

BIM 的前世今生

&&&

三维 BIM 智能正向设计

本报告是基于中国集团公司促进会智能技术研究院院长、天衍智（北京）科技有限公司首席科学家陈博士在 2019 年 10 月 11 日华度智通（廊坊）工程咨询有限公司所主办的“三维 BIM 智能正向设计进展及展望——华度智通三维 BIM 智能正向设计研发进度说明会”现场所作报告内容整理而成，有删节和部分修订。

中国集团公司促进会智能技术研究院
天衍智（北京）科技有限公司
2019 年 10 月

目 录

一、对建筑设计的再认识	1
1. 什么是建筑?	1
2. 什么是设计?	1
3. 什么是协同?	1
4. 什么是二维图纸?	2
二、对建筑 BIM 的再认识	3
1. BIM 的概念	3
2. BIM 的本质	3
3. 主流 BIM 现状剖析	6
三、对主流建筑 BIM 建模平台 (REVIT) 的再认识	8
1. REVIT 自动检测修改数据问题	8
2. REVIT 底层度量尺度英寸导致的不可控误差	8
3. REVIT 模型外部导入的不可完全编辑问题	9
4. REVIT 人机堆砌 BIM 模型的质量不可检测问题	9
5. BIM 模型构建“一张图 N 层皮”问题	10
6. 不同阶段 BIM 模型不可关联与双向修改问题	11
7. BIM 应用中的轻量化 BIM 问题	12
四、主流建筑 BIM 正向设计的基本特点	13
1. 特点一：直接基于三维 BIM 平台进行设计	13
2. 特点二：基于碰撞检测实现各专业的协同设计	14
3. 特点三：直接基于三维 BIM 模型输出二维图纸	15

五、天衍智 BIM 智能正向设计的基本特点.....	15
1. 构建建筑 BIM 底层智能逻辑描述框架.....	15
2. 基于常规图纸形成 BIM 智能建模二维图纸.....	16
3. 智能构建三维 BIM 逻辑模型.....	17
4. 智能生成满足不同专业化 BIM 模型.....	18
5. 各阶段各专业 BIM 模型的动态有机对象化管理....	18
6. 基于对象阵技术解决 BIM 轻量化难题.....	19
六、华度智通三维 BIM 智能正向设计进展.....	20
1. 结构与荷载计算智能化.....	20
2. 概预算智能化.....	20
3. 出图智能化.....	22
4. 专业三维 BIM 设计.....	22
5. 成果报告智能化.....	23
附：问答环节记录	23

一、对建筑设计的再认识

1. 什么是建筑？

天衍智对建筑的定义：适合于人类活动的人造或半人造的安全场所。建筑以人为本，通过结合特有的地形地质改造，加上人造的材料进行组合，构建一个供人类生活工作的安全场所。

2. 什么是设计？

天衍智对设计的定义：从经济性、技术性和功能性三个指标出发，针对拟建的适合人类活动的人造或半人造场地，构建一套可实现的路线图或方案。

3. 什么是协同？

大致 2002 年，欧特克开始在中国提出协同设计，到 2012 年协同设计的概念在全国加快普及。协同这个概念非常好，但对传统模式来讲，协同设计是条不归路。

设计是一个人才梯队的集合，包括设总、专项总、设计师、数值计算技术员、绘图人员等，涵盖了规划、建筑、结构、机电等专业。基于每个设计人员对规范的认识以及对图纸的理解，彼此之间建立协同和合作，从而保证整体建筑的一致性，这是目前整个工作的主要过程。

其中面临很大的问题。首先，每个人对规范的理解不同，每个人所积累的经验知识也不同。其次，每个人对他人图纸的理解是不一样的。由于不同人的理解都有自身的个性、不

完备性和不可控性，因此，只要是基于人对规范、对图纸理解的设计，是根本无法实现协同的。

4. 什么是二维图纸？

先提出一个问题：为什么在二维图纸时代，专家能够方便地进行图审质检？审阅二维图纸并结合其中的标注，整体上易于实现图纸合理性及质量的判断。而在 BIM 时代面对三维模型，为何专家反而难以图审质检了？

这需要先回归到图纸的本质，什么叫图纸？二维图纸有三大要素：①图元要素，用于描述轮廓及变化等；②尺寸标注及解释说明，用于描述空间的关系等；③责任标注，用于说明设计方责任主体的信息等。

在二维时代，图元要素主要是表征建筑的结构特征，并不严格体现真实尺寸，不真实体现空间逻辑。真实尺寸由尺寸标注所完成，所以二维图纸中的尺寸标注至关重要。

如图 1 所示，是一张典型 CAD 图纸的局部实例，显然其中柱子和梁的相接都不是拓扑一致的（严格上说是有问题

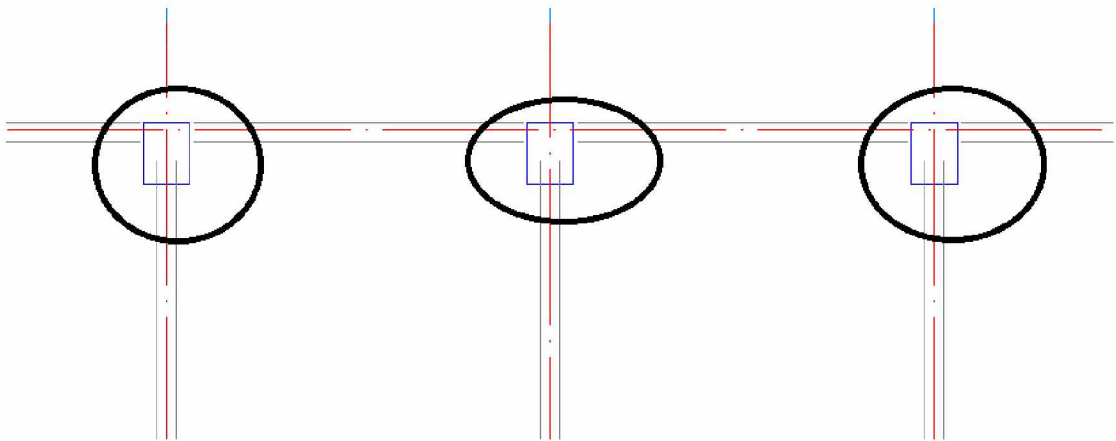


图 1. 典型建筑 CAD 图纸的局部示例

该问题在二维图纸中可以忽略，因为图元要素本身只是示意，需要通过尺寸标注来完成图形的质量把控。

但在三维时代，BIM 模型本身不仅表达空间分布，而且需通过空间模型自身的真实尺寸来描述空间逻辑。一旦某一步建模过程产生了误差，专家就难以评审对错，而且很多时候在人机交互进行 BIM 建模的时候，诸多软件会自动修改尺寸（所谓的智能化修正功能），导致了整个模型的不可控性。

二、对建筑 BIM 的再认识

1. BIM 的概念

主流对于 BIM 有三种解释——①Building Information Model，建筑信息模型；②Building Information Manufacture，建筑信息制造；③Building Information Management，建筑信息化管理。

国际主流 BIM 界将建筑分为三大类：①Building——建筑物，例如住宅楼房等；②Structure——构筑物，例如厂房、水坝、电站等；③Linear Structure——基础设施，例如公路、铁路等线状结构工程。

但是，这种分类方法仅是一种表象分类，并未反映不同建筑类型的本质逻辑。

2. BIM 的本质

天衍智将 BIM 分为三大类：以机械工程核心逻辑为主导的 BIM 类、以空间环境核心逻辑为主导的 BIM 类、以建筑结构核心逻辑为主导的 BIM 类。

①以机械工程核心逻辑为主导的 BIM 类

以机械工程核心逻辑为主导的 BIM 类的典型包括：火电厂、石化厂、钢铁厂等，其结构较为简单，但是内部的管道设备等较为复杂。例如，电厂中往往涉及几十万条纵横交错的管道。该类工厂建筑可以视为一个现场定制的大型机械体，其本质是机械体的三维设计。因此，它的逻辑跟建筑结构是完全不一样的。

该类工厂建筑的建模在国际上比 BIM 发展得早很多。大概在上世纪八十年代，在电力、化工等领域就开展了工厂的三维设计。比如法国的达索、英国的 PDMS 等，早期都开发了面向机械设备和工厂类的大型三维设计平台，那时候还没有 BIM 的概念。

中国 BIM 的发展进程大致为：1998 年左右，中国寰球工程公司第一次引进技术开展石化工厂的三维设计。2001 年左右，电力行业系统开始开展电厂的三维设计，包括中国能建的七大国家级规划院和全国二三十个省份的省级电力设计院，并在 2005 年基本得到普及。2002 年，欧特克公司在中国开始推广协同设计。2006 年，水电领域开始开展三维 BIM 设计，包括华东院、成勘院等。2008 年开始，欧特克公司跟国内相关单位合作开始推广建筑 BIM 三维设计。到 2011 年，住建部开始发布相关政策推广 BIM 技术。

可以说，中国的 BIM 三维设计是从工厂开始发展而来的，天衍智称之为以机械工程核心逻辑为主导的 BIM 类，它是以机械空间逻辑为主导的设计体系，而建筑结构在此类工程中

实质上只是其中的支撑性工程。

②以空间环境核心逻辑为主导的 BIM 类

以空间环境核心逻辑为主导的 BIM 类，主要面向以地形地貌地质为主体的三维设计。比如水电站，最难的不是坝体的模型，而是坝体相关联的地质和地形、库区淹没、边坡治理等的专项工程。

所以，水电站、高铁、机场、公路、电网等大区域或带状基础建设工程，天衍智称之为以空间环境核心逻辑为主导的 BIM 类，这类工程 BIM 的核心不在于建筑结构，而在于对地形、地貌、地质安全、水文灾害等的综合适应性建设体系。

当然，有些基础建设工程也会涉及到特定的机械工程核心逻辑，比如电网的铁塔、水电站的水轮机等。

③以建筑结构核心逻辑为主导的 BIM 类

第三类才是相对简单的建筑结构 BIM 设计体系，包括建筑的美观、荷载、安全、结构均衡优化等。

天衍智对于 BIM 的三大分类体系与主流分类不同，这才是深刻反映了整个建筑体系的本质特征。

比如，水电领域的三维 BIM 设计，传统关注的建筑结构 BIM 只是一小部分，关键是模型需要与地形和地质体一体化，考虑库区淹没对周边的危害、地质灾害的监控等。

比如，在工厂模型中，需要保证大量各种类型管道（热力管道、电力管线、压力管道等）整体的连通性、在安装过程中的有效性等。以前，一个电厂的建设，管道安装的浪费在 5%到 10%，因为所有的管道和配件都是根据设计图纸定制

的，一旦设计出了问题，定制加工后到现场安装，很多都要推倒重来。所以，电力设计院系统愿意投入巨资购买三维设计软件，比如英国 AVEVA 公司的 PDMS 等。

天衍智所定义的以机械工程核心逻辑为主导的 BIM 类、以空间环境核心逻辑为主导的 BIM 类、以建筑结构核心逻辑为主导的 BIM 类，已经在各个工程领域开展了诸多应用，只是因为当前主流 BIM 政策及技术应用更多的关注了建筑结构这一部分。其实，在生态文明建设中，包括流域治理、矿山修复、土壤修复、海绵城市、精准农业等，本质上都跟 BIM 息息相关。现在重庆提出了 GIM 的概念，将 BIM 跟 GIS 相结合；雄安提出了 CIM 的概念。其实都是相通的。

建筑分为两部分——半人造的和完全人造的。比如，地基基本上都是半人造的，因为它依托于地质等自然体而存在；砖瓦楼房就是完全人造的。所以，天衍智所定义的三大类 BIM 技术体系才是整个建筑体系和整个 BIM 体系的一个全貌。

所以归结起来看，BIM 的本质就是：构建建筑结构及其关联环境之间的空间逻辑体系——在建筑结构体与地质、地表等环境之间，构建一体化的综合框架。当前主流的 BIM 模型，只是某个视角下的一种表征而已，并不能完整地描述整体空间的逻辑。

3. 主流 BIM 现状剖析

不少 BIM 建模领域的专家可能都有六七年经验了，对 Revit、Catia、Bentley 等各种软件很熟悉，觉得这些软件很先进，不过也可能觉得使用起来不太方便。

以国内某大型水利电力勘测设计院为例，该院是中国最早一批开展 BIM 应用而且实力最强、投入最大的设计院，在 2007 年开始开展三维设计，累计投入数亿资金，跟全世界主流的软件商——Revit、ArcGIS、GoCAD、Catia、Bentley 等几乎都有合作，也有相应的软件产品。

2015 年，我们去该院 BIM 中心交流，做了两天的报告。去年底我们跟该 BIM 中心相关技术人员沟通，问他们进展如何。他说该院所有的设计信息全部入库了。据了解，就是建了一个云中心，将地形地貌、设计、计算、监测等各类数据都能够传到云端进行保存，后面每个专业都可以用。这就好比家有很多金银财宝、衣服、鞋子、帽子、汽车、家具等统统扔在仓库里，扔了上亿件。某天突然想从这上亿件物品中找到想要的那一个珠宝，几乎是不可能的，跟没有这个珠宝是一样的。该院整体数据已经是海量了，这么多数据全部存在云端，每项应用类数据又都是相对孤立的，可以说这些数据几乎是没有综合使用价值的。但是，数据又很娇嫩，需要合适的存储设备、空调、温度、湿度等，维护成本很高。

所以，数据的核心不在于简单的汇集，而是在于构建一套有序的数据逻辑体系，才能在特定的专业场景中进行使用。BIM 数据也是如此。

该院在最辉煌的时候拥有近 200 人的 BIM 团队，到如今只剩几十人了。为什么在住建部大推 BIM 的时候，该院反而淡化了 BIM 的角色？因为他们在长期实践中体会到了其中的巨大难度和痛。

三、对主流建筑 BIM 建模平台（REVIT）的再认识

1. REVIT 自动检测修改数据问题

在 Revit 人机交互建模过程中，软件包含一些自动化修改功能，比如当构件之间相距很近时，软件会自动修改参数，将相关构件进行连接。所构建的 BIM 模型部分尺寸相较于原本的设计参数已经自动发生了改变，产生了差别。一旦建模人员并不察觉或者遗忘了这种改动，那么在后续的质量检测和施工、装配式等应用中会导致很多的问题。Revit 这种自动修改功能有时候是灾难性的——类似于波音 737 的智能增稳系统导致了一系列坠机事故一样——会给设计质量带来巨大的隐患。设计建模过程中，哪些参数被自动修改了？修改了多少？难以检测确认。这是人机交互建模过程中常遇到的问题。

2. REVIT 底层度量尺度英寸导致的不可控误差

所有的三维平台底层都有一个标准尺度单位，比如 Revit 等西方主流软件采用英寸作为标准尺度单位，而在中国的标准尺度单位是米制。一旦数据导入到 Revit 软件，底层会自动转换成英寸单位。比如，将一根 4 米长的梁分成两段，一段为 $4/3$ 米长，一段为 $8/3$ 米长，经过长度单位从米制到英寸的自动转换，总长度就不再是 4 米了。而且，这种看似微小的误差经过累加之后会放大，会严重影响到整体模型的真实性和准确性。

所以，不同度量单位转换导致的浮点误差和尺寸不一致，

REVIT（西方软件）底层度量尺度英寸导致的不可控误差，决定了在中国用国外平台面临巨大的挑战。

3. REVIT 模型外部导入的不可完全编辑问题

Revit 产品比较封闭。如果在 Revit 交互式建模平台中构建了一个 BIM 模型，导出为支持 BIM 的国际通用 IFC 交换格式，再导回至 Revit 中，该模型的很大一部分就不可编辑了，只能浏览。

所以，一旦 Revit 模型跟其他格式进行交换，那么这个模型就变得不可完全编辑了，变成了一个中看不中用的“死模型”——类似塑料花一样，看起来漂亮却无法绽放、没有芳香——这使得 BIM 模型的价值大打折扣。

4. REVIT 人机堆砌 BIM 模型的质量不可检测问题

REVIT 人机堆砌 BIM 模型质量的不可控检测问题，就类似于测绘一样：野外找了 1 万个点进行测绘，如何精准检测测绘成果质量？不可能再找到原来的那 1 万个测绘点重新进行核对了。BIM 建模也是如此，一个复杂 BIM 模型涉及到大量的构件，每个构件都是人机交互一个个堆砌而成的，而且不同人员对同一个构件的堆砌方式也不同，每个设计参数的输入也是由相应人员个性化完成的，如果要检测这种人机堆砌 BIM 模型的质量，二维审图模式下的专家也无能为力，即使重新再构建一遍，但也不可能完全保证模型质量的可控性。

再加上前文所述的 REVIT 自动检测修改数据问题、REVIT（西方软件）底层度量尺度英寸导致的不可控误差、REVIT

模型外部导入的不可完全编辑问题等，因此，当前主流技术路线中基于人机交互所建的 BIM 模型，总是会产生大量不可控的误差，其质量是不可检测的。

5. BIM 模型构建“一张图 N 层皮”问题

在 2007 年左右，国土资源部开始以天津市国土局为依托实施“国土一张图”工程，就是基于遥感数据制作很多图层（农业、林业、矿产、规划、建设、行政区划等）并通过统一的位置进行关联。我们称之为“一张图 N 层皮”，类似于人穿着多层衣服一样，各个图层模型之间除了位置关联之外，其中每个图元要素之间是没有逻辑关系的，只有通过专家对“N 层皮”的消化理解，形成一个有逻辑关系的整体模型，才能再进行专业化应用。这在以前也是很有价值的。

但是，现在是大数据时代，数据量太大了，这层“皮”太多了，所以专家没有精力和时间去理解消化，只能依靠计算机的处理。但是，没有逻辑关系的“一张图 N 层皮”对于计算机来说都是不可理解的数据。

现在主流构建的 BIM 模型同样也存在着“一张图 N 层皮”问题，门、窗、墙、梁、板、柱等各构件模型之间相互独立，只有位置关系，缺乏内在逻辑关联，而且不同阶段各专业 BIM 模型也是缺乏逻辑关联的相对独立体系，无法进行全流程协同、模型价值上下游延伸、建筑功能分区、规范关联、模型质量检测以及构件相互验证等一体化分析应用。

其实，在人类社会中，10%到 20%的信息是用来描述事物的基本逻辑，而剩下 80%到 90%的信息是用来解读或者帮助

人更好理解的辅助信息。比如，建筑 CAD 图纸中大量的标注，就是用来帮助人理解的辅助信息，本身并不直接描述空间逻辑。文章也是类似，对比、比喻、比拟、借代、用典、论据等等，大量篇幅都不是直接描述问题的本质，而是为了帮助读者更好地理解。

同样，在“一张图 N 层皮”数据中，有大量的信息就是为了帮助人理解的，并没有描述本质逻辑。所以，如果将本质逻辑信息和帮助人理解的海量辅助信息融在一起，计算机是无法理解的，导致“一张图 N 层皮”数据在行业大数据应用和智能化中面临着巨大的障碍，这其实也是人工智能进展步履艰难的一大原因所在。

天衍智基于对建筑和 BIM 体系的深刻理解，建立了建筑核心逻辑理论框架，可以实现：重点提取 10%到 20%的核心逻辑信息，抛开剩下 80%到 90%帮助人理解的辅助信息，从而将后续计算机智能化变得简单可行。

6. 不同阶段 BIM 模型不可关联与双向修改问题

工程建设全流程中，不同阶段的专业需求是不一样的，所表现的 BIM 模型也是不一样的。

举个例子，有一个西瓜横着切了六瓣，突然有人说想吃竖着切的西瓜。但是没办法了，西瓜已经横着切完了，不可能再变成竖切的了。当前主流的 BIM 建模也是如此，针对一栋建筑物，面向概预算应用构建了 BIM 模型，就相当于切了一次西瓜，回不去了；如果再想面向消防应用构建 BIM 模型，就得重新找个西瓜切。但是，此西瓜与彼西瓜已经不是同一

个西瓜了，两者无法关联。

所以，这就导致了 BIM 模型在整个工程建设全过程中，前后秩序逻辑的不可控性和价值的大幅降低。每一次 BIM 建模只是一次简单的应用，每一次 BIM 建模都是在特定专业点的一次类似切西瓜行为，无法带来深层次的应用和价值的延伸。但是，数字孪生城市和工程建设全流程 BIM 体系不是这样的，需要全过程再现建筑逻辑的内在关系。这就是不同阶段 BIM 模型不可关联与双向修改问题。

7. BIM 应用中的轻量化 BIM 问题

国内某大型 BIM 平台公司做过大规模测试，当平台上同时打开几栋复杂建筑物的 BIM 模型时就跑不动了。BIM 的轻量化现在面临很大的挑战，但是对于该问题的认识存在很大的误区。

举个例子，以前能吃饱饭就是很幸福的事，现在吃多了却是件很痛苦的事情。人们从原来的吃不饱，变成现在讲究怎么健康饮食。在信息领域中，BIM 也面临类似的问题。人类对数字信息的需求包括两大类——视觉和听觉，人眼每秒钟所能识别的图像信息是有上限的，耳朵所能识别的声音信息也是有限的，所以人类一辈子所能感知的视觉数字信息量和听觉数字信息量永远不会超过一个特定的极限值。BIM 更是如此，其中包含了门、窗、墙、梁、板、柱、钢筋、混凝土、内外装饰、机电管道等信息，但在某个专业应用点上，所需的 BIM 模型信息是有限的。

所以，BIM 轻量化的本质就是：根据每个专业应用点上

当前的信息需求，有机地从整体 BIM 模型中提取出来进行应用，对它进行操作修改之后，又能返回到整体 BIM 模型中去。这就需要针对各个专业的 BIM 需求构建一个有机的整体模型，而且能动态地从这个整体模型中有针对性地提取出相应专业所需的专业化小模型，如此才能解决 BIM 轻量化问题。就像吃饭一样，直接给个八大碗，很多人吃不了，既导致了大量的浪费，实际也无法保证吃的质量，而应该根据不同人在不同时间的口味需求提供相应的菜肴，如果甜的、咸的、辣的、酸的等各种味道搅到一起反而难以下咽。

但是，这个 BIM 轻量化的本质说起来容易做起来非常难。天衍智在该领域开展了系统研究，从整体框架、底层平台，到智能建模、专业化体系，我们有一套整体解决方案。

综上所述，上述七大问题是当前整个 BIM 体系都必须面对和解决的难题，否则，BIM 都只是碎片化、低价值的应用，无法为建设行业带来实质性的改造提升作用。

四、主流建筑 BIM 正向设计的基本特点

当前主流所理解的建筑 BIM 正向设计包括三大基本特点。

1. 特点一：直接基于三维 BIM 平台进行设计

专业设计人员，直接基于三维 BIM 平台进行设计。而不是先画二维图纸，再转成三维模型。

目前很多单位对 BIM 正向设计持观望态度，虽然在一定程度上应用了若干三维设计技术，比如部分复杂构件通过三维建模及碰撞检测实现协同性和一致性，而且能够自动绘制

部分简单的图纸,但BIM正向设计整体来讲仍属于初步阶段,尚未有效推广,其中很大一部分原因在于设计人员使用主流三维BIM建模软件面临较大的挑战。三维设计与二维绘图的操作之间存在巨大的差异,要掌握三维BIM设计平台,没有数年培养熟练是很难的。

2. 特点二：基于碰撞检测实现各专业的协同设计

各个专业设计环节,BIM模型能够实现碰撞检测,达到各个专业之间的协同。

碰撞检测最早源于化工厂、火电厂的三维设计,几十万条管道纵横交错、大小尺寸吊装、水暖气的流动等,复杂性远远高于建筑物的三维碰撞检测。其实,建筑物中的空间逻辑是比较简单的,楼板墙柱,加上管线、阳台、装饰层、保温层、屋顶吊顶等等,逻辑非常清晰。即使这样,建筑的碰撞检测也面临很大的问题。虽然单独的建筑设计中,对屋顶的控制、梁宽度的选择、净空和面积、布局等,问题不大;但是最大的问题在于建筑业主的需求总是变,经常改个参数,设计人员又得折腾很久,很多设计人员都疲于应付。所以,现在建筑设计的核心挑战在于:应对动态变化需求的建筑设计体系的适应性问题。

另外,传统只是基于空间简单交叉的碰撞检测,这种交叉是可以检测的,但是无法实现对所检测问题的多专业关联快速修改,导致对碰撞检测之后模型如何修正和优化没有实质性的作用,所以,使得碰撞检测对协同设计的支撑能力有限。

3. 特点三：直接基于三维 BIM 模型输出二维图纸

二维图纸包含图元要素、标注要素和责任要素，虽然图元要素可以从三维模型中剖切出来，但是不同类型二维图纸的图元内容各不相同，而且标注要素更加是千差万别，汇总起来涉及到成千上万要素的动态变化，很难自动绘制；即使自动绘制了，也会由于图元横七竖八、内容繁多，相应的各种标注要素采用主流技术自动化绘制往往会显得杂乱无章，手工修改所需的工作量巨大，还不如从头绘制。因此，基于三维 BIM 模型直接输出各类专业所需二维图纸的相关技术，目前存在很大的挑战。

五、天衍智 BIM 智能正向设计的基本特点

基于上述综合背景的深刻理解，天衍智研发了三维 BIM 智能正向设计体系，基本特点包括六个方面。

1. 构建建筑 BIM 底层智能逻辑描述框架

天衍智基于对建筑内在逻辑的研究，构建了一套底层建筑 BIM 智能逻辑描述框架。

上文提到了：什么是建筑，什么是设计，什么是协同，什么是图纸。这些都是天衍智研究整个建筑核心逻辑的基础背景的一部分内容。建筑是存在固有内在逻辑的。

比如，建筑中的受力归结起来有其本质特点——构造、受拉、受压、受剪、固端的受弯等。还有建筑的结构本身也有其本质特点——以墙、板为主体，以梁和柱为支撑，构成建筑的框架体系，再以门、窗为关键节点，加上楼梯、装饰

层、机电管道等专业系统。

再比如，从本质逻辑分析门和窗——窗是给风和阳光的通道，所以窗往往离地面是有点距离的，当然落地窗也可以跟地面接近；门是给人的通道，所以门槛基本上是很低的，还要满足人的身高需求。

其实所有的建筑构件都有本质的内在逻辑，这种内在逻辑又跟特定的力学特点相结合。基于该框架，再结合相关规范，天衍智将整个建筑的本质逻辑构建了一套底层逻辑框架，所以才能满足各个专业对建筑 BIM 的不同需求。这也是天衍智多年的研究成果，但这个成果属于底层模型，是不对外公布的，也是天衍智的核心竞争力，所有的核心智能化都是构建在这个智能逻辑框架基础上的。所以，天衍智才能够支撑未来智能化 BIM 的应用，这是一个基础逻辑。

2. 基于常规图纸形成 BIM 智能建模二维图纸

基于常规图纸形成 BIM 智能建模二维图纸指的是，基于二维建筑物标准图纸形成 BIM 智能建模标准化二维图纸。

传统的设计人员是进行一张张二维图纸的详细设计，我们未来不是。对天衍智来说没有翻模的概念，不管是正向设计还是 BIM 快速建模——如果是现成的二维建筑物标准图纸，则提取其中体现建筑逻辑的有效信息，形成 BIM 智能建模标准化二维图纸，再进行智能化建模；如果没有设计图纸，设计人员只需花半天时间简单地绘制少量的有效基础信息，并输入关键信息，再进行三维智能化建模。而翻模指的是：参考完整的二维建筑物标准图纸，针对其中的构件挨个交互式

建模。

天衍智正在开发一款轻量化 CAD 平台，在该平台上绘制建筑基础逻辑信息即可（无需绘制大量繁琐的帮助人理解的辅助信息），并输入关键参数（比如层高、正负零标高等）和专业配套信息，这样得到的 BIM 智能建模标准化二维图纸中，建筑的所有逻辑要素就都表达了，即可进行三维 BIM 智能化建模。

3. 智能构建三维 BIM 逻辑模型

自动化构建三维 BIM 逻辑模型，即基于 BIM 智能建模标准化二维图纸自动化构建有建筑内在逻辑的三维 BIM 逻辑模型。

“有建筑内在逻辑的三维 BIM 逻辑模型”不是我们所谓通用的 BIM 模型，它是一个全维度虚拟数字化的整体模型。从整体模型中可以提取出消防 BIM 模型、概预算 BIM 模型、装配式 BIM 模型、装饰 BIM 模型等各种专业 BIM 模型，即所有专业 BIM 模型是从该整体模型中所分离出来的，它们之间具有适配性，也保证了工程全流程中各阶段各专业模型的一致性。

上文提到过，主流技术所建的各阶段各专业 BIM 模型存在“一张图 N 层皮”问题，它们之间没有逻辑关联。而为什么天衍智 BIM 技术能关联？关键在于天衍智 BIM 技术体系中：各阶段不同专业模型只从“有建筑内在逻辑的三维 BIM 逻辑模型”这个整体模型中提取。如果某个专业模型发生了变化，相应的变化还能回到整体模型进行动态修改。所有环节总是

通过整体模型来协调所有的子模型，而不是通过子模型各自协调，这样保证了各个阶段各专业 BIM 模型的一致性和价值的延伸性。

而传统的 BIM 模型并不是，它没有整体模型，各个子模型各自为政。就像春秋战国时代，各诸侯各打各的一样；不像中央集权国家可以统筹协调。“有建筑内在逻辑的三维 BIM 逻辑模型”这个整体模型就类似于中央集权，消防 BIM、概预算 BIM 等各阶段各专业的核心逻辑都包含在整体模型中，实现了整体的协同和一致。

所以，为什么说天衍智技术生成的 BIM 模型可以质检？就是因为基于整体模型是很容易验证的，任何改变是否合理，通过整体模型参数比对就可以判断了，因此只有基于天衍智逻辑生成的 BIM 模型才具有质量的可检测性。

4. 智能生成满足不同专业化 BIM 模型

基于“有建筑内在逻辑的三维 BIM 逻辑模型”，就可以按需生成各专业所需的专业化 BIM 模型，而且可以针对同一个专业化 BIM 模型的各个应用细则，直接分离出子 BIM 模型，这也是轻量化 BIM 应用的基础之一。

5. 各阶段各专业 BIM 模型的动态有机对象化管理

由于不同阶段 BIM 模型是基于“有建筑内在逻辑的三维 BIM 逻辑模型”所生成的具有内在逻辑关系的对象化的专业化 BIM 模型，因此通过我们的 BIM 应用平台，就可以针对各阶段各专业 BIM 模型及其应用，实现动态有机对象化管理，

这也是轻量化 BIM 应用的另一大关键基础之一。

6. 基于对象阵技术解决 BIM 轻量化难题

天衍智研发了强大的对象阵 BIM 平台管理技术系统，解决轻量化 BIM 专业化分布式应用管理难题。

在当前互联网大数据管理中有四大技术——超级文本技术、流媒体技术、金字塔技术，以及面向复杂对象模型的对象阵技术。这里就对象阵技术作个简要介绍。

比如，一个复杂的建筑 BIM 模型涉及海量的构件，想要查看该模型中某个构件——比如管道的信息。如果采用现有的技术，比如 Revit，该模型整体加载估计得很长一段时间，等加载完了进行图形操作，又需要很长一段时间才能响应，等到终于找到那个管道了，放大操作一下，突然发现视窗内的那个管道模型又不见了。

因此，复杂模型一定要采用对象阵技术，能够自动将所关注的那部分模型内容按需提取出来即可。比如，查看外立面的时候，就无需加载房间内的家具等内部细节模型；而查看房间内部的时候，就无需加载外面的装饰模型。所以，总是在特定的相对系中加载显示特定需求的模型，这就叫对象阵技术。这个技术是天衍智的独创，也只有这样才能真正解决复杂 BIM 模型的对象化应用难题。天衍智已经基本完成了该平台的研发工作，正在测试中，很快将为复杂 BIM 模型的运营管理服务和轻量化服务提供全方位的支撑。

未来 BIM 应用很简单，比如通过对象阵技术，可以随时按需将一扇门的模型交付给施工单位、将某层楼的模型输出

给监理工程师等，因此未来可以产生无穷无尽的各个不同客户所需的轻量化模型。

六、华度智通三维 BIM 智能正向设计进展

华度智通是天衍智“AI+设计院 111 工程”中，采用三维 BIM 智能正向设计技术体系，正在改造的第一家民营甲级设计院，其前身系中国建筑科学研究院建筑机械化研究分院设计部，有丰富的项目经验和资深的专业团队。

华度智通三维 BIM 智能正向设计的基本目标——实现基于施工图细化的全三维智能化设计，第一次设计超过 90% 的设计内容实现全三维 BIM 智能化设计，第二次、第三次……设计工作内容几乎为零。重点包括五大目标。

1. 结构与荷载计算智能化

实现智能化构建结构计算的三维模型与荷载计算的三维模型。目前已基本实现与 PKPM 等国内外主流结构计算软件的相关工作，能够直接根据三维 BIM 模型智能化生成 PKPM 等的有限单元模型和荷载模型。

2. 概预算智能化

实现智能化构建满足概预算规范要求的三维概预算 BIM 模型。该项工作原本计划与一个主流的概预算软件合作，天衍智只做三维 BIM 建模，再提供模型支持该软件的概预算计算。但是通过调研深入交流后发现，这些概预算软件本身存在致命问题，无法支撑整个三维 BIM 模型的应用。

比如，每个省主要专业的概预算大概 6000 多条，如果

需要 BIM 模型全部支持的话，意味着需要在每个 BIM 模型与概预算条目之间构建桥接。但是这些软件对概预算应用本质思考仍然欠缺，最好的目前大概能够运用到模型里的也就一两千条。也就是说，哪怕模型建好了提供给这些软件也无济于事，必须做中间的桥接，变成概预算软件可识别。我们也找了一个国内顶级的概预算 BIM 建模商，但是同样面临很多问题，其中很多构件本身就存在错误，因为他们没有基于图纸空间逻辑进行整理，而只是从一些特殊单位的应用案例中梳理出来的。所以，他们的配筋计算结果，跟人为计算的不准。另外，我们针对该建模平台做了个测试，发现并未支持拓扑一致的建模，比如一个模型切成若干个子模型，所有子模型合并后并不等于原始整体模型，存在 20 多个错误，很多单元之间产生了碰撞和重叠，这样是无法实现精准概预算的。

基于该背景，天衍智正在推进三维概预算 BIM 建模及概预算应用一体化研发，预计 2019 年 11 月底完成初步的技术验证，2020 年上半年实用化。

为什么如此复杂的概预算软件，天衍智少量的研发团队在很短的时间内就可以完成研发？是因为天衍智研发了新一代智能开发平台——I++，实现了中文表语言编程技术，使得 95%左右的工作不再需要编程了，因此少量的编程结合专家的规范提取即可。未来每个省找五至十个专家，工作数月基本即可。

3. 出图智能化

实现基于三维 BIM 模型直接智能化生成满足规范要求的二维标准 CAD 图纸。国内有很多软件也做过出类似智能化出图，但是诸如某国内知名专业软件的出图功能，仍然远未满足设计人员的需求。二维自动化出图很难的原因在哪里？尽管看起来图纸的要素很简单，比如墙、板、柱、梁、门、窗、模板、楼梯等，但是每一个构件有不同的线框、块体、轴线等模型，数十个要素组合起来，再加上空间互斥的标注，整个图纸相当于包含成千上万个要素的 NP 问题，所以这是一项很难的工作。

天衍智对建筑的本质和整个图纸构建了空间逻辑，清楚每个要素之间空间的关系和标注的关系，采用天衍智研发的 I++ 中文表语言编程技术，满足各种风格的出图标准，并研发了标注智能迭代技术，使输出的二维图纸达到设计人员的要求。预计 2019 年 11 月底完成初步技术验证，2020 年上半年实用化。

一旦上述三项工作（结构与荷载计算智能化、概预算智能化、出图智能化）完成，整个三维 BIM 智能正向设计 80% 的工作就基本实现了验证。

4. 专业三维 BIM 设计

各专业基于三维 BIM 模型，直接智能化完成专业三维 BIM 设计，包括上水、下水、弱电、强电等。该项工作技术难度不大，预计 2019 年 12 月份开始启动该项工作，并在较短时

间内取得实质性进展。

5. 成果报告智能化

实现智能化生成传统设计报告和三维数字设计成果报告。目前设计院的传统成果主要包括文档报告和二维图纸，天衍智将基本实现自动化生成二维图纸和文档报告。另外，天衍智将支持生成三维数字设计成果报告，可支撑为后续每个专业以及施工单位、业主单位等提供轻量化BIM模型服务。这意味着设计院未来可以向下游环节提供相关设计BIM模型的增值服务，成为建筑工程BIM全流程乃至CIM数字孪生城市建设中的智能服务商。预计2020年5月底完成该项工作的技术验证。

附：问答环节记录

【问题一】：天衍智基础轻量化的模型，应该是基于智能化的一个底层数据，这个将来作为天衍智的核心，会公开吗？像谷歌代码一样。

答：我们不会公开，这是天衍智底层核心的研究部分，因为天衍智本身是一家自主投入的民营综合性研究平台。这次跟华度合作，华度智通就是我们主导支持改造的一个产业化公司。

天衍智自身定位是——底层算法+底层平台+基础平台+原型验证系统。其中，原型验证系统的产品化和产业化是由我们的战略合作单位落地的，类似于华度智通。一旦我们与华度智通后续构建了实质性合作体（类似于领了结婚证），

天衍智就会将底层技术和核心框架打造成一個免費的黑匣子平台，再結合原型驗證系統，一起注入到華度智通這個載體中，並引進專業化團隊，打造與華度智通以及河北省地域特色相適應的一套產業化平台和大数据平台等，形成華度智通的自主知識產權體系，再由華度智通面向社會提供各種服務。

【問題二】：您剛才說每個省可能都會有一個合作主體單位，基於您這套系統的話，是不是每個省的系統以後都會不一樣？

答：會有差異的，行業有行業的背景，各地有不同的规范要求，需要根據不同特點去打造。我們只開發了原型驗證系統，具體的產業化應用技術體系，未來還需單獨打造。因為每個省有每個省的特色，比如重慶山城肯定與平原地區不一樣。比如濱海城市的海相沉澱和內地城市不同，存在地質背景顯著差異等等。

【問題三】：跟華度院合作的过程中，華度智通是否可能會根據相關需求來修改天衍智的底层数据？

答：可能會部分修改底层数据，但是這項工作會由天衍智自主完成。然後，我們會為每個戰略合作單位申請專利，注入知識產權。未來是看不到天衍智技術相關痕迹的，我們只提供一個底層的支撐平台，這是智能化改造的基礎，還要衍生出被改造戰略合作單位的核心理念。類似於上面針對**【問題一】**的解答說明。

【問題四】：我們在跟各個政府機關打交道的時候，他

们基本上都是要求以二维图纸作为沟通的载体。在很多单位都不太接受三维模型成果的情况下，我们这个轻量化BIM产品是怎么去应用的？

答：现阶段，政府在使用图纸时，实质就是使用二维纸质图纸而已。我们智能化设计必须保证生成满足规范要求的二维图纸等成果，它跟现有设计体系所提交的图纸等成果，是没有任何差异的，原来该怎么提交的，现在还是怎么提交。而且我们又新增了可实质性应用的轻量化BIM服务，并提供可以免费下载的轻量化BIM服务客户端或者APP，大大满足政府所倡导的“互联网+BIM”需求。

【问题五】：刚才您说了轻量化。因为像我们现在做模型，所包含的数据非常多，您所说的轻量化是把这个数据压缩还是转化为别的？

答：虽然模型数据很多，但是每个专业所需使用的模型是有限的。我们会自动将相应专业所需的模型提取出来，把提取出的这部分供用户使用，而不必重新再建模了。基于智能逻辑，可以根据不同专业自动定制所需的那一部分模型，因为整体大模型中具体使用到的是很小一部分。比如，当查看房间内模型时，就没有必要提供楼外模型；当从楼外查看模型时，房间里面的很多模型就没用，就不必提供。所以，我们总是根据用户的需求提供有针对性的模型。不是给你八大碗，而是给你精细的配餐。

【问题六】：您说的轻量化，跟我之前听别的一些软件开发公司做的平台有点区别。

答：对的，因为这是天衍智的自主独创理念。模型那么大，压缩是没有意义的。关键是要把需要的、有针对性的东西提取出来。因为模型的核心就是满足需求，提供所需模型就够了。所以，我们是精准化、快速、动态地定制提供你所需用的模型，而不是把它压缩。

【问题七】：还有个问题就是，您这个平台是不是基于 Revit？

答：不是。天衍智所使用的技术平台，是以 20 年自主研发所形成的“3D+大数据+智能”核心技术为基础，所打造的智能工业软件 4.0 体系中的相关关键性平台——全矢量三维数字地球平台、BIM 运营平台、智能管理平台等，涉及到：三维建筑 BIM 智能设计、三维地质体智能建模、三维矢量地表智能建模、三维点云逆向智能建模、三维海洋水体智能建模、三维地表近空的空气体智能建模、三维机械智能设计、三维人体智能建模等一系列核心建模设计功能，以及工程全流程 BIM 智能化运营服务与数字孪生城市 CIM 化智能管理等功能。

但是目前来讲，只是因为大部分客户都要依赖 Revit，所以暂未推出天衍智自己的 BIM 智能运营平台，而是基于 Revit 做一套 BIM 模型的智能转换接口，以满足现有客户基于熟悉的 Revit 来应用可以全方面编辑的 BIM 模型需求。

Revit 非常封闭，常规模型包括国际通用 IFC 格式，现在导入至 Revit 中都是不可编辑的。而天衍智做了一个插件，天衍智所建的 BIM 模型，导入到 Revit 系统中，全部都是可

编辑的，而且在外面改一个参数，就可以全部自动修改了，今天现场就要验证这个事。所以，我们不是基于 Revit 开发的建模平台，只是因为目前大部分客户都要依赖 Revit，从而必须给 Revit 用户开发一个接口。

这个接口很难，其他国内知名的相关 BIM 专业技术公司做了这么多年，据我们了解都未彻底解决好——BIM 模型导进 Revit 里面就不可完全编辑了，而今天我们天衍智已经百分之百可编辑了。

下一个环节我们现场就要做这个验证，没有对比就没有伤害。我们打通了 Revit 的底层，能去控制它，而且未来在 Revit 里面改动，都能记录下来并导回我们外面自建的模型。

【问题八】：我的问题和刚才他所提的问题相近，您刚才介绍的大概是可以基于 Revit 控制它，那么对其他比较流行的软件，比如 Bentley，是否也能够实现互通，我对这个比较感兴趣。

答：我们现在对主流软件包括 ArcGIS、Revit，已经实现完全互动了。据我们了解，Bentley 的交互机制比较简单，不像 Revit 做了很多严格的限制。所以对 Bentley 不存在像 Revit 这样复杂的问题，它本身来是比较开放的，模型导进去能够完全编辑，这一块实现起来会容易很多。

【问题九】：那么基于天衍智的平台，能实现 Revit 所有的功能吗？

答：能全部实现，只要 Revit 有的我们都能实现。所有的外观、尺寸调整等等，全部是可编辑的，而且全部都可以

在外部进行配置，外面一经改动，相应模型就可全部动态修改。一会儿就让我们见证奇迹吧。

【问题十】：现在的设计大部分都是用三维设计了，不用 Revit 或 Bentley 的人机交互建模，用天衍智这个平台就可以替代吗？

答：是的。我们只是用 Revit 进行显示和编辑，而且支持在外部统一配置修改参数，未来导出到其他平台也是可以用的。所以未来我们的平台会成为整个设计的总中心，客户用 Revit、ArcGIS、Bentley 等都是可以的。而且我们会专门提供一套 BIM 综合运营服务云平台供用户使用，当然只会给我们的合作体单位免费用，由合作体单位对外面向客户提供服务。

讲座上，天衍智（北京）科技有限公司首席软件技术科学家张总，就天衍智最新研发的“基于 REVIT 外部配置参数的智能化生成 REVIT 完全可编辑模型的规模一体化技术”，进行了关键技术过程的实际操作演示，引发了现场人员的高度关注并得到了与会专家的一致认可。具体演示的内容略。