

文章编号: 0451-0712(2006)06-0097-04

中图分类号: U448.27

文献标识码: B

# 大跨径斜拉桥结构体系研究

朱 斌, 林道锦

(中交公路规划设计院 北京市 100010)

**摘 要:** 随着桥梁设计及施工技术的不断发展, 斜拉桥主跨跨径目前已达到千米级, 选择怎样的结构体系已成为设计者必须面对的一个关键问题。文中介绍了大跨径斜拉桥结构体系的几种形式, 并结合主跨为 730 m 的双塔钢箱梁斜拉桥结构体系, 介绍了分析过程和比较结果。

**关键词:** 斜拉桥; 结构体系; 弹性约束; 阻尼约束

## 1 斜拉桥结构体系的几种形式

斜拉桥结构体系研究的目的是改善结构在静力、动力荷载作用下的反应, 减小伸缩缝、支座等装置的位移量和动力磨损。根据索塔与主梁的连接情况其可以分为漂浮体系, 竖向支撑体系, 固结体系, 弹性约束体系, 阻尼约束体系等。

(1) 漂浮体系。即在索塔处主梁和索塔之间无任何约束。温度、纵向风荷载及活载将在梁端产生较大位移, 对伸缩装置的设计、制造提出较高的要求。同时外荷载对结构的反应主要由结构自身承受。上海杨浦大桥主跨为 602 m 的叠合梁斜拉桥, 采用全漂浮体系。由于索塔处第一对索间距较大, 设置 0 号索以改善该处主梁内力。

(2) 竖向支撑体系。即在索塔处设置支座, 竖向支撑, 纵向滑动。同漂浮体系一样, 温度、纵风及活载将在梁端产生较大位移, 需要设置大型伸缩装置。由于支座的刚度较大, 该处主梁将产生较大的负弯矩。南京二桥为主跨 628 m 的钢箱梁斜拉桥, 在索塔处设置了钢支座, 竖向支撑, 纵向滑动。

(3) 固结体系。即在索塔处塔梁固结, 各方向自由度均被约束。固结体系限制了索塔和主梁之间的相对滑动, 有效地减小了主梁梁端位移, 便于伸缩装置的设计和制造。由于主梁的纵向位移被完全约束, 温度变化将对结构内力产生较大的影响。法国诺曼底大桥, 主跨为 856 m 的双塔混合梁斜拉桥, 采用了固结体系。

(4) 弹性约束体系。即在索塔与主梁之间设置水平弹性索, 其优点在于在任何荷载状态下都会在结

构中发生作用, 结构支承条件和受力状况比较明确。取用刚度合适的水平弹性索既可以减小塔梁水平位移、控制温度力, 又可以抑制由风、地震等产生的结构动力反应, 改变梁、塔的失稳形态。日本名港中大桥为主跨 590 m 钢箱梁斜拉桥, 其在索塔处设置了纵向钢绞线弹性约束。

(5) 阻尼约束体系。在塔梁之间设置阻尼装置, 其对温度变化、较小风速和车辆等缓慢荷载不约束, 而对汽车制动、脉动风、船撞和地震等冲击荷载激励下的动力响应产生缓冲和阻尼作用。目前常用的形式有粘滞阻尼器、液压缓冲器等。希腊 Rion-Antirion 大桥为主跨 560 m 四塔钢箱梁斜拉桥, 其索塔处在纵、横向均设置了阻尼装置。

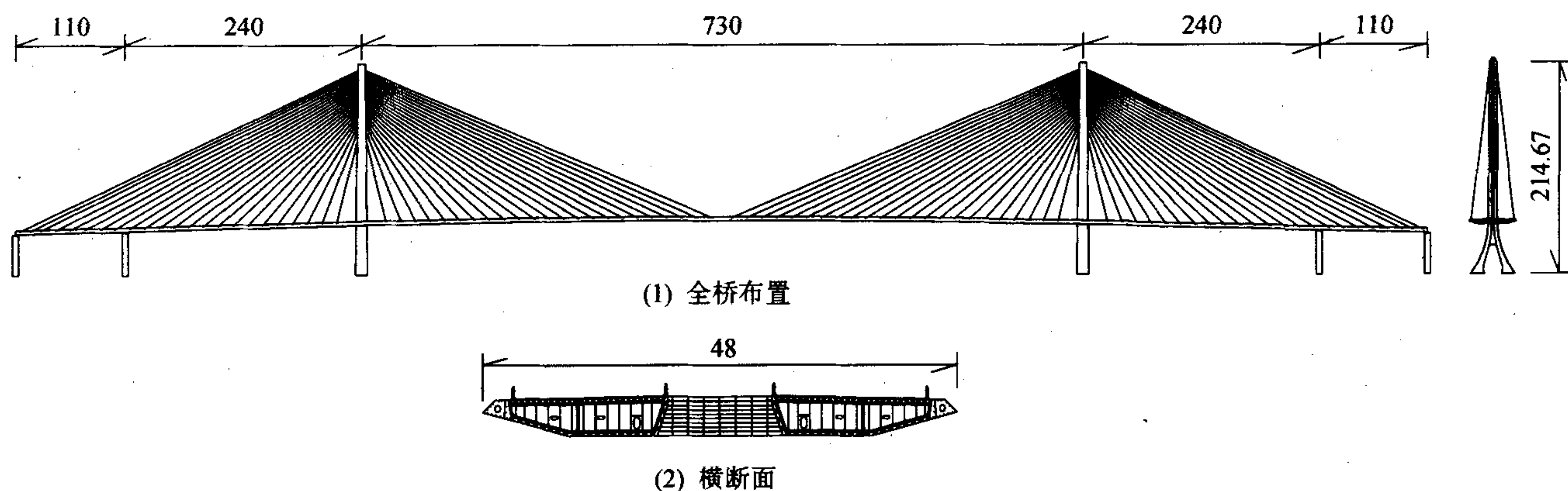
由于各种结构体系均有其自身的特点, 在一些桥梁上也出现了多种体系组合的情况。日本多多罗大桥为主跨 890 m 的双塔斜拉桥, 其在索塔处采用大型橡胶支座, 竖向支撑, 纵向弹性约束。鹤见航道桥为主跨 510 m 的双塔斜拉桥, 采用了阻尼约束体系和弹性约束体系组合的形式, 在塔梁连接处安装螺旋桨式阻尼装置和水平拉索弹性装置。

## 2 主跨 730 m 双塔钢箱梁斜拉桥结构体系比较分析

### 2.1 概况

该桥桥跨布置为 110 m + 240 m + 730 m + 240 m + 110 m = 1 430 m, 采用空间双索面布置, 见图 1 所示。主梁为分离式钢箱梁, 中间以横系梁连接。索塔为“人”字形, 桥面以上为独柱, 在桥面以下叉开。斜拉索标准间距为 15 m, 索塔处设置 0 号索。





单位:m

图1 桥跨布置

若采用固结体系,温度变化将对结构内力产生较大影响;又由于本桥在索塔处设置了0号索,其刚度和附近其他拉索的支撑刚度相似,主梁内力优于竖向支撑体系。因此设计中主要对漂浮体系、弹性约束体系和阻尼约束体系进行数值分析,确定参数,再进行各种体系之间的比较,提出推荐方案。

## 2.2 漂浮体系

漂浮体系即在索塔处塔梁之间不设置其他约束。极限风作用下漂浮体系梁端位移、塔顶位移、塔底弯矩计算结果为:

梁端位移 1 280 mm;

塔顶位移 1 396 mm;

塔底弯矩 2 841 187 kN·m。

计算结果表明,漂浮体系由纵向风荷载等产生的梁端和塔顶水平位移、塔底弯矩很大,将会导致伸缩装置伸缩量要求过高、基础设计难度加大,还可能会引起索塔失稳。

## 2.3 弹性约束体系

在塔梁之间设置纵向弹性拉索,并选取不同刚度(漂浮,10 MN/m,25 MN/m,50 MN/m,100 MN/m,200 MN/m)进行了比较分析,以确定合适的弹性索刚度。图2为不同刚度弹性拉索与梁端位移关系曲线;图3为不同刚度弹性拉索与塔顶位移关系曲线;图4为不同刚度弹性拉索与塔底弯矩关系曲线。

结果表明,在塔梁之间设置刚度合适的弹性拉索可以有效地减小梁端、塔顶位移及塔底弯矩。当纵向弹性索弹性刚度取25 MN/m时,结构的内力及刚度表现较好。但若在塔梁间设置4根总刚度为25 MN/m的弹性拉索,根据拉索最大应力小于 $0.45R_y$ ,最小应力大于 $0.10R_y$ 的原则,当拉索初拉力

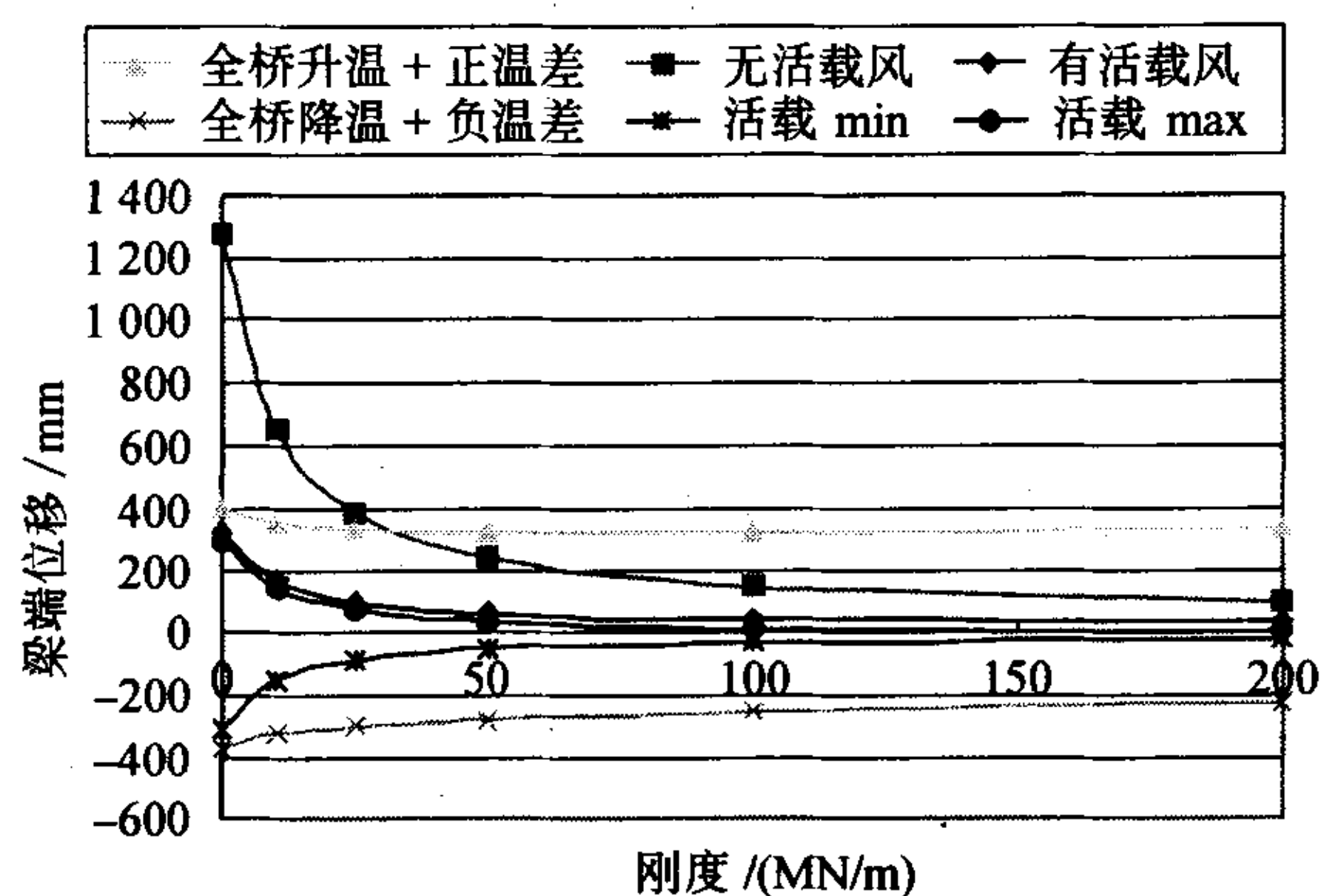


图2 不同刚度弹性拉索与梁端位移关系曲线

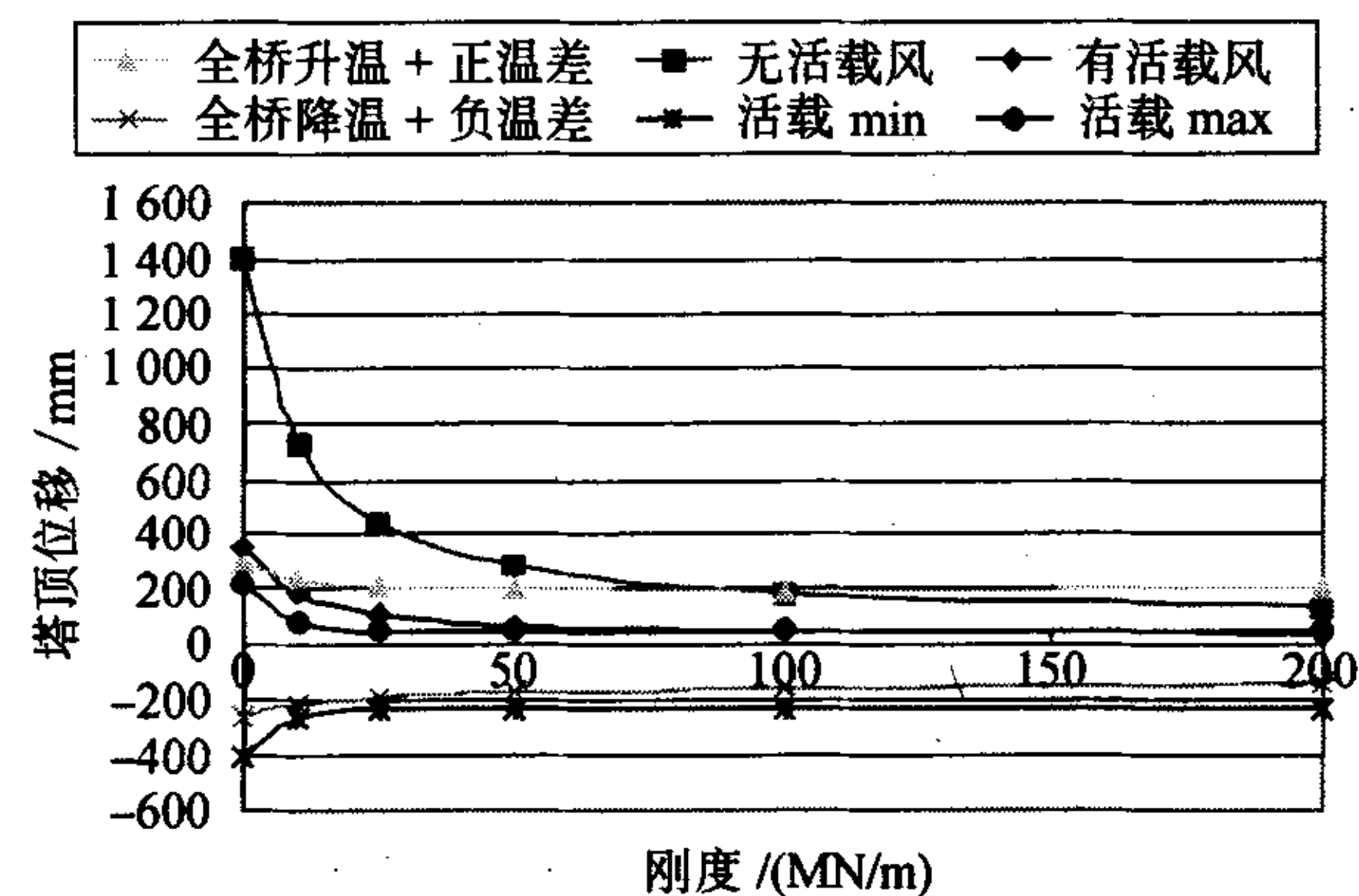


图3 不同刚度弹性拉索与塔顶位移关系曲线

为4 000 kN时,拉索在附加组合工况下,索力将达到6 270/1 867 kN。一个索塔需安装4根PES7-241高强度平行钢丝拉索,拉索长达290 m。

因此,水平弹性索装置从计算上是可行的,但由于适合的弹性约束刚度较小,使弹性拉索长度较大,构造上处理起来比较困难。

## 2.4 阻尼约束体系



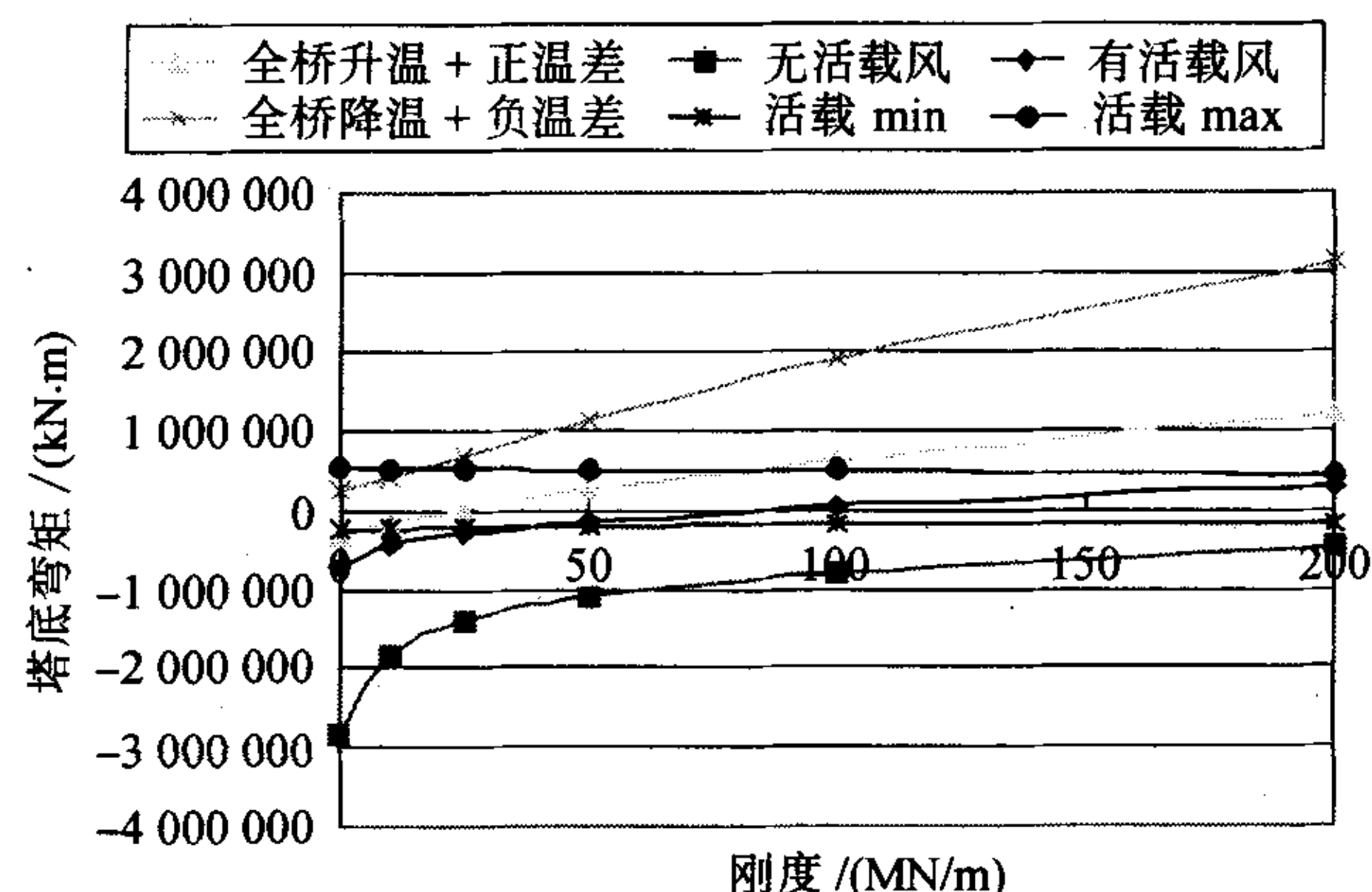


图4 不同刚度弹性拉索与塔底弯矩关系曲线

普通阻尼装置仅具有动力阻尼约束作用,即对脉动风、刹车和地震引起的动荷载具有阻尼耗能作用,不能限制静风荷载、温度等引起的缓慢位移。若要达到提高结构刚度、减小梁端位移的目的,还需要限制阻尼装置的行程。因此,设计阻尼装置应具有动力阻尼和静力额定行程刚性限位的功能。当由静风、温度和汽车引起的塔梁相对纵向位移在阻尼器设计行程以内时,不约束主梁运动;超出行程时,对主梁运动产生刚性固定作用。同时还应保证在发生动荷载作用时,阻尼器有足够的行程正常工作。

控制装置额定行程量的荷载组合及计算见表1。

表1 装置的额定行程确定

序号	各控制项的行程量/mm	额定行程量/mm
1	$\pm 300 + \pm 238 = \pm 538$ (活载+温度)	$\pm 620$
2	$\pm 238 + \pm 200 = \pm 438$ (温度+地震)	
3	$\pm 210 + \pm 124 \pm 85 + \pm 200 = \pm 619$ (正常运营+地震)	

计算中考虑每单个索塔设置4个阻尼器,偏保守考虑在静风荷载作用下,仅一个索塔的阻尼器起作用,此时该塔单个阻尼器的限位力为2 895 kN。

粘滞阻尼器的阻尼力 $F$ 和速度 $V$ 之间的非线性函数关系可用公式 $F=CV^\alpha$ 表示,通过计算比较,确定阻尼器的设计参数取值如下:

非线性指数 $\alpha=0.4$ ;

阻尼系数 $C=2\,579\text{ (kN/(m/s)}^{0.4}\text{)}$ 。

## 2.5 静力分析结果比较

根据上述确定的不同结构体系设计参数,计算极限静风荷载作用下结构的不同响应。图5为不同体系在极限静风作用下的梁端位移、塔顶位移及塔底弯矩比较。

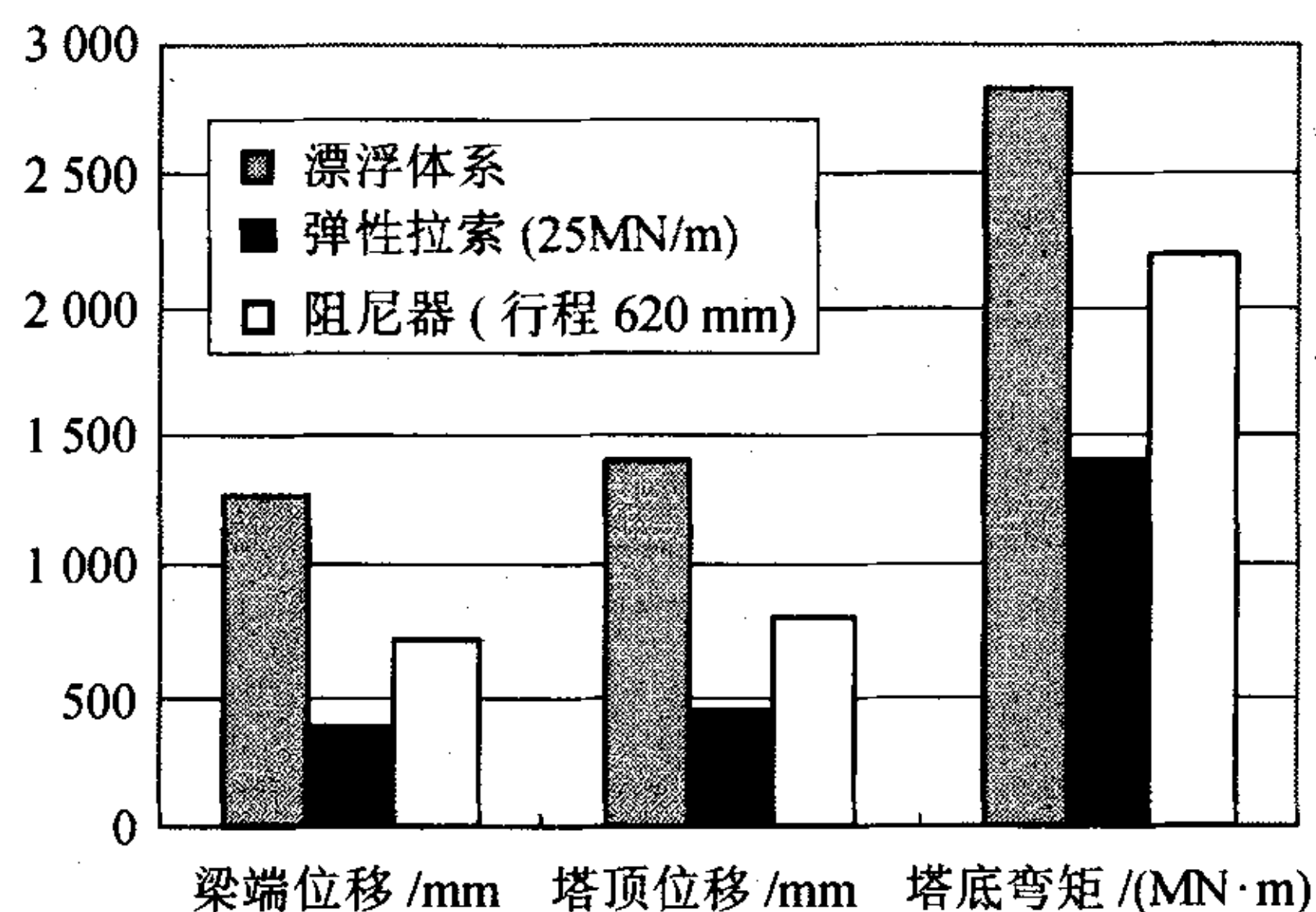


图5 不同体系在极限静风作用下结构静力比较

由图5可以看出,在塔梁间设置合适刚度的弹性拉索或者刚性限位阻尼器,均可有效减小梁端、塔顶位移,同时可减小塔底弯矩。由于弹性拉索在任何时候均处于工作状态,而阻尼器只有在塔梁之间相对位移超过额定行程量(620 mm)后才会起反应,因此塔梁间设置刚性限位阻尼器时,梁端、塔顶位移及塔底弯矩均略大于塔梁间设置弹性拉索时相应结果。考虑到设置弹性拉索时构造上处理起来比较困难,较难实现,因此在塔梁之间设置阻尼器是个较好的选择。

## 2.6 动力分析结果比较

分别对弹性约束体系和阻尼约束体系进行地震作用下的时程分析。在地震作用下,两种体系主梁顺桥向位移时程曲线见图6,主塔塔顶顺桥向位移时程曲线见图7,塔底的弯矩时程曲线见图8。

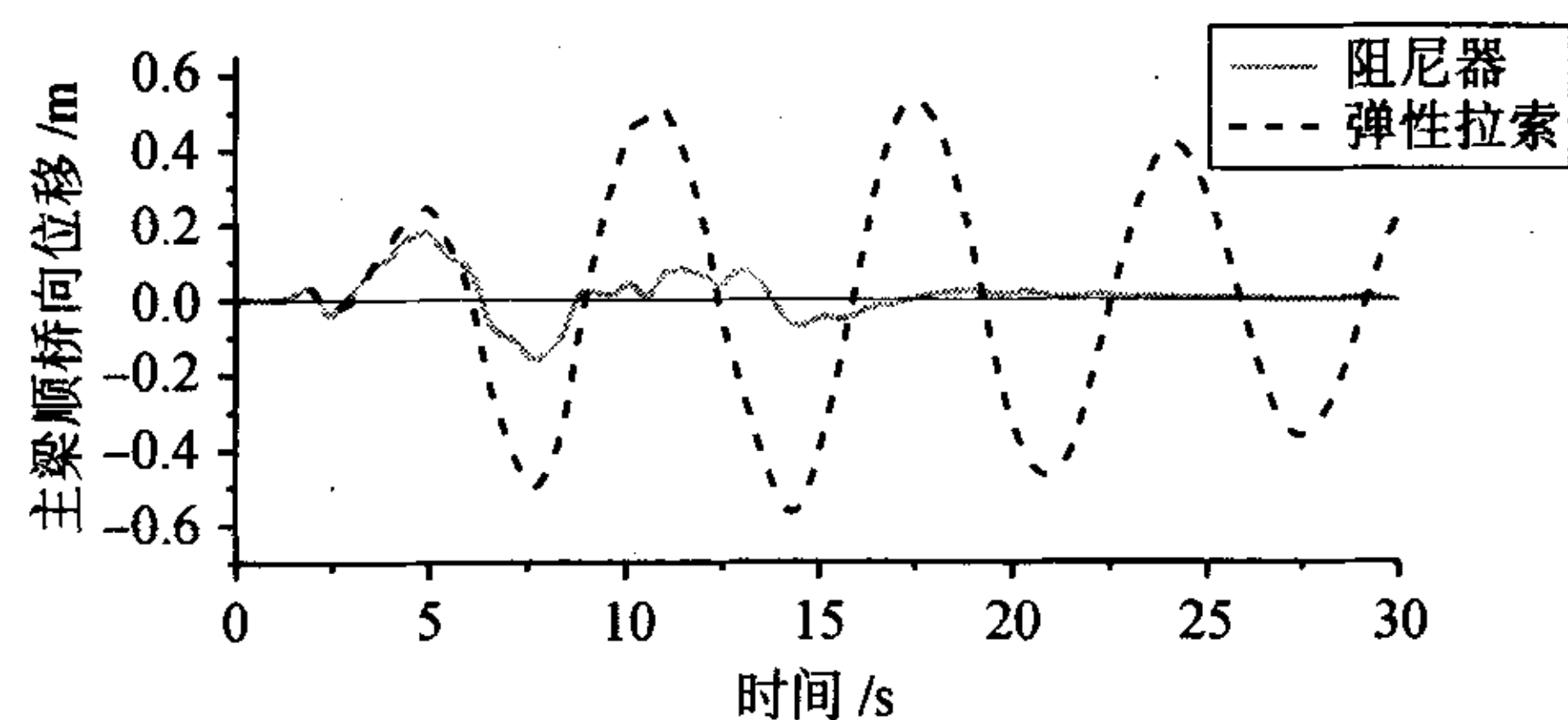


图6 主梁顺桥向位移时程反应

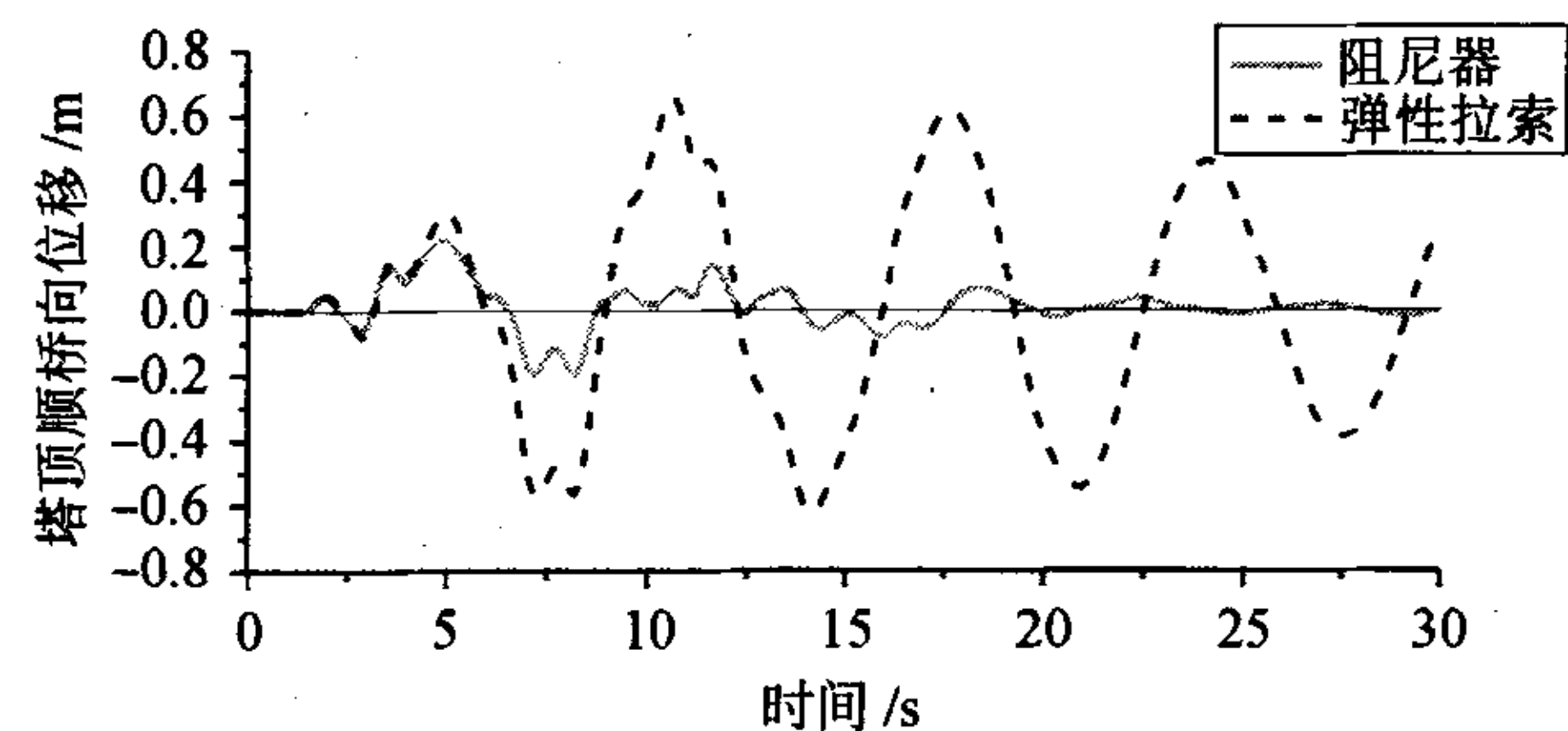


图7 主塔塔顶顺桥向位移时程反应



