

SAP2000 钢结构防火设计插件功能介绍

筑信达 孙雪艳

SAP2000 的钢结构设计是按照《钢结构设计标准 (GB50017-2017)》进行设计校核, 无钢结构防火设计功能。如果想使用 SAP2000 进行钢结构防火设计, 需要手动调整材料参数、构件设计参数、添加荷载组合等工作。钢结构中杆件类型多样, 构件的升温需要进行积分计算, 是一个繁琐耗时的过程。基于此, 我们开发了钢结构防火设计插件, 自动调整设计参数, 生成防火模型, 使用生成的防火模型可直接进行钢结构防火设计, 从而用户在 SAP2000 中可以实现钢结构防火设计。

最新的钢结构防火设计插件集成于筑信达工具箱 (CiSApps), 适用于 SAP2000 v23.1.0 及后续版本, 如图 1 所示。该插件基于《建筑钢结构防火技术规范 (GB51249-2017)》(后简称防火规范) 编制。本文介绍该钢结构防火设计插件的功能, 以及对 SAP2000 模型进行的调整。

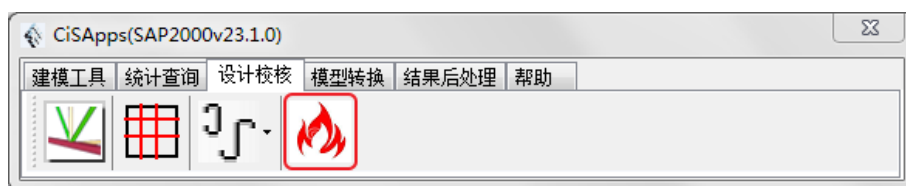


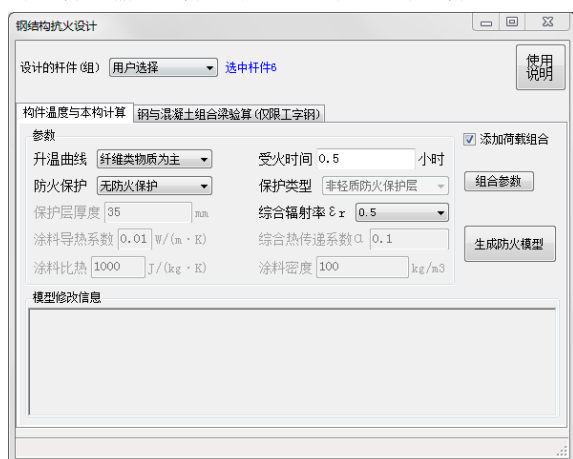
图 1 防火设计插件

1 概述

钢结构防火设计插件包含两个功能, 构件温度与材料本构计算、钢与混凝土组合梁验算, 如图 2 所示。

“构件温度与材料本构计算”根据输入参数进行计算和模型调整, 并生成防火模型, 在 SAP2000 中调用该模型可进行防火设计, 原始模型直接保留。防火模型自动保存在原模型所在文件夹下, 防火模型命名为原模型文件名+Fire1。

“钢与混凝土组合梁验算”该功能进行工字钢组合梁的承载力验算, 读取 SAP2000 模型的杆件信息, 根据输入参数进行组合梁验算, 输出验算结果, 是一个组合梁验算工具。



a) 构件温度与本构计算



b) 钢与混凝土组合梁验算

图 2 防火插件功能

2 构件温度与本构计算

构件温度与材料本构计算用于生成防火模型, 在生成防火模型过程中完成下述操作: 钢构件温度计算与指定、添加荷载组合、调整钢材弹性模量与钢材强度、自动调整设计相关参数 (轴向稳定系数 ϕ 和整体稳定系数 ϕ_b), 生成防火模型。各参数调整可以在生成的防火模型中查看, 原模型直接保留, 不做修改。





2.1 构件温度

依照防火规范第 6 章要求计算钢构件温度，计算钢构件升温的各项参数在对话框中输入。在防火模型中新定义温度荷载模式，荷载模式名称为 FireTemp-X，X 为数字，由插件自动判断得到，如图 3 所示，新定义的荷载模式是为 FireTemp-1，荷载类型为 Temperature。计算得到的钢构件温度升高，采用指定温度荷载的方式指定到构件的温度荷载模式中，如图 4 所示，在构件属性窗口荷载标签页中查看钢构件的升温，也可以通过显示荷载查看所有构件的温度。计算火灾前室内温度环境的温度取 20°C。

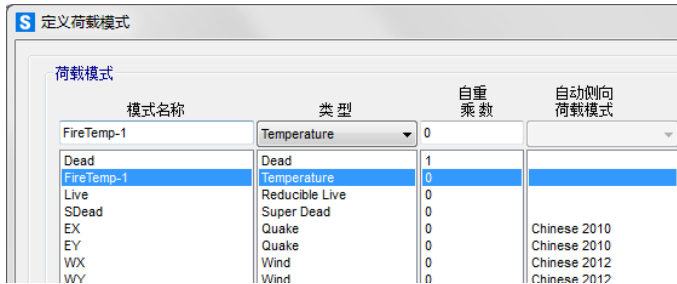


图 3 荷载模式定义



图 4 荷载指定查看

2.2 材料调整

高温下钢材的性能同常温下取值不同，在进行防火设计时，需要调整材料的热膨胀系数、弹性模量、钢材强度设计值等。钢结构中可以使用普通结构钢和耐火钢，插件中默认使用的钢材为结构钢。按照防火规范 5.1.1、5.1.2、5.1.3 条调整材料参数。

根据杆件使用的材料，复制新材料，并按照防火规范 5.1.1、5.1.3 条调整材料的热膨胀系数、弹性模量，如图 5 所示，新定义的材料名称 Q355 (W14X159-T757) 中 Q355 为原材料名称，括号内为原杆件截面+T+温度值，热膨胀系数为 1.4×10^{-5} ，弹性模量根据构件温度 757° 调整为 28695.404N/mm²。将新定义的材料按照材料覆盖项的方式指定给构件，如图 6 所示，在杆件的属性窗口中显示杆件 Story6_C10 使用的截面为 W14X159，材料覆盖项为 Q355 (W14X159-T757)。



图 5 材料属性调整

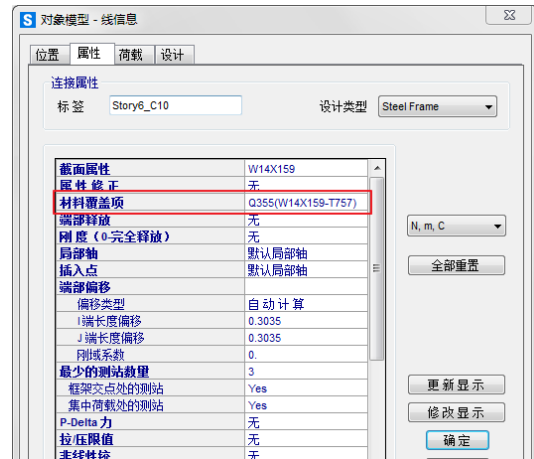


图 6 杆件覆盖项指定

材料设计强度按照防火规范 5.1.2 条进行调整，根据钢构件温度计算高温下钢材的屈服强度调整系数，由于不同厚度的材料设计强度不同，强度的调整指定在构件的设计覆盖项中，如图 7 所示。

| | | |
|----|------------------------|---------|
| 50 | 抗弯强度设计值 f | 39.2621 |
| 51 | 抗剪强度设计值 f _v | 22.6468 |

图 7 构件设计强度调整

2.3 设计参数

钢结构的防火设计有三种方法，耐火极限法、承载力法、临界温度法，防火插件中采用承载力法，需要调整构件设计参数。依照防火规范 7.1.2 条和 7.1.4 条，防火插件根据钢构件温度和原设计中的稳定系数 φ 和 φ_b ，计算出 φ_T 和 φ_{bT} ，在防火模型中的构件设计覆盖项中查看轴向稳定系数和梁整体稳定系数调整结果，如图 8 所示。



| | | |
|----|--------------------------|--------|
| 35 | 轴向稳定系数 (Phi主) | 0.9364 |
| 36 | 轴向稳定系数 (Phi次) | 0.8178 |
| 37 | 梁的整体稳定系数 φ_b (主) | 1. |
| 38 | 梁的整体稳定系数 φ_b (次) | 1. |

图 8 构件设计参数调整

2.4 荷载组合自动生成

防火设计的荷载组合与常温设计不同，生成防火模型时根据荷载定义情况，按照防火规范 3.2.2 条自动生成用于进行钢结构耐火承载力极限状态设计的荷载组合。防火模型中清空原有的荷载组合，按照规范添加防火设计荷载组合。荷载组合参数可设置，如图 9 所示。生成的荷载组合如图 10 所示，荷载组合名称为 FireComX，其中 X 为荷载组合编号。

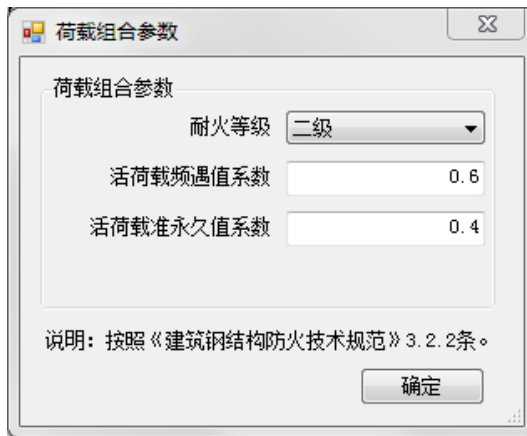


图 9 荷载组合系数



图 10 荷载组合

2.5 防火模型信息说明

防火模型生成后，在对话框的信息框中显示模型的修改信息，包括：构件名称、构件截面、原始材料、构件材料覆盖项、热烟气平均温度、钢构件温度、钢材弹性模量、屈服强度信息。



图 11 防火模型信息说明



2.6 注意事项

- 1) 防火插件可以选择需要进行修改的构件，可以按照分组、选择构件等方式选择构件。
- 2) 使用防火插件前要先进行钢结构构件设计，如果模型未进行钢结构设计，在生成防火模型时，插件不能调整钢材设计强度以及稳定系数 φ 和 φ_b ，这会导致设计结果偏于不安全。
- 3) 目前防火规范中的设计方法为一阶方法，需要在钢框架设计首选项中设置设计方法为“**Limited 1st order**”，如采用了其他方法，程序会给出警告信息并自动中止。
- 4) 所有的计算均假定钢材为结构钢（非耐火钢），防火材料完全贴合。

3 钢与混凝土组合梁验算

钢与混凝土组合梁验算按照防火规范 8.3 中的承载力法进行组合梁承载力验算。各项参数由用户输入，根据输入参数验证组合梁。验算完成后在信息框中显示验算结果，包括：钢构件上翼缘温度、下翼缘温度、上翼缘屈服强度、下翼缘屈服强度、抵抗弯矩设计值，设计是否通过等信息。

The screenshot shows a software window titled "钢结构防火设计" (Steel Structure Fire Design). It contains several input fields and a results section. The "设计的杆件(组)" (Design member/group) is set to "ALL". The "构件温度与本构计算" (Member temperature and calculation) tab is selected, with the sub-tab "钢与混凝土组合梁验算 (仅限工字钢)" (Steel-concrete composite beam calculation (steel I-beams only)).

Input parameters include:

- 升温曲线 (Temperature curve): 纤维类物质为主 (Fiber-based material)
- 受火时间 (Fire duration): 0.5h
- 防火保护 (Fire protection): 无防火涂料 (No fireproofing)
- 综合辐射率 ϵ_r (Overall emissivity): 0.5
- 综合热传递系数 α (Overall heat transfer coefficient): 0.1
- 刚铰接 (Rigid/hinged): 刚接 (Rigid)
- 板肋与钢梁方向 (Direction of slab ribs and steel beam): 垂直 (Vertical)
- 梁跨度 (Beam span): 3 m
- 正弯矩设计值 (Design positive bending moment): 20 kN·m
- 楼板翼板厚度 (Slab flange thickness): 1.0 m
- 肋高度 (Rib height): 0.5 m

The "验算结果" (Calculation results) section shows:

杆件 (Story6_C1)截面W14X159, 材料Q345 (W14X159-T757):
上翼缘温度为537.51°C, 下翼缘温度为771.26°C
上翼缘屈服强度为211.59MPa, 下翼缘屈服强度为41.87MPa
一类截面抗火验算通过, 弯矩设计值为20.00kN·m, 抵抗弯矩设计值为3156.87kN·m

图 12 组合梁验算结果信息

4 结语

钢结构防火插件按照承载力设计方法调整结构模型中材料弹性模量、对构件施加升温荷载、添加荷载组合、对构件的设计参数进行调整，生成防火模型，使 SAP2000 可以按照防火规范进行钢结构设计。当前版本并未提供另一种防火设计方法——临界温度法，后续版本已计划实现此方法。

参考资料

- [1]建筑钢结构防火技术规范：GB51249-2017[S].北京：中国计划出版社，2017