

COMPUTATIONAL DESIGN ENRICH THE METHODS OF CREATING THE HABITAT ENVIRONMENT

计算性设计赋能人居环境营造



嘉宾

孙 澄 国家级高层次人才，哈尔滨工业大学建筑学院院长、深圳国际设计学院院长、教授、博士生导师

袁 烽 同济大学建筑与城市规划学院副院长、教授、博士生导师

陈自明 中国中元国际工程有限公司执行总建筑师、创新建筑研究中心主任

龙 瀛 清华大学建筑学院副教授、博士生导师，清华大学生态规划与绿色建筑教育部重点实验室副主任

郭茂祖 北京建筑大学电气与信息工程学院院长、教授、博士生导师

钟华颖 南京大学建筑与城市规划学院副研究员，南京大学建筑规划设计研究院有限公司副总建筑师

王 佳 北京建筑大学教授，北京建筑大学建筑大脑研究院常务副院长，盈嘉互联科技有限公司创始人

郭文波 香港华艺设计顾问（深圳）有限公司副总经理、设计总监，深圳市华壹装饰科技设计工程有限公司总经理

林再国 AIR-CoLAB Studio主持建筑师

主办：《当代建筑》编辑部

时间：2022年5月5日

地点：黑龙江省哈尔滨市

21世纪初,伴随着第四次工业革命引发的思维转变和技术革新,建筑学领域正经历着一场数字化和计算性的转型。脱胎于计算机科学,经历了人工智能时代的发展完善,计算性思维已成为解决当代复杂工程设计问题的重要思想,深层次地影响到建筑从设计到建造的全生命周期。如何将计算性设计思维、方法和技术有机融入建筑科学,推动建筑设计思维演化,促发设计流程与策略重构,推动建筑设计技术工具革新,已成为亟待探索的热点问题。

孙澄:第四次工业革命带来的思维转变和技术革新,正深刻地影响着城市与建筑设计领域,并引领着一场数字化转型与信息化升级。根植于计算机科学,依托人工智能时代算力、算法与算据的长足进步,计算性设计思维已成为解决当代复杂工程设计问题的重要思想,而先进的计算机技术和数字化工具也正改变着当代建筑设计与建造模式。

特别是在过去的5到10年间,大数据为人居环境复杂性提供了新的注解,综合应用机器学习、深度学习、人工智能神经网络等方法与技术,创新建筑设计思维与理论。在这一背景下,“计算”开始越来越多地介入到设计前端的创造性思维中,并成为建筑师制定设计决策的有力支撑。建筑师可以利用计算解决多性能权衡考虑下的复杂建筑创作难题。由此,计算性设计向建筑教育工作提出了新的挑战:面对汹涌而来的数字化浪潮,应该怎样顺应潮流,并及时做出调整,完善学科建设,以培养出面向未来的建筑设计人才?

要回答好这一问题,我们首先需要建立对于计算性设计的正确认知。在数字技术迅速崛起和专业精细化分工的时代语境下,计算为我们提供了一种新的创作方式,通过算法组织设计数据,通过规则逻辑生成设计方案并优化其性能。既有建筑设计中对建造标准化的限制已大幅拓展,多样化的建筑设计方案均能得以实现。为了更加科学合理地分析、处理、解决复杂的建筑问题,我们往往需要借助数字技术来完成信息集成、性能模拟、生成优化、智慧建造等各个环节,以协同辅助建筑全生命周期的整个流程。未来,随着元宇宙、数字孪生技术的进一步发展和成熟,超越物理限制的虚拟建筑探索将会为建筑师提供更多的发挥空间,其与物质实体的交互协同也将碰撞出新的灵感火花。

在这一背景下,面对当下建筑发展的关键时刻,数据信息已经可以借由计算机工具变成物质

实体,建筑教育也需要以更加开放的姿态探索新的教学范式,引导学生掌握、运用并创造工具。

因此,为了更好地应对建筑设计教育面对的新挑战,我们牵头组建了教育部建筑数字化设计课程群虚拟教研室,希望能够汇集建筑设计教育数字化优质课程资源,打破地域界限,以“新理念、新模式、新质量、新方法、新内容”为核心,顺应计算性设计发展趋势,优化传统建筑设计课程群,改革设计类课程教学范式。比如,在“智慧中国”内涵的引领下,我们对传统建筑设计课程群进行了调整优化,提出了“一种精神、两级层面、三项能力”的建筑数字化设计课程标准,以期形成通专融合的建筑教育模式,培养学生的数字化认知能力、机器学习工具运用能力与持续学习能力。以多维成果为导向,建设适应人居环境“智能+”新需求的建筑数字化设计模块化课程体系。面对不同层次的学生,将大数据、新媒体、虚拟现实、实时通信技术与教材体系进行深度整合,对接数字时代建筑教育的知识体系和教育标准,围绕“知识—能力—素质”提升人才培养质量。

当下,建筑设计已不再完全依赖于建筑师的创作经验,从设计与建造过程可以体现出其中蕴含的计算控制与理性逻辑。未来,计算将赋予建筑设计以无限可能,并通过数字技术呈现出激动人心的虚实空间和感官体验。

袁烽:计算性设计经历了从计算机辅助设计到计算机生成设计、数字化建造及建筑智能发展的历程,已经从简单的工具思维发展为设计思维。如何从计算性设计方法本身延展到建筑设计的全流程,具有重要的意义。如今,计算性方法正在发生重要的转变,从绘图辅助工具的几何编程发展到几何生成式的编程,再到建造的编程。随着人工智能介入计算性设计流程,设计方法的演

变已经进入到推演、预判和跨平台的软硬件协作阶段。换句话说,计算性设计进入一个对人的思维和能力进行增强的阶段。

我们始终要探讨的问题,是每个人都需要编程,还是把计算性设计的成果平台化给每个人使用。这里面需要解决的首要问题是署名权问题。在新的时代,软件也可以成为新的作者,诞生新的著作权。比如:在教学中,本科生更多是学习计算性设计的应用;硕士研究生能够编写简单的工具插件,并使其跨平台使用;而博士研究生则需要提出问题,自主研发新的工具平台。在这种体系下,我们需要针对计算性设计进行共识性的讨论:计算性设计和人才培养在当下是一种怎样的关系?中国的教育面对的问题是我们会成为软件平台的使用者,还是创新平台的发明者或创作者?这是中国学术研究的核心问题。将计算性设计作为创建全新学科的入手点,会成为未来中国建筑教育能否成为世界前列的关键所在。

计算性设计与建筑学本体研究的关系具有十分重要的意义。计算性设计到底是一个创作者的工具,还是成为创作者本身呢?当前我们正处在弱人工智能发展阶段,还是通过人机协作的方式发挥彼此的作用,计算性设计带来的优点和优势可以在一部分实验性项目中得到体现。建筑本身的计算性设计不仅仅存在于“元宇宙”,更会在我们的物理世界营造中发挥作用。由此,计算性设计与物质智能的融合将成为重要的建筑学发展议题。新载体是人机协作的机器人建造,因此在机器人建造领域也有很多计算性设计的内容。建筑机器人协作平台的研发,能够让智慧建筑在数字化建造之初便以共享协同的方式解决诸多问题。

在数字化浪潮袭来后的60年间,建筑领域中的数字工具也在融入从设计与建造全过程的各个生产环节,不断革新建筑中的创作思维与工作模式。在当下对于人类与机器的关系充满疑惑与猜

测的环境中，机器人建造平台的研发更应得到关注与探讨。一方面，重新发现建筑师与机器人之间的联结，能够消除设计与建造的长久隔阂，将建造的主动权再次交到建筑师的手中；另一方面，身体力行地去研发一个可用于实际建造中的数字建造软件，能够于实践中发现并解决诸多具体问题，并为机器人在建筑界中广泛应用的未来添砖加瓦。

在本期杂志中，也有我们发表的关于FUROBOT的论文。FUROBOT作为一个自主研发的建筑机器人建造平台，目的在于将设计流程与建造流程进行无缝对接，使各位建筑从业者能以一种协作的方式，更简单地介入建筑机器人的数字化建造流程中。这篇论文主要针对FUROBOT的设计概念、参数设置、工作流程、工艺集成以及未来的研究方向等方面做了介绍，并结合多年研究与实践的成果，阐释了FUROBOT如何将共享协同的思维应用于实际建造之中。

陈自明：随着人类对于建筑功能要求的逐步提高，当代建筑设计已逐渐趋于耦合式复杂化发展，形成了多种学科相互交织、共同引领设计结果的全新面貌。建筑学科面对各领域设计信息的爆炸式增长，急需进行一场数字化改革。数字化设计与计算性设计成为推动工程设计与建设的重要方法与动力。随着全球城市化进入缓慢发展阶段，人们开始逐步反思人与自然环境的关系，追求更加清新、自然的居住环境，对于人居环境的要求也更加复杂化及多样化，对建筑的审美也逐步向多元化及复杂化转变，从而引发建筑师对于生态建筑和非线性建筑的思考，推动了数字化技术在建筑设计领域的探索。

自20世纪90年代开始，欧洲国家及美国的部分建筑学院开始针对数字化技术在设计领域的相关应用进行深入探索和研究，形成了一系列丰富的研究成果，相关理论也逐步在工程建设中得到实践与验证。西方大型设计集团对于数字化技术在方案设计、施工图设计及施工指导等方面的应用起步较早，在近30年的时间中积累了大量实践案例与成果，在BIM设计应用领域已经逐步普及三维技术的应用，并逐渐向施工流程管控及项目成本管控等深层次的应用进行探索。而国内对于建筑信息模型的应用还相对滞后，对于多专业协同

优化数字化设计的探索更是非常匮乏。

数字化技术在建筑设计及建造领域的研究，对未来建筑设计施工智能化发展具有重要意义。近年来，数字化平台的建设逐步成为实现设计施工一体化的重要支点，也成为建筑全生命周期设计的重要手段。基于设计模型及数字平台技术的引用，我们可以在前期咨询、规划、方案设计、施工图及后期配合过程中不多增加设计信息，丰富设计资料，从而形成延展至项目全过程、覆盖全专业的建筑信息模型数据库，让各专业运用统一的建筑信息模型进行设计及施工，实现项目的协同管理。

完整的建筑设计需要建筑师与不同专业的工程师通力合作，而这一过程中的主要矛盾为建筑师与工程师对设计资料进行分析、筛选与选择的标准不同。简单地讲，就是建筑师面对总体项目时，需要对使用功能、建筑性能、材料、空间、细节、美学等方面进行考虑，而工程师则更多地关注于本专业的技术要求。两者之间的矛盾本质是对设计信息的选择不同，但两种属性并非完全排斥，因此方案的平衡是设计的关键。

针对复杂类型项目，面对繁复多样的设计资料，如何兼顾多方面因素形成各专业的最优解，则需要运用多专业协同的数字化平台技术。以民航三中心项目结构专业为例（图1）：基于数字化模型，结构设计提取了以结构中面、结构中线、结构交点坐标为集合的信息数据；基于数据信息，运用MIDAS（迈达斯）及YJK（盈建科）等软件搭建三维几何模型，对结构进行荷载分析、震动模拟分析、传力路径分析，同时对钢结构节点进行受力分析与节点构造深化设计。计算及深化设计后，能得到结构材料、结构尺寸等基本数据，这些数据信息再以矢量模型与数据列表的组合形式传递给各建筑专业人员，建筑专业人员以此作为基础，对土建模型、幕墙模型进行设计。室内精装专业根据完善后的多专业模型进行室内幕墙及精装设计，使设计结果快速形成空间效果，建筑师则根据综合效果对大厅结构、土建、机电、照明、精装进行判断，提出综合性意见，从而进行基础几何模型修改，构成循环往复的多专业信息传递闭环，通过这种方式可快速得到多样的设计结果。设计结果兼顾各专业功能要求，供建筑师做出选择。基于数字化平台的多专业协同设

计，针对项目复杂设计内容提供最优解决方案。

未来，基于数字技术、云计算、算法设计、VR虚拟现实等新兴技术的支持，建筑设计及工程建造将更加趋向智能化、信息化、集成化、一体化。项目信息的综合收集、数据处理、信息筛选、信息优化也将逐步从人工化趋向人工智能化发展，建筑设计施工的整合也必将走向产品化与工业化的全新时代。

龙瀛：建筑设计领域我不太熟悉，但是在城市规划、城市设计领域，计算与其结合的难度巨大。规划、设计支持系统曾经历两代挽歌。19世纪60—70年代是城市模型（Urban Model）研究的第一次高潮，然而道格拉斯·李（Douglas B. Lee）等提出大尺度城市模型因算力和数据可获得性的限制，在当时并未很好地解决实际问题，相关研究热潮随之减退。随着技术进步，2000年左右开始涌现出诸多规划支持系统（Planning Support System, PSS）的研究，但斯坦·吉尔特曼（Stan Geertman）等学者指出，其后来在国际、国内的实际应用有限。2004—2013年的十年间，我在地方规划局开展规划的信息化工作，经历了规划支持系统的第二代发展式微浪潮，深感其在规划实践中应用难度巨大。其背后的原因既有规划师自身缺乏此方面的教育背景，对此相对排斥，也由于规划支持系统的沟通和学习时间成本较高，规划过程过度简化，对规划科学性的提升有限，因此缺乏足够的底气。总体而言，既往计算与城市规划设计的结合更多体现在信息和决策支持系统、规划支持系统等单一模型系统的研发上，旨在提升规划设计的效率与准确性。然而城市科学尚处于发展的初期阶段，难以为模型系统开发者提供坚实的理论基础，同时规划设计的精确性也难以得到显著提高。

传统的城市模型、规划支持系统与建筑领域的参数化设计、城市设计领域的空间句法等类似，均可归纳为基于算法驱动的计算，而非我所理解的基于数据的大规模计算。事实上，在2010年之前，受限于数据环境条件，基于数据的计算与城市规划设计还很难产生紧密的结合。大数据研究也是在2013年左右开始在国内兴起的。2015年底我来到清华执教，当时学术界整体上经历了向数据密集型的第四研究范式（Data



1



2

Intensive Paradigm) 的转型, 该范式在各个学科领域广泛渗透。例如: 麻省理工学院成立新的计算学院 (M.I.T. Stephen A. Schwarzman College of Computing), 以及其创建的城市规划与计算机结合的城市科学 (Urban Science) 本科专业等都是标志性事件。这也印证了尤其在2010年以后, 得益于万物互联、信息通信等技术的发展成熟与迭代, 基于数据的计算开始得到普及。

在此之后, 城市规划设计领域也开始呼吁与数据/计算的结合。一些总体规划、国土空间规划、总体城市设计等项目中设置大数据相关的专题研究几乎成为一种标配, 这有利于对现状分析进行更加深入的认知挖掘。但在数据科学与规划设计结合的初期阶段, 研究及实践中用作生产资料的数据并非完全由规划设计师自主采集。事实上, 大部分数据仍属于第三方数据, 如公交刷卡、手机信令、出租车轨迹以及一些应用程序运行过程中产生的LBS (Location Based Services) 数据等。这些数据的主要特点包括: ①并非专门为规划设计的支持与计算而产生, 属于其他公司部门经营活动的附属品, 即“废气”; ②数据整体有偏差性, 且不同应用程序间的偏差不尽相同; ③空间精度不高, 可用来支持总体规划、国土空间规划等宏观尺度, 但对于(总体)城市设计及场地设计而言, 具有很大的局限性。此外, 这些数据计算支持下的现状分析, 往往与面向未

来的空间干预、规划设计方案脱节。无论是规划设计的实践项目, 还是学生的竞赛作品、设计课程作业等都存在类似问题。毋庸置疑的是, 在这个过程中, 空间句法等基于算法的计算方法也获得了再次的关注, 其部分指标所对应的理论或现象得以在研究中被证实。总体而言, 它与基于数据的计算起到了相互促进的效果。

那么未来的城市规划设计与计算结合的发展方向是什么呢? 我在这里提出两个方面与大家讨论:

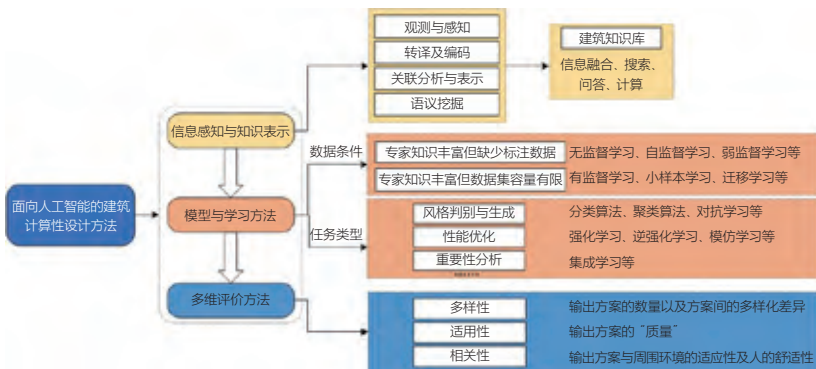
1) 针对“废气”数据存在的问题, 我认为面向规划设计应用场景的主动城市感知是一个思路。利用集成传感器、打猎相机、穿戴式相机等感知设备, 通过固定感知(即与信号基站、智慧灯杆等固定设施结合进行感知)、移动感知(即与机动车、机器人、无人机等移动载体结合进行感知)等多种途径构建协同感知网络, 主动采集城市空间包括建成环境、自然环境与社会环境的高精度数据, 以此来大幅提高数据的时效性、精细度及覆盖范围, 更加精准地匹配规划设计对象的具体特征及问题识别, 并更好地支持前策划-后评估各环节。

2) 针对设计方案与数据计算分析结果脱节的问题, 数据增强设计(Data Augmented Design, DAD)是一种可行的探索路径。针对存量型城市规划, 数据增强设计通过多种方法, 从多重角度对城市空间新数据进行分析, 尤其注重理解

数据背后城市空间及人群活动的变化及特征, 通过植入传感器采集市民大数据, 搭建公众参与平台, 实现规划设计的实时监督。针对增量型城市规划, 数据增强设计通过选择案例城市、量化案例城市的空间要素、识别优秀基因、归纳空间模式, 应用于场地设计中, 从而实现场地的案例借鉴。针对未来型城市规划设计, 数据增强设计通过拥抱先进前沿技术, 注重智能化基础设施的应用, 关注空间组织形式的未来演化, 从而创造出符合未来技术趋势的居住、工作、交通及游憩空间(图2)。

总而言之, 计算与城市规划设计的结合, 在未来具有更加广阔的拓展空间, 是轰轰烈烈、正在进行中的第四次科技革命所赋能的, 并注定超越以往的浪潮。传统的建成环境学科与计算相结合, 将会把自己的路走得更宽, 更远。

郭茂祖: 传统建筑设计主要依靠建筑师的主观决策而完成的。建筑师通过解决问题(包括问题建构和界定)和反思性实践来处理不确定的问题, 依赖其自身的经验、创意和智慧来探索城市设计与建筑的可能性。这是基于观察和知识迭代, 而带有创造性的决策过程。这一决策过程是知识和灵感的融合, 虽然具有一定的灵动性, 但在复杂量化的优化目标和条件约束决策方面经常面临一些困境: ①信息搜索、集成、综合能力均有限;



3

4

②设计决策制定过程中，量化分析不足；③设计相对低效且人工成本高；④相关设计因素间复杂关系的识别、分析存在不确定性、模糊性。

近年来，以深度学习、强化学习为代表的的人工智能理论与方法的发展，为建筑设计的信息感知、智能学习与科学决策提供了新的技术途径，为智能化城市设计与规划、保护与更新提供了强有力的科学支撑。面向人工智能的建筑计算性设计方法通过执行指令，利用输入的数据（包括观测、知识等各种信息）和搭建的模型自动计算并客观决策，从而独立或辅助设计师完成设计。建筑计算性设计依赖人工智能去探索城市设计与建筑的多种可能性，是基于指令和数据迭代的决策过程。其信息搜索、集成、综合能力强大，设计决策制定过程量化能力强，设计效率高，且可自动识别目标相关因素的复杂关系。人工智能算法虽然具备从数据中自动学习、推理和智能决策能力，但如何参与、支持自动化的建筑智能设计，目前仍然缺少理论支持和指导。此外，如何刻画建筑的本质需求，理解和学习建筑师的设计内核，实现真正的智能设计，仍是巨大的挑战。在一定程度上，这也是人工智能领域的难点。

建筑计算性设计虽仍处于辅助设计的阶段，但正逐步渗入建筑与城市建设的规划、设计、实现和维护等建筑全生命周期的各个环节，其渗透的广度、强度和深度都在不断加强。目前，为深入地解决设计问题，学者们在多个分支上进行了大量的尝试：采用深度卷积神经网络等分类模型进行建筑风格分类；采用回归模型学习建筑设计参与与多种建筑物性能指标之间的映射关系；利

用生成对抗网络进行建筑外表皮或空间布局的自动设计；利用遗传算法进行性能优化，并逐步涉及无监督学习、表示学习、强化学习等多种机器学习方法。

当前，面向人工智能的建筑计算性设计方法研究主要关注三个方面（图3）：

1) 信息感知与知识表示。建筑与环境的信息感知与知识表示是开展计算性设计的先决条件和数据基础。对于历史和实时产生的多源、多模式、异构以及内在关联但外部隔离的海量信息，需要进行观测与感知、建筑语言到计算语言的转译编码、建筑信息的关联分析与表示以及语义挖掘，才能构建具有表达关系与属性的建筑知识库，进行建筑知识的融合、搜索、问答、计算等。

2) 模型与学习方法。在构建计算性设计的模型时，首先需要将设计实例投影到特征空间上，并保持其关系不变；然后面向不同目标和条件，选择合适的方法。基于不同建筑信息和数据条件，在专家知识丰富，但缺少标注信息时，可选择自监督学习、无监督学习、弱监督学习等方法；在标注信息充分，但数据集容量有限时，可选择有监督学习、小样本学习、迁移学习、元学习等方法。面向不同的设计目标，对于风格、艺术形式等主观目标，可采用分类算法、聚类算法、对抗学习等进行风格判别、元素分类、特定风格生成；对于多设计要素，当目标间存在差异、耦合、冲突、不确定性时，集成学习等方法可挖掘深层次的隐藏知识，进行量化分析；对于建筑室内外性能优化目标，强化学习、逆强化学习、模仿学习、遗传算法可提供“关注过程”的

演化。最后，需要定义模型好坏的标准，计算设计实例与设计目标之间的“距离”，训练模型向目标“靠近”。

3) 多维评价方法。在计算性设计的输出与评价空间之间建立确定性的指向，以满足评价体系的客观性和稳定性，并从输出的多样性、适用性、相关性等多维度进行评价。多样性指标关注输出方案的数量以及方案间的多样化差异，适用性指标关注输出方案的“质量”，相关性指标关注输出方案与周围环境的适应性及人的舒适性。

除上述研究之外，随着人工智能的进一步发展，数字孪生、元宇宙等虚拟世界模型法与现实世界的建筑设计过程相结合，也将有利于建筑计算性设计开展更深入、更高级的智能设计，识别建筑师的设计意图，学习建筑师的设计行为，最终有望形成可综合海量信息与人类知识，具有强大感知能力、灵活学习能力的智能设计。

钟华颖：计算性设计作为数字建筑设计的重要组成部分，设计理性成分得到加强，提升了设计问题的解决能力。教育研究机构、设计机构，甚至资本推动的科技公司从不同的方面大力投入计算性设计的研发，专业化程度不断加深。与此同时，在大体量设计项目中，其针对更多的设计师群体进行的推广及应用仍显不足，甚至存在误区——认为计算性设计是某些特殊项目才需要的，有些业主还担心引入数字设计会增加设计费。这种现象恰好说明计算性设计与实际工程项目的融合、串联还需加强。随着智能辅助设计平台的出现，更多可供下载的共享工具包力图解决

这一问题，但当面对较短的设计周期，大量数字设计研究成果难以及时引入。计算性设计的引入与推广需要根据其特点加以改造，有意识地引入相应的设计管理方法。

计算性设计是一种以问题为导向，基于数理逻辑的求解手段。基于经验的设计，更多地依赖的是知识点的积累，偏重于创意的设计则是依靠灵感，而计算性设计需要流程化、规范化的设计管理。对于初期接触的设计者，知识点的学习与设计管理在实际操作中哪个更为有效？我们本科教学的两组实验可以从侧面进行佐证。一组实验是早期在本科高年级进行的。我们试图以知识传授型的方式引入数字设计，先知识点学习，后知识点应用，让知识学习与设计构思两条线并行。结果在有限的设计时间内，知识点学习流程一旦开启就很难停止，反而影响了设计创意行为的加入。另外一组实验是在低年级进行。我们通过引入设计管理思维，对设计流程进行精确划分，要求同学自主寻找问题解答的工具包。结果发现：能够成功引入数字技术并得到良好设计结果的比例反而更高。低年级同学相对于高年级同学设计经验更为薄弱，结果说明设计经验的重要性在其中并非是决定性因素。这一对比实验也许能为在更广泛的设计师群体中推广数字设计提供参考。

设计活动是科学问题和设计问题的交织。对于具体项目而言，科学问题与设计问题的关系需要精确定位。在一般性项目中，设计问题包含了功能、流线、空间、场地、形体等基本方面，科学问题则是研究对象的还原、抽象、分类、转化、定义，以及推导形成结论。设计包含的诸多因素与科学问题解答过程如何进行匹配，是设计过程更多地引入计算性设计的基础。同时，作为设计院创作团队，我们更多的是在一般性建筑中应用数字设计方法，将科学问题与设计问题的匹配关联引入设计管理。近期我们经常用到设计因素的归一原则，即在设计的某一阶段找出唯一关键因素作为中枢，建立设计问题与科学问题的关联，减少需要尝试的路径数量。最近落成的云海天舟项目，最开始以大悬挑结构选型问题为设计导向，在几种不成功的尝试之后，不被重视的场地问题反而成为决定因素，由此建立新的设计解答路径，对问题描述进行数据转化，建立参数方程，产生随地形变化的两条关联曲线，从而定义

建筑主体（图4）。

大量的设计项目可能与之类似。最开始仅仅是为了解决设计问题，而非科学问题，更谈不上引入数字设计，但正是这种以科学问题的态度看待设计问题的研究方法，才能挖掘其中的底层逻辑，为数字化技术的引入建立有序而有效的接口。从同学们的自发求解过程到实际项目操作中明确的设计路径，有序、有效的接口建立，相关工具包的有意识选择，以及二次开发决定了数字设计在更多设计项目中应用的可能。

从设计路径、设计管理到计算性设计思维的形成，设计平台提供了丰富的资源，发挥了重要作用。在实际工作中，我们欢迎任何一种有效的数字设计工具与手段。由于工作室有限的人员难以涉猎计算性设计所有的知识领域，因此我们提出的更多是一种设计管理方法，希望能够吸纳、引入更多的数字设计成果。我们在这一学习过程的经验也许可以成为正在广泛进行的计算性设计推广活动中一个小小案例。

王佳：建筑行业是我国的支柱产业。由于建筑全生命周期内会产生海量数据，有研究表明，建筑业是数据量最大、业务规模最大的大数据行业。传统的建筑设计工具是以专业设计人员的知识为核心，建筑设计高度依赖于设计人员。随着建筑行业大量的数据积累和人工智能的高速发展，传统的设计方式必然会随之改变。计算性设计有着系统科学与复杂性思想的思维基础，以及自组织生成与自适应优化的流程特征，并具有人工智能的技术支撑。面对庞大而汹涌的建筑数据洪流和人工智能的介入，离散性的设计思维正在向数据驱动的设计方式过渡。在未来的建筑设计中，以数据驱动的智能化计算性设计将替代传统设计方式。

建筑业作为传统行业，具有丰富的历史，也为建筑设计人员提供了大量的经验。在计算性思维还未影响到建筑业时，建筑设计人员基本都是根据以往积累的经验知识做出设计决策，设计决策的正确与否也仅依赖于设计人员和施工人员的经验及他们对事物的判断能力，难以保证设计的科学性和正确性，以致很多建筑存在设计缺陷，易危及建筑和安全。建筑数据驱动的建筑计算性设计，使建筑行业的设计方式由粗放型向精细型转变，设计流程由经验型向科学型转

变，驱动建筑设计走向空间化、时空化、语义化。

很多人对建筑数据的理解就是数据量大，这种理解不能说错，只能说不全面。那么建筑数据到底有什么特点呢？城市建筑基础数据包括地理空间信息、构筑物信息、城市部件、业务数据等，该数据具有多时态、多类型、多粒度级别、多来源等特点。也就是说，建筑数据不光数据量大，数据类型也多，同时还具有价值高、密度低、快速化的特点，需要对数据进行快速的处理和分析。有如此多特点的建筑数据驱动的建筑计算性设计，是未来建筑设计的必由之路。建筑数据还需通过以下方式进行完善：

1) 增加数据收集渠道。应该重点关注我们手上握有什么样的数据资源？我们的数据资源质量如何？缺少哪些数据资源？只有了解目前的数据资源情况，才能知道缺少数据的来源、获取方式，以及增加数据触点和收集渠道的方式。

2) 开放和共享数据。企业、学校、政府的内部数据互通是没有问题的，但这些机构间缺乏数据流通，同时也缺少其他领域的外部数据，如企业上下游供应链、物流等数据，这些都或多或少地影响着建筑数据的广泛性和真实性。

3) 数据设计替代经验设计。以往的建筑体量小，业务单一，建筑内部各专业管线可单独依赖人工经验进行设计。随着智慧城市的发展，建筑信息化水平日渐提升，建筑内对各专业需求增加，建筑体量庞大，光靠人为经验不能判断建筑设计后续10年，乃至更久时间的缺陷，这个时候就需要用数据设计替代经验设计。

建筑数据只有增加数据收集渠道，开放和共享数据，不断探索出更多真实、流动的数据，才会使数据变得有价值，才会推动建筑数据设计替代人员经验设计，使得建筑计算性设计走向正确的方向。有一些偏向传统设计教条主义的人员一直在和计算性设计竞争，但面对日益发展的城市数字化建筑产生的复杂数据，引入计算性思维来升级建筑设计是必然趋势。在建筑数据的驱动下，计算性思维与建筑设计融合成建筑计算性设计，为未来提供了一种学科交叉创新的建筑设计方法论。

未来的建筑设计将以数据驱动为基础，以专业知识为引导，以计算性设计为手段，在实时化、高效化、精确化及智能化的数据洞察和数

据计算下,运用人工智能等方法组织、融合、模拟、分析建筑数据,提炼出新的建筑设计知识,凝聚出新的建筑设计智慧,助力城市规划者提高设计效率和城市管理者优化设计流程。建筑设计将呈现“1+N+X”的模式(图5),即1个庞大的建筑数据体量,推动计算性设计融入建筑科学的进步,为N类城市建筑设计人员提供便利服务,赋能X种智慧建筑的场景模拟应用,从而改善城市环境、城市拥堵、城市安全等问题。

郭文波:近些年中国建筑业飞速发展,2021年中国建筑业总产值为29.3万亿元,同比增长11.0%,用“中国速度”和“中国高度”打造了“中国建造”名片。但是建筑业信息发展较慢,我国建筑信息化占总产值的比例仅为0.1%,信息化建设投入远低于发达国家的1%。近年来,国家加强建筑业信息化建设,在《2016—2020年建筑业信息化发展纲要》提出“增强建筑业信息化发展能力,优化建筑业信息化发展环境,加快推动信息技术与建筑业发展深度融合,充分发挥信息化的引领和支撑作用,塑造建筑业新业态”,可以看出国家对于建筑业信息化建设的重视程度。数字化时代,BIM(建筑信息模型)是建筑设计的必经之路,是行业转型升级的关键基础技术和数据底座,也是华艺打造一流设计科技企业的核心技术优势。

目前,BIM、AI、大数据、IOT、区块链等新一代技术推动建筑工程行业数字化技术发展。建筑工程企业围绕这些技术,根据企业自身发展需要进行技术打磨,并结合设计、成本、进度、质量、安全等项目场景进行全过程的数字化转型。通过云平台技术进行数据拉通,做到平台多模块集成,进行企业管理赋能,对设计、施工、运维进行一体化产品打造,完成生产阶段的数字化升级。2021年深圳市发布《深圳市人民政府印发加快推进BIM技术应用的实施意见(试行)》,充分发挥先试先行的原则,秉承敢为先的态度,推动BIM数字化及智慧城市发展。

本人出于对计算机和设计的兴趣,一直从事建筑设计、装配式、BIM技术等方面的研究工作。我于2008年开始BIM设计和技术研究,于2009年成为全国第一个BIM协会——深圳市工程行业BIM工作委员会的首任秘书长,推动“华艺”成为全

国最早启动BIM发展的企业之一;率先组织实施并主持了深圳市级和广东省级勘察设计行业BIM评优工作,它是国内首次官方系统建立的BIM评优工作;主编了国内第一本官方的BIM实施指引——《深圳市工程设计行业BIM应用发展指引》,致力于BIM数字化研究。对于建筑工程BIM数字发展,我有以下三个观点:

1) 大力发展自主可控国产软件,促进国产软件发展,搭建建筑业软件体系。现如今主流的BIM设计软件仍然是国外软件,但国外软件本地化程度不高,中国建筑工程各项要求与国外不一致等因素,影响了BIM技术的深入发展,进而催生出一系列基于国外软件的BIM插件产品,如鸿业、橄榄山、红瓦等。虽然有插件出现,但它还是受制于国外软件底层技术制约,可实现的本地化数据有限,这使得中国建筑业信息化发展受到制约。未来建筑工程行业数字化发展,必然要依托底层数据架构的自主性,国产软件发展势在必行。如今中国面对百年未有之大变局,国际形势复杂多变,这也更进一步要求建筑业国产软件实现自主可控。只有国产软件自主可控,才可打造建筑业自己的软件生态,解决BIM设计及全过程拉通的各项技术问题。

2) 建立各级标准化制度,完善标准化体系,夯实建筑工业化基础。标准化体系是建筑业实现工业化的基础,其中包含软件标准、数据标准、编码标准、模型标准、交付标准、构件标准、审查标准等。通过标准化引导实现业务梳理,明确产品结构标准化及软件建设方向,把底层技术做好,做扎实,保障信息的传递和使用。标准化建设是一个长期的事情,涉及各参与方、各角色方,它对于业务流程的梳理及整个建设体系都会起到优化作用。

3) 大力发展建筑工业化,推动绿色建筑体系,打造数字化建造体系。去年中共中央、国务院发布《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》,要求“构建绿色低碳循环发展经济体系,提升能源利用效率”。对于建筑业如何通过科技、数字化、绿色等方式减少碳排放是重中之重。通过BIM结合FM(设施管理),做到智慧楼宇的各项指标监控,结合数字化设计进行项目优化;通过各项构件的参数设置,对建筑的能耗进行实时监控;通过数字化设

计围绕建筑工业化、绿色建造,打造数字化建造体系,推动数字化产业互联网发展。

建筑数字化设计是未来发展趋势,通过数据拉通建筑全生命周期,让数字化业务成为业务发展的核心引擎,推动产业链向外扩展,全面完成员工数字化能力转变,形成全新的建造体系,使建筑更科学,更智能,更健康。

林再国:在数字化领域,现在国内被人们提到特别多的名词就是“参数化”,似乎这个词就代表了现在涌现的异形复杂的建筑设计和实现工具,由此引发了很多概念上的误解。我认为比较靠谱的对参数化设计的定义应该是将设计问题转化为逻辑推理过程的方法,核心理念是把影响建筑设计的多方面复杂因素都转化成函数的参数,通过算法函数的改变,为设计生成各种备选方案。参数化设计从这个定义来看,几乎任何建筑——无论规则的,还是复杂异形的都可以实现。那么为什么要用参数化呢?参数化的优势在哪里呢?

之所以大家看到大多数情况是在一些特别的建筑上应用参数化,是因为与规则形体设计不同,复杂形态建筑设计往往存在无法用工程设计经验套用的地方,其细部的复杂程度也超过了以往的工程,在很多情况下不能确保建筑方案形式结构受力的合理性。参数化设计的优势在于使用参数和程序来控制复杂形体的三维模型,使之可调、可控。而对于常规的建筑项目而言,这样的参数化所带来的效率、时间、成本优势并不会在本质上的区别。相反,对于设计逻辑性上要求“庖丁解牛”般的精细化,甚至会增加工作量。

国内建筑领域参数化设计作为工具的应用较多,按照应用程度大体可以分为形态的逻辑生成(或对概念方案的深化)、建筑体型的逻辑优化、结构设计和表皮构造设计等方面。利用建筑参数化变成技术生成无法逐一绘制的技术信息,实现设计成果的矢量化与精确化,以及智能化的调整和修正,优化工程生产,建造运行工序,完成常规技术无法实现的设计成果。

1) 形态生成的逻辑性。如果是能够被规则数学公式所描述的形态,建筑细分构建的标准化就会比较高,利于降低成本。整个设计无论是修改,还是调整,其高效率会被提升至另一个层级上。如果是完全自由异形的建筑复杂曲面,需要

- 5 “1+N+X”的现代化城市治理新模式
- 6 几何控制和优化在丽泽SOHO中的运用
- 7 Volu Pavilion将形式与结构整合设计



5



7



6

根据每个具体形态规则对其进行适度的优化，以适应建造，以某种特定的逻辑或标准优先级作为考量的因素。在这种情况下，精确度可以得到非常好的保证（图6）。

2) 建筑形式和结构的整体设计。在自然界漫长的生物进化历程中，生命体的形式一直都和其结构体紧密结合在一起。在目前的建筑设计过程中，建筑师和结构工程师因为种种原因常常是一种脱离的关系，有时候往往还互相较着劲儿。当遇到一些超大尺度的建筑物时，建造过程就会更加具有挑战性，结构的表观力也往往决定了整个建筑的核心要素。参数设计可以实现结构与建筑的协同设计。空间结构计算与建筑形态的变化产生关联性，能够将建筑形式的结构合理性进行实时反馈，显著提高设计效率。从自然本源来看，设计之初就应该将结构体系、构造节点（施工误差的容错率）、材料细部作为基本的参变量，融于形态和表皮的生成机制中（图7）。

3) 表皮体系的细化分格设计。在形体复杂的建筑中，外幕墙的技术处理成为关键，对细部的控制精度要求远远超过以往的工程。参数化应用是有效解决幕墙系统设计的途径，主要应用在幕

墙模块的划分（根据边界条件构造出光滑流畅、满足造型要求的单元）、定位（采用空间数据定位的方式，可以和厂家实现无缝对接）及优化（大小、受力性能等）等方面。目前由于工程需要，这方面的发展速度已经大大超越了以上两个方面，我们可以看到越来越多的参数化表皮咨询和深化团队的崛起。

虽然应用参数化设计的项目越来越多，但是其在国内的应用程度具有很大的局限。这并不能代表它的全部内涵，也并不意味着这些应用参数化而完成的项目在参数化设计上走得有多么远，我们要学会思想独立，用批判的眼光来看待一些现象和设计。

无论是参数化设计，还是具有更广泛意义的数字化设计，其所带来的对传统建筑设计的影响和冲击是方方面面的，不胜枚举。这是一个开放性的话题，使用“秩序”和“自由”两个词来讨论不失为一个很好的角度。样条曲线的方程式使得建筑师仅通过几个控制点就能描绘出自由的复杂形式；由参变量控制的建筑形体可以在几秒钟内获得数千备选方案；BIM三维模型意图整合整个建筑产业链，使各个专业交互变得更自由。这

些表面看来似乎都是技术革命带来的工作效率提高，提升了设计者的自由度，让设计者将精力集中在更重要的事情上。新自由不是指复杂的自由形式，也不是指设计自由，而是数据驱动和算法（可以理解为秩序）相互作用的化合物。

从功能学角度看，任何运转良好的事物最终都会被认为是美的事物。在许多关于美的经典定义中都提到了秩序感这一通用不变的因素。古人讲：“万物皆有道。”现代数学家和科学家通过孜孜不倦寻找自然界的“秩序”，而不断刷新人类对世界的认知与理解。自然界永远都是我们的老师：最初的艺术师通过高超的模仿手法再现了各种各样美的事物；科学家则通过层层剖析其中的机制，通过量化的原理来对自然界进行模拟。前者通过个体的天赋和锻炼获得，后者可以沉淀为知识并不断迭代进化。现在所能看到的、被破译的算法只是屈指可数的，如泰森多边形、分形、细胞自动机、L系统等，未来还会有更多算法被发现和破译。这些算法更像是形式的基因——如同生命体一样，具有相同基因的母体会衍生出特征极其相似的结果。这会是设计发展的未来吗？■