

CSiBridge 在钢混叠合梁桥设计中的应用

筑信达 魏赞洋

随着全寿命周期成本、性能化设计等概念的普及和去除过剩产能的政策推进，钢混叠合梁桥出现在越来越多桥梁设计院的图纸中。CSiBridge 是 CSI 公司针对桥梁工程专门开发的一款软件，彻底解决了 SAP2000 设计桥梁工程时的不便，为桥梁工程师提供了快捷精确的分析工具。CSiBridge 中壳单元应用于实际工程的解决方案在处理钢混叠合梁等薄壁开口截面构件的响应时有先天的分析精度优势。目前 CSiBridge 已经支持了美标、欧标等多国规范的钢混叠合梁设计。而当前国内的桥梁设计软件中，尚没有能够完美地支持中国新钢混叠合梁设计规范的软件。在 CSiBridge 自身实现国标设计之前，本文就借助 CSiBridge 交互功能和 Excel 实现钢混叠合梁国内规范设计的思路进行一些分享。此处抛砖引玉，如有不当之处欢迎广大用户参与讨论。

1. 概述

CSiBridge 采用壳单元模拟钢混叠合梁的上部结构，可以直接考虑叠合梁薄壁开口截面的复杂响应和混凝土桥面板的收缩徐变。而且钢梁和混凝土桥面板相互独立模拟，可以真实地模拟由于钢梁和混凝土桥面板施工顺序造成的应力差。软件中施工过程壳单元应力结果输出如图 1-1 所示。

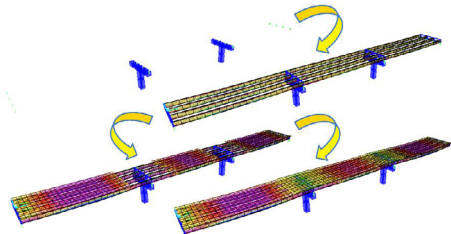


图 1-1 CSiBridge 壳单元钢混叠合梁施工过程效果

为方便读者进行测试。本文中采用 CSiBridge 默认快速生成的两跨 20m 连续梁模型进行演示。《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01-2015 中推荐采用钢梁施加预应力方法有预加荷载法和支点位移法，本文中分别就两种施工方法的施工过程模拟进行讨论。两种依靠钢梁施加预应力方法的施工过程如图 1-2、图 1-3 所示。

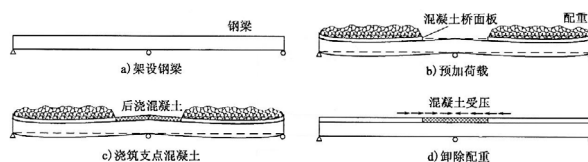


图 1-2 预加荷载法施加预应力

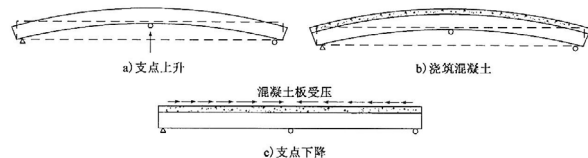


图 1-3 支点位移法施加预应力

2. 建模与分析

利用 CSiBridge 的快速建模功能可以快速地生成全桥模型。点击**新建>快速桥梁**，跨长项采用默认的 2×20m，桥梁截面类型选择 I 型钢混叠合梁，自动生成默认的全桥壳模型。在添加必要的横向联系之后如图 2-1 所示。

预加荷载法

预加荷载法需要将正弯矩区和负弯矩区混凝土桥面板分别添加，所以需要在有限元模型中完成对应的桥面板分界划分。参考规范中对开裂截面范围的规定，此处取中支点两侧 $0.15 \times 20\text{m} = 3\text{m}$ 的范围为负弯矩区桥面板。在**桥梁选项卡** > **跨项** > **用户定义点**中设置分割点的位置。使程序自动生成有限元网格时，在对应位置划分节点。具体设置如图 2-2 所示。

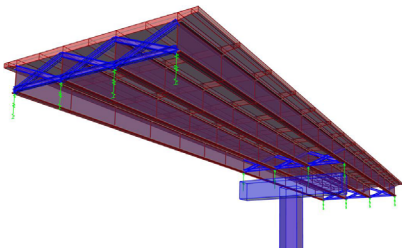


图 2-1 快速生成的 2×20m 钢混叠合梁桥模型

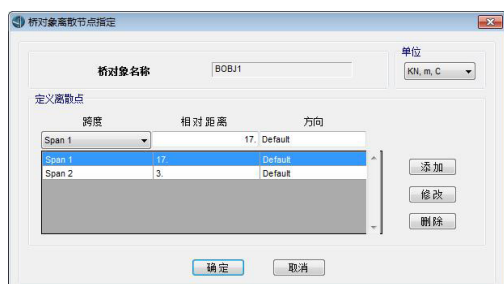


图 2-2 用户定义点对话框设置

完成桥面板划分之后，就可以定义用于施工阶段分析的结构组。首先定义下部结构和钢梁结构组。选择**桥梁选项卡** > **成组** > **新建**。在定义组对话框中桥组类型选择为混合，在下方的复选框中勾选除桥面板之外的全部对象，里程范围指定第一跨 0 点到第二跨 20m，即全桥范围。具体设置如图 2-3 所示。



图 2-3 下部结构与钢梁结构组设置

然后按照同样的顺序，定义正弯矩区桥面板结构组和负弯矩区桥面板结构组。桥组类型选择桥面板。具体的设置如图 2-4 和图 2-5 所示。



图 2-4 正弯矩区桥面板结构组设置



图 2-5 负弯矩区桥面板结构组设置

根据《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01-2015 第 5.3.1 条，如果在桥面板的设计中允许负弯矩区桥面板开裂，则分析模型中应该考虑混凝土桥面板开裂对刚度的影响。叠合梁截面中不应计入受拉混凝土桥面板的贡献但应计入有效宽度内纵筋的作用。本例中在施工阶段工况的施加二期荷载载步之前，激活受拉桥面板面属性修正以模拟桥面板开裂。面属性修正直接折减桥面板的顺桥向膜刚度，将刚度修正为面板内纵筋的等效刚度。有效宽度则使用壳单元剪力滞后直接考虑。



图 2-6 模拟桥面板开裂的刚度修正定义窗口

然后按照施工下部结构和钢梁、施工正弯矩区混凝土桥面板并施加配重荷载、施工负弯矩区混凝土桥面板并移除配重荷载、施加二期恒载并折减负

弯矩区刚度的顺序定义施工阶段规划。定义施工阶段规划具体对话框设置如图 2-7 所示。

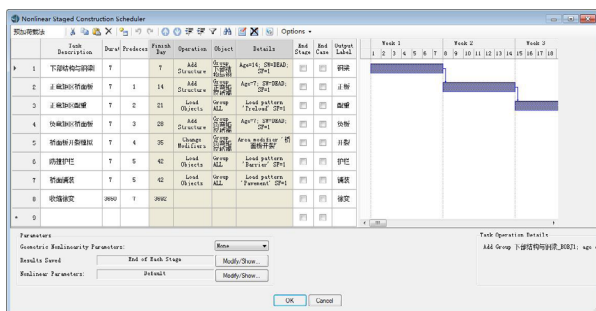


图 2-7 预加荷载法施工阶段规划定义对话框设置

支点位移法

支点位移法相对于预加荷载法更加简单。本例中桥面板只需定义一个结构组。通过高级选项卡中的节点强制位移可以模拟具体的施工阶段工况定义过程为激活下部结构和钢梁、顶升中支点、激活桥面板、支点下降、施加二期恒载。具体设置如图 2-8 所示。

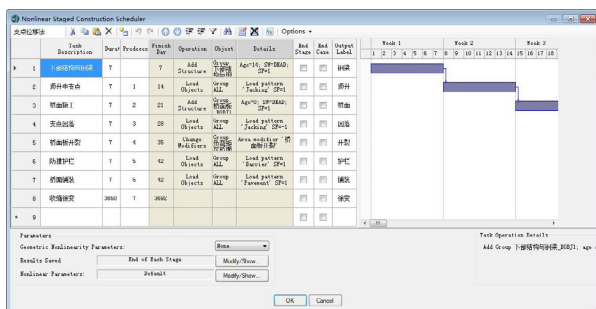


图 2-8 支点位移法施工阶段规划定义对话框设置

3. 规范设计讨论

虽然目前 CSiBridge 还没有实现国标钢混组合梁的全自动批量设计，但是依然可以借助交互功能导出到 Excel 通过其批量处理功能间接实现规范中的验算要求。

例如对于截面抗弯承载力验算，根据《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01-2015 第 7.2.1 条，抗弯承载力可以使用弹性模型的应力直接验算。但应考虑施工顺序导致的应力差。壳模型施工阶段分析中已经考虑了剪力滞后、混凝土开裂和施工应力差。所以可以直接提取主梁应力与材料容许应力对比。具体操作为点击**开始** > **显示面板** > **显示上部结构内力 / 应力**，图标为 。在弹出的对话框中，结果类型选择应力 (Stress)，然后选择应力区域：各个纵梁对应的钢梁 (Beam) 和混凝土桥面板 (Slab) 应力位置即可显示相应的正应力图。点击显示表按钮即可显示每个截面的里程位置和应力值。结果显示窗口如图 3-1 所示。直接将输出位置的应

力值与材料的设计强度对比即可得到设计结果。

根据《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01-2015 第 7.2.2 条 2 项，截面抗弯承载力验算假定所有剪力均由钢腹板承担，仅需提取各纵梁的剪力与腹板面积和钢材强度的乘积对比即可。具体操作为点击**开始** > **显示面板** > **显示上部结构内力 / 应力**，在弹出的对话框中，结果类型选择力，然后选择要验算的纵梁内力类型选择剪力即可显示相应剪力图。使用时抗弯承载力验算相同的方式提取各纵梁的剪应力进行验算。



图 3-1 应力结果显示与提取窗口

如果截面很多还可以点击桥对象响应显示窗口中的输出至 Excel 按钮，将此表格复制到 Excel 进行批量的对比。根据第 7.2.2 条 2 项，当组合梁承受弯矩和剪力的共同作用时，规范要求考虑两者的耦合作用，验算腹板的折算应力。此时可以使用输出至 Excel 功能分别将钢梁 (Beam) 的轴力、弯矩和剪力输出到 Excel 通过材料力学公式计算折算应力，进而依照规范进行验算。

同样原理钢梁的疲劳验算需要提取钢梁的最大最小正应力，裂缝宽度验算仅需提取负弯矩区桥面板的轴向拉力。而挠度验算仅需将结果类型选择为变形即可直接输出各个纵梁的挠度。

4. 小结

CSiBridge 在钢混叠合梁桥的分析精细程度上有先天的优势。壳单元模拟的上部结构模型可以捕捉工程精度所需的所有复杂响应。虽然目前市场上尚没有软件能支持 2015 新钢桥规范，但是使用 CSiBridge 灵活的结果导出功能和常见的办公软件 Excel 依然可以完成符合规范的钢混叠合梁设计。