



# 基于 ETABS 的美标组合梁设计概述

筑信达 郑翔

本文将基于 AISC 360-22 规范（以下简称 AISC 360）讨论美标组合梁计算在 ETABS 中的实现细节。本文重点介绍程序进行组合梁设计的流程，涉及组合楼板定义及布置、设计首选项各参数解释及设计细节解读等。

## 1. 综述

ETABS 中的组合梁设计也是一个交互式的自动优化过程。设计过程中可以修改中间设计参数并查看相应的设计结果。另外，可以为组合梁指定一个自动选择截面列表，ETABS 会自动选出满足要求的最优截面，并列出了所有截面的设计结果。

通过 ETABS 的组合梁设计模块，用户可完成组合梁的截面特性计算，强度和挠度验算、抗剪栓钉布置验算及振动校核等内容，并输出相应的设计计算书。

另外需注意的是，只有当钢构件满足下列条件时，ETABS 才会对其按组合梁设计。

- 1) 该构件的构件类型必须是“梁”。也就是说，它必须是位于水平平面中的线对象。
- 2) 该构件截面必须为工字钢，槽钢，蜂窝梁。
- 3) 该构件必须在至少一侧布置有属性为 DECK 的楼板。
- 4) 梁两端绕主轴的弯矩必须释放。即 ETABS 中的组合梁设计一般是针对简支梁。

对于不满足这些条件的钢构件，将按照钢框架梁进行设计。

## 2. 设计过程

ETABS 中，组合梁设计过程从总体上可分为三部分：第一部分是设计条件的设定，包括设定首选项中的组合梁设计信息、设定设计组、设定设计组合、查看/修改部分构件的覆盖项；第二部分为交互式组合梁设计；第三部分为查看和输出设计结果。为使工程师对组合梁设计的整体过程有一个初步认识，下面列出了组合梁设计的大致流程。

- 1) 建立结构模型。
- 2) 使用【设计>组合梁设计>查看/修改首选项】命令，设置组合梁基本信息。
- 3) 使用【分析>运行分析】命令，运行结构分析。
- 4) 如有必要，使用【设计>组合梁设计>查看/修改覆盖项】命令，指定组合梁覆盖项。
- 5) 如有必要，使用【设计>组合梁设计>选择设计组】命令，指定设计组。进行该操作的前提条件是已定义了相应组。
- 6) 如果要用到 ETABS 所提供的设计荷载组合默认值以外的设计荷载组合时，需要点击【设计>组合梁设计>选择设计组合】命令。
- 7) 点击【设计>组合梁设计>开始设计/校核】命令，运行组合梁设计。
- 8) 查看组合梁设计结果。
- 9) 调整模型。
- 10) 使用【分析>运行分析】命令重新运行结构分析。
- 11) 点击【设计>组合梁设计>选择设计组合】命令，可使用新分析结果和新截面属性重新运行组合梁设计。
- 12) 如有必要，可以多次重复步骤 9)~12)。
- 13) 点击【设计>组合梁设计>校核分析与设计截面】命令，校核所有最终设计截面与最近一次使用的分析截面是否符合。

## 3. 组合楼板定义及布置

### 3.1 组合楼板定义

在 ETABS 中进行组合梁设计前，需先定义组合楼板。ETABS 可通过【定义>截面属性>组合楼板截面】命令，定义组合楼板截面。如图 1 所示，ETABS 的组合楼板有三种类型：Filled, Unfilled, Solid Slab。最常用的就是 Filled 类型，即常规的压型钢板组合楼板。



压型钢板组合楼板定义对话框如图 2 所示，具体参数的含义可参考图 1 中的相应标注信息，抗剪栓钉信息也在该对话框输入。

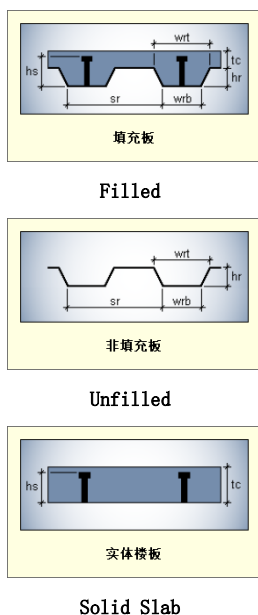


图 1 组合楼板类型

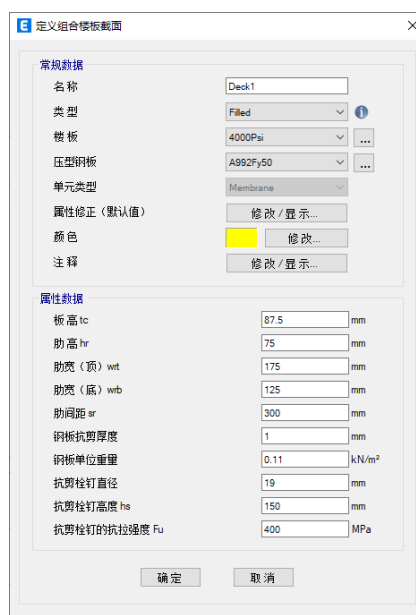


图 2 组合楼板定义对话框

压型钢板组合楼板定义对话框如图 2 所示，具体参数的含义可参考图 1 相应标注，抗剪栓钉信息也在该对话框输入。

### 3.2 组合楼板布置方向与截面特性

如图 3 所示，组合梁的组合楼板布置方向有两种：板肋垂直于次梁跨度方向，板肋平行于次梁跨度方向。用户可通过图 3 中板的箭头方向判断组合楼板的实际布置方向。如需修改，可选中相应板件，通过命令：【指定>壳>局部轴】调整组合楼板的布置方向。

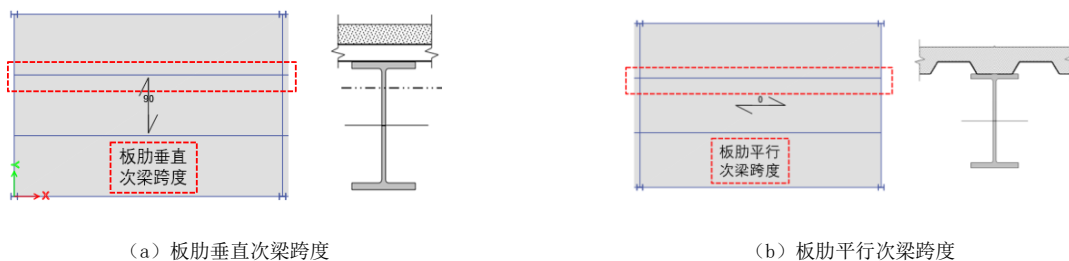


图 3 压型钢板的两种布置方向示意图

当压型钢板板肋平行于钢梁跨度方向时（即图 3 (b)），程序会考虑压型钢板板肋混凝土对组合截面惯性矩的贡献，并将其用于组合截面抗弯承载力的计算。当压型钢板板肋垂直于钢梁跨度方向时，程序会忽略压型钢板板肋混凝土对组合截面惯性矩的贡献。当压型钢板板肋与钢梁跨度方向夹角小于  $15^\circ$  时，ETABS 程序认为板肋平行于钢梁跨度方向。

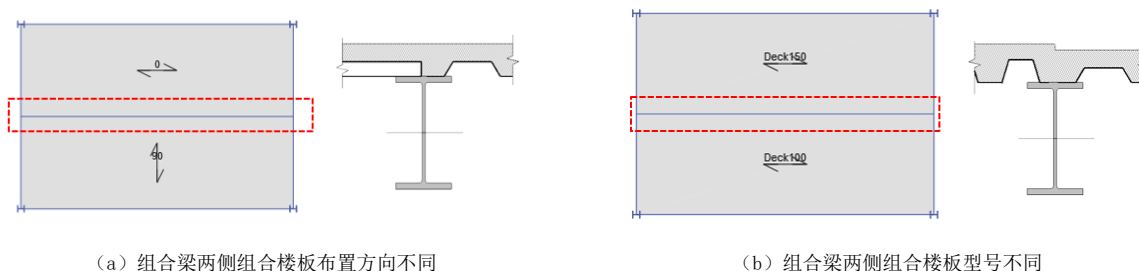


图 4 组合梁两侧组合楼板不一致的两种情况

另外，ETABS 程序也可在钢梁两侧布置不同方向组合楼板（图 4 (a)）或者不同型号组合楼板（图 4 (b)），程序将根据组合梁两侧的组合楼板布置方向和型号，确定组合截面的最终截面特性。图 4 显示了组合梁两侧组合楼板布置不一致的两种



情况。

用户也可通过设计覆盖项，人为指定钢梁两侧组合楼板的属性（图 5）。

### 3.3 组合楼板的有效宽度

ETABS 会自动计算组合梁两侧组合楼板的有效宽度  $b_{eff-left}$  和  $b_{eff-right}$ 。每侧组合楼板有效宽度按 AISC 360 第 I3.1a 规定取以下数值的最小值：

- 1) 组合梁中心线至相邻梁中心线距离的 1/2
- 2) 组合梁中心线至混凝土板边缘的距离
- 3) 梁跨度的 1/8，梁跨为两端支承点中心的离

用户也可通过设计覆盖项，人为指定组合梁两侧组合楼板的有效宽度（图 5）。

组合梁覆盖项 (AISC 360-22)

梁	支护 (C)	支护 (S)	楼板	抗剪栓钉	挠度	振动
01			Deck ID Left Determination			Program Determined
02			组合板ID左侧			None
03			Deck Direction Left Determination			Program Determined
04			组合板方向左侧			Perpendicular
05			b-eff Left Determination			Program Determined
06			b-eff Left, mm			0
07			Deck Width Left, mm			0
08			Deck ID Right Determination			Program Determined
09			组合板ID右侧			None
10			Deck Direction Right Determination			否
11			组合板方向右侧			Perpendicular
12			b-eff Right Determination			Program Determined
13			b-eff Right, mm			0
14			Deck Width Right, mm			0

图 5 组合梁设计覆盖项

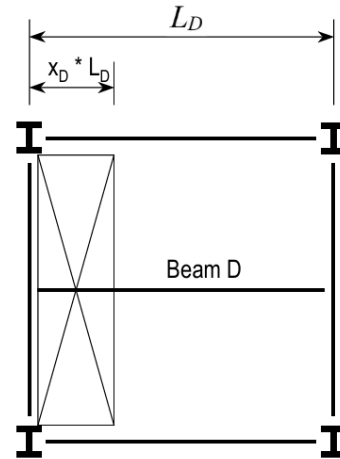


图 6 开洞对组合梁有效宽度影响的案例

用户需注意，组合梁范围内的楼板开洞尺寸和组合梁设置的校核范围可能会影响组合梁有效宽度的判定。以图 6 为例，梁 D 左侧有大开洞，假定默认对组合梁校核范围取默认值 70%；当图 5 中的开洞宽度  $x_D \cdot L_D$  小于  $0.15L_D$  时，程序认为梁 D 的组合楼板是有效的；当  $x_D \cdot L_D$  大于  $0.15L_D$  时，程序判断梁 D 的组合楼板有效宽度为零，梁 D 被认定为非组合梁。

## 4. 设计首选项和覆盖项

组合梁首选项中定义关于组合梁设计的总体信息，覆盖项中定义部分或全部构件相关的设计信息。下面按照设计的一般步骤进行介绍。

命令路径：【设计>组合梁设计>查看/修改首选项】，弹出组合梁设计首选项对话框，如图 7 所示。在选择美国规范 AISC 360-22 的基础上，可以看到并修改组合梁设计首选项的各个参数，如表 1 所示。

组合梁设计首选项 AISC 360-22

梁	抗剪栓钉	起拱	挠度	振动	价格	系数
1						否
2						是
3						是
4						70
5						0.75
6						1
7						0

描述  
切换校核梁强度时考虑轴力。

数值颜色  
蓝：默认值  
黑：非默认值  
红：当前修改的值

设计规范 AISC 360-22

图 7 组合梁设计首选项-梁页面



表 1 组合梁设计首选项

选项卡	项目	可能值	默认值	含义
梁	考虑轴力?	Yes/No	NO	切换校核梁强度时考虑轴力.
	放大弯矩?	Yes/No	YES	切换考虑轴力时, 放大弯矩以考虑 p-delta 效应。
	施工中加设支撑?	Yes/No	NO	选择是否在施工过程中加设支撑
	中间范围, %	$\geq 0$	70	默认值为 70%。此时 ETABS 取梁中间 70% 范围内的楼板的属性进行组合梁计算
	样式活荷载系数	$\geq 0$	0.75	考虑连续梁活荷载不利布置的参数
	应力比限制	$\geq 0$	1	设计中所允许的最大应力比
	长期效应活荷载比例	$\geq 0$	0	考虑长期效应的活荷载比例系数
抗剪栓钉	最小 PCC, ?	Yes/No	25	进行强度和挠度验算时, 部分抗剪连接时的最小连接百分比
	最大 PCC, %	$\geq 0$	100	进行强度和挠度验算时, 部分抗剪连接时的最大连接百分比
	单段?	$\geq 0$	No	如果选择 “Yes”, 则在每段使用均匀间距布置栓钉
	最小纵向间距, mm	$\geq 0$	114	沿梁的长度方向上抗剪栓钉的最小纵向间距
	最大纵向间距, mm	$\geq 0$	1000	沿梁的长度方向上抗剪栓钉的最大纵向间距
	最小横向间距, mm	$\geq 0$	76	抗剪栓钉在穿过梁翼缘时的最小横向间距
	单排最大栓钉数量		3	在穿过梁翼缘时单排抗剪栓钉的最大数量
	组合肋板中抗剪栓钉的位置	1)Middle of the Ribs 2)Weak position 3)Strong position	Middle of the Ribs	垂直的组合板中控制抗剪钉的位置, 可改变抗剪钉的强度.
起拱	计算起拱?	Yes/No	Yes	是否考虑梁的起拱
	恒载起拱, %	$\geq 0$	80	用于计算起拱的荷载百分比 (不包含附加恒载)
	考虑起拱的最小梁高, mm	$\geq 0$	340	实际梁高, 低于该值不再起拱.
	考虑起拱的最小腹板厚度, mm	$\geq 0$	6	腹板厚度, 低于该值梁不起拱.
	考虑起拱的最小梁跨, m	$\geq 0$	7	梁不起拱的最小梁跨.
	最小起拱 abs, mm	$\geq 0$	15	当前单位下的限值, 如果计算的起拱小于该值, 程序将输入零.
	最小起拱 L/		900	最小曲面极限分母。输入 360 则最小曲面极限为 L/360。如果计算的弯度低于这个极限, 所需的弯度将为零。
	最大起拱限值, mm		150	当前单位制下起拱的最大绝对值, 如果计算的起拱值大于该值, 起拱值将输出为该限值.
	最大起拱限值 L/		180	起拱限值的最大值, 输入 360 代表 L/360, 如果计算的起拱值大于该值, 程序将输出该值.
	起拱增量, mm		5	当前单位制下起拱的间隔, 起拱值为该值的整数倍, 该值仅用于舍入目的.
	起拱值舍入	Yes/No	Yes	
挠度	组合前恒载限值 L/		0	预加恒载的变形限值, 输入 120.
	(附加恒载+活载) 限值 L/		240	后组合叠加载荷+活载挠度限值, 输入 120 代表 L/120, 输入 0 代表不校核.
	活载限值 L/		360	活荷载挠度限值.输入 360 代表 L/360, 输入 0 代表不校核
	(总挠度 - 起拱) 限值 L/		240	净荷载挠度 (总挠度 - 起拱值) 的限值, 输入 240 代表 L/240, 输入 0 代表不校核.起拱值在校核前从总挠度中扣除.
	用于组合挠度计算的 leff 折减系数		0.75	此系数由于改变组合截面的 I33 从而影响到组合梁的变形, 它只和挠度计算相关.
振动	振动类型	1) Walking 2) Rhythmic 3) Sensitive Equipment 4) None	Walking	设计中考虑的振动荷载类型
	建筑用途	Paper Office 等	Paper Office	设计中考虑的楼板使用类别。选择此项会改变阻尼比的默认参数(DG11 4.2 节)和振动加速度限值。
	阻尼比		0.025	系统阻尼比(DG11 表 4.2, DG11 5.2 节).
	加速度限值 a0/g		0.005	振动加速度限值为重力加速度的比值 a0/g, 用于人行激励 (DG11 表 4.1, 表 5.1)
价格	价格优化?		Yes	选择 “Yes” 时, 将以钢构件自重进行优化; 选择 “No” 时, 将基于钢构件价格、栓钉按钮价格、起拱工费之和进行优化
	钢材价格		1	单位钢梁重量的价格 (包括盖板)
	栓钉价格		2	单个栓钉的安装价格
	起拱价格		0.1	每单位钢梁自重 (含盖板自重) 的起拱价格



系数	$\phi$ -b		0.9	美标抗力分项系数
	$\phi$ -bcpp		0.9	美标抗力分项系数
	$\phi$ -v		0.9	美标抗力分项系数
	$\phi$ -c		0.9	美标抗力分项系数
	$\phi$ -t		0.9	美标抗力分项系数
	反力系数		1	美标抗力分项系数

覆盖项中各参数的含义，请参考首选项表格。

## 5. 组合梁交互式设计

ETABS 中组合梁设计是一个交互式的优化设计过程。对截面进行修改之后，ETABS 会基于先前的内力分析结果和修改后的截面给出新的设计结果。设计过程中，在显示设计结果的屏幕图形上右键点击某组合梁，可弹出交互式设计对话框（图 8）。该对话框显示的就是该组合梁设计的详细计算结果，其中高亮显示的截面即为最优截面。

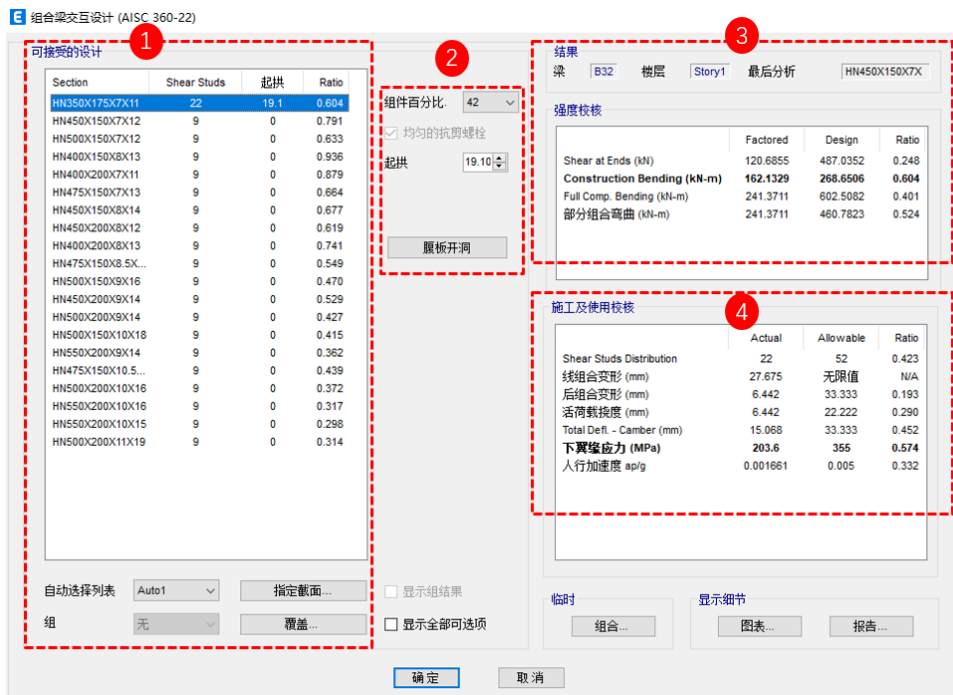


图 8 组合梁交互设计页面

该对话框分为四大板块：图示①【可接受的设计】显示自动选择截面中所有截面设计结果，与钢框架设计不同的是，在自动选择列表处指定一个自动选择截面时，ETABS 会自动给出该自动选择截面中所有截面的设计结果，并标出最优截面。图 9 中高亮显示的截面即为最优截面。

图示②中组件百分比表示混凝土板承受压力的比值，比值越大，组合作用越明显，所需抗剪栓钉数量也越多，修改该数值会直接影响抗剪栓钉计算结果。起拱值是该组合梁的预设起拱数值，修改该数值，会直接影响挠度校核结果。

图示③【强度校核】显示选中截面对应的强度校核，包括梁端抗剪承载力校核、施工阶段抗弯承载力校核、完全受压抗弯承载力校核、部分受压抗弯承载力校核。

图示④【施工及使用校核】显示选中截面所需抗剪栓钉数量，施工阶段挠度验算，使用阶段挠度验算，考虑起拱的总挠度验算，钢梁下翼缘应力校核，振动校核。

组合梁设计完成后，还可以进行重置覆盖项、删除当前设计结果等后续



图 9 组合梁设计部分菜单



相关操作。例如，可以把最优截面指定给组合梁，并清空自动选择截面列表。点击【设计>组合梁设计】命令，可使用如图9所示的下一级菜单命令。各项操作的含义见表2：

表2 组合梁设计操作

清空自动选择列表	可以将所有自动选择截面设置为当前所使用的优化得到的截面。一般来说，在迭代设计过程结束时，应将所有组合梁的自动选择列表设置为当前优化得到的截面
改变设计截面	用于修改所选的一个或多个构件的截面。此时，ETABS 可以具有修改前的结构内力和修改后的截面得到设计结果。在覆盖项第一栏可以进行这种修改
重置设计截面为上一次分析	如果使用“改变设计截面”命令或使用覆盖项修改了设计截面，可以使用该命令将修改后的截面恢复为修改前的截面，即上一次分析使用的截面
校核分析与设计截面	该命令用于检查在设计完成之后，有多少个构件截面被修改了
校核所有通过的构件	用于检查哪些构件通过了设计，哪些构件没有通过设计
恢复全部覆盖项	该命令可将所有组合梁的覆盖项恢复为默认值，可减小 ETABS 数据库 (*.edb) 文件的大小
删除设计结果	删除组合梁设计结果，可以减少 ETABS 数据库 (*.edb) 文件的大小

需要注意的是，设计完成之后，如果没有存盘就退出 ETABS，则将不保存设计结果。

## 6. 设计结果输出

ETABS 的组合梁设计输出方式有屏幕图形、屏幕表格、文本文件等方式。实际设计中，最为常用的是在屏幕图形中查看组合梁优化得到的截面、栓钉数量以及起拱量等结果。还可以通过构件的交互式设计查看构件设计细节，也可将设计结果输出到文本文件中查看。

组合梁设计完成后，设计迭代得到的构件最优截面将直接显示在图形上。在图形上还显示栓钉的数量和起拱量，如图10所示。C 代表起拱量。在默认的颜色设置条件下，不能满足截面承载力要求的截面将显示为红色。

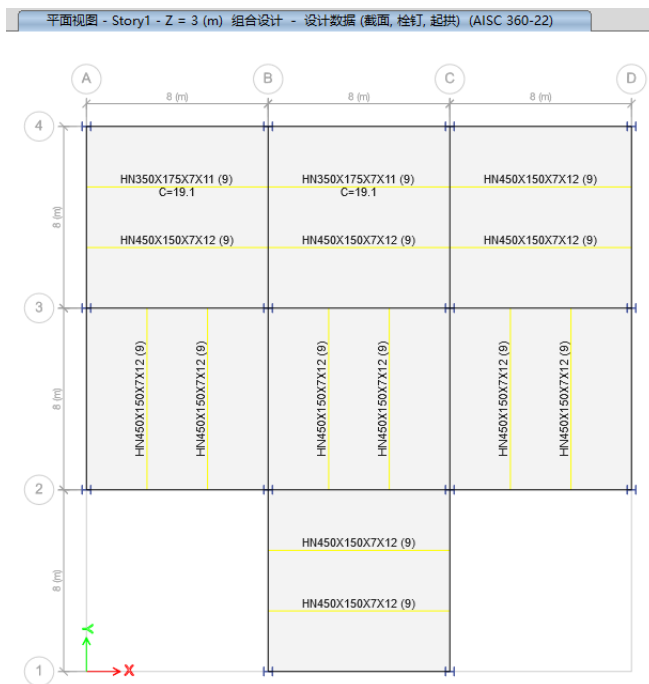


图10 组合梁设计结果

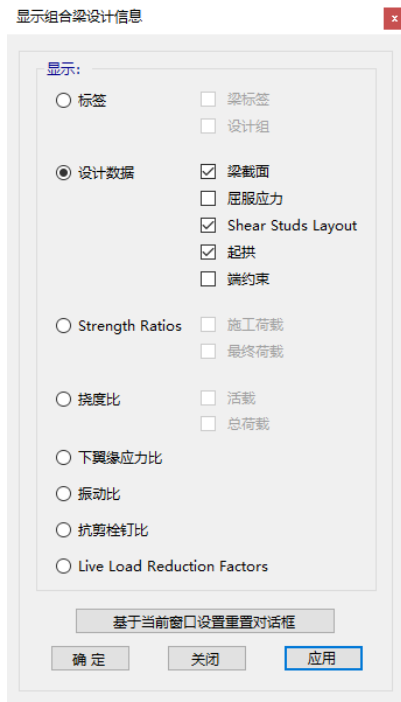


图11 显示组合梁设计信息

还可以分类在屏幕上显示组合梁设计结果，点击【设计>组合梁设计>显示设计信息】命令，弹出显示组合梁设计信息对话框（图11），勾选该对话框中需要显示的项目，点击确定按钮，将在屏幕上显示相应的结果。

在构件上点击鼠标右键，弹出交互式组合梁设计及查看对话框，如图12所示。

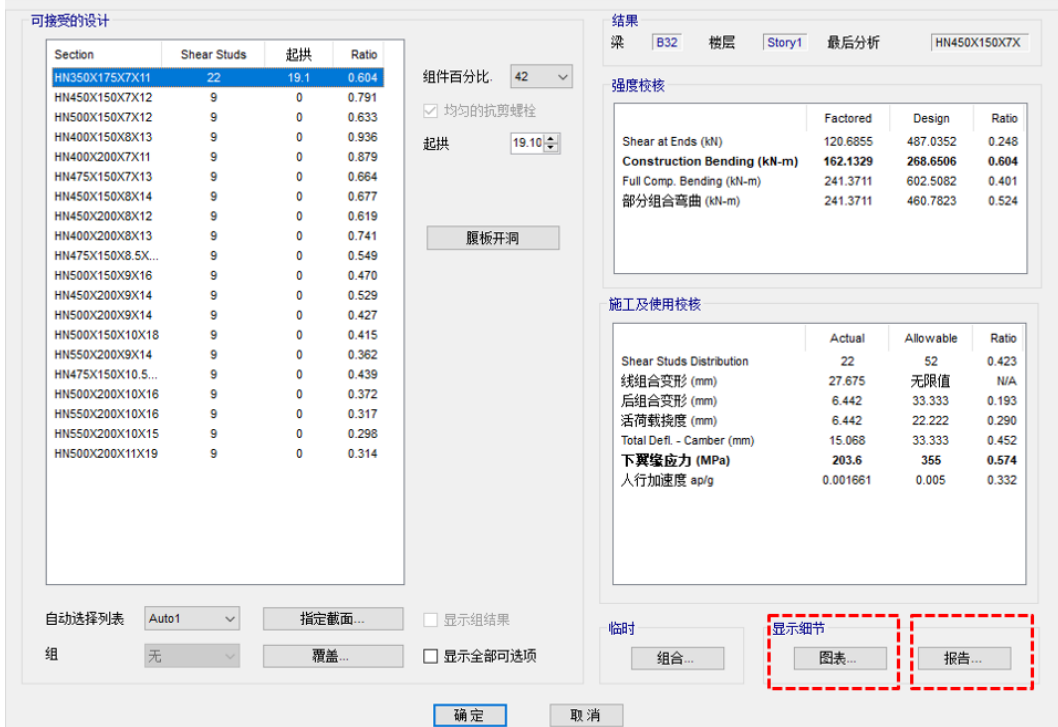


图 12 显示组合梁交互设计

该对话框显示该组合梁的设计结果。点击该对话框的【图表...】按钮，将打开如图 13 所示的组合梁设计内力图。在该图中，可查看不同荷载组合下的梁不同位置的梁剪力、弯矩和挠度。

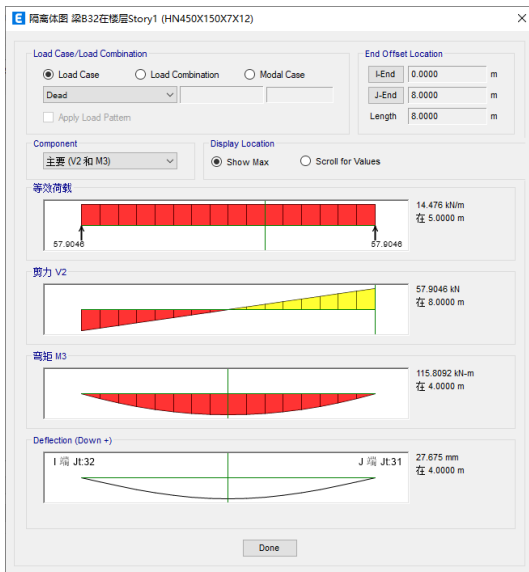


图 13 显示组合梁交互设计

ETABS 22.4.0 AISC 360-22 Composite Beam Details License #

Story Story1 Beam B32 长度: 8 m Trib. Area: 21.33 m<sup>2</sup>  
位置: X=4 m Y=21.3333 m 22.18 mm 2 抗剪钉  
Q355 HN500X175X7X11 Last Analysis: Has Overrides: 19.1 mm 起拱  
HN500X150X7X12

Deck	保护层 (mm)	w <sub>c</sub> (mm)	F <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>yk</sub> (MPa)	E <sub>c</sub> (E) (GPa)	E <sub>c</sub> (I) (GPa)	E <sub>c</sub> (V) (GPa)	Q <sub>c</sub> (kN)
五、三	Deck1	87.5	25	20.1	1000	30000	30000	40500

组合校核属性			
Constr.	荷载	SDI	荷载 NR
荷载数 (kN/m) 0m-8m	0.000	14.476	0.000

端点反力			
Top Copr.	Bot. Copr.	Constr.	荷载
1. 梁、梁 (kN)	23.4 mm	0.000	57.9046

强度校核			
Combo	Loc.	Factored	设计
Shear at Ends (kN)	DCmpS2	8 m	120.6855
Construction Bending (kN-m)	DCmpC1	4 m	162.1329
部分组合弯曲 (kN-m)	DCmpS2	4 m	241.3711

Constructability and Serviceability Checks			
Combo	Loc.	I (cm <sup>4</sup> )	真实
Shear Studs Distribution	N/A	N/A	N/A
挠度中变形 (mm)	DCmpD2	4 m	13500
挠度中变形 (mm)	DCmpD2	4 m	0.75 * 42732.7
活荷载挠度 (mm)	DCmpD2	4 m	0.75 * 42732.7
Total Defl. - Camber (mm)	DCmpD2	4 m	0.75 * 42732.7
下翼缘应力 (MPa)	DCmpD2	4 m	42732.7
Walking Acceleration a <sub>w</sub> /g (β = 0.029 P <sub>w</sub> + 289)	N/A	N/A	64164.7

图 14 组合梁设计细节

点击组合梁交互设计对话框（图 12）的【报告...】按钮，可打开如图 14 所示的对话框，显示该组合梁的设计细节。

总体而言，组合梁设计也是一个交互式的自动优化设计。组合梁设计结果主要包括优化截面、栓钉布置、起拱量等内容，通过图形方式可以比较方便地查看设计结果。

## 7. 设计计算书

常规的设计结果通过命令【设计>组合梁设计>显示设计信息】，在视窗中显示。此外，ETABS 还可以输出每个构件在所有荷载组合下的设计细节数据，这些结果以表格文档的方式显示，可转化为 Word 格式保存为计算书。操作方式是，在显示设



计结果的视窗中，选择某根组合梁，点击右键，弹出如图 12 所示的对话框，从图 12 对话框中点击“报告”按钮，即出现如图 15 所示的设计细节。

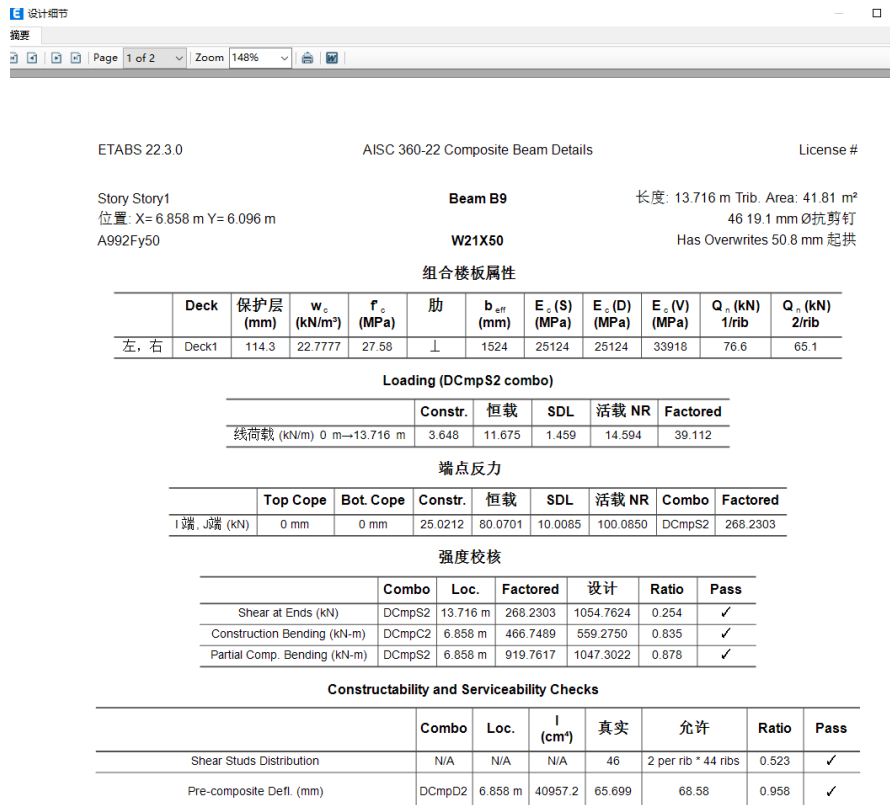


图 15 ETABS 输出的组合梁设计细节

以下是对设计细节的详细说明：

**组合楼板属性**

	Deck	保护层 (mm)	w <sub>c</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (MPa)	肋	b <sub>eff</sub> (mm)	E <sub>c</sub> (S) (MPa)	E <sub>c</sub> (D) (MPa)	E <sub>c</sub> (V) (MPa)	Q <sub>n</sub> (kN) 1/rib	Q <sub>n</sub> (kN) 2/rib
左, 右	Deck1	114.3	22.7777	27.58	⊥	1524	25124	25124	33918	76.6	65.1

上表是组合楼板的基本信息。其中  $w_c$  为混凝土的容重； $f_c$  为混凝土强度；肋为压型钢板肋与钢梁的布置方向，上表中的符号表示板肋与钢梁垂直； $b_{eff}$  为组合楼板的有效宽度； $E_c(S)$  为强度验算的混凝土模量； $E_c(D)$  为挠度验算的混凝土模量； $E_c(V)$  为振动验算的混凝土模量（一般为  $1.35 E_c(S)$ ）； $Q_n$  为锚栓的抗剪承载力（1/rib 为单排锚栓承载力、2/rib 为双排锚栓承载力）。

**强度校核**

	Combo	Loc.	Factored	设计	Ratio	Pass
Shear at Ends (kN)	DCmpS2	13.716 m	268.2303	1054.7624	0.254	✓
Construction Bending (kN-m)	DCmpC2	6.858 m	466.7489	559.2750	0.835	✓
Partial Comp. Bending (kN-m)	DCmpS2	6.858 m	919.7617	1047.3022	0.878	✓

上表是强度校核结果。其中 Shear at Ends 是抗剪验算结果；Construction Bending 为施工阶段抗弯验算结果，该工况主要包含组合楼板自重，施工临时荷载等；Partial Comp. Bending 为最不利组合下承载力抗弯验算结果，Partial 表示该组合梁为考虑部分组合的构件。



Constructability and Serviceability Checks

	Combo	Loc.	I (cm <sup>4</sup> )	Actual	Allowable	Ratio	Pass
Shear Studs Distribution	N/A	N/A	N/A	46	2 per rib * 44 ribs	0.523	✓
Pre-composite Defl. (mm)	DCmpD2	6.858 m	40957.2	65.699	68.58	0.958	✓
Post-composite Defl. (mm)	DCmpD2	6.858 m	134285.4	27.552	57.15	0.482	✓
Live Load Defl. (mm)	DCmpD2	6.858 m	134285.4	25.047	38.1	0.657	✓
Total Defl. - Camber (mm)	DCmpD2	6.858 m	134285.4	42.45	137.16	0.309	✓
Bottom Flange Stress (MPa)	DCmpD2	6.858 m	134285.4	327.81	344.74	0.951	✓
Walking Acceleration a <sub>p</sub> /g (β = 0.025 P <sub>o</sub> = 289)	N/A	N/A	176526.5	0.003701	0.005	0.740	✓

上表是正常使用阶段的验算表格。其中 Shear Studs Distribution 为抗剪栓钉信息，Actual 是实际采用的锚栓数量，上表中为 46 个锚栓；Allowable 为最大容许锚栓数量，表中数据表示梁全长范围有 44 个板肋，每个板肋可放置 2 个锚栓，Ratio 为  $46 / (2 * 44) = 0.523$ 。Pre-composite Defl. 为施工阶段的挠度，此时混凝土未凝结，无组合效应，因此惯性矩 I 取为钢梁的惯性矩 40957.2cm<sup>4</sup>。Post-composite Defl. 为正常使用状态的挠度，该挠度包含了附加恒载、正常使用阶段活载产生的挠度。Live Load Defl. 为活载的挠度，该挠度仅包含正常使用阶段活载产生的挠度。Total Defl-Camber 为扣除反拱值(50.8mm)后的最终总挠度，该值为 65.699mm+27.552mm-50.8mm=42.451mm。Bottom Flange Stress 为正常使用阶段钢梁下翼缘正应力值，为施工阶段和正常使用阶段正应力值之和。Walking Acceleration a<sub>p</sub>/g 为行人激励振动校核结果。

Section Properties

	Y1 (mm)	Y2 (mm)	Area (cm <sup>2</sup> )	S <sub>bot</sub> (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	ΦM <sub>n</sub> (kN-m)	V' or ΣQ <sub>n</sub> (kN)
Steel fully braced	264.2	N/A	94.8	1550.5	40957.2	559.275	3269.4
Full composite (plastic)	0	167.6	N/A	N/A	N/A	1270.516	3269.4
Full composite (elastic)	N/A	62.6	532.6	2858.4	168896.9	N/A	N/A
Partial composite (53%)	13.4	178.3	N/A	2504.5	134285.4	1047.3022	2*65.1 + 21*76.6 = 1739.8
Vibrations Check (E <sub>c</sub> = 33918)	78.4	N/A	685.8	N/A	176526.5	N/A	N/A

上表是截面属性信息。Steel fully braced 表示施工阶段钢梁截面特性（钢梁有临时支撑）；Full composite(plastic)表示考虑塑性的完全组合梁截面特性；Full composite(elastic)表示弹性状态完全组合梁截面特性；Partial composite（53%）表示部分组合梁截面特性，组合效应比例为 53%；Vibrations Check 表示振动校核时组合梁截面特性。

振动频率值

单元	L (m)	b <sub>eff</sub> (m)	Loading	I <sub>eff</sub> (cm <sup>4</sup> )	D (cm <sup>4</sup> /m)	B (m)	W (kN)	Δ (mm)	f <sub>n</sub> (Hz)
Slab	41.148	3.048	3.831+0.192+0.527kN/m <sup>2</sup>	20791.6	20791.6/3.048	27.432			
梁	13.716	3.048	13.865kN/m	176526.5	176526.5/3.048	2*8.0352	1*1002.638	18.1	4.19
主梁 B6	9.144	0	2*95.0828kN + 2.978kN/m	87808	87808/2*13.716	2/3*41.148	1*1222.8316	16.2→9.2	4.43
Panel							1076.9078	34.3	3.044

上表是振动校核信息。L 为构件跨度；b<sub>eff</sub> 为楼板有效宽度；I<sub>eff</sub> 为楼板有效惯性矩；D 为单位宽度的楼板换算惯性矩；B 为计算振动的有效宽度；W 为梁的有效面板重量；Δ 为频率计算所需挠度值；f<sub>n</sub> 为楼板自振频率。

## 8. 小结

综上所述，ETABS 会基于 AISC 360 规范，验算组合梁的强度、挠度、振动、抗剪栓钉数量等。此外，本文对 ETABS 输出的组合梁设计细节信息进行了解释，据此用户可更深入地理解程序的计算过程和结果。

## 参考资料

- [1] Specification for Structural Steel Buildings. AISC 360-22 [S]. 2022.
- [1] Steel Design Guide Series 11: Floor Vibrations Due to Human Activity. 2003.
- [2] Computers & Structures Inc. ETABS v22.4.0 联机帮助文档 Composite Beam Design Manual(AISC 360-2022).