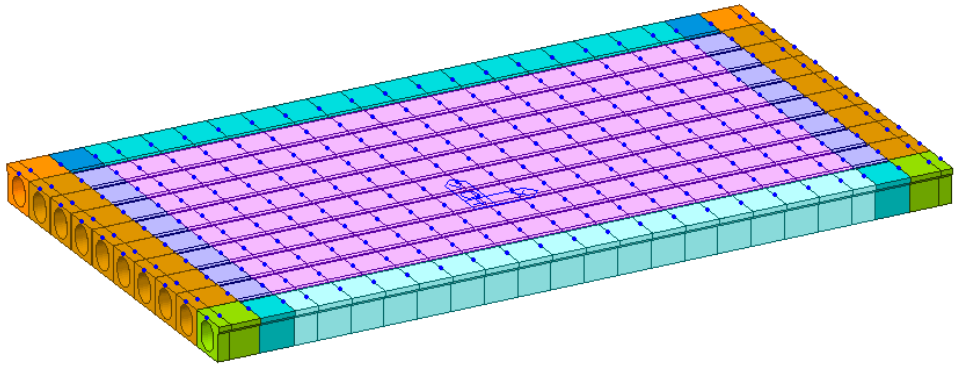


图 1-2-2-3-4 空心板单元图

1.2.2.4 定义荷载工况类型

在“荷载>静力荷载工况”中，定义荷载类型，见图 1-2-2-4-1。

“施工阶段荷载（CS）”仅在施工阶段分析时起作用，在“PostCS”阶段不起作用。为了避免相同的荷载重复作用，对于在施工阶段作用的荷载，其荷载类型最好定义为“施工阶段荷载（CS）”。

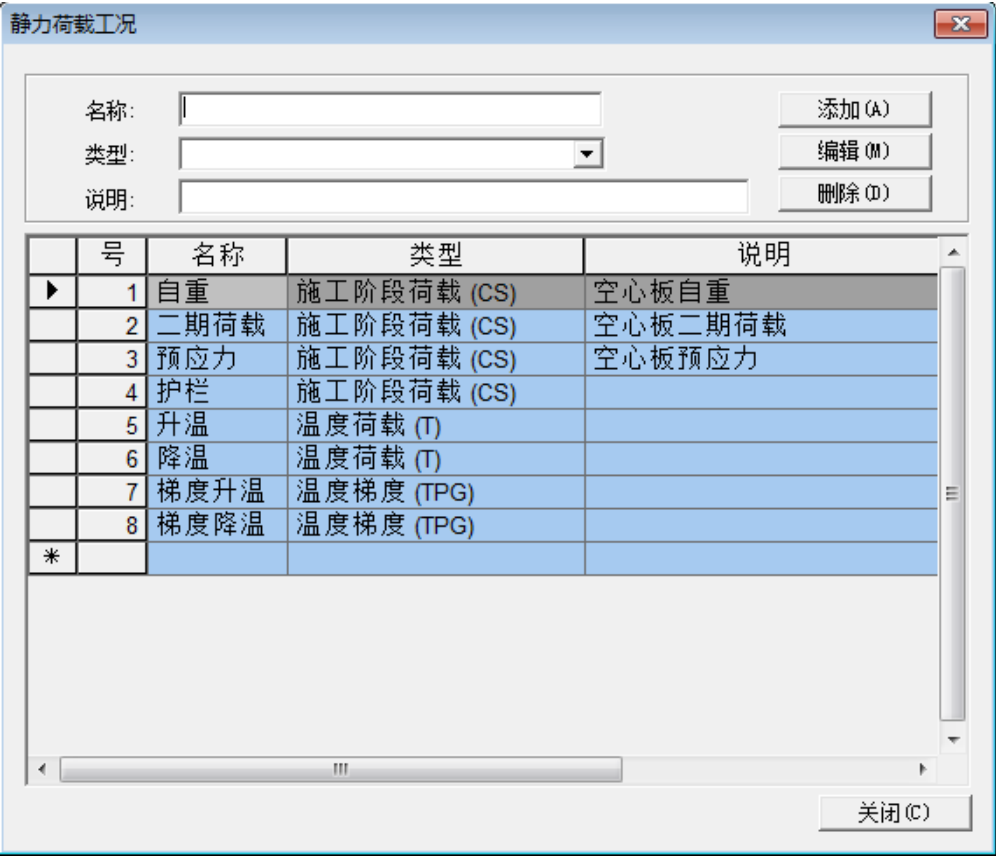


图 1-2-2-4-1 定义静力荷载工况图

1.2.2.5 定义静力荷载

在“荷载>自重”中，定义“自重”荷载；在“荷载>梁单元荷载”中，定义“二期铺装”和“护栏”荷载；在“荷载>温度荷载>系统温度”中，定义“升温”和“降温”荷载；在“荷载>温度荷载>梁截面温度”中，定义“梯度升温”和“梯度降温”荷载。相关荷载数值，请参考模型 “22m 空心板梁格模型”。

1.2.2.6 定义预应力荷载

在“荷载>预应力荷载>钢束特性值”中，定义“钢束特性值”，见图 1-2-2-6-1。

添加/编辑钢束特性值

钢束类型

钢束名称:

15-7

钢束类型:

内部(后张)

材料:

2

2: Strand1860

钢束总面积:

980

mm²

导管直径:

77

mm

☒ 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_{pk}):

1.86

kN/mm²

预应力钢筋与管道壁的摩擦系数:

0.17

管道每米局部偏差的摩擦影响系数:

1.5e-006

1/mm

体外索弯矩放大:

0

kN/mm²

锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩值

开始:

6

mm

结束:

6

mm

粘结类型

☒ 粘结

☐ 无粘结

确认(O)

取消(C)

适用(A)

添加/编辑钢束特性值

钢束类型

钢束名称:

15-8

钢束类型:

内部(后张)

材料:

2

2: Strand1860

钢束总面积:

840

mm²

导管直径:

77

mm

☒ 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_{pk}):

1.86

kN/mm²

预应力钢筋与管道壁的摩擦系数:

0.17

管道每米局部偏差的摩擦影响系数:

1.5e-006

1/mm

体外索弯矩放大:

0

kN/mm²

锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩值

开始:

6

mm

结束:

6

mm

粘结类型

☒ 粘结

☐ 无粘结

确认(O)

取消(C)

适用(A)

图 1-2-2-6-1 钢束特性值定义图

在“荷载>预应力荷载>钢束布置形状”中，定义钢束形状，见图 1-2-2-6-2。将生成的空心边板 1 的“钢束 1”和“钢束 2”进行复制，生成空心边板 1 的“钢束 3”和“钢束 4”。最后将空心边板 1 的 4 根钢束按照间距 9@1.18m 进行复制，分别生成其它 9 片空心板梁的钢束形状，见图 1-2-2-6-3。

添加/编辑钢束形状

钢束名称: 钢束1 组: 默认值

钢束特性值: 15-7

分配给单元: 1to24

输入类型: ☒ 2-D ☐ 3-D

曲线类型: ☐ 样条 ☒ 圆弧

钢束端部直线段长度: 开始: 0 m 结束: 0 m

☐ 标准钢束 钢束数量: 1

无应力场长度: 自动计算 (0.5 * Ht +) 开始: 0 结束: 0 m

布置形状: 坐标轴: ☒ 直线 ☐ 曲线 ☐ 单元

Y

	x(m)	y(m)	R(m)	倾斜	A[deg]	h(m)
1	-10.78	-5.310	0.0000	无	0.0000	0.000
2	-9.520	-5.310	0.0000	无	0.0000	0.000
3	9.520	-5.310	0.0000	无	0.0000	0.000

Z

	x(m)	z(m)	R(m)	倾斜	A[deg]	h(m)
1	-10.78	0.140	0.0000	无	0.000	0.000
2	-9.520	0.085	30.000	无	0.000	0.000
3	9.520	0.085	30.000	无	0.000	0.000

对称点: ☐ 开始 ☒ 最后 生成对称钢束

钢束布置插入点: 0, 0.445, 0 m

假想x轴方向: ☒ X ☐ Y ☐ 向里

绕x轴旋转角度: 0 [deg] ☒ 投影

绕y轴旋转角度: Y 0 [deg]

确认(O) 取消(C) 适用(A)

添加/编辑钢束形状

钢束名称: 钢束2 组: 默认值

钢束特性值: 15-6

分配给单元: 1to24

输入类型: ☒ 2-D ☐ 3-D

曲线类型: ☐ 样条 ☒ 圆弧

钢束端部直线段长度: 开始: 0 m 结束: 0 m

☐ 标准钢束 钢束数量: 1

无应力场长度: 自动计算 (0.5 * Ht +) 开始: 0 结束: 0 m

布置形状: 坐标轴: ☒ 直线 ☐ 曲线 ☐ 单元

Y

	x(m)	y(m)	R(m)	倾斜	A[deg]	h(m)
1	-10.78	-5.310	0.0000	无	0.0000	0.000
2	-7.912	-5.310	0.0000	无	0.0000	0.000
3	7.912	-5.310	0.0000	无	0.0000	0.000

Z

	x(m)	z(m)	R(m)	倾斜	A[deg]	h(m)
1	-10.78	0.910	0.0000	无	0.000	0.000
2	-7.912	0.195	12.000	无	0.000	0.000
3	7.912	0.195	12.000	无	0.000	0.000

对称点: ☐ 开始 ☒ 最后 生成对称钢束

钢束布置插入点: 0, -0.445, 0 m

假想x轴方向: ☒ X ☐ Y ☐ 向里

绕x轴旋转角度: 0 [deg] ☒ 投影

绕y轴旋转角度: Y 0 [deg]

确认(O) 取消(C) 适用(A)

图 1-2-2-6-2 钢束布置形状定义图

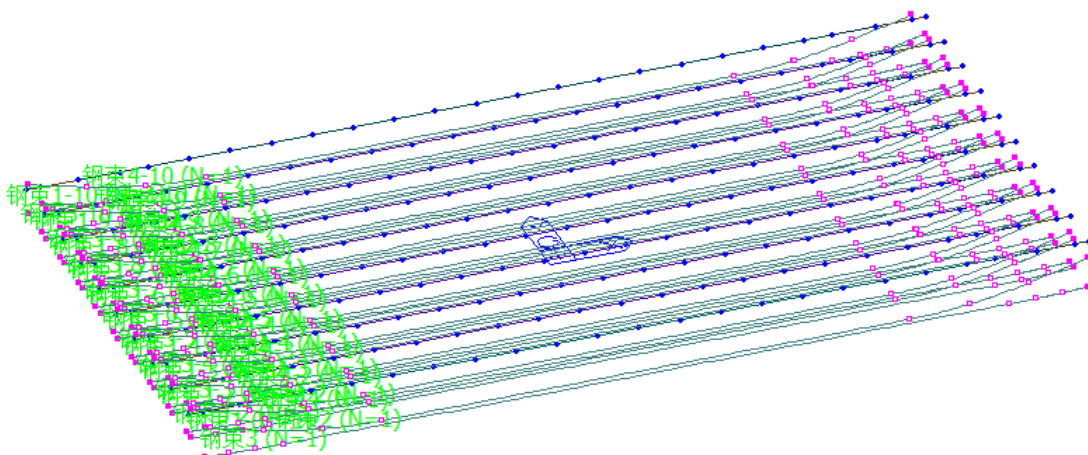


图 1-2-2-6-3 钢束图

在“荷载>预应力荷载>钢束预应力荷载”中，定义预应力荷载。钢束均两端张拉，张拉

控制应力 $\sigma_{\text{con}} = 1395\text{MPa}$ 。见图 1-2-2-6-4 和图 1-2-2-6-5。

树形菜单

节点 | 单元 | 边界条件 | 质量 | 荷载

钢束的预应力荷载

荷载工况名称
预应力

荷载组名称
钢束N2

选择加载的预应力钢束

预应力钢束: 已选钢束:

名称
钢束1
钢束1-10
钢束1-2
钢束1-3
钢束1-4
钢束1-5

名称
钢束4-3

张拉力

☒ 应力 ☐ 内力

先张拉: 两端

开始点: 1395000 kN/m^2

结束点: 1395000 kN/m^2

注浆: 下 0 个施工阶段

钢束	类型	荷载工况
钢束4-3	应力	预应力
钢束4-2	应力	预应力
钢束4	应力	预应力
钢束2-4	应力	预应力
钢束2-3	应力	预应力

添加 编辑 删除

图 1-2-2-6-4 钢束预应力荷载

钢束的预应力荷载									
钢束名称	荷载工况	张力类型	张拉位置	开始点-应力 (N/mm²)	结束点-应力 (N/mm²)	开始点-拉力 (N)	结束点-拉力 (N)	注浆	荷载组
钢束1	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束1-10	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束1-2	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束1-3	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束1-4	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束1-5	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束1-6	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束1-7	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束1-8	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束1-9	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束2	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束2-10	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束2-2	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束2-3	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束2-4	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束2-5	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束2-6	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束2-7	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束2-8	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束2-9	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2

钢束的预应力荷载									
钢束名称	荷载工况	张力类型	张拉位置	开始点-应力 (N/mm²)	结束点-应力 (N/mm²)	开始点-拉力 (N)	结束点-拉力 (N)	注浆	荷载组
钢束3	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束3-10	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束3-2	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束3-3	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束3-4	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束3-5	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束3-6	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束3-7	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束3-8	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束3-9	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N1
钢束4	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束4-10	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束4-2	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束4-3	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束4-4	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束4-5	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束4-6	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束4-7	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束4-8	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2
钢束4-9	预应	应力	两端	1395.00	1395.00	0.00	0.00	0	钢束N2

图 1-2-2-6-5 钢束预应力荷载表图

1.2.2.7 定义移动荷载

在“荷载>移动荷载分析数据>移动荷载规范”中，选择相应国家移动荷载规范，见图 1-2-2-7-1。



图 1-2-2-7-1 移动荷载规范定义图

在“荷载>移动荷载分析数据>车道”中，定义移动荷载车道，见图 1-2-2-7-1。对于梁格模型，“车辆荷载的分布”选用“横向联系梁”。

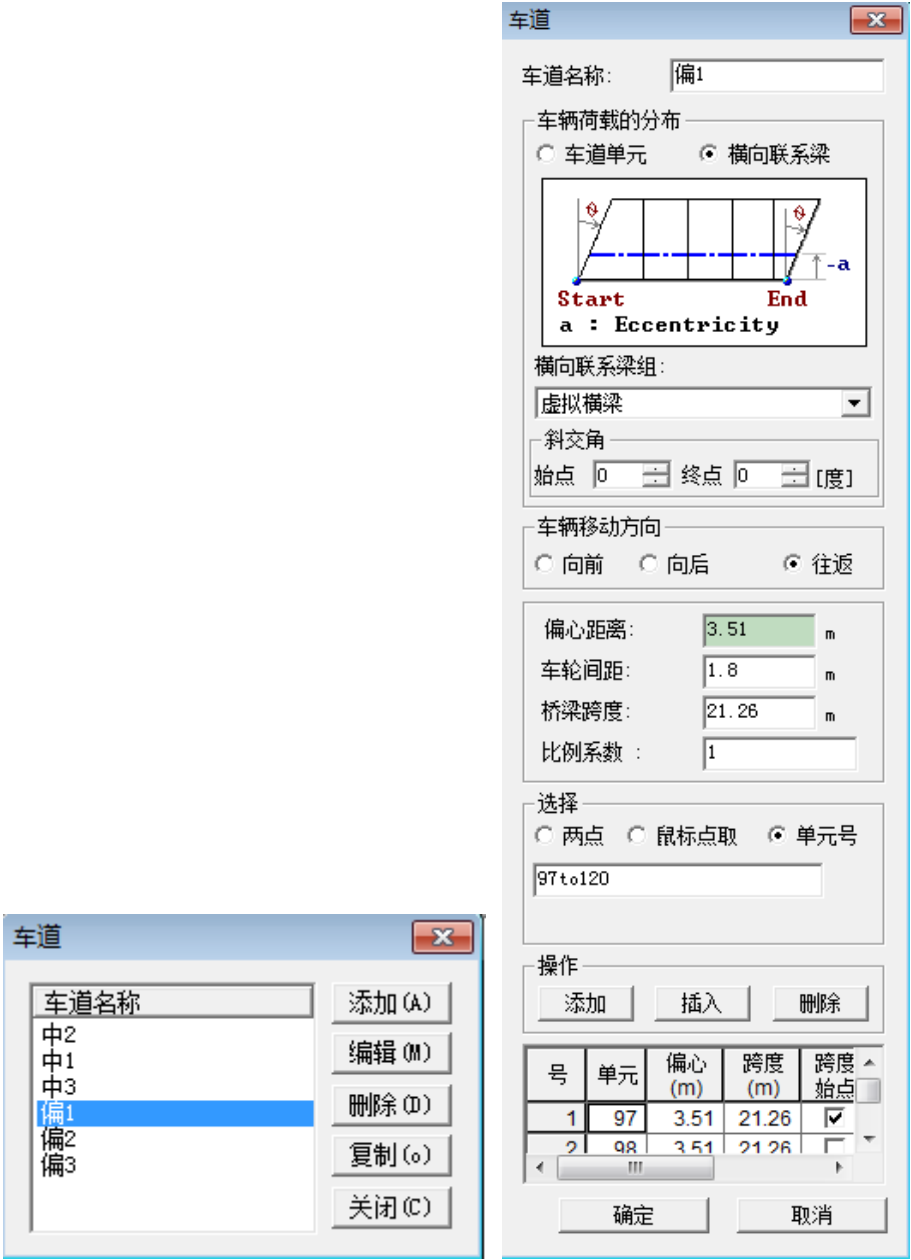


图 1-2-2-7-2 移动荷载车道定义图

在“荷载>移动荷载分析数据>车辆”中，定义“标准车辆荷载”，见图 1-2-2-7-3。

车辆

车辆名称	类型
CH-CD	标准

添加标准车辆 (A)
 用户定义 (U)
 编辑 (M)
 删除 (D)
 关闭 (C)

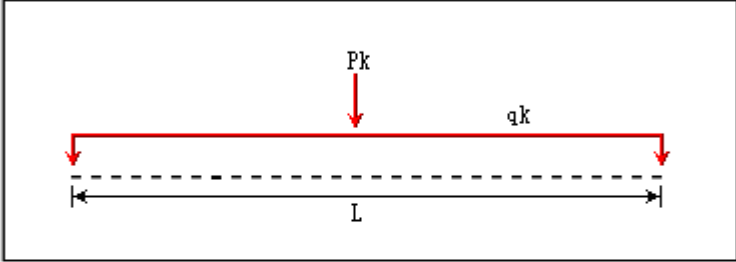
定义标准车辆荷载

规范名称: 公路工程技术标准 (JTG B01-2003)

车辆荷载

车辆荷载名称: CH-CD

车辆荷载类型: CH-CD



q_k 10500 N/m
 P_k 180000 N : $L \leq 5$ m
 P_k 360000 N : $L \geq 50$ m

确认 (O) 取消 (C) 适用 (A)

图 1-2-2-7-3 标准车辆荷载定义图

在“荷载>移动荷载分析数据>移动荷载工况”中，定义移动荷载工况，见图 1-2-2-7-4。



图 1-2-2-7-3 移动荷载工况定义图

1.2.2.8 定义边界

在“模型>边界条件>刚性连接”中，进行空心板顶部与底部（支座顶部）的刚性连接，见图 1-2-2-8-1。

在“模型>边界条件>弹性连接”中，进行支座顶部与底部的的连接，生成支座单元，体现支座的刚度特性，见图 1-2-2-8-2。

在“模型>边界条件>节点弹性支承”中，进行空心板梁预制时，临时模板满堂支承模拟，见图 1-2-2-8-3。

在“模型>边界条件>一般支承”中，支座底部固结模拟，见图 1-2-2-8-4。

在“模型>边界条件>释放梁端约束”中，进行横梁梁端部约束释放，形成铰接梁格体系，见图 1-2-2-8-5。

节点 | 单元 | 边界条件 | 质量 | 荷载 |

刚性连接

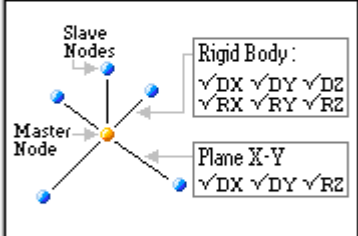
边界组名称
空心板梁顶底刚接

选项
☒ 添加 ☐ 删除

主节点
主节点号: 2

☐ 从刚性连接中解除从属节点

刚性连接的自由度



☒ DX ☒ DY ☒ DZ
☒ RX ☒ RY ☒ RZ

类型
刚体 平面 X-Y
平面 Y-Z 平面 X-Z

☐ 复制刚性连接

方向: ☒ x ☐ y ☐ z

间距: m
(例: 5, 3, 4.5, 3@5.0)

图 1-2-2-8-1 空心板顶、底部刚接

节点 | 单元 | 边界条件 | 质量 | 荷载 |

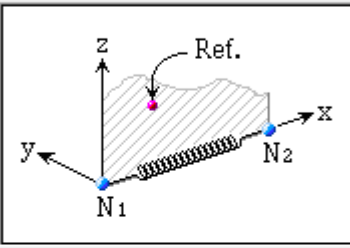
弹性连接

边界组名称
支座单元弹性连接

选项
☒ 添加 ☐ 删除

弹性连接数据

类型 一般



SDx 1011240 kN/m
SDy 1666.7 kN/m
SDz 1666.7 kN/m
SRx 0 kN*m/[rad]
SRy 0 kN*m/[rad]
SRz 0 kN*m/[rad]

☐ 剪切弹簧位置
距离结束点I距离比:
SDy: 0.5 SDz: 0.5

Beta角: 0 [deg]

两点: 32 28

图 1-2-2-8-2 支座单元弹性连接定义图

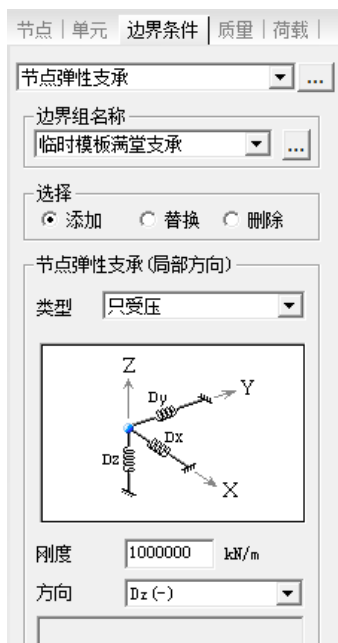


图 1-2-2-8-3 临时模板满堂支承定义图

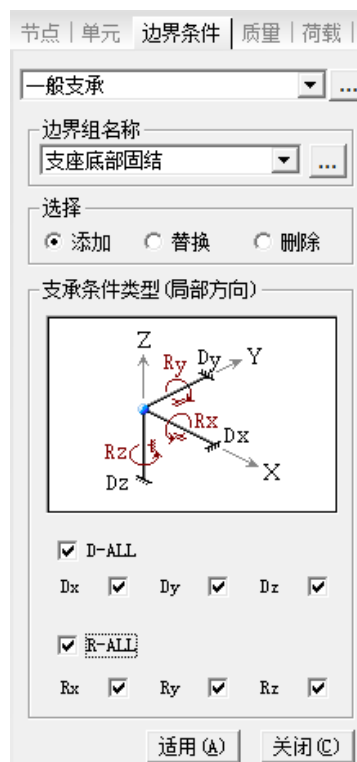


图 1-2-2-8-4 支座底部固结支承定义图

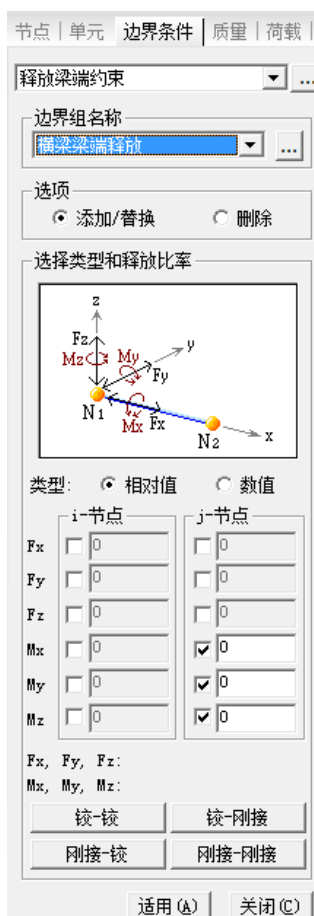


图 1-2-2-8-5 释放横梁梁端部约束

1.2.2.9 定义施工阶段

空心板梁桥施工流程在软件中共划分为 7 个施工阶段，各施工阶段说明见表 1-2-2-9-1。

预应力钢束规格及锚下张拉控制应力表 1-2-2-9-1

施工阶段名称	持续时间 (d)	施工阶段说明
01 空心板预制	3	激活预制空心板梁（养护材龄为 7 天）、激活空心板模板满堂支承和简支支座、激活自重
02 张拉钢束 N1	1	预制场张拉底部钢束 N1
03 张拉钢束 N2	1	预制场张拉顶部钢束 N2
04 预制场存梁	20	预制场存梁 20d
05 上二期铺装护栏等	1	钝化空心板模板满堂支承并激活横向联系梁组（现浇铰缝）、现浇护栏和桥面铺装
06 三年收缩徐变	1000	考虑 3 年的收缩徐变影响
07 十年收缩徐变	2650	考虑 10 年的收缩徐变影响

在“荷载>施工分析数据>定义施工阶段” 中进行定义，见图 1-2-2-9-1。

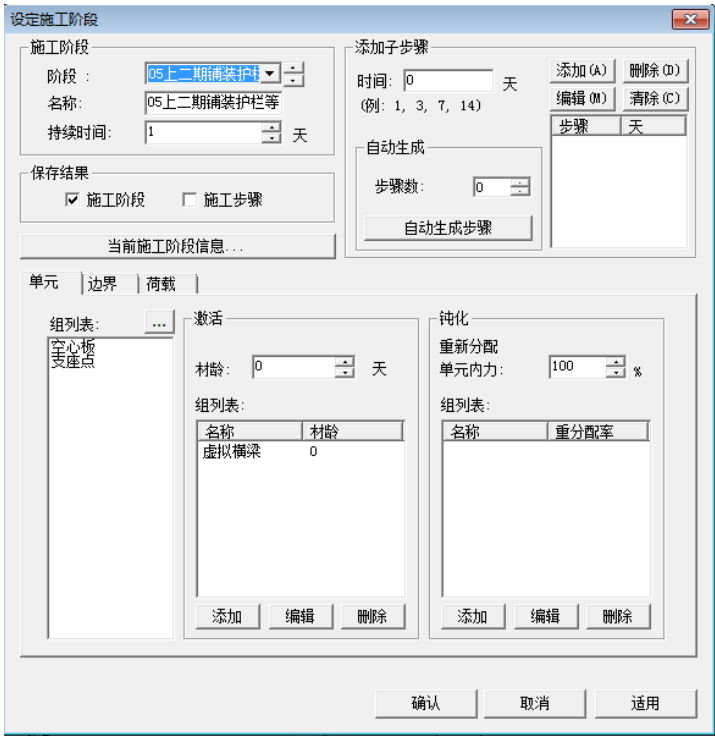


图 1-2-2-9-1 定义施工阶段

1.2.2.10 将荷载转化成质量

在“模型>结构类型”中，将“自重”转化为“质量”，见图 1-2-2-10-1。

结构类型

结构类型

☒ 3-D

☐ X-Z平面

☐ Y-Z平面

☐ X-Y平面

☐ 约束RZ

质量控制参数

☒ 集中质量

☐ 考虑非对角线质量

☐ 一致质量

☒ 将自重转换为质量

☒ 转换为X, Y, Z

☐ 转换为X, Y

☐ 转换为Z

重力加速度:

9.806

m/sec^2

初始温度:

0

[C]

☐ 在图形显示中，将梁顶标高与楼面标高 (X-Y平面)对齐

☐ 在图形显示中，将板顶标高与楼面标高 (X-Y平面)对齐

确认

取消

图 1-2-2-10-1 自重转化为质量图

在“模型>质量>将荷载转化为质量”中，将带有质量块的荷载二期铺装和防撞护栏转化为质量（规范中说可不需转化，此处请用户自己判断）。

将荷载转换成质量 ✕

质量方向

☐ X ☐ Y ☐ Z
☐ X、Y ☐ Y、Z ☐ X、Z
☒ X、Y、Z

转换的荷载种类

☒ 节点荷载
☒ 梁单元荷载
☒ 板单元荷载
☒ 压力荷载 (流体压力)

重力加速度: m/sec²

荷载工况/组合值系数

荷载工况: ...

组合值系数:

荷载工况	系数
二期荷载	1
护栏	1

图 1-2-2-10-2 荷载转化质量

1.2.3 分析控制定义

1.2.3.1 定义施工阶段分析控制对话框

在“分析>施工阶段分析控制”中定义，见图 1-2-3-1-1。



图 1-2-3-1-1 施工阶段分析控制

1.2.3.2 定义特征值分析控制对话框，得到竖向基频

进行移动荷载分析前，先通过特征值分析功能，得到结构的竖向基频。在“分析>特征值分析控制”中，定义“特征值分析控制”，见图 1-2-3-1-1。通过特征值分析，得到结构的竖向基频为 3.8Hz。

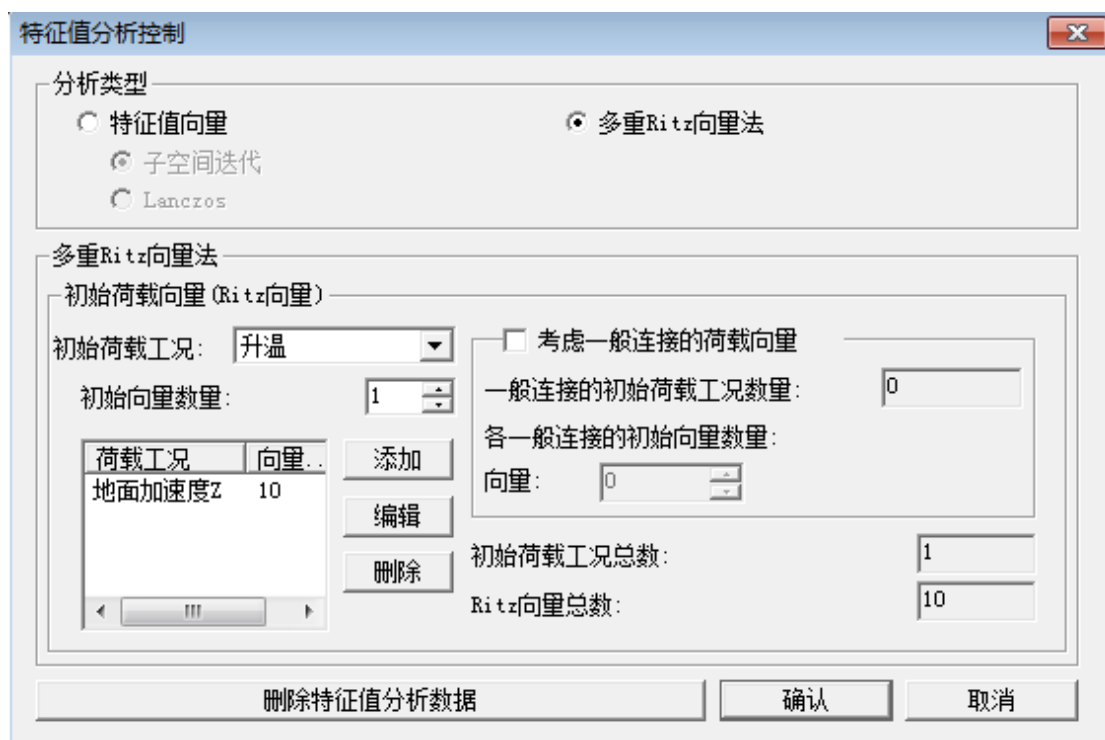


图 1-2-3-2-1 特征值分析定义

1.2.3.3 定义主控数据和移动荷载分析控制对话框

在“分析>主控数据”中定义，见图 1-2-3-3-1。

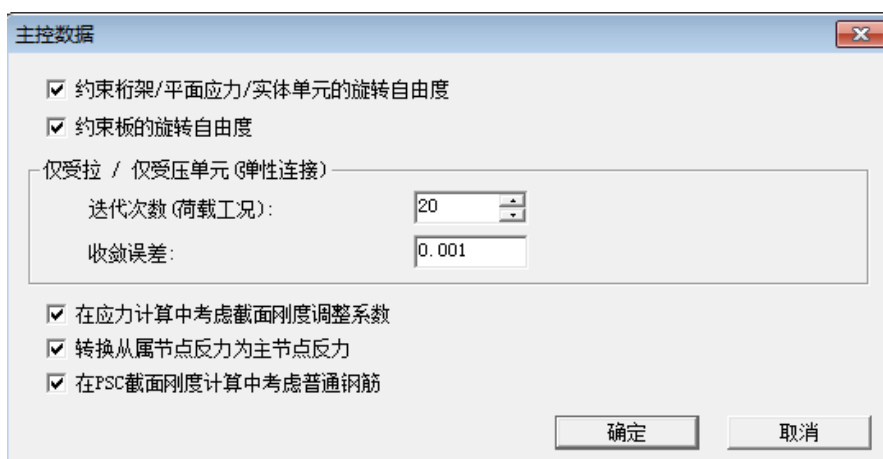


图 1-2-3-3-1 主控数据定义

在“分析>移动荷载分析控制数据”中定义，见图 1-2-3-3-2。

移动荷载分析控制数据

荷载控制选项

加载位置:

☒ 影响线加载
☐ 所有点

生成影响点

☒ 每个线单元上影响线点数量:

3

☐ 点之间距离:

0

m

计算位置

板单元:

☐ 内力(中心)
☒ 内力(中心+节点)

☐ 应力

杆系单元:

☐ 内力(最大值)
☒ 内力(最大值+当前其他内力)

☒ 应力

计算选项

☒ 反力
☒ 位移
☒ 内力

☒ 全部
☐ 组:

☒ 全部
☐ 组:

☒ 全部
☐ 组:

☒ 桥梁等级(JTG B01-2003)
☒ 公路I级
☐ 公路II级

冲击系数

规范类型:

JTG D60-2004

结构基频方法:

用户输入

f [Hz]

3.8

确认

取消

图 1-2-3-3-1 移动荷载分析控制数据定义

1.3 结合规范进行设计

1.3.1 荷载组合与 PSC 设计定义

1.3.1.1 荷载组合

在“结果>荷载组合”中，选择“混凝土设计”中的“自动生成”，生成荷载组合，见图 1-3-1-1-1 和图 1-3-1-1-2。

图 1-3-1-1-1 荷载组合

midas Civil 自动生成的荷载组合完全与规范规定相吻合（例如：按照 04 规范做公路混凝土桥梁设计，那么自动生成的荷载组合就是按照 04 通规生成的）。如果要结合规范做混凝土设计的话，程序只调取“混凝土设计”列表中的荷载组合，然后结合规范进行设计。

“承载能力”荷载组合用来进行结构的承载力（正截面抗弯、斜截面抗剪、抗扭等）验算。“使用性能”荷载组合不勾选“E”用来进行结构的截面抗裂验算（对于 A 类预应力混凝土构件进行正截面抗裂验算时，要考虑在荷载长期效应组合下的验算，但此时规定的荷载长期效应系指结构恒载和直接施加于桥上的活荷载产生的效应组合，不考虑间接施加于桥上其他作用效应。此时程序在验算时，会自动屏蔽掉间接荷载效应）。“使用性能”荷载组合勾选“E”（表示弹性验算荷载组合）用来进行结构的截面抗压验算、受拉区钢筋的拉应力验算。

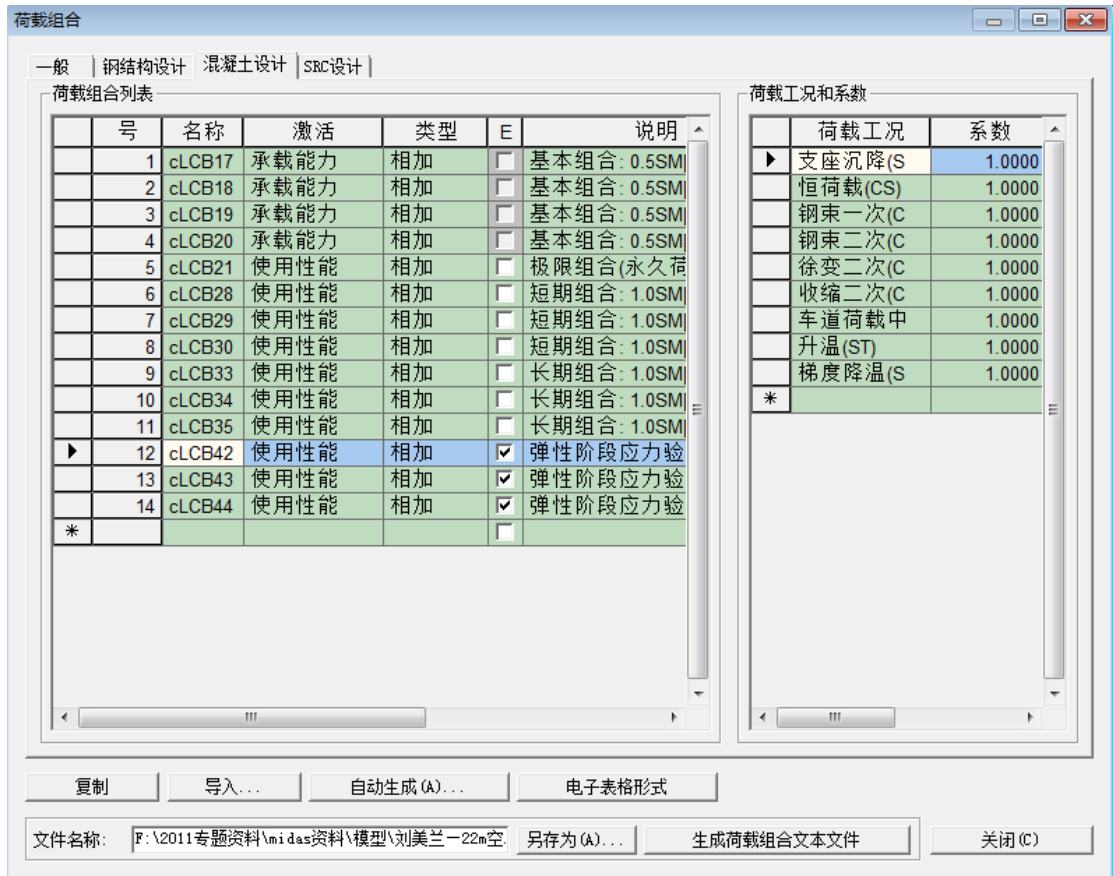


图 1-3-1-1-2 混凝土设计荷载组合

1.3.1.2 PSC 设计定义

在“设计>PSC 设计>PSC 设计参数”中,选择设计规范,进行设计参数定义,见图 1-3-1-2-1。

PSC设计参数

设计规范: JTG D62-04

设计参数

截面设计内力

☐ 二维 ☐ 二维+扭矩 ☒ 三维

构件类型

☐ 全预应力 ☒ A类部分预应力 ☐ B类部分预应力

公路桥涵结构的设计安全等级

☒ 一级 ☐ 二级 ☐ 三级

构件制作方法

☒ 预制 ☐ 现浇

最大裂缝宽度限值(单位: mm)

精轧螺纹钢

☒ I, II类环境 (0.20) ☐ III, IV类环境 (0.15)

钢丝或钢绞线

☒ I, II类环境 (0.10) ☐ III, IV类环境 (不许)

输出参数

☒ 施工阶段法向压应力验算 ☐ 使用阶段裂缝宽度验算

☒ 受拉区钢筋的拉应力验算 ☒ 使用阶段正截面抗弯验算

☒ 使用阶段正截面抗裂验算 ☒ 使用阶段斜截面抗剪验算

☒ 使用阶段斜截面抗裂验算 ☒ 使用阶段抗扭验算

☒ 使用阶段正截面压应力验算

☒ 使用阶段斜截面主压应力验算

全选 解除选择

确认 取消

图 1-3-1-2-1 PSC 设计参数定义图

在“设计>PSC 设计> PSC 设计材料”中,选择设计规范,进行设计参数定义,见图 1-3-1-2-2。

编辑钢筋混凝土材料特性

材料列表

ID	名称	fc fck R	主筋	抗剪钢筋
1	C50	50000	HRB335	HRB335
3	虚拟横梁	0		

混凝土材料

设计规范: JTG04 (RC) 等级: C50

抗压强度 (fcu, k) 50000 kN/m²

钢筋

设计规范: JTG04 (RC)

主筋等级: HRB335 fy : 335000 kN/m²

箍筋等级: HRB335 fyv : 335000 kN/m²

编辑 关闭

图 1-3-1-2-2 PSC 设计材料定义图

在“设计>PSC 设计> PSC 设计截面位置”中,选择相应单元进行设计验算定义,见图 1-3-1-2-3; 在“设计>PSC 设计> PSC 设计计算书输出内容”中,选择相应单元进行计算书输出内容定义,见图 1-3-1-2-4。



图 1-3-1-2-3 PSC 设计截面位置定义



图 1-3-1-2-4 PSC 设计计算书输出选项定义

1.3.2 施工阶段法向压应力验算

模型窗口		施工阶段法向压应力验算										
单元	位置	最大/最小	阶段	验算	Sig_T (N/mm²)	Sig_B (N/mm²)	Sig_TL (N/mm²)	Sig_BL (N/mm²)	Sig_TR (N/mm²)	Sig_BR (N/mm²)	Sig_MAX (N/mm²)	Sig_ALW (N/mm²)
1	I[1]	最大	01空心板预制	OK	-0.0015	-0.0022	-0.0015	-0.0022	-0.0015	-0.0022	-0.0015	18.1440
1	I[1]	最小	07十年收缩徐变	OK	-0.1466	-0.2112	-0.1461	-0.2107	-0.1471	-0.2117	-0.2117	-1.7342
1	J[2]	最大	04预制场存梁	OK	2.0456	0.1349	1.9919	0.0895	2.0938	0.1831	2.0938	18.1440
1	J[2]	最小	01空心板预制	OK	0.0011	-0.0050	0.0011	-0.0050	0.0011	-0.0050	-0.0050	-1.7342
2	I[2]	最大	04预制场存梁	OK	2.0617	0.0549	2.0096	0.0110	2.1083	0.1016	2.1083	18.1440
2	I[2]	最小	01空心板预制	OK	0.0013	-0.0055	0.0015	-0.0054	0.0012	-0.0057	-0.0057	-1.7342
2	J[3]	最大	05上二期铺装护栏等	OK	2.4600	8.2302	2.2190	8.0268	2.6757	8.4460	8.4460	18.1440
2	J[3]	最小	02张拉钢束N1	OK	-0.9431	7.2542	-1.0936	7.1272	-0.8082	7.3891	-1.0936	-1.7342
3	I[3]	最大	05上二期铺装护栏等	OK	2.7947	8.2222	2.0003	7.5567	3.4427	8.9930	8.9930	18.1440
3	I[3]	最小	02张拉钢束N1	OK	-0.8717	7.2781	-1.3575	6.8713	-0.4751	7.7499	-1.3575	-1.7887
3	J[4]	最大	05上二期铺装护栏等	OK	1.5586	9.5521	0.7664	8.8884	2.2048	10.3207	10.3207	18.1440
3	J[4]	最小	02张拉钢束N1	OK	-0.0708	6.5864	-0.5604	6.1762	0.3290	7.0619	-0.5604	-1.7887
4	I[4]	最大	05上二期铺装护栏等	OK	1.5576	9.5506	0.7656	8.8871	2.2036	10.3190	10.3190	18.1440
4	I[4]	最小	02张拉钢束N1	OK	-0.0710	6.5864	-0.5606	6.1763	0.3288	7.0619	-0.5606	-1.7887
4	J[5]	最大	03张拉钢束N2	OK	1.4246	10.1391	0.5753	9.4275	2.1174	10.9630	10.9630	18.1440
4	J[5]	最小	01空心板预制	OK	0.0007	-0.0052	0.0008	-0.0052	0.0006	-0.0053	-0.0053	-1.7887
5	I[5]	最大	03张拉钢束N2	OK	1.4242	10.1386	0.5748	9.4271	2.1169	10.9626	10.9626	18.1440
5	I[5]	最小	01空心板预制	OK	0.0007	-0.0052	0.0008	-0.0052	0.0007	-0.0053	-0.0053	-1.7887

图 1-3-2-1 施工阶段法向压应力验算

1.3.3 受拉区钢筋拉应力验算

模型窗口		受拉区钢筋的拉应力验算			
钢束	验算	Sig_DL (N/mm ²)	Sig_LL (N/mm ²)	Sig_ADL (N/mm ²)	Sig_ALL (N/mm ²)
钢束1	OK	1246.0095	1134.6971	1395.0000	1209.0000
钢束1-10	OK	1246.0095	1137.4236	1395.0000	1209.0000
钢束1-2	OK	1246.0095	1133.1961	1395.0000	1209.0000
钢束1-3	OK	1246.0095	1132.6441	1395.0000	1209.0000
钢束1-4	OK	1246.0095	1131.6788	1395.0000	1209.0000
钢束1-5	OK	1246.0095	1131.0934	1395.0000	1209.0000
钢束1-6	OK	1246.0095	1130.9904	1395.0000	1209.0000
钢束1-7	OK	1246.0095	1131.2402	1395.0000	1209.0000
钢束1-8	OK	1246.0095	1130.9733	1395.0000	1209.0000
钢束1-9	OK	1246.0095	1131.3132	1395.0000	1209.0000

图 1-3-3-1 受拉区钢筋拉应力验算

1.3.4 使用阶段正截面抗裂验算

模型窗口		使用阶段正截面抗裂验算											
单元	位置	组合名称	短长	类型	验算	Sig_T (N/mm ²)	Sig_B (N/mm ²)	Sig_TL (N/mm ²)	Sig_BL (N/mm ²)	Sig_TR (N/mm ²)	Sig_BR (N/mm ²)	Sig_MAX (N/mm ²)	Sig_ALW (N/mm ²)
1	1[1]	cLCB30	短期	FX-MAX	OK	-1.2685	-0.4522	-1.2679	-0.4518	-1.2690	-0.4527	-1.2690	-1.8550
1	1[1]	cLCB31	长期	MY-MAX	NG	-0.1466	-0.2112	-0.1461	-0.2107	-0.1471	-0.2117	-0.2117	-0.0000
1	J[2]	cLCB31	长期	MY-MIN	OK	0.6203	1.1989	0.5716	1.1577	0.6640	1.2425	0.5716	-0.0000
1	J[2]	cLCB30	短期	MY-MIN	OK	-0.5018	0.9581	-0.5505	0.9170	-0.4582	1.0017	-0.5505	-1.8550
2	2[2]	cLCB31	长期	FY-MAX	OK	0.6397	1.0007	0.5792	0.9497	0.6939	1.0549	0.5792	-0.0000
2	2[2]	cLCB28	短期	MY-MIN	OK	-0.5029	0.8099	-0.5672	0.7556	-0.4453	0.8675	-0.5672	-1.8550
2	J[3]	cLCB28	短期	MY-MIN	OK	1.1783	7.0889	1.0937	7.0175	1.2541	7.1647	1.0937	-1.8550
2	J[3]	cLCB31	长期	MY-MIN	OK	2.3113	7.2873	2.2289	7.2178	2.3651	7.3611	2.2289	-0.0000
3	3[3]	cLCB31	长期	MY-MIN	OK	2.6332	7.2570	2.0432	6.7627	3.1146	7.8296	2.0432	-0.0000
3	3[3]	cLCB28	短期	MY-MIN	OK	1.5642	7.0481	0.9646	6.5458	2.0535	7.6301	0.9646	-1.8550
3	J[4]	cLCB31	长期	MY-MIN	OK	1.5440	8.3800	1.1322	8.0350	1.8804	8.7800	1.1322	-0.0000
3	J[4]	cLCB28	短期	MY-MIN	OK	0.4904	8.1560	0.0747	7.8078	0.8299	8.5598	0.0747	-1.8550
4	4[4]	cLCB31	长期	MY-MIN	OK	1.5678	8.3672	1.1381	8.0073	1.9187	8.7846	1.1381	-0.0000
4	4[4]	cLCB28	短期	MY-MIN	OK	0.5189	8.1421	0.0811	7.7754	0.8764	8.5673	0.0811	-1.8550
4	J[5]	cLCB28	短期	MY-MIN	OK	0.2182	8.4742	-0.1362	8.1774	0.5077	8.8186	-0.1362	-1.8550
4	J[5]	cLCB31	长期	MY-MIN	OK	1.2600	8.7063	0.9100	8.4131	1.5460	9.0464	0.9100	-0.0000
5	5[5]	cLCB31	长期	MY-MIN	OK	1.2862	8.6943	0.9170	8.3850	1.5878	9.0530	0.9170	-0.0000
5	5[5]	cLCB28	短期	MY-MIN	OK	0.2476	8.4621	-0.1296	8.1461	0.5557	8.8285	-0.1296	-1.8550
5	J[6]	cLCB31	长期	MY-MIN	OK	1.4123	8.6439	1.1109	8.3914	1.6587	8.9369	1.1109	-0.0000
5	J[6]	cLCB28	短期	MY-MIN	OK	0.3788	8.4067	0.0744	8.1517	0.6277	8.7027	0.0744	-1.8550

图 1-3-4-1 使用阶段正截面抗裂验算

1.3.5 使用阶段斜截面抗裂验算

模型窗口		使用阶段斜截面抗裂验算														
单元	位置	组合名称	类型	验算	Sig_P1 (N/mm²)	Sig_P2 (N/mm²)	Sig_P3 (N/mm²)	Sig_P4 (N/mm²)	Sig_P5 (N/mm²)	Sig_P6 (N/mm²)	Sig_P7 (N/mm²)	Sig_P8 (N/mm²)	Sig_P9 (N/mm²)	Sig_P10 (N/mm²)	Sig_MAX (N/mm²)	Sig_A2 (N/mm²)
1	1[1]	cLCB30	FX-MAX	OK	-1.2679	-1.2690	-0.4527	-0.4518	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-1.2690	-1.8550
1	J[2]	cLCB29	MY-MIN	OK	-0.0000	-0.0000	-0.0001	-0.0001	-1.3418	-1.3250	-1.2761	-1.2616	-1.1605	-1.1491	-1.3418	-1.8550
2	2[2]	cLCB29	FZ-MAX	OK	-0.0055	-0.0053	-0.0102	-0.0108	-0.5311	-0.7402	-0.4671	-0.6780	-0.3828	-0.5912	-0.7402	-1.8550
2	J[3]	cLCB29	FZ-MAX	OK	-0.0031	-0.0030	-0.0017	-0.0018	-0.0794	-0.1534	-0.0722	-0.1398	-0.0616	-0.1212	-0.1534	-1.8550
3	3[3]	cLCB29	FZ-MAX	OK	-0.0050	-0.0040	-0.0027	-0.0032	-0.1331	-0.2107	-0.0787	-0.1444	-0.0672	-0.1285	-0.2107	-1.8550
3	J[4]	cLCB29	FZ-MAX	OK	-0.0047	-0.0038	-0.0017	-0.0019	-0.0271	-0.0747	-0.0140	-0.0497	-0.0114	-0.0430	-0.0747	-1.8550
4	4[4]	cLCB28	MY-MIN	OK	-0.1447	-0.0358	-0.0038	-0.0042	-0.0084	-0.0584	-0.0038	-0.0431	-0.0032	-0.0394	-0.1447	-1.8550
4	J[5]	cLCB28	MY-MIN	OK	-0.2397	-0.0449	-0.0028	-0.0030	-0.0004	-0.0141	-0.0008	-0.0112	-0.0008	-0.0103	-0.2397	-1.8550
5	5[5]	cLCB28	MY-MIN	OK	-0.2478	-0.0485	-0.0033	-0.0036	-0.0009	-0.0147	-0.0013	-0.0118	-0.0013	-0.0109	-0.2478	-1.8550
5	J[6]	cLCB28	MY-MIN	OK	-0.1050	-0.0287	-0.0022	-0.0023	-0.0367	-0.0038	-0.0269	-0.0017	-0.0243	-0.0014	-0.1050	-1.8550

图 1-3-5-1 使用阶段斜截面抗裂验算

1.3.6 使用阶段正截面压应力验算

模型窗口		使用阶段正截面压应力验算										
单元	位置	组合名称	类型	验算	Sig_T (N/mm²)	Sig_B (N/mm²)	Sig_TL (N/mm²)	Sig_BL (N/mm²)	Sig_TR (N/mm²)	Sig_BR (N/mm²)	Sig_MAX (N/mm²)	Sig_ALW (N/mm²)
1	I[1]	cLCB37	FX-MIN	OK	2.6490	0.3923	2.6496	0.3928	2.6485	0.3918	2.6496	16.2000
1	J[2]	cLCB41	MY-MAX	OK	3.4164	1.8019	3.3677	1.7608	3.4601	1.8456	3.4601	16.2000
2	I[2]	cLCB43	MY-MAX	OK	3.4476	1.5975	3.3920	1.5506	3.4974	1.6473	3.4974	16.2000
2	J[3]	cLCB41	MY-MIN	OK	5.0435	7.9878	4.9686	7.9246	5.1106	8.0550	8.0550	16.2000
3	I[3]	cLCB41	MY-MIN	OK	5.2033	7.9844	4.6328	7.5064	5.6689	8.5382	8.5382	16.2000
3	J[4]	cLCB41	MY-MIN	OK	4.0830	9.1371	3.6785	8.7982	4.4134	9.5300	9.5300	16.2000
4	I[4]	cLCB41	MY-MIN	OK	4.0951	9.1273	3.6831	8.7822	4.4316	9.5275	9.5275	16.2000
4	J[5]	cLCB41	MY-MIN	OK	3.7769	9.4759	3.4353	9.1898	4.0560	9.8078	9.8078	16.2000
5	I[5]	cLCB41	MY-MIN	OK	3.7946	9.4646	3.4432	9.1703	4.0817	9.8060	9.8060	16.2000
5	J[6]	cLCB41	MY-MIN	OK	3.9152	9.4191	3.6192	9.1712	4.1572	9.7068	9.7068	16.2000

图 1-3-6-1 使用阶段正截面压应力验算

1.3.7 使用阶段斜截面主压应力验算

模型窗口		使用阶段斜截面主压应力验算														
单元	位置	组合名称	类型	验算	Sig_P1 (N/mm²)	Sig_P2 (N/mm²)	Sig_P3 (N/mm²)	Sig_P4 (N/mm²)	Sig_P5 (N/mm²)	Sig_P6 (N/mm²)	Sig_P7 (N/mm²)	Sig_P8 (N/mm²)	Sig_P9 (N/mm²)	Sig_P10 (N/mm²)	Sig_MAX (N/mm²)	Sig_AP (N/mm²)
1	I[1]	cLCB37	FX-MAX	OK	2.6496	2.6485	0.3918	0.3928	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.6496	19.4400
1	J[2]	cLCB41	MY-MAX	OK	3.3677	3.4601	1.8456	1.7609	1.3550	1.4204	1.4650	1.5332	1.5877	1.6597	3.4601	19.4400
2	I[2]	cLCB43	MY-MAX	OK	3.3921	3.4975	1.6476	1.5509	0.3528	0.4377	0.4423	0.5373	0.5775	0.6824	3.4975	19.4400
2	J[3]	cLCB41	MY-MIN	OK	4.9717	5.1137	8.0569	7.9266	3.5655	3.7794	4.0525	4.2581	4.6555	4.8516	8.0569	19.4400
3	I[3]	cLCB41	MY-MIN	OK	4.6373	5.6726	8.5406	7.5092	3.2885	4.3259	3.8060	4.8972	4.3072	5.3978	8.5406	19.4400
3	J[4]	cLCB41	MY-MIN	OK	3.6826	4.4168	9.5316	8.7999	3.1743	3.9018	3.9247	4.6868	4.5717	5.3326	9.5316	19.4400
4	I[4]	cLCB41	MY-MIN	OK	3.6943	4.4409	9.5318	8.7869	3.1577	3.9308	3.9186	4.7171	4.5587	5.3527	9.5318	19.4400
4	J[5]	cLCB41	MY-MIN	OK	3.4448	4.0640	9.8112	9.1933	3.1741	3.7739	4.0029	4.6347	4.6786	5.3107	9.8112	19.4400
5	I[5]	cLCB41	MY-MIN	OK	3.4534	4.0903	9.8096	9.1741	3.1721	3.7862	4.0015	4.6495	4.6722	5.3208	9.8096	19.4400
5	J[6]	cLCB41	MY-MIN	OK	3.6257	4.1629	9.7093	9.1737	3.3206	3.7689	4.1244	4.6232	4.7724	5.2790	9.7093	19.4400

图 1-3-7-1 使用阶段斜截面主压应力验算

1.3.8 使用阶段正截面抗弯验算

模型窗口		使用阶段正截面抗弯验算					
单元	位置	最大/最小	组合名称	类型	验算	rMu (kN*m)	Mn (kN*m)
1	I[1]	最大	cLCB1	FX-MAX	OK	6.5055	270.7614
1	I[1]	最小	cLCB11	FX-MAX	OK	6.5051	270.7614
1	J[2]	最大	cLCB13	FX-MIN	OK	4.8059	2793.9165
1	J[2]	最小	cLCB10	MY-MIN	OK	4.2107	2793.9165
2	I[2]	最大	cLCB10	MY-MAX	OK	31.3931	2793.8646
2	I[2]	最小	cLCB13	FX-MAX	OK	14.6262	2793.8646
2	J[3]	最大	cLCB10	MY-MAX	OK	558.5428	2663.8528
2	J[3]	最小	cLCB17	MY-MIN	OK	270.9827	2663.8528
3	I[3]	最大	cLCB10	MY-MAX	OK	562.1792	2577.5818
3	I[3]	最小	cLCB17	MY-MIN	OK	269.3883	2577.5818
3	J[4]	最大	cLCB10	MY-MAX	OK	1080.7667	3515.7875
3	J[4]	最小	cLCB13	FX-MAX	OK	524.2347	3515.7875
4	I[4]	最大	cLCB10	MY-MAX	OK	1086.9295	3515.7875
4	I[4]	最小	cLCB13	FX-MIN	OK	525.2781	3515.7875
4	J[5]	最大	cLCB10	MY-MAX	OK	1393.4004	3755.1430
4	J[5]	最小	cLCB13	FX-MIN	OK	681.5086	3755.1430
5	I[5]	最大	cLCB10	MY-MAX	OK	1399.4906	3755.1430
5	I[5]	最小	cLCB13	FX-MIN	OK	683.0579	3755.1430
5	J[6]	最大	cLCB10	MY-MAX	OK	1781.1398	3943.4138
5	J[6]	最小	cLCB13	FX-MIN	OK	885.7711	3943.4138

图 1-3-8-1 使用阶段正截面抗弯验算

1.3.9 使用阶段斜截面抗剪验算

模型窗口 使用阶段正截面抗弯验算 使用阶段斜截面抗剪验算									
单元	位置	最大/最小	组合名称	类型	验算	rVd (kN)	Vn (kN)	截面验算	剪力验算
1	I[1]	最大	cLCB1	FX-MAX	OK	-0.3407	1750.6525	OK	跳过
1	I[1]	最小	cLCB11	FX-MAX	OK	-0.3596	1750.6525	OK	跳过
1	J[2]	最大	cLCB1	FX-MAX	OK	12.9407	2261.1206	OK	跳过
1	J[2]	最小	cLCB11	FX-MAX	OK	10.7083	2261.1206	OK	跳过
2	I[2]	最大	cLCB17	FZ-MAX	OK	-294.3563	2261.1206	OK	跳过
2	I[2]	最小	cLCB10	FZ-MIN	OK	-638.3803	2261.1206	OK	验算
2	J[3]	最大	cLCB17	FZ-MAX	OK	-265.6540	2288.7012	OK	跳过
2	J[3]	最小	cLCB10	FZ-MIN	OK	-603.9376	2288.7012	OK	验算
3	I[3]	最大	cLCB19	FZ-MAX	OK	-239.1953	2164.2799	OK	跳过
3	I[3]	最小	cLCB8	FZ-MIN	OK	-573.6166	2164.2799	OK	验算
3	J[4]	最大	cLCB19	FZ-MAX	OK	-207.3271	1820.0269	OK	跳过
3	J[4]	最小	cLCB8	FZ-MIN	OK	-535.3748	1820.0269	OK	验算
4	I[4]	最大	cLCB19	FZ-MAX	OK	-186.8402	1374.4753	OK	跳过
4	I[4]	最小	cLCB8	FZ-MIN	OK	-519.4348	1374.4753	OK	验算
4	J[5]	最大	cLCB19	FZ-MAX	OK	-165.1823	1336.7997	OK	跳过
4	J[5]	最小	cLCB8	FZ-MIN	OK	-493.4452	1336.7997	OK	验算
5	I[5]	最大	cLCB17	FZ-MAX	OK	-161.7039	1336.7997	OK	跳过
5	I[5]	最小	cLCB10	FZ-MIN	OK	-473.9830	1336.7997	OK	验算
5	J[6]	最大	cLCB17	FZ-MAX	OK	-130.7640	1246.3870	OK	跳过
5	J[6]	最小	cLCB10	FZ-MIN	OK	-436.8551	1246.3870	OK	验算

图 1-3-9-1 使用阶段斜截面抗剪验算

1.3.10 使用阶段抗扭验算

模型窗口 使用阶段抗扭验算											
单元	位置	最大/最小	组合名称	类型	验算	rTd (kN*m)	Tn (kN*m)	rVd (kN)	Vn (kN)	截面验算	抗扭验算
1	I[1]	T-Max	cLCB10	MZ-MIN	OK	0.0017	336.4848	-0.3407	1400.5220	OK	跳过
1	I[1]	V-Max	cLCB10	MZ-MIN	OK	0.0017	336.4848	-0.3407	1400.5220	OK	跳过
1	I[1]	V-Min	cLCB20	MZ-MIN	OK	0.0014	336.4848	-0.3596	1400.5220	OK	跳过
1	J[2]	T-Max	cLCB10	MZ-MIN	OK	-1.7551	336.4848	12.9407	1437.0473	OK	跳过
1	J[2]	V-Max	cLCB10	MZ-MIN	OK	-1.7551	336.4848	12.9407	1437.0473	OK	跳过
1	J[2]	V-Min	cLCB20	MZ-MIN	OK	-1.4625	336.4848	10.7083	1437.0473	OK	跳过
2	I[2]	T-Max	cLCB9	MX-MAX	OK	70.6362	337.0935	-376.4662	1428.4346	OK	验算
2	I[2]	V-Max	cLCB17	FZ-MAX	OK	57.3459	337.3851	-294.3563	1424.3079	OK	跳过
2	I[2]	V-Min	cLCB10	FZ-MIN	OK	12.1585	336.4848	-638.3803	1437.0473	OK	验算
2	J[3]	T-Max	cLCB9	MX-MAX	OK	66.1188	337.5928	-342.0235	1464.8844	OK	验算
2	J[3]	V-Max	cLCB17	FZ-MAX	OK	53.5814	337.9280	-265.6540	1459.9961	OK	跳过
2	J[3]	V-Min	cLCB10	FZ-MIN	OK	7.6411	336.4848	-603.9376	1481.0424	OK	验算
3	I[3]	T-Max	cLCB9	MX-MAX	OK	73.9471	328.9513	-320.0825	1367.3288	OK	验算
3	I[3]	V-Max	cLCB19	FZ-MAX	OK	58.4626	329.3961	-239.1953	1361.2773	OK	跳过
3	I[3]	V-Min	cLCB8	FZ-MIN	OK	5.0365	327.9091	-573.6166	1381.5053	OK	验算
3	J[4]	T-Max	cLCB9	MX-MAX	OK	68.7772	328.2295	-281.8407	1213.1273	OK	验算
3	J[4]	V-Max	cLCB19	FZ-MAX	OK	54.1544	328.7536	-207.3271	1206.8472	OK	跳过
3	J[4]	V-Min	cLCB8	FZ-MIN	OK	-0.1334	327.9091	-535.3748	1216.9667	OK	验算
4	I[4]	T-Max	cLCB9	MX-MAX	OK	82.7965	170.4609	-260.5578	820.8492	OK	验算
4	I[4]	V-Max	cLCB19	FZ-MAX	OK	67.1415	171.2521	-186.8402	812.0384	OK	跳过
4	I[4]	V-Min	cLCB8	FZ-MIN	OK	11.0812	166.8981	-519.4348	860.5254	OK	验算
4	J[5]	T-Max	cLCB9	MX-MAX	OK	79.2830	171.2292	-234.5682	853.2329	OK	验算
4	J[5]	V-Max	cLCB19	FZ-MAX	OK	64.2136	172.1284	-165.1823	842.7152	OK	跳过
4	J[5]	V-Min	cLCB8	FZ-MIN	OK	7.5677	166.8981	-493.4452	903.8969	OK	验算
5	I[5]	T-Max	cLCB9	MX-MAX	OK	82.0570	171.5836	-229.7714	849.0875	OK	验算
5	I[5]	V-Max	cLCB17	FZ-MAX	OK	67.5002	172.5830	-161.7039	837.3968	OK	跳过
5	I[5]	V-Min	cLCB10	FZ-MIN	OK	17.8883	166.8981	-473.9830	903.8969	OK	验算
5	J[6]	T-Max	cLCB9	MX-MAX	OK	77.0377	172.5847	-192.6434	868.9416	OK	验算
5	J[6]	V-Max	cLCB17	FZ-MAX	OK	63.3174	173.7861	-130.7640	854.3583	OK	跳过
5	J[6]	V-Min	cLCB10	FZ-MIN	OK	12.8690	166.8981	-436.8551	937.9691	OK	验算

图 1-3-10-1 使用阶段抗扭验算

1.4 结论

对于铰接式空心板梁桥，空间梁格模拟关键在于板梁与板梁间的横向连接的等效处理。倘若纵梁间的接缝连接在横桥向抗弯刚度比较小时，则此处可以近似进行铰接处理，即横梁在接缝处释放梁端约束，形成铰接。