

钢结构节点设计与分析软件 IDEA

筑信达 张志国

IDEA StatiCa Connection (后续简称 IDEA) 是一款全新的钢结构节点设计与分析软件, 在数分钟之内即可创建复杂的钢节点模型并完成加载、计算、校核及输出报告等各项工作。如图 1 所示, IDEA 采用的 Ribbon 式图形用户界面共分为 Project、Design、Check、Report 以及 Materials 五个选项卡, 主窗口用于显示三维的钢节点模型和构件、荷载及操作列表。主窗口右侧的属性窗口用于显示当前构件、荷载或操作的各种参数或数据, 供用户选择或修改。

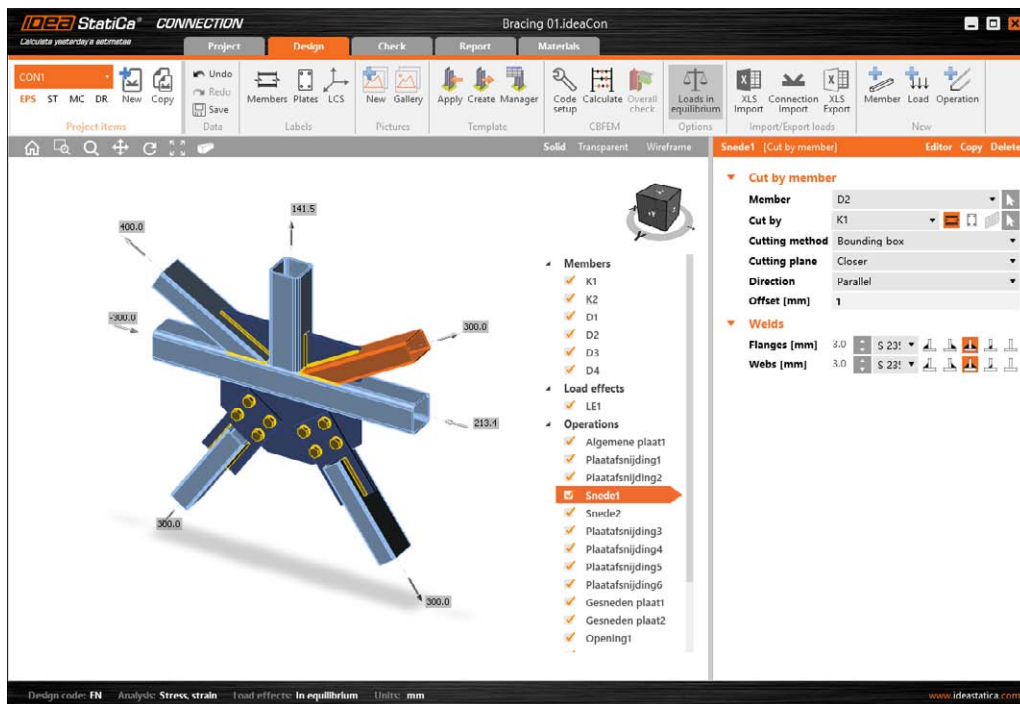


图 1 IDEA 软件的操作界面

1 复杂节点的快速建模

IDEA 采用基于构件和操作 (Operation) 的流程化建模, 整个建模过程如同在生产车间内逐步加工制造整个钢节点。对于图 1 所示的平面框架节点, 用户可采用图 2 所示的工作流程生成用于有限元分析的复杂的钢节点模型。其中, ①代表用于整体计算的杆系模型; ②调整部分构件的空间位置; ③添加节点板及构件间的焊缝连接; ④添加连接板及构件间的螺栓连接和焊缝连接。在上述流程化建模的任一环节中, 用户均可修改构件或操作的各种参数和数据 (如板厚、焊缝形式、螺栓数量等), 实时更新钢节点的几何模型。

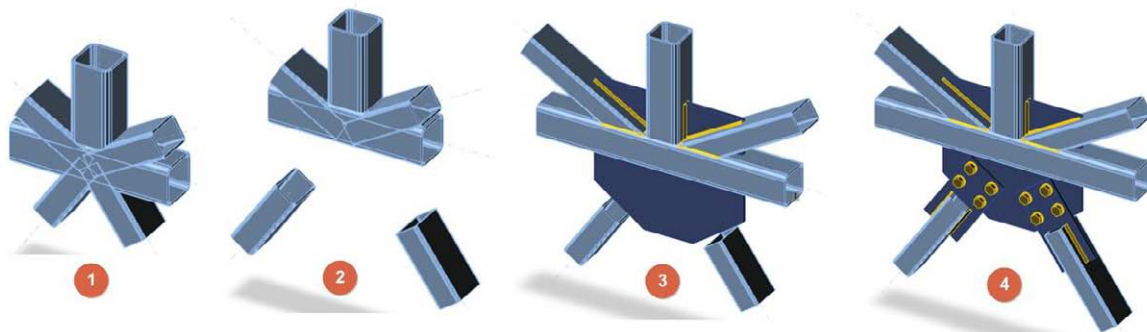


图 2 基于构件和操作的流程化建模



如图 3 所示，IDEA 提供丰富多样的操作类型供用户选择，用以生成各种各样的复杂节点。此处的 21 个操作从左到右、自上而下依次为：切割、加劲板、加宽板、肋板、开洞；端板、偏移端板、变截面连接、构件拼接、拼接板；节点板、连接板、翘板、角钢连接、底板；加强件、加强板、切割板、螺栓、焊缝；工作平面。关于各个操作的相关参数和数据，鉴于篇幅有限，此处不再一一展开。感兴趣的读者可申请试用版软件，切身体验 IDEA 高效快捷的几何建模功能。

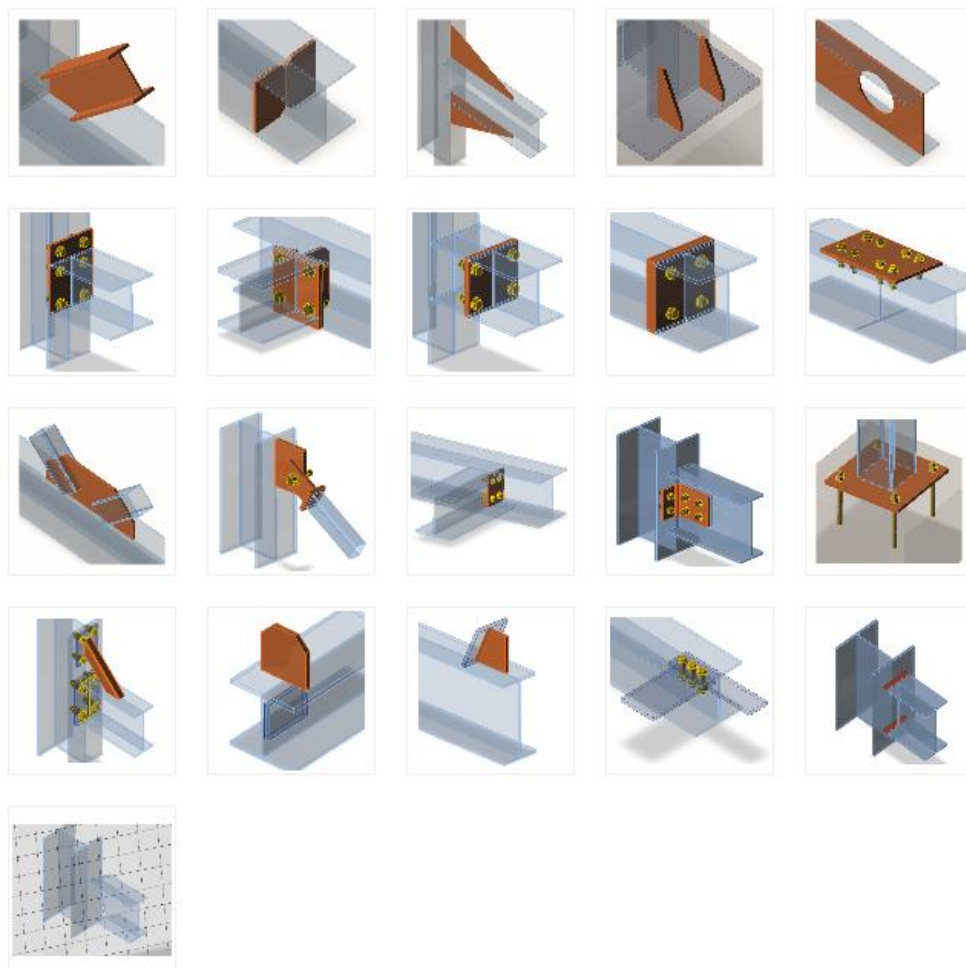


图 3 丰富多样的操作类型

2 高效稳定的计算分析

IDEA 采用基于组件的有限元模型（Component Based Finite Element Model, CBFEM）进行钢节点的分析与计算。CBFEM 方法在传统的组件法（CM）基础上，利用有限元法（FEM）创建和分析各个组件的应力/应变，如图 4 所示。全新的 CBFEM 方法具有三个显著优势：1）通用性，该方法适用于实际工程中大多数的节点、柱脚及构造细节；2）高效性，该方法在应用于日常工作简单快捷，短时间即可提供计算和校核结果；3）全面性，该方法可为工程师提供全面的节点信息，包括应力/应变、组件冗余度以及整体的安全性和可靠性。

如图 5 所示，用户在 IDEA 中既可以对钢节点进行应力/应变分析、屈曲分析或刚度分析，也可以进行构件承载力设计、节点抗力设计或节点整体校核。应力/应变分析即钢节点在荷载作用下的非线性弹塑性分析，同时根据设计规范（欧标或美标）校核螺栓、焊缝以及板件的材料强度。屈曲分析可用于计算局部板件（腹板、翼缘或加劲板等）的失稳形式和临界荷载，辅助用户确定有待强化的区域和强化方式。刚度分析则用于确定当前连接形式对构件转动或拉压刚度的影响，同时为结构的整体分析提供刚性、半刚性或铰接的节点处理方案。

除上述三种常见的分析类型之外，构件承载力设计多用于抗震计算中以构件传递的最大弯矩校核钢节点；节点抗力设计则用于判断当前设计荷载与节点最大承载力之间的相对大小，也就是计算当前节点设计的冗余度。节点整体校核以不同的颜



色区别各个组件的校核状态，红色代表超过极限值，橙色代表超过预警值但低于极限值，绿色代表超过最优值但低于预警值，灰色代表低于最优值。

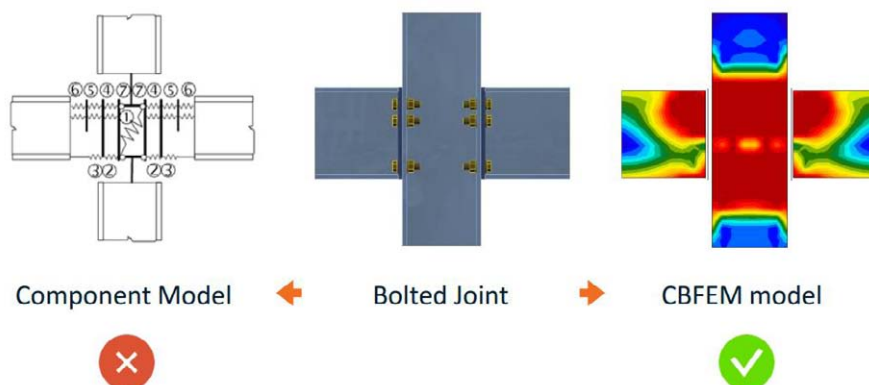


图4 组件法 vs 基于组件的有限单元法

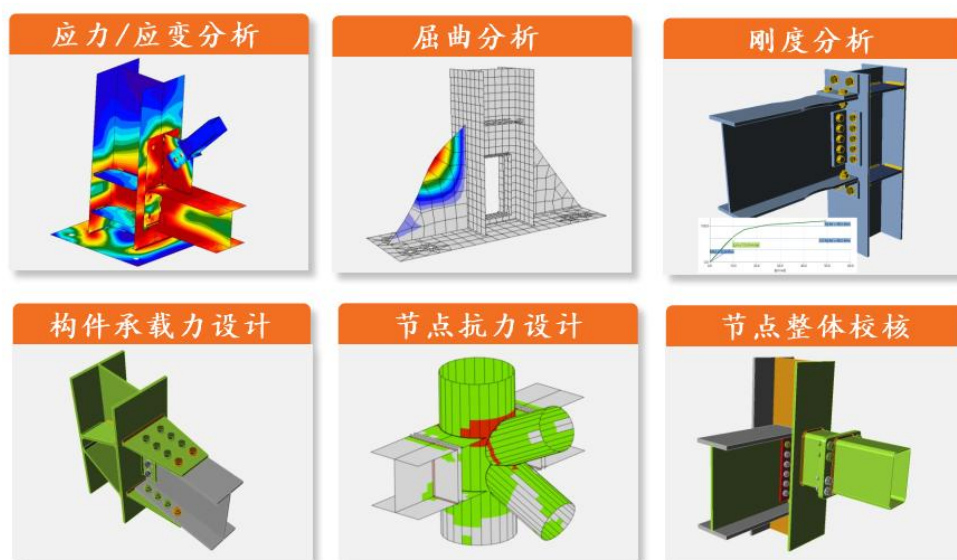


图5 IDEA 支持的各种分析类型

3 基于规范的节点校核

目前，IDEA 支持基于美标 AISC、欧标 EN 以及加拿大规范 CISC 的节点校核，具体包括：螺栓或锚栓校核、焊缝校核、柱脚节点的混凝土校核等。用户可在完成计算之后查看任意一个螺栓或任意一条焊缝的校核结果，如图 6 所示。除此之外，IDEA 还可以提供一份详尽的可定制的输出报告，供用户导出为 DOC、PDF 或 DXF 格式。

4 丰富多样的 BIM 接口

为了更加高效准确地对复杂钢节点进行建模和加载，IDEA 提供了丰富多样的 BIM 接口供用户选择。目前，IDEA 支持各种主流的 CAD/CAE 软件，如：Tekla、ETABS、SAP2000、Midas、Revit 以及 STAAD.Pro 等。

以图 7 所示的 ETABS 2016 为例，用户只需在 ETABS 中安装并启动 API 插件 ETABS2016ConnectionProjectManager，即可将选中的节点、与节点相连的构件、构件截面以及作用于节点上的构件内力全部一次性地导入 IDEA 之中。成功导入后，用户只需在 IDEA 中定义诸如端板、盖板、加劲板等操作，即可完成建模、计算、校核等全部工作。

值得一提的是，在 ETABS 与 IDEA 保持连接的情况下，用户可在 ETABS 中修改模型（如增减构件、替换截面、移除荷载等）并重新运行分析，之后即可在 IDEA 中更新前述模型以保持二者之间的一致性，但无需重新定义前述的端板、盖板等操作。



Tension resistance check

AISC 360-16: J3-1

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = 115.8 \text{ kN} \geq F_t = 100.7 \text{ kN}$$

Where:

- $F_{nt} = 780.0 \text{ MPa}$ – nominal tensile stress from AISC 360-16 Table J3.2
- $A_b = 198 \text{ mm}^2$ – gross cross-section area
- $\phi = 0.75$ – resistance factor for tension and shear

Shear resistance check

AISC 360-16: J3-1

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = 69.6 \text{ kN} \geq V = 4.4 \text{ kN}$$

Where:

- $F_{nv} = 469.0 \text{ MPa}$ – nominal shear stress from AISC 360-16 Table J3.2
- $A_b = 198 \text{ mm}^2$ – gross cross-section area
- $\phi = 0.75$ – resistance factor for tension and shear

Bearing resistance check

AISC 360-16: J3-6

$$R_n = 1.2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = 108.9 \text{ kN} \geq V = 4.4 \text{ kN}$$

Where:

- $l_c = 50 \text{ mm}$ – clear distance, in the direction of the force, between the edge of the hole and the edge of the adjacent hole or edge of the material
- $t = 10 \text{ mm}$ – thickness of the connected material
- $d = 16 \text{ mm}$ – nominal bolt diameter
- $F_u = 400.0 \text{ MPa}$ – specified minimum tensile strength of the connected material
- $\phi = 0.75$ – resistance factor for bearing at bolt holes

Interaction of tension and shear check

AISC 360-16: J3-2

The required stress, in either shear or tension, is less than or equal to 30% of the corresponding available stress and the effects of combined stresses need not to be investigated.

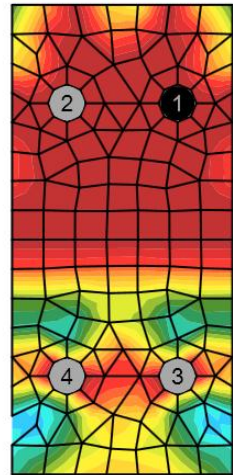


图 6 关于螺栓校核的输出报告内容

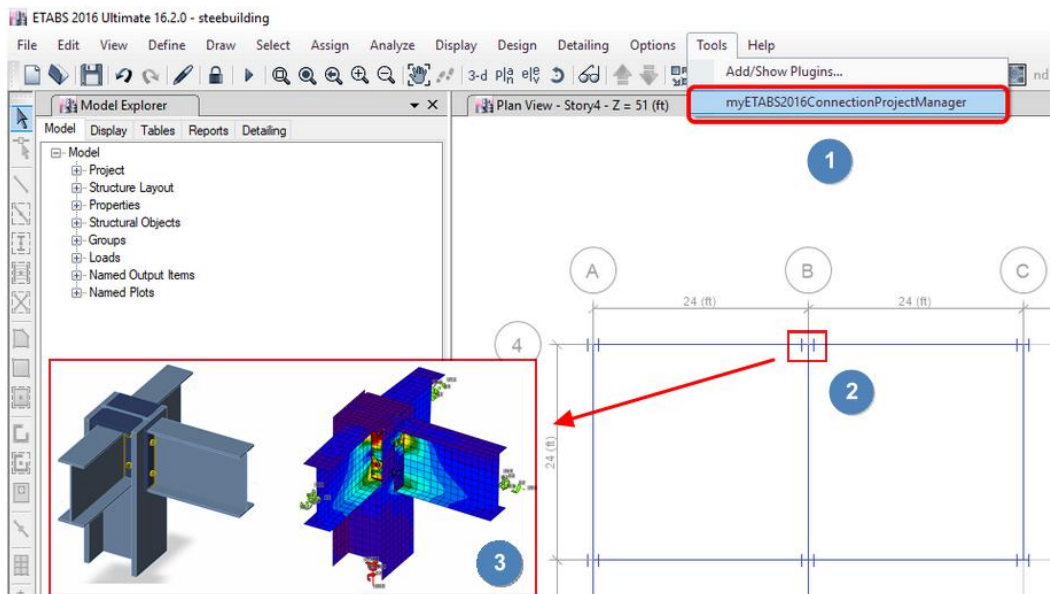


图 7 ETABS 与 IDEA 之间的 BIM 接口

5 小结

本文简明扼要地介绍了钢结构节点设计与分析软件 IDEA 的主要功能特点，包括复杂节点的快速建模、高效稳定的计算分析、基于规范的节点校核以及丰富多样的 BIM 接口。鉴于篇幅有限，本文未具体地介绍 IDEA 软件的各个细节和应用技巧，感兴趣的读者可以关注筑信达官网的相关信息或拨打技术支持热线，也欢迎申请试用最新版的 IDEA StatiCa Connection v 9.0.21。