

文章编号: 0451-0712(2007)03-0080-04

中图分类号: U442.54

文献标识码: B

斜拉—悬索协作体系桥的主要设计参数分析

靳国胜¹, 杨子江², 刘炎海²

(1. 重庆交通科研设计院 重庆市 400067; 2. 兰州交通大学 兰州市 730070)

摘 要: 应用自编的协作体系几何非线性计算分析程序, 以成桥状态为初始状态, 针对吊跨比、矢跨比、辅助墩数量及不同结构体系等主要设计参数, 计算分析了不同荷载作用下结构的静力特性, 分析对比得出的结论对协作体系桥的设计具有一定的参考价值。

关键词: 斜拉—悬索桥; 几何非线性; 参数分析

斜拉—悬索协作体系桥, 又称之为吊拉组合桥, 最早出现于 19 世纪初期的法国, 是把斜拉桥和悬索桥这两种桥式结合起来形成的一种缆索承重桥梁, 大致可以分为罗勃林和狄辛格两大体系。其中狄辛格体系新颖独特、受力明确、施工简便, 从而成为当前协作桥的代表性体系。

为了便于狄辛格协作体系桥的设计, 笔者应用自编的协作体系几何非线性计算分析程序, 通过修改协作体系桥的一些主要参数而使另外一些参数保持不变, 统计分析该参数对内力和变形的影响, 确定出主要设计参数(包括吊跨比、矢跨比、辅助墩个数、不同结构体系等)的取值范围。

1 计算模型

参数分析计算模型按照如下原则确定。

(1) 计算图式为运营状态的结构体系, 不考虑施

工过程的内力叠加和施工状态的结构内力, 即悬吊部分按其成桥状态, 斜拉部分按一次落架计算其内力状态。

(2) 斜拉部分按一次落架计算时, 对斜拉索索力进行优化, 索力优化原则为斜拉部分梁单元的弯曲能量最小。

(3) 荷载: 活载按公路—I 级荷载计算。为方便比较, 活载均按单车道计算; 均布荷载按集度为 50 kN/m 计算, 温度荷载按升温 30℃ 计算。

(4) 量纲单位规定如下: 长度为 m, 角度为 rad, 弯矩为 kN·m, 索力、剪力及轴力为 kN; 索力均以受拉为正, 竖向位移以向上为正。

为便于分析对比, 给出一大跨径协作桥计算模型, 见图 1 所示。加劲梁一期恒载按 86.397 kN/m 计算。作用在加劲梁上的二期恒载集度为 50 kN/m, 主缆单缆沿主缆方向单位长度恒载为 14.524 kN/m。

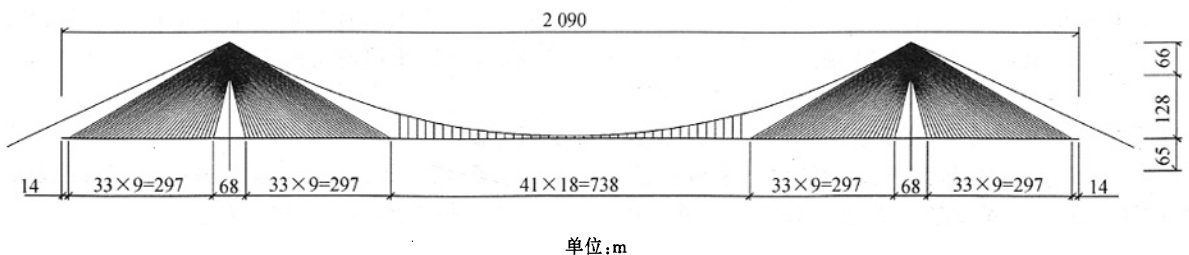


图 1 计算模型

各构件几何物理特性参数见表 1。

表 1 各构件几何物理特性参数

构件名称	弹性模量	截面面积	抗弯惯性矩	容重
主塔(单柱)	3.3×10^7	30	320	26
斜拉索	2.1×10^7	0.008	0	76.44
主梁	2.1×10^7	1.100 6	1.844	78.5
吊索	2.1×10^7	0.006 4	0	76.44
主缆	2.1×10^7	0.19	0	76.44

2 计算结果分析

2.1 吊跨比的影响

保持桥梁全长不变,塔高不变,锚碇位置不变,斜拉索及吊索间距不变;改变边跨与中跨之比,从而改变吊跨比。计算比较的 5 种计算模型见表 2。

表 2 5 种计算模型跨径布置

模型	吊跨比	中跨布置	边跨布置	边跨/中跨
A	0.402	$34+39 \times 9+13+28 \times 18+13+39 \times 9+34=1\ 300$	$34+39 \times 9+10=395$	0.304
B	0.514	$34+33 \times 9+18+39 \times 18+18+33 \times 9+34=1\ 400$	$34+33 \times 9+14=345$	0.246
C	0.624	$34+27 \times 9+14+51 \times 18+14+27 \times 9+34=1\ 500$	$34+27 \times 9+18=295$	0.197
D	0.709	$34+22 \times 9+10+62 \times 18+10+22 \times 9+34=1\ 600$	$34+22 \times 9+13=245$	0.153
E	0.784	$34+16 \times 9+15+73 \times 18+15+16 \times 9+34=1\ 700$	$34+16 \times 9+17=195$	0.115

(1)全桥均布荷载作用下结构静力性能比较。

主缆成桥索力随吊跨比的增大而增大,吊跨比由 0.402(模型 A)增大到 0.784(模型 E)时,成桥水平索力、竖直索力分别增至 2.32 倍、2.10 倍。即吊跨比越大,对主缆的受力要求越高,吊跨比的选择对主缆索力起着至关重要的作用。各模型相对索力增量相

差较小,大约都在 25% 左右。

对吊索,吊跨比由 0.4 逐渐增大时,边吊索索力增量由正变为负,即边吊索索力随着吊跨比的增大而逐步变小,在吊跨比大于 0.67 时便出现“卸载”现象,甚至有可能变为受压,从而退出工作,这对于吊索的疲劳问题是很不利的。吊跨比对次边吊索的影响稍弱,但在吊跨比大于 0.8 时也会出现“卸载”现象。其余吊索索力增量变化不大,受吊跨比的影响较小。

对交接区域的斜拉索,索力增量随吊跨比的增大而增大。在吊跨比大于 0.7 时,斜拉索索力增量突增,变至成桥索力的 1.0 倍以上,有可能超过拉索极限索力,设计时应加以注意。

塔底弯矩随吊跨比变化见图 2 所示。在吊跨比小于 0.7 时,塔根弯矩变化比较平缓,大于 0.7 时,弯矩便急剧增大。因此,从塔的受力方面考虑,吊跨比一般取为 0.7 以下。

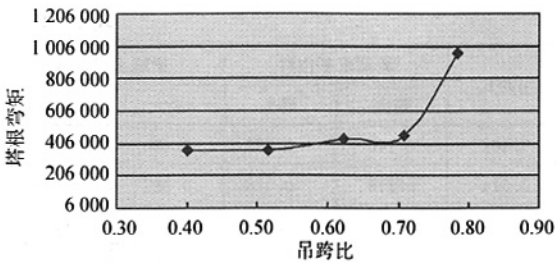


图 2 塔根弯矩变化曲线

均布荷载作用下,不同吊跨比下的位移计算结果见表 3。跨中挠度随吊跨比的增大而增大,主要原因是悬吊区刚度比斜拉区要小,增大悬吊区的长度会促使挠度增大。塔顶水平位移变化幅度较小。索鞍切点水平变化量较大,竖向变化量较小,都随吊跨比的增大而逐步变大。

表 3 不同吊跨比下位移比较

模型	跨中挠度	塔顶水平位移	中跨右索鞍切点					
			初始切点位置(x,y)		加载后切点位置(x,y)		切点位置变化量(Δx,Δy)	
A	-2.675	0.412	647.220	192.829	646.842	192.835	-0.378	0.006
B	-2.934	0.416	697.212	192.872	696.819	192.871	-0.393	-0.001
C	-3.883	0.465	747.138	192.868	746.671	192.857	-0.467	-0.011
D	-4.779	0.497	797.018	192.844	796.511	192.829	-0.507	-0.015
E	-5.719	0.580	846.848	192.798	846.245	192.776	-0.603	-0.022

注:塔顶水平位移以向河心侧为正,梁端水平位移以向桥跨侧为正。

(2) 汽车荷载作用下结构静力性能比较。

边吊索最大活载索力(即最大受拉活载索力)随着吊跨比的增大而减小,但最大受压活载索力却随着吊跨比的增大而增大,见图3所示。成桥索力的其余吊索最大活载索力变化不大,基本处于成桥索力的9.7%~12.4%之间。

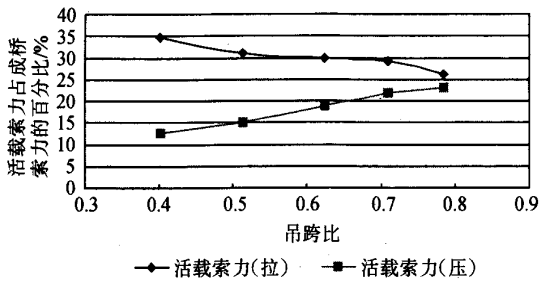


图3 边吊索活载索力变化曲线

塔根活载弯矩随吊跨比的增大而逐渐减小。边跨最大活载弯矩在吊跨比约为0.5时达到最大,中

跨最大活载弯矩随吊跨比的增大而增大。因此,应确定一个最佳吊跨比的范围,使塔弯矩和主梁弯矩均处于比较理想的状态。计算结果表明,边跨活载弯矩对吊跨比的变化不敏感,塔根弯矩在吊跨比大于0.514以后变化平缓,中跨最大弯矩在吊跨比处于0.514~0.624之间时变化也不大,因此,综合考虑吊跨比可选择在0.5~0.6之间比较合适。

对主梁竖向位移包络图,边跨侧活载位移随吊跨比的增大而减小,因为吊跨比的增大意味着边跨长度的减小,故活载位移会变小。由表4可见,中跨最大活载位移(即向上的位移)随吊跨比变化不大,向下的活载位移随着吊跨比的增大而增大。从活载位移与中跨长度之比来看,吊跨比在0.514时比值最小,小于或大于0.514时比值均增大。也就是说,在协作体系中,当斜拉部分和悬吊部分各占中跨一半时,活载位移值达到最小。

表4 不同吊跨比下活载位移

吊跨比	塔顶水平位移		梁端水平位移		边跨位移		中跨位移		
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	活载位移/跨度
0.402	0.140	-0.032	0.430	-0.366	0.806	-0.692	0.775	-0.991	1:131.2
0.514	0.118	-0.018	0.383	-0.283	0.559	-0.431	0.692	-1.004	1:139.4
0.624	0.119	-0.010	0.418	-0.370	0.549	-0.434	0.848	-1.164	1:128.9
0.709	0.120	-0.006	0.354	-0.263	0.340	-0.246	0.719	-1.283	1:124.7
0.784	0.127	-0.003	0.317	-0.277	0.262	-0.176	0.764	-1.483	1:114.6

注:塔顶水平位移以向河心侧为正,梁端水平位移以向桥跨侧为正。

(3) 温度荷载下,主缆索力增加较小,但索力增量随吊跨比的增大先增后减,在吊跨比约为0.5时达到最大值。塔根弯矩在吊跨比为0.63时最大,在吊跨比大于0.7以后就逐渐趋于平缓。

2.2 矢跨比的影响

由于跨中主缆离主梁的距离一般在3~8 m,变化不大,所以矢跨比的改变是通过塔高的改变来实现的,保持其余参数不变。对普通悬索桥,矢跨比一般在1/10左右;而对双塔斜拉桥,塔高与主跨比一般在1/4左右。所以对斜拉-悬索协作体系,可以考虑矢跨比在二者之间波动。本文矢跨比定义为跨中矢高与中跨长度之比值。以下分析矢跨比分别为1/5.49,1/6.39,1/7.41,1/8.48,1/9.66,1/11.20时的结构静力性能。

(1) 全桥在均布荷载作用下,主缆成桥水平索力随矢跨比的减小而增大,竖直索力变化很小。表明塔

高的变化只影响到水平索力的变化,而竖直索力对其不敏感。

对斜拉索,随着矢跨比的减小,索力增量整体上变大,特别是边索的索力增长幅度更大。边吊索索力随着矢跨比的减小而减小,其余吊索索力增量与矢跨比关系不大,基本维持在成桥索力的35%左右。

斜拉区主梁最大轴力随矢跨比的减小而增大,悬吊区轴力较小,而且主梁随着矢跨比的减小由受压逐步变为受拉。塔底弯矩随矢跨比的减小而增大;塔梁交接区由于采用悬浮体系,出现较大的正弯矩,悬吊区正弯矩基本上随着矢跨比的减小而逐步增大。

跨中挠度随矢跨比的增大而减小,而且逐渐趋于平缓,即塔越高,结构竖向整体刚度就越大。

(2) 汽车荷载作用下结构静力性能比较。

主缆索力基本上随矢跨比的减小而逐步增大,

且在矢跨比小于0.1时,主缆活载索力突增。

边吊索活载索力随矢跨比的减小而逐步增加,从30%(活载索力与成桥索力的比值)增至45%。无论在何种矢跨比下,边吊索活载索力变化幅度都较大,而其余吊索活载索力变化则较小。

塔底弯矩随着矢跨比的减小而增大,塔越高,塔根活载弯矩就越小。因此,尽可能地选择大的矢跨比对结构是比较有利,但同时会增加桥塔的造价,因此应综合考虑来确定。

另外对主梁竖向位移包络图的分析表明:矢跨比越小,边跨活载产生的最大正负位移量就越大,而中跨却恰恰相反。中跨向上活载位移随矢跨比的减小而减小,但向下的活载位移随矢跨比的减小而增大。

2.3 辅助墩个数的影响

在边跨分别布置0(即没有辅助墩)、1、2、3个辅助墩,计算分析辅助墩数量对结构性能的影响,计算结果如下。

(1)均布荷载作用下,设置辅助墩的数量越多,跨中位移、塔顶位移及梁端水平位移就越小,边吊索索力也就越小,但降低的幅度很小。对塔底弯矩,设置辅助墩越多,弯矩就越小。

(2)设置辅助墩将会降低吊索活载索力,但辅助墩个数超过2个时,索力降低的幅度很小,因此设置过多的辅助墩并不能更有效地降低活载索力变化幅度。

设置辅助墩会使活载位移变小,主梁弯矩也随辅助墩的数量增加而降低。但辅助墩数量超过2个时,这种减小幅度就越来越小,特别对边跨弯矩,反而有上升的趋势。

2.4 结构体系的影响

计算比较漂浮体系、半漂浮体系和塔梁固结体系3种结构体系对结构静力性能的影响,计算结果如下。

(1)温度对漂浮和半漂浮体系的影响基本一致,但对固结体系则会产生巨大的塔底弯矩,对结构很不利。但采用固结体系可以增大结构刚度,使塔顶水平位移比漂浮体系减少18%,梁端水平位移减少40%。

(2)汽车荷载作用下,漂浮体系和半漂浮体系产生的效应大致相同,但在固结体系中梁端水平位移较小,塔底弯矩也比漂浮体系有所减少。因此,采用固结体系可以降低吊索活载索力,有利于减小吊索交变应力幅。

3 结语

斜拉和悬索协作桥结合了斜拉桥和悬索桥的优势,能适应某些特殊困难条件下桥位的需要,具有很好的技术经济效益。本文以协作体系的成桥状态作为初始状态,针对不同的设计参数,分析了不同荷载作用下结构的静力特性,可以得出以下结论。

(1)吊跨比的选择对主缆索力起着至关重要的作用。在吊跨比大于0.67时,边吊索便出现“卸载”现象,有可能变为受压而退出工作,这对于吊索疲劳是很不利的。从塔的受力方面考虑,吊跨比一般取为0.7以下。

协作体系中,当斜拉部分和悬吊部分各占中跨一半时,活载位移值达到最小。综合考虑活载内力因素,吊跨比在0.5~0.6之间时比较合适。

(2)矢跨比应在0.1以上,矢跨比越大对结构受力越有利。但选用大的矢跨比会使塔增高,导致桥塔造价变大。

(3)辅助墩的设置通常不宜多于2个。

(4)固结体系可以增大结构刚度,但会产生巨大的塔根弯矩,对结构受力极为不利。故一般情况下,宜选用半漂浮体系或者漂浮体系。

参考文献:

- [1] 肖汝诚. 伶仃东航道斜拉—悬索协作体系的设计尝试[A]. 第十三届全国桥梁学术会议论文集[C]. 1998.
- [2] 唐茂林. 大跨度悬索桥空间几何非线性分析与软件开发[D]. 西南交通大学, 2003.
- [3] 孙淑红, 梦云. 吊拉组合桥交接区域吊杆的疲劳问题研究[J]. 重庆交通学院学报, 1999, 18(4).
- [4] Gordon Stanley, Podolny Walter. Future trends in suspension bridges[J]. Hong Kong of engineers, 1996, 102(2).
- [5] 肖汝诚, 项海帆. 斜拉—悬吊协作体系桥力学特性及其经济性能研究[J]. 中国公路学报, 1999, 12(3).

文章编号: 0451-0712(2007)03-0084-03

中图分类号: U448.42

文献标识码: B

弯拱桥的设想和应用探讨

宁晓骏, 刘佳林, 胡雄伟, 刘庆志

(昆明理工大学建工学院 昆明市 650224)

摘 要: 提出了弯拱桥的一种简易实现方法。通过设计和计算,证实了弯拱桥在大跨径桥梁中采用是完全可行的,而且具有较广泛的应用前景。

关键词: 弯拱桥; 设想; 大跨径

1 问题的提出

在公路建设中,除特大桥梁外,一般要求中小桥梁的平面布置服从公路线形。在进行平、纵、横三方面综合设计时,应做到平面流畅、纵坡均衡、横断面合理,避免出现长直线;应考虑车辆行驶时的安全舒适,以使驾驶人员的视觉和心理反应能保持线形的连续性;同时还必须注意与周围的环境相协调,以提高对美观的要求,此时往往需要采用弯桥。

然而在我国山区的弯桥中,绝大部分是曲线梁桥,特别是道路曲线位置处在“V”形深谷时,采用曲线梁桥出现的桥墩高达七八十米,甚至达到 100 m 以上,高墩不仅造价高昂,而且整个桥梁也给人一种“腿长身子短”的感觉,极不协调。在“V”形深谷处现阶段修建的拱桥,也基本上是采用把拱桥两端的引

桥设计成极小半径的曲线梁桥,使其勉强适应整个道路的线形,从而使行车条件达到一般,而且还可能出现为了满足曲线半径的要求,将峡谷两边的山坡挖开,出现了高边坡的现象。

本文提出了适用于山区“V”形峡谷地区的大跨径弯拱桥的构想方案,即简单地采取通过悬伸立柱上的横梁来满足平曲线的要求。通过有限元分析软件 ANSYS 进行空间受力分析,结果证明这种构思方案是可行的。

2 国内现有的研究状况

在山区,由于石料丰富,因此有修建石及圬工弯拱桥的历史,并且形成了通用设计图《弯石拱桥》—JT/GQB031-75(跨径:6,8,10,13,16,20 m;载重:

收稿日期:2006-09-25

Analysis of Main Design Parameters of Cable-Stayed and Suspension Combined System Bridge

JIN Guo-sheng¹, YANG Zi-jiang², LIU Yan-hai²

(1. Chongqing Communications Research and Design Institute, Chongqing 400067, China;

2. Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Using the program which takes into account geometrical nonlinear behavior, the structure static properties are analyzed under different load with different design parameters such as the ratio of suspension to span, the ratio of height to span, the number of auxiliary piles and structure support system, which takes completed bridge state as initial state. These conclusions drawn from the analysis offer some reference to the design parameters of this type of bridge.

Key words: cable-stayed and suspension; geometric nonlinear; parametric analysis