

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2018.02.029

欢迎按以下格式引用:汪建群,舒小娟,祝明桥,等.结构建模竞赛3D打印节点的设计与优化[J].高等建筑教育,2018,27(2):118-121.

结构建模竞赛3D打印节点的设计与优化

汪建群¹,舒小娟¹,祝明桥¹,龙泽精¹,唐永红²

(1.湖南科技大学 土木工程学院,湖南 湘潭 411201;2.湖南湘潭公路桥梁建设有限责任公司,湖南 湘潭 411101)

摘要:3D打印在土木工程行业中具有良好的应用前景,然而在目前的教学中鲜有涉及。第九届全国大学生结构建模大赛中首次引入了3D打印节点装配模型的制作。以湖南科技大学参赛作品为例,从3D打印节点的设计、优化和安装等角度,阐述了3D打印在大学生结构建模中的应用。构件由3D打印节点采用“卡”“插”“楔”“套”4种方式进行组装,效果良好。大赛对土木工程专业本科生普及3D打印技术、拓展专业视野具有较好促进作用。

关键词:3D打印;结构建模;装配式模型;节点设计

中图分类号:G642.42;TU-4

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2018)02-0118-04

3D打印(3DP)是20世纪90年代新兴的一种快速成型技术^[1]。3D打印与普通打印工作原理基本相同,不同的是采用金属、塑料等可粘合材料作为“打印材料”。该技术以数字模型文件为基础,打印机通过读取文件中的横截面信息,用液体状、粉状或片状材料将截面逐层打印出来构造实体,打印的截面尺寸可实现微米级精度。该技术的特点在于短时间内可精确打印任何形状的物品,因此,3D打印技术在构造物体的三维几何形状方面优势显著,目前已成功应用于工业设计、建筑结构、医学等领域^[2]。

3D打印在土木工程中已有探索性的应用,具备较好的应用前景,但在教学中鲜有涉及。第九届全国大学生结构建模大赛中首次引入了3D打印装配模型的制作,具有较大的难度和趣味性^[3-4]。赛题要求制作一段盘山公路的两段曲直桥梁,涉及3D打印装配式结构,具有鲜明的高科技特征和绿色环保理念。文章以湖南科技大学参赛作品为例,从3D打印节点设计、优化和安装等角度,详细阐述了3D打印节点在结构建模中的应用。大赛对在土木工程专业普及3D打印技术等科技前沿知识具有较好的引领和促进作用。

收稿日期:2017-09-19

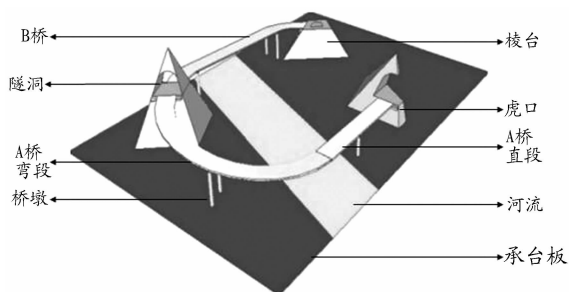
基金项目:中国建设教育协会教育教学科研课题(20150107);土木工程专业校企合作人才培养示范基地项目;湖南科技大学2014年教学研究与改革一般项目(G31404);湖南省普通高等学校教学改革研究项目(湘教通2015291)

作者简介:汪建群(1982—),男,湖南科技大学土木工程学院副教授,博士,主要从事结构与桥梁工程研究,(E-mail)jianqunwang@126.com。

一、结构模型设计

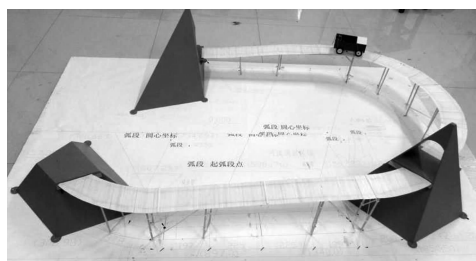
(一) 赛题解读

第九届全国大学生结构建模竞赛题目为山地桥梁结构设计及手工与 3D 打印装配模型制作^[4]。要求制作一段盘山公路的 A、B 两段桥梁。模型由作为底座的承台板、给定的山体和制作的桥梁三部分组成。山体包括虎口、隧洞和棱台,由螺钉固定在承台板上。A 桥段要求所有构件及节点均采用给定的



(a) 模型三维示意图

竹材与 502 胶水手工制作完成。B 桥段要求结构的杆件采用竹材和 502 胶水手工制作,节点及连接部件采用给定的 ABS 塑料 3D 打印而成,最终 B 桥段结构由杆件、节点及连接部件装配而成,装配过程不允许使用 502 胶水。模型进行两次动加载实验,具体的赛题细则详见大赛文件^[4]。模型三维示意图如图 1(a)所示,参赛模型如图 1(b)所示。



(b) 参赛模型

图 1 模型三维示意图及参赛模型

(二) 结构设计

对拱结构、梁格体系、斜拉体系、桁架结构、悬索体系、多跨梁等多种方案进行了比选^[5],最终选择了结构性能稳定的多跨梁体系。经多次制作和优化,A 桥段最终采用交错墩多跨梁,模型实物如图 2a 所示,B 桥段最终采用索-梁组合结构,模型实物如图 2b 所示。

A 桥段直桥部分为单跨越主河道。弯桥段外侧

弧长大,采用交错墩结构,6 跨布置,而内侧 5 跨布置。这样布置主梁线形平顺,受力合理,方便行车。B 桥段采用索-梁组合体系。主桥墩设置斜向边缆,既作为主桥的重要受力结构,又同时保障结构的纵向稳定。主跨的柔性桥面梁兼有梁与索的特点,位移小时梁特征明显,位移大时则表现出明显的索-梁组合特点。



(a) A 桥段弯桥实物图(交错墩)



(b) B 桥段索-梁组合实物图

图 2 A、B 桥段实物图

二、3D 打印节点设计

(一) 设计原则

B 桥段采用 3D 节点装配,对于 3D 节点的要求极高。ABS 3D 打印材料虽具有抗冲击性、耐热性、易加工、尺寸稳定、表面光泽性好等优点,但其密度大于竹材,打印速度较慢。兼顾重量和打印效率,节点不宜过多。如能实现节点共用,则最好合并节点。该材料脆性明显,容易脆裂。为了防止节点开裂,各节点应保证一定的厚度,同时在编制 STL 文件时,特别注意打印分层问题和 3D 喷头打印方向。此外,为控制节点重量,在侧壁可合理设置孔洞。构件设计的组装连接方式主要有“卡”“插”“楔”“套”4 种,在

部分需要固定的桥墩预留钉孔,采用螺钉锚固。经多次优化,B 桥段共设计 44 个 3D 节点,其中柱脚节点 10 个,桥墩横向联系节点 18 个,墩梁连接 3D 节点 10 个,主梁横向联系节点 6 个。

(二) 3D 打印节点设计

墩梁节点设计。小车在 B 桥段沿下坡方向行驶,墩梁节点需要将移动荷载重量及其产生的荷载效应传至桥墩。主要的荷载效应为竖向荷载和小车下坡时的摩擦反力,以及小车越过 B 桥段障碍物时产生的动荷载效应,因此,节点设计时,主梁楔在节点的卡槽中,墩插入节点的方形预留孔中,从而实现了节点的承上启下。为保证结构在纵桥向的稳定

性,在主跨桥墩上设计了拉索。此时拉索节点和墩梁节点合并,拉索一头卡在墩梁节点上,另一端卡在柱脚节点上。

柱脚节点设计。柱脚节点参考钢结构柱脚设计。柱脚节点如同“靴子”紧套在桥墩上,底面尽量开展,增大接触面积。部分柱脚节点需要锚固于承台板上,应预留钉孔。同时因该处受力复杂,应增大截面厚度。部分柱脚节点直接置于承台板上,设计得较为轻巧。部分柱脚设置有横向联系,或者设有主跨主墩拉索的锚固点,同一个柱脚节点功能尽量

合并,以减轻节点自重。

横向联系节点。由于B桥主跨较大,为增强结构稳定性,需在主跨设置横向联系。主跨的横向联系采用“卡”式连接,节点同时卡在主梁和横向联系上,实现横向联系的“附着”。高墩亦需设置横向联系,以提高受压墩柱的稳定性。该节点则“套”在墩柱上,同时横向交叉联系卡在节点上,亦实现横向联系的“附着”。

部分节点设计图以及实物图分别如图3和图4所示。

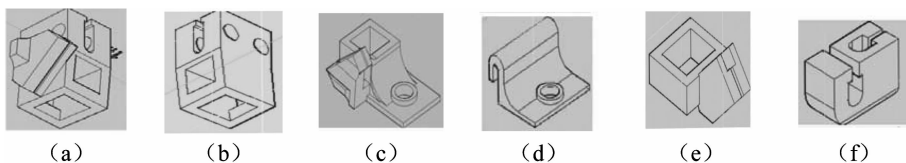


图3 部分节点设计图

图3中,(a)为主跨墩梁节点(与拉索节点共用);(b)为副跨墩梁节点(不带拉索节点);(c)为柱脚节点(与拉索节点共用);(d)为柱脚横向联系节

点(带钉孔);(e)为柱间横向联系节点;(f)为主梁横向联系节点。

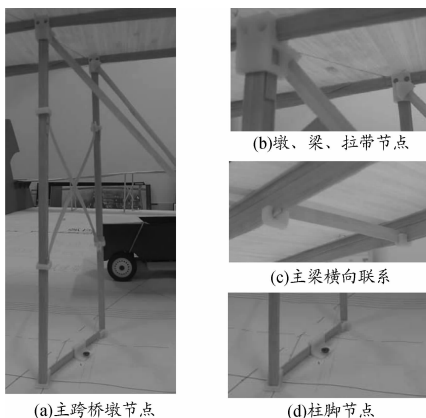


图4 3D节点实物图

三、模型参赛

经过多次加载试验和优化,B桥重量控制在100g左右且能稳定承受多次反复加载。整个模型重量可控制在200g左右。B桥段3D节点打印及其组装如图5所示。需要强调的是,3D打印为分层打印且具有方向性,层与层之间粘结力较小,容易沿分层方向撕裂,所以即使同样的节点在打印时要注意

分析受力,合理选择打印方向。此外,3D节点打印时间长,且一般需要带支撑打印,拆卸支撑时应注意操作,否则容易破坏节点。

在最终的比赛中,3D打印节点工作稳定,无开裂、松动、滑脱等现象,实现了预期功能。团队代表学校首次参加比赛,设计的结构模型取得了国家二等奖的优异成绩。

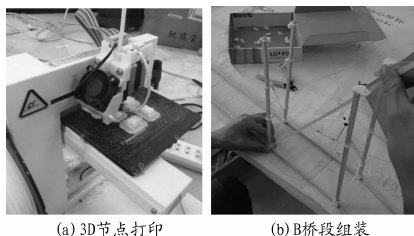


图5 B桥段模型制作

四、结语

第九届全国大学生结构建模大赛中首次引入 3D 打印技术,用于装配式模型制作,有利于在土木工程专业本科生中普及科技前沿知识。以湖南科技大学参赛作品为例,从 3D 打印节点的设计、优化、安装等角度,阐述了 3D 打印在大学生结构建模中的应用。兼顾重量和打印效率,3D 节点不宜过多,设计时应功能统筹,并在侧壁设置孔洞减重。为防止节点脆裂,应保证节点厚度,同时注意合理设计分层和打印方向。构件通过 3D 节点采用“卡”“插”“楔”“套”4 种方式进行组装,效果良好。3D 打印技术可进一步应用于土木工程空间模型快速成型等方面。

参考文献:

- [1] 苏功鹤. 中国 3D 打印产业的战略定位与发展[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [2] 张学军, 唐思熠, 肇恒跃. 3D 打印技术研究现状和关键技术[J]. 材料工程, 2016, 44(2): 122-128.
- [3] 陈庆军, 罗嘉濠, 陈思煌, 等. 国内外大学生结构设计竞赛总结及研究[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2012 (Sup2): 173-177.
- [4] 全国大学生结构设计竞赛委员会. 2015 年第九届全国大学生结构设计竞赛赛题[EB/OL]. [2015-09-25]. <http://www.ccea.zju.edu.cn/structure/>.
- [5] 邵旭东. 桥梁工程[M]. 4 版. 北京: 人民交通出版社, 2016.

Design and optimization of 3D printing node in structure design contest

WANG Jianqun¹, SHU Xiaojuan¹, ZHU Mingqiao¹, LONG Zejing¹, TANG Yonghong²

(1. College of Civil Engineering, Hunan University of Science & Technology, Xiangtan 411201, P. R. China;

2. Hunan Xiangtan Road and Bridge Construction Co., Ltd. Xiangtan 411201, P. R. China)

Abstract: 3D printing has a good application prospect in the civil engineering industry, while this frontier knowledge is not covered in the current teaching. 3D print node assembly model was first introduced in the ninth national structure contest for college students. Taking the competition works of Hunan University of Science and Technology as an example, the application of 3D print in structure design for college students was expounded from the point of design, optimization and installation. The structure was well assembled with 3D print node by sticking, inserting, wedging and interlinking. The competition would promote the popularization of 3D printing technology and expand professional vision for college students in civil engineering.

Keywords: 3D print; structure modeling; assembly model; node design

(编辑 周沫)