

附件 5

湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划 项目 申 报 表

项目名称：水工结构数字建模及 3D 打印的实验研究				
学校名称	水利工程学院			
学生姓名	学 号	专 业	性 别	入 学 年 份
吴佳明	201419040123	港航	男	2014 年
李杰	201419040125	港航	男	2014 年
董志龙	201519040230	水利	男	2015 年
余薇	201519040201	水利	女	2015 年
田野	201519040430	水利	男	2015 年
指导教师	曹周红	职称	副教授	
项目所属一级学科	港口航道与海岸工程	项目科类(理科/文科)	理科	
<p>学生曾经参与科研的情况</p> <p>吴佳明：港航专业，参加过建筑材料学术讲座，曾参与湖南湄江水库调研，参加并组织港航专业海洋知识竞赛。</p> <p>李杰：港航专业，参加过有关水利、港航、建筑材料的学术报告，完成了有关郴州水环境的调研。</p> <p>董志龙：水利类专业，曾组织并参加了海洋知识竞赛（省级活动），船模大赛。</p> <p>余薇：水利类专业，参加过海洋知识竞赛。</p> <p>田野：水利类专业，参加过武汉大学李可可教授演讲的水文水资源学术报告、洪开荣教授的引水隧洞 TBM 技术学术报告。</p>				

指导教师承担科研课题情况

1. 基于多场耦合的船闸结构时变演进力学特性和仿真模拟研究(51309037), 国家自然科学基金资助项目。
2. 基于自适应三维自由面紊流模拟的抛石堤稳定性研究(51109018), 国家自然科学基金资助项目。
3. 岩溶地基对航运枢纽上部结构影响分析及其处理措施研究(2009-02-024), 广东省交通运输厅基金资助项目。
4. 船闸输水阀门流激振动问题数值模拟分析及其减振措施研究(11C0053), 湖南省教育厅科学研究资助项目。
5. 船闸结构的热-流-固耦合分析(2012SS09), 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室开放基金资助项目。
6. 河南省沙颍河周口至漯河段航运开发工程水工结构关键技术研究, 湖北省交通规划设计院资助项目。

项目研究和实验的目的、内容和要解决的主要问题

1. 实验目的:

本研究对象旨在为将 3D 打印技术(一体成型技术)应用于实际的水利建设中进行初步的理论探索以及一定的实验研究, 对 3D 打印技术在工程中的实际应用进行可行性的验证;

2. 实验内容:

由于目前 3D 打印技术呈现良好的发展势头, 其在工程上的应用也渐渐开始进入探索阶段, 而最突出的优点就是节约大量的人力且对设计的还原度高, 水利工程建设耗资巨大, 该项技术能否在工程中发挥其特色成为本次研究的探索方向。

项目研究中, 任务之一是就实际的工程环境组装适用的 3D 打印设备, 就部分零部件进行更换和设计, 即合规设计;

最主要的任务是以混凝土为材料, 打印具有实际工程性能的小比尺船闸闸室。

3. 要解决的主要问题:

从 3D 打印技术本身, 要解决其只能一次成型, 而工程规模大必须分期建设的矛盾, 以及合规设计如何满足工程建设的精度要求;

对于实际工程尺寸, 如何设计制作满足大尺寸建筑物打印的 3D 打印机, 如何提高机器对环境的适应性也是需要论证的问题之一;

就打印模型, 要解决混凝土凝结时间与打印速度的配合问题, 解决方法是利用外加剂调节混凝土凝结时间;

打印过程中的侧壁的支撑问题, 由于需要用混凝土打印确定形状的建筑物需要充分考虑其流动性, 所以需要在打印过程中在侧壁添加支撑物, 支撑物的材质、是否可循环使用、成本都是需要权衡的问题;

同时, 模具的拆除也是问题之一, 在完成混凝土浇筑以后, 位于底部的模具如何拆除, 模具的拆除采用物理拆除还是化学处理, 拆除后模具是否可以再次投入使用以及拆除所需成本是否能为施工单位所接受;

就工程中的结构, 悬空结构如何打印能保证其不掉落, 如何控制其在打印过程中由于自身重力造成的弯曲变形使其不影响打印的精度。

国内外研究现状和发展动态

随着 3D 打印技术的完善,越来越多的物品都可以由 3D 打印完成。截至 2013 年 1 月,这些 3D 打印而成的产品都是小件物体。不过,3D 打印的潜力远不止可以生产 DIY 的家居物品这么简单。实际上,这项技术甚至可以彻底颠覆传统的建筑行业。

目前,世界多国科学家都非常重视 3D 打印技术的利用和改进,推广其在工业活动中的广泛应用。在国内 3D 打印技术也受到了广泛关注,并取得了一定成绩。中航集团用 3D 打印技术制造了飞机零件;清华大学及国内研究机构在科技部的资助下进行了 3D 打印设备的研发、3D 数字化扫描、3D 打印数字化设计,打印产品后处理等一系列研究.....另外,西安交通大学、北京航空航天大学等科研院所为推广及研究 3D 打印技术奠定了基础;国家工程中心、国家重点实验室为推动 3D 打印技术的发展提供动力。3D 在我国建筑业领域的发展初露端倪,而国外的发展相对更成熟一些,根据国外研究实践的经验,同时由于我国目前传统建筑业存在环境污染严重、人力成本高、高耗能等各种问题,3D 打印技术在我国建筑业领域的推广应用具有可行性和广阔前景。虽然目前该技术在建筑业领域的应用还处于起步阶段,但比较传统建造方式仍然有很大的优势。

3D 打印技术在节省材料、方便加工、缩短周期、降低成本等方面比传统制造技术有优势,因为制造成本和制造周期上都有极大的优势,3D 打印技术得到了全球各国政府部门的重视。3D 打印的应用领域正在逐渐拓宽,在消费电子、航空和汽车制造等行业,3D 打印可以以较低的成本和较高的效率生产小批量的定制部件。

最近,以美国著名趋势学家杰里米·里夫金为代表的学者关于“第三次工业革命”的呼声在全球范围内引起了极大关注。“第三次工业革命”的核心内容是“制造业数字化”,并将带动全球技术要素及市场要素配置方式的革命性变化。制造业的生产方式正发生着日新月异的变革。作为一种突破传统的建造生产方式以及链接工厂化、信息化生产的新型技术,3D 打印正悄然走向建筑业。英国建筑联盟学院的一篇最新论文指出,未来的建筑工地上,塑料将成为建筑原料,机器人执行施工工作。当然,这一设想的核心部分还是 3D 打印技术。

美国航天局(NASA)出资与美国南加州大学合作,最新研发出“轮廓工艺”3D 打印技术,“轮廓工艺”的概念在设计上很简单,但是实施起来相当复杂。该工艺由一个巨型的三维挤出机械构成。它的操作很像我们见到的打印机操作原理,不过有一个明显不同的地方:它挤出是混凝土。在“轮廓工艺”系统的挤压头上使用齿轮传动装置来为房屋创建基础和墙壁。它的原理跟使用泥造砖板瓦相似,建成的建筑能够抵挡地震和其他自然灾害。研发者美国南加州大学工业与系统工程教授霍什内维斯称使用该工艺不仅造价便宜、快速建造,而且对环境友好,建设造价和材料大幅度降低。24 小时内就可以印出大约 232 平方米的两层楼房子,只要一个按键就可以操控机械打印出房子。由于大大节约了建筑时间和建筑成本,该技术让人类在移民月球或火星后可以就地取材,快速批量打印。

刘易斯大酒店的老板 Lewis Yakich 就开始计划使用 3D 打印技术来扩大自己的酒店。2015 年 9 月 9 日, Yakich 宣称,他已经成功地 3D 打印出了他的建筑,这是一栋小别墅,占地面积为 10.5×12.5 米,高 3 米,大概有 130 平方米。这个别墅有两间卧室、一间客厅以及一间带按摩浴缸的房间(按摩浴缸也是 3D 打印而成),所有这些都将是刘易斯大酒店的一部分。据统计,完成所有结构的打印总共花了 100 个小时,但是打印过程并不是连续的。

2014年4月，10幢3D打印建筑在上海张江高新青浦园区内揭开神秘面纱。这些建筑的墙体是用建筑垃圾制成的特殊“油墨”，依据电脑设计的图纸和方案，经一台大型的3D打印机层层叠加喷绘而成，据介绍，10幢小屋的建筑过程仅花费24小时。



3D 打印房屋



3D 打印别墅式酒店

本项目学生有关的研究积累和已取得的成绩

1. 参阅了 3D 打印专业书籍，关注网络 3D 打印社区并实时察看最新的研究成果，从中获取可参考的经验；
2. 实验小组成员已基本了解型号为 PRUSA Mendel I3 打印机的设计原理以及实际的组装步骤，为下一步自行组装更大型号打印机提供了不可或缺的基础；
3. 已有过手工组装实体打印机的经验，目前尚处于调试机器的阶段，但已从中发现了对研究有裨益的问题，并已大致摸索出了初步的解决方案；
4. 已使用三维建模软件进行了船闸结构的 3D 打印模型的设计，并制作了动态的演示视频以更直观的演示；
5. 已提出若干适用于实际工程的 3D 打印解决方案，目前尚待进一步的讨论及实验研究以证实方案是否实际可行；

项目的创新点和特色

6. 本项目实际可行，由于目前 3D 打印技术已经被应用于建筑物的打印，故本研究提出将其应用于水工建筑物的建设，在探索过程中有可以借鉴的经验；
7. 试验中使用的材料为混凝土，有别于一般 3D 打印耗材，借鉴已有的房屋打印案例，对水工建筑物中的混凝土结构进行小比尺模型的打印，有别于使用一般以塑料与陶瓷为原材料进行打印，更接近实际工程，研究结果对实际工程更有可用性；
8. 本项目提出多台 3D 打印机协同打印、一台打印机多个打印喷头，分块施工、集成式建设大型水工建筑物的施工理念。即考虑实际工程特别是建设规模以及跨度，单台打印机无法满足一体成型打印的要求，提出多台打印机施工减小所需打印机尺寸，一机多喷头加快打印效率的概念；
9. 提出 3D 打印在实际工程中的分期打印概念，并利用组装机进行探索，当前 3D 打印的概念强调的是一次成型，但实际工程由于规模大，按照目前的打印速度，无法在短期内完成整个打印作业，而 3D 打印机对环境的要求高，在恶劣天气不能进行打印工作，考虑到施工环境受天气影响大，实际工程中仍然需要 3D 打印机能满足分期施工的要求；
10. 研究以实际工程为背景，并就水工建筑物的特点探索适用的施工方案，研究成果具有开拓性。
11. 对 3D 打印机进行“合规”设计，使之满足水工建筑物打印的要求；

项目的技术路线及预期成果

基本的研究路线如图所示，研究由船闸闸室的力学分析及计算机模型设计开始，在此段过程中旨在将实际工程背景代入研究对象，以保证研究成果对工程具有适用性，同时在力学分析的过程中对实际的打印过程中建筑物的支撑、打印顺序等进行分析；

实验的关键步骤是 3D 打印机的组装以及调试，此过程重点在进行“合规”设计，使 3D 打印技术满足实际工程建设的要求；

完成 3D 打印机组装后，进行船闸闸室模型的打印，设计步骤为首先打印塑料材质小比尺闸室模型验证打印机可用性，并对机器进行调整，再进行以混凝土为原材料的小比尺闸室模型的打印。



技术路线



研究预期取得成果如图，研究结束后对研究成果进行分析整理，撰写实验报告一份，发表论文一至两篇，申请专利 1 项，提出实际水工建设中可行的 3D 打印方案，对水工建筑物 3D 打印进行“合规”设计，完成以混凝土为原材料的小比尺船闸闸室 3D 打印模型的制作，且模型的力学性能满足实际工程的设计要求；得出实际工程中 3D 打印技术分块、分工期打印建筑物的一般可行的方法。



预期成果



年度目标和工作内容（分年度写）

2017 年度目标：

完成数字模型的制作以及 3D 打印机的组装与初步调试

工作内容：

取船闸闸室为研究对象，对其组成、结构、力学性质进行分析，计算所需混凝土量与类型；确定打印过程中模具的形状与材料、所需厚度以及安置位置与方式，此过程中需充分考虑实际工程中模具的可重复使用、无污染、便于拆除以及工程材料成本的问题，以实际船闸闸室建设为背景确认打印过程中的模具与闸室本身的打印顺序以及支撑物的搭建与拆除；

对理论模型进行分析完成后，建立相应的数字模型，使用 AUTOCAD 绘制出三

视图并制作 3 维模型, 绘制严格按照实际工程要求, 并将所建立的数字模型备份, 便于在需要修改时进行对照分析; 将 3 维模型导入 3D 打印机可识别的切片软件, 导出相应文件并将文件备份, 此过程中注意备份文件的分类整理以及备份保存; 根据模型打印的要求, 购买组装机器所需的零部件, 由于需要考虑脱模以及实际工程对打印提出的要求, 需要自行设计部分零部件, 并对现有的 3D 打印机的组成进行调整变化使之符合本研究的要求, 将真实的施工环境代入设计过程, 探索对未来实际水工建设中 3D 打印的应用具有实际普遍意义的施工概念以及发展方向。

2018 年度目标:

完成模具和小比尺船闸闸室的打印, 发表 1 到 2 篇论文, 申请一项发明专利;

工作内容:

先使用自行组装的 3D 打印机打印简单结构; 打印设备调试完成后, 开始实际的闸室、模具的打印, 由于打印使用材料为混凝土, 在打印过程中模具在压力作用下将产生变形, 需提出合理的支撑方案; 打印工作完成后, 对研究的结果进行整理分析, 对其中解决的问题进行整理, 将对应的处理方式整理并对其中重要部分申请专利, 就研究成果发表论文。

指导教师意见

项目计划详细有序, 目标明确, 切实可行。

签字: 曹周红

日期: 2017 年 4 月 16 日

注: 本表栏空不够可另附纸张