

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.11.023

波形钢腹板工字钢梁抗弯性能试验研究

仁丽杰, 林紫馨, 姬厚真, 黄佩, 冯伦

(西北民族大学土木工程学院, 甘肃 兰州 730100)

摘要:传统的工字钢梁通常由顶板、底板和中部的平腹板焊接而成,由于腹板承受较大的竖向荷载,极易出现弯曲变形,导致整体刚度下降,结构承载受到较大影响。为了改善这一情况,研究了波形钢腹板工字梁在竖向荷载作用下的弯曲特性,通过有限元分析、理论计算和试验研究,得出不同荷载值作用时相应的应变值和挠度值,并与普通工字梁进行对比。结果表明,波形钢腹板工字梁具有更大的抗弯极限承载力,能较大幅度地改善传统工字钢梁挠度过大的问题。

关键词:波形钢腹板;直腹板;工字钢梁;弯曲变形

中图分类号: U443.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)11-0082-03

0 引言

波形钢作为桥梁腹板的应用在20世纪就已经出现。20世纪80年代在欧洲出现了第一座以波形钢作为腹板的箱梁桥;20世纪90年代日本建立第一座以波形钢作为腹板的简支梁桥;同期,严国敏在他的论文中提到了国外文献所记载的首座波形钢腹板箱梁桥——法国莫普雷大桥;唐继舜教授等人最早对此桥型进行了空间有限元分析;2005年,我国修建了第一座波形钢腹板桥——泼河大桥。目前对波形钢腹板的弯曲、抗剪、扭转、屈曲和剪力滞效应的研究已经积累了一些理论成果。在波形钢腹板PC组合桥中,由于波形钢腹板在纵向的褶皱效应,不承受顺桥向拉压力,使得顶板预应力效率提高,减少预应力钢材用量,大大简化了桥梁的受力分析,尤其在预应力结构中效果更加明显。基于以上研究基础及优点,本文采用了有限元分析软件Midas FEA建立波形钢腹板简支梁模型并进行试验,测其应变值,与直腹板进行比较分析。

1 波形钢腹板试验模型设计与模型

1.1 钢梁模型建立与详情

试验梁模型标准跨径为1.4 m,顶、底板宽度140 mm,翼缘板厚度10 mm,腹板高度120 mm,波形钢腹板厚度3 mm,单个波长130 mm,波高32 mm,如图1所示。本文研究每个试验梁设置18个测点,分别于跨中及1/4跨设置。其中跨中和1/4跨径处分别设置9个测点,在试验梁的跨中处

在顶板、底板分别粘贴3个应变片,腹板上粘贴3个应变片,跨径1/4处的应变片粘贴情况与跨中一致,如图2所示。

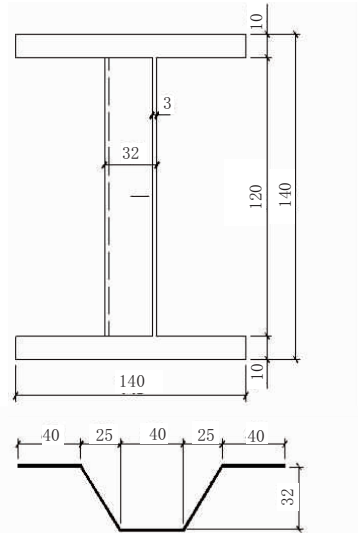


图1 波形钢腹板工字钢试验梁尺寸(单位:mm)

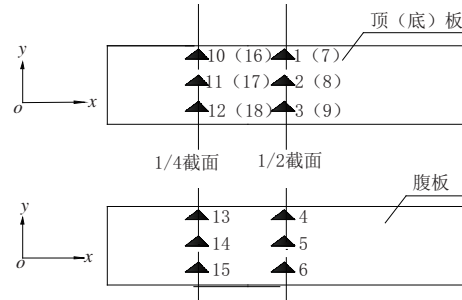


图2 测点编号(括号中为底板测点编号,括号外为顶板测点编号)

1.2 模型尺寸及测点图

模型尺寸及测点图如图1、图2所示。

2 有限元建模

根据有限元软件Midas FEA建立全梁有限元模

收稿日期: 2020-04-01

作者简介: 仁丽杰(1998—),女,本科在读,专业为土木工程。

型,如图3、图4所示。上、下翼缘板和波形腹板均采用四节点板壳单元模拟,翼缘板与腹板之间采用共节点形式。梁体一端采用固定铰支座约束,另一端采用活动铰支座约束。在跨中加载一个竖向集中力模拟试验荷载工况。

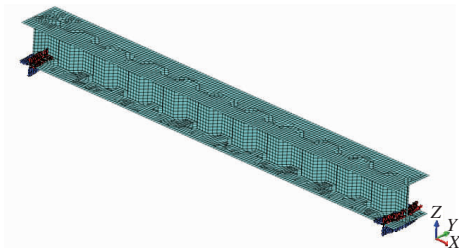


图3 波形钢腹板工字梁有限元模型(一)

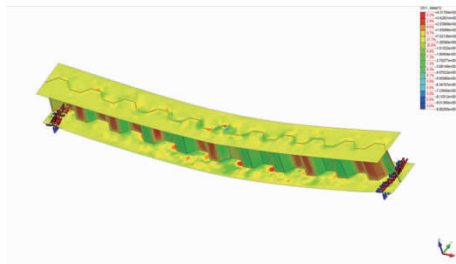


图4 波形钢腹板工字梁有限元模型(二)

3 理论计算

3.1 理论应力值计算

根据简支梁集中载作用下梁的挠度公式:

$$\omega = \frac{F_x}{48EI} (3l^2 - 4x^2) \quad (0 \leq x \leq \frac{l}{2}) \quad (1)$$

计算试验梁在不同荷载作用下的挠度值,即为理论值,见表1、表2。

表1 直腹板有限元计算数值、理论计算值、试验挠度值对比

荷载/kN	理论值/mm	有限元值/mm	试验值/mm	误差/%
1	0.048 58	0.047 77	0.046	3.85
2	0.097 17	0.095 54	0.088	8.57
3	0.145 75	0.143 31	0.144	-0.48

表2 波形钢腹板有限元计算数值、理论计算值、试验挠度值对比

荷载/kN	理论值/mm	有限元值/mm	试验值/mm	误差/%
1	0.018 16	0.018 09	0.017	6.41
2	0.036 33	0.036 17	0.036	0.47
3	0.054 49	0.054 26	0.052	4.35

3.2 理论挠度值计算

根据初等梁理论中应力值计算公式:

$$\sigma = My/I_z \quad (2)$$

分别计算试验梁不同截面的应力(M 为截面上的弯矩, y 为所求应力点的纵坐标, I_z 为横截面对中性轴的惯性矩),在相同荷载作用下,两个试验梁在相同位置处的 M_y 均相同,再利用公式求得波形钢腹板试验梁与普通试验梁的截面惯性矩,得出相应的理论应力值,见表3。

表3 波形钢有限元值、理论应力值比较

荷载/kN	位置	有限元值/MPa	理论值/MPa	试验值/MPa
1	1/2 截面 5 点	0.048 4	0.049 7	0.047
1	1/2 截面 8 点	1.460 0	1.980 0	1.446
6	1/2 截面 8 点	4.370 0	5.960 0	4.210
6	1/4 截面 17 点	2.280 0	2.984 0	2.315
6	1/4 截面 18 点	4.990 0	4.984 0	4.760

4 试验测试断面及测试系统

利用有限元软件建立同等规格的波形钢腹板及直腹板工字形钢梁,试验开始前测试应变片及补偿片能否正常工作,检查线路是否正常,将检查好的应变片贴在所测截面(跨中、1/4跨)顶板、底板和腹板的相应位置上,连接应变采集仪,调零,设置应变片的灵敏度、梁材料的弹性模量等。将JMZX-3006综合测试仪调到压力挡并调零,检查压力环是否完好。

试验开始时,先使用液压千斤顶对两片试验梁分别进行预加载,再进行逐级加载,加载方式采用静力加载。并且在试验梁跨中与1/4跨的位置处布置百分表用来测试跨中及1/4跨处的挠度,当挠度值接近 $L/600=2.1(\text{mm})$ 时停止加载,静置10s后卸载,重复试验并记录数据。

5 结果分析

5.1 有限元结果的可靠性

下面是试验分级加载所测得的两试验梁跨中挠度理论值、试验值与有限元值(见表1、表2)与波形钢腹板不同荷载不同测点处应力理论值、试验值与有限元值(见表3)。

经计算,直腹板工字梁有限元值与试验值平均误差为3.98%。

经计算,波形钢腹板工字梁有限元值与试验值平均误差为3.74%。

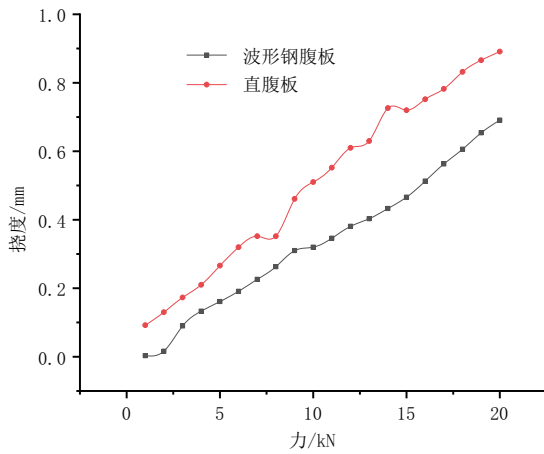
经计算,有限元值与试验值平均误差为2.22%。

由表1~表3得出,两试验梁挠度和应力有限元模型分析的计算值与理论计算值非常接近,从而验证了有限元模型的准确性;并且有限元计算值与试验值平均误差均在误差允许范围内,说明有限元模型有较好的可靠性,从而可以模拟波形钢腹板工字形钢梁进行力学性能分析。因为钢材具有良好的均匀性,在试验过程中对钢梁进行了重复测试,最终的测试结果取多次测试结果的平均值,试验结果与有限元模型分析相吻合。

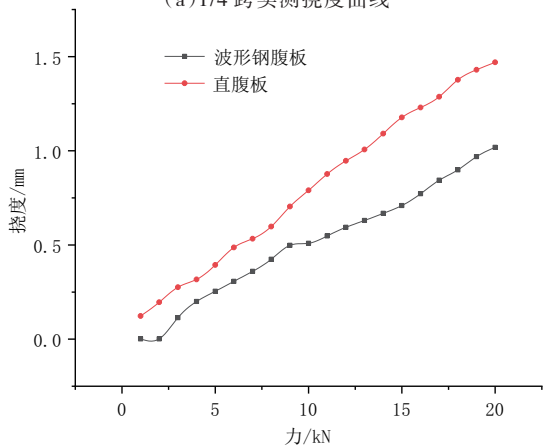
5.2 有限元建模试验结果分析

5.2.1 挠度对比

由图5中的挠度曲线可看出,在相同荷载作用下,无论是跨中还是1/4截面处,直腹板梁所产生的挠度比波形钢腹板梁所产生的挠度大,且两条曲线在10 kN左右有明显的分化趋势,10 kN后波形钢腹板工字梁挠度增长变缓,直腹板工字梁无明显变化,即在相同作用下波形钢腹板梁抗弯承载力大于普通直腹板梁。



(a) 1/4跨实测挠度曲线



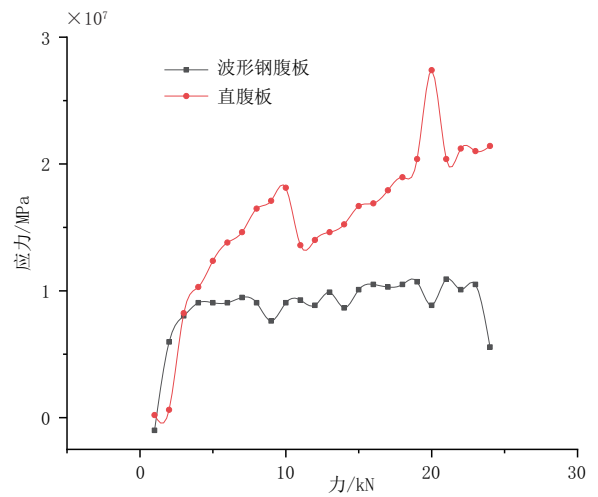
(b) 跨中实测挠度曲线

图5 挠度曲线

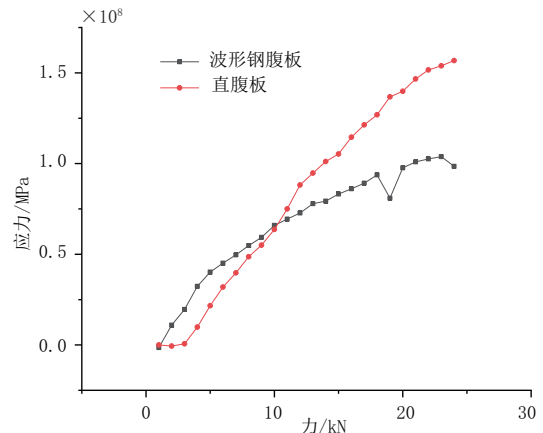
5.2.2 应力对比

由图6跨中截面实测应力曲线可以观察到,

在10 kN以前,跨中截面直腹腹板试验梁应力值小于波形钢腹板试验梁应力值,但两者相差不大,荷载逐级增大,随之两应力曲线于一点相交;10 kN后,直腹板梁应力值明显大于波形钢腹板梁,直腹板梁的应力曲线整体斜率大于波形钢腹板梁的应力曲线,因此随着荷载的继续增大,直腹板梁的应力会保持大幅增长。观察1/4跨两试验梁的应力曲线可知,在同级荷载作用下,1/4截面直腹板梁应力明显变化大于波形钢腹板梁,且随着荷载的增加,波形钢腹板梁应力曲线趋于平缓,应力值趋于平稳。在逐级加载过程中,普通直腹板试验梁的应力变化比波形钢腹板试验梁的应力变化更为剧烈。



(a) 1/4跨实测应力曲线



(b) 跨中实测应力曲线

图6 应力曲线

6 结 语

(1)通过对有限元建模结果分析和理论计算,得到有限元建模分析结果与理论计算结果基本一致,验证了本文研究所使用的有限元模型的可靠性与合理性。

(2)在同等试验环境下,对规格相同的波形钢腹板工字钢梁及直腹板工字钢梁进行室内静力加

(下转第95页)

款或政府担保贷款等方式,或发行政府债联合企业债的方式为承包企业募集足够的建设资金,协助承包企业完成雨水管网的升级改造^[8]。即,目前政府购买公共服务已经成为政务4.0条件下的新常态,解决中小城市雨水管网的升级改造经费问题,可以充分利用该模式,引进民营企业,使工程部署实施更加灵活高效。

4 结 语

综上所述,本文通过对国内外排水系统的发展现状,以及关键问题和排水技术进行研究分析,建议对城市雨水排水点加强勘探,从主干网开始逐步实现城市的自流排水,解决社区排水管网的截面占用问题,布局街道容水层进行雨水排水缓冲,通过购买公共服务模式实现排水的商业化。进一步形成智慧化城市雨水排水工程的建设。相信通过人们不断的研究与探索,在实施过程中积累更多的经验,通过政府的合理规划、调动各方资金

投入和管理协调的优势,我国智慧城市雨水排水工程建设一定会越来越好。

参考文献:

- [1] 王立峰.市政排水非开挖顶管施工技术及其实施要点之研究[J].价值工程,2020,39(6):171-172.
- [2] 杨凯.市政排水管道的维护及管理措施探究[J].江西建材,2020(1):84+86.
- [3] 张宜飞.市政道路排水工程污水管顶管施工技术研究[J].建筑技术开发,2020,47(4):92-94.
- [4] 蔡宇.市政道路排水工程污水管顶管施工技术研究[J].工程技术研究,2020,5(2):99-100.
- [5] 杨百灵.市政排水工程质量管理存在的问题及对策[J].居舍,2020(2):157.
- [6] 陈志军.市政排水管道工程的施工控制与管理探讨[J].四川水泥,2020(1):175.
- [7] 蔡伟通.市政工程给排水管道施工技术探讨[J].四川水泥,2020(1):274.
- [8] 阙开松.探讨市政给排水工程中排水管道的施工质量[J].居舍,2020(1):152.

(上接第84页)

载,试验表明波形钢腹板工字钢梁的抗弯承载力大于传统直腹板工字钢梁。

(3)通过对两试验梁挠度曲线及应力曲线的比较,发现以10 kN为分界点,10 kN前两试验梁的应力曲线相接近,即直腹板试验梁与波形钢腹板试验梁应力变化相差不大,而在10 kN以后,波形钢腹板工字钢梁的挠度及应力变化都比普通直腹板工字钢梁小得多,因此在外部荷载较大时,可用波形钢腹板工字钢筒支梁代替直腹板工字钢筒支梁来提高结构的抗弯承载力,对新型结构的研究有重要意义。

参考文献:

- [1] 林梦凯,冀伟,李海莲,等.波形钢腹板工字形钢梁的手风琴效应研究[J].铁道科学与工程学报,2016,13(2):283-288.

- [2] 逯彦秋,安关锋,程进.改善型波形钢腹板PC组合梁抗弯强度试验研究[J].哈尔滨工程大学学报,2014,35(11):1345-1350.
- [3] 刘彬,王彦辉,张博珊.基于试验的受剪波形钢腹板应力状态分析[J].广东公路交通,2019,45(6):27-30,34.
- [4] 周倩,刘世忠.钢底板波形钢腹板组合箱梁桥剪滞效应分析[J].福建建材,2020(1):1-4.
- [5] 吴丽丽,余珍,张栋栋.波形钢腹板工形构件与矿用工字钢受力性能对比[C]//中国钢结构协会结构稳定与疲劳分会.钢结构工程研究(九)——中国钢结构协会结构稳定与疲劳分会第13届(ISSF-2012)学术交流会暨教学研讨会论文集.武汉:中国钢结构协会结构稳定与疲劳分会,《钢结构》杂志编辑部,2012:429-436.
- [6] 陆冰,邢书冉,杨安琪.基于桥梁试验模型的应变测量分析[J].河南建材,2017(1):19-21.
- [7] 李建莉.基于ANSYS对工字钢梁结构的静力学分析[J].机械工程与自动化,2017(1):80-81.