

# ANSYS 在组合扁梁承载力性能研究中的应用

陈 全 石永久 王元清 陈 宏 张 勇

(清华大学土木工程系 北京 100084)

**摘 要** 本文采用有限元分析软件 ANSYS 研究了组合扁梁承载力的问题, 分别建模计算了简支组合扁梁、悬臂组合扁梁和框架组合扁梁的承载力, 并且与足尺试验结果进行了比较, 吻合良好。

**关键词** ANSYS 塑性极限承载力 组合扁梁 有限元

## 1 前言

钢—混凝土组合梁的混凝土楼板搁置在钢梁的上翼缘上, 通过栓钉剪力连接件将钢梁和混凝土楼面板连成整体而共同工作, 混凝土楼板既承受竖向荷载, 又作为组合梁的翼缘参与梁的受力, 使梁由纯钢梁受弯状态改变为混凝土受压和钢梁受拉状态, 从而达到了充分利用材料的目的。近年来, 为了降低结构的高度, 又充分考虑楼盖对梁刚度的加强作用, 出现了将混凝土楼板放置在钢梁的下翼缘上的组合扁梁, 如图 1 所示。



图 1 组合扁梁示意图

组合扁梁楼盖由钢梁和预制钢筋混凝土空心楼板组成, 其中预制钢筋混凝土楼板搭在钢梁的下翼缘上。加配横向钢筋和钢丝网是为了保证在扁梁达到强度极限状态之前不发生混凝土板纵向剪切破坏, 剪力连接件是保证剪力有效地传递及叠合板共同工作。

组合扁梁受力比较复杂, 很难用解析方法求其精确解。本文采用有限元分析软件 ANSYS 对简支组合扁梁、悬臂组合扁梁和框架组合扁梁的承载力、刚度和延性等特征进行了研究, 并与足尺试验结果进行了比较, 吻合良好。

## 2 组合扁梁承载力分析方法

ANSYS 以比较完善的有限元理论为依据, 有强大的非线性分析功能, 可以处理混凝土梁中配置钢筋、混凝土的开裂和压溃等复杂问题, 用于进行试验仿真分析非常方便。本文

的有限元分析，主要用到 ANSYS 提供的线单元和块单元两种类型：LINK8，SOLID45 和 SOLID65。LINK8 单元模拟钢筋的受力情况；SOLID45 单元模拟钢梁的受力情况；SOLID65 单元用于模拟混凝土模型。另外，对于组合扁梁，试验表明钢梁与混凝土之间的滑移可以忽略，所以钢梁与混凝土之间连接可以采用共用节点以使其共同协调。

混凝土的抗拉强度非常低，在加载初期就要开裂，能否正确地模拟混凝土的开裂是计算结果是否精确的关键。本文采用单元死活来模拟混凝土的开裂，其基本思想：如果混凝土开裂，就假设其对结构的刚度和承载力的贡献可以忽略，在建模计算时，可以忽略这些单元。结构分析的有限元模型的单元是不确定的，是动态的，受其受力状态而改变的。在计算分析中，根据 ANSYS 计算出来的应力和应变，把满足开裂条件的单元杀死，让其退出工作，然后按新的模型重新计算，如此反复迭代，直到相邻两次迭代结果相差在可接受的范围内即可停止计算。分析中，需要注意的是：对于节点，与其连接的所有活单元被杀死以后，该节点变成一个漂移的节点，具有浮动的自由度数值。在一些情况下，需要约束住这些不被激活的自由度以减少要求解方程的数目，并防止出现位置错误。但是，在重新激活与其相连的单元时要根据情况删除这些人为施加的约束。另外，在查看结果时，尽管其对刚度矩阵的贡献被忽略了，但由于杀死的单元仍在模型中，其结果仍包含在单元显示和结果输出列表中，在单元显示和其它的后处理操作之前，需用选择功能排除这些没有被激活的单元以方便查询处理。

### 3 计算参数及计算模型

简支、悬臂和两端固支三种不同边界条件的组合扁梁跨度分别为 4000mm、4000mm 和 1500mm，对其分别建立了 ANSYS 有限元模型，并进行了计算分析。在有限元分析中，假定钢材各向同性，弹性模量取 188673.3MPa，泊松比取 0.3，质量密度取  $7850\text{kg/m}^3$ 。在材料非线性分析中，采用目前非线性分析中常用的 Von Mises 等向强化准则，钢材本构关系取双直线模型，即初始弹性模量取 188673.3MPa，进入塑性强化阶段切线模量取 750MPa，钢材屈服强度取 397.75MPa；钢筋取理想弹塑性模型，初始弹性模量取 2E5，进入塑性强化阶段切线模量取 0；BL1、BL2 和 BL3 梁的混凝土的压溃强度分别为 37.7、47.2 和 41.3MPa。以上数据均与试验的标准试样的测得数据相吻合。

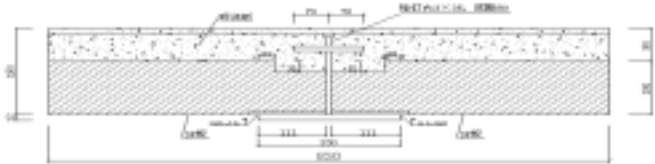


图 2 3 根组合扁梁的截面示意图

所有的实体单元均为 8 节点的长方块，主要处于以下两个原因：(1) 单元的形状过于奇异（如存在太大或太小的内角等）会影响计算结果的精确度，采用映射网格，各个单元

均为长方块可以提高计算精度，以较少的单元获得比较满意的结果。（2）每个单元均为长方块，便于分层，这样模拟混凝土开裂的效果比较自由网格的三角形单元要好的多，也更接近实际情况。划分好以后，采用“Merge”或“Glue”等命令把模型各部分连成空间的一个整体，保证单元之间的位移协调。对于试验研究的组合扁梁在高度方向共分17层，上下翼缘各分2层，长度方向每100mm分1段。截面的单元划分见图3，建好的模型如图4~图6。加载采用位移加载方式，即在加载点施加足够大的位移，直到构件完全破坏，其约束条件的设置和试验完全相同。计算时，对所施加的外荷载和特征点挠度进行跟踪。



图3 截面网格划分图



图4 悬臂梁 BL3 单元划分图



图5 简支梁 BL1 单元全局图



图6 悬臂梁 BL2 单元全局图

#### 4 数值模拟结果及与试验结果的对比分析

组合扁梁的弹性承载力、极限承载力和挠度的试验值，作为组合扁梁在综合因素作用条件的实际情况的反映，体现了组合扁梁受力的实际性能，是最可靠的数据，本节以此为依据，将有限元分析结果与试验结果进行了比较。

简支梁全跨承受正弯矩，充分的利用了材料的特性。但在加载初期，处于中和轴以下的混凝土要开裂，退出工作，在 ANSYS 进行有限元分析时是将这些不参与工作的混凝土单元杀死，最后剩下只有参与工作的混凝土单元，见图7，其荷载-跨中挠度曲线见图10。两端支座固定梁在杆端负弯矩最大，跨中正弯矩最大，在整个梁跨度范围内弯矩要发生变号。在加载初期，靠近支座中和轴以上和跨中中和轴以上的混凝土都要开裂，退出工作。ANSYS 模拟的结果与实际情况十分接近，最后剩下只有参与工作的混凝土，见图8。荷载-跨中挠

度曲线见图 11。悬臂梁开裂后,剩下参与工作的混凝土见图 9,荷载-端部挠度曲线见图 12。



图 7 简支组合扁梁开裂后剩余混凝土单元



图 8 固支梁没有退出工作的混凝土单元



图 9 悬臂梁没有退出工作的混凝土单元

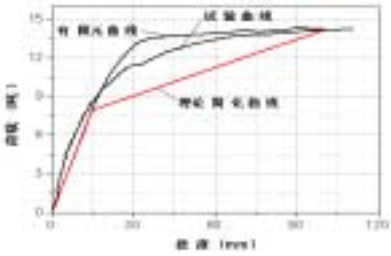


图 10 悬臂组合扁梁荷载-挠度曲线对比

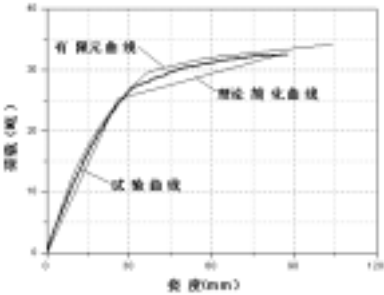


图 11 简支组合扁梁荷载-挠度曲线比较

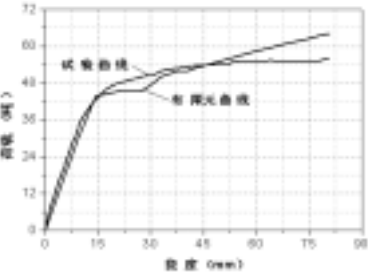


图 12 框架组合扁梁荷载-挠度曲线

从以上 3 根组合扁梁的荷载-挠度曲线可以清楚的看到:无论是弹性阶段组合扁梁的刚度,还是组合扁梁塑性极限承载力,有限元分析的结果都足够精确,与试验结果吻合良好。这说明有限元分析方法是可靠的,可以用来分析其它类似的组合扁梁。

## 5 主要结论

本文借助于有限元分析软件 ANSYS 对简支、悬臂和两端固支的组合扁梁的承载力性能进行了深入的分析,与试验结果对比分析表明数值模拟结果足够精确,所选用的数值模拟方法是正确有效的,可以用来分析其它类似的组合扁梁,同时也为对进一步研究影响组合扁梁受力性能的各个参数奠定了基础。

## 参考文献

- [1] 陈 全,石永久,王元清,陈 宏,张勇. 带组合扁梁多层轻型钢框架结构体系分析. 建筑结构. 2002. 2
- [2] ANSYS Theory Manual, Ansys5.5 Help System

[3] 陈惠发. 土木工程材料的本构方程. 华中科技大学出版社. 2001

[4] Quan Chen, Yongjiu Shi, Yuanqing Wang, Hong Chen, Yong Zhang. Loading Capacity Of Steel-Concrete Composite Slim Beam. Seventh International Symposium on Structural Engineering for Young Experts, Tianjin, China, August 28-31 2002