

斜拉索减振技术在苏通大桥建设中的应用

丁美林¹, 凌海蓉²

(1. 江苏省苏通大桥建设指挥部, 江苏 南通 226010; 2. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 针对急需解决的斜拉桥斜拉索的减振特别是风雨振的控制问题, 结合苏通大桥超长斜拉索减振试验研究, 浅谈斜拉索减振技术在苏通大桥建设中的应用。对于风雨激振, 苏通大桥的减振措施为以气动减振措施为主, 同时考虑索端阻尼器的贡献, 而涡激振动主要通过阻尼器措施进行减振。

关键词 苏通大桥; 斜拉桥; 斜拉索; 风雨振; 试验研究

中图分类号: U441+.3 文献标识码: B 文章编号: 1006-7647(2006)S1-0132-03

苏通大桥由跨江大桥和南、北接线工程三部分组成, 全长 32.4 km。其中, 北接线长 15.1 km, 南接线长约 9.1 km, 跨江大桥长约 8.2 km, 其主航道桥为主跨跨径达 1 088 m 的双塔双索面钢箱梁斜拉桥, 通航净空高度达 62 m, 可满足 5 万吨级集装箱货轮和 4.8 万吨级船队的通航需要。全线采用双向 6 车道高速公路标准, 主桥宽 34 m, 设计时速 100 km, 南北接线宽 35 m, 设计时速 120 km。

斜拉索采用 1 770 MPa 平行钢丝斜拉索, 最大规格为 PES7-313, 最长斜拉索索长为 577 m, 单根最大质量为 59 t。斜拉索在钢箱梁上锚固点的标准间距为 1 600 cm, 边跨尾索区为 1 200 cm, 索塔上的锚固点间距为 230 ~ 270 cm。斜拉索设计寿命为 50 年, 并考虑其可更换性。

1 斜拉索的几种振害

1.1 风雨激振

由于拉索风雨激振^[1]是由气液固三相相互作用产生的振动, 故非常复杂, 目前还未完全认识其机理, 但有一些共识:

a. 风雨激振发生的条件^[2-4] ①风雨激振发生时的风速一般为 8 ~ 15 m/s, 更大或更小的风速都不易引起激振, 且报道振动多发生在紊流度小的风环境; ②雨是拉索发生风雨振害的必要条件, 但雨量对振动是否发生影响不大, 在大、中、小雨状况下都可能发生拉索风雨激振。③拉索的空间姿态: 通常只在沿风向向下倾斜的索上发生风雨激振。④拉索的表面材料: 振动多发生在 PE 包裹的拉索上, 拉索直

径一般为 140 ~ 200 mm, 拉索表面材料性质、灰尘等对振动有重要的影响。

b. 风雨激振的振动特征^{5-6]} ①振幅: 峰值为 50 ~ 100 cm 的大振幅, 是拉索直径的 3 ~ 4 倍。②频率: 1 ~ 3 Hz, 与拉索的自振频率相当。③振型: 多为单一振型, 1 ~ 4 阶振型均有出现。④阻尼: 发生风雨激振时的模态阻尼很小, 文献[1]中的阻尼比为 0.007 ~ 0.028。⑤振动常以拍的形式出现。当风雨激振发生时, 拉索表面有雨水形成的水线沿倾斜的拉索向下流动, 水线随着拉索的振动在拉索表面摆动。

1.2 涡激振动

在所有的拉索振动类型中, 机理分析最清楚的就是涡激振动^[1]。涡激振动是由于来流风流经结构物时, 在物体背风侧产生卡门涡阶, 这种涡阶在一定的雷诺数范围内成周期脱落, 从而在横风向产生周期性的荷载。若这种漩涡脱落的频率等于拉索的某一阶固有频率, 那么就要产生共振。卡门涡阶的周期脱落由 Strouhal 数决定, Strouhal 数的定义为

$$St = fD/V \tag{1}$$

式中: f 为漩涡脱落频率; D 为结构物的横向尺寸, 对于拉索即为直径; V 为来流风速。对于拉索 Strouhal 数等于 0.2。

但是, 对于拉索来说, 涡激振动产生的振动是很小的。设拉索的某一阶自振频率为 1 Hz, 直径为 10 cm, 要产生该阶频率的共振, 所需的风速仅为 0.5 m/s。这么低的风速没有足够的能量来激起拉索的大幅振动。

1.3 尾流驰振和抖振

尾流驰振是下游拉索处于上游拉索的尾流,从而使下游拉索产生振动的现象。特别是下游拉索处于上游拉索尾流的中心时,产生振动的可能性更大。但是由于拉索的直径较小,而拉索之间的距离相对来说要大得多,斜拉桥拉索的尾流驰振并不是很明显。

抖振是由于来流脉动风速作用在拉索上产生的振动,其响应可以通过高层建筑顺风向响应的计算方法来计算反映来流中的脉动成分。抖振是一种最常见的振动形式,通常情况下其振幅不大,但由于持续时间长,容易使拉索产生疲劳破坏。

2 苏通大桥斜拉索的减振方案

苏通大桥主要针对斜拉索的涡激振动、风雨激振、参数振动和线性内部共振考虑减振措施。但根据结构抗风性能研究结果,认为斜拉桥不会发生涡激振动。因此,不存在拉索参数振动和内部线性共振的发生条件,可以不考虑采用辅助索措施,但预留辅助索在桥面的连接构造,并适当提高最外(长)索的承载力。为此,苏通大桥采用索端阻尼器和气动措施并用的综合减振方案。涡激振动主要通过阻尼器措施进行减振,安装阻尼器后的拉索阻尼(对数衰减率)在 0.03 以上。风雨激振的减振以气动措施为主,同时考虑索端阻尼器的贡献。在通过风洞试验确认减振效果的同时,还注意到采用气动措施后不能过度加大拉索的阻力系数,以避免增大风荷载。

完全抑制拉索的振动是十分困难的,苏通大桥斜拉索的允许振幅对于偶尔发生的风雨激振取为索长的 1/1 700。

3 苏通大桥斜拉索空气动力学减振试验^[7]

苏通大桥主航道桥的斜拉索共有 8 种规格,其中,直径为 $\varnothing 139$ 的拉索根数最多,并且其俯仰角和 1~4 阶频率正好位于风雨激振多发范围内; $\varnothing 158$ 的拉索的直径最大,并且是背索或者背索相邻的拉索。故选择 $\varnothing 139$ 和 $\varnothing 158$ 直径的拉索进行试验研究,图 1 和图 2 分别为这两种直径的压痕凹坑拉索模型的照片,图 3 为螺旋线拉索模型的照片。



图 1 $\varnothing 139$ 压痕凹坑拉索模型



图 2 $\varnothing 158$ 压痕凹坑拉索模型



图 3 螺旋线拉索模型

图 4 和图 5 分别为 $\varnothing 139$ 和 $\varnothing 158$ 压痕凹坑拉索与光索在人工降雨时振幅随风速变化的比较。从图中可以看出,两种直径的压痕凹坑拉索均可有效抑制拉索的风雨激振。图 6 和图 7 分别为 $\varnothing 139$ 和 $\varnothing 158$ 压痕凹坑拉索在无雨时与风雨激振时拉索的振幅随风速变化的比较,图示结果表明,两种直径的压痕凹坑拉索在不降雨的条件下不会导致其他形式的不良振动。由此认为,试验中所采用的压痕凹坑拉索模型对风雨激振现象有很好的抑制作用,且不会在不降雨时导致其他不良振动。对螺旋线拉索所做的试验也得到同样的结果。故苏通大桥主航道桥的斜拉索使用压痕凹坑拉索。

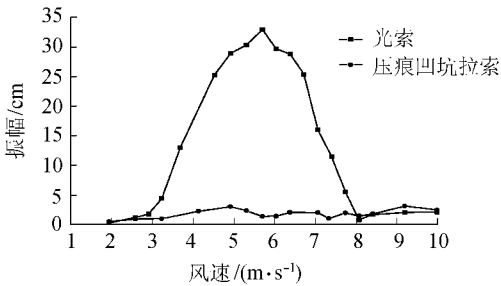


图 4 $\varnothing 139$ 拉索在人工降雨时振幅随风速的变化

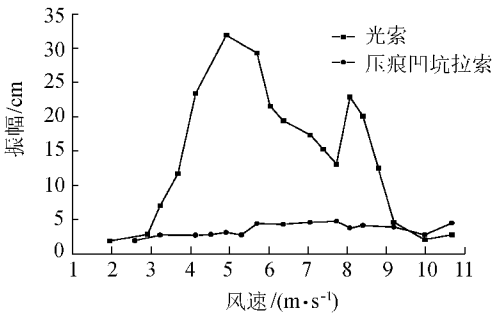


图 5 $\varnothing 158$ 拉索在人工降雨时振幅随风速的变化

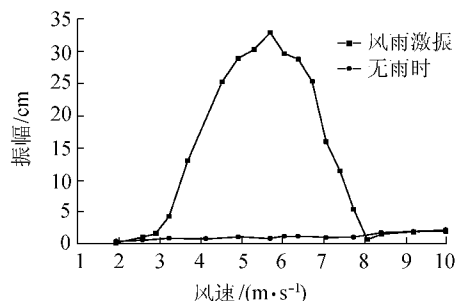


图 6 $\varnothing 139$ 压痕凹坑拉索在无雨时与风雨激振时拉索的振幅随风速变化

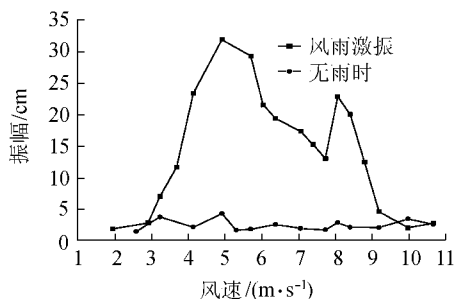


图 7 $\varnothing 158$ 压痕凹坑拉索在无雨时与风雨激振时拉索的振幅随风速变化

4 阻尼器装置

苏通大桥斜拉索的阻尼器为油压阻尼器^[1],将油压阻尼器通过支架系统连接在斜拉索上。由于连接点可以离开锚头相当距离,效果比橡胶垫圈好,在国内已成功应用于杭州钱塘江三桥。改进的有调节孔的油压阻尼器可以优化减振效果,已成功应用于南京长江二桥。

油压阻尼器主要由连接器、液压部件和钢管支座等组成。液压部件的外壳一般固定在钢管支座上,斜拉索通过连接器与液压部件的金属活塞杆相连,斜拉索的振动位移打破液压部件内部金属活塞两端原先的压力平衡而产生的阻力,即阻尼器产生阻尼力,该阻尼力反作用于斜拉索后即可达到斜拉索减振的目的。该阻尼器分为内置式和外置式两种,均已分别成功应用于不同长度的斜拉索上。

5 结 语

苏通大桥采用索端阻尼器和气动措施并用的综合减振方案。经过试验测试,斜拉索减振效果满足要求,气动措施减振方案使用的是压痕凹坑斜拉索,并且改进使用油压阻尼器,减振效果显著,为以后大跨度斜拉桥的超长斜拉索的减振提供了很好的例子。

参考文献:

[1] 胡国明,代波涛,李寿英.斜拉桥斜拉索的振动及其控制措施[J].石家庄铁道学院学报,2004,17(1):76-79.

[2] MARSUMOTO M,SHIRAIISHI N,SHIRATO H. Rain-wind induce vibration of cable-stayed bridges[J]. Wind Eng & Industrial Aerody,1992,44:2011-2012.
[3] 彭天波.斜拉桥拉索风雨振的机理研究[D].上海:同济大学,2000.
[4] 钱雪松,艾永明.斜拉桥拉索的减振措施[J].工业技术经济,2004,23(6):106-107.
[5] 黄麟,郭志明,王国砚,等.斜拉桥抗风雨激振的理论分析[J].同济大学学报:自然科学版,2002,30(5):569-571.
[6] 顾明,刘善军,林志兴.斜拉桥拉索的风雨振动及控制[J].上海力学,1998,19(4):281-287.
[7] 李文勃.斜拉桥拉索风雨激振及气动减振措施研究[D].上海:同济大学,2002.

(收稿日期 2006-06-16 编辑 高建群)

(上接第 126 页)

4 结 语

根据双层地基的渗流计算结果可知,承压水头越大,弱透水层越薄,渗透系数越小,则压砂厚度越大,压渗范围越长,反之压砂厚度越小,压渗范围越短。双层堤基堤段透水性强,堤脚易渗,在汛期高水位时渗水比较严重,部分堤段会发生喷砂、管涌、涌水等现象,现经渗流计算,在堤后压渗范围内加一定的盖重厚度,可以解决堤围内坡脚的渗流稳定问题,确保堤围的安全运行。景丰联围双层堤基存在渗透稳定及喷砂管涌的堤段,经过抽沙压渗工程处理之后,基本解决了渗透问题,在汛期高水位时也不再发生喷砂、管涌、涌水等现象。所以,对于双层堤基的抽沙压渗处理,采用弱透水层等厚无限长双层地基和弱透水层等厚有限长双层地基两种渗流计算方法是合理可行的。

参考文献:

[1] 水利部珠江水利委员会勘测设计研究院.广东省景丰联围加固工程地质勘察报告[R].广州:水利部珠江水利委员会勘测设计研究院,2002.
[2] GB 50286—98 堤防工程设计规范[S].
[3] 水利部珠江水利委员会勘测设计研究院,广东肇庆市水利水电勘测设计院.广东省景丰联围加固工程可行性研究报告[R].肇庆:广东肇庆市水利水电勘测设计院,2002.
[4] GB 50201—94 防洪标准[S].

(收稿日期 2005-12-26 编辑 骆超)