

腹板几何参数变化对波纹钢腹板箱梁桥的力学影响

卢兰萍,韩亚杰,李澎涛

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:以邢衡高速公路邢台段上一座波纹钢腹板组合箱梁桥(50 m + 80 m + 50 m)为工程实例,通过有限元软件 Midas 建立波纹钢腹板组合箱梁桥空间模型。分析了钢腹板几何参数变化下的箱梁基本力学特性,结果显示:箱梁挠度受腹板几何参数变化的影响很小;减小腹板直线段长度 b 对箱梁有利;波纹钢腹板相对于平板钢腹板可以明显提高箱梁抗扭刚度,弯折角越大,箱梁抗扭刚度越大;增加腹板厚度 t 可以改善箱梁受力性能。

关键词:组合箱梁;波纹钢腹板;力学特性;有限元分析

中图分类号:TG333.17

文献标识码:A

Mechanics geometric parameters on the impact of the web of corrugated steel box girder bridge

LU Lanping, HAN Yajie, LI Pengtao

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: In this paper, the ripple web composite box girder bridge (50m + 80m + 50m) of Xingtai Xing Heng highway segment was regarded as an engineering example, the model of ripple web composite Box Girder Bridge was established by the finite element software Midas. The basic mechanical properties of box girder of different geometrical parameters on rigid web were analyzed, the results show that the deflection of box girder is very small due to the variation of geometric parameters of the web. Besides, it is favorable to reduce the length of straight line segment. The results also show that the torsional stiffness of the box girder can be increased obviously with the corrugated web relative to the flat web plate, and the greater the bend angle, the greater the torsional rigidity of box girder. Additionally, the increasing of the thickness of the web can improve the performance of box girder.

Key words: combination box beam; corrugated steel webs; mechanical properties; finite element analysis

波纹钢腹板组合箱梁桥是在 20 世纪 80 年代兴起的一种新型的结构组合形式^[1-2]。区别于传统混凝土组合箱梁,其创新处在于充分结合钢材与混凝土两种材料的特性,用波纹钢板来替代传统的混凝土腹板,这种结构因其可以减轻自重、提高预应力使用率、改善抗震性能、加快施工进度、优化经济性能等特点,成为世界范围内桥梁工作人员研究的热点之一。但这种新型桥梁在我国的应用相对较少,且目前我国现行桥梁设计规范中还未形成完善的波形钢腹板组合箱梁设计方法。本文在现行研究的基础上以实桥为例,分析钢腹

板几何参数变化下的箱梁基本力学特性,为今后的结构设计提供技术依据,以期起到积极的推广作用。

1 有限元模型的建立^[3-5]

1.1 桥梁概括

该桥为一座公路波形钢腹板组合箱梁桥。跨径布置分别为 50、80、50 m;单箱单室;变截面;截面高度、底厚度由根部向跨中成抛物线式变化。跨中截面梁高 2.7 m,顶宽 14 m,底宽 8 m,顶厚 0.18 m,

底厚 0.2 m,箱梁悬臂 3 m,悬臂端厚 0.5 m(图 1)。采用体内与体外相结合的预应力技术,悬臂顶板束、顶板合龙束及底板合龙束均采用 19- ϕ s15.2 体内预应力钢束,体外预应力钢束采用 OVM. S6 19- ϕ s15.2 类型钢绞线。采用“T-PBL”连接件、焊钉连接件。为提高横向抗变形能力,且达到转向的目的,每跨设 3 道横隔板,用螺栓与腹板连接。

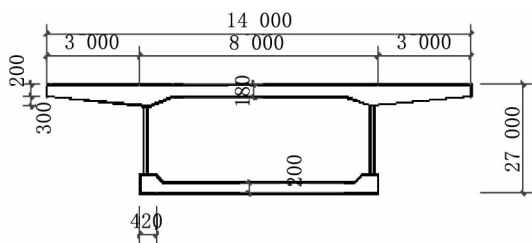


图1 箱梁跨中截面(单位: mm)

Fig.1 Box girder span section(unit:mm)

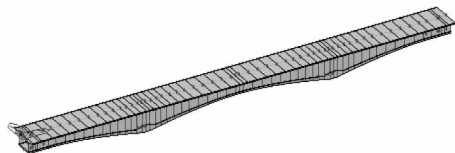


图2 结构计算模型

Fig.2 Structure calculation model

1.2 模型建立

计算模型取组合箱梁上部结构,采用有限元软件 Midas/Civil 建立空间模型。箱梁截面采用 Midas/Civil 设计截面“钢腹板箱梁”模拟。支座采用弹性连接模拟。整个模型总共划分 73 个节点、58 个单元。其结构计算模型如图 2 所示。

1.3 荷载取值

永久作用:钢筋混凝土桥面自重 25 kN/m³;钢材容重 78.5 kN/m³;桥面铺装取 0.1 m 厚沥青混凝土,容重 24 kN/m³;考虑防撞栏杆取值 9 kN/m;考虑混凝土收缩、徐变,其值参查规范 JTG D62-2004,相对湿度取 80%;支座不均匀沉降为 5 mm。

可变作用:车道荷载取 1.3 倍公路-I 级荷载,3 车道,综合考虑各种不利情况,偏载系数取 1.15。桥梁梯度温度模式查规范 JTG D60-2004 第 4.3.10 条计算。

2 腹板几何参数对箱梁力学性能影响^[6-7]

波纹钢腹板的几何构造在很大程度上影响着箱梁的整体受力性能,其腹板几何形状见图 3。其中, b 表示直线段长度、 c 表示斜坡段长度、 h 表示

波高、 d 表示投影尺寸、 t 表示腹板厚度、表示弯折角。调查显示,国内外在加工生产波形刚腹板的过程中,为了满足规划生产,通常限定波形腹板每一子板的宽度,即 $b=c$,因而满足 $d=b\cos\theta$ 、 $h=b\sin\theta$,故真正的变量只有三个,即 t 、 b 和 θ 。

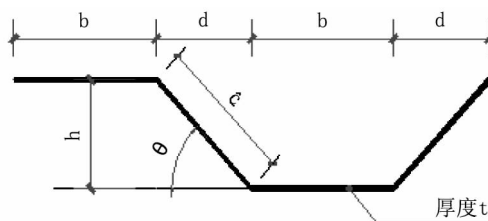


图3 腹板几何形状

Fig.3 Web geometry

2.1 直线段长度的影响

在波纹钢腹板空间有限元模型中控制腹板弯折角 $\theta=37^\circ$ 、波高 $h=150$ mm、板厚 $t=8$ mm 不变,直板段长度 b 以此取 150、250、350、450、550 mm 建立有限计算模型,分析在荷载作用下直板段长度变化下箱梁的受力性能。其箱梁跨中挠度、顶、底板正应力、腹板剪应力的变化规律分析结果绘成表格 1 显示如下:

表 1 钢腹板直板段长度 b 变化对箱梁力学性能的影响

Tab.1 Effect of steel webs straight length b changes on the mechanical properties of box girders

b /mm	150	250	350	450	550
挠度 δ /mm	-32.5	-33.4	-34.2	-35.9	-37.6
顶板 正应力 σ	-5.59	-5.86	-6.12	-6.65	-6.91
底板 /MPa	11.40	11.94	12.48	13.56	14.10
剪应力 τ /MPa	36.48	38.14	39.80	41.46	43.12

由数据分析可知,随着腹板直线段长度 b 的增加,组合箱梁跨中挠度增大,但增大幅度较小,且均小于规范值。箱梁跨中顶、底板正应力都有增大趋势,其中顶板压应力增幅较小,均小于混凝土抗压强度值 23.1 MPa。而底板拉应力从 11.4 MPa 增大为 14.1 MPa,增大 24%,腹板剪应力从 36.48 MPa 增大为 43.12 MPa,增大 18%,幅度较明显,设计时应注意。

2.2 弯折角 θ 的影响

在波纹钢腹板空间有限元模型中控制腹板直线段 $b=250$ mm、波高 $h=150$ mm、板厚 $t=8$ mm 不变,腹板弯折角 θ 依次取 0° 、 10° 、 20° 、 30° 、 40° 、 50° 建立计算模型,分析在荷载作用下,腹板弯折

表 2 腹板弯折角变化对箱梁力学性能的影响

Tab.2 Impact web box girder bending angle change mechanical properties

腹板弯折角 $\theta / ^\circ$		0	10	20	30	40	50
挠度 δ/mm		-29.95	-30.81	-31.15	-31.65	-33.38	-34.23
正应力 σ/MPa	顶板	-5.65	-5.59	-5.46	-5.33	-5.19	-5.06
	底板	14.10	12.50	11.13	10.86	10.58	10.32
剪应力 $\tau(\text{MPa})$		29.85	41.79	39.80	37.15	36.16	35.49

表 3 钢腹板厚度 t 变化对箱梁力学性能的影响

Tab.3 Effect of steel box girder web thickness t change the mechanical properties

腹板厚度 t/mm		4	5	6	8	10	12	15	20
挠度 δ/mm		-35.1	-34.4	-33.9	-33.4	-32.5	-31.2	-30.8	-30.1
正应力 σ/MPa	顶板	-6.10	-6.04	-5.96	-5.86	-5.78	-5.67	-5.59	-5.33
	底板	12.42	12.32	12.15	11.94	11.77	9.77	8.15	7.61
剪应力 τ/MPa		46.78	43.46	41.47	38.15	34.83	31.52	27.87	23.22

角变化对箱梁力学性能的影响。其箱梁跨中挠度、顶、底板正应力、腹板剪应力的变化规律分析结果绘成表格 2 显示如下:

由数据分析可知,随着钢腹板弯折角 θ 的增大,箱梁跨中挠度增大,但增大幅度很小,且均小于规范值。箱梁跨中顶、底板正应力都有减小趋势,其中顶板压应力变化不大,小于设计值;底板拉应力从 14.10 MPa 减小为 10.32 MPa,减小了 27%;钢腹板剪应力在弯折角 $\theta = 0^\circ$ 时最小,说明波形钢腹板的抗剪承载力要比平钢板大;而当弯折角 θ 从 10° 大到 50° 时,随着弯折角 θ 的增大腹板剪应力逐渐从 41.79 MPa 减小到 35.49 MPa,减小了 15%,说明在一定范围内增大腹板弯折角对腹板抗剪有一定帮助,设计时应注意。

2.3 腹板厚度 t 的影响

在波纹钢腹板空间有限元模型中控制腹板直线段 $b = 250\text{ mm}$ 、波高 $h = 150\text{ mm}$ 、弯折角 $\theta = 37^\circ$ 不变,而腹板厚度 t 依次取 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20mm 建立计算模型。分析在荷载作用下,腹板厚度 t 变化下的箱梁受力性能。其箱梁跨中挠度、顶、底板正应力、腹板剪应力的变化规律分析结果绘成表格 3 显示如下:

由数据分析可知,随着腹板厚度 t 从 4 mm 增大到 20 mm 时,箱梁跨中挠度减小,但幅度不大。箱梁跨中顶、底板正应力都有减小趋势,其中顶板压应力变化较小,底板拉应力从 12.42 MPa 减小为 7.61 MPa,减小了 38.7%;腹板剪应力从 46.78 MPa 减小为 23.22 MPa,减小了 50.3%,由此可见,腹板厚度 t 的增大可以显著改善箱梁的受力性能,在设计时可适当加大厚度。

2.4 腹板几何参数的抗扭性能分析

在箱梁整体模型中施加偏心荷载,在扭矩的作用下箱梁将发生扭转。通过计算分析,记录箱梁断面在纵轴方向的扭转角,该记录值取箱梁跨中顶、底板扭转角平均值。计算结果见表 4、5。

表 4 直线段 b 变化下跨中断面扭转角

Tab.4 Cross section under the straight line length b changes the twist angle

b/mm	150	250	350	450	550
转角/ 10^{-4}rad	0.443	0.546	0.604	0.747	0.939

表 5 弯折角 θ 变化下跨中断面扭转角

Tab.5 Cross section under the bending angle of twist angle change

$\theta / ^\circ$	0	10	20	30	40	50
转角/ 10^{-4}rad	1.134	0.845	0.772	0.642	0.532	0.398

扭转角从侧面代表了箱梁抗扭刚度,由分析数据可知同等条件下,当直线段长度 b 增加时,扭转角变大,说明箱梁抗扭刚度降低。当腹板弯折角 θ 增大时扭转角减小,且 $\theta = 0^\circ$ 扭转角明显大于其他组合,说明波纹刚腹板相对于平板刚腹板可以明显提高箱梁抗扭刚度。即减小直线段长度 b ,增大弯折角 θ ,可使腹板螺纹越紧密,箱梁抗扭刚度越大,对桥梁越有利。

3 结论

- 1) 箱梁挠度受腹板几何参数变化的影响很小。
- 2) 直线段长度 b 增加,扭转角增大,抗扭刚度降低,顶板和底板正应力、腹板剪 (下转第 98 页)

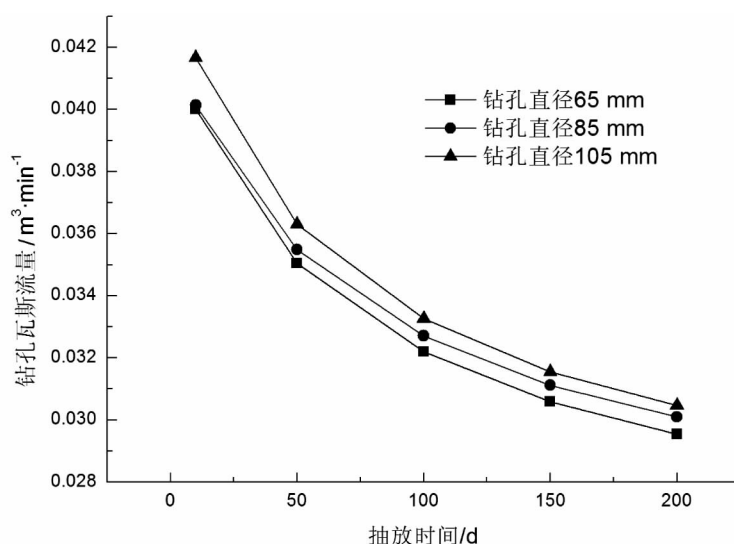


图6 三种钻孔直径(65、85、105 mm)抽采下,钻孔瓦斯流量衰减曲线

Fig6. The drilling gas flow attenuation curve of three kinds of borehole diameter (65, 85, 105 mm)

4 结论

1) 抽采时间的不断增加使得抽采影响区域逐渐增大,但抽采流量随着时间呈负指数规律逐渐减小。

2) 在其它的前提必然情况下,钻孔直径对抽采结果影响较大,钻孔直径的增大,抽采半径及钻孔瓦斯流量随之增大,但增大的幅度远比直径增大的幅度要小。

3) 瓦斯有效抽放半径随钻孔直径增大而增大。

参考文献:

[1] 陈波仁. 钻孔直径影响瓦斯抽采效果的数值模拟[J].

煤,2014(2):13-15.

[2] 李维光,刘虎华,李超. 薄煤层采煤工作面顶板穿层钻孔瓦斯抽采试验研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2014(3):30-34.

[3] 曹庆奎,商娜欣. 基于 GA-LSSVR 算法的回采工作面瓦斯涌出量预测[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2014,31(3):90-94.

[4] 石绍波. 大淑村矿综放工作面瓦斯抽放参数与防突技术研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2014.

[5] 刘少博,薛阔章,娄富超. 新义矿采煤工作面区域瓦斯抽采效果研究[J]. 煤,2014(1):44-46.

[6] 李超,李维光,刘虎华,等. 薄煤层采煤工作面瓦斯抽采效果实测研究[J]. 煤炭技术,2014(4):41-43.

(责任编辑 王利君)

(上接第62页)

应力增大,减小直线段长度 b 对箱梁有利。

3) 波纹钢腹板相对于平板钢腹板可以明显提高箱梁抗扭刚度,弯折角 θ 增大,顶板和底板正应力、腹板剪应力减小,增大 θ 角对箱梁有利。

4) 增加腹板厚度 t 可以改善箱梁受力性能,但是会增加箱梁造价。在经济允许下,可适当增大腹板厚度。

参考文献:

[1] 陈宝春,黄卿维. 波形钢腹板 PC 箱梁桥应用综述[J]. 公路,2005,7(7):45-53.

[2] 李淑琴,万水,张长青. 波形钢腹板设计与制造[M]. 北京:人民交通出版社,2011.

[3] 邱顺冬. 桥梁工程软件 Midas Civil 应用工程实例[M]. 北京:人民交通出版社,2011.

[4] 徐岳,朱万勇,杨岳. 波形钢腹板 PC 组合箱梁桥抗弯承载力计算[J]. 长安大学学报,2005,25(2):60-64.

[5] JTG D60—2004 公路桥涵设计通用规范[S].

[6] 庞凡. 波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁力学性能分析研究[D]. 西安:长安大学,2010:12-35.

[7] 徐强. 波形钢腹板预应力 RPC 组合箱梁力学性能研究[D]. 北京:北京交通大学,2011:1-23.

(责任编辑 李军)