(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
2014 年 6 月 12 日 (12.06.2014)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2014/086132 A1

(51) 国际专利分类号:
E04B 1/343 (2006.01) *F16S 5/00* (2006.01)
A61F 2/82 (2013.01) *E04H 1/12* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2013/075521

(22) 国际申请日: 2013 年 5 月 11 日 (11.05.2013)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201210528507.5 2012 年 12 月 5 日 (05.12.2012) CN

(71) 申请人: 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

(72) 发明人: 陈焱 (CHEN, Yan); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 刘思聪 (LIU, Sicong); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 李建民 (LI, Jianmin); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 王昆峰 (WANG, Kunfeng); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 繁富香织 (SHIGETOMI, Kaori); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

(74) 代理人: 天津市北洋有限责任专利代理事务所 (BEI & OCEAN); 中国天津市南开区鞍山西道时代公寓 A 座 603, Tianjin 300193 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则 4.17 的声明:
— 发明人资格(细则 4.17(iv))

[见续页]

(54) Title: FOLDING TUBULAR STRUCTURE WITH RIGIDITY FREE DEGREE

(54) 发明名称 : 具有一个刚性自由度的可折叠管状结构

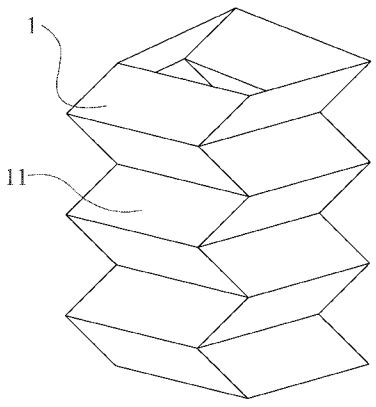


图 1 / Fig. 1

(57) Abstract: A folding tubular structure (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) with a rigidity free degree is formed by multiple single-layer ring-shaped units (13, 23, 33, 43, 53, 63, 73) in a head-to-tail connection. Each single-layer ring-shaped unit (13, 23, 33, 43, 53, 63, 73) is a prismoid with 2N side surfaces. Two adjacent prismoids with the 2N side surfaces are formed by intersecting lines of 2N polygons which are located on an intersecting surface and are in a head-to-tail connection. Each prismoid with the 2N side surfaces is formed by 2N rigidity plane quadratic units. Chine lines of each prismoid are parallel to each other. The chine lines in a head-to-tail connection in the tubular structure are located in the same plane. When a 2N polygon formed by two adjacent single-layer ring-shaped units in the intersecting surface is a line symmetry 2N polygon with only one symmetry axis, all the planes the head-to-tail connected chine lines of the tubular structure are located are perpendicular to the symmetry axis. The apparatus can accurately control the processes of folding and unfolding a structure.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2014/086132 A1

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

具有一个刚性自由度的可折叠管状结构（1、2、3、4、5、6、7、8、9），由多个单层环状单元（13、23、33、43、53、63、73）首尾连接形成，每一个单层环状单元（13、23、33、43、53、63、73）为具有 2N 个侧面的棱柱体，相邻的两个具有 2N 个侧面的棱柱体由共用位于首尾连接形成的相交面上的 2N 边形交线的方式连接组成，每一个具有 2N 个侧面的棱柱体由 2N 个刚性平面四边形单元组成，每一个棱柱体的棱线相互平行，管状结构中首尾相连的棱线位于同一平面内，当相邻的两个单层环状单元在相交面形成的 2N 边形为只具有一条对称轴的线对称 2N 边形时，管状结构的首尾相连的棱线所在平面都垂直于对称轴。该装置可以做到对结构的折叠和展开过程精确控制。

WO 2014/086132 PCT/CN2013/075521

具有一个刚性自由度的可折叠管状结构

技术领域

本发明涉及一种可折叠结构，尤其涉及具有一个刚性自由度的可折叠管状结构。

背景技术

由平面单元组成的可展开可折叠的管状结构具有多种用途，例如，用于宇宙空间站的大型构件，甚至月球基地的建设，或者用作人体血管、消化道等的支架，或者代替板房作为严重自然灾害后的大中小型临时居所。这样的管状结构在展开后构建一个具有指定容积的空间。同时这样的管状结构可以通过折叠收起的方式将自身体积降到最小，便于存储和运输。近年来，分别由 Hoberman（US4780344, US4981732, US5234727），Guest 和 Pellegrino，Sogame（US6233880B1）和 Furuya，以及 Nojima 等研究人员提出的不同形式的可折叠管状结构具备了上述的展开和折叠的功能，但是由于这些结构的折展功能依赖于所使用材料的弹塑性大变形，对其折叠和展开的过程很难做到精确的控制，这就限制了它们的用途。并且，由于结构组成单元的形变造成整体形状的变化使得现有的管状折叠结构通常被用作一次性结构来使用。

发明内容

本发明的目的在于克服现有技术的不足，提供一种可以做到对结构的折叠和展开过程精确控制、降低了结构展开和折叠的复杂程度、可重复使用的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构。

本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构，它为由多个单层环状单元首尾连接形成的管状结构，每一个单层环状单元为具有 2N 个侧面的棱柱体，相邻的两个具有 2N 个侧面的棱柱体由共用位于首尾连接形成的相交面上的 2N 边形交线的方式连接组成，每一个所述的具有 2N 个侧面的棱柱体由 2N 个刚性平面四边形单元组成，相邻的两个所述的单层环状单元包括 2N 个有且仅有四个平面四边形单元相交于一个顶点形成的球面机构，相邻的两个所述的单层环状单元在相交面形成的 2N 边形为具有一条对称轴的线对称 2N 边形或者中心对称平面 2N 边形，每一个所述的具有 2N 个侧面的棱柱体的棱线相互平行，所述的管状

结构中首尾相连的棱线位于同一平面内，当相邻的两个所述的单层环状单元在相交面形成的2N边形为只具有一条对称轴的线对称2N边形时，所述的管状结构的首尾相连的棱线所在平面都垂直于对称轴，所述的N为大于1的整数。

采用本发明的装置具有以下优点：

以不会发生形变的平面单元和两个相邻平面单元的连接线为转动副的转动中心相结合组成的可折叠管状结构，可以做到对结构的折叠和展开过程精确控制；而且，本结构为仅具有一个刚性自由度的机构，更是降低了结构展开和折叠的复杂程度，进而本结构比目前已有结构更为可靠而且可重复使用。

本发明所述的管状结构设计方法简单，装配方便。由于可以被完全折叠成体积很小的状态，使结构的存放和运输都十分便捷。并不局限某一特定形状或大小的管状结构，还可以满足构建不同用途的结构需要。

附图说明

图1为本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构的第一种实施方式，即由四棱柱单层单元组成的可折叠管状结构处于展开状态示意图，此结构中相邻两层的交线为线对称四边形，即等形，具有一条对称轴；

图2为图1所示的可折叠管状结构处于完全折叠状态的结构示意图；

图3为组成图1所示的可折叠管状结构的相邻两层环状结构的示意图；

图4为图3所示环状结构的俯视图；

图5为图3所示环状结构的凹折叠状态，相邻两层的交线由凸等形变形为了凹等形；

图6为图5所示环状结构的凹折叠状态的俯视图；

图7为图1所示可折叠管状结构的凹折叠状态，同时也是图5所示环状结构叠加连接的结果图；

图8为图7所示可折叠管状结构处于完全折叠状态的结构示意图；

图9为本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构的第二种实施方式，即由四棱柱单层组成的可折叠管状结构处于展开状态的示意图，此结构中相邻两层的交线为中心对称四

边形，对称中心位于四边形对角线的交点。

图 10 为图 9 所示的可折叠管状结构处于完全折叠状态的示意图；

图 11 为组成图 9 所示可折叠管状结构的相邻两层环状结构的示意图；

图 12 为图 11 所示环状结构的俯视图；

图 13 为本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构的第三种实施方式，即由六棱柱单层组成的可折叠管状结构处于展开状态示意图，此结构中相邻两层的交线为线对称六边形，具有一条对称轴；

图 14 为图 13 所示的可折叠管状结构处于完全折叠状态的示意图；

图 15 为组成图 13 所示的可折叠管状结构的相邻两层环状结构的示意图；

图 16 为图 15 所示环状结构的俯视图；

图 17 为图 15 所示环状结构的凹折叠状态，相邻两层的交线由凸六边形变形为凹六边形；

图 18 为图 17 所示环状结构的俯视图；

图 19 为图 13 所示可折叠管状结构的凹折叠状态，同时也是图 17 所示环状结构叠加相连的结果图；

图 20 为图 19 所示可折叠管状结构处于完全折叠状态的示意图；

图 21 为本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构的第四种实施方式，即由六棱柱单层组成的可折叠管状结构处于展开状态的示意图，此结构中相邻两层的交线为中心对称六边形，对称中心位于六边形对角线的交点；

图 22 为图 21 所示的可折叠管状结构处于完全折叠状态的示意图；

图 23 为组成图 21 所示的可折叠管状结构的环状结构的示意图；

图 24 为图 23 所示环状结构的俯视图；

图 25 为本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构的第六种实施方式，即由八棱柱单层组成的可折叠管状结构处于展开状态示意图，此结构中相邻两层的交线为线对称八边形，具有一条对称轴；

图 26 为图 25 所示的可折叠管状结构处于完全折叠状态的示意图；

图 27 为组成图 25 所示的可折叠管状结构的相邻两层环状结构的示意图；

图 28 为图 27 所示环状结构的俯视图；

图 29 为本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构的第六种实施方式，即由八棱柱单层组成的可折叠管状结构处于展开状态的示意图，此结构中相邻两层的交线为中心对称八边形，对称中心位于八边形对角线的交点；

图 30 为图 29 所示的可折叠管状结构处于完全折叠状态的示意图；

图 31 为组成图 29 所示的可折叠管状结构的相邻两层环状结构的示意图；

图 32 为图 31 所示环状结构的俯视图；

图 33 为本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构的第七种实施方式，即由交线夹角对应相同的单层单元组成的可折叠弯管结构处于展开状态的示意图；

图 34 为图 33 所示的可折叠弯管结构处于完全折叠状态的示意图；

图 35 为构建图 33 所示结构的开始阶段，由两个交线夹角对应相同的单层组成一个环状结构作为图 33 所示结构的基础；

图 36 为在图 35 所示结构基础之上添加新的单层环状单元的示意图；

图 37 为在图 36 所示结构基础之上添加新的单层环状单元的示意图；

图 38 为本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构的第八种实施方式，即由任意单层单元组成的可折叠弯管结构的正视图；

图 39 为图 38 所示的由任意单层单元组成的可折叠弯管结构的左视图；

图 40 为图 38 所示的由任意单层单元组成的可折叠弯管结构的俯视图；

图 41 为图 38 所示的由任意单层单元组成的可折叠弯管结构的示意图；

图 42 为本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构的第九种实施方式，即由六棱柱单层组成的可折叠弯管结构处于展开状态的示意图；

图 43 为图 42 所示的可折叠弯管结构处于完全折叠状态的示意图；

其中：

1- 由四棱柱单层组成的可折叠管状结构，相邻两层的交线为线对称四边形，具有一条

对称轴

2- 由四棱柱单层组成的可折叠管状结构，相邻两层的交线为中心对称四边形

3- 由六棱柱单层组成的可折叠管状结构，相邻两层的交线为线对称六边形，具有一条对称轴

4- 由六棱柱单层组成的可折叠管状结构，相邻两层的交线为中心对称六边形

5- 由八棱柱单层组成的可折叠管状结构，相邻两层的交线为线对称八边形，具有一条对称轴

6-由八棱柱单层组成的可折叠管状结构，相邻两层的交线为中心对称八边形。

7- 由交线夹角对应相同的单层单元组成的可折叠弯管

8- 由任意单层单元组成的可折叠弯管

9- 由六棱柱单层组成的可折叠弯管结构实例

i1- 结构 i 的展开状态 (i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)

i2- 结构 i 的完全折叠状态 (i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)

i3- 组成结构 i 的环状结构，由两个相邻的单层环状单元组成(i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

i4- 环状结构 i3 处于凹折叠状态(i=1, 3)

i5- 处于凹折叠状态时的结构 i 的展开状态 (i=1,3)

i6- 处于凹折叠状态时的结构 i 的折叠状态 (i=1,3)

iX- 结构 i 中四个平面单元的交点，代表球面机构的中心，同时也是环状结构中相邻两层交线的顶点 (X=A, B, C, D, E, F, G, H)

iXj- 结构 i 中交于顶点 X 的交线 j，环状结构中相邻两层交线的边线 (j=1, 2, 3, 4)。从管状结构的外面看，四条交线绕顶点 iX 按逆时针方向编号。

iXj(j+1)- 结构 i 中交于顶点 X 的交线 j 与交线 j+1 的夹角

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明作以详细描述。

本发明的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构，它为由多个单层环状单元首尾连接形成的管状结构，每一个单层环状单元为具有 2N 个侧面的棱柱体，相邻的两个具有 2N 个侧面的棱柱体由共用位于首尾连接形成的相交面上的 2N 边形交线的方式连接组成，每一个所述的具有 2N 个侧面的棱柱体由 2N 个刚性平面四边形单元组成，相邻的两个所述的单层环状单元包括 2N 个有且仅有四个平面四边形单元相交于一个顶点形成的球面机构，相邻的两个所述的单层环状单元在相交面形成的 2N 边形为具有一条对称轴的线对称 2N 边形或者中心对称平面 2N 边形，每一个所述的具有 2N 个侧面的棱柱体的棱线相互平行，所述的管状结构中首尾相连的棱线位于同一平面内，当相邻的两个所述的单层环状单元在相交面形成的 2N 边形为只具有一条对称轴的线对称 2N 边形时，所述的管状结构的首尾相连的棱线所在平面都垂直于对称轴，所述的 N 为大于 1 的整数。

所述的管状结构可以为直管结构，所述的平面四边形单元为平行四边形。所述的直管结构包括相邻的两个所述的单层环状单元在相交面形成的 2N 边形为具有一条对称轴的筝形或凹筝形、中心对称四边形、具有一条对称轴的线对称六边形或凹六边形、中心对称六边形、线对称八边形或中心对称八边形。

所述的管状结构可以为具有弯曲轴线的弯管结构。所述的弯管结构的平面四边形单元全部为梯形或者部分为梯形。

在本发明结构中，相邻的平面四边形单元的交线相当于一个转动副的旋转中心轴，而且有且仅有四条交线交于同一个顶点，相当于一个球面 4R 机构，具有一个刚性自由度。所述有且仅有四个平面四边形单元相交于一个顶点的连接保证了相邻两层环状单元的折展运动仅具有一个刚性自由度。进而保证了所组成管状结构具有一个刚性自由度。所述的管状结构在轴向展开和折叠的同时发生径向展开和折叠。所述管状结构的完全展开状态在结构中某一基本组合发生最大展开时达到。所述管状结构的完全折叠状态在平面四边形单元与相邻单元发生面接触时达到。

下面再结合每一附图对本发明加以详细说明：

图 1 为本发明的以四棱柱单层组成的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构 1 处于展开

状态 11 的示意图，图 2 为结构 1 处于完全折叠状态 12 的示意图。图 3 为组成图 1 所示结构的两个相邻两层环状单元 13 的示意图。图 3 中相邻的两个单层环状单元由两个四棱柱共用位于同一平面上的交线的方式连接组成，每一个所述的四棱柱由四个刚性平形四边形单元组成。相邻的两个所述的单层环状单元包括 4 个有且仅有四个平面四边形单元相交于一个顶点形成的球面机构，顶点分别有 1A，1B，1C 和 1D。相邻的两个所述的单层环状单元在相交面形成的多边形为如图 3 所示的筝形 1A1B1C1D，具有一条对称轴，对称轴如图 4 所示与对角线 1A1C 重合。

每个四棱柱单层的四条棱线相互平行，即如图 3 所示棱线 1A1、1B3 、1C1 和 1D3 相互平行。同时，除了需满足平行关系之外，每组首尾棱线需位于同一平面上，并且此平面必须垂直于对称轴 1A1C，例如图 3 中两条棱线所在的平面 1A11A3（1A3 为其中一层单层的棱线，在图中未示出）、1B31B1、1C11C3 以及 1D31D1 都垂直于对称轴 1A1C。图中 1A2、1A4、1B4、1B2、1C2、1C4、1D4 分别为图 3 中两个四棱柱在该视图下可以看到的棱线。

图 5 和图 6 所示环状结构 14 是图 3 所示环状结构 13 中的顶点 1C 在向顶点 1A 靠近的运动过程中的构型，环状结构 13 通过展开到完全展开状态后进入具有凹筝形横截面的折叠状态 14 中。图 7 和图 8 所示分别为处于凹折叠状态的可折叠管状结构 1 的展开状态 15 和完全折叠状态 16。相较之下，图 8 所示的完全折叠状态 16 比图 2 所示的完全折叠状态 12 进一步地减少了结构所占用的空间。

图 9 所示为由四棱柱单层组成的可折叠管状结构 2 的展开状态 21。图 10、图 11 和图 12 所示分别为结构 2 的完全折叠状态 22，组成结构 2 的环状结构 23 以及环状结构 23 的俯视图。如图 11 所示，环状结构 23 同图 3 所示环状结构 13 一样由两个相邻的四棱柱共用位于同一平面上的交线的方式连接组成。所述每个四棱柱的棱线平行，如图上层四棱柱单层中的棱线 2A1、2B3、2C1、2D3 平行；下层四棱柱单层中的棱线 2A3、2B1、2C3、2D1 平行。每组首尾相连的棱线同样位于同一平面上。不同的是两个所述的相邻四棱柱交线为如图 12 所示的中心对称四边形 2A2B2C2D，其对称中心如图 12 所示为对角线 2A2C 和 2B2D 的交点。

图 13 所示为本发明的由六棱柱单层组成的可折叠管状结构 3 处于展开状态 31。图 14、

图 15 和图 16 所示分别为结构 3 处于完全折叠状态 32，组成结构 3 的环状结构 33 以及环状结构 33 的俯视图。如图 15 所示，环状结构 33 由两个相邻六棱柱相连组成，交线为线对称六边形 3A3B3C3D3E3F，对称轴如图 16 所示通过顶点 3A 和 3D。每个六棱柱的六条棱线相互平行，即如图 15 所示，棱线 3A1，3B3，3C1，3D3，3E1 和 3F3 平行，同时 3A3，3B1，3C3，3D1，3E3 和 3F1 平行（图中未示出序号）。图 13 所示的管状结构 31 上每组首尾相连的棱线位于同一平面上，并且所在平面垂直于相邻六棱柱交线的对称轴。

图 17 所示为图 15 中的环状结构 33 处于凹折叠状态 34。图 18、图 19 和图 20 所示分别为环状结构 34 的俯视图，环状结构 34 所组成的管状结构的展开状态 35 以及完全折叠状态 36。

图 21 所示为本发明的由六棱柱单层组成的可折叠管状结构 4 的展开状态 41，图 22、图 23 和图 24 所示分别为管状结构 4 处于完全折叠状态 42，组成结构 4 的环状结构 43 以及环状结构 43 的俯视图。与结构 3 不同的是，如图 23 所示，组成环状结构 43 的相邻六棱柱的交线为中心对称六边形 4A4B4C4D4E4F，对称中心为如图 24 所示的对角线 4A4D，4B4E 和 4C4F 的交点。环状结构 43 中的六棱柱的棱线分别平行，即 4A1，4B3，4C1，4D3，4E1 和 4F3 平行，同时 4A3，4B1，4C3，4D1，4E3 和 4F1 平行（图中未示出序号）。管状结构 41 中各顶点的相连棱线必须位于同一平面上。结构 4 在功能上也同样具有完全展开状态以及凹或凸的折叠状态。

图 25、图 26、图 27 和图 28 所示分别为本发明的由八棱柱单层组成的可折叠管状结构 5 处于展开状态 51，处于完全折叠状态 52，组成结构 5 的环状结构 53 以及环状机构 53 的俯视图。如图 27 所示的相邻八棱柱单元交线为八边形 5A5B5C5D5E5F5G5H，具有一条对称轴，通过图 28 所示的顶点 5A 和 5E。与前述结构相同，结构 5 在功能上也同样具有完全展开状态以及凹或凸的折叠状态。每个八棱柱的八条棱线相互平行，即 5A1、5B3、5C1、5D3、5E1、5F3、5G3、5H3 相互平行。同前述具有一条对称轴横截面的结构相同，结构 51 每组首尾相连的棱线位于同一平面，这些平面都垂直于相邻八棱柱交线的对称轴。结构 5 在功能上也同样具有完全展开状态以及凹或凸的折叠状态。

图 29、图 30、图 31 和图 32 所示分别为本发明的由八棱柱单层组成的可折叠管状结构 6 处于展开状态 61，处于完全折叠状态 62，组成结构 6 的环状结构 63 以及环状结构 63 的俯视图。结构 6 与结构 5 一样具有相同的展开折叠功能，每个单层中棱线的平行条件以及相连棱线的共面条件。棱线 6A1、6B3、6C1、6D3、6E1、6F3、6G3、6H3 相互平行。与结构 5 不同的是，如图 31 和图 32 所示，结构 63 中的两个相邻八棱柱单层交线 6A6B6C6D6E6F6G6H 为中心对称，对称中心为对角线 6A6E，6B6F，6C6G 以及 6D6H 的交点。结构 6 在功能上也同样具有完全展开状态以及凹或凸的折叠状态。

由四棱柱，六棱柱以及八棱柱单层组成的可折叠管状结构可引申出由 2N 棱柱单层组成的可折叠管状结构，并具有相应的展开折叠功能，每个单层中棱线的平行条件以及相连棱线的共面条件。当相邻 2N 棱柱的交线具有一条对称轴时，每组首尾相连的棱线所在的面同样需要垂直于此对称轴。

从图 33 到图 41 通过列举由四棱柱单层组成的弯管结构的具体实例介绍可折叠弯管结构的构建结构。这些构建弯管的结构同样适用于由六棱柱，八棱柱以至于 2N 棱柱单层组成的可折叠弯管结构的构建。

图 33 和图 34 所示分别为由交线夹角对应相同的单层单元组成的可折叠弯管结构 7 的展开状态 71 和完全折叠状态 72。73 为组成本结构的环状结构。图 35、图 36 和图 37 所示为构建结构 7 的过程，从上到下依次在前面结构基础之上添加一个单层。在弯管结构 7 中的单层单元由 4 个平面梯形相连形成环状结构。结构 7 中每一个单层都是在前一单层的基础上构建的，并不一定与其他单层相同。单层构建所遵循的规律如下：1）所构建单层的交线夹角与前一单层对应夹角相同，例如，图 36 中的 7B23=7B12，7C12=7C23，7C41=7C34，7D34=7C41。因为前一单层中的棱线 7A3（图中未标注）、7B1、7C3 和 7D1 相互平行，此单层中的棱线 7A1、7B3、7C1 和 7D3 也相互平行。7B2、7D4 为相邻的两个棱柱相交面上的交线。2）所构建单层与前一单层的交线始终是线对称或者中心对称平面 2N 边形，如图 35 中的横截面 7A7B7C7D 为线对称四边形。3）构建单层时要满足棱线应位于与之相连的前一单层的棱线的同一平面中，当相邻两层的交线为只具有一条对称轴的线对称 2N 边形时，这些平面都必须垂直于对

称轴。

图 38、图 39、图 40 和 41 所示分别为由任意单层单元组成的可折叠弯管结构 8 的正视图，左视图，俯视图和结构外观示意图。和结构 7 类似，结构 8 的也是通过单层添加的方式构建而成，所构建的结构须满足如下的条件：1）每个单层单元与前一单层单元的交线为线对称或中心对称的平面 2N 边形，如图 41 所示的线对称的四边形 8A8B8C8D。2）每个单层单元中棱线相互平行 3）整个管状结构中每组首尾相连的棱线位于同一平面上，当相邻两层单元的交线 2N 边形只具有一条对称轴时，这些平面都必须垂直于对称轴。结构 8 与 7 不同之处在于，结构 8 中的每一单层中的交线夹角并不与相邻两层的对应夹角相同，结构 8 也因此不总能达到相邻平面单元面接触的完全折叠状态，通常仅有可折叠范围最小的单层达到完全折叠或者完全展开的状态。同弯管结构 7 相比，结构 8 的构建约束条件最少，因而结构 8 是可折叠弯管结构的最普通情况，结构 8 的构建规律也包含了构建本发明中前述所有可折叠直管结构的规律。

图 42、图 43 列举了利用前述构建弯管方法设计建立的一种弯管结构，分别为由六棱柱单层组成的弯管结构 9 的展开状态 91 和完全折叠状态 92。

同时需要说明：1）当结构中所有的平面四边形均为平行四边形时，所构建的以 2N 棱柱为单层的管状结构表现为可折展的直管结构，例如结构 1，2，3，4，5，和 6；2）当结构中部分或所有的平面四边形为梯形时，所构建的以 2N 棱柱为单层的管状结构表现为可折展的弯管结构，例如结构 7，8，和 9。因而直管结构是弯管结构的特例，两者均在本发明保护范围内。

以上示意性的对本发明及其实施方式进行了描述，该描述没有限制性，附图中所示的也只是本发明的实施方式之一，实际的结构并不局限于此。所以，如果本领域的技术人员受其启示，在不脱离本发明创造宗旨的情况下，采用不同材料的平面四边形单元构建本发明结构，或采用其它形式的连接组合方式不经创造性的设计与该发明结构相似的结构方式及实施例，均应属于本发明的保护范围。

权利要求

1. 具有一个刚性自由度的可折叠管状结构，其特征在于:它为由多个单层环状单元首尾连接形成的管状结构，每一个单层环状单元为具有 2N 个侧面的棱柱体，相邻的两个具有 2N 个侧面的棱柱体由共用位于首尾连接形成的相交面上的 2N 边形交线的方式连接组成，每一个所述的具有 2N 个侧面的棱柱体由 2N 个刚性平面四边形单元组成，相邻的两个所述的单层环状单元包括 2N 个有且仅有四个平面四边形单元相交于一个顶点形成的球面机构，相邻的两个所述的单层环状单元在相交面形成的 2N 边形为具有一条对称轴的线对称 2N 边形或者中心对称平面 2N 边形，每一个所述的具有 2N 个侧面的棱柱体的棱线相互平行，所述的管状结构中首尾相连的棱线位于同一平面内，当相邻的两个所述的单层环状单元在相交面形成的 2N 边形为只具有一条对称轴的线对称 2N 边形时，所述的管状结构的首尾相连的棱线所在平面都垂直于对称轴，所述的 N 为大于 1 的整数。

2.根据权利 1 所述的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构，其特征在于：所述的管状结构为直管结构，所述的平面四边形单元为平行四边形。

3.根据权利要求 2 所述的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构，其特征在于：所述的直管结构包括相邻的两个所述的单层环状单元在相交面形成的 2N 边形为具有一条对称轴的筝形或凹筝形、中心对称四边形、具有一条对称轴的线对称六边形或凹六边形、中心对称六边形、线对称八边形或中心对称八边形。

4.根据权利 1 所述的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构，其特征在于：所述的管状结构为具有弯曲轴线的弯管结构。

5.根据权利 4 所述的具有一个刚性自由度的可折叠管状结构，其特征在于：所述的弯管结构的平面四边形单元全部为梯形或者部分为梯形。

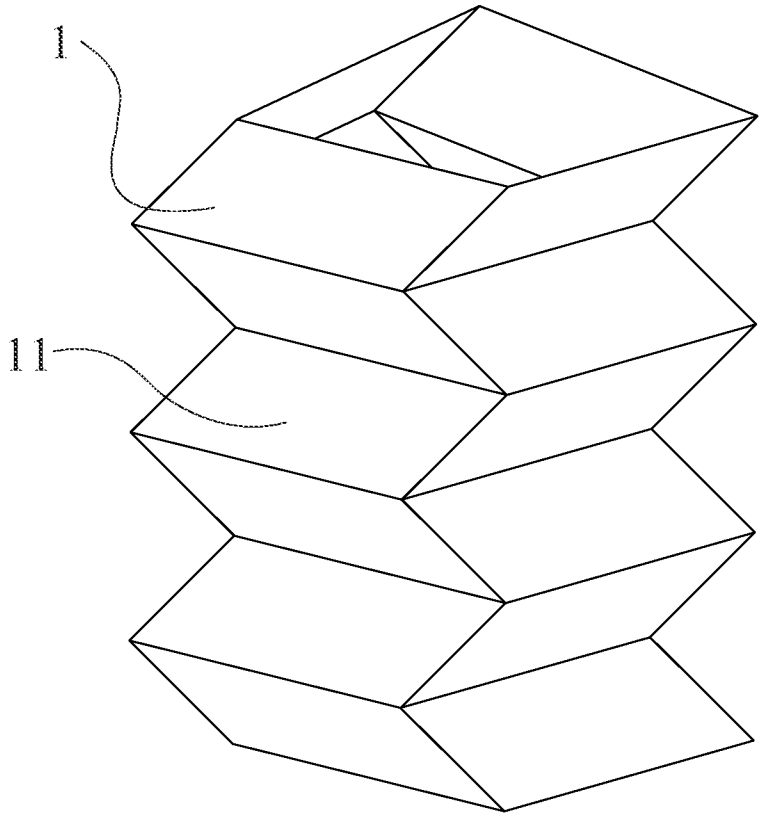


图 1

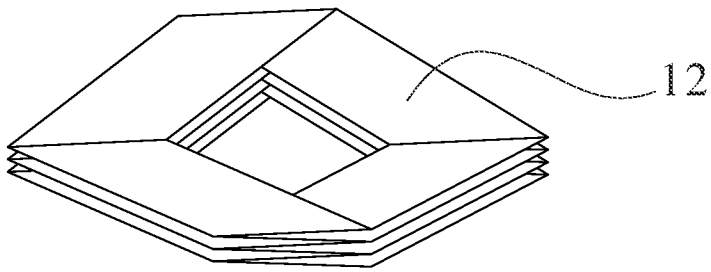


图 2

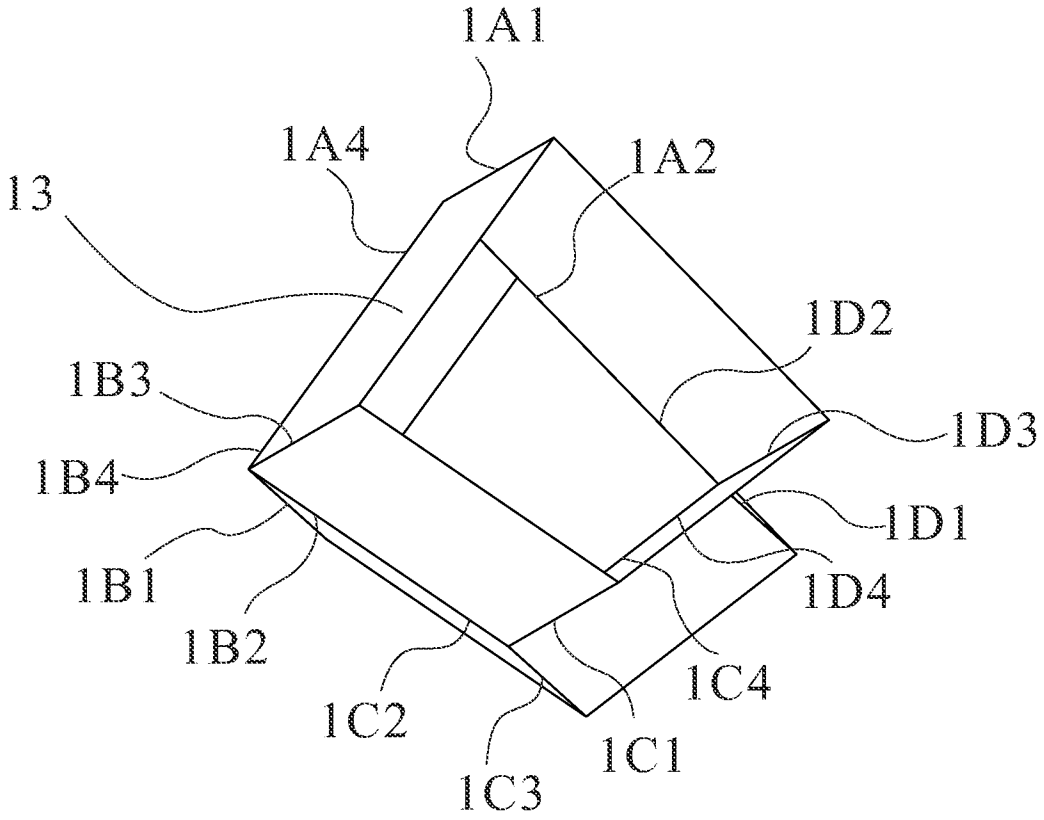

1A1
1A4
1A2
13
1D2
1B3
1D3
1B4
1D1
1B1
1D4
1B2
1C4
1C2
1C1
1C3

图 3

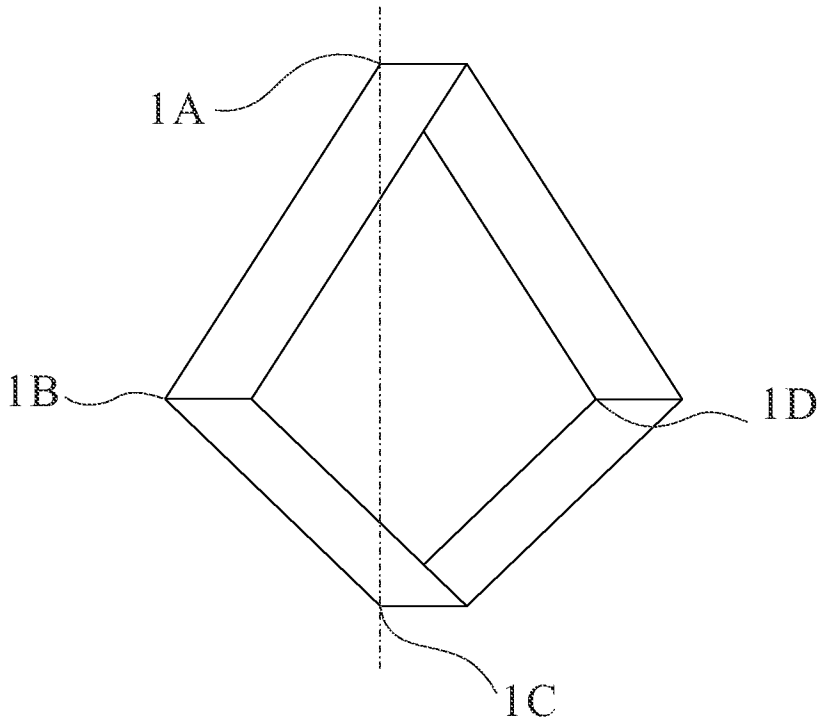

1A
1B
1D
1C

图 4

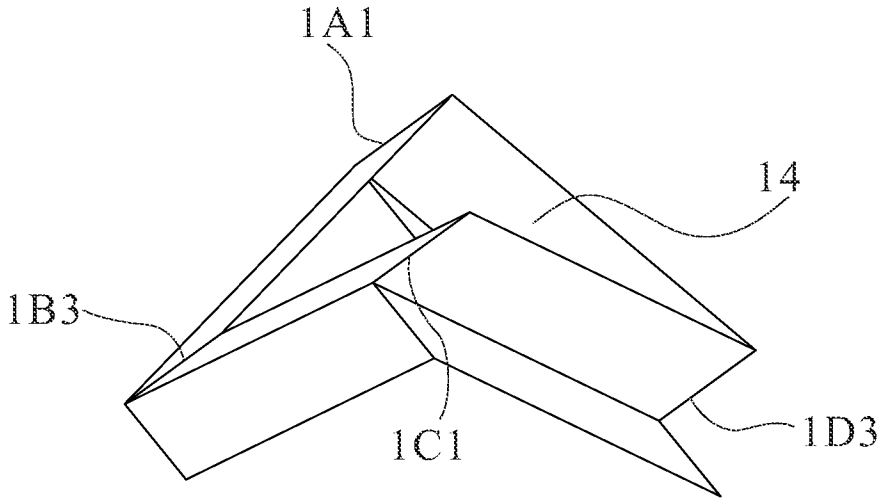


图 5

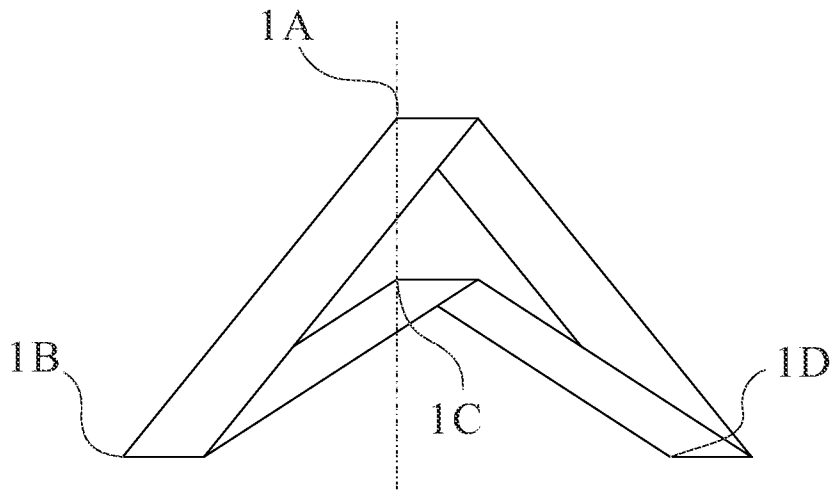


图 6

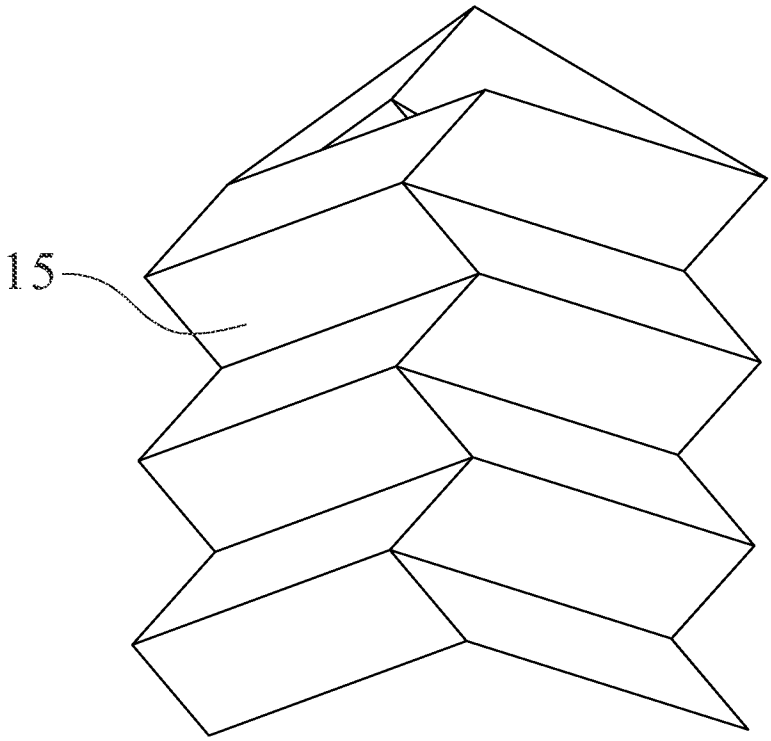


图 7

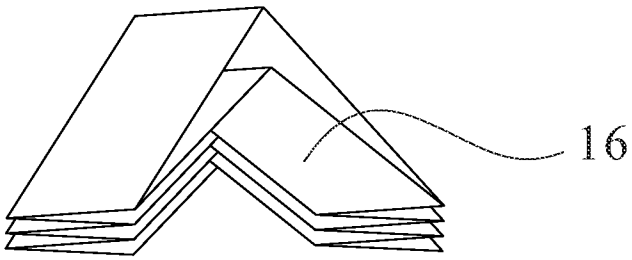


图 8

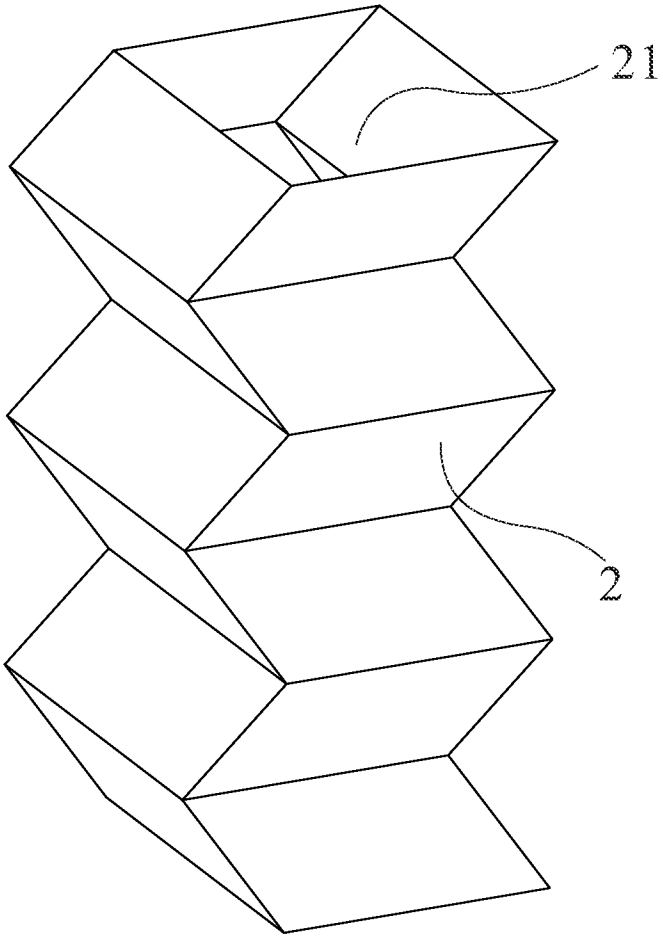


图 9

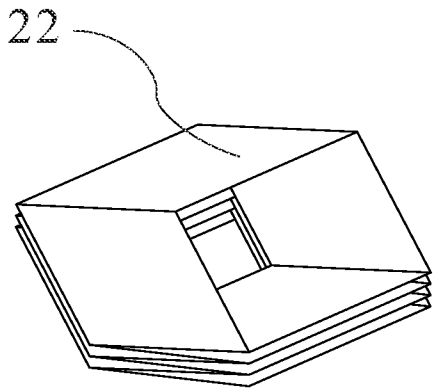


图 10

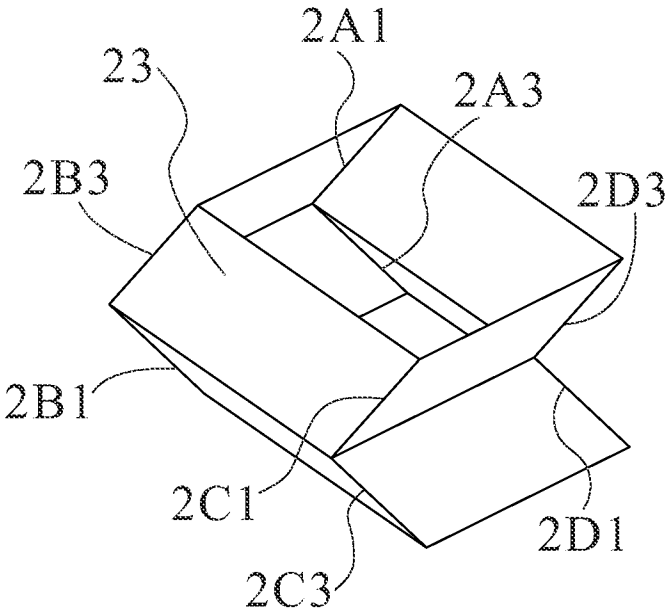


图 11

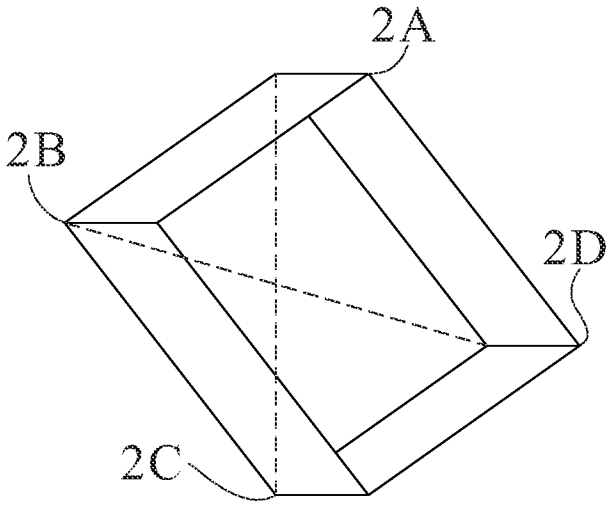


图 12

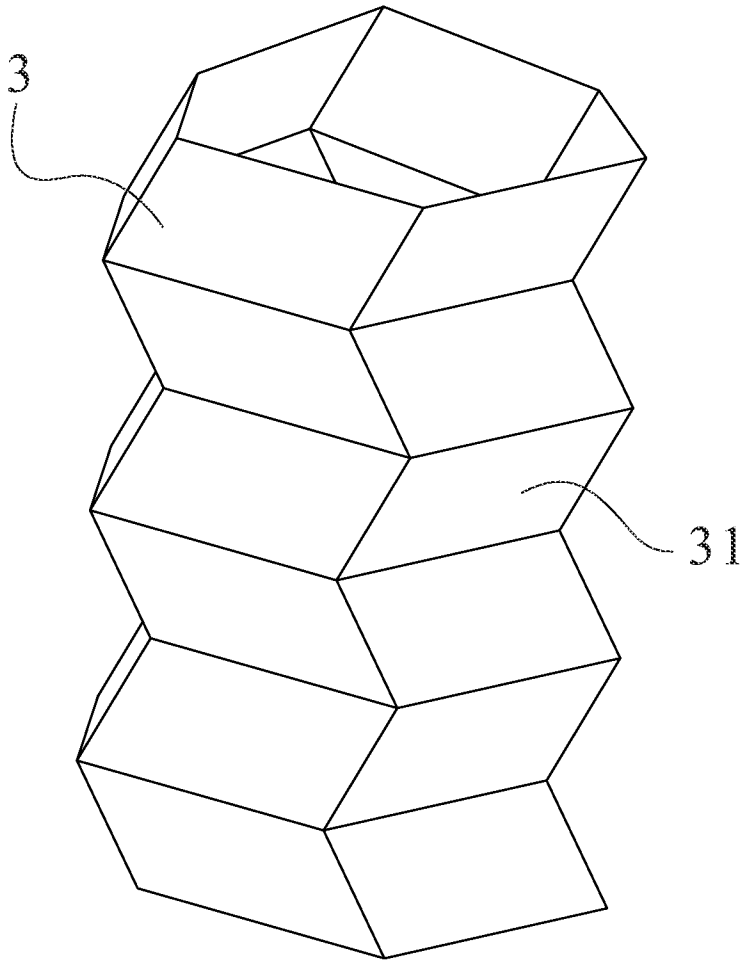


图 13

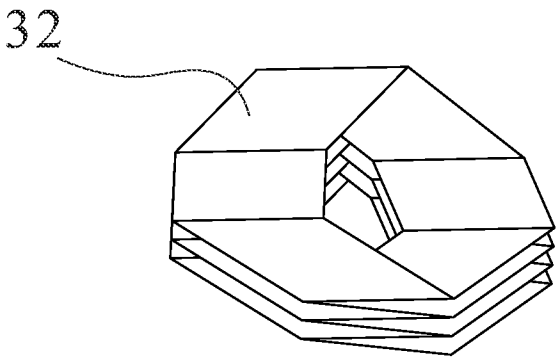


图 14

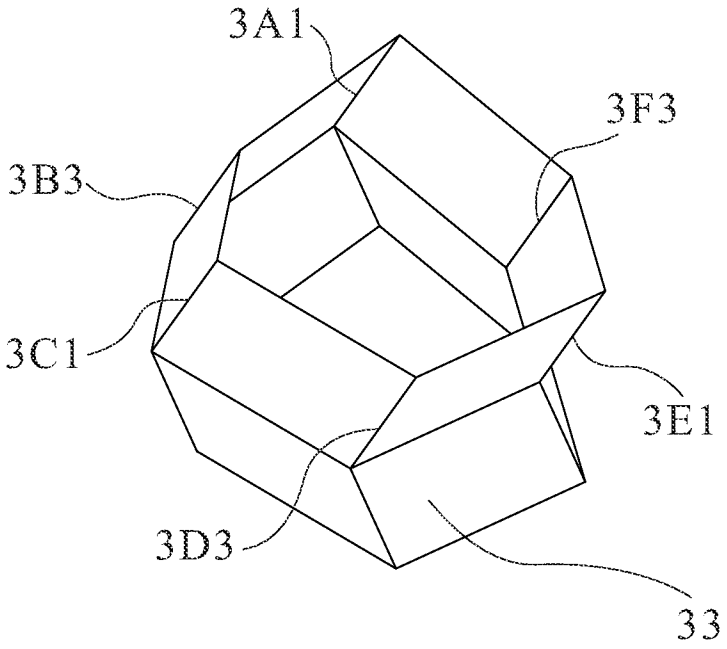


图 15

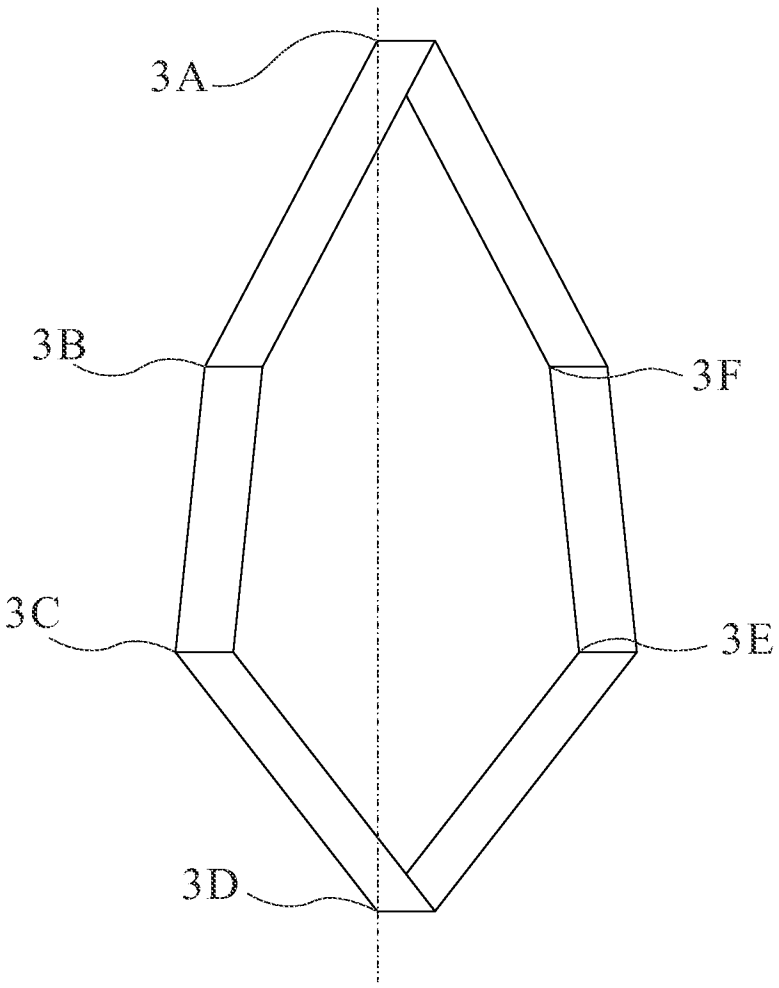


图 16

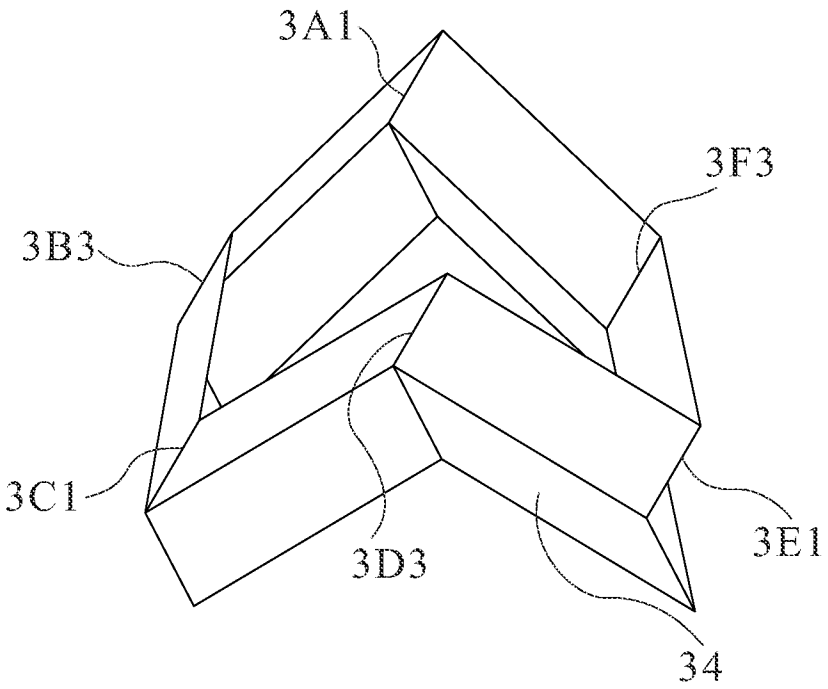


图 17

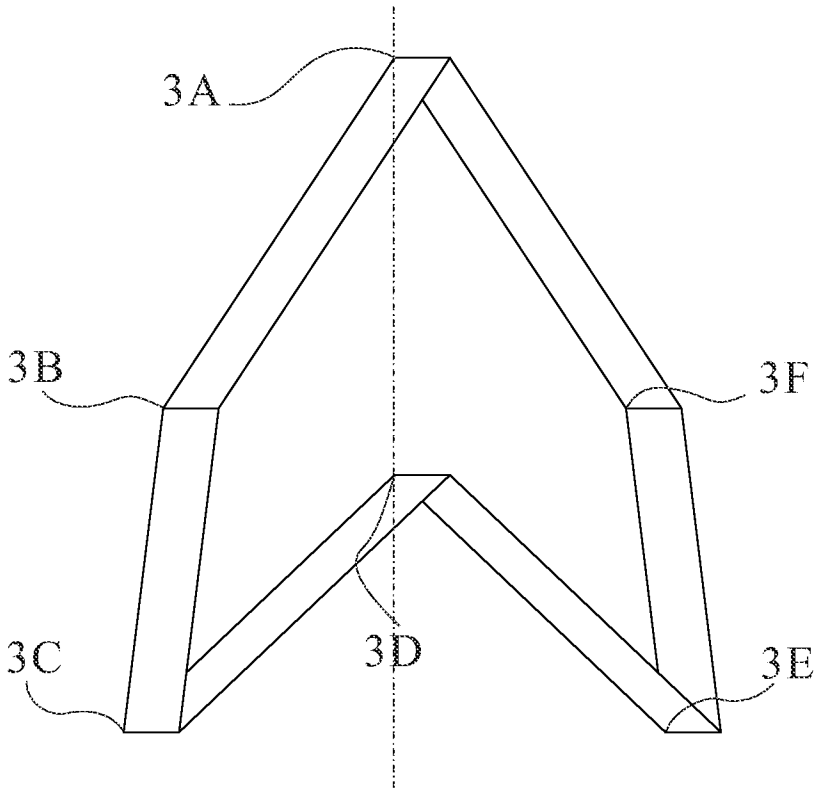


图 18

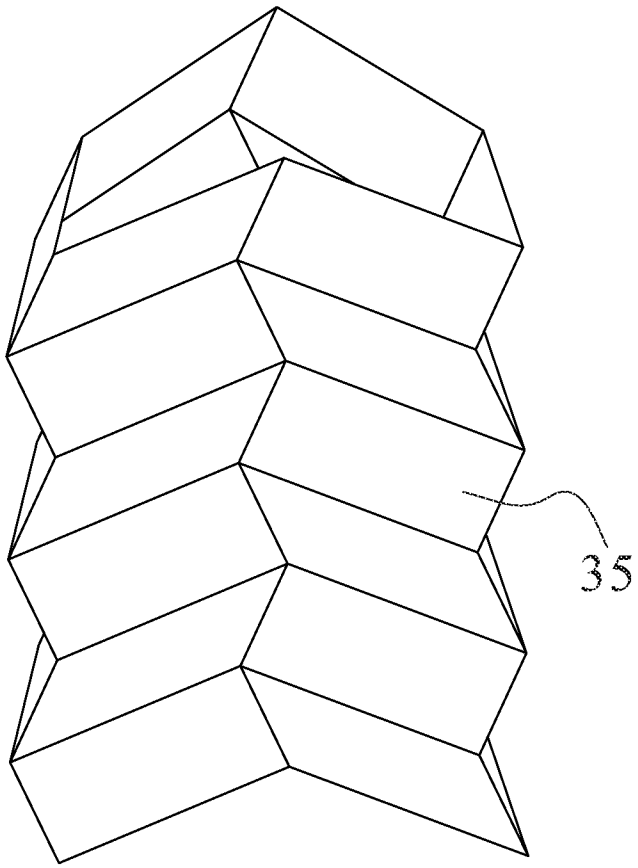


图 19

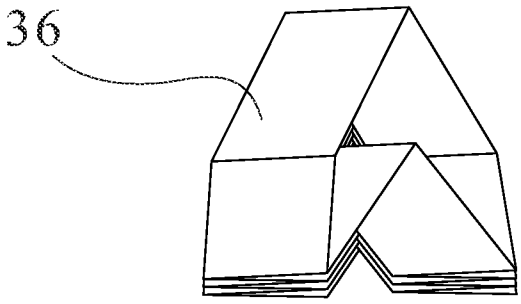


图 20

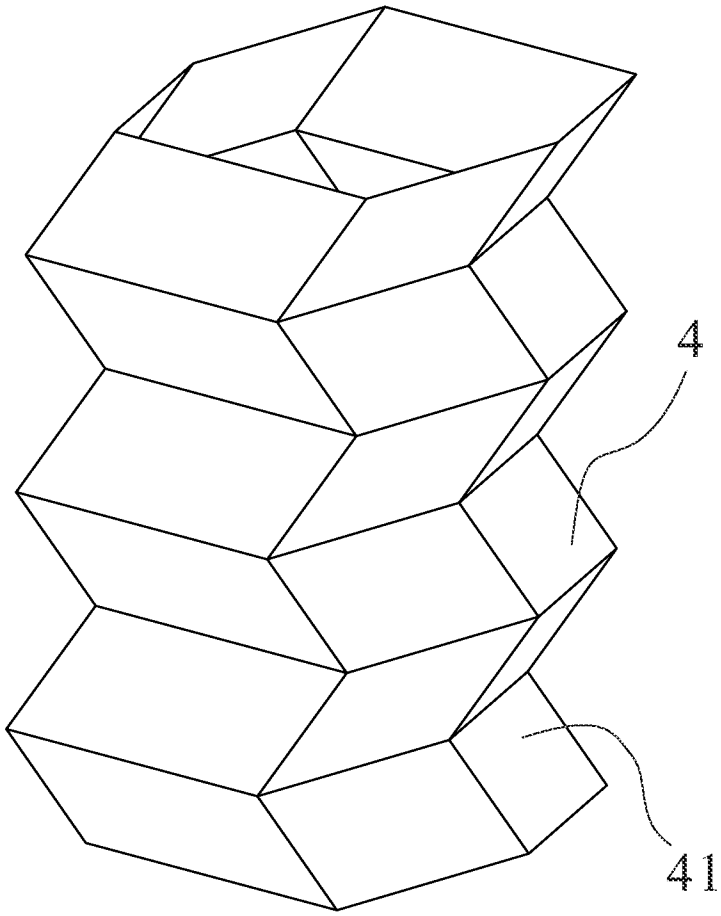


图 21

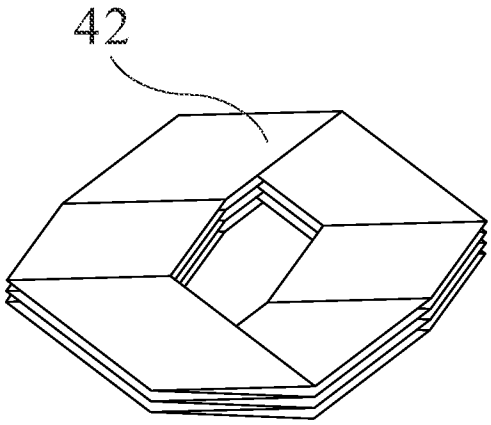


图 22

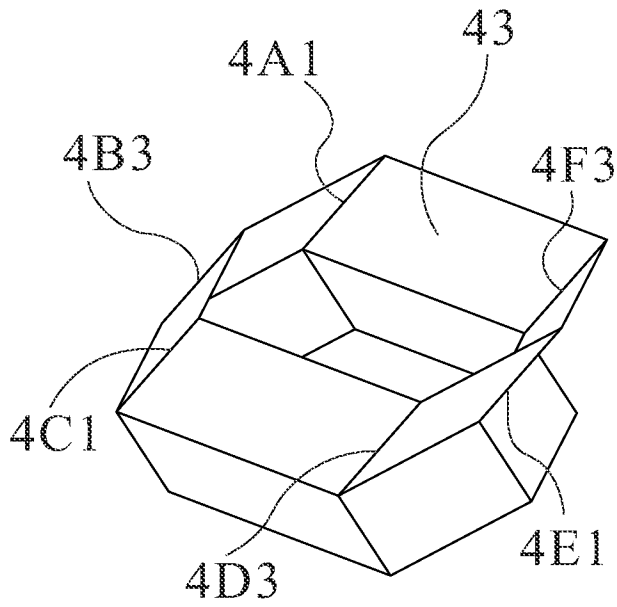


图 23

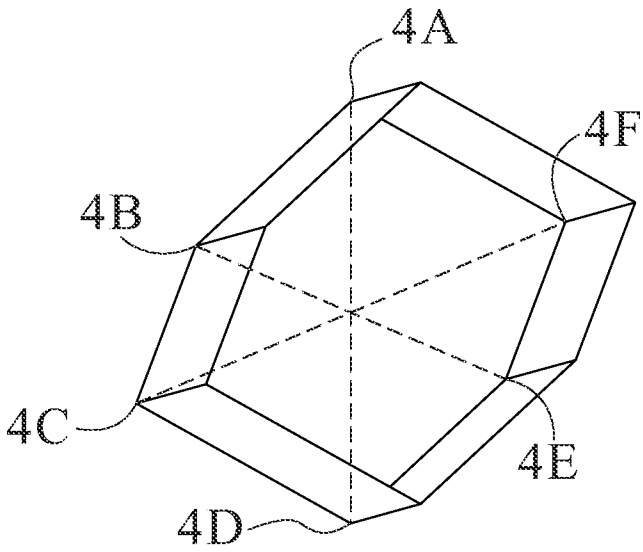


图 24

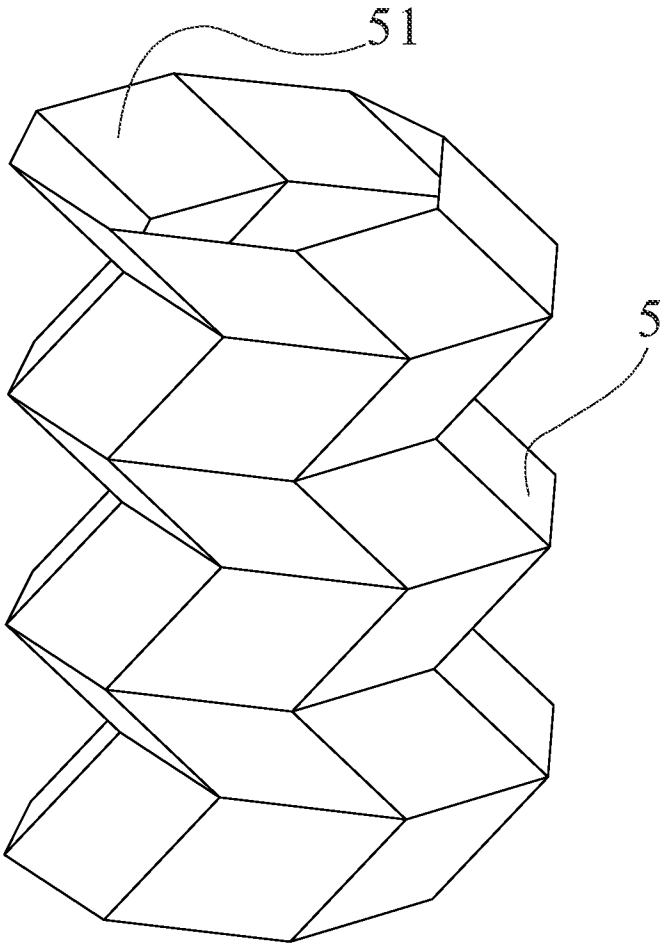


图 25

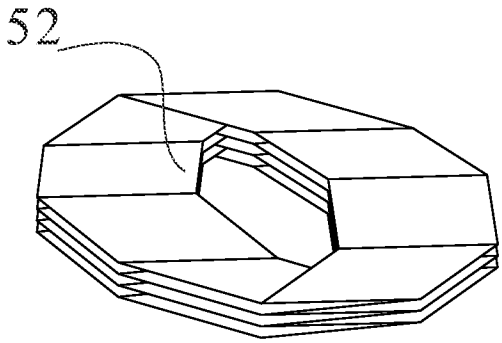


图 26

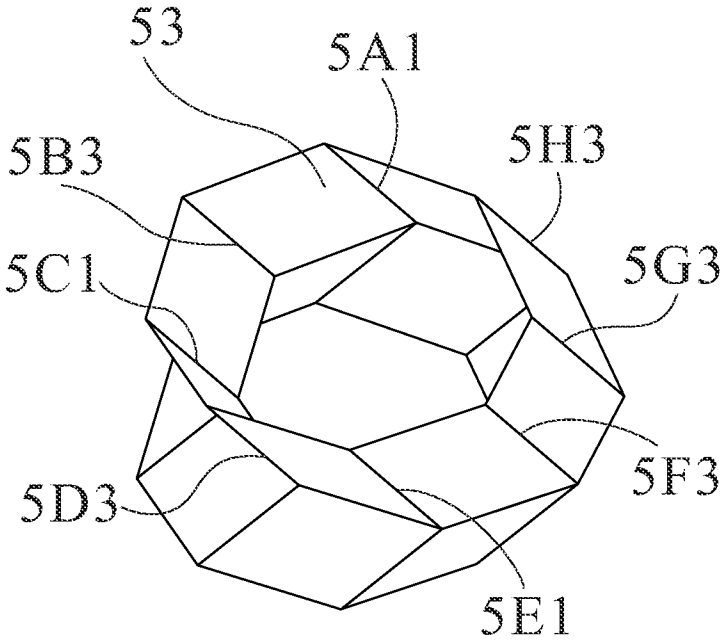


图 27

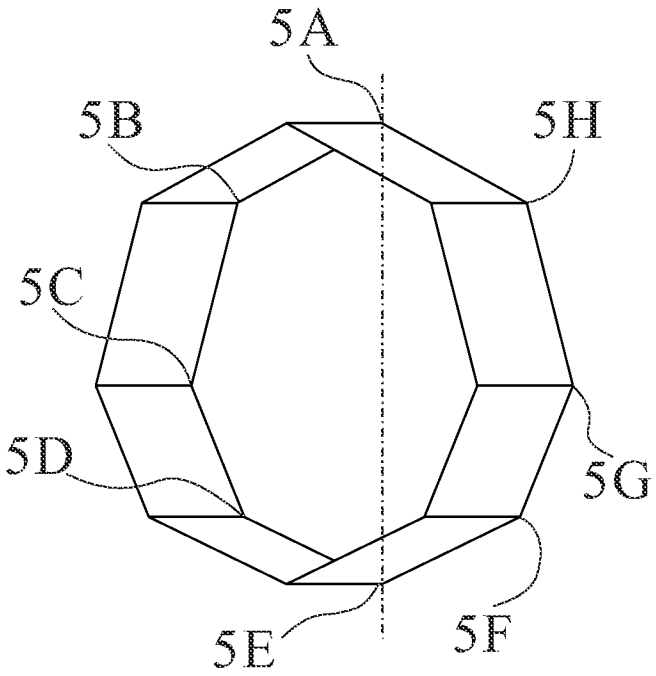


图 28

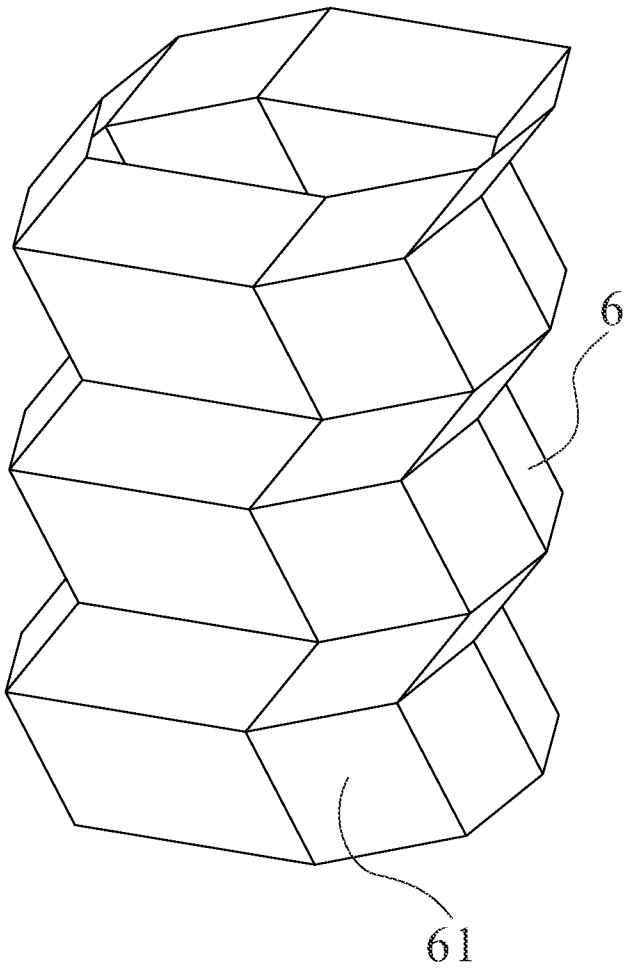


图 29

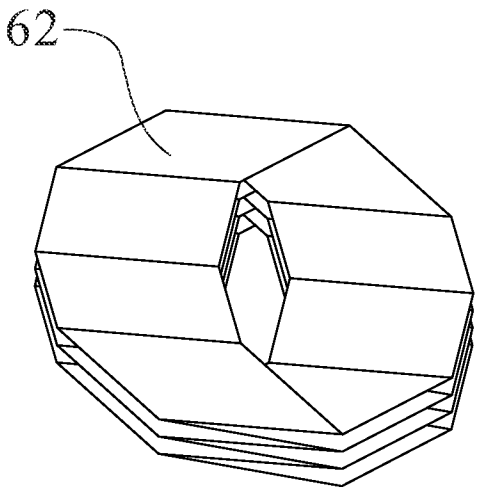


图 30

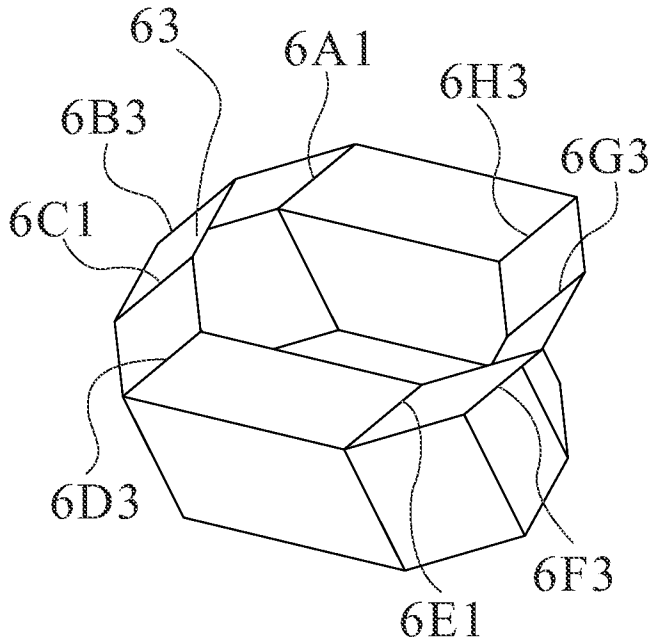


图 31

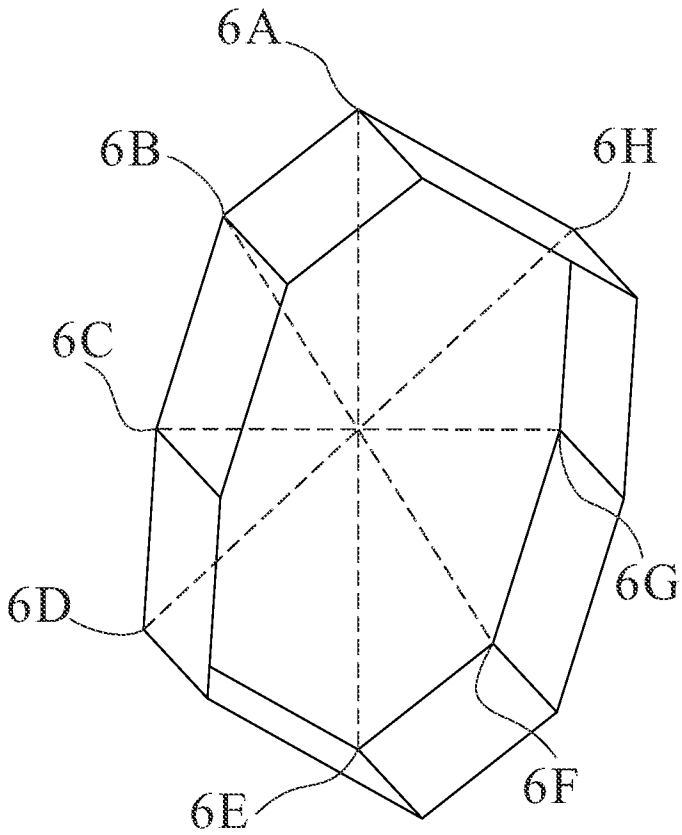


图 32

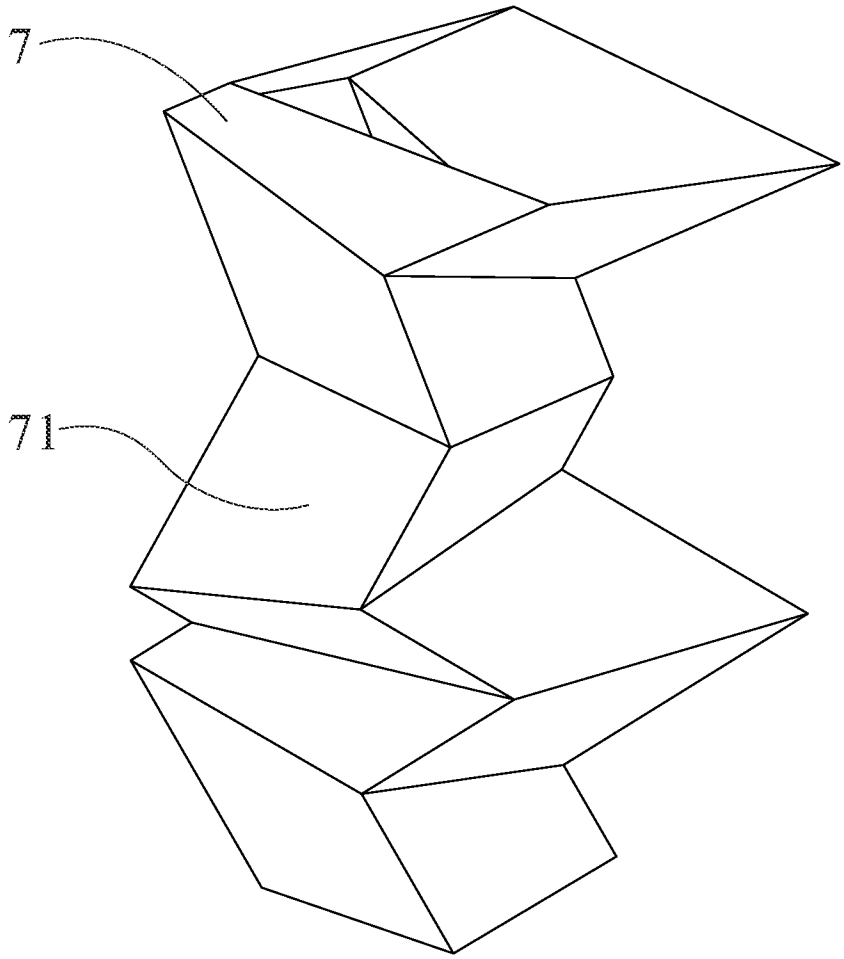


图 33

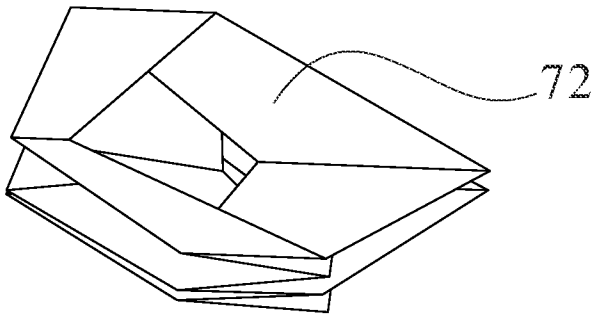


图 34

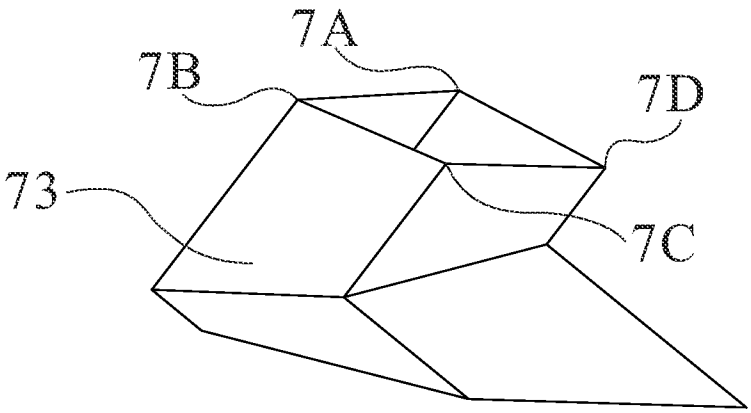


图 35

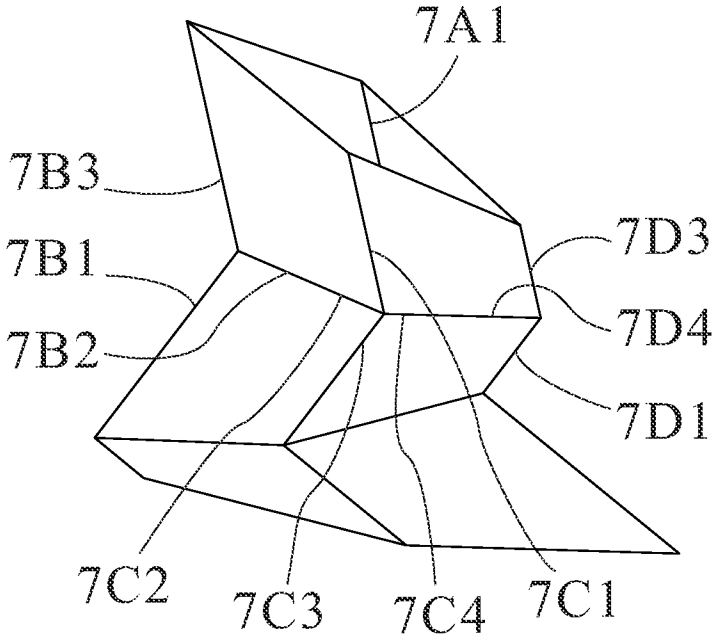


图 36

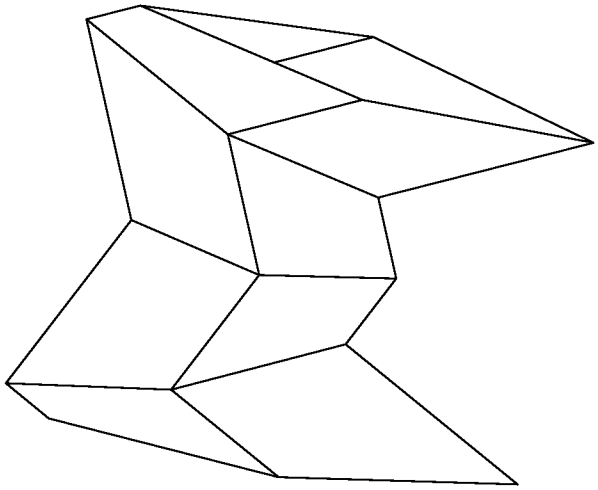


图 37

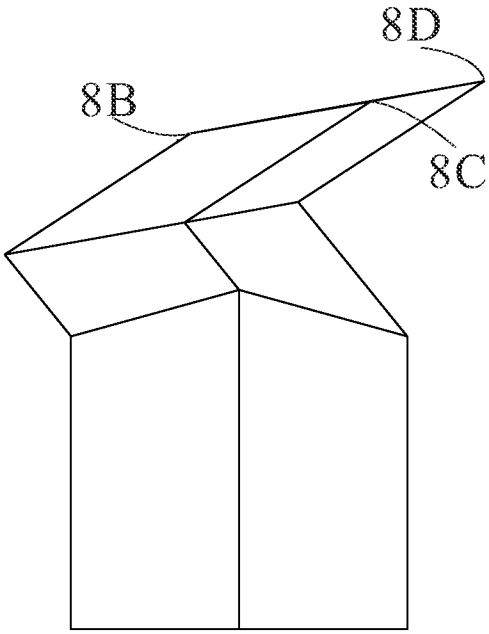


图 38

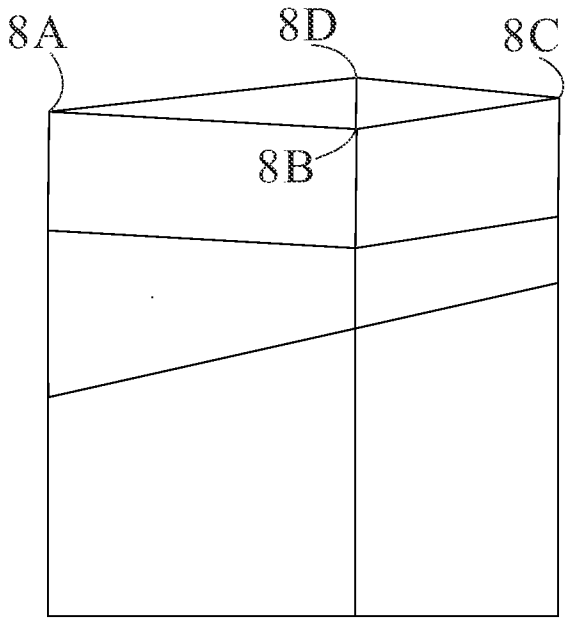


图 39

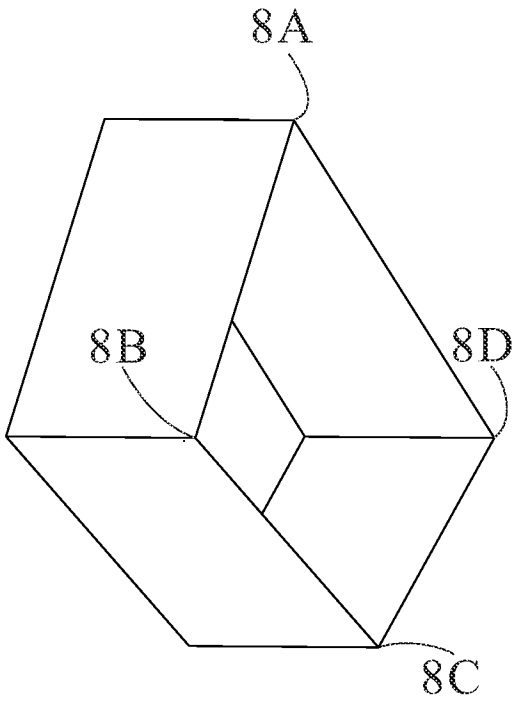


图 40

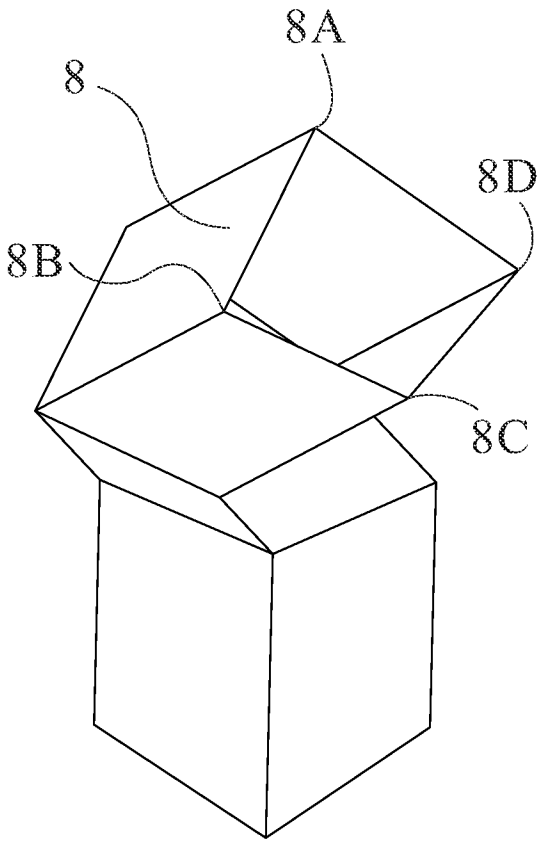


图 41

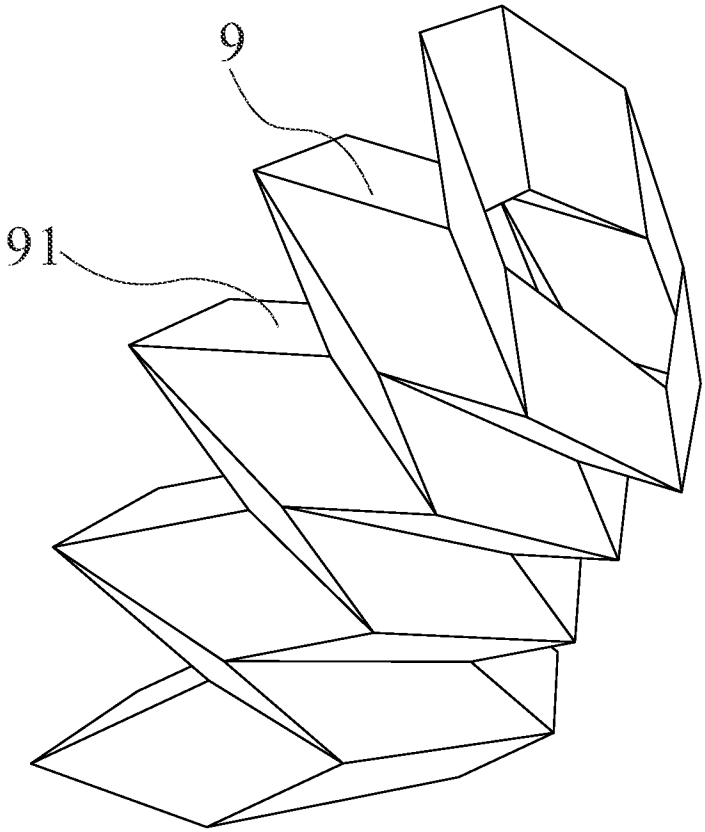


图 42

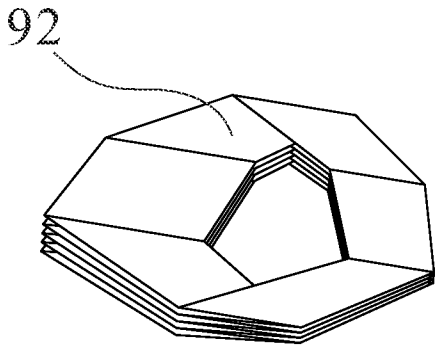


图 43

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/075521

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See the extra sheet

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)

IPC: E04B 1/; A61F 2/-; 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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: fold+, develop+, tube, rigid, freedom, freeness, shape, deform+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6233880 B1 (NISHIMATSU CONSTRUCTION CO., LTD.) 22 May 2001 (22.05.2001) description, column 5, line 54 to column 10, line 67 and figures 1 to 8	1-3
Y		4, 5
Y	US 3524288 A (GEN ELECTRIC) 18 August 1970 (18.08.1970) description, column 3, line 15 to column 7, line 9 and figure 9	4, 5
A	CN 101926698 A (BEIJING MAIDI PEAK MEDICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 29 December 2010 (29.12.2010) the whole document	1-5
A	US 2001035203 A1 (CLEE M D et al.) 01 November 2001 (01.11.2001) the whole document	1-5
A	US 4359842 A (HOOKER CHEM&PLASTICS CORP.) 23 November 1982 (23.11.1982) the whole document	1-5
PX	CN 103015531 A (UNIV TIANJIN) 03 April 2013 (03.04.2013) claims 1-5	1-5
E	CN 203008123 U (UNIV TIANJIN) 19 June 2013 (19.06.2013) claims 1-5	1-5

☐ 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
20 August 2013 (20.08.2013)	05 September 2013 (05.09.2013)
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer REN, Liangping Telephone No. (86-10) 62084926

Form PCT/ISA /210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/075521

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 6233880 B1	22.05.2001	JPH 11223299 A	17.08.1999
		JP 2980243 B	22.11.1999
US 3524288 A	18.08.1970	None	
CN 101926698 A	29.12.2010	None	
US 2001035203 A1	01.11.2001	US 6601598 B	05.08.2003
US 4359842 A	23.11.1982	None	
CN 103015531 A	03.04.2013	None	
CN 203008123 U	19.06.2013	None	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/075521

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E04B 1/343 (2006.01) i
A61F 2/82 (2006.01) n
F16S 5/00 (2006.01) n
E04H 1/12 (2006.01) n

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2013/075521

A. 主题的分类

参见附加页

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)

IPC：E04B1/-, A61F2/-, 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）)

CNPAT,CNKI,WPI,EPODOC:折叠，展开，管，环，刚性，自由度，形变，fold+, develop+, tube, rigid, freedom, freeness, shape, deform+

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
X	US 6233880 B1（NISHIMATSU CONSTRUCTION CO LTD）22.5 月 2001（22.05.2001）说明书第 5 栏第 54 行至第 10 栏第 67 行，图 1-8	1-3
Y		4-5
Y	US 3524288 A（GEN ELECTRIC）18.8 月 1970（18.08.1970）说明书第 3 栏第 15 行至第 7 栏第 9 行，图 9	4-5
A	CN 101926698 A（北京迈迪顶峰医疗科技有限公司）29.12 月 2010（29.12.2010）全文	1-5
A	US 2001035203 A1（CLEE M D 等）1.11 月 2001（01.11.2001）全文	1-5
A	US 4359842 A（HOOKER CHEM & PLASTICS CORP）23.11 月 1982（23.11.1982）全文	1-5
PX	CN 103015531 A（天津大学）3.4 月 2013（03.04.2013）权利要求 1-5	1-5
E	CN 203008123 U（天津大学）19.6 月 2013（19.06.2013）权利要求 1-5	1-5

☐ 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
20.8 月 2013（20.08.2013）	**05.9 月 2013 (05.09.2013)**

ISA/CN 的名称和邮寄地址：	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号：　(86-10)62019451	任亮平 电话号码：(86-10) **62084926**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/075521

检索报告中引用的专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
US 6233880 B1	22.05.2001	JP H11223299 A	17.08.1999
		JP 2980243 B	22.11.1999
US 3524288 A	18.08.1970	无	
CN 101926698 A	29.12.2010	无	
US 2001035203 A1	01.11.2001	US 6601598 B	05.08.2003
US 4359842 A	23.11.1982	无	
CN 103015531 A	03.04.2013	无	
CN 203008123 U	19.06.2013	无	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2013/075521

A.主题的分类

E04B1/343(2006.01) i

A61F2/82(2006.01) n

F16S5/00(2006.01) n

E04H1/12(2006.01) n