

一种新型组合结构在桥梁工程中的应用

裴现伟

(邢台路桥建设总公司, 河北 邢台 054000)

摘要:传统的预应力钢筋混凝土桥梁结构需消耗对环境污染严重的地材产品,存在自重大、腹板开裂、下挠等质量通病,且不利于拆除废弃。文中开发一种装配式组合钢箱梁,该组合结构采用耐候钢、波形钢腹板全闭合结构、界面胶和聚合物砼,具有波形钢腹板优越的力学特性、耐候钢的防腐优势、界面胶的抗剪能力及钢套箱内预应力砼的高承载能力等,可实现主梁结构较高的承载力、优越的环保性和便捷的施工性,且经济效益和社会效益显著。

关键词: 桥梁; 组合结构桥梁; 钢箱叠合梁; 高承载力

中图分类号:U445.47

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)01-0123-03

随着中国环保形势的日益严峻、国内传统筑路材料紧缺及人工价格上涨,加上传统施工工艺生产效率低下、施工质量难以把控、作业队伍参差不齐等,传统的钢筋砼和预应力钢筋砼桥梁已不能满足现代化交通的需要,并出现多种难以克服的质量通病、施工质量急剧下滑、结构承载力差、劳动强度大、作业效率低、结构的循环利用价值几乎为零等弊端。为解决前述难题,邢台路桥建设总公司开发一种新型组合结构桥梁——装配式组合钢箱梁,并建成了国内第一座现代化的桥梁结构流水化作业生产车间,实现了主梁的自动化生产。

1 新型组合结构桥梁的组成

新型组合结构桥梁为装配式组合钢箱梁,又称装配式波形钢腹板组合钢箱梁,不同于传统的预应力钢筋砼箱梁,其由一个个钢箱组合成叠合单元,结合波形钢腹板、预应力技术、水泥砼技术达到组合受

力,组装成钢—砼叠合梁(见图1)。其顶板、底板采用聚合物纤维水泥砼、腹板采用波形钢板相结合的组合体系。在底板中设计体内预应力,在顶板中设计桥面抗剪筋,钢与砼结合截面采用聚合物界面连接喷涂胶,通过相邻梁体设计的钢—砼横隔板横向拼装成桥梁整体。其优化了传统预应力钢筋砼箱梁桥的受力不明确,提高了预应力效率,增加了结构的承载能力,为建设重载交通、快速交通提供了科学、先进的新型桥梁结构。

2 新型组合结构桥梁的创新点

(1) 主材采用全新的耐候钢。新型组合结构桥梁的主体材料为钢板,全部采用较为先进的耐候钢卷板,解决了普通钢材的锈蚀问题,省去了传统钢结构及钢—砼组合结构的防腐涂装,采用裸装服役很大程度上降低了钢结构和钢—砼组合结构的后期维护费用。在干燥与潮湿环境交替变化中,耐候钢表

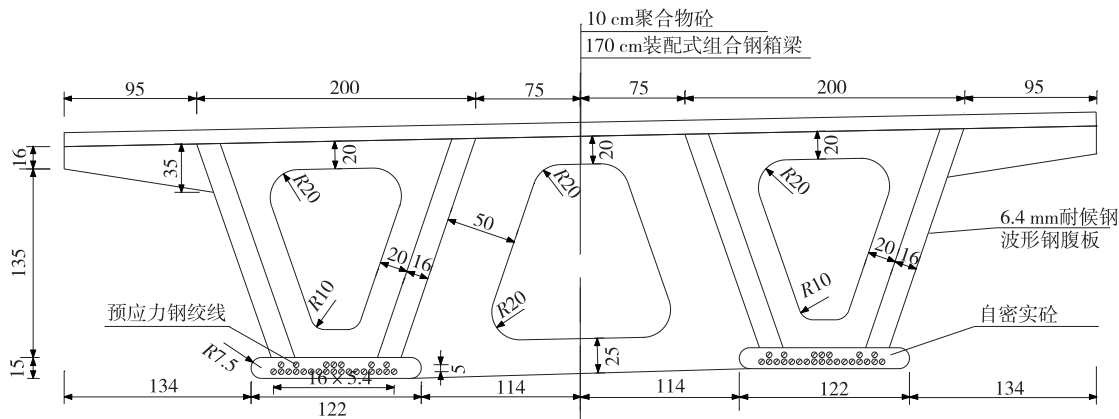


图 1 钢箱叠合梁横断面示意图(单位:cm)

面形成由 Cu、Cr、P 等元素浓缩后的致密且连续的安定锈层,并与基体结合非常牢固,能抵制大气中水汽及有害离子的侵入,防止基体金属进一步腐蚀。而常规钢结构的防腐涂装养护费用最低为 $100\text{ 元}/\text{m}^2$,且实际涂装并不能达到设计年限,往往在 10 年以内甚至 3~5 年就需专项维护。传统钢结构桥梁的高维护费用制约着中国桥梁钢结构的发展。

(2) 克服了预应力钢筋砼的质量通病。相比于传统预应力钢筋砼箱梁桥的“高大笨粗”(见图 2),新型组合结构桥梁采用全新的波形钢腹板全闭合结构(见图 3),彻底解决了传统预应力钢筋砼腹板开裂、自重过大、下挠严重、承载力低、残余价值低、服役期满后的拆除、环境噪音污染等诸多通病。该结构自重比传统的预应力钢筋砼箱梁结构轻 40% 以上,因自重减轻,跨径相应增大,梁高有所降低,使其应用范围更广。为满足不同桥面宽度需求,钢箱叠合梁可在横向多片组合,横向连接在梁端支座处采用钢—砼端横梁作加强设计,梁体部位采用钢—砼横隔板连接以增强其横向联系。



图 2 预应力钢筋砼箱梁桥



图 3 全新钢箱叠合梁

(3) 实现了桥梁结构的全自动化流水线生产。开发了先进的波形钢板连续式模压成型设备、大型构件翻转设备、全自动组装工位及智能定位焊接技术,实现了桥梁结构的全自动化流水线生产。卷钢板开板精平、工前预处理、钢底板套箱组拼、波形钢腹板连续模压成型、顶钢板冷弯成型、底腹顶三构件组拼安装及智能定位焊接等工序均实现了自动化生产,省去了大量劳动力,降低了劳动强度,减小了人为因素对构件的影响,加工效率更快,施工质量更易控制;连续式模压成型设备保证了整片钢箱叠合梁的腹板部分不出现竖向焊缝,极大提高了波形钢腹板的抗剪能力。

(4) 新型结构受力更科学、传力更明确。钢箱叠合梁的力学特性更科学合理,承载能力得到极大提高,使传统砼的腹板开裂问题得到根治,对于建设重载交通、快速交通、平安交通和绿色交通意义重大。钢箱叠合梁中波形钢腹板承受剪力,底板封闭套箱(预应力砼)及钢—聚合物砼组合桥面板抗弯,使承载力得到较大提高,钢箱叠合梁的受力更符合平截面假定原则,各部位受力明确。底板封闭套箱内采用预应力微膨胀砼,使底板套箱内砼在张拉预应力后处于三向受压状态,从而使砼的力学性能得到充分发挥。波形钢腹板在三维空间的截面特性解决了平钢板的屈曲稳定性问题,同时因其褶皱效应,不承受轴向拉压应力,极大降低了对预应力钢束的约束,使预应力施工效果更显著,同时波形钢腹板解决了砼腹板的开裂问题,降低了结构自重,提高了整桥的承载能力。30 m 钢箱叠合简支梁足尺模型的承载能力试验结果表明:公路—I 级荷载作用下,跨中挠度为 11.8 mm,小于规范要求的容许挠度值 $L/600=50\text{ mm}$,满足规范要求;钢箱叠合梁未出现任何构件破坏,在外荷载增加至 505.0 t 时,跨中挠度为 167.2 mm(见表 1),波形钢腹板未发生屈曲,桥面板砼未压碎,下钢套箱已呈现屈服,卸载后跨中挠度恢复部分形变,说明该新型结构具有较大的承载能力,且不会发生脆性破坏,能满足标准轴载 BZZ—100 承载力要求;实测数据与 ANSYS 建模理论计算值基本吻合,测试截面荷载系数控制在 0.95~1.05;位移测点检校系数、桥面板砼应变和波形钢腹板剪应力测点检校系数、横隔板应变测点及桥面板位移测点检校系数控制在 0.7~1.05;主要应变测点残余应变、主要位移残余应变 $\leq 20\%$;钢箱叠合梁基频 $\geq 3\text{ Hz}$,荷载冲击系数、跳车冲击系数、刹车制动

表 1 30 m 钢箱叠合梁承载能力试验结果

受力状态	加载重量/t	跨中弯矩/(kN·m)	跨中挠度/mm	砼最大压应力/MPa	钢板最大压应力/MPa	支撑处腹板剪应力/MPa
钢套箱砼开裂	142.0	5 218.0	21.8	7.1	56.7	25.4
钢套箱钢板屈服	485.3	17 834.0	151.7	18.2	410.0	71.0
最终外荷载	505.0	18 559.0	167.2	20.1	410.0	73.9
跨中挠度达 $L/600$	234.4	8 614.0	50.0	9.8	246.8	37.0
钢套箱底板达到容许应力 200 MPa	342.6	12 849.0	89.2	13.8	200.0	57.4
公路—Ⅰ级设计荷载	87.5	3 281.0	11.8	4.0	32.5	15.0
3 辆三轴车	226.6	8 327.6	48.2	9.3	233.5	35.7

注:三轴车的中轴及后轴的单轴轴重均为 30 t,前轴轴重为 12 t。

系数控制在 1.00~1.30。

(5) 研发新型材料钢混界面胶和聚合物水泥砼解决钢混界面滑移问题。钢混界面胶实现了钢与水泥砼的高强度连接,将钢与水泥砼复合成一个整体,该界面胶与钢的粘结强度为 15 MPa,与砼的粘结强度为 5.25 MPa。聚合物纤维水泥砼具有高抗裂性、高韧性、耐腐蚀和长寿命等特点,其抗压强度为 35~40 MPa,抗折强度为 7~9 MPa,可有效解决钢桥桥面铺装的层间滑移问题。

(6) 自重小、安装便捷、适用范围更广。钢箱叠合梁的自重较小,更适于长距离运输,且省去了施工现场征用大片土地建设预制场的费用,其安装也较方便。钢箱叠合梁于生产车间内加工制作,采用平板运输车,运输过程中重点注意对钢箱叠合梁的安全管理(确保其牢固稳定)和主要成品钢箱叠合梁的保护(与钢箱梁固定卡索接触部位采用柔性材料进行保护)。钢箱叠合梁的现场安装与常规先简支后连续预应力砼箱梁类似,但因其自重较小,可采用较小吨位的自行式吊机或架桥机等吊装,安装费用有所降低。因其上部结构整体自重减小,下部结构及桩基础设计标准也有所降低,钢箱叠合梁的综合效益优于传统钢结构和预应力钢筋砼结构。

3 技术经济指标优缺点

钢箱叠合梁全部采用耐候钢材料,其全寿命周期养护费用远低于普通钢结构桥梁和钢筋砼结构;同时采用全钢双闭合套箱,结构的用钢量大大减少,其技术、经济指标突出,社会效益显著。

(1) 技术指标。箱与箱叠合实现力学结构的科

学组合,结构稳固可靠,满足现行规范中公路—Ⅰ级荷载标准;钢与钢绞线配合、钢与水泥砼复合、高分子界面结合剂和新型结构连接件,通过上述各部的叠合、组合、复合、结合、联合,充分发挥了各种材料的特有功能;可实现工厂制造,尺寸准确,质量有保障,总重大幅减轻,运输轻量,安装便捷。但因其结构复杂,多箱组合、波形钢腹板等使部件加工繁琐,且未实现智能化焊接技术,自动化程度低,钢箱叠合梁的制造颇为复杂。

(2) 经济指标。生态效益明显,材料价值循环回收,重复利用率可达 95%;主材为钢材,可有效化解钢铁产能过剩;现场施工无需临时占地,且装配快速,施工周期成倍缩短,综合成本有效降低;主梁钢材全部采用耐候钢,基本属于免维护结构,全寿命周期造价比现有同规模砼桥梁有所降低。但因采用费用较高的耐候钢、加工复杂的多箱组合结构及聚合物砼等技术,其建安费用比砼桥梁高 10%左右。

(3) 社会效益。该结构大量消耗钢材,有利于带动中国的钢材生产,促进国民经济发展;从根本上解决了砼腹板开裂问题,延长了结构使用寿命;大大减少了现有桥梁重建中的垃圾排放量;桥梁的快速装配化建设,掀起了桥梁新技术革命,也为桥梁建设向工厂化、信息化、智能化、装配化发展提供了经验。

4 结语

钢箱叠合梁作为一种全新的结构形式,其在新材料、新工艺的探索上取得了突破,并有效化解了多年来困扰桥梁建设的技术难题,耐候钢的选用解决

(下转第 128 页)

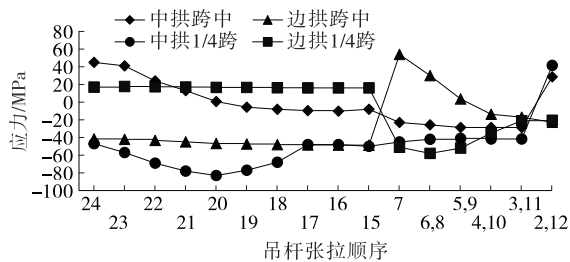


图4 方案2下拱肋关键截面的应力变化

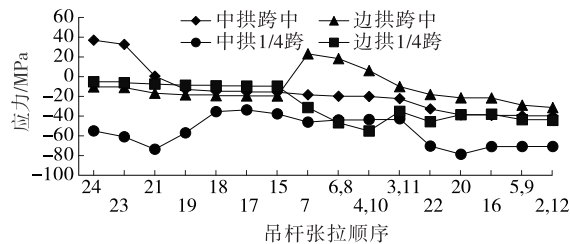


图5 方案3下拱肋关键截面的应力变化

突变。3) 方案3吊杆张拉过程中,应力为 $-73.8 \sim 37$ MPa,结构强度安全,与方案2相比其拱肋受力情况有较大幅度改善,呈线性变化。因此,可认为方案3优于方案2,即从中拱对称交替张拉优于从中拱对称依次张拉。

5 结论

(1) 对称依次张拉吊杆的方式具有施工方便快捷的优点,但易造成张拉过程中拱肋局部应力过大,增加张拉的不安全性;对称交替张拉吊杆方式可使

张拉过程中拱肋的应力分布更加合理,但需往复移动张拉设备,操作复杂。

(2) 从中拱开始对称交替张拉使结构受力更合理,拱肋的应力分布呈线性,优于从边拱开始张拉,且从跨中开始张拉优于从拱脚区开始张拉。

(3) 该桥实际施工中采用从中拱对称交替张拉方案,拱肋应力和吊杆索力均保持了良好的线性变化,都在合理变化范围内,有效保证了吊杆张拉过程的安全。

参考文献:

- [1] 肖汝诚,项海帆.斜拉桥索力优化及其工程应用[J].计算力学学报,1998,15(1).
- [2] 虞建成,邵容光,王小林.系杆拱桥吊杆初始张拉力及施工控制[J].东南大学学报:自然科学版,1998,28(3).
- [3] 韦伟,张俊平.吊杆张拉程序对拱梁组合体系内力影响的分析[J].广州大学学报:自然科学版,2012,11(2).
- [4] 陈强,黎曙文,瞿国召,等.滁河特大桥吊杆张拉控制力计算[J].桥梁建设,2011(6).
- [5] 韩保勤.钢管混凝土拱桥吊杆张拉方案的比选[J].桥梁建设,2015(1).
- [6] 杨俊.基于影响矩阵的大跨度桥梁合理成桥状态与施工控制研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.
- [7] 易云焜.梁拱组合体系设计理论关键问题研究[D].上海:同济大学,2007.

收稿日期:2017-05-06

(上接第125页)

了钢桥的防腐涂装问题,波形钢腹板的运用解决了钢筋砼的腹板开裂问题,界面胶的研发解决了钢桥桥面铺装的层间滑移问题,聚合物砼的研究解决了传统砼抗折强度低的弊病,结构性能优、承载能力高、成桥速度快、建设成本低等优点使其既可用于高速公路、各等级公路及城市交通,亦可作为战备交通的储备梁。但该组合结构采用等截面设计,仅适用于中小跨径,若在大跨径、特大跨径中应用,则需进行变截面设计、体外预应力技术、构造优化等措施方可实现,同时其抗震性能、疲劳损伤、应力应变等尚需深入研究。

作为一种全新的结构,探索钢箱叠合梁的优化改进将成为未来研究重点。为进一步适应远距离运输需要,将整片钢箱叠合梁化整为零,将各构件运输至现场而后拼装,真正意义上实现构件的装配化施

工,从而很大程度上降低运输成本、提高施工效率;针对不同跨径组合开发相匹配的全新组合结构,使其满足经济效益和施工便利的双重指标;突破传统设计理念和施工工艺,配套研发全新土石复合桩基础、立柱、盖梁及防撞护栏等,实现基础、下部结构、上部结构及附属结构的整体性装配化施工。这些对于建设快速交通具有深远意义,也是今后努力创新的方向。

参考文献:

- [1] 苏立超.装配式组合钢箱梁在桥梁工程中的应用[J].施工技术,2015,44(17).
- [2] 贺君,刘玉擎,陈艾荣.折腹式组合箱梁桥设计要点及结构分析[J].桥梁建设,2008(2).

收稿日期:2017-06-17