

钢筋混凝土开孔梁抗剪设计及有限元分析

古松, 潘文

(昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 讨论钢筋混凝土开孔梁剪弯段受力破坏机理, 并对现有几种钢筋混凝土开孔梁抗剪简化计算方法进行比较. 以剪弯段设置矩形孔洞的简支梁为对象, 采用有限元方法进行分析. 提出合理的开孔梁斜截面强度计算方法及开孔处的构造措施.

关键词: 开孔; 抗剪强度; 混凝土

中图分类号: TU375.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2003)05-0114-05

Design of the Shear Reinforcement of RC Beams with Opening

GU Song, PAN Wen

(Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: The mechanism of the structural destruction of the steel reinforced concrete when the openings are located in the bending shear sections is analyzed, and some simplified design methods are compared with each other. A more rational simplified design method of the shear reinforcements in the RC beams with openings is advanced. Besides, the construction measures are suggested about upper and bottom-chord around openings.

Key words: opening; shearing-resistance; concrete

0 引言

在工业与民用建筑, 尤其是在高层建筑中, 为了降低结构层高、提高楼层净空, 常在梁腹中开设孔洞布设管道. 但是梁上开洞后, 特别是在支座附近开洞后, 将改变梁的受力性能, 使梁的承载力下降. 现行《混凝土结构设计规范》中未有明确的开孔洞梁正、斜截面承载力简化计算公式. 很多设计单位对梁上开孔洞只作构造处理, 开孔洞处梁的受力破坏特征和应力变化情况并不清楚. 本文通过对近年来有关文献中提出的几种开孔梁计算方法进行比较, 并对剪弯段腹部开洞的简支梁的受力性能进行有限元分析, 研究不同孔洞高度、宽度和位置对梁受力性能的影响, 探讨优化设计方法.

1 梁的斜截面破坏

1.1 实心梁的斜截面破坏特征

钢筋混凝土梁沿斜截面破坏大致分为斜压破坏、剪压破坏和斜拉破坏三种主要形态. 为了保证构件有足够的延性和强度, 规范中通过控制截面尺寸和配箍率保证构件破坏时为剪压破坏. 剪压破坏形式如图 1. 构件从受荷到破坏的过程中, 在支座与加载点之间从梁下部开始出现多条裂缝, 其中一至两条发展较快形成斜的通缝导致构件破坏. 在这一过程中, 剪力主要通过: ①由临界裂缝分割形成的拱体; ②拱体间的咬合、摩擦力; ③纵筋的暗栓作用; ④受压区混凝土及箍筋等分配传递. 其中①、②两项起主要作用.

1.2 开孔梁的斜截面破坏特征

由图 2 所示开孔梁的主应力迹线图可以看到, 孔洞附近梁的部分主应力迹线被孔洞切断, 部分主应力迹线改变方向. 破坏形式如图 3^[1]. 开洞处梁段被分成上、下两个弦杆, 上弦杆为压弯组合构件, 下弦杆为

收稿日期: 2003-03-10.

第一作者简介: 古松(1976.8~), 男, 硕士研究生, 助教; 主要研究方向: 工程结构抗震. E-mail: dragen-gusong@sina.com

拉弯组合构件, 梁整体较接近拉杆拱模型. 梁在受力过程中上弦杆靠近支座处梁顶面出现受拉裂缝并向下发展, 说明在加载点与支座之间, 由于偏心受压, 在梁的上部产生拉应力, 与梁的拱模型^[6]破坏特征吻合.

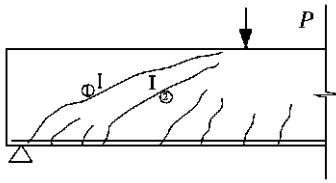


图1 斜截面剪压破坏

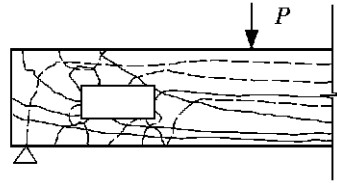


图2 开孔梁的主应力迹线

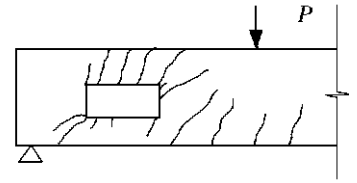


图3 开孔梁的破坏形态

1.3 开孔梁的斜截面破坏机理

有研究表明^[4], 当洞口长边不大于深梁高的三分之一, 且洞口上、下剪跨比均不大于 1.5, 并且洞口上下均布置通长水平向钢筋, 计算时可采用整体传力模式. 但普通钢筋混凝土梁开洞后上、下剪跨比较大, 应是象普通梁那样传递剪力. 文献[1]中提到, 当孔洞面积较大或孔洞位于加载点与支座连线上时, 孔洞对梁截面削弱较大. 可以理解为孔洞破坏了图1中拱I和拱II之间的联系, 削弱了两者间的整体性. 这一点通过对文献[1]中表1所示 B310s 与 B310sl 号梁承载力比较可以看出, 前者洞口开在加载点与支座连线之外极限承载力为120.0 kN, 后者洞口穿过加荷点与支座连线极限承载力为80.0 kN, 前者承载力比后者提高 50% .

1.4 计算分析

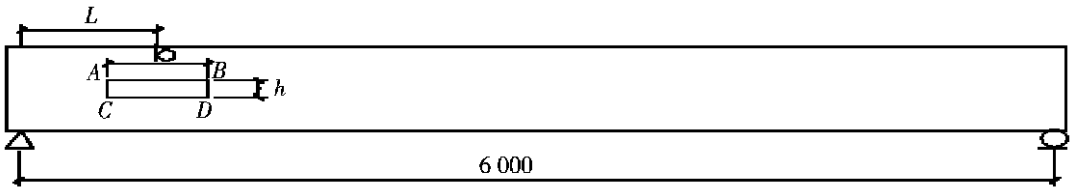


图4 开孔梁模型几何尺寸及开孔位置

根据实际工程情况, 对在剪弯段不同位置、不同面积的矩形截面开孔梁进行了弹性有限元分析. 分析采用有限元分析软件 ANSYS6.0. 考虑荷载的对称性, 取梁中轴线上厚度为50 mm的纵截面, 选用 solid63 四节点矩形板单元建立模型. 模型梁如图4所示, 跨度为6000 mm, 截面250 mm × 600 mm, 在距梁端1020 mm处分别开300 × 840, 300 × 600, 300 × 360的三个孔, 在距梁端分别为 660, 1020, 1380 mm处梁的上中下部位分别开尺寸为180 × 600的孔. 在梁中1/3跨处施加一对集中荷载, 荷载值为40 kN. 开孔处四个角点上的应力值与开孔前梁上相应位置上的应力值之比, 及开孔前后梁的跨中挠度之比见表1.

表1 不同位置开孔梁应力状况(kN, mm)

梁号	L	h	b		a	b	c	d	跨中位移	备注		
1	102	300	840	压	20.166	压—拉	拉 18.362	拉—压	1.176			
2	102	300	600	压	9.650	压—拉	拉 11.260	拉—压	1.081			
3	102	300	360	压	5.7071	压—拉	拉 6.322	拉—压	1.026			
4	102	180	600	压	8.789	压—拉	拉 11.279	拉—压	1.031			
5	102s	180	600	压	3.789	压	0.31	压—拉	12.171	1.271		
6	102x	180	600	拉—压		拉	28.74	拉	4.3596	0.0732	1.027	
7	0.66	180	600	压	14.8817	压—拉	拉 33.044	拉—压		1.031		
8	0.66s	180	600	压	7.1208	压—拉	压—拉	压	15.764	1.026		
9	0.66x	180	600	压	67.081	拉	36.712	拉	6.728	拉—压	1.024	
10	138	180	600	压	6.240	压—拉	拉 6.240	拉—压		1.028		
11	138s	180	600	压	3.3063	压	0.5998	压—拉	拉—压		1.041 b点周围应力出现异号	
12	138x	180	600	拉—压		拉	25.488	拉	3.4819	拉	0.3177	1.034

通过比较不同位置及大小的开孔梁的应力变化可知:

由于梁上开孔后使梁截面削弱,在承受相同荷载作用下,梁内应力和变形将增大.如①②③号梁,当梁上开孔位置一定时,随着洞口宽度的增加,内应力及跨中位移逐级增大.

对于开孔面积相等,洞口尺寸不同的开孔梁.如③④号梁,在弹性阶段两者的应力和变形大致相等.由孔洞周边应力分布图(图5,图6)所示,随着孔洞高度的增加,梁的横截面削弱越多,孔洞周围应力变化越剧烈,应力集中现象越明显.因此,进入塑性变形阶段时,开洞高度大的梁承载力下降更明显.

对于开孔位置距支座不同的梁,以④⑦⑩号梁为例分析可以发现,孔洞四个角点处应力的变化规律基本一致,靠近支座处的A、B点处应力增大,距离支座较远的B、D点处应力发生变号.但随着开孔位置距离支座逐渐增加A、B点处应力依次递减.说明开孔位置距离支座越近,应力集中现象越明显,梁的承载力下降越显著.

当开孔位置在梁横截面中上下位置不同时,以⑪⑩⑫号梁(图7,图8,图9)为例.从应力图上可以看到随着开孔位置的提高,梁的受拉区逐渐增大,受压区逐渐减少,中性轴向上移动.对梁的承载力削弱越明显.

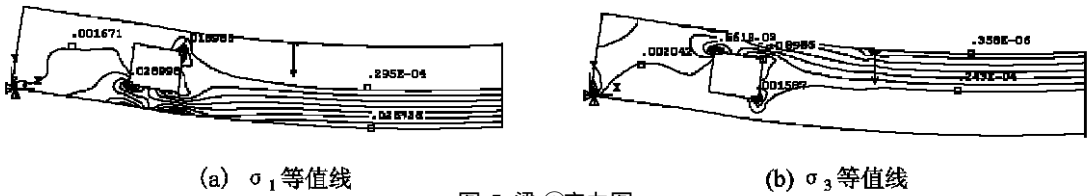


图5 梁③应力图

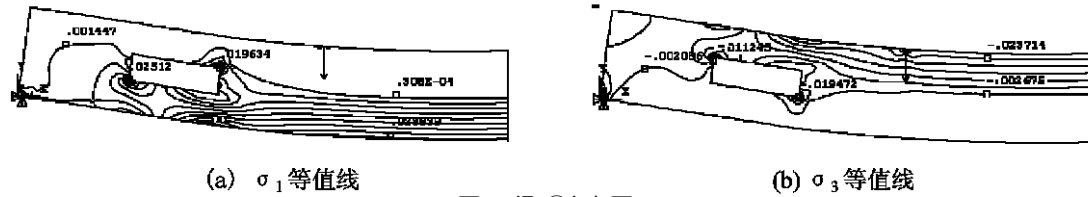


图6 梁④应力图

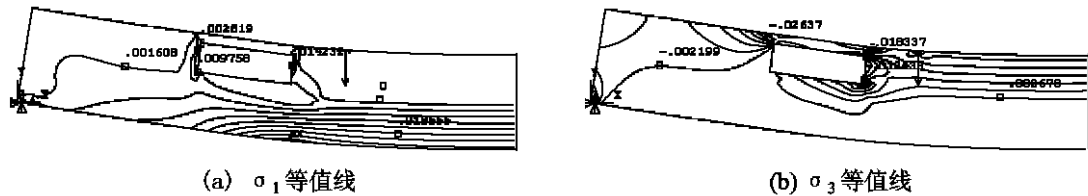


图7 梁⑪应力图

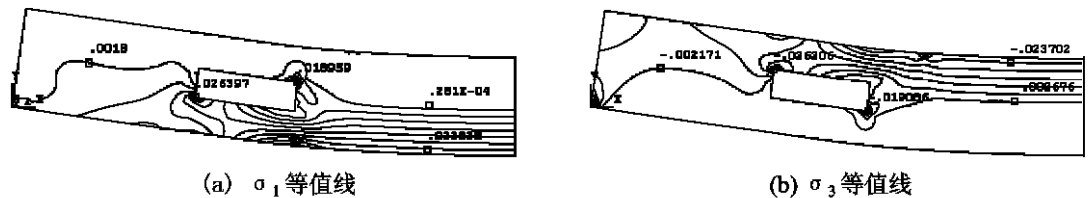


图8 梁⑩应力图

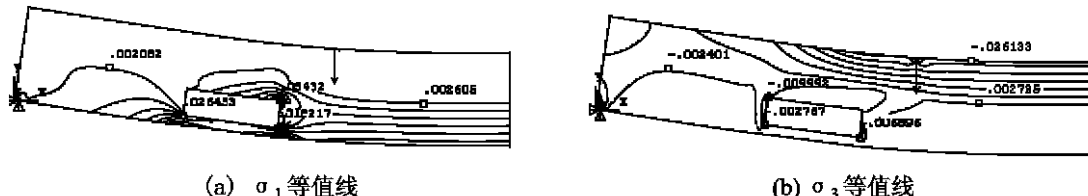


图9 梁⑫应力图

2 开孔梁斜截面强度设计

2.1 剪力分配

开孔梁孔洞处的剪力由上弦杆和下弦杆共同承担. 对剪力的分配, 有人认为应根据上、下弦杆的有效抵抗弯矩来进行分配; 也有人认为应根据上、下弦杆的有效剪切刚度来进行分配. 这两种分配方法在梁开裂后较难确定孔洞处上、下弦杆的有效抗弯抵抗距和有效剪切刚度, 剪力分配也较难确定, 不利于实际工程设计. 另外, 有研究表明, 在受力过程中下弦杆大约承受 20% 的剪力. 考虑到下弦杆混凝土受拉开裂后很快退出工作, 有文献[3]提出“拉杆拱”受力机制, 假定下弦杆只承担拉力不受剪力, 剪力全部由上弦杆承担, 即 $V_t = V, V_b = 0$. 这种方法计算简单, 计算结果偏安全, 但忽略了弯矩对下弦杆的影响. 文献[2]提出按上下弦杆的截面惯性距分配剪力, 剪力在混凝土开裂前后分别作如下分配:

混凝土开裂前

$$V_t = V \cdot [I_t / (I_t + I_b)]$$

$$V_b = V \cdot [I_b / (I_t + I_b)]$$

$$V_t = V \cdot [I_t / (I_t + I_{bc\alpha})]$$

$$V_b = V \cdot [I_{bc\alpha} / (I_t + I_{bc\alpha})]$$

式中, V_b — 上弦杆剪力;

V_t — 下弦杆剪力;

$I_{bc\alpha}$ 为开裂弦刚度折减后截面惯性距;

考虑此公式是根据预应力混凝土梁的承载力实验得出, 用于普通钢筋混凝土开孔梁的剪应力分配应作适当折减. 考虑开洞后对梁的不利影响将总剪力放大 1.2 倍后进行分配^[5]. 即有:

$$V_t = \beta V$$

$$V_b = 1.2V - V_t$$

其中, β 为剪力分配系数, 一般取 $\beta = 0.9$;

这种做法, 计算简单, 剪力分配合理, 计算结果偏安全, 适用于实际工程设计.

2.2 轴力、弯矩分配

一般认为上下弦杆分别承受压力和拉力, 在孔洞尺寸不大的情况下弯矩沿弦杆变化不大可近似取弦杆中截面弯矩为弦杆弯矩值. 即有:

$$N_t = N_b = \frac{(2M - Vb)/2}{(h + h')/2} = \frac{2M - Vb}{h + h'}$$

$$M_t = V_t b / 2$$

$$M_b = V_b b / 2$$

M 为梁的孔中截面弯矩;

2.3 配筋设计

由于钢筋混凝土梁开洞后截面积削弱, 首先应按《规范》第 4.2.1 条验算受剪截面面积. 根据上下弦杆的受力特征, 分别按偏压、偏拉构件进行局部配筋计算. 但大多数文献中都只对上下弦杆根据《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89) 中第 4.2.11~4.2.13 条所建议的公式进行抗剪计算. 或者把下弦杆直接简化成拉杆, 本文在进行分析中发现, 由于忽略了弯矩的影响, 采用上述方法计算, 结果会有较大偏差.

因此, 在验算上下弦杆抗剪强度的同时, 还应特别考虑弯矩的不利影响根据《规范》第 4.1.15 和 5.1.23~4.1.25 条规定判定上下弦杆是大偏压还是小偏压情况进行正截面强度验算更为合理.

最后, 应在弦杆端部和洞口周围按《规范》作相应构造处理^[5]. 另外, 由于弦杆内配筋较多, 还应验算配筋率, 防止出现超筋破坏.

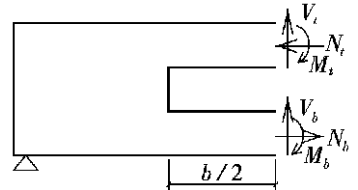


图 10 上下肢隔离体

3 结束语

在剪弯段进行梁的开洞,破坏了梁的整体性和剪力传递路径,使梁的承载力下降.在进行开洞设计时要谨慎,洞口尽量布置在梁的中部剪力较小处,若必须布置在剪弯段时应尽量远离支座且靠近梁的下部开孔.梁受荷载后孔洞周围应力复杂,应力集中现象明显,孔洞周围钢筋应适当加密并在洞口作倒角处理.

参考文献:

- [1] 陈亚亮, 吴炎海. 钢筋混凝土开孔梁受力性能分析[J]. 福州大学学报, 1996, 27(3): 67~ 72.
- [2] 刘荣桂, 吕志涛, 周志勇. 预应力开孔梁抗剪配筋设计[J]. 工业建筑, 1998, 28(12): 17~ 20.
- [3] 韩丽婷, 刘庆伟. 开孔钢筋混凝土梁的受力性能及简化计算[J]. 南京建筑工程学院学报, 1999, (1): 52~ 58.
- [4] 王命平. 有腹筋筒支开洞深梁承受集中力的抗剪设计[J]. 青岛建工学院学报, 1997, 18(2): 6~ 9.
- [5] 北京有色冶金设计研究总院. 混凝土结构构造手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992.
- [6] 丁大钧. 钢筋混凝土结构学[M]. 北京: 建筑工业出版社, 1986.
- [7] 过镇海. 钢筋混凝土原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [8] 混凝土结构设计规范(GBJ10-89)[S]. 北京: 建筑工业出版社, 1989.

(上接第92页)

3.5 开发和部署测试程序

一个EJB组件是没有任何运行界面的,所有组件的实例都被容器所管理,所以我们要测试这个Bean组件,编写一段小服务程序(Java Servlet),来调用这个组件.

4 结论

EJB是一种中间件框架结构,为当今的大型分布式应用搭起一个标准的平台,把企业分散的系统应用软件系统的有效集成起来.EJB简化了多层结构开发过程,使企业不断适应变化的需求,中间件可重用性,大大降低了企业开发的成本,是实现企业分布应用和电子商务的有效手段.EJB技术已得到越来越多厂商的支持,随着EJB技术的不断发展与成熟,基于EJB中间件分布应用技术具有广阔的应用前景.

参考文献:

- [1] 程朝晖. 中间件介绍[OL]. <http://www.cnet.com.cn>.
- [2] Hans-Erik Eriksson. Design Java Apps with UML[OL]. <http://www.ulmchina.com>.
- [3] Nicholas Kasseem. Designing Enterprise Applications with the Java[OL]. <http://java.sun.com/products/ejb>.