

提篮式系杆拱桥力学特性研究

杨德轩,冯德飞,邹永伟,吴文平

(北京交通大学,北京市 100044)

摘 要:通过分析比较竖直吊杆和网状吊杆布置形式下系杆拱桥的影响线特性,得出提篮式系杆拱桥基本的力学特征,说明该桥型是一种具有良好发展前景的大跨度桥梁形式之一。

关键词:提篮式系杆拱桥;吊杆;影响线

中图分类号:U448.225 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)06-0041-03

0 前言

系杆拱桥起源于 19 世纪末的欧洲。1858 年奥地利人兰格尔申报了刚性系杆柔性拱的系杆拱桥专利,强调拱肋与吊杆之间铰接构造,拱肋只承受轴向力,不承受弯矩,这就是现代系杆拱桥的早期形式。用斜吊杆代替兰格尔梁的竖吊杆,可以大幅度地提高结构刚度,这一设想最早是由尼尔森提出的,1929 年在瑞典获得专利权。二战以后,德、日、美等国对这些桥型进行了一定的研究与实践,并将具有斜吊杆的无推力拱式组合体系称为尼尔森体系。

尼尔森体系中有多个交叉点的网状吊杆拱又称为提篮式系杆拱。提篮式系杆拱由于有多根吊杆与拱肋或系杆交汇,且吊杆之间相互交叉布置,节点构造较竖吊杆复杂,给设计及施工带来很多麻烦,所以这种桥型很容易被桥梁设计者们所舍弃。从我国目前已建的系杆拱桥来看,多数采用的是平行竖吊杆,网状吊杆设计的很少。因此,研究提篮式系杆拱桥基本的力学特征,探讨合理的吊杆形式,对于促进系杆拱桥技术的全面进步,具有十分重要的现实意义。

1 有限元模型

为了研究提篮式系杆拱桥的力学性能,本文参考某些既有桥梁设计,确定的桥梁有限元模型参数如下:桥跨 $L=150\text{ m}$,矢高 $f=30\text{ m}$,桥宽 30 m ,吊杆间距 6 m ,拱上设有 3 道风撑;拱轴线为二次抛物线,拱肋与系梁刚度比 $(EI)_{\text{拱肋}}/(EI)_{\text{系梁}}=1/14$,属于刚性系杆刚性拱。

计算分析是依据吊杆布置方式的不同,分别建立采用竖直吊杆和网状吊杆的系杆拱模型(如图 1、图 2 所示),然后对两者的影响线特性进行

比较分析。

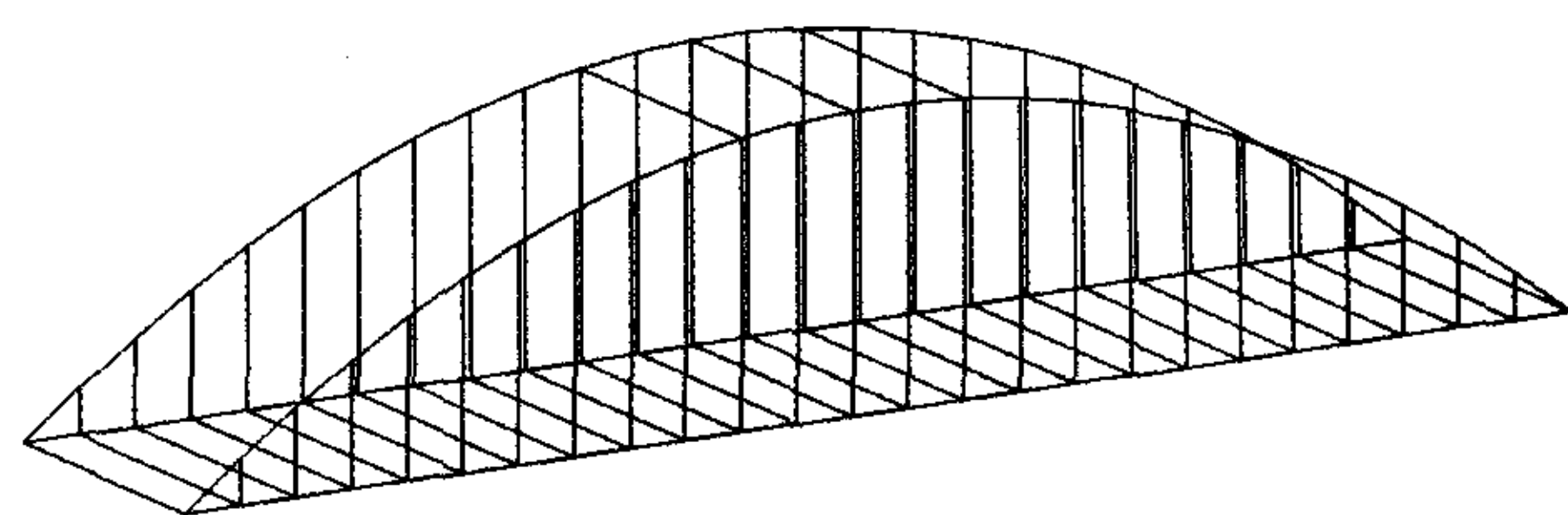


图 1 竖直吊杆拱模型

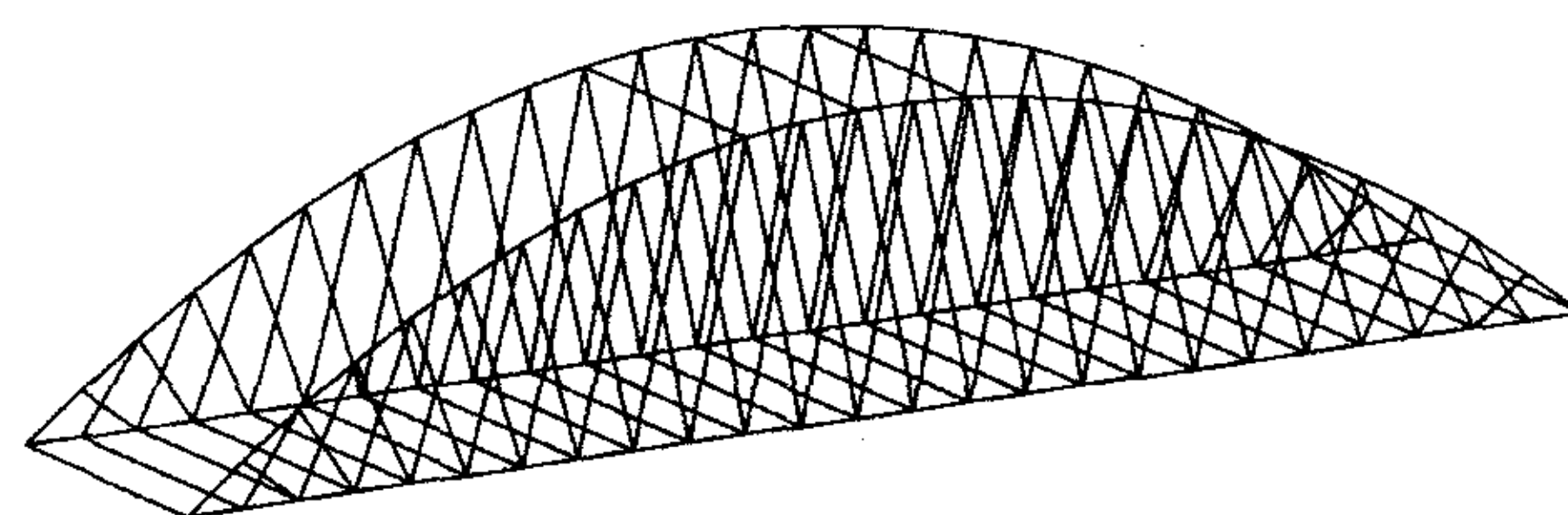


图 2 网状吊杆拱(提篮式拱)模型

2 两种吊杆形式下的影响线特性研究

2.1 拱肋内力影响线(见图 3~图 6)

由图 3、图 4 可知,对于提篮式系杆拱桥,拱肋轴力的影响线峰值要高于采用竖直吊杆的系杆拱桥,且其 $L/4$ 处拱肋轴力影响线不再跨中对称;但从总体分布来看,两类拱肋轴力影响线没有显著的差别,这说明提篮式吊杆对拱肋轴力影响不大。然而,对拱内弯矩而言(如图 5、图 6),采用提篮式吊杆较吊杆竖直布置方式明显大幅度减少,正好能体现“拱肋受压,系梁受弯”的力学意图,从而拱肋可以按轴力来控制设计。

2.2 系梁内力影响线(见图 7~图 10)

与拱肋规律类似,对于提篮式系杆拱桥,系梁轴力影响线峰值要略高于采用竖直吊杆的系杆拱桥;总体上说,两种体系系梁的轴向拉力没有显著的差别。但从系梁弯矩影响线来看,由于网状吊杆的使用,提篮式系杆拱桥的系梁内弯矩值也大幅度降低。

2.3 吊杆轴力影响线(见图 11、图 12)

如图 11、图 12 所示,系杆拱桥采用竖吊杆时,吊杆轴力影响线几乎均为正,说明绝大部分吊

收稿日期:2006-04-04

作者简介:杨德轩(1979-),男,广西桂林人,硕士研究生,从事桥梁设计理论与应用研究工作。

杆受拉。而网状吊杆的影响线却有正有负,且变化的幅值非常大,这说明提篮式拱在活载作用下吊杆会反复地承受拉力与压力,经历加载与卸载的交替变化,极易容易发生疲劳破坏。众多研究还表明,拱脚附近较短吊杆的疲劳问题更为突出。对中下承式拱桥而言,吊杆发生疲劳破坏会导致内力重分布。这种重新分布的内力,可能导致结构的非薄弱截面率先破坏,进而导致结构整体破坏。因此,在设计时,应该高度重视提篮式拱吊杆的疲劳

问题。

2.4 系梁挠度影响线(见图 13、图 14)

从系梁挠度影响线来看,提篮式系杆拱结构的最大挠度值要比竖吊杆结构小很多。另外,在竖吊杆结构的挠度影响线中,有面积大致相等的正负影响线面积;而网状吊杆布置方式,结构挠度均是同向,没有反向挠度影响线面积。因此,提篮式系杆拱可使结构在活载作用下挠度变动很少,对行车非常有利。

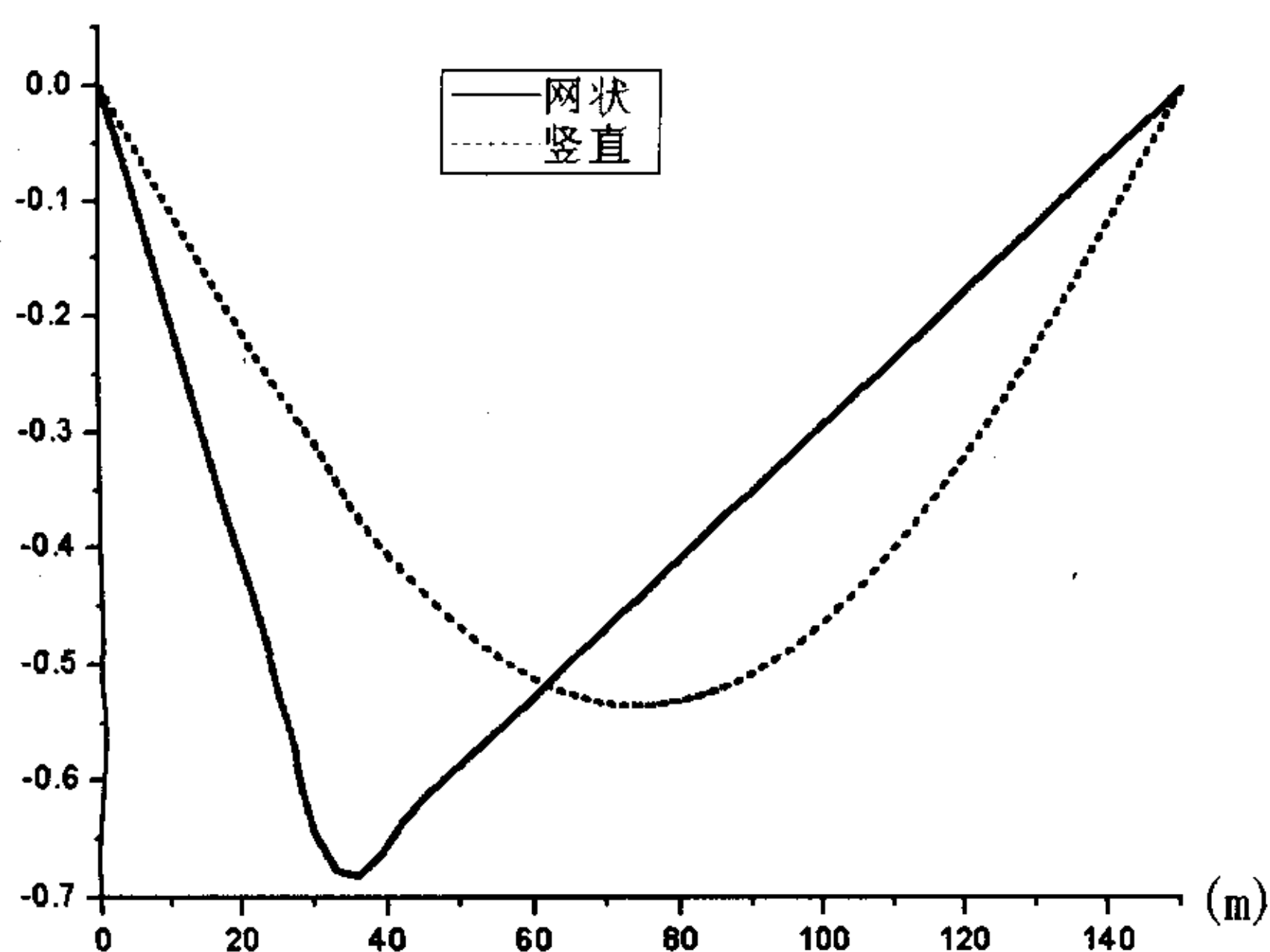


图 3 L/4 处拱肋轴力影响线

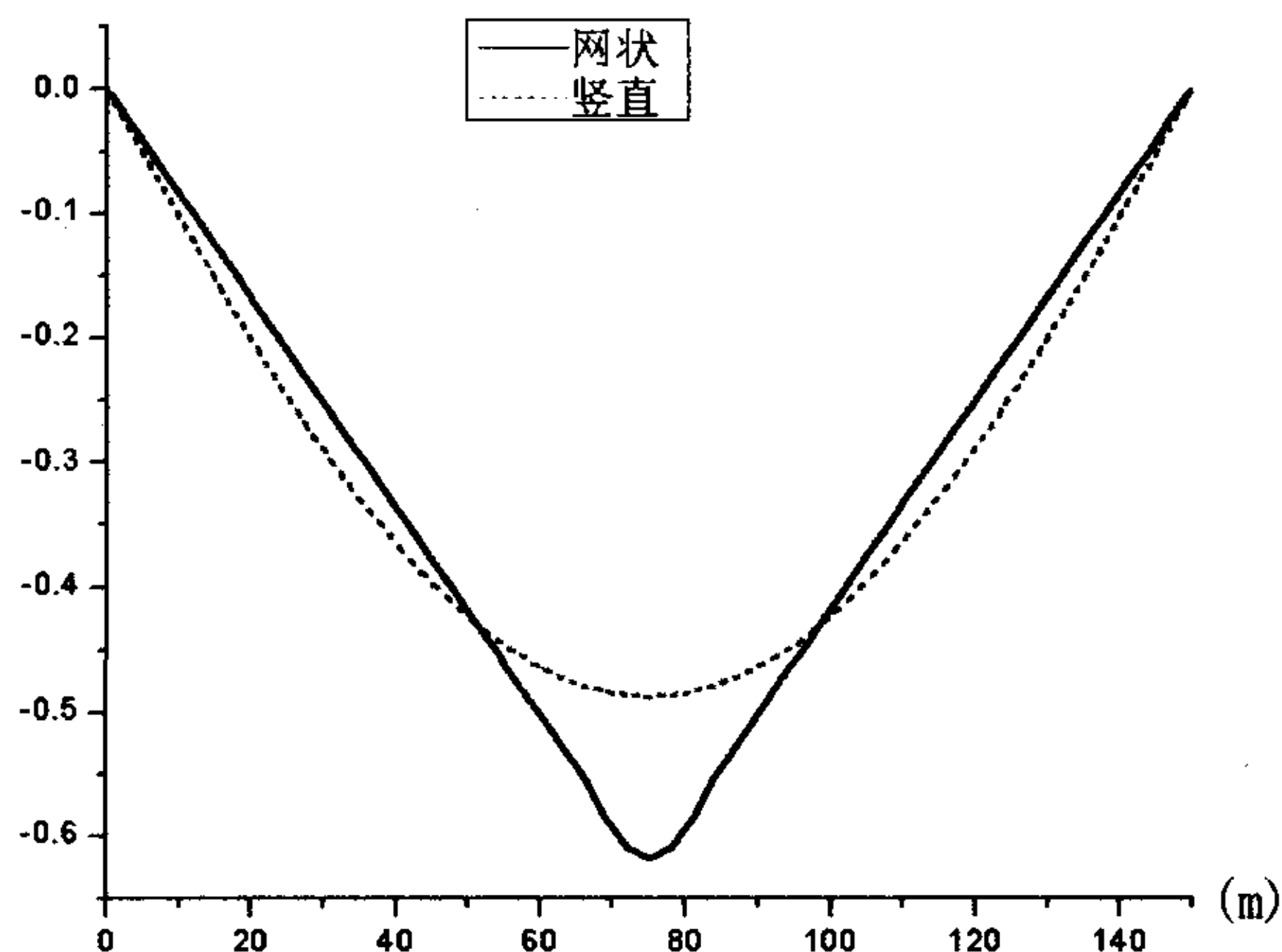


图 4 L/2 处拱肋轴力影响线

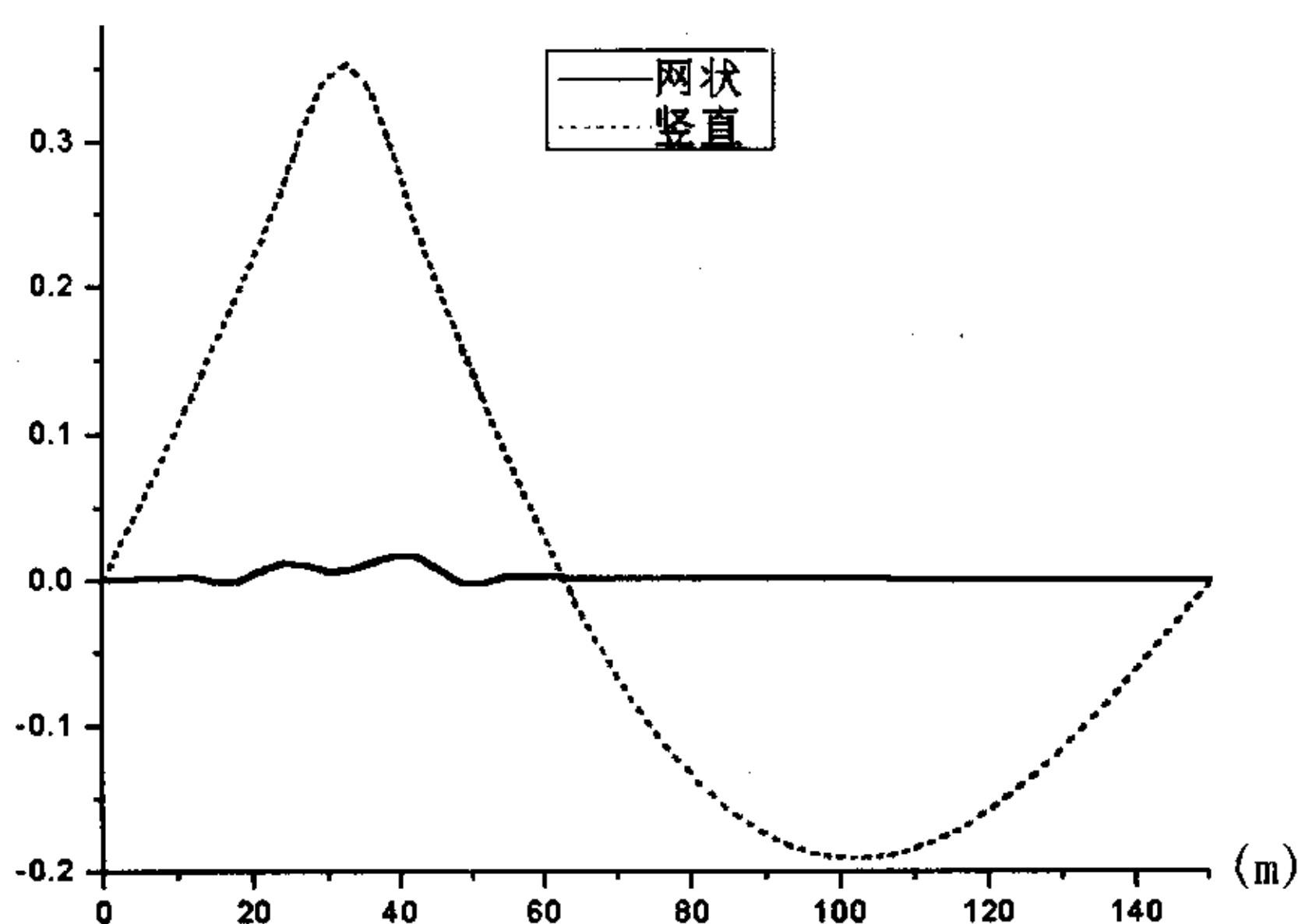


图 5 L/4 处拱肋弯矩影响线

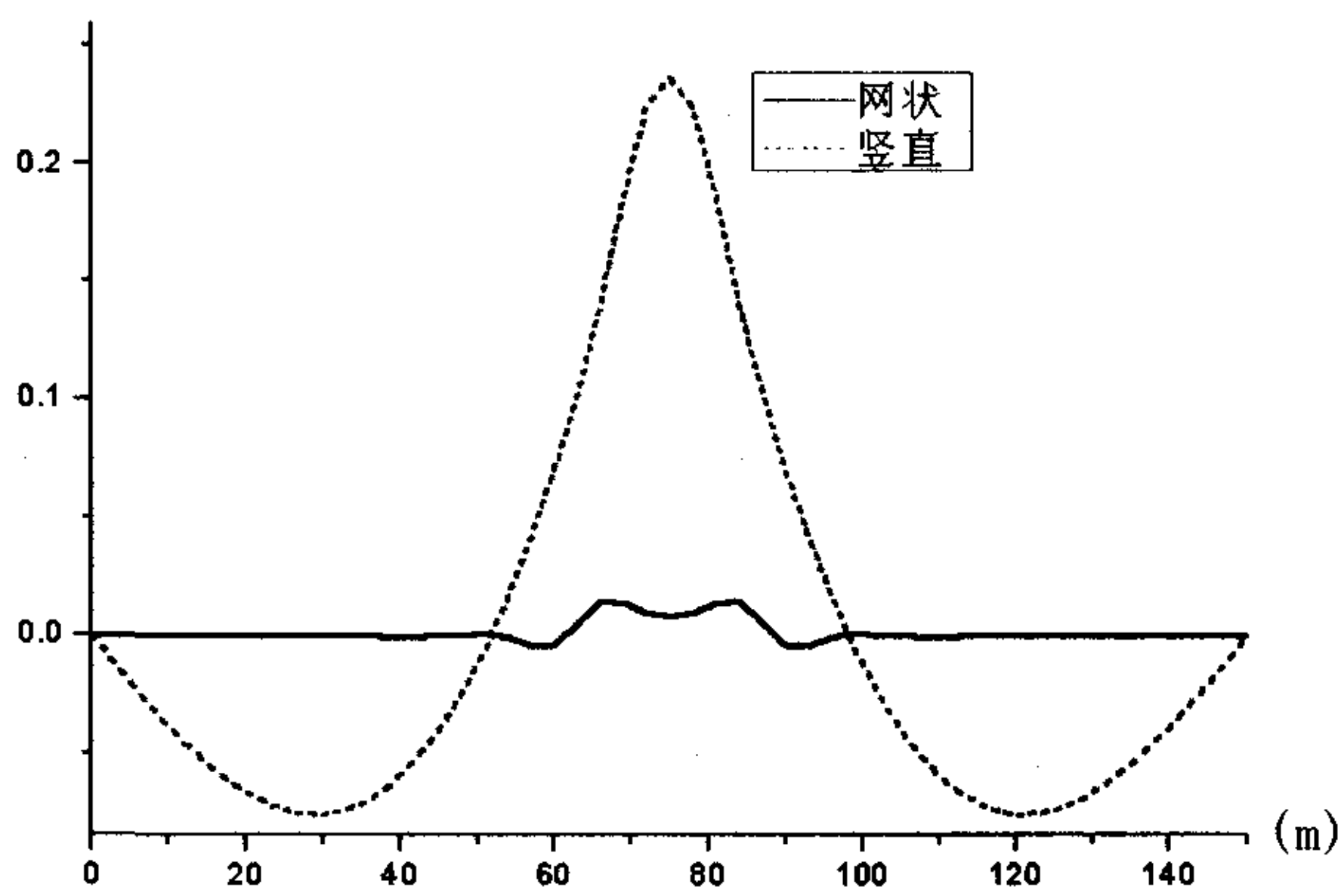


图 6 L/2 处拱肋弯矩影响线

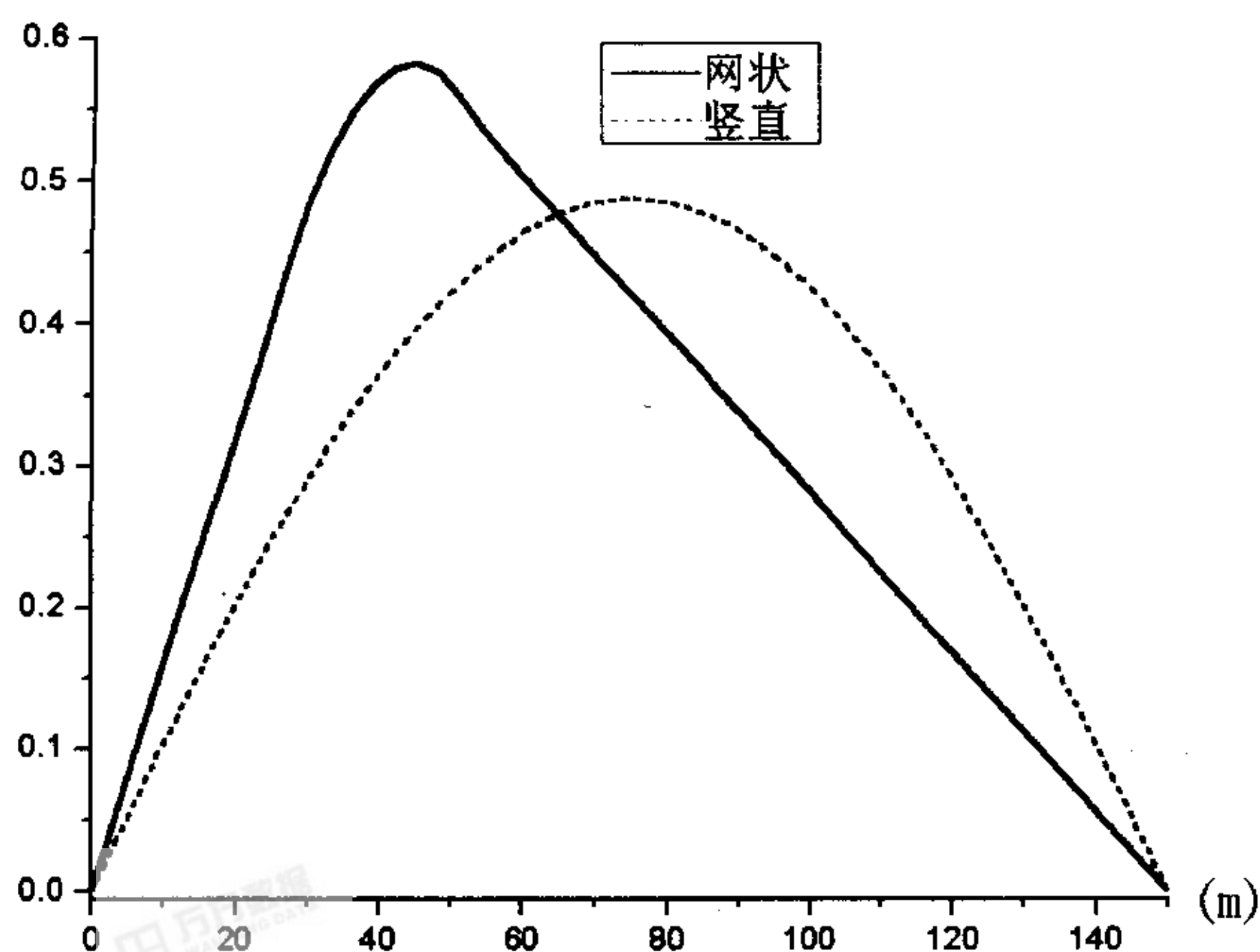


图 7 L/4 处系梁轴力影响线

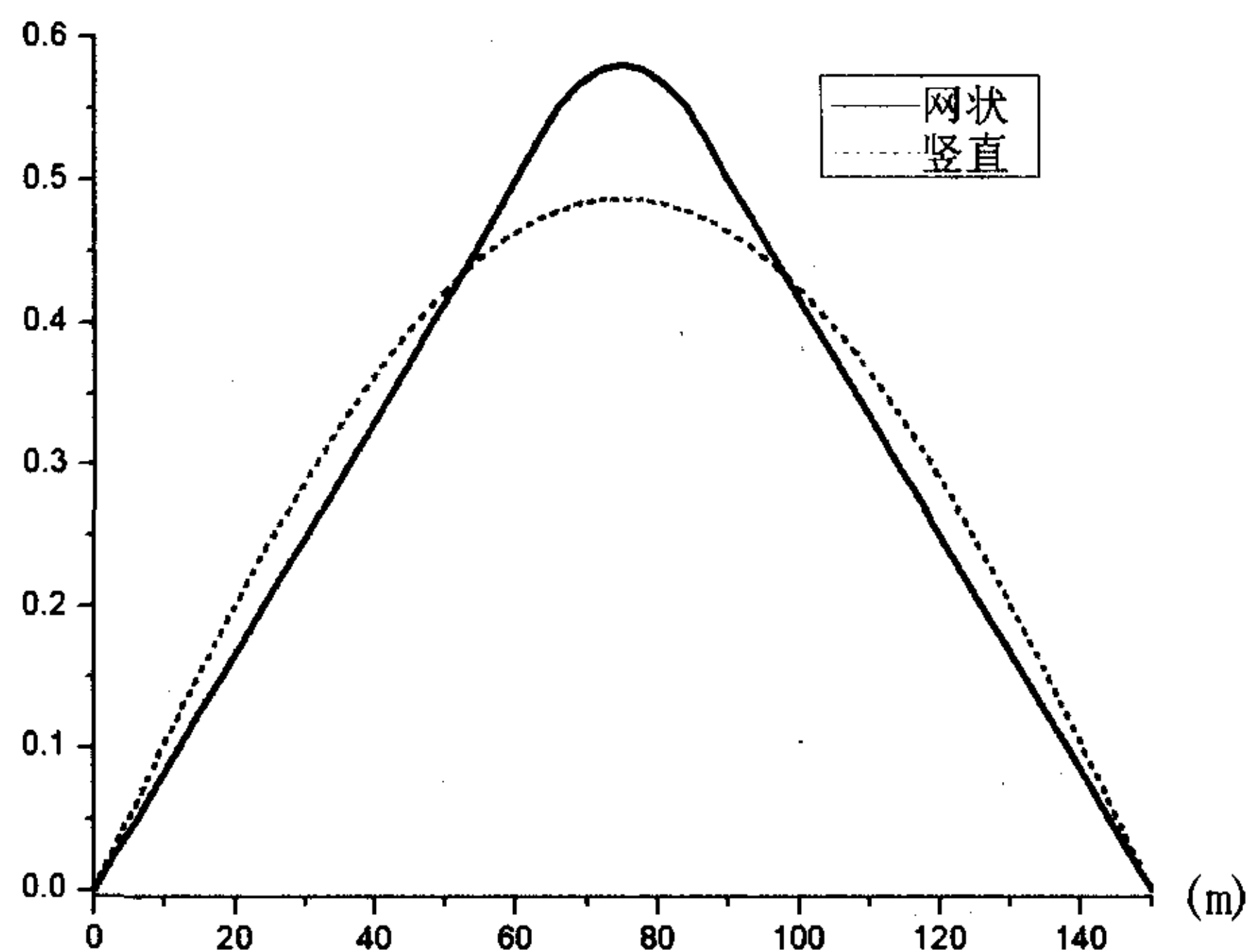


图 8 L/2 处系梁轴力影响线

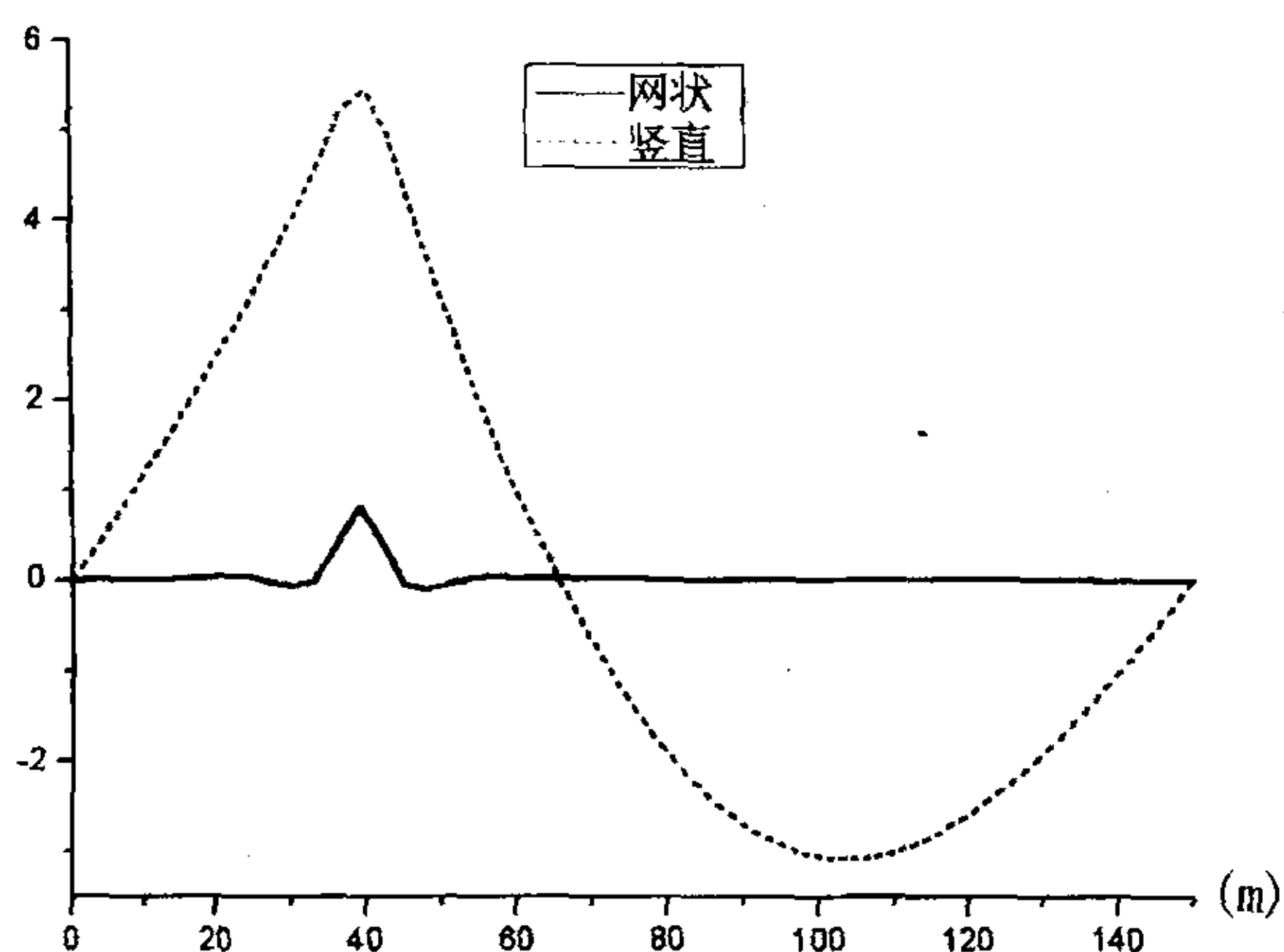


图 9 L/4 处系梁弯矩影响线

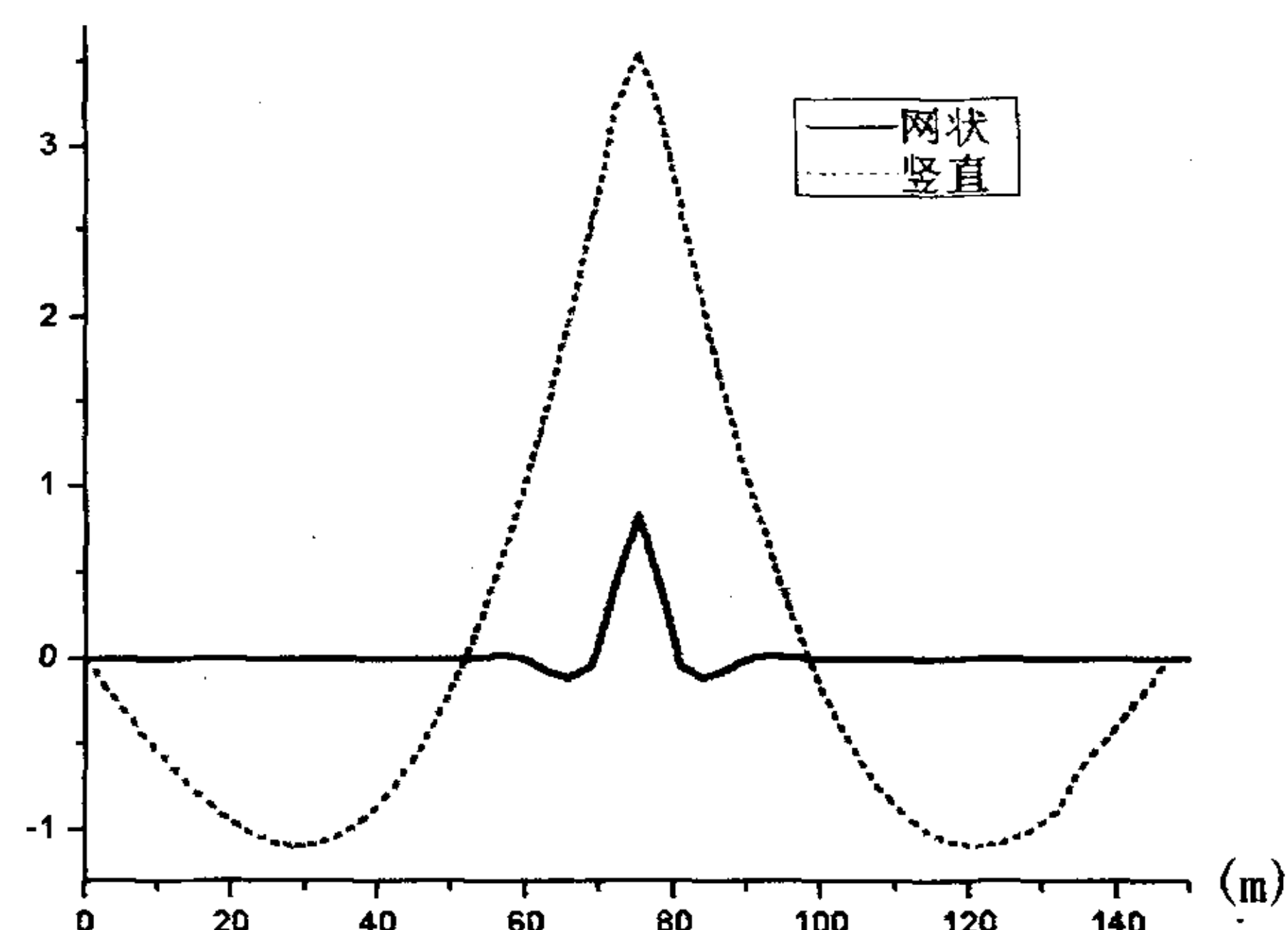


图 10 L/2 处系梁弯矩影响线

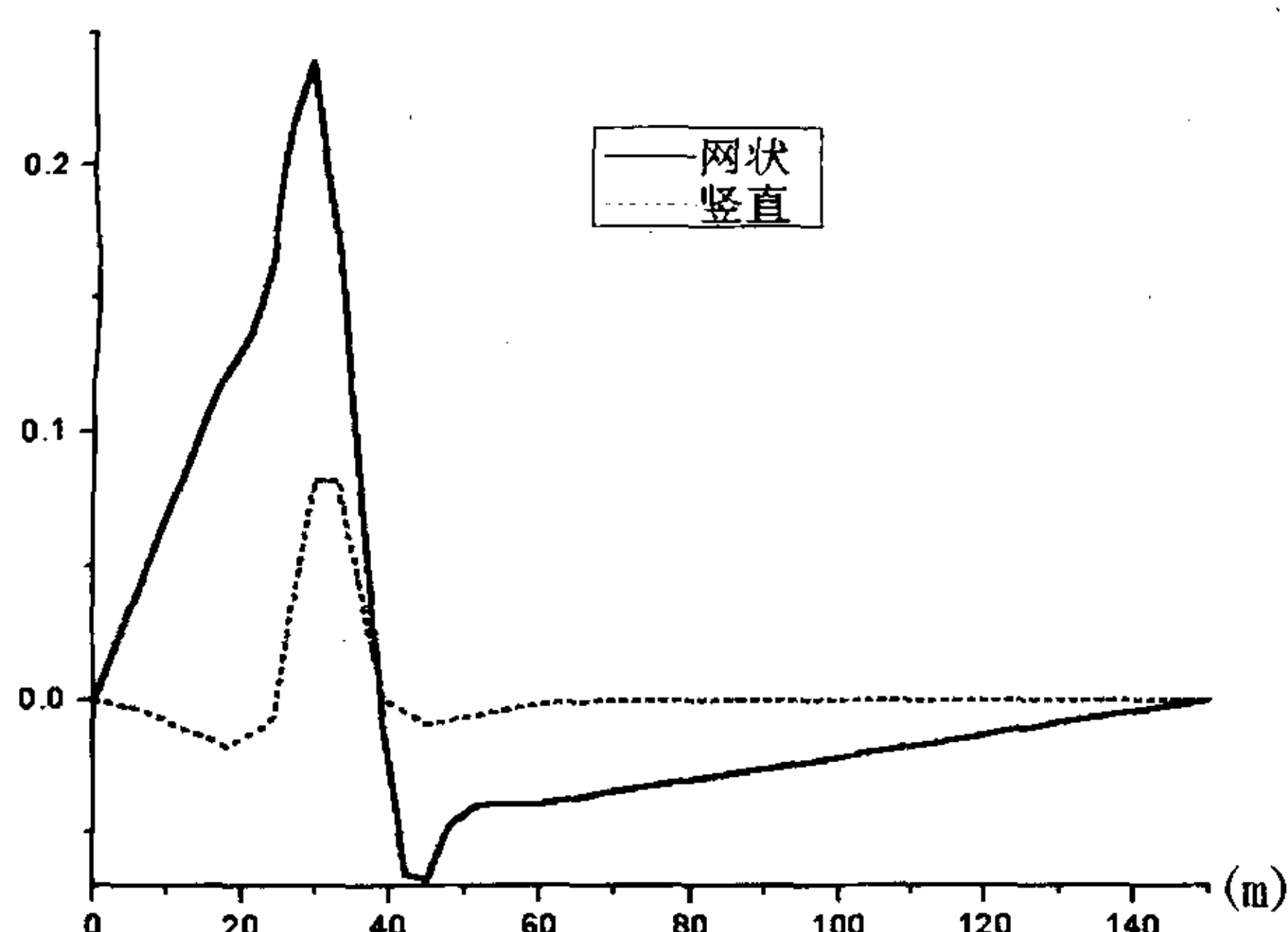


图 11 L/4 处吊杆轴力影响线

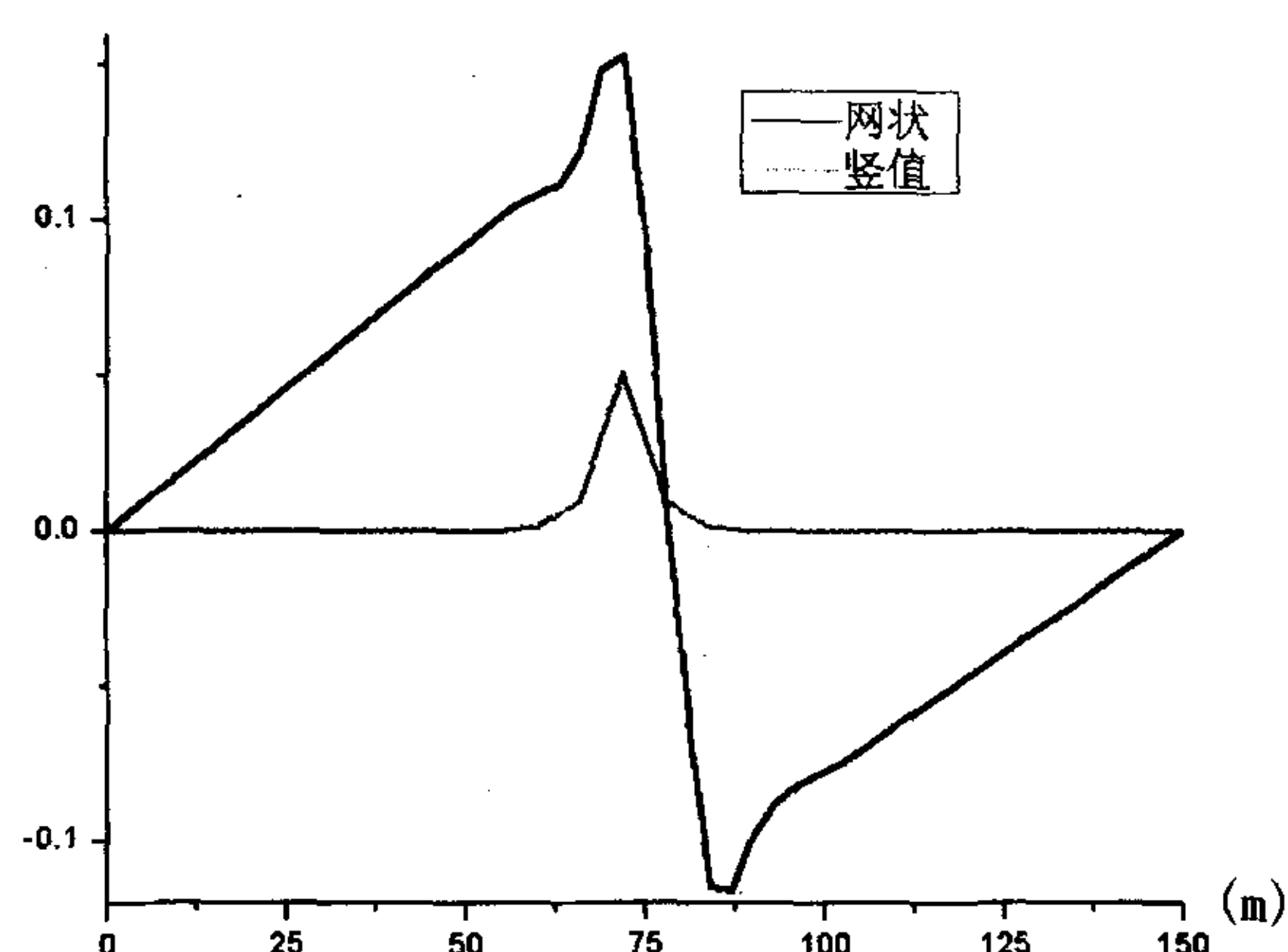


图 12 L/2 处吊杆轴力影响线

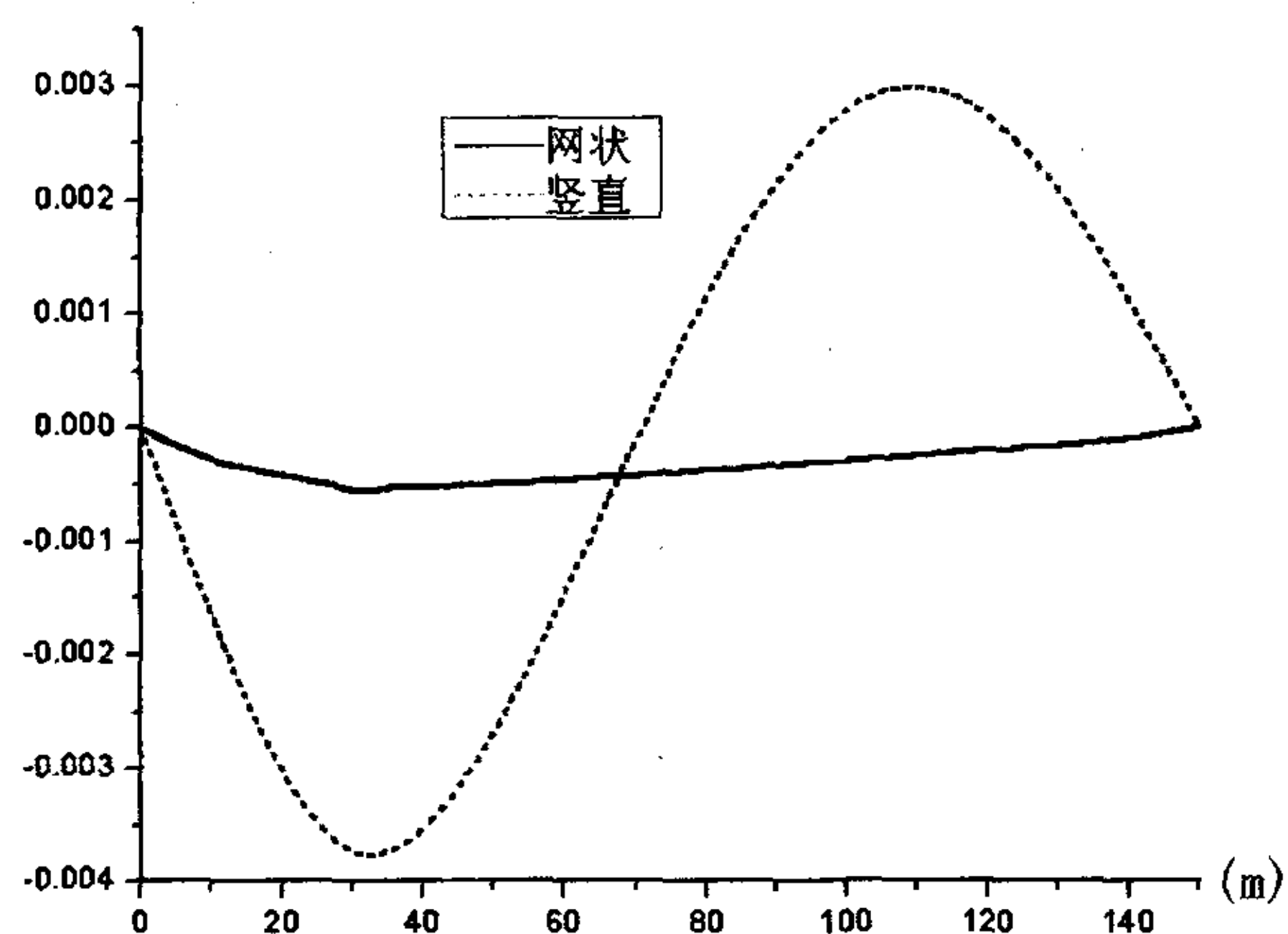


图 13 L/4 处系梁挠度影响线

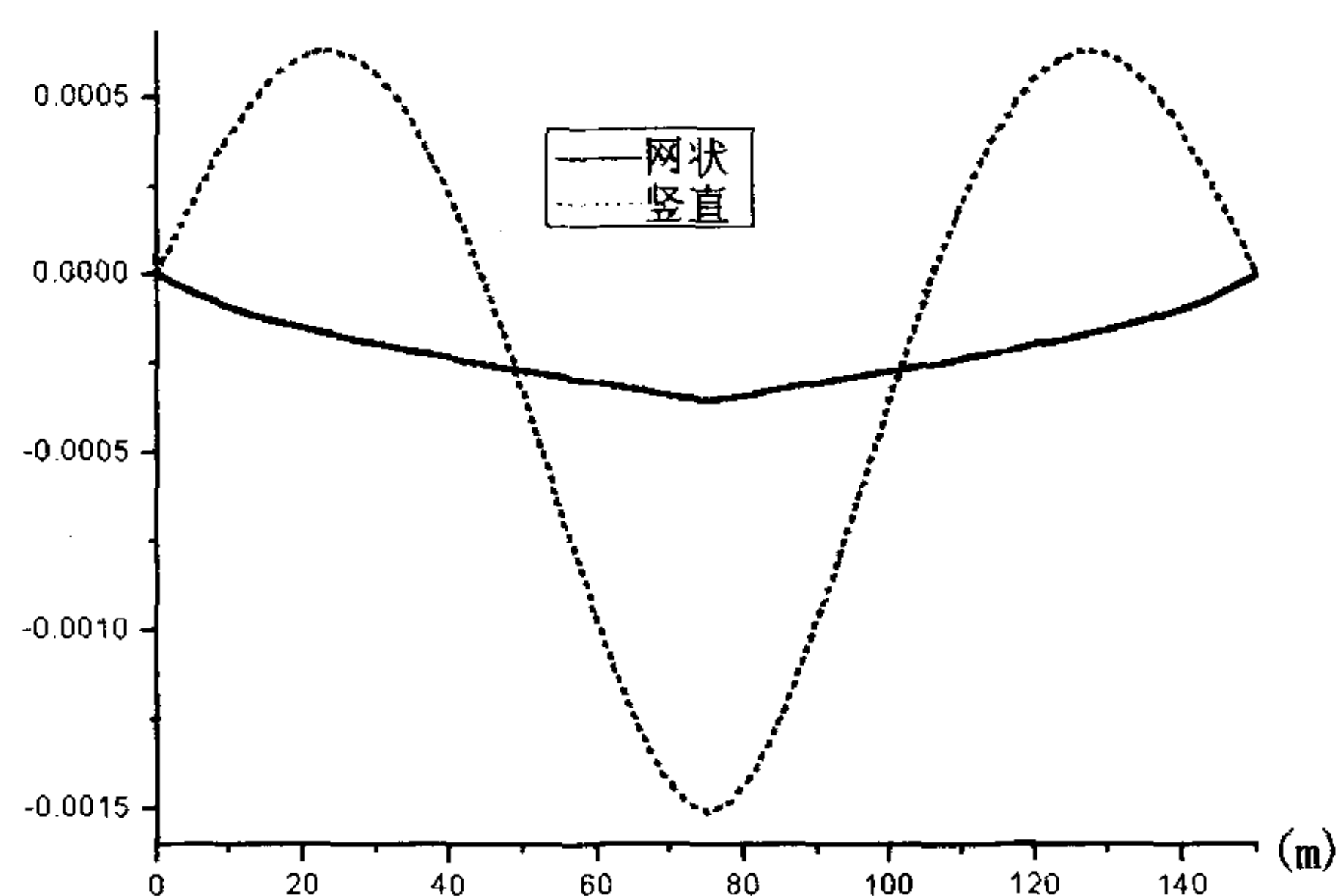


图 14 L/2 处系梁挠度影响线

3 结论

(1) 提篮式拱的拱肋和系杆的轴向力与竖直吊杆拱相比，轴力没有显著的不同，但弯矩却大幅度减少了。对于拱轴截面来说，基本上可按轴力的大小来控制设计，这样就可以充分发挥混凝土的抗压特性，节省材料。

(2) 由于网状吊杆的存在大大地减少了拱桥的剪切变形，因此提篮式拱和竖直吊杆拱相比，不

仅最大挠度非常小，而且不存在反向挠度，对行车平稳性很有利，是一种适用于重载铁路桥梁及大跨度桥梁的桥型。

(3) 提篮式拱吊杆表现出加载与卸载及受拉与受压的交替过程，疲劳问题非常突出，今后要加强对吊杆养护维修的进一步研究。

(4) 提篮式拱中，斜杆愈显得平坦，与系梁的交接长度便会愈长，使得吊杆与系梁处的结构布置难度增加，今后还要加强对节点构造的进一步

三塔部分斜拉桥结构体系的分析研究

张宏远

(北京市市政工程设计研究总院,北京市 100045)

摘要:该文以京承高速公路潮白河大桥为工程背景,介绍了三塔部分斜拉桥结构体系的选择过程,并通过数值分析比较了不同结构体系在外部作用下的反应,以及采用阻尼器降低结构地震效应的措施。

关键词:部分斜拉桥;结构体系;外部作用;动力特性;阻尼器

中图分类号:U448.27 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)06-0044-04

0 引言

部分斜拉桥是近年来新出现的一种桥型,介于常规的斜拉桥与传统的梁式桥之间,是斜拉桥和梁式桥的组合结构体系。与常规的斜拉桥相比,部分斜拉桥的桥塔较矮,因此也被称为矮塔斜拉桥。由于部分斜拉桥兼有斜拉桥与梁式桥的优点,在国内外得到迅速发展^[1]。世界上第一座部分斜拉桥是日本于1994年建成的的小田原港桥,我国近几年也建成了漳州战备大桥、兰州小溪湖大桥等部分斜拉桥。部分斜拉桥的出现,填补了梁式桥和斜拉桥之间的空白,为桥梁结构的发展提供了更广阔的空间。

本文以京承高速公路潮白河大桥为工程背景,结合部分斜拉桥的特点,介绍了三塔部分斜拉桥结构体系的选择过程,并通过数值分析比较了不同结构体系在外部作用下的反应,以及采用阻尼器降低结构地震效应的措施。

1 工程概况

京承高速公路潮白河大桥位于北京市密云县内,全长919.18 m,宽29.5 m,是京承高速公路中规模最大的桥梁,桥位处河道宽浅,地质条件较好,无通航要求。在初步设计阶段,曾对潮白河大

桥提出多个桥型方案进行比较,综合考虑河道现况、工程造价、工期等因素,最后确定潮白河大桥主桥采用三塔部分斜拉桥,引桥采用预应力混凝土连续梁桥。

由于用地条件的限制,潮白河大桥桥梁中线与河道中线的交角为 53° 。为了减少桥墩对水流的影响,主桥采用独柱单索面斜拉桥方案,索塔和斜拉索都布置在中央分隔带上,引桥按上下行分为两个半桥,上下行桥的墩柱平行于水流方向错开布置。

潮白河大桥主桥长384 m,中跨120 m,边跨72 m,桥面以上索塔高21 m,每个索塔上挂8对斜拉索,斜拉索与水平线最大夹角 37° ,最小夹角 19° ,桥型布置见图1。斜拉索采用环氧涂层高强低松弛钢绞线,锚固于主梁内,并通过分丝管穿过塔身,分丝管出口处设有抗滑锚板,防止钢绞线滑动。

主梁为变截面单箱三室预应力混凝土结构,索塔处梁高4.2 m,梁端和中跨跨中处梁高2.2 m,按二次抛物线形式变化。主梁结构宽29.24 m,单侧悬臂宽4.5 m;边室顶板厚26 cm,中室顶板厚50 cm,底板厚24 cm;腹板铅直,边腹板厚80 cm,中腹板厚60 cm。桥塔处上部结构横断面如图2所示。纵向和横向预应力材料为高强低松弛钢绞线,竖向预应力材料为高强精轧螺纹粗钢筋。

主桥墩柱高度16 m~18 m,均采用圆形空心截面,中塔墩直径8 m,壁厚1.5 m;边塔墩直径6

收稿日期:2006-08-16

作者简介:张宏远(1965-),男,北京人,高级工程师,从事桥梁结构设计和研究工作。

研究与开发。

总之,提篮式拱用网状吊杆来代替竖直吊杆,从构造上来看,网状吊杆与拱肋和系杆的联结稍显复杂,但从内力分配和整体刚度上来看,优于吊杆竖直布置的系杆拱,是一种具有良好发展前景的大跨度桥梁形式。

参考文献

- [1]顾安邦等.拱桥(下册)[M].北京:人民交通出版社,1994.
- [2]顾安邦.桥梁工程(下册)[M].北京:人民交通出版社,1999.
- [3]项海帆等.拱结构的稳定与振动[M].北京:人民交通出版社,1991.
- [4]刘钊,吕志涛.竖吊杆与斜吊杆系杆拱结构的桥式研究[J].土木工程学报,2000,(5):63-67.
- [5]夏旻,刘浩.不同吊杆布置形式下简支梁拱组合体系拱桥的影响线特性分析[J].交通科技与经济,2004,(2):1-3.