

异型系杆拱桥关键设计参数分析

刘 鹏

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要:与常规的系杆拱桥结构布置形式不同,异型系杆拱桥吊杆采用放射型斜吊杆,斜吊杆集中锚固在拱顶,梁部重量通过斜吊杆非均匀作用在主拱上,主拱受力与常规拱桥有异。以某座位于城市核心区的异型系杆拱桥为例,对该桥的矢跨比、主拱刚度及纵、横梁布置形式等参数进行设计分析,研究该类型系杆拱桥的受力机制和设计特点,明确了该类型桥梁关键设计参数的取值原则,可为同类型桥梁结构体系设计提供参考。

关键词:异型系杆拱桥;关键设计参数;矢跨比;主拱刚度;纵、横梁布置形式

中图分类号:U448.22

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2022)08-0068-04

0 引言

拱桥根据结构受力可分为有推力拱桥和无推力拱桥。无推力拱桥以无推力梁拱组合体系桥梁——系杆拱桥为代表,通过设置系杆平衡主拱推力,无需设置较大的抗推力基础,适用于平原城市跨河桥梁桥型,且在主跨跨径100 m左右的桥型方案中极具竞争力。

常规系杆拱桥一般采用竖向吊杆,将加劲梁受力均匀地传递至拱肋之上,其合理拱轴线为二次抛物线,常用矢跨比为 $1/4\sim 1/6$ 。拱肋受力以偏心受压为主,常采用混凝土或钢-混断面。对于位于城市核心区的跨河景观桥梁,在桥梁建筑方案设计时采用常见的、千篇一律的桥型和结构外形已不再能满足城市地标建筑的形象要求^[1]。桥梁建筑设计更加追求造型优美、结构新颖,与城市形象、品味、精神相匹配。系杆拱桥结构构件元素较多,结构体系受力明确,在桥型方案设计时可通过对拱肋形态、吊杆角度等元素的变化,实现打造标志性景观桥梁的目标,如图1所示。

与常规系杆拱桥结构布置形式不同,异型系杆拱桥吊杆采用放射型斜吊杆,斜吊杆集中锚固在拱顶,梁部重量通过斜吊杆非均匀作用在主拱上,主拱受力与常规拱桥有异。为研究该类型异型系杆拱桥的受力机制和设计特点,明确该类型桥梁关键设计参数的取值原则,以某桥为例,对异型系杆拱桥的矢

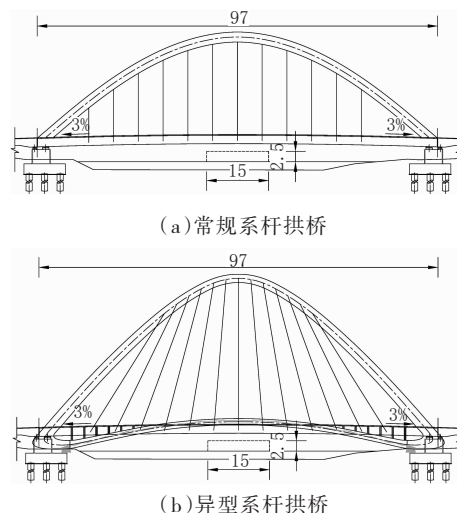


图1 常规系杆拱桥与异型系杆拱桥总体布置对比(单位:m)

跨比、主拱刚度以及纵、横梁布置形式等参数进行设计分析,研究该类型系杆拱桥的受力机制和设计特点,明确该类型桥梁关键设计参数的取值原则,可为同类型桥梁结构体系设计提供参考。

1 工程概况

1.1 总体设计

某桥跨越城市水系公园,位于城市核心区,为标志性城市景观桥梁。根据桥梁建筑设计方案,主桥采用跨径为97 m的下承式钢结构系杆拱桥,采用一跨过河;桥梁跨中断面宽度为45.2 m,如图2所示。桥梁设置双向对称纵坡,纵坡取值为3%。

桥梁结构体系采用刚性系杆刚性拱的梁拱组合体系。加劲梁采用边主梁断面形式,边主梁之间设置2道工字型小纵梁,与桥面工字型横梁、边支点箱型横梁组成纵、横梁受力体系,外侧人行道处副拱通过

收稿日期:2021-11-29

作者简介:刘鹏(1988—),男,博士,工程师,从事桥梁设计工作。

表 1 不同矢跨比下结构相对刚度、主拱和系梁成桥状态和承载能力极限状态应力对比

矢跨比	结构相对刚度	成桥状态应力 /MPa				承载能力极限状态应力 /MPa			
		主拱跨中上缘	主拱跨中下缘	系梁跨中上缘	系梁跨中下缘	主拱跨中上缘	主拱跨中下缘	系梁跨中上缘	系梁跨中下缘
1/2	1.21	-98	34	76	-50	-183	90	144	92
1/3	1.20	-115	23	76	-17	-215	83	147	116
1/4	1.19	-128	-15	72	38	-241	69	145	170
1/5	1.11	-144	-29	66	84	-269	57	141	232
1/6	1.00	-159	-41	58	133	-298	47	136	298

断面弯矩较大,偏压程度较大,不利于材料性能的发挥。对于异型系杆拱钢结构拱肋,由于钢材各项同性,矢跨比可采用 1/3~1/2,显著减小主拱轴压力,并可以控制拱脚弯矩值,使得拱肋正、负弯矩峰值相近,充分利用钢材拉、压性能,达到合理的受力状态。

本桥为城市标志性景观拱桥,考虑到结构造型设计,采用钢拱肋,矢跨比为 1/2.43,主拱正、负弯矩峰值接近一致,主拱断面应力状态合理,可有效减小拱肋截面尺寸,主拱造型轻盈、流畅。

2.2 主拱刚度

本桥为双承载面简支拱梁组合结构,拱和梁的刚度相差不大。在确定主拱、主梁结构尺寸时,对不同的梁、拱刚度进行参数分析^[2],确定拱和梁的受力比例。由于本桥受道路纵断、防洪和桥下净空的限制,桥梁梁部高度限定为 2.0 m,主梁的刚度及断面尺寸基本确定。因此,仅对不同主拱刚度对应的结构刚度、受力进行参数分析,确定主拱的断面尺寸。

取主拱断面(高×宽)分别为 1.4 m×1.2 m、2.0 m×1.6 m、2.4 m×2.0 m、2.8 m×2.4 m 时(拱肋刚度比为 1.0:2.0:3.0:5.7),计算结构刚度、主拱和系梁成桥状态和承载能力极限状态应力(见表 2)。表 2 中结构刚度是指结构体系跨中发生单位位移时对应的力,以拱肋尺寸为 1.4 m×1.2 m 时的结构刚度为 1,得到结构相对刚度 1;以无拱肋时的结构刚度为 1,得到结构相对刚度 2。由表 2 可知,拱肋断面刚度增加 4.7 倍,结构体系刚度仅增加 37%,拱肋刚度对结构体系刚度影响较小,但对于设置拱肋后的简支结构体系较不设置时刚度增加 21.30~29.46 倍,影响较

大。对于成桥状态和承载能力极限状态,主拱顶缘为压应力,底缘为拉应力,顶缘应力控制设计,主拱刚度的增加可以显著降低主拱顶、底缘应力,但对系梁的上、下缘应力影响较小。根据计算结果可知,采用 1.6 m×1.2 m 断面时,主拱顶缘应力过大;采用 2.4 m×2.0 m、2.8 m×2.4 m 断面时,主拱应力较小,不足以发挥材料性能。经比选,本桥拱肋采用 2.0 m×1.6 m 断面。

2.3 纵、横梁布置形式

本桥采用纵、横梁钢桥面系。通过对不同横、纵梁布置形式下横梁承载能力极限状态受力进行分析,确定纵、横梁布置形式。

对于横梁而言,梁端斜吊杆间距为 6 m,在斜吊杆处均设置横梁。斜吊杆之间横梁设置可采用两种形式,如图 5 所示。不同横纵梁布置形式下横梁承载能力极限状态应力对比见表 3。由表 3 可知,横梁布置形式 2 相对于形式 1 跨中、支点上缘应力增大,横梁布置形式 2 中横梁下缘应力增大,横肋应力相对减小,出现了明显的应力重分布。采用横梁布置形式 2,横梁、横肋应力分布相差较大,不利于钢材受力性能的发挥,而采用横梁布置形式 1 虽增加了材料用量(钢材用量约增加 11 kg/m²),但横梁刚度、受力较为均匀,顶、底应力均较小,横梁制造加工方便,建议采用横梁布置形式 1。

对于纵梁而言,结构设计时需要确定纵梁设置的数量。不同纵梁数量时对应的承载能力极限状态横梁应力对比见表 4。由表 4 可知,在系梁之间设置 0、2、4 道纵梁时(如图 6 所示),横梁跨中处上缘应力

表 2 不同拱肋断面尺寸下结构刚度、主拱和系梁成桥状态和承载能力极限状态应力对比

拱肋尺寸	拱肋刚度	结构刚度 1	结构刚度 2	成桥状态应力 /MPa				承载能力极限状态应力 /MPa			
				主拱跨中上缘	主拱跨中下缘	系梁跨中上缘	系梁跨中下缘	主拱跨中上缘	主拱跨中下缘	系梁跨中上缘	系梁跨中下缘
1.6 m×1.2 m	1.0	1.00	22.30	-181	86	64	-46	-306	169	119	65
2.0 m×1.6 m	2.0	1.18	26.25	-122	46	65	-37	-214	103	120	68
2.4 m×2.0 m	3.0	1.27	28.27	-103	32	64	-32	-181	78	120	72
2.8 m×2.4 m	5.7	1.37	30.46	-66	10	64	-24	-125	44	120	78

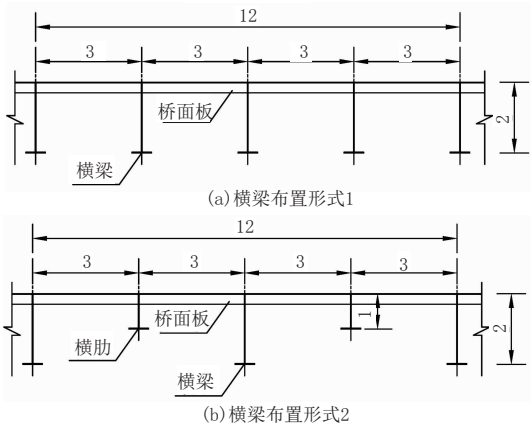


图 5 横梁布置形式(单位:m)

表 3 不同横梁布置形式下横梁承载能力极限状态应力对比

类型		横梁跨中应力 /MPa		横梁支点应力 /MPa	
		上缘	下缘	上缘	下缘
横梁布置形式 1		-211	153	-211	154
横梁布置形式 2	横梁	-247	229	-236	209
	横肋	-242	121	-213	103

为 -205~-216 MPa, 下缘应力分别 138~174 MPa; 横梁支点处上缘力为 -205~-220 MPa, 下缘应力 147~164 MPa。由计算结果可知, 纵梁设置的数量对横梁应力影响较小。这是由于纵梁高度低、刚度小, 不能对横梁形成有效支承。但是考虑纵梁与横梁形成纵、横梁桥面系、提高钢桥面板结构疲劳性能的需要, 在结构设计时可根据横梁长度设置 1~2 道纵梁。

表 4 不同纵梁布置形式下横梁承载能力极限状态应力对比

类型	横梁跨中应力 /MPa		横梁支点应力 /MPa	
	上缘	下缘	上缘	下缘
不设置纵梁	-216	174	-220	164
设置 2 道纵梁	-211	153	-211	154
设置 4 道纵梁	-205	138	-205	147

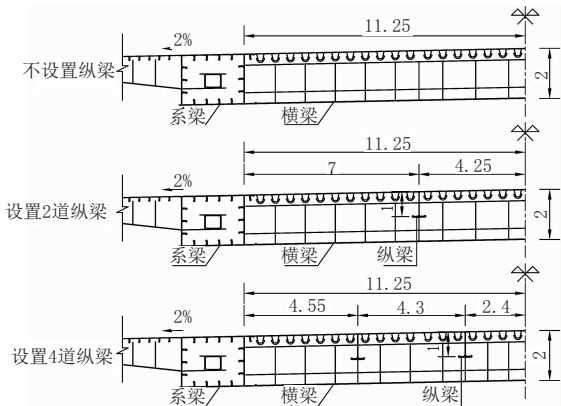


图 6 纵梁布置形式(单位:m)

3 结 语

以某座位于城市核心区的异型系杆拱桥为例, 对该类型异型系杆拱桥的矢跨比、主拱刚度及纵、横梁布置形式等参数进行设计分析, 并得到以下主要结论。

(1) 随着矢跨比增大, 主拱受力状态从偏心受压向受弯状态逐渐转变。对于异型系杆拱钢结构拱肋, 矢跨比可采用 1/3~1/2, 显著减小主拱轴压力, 并可以控制拱脚弯矩值, 使得拱肋正、负弯矩峰值相近, 充分利用钢材拉、压性能, 达到合理的受力状态。

(2) 对于简支体系, 梁拱组合体系可显著提高结构刚度, 矢跨比、拱肋断面尺寸对结构刚度影响较小。拱肋断面尺寸对拱肋应力状态影响较大, 对系梁应力状态影响较小。

(3) 对于纵、横格梁桥面系, 纵梁的数量对横梁受力状态影响较小, 在结构设计时可根据横梁长度设置 1~2 道纵梁。

参考文献:

[1] 徐利平.谈城市景观桥梁[C]//第二十一届全国桥梁学术会议论文集.北京:人民交通出版社,2014:272-279.
[2] 李映.拱梁组合体系桥梁的拱梁相对刚度分析[J].桥梁建设,2008(1):50-53.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com