DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.11.012

基于复杂铸件无模复合成形技术的高精度地形沙盘的制作方法研究

杨文亮[1],洪海春[1],景文霞[1],戴文强[1],牛龙龙[1],王志冰[1],邓　倩[2]
(1. 北京机科国创轻量化科学研究院有限公司,北京 100083;2. 信息工程大学,河南 郑州 450001)

摘　要:鉴于目前地形沙盘制作工艺复杂、人工依赖性大、精度低的问题,结合机械科学研究总院自主研发的复杂铸件无模复合成形技术与装备,提出了一种地形沙盘的无模切削高精度一体成形的制作方法。结果表明,通过对某地区地形沙盘的快速制作及扫描分析,复杂铸件无模复合成形技术与装备能够实现地形沙盘快速、高精度的制作。该加工方法适用于不同材质沙盘的加工要求。

关键词:复杂铸件无模复合成形技术与装备;地形沙盘;制作方法

中图分类号:TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)11-1183-04

Production Method of High-precision Topographic Sand Table Based on Complicated Casting Patternless Compound Manufacturing Technology and Equipment

YANG Wenliang[1], HONG Haichun[1], JING Wenxia[1], DAI Wenqiang[1], NIU Longlong[1], WANG Zhibing[1], DENG Qian[2]
(1. Beijing National Innovation Institute of Lightweight Co., Ltd., Beijing 100083, China; 2. Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In view of the complex manufacturing process of topographic sand table, large manual dependence and low precision, a method of making topographic sand table by patternless cutting with high precision was proposed by combining with the complicated casting patternless composite manufacturing technology and equipment independently developed by the general institute of mechanical science research. The results show that the formless composite forming technology and equipment for complex castings can make the topographic sand table quickly and accurately through the rapid production and scanning analysis of the topographic sand table in a certain area. The processing method is applicable to the processing requirements of sand table of different materials.

Key words: complicated casting patternless composite manufacturing technology and equipment; topographic sand table; manufac turing process

地形沙盘作为一种直观立体的地形地貌的表现方式,在工程设计、政府宏观决策及军事战略等领域发挥着至关重要的作用[1,2]。传统沙盘的制作过程以手工造型为主,虽然可以实现对重点地形地貌快速形象的塑造,但沙盘精度不高,不具备测量性[3-5]。近几年随着数控加工技术的快速发展,尤其是以砂型切削工艺为代表的复杂铸件无模复合成形技术的快速发展,为高精度、可实测性沙盘的制作提供了可能。

收稿日期:2019-07-15
基金项目:2016 工信部智能专项装备复杂零部件个性化快速定制智能制造新模式(2016ZXFM02001)
作者简介:杨文亮(1986-),山东德州人,硕士,工程师.主要研究方向:无模快速成形工艺.电话:18353630299,E-mail:18363696885@163.com

复杂铸件无模复合成形技术是集无模挤压、无模切削、3D 打印等工艺于一体的复合技术体系[6]。该技术直接在 CAD 模型的驱动下,可实现复杂模型的快速成形,具有精密化、智能化、效率高的特点[7,8]。

1　地形沙盘制作工艺流程

本文研究的主要内容为以复杂铸件无模复合成形技术为依托的高精度沙盘的制造方法,根据该技术的特点将沙盘的制作过程分为以下 3 个阶段:三维设计、成形工艺、质量分析。

三维设计阶段主要是将 DEM 格式地形数据转化为复杂铸件无模复合成形装备可编程的实体模型数据。

成形工艺主要分为两个阶段:近成形阶段和净成形阶段。近成形主要是采用数字化柔性挤压成形

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

机对沙盘模型近成形的过程，获得沙盘的近成形体。净成形主要是采用数字化无模铸造精密成形机对近成形体进行二次加工，获得高精度沙盘的过程。

质量分析主要是对高精度沙盘的精度进行扫描分析，研究沙盘的成形精度。

地形沙盘制作工艺流程如图 1。

2 地形沙盘三维设计

研究了一套将 DEM 数据转化为可应用于无模复合成形工艺的实体模型的数据处理方法。

首先利用软件对 DEM 数据进行处理，裁剪出所需要的地形数据，输出 STL 格式的模型文件。

STL 文件格式是将物体表面划分成很多小三角面片，利用三角面片离散近似地表示三维模型[9]。该格式的文件不能直接用于成形机编程。

利用逆向设计软件对地形沙盘的 STL 数据进行逆向设计，构造地形沙盘外观曲面，而后通过正向建模获得沙盘的三维实体模型。过程如图 2 所示。

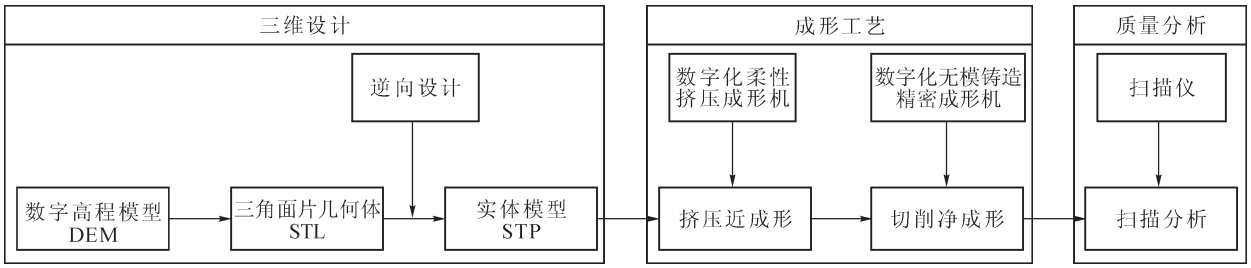


图 1 地形沙盘制作工艺流程图

Fig.1 Process flow chart of high-precision topographic sand table

(a)DEM数据　(b)STL数据　(c)三维实体模型

图 2 地形沙盘三维设计流程图

Fig.2 Design flow of topographic sand table 3D model

3 地形沙盘成形工艺设计及实现

为了实现地形沙盘的快速成形，地形沙盘的成形工艺分为以下两步，首先利用无模挤压成形技术获得沙盘的近成形体。然后利用无模切削成形技术对沙盘的近成形体进行二次加工，获得沙盘的净成形体。具体的工艺流程及实现过程如图 3 所示。

3.1 沙盘近成形体成形工艺及实现

无模挤压成形技术是机械科学研究总院集团独立自主研发的一种砂型快速近成形技术。该技术可实现自硬砂材料的快速直接成形，成形过程以产品的三维模型为驱动，通过数字化柔性挤压成形机(图 5)直接生成余量可控的近成形体，该技术与无模切削成形工艺相互配合，可实现高精度砂型模具/模型的快速成形。挤压过程快速高效，整个过程耗时 2 h。具体实现工艺如图 4 所示。

3.2 沙盘净成形工艺及实现

经过无模挤压工艺，已初步获得具有外观轮廓的近成形体。利用数字化无模铸造精密成形机对该近成形体进行二次加工，加工程序由软件直接生成，

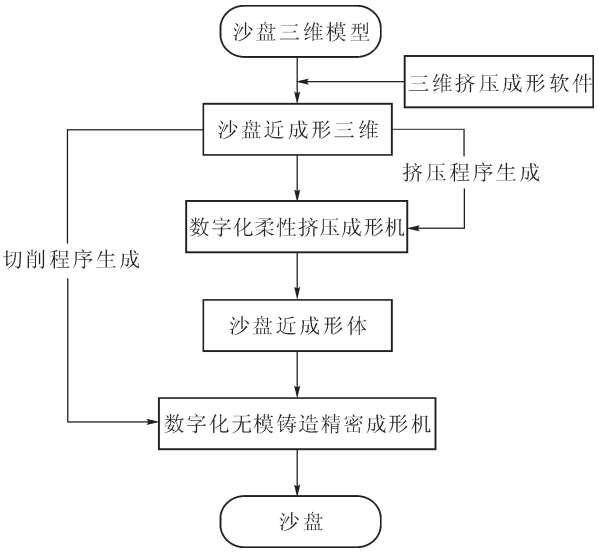
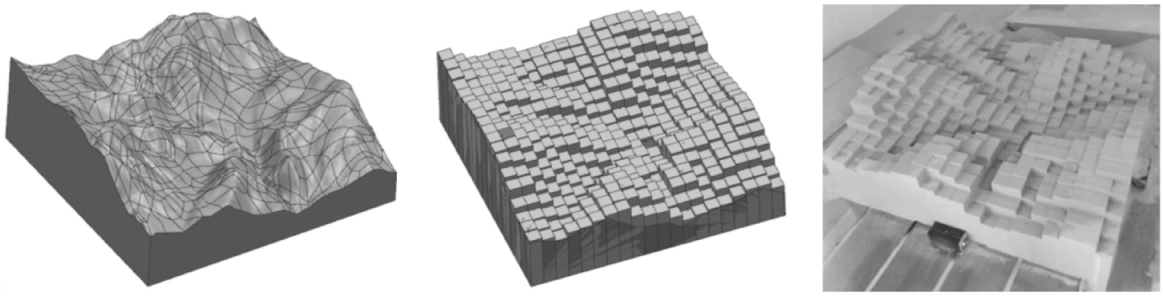


图 3 沙盘制作工艺流程图

Fig.3 Process flow chart of topographic sand table manufacturing

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a)沙盘三维模型　　(b)近成形体三维模型　　(c)近成形体

图 4 沙盘近成形工艺过程

Fig.4 Process of topographic sand table manufacturing

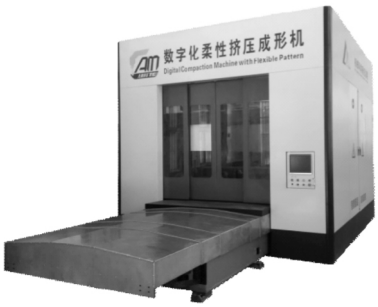


图 5 数字化柔性挤压成形机

Fig.5 Digital compaction machine with flexible pattern

导入设备后自动加工，全程无需人工干预，由于近成形体表面切削余量少，加工时间大大缩短，整个加工过程耗时 4 h，沙盘加工过程如图 6 所示。

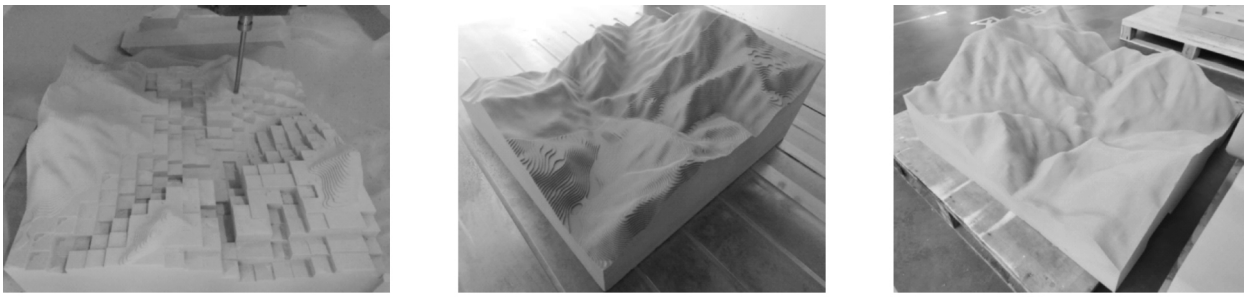
无模复合成形工艺作为一种减材工艺同时还具备材料兼容性好的优点，除了可以制作以砂子为原材料的沙盘模型外，还可以以泡沫等密度小的材料作为切削对象，制作适合搬运的沙盘模型，且泡沫材料切削参数大，加工效率高，适用于需求快速响应的应用场景，泡沫材质的沙盘模型如图 7 所示，图 8 所示为沙盘净成形加工用数字化无模铸造精密成形机。

4 地形沙盘精度分析

利用三维扫描仪对净成形后的沙盘进行精度扫描，经结果分析，地形表面 97%的数据点的误差分布在[-0.5,+0.5]之间。以上测量结果足以证明采用无模复合成形技术制造的沙盘精度高、具备实测功能，扫描分析结果如图 9 所示。

5 结论

以复杂铸件无模复合成形技术及装备为技术依托，首次将该技术应用于高精度沙盘的制造领域，通过本次研究，为高精度沙盘的制作提出了一种新方



(a)沙盘加工过程　　(b)带等高线效果的沙盘　　(c)沙盘净成形体

图 6 净成形沙盘加工过程图

Fig.6 Process chart of net shaping sand table

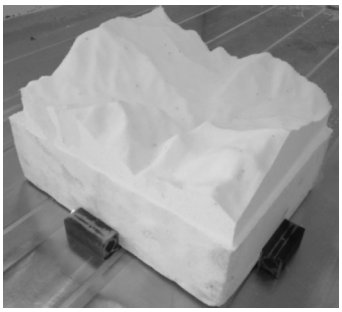


图 7 泡沫材质的沙盘

Fig.7 The EPS sand table

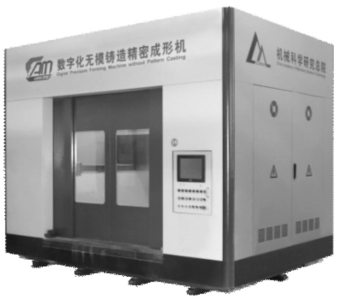
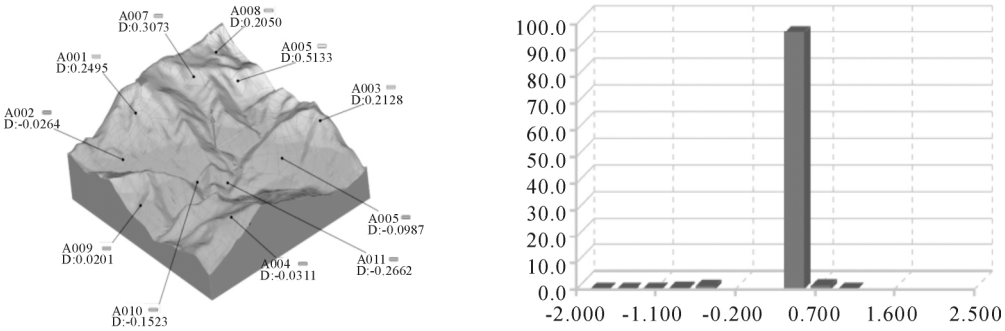


图 8 数字化无模铸造精密成形机

Fig.8 Digital precision forming machine no-patternless casting

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a)地形扫描结果　　(b)地形表面偏差分布

图 9 沙盘精度分析图

Fig.9 Sand table accuracy analysis chart

法。通过扫描分析可知，利用复杂铸件无模复合成形技术及装备制作的沙盘，精度高，具备实测性，且该方法还具有加工周期短，响应速度快的特点。同时该技术对沙盘材料的兼容性大，可对砂、泡沫等多种材质进行直接成形，满足了不同应用场景沙盘的使用要求。而且作为一个全新的应用方向，本次研究拓宽了复杂铸件无模复合成形技术及装备的应用领域。

参考文献：

[1] 李志良. 军事地形学 [M]. 北京：解放军出版社，1997.

[2] 张衍明，庞群. 辽宁省国土资源沙盘模型制作及特点 [J]. 现代测绘，2003，26(3)：43-44.

[3] 刘文忠. 沙盘模型设计及制作初探[J]. 测绘通报，2001(7)：43-44.

[4] 王恩谊. 监狱管理多媒体沙盘模型制作及应用 [J]. 测绘技术装备，2008，10(1)：27-28.

[5] 杨红卫，刘勇，许民，等. 沙盘模型设计与实践[J]. 地理空间 信息，2010，8(6)：95-97.

[6] 单忠德. 无模铸造[M]. 北京：机械工业出版社，2017.

[7] 刘丰. 铸型数字化加工技术应用研究[D]. 北京：机械科学研究总院，2009.

[8] 单忠德，李新亚，战丽，等. 无模铸型的数字化快速铸造技术新进展. 中国机械工程学会年会论文集[C]，北京：中国机械工程学会，2007.

[9] 朱虎，杨忠凤，张伟. STL 文件的应用与研究进展[J]. 机床与液压，2009，37(6)：186-189.

《铸造技术》杂志优秀企业、先进人物专访通告

《铸造技术》杂志开展专访活动，旨在通过专访这一内涵深邃、读者喜闻乐见、欣赏韵味独特的交流方式，深度挖掘铸造界人文财富，倾心打造行业精深资讯，进而从独有的精神与文化之角度施力，推动中国铸造业的科学振兴和健康发展。

《铸造技术》基于“榜样的力量是无穷的”以及“益言可以兴邦”的基本理念和初衷，《铸造技术》杂志社记者与业界企业家、专家学者、工程技术人员等先进人物近距离接触、多层面无障碍恳谈，从而接地气地见识与领略中国铸造业界深邃浩瀚的人文资源、鲜活生动的真人与实事，在第一时间得到启迪与感悟，进而把这发自心灵的收获通过专访报道奉献给读者朋友。

《铸造技术》专访笃信“唯有真情可以感人”。能感动人的专访报道，必然是被访者真实生活的经历、体验和独特感受，高尚人格的彰显。专访报道中的所有感人之处，无不源于被访者独有的生活经历加上独到的见解。不可复制的人生阅历之润养、对生活的挚爱、对事业的全身心投入，是每一位被访者能够超越现实与自我而永葆充沛生命力的秘诀。从自己挚爱的事业那里领悟人生的真谛，激发爱与美相交融的情感。被这真实的情感所感染，使人情不自禁地用看似清淡的笔墨，仰仗倾情产出令人心颤的专访报道。

《铸造技术》专访对“说理”情有独钟。信奉“唯有讲理可以服人”。因“至”即无限趋近高端，故“至理”系高度符合科学规律的道理。“科学”乃说理的学问，科学是迄今全人类生产及社会实践的顶级智慧结晶，科学是全人类的共同财富，科学是人类从必然王国走向自由王国的桥梁。唯科学之理能使人们正确认识世间万物、尤其包括认识者自己。《铸造技术》专访已延续多年，读者不难发现，所有被访者的感人之处无不根源于其自觉或不自觉地遵循了科学的思维与行为的准绳。

《铸造技术》专访所追求的是，以优秀传统文化底蕴为基石，以高尚道德操守与精神境界为标杆，倾力打造铸造专访的精到内涵和独特风格，倾心为读者朋友打造理性思考的空间，竭力实现被访者—读者的理性与情感的惊人共鸣。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net