



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107895082 A

(43)申请公布日 2018.04.10

(21)申请号 201711143950.X

(22)申请日 2017.11.16

(71)申请人 华蓝设计(集团)有限公司

地址 530011 广西壮族自治区南宁市兴宁区  
区华东路39号

(72)发明人 马娴 徐月玲 杨雨厚

(51)Int. Cl.

G06F 17/50(2006.01)

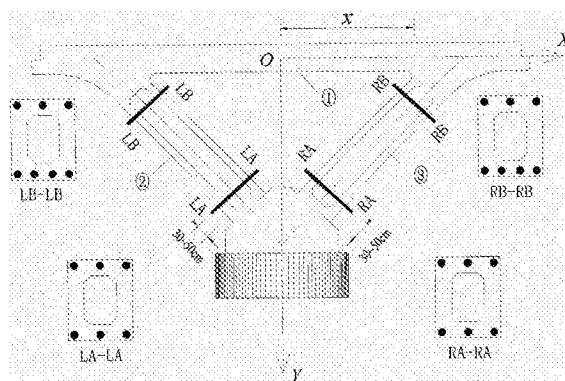
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

倒三角刚构斜腿应力监测传感器的布设方法

(57)摘要

本发明涉及桥梁结构施工监控领域的技术领域,公开了倒三角刚构斜腿应力监测传感器布设方法,该方法分倒三角刚构合龙前和合龙后两阶段,通过对倒三角刚构斜腿自重对结构受力的影响分析,确定了斜腿应力监测传感器布设的具体位置和监测重点。本发明方法依据设计图纸和施工组织方案提供的参数值,即可快速、准确地确定斜腿应力监测传感器布设的具体位置,并抓住各施工阶段监测重点,避免了倒三角刚构斜腿应力监测传感器布设的随意性和盲目性,使得对倒三角刚构施工中的应力监测更加全面,保证了施工过程中的结构安全。



1. 倒三角刚构斜腿应力监测传感器布设方法,其特征在于,包括以下步骤:

1)、根据设计图纸和施工组织方案,获得倒三角刚构材料、几何形状及截面尺寸各参数;

2)、在所述倒三角刚构合龙前,此时斜腿处于悬臂状态,该阶段所述斜腿应力发生变化幅度最大的位置是在其根部截面,因此,在其根部截面布设应力传感器;具体位置是:若所述斜腿采用实腹型截面,则沿斜长距底30cm~50cm处垂直于所述斜腿中轴线布设传感器;若为空腹型截面,则在由实腹变为空腹位置沿斜长向上30cm~50cm处垂直于所述斜腿中轴线布设传感器;所述传感器的个数设置原则:保证截面各角点一个,截面上缘和截面下缘可等距加密布设,宜绑扎在纵向主筋上;

3)、在所述倒三角刚构合龙后,所述斜腿临时支撑设施拆除过程中,此时除关注所述斜腿根部截面的应力变化外,还需特别注意所述斜腿顶部附近截面的应力变化,具体位置依据下式计算确定(以倒所述倒三角刚构系梁中点为坐标原点,系梁为X轴(向右为正)建立坐标系):

$$x = \pm \left\{ \frac{h^2 \cos(\theta) [6 - 12(1 + \mu_a)k_a - h(3h - 4y_0) \cot(\theta) \csc(\theta) A_a / I_a]}{\left[ 6d(\eta + \lambda y_0^2 A_a / I_a) + 24hk_b(1 + \mu_a) \sin(\theta) \right]} + \frac{d}{2} \right\} \\ \left[ +4h(h^2 - 3hy_0 + 3y_0^2) \csc(\theta) A_a / I_a + 12h \cos(\theta) \cot(\theta) \right]$$

其中,正负号分别代表右边和左边所述斜腿的应力监测传感器布设位置;

上式中: $y_0$ 为所述倒三角刚构弹性中心到系梁中心的距离, $y_0 = \frac{h^2 \csc \theta}{\lambda d + 2h \csc \theta}$ ;  $\lambda$ 为所述

斜腿与系梁的抗弯刚度比, $\lambda = \frac{E_a I_a}{E_b I_b}$ ;  $\eta$ 为所述斜腿与系梁的抗拉压刚度比, $\eta = \frac{E_a A_a}{E_b A_b}$ ;  $\mu_a$ 为

所述斜腿的泊松比; $k_a$ 、 $k_b$ 分别为所述斜腿和系梁的剪应力不均匀系数; $E_a$ 、 $E_b$ 分别为所述斜腿和系梁的弹性模量; $I_a$ 、 $I_b$ 分别为所述斜腿和系梁的抗弯惯性矩; $A_a$ 、 $A_b$ 分别为所述斜腿和系梁的截面面积; $d$ 为系梁的长度; $h$ 为所述斜腿底距系梁的垂直高度; $\theta$ 为所述斜腿倾角;

所述斜腿顶部附近截面传感器的个数设置原则:保证截面各角点一个,截面上缘和截面下缘可等距加密布设,截面下缘布设的个数可适当比上缘的多,传感器宜绑扎在纵向主筋上。

2. 如权利要求1所述的倒三角刚构斜腿应力监测传感器布设方法,其特征在于,该方法适用于所述斜腿和系梁均为等截面的对称形所述倒三角刚构。

## 倒三角刚构斜腿应力监测传感器的布设方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及桥梁结构施工监控领域的技术领域,特别涉及倒三角刚构斜腿应力监测传感器的布设方法。

### 背景技术

[0002] 倒三角刚构具有稳定性好、刚度大、美观等特性,且能有效减小桥梁跨度,近年来在桥梁工程中得到广泛地应用,如广州新光大桥、小榄水道特大桥、柳州广雅大桥等。从这些桥梁中可以看出,倒三角刚构多为对称形,这主要是基于受力均衡、施工便利等考虑,本发明亦针对对称形倒三角刚构。

[0003] 倒三角刚构施工复杂,且过程中体系发生转换,增加了计算分析难度,是桥梁施工中的难点之一。这具体体现在:第一,在倒三角刚构形成前,斜腿处于悬臂施工状态,为克服斜腿自重,往往需要庞大复杂的支撑体系。根据支撑体系的不同,倒三角刚构的施工方法可分为满堂支架法、少支架与对拉杆组合施工法和滑膜法等。然而不管哪一种施工方法,支撑体系都应有足够的强度、刚度和稳定性,以保证斜腿在施工过程中的安全;第二,在系梁合龙后,体系完成转换,斜腿临时支撑设施的拆除,相当于将其自重全部作用于整个倒三角刚构这一超静定结构体系上。由力学分析可知,此时斜腿受力将发生二方面变化,一是斜腿根部截面受负弯矩作用,其截面上缘压应力储备减少;二是斜腿顶部附近截面受正弯矩作用,其截面下缘将产生较大拉应力。

[0004] 然而,在倒三角刚构实际施工过程中,大多的注意力被放在了系梁合龙前,即认为此时稳定结构未形成,因此斜腿存在较大安全风险,当系梁合龙后,稳定倒三角刚构体系形成,即认为安全风险消除,从而忽略了在临时支撑设施拆除后斜腿受力发生的变化。所以在实际倒三角刚构施工中,大多在斜腿根部截面埋设了应力传感器,而忽略了对斜腿顶部附件截面应力的监测,即使安装了传感器但也依据经验,具有主观性和盲目性。实际上,斜腿根部截面的轴压力更大,可抵消部分弯矩产生的拉应力,从这个方面来说斜腿顶部附近截面的应力变化更应引起重视。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供倒三角刚构斜腿应力监测传感器布设方法,用以选择合理的应力监测传感器安装位置,从而保证倒三角刚构在施工中的结构安全

[0006] 本发明是这样实现的,倒三角刚构斜腿应力监测传感器布设方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0007] 1)、根据设计图纸和施工组织方案,获得倒三角刚构材料、几何形状及截面尺寸各参数;

[0008] 2)、在所述倒三角刚构合龙前,此时斜腿处于悬臂状态,该阶段所述斜腿应力发生变化幅度最大的位置是在其根部截面,因此,在其根部截面布设应力传感器;具体位置是:若所述斜腿采用实腹型截面,则沿斜长距底30cm~50cm处垂直于所述斜腿中轴线布设传感

器;若为空腹型截面,则在由实腹变为空腹位置沿斜长向上30cm~50cm处垂直于所述斜腿中轴线布设传感器;所述传感器的个数设置原则:保证截面各角点一个,截面上缘和截面下缘可等距加密布设,宜绑扎在纵向主筋上;

[0009] 3)、在所述倒三角刚构合龙后,所述斜腿临时支撑设施拆除过程中,此时除关注所述斜腿根部截面的应力变化外,还需特别注意所述斜腿顶部附近截面的应力变化,具体位置依据下式计算确定(以倒所述倒三角刚构系梁中点为坐标原点,系梁为X轴(向右为正)建立坐标系):

$$[0010] \quad x = \pm \left\{ \frac{h^2 \cos(\theta) [6 - 12(1 + \mu_a)k_a - h(3h - 4y_0) \cot(\theta) \csc(\theta) A_a / I_a]}{6d(\eta + \lambda y_0^2 A_a / I_a) + 24hk_b(1 + \mu_a) \sin(\theta)} + \frac{d}{2} \right\} \\ \left[ \frac{+4h(h^2 - 3hy_0 + 3y_0^2) \csc(\theta) A_a / I_a + 12h \cos(\theta) \cot(\theta)}{6d(\eta + \lambda y_0^2 A_a / I_a) + 24hk_b(1 + \mu_a) \sin(\theta)} \right]$$

[0011] 其中,正负号分别代表右边和左边所述斜腿的应力监测传感器布设位置;

[0012] 上式中: $y_0$ 为所述倒三角刚构弹性中心到系梁中心的距离, $y_0 = \frac{h^2 \csc \theta}{\lambda d + 2h \csc \theta}$ ;  $\lambda$ 为

所述斜腿与系梁的抗弯刚度比, $\lambda = \frac{E_a I_a}{E_b I_b}$ ;  $\eta$ 为所述斜腿与系梁的抗拉压刚度比, $\eta = \frac{E_a A_a}{E_b A_b}$ ;

$\mu_a$ 为所述斜腿的泊松比; $k_a$ 、 $k_b$ 分别为所述斜腿和系梁的剪应力不均匀系数; $E_a$ 、 $E_b$ 分别为所述斜腿和系梁的弹性模量; $I_a$ 、 $I_b$ 分别为所述斜腿和系梁的抗弯惯性矩; $A_a$ 、 $A_b$ 分别为所述斜腿和系梁的截面面积; $d$ 为系梁的长度; $h$ 为所述斜腿底距系梁的垂直高度; $\theta$ 为所述斜腿倾角;

[0013] 所述斜腿顶部附近截面传感器的个数设置原则:保证截面各角点一个,截面上缘和截面下缘可等距加密布设,截面下缘布设的个数可适当比上缘的多,传感器宜绑扎在纵向主筋上。

[0014] 作为另一种优选的实施例,该方法适用于所述斜腿和系梁均为等截面的对称形所述倒三角刚构。

[0015] 与现有技术相比,目前,倒三角刚构施工过程中一般均重视斜腿根部截面的应力变化,而忽略了对斜腿顶部附近截面应力的监测,导致在临时支撑设施拆除时斜腿顶部附近截面下缘可能产生较大拉应力的情况下,还未发现并及时预警,存在开裂风险。针对倒三角刚构斜腿应力监测传感器布设中的不足,本发明依据设计图纸和施工组织方案提供的参数值,即可快速、准确地确定斜腿应力监测传感器布设的具体位置,并抓住各施工阶段监测重点,避免了倒三角刚构斜腿应力监测传感器布设的随意性和盲目性,使得对倒三角刚构施工中的应力监测更加全面,保证了施工过程中的结构安全。

## 附图说明

[0016] 图1为本发明的倒三角刚构示意图。

[0017] 图2为倒三角刚构斜腿自重对结构影响分析示意图。

[0018] 图3为实施例中的倒三角刚构计算示例示意图。

[0019] 图4为实施例中的倒三角刚构在斜腿自重荷载作用下的有限元计算结果。

[0020] 图中:①为系梁;②为左边斜腿;③为右边斜腿。

### 具体实施方式

[0021] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0022] 本实施例的附图中相同或相似的标号对应相同或相似的部件;在本发明的描述中,需要理解的是,若有术语“上”、“下”、“左”、“右”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此附图中描述位置关系的用语仅用于示例性说明,不能理解为对本专利的限制,对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

[0023] 以下结合具体实施例对本发明的实现进行详细的描述。

[0024] 参照图1-4所示,为本发明提供较佳实施例。

[0025] 如图1所示,本发明的一种倒三角刚构斜腿应力监测传感器布设方法,包括以下步骤:

[0026] 第一步,根据设计图纸和施工组织方案,获得倒三角刚构材料、几何形状及截面尺寸各参数,具体包括:斜腿的泊松比 $\mu_a$ ;斜腿和系梁的剪应力不均匀系数 $k_a$ 、 $k_b$ ;斜腿和系梁的弹性模量 $E_a$ 、 $E_b$ ;斜腿和系梁的抗弯惯性矩 $I_a$ 、 $I_b$ ;斜腿和系梁的截面面积 $A_a$ 、 $A_b$ ;系梁的长度 $d$ ;斜腿底距系梁的垂直高度 $h$ ;斜腿倾角 $\theta$ 。

[0027] 第二步,在倒三角刚构合龙前,此时斜腿处于悬臂状态,该阶段斜腿应力发生幅度最大的位置是在其根部截面,因此,在其根部截面布设应力传感器。具体位置是:若斜腿采用实腹型截面,则沿斜长距底30cm~50cm处垂直于斜腿中轴线布设传感器;若为空腹型截面,则在由实腹变为空腹位置沿斜长向上30cm~50cm处垂直于斜腿中轴线布设传感器。传感器的个数设置原则:保证截面各角点一个,截面上缘和截面下缘可等距加密布设,宜绑扎在纵向主筋上。

[0028] 第三步,在倒三角刚构合龙后,斜腿临时支撑设施拆除过程中,此时除关注斜腿根部的应力变化外,还需特别注意斜腿顶部附近截面应力的变化,具体位置依据下式计算确定(以倒倒三角刚构系梁中点为坐标原点,系梁为X轴(向右为正)建立坐标系):

[0029]

$$x = \pm \left\{ \frac{h^2 \cos(\theta) [6 - 12(1 + \mu_a)k_a - h(3h - 4y_0) \cot(\theta) \csc(\theta) A_a / I_a]}{6d(\eta + \lambda y_0^2 A_a / I_a) + 24hk_b(1 + \mu_a) \sin(\theta)} + \frac{d}{2} \right\} \left[ \frac{+4h(h^2 - 3hy_0 + 3y_0^2) \csc(\theta) A_a / I_a + 12h \cos(\theta) \cot(\theta)}{\quad} \right] \quad (1)$$

[0030] 其中,正负号分别代表右边和左边斜腿的应力监测传感器布设位置。

[0031] 式(1)中: $y_0$ 为倒三角刚构弹性中心到系梁中心的距离, $y_0 = \frac{h^2 \csc \theta}{\lambda d + 2h \csc \theta}$ ;  $\lambda$ 为斜腿与系梁的抗弯刚度比,

$\lambda = \frac{E_a I_a}{E_b I_b}$ ;  $\eta$ 为斜腿与系梁的抗拉压刚度比, $\eta = \frac{E_a A_a}{E_b A_b}$ 。

[0032] 斜腿顶部附近截面传感器的个数设置原则:保证截面各角点一个,截面上缘和截

面下缘可等距加密布设,截面下缘布设的个数可适当比上缘的多,传感器宜绑扎在纵向主筋上。

[0033] 下面针对第三步中斜腿顶部附近截面的位置确定做详细阐述。

[0034] 倒三角刚构系梁合龙后,体系完成转换,斜腿临时支撑设施的拆除,相当于将其自重全部作用于整个倒三角刚构这一超静定结构体系上,计算示意图见附图2。采用弹性中心法求解对称形倒三角刚构在斜腿自重荷载集度 $q$ 作用下结构内力,将 $q$ 作用下基本结构内力列于表1。

[0035] 表1  $q$ 作用下基本结构的内力表

[0036]

荷载	内力	系梁	左边斜腿	右边斜腿
----	----	----	------	------

[0037]

q	弯矩 (kNm)	$M_{qb}=0$	$M_{q1}=-q(d/2+x)^2$	$M_{q2}=-q(d/2-x)^2$
	轴力 (kN)	$N_{qb}=0$	$N_{q1}=-q(d/2+x)\tan(\theta)$	$N_{q2}=-q(d/2-x)\tan(\theta)$
	剪力 (kN)	$Q_{qb}=0$	$Q_{q1}=q(d/2+x)$	$Q_{q2}=q(d/2-x)$

[0038] 由表1,根据力法典型方程求解赘余力,过程及结果详见表2。

[0039] 表2 赘余力计算

[0040]

参数	意义	具体计算公式
$y_s$	弹性中心	$\frac{h^2 \csc \theta}{\lambda d + 2h \csc \theta}$
$\delta_{11}$	常变位系数	$\int_{\text{系梁}} \frac{1}{E_b I_b} dx + \int_{\text{左腿}} \frac{1}{E_a I_a \cos \theta} dx + \int_{\text{右腿}} \frac{1}{E_a I_a \cos \theta} dx$
$\delta_{22}$		$\int_{\text{系梁}} \frac{y_0^2}{E_b I_b} dx + \int_{\text{系梁}} \frac{1}{E_b A_b} dx + \int_{\text{左腿}} \frac{(y-y_0)^2}{E_a I_a \cos \theta} dx + \int_{\text{左腿}} \frac{\cos^2 \theta}{E_a A_a \cos \theta} dx$ $+ \int_{\text{左腿}} k_a \frac{\sin^2 \theta}{G_a A_a \cos \theta} dx + \int_{\text{右腿}} \frac{(y-y_0)^2}{E_a I_a \cos \theta} dx + \int_{\text{右腿}} \frac{\cos^2 \theta}{E_a A_a \cos \theta} dx + \int_{\text{右腿}} k_a \frac{\sin^2 \theta}{G_a A_a \cos \theta} dx$
$\delta_{33}$		$\int_{\text{系梁}} \frac{x^2}{E_b I_b} dx + \int_{\text{系梁}} k_b \frac{1}{G_b A_b} dx + \int_{\text{左腿}} \frac{x^2}{E_a I_a \cos \theta} dx + \int_{\text{左腿}} \frac{\sin^2 \theta}{E_a A_a \cos \theta} dx$ $+ \int_{\text{左腿}} k_a \frac{\cos^2 \theta}{G_a A_a \cos \theta} dx + \int_{\text{右腿}} \frac{x^2}{E_a I_a \cos \theta} dx + \int_{\text{右腿}} \frac{\sin^2 \theta}{E_a A_a \cos \theta} dx + \int_{\text{右腿}} k_a \frac{\cos^2 \theta}{G_a A_a \cos \theta} dx$
$\Delta_{1p}$	载变位系数	$2 \int_{d/2-h \cot(\theta)}^{d/2} \frac{q(d/2-x)^2}{E_a I_a \cos \theta} dx$
$\Delta_{2p}$		$2 \left( \int_{d/2-h \cot(\theta)}^{d/2} \frac{q(d/2-x)^2 (y-y_0)}{E_a I_a \cos \theta} dx + \int_{d/2-h \cot(\theta)}^{d/2} \frac{-q(d/2-x) \tan \theta}{E_a A_a} dx \right)$ $+ \int_{d/2-h \cot(\theta)}^{d/2} k_a \frac{q(d/2-x) \sin \theta}{G_a A_a \cos \theta} dx$
$\Delta_{3p}$		0
$x_{q1}$	赘余力	$-\frac{2h^3 q \cot^2(\theta)}{3\lambda d \sin(\theta) + 6h}$
$x_{q2}$		$\frac{h^2 q \cot(\theta) [6 - 12(1 + \mu_a)k_a - h(3h - 4y_0) \cot(\theta) \csc(\theta) A_a / I_a]}{6d(\eta + \lambda y_0^2 A_a / I_a) + 24hk_b(1 + \mu_a) \sin(\theta)}$ $+ 4h(h^2 - 3hy_0 + 3y_0^2) \csc(\theta) A_a / I_a + 12h \cos(\theta) \cot(\theta)$
$x_{q3}$		0

[0041] 在求得赘余力 $x_{q1}$ 、 $x_{q2}$ 、 $x_{q3}$ 后,可得到倒三角刚构系梁和斜腿在自重荷载集度 $q$ 作用下任一截面的内力。

[0042] (1) 系梁上任一点A(x,0)的内力为

[0043]  $M_{qbx} = x_{q1} - x_{q2}y_0 \quad -d/2 \leq x \leq d/2 \quad (2)$

[0044]  $N_{qbx} = -x_{q2} \quad -d/2 \leq x \leq d/2 \quad (3)$

[0045]  $Q_{qbx} = 0 \quad -d/2 \leq x \leq d/2 \quad (4)$

[0046] (2) 左边斜腿上任一点B(x,y)的内力为

[0047]  $M_{qa1x} = -qx^2 - [x_{q2} \tan(\theta) + qd]x + [y_0 - 0.5d \tan(\theta)]x_{q2}$

[0048]  $-x_{q1} - 0.25d^2q \quad -d/2 \leq x \leq -d/2 + h \cot(\theta) \quad (5)$

[0049]  $N_{qa1x} = -q \tan(\theta)x + x_{q2} \cos(\theta) - 0.5dq \tan(\theta) \quad -d/2 \leq x \leq -d/2 + h \cot(\theta) \quad (6)$

[0050]  $Q_{qa1x} = qx + x_{q2} \sin(\theta) + 0.5dq \quad -d/2 \leq x \leq -d/2 + h \cot(\theta) \quad (7)$

[0051] (3) 右边斜腿上任一点C(x,y)的内力为

[0052]  $M_{qa2x} = -qx^2 + [x_{q2} \tan(\theta) + qd]x + [y_0 - 0.5d \tan(\theta)]x_{q2}$

[0053]  $-x_{q1} - 0.25d^2q \quad d/2 - h \cot(\theta) \leq x \leq d/2 \quad (8)$

[0054]  $N_{qa2x} = q \tan(\theta)x + x_{q2} \cos(\theta) - 0.5dq \tan(\theta) \quad d/2 - h \cot(\theta) \leq x \leq d/2 \quad (9)$

[0055]  $Q_{qa2x} = -qx + x_{q2} \sin(\theta) + 0.5dq \quad d/2 - h \cot(\theta) \leq x \leq d/2 \quad (10)$

[0056] 以附图3中的对称形倒三角刚构为例,系梁及斜腿均采用Q345钢材,截面都为1m×1m的正方形,假设此时仅有斜腿的自重荷载集度q=76.98kN/m作用在结构上,计算该荷载作用下系梁与斜腿的内力,并与有限元分析结果进行对比分析。本发明公式计算结果详见表3,有限元计算结果详见附图4。

[0057] 表3 对称形倒三角刚构内力的本发明公式计算结果

[0058]

荷载结果	斜腿自重荷载(q=76.98kN/m)		
	梁	左边斜腿	右边斜腿
xq1 (kNm)	-58.6514		
xq2 (kN)	-68.9757		
xq3 (kN)	0		
M (kNm)	9.6168	-76.98x <sup>2</sup> -342.4106x-34 4.0286	-76.98x <sup>2</sup> +342.4106x-344 .0286
N (kN)	68.9757	-133.3333x-434.4877	133.3333x-434.4877
Q (kN)	0	76.98x+171.2053	-76.98x+171.2053

[0059] 从表3和附图4可以看出,本发明公式计算的对称形倒三角刚构内力与有限元分析结果完全一致,验证了本发明关于斜腿自重对结构受力影响计算公式的可靠性和正确性,结合上面的算例还可以得出以下结论:

[0060] 斜腿在本身自重作用下产生弯矩、剪力和轴压力,由式(5)~式(10),弯矩为x的二次曲线,剪力和轴力均为x的一次递减函数曲线。根据弯矩、剪力和轴力图的特性,斜腿有两个关键部位需引起特别注意:一是根部截面,此时负弯矩最大;二是剪力为零处截面,由式

(7) 和式(10),即 
$$x = \pm \left\{ \frac{h^2 \cos(\theta) [6 - 12(1 + \mu_a)k_a - h(3h - 4y_0) \cot(\theta) \csc(\theta) A_a / I_a] + d}{6d(\eta + \lambda y_0^2 A_a / I_a) + 24hk_b(1 + \mu_a) \sin(\theta) + 4h(h^2 - 3hy_0 + 3y_0^2) \csc(\theta) A_a / I_a + 12h \cos(\theta) \cot(\theta)} \right\} + \frac{d}{2}$$
 处(正

负号分别代表右边斜腿和左边斜腿的值),此时正弯矩达到最大。相对而言,第二个部位更应关注,原因是根部截面的轴压力更大,可抵消部分弯矩产生的拉应力,这在文献《新光大桥三角刚架施工过程模型试验及有限元分析》(李跃,古松,卜一之等发表于公路交通科技

2008年第2期)的模型试验结果中也可得到验证。

[0061] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

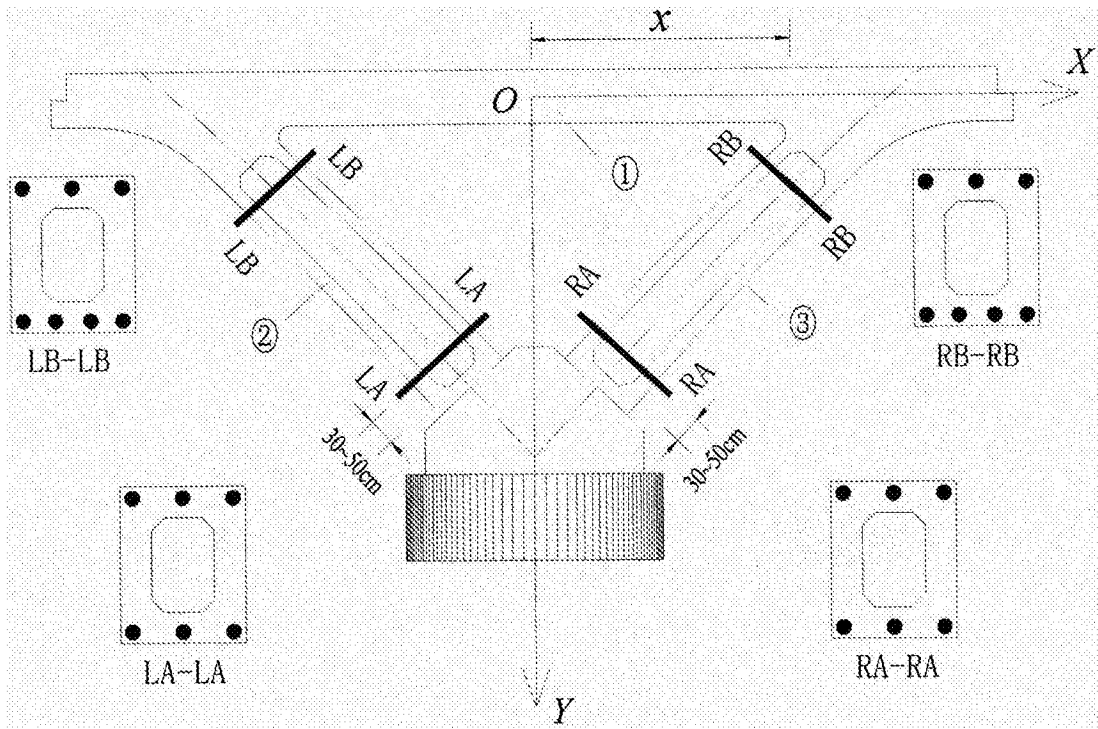


图1

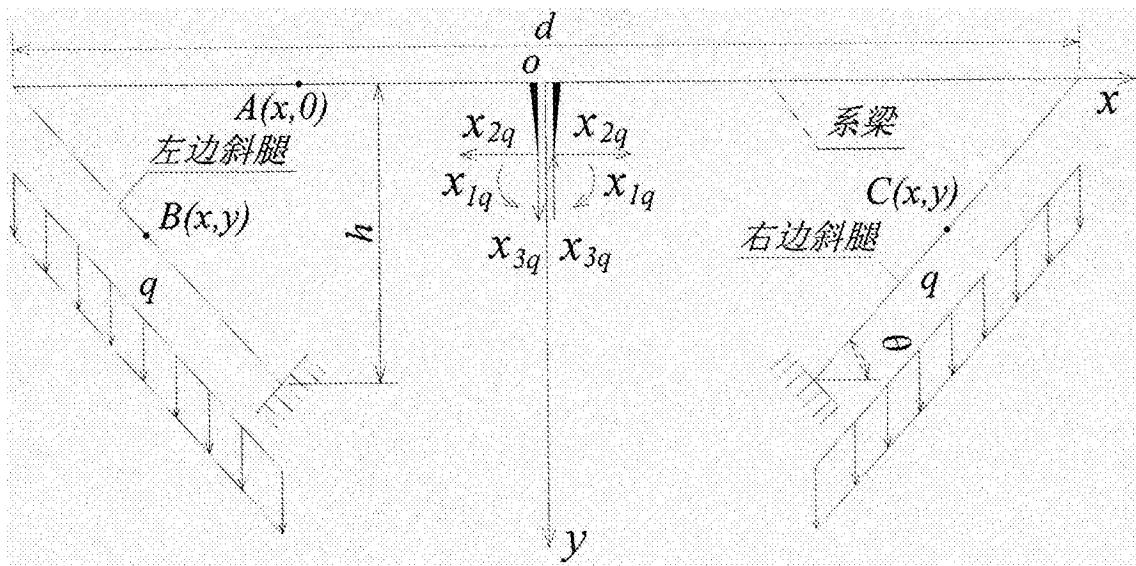


图2

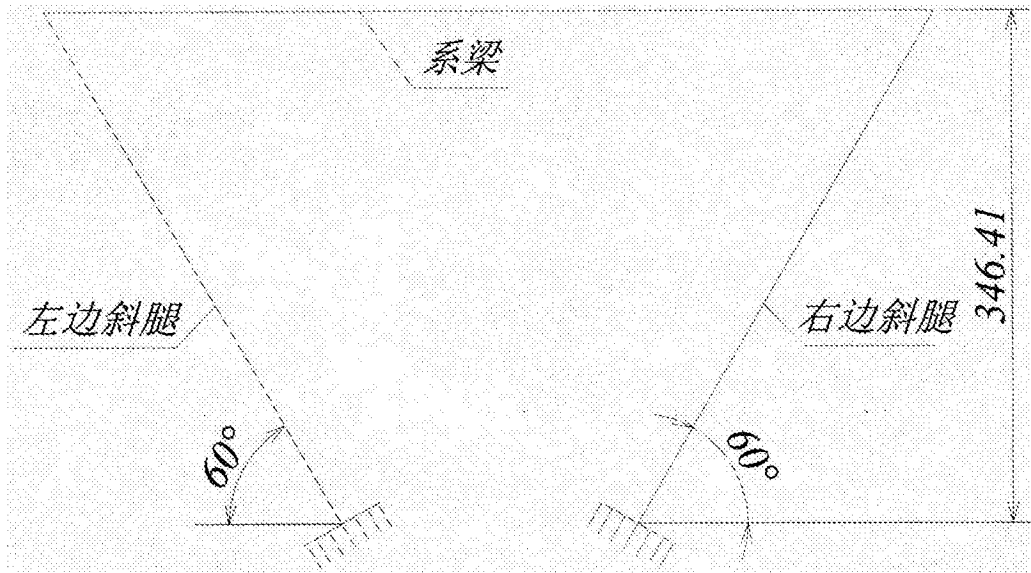


图3

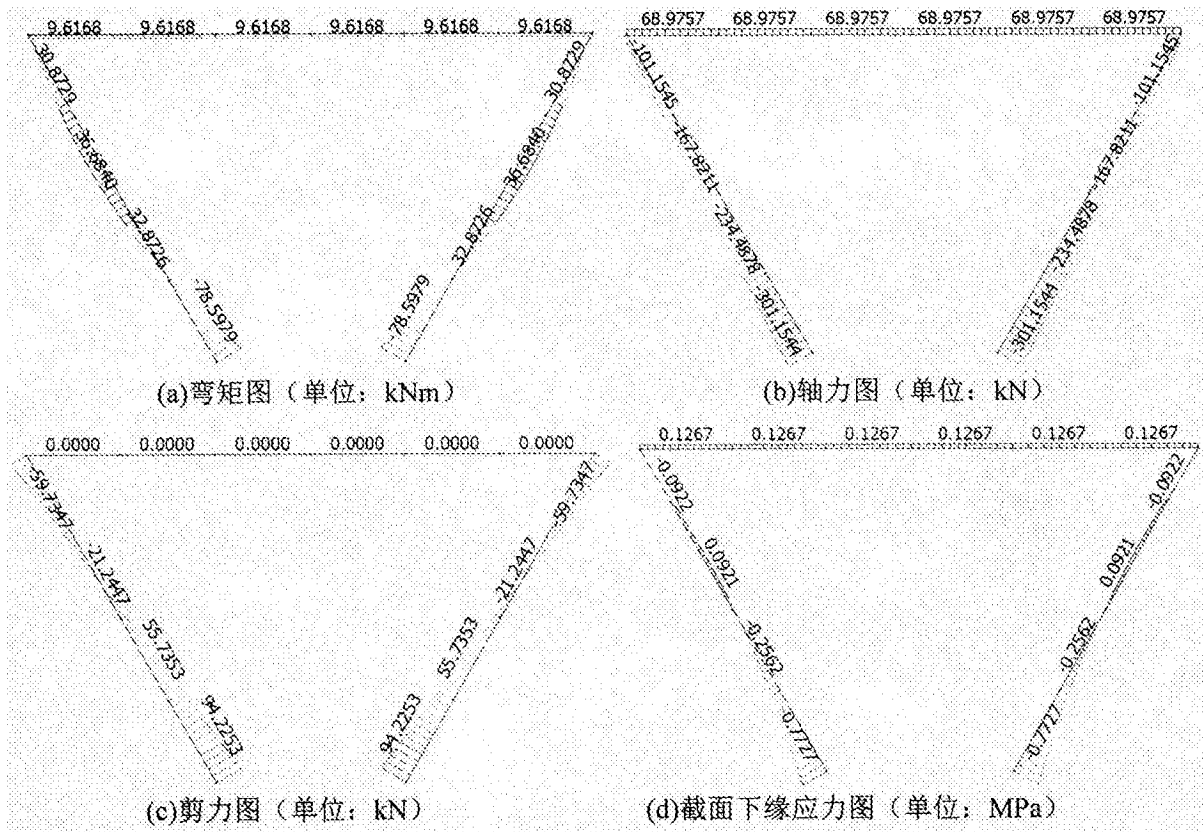


图4