(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2019 年 11 月 21 日 (21.11.2019)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2019/218679 A1

(51) 国际专利分类号:
E04B 1/342 (2006.01) *E04B 7/00* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/123667

(22) 国际申请日: 2018 年 12 月 26 日 (26.12.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811547223.4 2018年12月18日 (18.12.2018) CN

(71) 申请人: 北京工业大学(**BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**) [CN/CN]; 中国北京市北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。

(72) 发明人: 刘 越 (**LIU, Yue**); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。 田学帅 (**TIAN, Xueshuai**); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。 薛素铎 (**XUE, Suduo**); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。

(74) 代理人: 北京思海天达知识产权代理有限公司 (**BEIJING SHTD IP AGENCY LTD.**); 中国北京市北京市朝阳区平乐园100号北京工业大学旧图东配楼302室, Beijing 100124 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。
— 在修改权利要求的期限届满之前进行，在收到该修改后将重新公布(细则48.2(h))。
— 根据申请人的请求，在条约第21条(2)(a)所规定的期限届满之前进行。

(54) **Title:** CFRP SUSPENSION STRIP INTERSECTING CABLE SUPPORT STRUCTURE

(54) 发明名称: CFRP悬带交叉索支结构

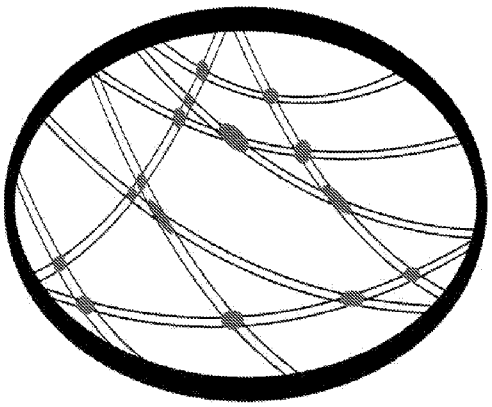


图 6

(57) **Abstract:** A CFRP suspension strip intersecting cable support structure, suitable for the field of large-span spatial structures, and comprising a flat circular outer ring (1), CFRP suspension strips (2) being anchored on the circular outer ring (1) with wave-shaped anchors, the CFRP suspension strips (2) being interlaced to form a flat cable net, the cable net being arranged in the shape of a sunflower, in the shape of a square or in an irregular shape according to requirements, gravity rigidity blocks (3) being arranged at intersection nodes for clamping. The structure is not provided with an inner ring, the cable force is evenly distributed among the CFRP suspension strips (2), and the breaking of one CFRP suspension strip (2) would not cause the overall collapse of the structure. The structure has strong continuous collapse resistance and good robustness. The structure uses the single-layer flat cable net, the gravity rigidity blocks (3) at the various nodes are used to resist wind suction forces, and the overall structure is lightweight and aesthetically pleasing. Traditional rigid cables are replaced with the CFRP suspension strips (2), so as to reduce the amount of cable, decrease the total cost of the structure, and achieve a good economic effect.

WO 2019/218679 A1

[见续页]

(57) 摘要：CFRP悬带交叉索支结构适用于大跨度空间结构领域，包括一个平面圆形外环（1），CFRP悬带（2）采用波形锚锚固于圆形外环（1）上，CFRP悬带（2）两两交错形成平面索网，索网可根据需要设置成葵花型、方格型或不规则型，其交叉节点处布置重力刚度块（3）夹具夹持。本结构不设置内环，索力在CFRP悬带（2）中分布较为平均，一根CFRP悬带（2）的断裂不会引起结构整体的倒塌，结构抗连续倒塌的能力较强，结构的鲁棒性较好；本结构采用单层平面索网，利用各节点处的重力刚度块（3）抵抗风吸力，整体结构轻盈、美观；用CFRP悬带（2）替代传统的刚拉索，可节约用索量，降低结构总的造价，实现良好的经济性。

CFRP 悬带交叉索支结构

技术领域

本发明是一种 CFRP 悬带交叉索支结构，属于一种新型的单层索支结构体系，主要适用于大跨度空间结构领域，如体育场、体育馆、展览中心等。

背景技术

索支结构是由柔性受拉索及其边缘构件所形成的承重结构，主要应用于建筑工程中。其索的材料可以采用钢丝束、钢丝绳、钢铰线、链条、圆钢等材料。为了最大可能地形成室内无柱的大空间，以满足容纳比赛场地、大型展示和飞机的需要，像体育场、体育馆、展览馆和飞机库这样的大跨度建筑也广泛采用索支结构。

悬带桥是由柔性悬带支承其上的桥面板所形成的承重结构，主要应用于桥梁工程中。悬带的材料主要是采用钢材。

为了满足大空间、大跨度等的要求，同时为了使结构变的更加安全和轻盈，本文提出了一种 CFRP 悬带交叉索支结构，是把悬带桥的理念用在了索支结构中，并采用 CFRP 这种新材料作为悬带替代钢材。

发明内容：

本发明的目的是为了解决目前存在的建筑跨度受限制和抗倒塌能力不足的问题，提出了一种 CFRP 悬带交叉索支结构形式。

它包括一个圆型外环和 CFRP 悬带两两交错形成的索网结构体系。所述 CFRP 索网可根据需要设置成葵花型、方格型或不规则型，不设置内环。CFRP 悬带锚固于圆外环上，CFRP 悬带之间采用带重力刚度块的夹具夹持。CFRP 悬带受自身重力和重力刚度块重力作用会下挠成为悬列线，以此来承受结构向下的荷载，比如自重和雪荷载；向上的风吸力由重力刚度块所产生的重力刚度来抵抗。该 CFRP 悬带交叉索支结构由于采用了 CFRP 作为悬带，相较于采用传统的钢悬带，可以节约材料用量，减轻结构自重，使结构更加轻盈、经

济；采用悬带两两交错形成的单层平面索网，在结构美学上具有创新性；不设置内环，无关键节点，结构内力在各 CFRP 悬带和节点处分布较为平均，结构抗连续倒塌能力强、鲁棒性好。

圆外环曲线公式如下。式中， r 是圆的半径。其实就是 xoy 平面和圆柱形曲面的交线，xoy 平面的原点就是圆外环曲线的中心点。

$$x^2+y^2=r^2$$

CFRP 悬带中心线的曲线方程，对于规则型中的葵花型，其实就是悬链线旋转曲面与相切于虚拟内环的竖直平面的交线段，且交线段的两个端点在圆外环曲线上。其公式如下：

$$\begin{cases} k\cosh\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{k}=z \\ x_0x+y_0y=r_0^2 \end{cases}$$

且其端点满足：

$$\begin{cases} k\cosh\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{k}=z \\ x_0x-y_0y=r_0^2 \\ x^2+y^2=r^2 \end{cases}$$

式中，k, r 的定义同上述不规则型的公式，$x_0x+y_0y=r_0^2$ 是相切于虚拟内环的竖直平面的公式，r_0 是虚拟内环在 xoy 平面内正投影曲线（为一个圆环）的半径，(x_0, y_0)是该正投影曲线（为一个圆环）上的点。

CFRP 悬带中心线的曲线方程，对于规则型中的方格型，其实就是悬链线旋转曲面与相交于圆柱形曲面的与 x 轴平行（或重合）的竖直平面或与 y 轴

平行（或重合）的竖直平面的交线段，且交线段的两个端点在圆外环曲线上。其公式如下：

$$\begin{cases} k\cosh\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{k}=z \\ x=iw(i=1,2,\cdots,n) \\ |iw|<r \end{cases}$$

且其端点满足：

$$\begin{cases} k\cosh\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{k}=z \\ x=iw(i=1,2,\cdots,n) \\ |iw|<r \\ x^2+y^2=r^2 \end{cases}$$

或者

$$\begin{cases} k\cosh\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{k}=z \\ y=iw(i=1,2,\cdots,n) \\ |iw|<r \end{cases}$$

且其端点满足：

$$\begin{cases} k\cosh\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{k}=z \\ y=iw(i=1,2,\cdots,n) \\ |iw|<r \end{cases}$$

式中，k, r 的定义同上述不规则型的公式，w 为任意实数，表示方格的宽度，i 是任意自然数，只需满足$|iw|<r$，r 是圆柱形的半径，即圆外环曲线在 xoy 平面内正投影曲线（为一个圆环）的半径。

CFRP 悬带中心线的曲线方程，对于不规则型，其实就是悬链线旋转曲面

与相交于圆柱形曲面的竖直平面的交线段，且交线段的两个端点在圆外环曲线上，公式如下：

$$\begin{cases} k\cosh\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{k}=z \\ ax+by+c=0 \\ \left|\dfrac{c}{\sqrt{a^2+b^2}}\right|<r \end{cases}$$

且其端点满足：

$$\begin{cases} k\cosh\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{k}=z \\ ax+by+c=0 \\ \left|\dfrac{c}{\sqrt{a^2+b^2}}\right|<r \\ x^2+y^2=r^2 \end{cases}$$

式中，k 是由带重力刚度块节点的密度以及 CFRP 悬带密度决定的实常数；a, b, c 是悬带的几何参数，为任意实数（只需满足$\left|\dfrac{c}{\sqrt{a^2+b^2}}\right|<r$），r 是圆柱形的半径，即圆外环曲线在 xoy 平面内正投影曲线（为一个圆环）的半径。

施工过程：本结构边梁组装拼接完成，然后在地面把全部 CFRP 悬带组装完成，然后提升至预定高度，分批分步张 CFRP 悬带，最终锚固于圆形外环的边梁上。

从结构体系的受力性能分析来看，每根 CFRP 悬带可以在不借助其他 CFRP 悬带的情况下承担来自外界的荷载，因此不会因为其他某根 CFRP 悬带发生撕裂而退出工作，具有很好地抗连续性倒塌性能。

所述的结构体系内的构件全部采用受拉构件，充分利用 CFRP 悬带优良的抗拉性能，经济性显著。

本发明的一种 CFRP 悬带交叉索支结构，具有结构构件体系优越、抗连续倒塌能力强、鲁棒性好、结构轻盈、美观、经济性好等优点。

附图说明

图 1 是一种 CFRP 悬带交叉索支结构葵花型示意图

图 2 是一种 CFRP 悬带交叉索支结构葵花型三维图

图 3 是一种 CFRP 悬带交叉索支结构方格型示意图

图 4 是一种 CFRP 悬带交叉索支结构方格型三维图

图 5 是一种 CFRP 悬带交叉索支结构不规则型示意图

图 6 是一种 CFRP 悬带交叉索支结构不规则型三维图

图 7 是 CFRP 悬带示意图

其中 1、圆形外环

2、CFRP 悬带

3、带重力刚度块的节点

具体实施方式

一种 CFRP 悬带交叉索支结构，属于一种新型索网结构体系，主要适用于空间结构领域。包括一个圆型外环和 CFRP 悬带两两交错形成的索网结构体系。所述 CFRP 悬带索网可根据需要设置成葵花型、方格型或不规则型，不设置内环。CFRP 悬带锚固于圆形外环上，CFRP 悬带之间采用夹具夹持。由受压马鞍形边梁提供 CFRP 悬带中的拉力。一种 CFRP 悬带交叉索支结构，具有结构构件布置合理、抗连续倒塌能力强、鲁棒性好、结构轻盈、美观、经济性好等优点。

具体操作：本结构外环组装拼接完成，然后在地面把全部 CFRP 悬带组装完成，然后提升至预定高度，分批分步张 CFRP 悬带，最终锚固于圆形外环的边梁上。

权 利 要 求 书

1. 一种 CFRP 悬带交叉索支结构，其特征在于：包括一个平面圆形外环、CFRP 悬带两两交错形成的索支结构体系和各节点处布置的重力刚度块；所述 CFRP 悬带索支体系设置成葵花型、方格型或不规则型，且没有内环；CFRP 悬带采用波形锚锚固于圆形外环上，CFRP 悬带之间采用布置重力刚度块的夹具夹持。

2. 根据权利要求 1 所述的一种 CFRP 悬带交叉索支结构，其特征在于：

平面圆形外环，方程为

$$x^2+y^2=r^2$$

式中， r 是圆形外环的半径。

3. 根据权利要求 1 所述的一种 CFRP 悬带交叉索支结构，其特征在于：

CFRP 悬带采用 CFRP 单层悬带。

4. 根据权利要求 1 所述的一种 CFRP 悬带交叉索支结构，其特征在于：

CFRP 悬带与 CFRP 悬带之间采用布置重力刚度块的夹具夹持，利用该重力刚度块产生的重力刚度来抵抗风吸力。

5. 根据权利要求 1 所述的一种 CFRP 悬带交叉索支结构，其特征在于：

葵花型，是悬链线旋转曲面与相切于虚拟内环的竖直平面的交线段，且交线段的两个端点在圆外环曲线上；

方格型，是悬链线旋转曲面与相交于圆柱形曲面的与 x 轴平行或重合的竖直平面的交线段，或悬链线旋转曲面与相交于圆柱形曲面的与 y 轴平行或重合的竖直平面的交线段，且交线段的两个端点在圆外环曲线上；

不规则型，是悬链线旋转曲面与相交于圆柱形曲面的竖直平面的交线段，且交线段的两个端点在圆外环曲线上。

6.安装如权利要求 1-5 任意一项所述一种 CFRP 悬带交叉索支结构的方法，其特征在于：本结构外环组装拼接完成，然后在地面把全部 CFRP 悬带索网组装完成，然后提升至预定高度，分批分步张 CFRP 悬带，最终锚固于外环的边梁上。

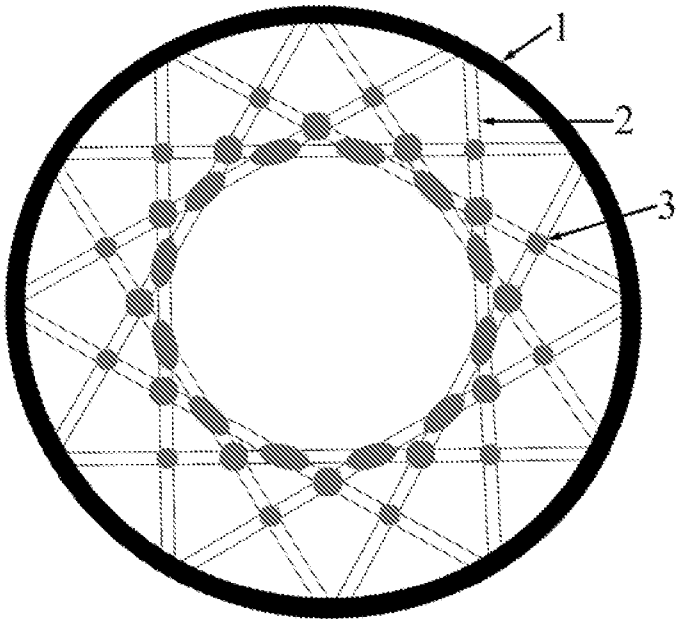


图 1

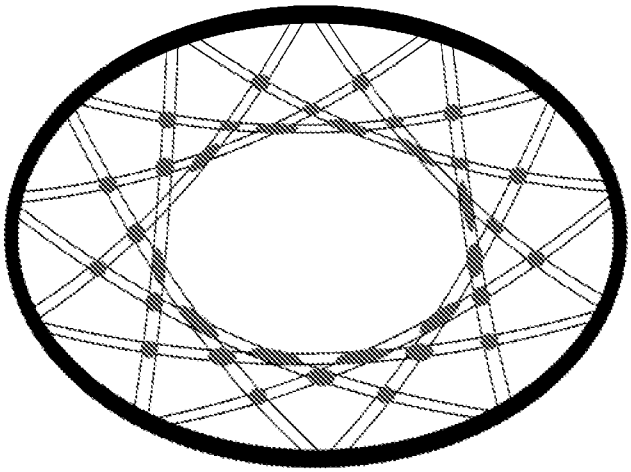


图 2

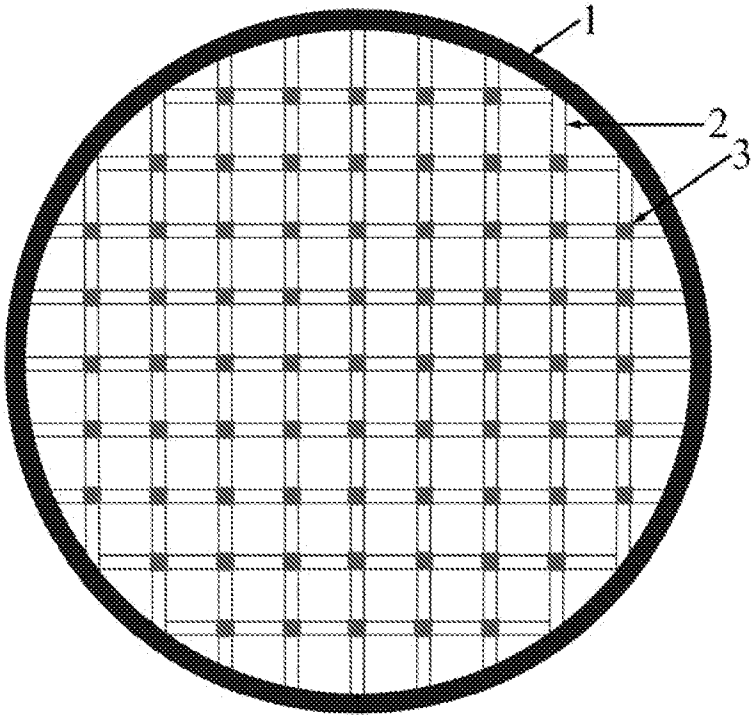


图 3

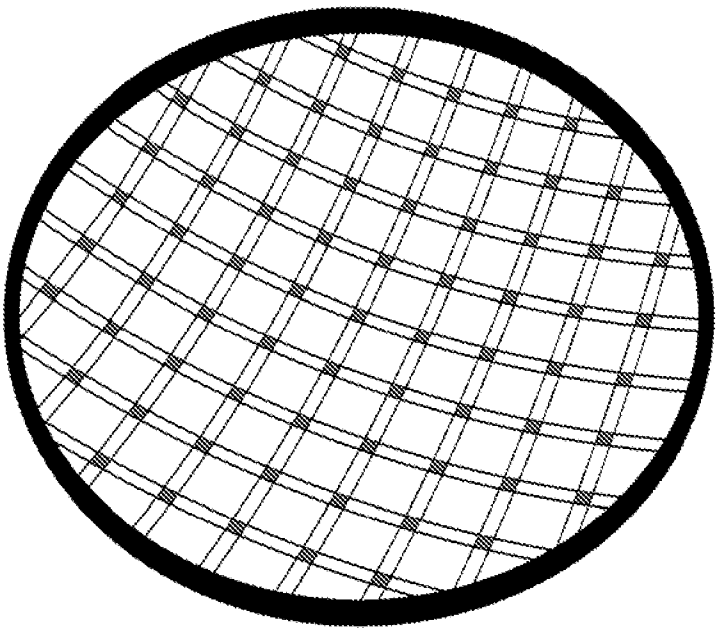


图 4

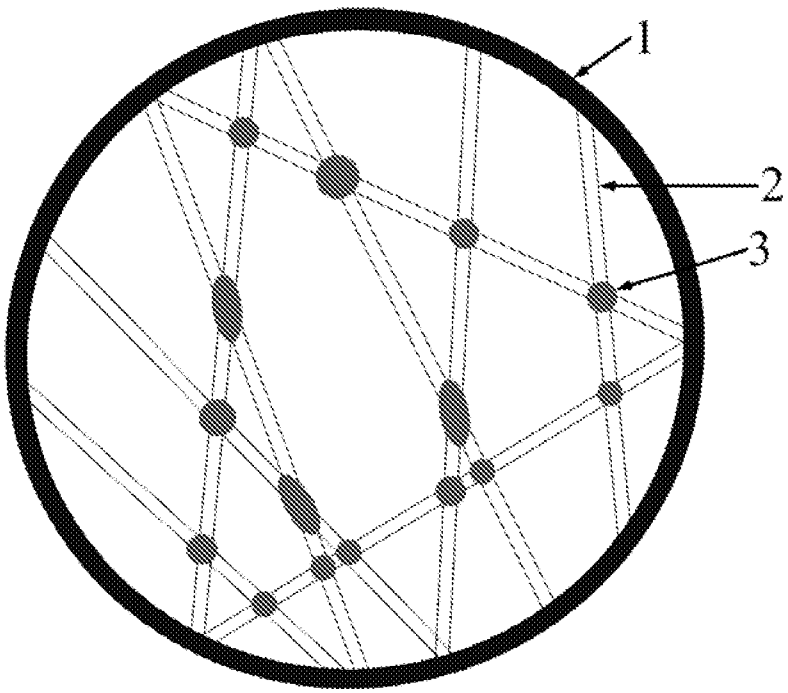


图 5

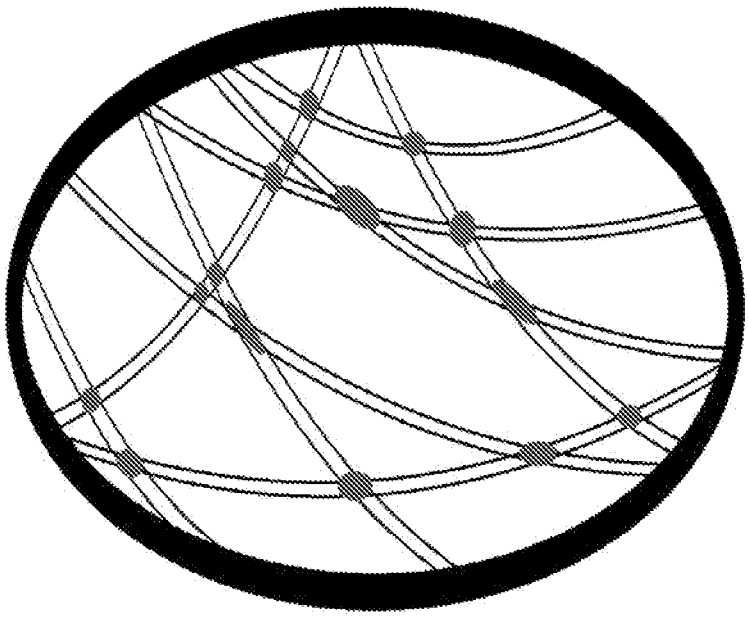


图 6

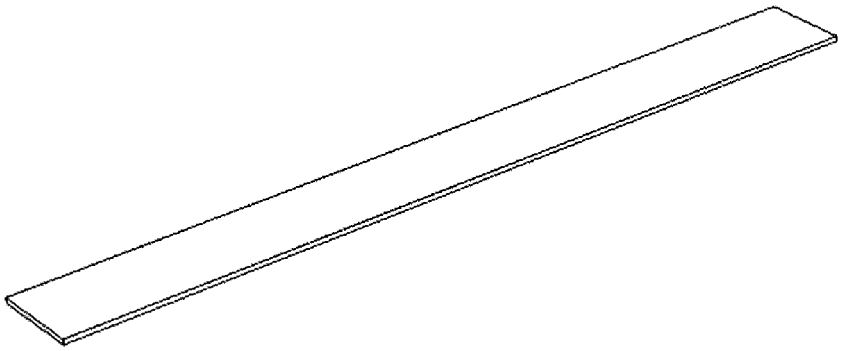


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/123667

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E04B 1/342(2006.01)i; E04B 7/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E04B; E04H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

DWPI, CNABS, SIPOABS, USTXT, EPTXT: CFRP, 纤维 s 增强, 纤维 s复合, 索支, 弦支, 索承, 穹顶, 屋顶, 索带, 带索, 纤维 s （索 or 带）, 负重, 重力, 质量, 刚度, 重物, FRP, fiber+ fibre+, composit+, cable+, rope+, sling+, roof+, belt+, strip +, tape+, mess+, weigh+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 106400962 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 15 February 2017 (2017-02-15) description, paragraphs 4 and 21-27, and figures 1-6	1-6
Y	CN 101660326 A (ZHANG, JINGUI) 03 March 2010 (2010-03-03) description, pp. 3 and 4, specific embodiments, and figure 4	1-6
A	CN 106400963 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 15 February 2017 (2017-02-15) entire document	1-6
A	CN 103696520 A (TIANJIN UNIVERSITY) 02 April 2014 (2014-04-02) entire document	1-6
A	JP S6439433 A (TAKENAKA KOMUTEN CO.) 09 February 1989 (1989-02-09) entire document	1-6
A	WO 2011113088 A1 (THE SQUARE COMPANY PTY. LTD.) 22 September 2011 (2011-09-22) entire document	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
23 August 2019	**10 September 2019**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
National Intellectual Property Administration, PRC (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/123667

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 106400962 A	15 February 2017	None	
CN 101660326 A	03 March 2010	None	
CN 106400963 A	15 February 2017	None	
CN 103696520 A	02 April 2014	CN 103696520 B	23 March 2016
JP S6439433 A	09 February 1989	JP H07-091866 B2	09 October 1995
WO 2011113088 A1	22 September 2011	US 2013061539 A1	14 March 2013
		US 8528266 B2	10 September 2013
		AU 2011229133 A1	11 October 2012

国际检索报告

国际申请号 PCT/CN2018/123667

A. 主题的分类

E04B 1/342(2006.01)i; E04B 7/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

E04B; E04H

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

DWPI,CNABS,SIPOABS,USTXT,EPTXT:CFRP，纤维 s 增强，纤维 s复合，索支，弦支，索承，穹顶，屋顶，索带，带索，纤维 s （索 or 带）,负重，重力，质量，刚度，重物，FRP, fiber+ fibre+, composit+, cable+, rope+, sling+, roof+, belt+, strip+, tape+, mess+, weigh+

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 106400962 A (东南大学) 2017年 2月 15日 (2017-02-15) 说明书第4、21-27段、图1-6	1-6
Y	CN 101660326 A (张金贵) 2010年 3月 3日 (2010-03-03) 说明书第3-4页的具体实施方式、图4	1-6
A	CN 106400963 A (东南大学) 2017年 2月 15日 (2017-02-15) 全文	1-6
A	CN 103696520 A (天津大学) 2014年 4月 2日 (2014-04-02) 全文	1-6
A	JP S6439433 A (TAKENAKA KOMUTEN CO.) 1989年 2月 9日 (1989-02-09) 全文	1-6
A	WO 2011113088 A1 (THE SQUARE COMPANY PTY. LTD.) 2011年 9月 22日 (2011-09-22) 全文	1-6

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2019年 8月 23日	2019年 9月 10日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	赵胥英
传真号 (86-10)62019451	电话号码 86-(10)-53962814

表 PCT/ISA/210 (第2页) (2015年1月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2018/123667

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	106400962	A	2017年 2月 15日	无			
CN	101660326	A	2010年 3月 3日	无			
CN	106400963	A	2017年 2月 15日	无			
CN	103696520	A	2014年 4月 2日	CN	103696520	B	2016年 3月 23日
JP	S6439433	A	1989年 2月 9日	JP	特公平7-91866	B2	1995年 10月 9日
WO	2011113088	A1	2011年 9月 22日	US	2013061539	A1	2013年 3月 14日
				US	8528266	B2	2013年 9月 10日
				AU	2011229133	A1	2012年 10月 11日