

文章编号: 0451—0712(2005)11—0015—06

中图分类号: U448. 271

文献标识码: A

部分斜拉桥结构对比分析

郑一峰^{1,2}, 黄 侨¹, 张连振¹

(1. 哈尔滨工业大学交通学院 哈尔滨市 150090; 2. 吉林省公路勘测设计院 长春市 130021)

摘 要: 部分斜拉桥结构介于连续梁桥和斜拉桥之间, 桥型结构兼具两者结构特性, 且又具有自身的结构特点。本文对部分斜拉桥、连续梁桥和斜拉桥 3 种桥型结构进行计算对比分析, 通过对内力和位移的分析比较, 得出了部分斜拉桥结构的力学特性, 为工程设计提供理论参考。

关键词: 部分斜拉桥; 连续梁桥; 斜拉桥; 结构分析

部分斜拉桥亦称矮塔斜拉桥, 是近十几年才发展起来的一种新型桥梁结构, 它兼有斜拉桥和连续梁桥双重结构特点, 结构有诸多优点, 在 100 ~ 300 m 跨径范围内具有很强的竞争力, 是一种很具发展潜力的桥型结构。

连续梁结构是以梁的受弯、受剪来承受竖向荷载, 当连续梁的结构体系确定以后, 其荷载效应也随之确定, 不会发生改变。连续梁中支点处存在较大的负弯矩和剪力, 跨中处存在较大的正弯矩, 沿梁纵向内力变化较大, 分布不均匀。

部分斜拉桥是在连续梁桥基础上发展起来的新结构, 承袭了连续梁桥的受力特点, 仍以主梁受弯、受剪来承担大部分荷载效应; 但增加了斜拉索承担部分荷载效应的作用, 斜拉索对主梁起到了一定的帮扶作用, 克服了连续梁结构受力方面的弱点, 改变了主梁的受力状况, 主梁内力状况向斜拉桥转变。由于斜拉索的索力是可调的, 通过施调索力, 可以改变主梁的内力分布, 这一点与斜拉桥相同。

斜拉桥采用柔性主梁, 是以梁的受压和索的受拉来承受荷载效应, 荷载基本是由斜拉索来承担, 主梁只承担少部分荷载效应。主梁弯矩、剪力沿梁纵向变化不大, 分布较均匀。

从连续梁桥→部分斜拉桥→斜拉桥, 主梁承受的弯矩逐渐减小, 而轴力却逐渐增大, 连续梁以受弯为主, 斜拉桥主梁以受压为主, 而部分斜拉桥主梁则以受弯、受压为主。

为了进一步探究部分斜拉桥结构的受力特性, 本文对连续梁桥、部分斜拉桥、斜拉桥进行结构计算, 在相同荷载作用下, 对 3 种桥型结构的内力和位移做对比分析, 找出部分斜拉桥结构的力学特性及与其他两种结构的差异。

1 结构模型建立

分析采用 5 种结构模型: (1) 连续梁桥; (2) 部分斜拉桥 I; (3) 部分斜拉桥 II; (4) 斜拉桥 I; (5) 斜拉桥 II。各桥型结构布置见图 1 所示, 5 种模型结构尺寸及计算参数见表 1。

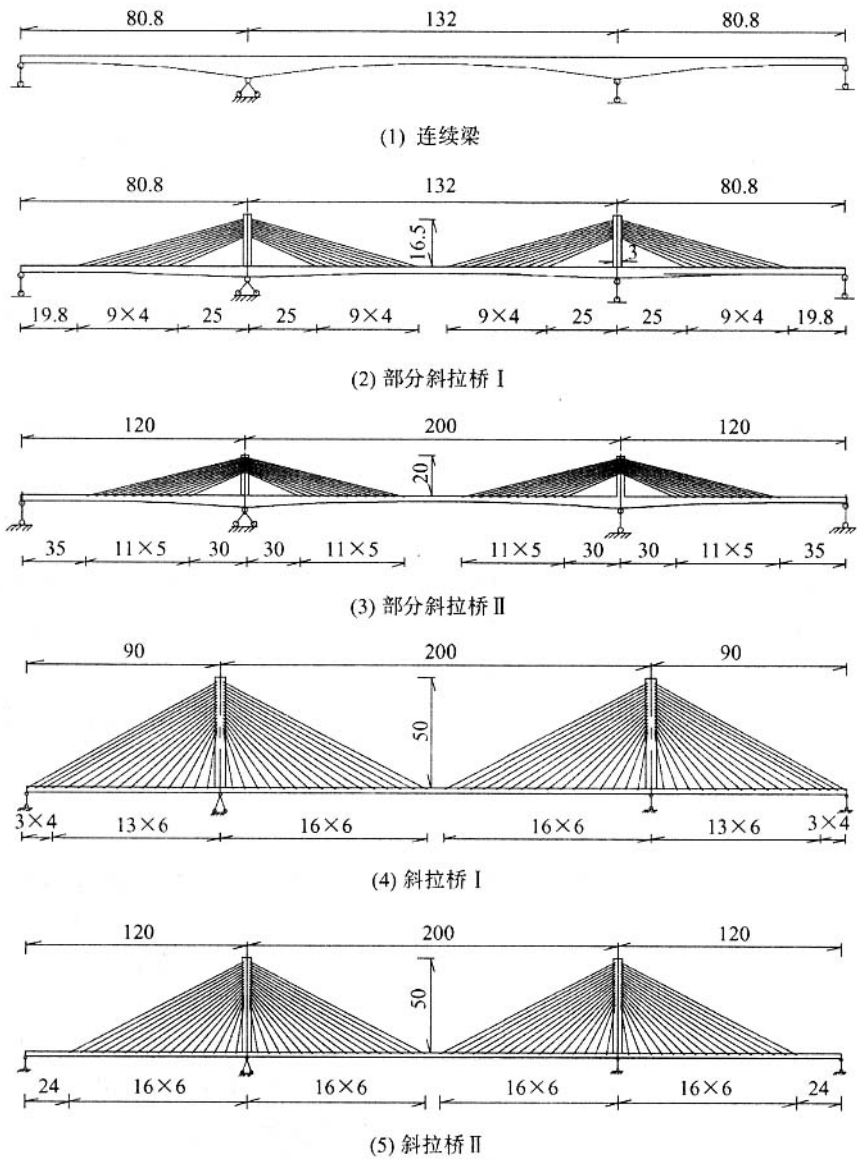
部分斜拉桥 I 与连续梁桥跨径布置相同; 部分斜拉桥 II 与斜拉桥 I 的中跨跨径相同而边跨不同, 部分斜拉桥 II 与斜拉桥 II 的跨径布置相同。

5 种结构模型主梁均采用单箱三室大悬臂混凝土箱梁, 桥面宽均为 27 m。连续梁桥和部分斜拉桥主梁采用变截面形式, 梁高按 2 次抛物线变化, 斜拉桥主梁采用等截面形式。斜拉桥 I 和斜拉桥 II 的塔、梁几何尺寸相同, 拉索索距相同。斜拉桥 I 有端锚索, 直接锚固在边支座上, 斜拉桥 II 有 24 m 边跨底部无索区段。

2 结构分析假定

为了使结构计算结果具有可比性, 在本文的计算分析中有如下假定:

(1) 部分斜拉桥和斜拉桥均采用塔梁固结、梁底



单位:m

图 1 桥型结构布置

表 1 模型结构主要尺寸及参数

编号	结构型式	跨径布置 m	边中跨比	索 塔				主 梁				拉 索	
				高 m	面积 m ²	抗弯惯矩 m ⁴	弹性模量 MPa	高 m	面积 m ²	抗弯惯矩 m ⁴	弹性模量 MPa	面积 mm ²	弹性模量 MPa
(1)	连续梁	80.8+132+ 80.8	0.61	—	—	—	—	2.5 ~7.5	16.64 ~65.38	16.7 ~481.8	3.5×10 ⁴	—	—
(2)	部分斜拉桥 I	80.8+132+ 80.8	0.61	16.5	5.1	3.825	3.5×10 ⁴	2.4 ~3.8	15.87 ~39.69	13.78 ~75.88	3.5×10 ⁴	8 618	1.9×10 ⁵
(3)	部分斜拉桥 II	120+200+ 120	0.60	20	8.0	10.67	3.5×10 ⁴	3.0 ~6.0	17.2 ~44.54	23.95 ~214.9	3.5×10 ⁴	8 618	1.9×10 ⁵
(4)	斜拉桥 I	90+200+ 90	0.45	50	10.62	28.34	3.5×10 ⁴	2.5	15.8	15.04	3.5×10 ⁴	11 000 ~5 700	1.9×10 ⁵
(5)	斜拉桥 II	120+200+ 120	0.60	50	10.62	28.34	3.5×10 ⁴	2.5	15.8	15.04	3.5×10 ⁴	11 000 ~5 700	1.9×10 ⁵

设支座的结构体系,与连续梁体系相同,具有相同的支承边界条件;

(2)计算图示为运营状态的结构形式,不考虑施工过程中的内力和位移累积效应,只考虑活载对结构产生的内力和位移;

(3)采用相同的荷载标准计算分析,将汽车一超 20 级荷载换算成等代均布荷载 $q=60\text{ kN/m}$,分别施加于结构边、中跨,用以结构刚度分析,采用汽车一超 20 级荷载进行动态加载,计算结构最大内力;

(4)部分斜拉桥和斜拉桥的成桥索力通过影响矩阵法优化后得出,施加于索单元中;

(5)文中弯矩以 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 为单位,主梁上缘受拉为负,反之为正,挠度以 cm 为单位,挠度以向上为正,反之为负。

3 计算结果分析

3.1 部分斜拉桥与连续梁桥对比分析

(1)弯矩对比分析。

连续梁桥和部分斜拉桥 I 在汽车一超 20 级活载作用下的弯矩包络图见图 2,图 2 中括号内数值为连续梁桥与部分斜拉桥 I 主梁相应位置处弯矩比值。由图 2 可见,2 种桥型弯矩包络图形状大致相似,部分斜拉桥主梁包络图表现出连续梁桥包络图特点。连续梁桥中支点处的最大负弯矩是部分斜拉桥 I 的 1.68 倍;连续梁桥中跨跨中最大正弯矩反而小于部分斜拉桥 I,其值为部分斜拉桥 I 的 86%;而两桥型的边跨跨中最大正弯矩基本相等。

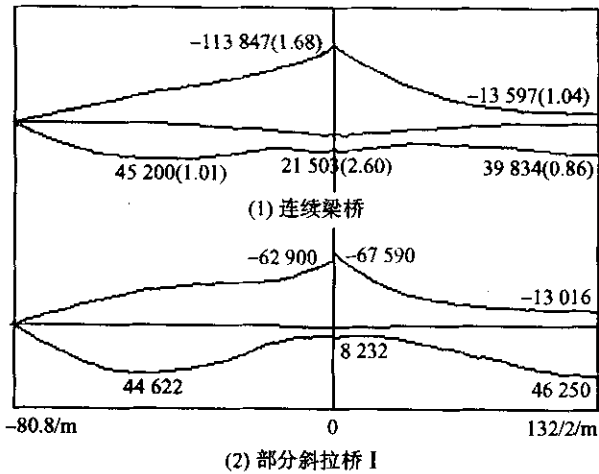


图 2 主梁弯矩包络图

连续梁和部分斜拉桥两者弯矩差异,在中支点处表现明显,而在边、中跨跨中处弯矩数值相差不大。

(2)挠度对比分析。

部分斜拉桥 I 和连续梁桥在边、中跨分别加载,产生的主梁挠度见图 3,图 3 中括号内数值为两桥型主梁边、中跨跨中挠度比值。由图 3 可见,部分斜拉桥 I 在边、中跨分别加载时产生的主梁边、中跨跨中挠度值均大于连续梁桥,边跨加载时,部分斜拉桥 I 的边跨跨中挠度是连续梁桥的 1.69 倍,中跨加载时,部分斜拉桥 I 的中跨跨中挠度是连续梁桥的 1.80 倍。由此可见,部分斜拉桥结构整体刚度明显小于连续梁桥,这是由于部分斜拉桥主梁高度小于连续梁桥所决定的。

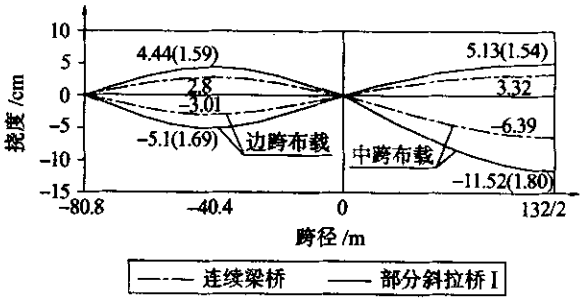


图 3 部分斜拉桥 I 和连续梁桥主梁挠度

《公桥规》中,规定主梁跨中挠度允许值为 $L/600$;对于中跨跨径为 132 m 的部分斜拉桥 I 而言,挠度限值为 22 cm。部分斜拉桥 I 在中跨布载时产生的最大挠度为 -11.52 cm ,虽大于连续梁桥跨中最大挠度 -6.39 cm ,但仍远小于《公桥规》中规定的挠度允许值。

3.2 部分斜拉桥与斜拉桥对比分析

(1)弯矩对比分析。

部分斜拉桥 II、斜拉桥 I 和斜拉桥 II 3 种桥型在汽车一超 20 级荷载作用下的弯矩包络图见图 4,图 4 中括号内数值为部分斜拉桥 II 分别与斜拉桥 I、斜拉桥 II 主梁相应位置处弯矩比值。由图 4 可见,部分斜拉桥的弯矩包络图形状与斜拉桥明显不同,部分斜拉桥的弯矩包络图与连续梁相似,而斜拉桥弯矩包络图各点处弯矩分布较均匀,显示出了柔性结构的特点。部分斜拉桥 II 主梁中支点处最大负弯矩明显大于斜拉桥,其值分别是斜拉桥 I 和斜拉桥 II 的 4.17 倍和 3.85 倍。部分斜拉桥 II 主梁中跨跨中最大正弯矩亦大于斜拉桥,其值分别是斜拉桥 I 和斜拉桥 II 的 2.41 倍和 1.64 倍。部分斜拉桥 II 边跨跨中最大正弯矩是斜拉桥 I 的 2.28 倍,而与斜拉桥 II 数值相近,是它的 1.18 倍。

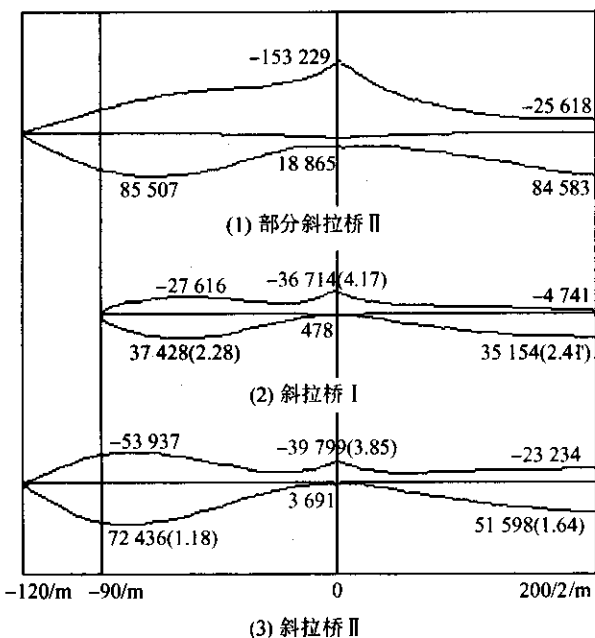


图 4 主梁弯矩包络图

部分斜拉桥 II、斜拉桥 I 和斜拉桥 II 3 种桥型在汽车一超 20 级荷载作用下,塔根最大正弯矩分别为 17 800 kN·m、17 600 kN·m 和 224 00 kN·m,最大负弯矩分别为 -19 700 kN·m、-18 800 kN·m 和 -22 800 kN·m,3 种桥型塔根处最大正、负弯矩相差不大。

(2) 挠度对比分析。

部分斜拉桥 II、斜拉桥 I 和斜拉桥 II 3 种桥型在中跨、边跨分别加载时,产生的主梁挠度见图 5,图 5 中括号内数值为部分斜拉桥 II 分别与斜拉桥 I、斜拉桥 II 主梁相应处挠度比值。由图 5 可见,部分斜拉桥 II 主梁挠度居于斜拉桥 I、斜拉桥 II 之间,中跨跨中挠度为 -25.75 cm,允许挠度按 $L/600$ 计,应为 33.3 cm,满足《规范》要求。

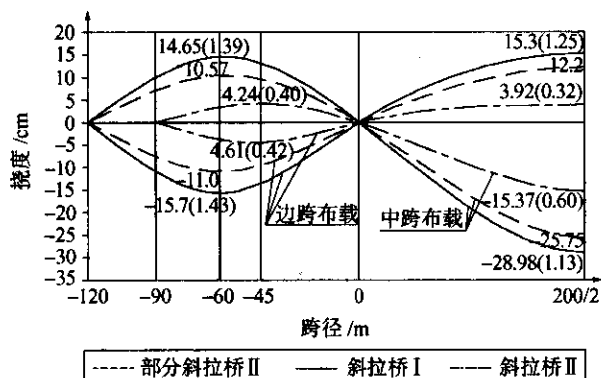


图 5 部分斜拉桥 II、斜拉桥 I 和斜拉桥 II 主梁挠度

上述 3 种桥型在中跨布载时,塔顶水平位移分别为 5.83 cm、5.61 cm 和 12.2 cm。部分斜拉桥 II 与斜拉桥 I 塔顶位移相近,而远远小于斜拉桥 II,仅是其 48%,这是由于斜拉桥 II 索塔高度是部分斜拉桥 II 索塔高度的 2.5 倍所致。

斜拉桥 I 边中跨比值为 0.45,因有端锚索作用,当中跨布载时,端锚索限制了索塔向跨中方向倾斜,从而减小了塔顶位移和中跨挠度。而部分斜拉桥 II 和斜拉桥 II 边跨边部均有无索区段,无端锚索作用,当中跨布载时,边跨主梁产生向上的位移,拉索不能有效地限制由于主梁转角产生的索塔向跨中方向倾斜,因此导致跨中主梁产生的挠度大于有端锚索的斜拉桥 I。

3.3 斜拉索作用对比分析

3.3.1 斜拉索加劲作用对比分析

部分斜拉桥 I、部分斜拉桥 II 在有拉索作用下,由汽车一超 20 级荷载产生的主梁弯矩如前所述,弯矩包络图见图 2(2)、图 4(1)。

为了解部分斜拉桥拉索对主梁的帮扶作用,即拉索承担荷载效应大小,结构分析时,取消部分斜拉桥 I、部分斜拉桥 II 的拉索作用,计算汽车一超 20 级荷载完全由主梁承担时产生的内力。

部分斜拉桥 I、部分斜拉桥 II 在无拉索作用下,由汽车一超 20 级荷载产生的主梁弯矩包络图见图 6、图 7,图 6 中括号内数值为部分斜拉桥 I 有、无拉索作用时主梁相应处弯矩比值,图 7 中括号内数值为部分斜拉桥 II 有、无拉索作用时主梁相应处弯矩比值。

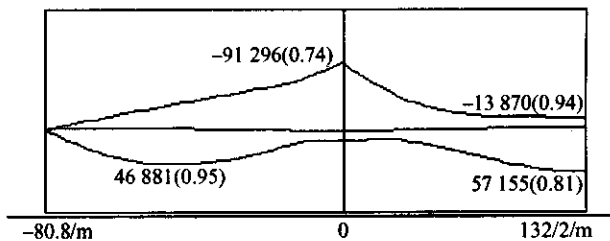


图 6 部分斜拉桥 I 无拉索作用主梁弯矩包络图

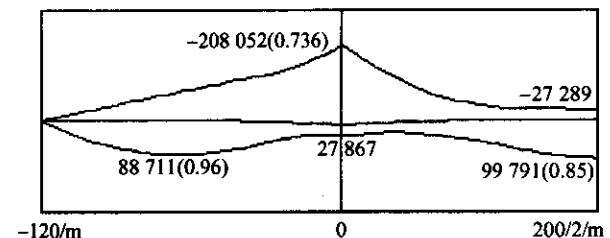


图 7 部分斜拉桥 II 无拉索作用主梁弯矩包络图

由图 6 和图 2(2)比较可见,部分斜拉桥 I 主梁支点负弯矩差异较大,在无拉索作用时,主梁支点最大负弯矩为 $-91\,296\text{ kN}\cdot\text{m}$,有拉索作用时主梁支点最大负弯矩减少至 $-67\,590\text{ kN}\cdot\text{m}$,有拉索作用时主梁支点弯矩是无拉索作用的 74%,可理解成拉索替主梁支点处承担了 26%的荷载效应。拉索作用对主梁中跨跨中没有支点处明显,在无拉索作用时,主梁中跨跨中最大正弯矩为 $57\,155\text{ kN}\cdot\text{m}$,有拉索作用时,主梁中跨跨中减小至 $46\,250\text{ kN}\cdot\text{m}$,是无拉索作用时的 81%,即拉索替主梁中跨跨中处承担了 19%的荷载效应。但是,拉索对主梁边跨跨中作用不明显,有无拉索作用时,边跨跨中最大正弯矩差别不大,仅减小 5%。

由图 7 与图 4(1)比较可见,部分斜拉桥 II 主梁支点负弯矩差异较大,有拉索作用时主梁支点负弯矩是无拉索作用时的 73.6%,即拉索替主梁支点处承担了 26.4%的荷载效应。主梁中跨跨中处有拉索作用时最大正弯矩是无拉索作用时的 85%,即拉索替主梁中跨跨中处承担了 15%的荷载效应。主梁边跨跨中处两者差别不明显,仅减小 4%。

通过对部分斜拉桥 I、部分斜拉桥 II 分别在有、无拉索作用条件下计算分析可知,拉索作用减小了主梁弯矩,在支点处承担了近 30%的弯矩效应,拉索作用对主梁支点处影响明显,中跨跨中次之,对主梁边跨跨中影响不大。

3.3.2 斜拉索影响线对比分析

影响线表示结构某一截面的内力或位移受到作用于其他截面的外力对其产生的影响,其数值是由组成结构的各个部分的刚度确定的。部分斜拉桥和斜拉桥的主要区别在于,拉索承受荷载效应大小不同,部分斜拉桥拉索仅承担小部分荷载效应,而斜拉桥拉索承担大部分荷载效应。因此通过对两结构拉索影响线的对比分析,可探究两结构受力性能的差异,对部分斜拉桥拉索作用有进一步的认识。

选取部分斜拉桥 II、斜拉桥 I 和斜拉桥 II 3 种桥型结构有代表性的 6 根拉索进行影响线对比分析,拉索影响线计算模型见图 8,1~6 号拉索索力影响线见图 9~图 14。

把拉索与梁身相交处影响线值称为分担系数,表示单位荷载作用在该断面时拉索所分担的力。6 根拉索的分担系数见表 2。

1 号索为外边索,也称背索,其影响线与其他索不同,最大索力影响线负值出现在中跨跨中附近,且

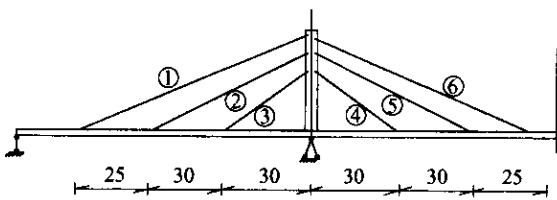


图 8 拉索影响线计算模型

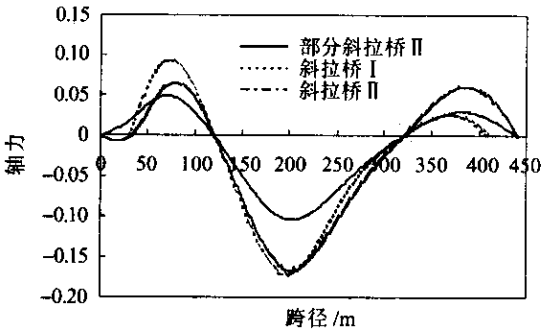


图 9 1 号索索力影响线

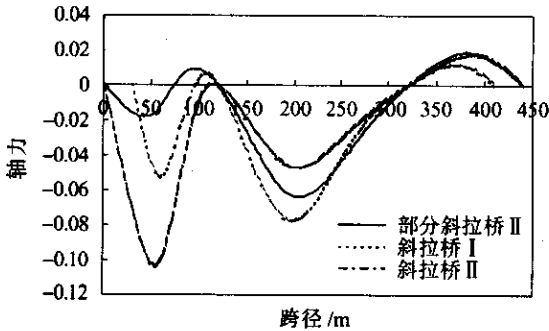


图 10 2 号索索力影响线

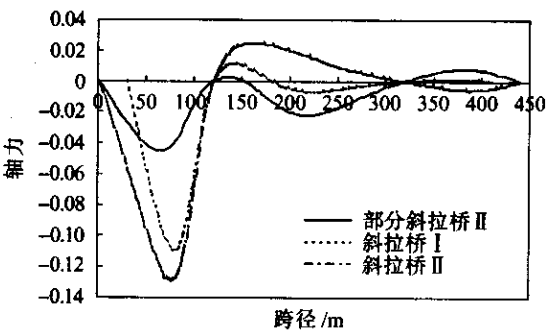


图 11 3 号索索力影响线

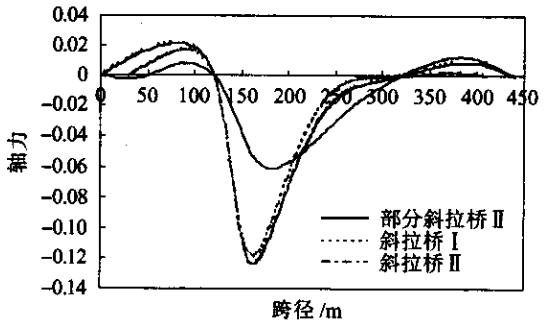


图 12 4 号索索力影响线

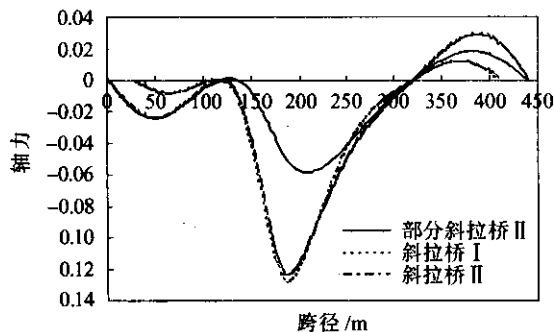


图 13 5 号索力影响线

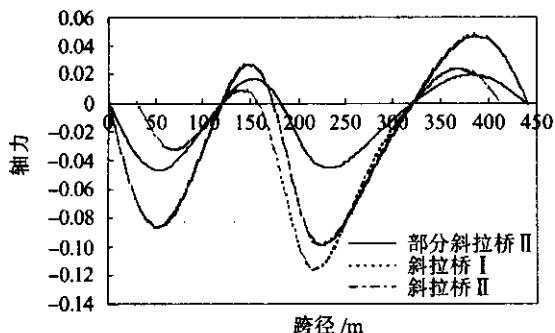


图 14 6 号索力影响线

表 2 拉索分担系数

桥型	索 号					
	1	2	3	4	5	6
部分斜拉桥 II	0.022	-0.012	-0.030	-0.038	-0.044	-0.031
斜拉桥 I	0.013	-0.053	-0.098	-0.104	-0.123	-0.107
斜拉桥 II	0.0036	-0.101	-0.111	-0.108	-0.118	-0.082

边跨荷载使其产生较大的压力(卸载),影响线最大值(压力)和最大负值(拉力)均大于其他索,说明外边索应力幅度最大。

2~6 号索影响线形状基本相似,最大负值大都出现在拉索附近,拉索附近的荷载使其产生较大的拉力。

部分斜拉桥索力影响线值大都小于斜拉桥,特别是峰值处表现尤为明显。

对部分斜拉桥 1~3 号边跨索而言,边跨荷载对其影响由压力逐渐向拉力转变,逐渐增大,中跨荷载对其产生的拉力由大到小,逐渐降低。对部分斜拉桥 4~6 号中跨索而言,边跨荷载对其产生的影响由压力

逐渐向拉力转变,逐渐增加,中跨荷载对其产生的拉力变化不大,相对稳定。

4 结 论

(1)在汽车荷载作用下,部分斜拉桥主梁弯矩包络图与连续梁桥相似,仍反应出梁式桥的受力特点。支点处最大负值弯矩是连续梁的 0.6 倍,接近 1/2,边、中跨跨中处最大正弯矩两桥型基本接近。通过上述分析认为,已建部分斜拉桥主梁支点梁高大约是连续梁桥的一半,跨中梁高与连续梁桥大致相同是合理的。

(2)部分斜拉桥主梁弯矩包络图与斜拉桥差异较大,无论支点、跨中弯矩均明显大于斜拉桥。

(3)拉索作用对部分斜拉桥支点处最大负弯矩影响明显,拉索承担了支点处近 30% 的荷载效应,对边、中跨跨中处最大正弯矩影响较小。

(4)部分斜拉桥主梁挠度大于连续梁桥,整体刚度比连续梁桥小。部分斜拉桥主梁挠度大于边中跨比为 0.45 并设置端锚索的斜拉桥 I,而小于边中跨比为 0.6、有边跨无索区的斜拉桥 II。

(5)部分斜拉桥由于主梁刚度大,其索力影响线数值和索力分担系数明显小于斜拉桥,说明部分斜拉桥拉索承担的荷载较斜拉桥小,仅承担部分荷载,荷载由主梁和拉索共同承担。

参考文献:

- [1] 林元培. 斜拉桥[M]. 北京:人民交通出版社,1995.
- [2] 王伯惠. 斜拉桥结构发展和中国经验(上册)[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [3] 顾安邦. 桥梁工程(下册)[M]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [4] 陈亨锦,王凯,李承根. 浅谈部分斜拉桥[J]. 桥梁建设,2003,(1).
- [5] 余永强,李敏,陈亨锦. 漳州战备大桥主桥设计[J]. 桥梁建设,2002,(1).
- [6] 戴利民. 协作体系斜拉桥的结构分析[J]. 上海:同济大学学报,2000,(1).
- [7] 陈德伟,范立础,张权. 独塔斜拉桥的总体布置和参数研究[J]. 土木工程学报,1999,(3).

文章编号: 0451-0712(2005)11-0021-04

中图分类号: U448.222

文献标识码: A

飞燕式钢管混凝土拱桥的计算图式

程翔云

(湖南大学土木工程学院 长沙市 410082)

摘要: 结合桥梁的受力特点和施工方法,提出了飞燕式钢管混凝土拱桥在不同阶段的计算图式和拱肋等代截面的计算公式。这些对于设计人员来说是有参考意义的。

关键词: 飞燕式;钢管混凝土;等代截面;自锚式拱桥;计算图式;中承式拱桥

1 主孔拱肋的受力特点

飞燕式(自锚式)的中承式钢管混凝土拱桥,一般多采用缆索吊装系统进行施工。其主孔拱肋在整个受力过程中存在以下几个方面的特点。

(1)主孔拱肋的钢管借肋扣索和风缆系统的支持和稳定作用,成为压注管心混凝土阶段的一个天然的而永不拆卸的拱架。待混凝土达到设计强度以后,二者便形成一个组合截面,共同担负着主要承重结构的一部分。

(2)锚固在两边飞燕(悬半拱)上端之间的钢绞线(又称系杆),是随着吊杆、横梁、立柱及桥面结构等重量的不断增加而逐次对它施加张拉力的,通过钢筋混凝土悬半拱拱肋与群桩基础共同来平衡主孔拱肋的水平推力,如图 1(2)所示。

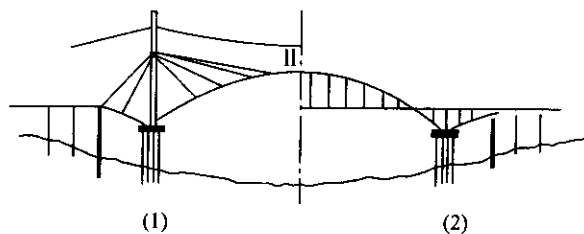


图 1 飞燕式的中承式钢管混凝土拱桥施工布置及立面

(3)在桥面连续构造完成以前,结构的传力途径是:桥道板(梁)→横梁或盖梁→吊杆或拱上立柱→主拱拱肋、悬半拱及系杆→桥墩(台)及基础等。此时的桥道板(梁),横梁及盖梁不能参与整体结构的受力,而只能作为外荷载作用于吊杆下端及立柱的顶端。当桥面连续构造完成以后,桥面结构才能参与整

收稿日期:2005-03-18

Structure Compacative Analysis of Partially Cable-Stayed Bridges

ZHENG Yi-feng^{1,2}, HUANG Qiao¹, ZHANG Lian-zhen¹

(1. School of Science and Engineering on Communication, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. Jilin Provincial Highway Reconnaissance and Design Institute, Changchun 130021, China)

Abstract: Partially cable-stayed bridge is a bridge structure style in between continuous beam bridge and cable-stayed bridge. This type of bridge possesses the characters of the two kinds of above bridges, and it also has oneseft characters. Partially cable-stayed bridge, continuous beam bridge and cable-stayed bridge are calculated and compared in this paper, and the calculation results such as internal force and displacement are compared. The mechanics character of partially cable-stayed bridge is drawn out lastly. All of above provide the theory reference to engineering design.

Key words: partially cable-stayed bridge; continuous beam bridge; cable-stayed bridge; structure analysis