

# CSiBridge 中主梁变截面的参数化定义

筑信达 吕良

传统的桥梁结构分析软件一般采用框架单元来模拟主梁，对于主梁变截面的设置多采用截面内插的方式来模拟，其建模效率低，建模精度与新规范所提倡的精细化设计还有一定的距离。CSiBridge 采用基于对象的工作流程，具有强大的几何建模功能。程序采用参数化的方式来定义主梁横断面，通过对各个参数指定变化函数来实现主梁的变截面。其建模效率更高，对主梁截面属性的计算也更为精确。另外，对于采用参数化方式建立的桥梁模型，软件能够将模型离散为壳单元或实体单元进行分析设计，满足精细化的要求。

## 1 上部结构横断面的定义准则

CSiBridge 将桥梁离散成不同的构件对象，如主梁、桥墩、桥台等。在定义好各个构件对象后，将其组装成桥梁对象。其中定义主梁构件时，一般选用与所建桥梁模型截面类型相似的模板，定义主梁断面的基准截面。基于模板定义基准截面时，软件会将截面信息通过一系列的参数来记录，如翼缘长度、腹板的厚度、倒角的长度及高度等。在组装“桥对象”时，选中相应的基准截面，然后指定截面各个参数沿跨度方向的变化函数，即可实现主梁截面沿跨度方向的变化。

现在通过一个小模型来简要说明主梁变截面的参数化定义。如图 1 所示的连续箱梁截面，该主梁截面在中支点位置处的梁高为 5.2m，腹板厚度为 1.1m，顶板厚度为 0.69m，底板厚度为 1.0m。在跨中位置处梁高变为 2.8m，腹板厚度变为 0.5m，顶板厚度变为 0.43m，底板厚度为 0.44m。

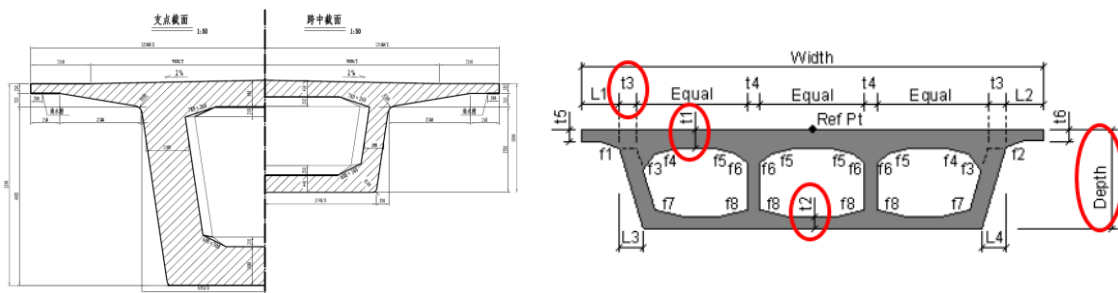


图 1 截面变化示意图

首先需要确定一个基准截面，一般以跨中最小截面作为基准截面，依据内置截面模板输入基准截面的各个参数。定义完基准截面后，还需要分别定义截面参数：梁高、腹板厚度、顶板厚度、底板厚度沿跨度方向的变化形式。通过命令：**构件>上部结构>参数变化**，可分别定义各个参数的变化函数。

软件中内置了多种常用的变化形式，方便用户定义各个参数的变化函数。需要注意的是“相对距离”表示由所定义的桥跨起始端开始沿大里程方向的长度；“尺寸改变”表示基于基准截面尺寸的变化，正值为增加、负值为减小。如小里程边跨段梁高变化形式为：桥跨起始段到 8.6m 长度内梁高尺寸不变，8.6m 到 39.1m 范围内主梁梁高以圆曲线的方式增加了 2.4m，从 39.1m 位置到该跨末端梁高不变，在软件中具体定义形式如下图 2 所示：

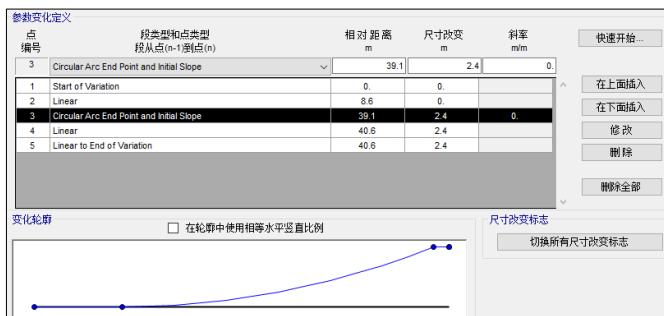


图 2 边跨梁高的参数变化



图 3 指定截面参数变化函数



组装桥梁对象时，将定义好的各个变化函数指定给对应的截面参数，软件将依据指定的变化函数计算各个位置处主梁的截面属性进行结构分析。值得注意的是，通过上述方式定义的主梁截面不仅能方便的修改几何模型，例如当截面某一个参数如底板厚度发生改变仅需将底板厚度的参数进行修改，然后更新模型即可。并且在离散模型时，可任意的将模型离散为壳单元模型或实体单元模型进行分析设计，满足精细化分析的要求。将上述模型离散为壳单元，拉伸视图如下所示：

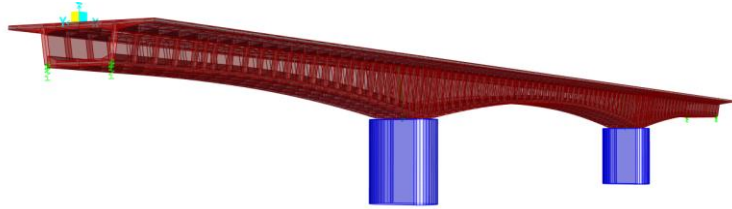


图3 示例模型变截面设置效果图

## 2 复杂变截面设置

前文主要介绍了软件中通过参数化的方式来定义常规主梁变截面的设置，另外对于一些复杂的断面形式，也可通过参数化的方式来定义。如下图所示的系杆拱桥主梁横断面，由于主梁在两端位置处与拱肋固结，主梁在端部位置处的底板、及顶板厚度变化较大。主梁共有三个腹板，其中边腹板在支座附近为 4.0m 厚的实体段。沿跨中方向，边腹板外及内侧以不同的角度向腹板中心方向收缩，最终形成厚度为 0.55m 的边腹板。由于桥面宽度不变，边腹板外侧内缩形成边翼缘，翼缘最终宽度为 0.2m。而中腹板厚度同样是沿跨中方向，向腹板中心宽度逐渐变为 0.55m。另外在梁端 9.5m 长度实体段范围内，腹板与顶板及底板之间是没有倒角的，从渐变段开始才设有倒角，具体如下图所示。

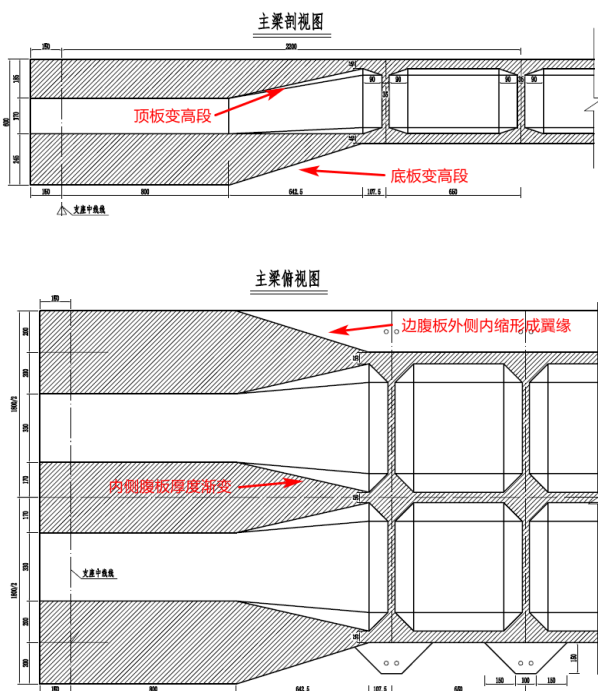


图4 系杆拱梁端截面

从上述内容可以发现，该主梁尺寸变化非常复杂。对于该类变化复杂的截面，一般桥梁设计软件仅能采用导入多个连续截面，截面之间通过内插的方式来模拟主梁属性的变化。其整个导入过程不仅繁琐带有较大的误差，并且仅能将该主梁模拟成框架单元来分析。在提倡桥梁精细化分析的要求下，该处理方法捉襟见肘。

在 CSiBridge 中，可通过对截面的多个参数指定变化函数来模拟该主梁复杂的变截面。首先需要确定的是主梁的基准横截面，这里以跨中横断面为基准截面，定义信息如下。

定义横断面数据 - 混凝土桥梁-竖向

项	数值
<b>板和梁厚</b>	
1 顶板厚度(t1)	0.45
底板厚度(t2)	0.4
外侧腹板厚度(t3)	0.55
内部腹板厚度(t4)	0.4
<b>倒角的水平尺寸参数</b>	
2 f1 水平尺寸	1.95
f2 水平尺寸	1.95
f3 水平尺寸	0.9
f4 水平尺寸	0
f5 水平尺寸	0
3 f6 水平尺寸	0.9
f7 水平尺寸	0.9
f8 水平尺寸	0.9
<b>倒角的竖向尺寸参数</b>	
f1 竖向尺寸	0.5
f2 竖向尺寸	0.5
f3 竖向尺寸	0.3
f4 竖向尺寸	0

图5 定义标准截面



该主梁截面参数（红色选框 1）中顶板厚度（ $t$ ）、底板厚度（ $t_2$ ）、主梁的高度（Depth）的变化都是比较容易通过参数化函数实现的。但在梁端 9.5m 长度范围内，翼缘与腹板相结合变成了实体段，导致外侧腹板厚度（ $t_3$ ）的变化却不好定义。为了方便定义，在梁端可认为翼缘长度为 0，边腹板的厚度 4.0m，中腹板厚度为 3.4m，箱室跨度为 3.3m，梁总宽为 18m。在渐变段，距离梁顶翼缘高度以下边腹板内缩形成翼缘，此时翼缘宽度（ $L_1$ ）由 0m 逐渐变为 0.2m。

确定翼缘宽度变化函数后，即可依据翼缘的宽度（ $L_1$ ）确定边腹板边缘外侧的位置，指定边腹板厚度（ $t_3$ ）后即可确定边腹板内侧边缘的位置。由于主梁宽度不变，确定中腹板宽度（ $t_4$ ）之后即可确定箱室跨度。而箱梁各个倒角的变化可通过倒角参数（红色选框 2 和 3） $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_6$ 、 $f_7$ 、 $f_8$  等来确定，自此截面所有变化参数均可通过定义参数变化函数来实现。

依据上述分析结果，可分别定义翼缘宽度（ $L_1$ ）、边腹板厚度（ $t_3$ ）、中腹板宽度（ $t_4$ ）倒角尺寸变化参数  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  等的变化函数，然后指定给该主梁截面。通过 19 个变化参数将主梁的变截面信息完整的定义出来，主梁三维显示效果图如 6 所示；

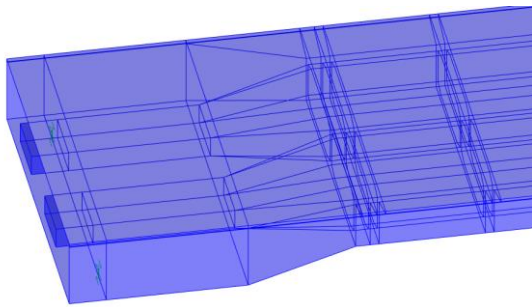


图 6 主梁三维拉伸视图显示

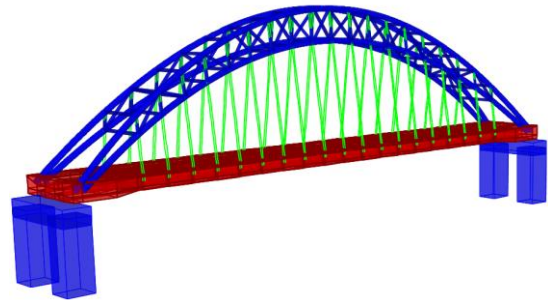


图 7 系杆拱全桥 3D 视图

对于常规混凝土桥梁，考虑预应力钢束的锚固及结构的加强，在边支座位置主梁通常会设有一段带检修孔的实体段，如图 8 所示。在连续梁中支点位置也设有一段带检修孔的实体段，如图 9 所示。一般桥梁分析软件无法考虑该问题，但在 CSiBridge 中也可以直接通过截面参数化的方式考虑。

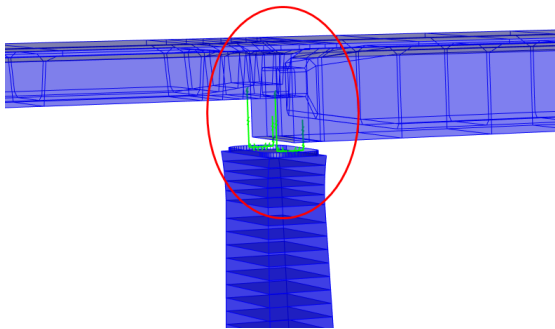


图 8 边支墩实体渐变段

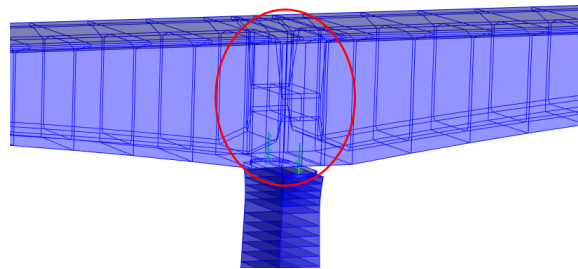


图 9 连续梁中支墩位置处

另外，采用参数化方式定义的桥梁，不仅仅方便几何模型的修改，并在分析设计的时候可以直接将桥对象依据设计深度的要求离散为壳单元或是实体单元，可随意切换其离散方式。如图 3 中的连续梁桥采用的是壳单元建立的。对于一些宽桥、弯桥采用框架单元做分析及设计，必然会丢失很多细节信息，直接采用壳或实体单元来建立模型其结果也必然更加接近真实结果。

### 3 总结

将主梁截面的各个尺寸采用参数化的方式来定义不仅建模的效率更高、修改模型方便，并且能更精确的描述主梁截面属性变化。在定义复杂截面时，也可以通过多个参数的组合来实现复杂变截面的定义，适用性较好。CSiBridge 建模的精确性以及其自带壳单元和实体单元分析的精确性，满足了桥梁精细化分析的要求。