

数字建造

第4章 基于模型定义的工程产品

陈维亚

weiya_chen@hust.edu.cn

问题

1. 是否了解CAD、BIM等概念?
2. 是否会用至少一种常见的建模软件?

【基本概念】

基于模型的产品定义 (MBD)

MBD与工程设计

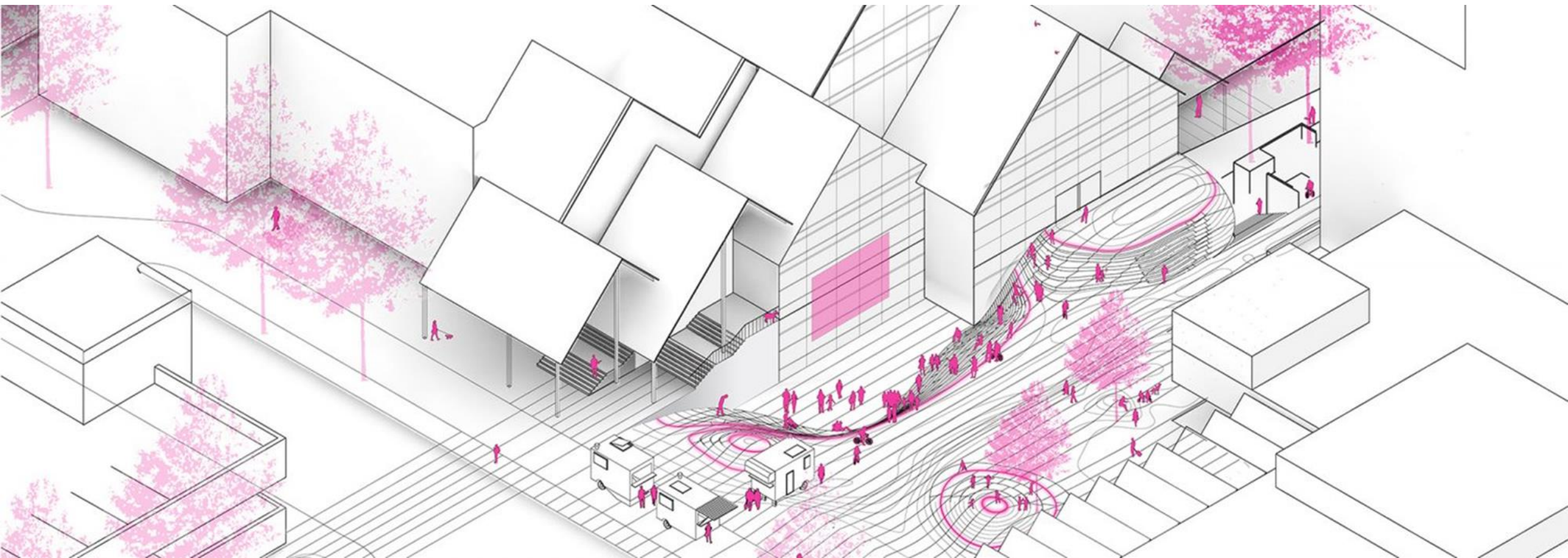
【主要模块】

方案设计

性能优化

审查评价

工程管理



【基本概念】

基于模型的产品定义 (MBD)

MBD与工程设计

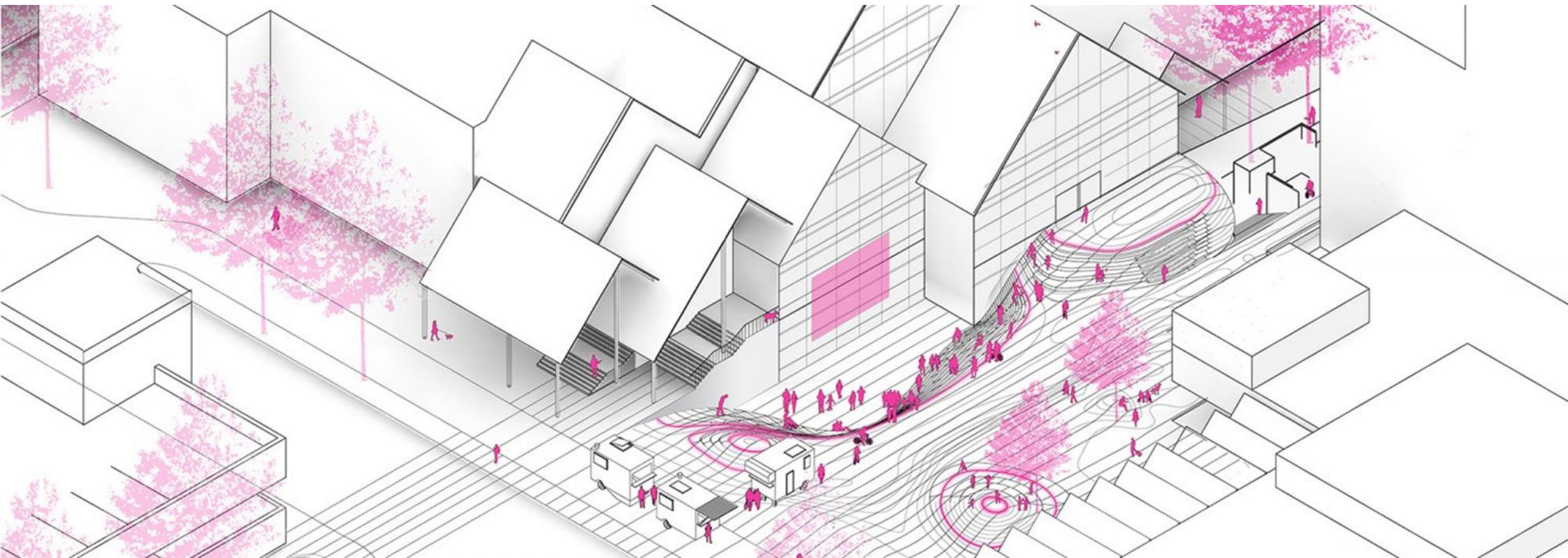
【主要模块】

方案设计

性能优化

审查评价

工程管理



1. 基于模型的产品定义 (MBD)

□ 工程设计面临的挑战

工程设计本质是一个复杂问题求解过程， 需要进行一系列权衡与决策。

- 独特性与社会性
- 约束性与创造性
- 艺术性与科学性
- 专业性与综合性

不仅如此， 工程建造活动的易变性（Volatility）、 不确定性（Uncertainty）、 复杂性（Complexity） 和模糊性（Ambiguity）， 也给工程设计者带来巨大挑战。

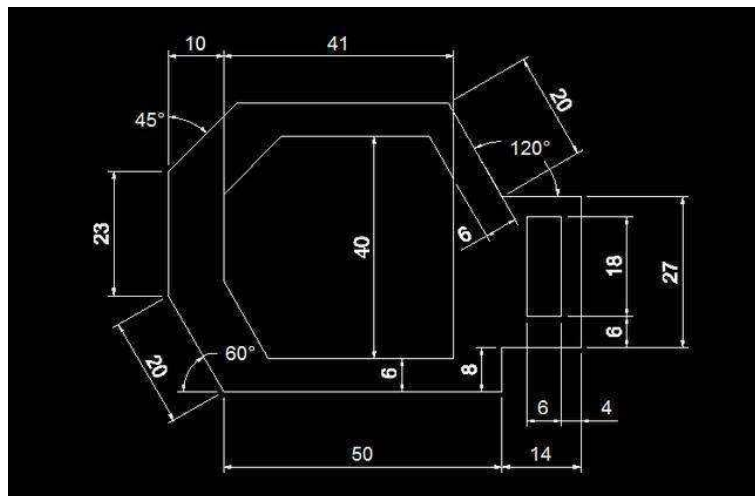
1. 基于模型的产品定义 (MBD)

□ 二维图样的局限

以“平、立、剖”为核心的二维工程图样，是工程界沿用至今的产品定义语言，它是在1795年法国科学家蒙日构建的画法几何理论基础之上，逐步规范建立起来的。

在 CAD 的发展应用过程中，计算机技术也在工程分析、辅助生产以及组织管理领域显现出巨大的应用价值，各种专业应用技术体系逐渐建立起来。例如，利用NURBS、贝赛尔曲线等模型，人们得以突破传统的线性束缚，精确地表达更为复杂的非线性曲面造型；利用有限元分析软件对产品物理性能（如力学、光学、声学等方面）进行直观、系统分析，逐步形成计算机辅助工程（Computer Aided Engineering, CAE）体系。

面向产品生产过程，工艺设计人员可以利用相关软件进行工艺方案设计、计算机辅助工艺规划（Computer Aided Process Plan），如工程建造中的施工深化设计；在某些机械化、自动化程度较高的工艺环节，将相关设计工艺转化为数控指令集合，直接驱动机械设备按设计工艺进行高效率自动化生产，发展形成计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）体系。



1. 基于模型的产品定义 (MBD)

□ 二维图样的局限

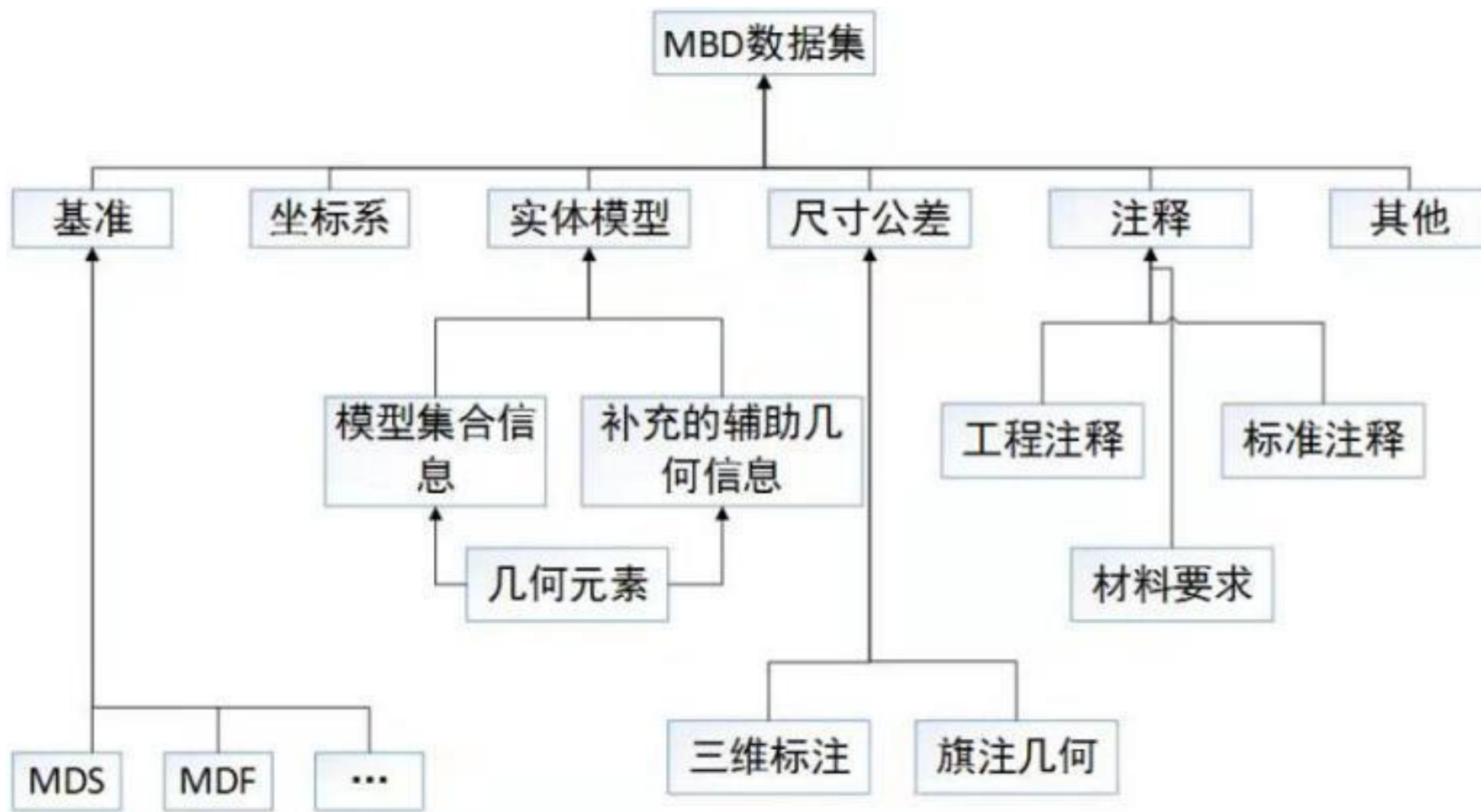
依据上述设计成果构建

- 产品数据模型 (Product Data Model, PDM)
- 管理人员可以进一步生成物料清单 (Bill of Material, BOM)
- 制订生产资源计划 (Manufacture Resource Planning, MRP)
- 企业资源计划 (Enterprise Resource Planning, ERP)
- 实现企业与企业之间协作的供应链管理 (Supply Chain Management, SCM)

- 难以高效率表达和管理复杂空间对象
- 无法有效支持多主体协作
- 不利于实现工程全寿命周期管理

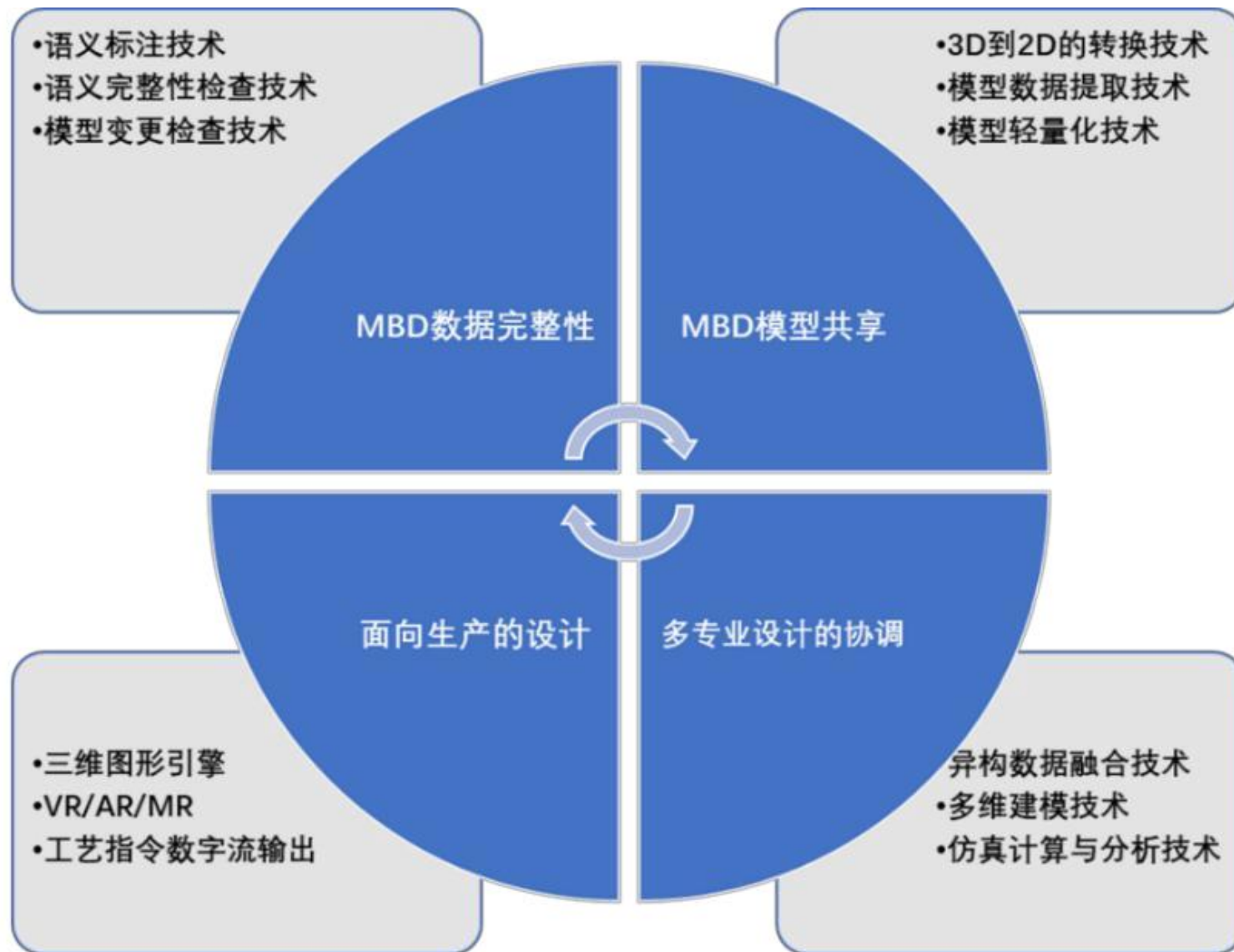
1. 基于模型的产品定义 (MBD)

□ 基于模型的产品定义 (Model Based Definition, MBD)



1. 基于模型的产品定义 (MBD)

MBD 相关技术应用



【基本概念】

基于模型的产品定义 (MBD)

MBD与工程设计

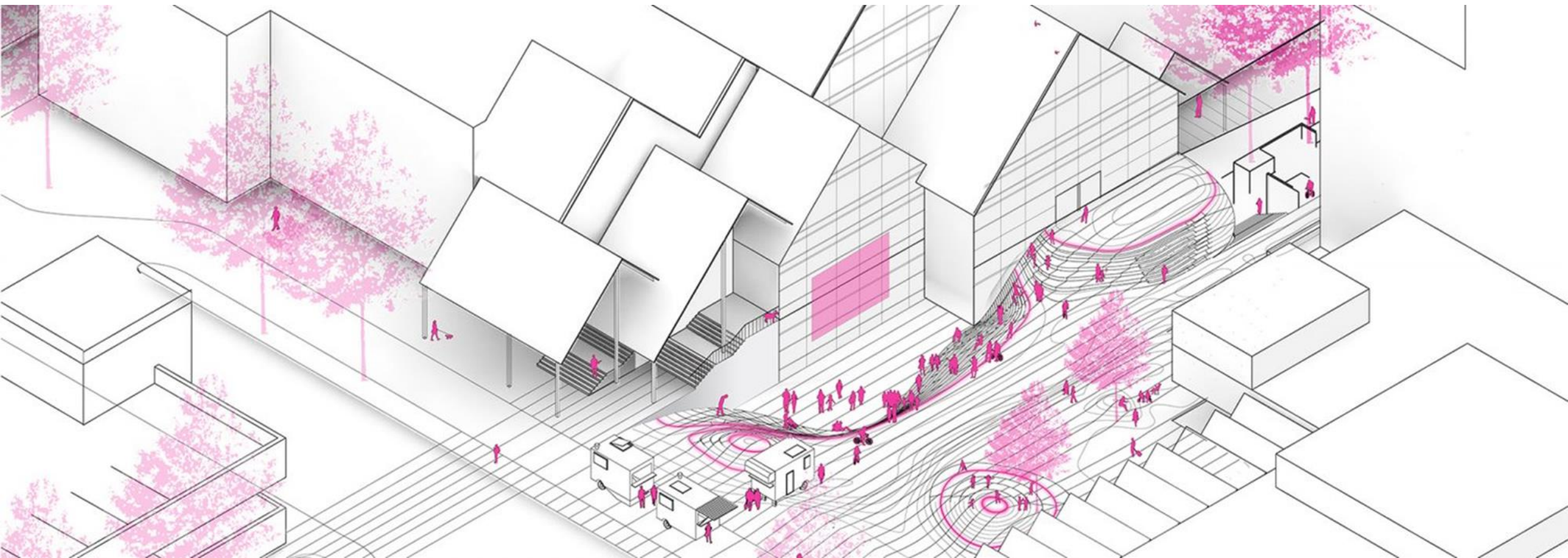
【主要模块】

方案设计

性能优化

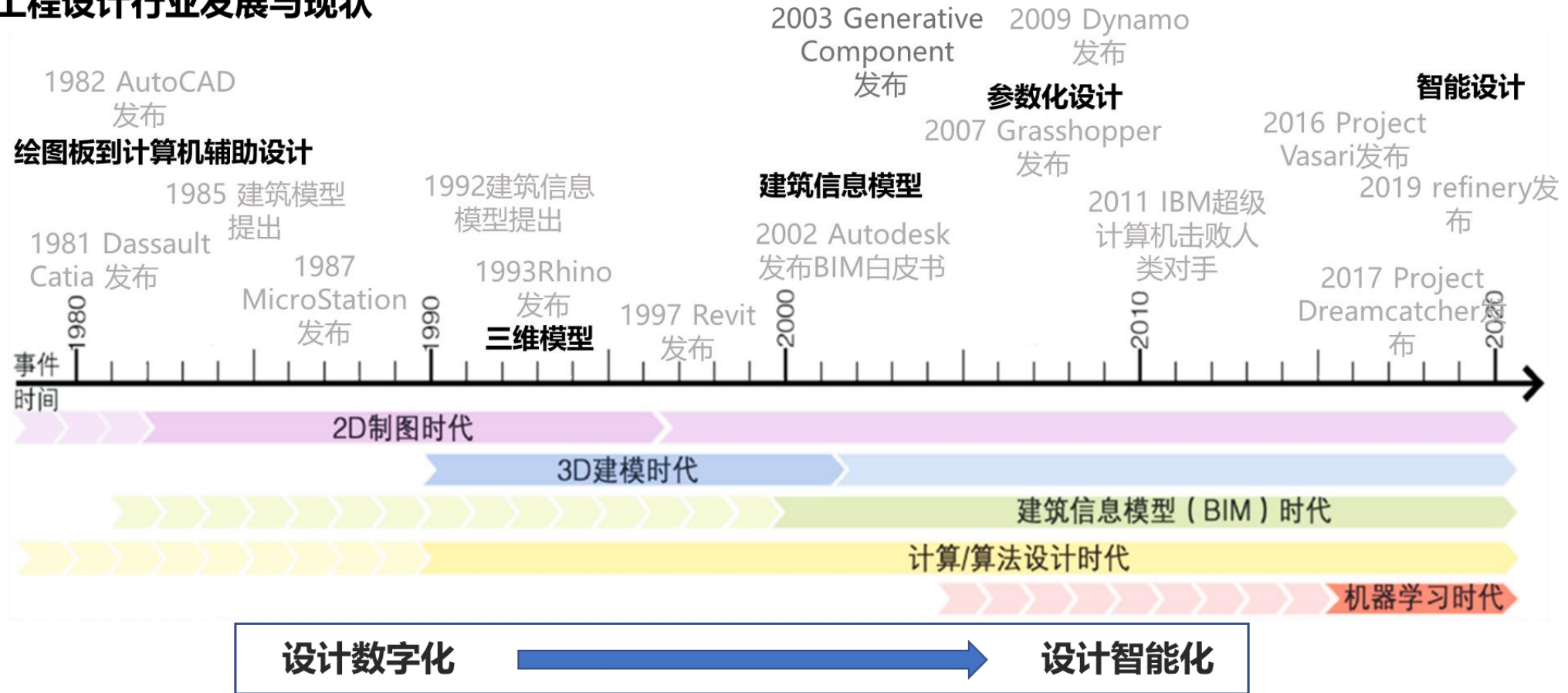
审查评价

工程管理



2.1 MBD 在工程建造领域的发展

工程设计行业发展与现状



2.1 MBD 在工程建造领域的发展

- 1975 年， Chuck Eastman 提出了 “建筑描述系统” (Building Description System, **BDS**) 概念
- 上世纪 80 年代初， 匈牙利Graphisoft 公司提出了 “虚拟建筑” (Virtual Building, **VB**) 概念， 并以之为指导， 开发了ArchiCAD 系列软件
- 美国 Bentley 公司则提出 “单一建筑信息模型” (Single Building Model, **SBM**) 概念， 并将其融入建筑专业建模软件 Bentley Architecture 以及跨专业建筑信息建模软件 AECOsim building designer 的开发中
- 2002 年， Autodesk 公司收购 Revit， 提出了 “建筑信息模型” (Building Information Modeling, **BIM**) 概念， 在行业内掀起了模型化变革浪潮。

2.2 工程设计的数字化思维

- 产品的价值载体正在从“以硬件物质为主”转变为“**以软件服务为主**”，设计对象不再局限于传统意义上的产品几何形态和性能，而是人们在工程空间中能获得的各种场景化服务。
- 正如赫伯特·西蒙所说，工程设计本质上是一个病态问题（wicked problem），难以完全采用结构化、形式化的逻辑进行定义。
- 计算机不仅仅是扮演辅助工具的角色，而是可以与设计师进行互动协作的**主体**。
- 在虚拟现实、增强现实以及混合现实等技术的支持下，利用 MBD 在数字世界里建构的工程数字化产品，虚实对应，虚实融合，最终将形成人脑与电脑相结合的数字设计思维模式。

2.3 MBD 激活工程设计群体智慧

要激发群体智慧，需要满足三个基本条件：**连接、流动性和多样性。**

MBD 以各方参与者都认知且认可的三维模型为基础，所有参与设计的个体都能从对方交付的成果中找到自己的角色位置，为多主体的连接提供可能；

在计算机和网络的支持下，各主体相互之间进行想法沟通和成果共享变得非常便利，确保设计中的流动性；

借助轻量化技术，各主体可以专注于工程整体设计中自身所关注的部分，其设计思维也将得到前所未有的拓展和释放，保证工程设计中所需的多样性。

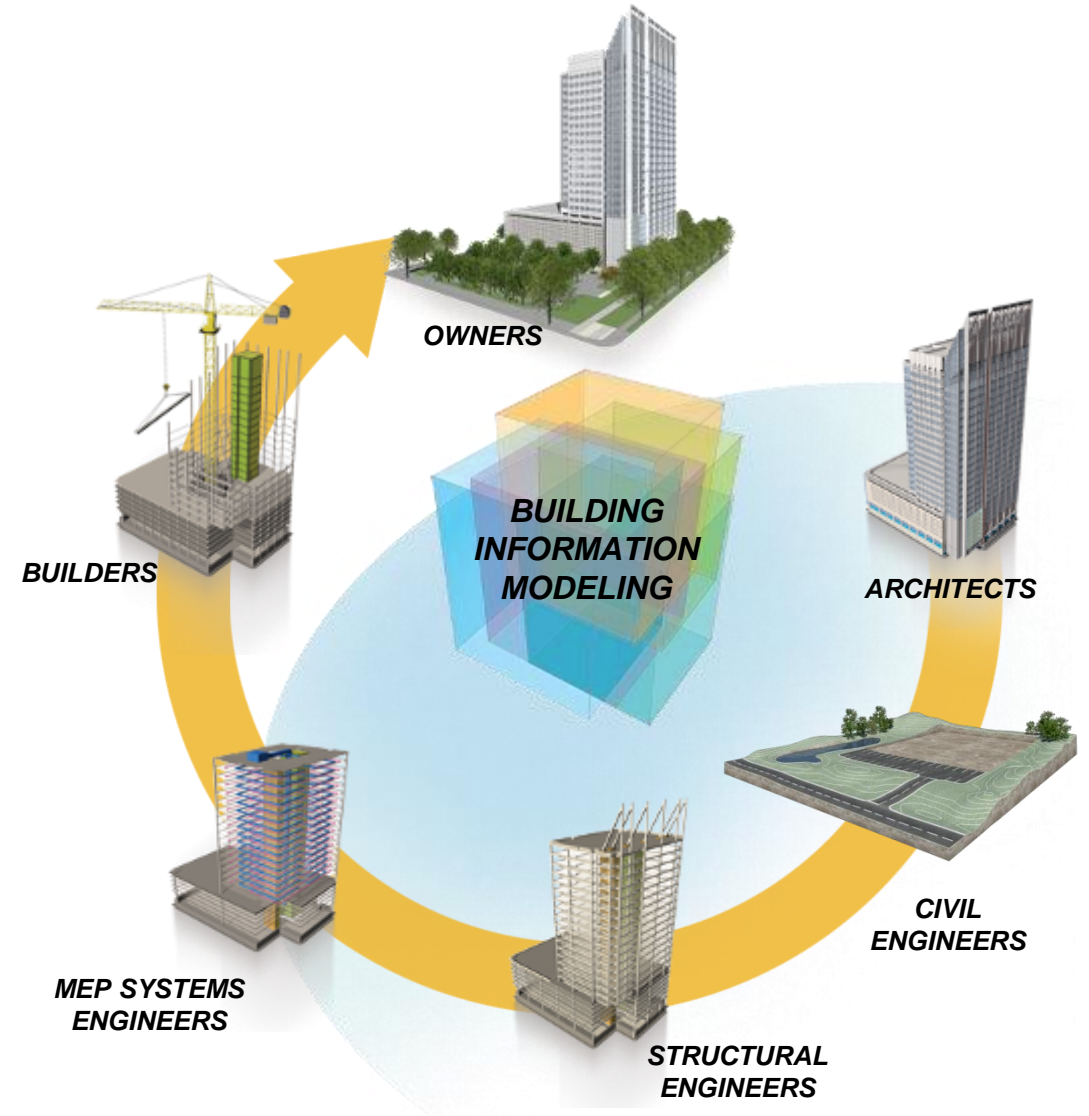
2.4 基于模型的工程设计成果表达

- MBD 的设计成果不再是一张张平面图纸，而以“**所见即所得**”的可视化方式展示。
- 在设计数据模型集中，包含着众多的设计信息，可以进行数据浏览、提取和利用，也可以在特定情况下导出为二维图纸。还可以方便地对工程产品的性能进行多角度的计算分析与虚拟仿真，实时获取综合评价指标值，并以直观易懂的方式展现出来。
- 需要更新调整时，只需要调整所关注的参数，与之相关的其他变更可全部由计算机模型和算法完成，从而高效率地实现**设计成果的版本更新**。
- 基于模型的定义所完成的工程设计成果，是一个丰富的**数据模型库**，其应用范围可以涵盖工程全生命周期的各个阶段，可以按照设计成果**直接驱动**数字化的工程机械；
- 可以通过不断更新工程数据模型库，记录整个工程建造的过程信息，未来也将运用到工程设施在竣工交付后的**运营服务**阶段，作为工程维修保养、更新改造和拆除的依据。

2.5 BIM

BIM is an integrated workflow built on coordinated, reliable information about a project from **design** through **construction** and into **operations**.

- 为什么 BIM 在国外发展得这么好，在国内却很难？
- 建筑人告诉你 BIM到底要不要学
- BIM，在中国还能活多久？
- BIM 会代替现在的 CAD 出图吗？
- BIM的骗子们是如何骗人的呢？



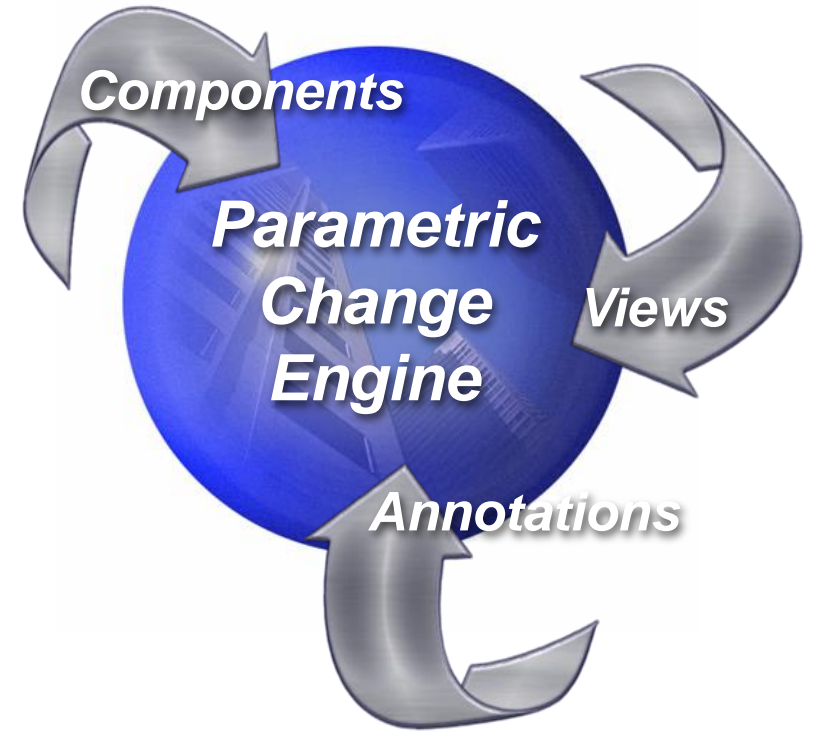
2.5 BIM

- How does Revit know that an element is a wall or a door, when both elements are of the same shape (e.g. rectangle)?

Model	Elements such as walls, windows, doors, and roofs that help in the 3D representation of the building design.
Annotation	Elements such as dimensions, tags, and elevation symbols that establish context or add supplementary information to document a building design.
View	Elements such as plans, elevations, sections, 3D views, and schedules that dynamically represent the parts of a building model.

2.5 BIM *Parametric Relationships*

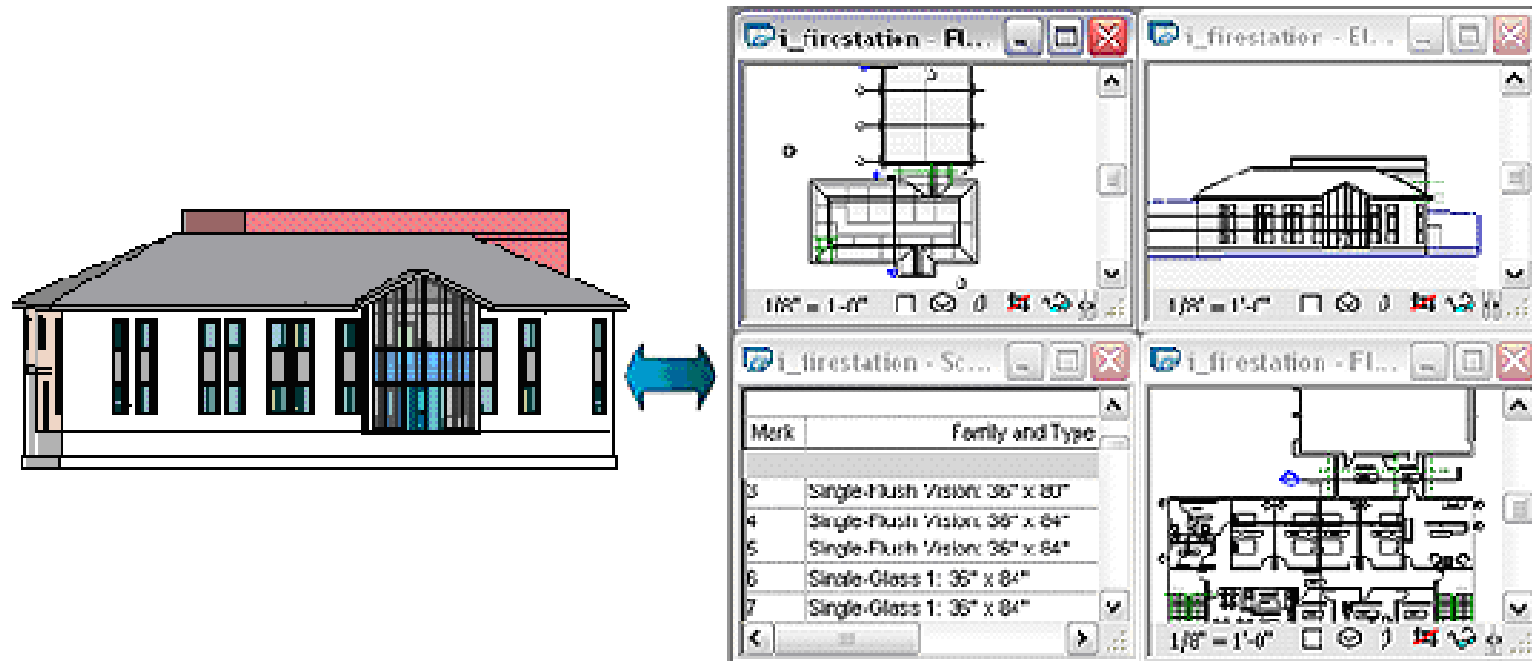
- Relationships among the elements in a building model.
- Enable the software to **coordinate and manage** the changes made to the building model.
- Created automatically by software, or created by the user.



2.5 BIM *Bidirectional Associativity*

Definition: Changes to any part of the design are immediately reflected in all associated parts. Bidirectional associativity is applied automatically to every component, view, and annotation

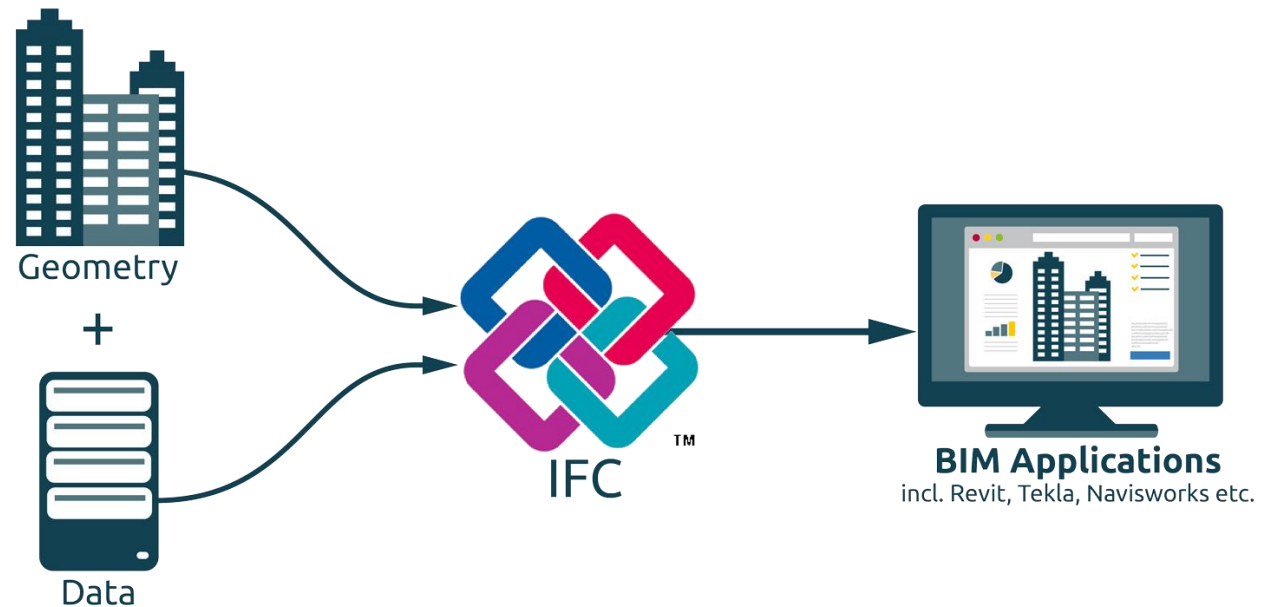
Example: A change in the dimensions of a wall is reflected in all elements such as windows, doors, ceilings, and electrical outlets.



2.5 BIM

为了支持专业建模与应用软件之间的通讯与协作，早在上世纪 90 年代中期，由美国 12家公司组建的 IAI 组织（后更名为 Building SMART），以 AutoCAD13 的 ARX 系统为基础，发布了行业基础类（Industry Foundation Class，简称 IFC）信息交换格式。

这些标准为工程建造“从建模走向用模”提供了有力支持。



2.5 BIM

- IFC——Industry Foundation Classes (工业基础类)
 - 开放的建筑产品数据表达与交换的国际标准
 - 制定和维护机构：国际组织IAI (International Alliance for Interoperability, 国际互用联盟)，现已改名为buildingSMART International (bSI)。
 - 1997年1月发布IFC1.0版
 - 2013年3月，bSI组织发布了最新的IFC 4版
 - IFC 已成为国际标准ISO 16739-1: 2018
 - IFC 4版在参数化设计方面强化了对NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) 曲线和曲面等复杂几何图形的支持
 - MVD (Model View Definition, 模型视图定义) 方法已经被正式确定为IFC标准的一部分

<https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>

2.5 BIM



Infraworks Demo

智能设计：以计算机为载体，以人工智能算法辅助甚至替代设计

智能设计研究体系

输入
业主需求



方案设计



性能优化



合规性审查



输出
满足施工、运维
的工程方案

设计方法

A. 生成设计

工程专项建模/规划理论
人机交互技术
优化/机器学习

B. 智能审图

自然语言规则自动解析
BIM语义化查询
BIM构件空间推理

C. 设计协同

建筑、结构、电气、给排水
多专业BIM协同工作平台

支撑技术

基于模型定义的工程产品

(模型驱动的数据融合)
BIM/GIS/CIM

性能化仿真技术

结构、绿建、防火、噪声等

图形引擎技术

几何引擎
渲染引擎

环境与建筑空间重构技术

测绘遥感
三维视觉

云计算与大数据技术

分布式计算与存储
数据检索

XR交互与可视化技术

VR/AR

设计模型构建

多维仿真计算

可视化视图

【基本概念】

基于模型的产品定义 (MBD)

MBD与工程设计

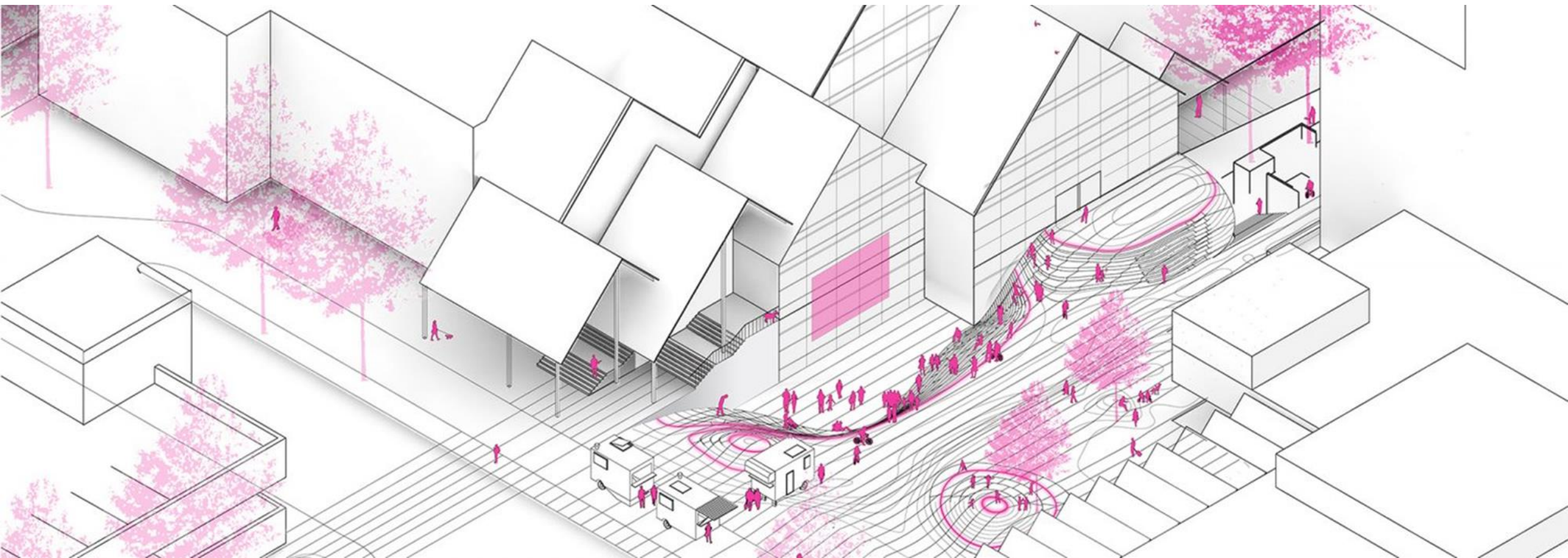
【主要模块】

方案设计

性能优化

审查评价

工程管理



3.1 参数化设计 *Parametric Equation*

$$x^2 + y^2 = a^2$$

can be parametrized by using a free parameter t , and setting

$$x = a * \cos(t)$$

$$y = a * \sin(t)$$

In mathematics, parametric equation is a method of defining a relation using parameters.

http://en.wikipedia.org/wiki/Parametric_equation

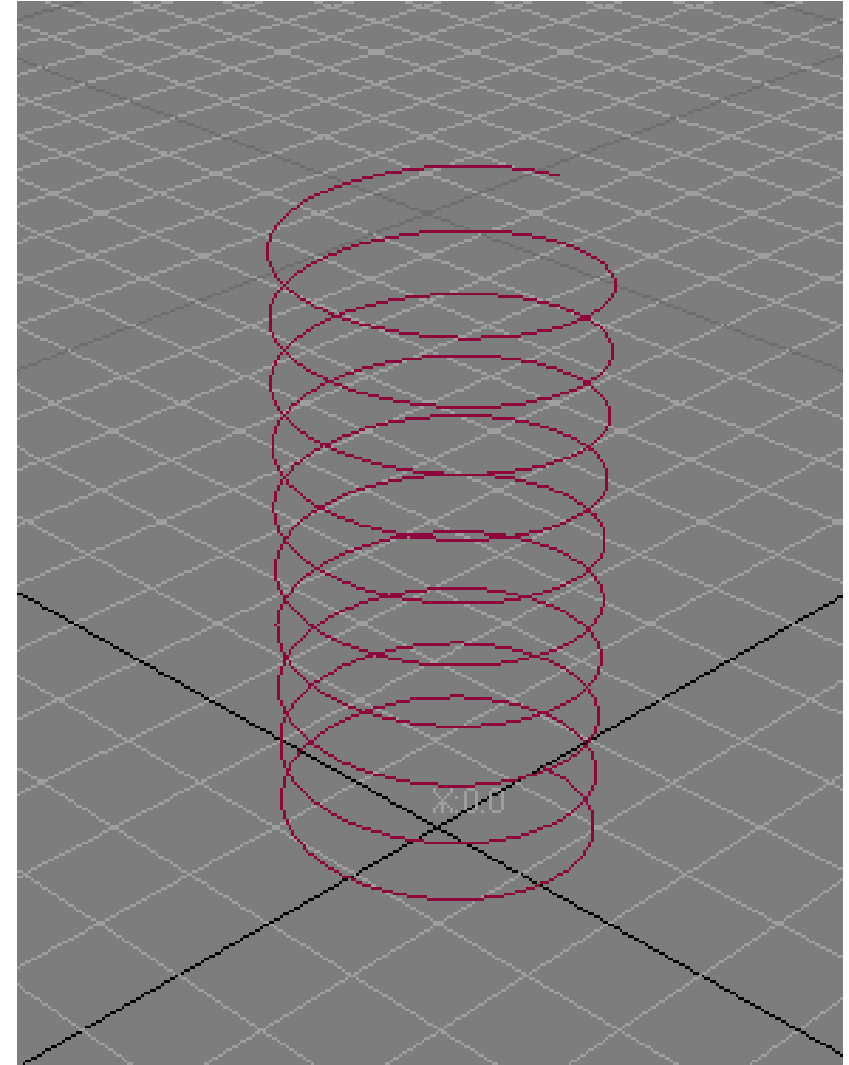
3.1 参数化设计 *Parametric Equation*

$$x = a * \cos(t)$$

$$y = a * \sin(t)$$

$$z = b * t$$

What is this visually?



3.1 参数化设计

Parametric Morphing

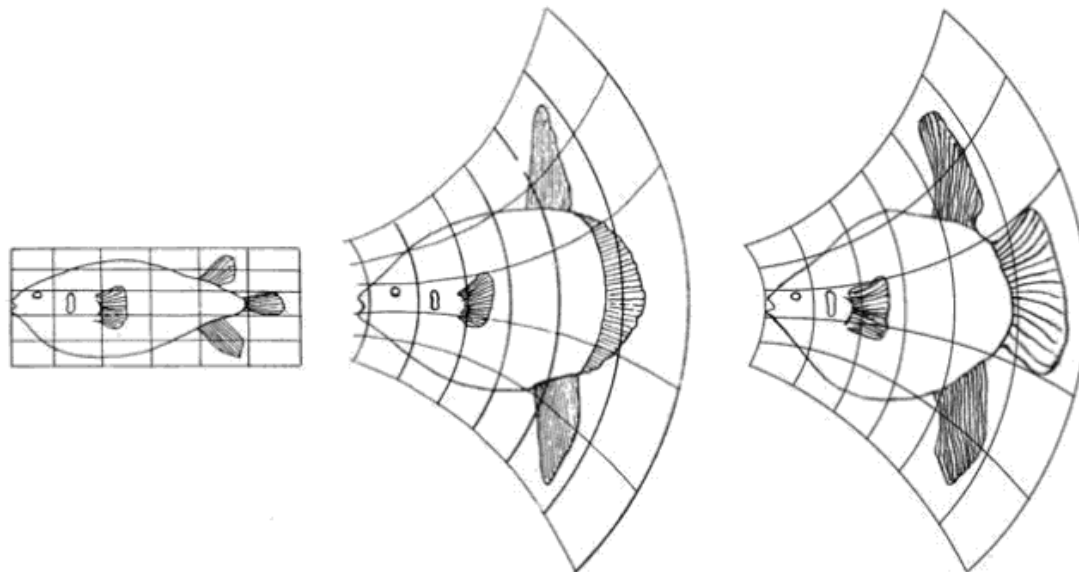


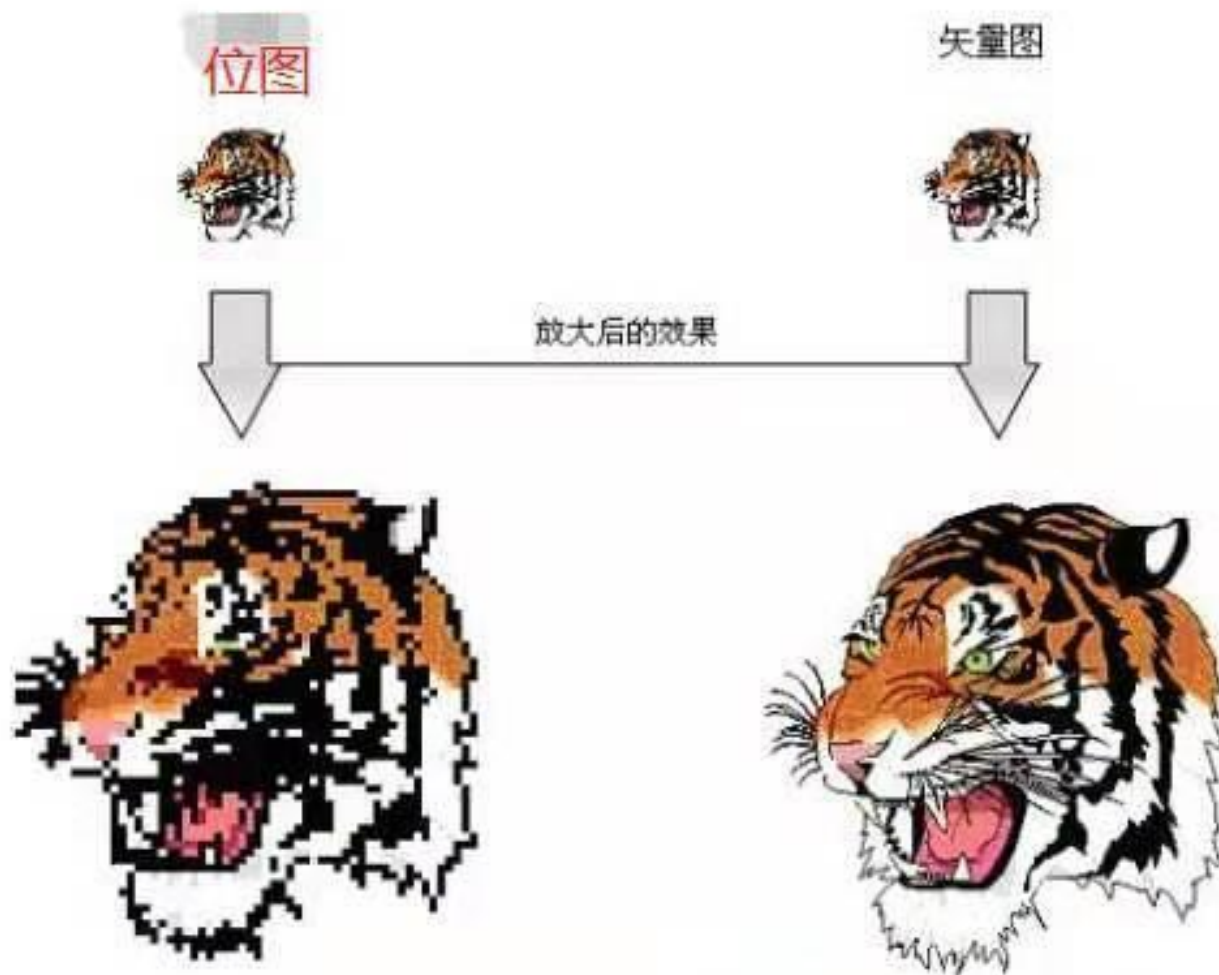
Figure 9.37 Thompson's growth transformation (Diodon left, Orthogoriscus middle, transformed Diodon right)

On Growth and Form, 1942,
D'Arcy Thompson

$$x \rightarrow a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy = u$$

$$y \rightarrow b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4y^2 + b_5xy = v$$

3.1 参数化设计



3.1 参数化设计 *Parametric Modeling*

Parametric Modeling is a general methodology for defining models with **constraints** and variable **parameters**.

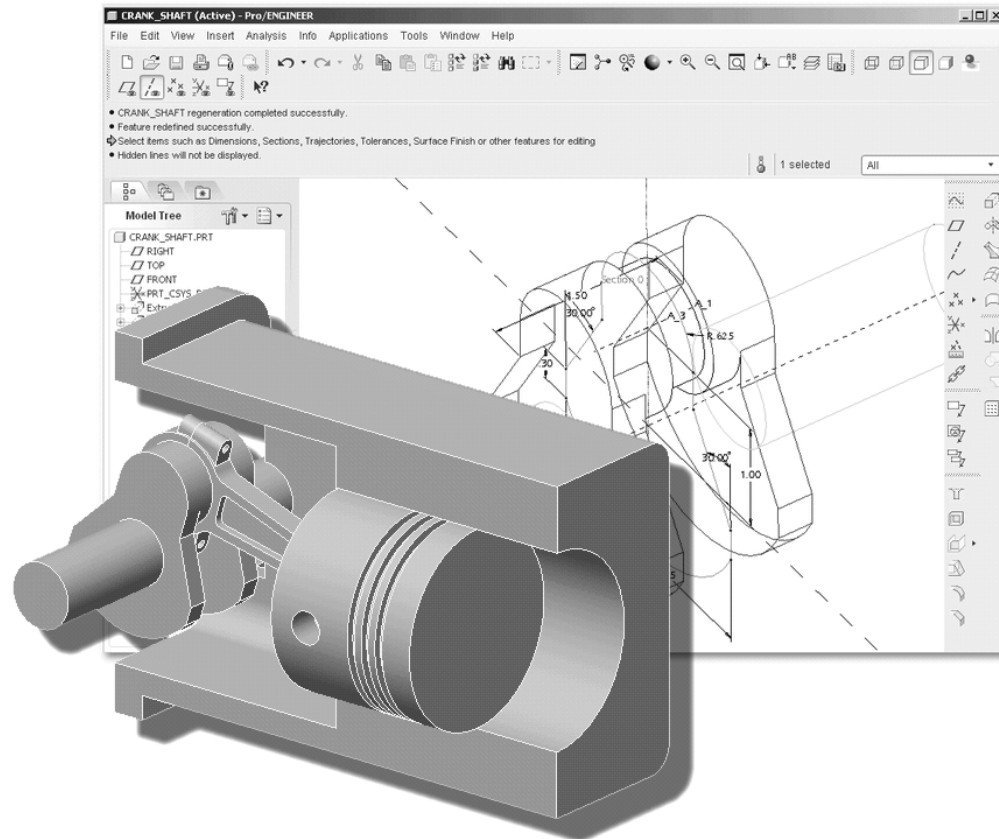
Change of Design Method

- Parameterization is about designing a system that designs a building (Stocking 2009)
- From designing one solution to designing a system to generate multiple solutions
- Optimization through simulation and analysis with the multiple solutions

3.1 参数化设计

Parametric Modeling

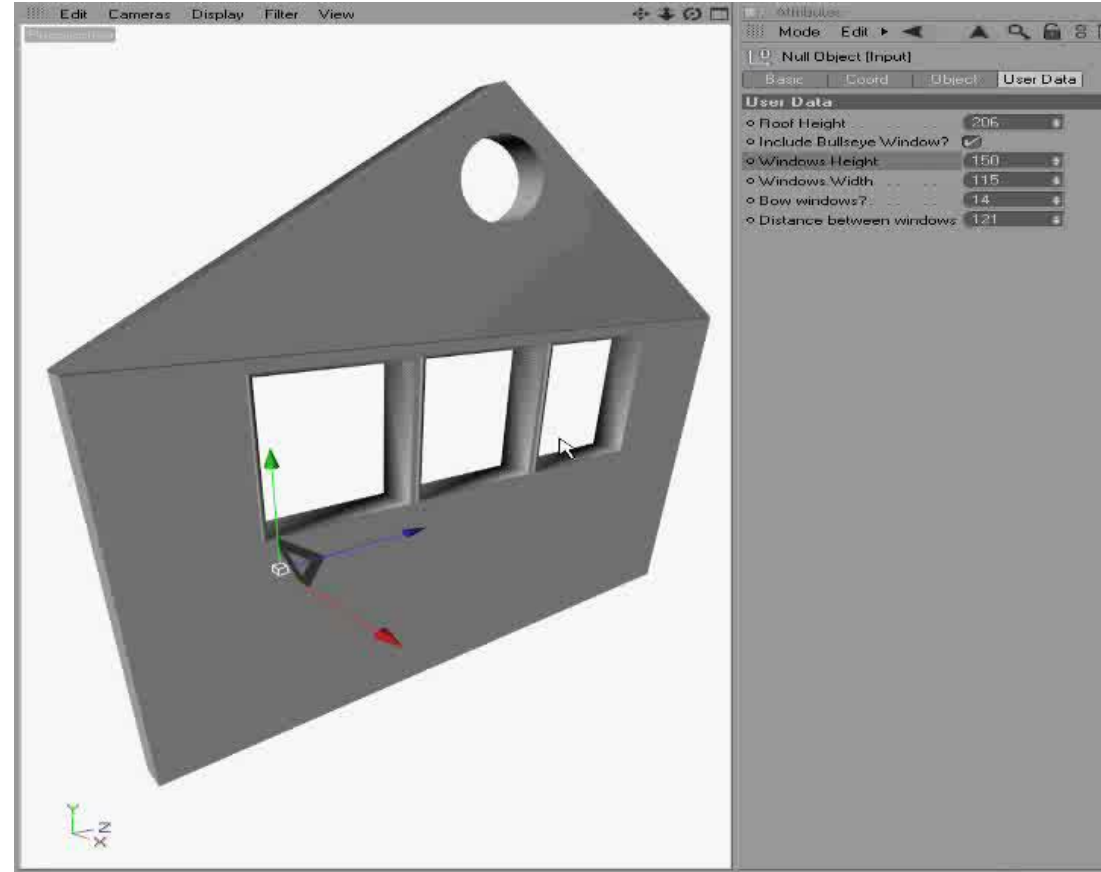
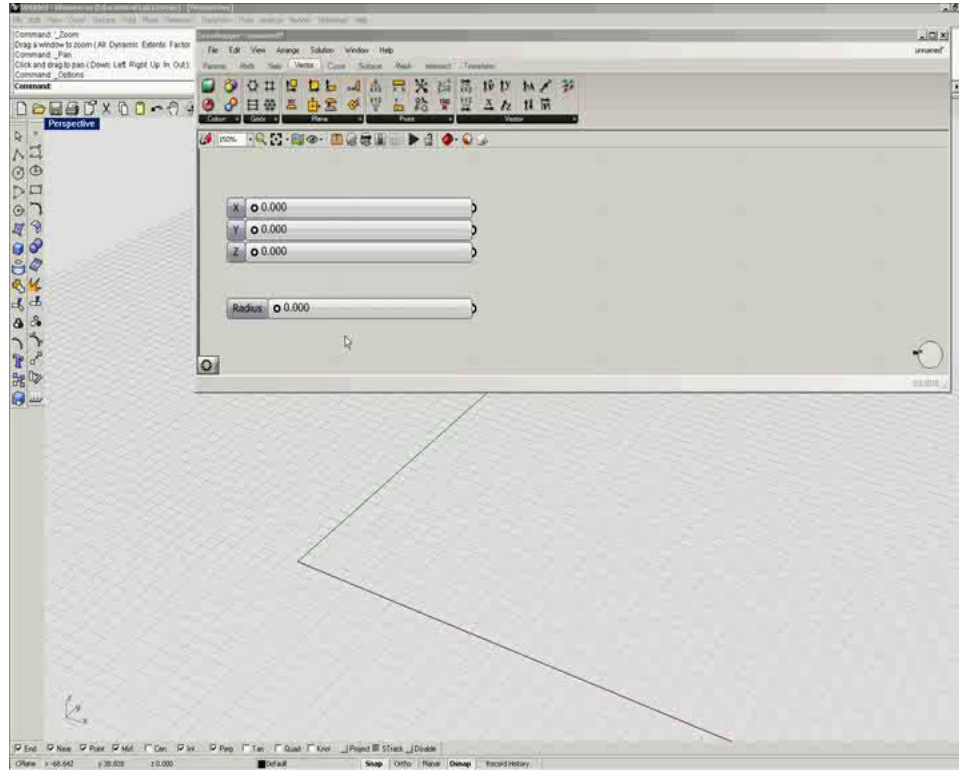
- Parametric Modeling in Mechanics



3.1 参数化设计

Parametric Modeling

参数化设计指的是通过定义参数的类型、内容并通过制定逻辑算法来进行**运算、找形**以及**建造**的设计控制过程。



其基本思路是把影响设计的主要因素组织到一起，找到某种**关系或规则**，形成**参数化模型**，将工程设计的**全要素**变成某个函数的变量，并利用计算机语言进行描述，借助计算机图形引擎将参量及变量数据信息转换成图像。

3.1 参数化设计 *Benefits*

- Design intent is implemented through parameters and rules
 - Room area / exit width constraint for fire egress
- Parametric design can generate building forms from physical parameters
 - Site, shape and orientation of buildings, energy resource, constructional assembly, etc., which present the greatest value of parametric design for sustainable buildings (Caplan 2011).
- Optimization algorithms with parametric modeling
 - Genetic Algorithm (GA) for optimizing the PV systems (Charron & Athienitis 2006; Kalogirou 2004; Wright et al. 2002).
- Generative design is going main stream in architecture
 - Creative, free form buildings are designed using parametric design methods, e.g. Beijing Olympics Stadium and the Beijing National Aquatics Centre (Stocking 2009).
 - High rise building design also starts to utilize parametric methods (Park et al. 2004; Gane & Haymaker 2007).

3.1 参数化设计 *Benefits*

参数化设计传承了**非线性涌现思维**，强调利用新的软件工程方法延伸人的思维，将设计师从繁琐的计算和绘图中解放出来，但是仍然**将人视为设计成败的关键**。

基于模型的定义（MBD）与参数化设计相结合，设计师可以在工程设计的任何阶段，通过参数的调整对工程设计**形态和性能**进行控制，从而实现更大范围和更高效的参数化设计应用，如将参数化设计应用于非线性建筑形体与结构体系的交互设计、内外空间的结合设计、表皮参数化、模型化以及设备管线设计与综合优化等。

3.1 参数化设计 *Benefits*

“建筑不是砖头瓦块（土木），也不是雕梁画栋（美术），即合用，坚固，美。”

-梁思成
1931年写给中国第一批建筑系毕业生

拿回一些本属于建筑师的权力。

-Ming Hu

3.1 参数化设计

Parametric modeling applications

- *Revit*
- *Bentley GenerativeComponents*
- *Graphisoft ArchiCad*
- *Digital Project*
- *Vectorworks*
- *Rhino with Grasshopper3D*







国家雪车雪橇中心

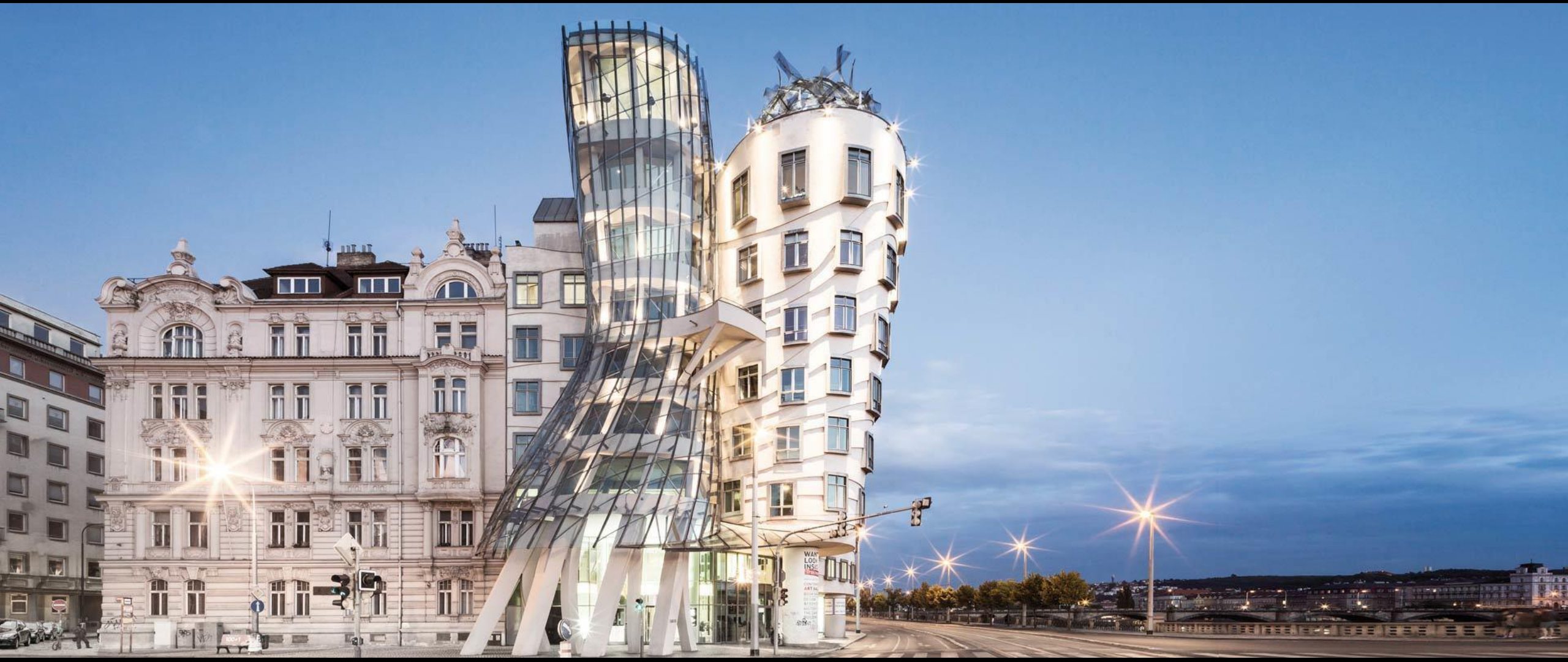


首钢滑雪大跳台



跳舞的房子 (Dancing House) 地点: 捷克共和国 布拉格

想看建筑跳舞吗? 1945年布拉格市遭到轰炸, 一座19世纪的建筑被毁。几年后, “跳舞的房子” 取代了它的位置。该建筑始于1994年, 由克罗地亚捷克建筑师Vlado Milunic和加拿大建筑师Frank Gehry共同设计。



CASTLE IN THE SKY Futuristic City 01

大胆构建的空中海绵城市综合体既能够完整保留底下老街区的原貌，同时又能为街区的居民和空中创客社区的人群提供在未来弥足珍贵的湿地，通过恢复本土生态，为野生动物营造更多的空间空间，实现环境的可持续。



CASTLE IN THE SKY Futuristic City 02

大胆构建的空中海绵城市综合体既能够完整保留底下老街区的原貌，同时又能为街区的居民和空中创客社区的人群提供在未来弥足珍贵的湿地，通过恢复本土生态，为野生动物营造更多的空间空间，实现环境的可持续。



《天空之城》

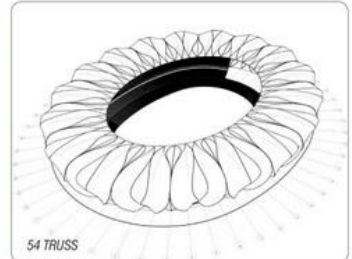
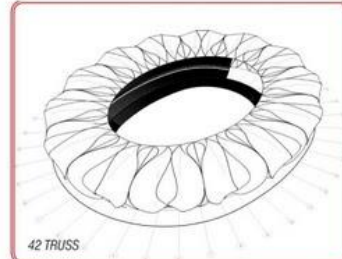
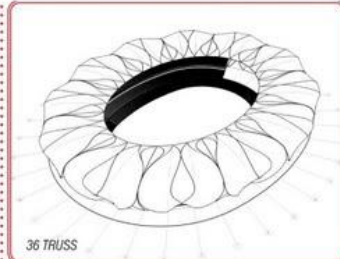
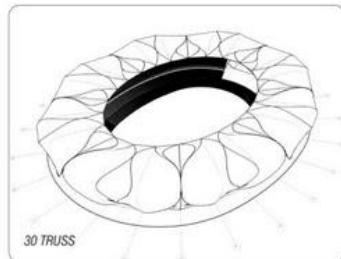
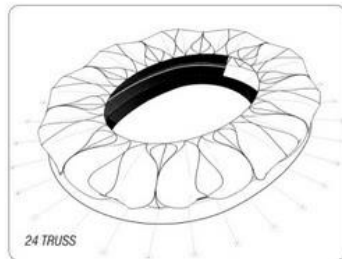
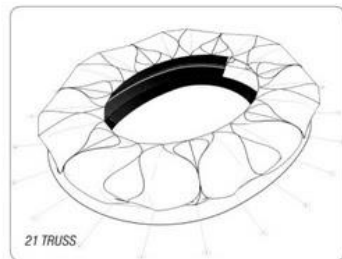
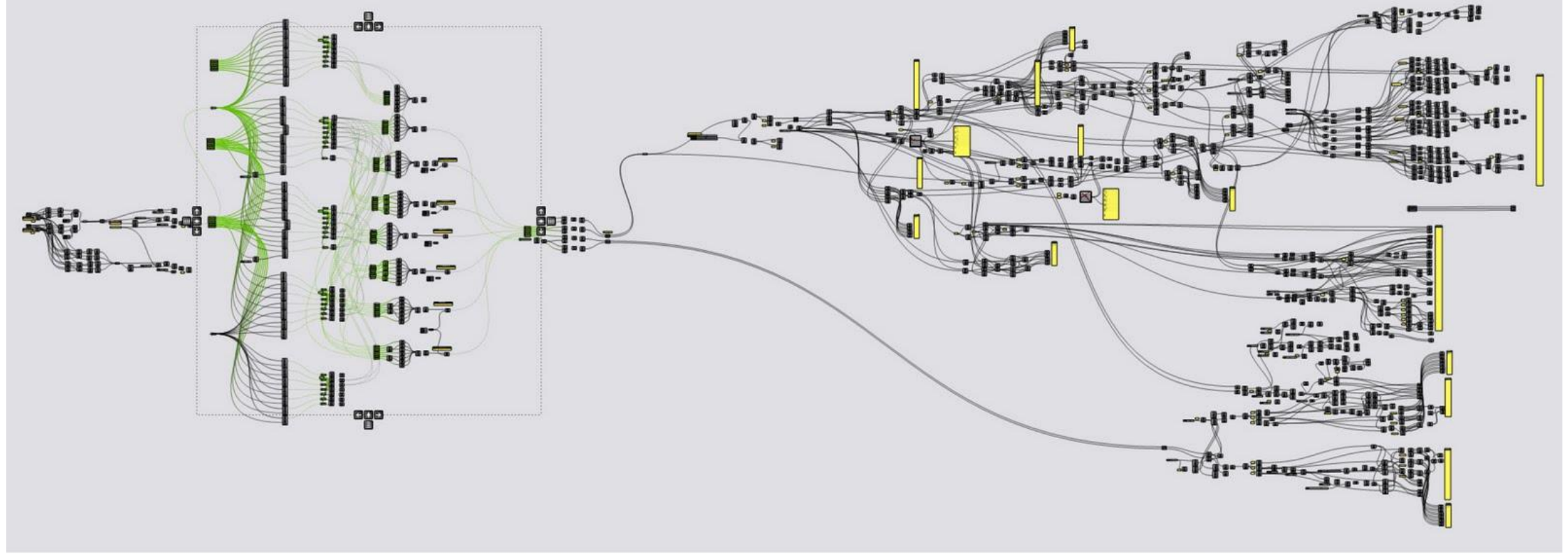
邵佳焕 蔡秋燕 杨宗其 应文豪 2018年霍普杯入围奖

大胆构建的空中海绵城市综合体既能够完整保留底下老街区的原貌，同时又能为街区的居民和空中创客社区的人群提供在未来弥足珍贵的湿地，通过恢复本土生态，为野生动物营造更多的空间空间，实现环境的可持续。



NBBJ: Parametric Strategies in the Design of Hangzhou Stadium (Part 1), by Nathan Miller
<http://nmillerarch.blogspot.com/search/label/Hangzhou>
Grasshopper was used





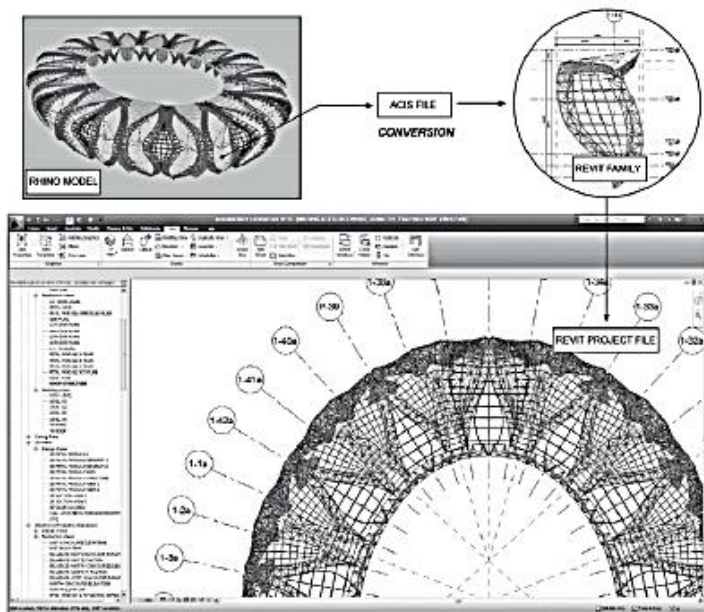


Figure 5. A diagram for using 3D file conversion to transfer model components across applications.

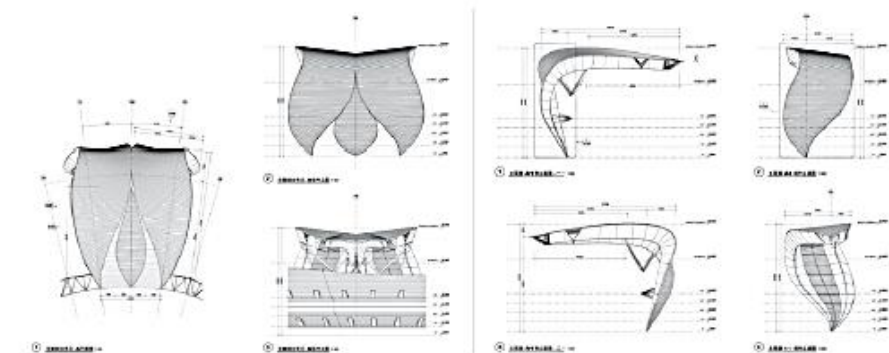


Figure 6. NBBJ's orthographic documentation from the 3D Revit model.

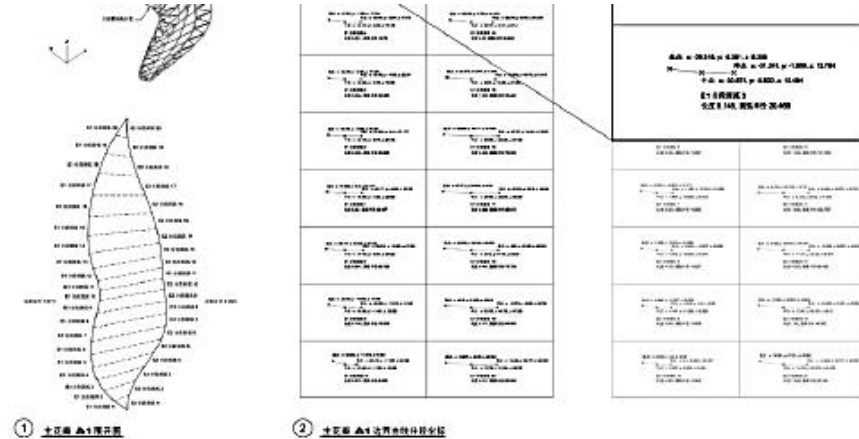


Figure 7. NBBJ's geometry spreadsheet documentation generated from the Grasshopper algorithm.

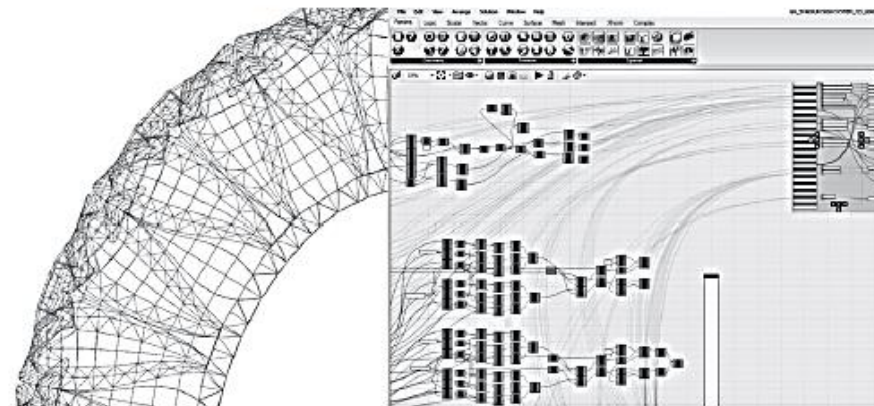


Figure 8. NBBJ's 3D centerline model generated from the Grasshopper algorithm.

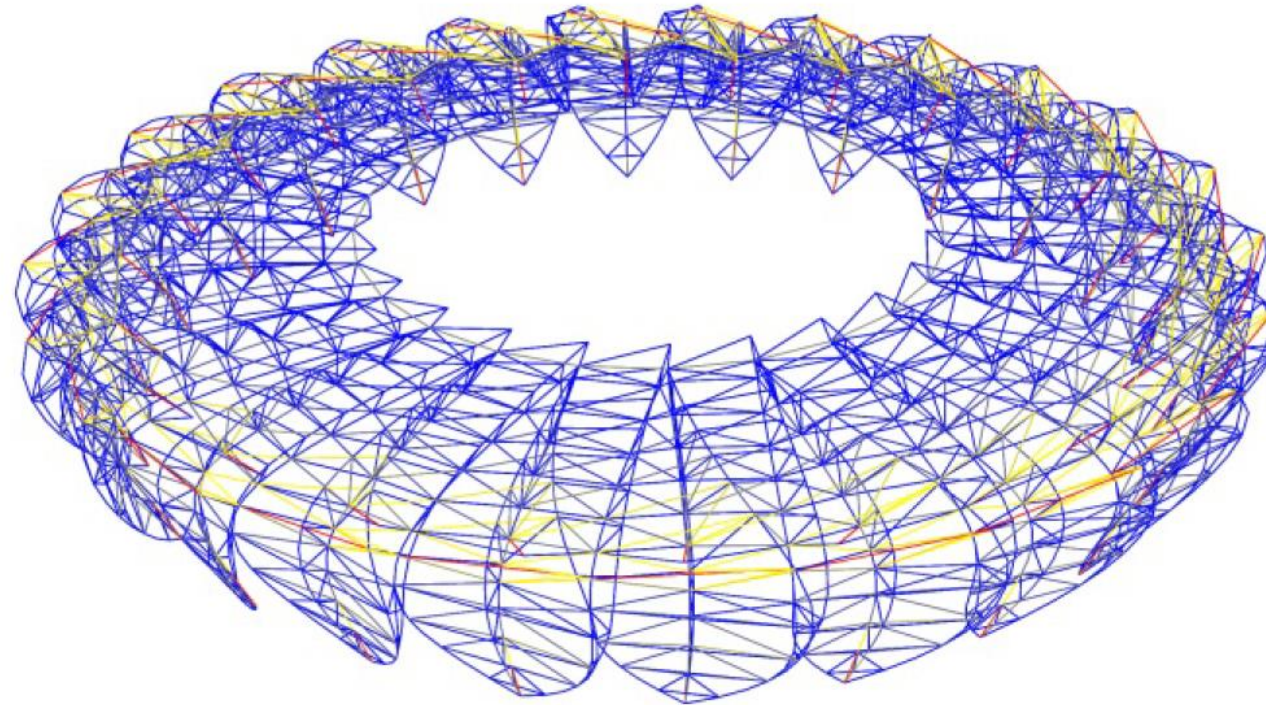


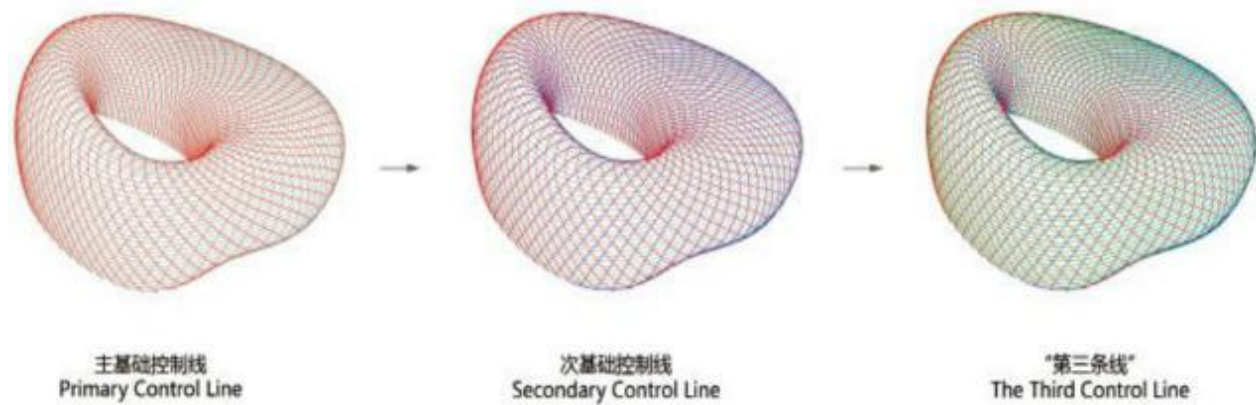
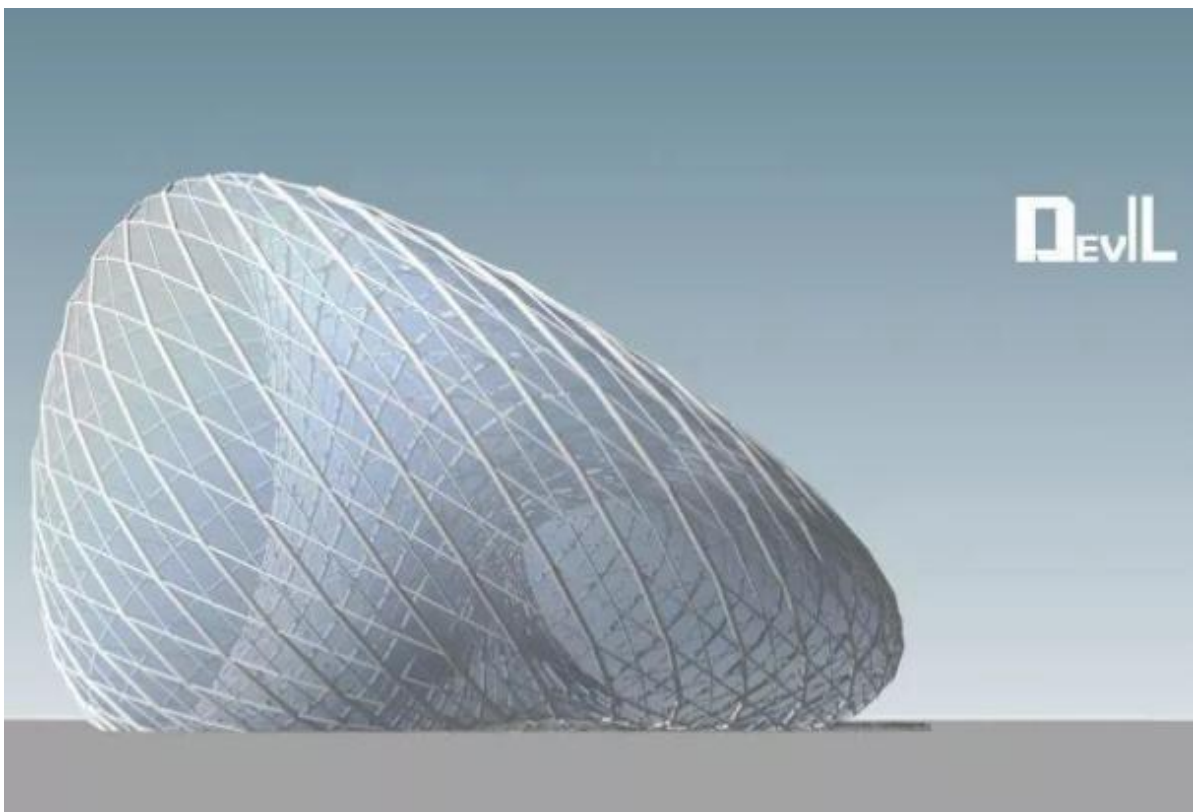
Figure 5. Using the Kangaroo physics engine to visualize gravity loading on the truss centerline model.

The Hangzhou Tennis Center: A Case Study in Integrated Parametric Design, Nathan Miller, ACADIA Regional 2011.

凤凰国际传媒中心

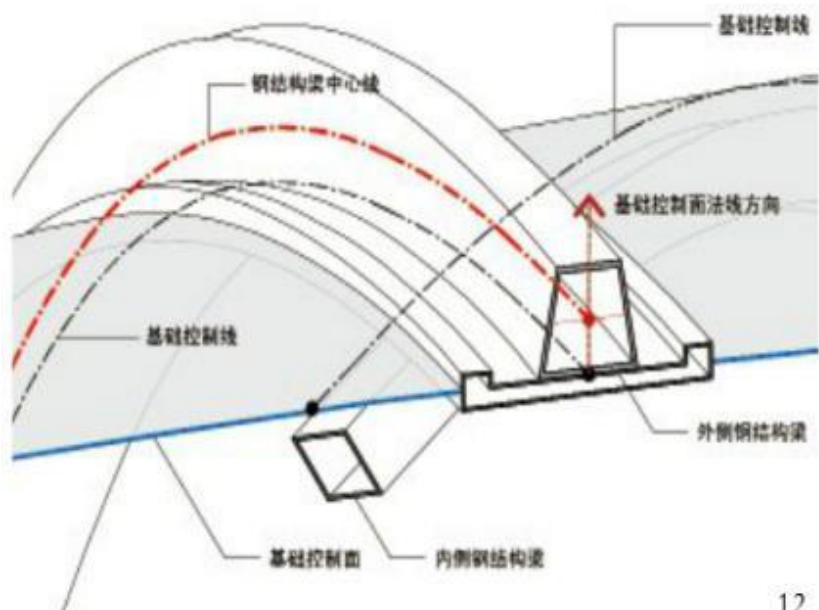




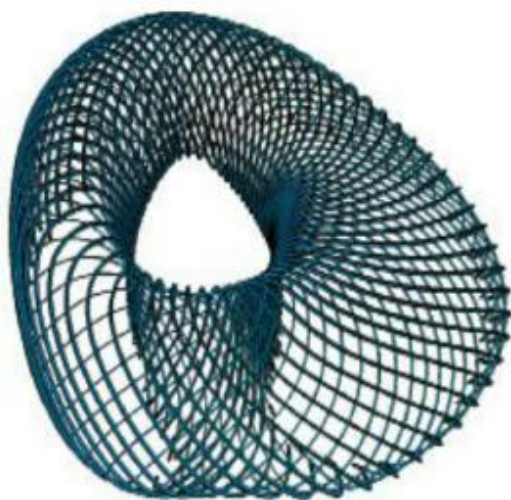


利用 SketchUp 及相关插件建立的三维形体模

几何形体控制逻辑体系中的三维基准线构



12



钢结构外壳



混凝土结构



钢结构与混凝土结构精确吻合

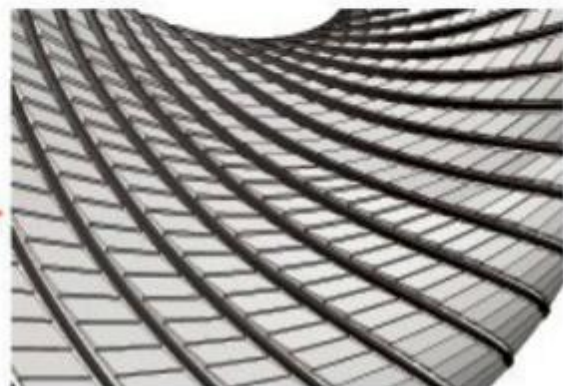
三维模型环境下的结构参数化设计、调整与优化



基础曲面



可变的线性主动曲线曲率框架，曲面内嵌线性化



幕墙单元拟合曲面，曲面内嵌平面化



建筑外表皮由3180块幕墙单元拟合曲面形成，外观类似鳞片状。



每一片幕墙单元都具有不同的尺寸与定位，通过数字化手段进行深化设计。

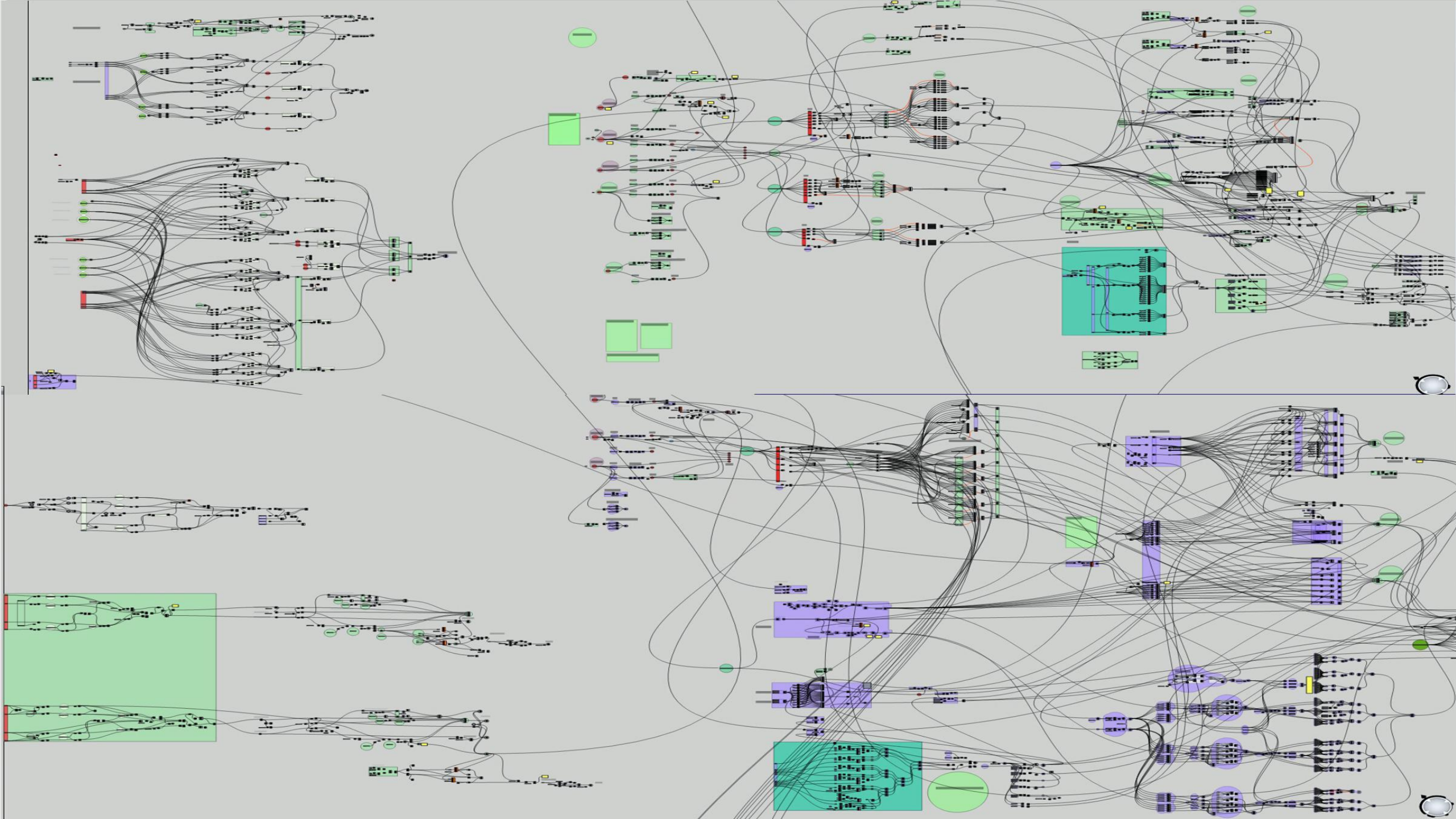
三维模型环境下的表皮参数化设计、调整与优化



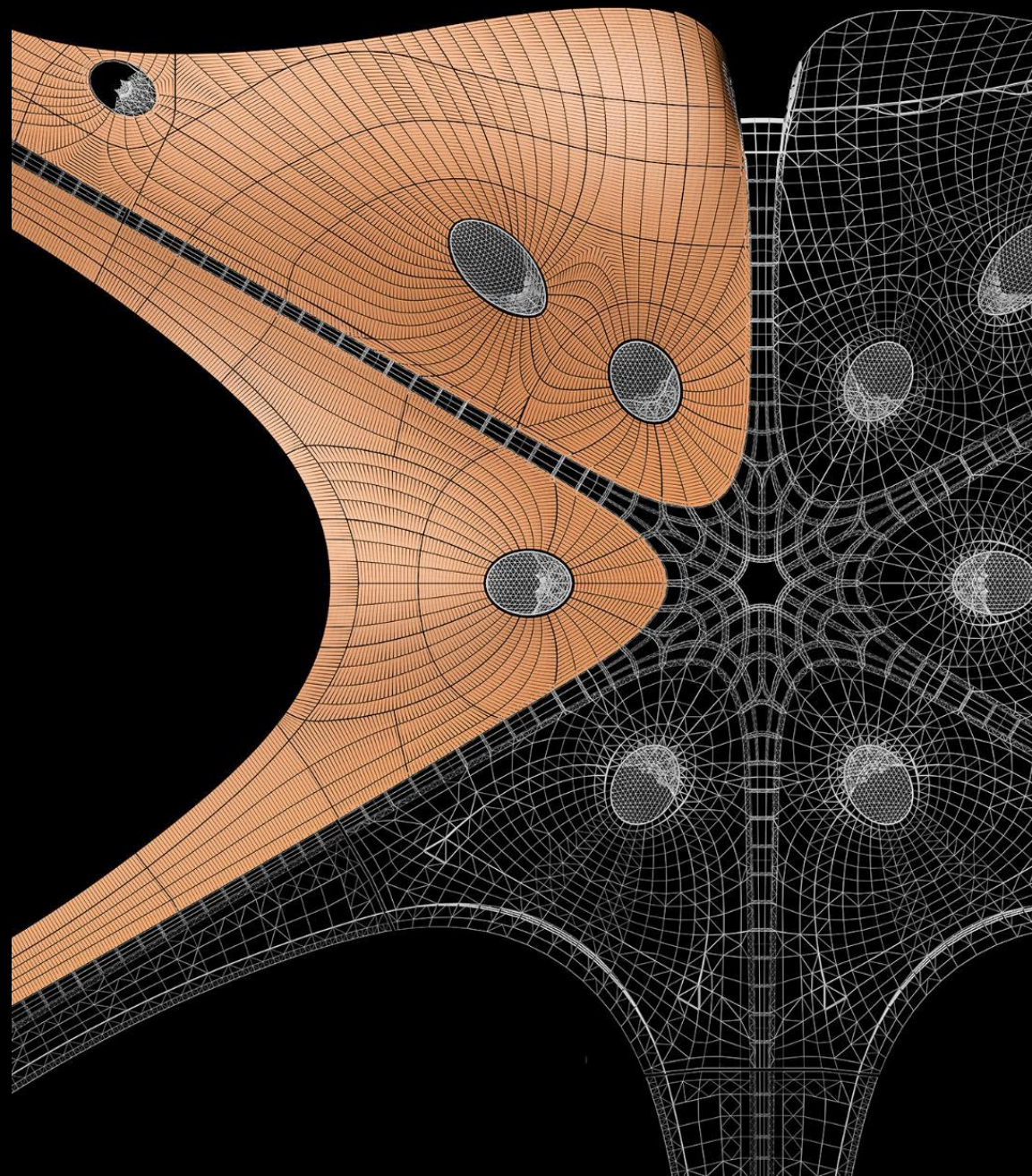
北京大兴国际机场





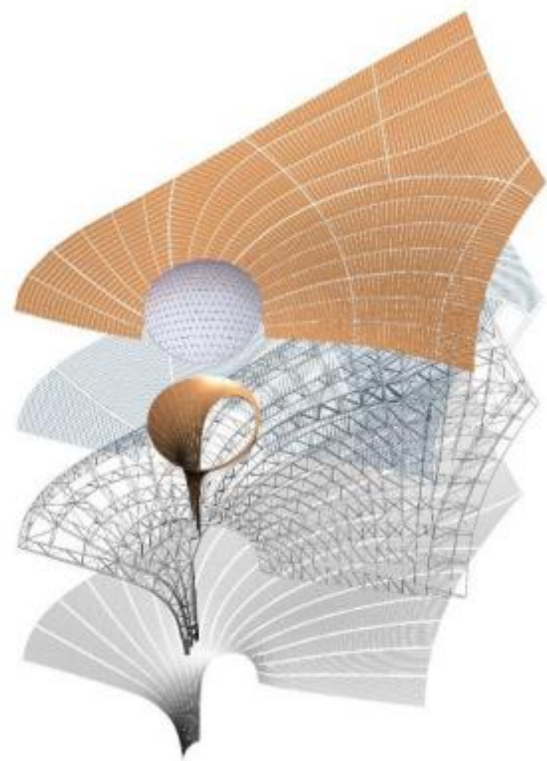


主控网格定位下的主钢结构
与屋面板分板

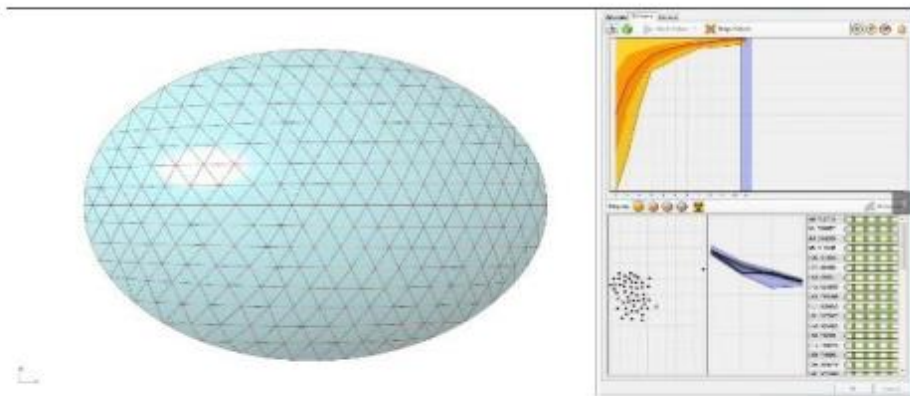
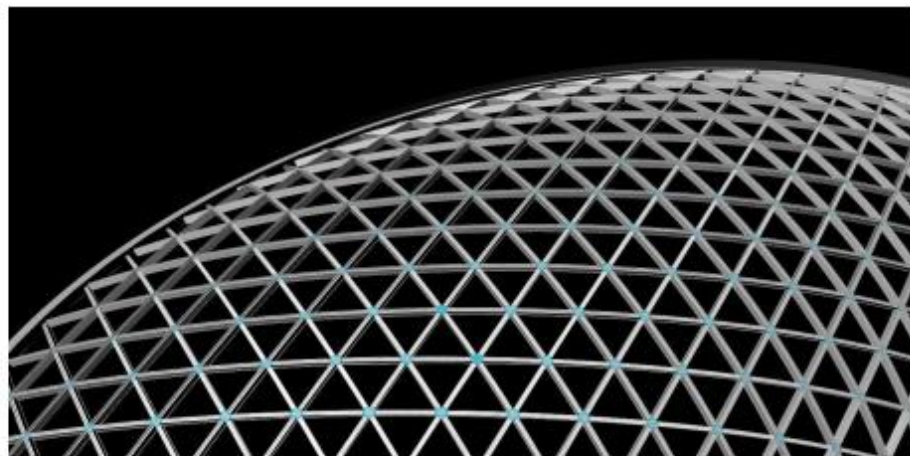


智能设计是数字设计的新阶段。在 C 形柱顶采光顶结构划分，玻璃遮阳网片等专项设计中，还运用遗传算法，从数千种结果中优选最佳方案，这是常规设计手段无法实现的。

大兴机场采光顶参数化设计



i) C形柱范围外围护系统各主要层次



(c) C形柱顶采光顶遗传算法程序截图

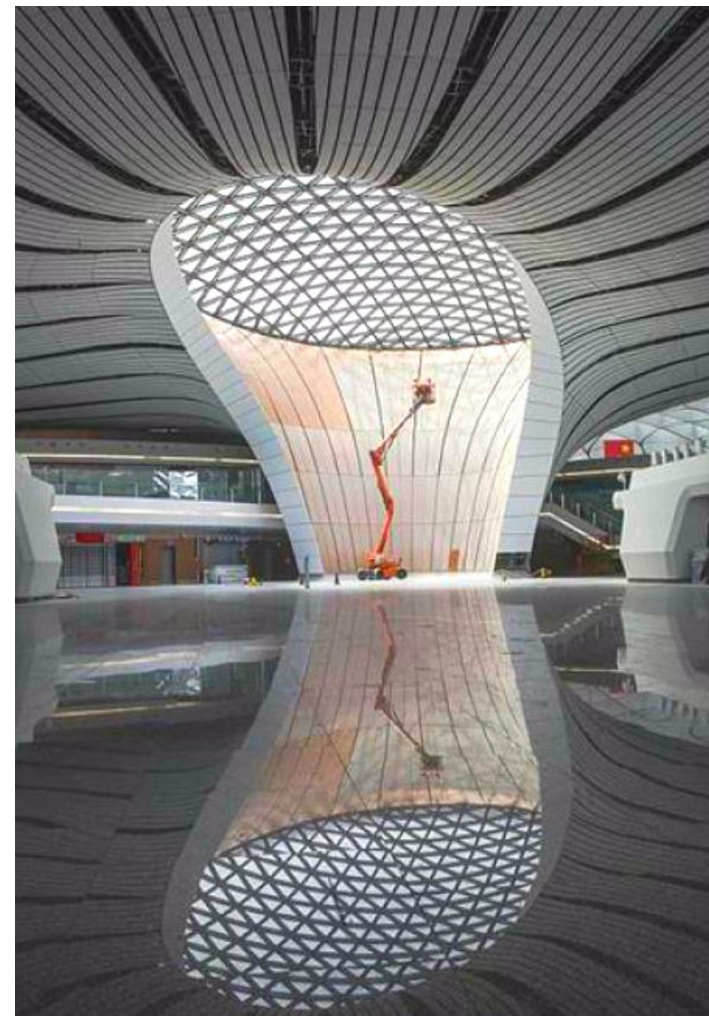
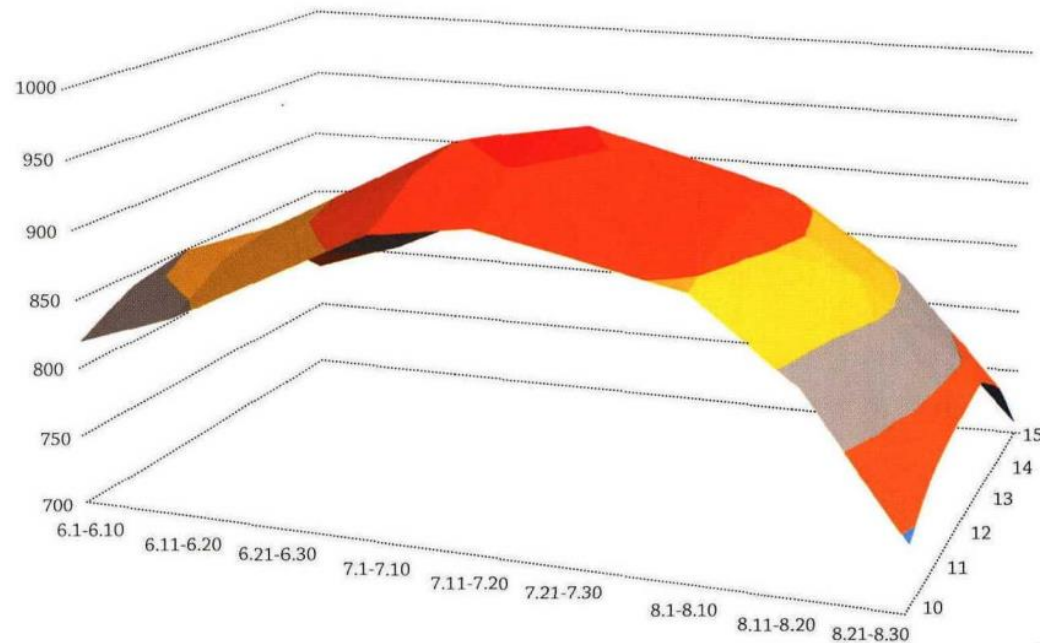
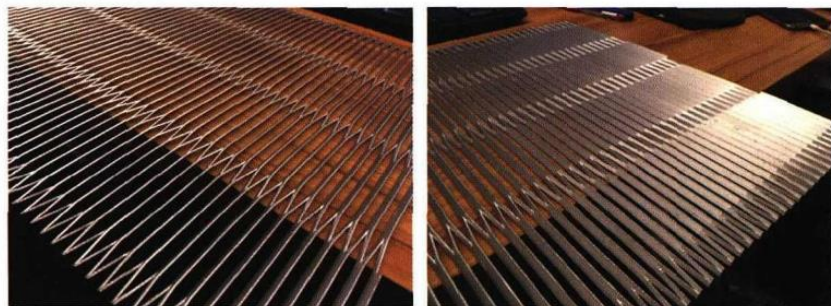
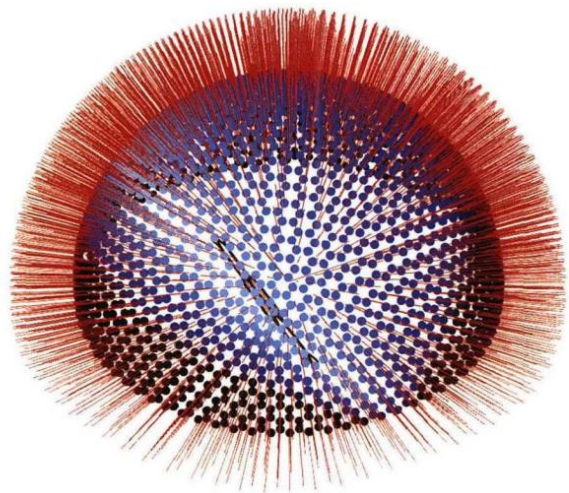
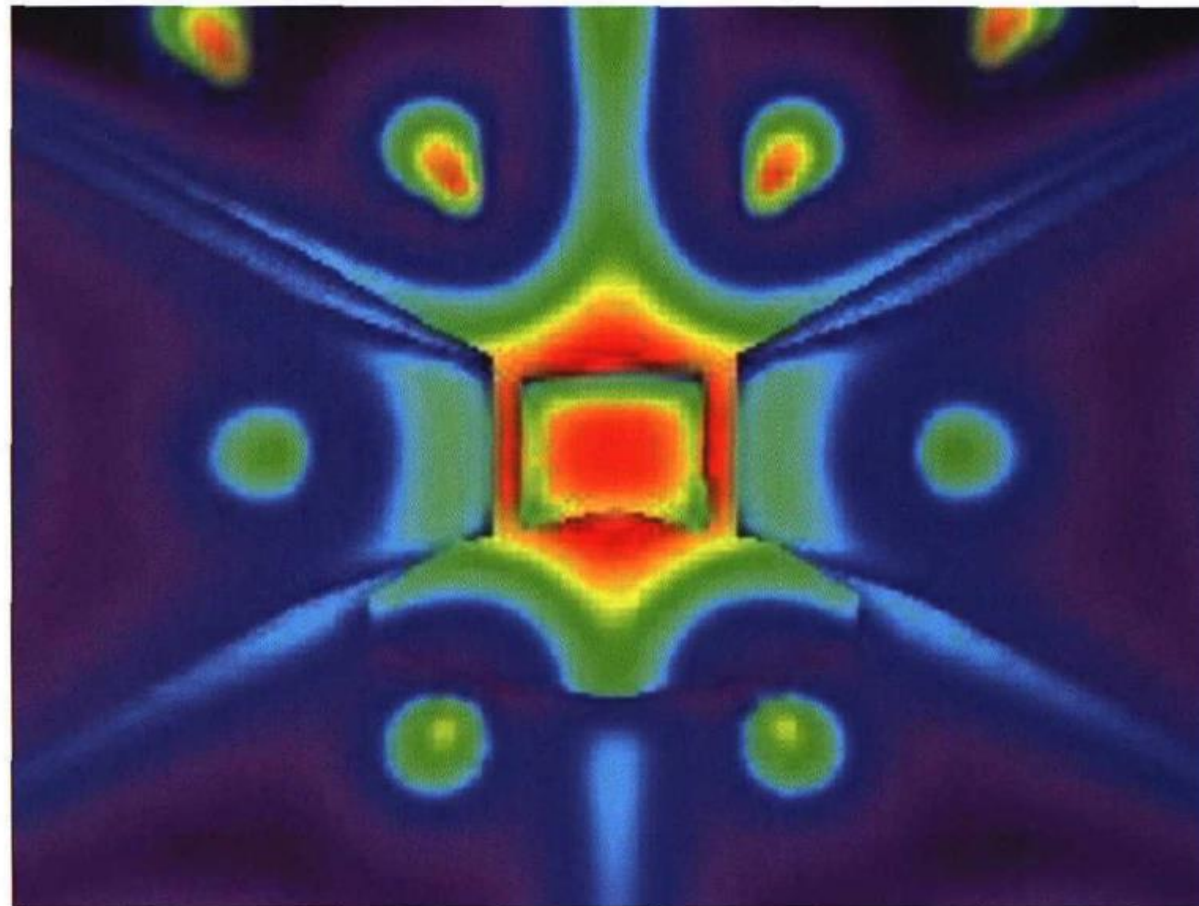


图 4-7 参数化设计在北京大兴机场 C 形柱工程中的应用

大兴机场采光顶参数化设计



大兴机场采光顶系统热环境参数化仿真



3.2 生成式设计

在传统计算机辅助工程设计中，工程设计创意主要源自设计师/工程师个人，计算机仅限于扮演被动的工具角色。随着设计相关数据越来越丰富、计算机算力持续增长以及算法的日趋智能化，计算机有可能作为一个独立的创意主体，与设计师/工程师建立起**合作创意**设计关系。

一种新的工程设计方法——生成式设计也应运而生，许多学者和设计大师给出了他们对生成设计的理解。

3.2 生成式设计

“生成式设计不是关于建筑本身的设计，而是设计建造建筑的系统。”

– Lars Hesellgren

“生成式设计系统的目标是创造新的设计流程。这个流程通过开发当前计算机技术和制造能力，生产空间上合理、高效且可制造的设计。”

– Kristina Shea

“生成式设计通过模仿自然，将创意转化成代码，从而达到生产出无穷种变化（的结果）。”

– Celestin Soddu

“一个基本的形态，样式，或物体自发的，由算法改良成各不同版本。其结果：获得无穷多的，随机的，关于初始解决方案的其他改良版本（各版本方案被限制在设计师预先设定的空间内）。”

– Frank Piller

“生成式设计流程是关于模拟对象最初条件（对象的“基因”）而非模拟其最终形态。”

– Paola Fontana

“一种越过痛苦的计算方式；本质上是一种日渐增长的关于设计逻辑的申明。这种设计逻辑的通过计算的形式，在预设的空间内，探索各不同方案及在此基础上得到其他方案 and 变化。”

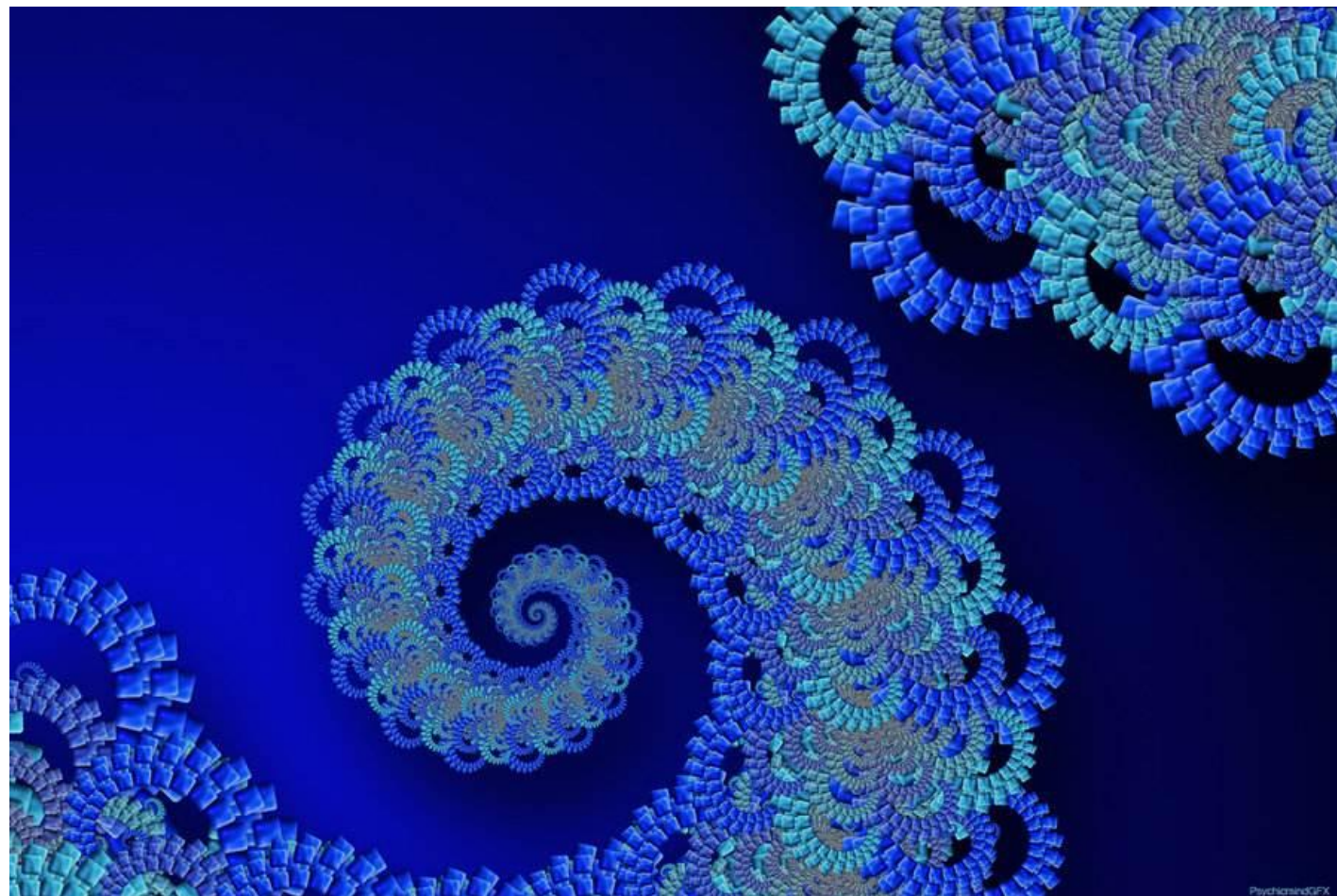
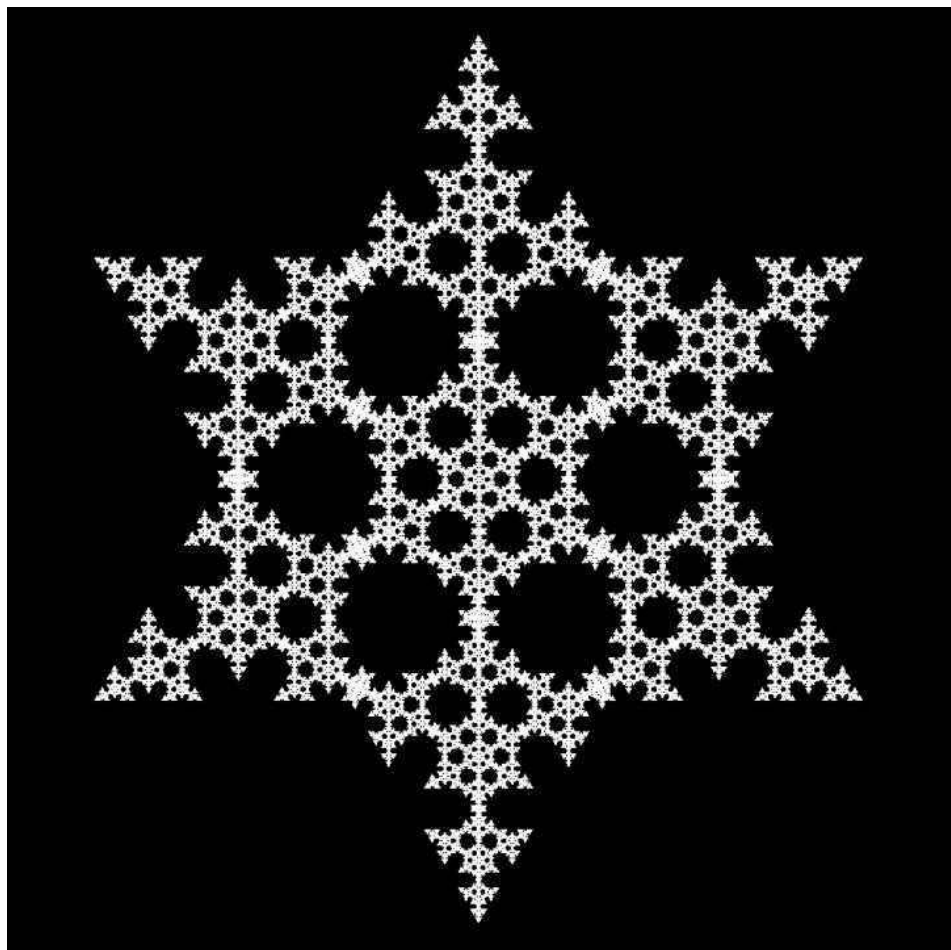
– Halil Erhan

3.2 生成式设计

归纳起来讲，所谓生成式设计，是一种**模仿自然**的进化设计方法，是建立在数字化条件之上的、基于协议与规则的、用户深度参与产品生成过程的设计方法，主要是通过构建一系列设计规则和算法，充分发挥计算机强大的计算智能，在与设计参与主体的互动中，持续快速迭代而获得设计解决方案。相对于传统的工程设计，其最大的改变在于为用户参与产品属性的定义提供可行的途径和新的契机，支持设计师改变自己的角色定位，更多地扮演**算法和规则制定者**角色。

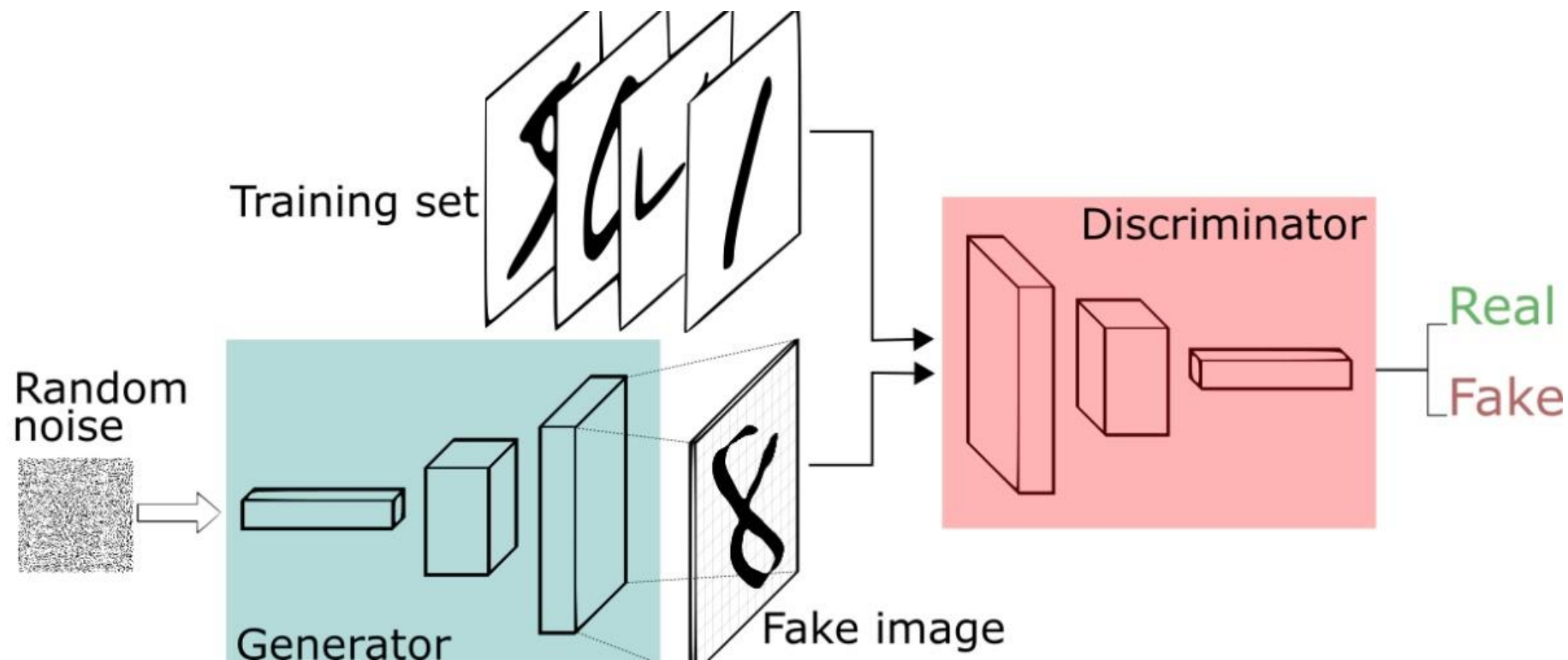
a way of translating computational energy into creative energy

3.2 生成式设计



3.2 生成式设计

生成对抗网络 GAN



3.2 生成式设计

生成对抗网络 GAN



Link: <https://github.com/junyanz/iGAN>



Paper: <https://arxiv.org/pdf/1611.07004.pdf>

3.2 生成式设计

生成对抗网络 GAN

Anime Face Generation

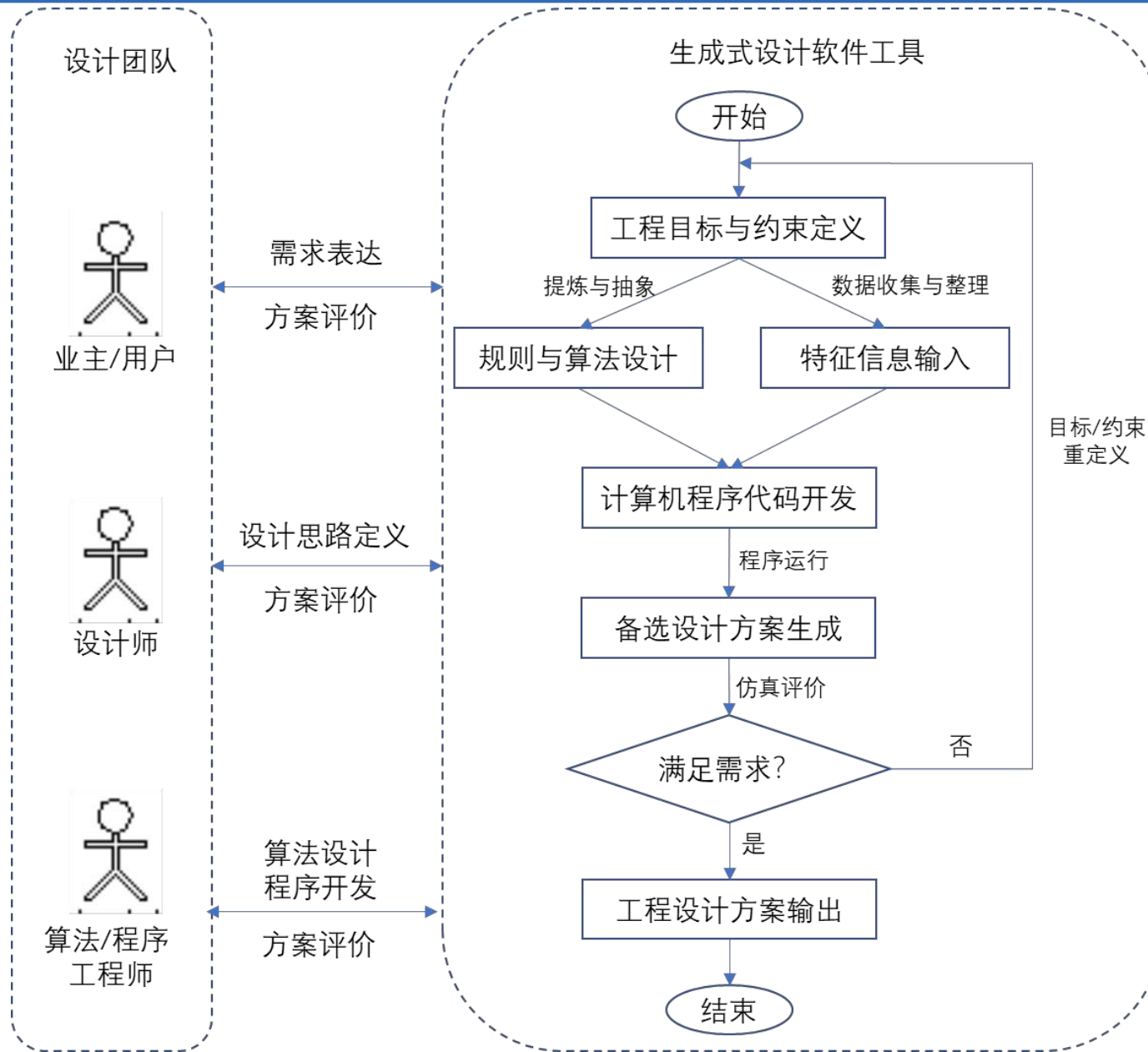


50,000 updates

3. 方案设计

3.2 生成式设计

生成式设计的基本流程



3.2 生成式设计

相比于传统设计方法，生成式设计方法的优势体现在以下几个方面：

(1) 省时

计算机在大数据支持下可以生成数以千计满足目标和约束的备选设计方案，并可以基于性能优劣对其进行快速筛选。

(2) 激发灵感

通过创造数以千计的创意设计，生成式设计为设计师和工程师开启了一扇新的探索和创意之门，更好地发掘设计空间中一些设计师用传统设计方法很难发现的创新性方案。

(3) 经济

通过将仿真与测试嵌入设计过程，可以最大限度地保证设计的规范性与正确性，防止日后生产过程中产生高昂的变更费用。

(4) 创造高品质几何形态

生成式设计软件有利于克服设计师/工程师在形态表达方面的局限性，使得构造复杂几何形态变成可能。

3.2 生成式设计

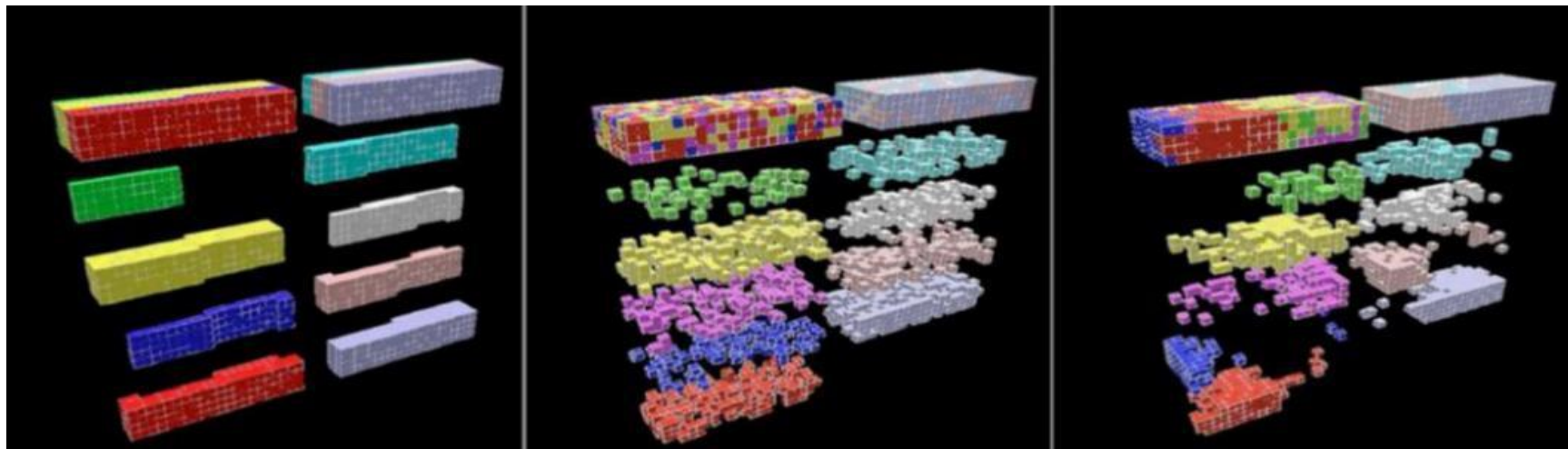
世界上第一幢完全由算法生成的住宅 EAST&WEST，是 2013 年由日本 ATELIER NORISADA MAEDA 事务所在日本名古屋的一片住宅区中创造的，房间的形态由计算自动定义，而不是完全由建筑师的灵感和理性来决定。

在该住宅的设计中，业主需求被表达为 8 条规则：

- 1 南立面与西立面大量开窗（日照需求）
- 2 上述的元素不能跨层移动
- 3 南侧设置阳台
- 4 在餐厅有良好的光照
- 5 祖母的房间与卫生间越近越好
- 6 用水房间不与风水冲突
- 7 客厅应该部分有通高
- 8 祖母的房间与儿卧分开布置，避免噪音的相互影响。

设计师基于上述规则用 C 语言编写了程序软件，将空间转化为若干相同单元，将规则转化为筛选评分标准，经过多次迭代计算，以三维可视化的方式生成了最终符合规则的房间设计方案。

3.2 生成式设计



世界上第一个用计算机算法生成的住宅设计

3.2 生成式设计

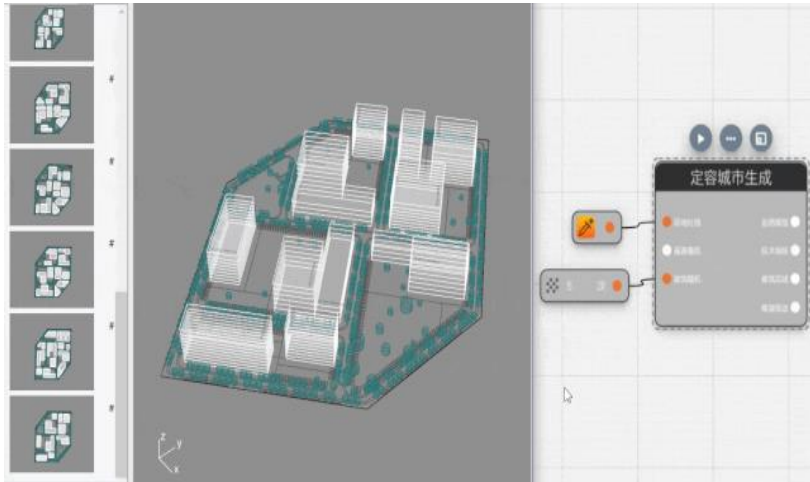
随着技术的进步，工程设计将越来越趋近于一种算法设计。

未来工程师的工作，将更多是扮演具备丰富人文、艺术和审美内涵的创意决策者角色。人们只需要提出需求，即可由 AI 自动进行程序编写，并生成若干满足需求的备选方案；

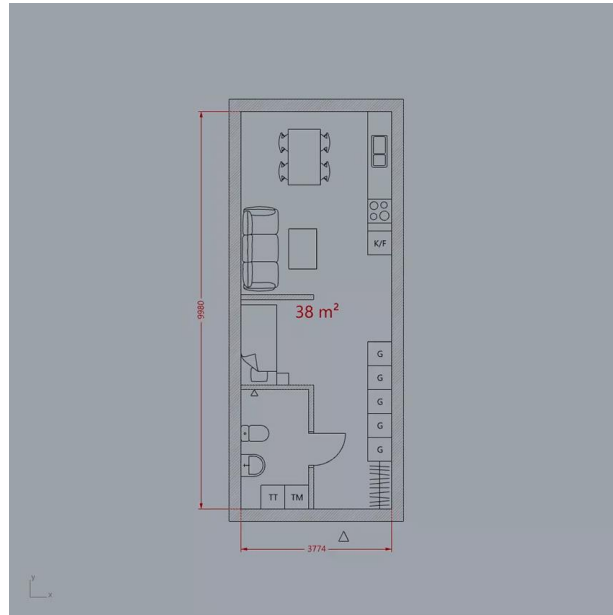
到了超级智能阶段，也许无需人的参与，AI 即可自主进行需求分析并完成工程设计，设计过程和成果将完全以数字化形式存在。

或许，由 AI 设计师统领下的自动化、智能化建造时代还很遥远，但是如何利用新一代信息技术实现更安全、更精准、更快速、更廉价、更高效工程设计，是大势所趋。

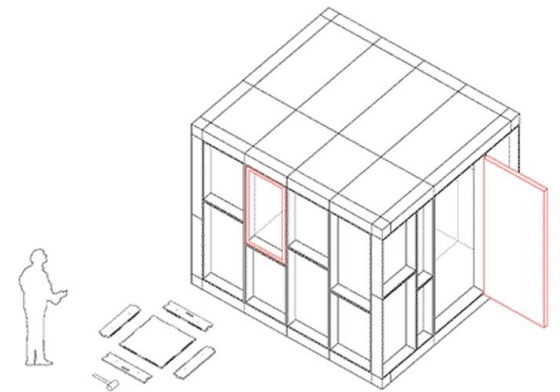
3.2 生成式设计



杭州NCFZ数字设计公司小区自动强排软件 (2018年) 根据小区规划指标和边界, 生成多种强排方案, 可以将设计师两天的工作量缩短到两个小时, 目前的目前处于软件内测阶段。



瑞典Finch室内设计生成工具 (2019) 根据用户输入的建筑面积自动生成多种室内家具的排布, 目前产品仍然处于原型demo阶段, 未投入实际应用。



英国U-Build模块化建筑组合方案生成 (2019)

由英国Studio Bark公司设计的模块化建筑系统, 鼓励个人依靠包装套件, 自主构建模块化房屋, 处于设计理念推广阶段。

模块化快递屋及选址优化设计

2020武汉创意设计大赛 《基于地下物流的城市配送终端：快递细胞》

Express-Cell 本体设计

内部结构模块化

- KYC 移动支架**: 通过文字识别快速准确地识别包裹上的快递单，实现快速分拣。
- 透明上顶部**: 通过透明上顶部，用户可以直观地看到包裹的分拣过程。
- 展示立面**: 展示立面采用透明玻璃，方便用户查看包裹的分拣情况。
- 快速装卸**: 通过智能识别系统，实现快速装卸包裹。
- 灵活立面**: 通过智能识别系统，实现快速装卸包裹。
- 存取立面**: 通过智能识别系统，实现快速装卸包裹。

组规模多样化

为适应不同物流需求，Express-Cell 可提供大中小多种规格，可适应大中小不同规模的物流需求。通过不同规格的组合，Express-Cell 采用了积木式的概念，决策者可灵活调整组合形式，可满足不同规模的物流需求。Express-Cell 也可根据物流需求进行定制，实现物流需求与物流需求的高效匹配。Express-Cell 也可根据物流需求进行定制，实现物流需求与物流需求的高效匹配。Express-Cell 也可根据物流需求进行定制，实现物流需求与物流需求的高效匹配。

基于免疫算法的 Express-Cell 自动选址



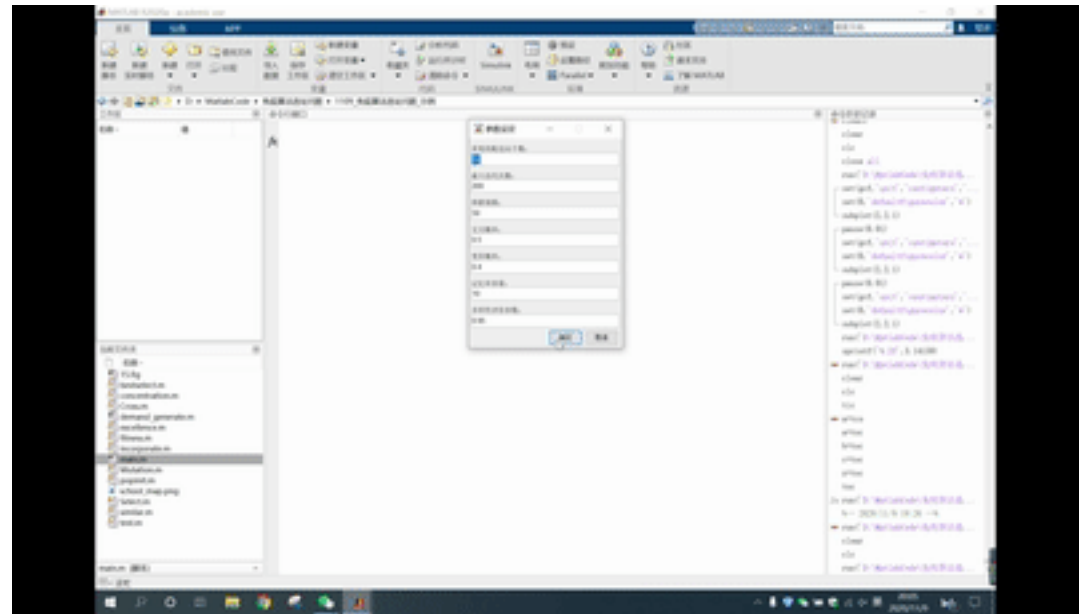
装置供电零碳化

综合物流数字化

模块化设计



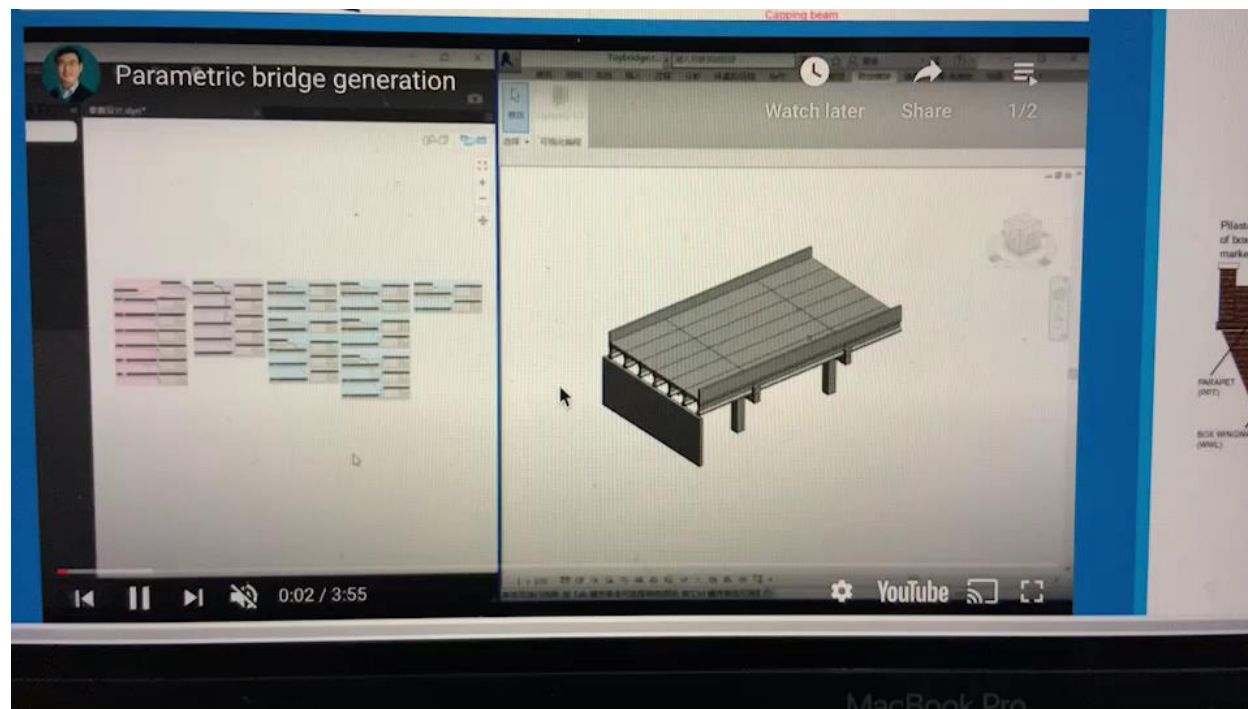
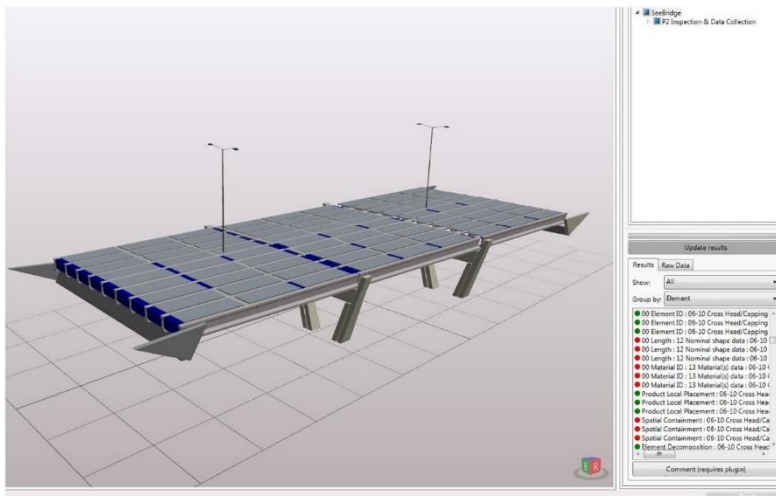
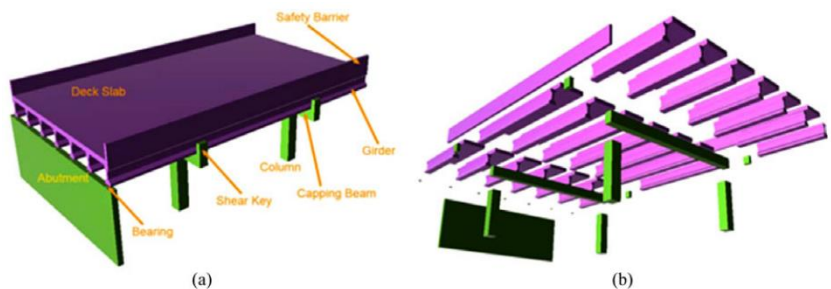
选址方案生成



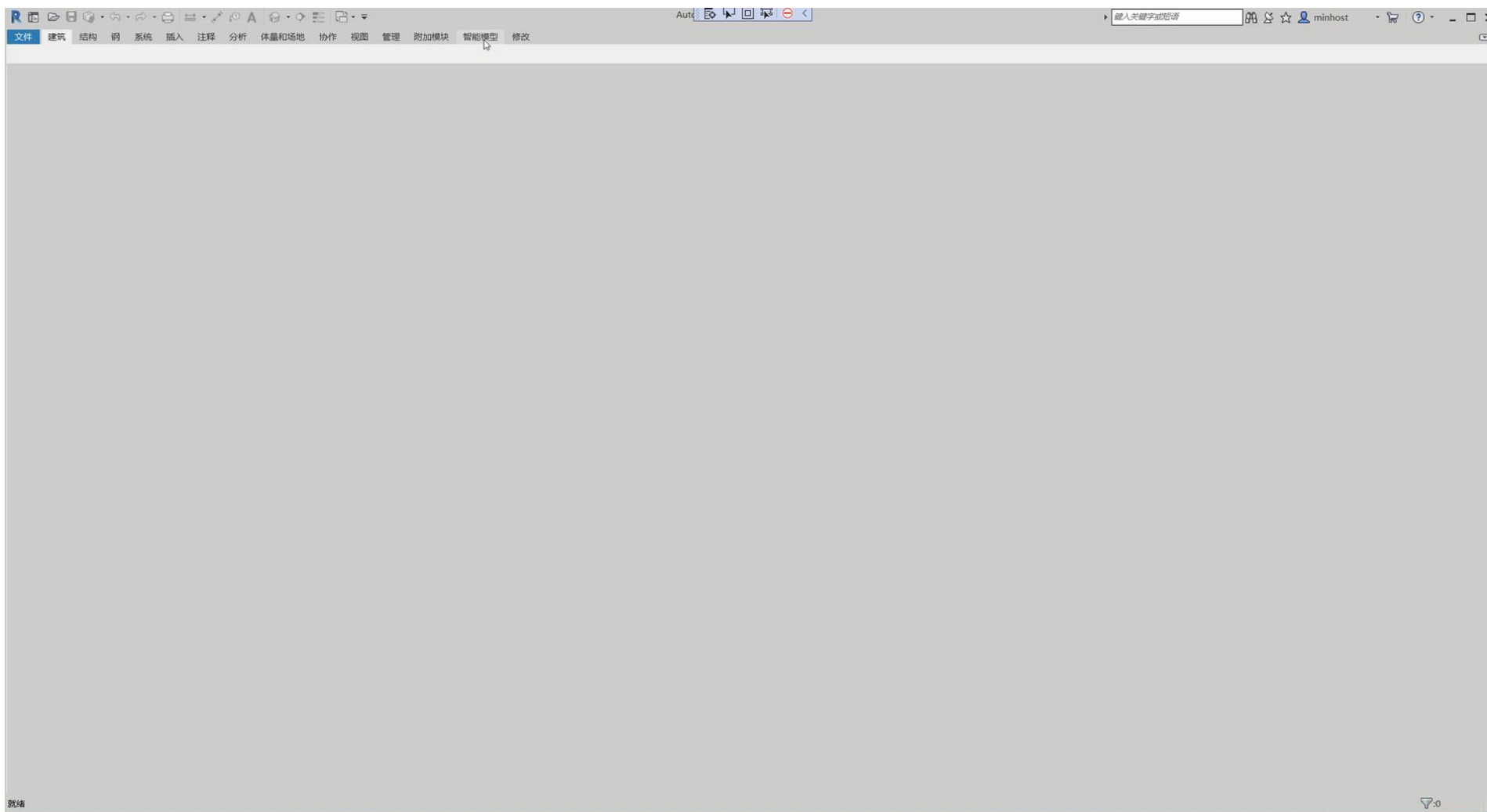
算法求解过程

3.2 生成式设计

研究桥梁生成式设计方法，根据用户对道桥种类的要求以及环境参数等信息，自动生成桥梁设计方案

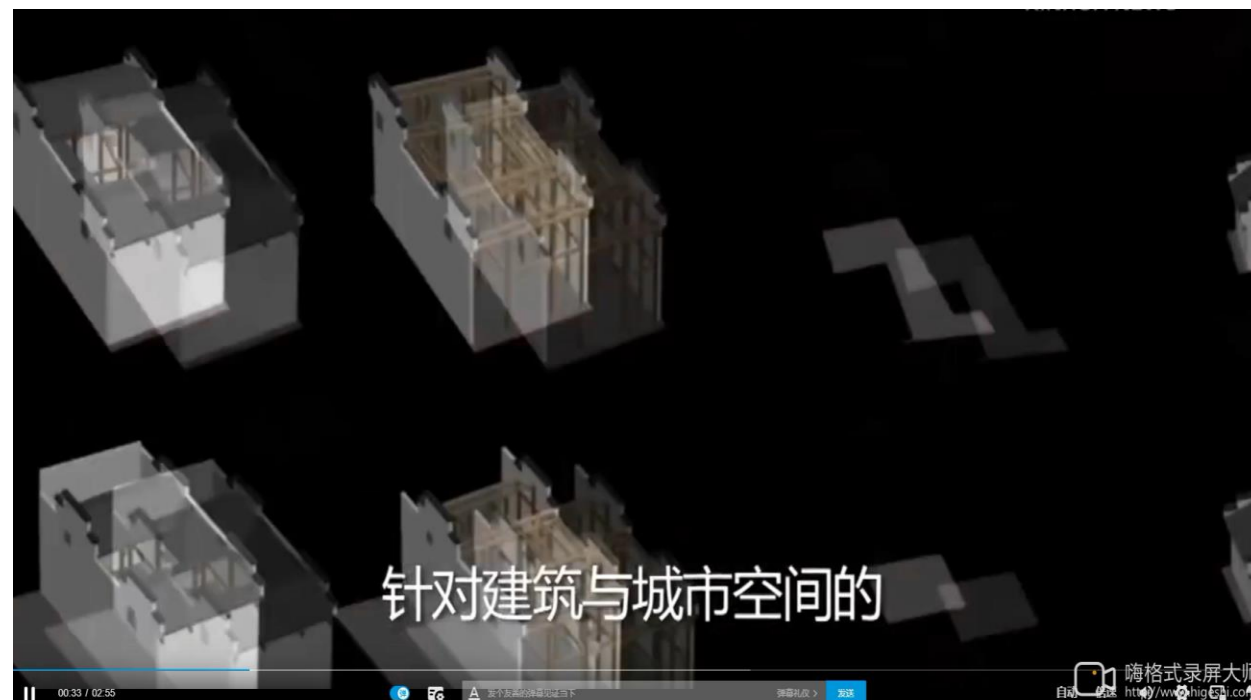
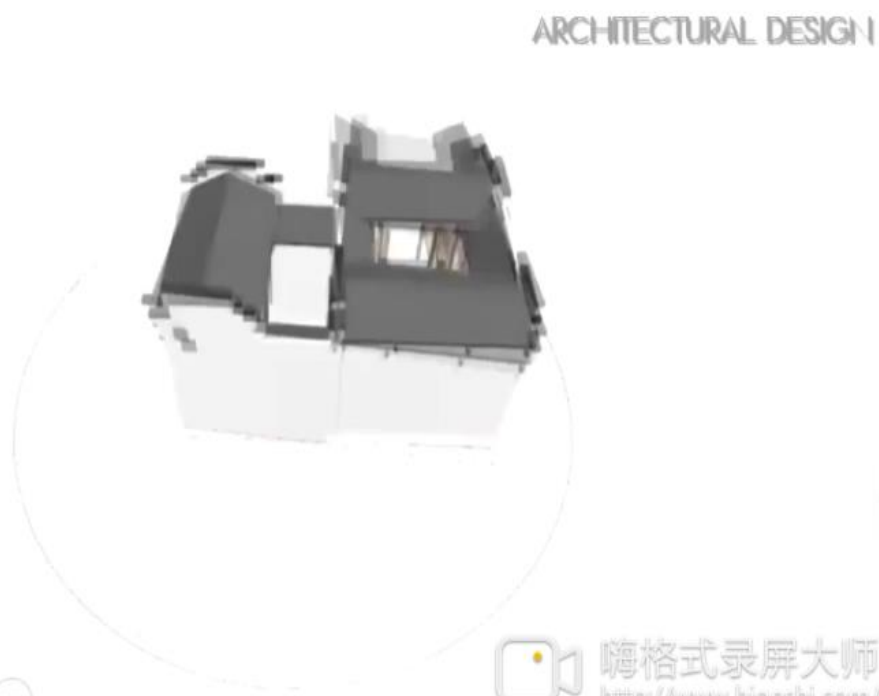


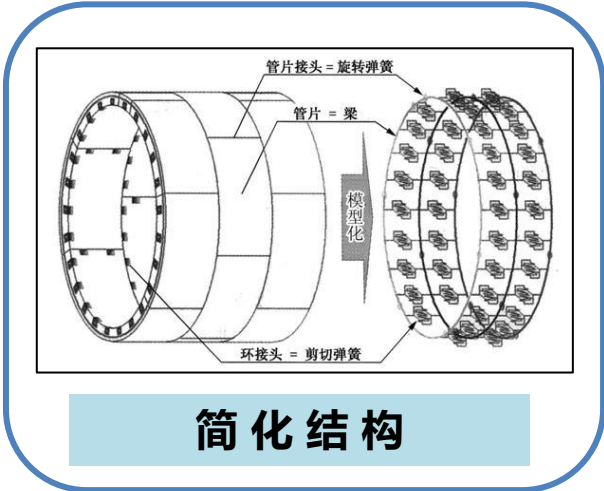
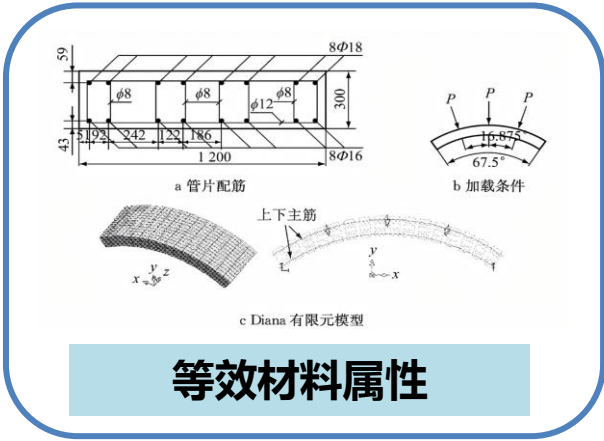
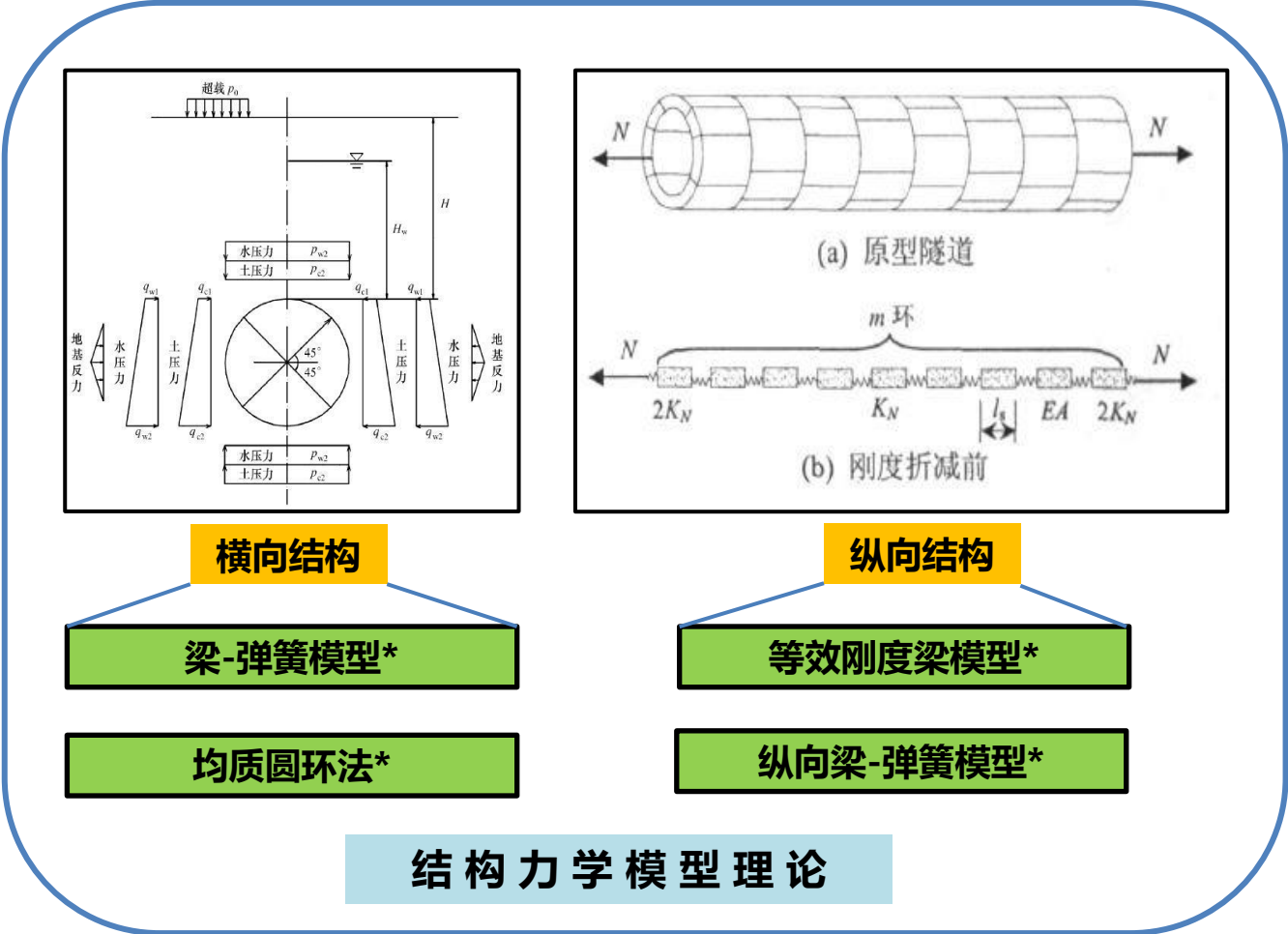
3.2 生成式设计



3.2 生成式设计

生成对抗网络 GAN





保证衬砌**安全性**、按照**最不利条件**、**结构抽象化**

* 数据来源: 《GB 50010-2010 混凝土结构设计规范》、《地下建筑结构设计》、《CJJ221-2015 城市地下道路工程设计规范》

【基本概念】

基于模型的产品定义 (MBD)

MBD与工程设计

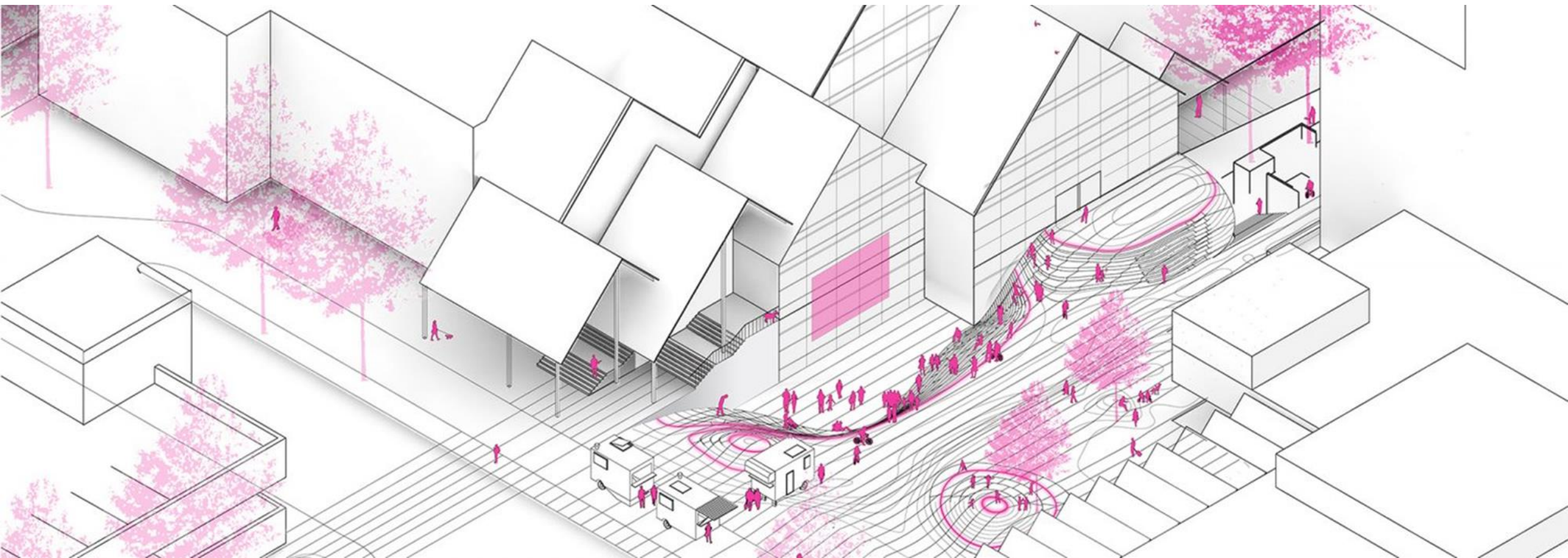
【主要模块】

方案设计

性能优化

审查评价

工程管理



北京中信大厦(CITIC Tower)“中国尊” ——北纬 39 度以北地区全球最高建筑

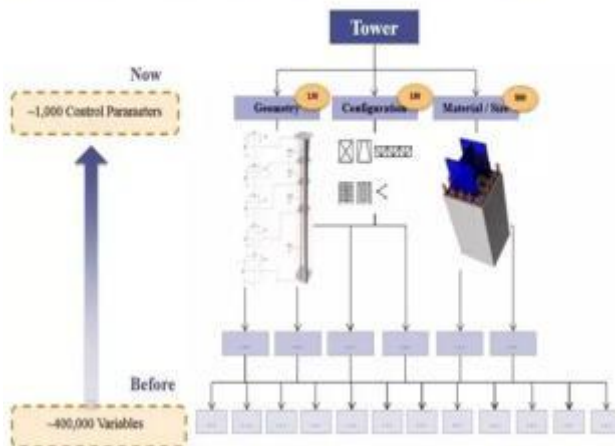


北京城建院邵韦平建筑师团队

Parametric Modelling using High-level Logic



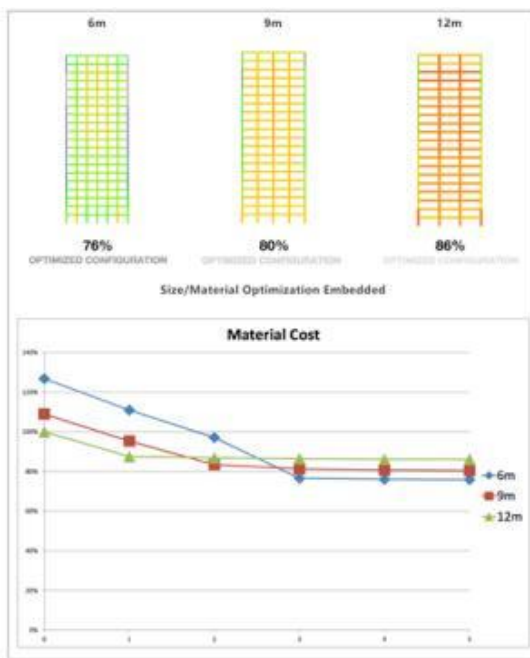
建筑几何形体参数化建模



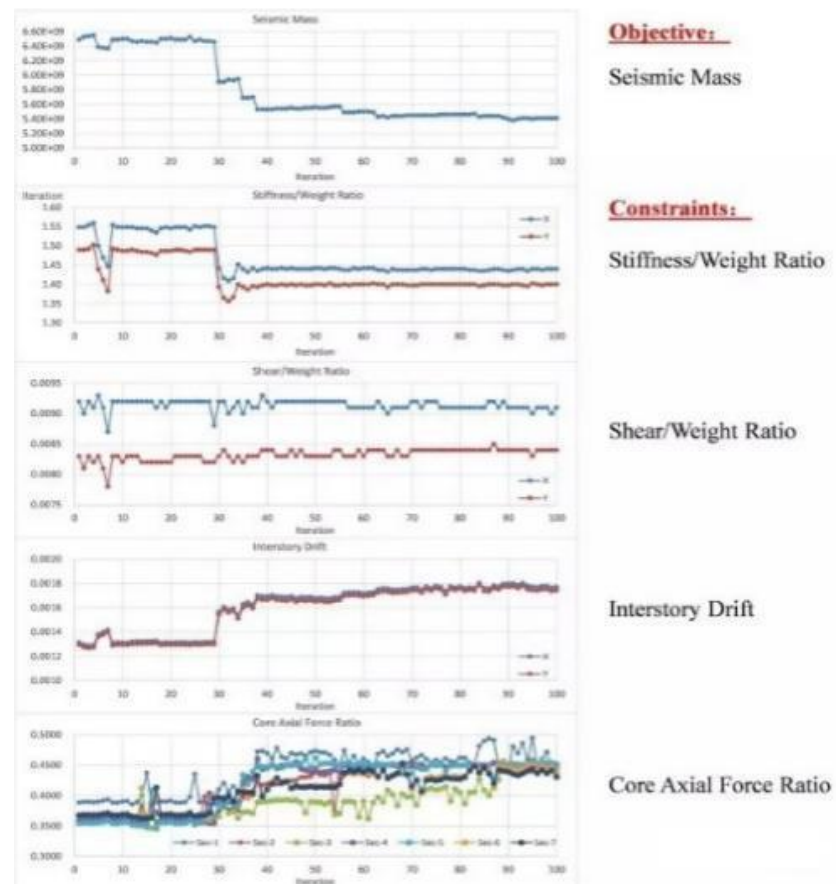
建筑结构信息参数化建模



建筑设计方案可视化展示



建筑经济性能参数化分析

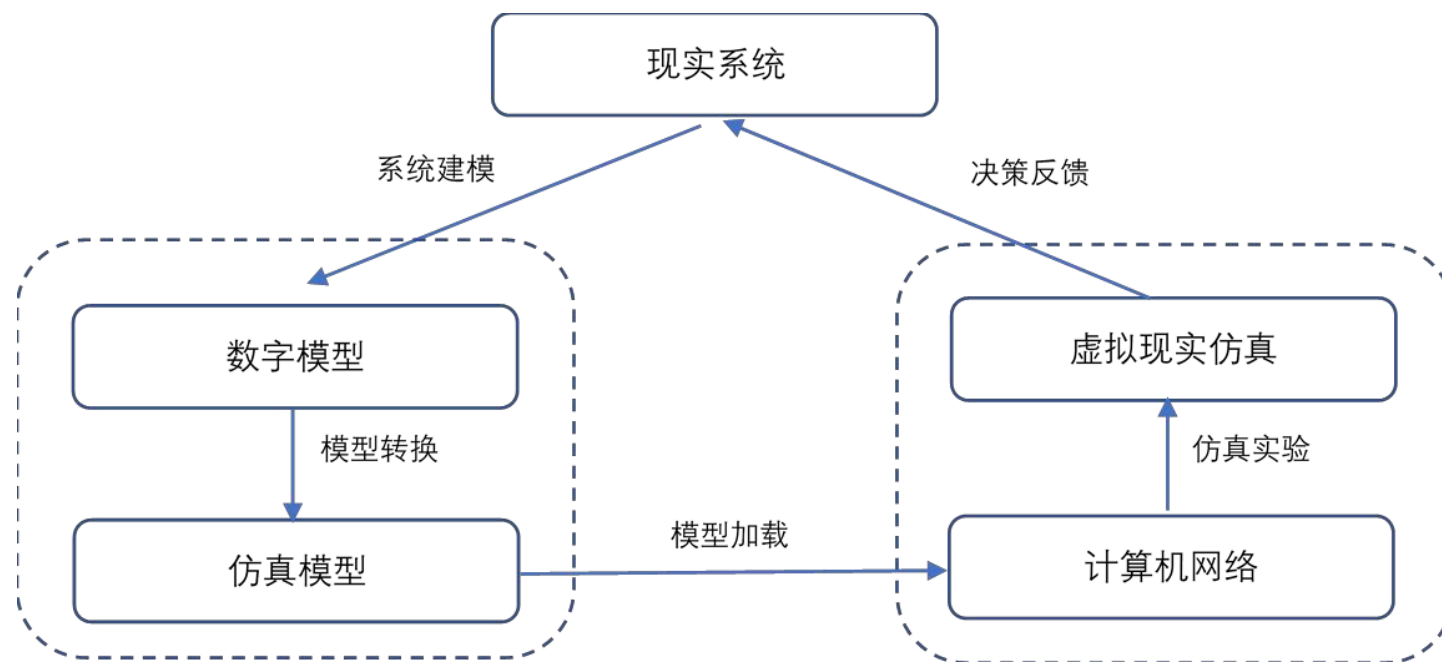


建筑性能迭代优化

4.1 设计仿真概述

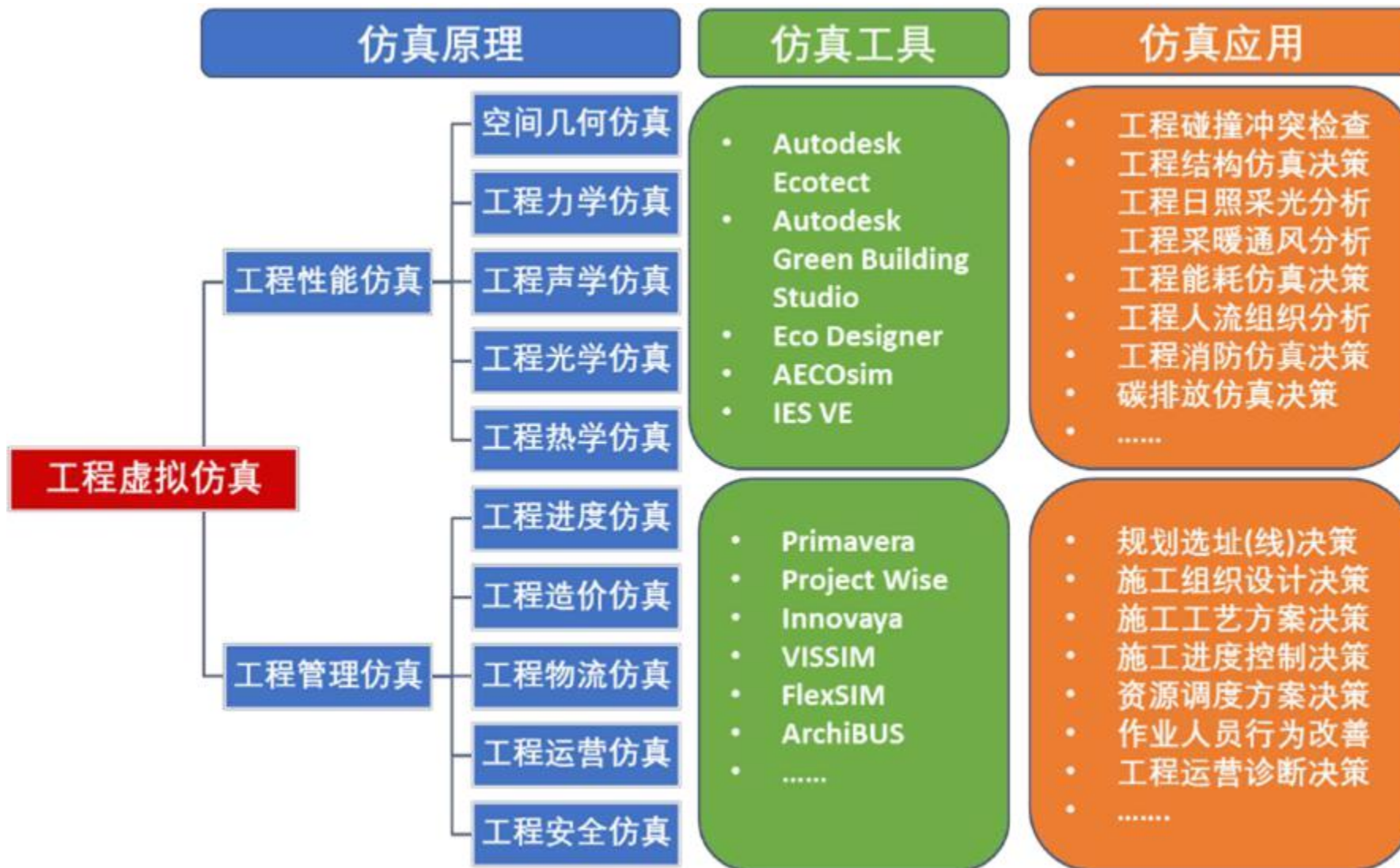
所谓仿真，是一种基于模型的活动，即对现实系统的某一层抽象属性的模仿，涉及到多学科、多领域的知识和经验。

仿真技术则是利用计算机通过建立模型进行科学实验的一门多学科综合性技术。



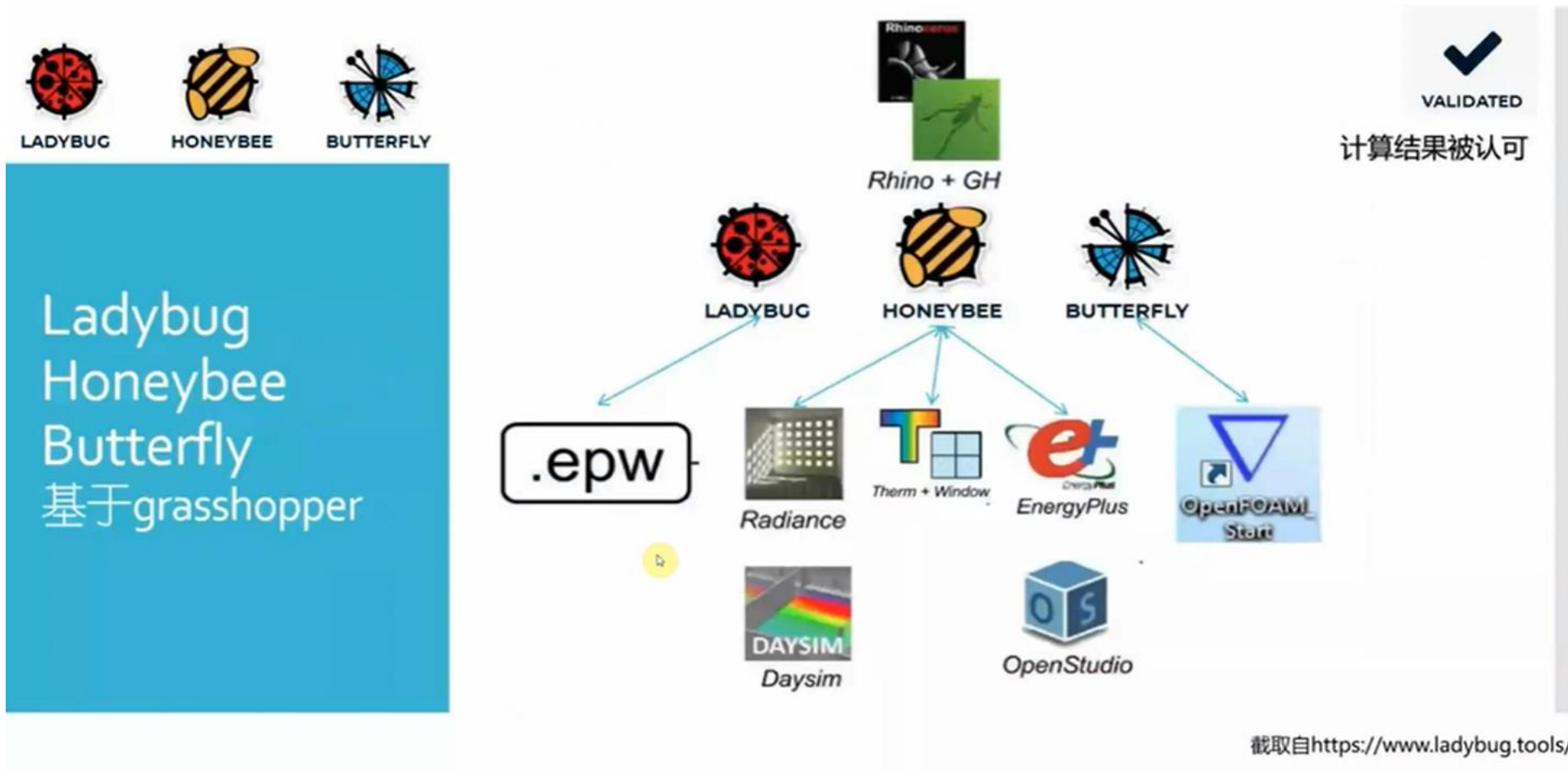
计算机仿真的一般过程

4.1 设计仿真概述



工程虚拟仿真内容、工具及应用

4.1 设计仿真概述



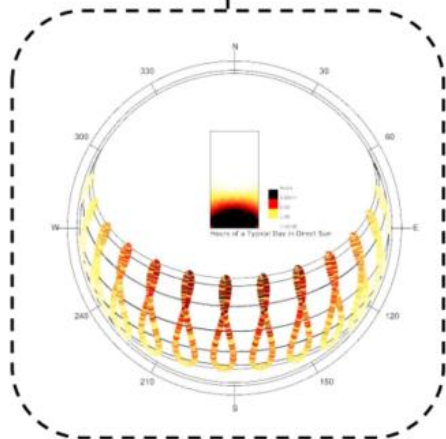
4.1 设计仿真概述

Ladybug Tools



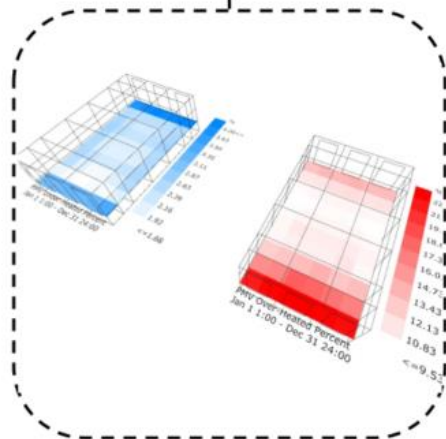
Ladybug

气候分析与可视化



Honeybee

日照、能耗、舒适度建模与分析



Butterfly

风模型
(CFD)



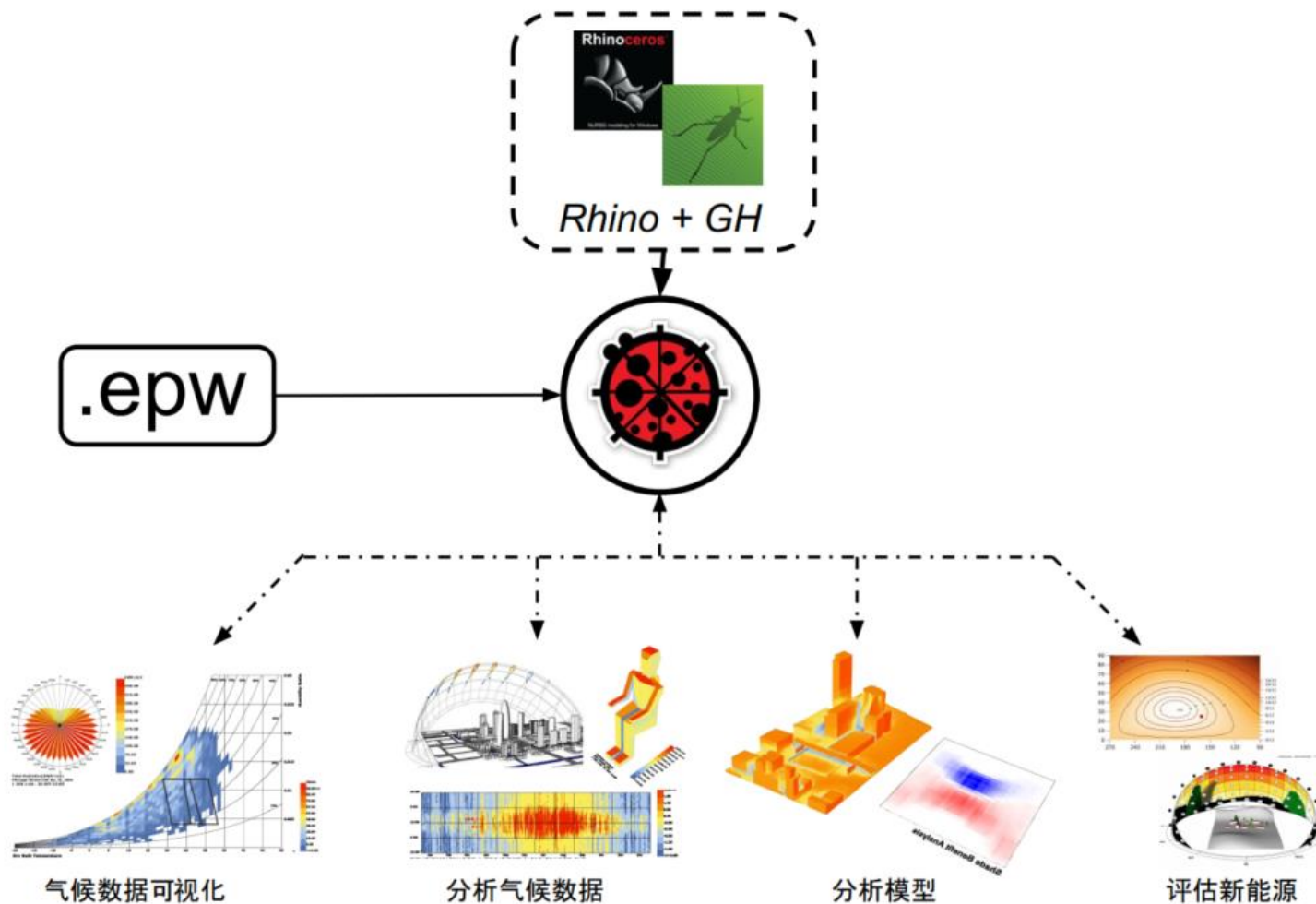
Dragonfly

气候建模
(城市热效应, 气候变化)



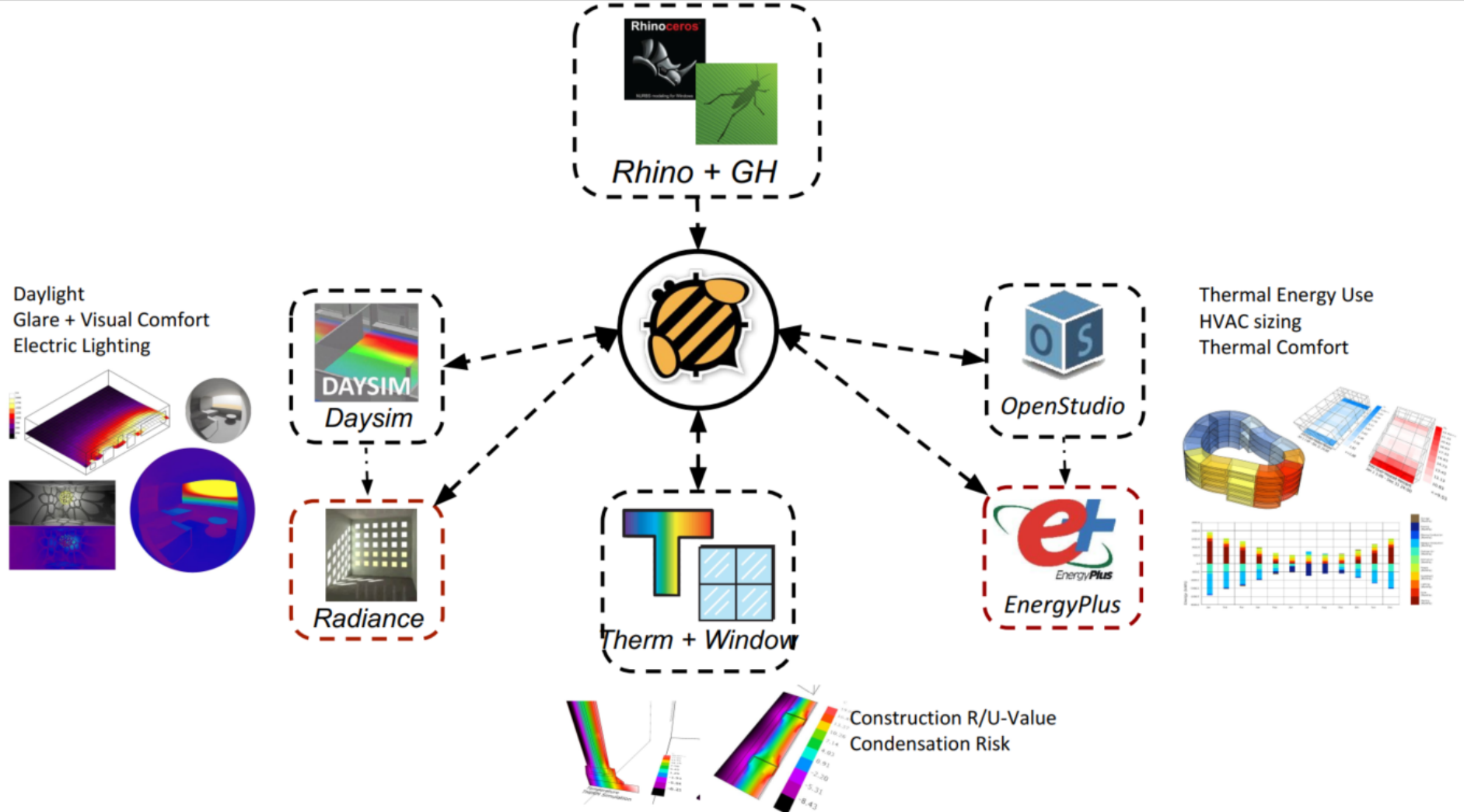
4.1 设计仿真概述

Ladybug



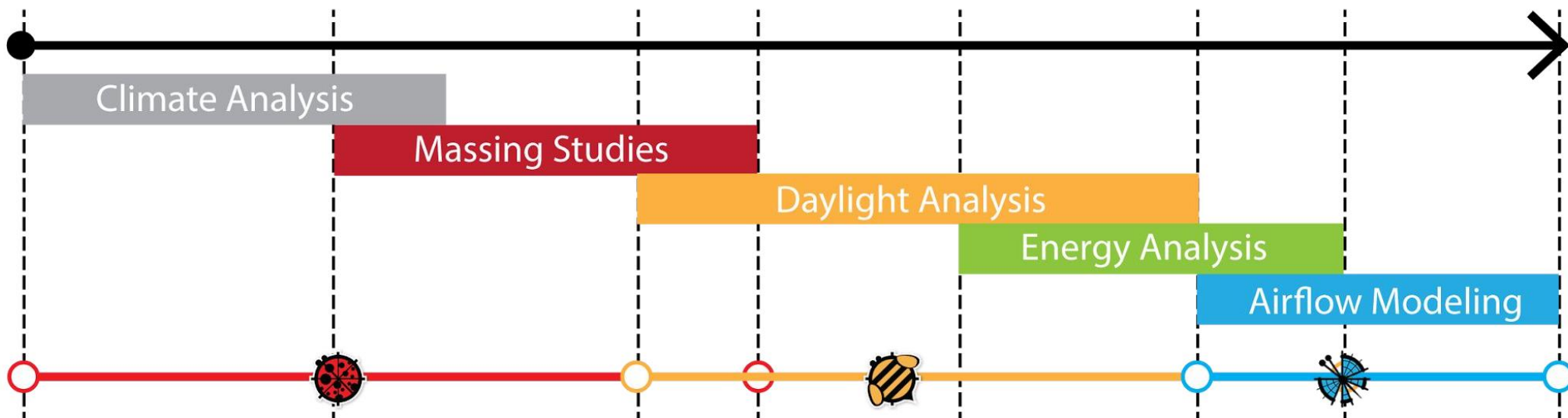
4.1 设计仿真概述

Honeybee



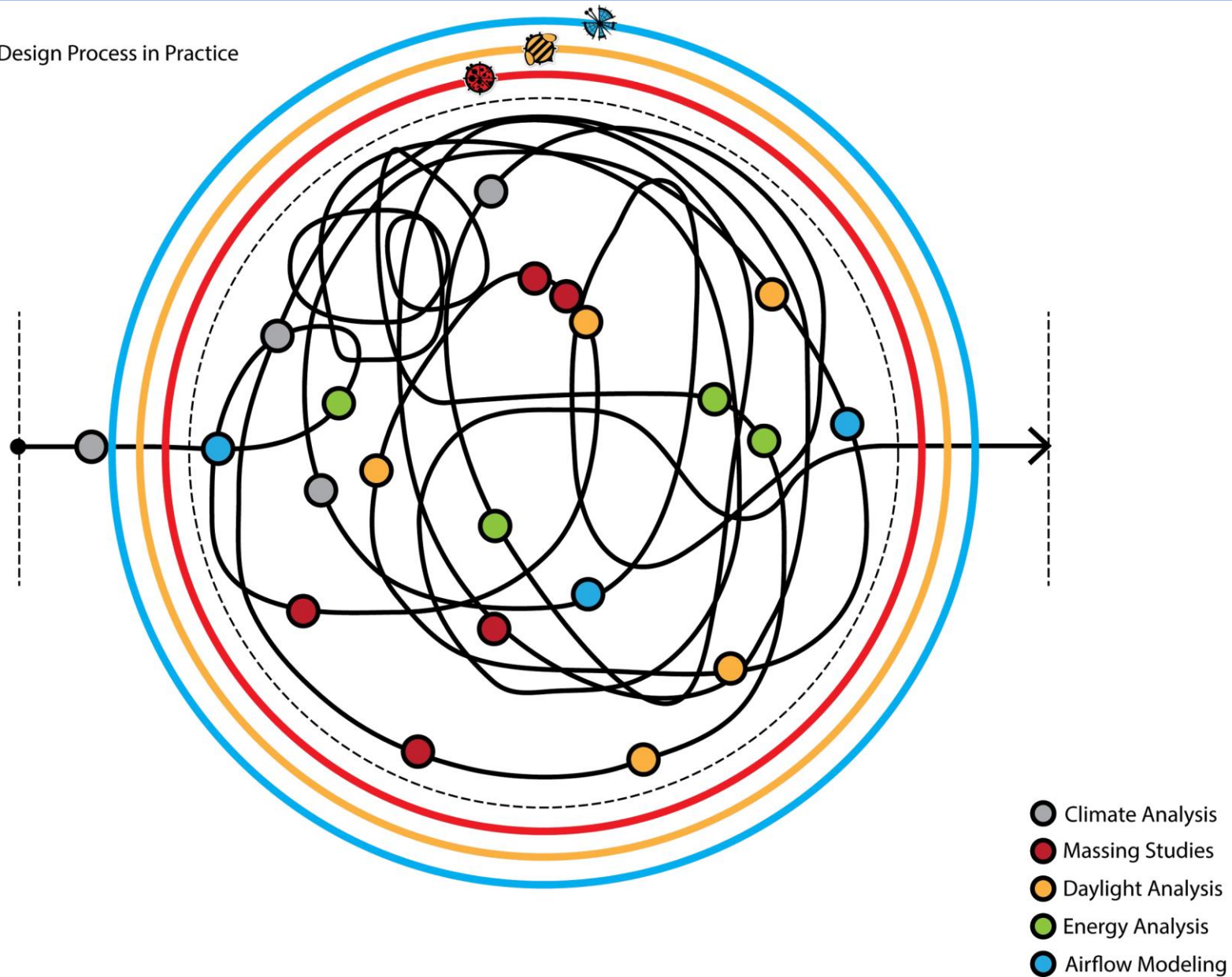
4.1 设计仿真概述

Theoretical Design Process



4.1 设计仿真概述

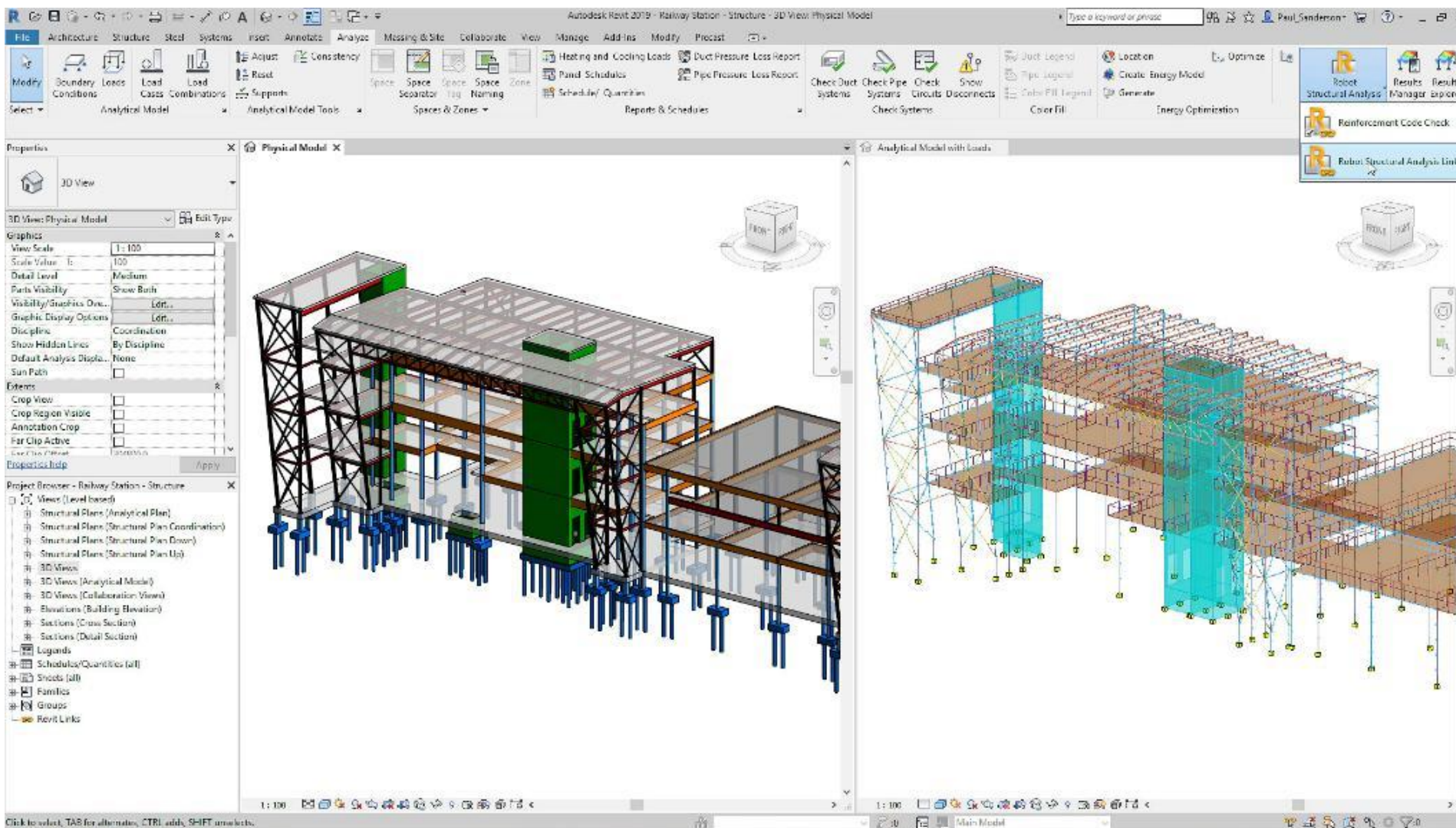
Design Process in Practice



4.2 工程产品性能仿真

工程结构性能仿真

基于 BIM 的结构有限元分析



4.2 工程产品性能仿真

工程结构性能仿真

目前，BIM模型已在迈达斯、SAP2000、ETABS、ANSYS、ABAQUS等主流结构分析软件上实现模型转换接口，但基于BIM的结构有限元建模还涉及到结构构件的物理信息提取、查询和信息赋值，以及将分析结果反馈到BIM模型等一系列复杂精细工作。目前这类应用面临的最大挑战，主要是在形态建模与结构分析软件之间的信息流转还不是非常标准和完备，尤其是将分析结果反馈到BIM模型中进行后续处理和利用。

上海中心

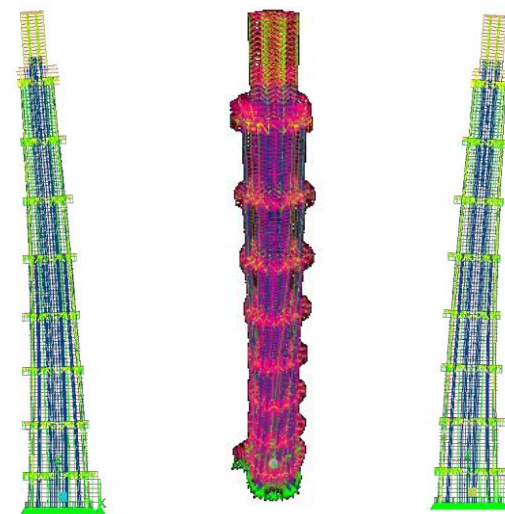
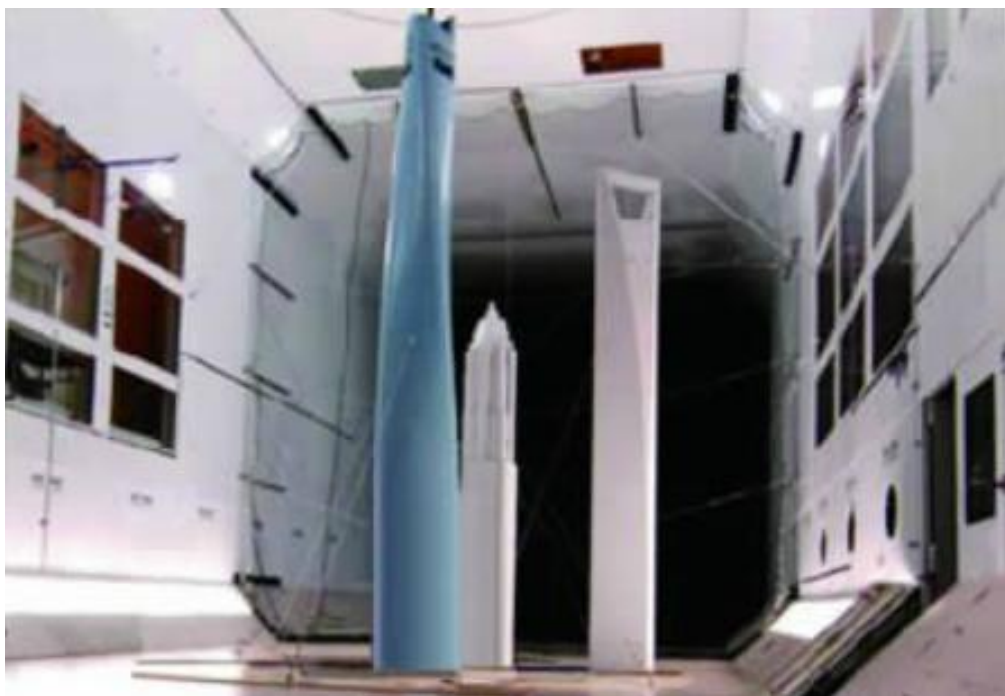




基于三维数字模型的风荷载仿真分析

扭转角 / (°)	方位角 / (°)	基底倾覆力矩 / N · m	比例
0	0	6.22×10^{10}	100%
100	0	5.18×10^{10}	83%
110	0	4.92×10^{10}	79%
180	0	4.18×10^{10}	67%
120	0	4.75×10^{10}	76%
110	30	4.48×10^{10}	72%
120	40	4.15×10^{10}	67%

注:100 年一遇风荷载,阻尼比为 2.0%。



基于 1: 85 高雷诺数风洞试验

4.2 工程产品性能仿真

工程环境影响仿真

为了准确评估工程与所处环境之间的相互影响，提高工程的适应性，可以在工程核心模型基础上，再辅以数字地形图、地图及其他环境信息，利用专业仿真软件对工程与所处的环境之间的交互作用进行仿真分析，优化设计方案。

工程环境仿真也可以用于城市市政工程。针对城市错综复杂的地下综合管线环境，可结合 GIS 技术、无人机倾斜摄影建模、数据库等技术，将工程 BIM 模型与复杂的地形、三维管线等多元空间环境数据融合，直观显示工程与地下管线的空间关系，高效查询地下各管线空间层次、位置、埋深、走向、布设方式、介质类型、权属单位、使用状态等信息，可据此进行工程新建规划与布局、管线迁改方案优化、工程风险预警与损失评估以及智慧运营等方面的仿真分析与决策支持。

4.2 工程产品性能仿真

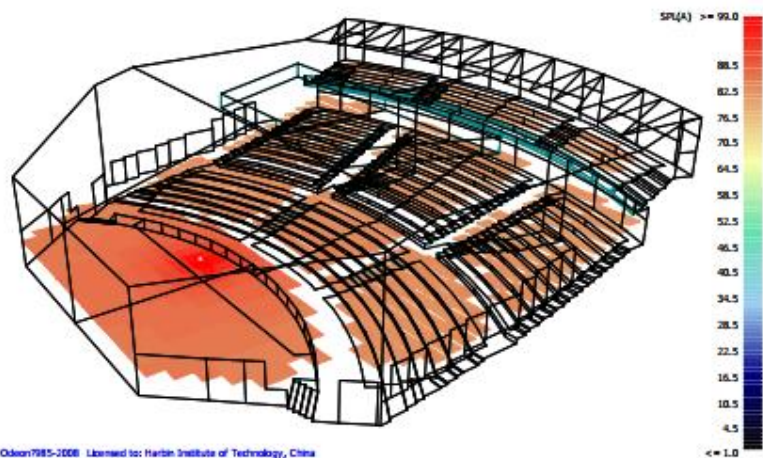
声场仿真模拟

声场仿真模拟多应用在对声音质量要求较高的工程设计中，如音乐厅、剧场、电影院等，或是其他需要对音响或噪声的声场分布进行评估和优化的应用场景中，如户外表演场所、机场、铁路或高速公路沿线等。以建筑空间为例，将空间围护结构的声隔绝性能、声吸收性能、声扩散性能等信息融入模型中，可以进行室内声场仿真模拟；将建筑物体量信息、建筑表皮声学性能等信息融入模型中，再配合专业软件进行分析，则可以实现室外声场仿真模拟。

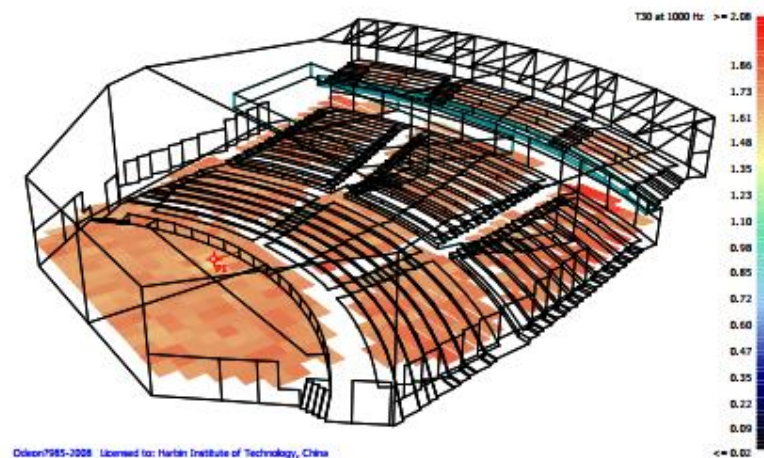
声场仿真模拟所采用的数学模型方法主要有：有限元（FEA）、边界元（BEA）、统计能量分析（SEA）、声线法（Ray tracing）以及其他方法。其中，有限元法基于波动方程，将求解区域划分为有限个单元网格，适用于中低频室内噪声分析；边界元法同样基于波动方程，将区域型问题转化为边界型问题的方法。统计能量分析法主要是从能量角度来分析复杂结构的响应特征，能很好地解决声场与结构间的耦合问题。声线法主要是基于几何声学的仿真方法，把声的传播看成是沿声线传播的声能，主要适用于高频室内噪声分析。

4.2 工程产品性能仿真

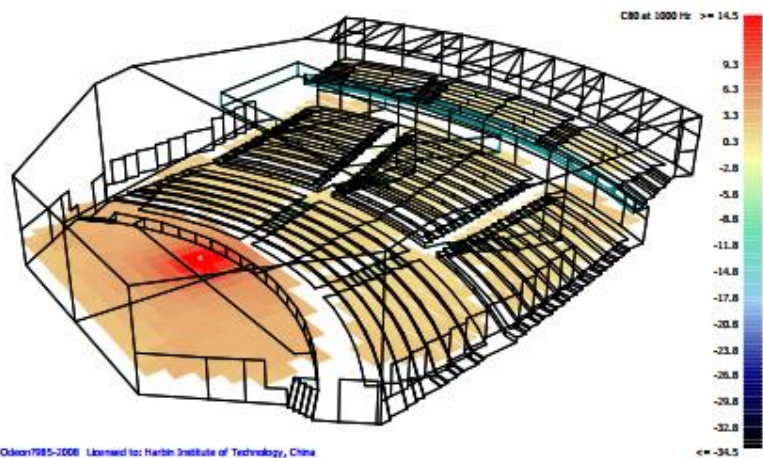
英国伦敦大学学院
(UCL)康健教授团队



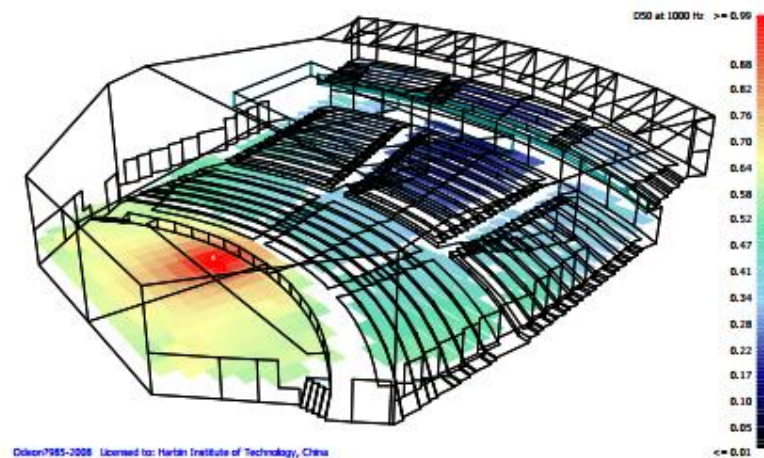
(a) 声压级 SPL (A)



(b) 混响时间 T30



(c) 清晰度 C80



(d) 明晰度 D50

哈尔滨音乐学院音乐厅声学仿真

4.2 工程产品性能仿真

交通人流仿真

对人流密集的基础设施，常常需要借助交通人流的仿真，以获得最佳运行时的人流组织方案，如机场、高铁站、地铁站等。尽管在工程使用前，可以进行交通人流的实际演练，但演练的次数有限，难以考虑各种复杂状况。因此，可以将交通人流仿真与实际演练相结合，通过仿真优化各种复杂的人流方案，通过实际演练来验证仿真结果。

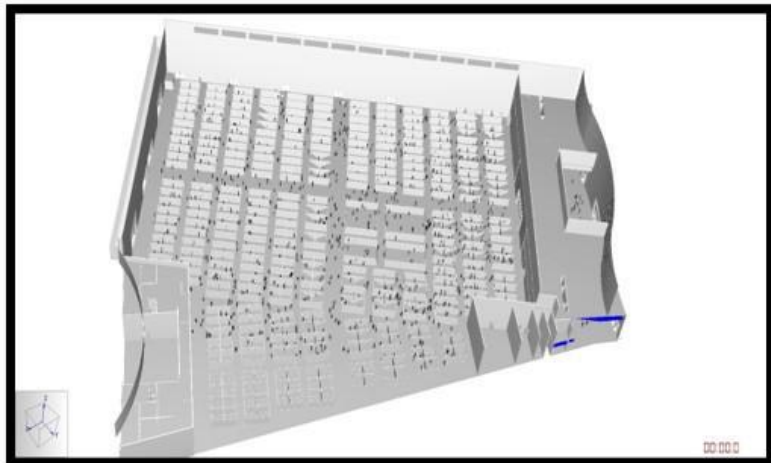
在产品三维建模的基础上，利用相关专业的人流分析软件，可以为设计师、运营管理人员提供清晰的人流状态仿真信息，如人员拥挤现象、各种人行设备使用模式和行人空间安全保障等。借助计算机仿真计算能力，在几个小时内即可完成原本需要几天才能完成的成千上万个个体（人）的仿真；利用计算机可视化技术输出仿真结果，可以支持用户讨论设计相关的复杂问题，以最低的成本和最少的损失在工程人流交通设计的早期阶段做出科学的决策，并可以随着设计的进程和问题的不断出现，对不同的场景和方案进行仿真测试，支持进一步对工程设计方案进行优化。

Exited: 0/100



4.2 工程产品性能仿真

工程人流交通性能仿真应用
武汉国际博览中心项目团队



通过人流
仿真优化
展位布局
仿真

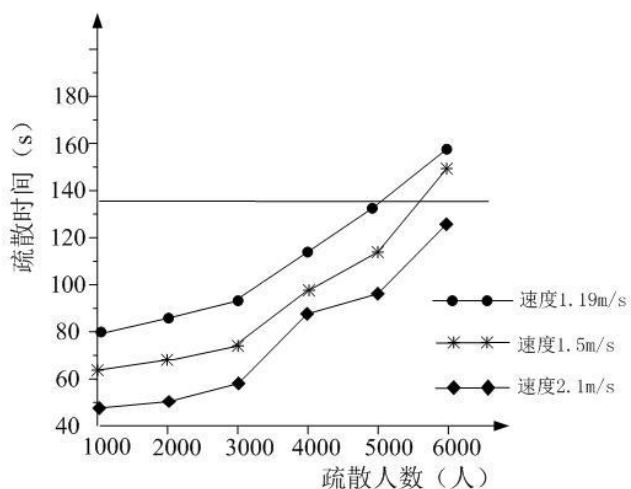


图 疏散速度与疏散人数关系

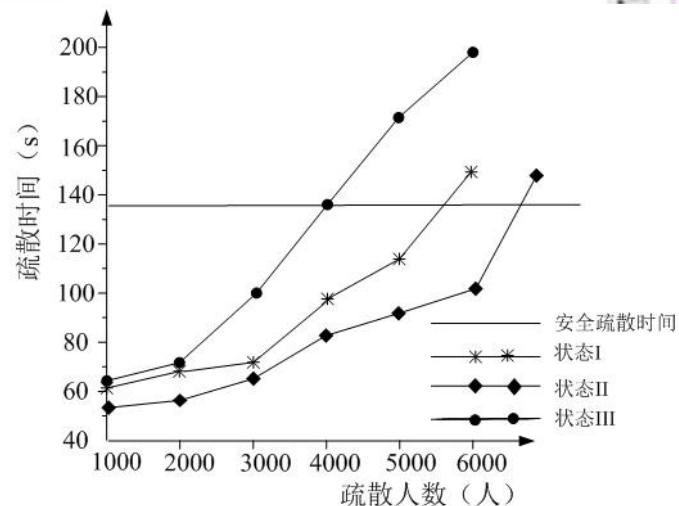


图 障碍物数量与疏散总人数的关系

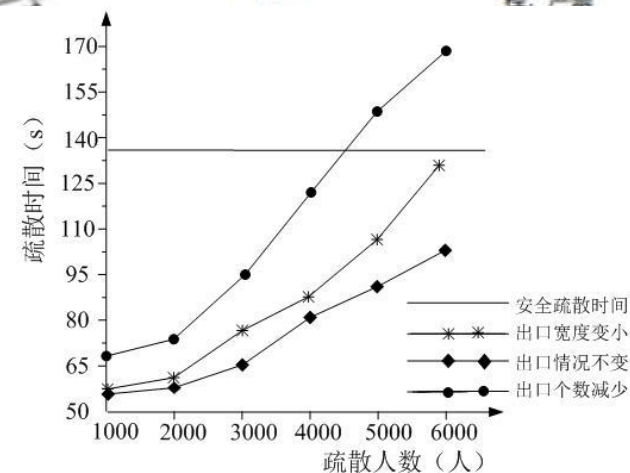


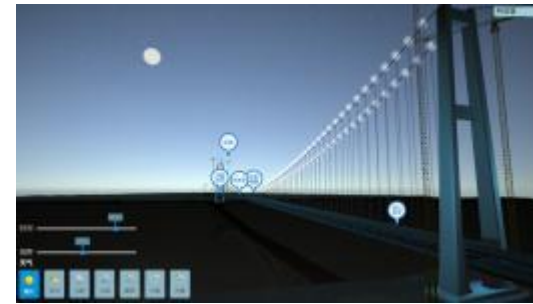
图 疏散出口个数与宽度对疏散时间和疏散总人数的影响

4.2 工程产品性能仿真

工程环境美学性能仿真

武汉杨泗港大桥美学仿真

日照色彩
搭配仿真



天气色彩
搭配仿真



环境色彩
搭配仿真



【基本概念】

基于模型的产品定义 (MBD)

MBD与工程设计

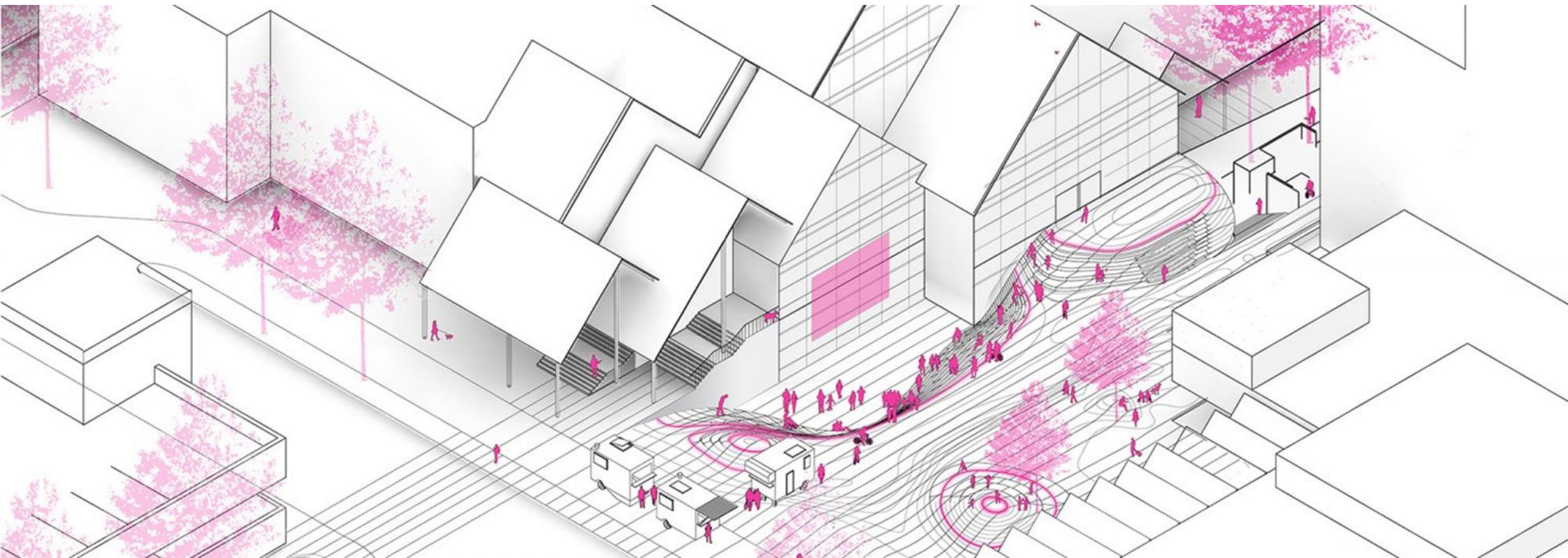
【主要模块】

方案设计

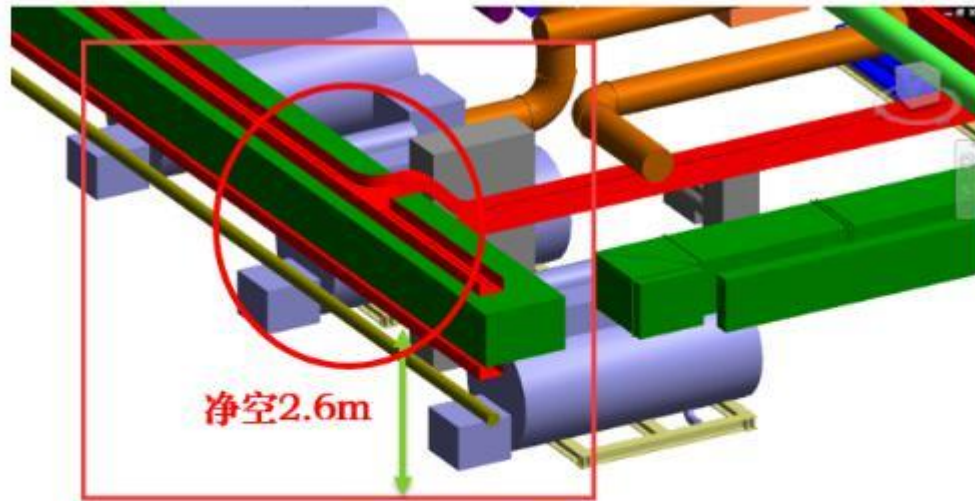
性能优化

审查评价

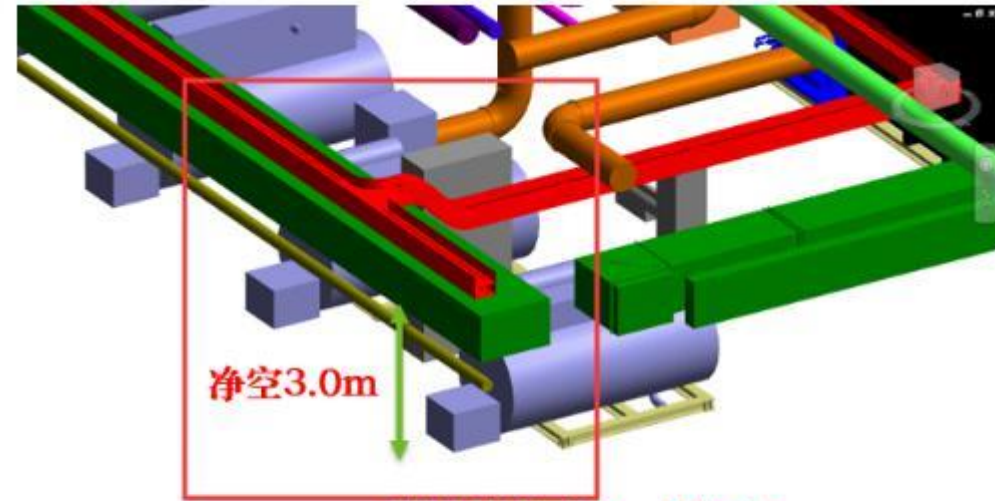
工程管理



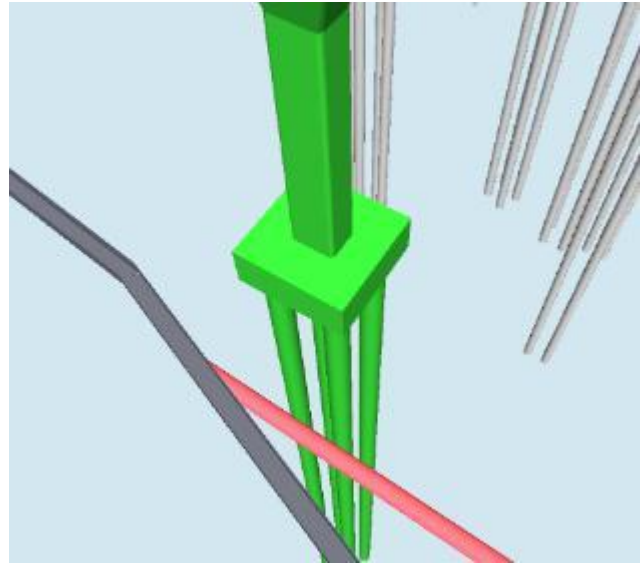
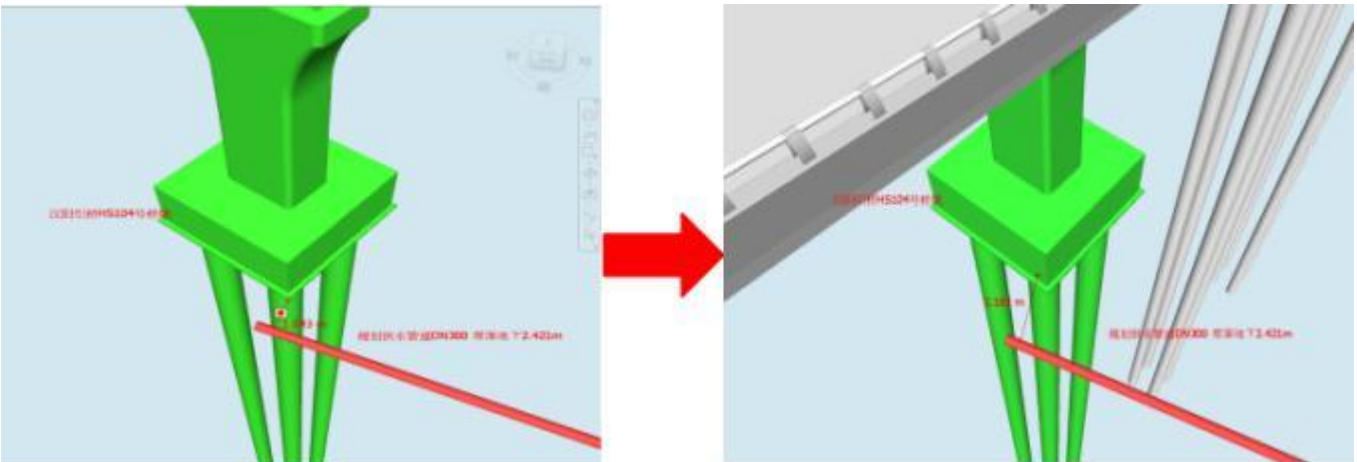
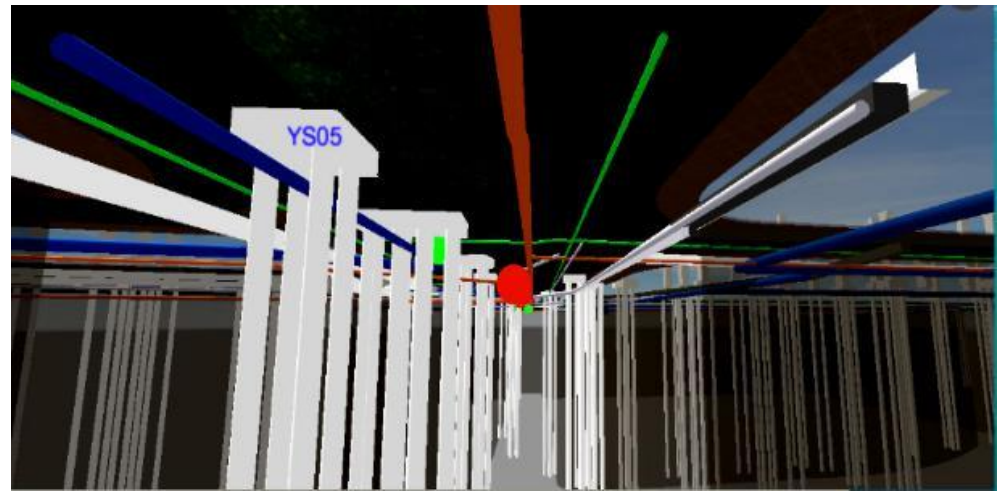
以建筑工程设计质量为例，由于建筑、结构、机电管线系统一般都是由不同专业分工协同设计的，经常会在空间上发生冲突和碰撞等设计质量问题，一般包括硬碰撞和软碰撞两种情形。硬碰撞是指两物体在空间上有所重叠而发生碰撞，软碰撞是指两物体在空间上虽未重叠，但是出于施工或维修方面的考虑，无法满足活动所需的空间距离。



桥架与风管碰撞，桥架分层设计，需要分别架设桥架支架

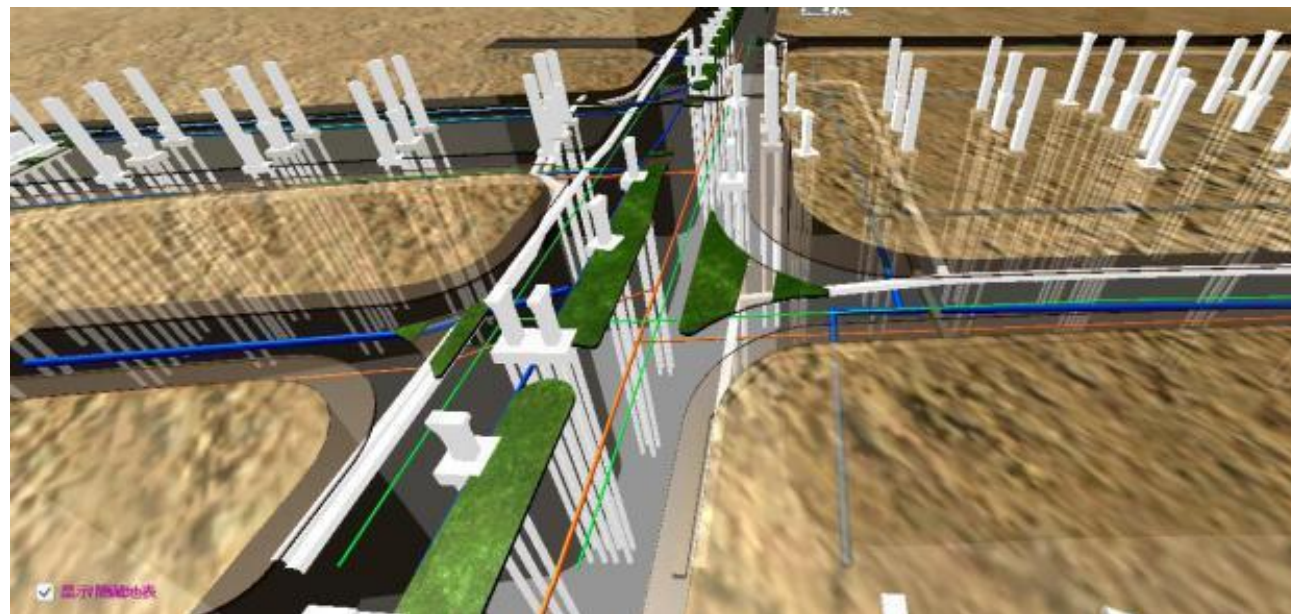


送风管道下移，桥架合并，可减少一层桥架支架数量，进而节省材料





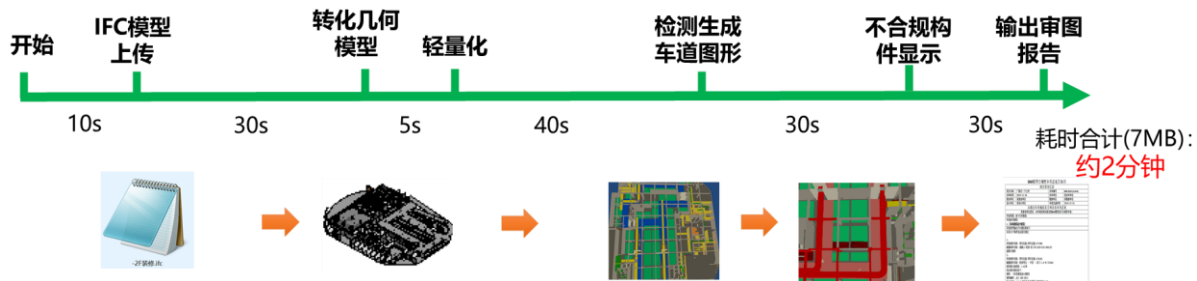
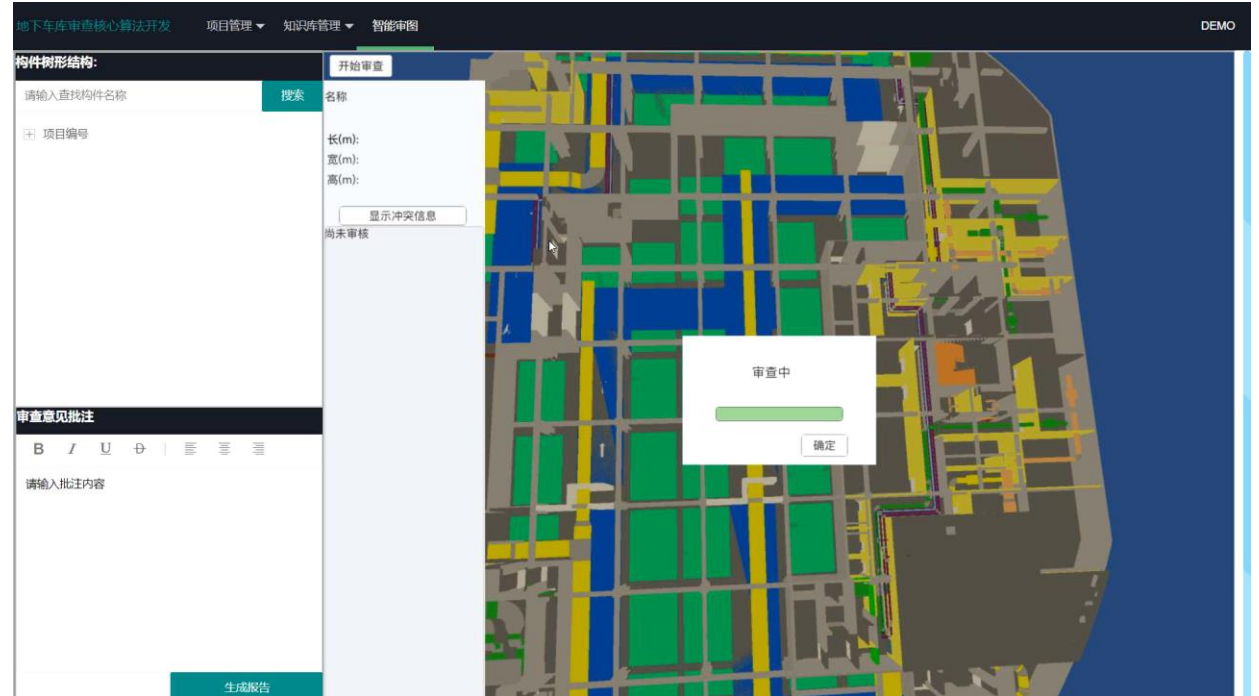
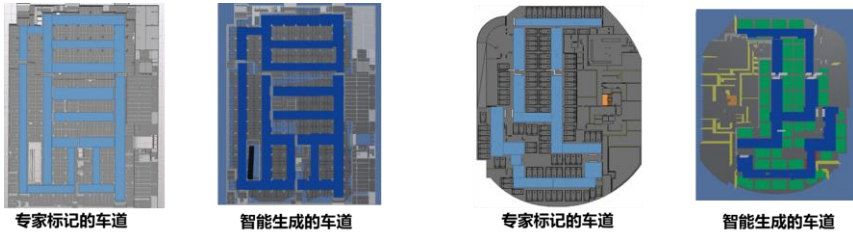
地下管线 AR 施工指导



竣工地下管线综合 BIM 模型

BIM地下车库净高审查系统

车道智能识别算法准确率达到98%以上，
整个过程审查耗时2-15分钟



【基本概念】

基于模型的产品定义 (MBD)

MBD与工程设计

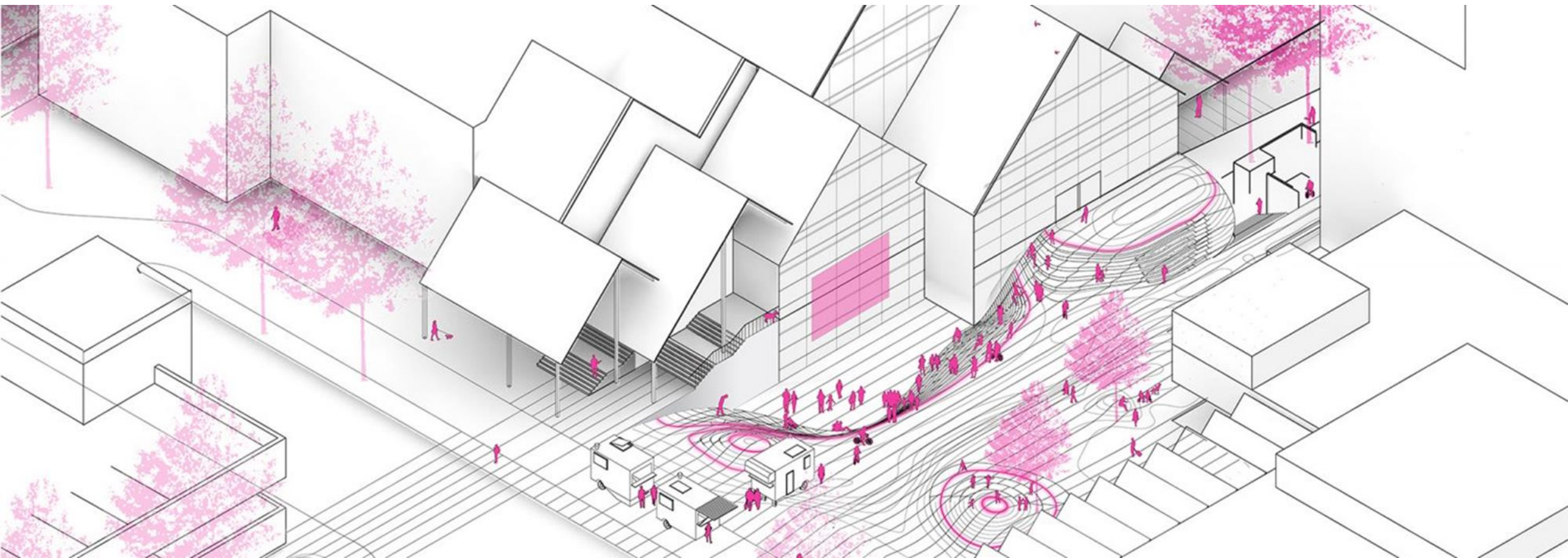
【主要模块】

方案设计

性能优化

审查评价

工程管理



工程设计成果的动态、可视化浏览

武汉城投秀水青城项目团队



工程高精度、 可视化表达改善管理人员认知

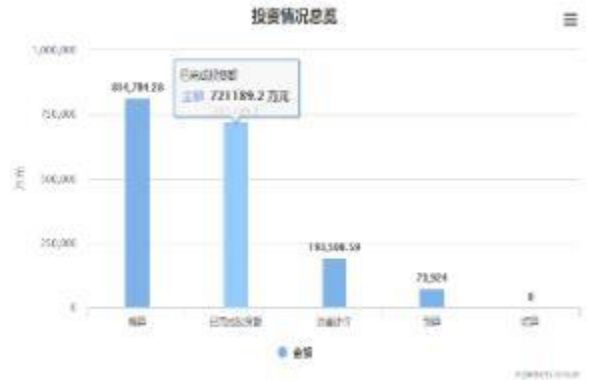
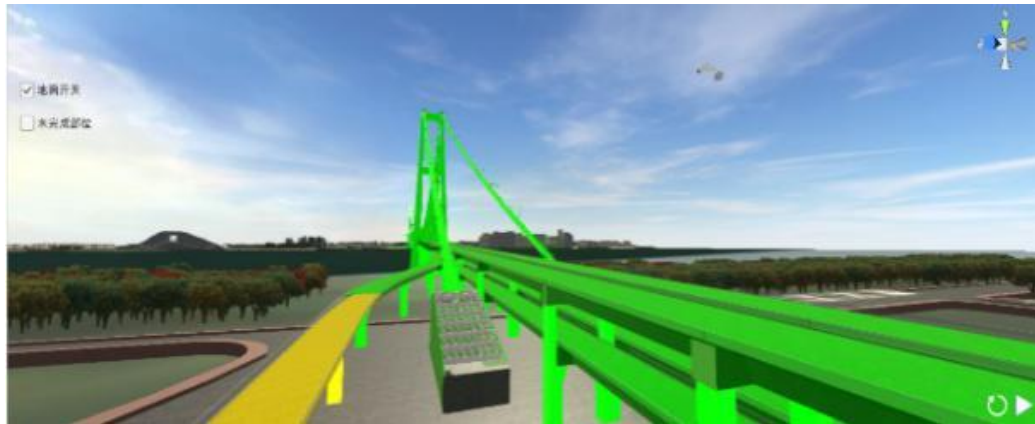
工程进度计划仿真

利用 BIM 技术，在工程三维几何模型基础上进行维度的拓展，加上时间维度，就可以形成工程进度管理模型，进行虚拟施工进度仿真。通过与时间信息的关联，可以方便地仿真分析工程进度计划的可行性和经济性，及时调整与优化进度



工程成本计划仿真

将 BIM 模型与工程进度模型，以及工程量和成本计算模型结合，可用于工程成本动态控制，并快速计算各种材料用量，指导材料采购，降低项目的整体成本；与此同时，成本控制数据，也为后期竣工交付管理提供支持



列表信息

找到50条记录, 显示 1 到 10

序号	选择	年度	月份	施工标段	施工单位	计划投资额(元)	完成投资额(元)	上报状态	审批状态
1	⊙	2019	6	武昌侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第二项目部	54,170,000.00	132,050,000.00	已上报	跟踪-审核通过
2	⊙	2019	6	汉阳侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第一项目部	54,170,000.00	130,000,000.00	已上报	跟踪-审核通过
3	⊙	2019	5	汉阳侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第一项目部	54,170,000.00	100,450,000.00	已上报	跟踪-审核通过
4	⊙	2019	5	武昌侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第二项目部	54,170,000.00	101,040,000.00	已上报	跟踪-审核通过
5	⊙	2019	4	武昌侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第二项目部	54,170,000.00	49,150,000.00	已上报	跟踪-审核通过
6	⊙	2019	4	汉阳侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第一项目部	54,170,000.00	50,550,000.00	已上报	跟踪-审核通过
7	⊙	2019	3	武昌侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第二项目部	54,170,000.00	52,000,000.00	已上报	跟踪-审核通过
8	⊙	2019	3	汉阳侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第一项目部	54,170,000.00	53,290,000.00	已上报	跟踪-审核通过
9	⊙	2019	2	武昌侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第二项目部	54,170,000.00	61,990,000.00	已上报	跟踪-审核通过
10	⊙	2019	2	汉阳侧	中铁大桥局集团有限公司武汉杨泗港长江大桥总承包项目部第一项目部	54,170,000.00	61,800,000.00	已上报	跟踪-审核通过

投资 (万元)

项目总投资: 848628
开票完成投资: 721189

侧别	年度	完成投资额	计划投资额	完成比例
汉阳侧	本月	13000	5417	240%
	本年	51295	65000	79%
武昌侧	本月	13205	5417	244%
	本年	51215	65000	79%
总计	本月	26205	10834	242%
	本年	102510	130000	79%

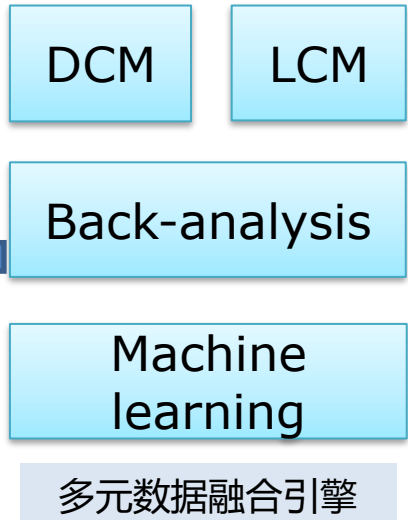
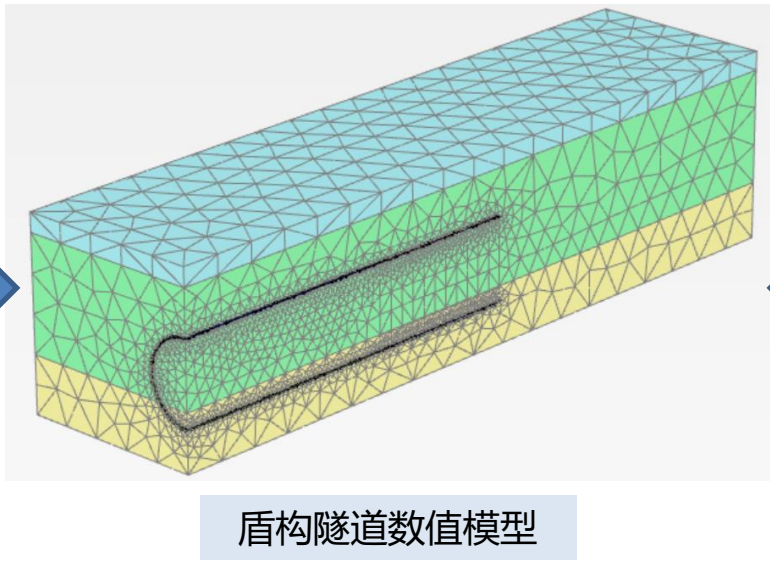
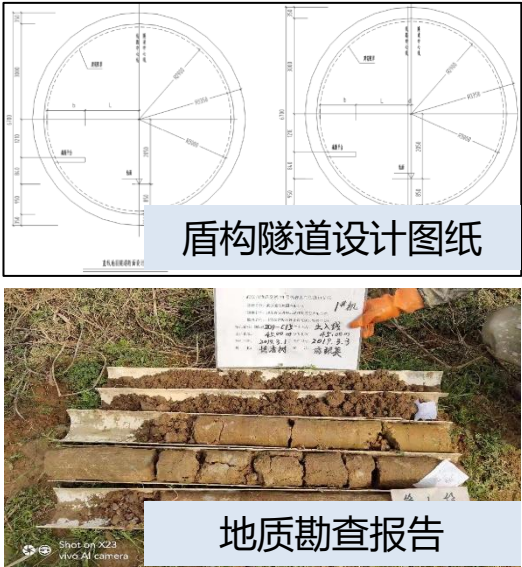
杨泗港大桥项目成本管理仿真

工程安全管理仿真

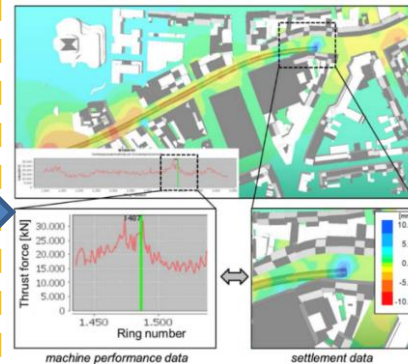
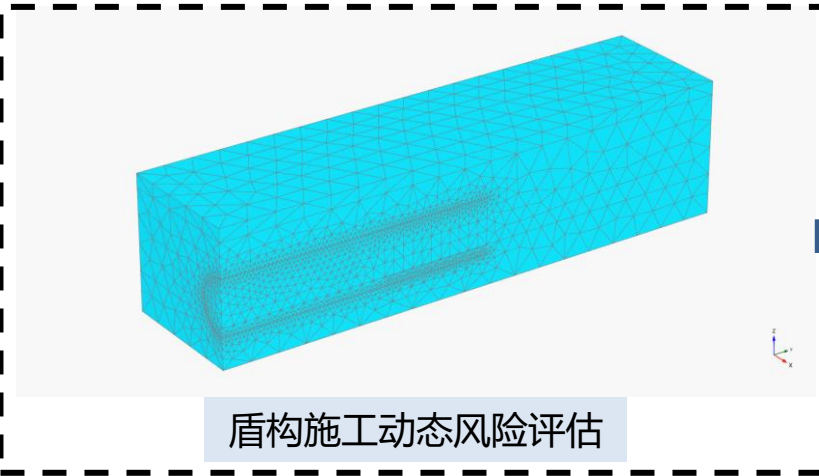
在一些不确定性强、危险程度高的工程建造中，可以进行工程安全管理仿真。以高海拔地区工程建造为例，常常面临地壳强烈隆升、河谷深切、冰川运动活跃、风化活动强烈等安全挑战。

突发事件的仿真模型构建是系统仿真的基础，在该阶段需要清晰地定义“致灾体”、“承灾体”与“抗灾体”三类要素，并通过情景推演的方法构建“致灾体”与“承灾体”之间的相互作用规律，形成突发事件演化网络。多决策主体行为仿真分析则根据突发事件的发生情景，定义各个智能主体的应急响应机制，通过“由下而上”的方式使多主体之间相互作用并演化，最后根据评估目标建立数学模型，自下而上地“涌现”出基础设施的韧性特征，提升工程建造的安全保障水平。

施工中风险控制——混合模型支持的时空风险云预警技术



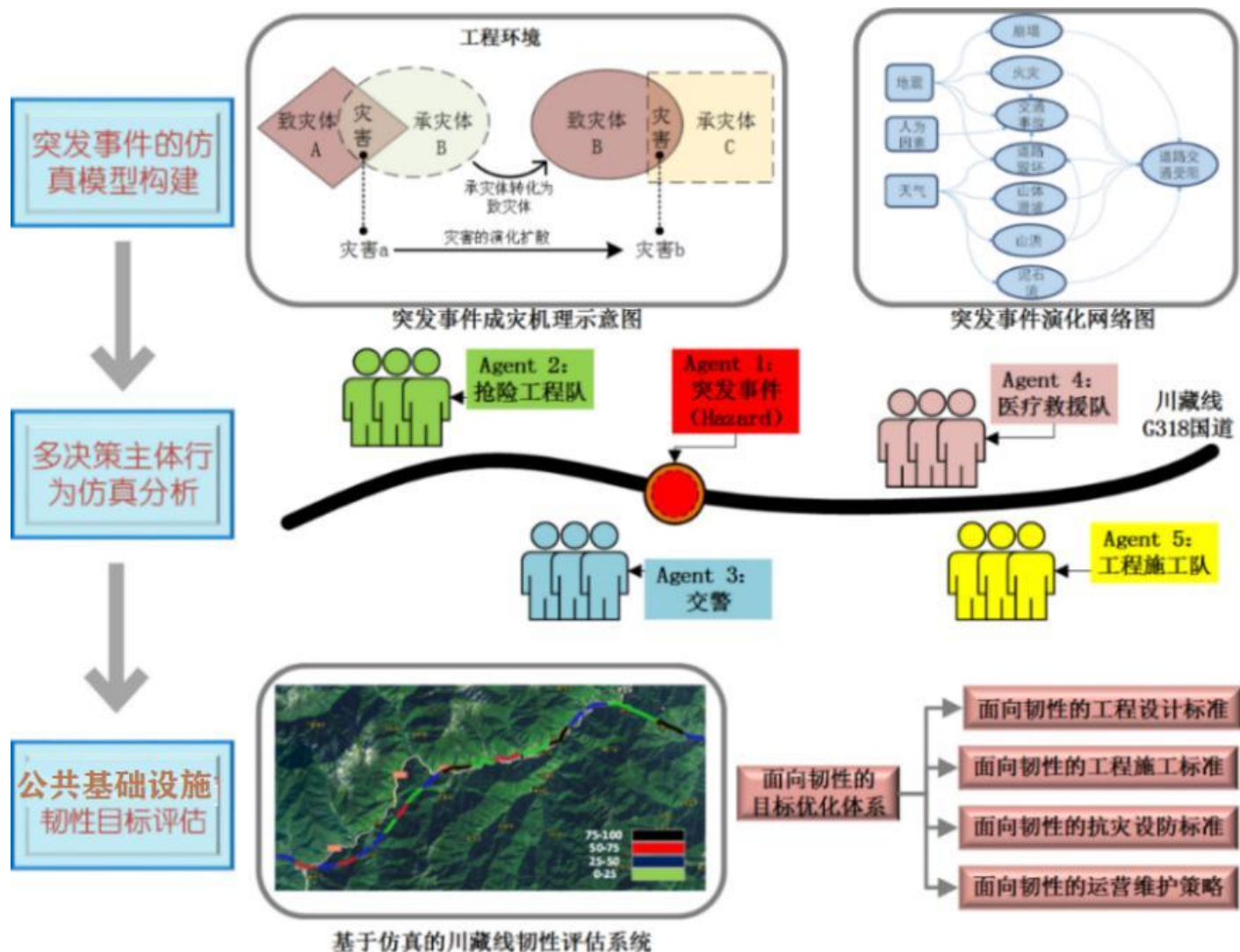
基于现场实时监测数据和数值分析模型，生成数据机理混合模型，实现对盾构隧道的施工过程中的实时风险分析和预测



- 地表沉降分级预警
- 掌子面稳定性分级预警
- 衬砌结构风险分级预警

动态风险可视化

如图所示，是针对川藏通道工程建立的安全仿真分析框架，其主要过程包括：突发事件（灾害）的仿真模型构建、多决策主体行为仿真分析以及韧性目标评估等。



基于多主体建模的川藏线运行韧性仿真分析框架

BIM软件生态

- 国外BIM相关软件
 - 以“ABC”为主
- 国内BIM相关软件
 - 建研院、广联达、鲁班等
- 自主研发BIM相关软件现状
 - 差距明显，仍需努力
 - 资源投入、政策鼓励、产业生态方面均需进一步加强

中国工程软件 应用现状与发展建议



未来的趋势是什么？接下来我们该怎么做？

- 工程建造设计数字化、一体化、智能化的浪潮势不可挡
- 设计将承担更多的责任，施工将越来越“傻瓜”，管理将越来越“精准”
- “建筑总是看起来落后于其他行业30年。—— Le Corbusier” 以后将不再如此



谢谢

联系方式:

陈维亚

weiya_chen@hust.edu.cn

- ARCH 655 Parametric Modeling in Design Professor Wei Yan, Texas A&M University
- ARCH753 Building Performance Simulation, Efrie Escott, University of Pennsylvania