

# 腹板开长圆孔钢-混凝土组合梁力学性能分析

李宗旺

西南林业大学土木工程学院

DOI : 10.12238/j pm.v5i7.6965

**[摘要]** 腹板开洞钢-混组合梁具有布置灵活,减轻结构自重等优点。为研究不同的洞口形状对钢-混组合梁的变形能力、极限承载力有不同的影响程度。本文使用 ABAQUS 软件对腹板开矩形孔洞和长圆孔洞的组合梁进行研究,研究腹板开矩形洞口及长圆孔洞口对组合梁的变形能力和极限承载力的影响。研究得出:相同孔洞面积下,腹板开长圆孔洞口的极限承载力稍大于腹板开矩形洞口的承载力,矩形洞口处所产生的应力集中程度更大,而腹板开长圆孔洞口的钢-混组合梁变形能力更大。

**[关键词]** 组合梁;腹板开洞;极限承载力;变形能力;荷载-位移曲线

## Analysis of mechanical properties of steel-concrete composite beam

Li ZONGwang

School of Civil Engineering, Southwest Forestry University

**[Abstract]** The web opening steel-mixed combination beam has the advantages of flexible layout and reduced the weight of the structure. In order to study different hole shapes on the deformation capacity and ultimate bearing capacity of steel-mixed beam. In this paper, ABAQUS software is used to study the combined beam of the open rectangular hole and the long circular hole, and to study the influence of the open rectangular hole and the long circular hole on the deformation ability and ultimate bearing capacity of the combined beam. It is concluded that under the same hole area, the ultimate bearing capacity of the long circular hole in the web is slightly greater than that of the rectangular hole in the web, the stress concentration of the rectangular hole is greater, and the deformation capacity of the steel-mixed combination beam of the long circular hole in the web is greater.

**[Key words]** composite beam; web opening; ultimate bearing capacity; deformation capacity; load-displacement curve;

### 1、引言

钢-混组合梁具有承载力大、延性好、施工速度快等优点。现在组合梁已在高层及大跨度建筑工程中得到广泛使用。然

而,这类建筑中通常有许多纵横穿越的(水、电、暖等)管道设施。为此工程师们便在组合梁腹板进行开洞处理,便能减少这些管道设施对建筑空间的占用,达到降低层高、减轻自重、

节约资金等目的，以此获得更高的价值效益，因此腹板开洞组合梁在工程中应用越来越多。但是腹板开洞后会降低组合梁的承载力，增大变形，在腹板洞口处出现明显的应力集中。不同开洞形状所产生的应力集中程度不同，可选择合适的开洞形状来减少应力集中。为彻底了解腹板开洞对组合梁产生的影响，一些国外及国内学者也对腹板开洞组合梁进行了研究。1996年，Fahmy<sup>[1]</sup>对腹板开洞的钢与混凝土组合梁进行了理论研究，提出了腹板开洞组合梁的承载力计算方法。白永生<sup>[2]</sup>等介绍了3种腹板开洞组合梁承载力计算方法，指出其不足之处，并提出了修正方法；王鹏<sup>[3]</sup>等提出了带加劲肋腹板开洞组合梁极限承载力计算方法；Elshaer<sup>[4]</sup>等提出洞口尺寸合适时，腹板开洞连续组合梁的极限变形能力强于未开洞的连续组合梁；周东华<sup>[5]</sup>等介绍了腹板开洞组合梁的模拟以及计算结果，得出更直观的腹板开洞组合梁的计算结果。蒋伟<sup>[6]</sup>等分析6种洞口形状对组合梁的受力性能影响，得出了6种腹板开洞形状对组合梁的影响程度；现在各专家对矩形洞口的腹板开洞组合梁研究已有很多进展，但对腹板开长圆孔形状的洞口的组合梁还研究甚少。

本文在已有试验基础上，通过 ABAQUS 有限元模拟计算，对面积相同的矩形洞口及长圆孔洞口的腹板开洞组合梁的受力性能进行研究，着重研究矩形和长圆孔两种洞口形状对极限承载力、变形能力的影响。图 1 所示为钢-混组合梁的计算简图。

## 2、有限元模拟

### 2.1 单元类型选择

基于 ABAQUS 软件，对栓钉、钢梁、混凝土采用八结点六面体单元 (C3D8R) 减缩积分，沙漏控制。对于钢筋则采用两结点线性三维桁架单元 (T3D2)。

### 2.2 材料选择

混凝土强度等级采用 C40，属性采用塑性损伤本构模型，弹性阶段的泊松比取为 0.2，塑性参数取值为：膨胀角取为 40°，偏心率取为 0.1，双轴等压受力时强度与单轴强度之比取为 1.16，拉、压子午线上的第二应力不变量比值取为 0.667，粘性系数取为 0.001。

钢梁材质为 Q235B，为焊接工字型截面。配筋采用 HRB235 钢筋，为理想弹塑性模型。

钢梁和钢筋的本构关系具体表达式如下：

$$\sigma = \begin{cases} E_s \varepsilon, & \varepsilon \leq \varepsilon_y \\ f_s, & \varepsilon_y < \varepsilon \leq \varepsilon_{st} \\ f_s + \zeta E_s (\varepsilon - \varepsilon_{st}), & \varepsilon_{st} < \varepsilon \leq \varepsilon_u \\ f_u, & \varepsilon > \varepsilon_u \end{cases}$$

式中  $f_s$ —钢材的屈服强度； $f_u$ —为钢材的极限强度，其中  $f_u = 1.5 f_s$ ； $\varepsilon_y$ —钢材屈服时的应变， $\varepsilon_{st}$ —钢材强化时的应变， $\varepsilon_u$ —钢材达极限强度时的应变。

栓钉连接件采用  $\phi 19$ ，其高度为 80mm，沿梁长按间距为 100mm 均匀布置在钢梁上方。

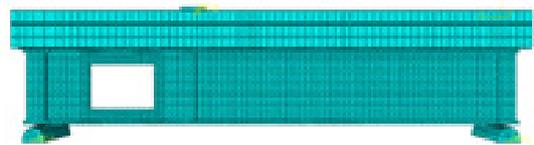
栓钉应力-应变关系具体表达式如下所示

$$\sigma = \begin{cases} E_s \varepsilon, & \varepsilon \leq \varepsilon_y \\ f_s + 0.01 E_s (\varepsilon - \varepsilon_y), & \varepsilon_y < \varepsilon \leq \varepsilon_u = 21 \varepsilon_y \\ f_u, & \varepsilon > \varepsilon_u \end{cases}$$

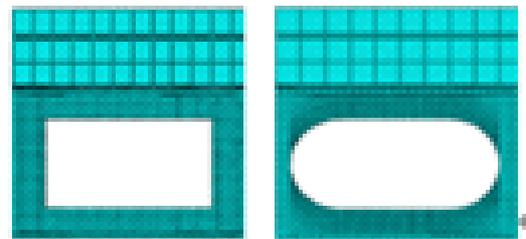
式中： $f_u = 1.2 f_s$ ， $E_s = 2.06 \times 10^5$ 。

### 2.3 模型建立

在 ABAQUS 软件装配模块中对所建各部件进行装配。混凝土与钢筋采用嵌入连接方式。工字梁翼缘与混凝土块之间经过光滑处理，摩擦力很小，因而采用切向无摩擦、法向“硬”接触进行模拟；整体试件模型及洞口形式如图 1 所示。



(a) 有限元整体模型



(b) 矩形及长圆孔洞口

图 1 有限元整体模型及洞口形式

## 3、有限元模拟结果与对比

为验证有限元结果的可靠性，将模拟结果与实验结果进行对比。根据图 2 和表 1 可以看出：模拟结果与试验结果对比，极限承载力数值相近且相对误差 2%之内，位移相对误差也较小。

表1 试验结果与有限元对比

试件名称	极限承载力/kN		荷载相对误差/%	极限位移/mm		位移相对误差/%
	试验	有限元		试验	有限元	
A1 矩形洞口	206.2	202.8	1.7	7.15	7.82	9.4
B1 长圆孔洞口	230.2	225.9	1.9	8.46	9.13	7.9

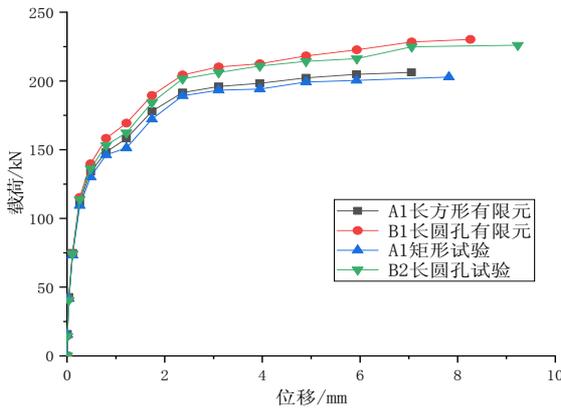


图2 荷载-位移曲线对比

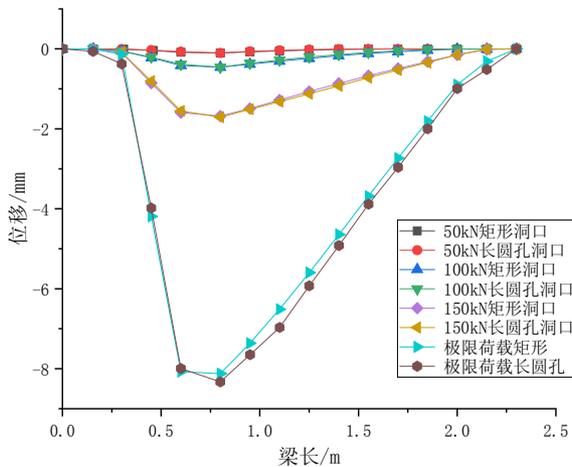


图3 不同荷载时沿梁长方向位移

如图3所示,当荷载较小在100kN以下时,A1、B1的组合梁沿梁长方向的位移比较平缓,A1、B1在梁长的同一位置处位移差距很小。当荷载持续增大至150kN时,在洞口两侧的曲线斜率增大。当荷载沿梁长到洞口左侧时,显示A1、B1试件在梁长同一位置的位移差较小。当荷载沿梁长到洞口的右侧附近时,显示A1、B1试件之间的位移差开始逐渐增大。到远离洞口中心之后,两者之间的位移差仍在继续增大,这是因为腹板开洞削弱了腹板承载力且集中力靠近腹板洞口的右侧,所以A1、B1试件在洞口左侧的位移差较小,而在洞口右侧位移差较大。当荷载持续增加至极限荷载所示,B1试件洞口右侧位移增

量明显大于洞口左侧位移增量且大于A1试件的位移增量。

#### 4、结论

(1)腹板开洞会降低组合梁的极限承载力,相同面积下,腹板开矩形洞口和长圆孔洞口相比较,矩形洞口四周产生的应力集中程度更大,塑性较更为明显,极限承载力较低。

(2)腹板开矩形洞口的组合梁所产生的极限位移是低于长圆孔洞口的,长圆孔洞口的变形能力更强。

#### [参考文献]

[1]Fahmy E. Analysis of composite beams with rectangular web openings[J]. Journal of Constructional Steel Research. 1996; 37(1): 47-62.

[2]白永生 蒋永生,梁书亭,陈林.腹板开洞的钢与混凝土组合梁承载力计算方法综述和探讨[J].工业建筑.2004(06): 68-70+83.

[3]王鹏,周东华,王永慧,韩春秀.带加劲肋腹板开洞组合梁极限承载力理论研究[J].工程力学.2013; 30(05): 138-46+52.

[4]E1Shaer MA. Structural analysis of a composite continuous girder with a single rectangular web opening[J]. HBRC journal. 2017; 13(2): 152-62.

[5]周东华 赵惠敏,王明锋.带腹板开洞组合梁的非线性计算[J].四川建筑科学研究.2004(02): 21-4.

[6]蒋伟,廖文远,刘德稳,陈静,谢鑫.洞口形状对腹板开洞钢-混凝土组合梁的受力性能影响分析[J].建筑科学与工程学报.2023; 40(03): 61-9.

作者简介:李宗旺(1998.4-)男,汉族,江苏徐州人,西南林业大学土木工程学院,22级在读研究生,硕士学位,专业:土木水利,研究方向:钢-混组合结构。