



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107386091 B

(45)授权公告日 2019.06.18

(21)申请号 201710425578.5

E01D 19/16(2006.01)

(22)申请日 2017.06.07

E01D 21/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

E01D 101/32(2006.01)

申请公布号 CN 107386091 A

审查员 杨敏

(43)申请公布日 2017.11.24

(73)专利权人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学路2号

(72)发明人 徐文平 袁吉汗 郭进 邓欣

强玮良 戴航 夏叶飞

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所

(普通合伙) 32204

代理人 柏尚春

(51)Int.Cl.

E01D 11/02(2006.01)

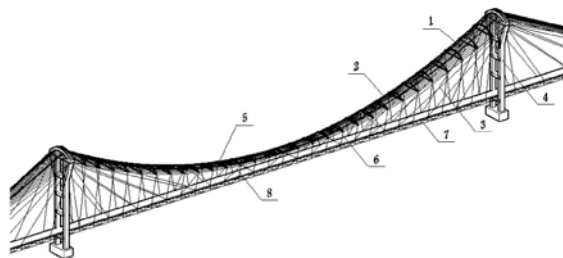
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥及施工方法

(57)摘要

本发明提供一种马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥及方法,包括:桥塔,其包括门式框架柱、抛物线形塔帽和塔帽支撑斜柱;平行钢丝绳索,其悬挂在桥塔之间,所述平行钢丝绳索端部通过锚碇固定;马鞍抛物面索网,其为马鞍抛物面空间网下垂构成的空间索网,马鞍抛物面索网覆盖在平行钢丝绳索上,马鞍抛物面索网上还放置有多道钢结构曲梁,并通过夹具将所述平行钢丝绳索、马鞍抛物面索网与所述钢结构曲梁固定;空间斜拉索网,其设置在平行钢丝绳索两侧,上端锚固在塔帽支撑斜柱中,下端与加劲钢梁相连。本发明的悬索桥具有跨越能力强、结构空间刚度大、抗风稳定性好和施工方便等优点,从根本上解决特大跨径悬索桥抗风稳定性问题。



1. 一种马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥,其特征在于,包括:
桥塔(4),其包括门式框架柱(41)、抛物线形塔帽(42)和塔帽支撑斜柱(43);
平行钢丝缆索(1),其悬挂在桥塔(4)之间,所述平行钢丝缆索(1)端部通过锚碇(9)固定;
马鞍抛物面索网(2),其为马鞍抛物面空间网下垂构成的空间索网,所述马鞍抛物面索网(2)覆盖在平行钢丝缆索(1)上,所述马鞍抛物面索网(2)上还放置有多道钢结构曲梁(5),并通过夹具将所述平行钢丝缆索、马鞍抛物面索网(2)与所述钢结构曲梁(5)固定,所述马鞍抛物面索网(2)锚固于抛物线形塔帽之中;
空间斜拉索网(3),其设置在所述平行钢丝缆索(1)两侧,上端锚固在所述塔帽支撑斜柱(43)中,下端与加劲钢梁(7)相连。
2. 根据权利要求1所述的马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥,其特征在于,所述马鞍抛物面索网(2)由数根碳纤维缆索空间交叉构成。
3. 根据权利要求1所述的马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥,其特征在于,还包括吊杆(6),其包括两组竖向吊杆(61)和两组斜向吊杆(62),所述竖向吊杆(61)上段与所述平行钢丝缆索(1)相连且下端与所述加劲钢梁(7)相连,所述斜向吊杆(62)上段与所述钢结构曲梁(5)相连且下端与所述加劲钢梁(7)相连。
4. 根据权利要求3所述的马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥,其特征在于,还设置有柔性中央扣(8)。
5. 根据权利要求4所述的马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥,其特征在于,钢结构曲梁(5)为抛物线形。
6. 如权利要求5所述的马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥的施工方法,其特征在于,包括以下步骤:
步骤一:开挖基坑,施工桥梁基础,修建桥塔(4)和锚碇(9);
步骤二:架设牵引缆索,修建临时施工猫道,牵引左右两股平行钢丝缆索(1)悬挂于二个桥塔(4)之间,并锚固于锚碇基础中,安装竖向吊杆(61),架设加劲钢梁(7),形成平行缆索悬索桥;
步骤三:依据马鞍抛物面方程,进行位置测量并放样,将多股碳纤维缆索空间交叉布置,形成碳纤维马鞍抛物面索网(2),下垂的碳纤维马鞍抛物面索网作为悬索桥结构的空间缆索,然后将马鞍抛物面索网(2)覆盖在两股平行钢丝缆索(1)之上,并锚固于抛物线形塔帽(42)之中;
步骤四:安装抛物线形的钢结构曲梁(5),用夹具将平行钢丝缆索(1)、马鞍抛物面索网(2)与钢结构曲梁(5)牢固连接,将斜向吊杆(62)的上端与钢结构曲梁(5)的端部牢固连接,斜向吊杆(62)的下端与加劲钢梁(7)固定连接,形成空间缆索结构体系;
步骤五:安装空间斜拉索网(3),空间斜拉索网(3)的上端锚固于塔帽支撑斜柱(43)之中,空间斜拉索网(3)的下端与加劲钢梁(7)相连;
步骤六:在悬索桥的跨中区段,安装数道柔性中央扣(8),然后安装栏杆和桥面铺装,即形成马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥。

马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥及施工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及本发明属于土木工程领域,具体涉及一种马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥及施工方法。

背景技术

[0002] 传统的平行缆索体系悬索桥,随着跨度的增大,竖向挠振频率与扭振频率都下降,逐渐趋向于接近,结果在低风速下将发生颤振。因此,如何在提高悬索桥跨越能力的同时,保证超大跨径悬索桥具有足够的横向刚度和抗风稳定性,是超大跨径悬索桥面临的两大难题。

[0003] 改善大跨径悬索桥结构抗风性能有三种方法:改善断面气动性能、控制结构振动特性和改变结构体系,目前大多采用前两种方法,这两种方法改进超大跨悬索桥抗风稳定性效果有限。

发明内容

[0004] 发明目的:本发明的目的是提供一种马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥及施工方法,解决现有悬索桥结构空间刚度小、跨越能力差、抗风稳定性差的技术问题。

[0005] 技术方案:本发明所述的马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥,包括:

[0006] 桥塔,其包括门式框架柱、抛物线形塔帽和塔帽支撑斜柱;

[0007] 平行钢丝缆索,其悬挂在桥塔之间,所述平行钢丝端部通过锚碇固定;

[0008] 马鞍抛物面索网,其为马鞍抛物面空间网下垂构成的空间索网,所述马鞍抛物面索网覆盖在平行钢丝缆索上,所述马鞍抛物面索网上还放置有多道钢结构曲梁,并通过夹具将所述平行钢丝缆索、马鞍抛物面索网与所述钢结构曲梁固定;

[0009] 空间斜拉索网,其设置在所述平行钢丝缆索两侧,上端锚固与所述塔帽支撑斜柱中,下端与加劲钢梁相连;

[0010] 吊杆,其包括两组竖向吊杆和两组斜向吊杆,所述竖向吊杆上段与所述平行钢丝缆索相连且下端与所述加劲钢梁相连,所述斜向吊杆上段与所述钢结构曲梁相连且下端与所述加劲钢梁相连。

[0011] 其中,为了加强悬索桥的水平刚度,马鞍抛物面索网由数根碳纤维缆索空间交叉构成,加强空间缆索与加劲梁的藕合性作用和协同工作能力,悬索桥还设置有柔性中央扣,钢结构曲梁为抛物线形。

[0012] 本发明所述马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥的施工方法,包括以下步骤:

[0013] 步骤一:开挖基坑,施工桥梁基础,修建桥塔和锚碇;

[0014] 步骤二:架设牵引缆索,修建临时施工猫道,牵引左右两股平行钢丝缆索悬挂于二个桥塔之间,并锚固于锚碇基础中,安装竖向吊杆,架设加劲钢梁,形成平行缆索悬索桥;

[0015] 步骤三:依据马鞍抛物面方程,进行位置测量并放样,将多股碳纤维缆索空间交叉布置,形成碳纤维马鞍抛物面索网,下垂的碳纤维马鞍抛物面索网作为悬索桥结构的空

缆索,然后将马鞍抛物面索网覆盖在两股平行钢丝缆索之上,并锚固于抛物线形塔帽之中;

[0016] 步骤四:安装抛物线形的钢结构曲梁,用夹具将平行钢丝缆索、马鞍抛物面索网与钢结构曲梁牢固连接,将斜向吊杆的上端与钢结构曲梁的端部牢固连接,斜向吊杆的下端与加劲钢梁固定连接,形成空间缆索结构体系;

[0017] 步骤五:安装空间斜拉索网,空间斜拉索网的上端锚固于塔帽支撑斜柱之中,空间斜拉索网的下端与加劲钢梁相连;

[0018] 步骤六:在悬索桥的跨中区段,安装数道柔性中央扣,然后安装栏杆和桥面铺装,即形成马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥。

[0019] 有益效果:本发明的碳纤维马鞍抛物面空间缆索网作为辅缆加强了超大跨径悬索桥的抗扭刚度,碳纤维空间斜拉索作为辅缆加强超大跨径悬索桥的水平刚度,钢丝和碳纤维两种缆索材料分为三组缆索混合使用,优势互补,协同工作。利用马鞍抛物面的直纹特性,将粗重的集中缆索,改为分散的空间钢丝缆索,多股碳纤维缆索空间交叉布置,固定空间缆索交叉节点,形成马鞍抛物面形式的空间缆索索网结构体系。

[0020] 本发明设置少量的马鞍抛物面碳纤维空间缆索,大幅度提高超大跨径悬索桥的抗扭频率和扭弯频率比,大幅度提高了扭转发散静风临界风速,大幅度提高了颤振临界风速,保证超大跨径悬索桥的抗风稳定性,空间斜拉索网紧紧地互相对拉着拽住加劲梁桥面系,利用空间斜拉索的水平分力,有效提高了超大跨径空间缆索悬索桥的抗侧刚度,有效减少了水平向风荷载作用下的位移,从而改善行车舒适性。

[0021] 本发明设置多道向下凹的抛物线形钢结构曲梁,横向连接马鞍抛物面空间索网和两股平行钢丝缆索主缆,加强马鞍抛物面空间缆索体系悬索桥的整体性,确保空间缆索体系各股缆索协同工作,提高空间缆索体系的空间刚度。

[0022] 本发明在大跨径悬索桥的中间区域,设置数道门式钢结构柔性索中央扣,加强空间缆索与加劲梁的耦合性作用和协同工作能力,可以减少超大跨径悬索桥的纵向漂移,可提高悬索桥的反对称抗扭刚度,进一步提高超大跨径悬索桥的整体性。马鞍抛物面空间混合缆索悬索桥还改革了桥塔结构形式,可同时锚固平行钢丝缆索、马鞍抛物面碳纤维空间缆索和空间斜拉索网,施工方便。

[0023] 本发明具有跨越能力强、结构空间刚度大、抗风稳定性好和施工方便等优点,大幅度提高横向刚度和扭转刚度,从根本上解决特大跨径悬索桥抗风稳定性问题,以便建造3000~5000米的特大跨径悬索桥。

附图说明

[0024] 图1是本发明的全桥三维示意图;

[0025] 图2是本发明的桥塔三维示意图;

[0026] 图3是本发明的锚碇基础示意图;

[0027] 图4是本发明的桥塔示意图;

[0028] 图5是本发明的1/4点剖面示意图;

[0029] 图6是本发明马鞍抛物面索网的构型示意图。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图对本发明作进一步说明。

[0031] 如图1-6所示,一种马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥,包括:桥塔4,其包括门式框架柱41、抛物线形塔帽42和塔帽支撑斜柱43;平行钢丝缆索1,其悬挂在桥塔4之间,平行钢丝缆索1端部通过锚碇9固定;马鞍抛物面索网2,其为马鞍抛物面空间网下垂构成的空间索网,马鞍抛物面索网2覆盖在平行钢丝缆索1上,马鞍抛物面索网2上还放置有多道钢结构曲梁5,并通过夹具将平行钢丝缆索1、马鞍抛物面索网2与钢结构曲梁5固定,马鞍抛物面索网2由数根碳纤维缆索空间交叉构成;空间斜拉索网3,其设置在平行钢丝缆索1两侧,上端锚固与塔帽支撑斜柱43中,下端与加劲钢梁7相连;吊杆6,其包括两组竖向吊杆61和两组斜向吊杆62,竖向吊杆61上段与平行钢丝缆索相连且下端与加劲钢梁7相连,斜向吊杆62上段与钢结构曲梁5相连且下端与加劲钢梁7相连。其中,悬索桥的跨中区段,设置有数道柔性中央扣8。

[0032] 马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥的施工方法,包括以下步骤:

[0033] 步骤一:开挖基坑,施工桥梁基础,修建桥塔4和锚碇9;

[0034] 步骤二:架设牵引缆索,修建临时施工猫道,牵引左右两股平行钢丝缆索1悬挂于二个桥塔4之间,并锚固于锚碇9基础中,安装竖向吊杆61,架设加劲钢梁7,形成平行缆索悬索桥;

[0035] 步骤三:依据马鞍抛物面方程,进行位置测量并放样,将多股碳纤维缆索空间交叉布置,形成碳纤维马鞍抛物面索网2,下垂的碳纤维马鞍抛物面索网作为悬索桥结构的空缆索,然后将马鞍抛物面索网2覆盖在两股平行钢丝缆索1之上,并锚固于抛物线形塔帽42之中;

[0036] 步骤四:安装抛物线形的钢结构曲梁5,用夹具将平行钢丝缆索1、马鞍抛物面索网2与钢结构曲梁5牢固连接,将斜向吊杆62的上端与钢结构曲梁5的端部牢固连接,斜向吊杆62的下端与加劲钢梁7固定连接,形成空间缆索结构体系;

[0037] 步骤五:安装空间斜拉索网3,空间斜拉索网的上端锚固于塔帽支撑斜柱43之中,空间斜拉索网3的下端与加劲钢梁7相连;

[0038] 步骤六:在悬索桥的跨中区段,安装数道柔性中央扣8,然后安装栏杆和桥面铺装,即形成马鞍抛物面空间混合缆索体系的悬索桥。

[0039] 某海峡大桥是一座公铁两用特大跨径悬索桥,主跨径为4000m,桥面全宽60m,悬索桥的分跨径为1350m+4000m+1350m,桥面两侧是公路部分单向3车道,桥面中间部分为双轨铁路,为了满足抗风稳定性要求,采用马鞍抛物面空间混合缆索体系的特大跨径悬索桥的桥型。桥塔由门式框架柱、抛物线形塔帽和塔帽支撑斜柱构成,桥塔高为480米,桥塔柱为型钢混凝土组合结构,塔柱为20×15米矩形截面,塔柱中设置五道刚性横梁,桥塔结构顶部的抛物线形塔帽采用钢管混凝土制作,抛物线形塔帽跨长为180米,矢高为60米,桥塔柱基础为二个矩形的地下连续墙结构,。锚碇采用大体积钢筋混凝土结构,棱柱体形锚碇嵌入岩体。悬索桥缆索由三组缆索组成:左右两股平行钢丝缆索、碳纤维马鞍抛物面空间缆索网和碳纤维空间斜拉索网。平行钢丝缆索采用预制平行索股法(PPWS法)工艺,采用2000MPa的 ϕ 5.2mm高强钢丝,全桥共布置四根钢丝,单侧2根中心距离为2m,每根主缆直径为1.5m,竖向钢丝吊杆间距为40米,共计2×99根吊杆。马鞍抛物面索网采用3500MPa的高强碳纤维缆

索,全桥共18根碳纤维马鞍抛物面空间缆索,每根主缆直径为0.3m。带有下拉杆的钢结构曲梁设置在马鞍抛物面索网和两股平行钢丝缆索之上,钢结构曲梁共计99个,钢结构曲梁两端设置斜向碳纤维吊杆与加劲梁相连,斜向碳纤维吊杆间距为40米,共计 2×99 根吊杆。全桥布置20对空间斜拉索,每根碳纤维空间斜拉索主缆直径为0.6m,间距为80米,碳纤维空间斜拉索网连接桥塔和加劲梁,以便提高抗侧刚度。加劲梁采用钢桁架式加劲梁,钢桁架高为20米。悬索桥的中间区域设置三道柔性中央扣,以便进一步加强空间主缆体系与加劲钢梁的协同工作能力。

[0040] 该悬索桥的施工过程是:根据地质地形、地貌条件及通航要求,悬索桥的桥址选择,开挖基坑,施工桥梁基础,修建桥塔门式框架柱、抛物线形塔帽和塔帽支撑斜柱形成特大跨径悬索桥的桥塔,同时修建锚碇;架设牵引缆索,修建临时施工猫道,牵引左右两股平行钢丝缆索悬挂于二个桥塔之间,并锚固于锚碇基础中,安装竖向吊杆,架设加劲钢梁,形成平行缆索悬索桥;依据马鞍抛物面方程,进行精确的测量和放样,多股碳纤维缆索空间交叉布置,形成碳纤维马鞍抛物面索网,下垂的碳纤维马鞍抛物面索作为悬索桥结构的空间缆索,马鞍抛物面索网覆盖在两股平行钢丝缆索之上,马鞍抛物面索网锚固于抛物线形塔帽之中;安装抛物线形的钢结构曲梁,采用夹具将平行钢丝缆索和马鞍抛物面索网与钢结构曲梁牢固连接,斜向吊杆的上端与钢结构曲梁的端部牢固连接,斜向吊杆的下端与加劲钢梁固定连接,形成空间缆索结构体系;安装空间斜拉索网,空间斜拉索网的上端锚固于塔帽支撑斜柱之中,空间斜拉索网的下端与加劲钢梁相连,加强空间悬索桥的侧向刚度;在超大跨径悬索桥的跨中区段,安装三道柔性中央扣,加强空间缆索网和加劲钢梁的协同工作能力,提高抗风稳定性,最后安装栏杆和桥面铺装,形成马鞍抛物面空间混合缆索体系的特大跨径悬索桥,建造4000米的特大跨径海峡悬索桥。

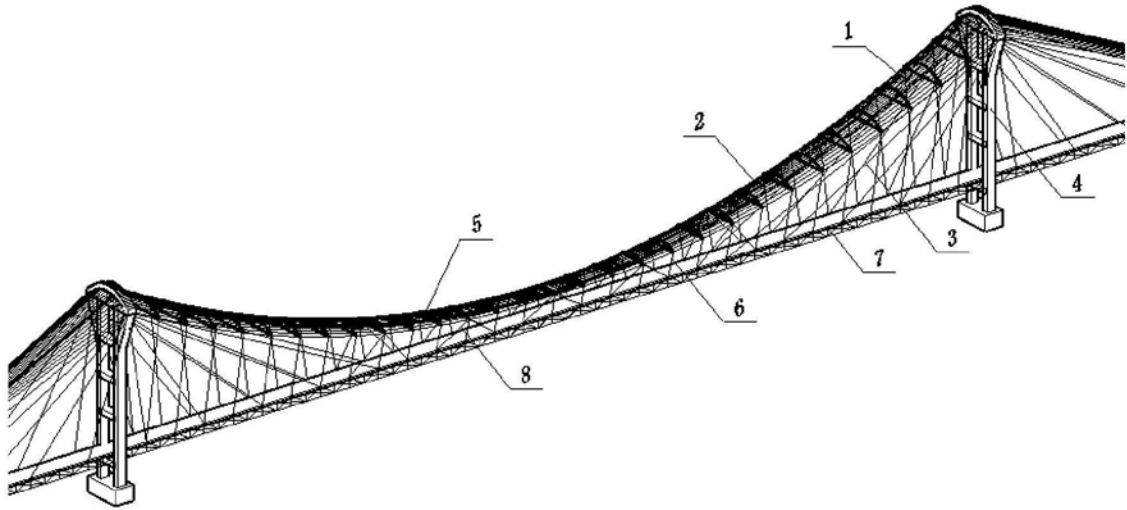


图1

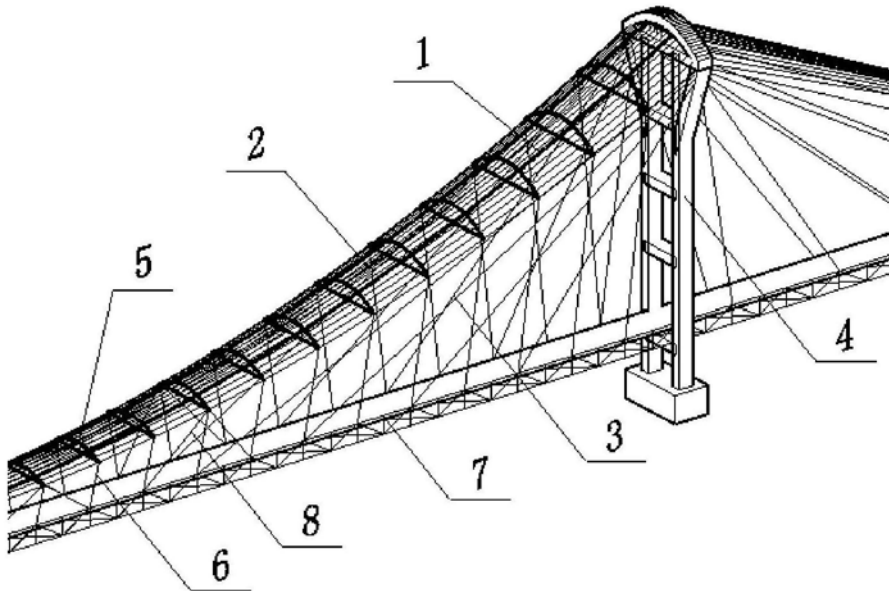


图2

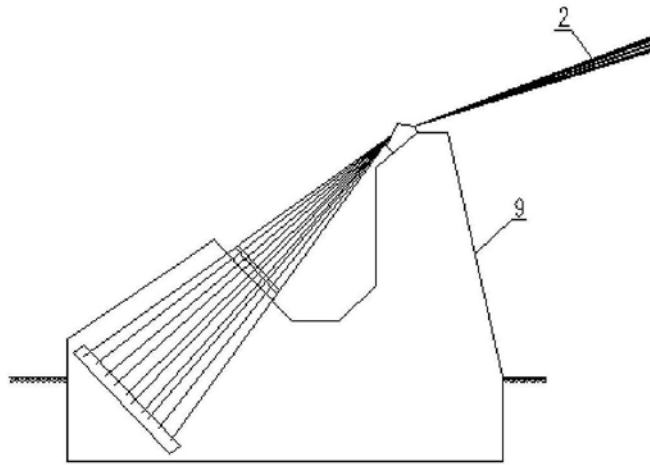


图3

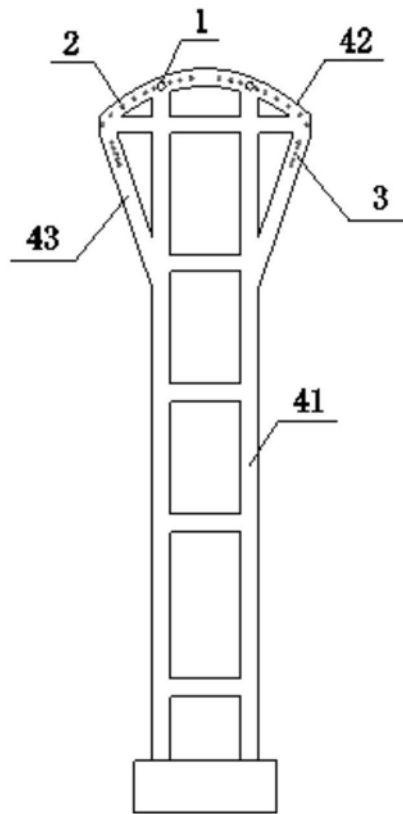


图4

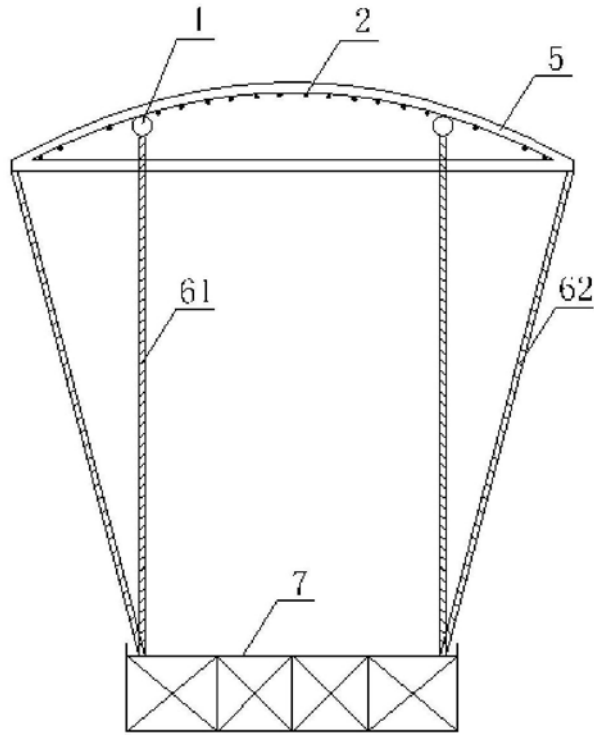


图5

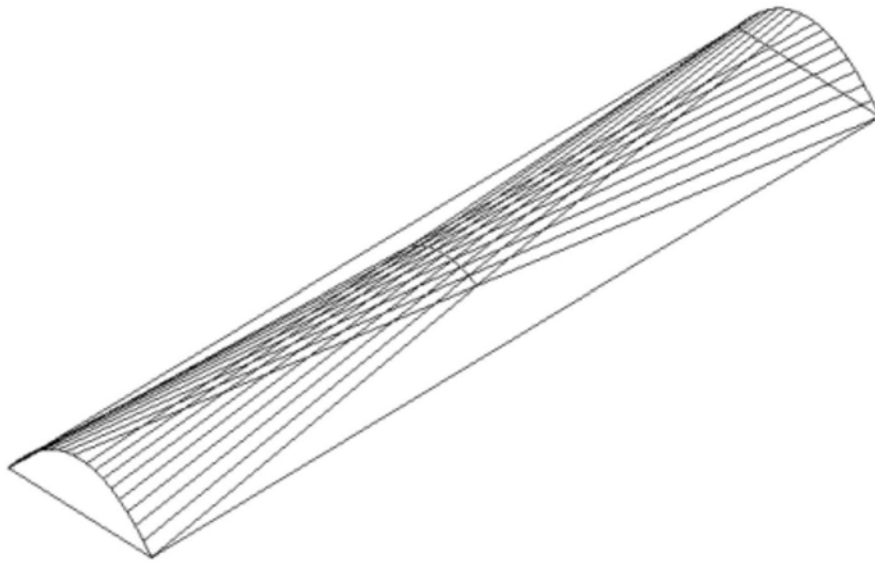


图6