



SAP2000 在贝雷梁支架分析设计中的应用

筑信达 吕良

桥梁施工是一项技术复杂而涉及面很广的工作，设计制作施工过程中的临时性结构对保证桥梁工程的安全施工和良好质量具有重要的意义。贝雷梁因其结构简单、组合灵活、架设快速、可重复利用的特点，同时具备承载能力大、结构刚性强、疲劳寿命长等优点，常用于施工支架、施工便桥等临时结构。

在对该类型支架进行结构受力分析时，传统的手算方法较为繁琐且效率较低。尤其在设计一些大型复杂临时结构设计时，由于过多的简化，手算结果的精确性无法保证。SAP2000 为土木行业的通用有限元分析软件，具有建模方便、计算效率高、分析结果准确等特点，常用于土木行业各类结构的分析与设计。在施工临时结构的分析与设计中，也常常会采用该软件做计算校核。下文将结合 SAP2000 中的相关功能，来简要说明在贝雷梁支架分析设计中一些问题的处理。

1 模型建立

1.1 材料及截面

临时支架中构件大多采用规范材料，构件截面则采用标准型钢截面，或拼接截面等一些非标准截面。在有限元计算时，一般采用框架单元来模拟。SAP2000 中自带了多个国家的材料库及标准型钢截面库，对于标准型钢截面可以直接从数据库中导入或用户自定义。而拼装截面及非标准截面则可以通过截面设计器来定义。如下图所示的三拼工字钢截面或是通过缀板连接的格构式梁或柱，可以首先在 CAD 中绘制该构件截面，然后将其导入截面设计器当中，程序会自动计算其截面属性。

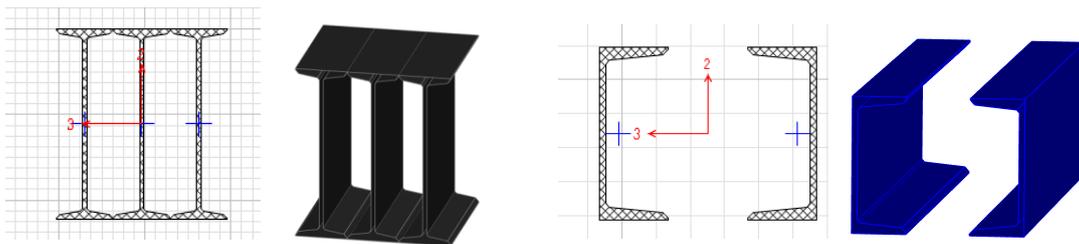


图 1 构件截面定义

1.2 模型建立

临时支架有限元模型为空间三维模型，而工程师较为习惯平面作图的方式，为方便建立模型，用户可采用 SAP2000 中的轴网功能来帮助建模。建立模型前先建立三维轴网确定各个主要构件的空间位置，然后选择轴网平面视图，将轴网平面调整到所需绘制构件的平面，直接在平面中绘制结构构件。另外通过轴网绘制的构件，可勾选粘附至轴网线选项，此时结构会根据轴网数据的改变而相应变化，提高建模效率。

对于一些复杂的临时结构，工程师可直接在 CAD 中将部分模型或整个模型建立好，然后通过 CISAPPS（筑信达工具箱）导入 SAP2000 当中。通过工具箱导入的模型，程序会自动依据图层进行分组，方便后期指定截面、施加荷载、查看结果等操作。

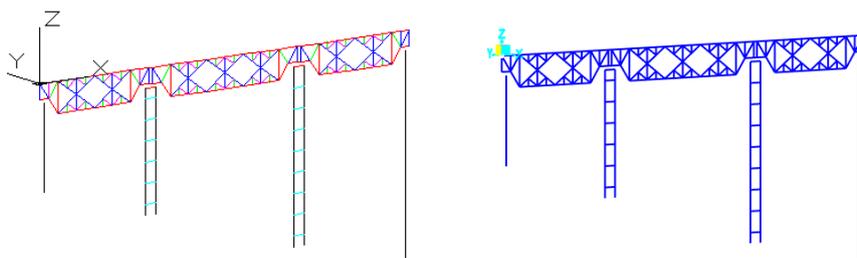


图 2 CAD 导入模型

注意，导入模型后需要检查模型构件的朝向。型钢截面其主轴和次轴方向的刚度、抗弯截面惯性矩等力学性能均不相同，



构件的朝向会影响整个结构的刚度。当构件朝向与所设定方向不一致时，用户可以通过旋转构件局部轴功能来调整构件朝向，如下图 3 所示。为避免大量调整构件局部轴，建议工程师在绘制 CAD 图时，按同一个方向绘制构件。按相同方向绘制的构件导入 SAP2000 中后，指定截面时其构件的朝向将一致。

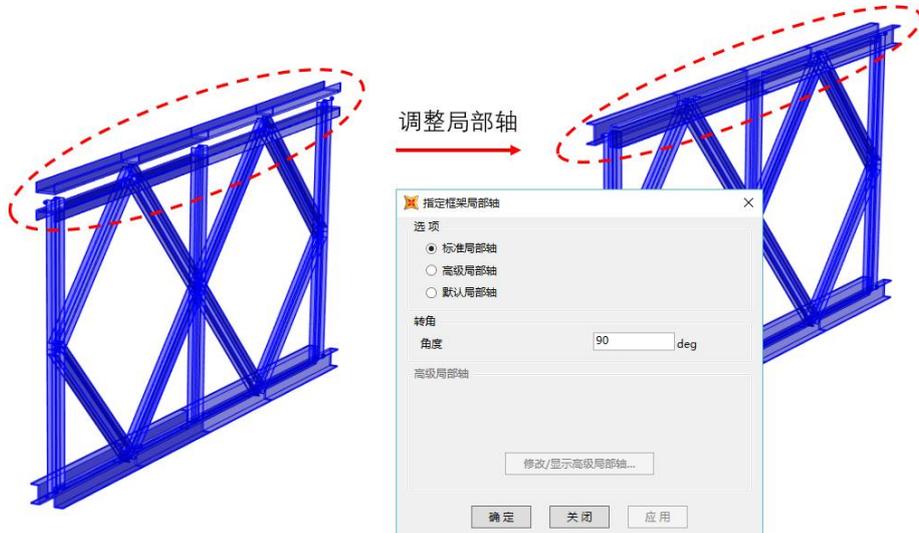


图 3 调整局部轴

1.3 构件连接方式处理

临时支架的连接方式主要有刚性连接和铰接。SAP2000 中通过节点相连的杆件之间的连接关系默认为刚性连接。贝雷梁上部一般会布设钢横梁，如图 4a 中所示横梁与贝雷梁之间呈搭接关系，两者之间仅能通过节点传递轴力无法传递弯矩。在建模时一般不对横梁与贝雷梁之间的连接节点做处理，保持默认的刚性连接方式。需要注意的是，临时结构一般主要考虑竖向的荷载分布，而横梁也仅通过节点传递施工中的重力荷载。在仅考虑竖向荷载的条件下，无论将横梁与贝雷梁之间的节点设为刚接或是铰接，其对分析结果是没有影响的。

单个贝雷片中的所有构件均是通过焊接的方式连接，如图 4b 因此在建模时其连接方式可保持默认的刚性连接方式。而贝雷片之间通过插销连接，两者之间无法传递弯矩，节点连接形式为铰接。在 SAP2000 中可以通过端部释放等功能来实现杆件之间的各种连接方式。对于贝雷梁之间的铰接，仅需要释放掉横杆绕插销方向的弯矩（局部轴 3-3 方向）即可。释放杆端弯矩时需要注意释放的方向，通过杆件局部 1 轴的来判断释放杆件起始端或是终止端弯矩。

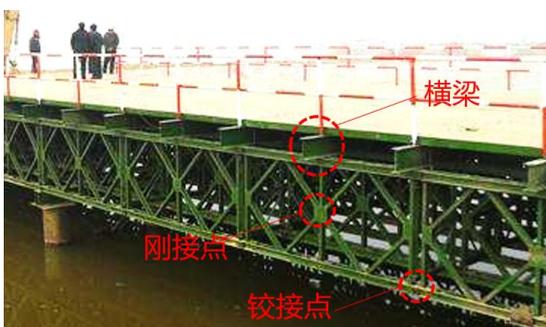


图 4a 贝雷梁构件搭接

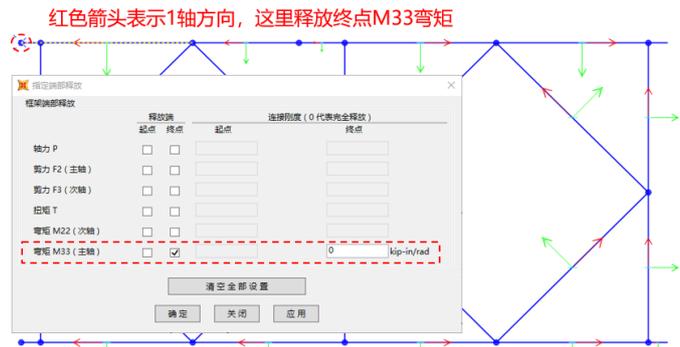


图 4b 贝雷梁内杆件的连接

对于一些更加复杂的临时结构的连接方式在 SAP2000 中也很好处理，如六四军用梁，其构件的真实连接方式如下图 5a 所示。在节点 1 位置处，三个标准件通过两个插销相互铰接而成。其中左侧蓝色标准件中的两个杆件在该节点为刚接，右侧绿色标准件的两个杆件该节点位置处也为刚接。而在建立有限元模型时该位置仅有一个节点，该节点位置附近的构件都共用这一个节点，各构件之间的连接形式为刚接，如图 5b 所示。

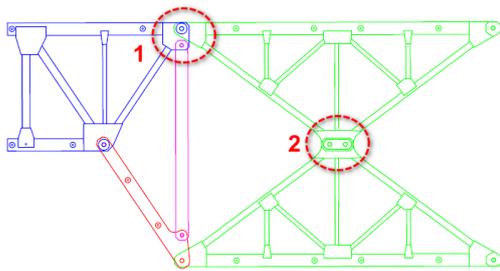


图 5a 六四军用梁节点连接

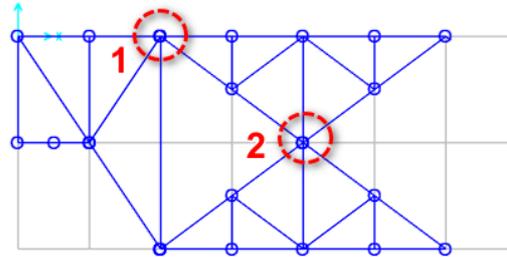


图 5b 六四军用梁节点有限元模拟

为真实模拟构件的连接方式，可以对该节点进行打断、合并，然后添加约束的方式，来模拟各个标准件内的构件可以有效传递弯矩，而标准件之间为铰接的连接方式。首先通过**断开节点**命令，使该节点位置处的每个杆端各有一个节点，而不是共用一个节点，其示意图如图 6a 所示。此时各个杆件在该节点位置处没有连接，无法传递荷载；然后通过**节点合并**命令，将同一个标准件中的构件端点在合并在一起。依据三个标准件分为三组，如图 6a 所示。合并后，在节点 1 位置处会形成三个分属不同标准件的独立节点，此时再通过**节点约束**命令，将三个节点的水平移动自由度约束在一起，如图 6b 所示，即可真实模拟杆件的连接方式。

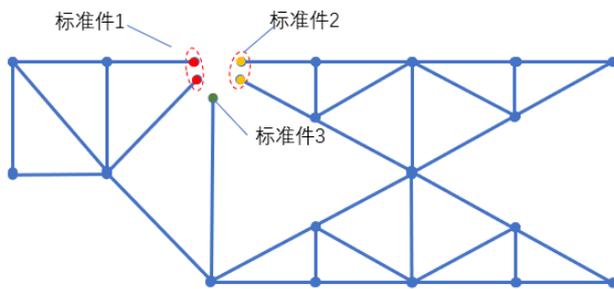


图 6a 节点断开示意图



图 6b 节点合并示意图

另外还需要注意图 5a 中节点 2 的连接方式，虽然节点 2 也是两个标准件通过插销连接，但是该位置处有两个插销，并且两个插销的间距较大，能有效的传递弯矩。此时节点 2 就不需要做节点 1 类似的处理，直接保持默认的刚性连接即可。SAP2000 中构件连接处理方式很灵活，对于临时结构中一些特殊的连接方式模拟，工程师需要具体问题具体分析，避免错误。

1.4 荷载处理

贝雷梁上的模板和模板支架系统布置形式复杂多样，通常为定制构件，主要用于传递荷载，无需单独分析。建模分析时工程师需关注主要受力构件的响应，为此通常将模板和模板支架的转化为荷载施加于贝雷梁，进行相应的分析。混凝土湿重是临时结构所承受的主要荷载，也需要做相应的简化。

浇筑混凝土时，作用在梁底支架上的荷载分布是不均匀的，腹板位置支架承受的荷载较大，翼缘位置支架承受的荷载相对较小，腹板之间支架承受的荷载介于上述两者之间。为了便于分析，在模板、支架的设计计算过程中假定混凝土为理想流体材料，即材料颗粒之间不存在剪应力。该假定对于一次浇筑完成的箱梁是恰当的，因为混凝土尚未初凝，应力重分布现象不明显；对于两次或多次浇筑的箱梁，先浇的混凝土底板已经初凝，具备了一定的应力重分布能力，上述假定会有一定偏差，但总体来说底板初凝形成的应力重分布对于支架受力是有利的。

依据上述假定，通常将主梁划分为不同区域，而每个区域的荷载将由该区域对应的贝雷梁来承担。如下图所示的梁截面，可以将其划分为三个类型的区域，区域 1 内混凝土重力由区域 1 中的一片贝雷梁承受；区域 2 内混凝土重力由区域 2 中的四片贝雷梁均匀承受；区域 3 内混凝土重力由区域 3 中的两片贝雷梁均匀承受。

对于贝雷梁所承受的荷载，一般可以通过上述分区

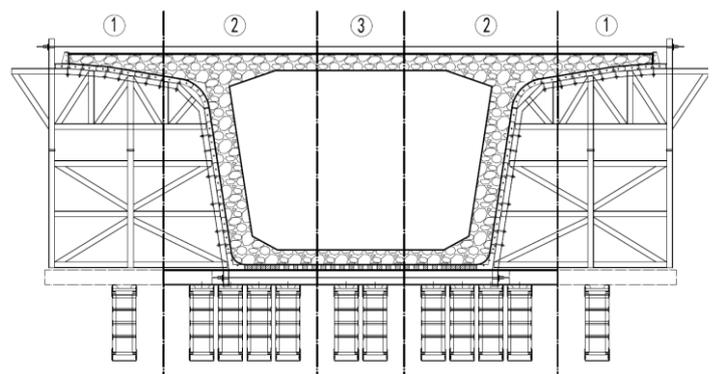


图 7 主梁荷载简化示意图



的方式，将结构的承受的所有荷载转换为线荷载施加于贝雷梁上。对于一些结构形式更加复杂的临时结构，工程需要关注的内容更多，此时对于模板及一些支架则可以通过 SAP2000 中的壳单元和框架单元去模拟，荷载相应的可以处理为面荷载或线荷载来施加。

1.5 工况及组合

临时支架主要考虑的荷载形式包括：浇筑混凝土重+支架自重+模板+施工荷载。对于不同的验算条件，荷载对应的组合系数是不同的，如在进行强度验算时需要考虑混凝土 1.15 倍的冲击系数，而在刚度验算时，则不需要考虑冲击系数。

在 SAP2000 可分别定义这几种类型的荷载模式，定义好荷载模式后程序会自动的生成相应的荷载工况。分析运行完毕后，工程师可依据规范要求，对不同的荷载工况指定不同的组合系数，分别进行强度、刚度及稳定性的验算。

2 分析结果

对于制式构件如贝雷梁构件，规范会给出每一个构件所能承受的最大荷载值：如轴力、弯矩等。在 SAP2000 中可以直接在图形界面上显示构件各个方向的内力值，如轴力、弯矩及剪力，如图 8a 所示，单击该构件即可查看该构件的详细信息。依据规范给定的上限值进行比较，来判断构件是否满足结构要求。但更多时候，我们是通过构件的应力状态来判断构件是否满足结构要求。SAP2000 可通过应力云图显示框架单元的应力云图，如图 8b 所示，可直接通过应力云图颜色判断构件的结构最危险的位置。

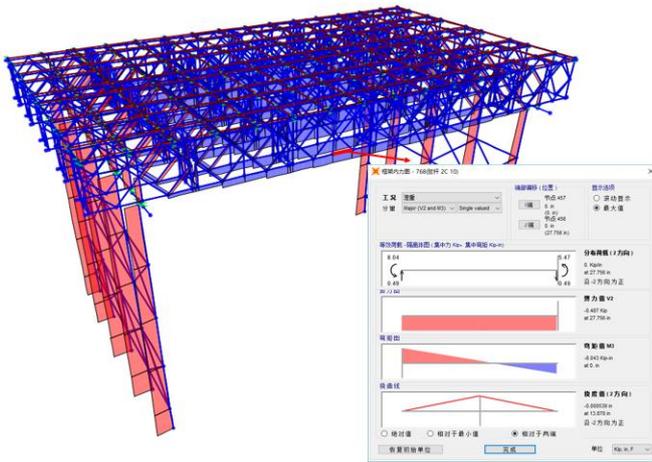


图 8a 显示构件轴力图

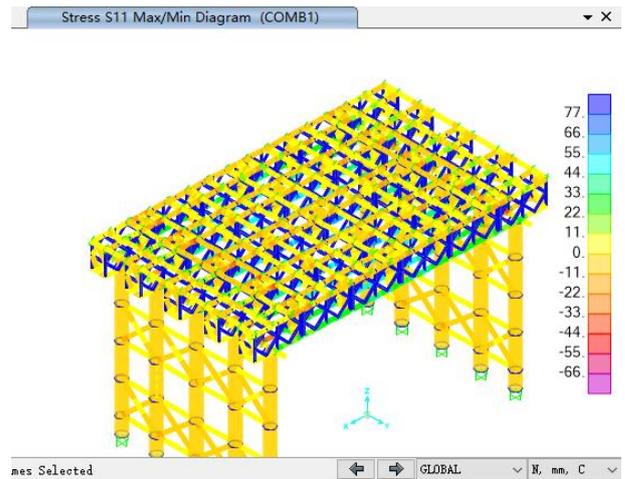


图 8b 显示构件 S11 应力

另外，构件的节点位移、支点反力等计算结果也可直接在图形窗口显示，工程师也可以将节点位移、构件的内力值、基底反力等计算结果导出到 EXCEL 表格当中，做进一步的分析及设计等。

3 总结

贝雷梁在桥梁施工中应用广泛，支架的布置形式多样，但是其建模分析设计的核心内容却基本相同。SAP2000 在处理该类型临时支架时，具有灵活高效的特点。其中构件截面可从数据库导入，也可以直接通过 SD 截面设计器来定义；模型可通过绘制轴网来辅助建立或直接从 CAD 文件中导入模型；对于各种复杂的连接形式或边界条件也可以很好的模拟；结果则可以通过图形显示或导出至 EXCEL 表格做进一步处理。对于各类复杂的临时结构，SAP2000 必然能减少工程分析设计时间，提升设计精度，有效提升工程师的工作效率。