

文章编号: 0451-0712(2006)07-0044-05

中图分类号: U448.29

文献标识码: B

自锚式斜拉—悬索协作体系桥梁设计与分析

张 哲, 王会利, 黄才良, 陈 军, 杜高明

(大连理工大学桥梁研究所 大连市 116023)

摘 要: 斜拉桥和自锚式悬索桥相互协作, 形成一种新型的协作体系, 该体系适合于大跨径桥梁。本文以大连庄河建设大桥为背景, 介绍了该体系桥梁的设计构思; 分析了该体系静力、动力特性, 并阐述了吊索疲劳问题, 为斜拉—悬索协作体系的研究提供参考依据。

关键词: 自锚式斜拉—悬索协作体系; 斜拉桥; 自锚式悬索桥

随着设计理论的完善、施工方法的改进、新材料的利用和社会经济的发展, 越来越多的大跨径桥梁为人们所热衷, 斜拉桥与悬索桥是主要考虑的桥型。斜拉桥施工时的悬臂跨径达到 500 m 左右时, 它的空气动力稳定性确实令人担心; 同时它的轴向水平压力也会随着悬臂跨径的增大而迅速增加, 致使主梁根部在近塔处会产生压屈失稳的现象。而悬索桥主缆和主梁用钢量较大, 增加了工程造价, 而且大跨径悬索桥均为地锚式, 需要庞大的锚碇, 其体积随着跨径的增大而迅速增加。主跨 1 000 m 的悬索桥比同等跨径的斜拉桥造价要高出 16.7%。另外, 空气动力稳定性也是悬索桥向大跨径发展的制约因素。

科学技术的发展历史表明, 在两种学科的边缘, 往往会派生出来一种新的学科, 焕发出崭新的异彩。桥梁结构也是如此, 以现代斜拉桥而论, 在其发展的短短 40 多年中, 就曾和多种其他桥型相互协作, 而获得可观的技术经济效益, 斜拉桥与悬索桥之间同样如此。如果斜拉桥中跨跨中部分采用悬索桥, 那么就可以解决在悬拼过程中的静力稳定、空气动力稳定和主梁压力过大的问题; 而对于悬索桥, 借助与斜拉桥的协作, 可以提高整体刚度、降低主缆拉力和锚碇规模, 尤其对深水和软土地基情况意义重大。世界各国桥梁工作者都锲而不舍地探索着, 并多次提出了实桥设计方案, 如土耳其 Izmit 桥、直布罗陀

收稿日期: 2005-12-20

Research on Inclination Angle Optimization of Bridge Leg of Multi-Span Non-Abutment Slant-Legged Rigid Frame Bridge

KANG Jun-tao¹, E De-jun², WANG Guo-ding³

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. Forestry survey and design institute of Hubei province, Wuhan 430060, China;

3. School of Civil Engineering and Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Multi-span non-abutment slant-legged rigid frame bridge is a multiply redundant structure with larger optimum potential. Combined with engineering practices, according to different load combinations, the optimum analysis of inclination angle of bridge leg is carried out from two aspects of controlling section internal force and displacement of structure. The results indicate that multi-span non-abutment slant-legged rigid frame bridge is similar to multi-arch bridge, and the slant-legged inclination angle of 45°~55° is suitable.

Key words: non-abutment slant-legged rigid frame bridge; multi-span; slant-legged inclination angle

海峡桥、日本轻津海峡桥均提出过斜拉—悬索协作体系方案。在我国汕头海湾大桥、伶仃洋大桥也都提出过该方案。但是由于种种原因,上述方案均没有被实施。1997 年 10 月我国贵州乌江大桥竣工通车,这标志着世界第一座现代化斜拉—悬索协作桥梁的诞生。

目前斜拉—悬索协作桥梁主要停留在方案设计阶段。所提出的方案,均为地锚体系,需要庞大的锚碇,施工难度大,工程造价高。如果采用自锚体系,不仅节省了锚碇,而且缩短了工期。大连市庄河建设大桥就采用自锚式斜拉—悬索协作体系,受力合理,节约了工程造价,取得了满意的效果。该桥是世界首座自锚式斜拉—悬索协作体系桥梁,它的修建无疑会

对斜拉—悬索协作体系的发展又添一笔。

1 大连市庄河建设大桥总体布置

大连市庄河建设大桥跨庄河小寺河,两端道路均为城市主干道。考虑经济、美观等因素,选定自锚式斜拉—悬索协作体系桥梁。主桥为双索面自锚式斜拉—悬索协作体系桥,主跨跨径为 100 m,两边跨跨径为 41.6 m,主桥长 183.2 m。本桥为半漂浮体系,跨中悬索段矢跨比 $f/l=7.05/49.60 \approx 1/7.0$ 。中跨斜拉索、吊杆间距为 6.2 m,边跨斜拉索间距为 6 m。全桥布置如图 1 所示。

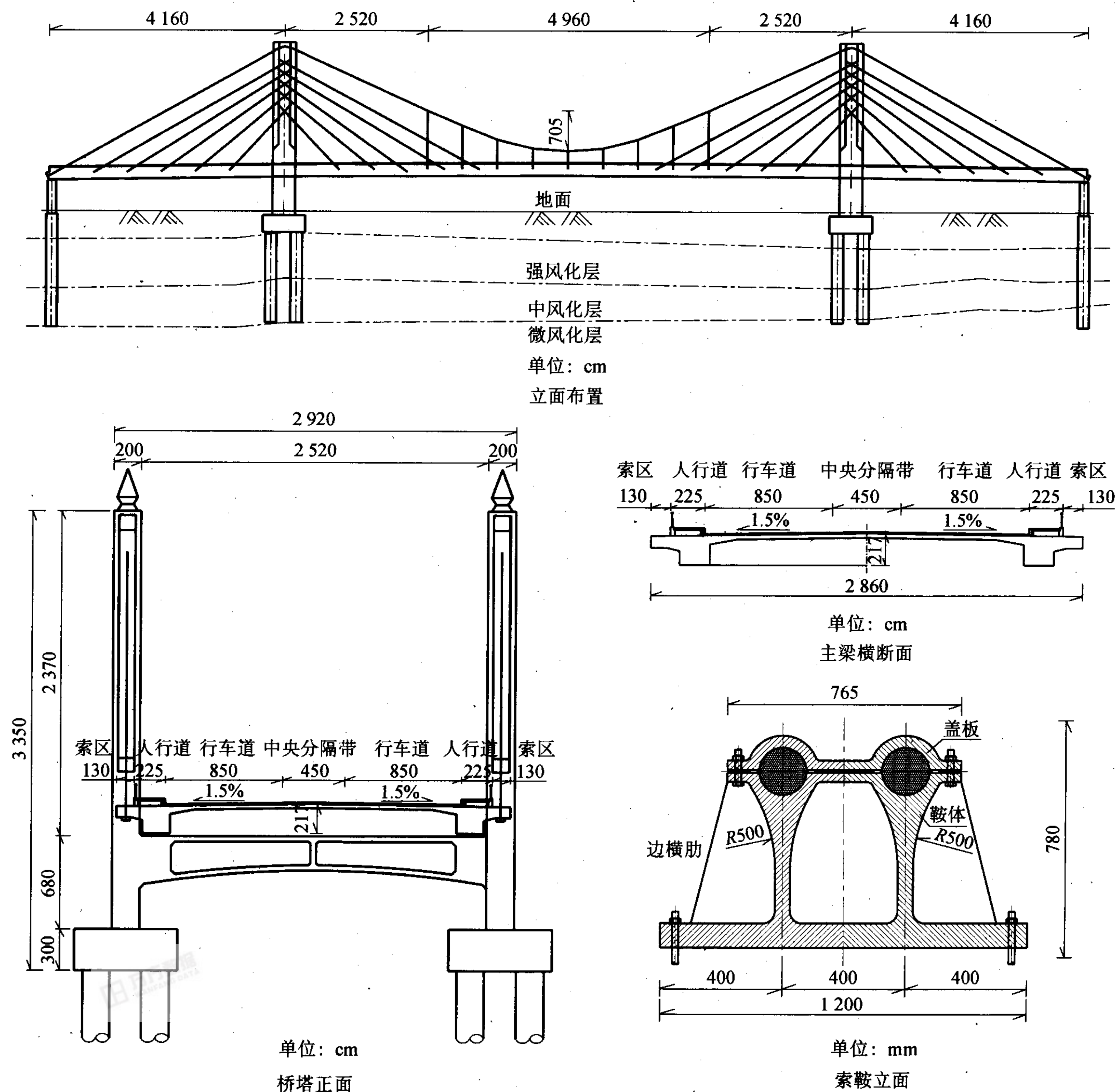


图 1 大连庄河建设大桥主要构件尺寸

加劲主梁为边主梁截面形式,采用C55混凝土,梁宽 28.6 m,梁高 2.17 m,梁高为主跨跨径的

1/46.1。主梁内配置直线预应力束,这样既减小了预应力损失,又方便了施工。主要技术参数见表1。

表1 大连庄河建设大桥主要计算参数

名称	要点	备注	名称	要点
桥梁跨径布置	41.6 m+100 m+41.6 m		主梁材料	C55 混凝土
主缆矢跨比	1/7	悬吊部分	主塔形式	门式框架
主缆直径	243 mm		主塔高度	23.7m
主缆横向间距	27.2 m		主塔材料	C55 混凝土
主缆材料强度	1 670 MPa		主塔基础形式	桩基础
斜拉索标准间距	6.2 m/6 m	中跨/边跨	辅助墩材料	C30 混凝土
斜拉索材料强度	1 670 MPa		辅助墩基础材料	C30 混凝土
吊索标准间距	6.2 m		主梁宽与中跨比	1 : 3.49
交叉部分梁长	9.3 m		主梁高与中跨比	1 : 46.1
主梁形式	π 型边主梁		边跨与中跨比	1 : 2.4
主梁宽度	28.6 m		塔高与中跨比	1 : 4.22
主梁高度	2.17 m	中间	悬吊部分与中跨比	1 : 2.02

2 结构计算

2.1 计算模式

自锚式斜拉—悬索协作体系桥梁计算,必须按其结构形式特点、特定的施工工艺及施工过程,建立相应的结构计算模式和计算方法,结构计算模式框图见图2所示。

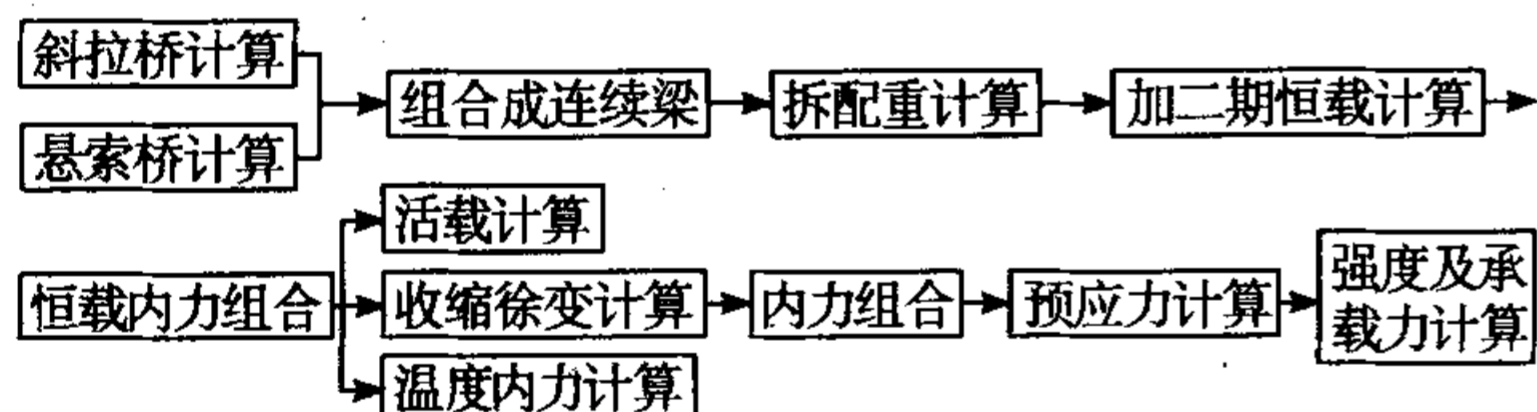


图2 结构计算模式框图

2.2 分析结果

2.2.1 汽车荷载作用下主梁、主塔位移

全桥4车道,采用城—A汽车荷载等级。图3、图4为主梁、主塔在汽车荷载作用下的位移包络图。

主梁在汽车荷载作用下,跨中最大挠度为32 mm,约为主跨跨径的 $1/3\,000 < 1/400$,该桥刚度满足要求。

2.2.2 主梁内力、应力

主梁内配有预应力束,在上述荷载作用下得到成桥内力和应力,由于结构对称,取半桥结果,如图5、图6所示。

由于采用自锚体系,主缆水平力传递给主梁,因此主梁的压力非常大,这对于混凝土材料是非常有利的。主梁最大压力为77 607 kN,最大弯矩为14 483.7 kN·m,

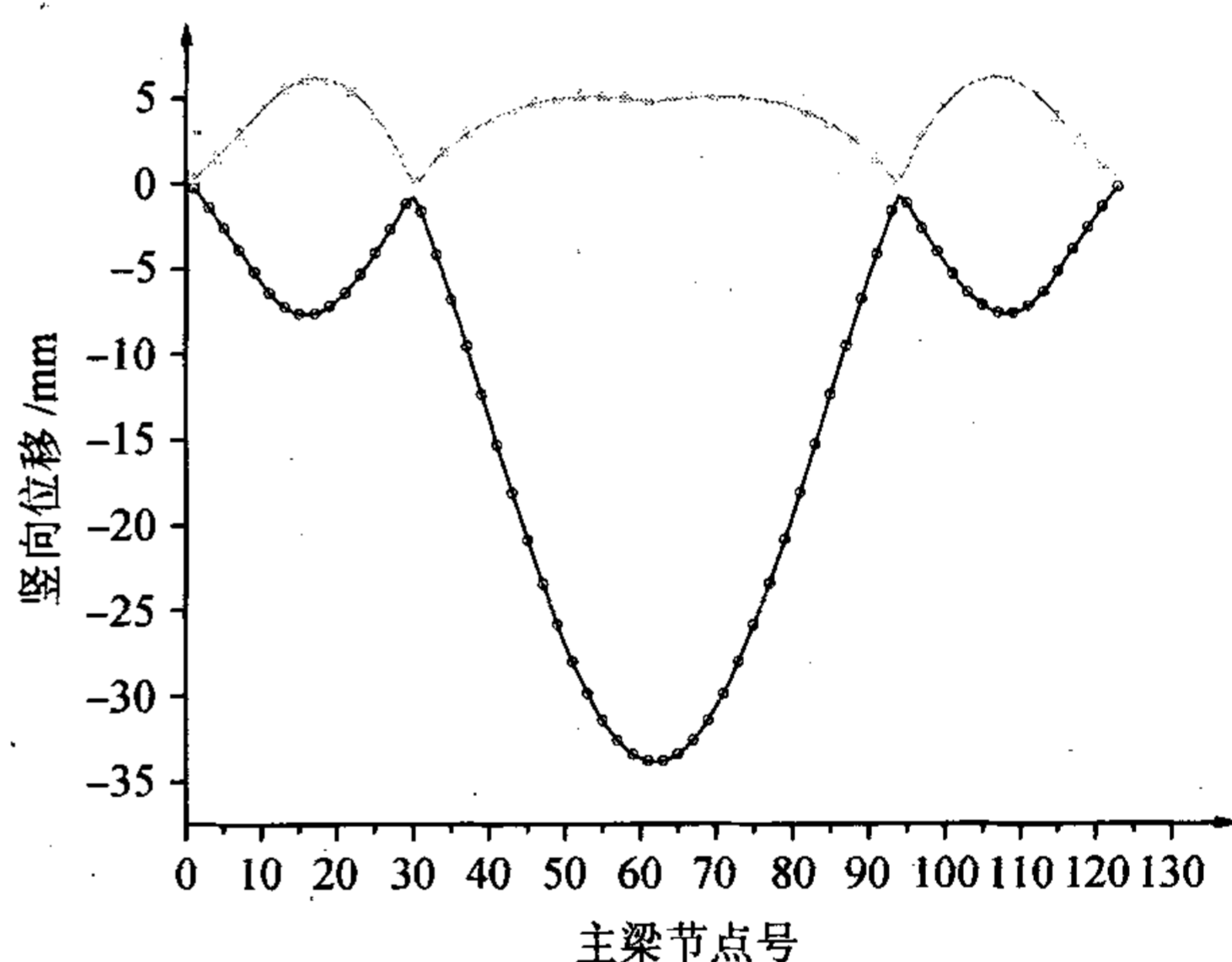


图3 主梁位移包络图

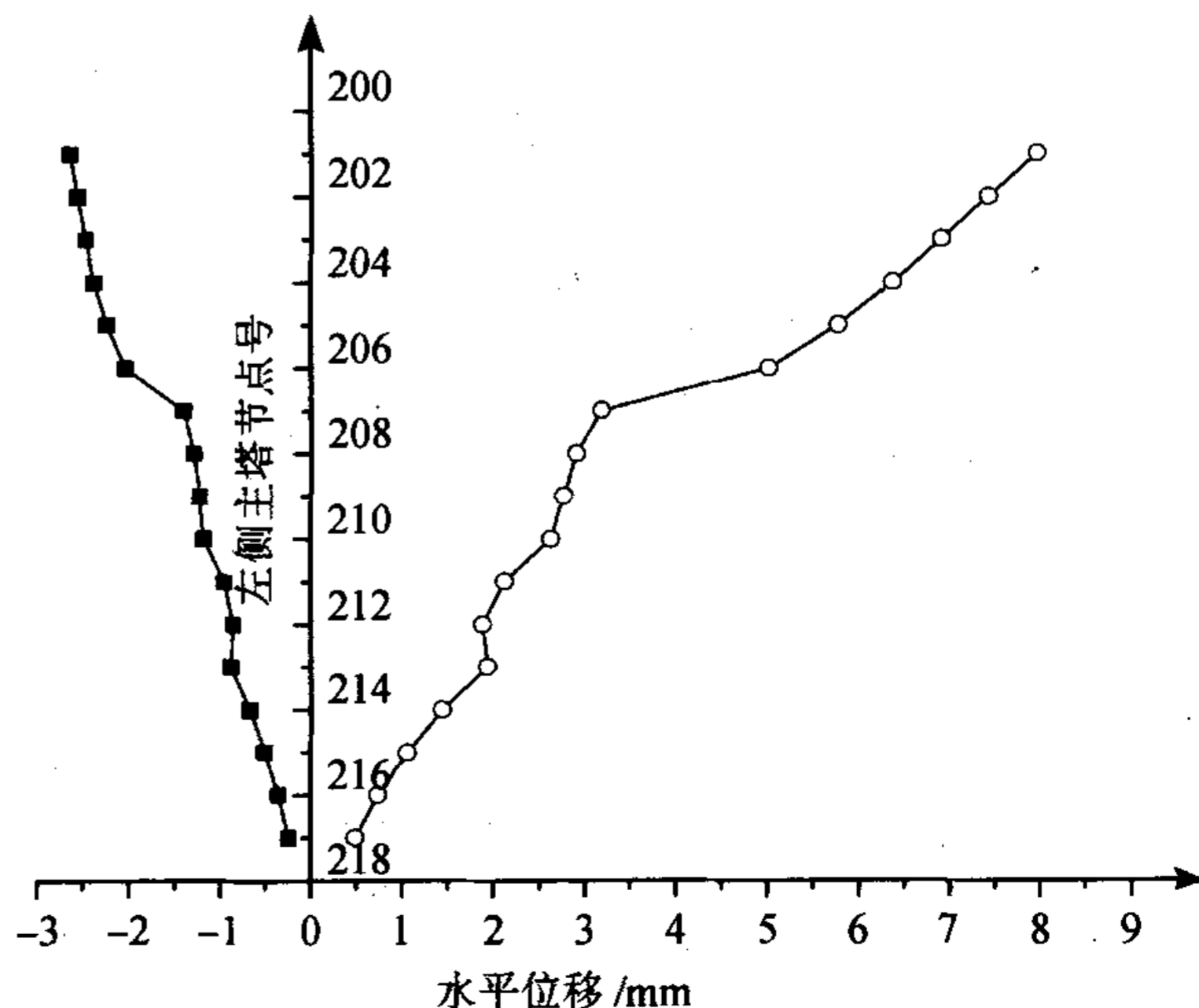


图4 左侧主塔位移包络图

均发生在索塔与主梁相交处附近。主梁上下缘应力也在与索塔相交处附近出现峰值,最大压应力为16.6 MPa,最大拉应力为1.6 MPa,由于主梁采用C55混凝土,所以主梁应力满足规范要求。

2.2.3 端吊索疲劳问题

斜拉—悬索协作体系之所以发展缓慢,其中主要一条原因就是:部分吊索,特别是端吊索应力幅过大,容易出现疲劳破坏^[2]。图7给出各吊杆的最大、最小应力及应力幅。

由于采用交叉吊索,所以端头两根吊索的索力比较小。端吊索应力 $\sigma_{\max} = 104.6$ MPa, $\sigma_{\min} = 86.1$ MPa, 应力幅 $\sigma_{\max} - \sigma_{\min} = 104.6 - 86.1 =$

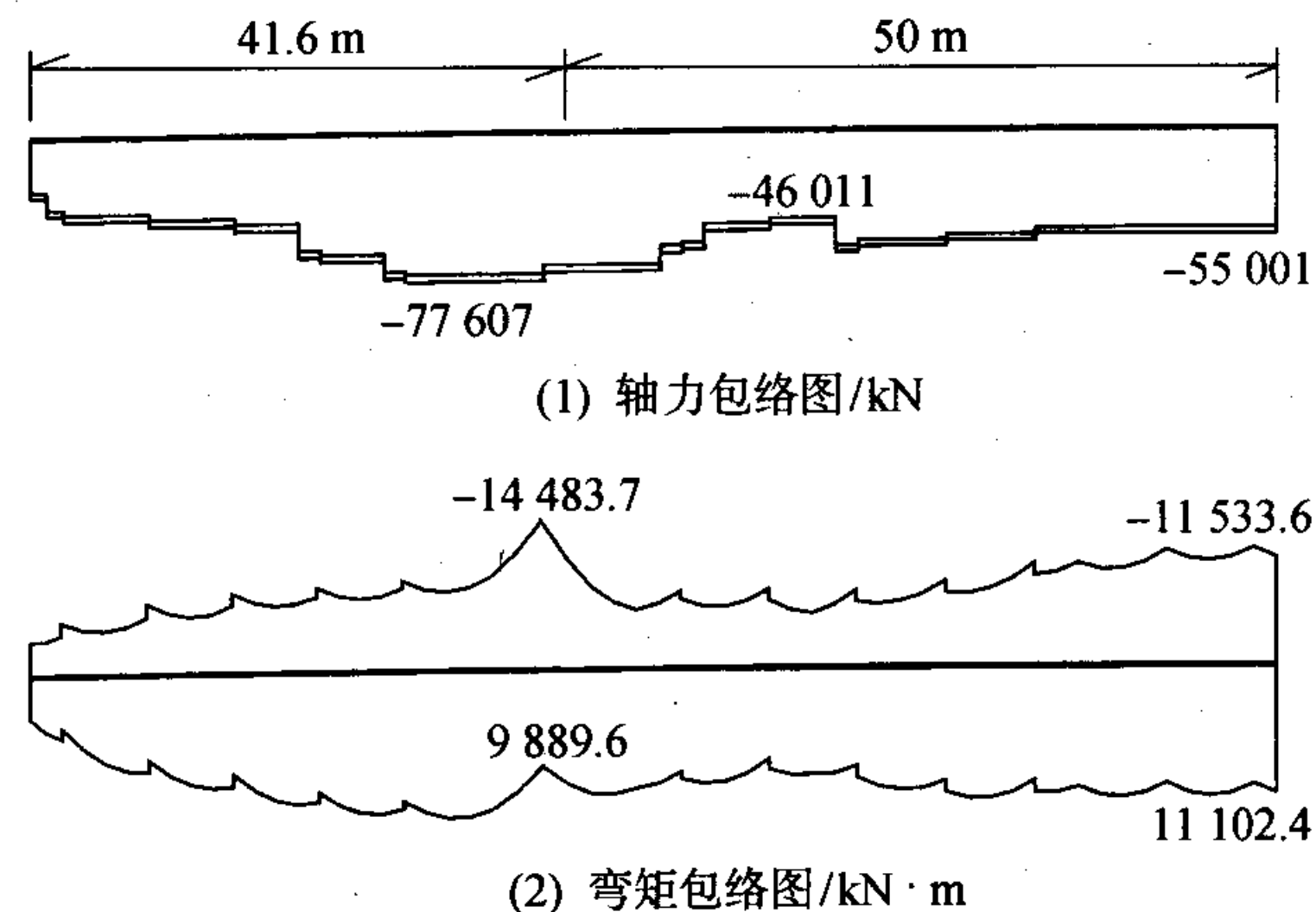
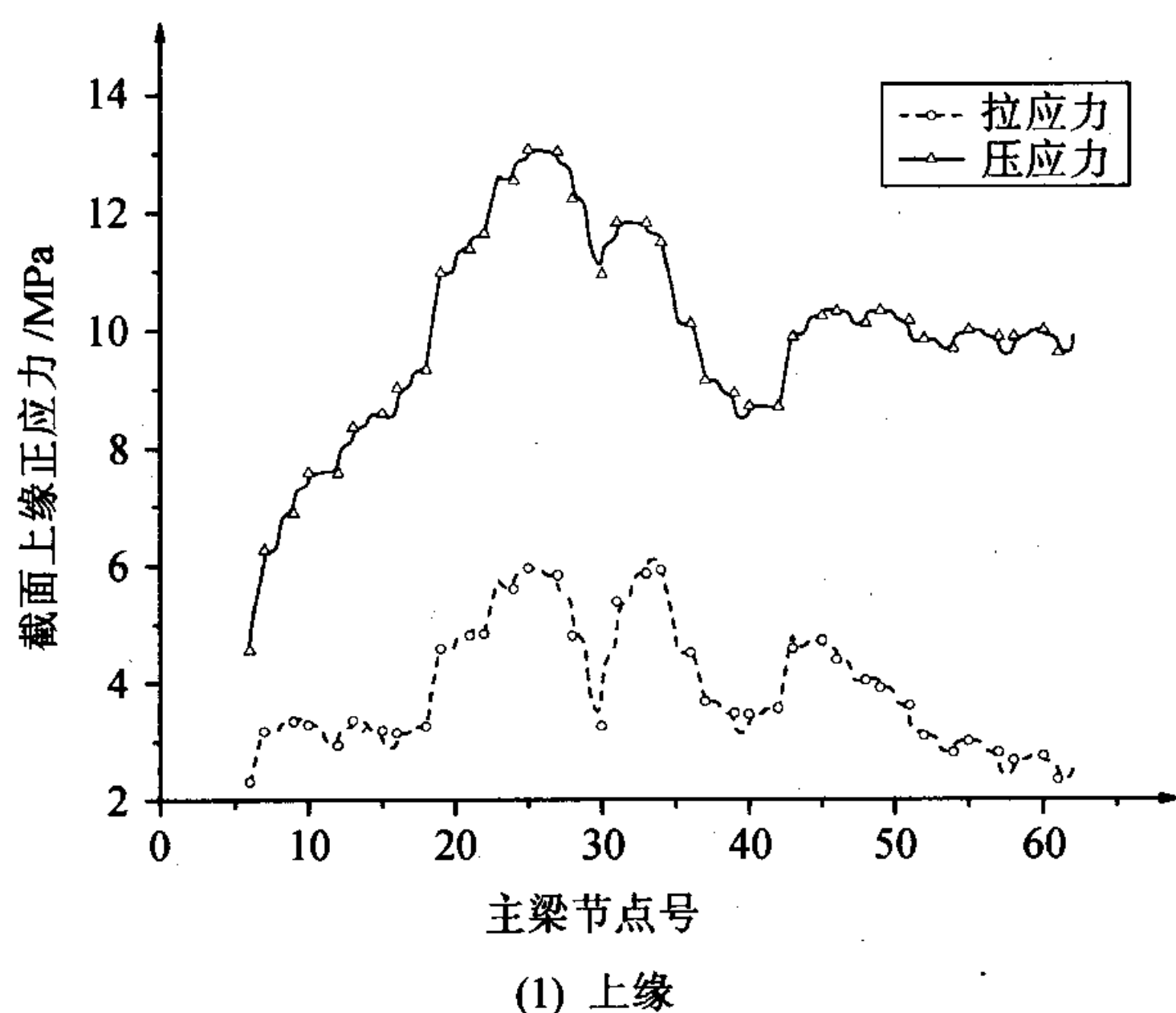


图5 主梁内力包络图

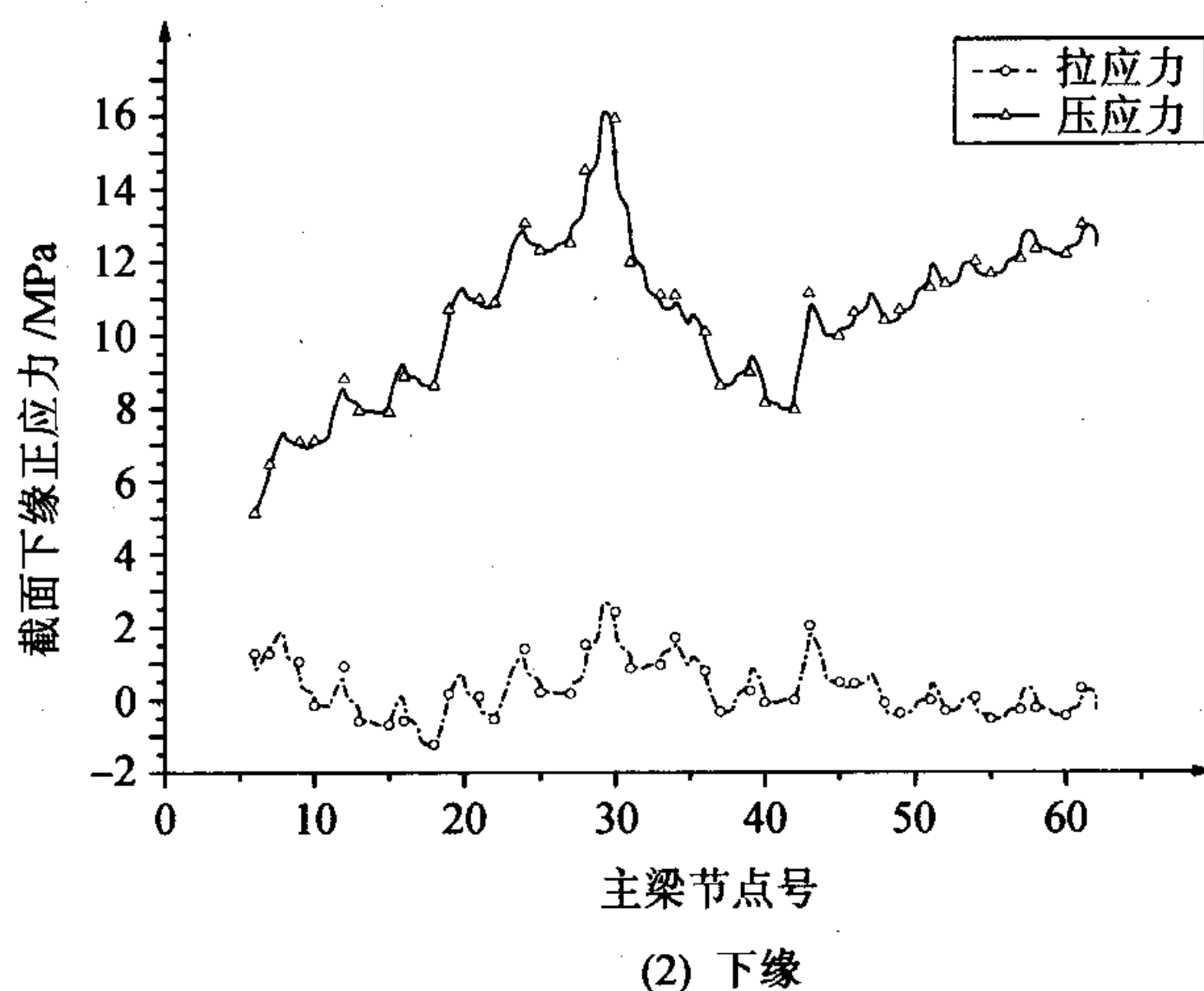


图6 主梁应力包络图(拉应力为负)

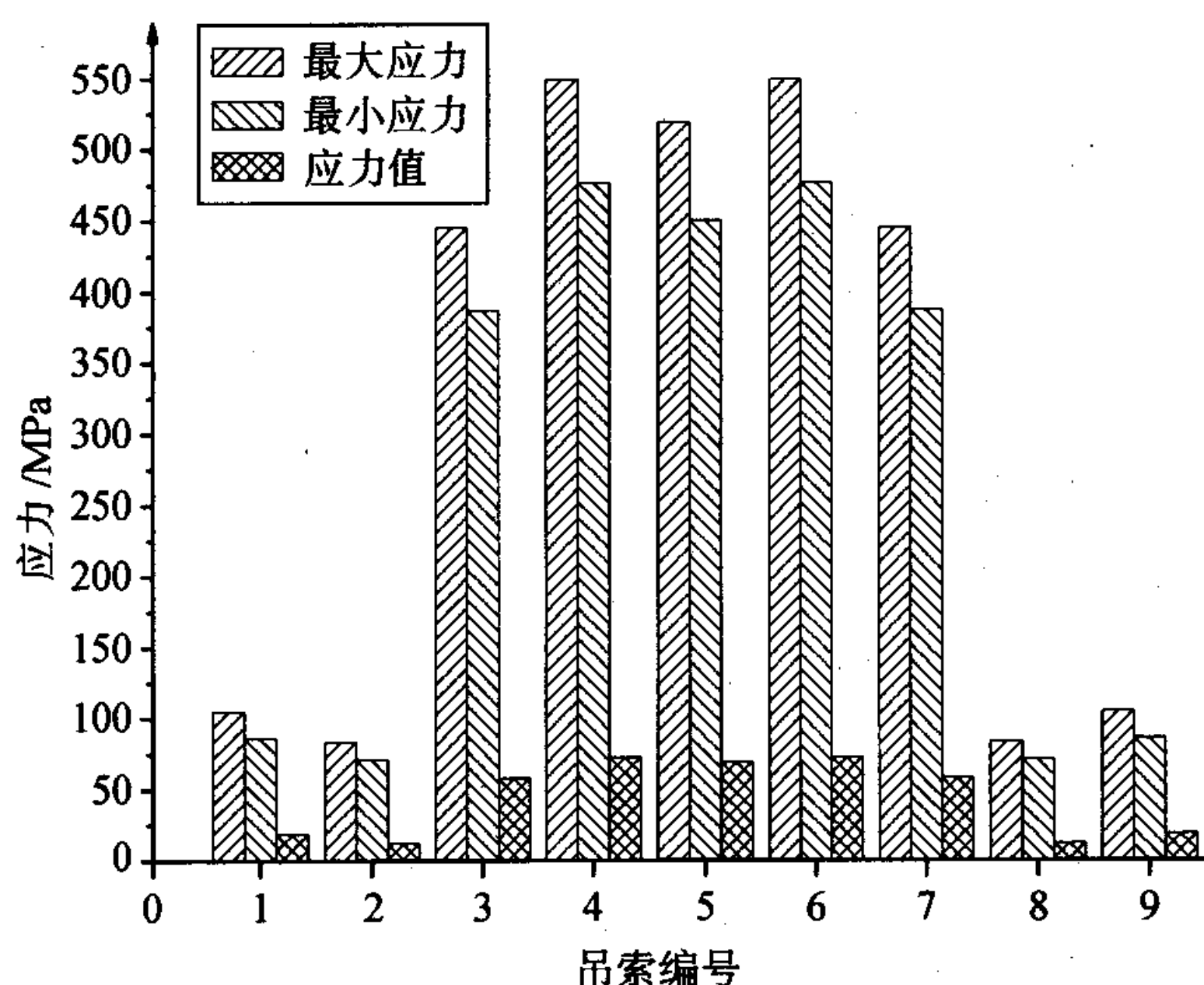


图7 各吊索应力及应力幅

18.5 MPa。根据文献^[2],吊索允许疲劳应力为:

$$[\sigma_n] = \frac{0.3\sigma_B}{1 - 0.6 \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}} \quad (1)$$

式中: $[\sigma_n]$ 为允许疲劳应力; σ_B 为静载强度极限; σ_{\min} 、 σ_{\max} 为构件最小、最大应力。

吊索采用 PSS-187 ϕ 7 成品平行钢丝,其静载强度极限 $\sigma_B = 1570$ MPa,根据式(1),得端吊索允许疲劳应力 $[\sigma_n] = 930$ MPa $> \sigma_{\max} = 104.6$ MPa,因此端吊索不存在疲劳破坏问题。

应该指出,任何桥梁在活载作用下,构件都会出现应力幅的变化,当交变应力幅大于材料允许值,就会出现疲劳问题,克服疲劳问题的关键就是减小两端吊索的活载轴力幅。结构中采用了交叉吊索,可以将活载最大交变轴力区在更大的区域内分布,因此端吊索的应力幅大大减小。将交叉吊索去掉,部分吊索索力见表2。

从表2可以看出,在采用两根交叉吊索与不采用交叉吊索这两种情况下,端吊索应力幅相差近5倍。

2.2.4 动力特性^[3]

反映桥梁动力特性的重要振型为主梁的一阶竖

表 2 各情况下部分吊索的应力幅 MPa

吊索编号	有吊两根交叉索	有一根交叉吊索	没有交叉吊索
1	26.9		
2	22.1	42.6	
3	95.4	93.3	121.0
4	119.0	116.5	108.9
5	113.6	111.2	104.4

弯、一阶横弯和一阶扭转。将自锚式斜拉—悬索协作体系与地锚式斜拉—悬索协作体系的动力特性相比较,研究中通过如下假定增加两种体系的可比性:(1)梁、塔截面形状相同;(2)结构恒载内力状态根据弯曲能量最小原理确定;(3)主缆、斜拉索和吊索面积按恒载内力的2.5倍安全系数取值。表3给出两种体系重要振型的频率。

表 3 两种体系下振型的频率 Hz

体系	一阶竖弯	一阶横弯	一阶扭转
自锚式协作体系	0.648	0.458	1.704
地锚式协作体系	0.873	2.648	0.702

自锚式协作体系的一阶竖弯频率略小于地锚式协作体系的一阶竖弯频率;自锚式协作体系的一阶横弯频率比地锚式协作体系的小很多。这是因为自锚体系内主梁恒载压力大,降低了结构刚度,所以自锚体系的一阶竖弯频率和一阶横弯频率均较小。

另外,自锚体系的主梁一阶扭转频率大大高于地锚体系,缆索、塔、梁共同参振,共同分担主梁从来流中吸收的能量,使其颤振临界风速提高。因此,从抗风稳定性方面看,自锚式协作体系比地锚式协作体系更具有优越性。

3 结论

(1)自锚式斜拉—悬索协作体系桥是适用于大跨径桥的一种新桥型。斜拉桥和悬索桥两种结构相互协作,优势互补。采用自锚体系,节省了庞大的锚碇,不仅降低了造价,而且缩短了工期。

(2)采用交叉吊索,可以减小端吊索的应力幅,克服疲劳破坏问题。

(3)自锚式斜拉—悬索协作体系的抗风稳定性优于地锚式斜拉—悬索协作体系。

参考文献:

- [1] 周念先. 桥梁方案优选(九)[J]. 江苏交通工程, 1996, 1(3).
- [2] 王伯惠. 斜拉—悬索协作体系桥[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2000, 2(3).
- [3] 肖汝诚, 贾丽君, 薛二乐, 等. 斜拉—悬索协作体系的设计探索[J]. 土木工程学报, 2000, 33(5).
- [4] Gimsing NJ. Cable Supported Bridges[M]. Chichester: John Wiley, 1997.
- [5] 梁鹏, 肖汝诚. 超大跨度缆索承重桥梁结构体系[J]. 公路交通科技, 2004, 21(5).
- [6] H Wenzel. Cable Stayed Bridge History Design Application [M]. Northern Gate Book Co., Ltd., 1998.
- [7] M. Irvine Cable Structures [M]. New York: Dover. 1992.
- [8] Manabu Ito. Cable-supported steel bridge: design problem and solutions [J]. Journal of construct steel research. 1996, 39(1).
- [9] 蒙云, 刘东, 孙淑红. 大跨度 P.F.C. 吊拉组合桥设计研究[J]. 重庆交通学院学报, 1999, 18(4).
- [10] Michel Virlogeux. Recent evolution of cable-stayed bridges[J]. Engineering Structures. 1999, 39(5).

寒冷地区桥面铺装技术研究项目通过鉴定

2006年6月14日,由吉林省公路重点工程建设管理办公室和哈尔滨工业大学交通学院课题组共同承担的寒冷地区桥面铺装技术研究项目通过鉴定。鉴定委员会认为,该项研究成果对提高寒冷地区桥面铺装设计与施工质量具有指导意义,效益显著,具有应用推广价值。

寒冷地区桥面铺装技术研究课题组在广泛调研的基础上,针对我国寒冷地区气候特点及桥面铺装常见病害,重点研究了桥面铺装材料、桥面铺装黏结层与防排水体系、桥面铺装结构组合等技术问题。课题组分析了沥青胶浆的力学特性及其影响因素,深入研究了浇注式沥青混凝土路用性能和寒冷地区桥面铺装防排水与黏结体系,提出了最佳粉胶比概念、寒冷地区浇注式沥青混凝土设计方法与技术指标、环氧黏结材料与橡胶沥青砂胶的评价方法与指标。根据以上研究成果,课题组提出了适合于寒冷地区的桥面铺装结构体系,并将研究成果成功应用于肇源松花江特大桥实体工程,编写了相应的桥面铺装设计与施工指南。