

大型箱梁翼缘开洞有限元分析

刘霞¹, 李宗利¹, 贾仕开²

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 应用有限元法分析了大型双腹箱形开洞梁, 以孔洞宽度和位置为变量, 探讨孔洞对梁的应力、应变及跨中挠度的影响规律。研究表明, 随着洞位置向跨中移动, 以及洞宽度的增大, 跨中挠度增大较快。当孔洞与支座的距离大于0.3倍跨度时, 跨中最大正应力会突然减小, 但小于0.3倍跨度时, 开洞对跨中最大正应力影响不大。随着孔洞断面宽度的增大, 开洞断面下翼缘正应力逐渐增大, 与材料力学计算结果差异越来越大, 但该断面的剪应力却与材料力学计算值较为接近。最后, 比较有限元计算值与材料力学计算值, 得出修正系数供设计参考。

关键词: 双腹箱形梁; 翼缘开洞; 有限元分析; 修正系数

中图分类号: TB302:O241.82 文献标识码: A 文章编号: 1009-640X(2007)04-0071-04

Finite element analysis of large size box beam with flange openings

LIU Xia¹, LI Zong-li¹, JIA Shi-kai²

(1. *Water Conservancy and Architectural Engineering College of Northwest Sciences & Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China*; 2. *Chengdu Hydroelectric Investigation & Design Institute, Chengdu 610072, China*)

Abstract: The large size double-web box beam with various holes at bottom flange is analyzed by using finite element method. The law of stress-strain and mid-span deflection is investigated regarding the width and position of holes as variables. Results show that the mid-span deflection is intensive along with the holes moving toward mid-span and the width increment of holes. When the distance from hole to steadier exceeds 30% of the beam length, the normal stress of the mid-span will greatly weaken. But if the distance is less than 30% of the beam length, the influence of holes on normal stress of mid-span won't make much difference. The normal stress of profile in bottom flange and the difference between mechanics of materials and finite element analysis results increase as the width of holes increases, but the difference in the shear strength of this profile is approximate. At last, a simple comparison is made between FEA results and materials mechanics results, and the correction coefficient is thus obtained for design.

Key words: double-web box beam; flange openings; finite-element analysis; correction coefficient

收稿日期: 2007-04-18

作者简介: 刘霞(1981-), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事水工结构设计工作。

E-mail: lx_woaiwojia@yahoo.com.cn

在水工平面钢闸门结构中,当门叶承受的荷载较大,边梁一般选双腹箱形断面^[1]. 简支式滚轮行走支承也多采用箱形截面^[1,2]. 为了布置行走支承,必须在下游翼缘开洞,这样,既对断面有一定的削弱作用,又使整个梁内的应力变得更复杂. 如何考虑翼缘开洞、合理计算应力一直是设计人员关心的问题^[3,4]. 本文以某工程简支对称箱梁为工程背景,研究翼缘开洞大型箱梁的挠度、应力变化等规律. 箱梁上翼缘承受均布荷载、下翼缘以跨中为对称中心布置两个小矩形孔洞,改变孔洞的位置和大小,采用有限元法分析跨中断面的最大挠度、应力、开洞断面的正应力和开洞断面的腹板剪应力分布,并与材料力学的计算值进行比较,提出修正系数,供设计参考.

1 计算模型

某简支双腹箱形钢梁长度 $L=8\text{ m}$, 截面尺寸见图 1. 上翼缘作用均布荷载 100 kN/m^2 , 下翼缘以跨中为对称轴开设两个小孔洞, 其孔洞平面位置如图 2 所示. 此梁的弹性模量 $E=2.06\times 10^5\text{ MPa}$, 泊松比为 0.3.

翼缘开洞削弱了截面刚度,也削弱了钢梁整体刚度. 简支钢梁在均布荷载作用下,跨中挠度值与截面惯性距成反比^[5]. 开洞长度的增加意味着削弱截面长度的增大,梁整体刚度的下降就越大. 但经初步分析,开洞长度对截面受力影响不大. 为了简化研究,在研究中固定开洞长度为 1 m ,并定义孔洞中心到支座的距离 a 与半跨梁长 $L/2$ 的比值为 α ,即:

$$\alpha = \frac{a}{L/2} \quad (1)$$

孔洞宽度 b 与腹板间距 b_0 的比值为 β , $\beta = \frac{b}{b_0}$

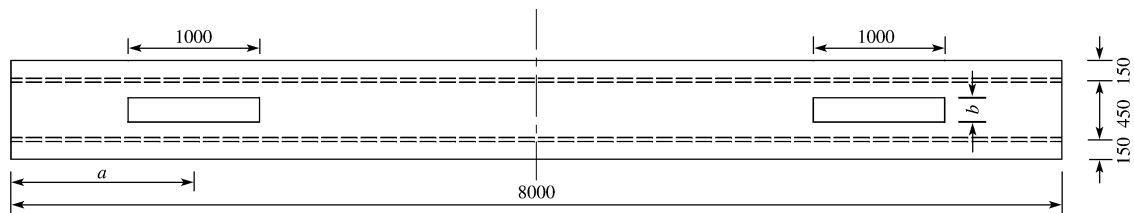


图 2 下翼缘孔洞位置平面图(单位:mm)

Fig.2 Plane sketch of bottom flange holes (unit: mm)

本文以 α, β 为变量,探讨开洞梁的位移及应力变化规律. 假定材料为理想弹性体,忽略初始挠度和焊接残余应力. 有限元网格划分^[6,7]均采用 8 节点六面体单元,沿梁厚度方向划分为单层,腹板单元尺寸为 $30\text{ mm}\times 50\text{ mm}\times 80\text{ mm}$,腹板上、下翼缘的单元尺寸为 $40\text{ mm}\times 24\text{ mm}\times 80\text{ mm}$,所建模型孔洞的 α 和 β 值见表 1.

表 1 模型孔洞的 α 与 β 值

Tab.1 Values of α and β of holes in model

	模型号											
	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43
α	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8
β	7/15	10/15	13/15	7/15	10/15	13/15	7/15	10/15	13/15	7/15	10/15	13/15

2 结果分析

2.1 跨中挠度变化规律

随着箱梁下翼缘开洞位置及洞宽的变化,跨中挠度变化规律见图3(图中M为材料力学计算值;F为有限元解.下同).图3表明,开洞大小及位置的变化对跨中挠度的影响非常明显.随着孔洞的位置向跨中移动,即 α 值的增大,跨中挠度增大.在同一位置处,开洞宽度越大,挠度增加越大.以有限元计算结果为基准,当 $\alpha=0.2$ 时,材料力学计算值相对误差为14.2%~14.8%;当 $\alpha=0.4$ 时,相对误差为13.8%~14.8%;当 $\alpha=0.6$ 时,相对误差为14.4%~16.2%;当 $\alpha=0.8$ 时,相对误差增大到14.5%~16.8%.分析得出材料力学计算修正系数为1.17~1.20,且随 α, β 增大,系数取值应越大.

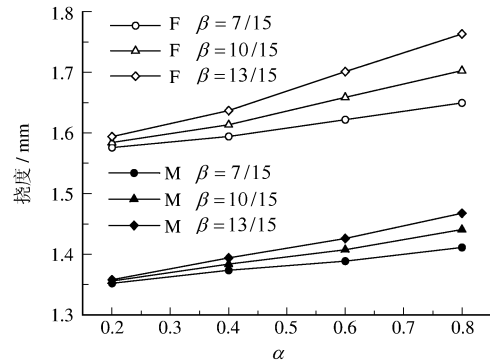


图3 跨中挠度的变化规律

Fig. 3 Mid-span deflection change law

2.2 应力变化规律

2.2.1 跨中最大正应力 按材料力学计算的跨中最大正应力的值近似为一恒值,有限元的计算结果与材料力学计算值的比较见图4.可见当 $\alpha < 0.6$ 时,跨中最大正应力变化不大,但当 $\alpha > 0.6$ 时,正应力值明显下降.这是由于在梁中心两侧下翼缘存在两个孔洞,使得开洞断面抗弯能力下降,在荷载作用下导致两个孔洞之间的梁段整体下降位移增大(见图3),但该段截面间转角位移反而减小,从而使跨中截面的最大正应力下降.在同一位置,随着洞宽参数 β 的增大,跨中正应力也随之降低,如在 $\alpha=0.8$ 处,相对误差为34%~86%.

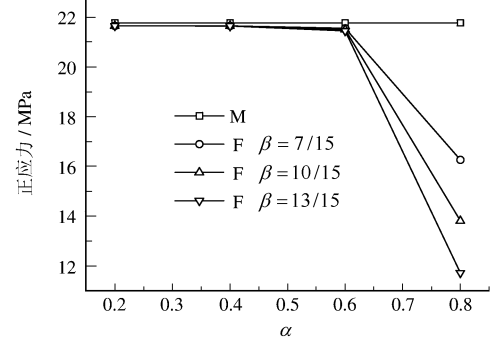


图4 跨中最大正应力的变化规律

Fig. 4 Maximum normal stress change law of mid-span section

2.2.2 开洞断面最大正应力 为方便分析开洞断面的正应力,选取孔洞中心的断面,断面最大正应力变化曲线见图5.

图中按材料力学计算时考虑了开洞截面惯性距的变化.从图5可以看出,开洞断面的材料力学计算值随惯性距的变化而变化,但明显小于有限元计算值;在同一位置,随着孔洞宽度的增加,正应力值增大;对同一宽度的孔洞而言, α 值越大,正应力的增加越明显,但曲线变化比较缓和,没有跨中正应力那么剧烈.分析得出材料力学计算修正系数为1.07~1.15, β 值越大,系数取值应越小.

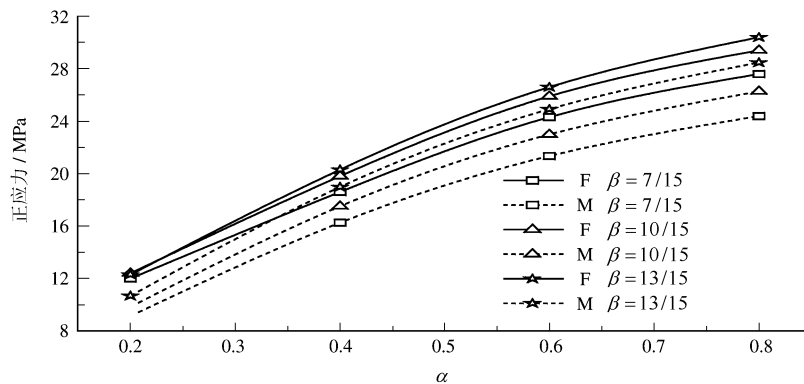


图5 开洞断面的最大正应力变化

Fig. 5 Maximum normal stress change of profile with hole

2.2.3 开洞断面腹板处剪应力 因有限元方法在边缘区域的失效性^[7],经初步分析,此梁剪应力在支座附近有限元结果失真,所以本文主要分析 $\alpha \geq 0.4$ 时孔洞断面处腹板的剪应力变化规律.比较有限元计算值与材料力学计算值,发现开洞断面腹板与上翼缘连接处的剪应力明显小于腹板与下翼缘连接处.孔洞宽度越大,变化规律越明显,所以选取 $\beta = 13/15$ 的孔洞作对比,对比结果见图6.结果表明,孔洞 α 值越大,有限元值与材料力学值相差越小,上、下翼缘连接处剪应力的差值也越小,特别是腹板中性轴处最大值几乎相等.总之,下翼缘开洞对开洞断面的剪应力影响不是很大,可以按削弱后箱形截面应用材料力学理论计算.

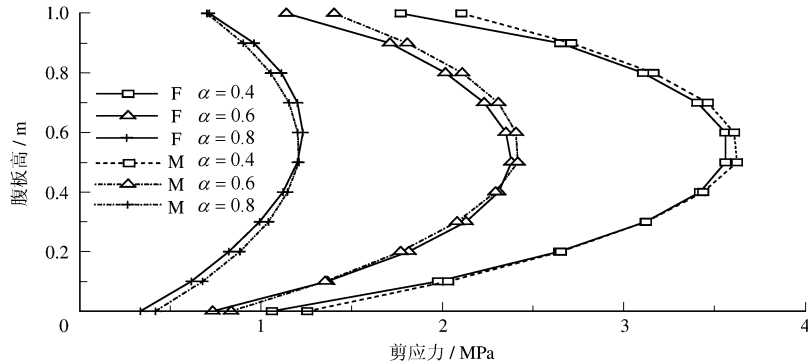


图6 $\beta = 13/15$ 时孔洞断面腹板剪应力变化曲线

Fig.6 Shear strength change of hole in web when $\beta = 13/15$

3 结 语

(1)大型箱梁下翼缘孔洞宽度越大,位置越接近跨中,对跨中的挠度影响越大,得出的材料力学修正系数为1.17~1.20.

(2)当 $\alpha < 0.6$ 时,孔洞大小和位置的改变对下翼缘跨中最大正应力影响不明显,但当 $\alpha > 0.6$ 时,变化比较明显,且孔洞宽度越大,跨中最大正应力的减小越大.

(3)孔洞断面的下翼缘正应力曲线比较缓和,没有明显的转折点.正应力值与 α, β 值成正比,得出的修正系数为1.15~1.07, β 值越大,系数取值应越小.

(4)孔洞断面腹板与上翼缘连接处的剪应力明显比与下翼缘连接处的剪应力小,但随 α 值的增大,上、下翼缘连接处剪应力的差值减小,两种计算方法的差值也减小.

本文研究仅针对某一具体箱梁,应用有限元法分析了孔洞的宽度与位置对双腹箱形梁跨中挠度、正应力及孔洞断面正应力和剪应力变化的影响规律,文中所述只是初步分析的结果,修正系数和修正公式的给定都比较粗糙,需要大量的后续工作以进一步补充完善.

参 考 文 献:

- [1] SL74-95, 水利水电工程钢闸门设计规范[S].
- [2] 武汉水利电力大学, 大连理工大学, 河海大学. 水工钢结构(第三版)[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1993: 70-72.
- [3] 王新玲, 刘立新. 钢筋砼开洞连续深梁的集中荷载作用下抗剪性能的试验研究[J]. 建筑结构学报, 1994, (4): 11-19.
- [4] 杜赞华, 王仲薇, 方根生. 钢筋混凝土带洞深梁的受力性能初探[J]. 四川建筑, 1995, (5): 45-47.
- [5] 孙训方, 方孝淑. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 102-103.
- [6] 华东水利学院. 弹性力学问题的有限单元法[M]. 北京: 水利电力出版社, 1978: 89-92.
- [7] 朱伯芳. 有限单元法原理与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998: 120-123.