

先简支后连续变截面预制小箱梁设计

刘政伟,夏齐勇,邹黎琼,陈潇

(湖北省交通规划设计院股份有限公司,湖北 武汉 430050)

摘要:为满足双曲拱桥拓宽改造的美观和施工工期等方面的要求,设计了跨径布置为 $(44.055+7\times 44.41+44.055)$ m的先简支后连续变截面预制小箱梁。通过优化变截面预制小箱梁的构造和预应力布置,解决了变截面预制小箱梁由于跨中梁高较低,跨中承载能力薄弱的问题。受力分析结果表明:变截面预制小箱梁施工阶段验算、承载能力验算、截面压应力验算、截面抗裂验算和刚度验算均满足规范要求。

关键词:双曲拱桥;拓宽改造;预制拼装;变截面;受力分析

双曲拱桥以其构造简单、结构合理、材料利用率高、易就地取材等优点,在20世纪60年代后相当一段时间内成为中国的主导桥型。21世纪后,中国经济迅速发展,当初修建的双曲拱桥普遍存在桥宽较窄无法满足现行交通要求的问题。同时,相当一部分双曲拱桥位于城市中心区,已成为城市记忆,不宜将老桥拆除,应在老桥的基础上加建新桥。现行规范的设计荷载较老桥的设计荷载增加较大,若新桥采用双曲拱桥则跨中拱肋截面尺寸将比老桥大,且双曲拱桥整体性较差、施工较复杂,因此新桥不宜采用双曲拱桥方案。此外,为满足景观要求,新桥应与老桥造型一致,即跨中梁高不得大于老桥跨中梁高。拓宽改造的新桥可采用预制拼装的先简支后结构连续预制梁桥方案。

预制拼装施工方法是桥梁上部结构划分为若干节段,在工厂内预制完成后,现场逐跨进行拼装,并通过现浇湿接缝或张拉预应力使之成为整体结构的施工方法。相对于支架现浇施工方法和悬臂浇筑法,预制拼装施工方法施工速度快、工期短、施工占地小、对桥梁周围的环境影响小,且梁体的几何线形容易控制,是现代化的绿色施工方法。

传统的先简支后连续预制梁均为等截面,因其自重较大,跨中正弯矩大,受吊装能力和结构受力等因素影响,其经济跨径较小,且其美观性较差。若减小预制梁跨中截面高度,则可减轻其自重,减小跨中弯矩,进而提高其经济跨径,且美观性较好,并能较好地匹配双曲拱桥跨中梁高低于支点梁高的立面造型特点。

先简支后连续变截面预制小箱梁在工程中尚无应

用,且预制小箱梁跨中梁高减小后,其结构受力特性将变得复杂。如何确定先简支后连续变截面预制小箱梁的构造和预应力钢束布置,是变截面预制小箱梁设计中必须研究和加以解决的重要问题。

该文以湖北省沮水一桥拓宽改造工程为例,介绍其先简支后连续变截面预制小箱梁的构造和预应力钢束布置,对其进行受力分析,以期类似双曲拱桥拓宽改造的设计和施工提供参考。

1 工程概况

湖北随州市沮水一桥原桥为9孔净跨42 m等截面悬链线双曲拱桥,跨越沮水主河道,桥面净宽9 m,为提高该桥通行能力,需对该桥进行拓宽改造,在原桥上游新建一幅17 m宽桥梁。由于该桥位于市中心,且跨中梁高仅为1.5 m,考虑美观和施工工期等因素,拟采用 $(44.055+7\times 44.41+44.055)$ m先简支后结构连续变截面预制小箱梁,并在立面进行拱形装饰以匹配老桥立面造型。拼宽后的断面图如图1所示。由于大桥跨越沮水,水位较深,不具备采用龙门吊或其他陆地吊装方式的条件,适合采用架桥机架设,因此设计时应验算施工过程中架桥机运梁过孔的施工工况。

大桥设计必须克服如下难点:

(1) 施工过程中,主梁简支时,由于跨中截面梁高受限仅为1.5 m,承载能力弱,却需承担架桥机运梁过孔荷载。

(2) 先简支后结构连续变截面预制小箱梁存在体

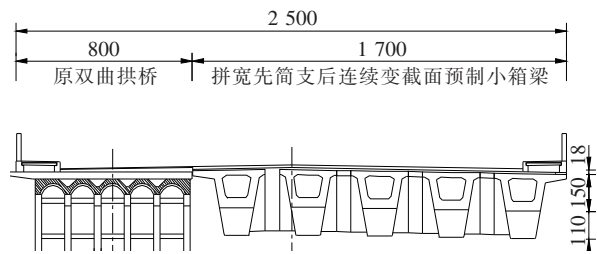


图 1 浪水一桥拼宽后断面图(单位:cm)

系转换过程,各截面应力控制较难。

2 结构设计

该(44.055+7×44.41+44.055) m 先简支后结构连续变截面预制小箱梁,边跨支点梁高 2.6 m、跨中梁高 2.0 m,梁底曲线按二次抛物线渐变;中跨支点梁高 2.6 m、跨中梁高 1.5 m,梁底曲线按二次抛物线渐变。预制小箱梁横向布置 5 片,湿接缝 4 道,每道宽度 0.65 m。跨中设置一道横隔梁、厚 25 cm,端横隔梁厚 50 cm,连续段横隔梁厚 71 cm。单片小箱梁断面采用单箱室,中梁梁顶宽 2.6 m、顶板厚 20 cm、支点腹板厚 36 cm、跨中腹板厚 22 cm、腹板坡率 5:1、底板厚由支点处的 40 cm 线性渐变至跨中处的 22 cm,边梁梁顶宽 3.295 m、顶板厚 20 cm、翼板宽 0.979 m、支点腹板厚 36 cm、跨中腹板厚 22 cm、腹板坡率 5:1、底板厚由支点处的 40 cm 线性渐变至跨中处的 22 cm。

预制变截面小箱梁按 A 类预应力构件设计,由于预制变截面小箱梁跨中截面梁高较低,抗弯承载力偏小,为满足受力要求并控制简支变连续体系的各截面应力,设计时将部分腹板束于跨中 1/3 处上弯并锚固于顶板,其余腹板束锚固于梁端。

为改善架桥机运梁过孔工况中主梁的受力状态,以满足施工阶段主梁受力要求,变截面预制梁的施工过程不同于等截面预制梁。其在安装好两跨主梁后就施工两跨主梁间的墩顶横梁并张拉墩顶预应力钢束,将施工阶段简支状态的主梁转换为连续状态,能有效地减少跨中正弯矩。

3 结构验算

根据 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》对先简支后连续变截面预制小箱梁进行结构验算。

3.1 施工阶段验算

由于预制变截面小箱梁跨中梁高较低,跨中承载能力较薄弱,且预制变截面小箱梁施工过程中需要通过架桥机架设,需要对架桥机架设过程中预制变截面小箱梁的受力进行分析。施工过程中,单片预制变截面小箱梁按简支结构考虑,其控制截面为跨中截面。经验算,施工阶段单片预制变截面小箱梁跨中正截面抗弯承载力验算结果如表 1 所示。

表 1 施工阶段跨中截面承载力验算结果

项目	中梁			边梁		
	效应值/ (kN·m)	抗力值/ (kN·m)	k	效应值/ (kN·m)	抗力值/ (kN·m)	k
弯矩	13 885	15 746	1.134	13 947	15 700	1.125
剪力	3 217	6 632	2.061	3 681	6 847	1.860

注:表中 k 表示抗力值与效应值的比值。下同。

由表 1 可知:施工阶段单片预制变截面小箱梁跨中截面最大弯矩效应值为 13 947 kN·m,小于抗弯承载力 15 700 kN·m,施工阶段抗弯承载力满足要求。

3.2 承载力验算

对(44.055+7×44.41+44.055) m 先简支后结构连续变截面预制小箱梁进行持久状况承载能力极限状态验算,按 9 孔连续梁进行结构分析,采用桥梁博士分别对边梁和中梁进行杆系模型计算。边梁和中梁的荷载横向分配系数采用刚性横梁法和刚接板(梁)法计算,结果如表 2 所示。

表 2 变截面预制小箱梁荷载横向分布系数

梁位	支点处	跨中处
边梁	1.431	0.625
中梁	1.048	0.566

持久状况下预制变截面小箱梁边梁和中梁的正截面抗弯承载力验算结果如表 3 所示。

由表 3 可知:中梁边跨最大正弯矩效应值为 22 089 kN·m,小于抗弯承载力 25 996 kN·m;中梁中支点最大负弯矩效应值为 17 326 kN·m,小于抗弯承载力 27 575 kN·m;边梁边跨最大正弯矩效应值为 24 349 kN·m,小于抗弯承载力 26 247 kN·m;边梁中支点最大负弯矩效应值为 17 653 kN·m,小于抗弯承载力 27 600 kN·m。表明持久状况下预制变截面小箱梁正截面抗弯承载力满足要求。

表 3 正截面抗弯承载能力验算结果

项目	中梁			边梁		
	效应值/ (kN·m)	抗力值/ (kN·m)	k	效应值/ (kN·m)	抗力值/ (kN·m)	k
边跨跨中截面	22 089	25 996	1.18	24 349	26 247	1.08
中墩墩顶截面	17 326	27 575	1.59	17 653	27 600	1.56
中跨跨中截面	15 698	19 200	1.22	17 700	19 600	1.11

注:① 表中边跨跨中截面为边跨最大正弯矩处截面,距离边墩 18 m;② 效应值和抗力值均为绝对值。

持久状况下预制变截面小箱梁边梁和中梁的斜截面抗剪承载能力验算结果如表 4 所示。

表 4 斜截面抗剪承载能力验算结果

项目	中梁			边梁		
	效应值/ kN	抗力值/ kN	k	效应值/ kN	抗力值/ kN	k
墩顶截面	3 860	6 632	1.72	4 458	6 847	1.54

由表 4 可知,中梁最大剪力效应值为 3 860 kN,小于抗剪承载力 6 632 kN;边梁最大剪力效应值为 4 458 kN,小于抗剪承载力 6 847 kN。表明持久状况下预制变截面小箱梁斜截面抗剪承载能力满足要求。

3.3 抗压验算

对(44.055+7×44.41+44.055) m 先简支后结构连续变截面预制小箱梁进行使用阶段正截面法向压应力和斜截面主压应力验算,结果如表 5、6 所示。

表 5 正截面法向压应力验算结果 MPa

项目	中梁		边梁	
	梁顶	梁底	梁顶	梁底
计算值	15.0	15.8	13.3	14.8
应力限值	16.2		16.2	

表 6 斜截面主压、主拉应力验算结果 MPa

项目	中梁		边梁	
	主压应力	主拉应力	主压应力	主拉应力
计算值	15.80	-0.643	14.70	-0.552
应力限值	19.44	-1.850	19.44	-1.850

由表 5 可知:在标准值组合下中梁箱梁截面的最大法向压应力为 15.8 MPa,边梁箱梁截面的最大法向

压应力为 14.8 MPa,均小于 C50 混凝土的最大容许法向压应力 16.2 MPa,满足 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》第 7.1.5 条的要求。

由表 6 可知:在标准值组合下中梁箱梁截面的最大主压应力为 15.8 MPa,边梁箱梁截面的最大主压应力为 14.7 MPa,均小于 C50 混凝土最大容许主压应力 19.44 MPa。满足 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》要求。

3.4 抗裂验算

对(44.055+7×44.41+44.055) m 先简支后结构连续变截面预制小箱梁进行使用阶段正截面法向拉应力和斜截面主拉应力验算,结果如表 7、6 所示。

表 7 正截面法向拉应力验算结果 MPa

项目	短期效应组合		长期效应组合	
	中梁	边梁	中梁	边梁
计算 梁顶	-0.081	-0.133	0.636	0.399
值 梁底	-0.487	-0.381	0.203	0.385
应力限值	-1.850	-1.850	0	0

注:表中应力值受压为正,受拉为负。

由表 7 可知:在荷载短期效应组合下,中梁最大法向拉应力为 0.487 MPa,边梁最大法向拉应力为 0.381 MPa,均小于 C50 混凝土最大允许法向拉应力 1.85 MPa;在荷载长期效应组合下,箱梁截面均未出现拉应力,箱梁正截面抗裂满足规范要求。

由表 6 可知:在荷载短期效应组合下,中梁最大主拉应力为 0.643 MPa,边梁最大主拉应力为 0.552 MPa,均小于 C50 混凝土最大允许主拉应力 1.85 MPa,箱梁斜截面抗裂验算满足 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》第 6.3.1 条要求。

3.5 主梁刚度验算

受弯构件在使用阶段的挠度应考虑荷载长期效应的影响,即按荷载短期效应组合和 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的第 6.5 条规定的刚度计算挠度值(只算活载产生的值)乘以挠度长度增长系数 η_θ 。结果见表 8。

表 8 主梁挠度验算结果

截面	δ/mm	η_θ 增长系数	最终 δ/mm
中梁	26.2	1.425	37.3
边梁	27.2	1.425	38.8

由表 8 可知:主梁在活载作用下最大挠度为 38.8 mm,小于 $l/600=74$ mm,桥梁刚度满足规范要求。

4 施工工艺

由于变截面预制小箱梁独特的构造和设计特征,其施工方式与传统的先简支后结构连续桥梁相比存在一定的差异,其具体的施工步骤如下:

- (1) 预制主梁,待混凝土强度达到设计强度的 90%后,张拉正弯矩区预应力钢束,压浆并及时清理主梁(预应力混凝土简支变连续小箱梁)底板通气孔。
- (2) 设置临时支座并安装好永久支座,逐孔安装主梁,安装好两跨主梁后施工两跨主梁间的墩顶横梁并张拉墩顶预应力钢束,将简支状态的主梁转换为连续状态,以改善架桥机运梁过孔工况主梁的受力状态。
- (3) 主梁施工完成后,由跨中向支点浇筑剩余部分的桥面整体化混凝土,并喷洒防水层、安装伸缩装置、进行桥面系施工。

大桥加宽施工完成后对立面进行拱形装饰,使变截面预制小箱梁能完美地匹配老桥的立面线形,美观效果较好。

5 材料指标

变截面梁能较好地符合连续梁的内力分布规律,材料用量较少。预制拼装变截面小箱梁与预制拼装等截面小箱梁的材料指标比较如表 9 所示。

表 9 材料指标比较表

项目	混凝土/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$)	预应力钢束/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)
预制拼装变截面小箱梁	0.56	35.7
预制拼装等截面小箱梁	0.79	45.6

由表 9 可知:相较于同等跨径预制拼装等截面小箱梁,预制拼装变截面小箱梁每平方米材料用量少约

25%。

6 结论

该桥采用预制拼装变截面小箱梁,既满足了美观要求,又缩短了工期,取得了良好的经济效益。

- (1) 采用变截面小箱梁后加装饰拱的方案能较好地匹配双曲拱桥的线形,满足桥梁的美学效果。
- (2) 通过优化变截面预制小箱梁的构造和预应力布置,解决了变截面预制小箱梁由于跨中梁高较低,跨中承载能力薄弱的问题。
- (3) 通过调整施工过程,改善架桥机运梁过孔工况中主梁的受力状态,以满足施工阶段主梁受力要求。
- (4) 经过对预制拼装变截面小箱梁的分析和设计,其施工阶段受力验算、承载能力验算、截面压应力验算、截面抗裂验算和刚度验算均满足规范要求。
- (5) 由于变截面预制拼装连续小箱梁施工速度快、美观性较好,且造价相较同等跨径等截面预制梁低,也可适用于具有景观要求的公路桥梁。

参考文献:

[1] 陈宝春,叶琳.我国混凝土拱桥现状调查与发展方向分析[J].中外公路,2008(2).

[2] 陈伟胜.农新路高架桥预制拼接盖梁设计[J].中外公路,2018(2).

[3] 翟晓亮,陈定市.中小跨径桥梁结构形式优选[J].中外公路,2018(3).

[4] 朱征平.预应力混凝土连续刚构的预制拼接法施工[J].华东公路,2002(2).

[5] 张鸿,张喜刚,丁峰,等.短线匹配法节段预制拼装桥梁新技术研究[J].公路,2011(2).

[6] 王英.城市桥梁预制箱梁节段拼装关键技术的研究[D].西南交通大学硕士学位论文,2011.

[7] JTG D62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

[8] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].