

当代细胞折纸的空间组合形式及其特性的研究

谢军

南京大学建筑与城市规划学院

DOI:10.32629/bd.v4i2.3094

[摘要] 折纸是一种将纸张折叠成三维(3D)形式或将其折叠成平坦状态的艺术,在科学和工程领域受到了广泛关注,并获得了许多创新设计。单层折纸体系难以固定,因为薄板容易弯曲和扭曲。这里介绍了一种将折纸组装成管状的新方法,该方法可以将折纸刚度提高。新的组件可以通过控制单个单元的形式,从而产生整体的弯曲或扭曲,它们结构刚度更加出色。这种多功能性折纸形式可用于机器人技术,航空航天和建筑。

[关键词] 刚性可展开; 细胞单元; miura-ori; 折纸管

引言

众所周知,薄板在弯曲或组装成较小的相互关联结构时会有刚度的增加。现在一种独特的组合方式,以类似“拉链”方式连接刚性可折叠折纸管,可以大大提高系统的刚度,并且只有一种简单的变形方式从而来设计结构。沿着预定折叠线的折纸局部弯曲可以让管状结构柔性地展开。因为管状组件受到各方面的约束,单元只受拉或者受压,所有其他变形模式(例如结构系统的整体弯曲和扭曲)都将变得更加坚固。此外,把兼容的折纸管组合到各种并列组件中,这些组件可以增加刚性和几何多样性,从而可以随时建造、加固和调整的新型结构,从而提供更多潜在的设计可能性。这些薄板系统的增强的机械强度,多功能性和适应性可以为建造和工程中的各种尺度的设计提供实用的解决方案,例如建筑的外立面或者隔断空间。

1 细胞单元

空间结构最基本的单元为细胞结构。交错的管状细胞结构的整体形状和运动可以由基本菱形十二面体单元表示。我们将此模块称为细胞模块,因为这是运动折纸的各向可以缩放特性,被折纸艺术家Thoki Yenn称为“晶胞”。细胞模块由两个管状晶胞组成,并在x和y方向上有着连续的折叠性。该模块即使在折叠或部分折叠状态下也可以组成3D空间,因为剪切开的菱形面始终是平面,并且还平行于xz和yz平面。可以通过这些菱形开口面的角度改变,从而控制体积发生变化。

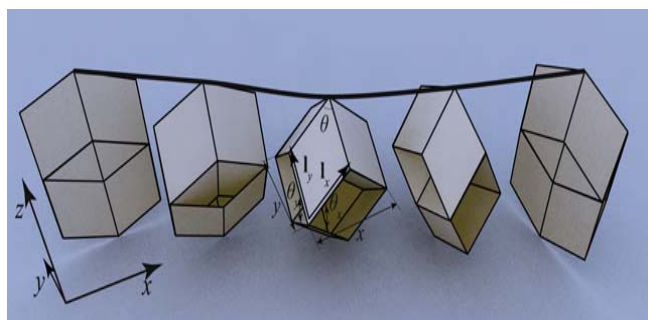


图 1

图1模块在x和y方向上折叠,而体积最大时高度z最小。(图片来源: Origami interleaved tube cellular materials. Kenneth C Cheung, Tomohiro Tachi, Sam Calisch, Koryo Miura)。

2 组合方式

基于几何形状的研究,目前发现有两种空间组合分类,一种是蜂窝组合模式(图2),另二种是Miura-ori模式(图3)。这两种都有互转的兼容性,但是有着不同的结构特性与力学性能。

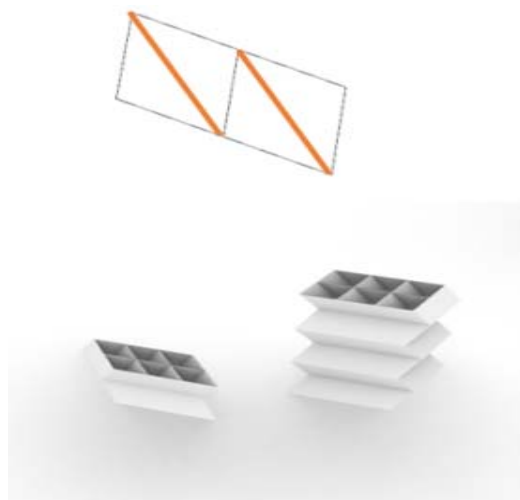


图2 类似于并列的蜂窝组合模式(图片来源: 作者绘图)

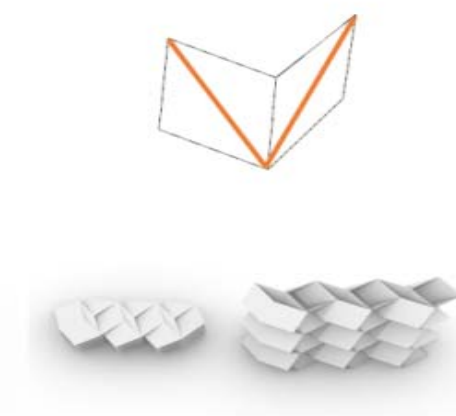


图3 可以变换的miura-ori模式(图片来源: 作者绘图)

2.1 蜂窝组合模式

由于模块单元的兼容性和可复制性,在并列状态下就是蜂窝组合模式,可无限增长。具有刚性折叠机制的蜂窝结构基于刚性可折叠折纸管,该折纸通过周期性和折叠变换来形成空间(图4)。由于这种蜂窝结构倾向于产生相互约束或静态的系统,因此正常的状态是刚性静态结构。但是,由于组件的对称性,整个结构成为一种自由可以简单变换的系统,完全展开状态下具有理想的坚固性和刚度。

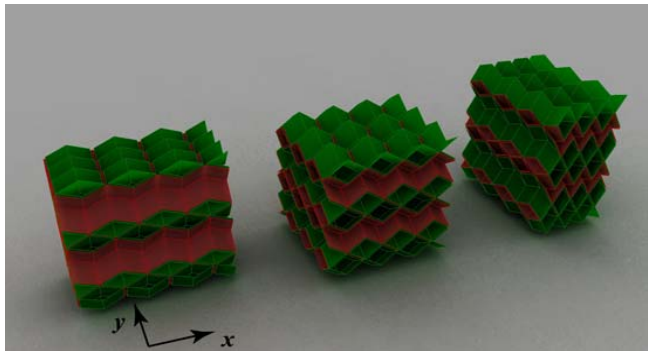


图 4

图4 基于一个模块单元的细胞组合模式(图片来源: Origami interleaved tube cellular materials. Kenneth C Cheung, Tomohiro Tachi, Sam Calisch, Koryo Miura)。

通过3D打印制造的蜂窝结构,显示在XY方向(上)的折叠性和在z方向(下)的刚性。每个底部图像都显示了相同结构的两个单元,其中右侧单元的方向使z轴平行于基平面,左侧单元的方向使z轴垂直于基平面。可以看出在不同方向的受力的差异。

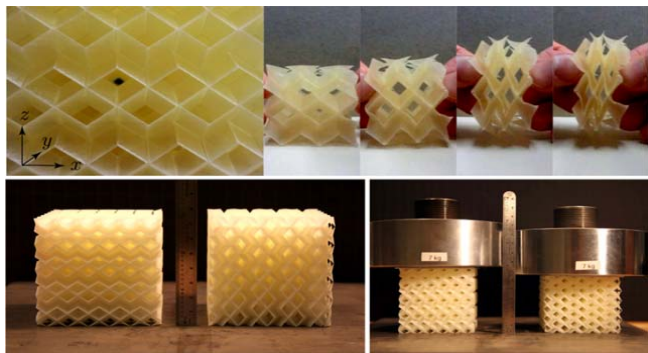


图 5

图5 在x和y方向上均具有柔韧性,而在z方向上却具有抗压缩性(图片来源: Origami interleaved tube cellular materials. Kenneth C Cheung, Tomohiro Tachi, Sam Calisch, Koryo Miura)。

2.2 miura-ori模式

Miura-ori模式可以应对不同类型的刚性运动变换。因为单元只能在xyz轴运动,细胞组合的变形受到限制。这个轻型结构可以在保持较高的刚度情况下更大范围变形。虽然只有一个基本的单元,但是也可以通过在整体任意点施加外力来变换形态。这种类似拉链组件可以用多种材料和方法来制造,从而在工程和建筑领域的大规模使用。

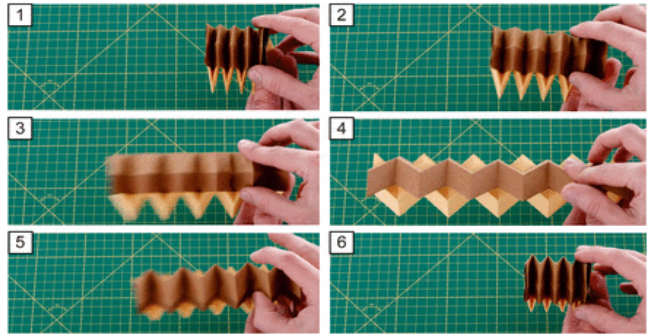


图 6

图6该折纸只有一个单元可以变形,因此能只通过在右端进行操作来展开

它。(图片来源: Origami tubes assembled into stiff, yet reconfigurable structures and metamaterials. Evgueni T. Filipov, Tomohiro Tachi, and Glaucio H. Paulino)。

可以通过单元的组合方式的改变,以及各个单元的模块的细微变换,可以产生各异的形态。例如,拉链连接可以在一个方向上继续进行,以创建易于展开的平板结构,从而抵抗平面外载荷;可能应用的地方例如建筑、桥梁、太阳能电池阵列或合成材料(图6)。

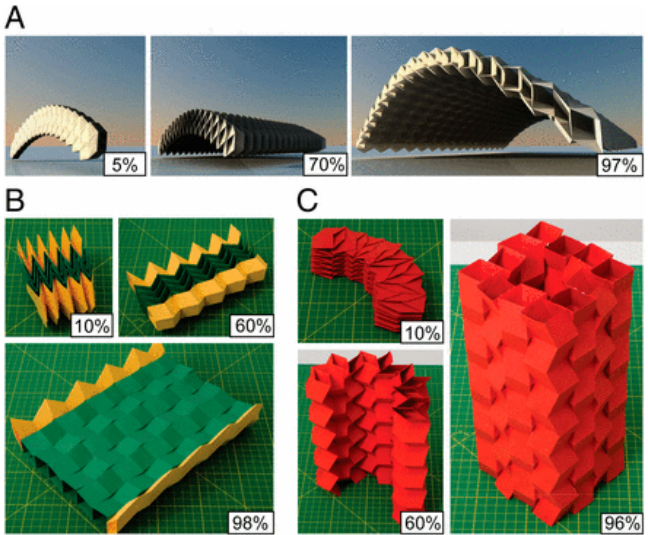


图 7

图7在折叠阶段中,细胞集合的变化。显示了大概的延伸百分比。(图片来源: Origami tubes assembled into stiff, yet reconfigurable structures and metamaterials. Evgueni T. Filipov, Tomohiro Tachi, and Glaucio H. Paulino)。

(A)具有高平面外刚度的可展开建筑遮篷,用于建筑设计。(B)不同几何形状的桥结构。该结构可在两个方向上平坦折叠,并且对于平面外载荷而言是刚性的。(C)环绕后成完全一致的形状的结构。该结构的边缘各由四个以拉链方向连接的折纸管组成。

3 结语

本文总结了当下两种折纸管组合的方法,并探讨了其独特的机械特性。对于不同特征的几何变形模式,这些组件都以拉伸,压缩和剪切折纸的方式接近目标形态。折纸管可以堆叠并连接到各种组件中,从而可以进一步增强系统的机械特性和形态多样性。这个结构的扩展方向包括探索提高刚度重量比,影响能量消耗和其他机械性能。随着折纸在科学和工程领域的应用越来越广泛,需要进一步研究这种空间结构的对于复杂形态的模拟以及实际建造的可能性。

【参考文献】

- [1]申克,盖斯特.miura 折叠超材料的几何结构[J].美国国家实验室学报,2013,110(9):3276-3281.
- [2]张塔奇,卡丽施,缪拉.折纸交错管胞材料[J].智能脱线结构,2014,23(9):094012.
- [3]塔奇.折叠折纸[M].2011:253-263.
- [4]三浦.Miura-ori 的科学:一个回顾[M].2009:87-99.
- [5]叶夫盖尼·菲利波夫,托莫希罗·塔奇,和格劳修斯·保利诺.折纸管组装成刚性,但可重构的结构和超材料[J].PNAS(2015),112(40):12321-12326.

作者简介:

谢军(1994—),男,安徽合肥人,汉族,建筑学硕士,研究方向:数字建筑。