

中、下承式拱桥短吊杆结构行为分析

顾安邦 徐君兰

摘要 分析中、下承式拱桥短吊杆受力行为以及破坏机理,提出改进短吊杆设计的意见。

关键词 中、下承式拱 短吊杆 结构行为分析

前言

中、下承式拱桥,曲线独特、线型优美,比上承式拱桥构件简洁明快,特别在多孔连续的中、下承式拱桥,波浪起伏,横跨于江河上,有着轻巧蜿蜒自然的曲线美。当桥下净空限制或布置不等跨拱桥时,中、下承式拱桥是最佳方案。中、下承式拱桥的桥面必需有吊杆或立柱支撑,如图1。

最近某中承式拱桥发生桥面坍塌事故,其起因是短吊杆破坏。在诸多吊杆中,由于拱的矢高变化,吊杆长短不一,因此,有必要对短吊杆的构造、力学行为和破坏机理进行研究,揭示破坏原因,以改进吊杆设计,推动中、下承式拱桥更好更快的发展。

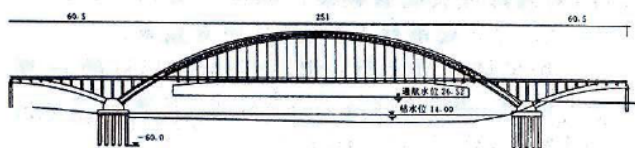


图1 中承式拱桥图式

一、吊杆破坏机理分析

1. 短吊杆受力复杂

短吊杆常处于吊杆与立柱交接处,该处集中了上部拱肋温度和受力变形,使桥面受到附加拉伸,因而短吊杆比长吊杆受到的剪力变形更大,短吊杆的下端处于反复弯曲状态,引发微裂缝的开展,大大降低了短吊杆的抗疲劳能力。

2. 短吊杆处于高频振动状态

在中、下承式拱桥的整体结构振动中,拱肋和立柱的变形能相对吊杆要小得多,可忽略不计。现仅对吊杆的横向振动进行研究,如图2。

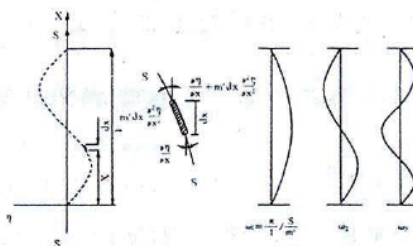


图2 吊杆的横向振动图

设吊杆长度为 L , 吊杆拉力为 S , 均匀分布质量为 m , 其水平分力为 m' 。

参考一根水平张紧钢丝的横向振动和斜拉桥斜拉索的局部振动, 吊杆的横向动力平衡方程可表示为:

$$S \left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} dx \right) - S \frac{\partial \eta}{\partial x} - m' dx \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

$$\text{或 } S \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} - m' \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

设 $C = \sqrt{\frac{S}{m'}}$ 代入上式

$$\frac{d^2 \eta}{dx^2} - C \frac{d^2 \eta}{dt^2} = 0 \quad (3)$$

线性方程中的变量可分离, 且振动是简谐的, 因此, 方程式的解可写为

$$\eta(x, t) = Y(x) \cdot (A \cos \omega t + B \sin \omega t) \quad (4)$$

式中, ω —圆频率; $Y(x)$ —振型函数; 振型函数可由下式解出:

$$\frac{d^2 Y}{dx^2} + \frac{\omega^2}{C^2} Y = 0 \quad (5)$$

$$\text{得 } Y = C \cdot \cos \frac{\omega x}{C} + D \cdot \sin \frac{\omega x}{C} \quad (6)$$

吊杆边界条件为两端固结不动, 则

$$Y(x=0) = 0; Y(x=L) = 0;$$

于是有 当 $x=0, Y=0$, 代入(6)式

$$\text{得 } C \cdot 1 + D \cdot 0 = 0 \quad C = 0$$

当 $x=1, Y=0$, 代入(6)式

$$\text{得 } D \cdot \sin \frac{\omega l}{C} = 0$$

$$D \neq 0 \quad \sin \frac{\omega l}{C} = 0$$

$$\sin \frac{\omega l}{C} = \sin n\pi = 0$$

$$\frac{\omega l}{C} = n\pi$$

$$\text{上式代入 } C = \sqrt{\frac{S}{m'}} \quad \omega = \frac{n\pi}{l} \sqrt{\frac{S}{m'}} \quad (7)$$

由式(7)可见短吊杆处于比长吊杆大的高频振动区间。

又从斜拉桥斜拉索固有振动频率计算式如下:

$$\omega_0^2 = \frac{n^4 \pi^4 EI}{l^4 m} + \frac{n^2 \pi^2 S}{l^2 m}$$

前项为考虑斜拉索弯曲刚度影响的修正项,一般斜拉索弯曲刚度较小,对频率的影响可忽略,其斜拉索固有频率如下:

$$\omega = \frac{n\pi}{l} \sqrt{\frac{S}{m}}$$

竖直吊杆与斜拉索横向振动频率计算式是相同的。由此证明吊杆固有横向振动频率公式(7)推导是正确的。从(7)式可见短吊杆比长吊杆的固有频率高。加拿大安大略省规范中,车辆的冲击系数不采用只与桥梁跨径相关的计算公式,而采用根据1980年试验结果重新修订的放大谱,其放大谱直接与基频大小成正比,我国2001年“公路桥涵设计通用规范”(征求意见稿)也采用放大谱的形式代替传统的冲击系数公式,这是一个科学的趋势,因为使用现行计算公式是偏于不安全的,如图3。

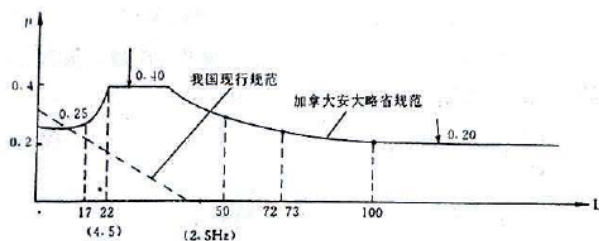


图3 加拿大规范与我国规范的对比

由上可知,在同样荷载作用下,短吊杆比长吊杆受动荷载冲击影响要大得多,有时甚至两倍以上,这对短吊杆的受力是很不利的。另外,冲击影响大,导致构件应力幅增大,这对疲劳也是很不利

的。

3. 桥面不平以及车速影响车辆动态增量:

上面已知短吊杆冲击影响大于长吊杆,其影响值的采用按与固有振动频率成正比的放大谱来选取。这个放大谱 μ , 只能反映桥梁结构本身特性,而车辆荷载影响还与汽车过桥速度和桥面平整度有关。根据瑞士联邦材料试验和研究实验室 EMPA 做的 73 座钢筋混凝土梁的试验得出:不设板条的平整桥面,当一辆重车过桥时的最大的动态增量为 65%, 最小为 2%, 平均 26%; 而设板条的不平整桥面,当一辆重车过桥时的最大的动态增量为 227%, 最小为 58%, 平均 123%, 增大 4~5 倍。由此,可见桥面平整与否以及车速快慢又将直接影响冲击影响的大小,这也可以进一步解释某些桥动载破坏是在车少而高速行驶时段。例如前面提到的某中承式拱桥,其短吊杆破坏是在深夜只有两辆车通过时。

二、改善短吊杆受力状态

综上所述,短吊杆处于静力和动力极其不利状态下,因此改善吊杆受力情况,可从以下几个方面进行。

1. 增长短吊杆长度,降低固有频率。

一般吊杆上端与拱肋底板连接,下端与横梁上缘连接。为增加吊杆长度,建议将吊杆与拱肋上缘连接,下端与横梁下缘连接,以增加短吊杆长度,有效降低其固有频率。

2. 增大短吊杆面积,降低固有频率。

短吊杆处可加设一组吊杆,使短吊杆的 m 质量可增加一倍,吊杆拉力降低一半,从固有频率公式计算,可降低一半,如下:

$$\omega = \frac{n\pi}{l} \sqrt{\frac{S/2}{2m}} = \frac{n\pi}{2l} \sqrt{\frac{S}{m}}$$

3. 短吊杆的两端由固结改为铰结(或半铰结),这可大大降低其剪切变形和降低其固有频率。

4. 改进拱肋与桥面、桥面与短吊杆连接处的构造,解除或减少桥面对短吊杆的约束,以改善短吊杆的受力。

5. 设计中应充分考虑吊杆动力效应,除在整体上考虑桥梁冲击系数外,还应对短吊杆动力影响进行单独验算,以确保安全。

参考文献

- [1]《公路桥涵设计通用规范》编制组. 公路桥涵设计通用规范(征求意见稿), 2001.
- [2]李国豪. 桥梁结构稳定与振动. 中国铁道出版社, 1996.
- [3]项海帆. 高等桥梁结构理论. 人民交通出版社, 2001.