

基于柔性机构的自适应节点的数字化设计与建造实验

章太雷

南京大学建筑与城市规划学院

DOI:10.32629/bd.v4i2.3096

[摘要] 新技术、新材料的出现,使得建筑设计不再完全依赖于传统的从建筑主体设计到结构节点精细化的设计思维,设计师们可以试图从结构节点的角度对建筑设计和建造过程进行反向思考。本文以南京大学建筑与城市规划学院2018年夏季工作营“ADAPTIVE JOINTS”(自适应节点)为例,主要介绍了基于柔性机构(Compliant Mechanism)的三维打印的自适应节点的原理和应用,利用自下而上的设计理论,通过拓扑优化将这种特殊的自适应节点应用在结构设计或某些建筑设计领域进行了尝试与实验,揭示了从结构节点到建筑主体自下而上设计方法的创新潜能。

[关键词] 柔性机构; 三维打印技术; 数字化设计; 自下而上; 建造

从建筑设计到建筑建造的传统建造逻辑当中,需要精细化结构施工以便于完成从建筑整体到结构细节的建造过程,这一套自上而下的设计逻辑作为建筑设计长期使用的规则,已经成为设计师的思维定势。现如今,随着新技术、新材料的不断出现,建筑设计不再完全依赖于传统的设计模式,使得设计师们可以试图从结构本身的角度对建筑设计和建造过程进行重新尝试。本文以南京大学建筑与城市规划学院2018年夏季工作营“ADAPTIVE JOINTS”(自适应节点)为例,主要介绍了基于柔性机构(Compliant Mechanism)的三维打印的自适应节点的原理和应用,对于刚性铰链机构的柔性拓扑结构进行分析与简化,利用了人体骨关节的构造学知识,设计了一种可变自适应节点,并对于这种特殊的自适应节点如何应用于结构设计或某些建筑设计领域进行了尝试与实验。

1 自下而上的设计方法

建筑物可以被理解成一个多尺度的材料系统,材料构成组件,组件再进行装配,对于特定的项目,需要配合架构师、工程师等其他团队负责设计和配置这些系统。在传统的设计思维下,建筑师需要掌握的是在形式和组织上的专业能力,但当涉及到指定和实现材料和组件(例如砖块和隔热层)时,建筑师更多是扮演着消费者的角色,究其本质是从当前有限的定制技术目录中挑选。

随着数字化设计平台等建筑技术开发工具的逐渐被利用,建筑研究和实践正在接受一场新的变革。越来越多的建筑师能够从选择材料与结构形式以适应建筑主体需求的工作模式中解脱,参与到设计结构节点形式并利用该节点进行主体设计的工作当中,这种“自下而上”的设计方法为建筑设计提供了一种新的思路。

2 柔性机构(Compliant Mechanism)

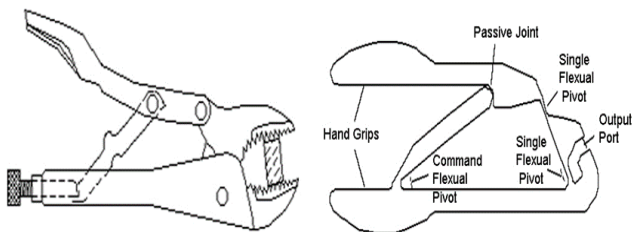


图1 [图片来源: 论文参考]

柔性机构是用来传递或转换运动、力或能量的机械装置。通过一个铰链的柔性拓扑机构的例子就能直观的显现出柔性机构与传统刚性铰链机构的区别,如图1所示,图1左侧是传统刚体与铰链组成的虎钳机构,右侧是将其拓扑转化的柔性机构原型。对于右侧的柔性机构,力在把手处输入,

经过“弯曲枢轴”等柔性构件被传递到输出端口,就像虎钳机构一样,只是现在一些能量以应变能的形式存储在弯曲枢轴中。而这些弯曲枢轴与柔性机构其他部分的杆件均是采取同样的具有一定弹性的材料,但需要在设计时进行复杂的计算与尺度分析。

柔性机构的一些优点使其具有更大的适应性,如具有无位移的节点、易于在柔性构件中存储应变能、易于小型化等。

目前迪士尼研究中心与卡内基梅隆大学的研究者在柔性机构的计算设计工具的开发领域做出了很大贡献,其中Markus Gross, Stelian Coros等人设计的计算工具,是以定义柔性拓扑结构的传统刚性铰链机构作为输入。该输入可以是平面的,也可以是空间的,并且支持许多常见的结构节点类型,再将这些节点类型替换成参数化计算后的柔性构件。他们在机械工程学的领域取得了较多的发展,如图2所示的各类仿生机械工具,但是这类的计算工具在建筑学领域的应用上仍然面临一个严峻的问题,即他们无法与目前常见的建筑设计建模软件兼容,使得大部分建筑设计师们无法直接使用该设计工具,因此这也为柔性机构的设计和分析带来了挑战,如柔性构件的分析和设计相对困难,柔性构件的强度对机构杆件的挠度产生的运动限制等,同时因为柔性机构本身的规模和建筑构件不处于一个层次上,使得柔性机构并没有广泛地应用于建筑设计或施工中。

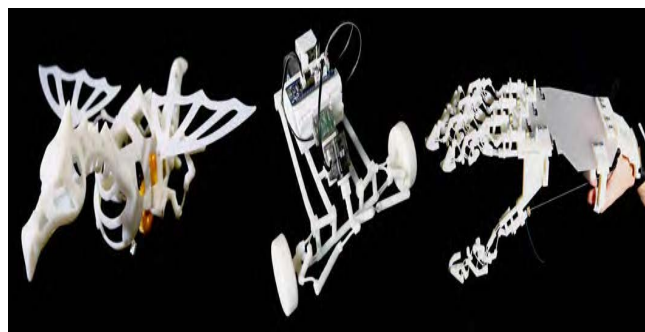


图2 [图片来源: 论文参考]

3 三维打印自适应节点的设计与建造

3.1 节点设计

人们受到了建筑应用中仿生学的发展和对自然界中发现的运动研究方法的解释的启发。Simon Schleicher将仿生动力学柔性机构的建模和仿真过程分为三大类:几何模型、运动学模型和动力学模型。虽然目前生成柔性机构还存在一些难度,但仍有一些方法可以从人体骨骼的运动学模型中获得灵感。

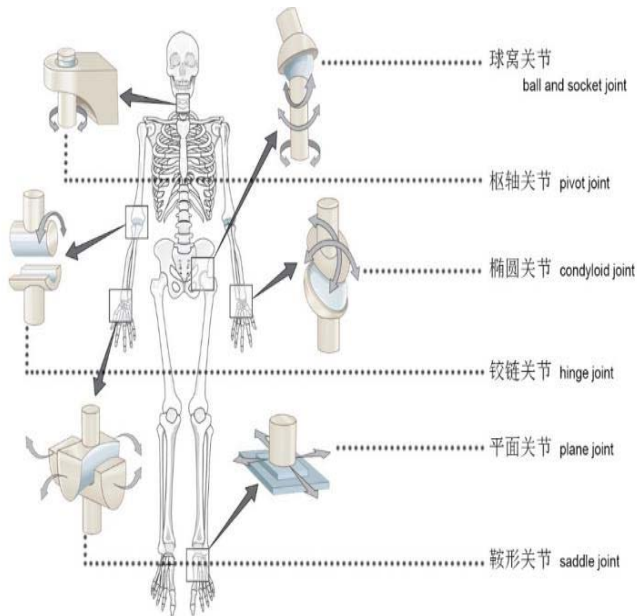


图3 {网络来源}

由于弯曲枢轴应力流计算困难,将柔性机构简化为两部分是必要的,一部分为承载应变能的弯曲枢轴等柔性构件,另一部分为机构当中传递力流的刚性杆件。(图3)给出了六种人体关节的拓扑学原型,如果将人体关节判断为柔性机构,人骨相当于刚性杆件,两骨之间的肌肉就像柔性机构的弯曲构件,关节窝的形状则决定了关节的运动方式。

为了达到这一目的,一种新的人体关节模拟方法是以橡皮筋为肌肉,以三维打印的“骨”为固定部分。由于不同的人体关节可以完成多种运动,三维打印的“关节窝”形状和橡皮筋的连接是关节运动的两个关键因素。本文选择了一种被称为“球窝关节”的类型作为原型(图4),三维打印的“关节窝”的每个元素都被设计成在“橡皮筋肌肉”(图5)的帮助下以特定的方式变形。拉伸是通过橡皮筋的弹力来实现的,橡皮筋的数量控制着拉伸程度。旋转是通过球窝运动来实现的,旋转角度限制在球窝深度的控制下。(图6)。

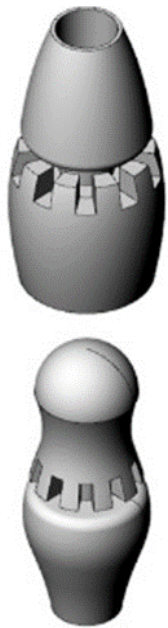


图4 图片来源: {作者绘制}

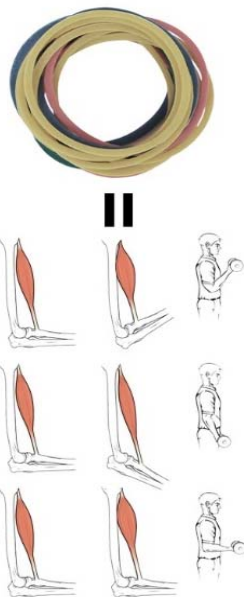


图5 {网络来源}

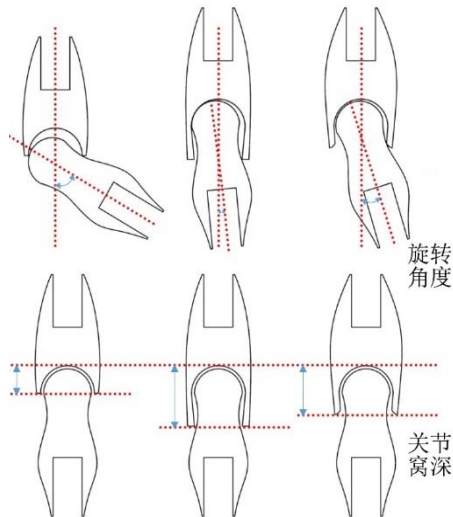


图6 {作者绘制}

为了使橡皮筋更方便地与三维打印元件连接,在三维打印元件的侧面有一些挂钩,通过设置不同数量的挂钩来测试该节点的强度,这是一个误差试验的过程。三维打印的关节必须美观,因此优化关节形状具有重要意义。(图7)。

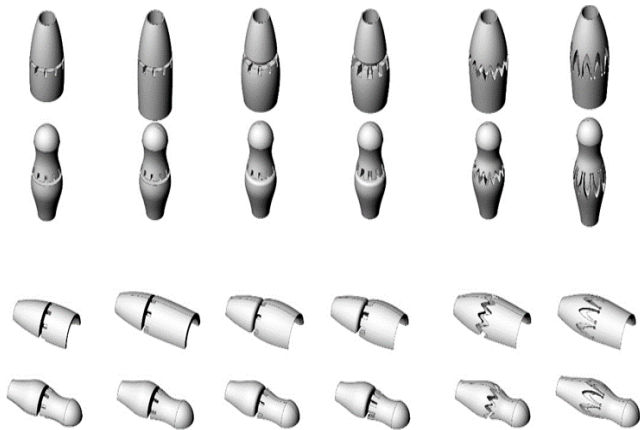


图7 {图片来源: 作者绘制}

关节形状优化的因素包括,关节窝的深度,关节元件侧面的挂钩与关节窝边缘的距离,以及关节本身作为自适应节点与构筑主体材料之间的过渡区域的形状。同时需要考虑的是,利用该自适应节点能够搭建的临时性构筑物需要具有可变性,重量轻,可拆卸的特点,以适应复杂场地的搭建,因此选定的主体单元应当是轻质高强度的材料,如塑料空心管。为了使关节更像管子衍生的突起,就像人骨与关节的关系,挂钩被设计成凹陷状,同时,三维打印元件的整个轮廓更加趋于流线型(图8)。

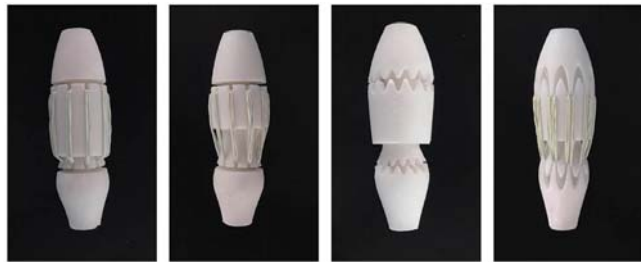


图8 {图片来源: 作者拍摄}

3.2搭建尝试

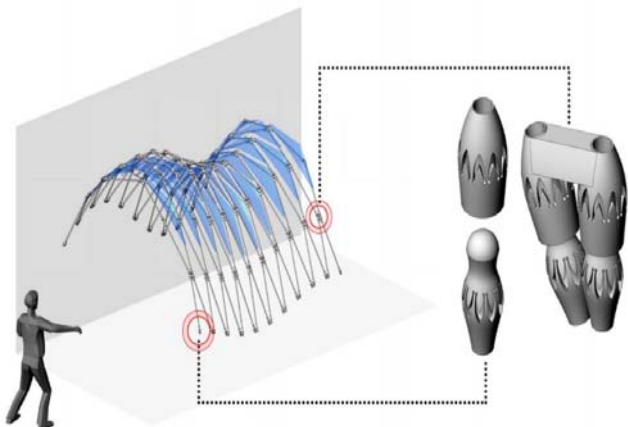


图9 {图片来源：作者绘制}



图10 {图片来源：作者绘制}

与人互动的环境适应性建筑围护结构是当今建筑设计中最热门的课题之一。利用三维打印自适应节点的灵活性和适应性,人们可以在没有电的情况下与建筑围护结构进行交互。本文将三维打印自适应节点应用于一个临时棚子的设计中。棚子联动单元材料采用塑料管、塑料透明布等普通

廉价材料,为了提高棚子的整体稳定性,采用了一种叫做“悬链线”的结构原型。悬链线结构本身的结构优势使得临时棚子足以抵抗重力而保持稳定,同时棚子由180个管道单元和74个节点组成(图9),每4个相邻的管道通过一个自适应节点连接,形成一个完整的“X”形以抵抗侧向力。棚子的两侧落点与墙面之间通过三维打印的筒状节点固定在墙面的滑轨当中,由于该自适应节点可以由橡皮筋与球窝关节进行可控的旋转运动,因此所有节点都是可以在一定程度上进行运动的,因此就保证了棚子主体可以根据每一个节点的运动而发生相应的运动,从而身处其中的人只需要抬手与自适应节点进行互动,改变它们的位置,临时棚子整体就能起到一个与人互动的效果。(图10)。

4 结语

以上的节点设计与搭建实验中,自适应节点的优化过程伴随着对柔性机构特征的简化、提取和放大,这为之后的从节点到整体的自下而上的设计方法提供了思路,也使得建筑师能够从自身专业的角度出发,结合其他学科如机械学,仿生学等领域的研究成果,从几何形态方面对于建筑围护结构的节点进行新的尝试性设计。自适应节点的应用说明了自下而上的设计方法对于建筑设计师很有潜力的工具,即节点可以成为复杂建筑围护结构形式生成的前提而不是它的约束条件。

与此同时,自适应节点作为自下而上设计方法的一种代表性方案,可以作为建筑围护结构形态的前期环节,为设计者们考虑复杂空间形态提供了新的角度。在这一设计条件下,自适应节点不仅会提供更多新颖的建筑围护结构的创新形式,也将会有助于形成更高效的基于数字技术的设计与建造系统。

[参考文献]

- [1]吉国华,陈中高,梁耀波,等.力与形:基于弹性生形的数字化设计与建造实验[J].城市建筑,2018(7):26-29.
- [2]袁烽,柴华,谢亿民.走向数字时代的建筑结构性能化设计[J].建筑学报,2018(7):1-8.
- [3]徐卫国.参数化设计与算法生形[J].世界建筑,2011(6):110-111.

作者简介:

章太雷(1995--),男,江西玉山人,汉族,硕士研究生,研究方向:数字建筑与CAAD。