



组合后的精准完成度



3.2m高，16m³的三维打印构筑物 Grotesque



学生们在吊装沙模

和渲染图进行清晰的沟通；在工厂里，厂家能够通过三维模型更准确地制造构造零件。但是建筑师表达设计成果的方式仍旧是图纸。一方面，图纸已经成为了一种官方认定的格式，另一方面由于生产的中间环节过多，图纸仍是设计转换的最普遍媒介，这主要是因为建筑不直接参与构筑物的生产环节。所以可以生动地说，虽然建筑师已经习惯了在三维数字模型空间里工作，但仍是“纸上谈兵”。

也许可以这样说，没有设计师参与的生成过程仅仅只能称之为“制造”，因为是由工人将设计图纸的内容转化成为实物。而这个转化过程中建筑师并未提高生成同设计之间的互动，标准化的操作也并不能很好地支持个性化设计的发挥。目前的数字化生成手段主要应用于解决一些超出常规的设计内容，还不能无缝地在普遍的设计过程中起到辅助作用。可是我们也看到随着CAD平台的日益强大，一些人已经开始求助于CAM手段进行积极的探索，诸如桌面级三维打印的一类CNC（Computer Numerical Control）硬件已经开始进入建筑师的工作室，促使设计与“微建造”的模式成为一种时尚。

数字建造和建筑师的工作车间

如果建筑师不能在设计的过程中控制建造过程的诸多因素，那么也就很难迅速地通过建造中的反馈来优化设计方案。目前，主流的工作方式还是工厂通过建筑师绘制的图纸或者电脑模型进行原型构件的加工，再由建筑师现场进行评估，并提出修改意见。显然这个过程是漫长的，而建筑师的职业操守在大多数的情况下都要屈服于工程进度的要求。但是越来越多的建筑师开始尝试使用数字建造技术来达到对更高设计完成度的诉求，因为像数控铣床、三维打印机、多轴机器臂等快速成型设备已经越来越普及，软件和硬件之间的界面越来越友好，材料和使用成本越来越低等一系列条件为建筑师提供了直接参与生产的机会。建筑师可以直接跨过工厂这个流程，直接在工作室（如使用三维打印机）或工作车间内（数控铣床和机器臂）取得设计的成比例物理原型，如使用三维打印机创作以人为尺度的等比例模型。也许这种景象被怀疑的目光认定为遥遥无期的梦想，但事实上已经有很多数字建筑工作室开始了脚踏实地的尝试，并取得了美妙绝伦的成果。



经过表面处理后的沙模

Grotesque – ETH³ “印制”

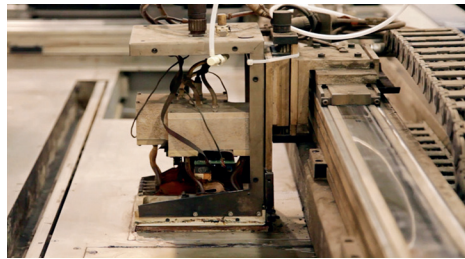
苏黎世理工学院的Michael Hansmeyer和Benjamin Dillingburger⁴领导的团队以沙子为材料，采用分块三维打印、垒砌组装的模式制作了一个以人为尺度单元的大型构筑物，可以说是目前最复杂、体积最大的通过三维打印技术生成的设计作品。

在瑞士苏黎世的工作室里，建筑师通过分型数学的算法和JAVA计算机语言为平台生成了一系列Grotesque原型，使用小型三维打印机输出物理模型后，经过不断的比较和研究，对生成的算法进行调整。实际上，因为模型过于复杂（最终由8 000万个三角面组成），设计师对于生成结果的判断是模糊的，很大一部分精力投入在考察形体的生成过程上，直到满足设计师预期的效果。但是在最终制作大型的构筑物之前，电脑屏幕上的图像并不能给设计师提供充足的信心。正是在这个环节，桌面级的三维打印机能够将数字模型转换成物理模型，提供了判断依据和修改参考。Michael的团队正是通过这种在数学模型和实体模型之间互动的设计方式，取得了生

成和制作复杂形态的极高效率。

最后，完成的数字三维模型被发往两个小时路程之外的德国慕尼黑，那里有世界上最先进的大型喷砂高速三维打印机。由于三维打印机的输出体积有限制，数字模型被分割成若干模块，进行逐一打印输出，其精度可以达到0.1mm。最终，打印的砌块在苏黎世理工大学的数字工作车间内组装，并进行了表面喷涂处理。

假如没有数字分型技术和计算机生成环境，用徒手的方式很难生成像Grotesque这么复杂的形体。如果没有三维打印机这种CNC数控加工手段，这么复杂的数字模型也很难变成实物。如果没有喷砂打印这种廉价的生成方式，硕大的构筑物将因为巨额的经费投入而变成泡影。可见，从软件、硬件及材料等诸多方面，数字设计与建造技术都进入了一个比较成熟的阶段。也许会有团队利用Michael和Ben所领导团队的经验建造出可以让人居住的真正房子来，那么拥有复杂形态输出的这种数字手段将可以自由地提供定制化服务。



三维喷砂打印机的工作面



打印完成后的效果