

文章编号:1673-2049(2015)03-0103-08

# 建筑信息模型方法学应用于结构工程领域的 理论框架研究

叶献国,李世东,蒋 庆,种 迅

(合肥工业大学 土木与水利工程学院,安徽 合肥 230009)

**摘要:**总结并分析了建筑信息模型(BIM)应用于结构工程领域过程中所存在的问题,提出了建筑信息模型方法学(结构 BIM 方法学)理论,认为该理论是由结构 BIM 技术的基本原则与结构 BIM 模型理论这两大分支构成;应用数学建模方法对结构 BIM 技术的基本原则进行了数学建模与理论分析,解决了结构从业人员对结构 BIM 技术应用方式与研究方法模糊的问题,同时基本原则的数学模型也为未来结构 BIM 技术的定量化研究打下了基础。最后阐述了构建结构 BIM 方法学理论的实践意义,并引出了结构 BIM 模型这一理论分支。所得结论为进一步讨论结构 BIM 模型的组织构架方法奠定基础。

**关键词:**结构工程;建筑信息模型;理论框架;参数化建模;方法学

**中图分类号:**TU17

**文献标志码:**A

## Research on Theory Framework of BIM-methodology Applied in Structure Engineering Field

YE Xian-guo, LI Shi-dong, JIANG Qing, CHONG Xun

(School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China)

**Abstract:** The authors analyzed the problem of building information modeling (BIM) applied in structural engineering field, and put forward the theory of BIM-methodology which was composed of the basic principle of BIM and structure BIM model. The basic principle of BIM was modeled and analyzed by mathematical-modeling. The conclusion of the modeling solved the problem of using and researching BIM by the structural engineers. Meanwhile, the model of the theory also laid the groundwork for the future quantitative BIM study. In the end, the important practical significance of the theory was discussed and the branch of structure BIM model was raised. The conclusion lays the foundation for further discussion of organization structure of BIM model method.

**Key words:** structure engineering; building information modeling; theory framework; parametric-modeling; methodology

## 0 引 言

从工业仿真技术介入制造业以来,传统工业产

品的设计与表达便由平面设计转变为 3D 可视化设计。这种转变不仅对制造业产生了深远的影响,而且也推动着建筑业的信息化发展。以 Chuck 所提

收稿日期:2014-11-09

基金项目:国家自然科学基金项目(51378167)

作者简介:叶献国(1954-),男,安徽无为,人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:hfttjyxx@hfut.edu.cn。

出的建筑描述系统 (Building Description System, BDS) 为原型的建筑信息模型作为建筑全生命周期 (Building Lifecycle) 智能化的重要手段, 正在不断改变着工程项目从初期招投标到后期运营维护全过程中各专业的传统工作模式。

目前各国学者对建筑信息模型 (Building Information Modeling, BIM) 技术的研究仍主要集中于 BIM 发展战略等宏观层面<sup>[1-3]</sup>, 而结合结构工程的特殊性对结构 BIM 技术在工程结构全生命周期中的应用目标与使用方法所开展的研究较少, 且尚未有任何相关的方法学理论被提出。这使得 BIM 在介入到结构工程工作后蜕变为企业的营销手段, 没有实现 BIM 应有的价值, 更没有形成规范的行业运行模式。随着建筑业推行 BIM 的力度不断加大, 深入分析 BIM 在结构工程领域发展缓慢的原因, 找出可能的解决办法仍十分迫切。

为此, 本文首先分析了结构 BIM 技术在应用过程中所存在的问题, 得出了结构 BIM 技术的使用目的与推广价值。其次针对结构 BIM 技术的应用方法, 提出了建筑信息模型方法学 (结构 BIM 方法学) 理论, 并论述了该方法学理论的组织构架与工作原则。最后阐述了构建结构 BIM 方法学理论的重要实践意义, 为后续在该方法学框架下进一步研究 3D 全 BIM 工作模式及相关技术奠定基础。

## 1 结构 BIM 技术的定义及特征维度

根据《民用建筑信息模型设计标准》(DB11/T 1069—2014), BIM 技术定义为创建并利用数字化模型对建设工程项目全生命周期活动进行管理和优化的过程、方法和技术<sup>[4-5]</sup>。具体到结构工程中结构 BIM 技术是利用计算机软硬件技术, 通过创建结构 BIM 模型, 实现对工程结构全生命周期中信息流管理的过程和方法。

结构 BIM 技术的特征维度除继承目前已有的 BIM 基本维度的内容<sup>[1]</sup>外, 笔者认为还应具有结构

BIM 技术所特有的特征维度。

(1) 结构 BIM 的技术维度。结构 BIM 技术是结构工程中应用到的全部先进技术的集成, 包括: ① 高新测量技术, 如卫星遥感测量、GIS 技术以及激光扫描技术等; ② 虚拟仿真技术, 如数值模拟技术、逆向工程技术等; ③ 人工智能, 如人工神经网络技术等。

(2) 结构 BIM 的过程维度。继承建筑全生命周期的思想, 形成工程结构全生命周期模式, 使得结构工程服务于结构初选 (特指建筑初步方案中的结构形式)、结构设计、土建施工、结构健康监测、结构鉴定加固直至结构拆除。

(3) 结构 BIM 的价值维度。凭借结构 BIM 模型的完备性、关联性、一致性, 实现了结构工作的可视、信息协调一致和模型重复利用<sup>[6-8]</sup>, 提高了结构工作效率。

## 2 结构 BIM 技术的应用现状

BIM 技术应用于结构工程领域是建设工程信息化发展的产物。结合已有的工程实例, 笔者将从以下 3 个方面阐述结构工程中的 BIM 应用现状及存在问题。

### 2.1 结构 BIM 模型

依据国家《建筑工程信息模型应用统一标准》(征求意见稿) 与北京市地方标准《民用建筑信息模型设计标准》(DB11/T 1069—2014)<sup>[9]</sup> 中对 BIM 模型的定义, 判定结构工程中所应用到的主流软件模型是否为结构 BIM 模型。

笔者首先对结构工程中应用频率最高的软件模型 (Revit、斯维尔软件、ArchiCAD、PKPM、盈建科、AutoCAD、AutoCAD-Architecture、Tekla、IFC) 进行比较分类 (表 1):

第 1 类: 以 Autodesk Revit 等为代表的软件所构建的模型, 其模型本体在宏观上符合实际构件的虚拟仿真表述; 非几何属性通过参数集成于单个族

表 1 常用 BIM 软件模型性质对比

Tab. 1 Comparison of Properties of BIM Software Models

软件种类	代表软件	模型宏观表达	模型组织方式	虚拟仿真潜力	非几何信息组织方式	OOAD <sup>[10]</sup> 特征
第 1 类	Autodesk Revit	建筑构件实体	族库系统	有潜力 1 : 1 仿真	类型属性/实例属性	明显
第 2 类	Tekla Structures	建筑构件实体 (不表达构造层次)	对话框定义	不满足 1 : 1 仿真	对话框定义	一般
第 3 类	盈建科、PKPM	3D 线框	构件定义表	不满足 1 : 1 仿真	构件定义表	明显
第 4 类	Autodesk-CAD-Architecture	3D 线框	图块	不满足 1 : 1 仿真	图块资源库	一般
第 5 类	支持 IFC 格式的软件	EXPRESS 语言	依据 IFC <sup>[11]</sup>		依据 IFC	

构件中;构件组织采用族方式组织。

第2类:以 ArchiCAD, Tekla Structures 等为代表的软件所构建的模型,其模型本体在宏观上不表达实际构件的组成层次(构造),偏重于几何形体;非几何属性和构件构造层次通过构件定义对话框指定的方式进行表达;宏观层面不存在明确的构件组织构架形式。

第3类:以斯维尔、盈建科、PKPM 等为代表的软件所构建的模型,其模型本体在宏观上不表达实际构件的组成层次(构造),偏重于 3D CAD 线框;非几何属性和构件构造层次通过构件定义表集成说明的方式表达;构件组织采用构件定义表方式组织。

第4类:以 AutoCAD, Autodesk-CAD-Architecture 等为代表的 3D 绘图软件所构建的 3D 图形, CAD 高版本目前也支持参数化和模块(图块)化绘图,其模型为 3D CAD 线框,不具有构件构造层次;非几何信息通过多行文字说明或图块属性说明的形式添加;构件组织采用图块/族方式组织。

第5类:基于 IFC 标准的“. ifc”文件模型,其无宏观表述,各种建筑信息(包括几何和非几何)基于统一的 IFC 标准,以数据库函数映射与 EXPRESS 语言的方式进行组织、定义、表达和关联,以满足宏观上的信息集成和参数联动。

除上述 5 类软件外,笔者借鉴中国已有经验,列出 BIM 介入结构工程后使用到的主流数字模型: Revit-Structure 模型、Autodesk-Navisworks 模型、Catia/Digital-Project 模型、Midas 模型、Abaqus 模型、Fluent 模型、Tekla Structure 模型、PKPM 模型、YJK 模型、GICD 模型、GCL 模型、GGJ 模型、GFC 模型、Civil-3D 模型、Rhinceros 模型、SPA2000 模型、斯维尔模型、Catia 模型、Ansys 模型、Robot 模型、Rhino 模型、Bentley-AECOSim-Building-Designer 模型。

依据中国已有的 BIM 规范,笔者认为无法明确地判断出上述何种模型是结构 BIM 模型。因此,需要研究结构 BIM 模型的基本定义、判定方法与组织构架形式。

## 2.2 结构 BIM 技术的价值

结构工程在 BIM 未被引入之前就是依托数字化模型开展工作的,许多已有软件模型均已实现参数化设计、设计成果 3D 表达、设计成果自动生成(结构施工图、土建工程量统计、土建造价计算等)和协同工作等需求。根据目前已有的 BIM 应用实例不难发现,由于 BIM 技术的介入,不仅使得结构设

计时模型堆砌现象严重,一个项目中结构专业所使用的软件模型数量过多,模型使用不具有系统性,多个软件模型间的主次关系不清晰,而且使结构设计工作变得冗杂,在克服与中国国家结构规范不相吻合时增加了大量的接口开发、数据库构建等复杂的重复性工作,还增加了软件间模型相互转化的工作负担、出错概率和时间浪费。如结构模型通过接口转换不仅耗时长、构件错误现象严重,而且蕴含难以发现的模型错误,在结构分析时模型的错误会极大地影响结构分析结果,多数时候如果对接口转换模型进行修改则不如重新建模;此外基于结构 BIM 模型直接生成的 DWG 图纸通常难以满足施工图归档要求,一般情况下均需要翻图后才能够归档。因此,目前在符合中国规范要求的结构 3D 建模、分析及绘图软件十分成熟的条件下,无法看出基于结构 BIM 技术的工程软件对结构工程工作所带来的实际价值。故需要研究结构工程使用 BIM 技术的目标以及结构 BIM 技术对结构工程的实际价值。

## 2.3 结构 BIM 技术的应用与研究方法

中国已有的国家规范将 BIM 定义为一种技术方法,也可将其定义为一种业务流程。目前在我国的工程应用中, BIM 的方法性被削弱,大多数企业仅将 BIM 作为传统结构设计的一种补充,结构工程使用 BIM 的目的仅用作简单的结构模型 3D 效果展示和服务于外专业的碰撞检查。可以看出,在这种应用模式下 BIM 技术对结构工程工作本身不具有任何实际意义。

此外,中国对 BIM 的研究方向偏重于宏观发展规划、软件应用以及软件接口(插件)开发。已有的研究成果中对结构 BIM 技术的使用目的、应用价值、研究方向、软件资源需求等均未有过系统性的讨论。因此,结构 BIM 技术在工程实践中的应用方法退化与关键问题的非系统性研究是导致目前结构 BIM 技术发展十分缓慢的重要原因,故需要系统地研究结构 BIM 技术的应用方法和研究方向。

综上所述,笔者认为结构工程为实现 3D 全 BIM 模式工作,首先应当明确 BIM 在结构工程领域的使用目的、价值、应用方式和研究方向,其次应强化 BIM 的方法特性,建立建筑信息模型方法学(结构 BIM 方法学)理论以指导实践工作。

## 3 建筑信息模型方法学理论框架

方法是一个处理问题的规定过程,而方法学是一组方法,其涵盖工程结构全生命周期中的各个部

分,是结构工程实践与科学研究哲学的统一。方法学以方法为研究对象,探索方法的一般结构、发展趋势、发展方向以及科学研究中各种方法的相互制约关系。在科学研究哲学中,方法学的结构由科学调研的原则与科学调研的工具构成,科学调研的原则决定了如何配制和解释科学调研的工具。

BIM 作为一种方法被引入到结构工程领域,应从方法学的角度进行研究。可以得出,建筑信息模型方法学(结构 BIM 方法学)是由结构 BIM 技术的基本原则(简称结构 BIM 的基本原则)这一科学调研原则以及结构 BIM 模型这一科学调研工具共同构成。结构 BIM 的基本原则决定着如何构建和解释结构 BIM 模型(图 1)。本文限于篇幅,将主要讨论结构 BIM 技术的基本原则。

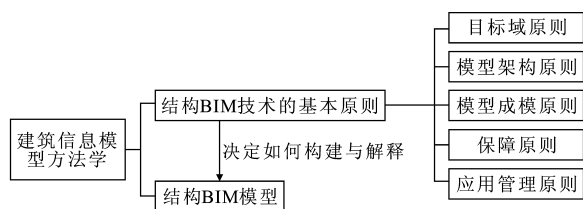


图 1 建筑信息模型方法学的结构

Fig. 1 BIM-methodology Structure

需要说明的是为了体现结构 BIM 方法学是工程实践与科学研究哲学的统一,笔者沿用了科学调研的原则与科学调研的工具这 2 种称谓。

### 3.1 结构 BIM 技术的基本原则

透过对结构 BIM 技术的应用现状分析,首先需要明确结构 BIM 技术的研究实质。笔者认为其研究实质由 5 个方面共同构成:①结构 BIM 技术的应用目的;②结构 BIM 模型的组织构架方法;③结构 BIM 模型的建模方法;④结构 BIM 技术的保障方法;⑤结构 BIM 模型的应用方法。

这 5 个方面构成了结构 BIM 技术的基本原则(图 1),这 5 个基本原则又是结构 BIM 方法学理论中的子方法或子方法学,指导并贯穿于工程结构全生命周期中各个阶段的结构 BIM 技术应用过程。

#### 3.1.1 结构 BIM 技术的目标域原则

首先回顾 2 个数学概念:

邻域:中心在  $x_0$  点,可接受精度半径长度为  $\delta$  ( $\delta > 0$ ) 的区间  $(x_0 - \delta, x_0 + \delta)$  为点  $x_0$  的  $\delta$  邻域,记为  $U(x_0, \delta)$ ,即有  $U(x_0, \delta) = (x_0 - \delta, x_0 + \delta) = \{x | |x - x_0| < \delta\}$ ,其中,  $x$  为当前模型精度,  $x_0$  为达到结构本体 1:1 虚拟仿真时的模型精度。

单侧极限  $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A$ ,是指对于任意给定的

正数  $\epsilon$ ,总存在正数  $\delta$ ,当  $x_0 - \delta < x < x_0$  时,  $|f(x) - A| < \epsilon$ ,其中,  $f(x)$  为在  $x$  精度下的结构 BIM 模型系统,  $A$  为真实结构本体。

根据上述概念,经推广得出了 BIM 技术目标域的定义。BIM 技术的目标域:精度目标为  $x_0$ ,精度半径为  $\delta$  的区间  $[x_0 - \delta, x_0)$  为目标  $x_0$  的  $\delta$ -BIM 技术目标域,记为  $U_B[x_0, \delta)$ ,即

$$U_B[x_0, \delta) = [x_0 - \delta, x_0) = \{x | x_0 - x \leq \delta\} \quad (1)$$

根据上述定义,此时来明确结构 BIM 技术的应用目的。笔者认为,只有结构 BIM 模型最大限度地接近实际结构,才能当施工、造价等一系列工程活动对结构本体信息有调用需求时直接读取(不必再次开展模型转换工作或重新建模工作)到精确的构件位置与工程量信息,并能够将产生的新信息反馈给结构 BIM 模型系统,从而避免工程结构全生命周期中发生信息流断裂与资源浪费。因此,实现“结构虚拟仿真”才是 BIM 介入结构工程的目标,“结构虚拟仿真”系笔者针对实现结构全生命周期全 BIM 工作所提出的术语,包括结构本体仿真、结构状态仿真、场环境仿真以及结构施工和运维过程中的相关活动仿真。据此,笔者推广单侧极限的概念得出了结构 BIM 技术的目标域原则。

结构 BIM 技术的目标域原则:结构 BIM 模型的精度  $x$  的值域为  $U_B[x_0, \delta_0)$ ,且使得精度为  $x$  时的结构 BIM 模型系统  $f(x)$  满足对于任意给定的模型期望精度  $\epsilon$ ,总存在可接受精度半径长度  $\delta$ ,当  $x_0 - \delta < x < x_0$  时,  $|f(x) - A| < \epsilon$ ,即

$$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A, x \in U_B[x_0, \delta_0) \quad (2)$$

式中:  $\delta_0$  为规范要求的模型精度域长度(对应于规范 DB11/T 1069—2104 中模型深度等级范围)。

结构 BIM 技术目标域原则的实质是指:根据经济效益所确定的结构 BIM 模型,其精度必须在规范要求的最低精度与虚拟仿真精度之间取值,且结构 BIM 模型系统具有无限逼近结构实际本体的潜力,能够随时响应工程项目对结构 BIM 模型精度需求的变化。需要指出的是:能够随时响应工程项目对结构 BIM 模型精度需求的变化体现在任意给定的模型期望精度  $\epsilon$  这一不确定的极限定义参数上,故不难看出,BIM 技术的应用过程与函数极限定义的本质是协调统一的,这也从侧面反映了结构 BIM 方法学理论的指导思想符合自然数学原理。

笔者提出这条原则主要是由于结构 BIM 技术在应用过程中全部工作均是围绕着一个主要的数字化模型进行。整个 BIM 过程是对实际结构进行结

构虚拟仿真和土建虚拟建造,并用以指导实践工作,而不仅是实现软件间结构模型的传递或结构施工图出图。考虑到结构 BIM 技术在实施过程中的经济效益约束,不能够也不可能要求任何规模的结构工程其最终的结构 BIM 模型都达到虚拟仿真精度。然而任何阶段的结构 BIM 模型都应当具有逼近结构实际本体的潜力,以便随时响应外部环境对结构 BIM 模型精度需求的改变。这才是结构 BIM 模型和其他 3D 模型本质的区别和结构工程领域引入 BIM 技术的优势所在。否则在 3D 结构建模与分析软件众多的当下,结构 BIM 技术对结构工程工作是不具有价值的。

### 3.1.2 结构 BIM 模型架构原则

BIM 技术是方法,但其必须以软件模型为载体,结构工程中应用 BIM 技术离不开结构 BIM 模型。中国的一些研究成果表明:BIM 模型应具有多维度特性,能够从二维到多维表达工程项目实体和相关活动<sup>[12]</sup>;BIM 模型能够基于数据库进行划分,形成分阶段子模型,并通过滤过的方式实现模型的调用<sup>[13]</sup>。

结合结构 BIM 技术目标域原则,笔者得出结构 BIM 模型并不是单一的软件模型,而是一个复杂的模型系统,其必定存在相应的组织架构。因此,可将结构 BIM 模型本体的组成方法理论定义为结构 BIM 模型架构原则,其数学表达式为

$$y=f(x) \quad (3)$$

式中: $y$  为在  $x$  精度下的结构 BIM 模型; $f$  为模型架构方法映射函数。

笔者认为,结构 BIM 模型应仅受当前模型精度  $x$  的影响,与精度成一一一对应关系,其他一切外部条件因素只能影响  $x$  的取值,而无法直接影响到结构 BIM 模型本体。该原则是为建立数集(精度取值)与模型实体间的相互映射关系,通过精度来控制结构 BIM 模型本体架构,以期实现在不同精度条件下对不同架构的模型进行规范。

### 3.1.3 结构 BIM 模型成模原则

结构 BIM 技术定义指出 BIM 的应用核心为结构 BIM 模型,应用条件为计算机软硬件技术。中国的一些研究成果表明,目前存在有 2 种成模方法:①通过宏观软件(特指操作单元为软件文件)层面上实现结构 BIM 模型构建<sup>[14]</sup>;②通过构建数据库(特指操作单元为结构设计数据)的形式来实现结构 BIM 模型构建<sup>[15-17]</sup>。

不难看出,结构 BIM 模型的成模方法是十分重

要的,无论是否沿用上述 2 种方法,其必定是结构 BIM 方法学理论的重要分支,会直接影响到结构 BIM 技术的应用。因此笔者认为成模方法应作为结构 BIM 方法学的指导原则之一,可被定义为结构 BIM 模型成模原则(以下简称成模原则),其数学表达式为

$$g=G(\alpha,\beta) \quad (4)$$

式中: $g$  为在  $\alpha,\beta$  条件下计算机中的模型组织形式; $\alpha$  为技术保障水平衡量参数; $\beta$  为项目复杂程度水平衡量参数; $G$  为成模方法映射函数。

结构 BIM 模型成模方式受计算机软硬件水平和工程项目复杂程度的影响,因此需要根据不同工程的复杂程度和技术保障水平来确定采用何种成模方法。成模原则的提出是希望建立起结构 BIM 模型在计算机中的运行方式与外部技术保障水平、项目复杂程度间的相互映射关系,以期实现对结构 BIM 模型本体文件进行规范的存储和交互。

### 3.1.4 结构 BIM 技术保障原则

软件开发和二次开发应当采用何种计算机工程方法学理论,将关系到结构模型本体的精度和表达形式。中国有相当一部分研究是针对 BIM 软件开发的<sup>[18-20]</sup>,因此结构 BIM 技术方法学原则中应当包含有这个方向上的指导原则,可被定义为结构 BIM 技术保障原则(简称保障原则)。技术保障水平衡量参数的取值是综合考虑了 BIM 实施单位的软件水平、计算机硬件水平和人员水平等因素后所共同确定的。设想如果后期在 BIM 发展的过程中能够确定出技术保障水平衡量参数的取值方法,那么该参数即可以对企业的 BIM 实力进行衡量并与企业资质相挂钩,这样能够规范对 BIM 技术实施过程的管理,以消除企业将 BIM 作为营销手段的可能。

### 3.1.5 结构 BIM 技术应用管理原则

结构 BIM 技术的价值体现在结构 BIM 模型的实际应用中,不论采用何种建模方法,结构 BIM 模型均是为实际工程服务的。如何规范构建与使用结构 BIM 模型,也是结构 BIM 技术作为一种方法向劳动生产力转化的重要一步。笔者将这些方法称为结构 BIM 技术应用管理原则,其具体表现为结构 BIM 模型使用方法[如建设工程全生命周期管理(BLM)]<sup>[21-26]</sup>与相关规范<sup>[27-30]</sup>、法律的约束。

## 3.2 结构 BIM 技术基本原则间的相互关系

### 3.2.1 基本原则的外环境

除上述在结构 BIM 的基本原则中所提及的结

构 BIM 技术实施外部影响因素外,笔者认为还存在 2 类直接的外部影响因素:经济可行性和结构工程外部需求(简称工程需求)。

考虑到经济可行性具有一定的不确定性和受多种不确定因素控制的特点,可以认为结构 BIM 技术的经济可行性是其影响因素的函数,能够采用函数映射关系来衡量,笔者将此称为结构 BIM 经济控制函数,即

$$\gamma=R(r_1,r_2,r_3,\cdots,r_n) \tag{5}$$

式中: $\gamma$  为结构 BIM 技术经济控制指标; $r_i$  为实施结构 BIM 技术的第  $i$  个经济效益影响因素衡量参数。

在结构工程全生命周期以外的其他专业或工程不确定因素的影响条件下,外部环境对结构 BIM 模型存在一定的信息需求。笔者采用工程需求函数这一函数映射关系来衡量外部环境对结构 BIM 技术的需求,即

$$\varphi=\phi(\varphi_1,\varphi_2,\varphi_3,\cdots,\varphi_n) \tag{6}$$

式中: $\varphi$  为结构 BIM 技术外部需求指标; $\varphi_i$  为实施结构 BIM 技术的第  $i$  个外部需求影响因素衡量参数。

笔者将这 2 类外部因素统称为结构 BIM 技术基本原则的外环境(简称外环境)。

3.2.2 基本原则间的相互关系

基于泛函和复合函数的定义,并结合 BIM 技术基本原则和外环境的数学表达式,不难推广得出模型精度是一确定的数值,但其受成模原则和外环境的控制,即模型精度与成模原则和外环境间有一一对应的关系。成模原则是保障原则的函数,外部环境是其各自对应变量的函数。因此,当相应的映射函数确定时,模型精度与其影响变量之间成复合函数关系;当相应的映射函数可变时,模型精度此时被认定为函数的函数,故此时形成一种多变量泛函关系。

目前,笔者尚无法确定模型精度与外部影响函数间应当是何种映射关系,相关研究文献中也没有对此问题的回答。因此笔者列出了这 2 种可能的映射关系,其数学表达式为

$$x=\Pi(g,\gamma,\varphi) \tag{7}$$

式中: $\Pi$  为精度映射算子。

图 2 为结构 BIM 基本原则间的相互关系。

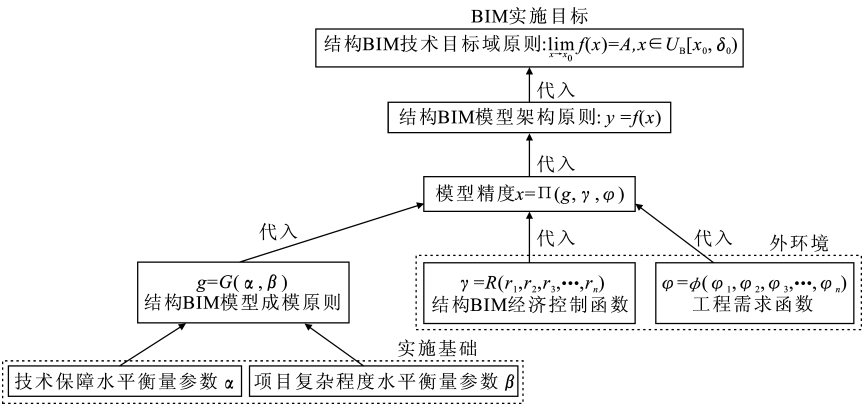


图 2 结构 BIM 基本原则间的相互关系

Fig. 2 Relationship of Basic Principles of Structure BIM

4 结构 BIM 方法学理论的实践意义

方法学理论是结构工程过程、实践和哲学的统一,贯穿于工程结构全生命周期。结构 BIM 方法学理论具有十分重要的意义,这是由于方法学理论为结构这一复杂系统的开发注入了纪律;方法学中定义了一些 BIM 产物,这些产物是整个 BIM 运行过程中信息沟通的载体;方法学为 BIM 项目的进度测量、风险管理与规范运行定义了里程碑;方法学原则的数学模型是结构 BIM 技术量化实施的手段,其不仅能够清晰反映各种影响因素间的相互关系,而且为未来结构 BIM 技术精确化操作打下了理论

基础。

目前,中国结构 BIM 技术的应用仍处于初级阶段,在实际工程项目中,上述原则中的相关参量和函数映射关系并没有规范化和精确的定量,但是尝试应用上述原则定性分析工程实例也能够对结构 BIM 项目的应用状况有一个大致的判断。

5 结 语

(1) 本文所提出的结构 BIM 方法学理论框架是从方法学(哲学)的角度对结构 BIM 技术开展研究的大胆尝试,解决了从业人员对结构 BIM 技术的使用目的、使用方法、研究内容、研究方向模糊的问题。

通过对所提出的方法学原则进行数学建模分析,为结构 BIM 技术定量化实施打下了基础。结构 BIM 技术方法学理论的另一分支结构 BIM 模型——科学调研的工具实质上是基本原则的进一步具体化,是对基本原则中相关映射函数具体形式的讨论。

(2)BIM 技术目前在中国尚处于摸索阶段,本文从方法学理论的角度叙述了笔者对结构 BIM 技术的思考。本文中所提出的相关理论难免有不足之处,将在后续的研究中不断的改进与完善,并通过扶持企业 3D 全 BIM 转型落脚于实处,最终普遍推广到工程实践中。

### 参考文献:

### References:

- [1] 潘佳怡,赵源煜.中国建筑业 BIM 发展的阻碍因素分析[J].工程管理学报,2012,26(1):6-11.  
PAN Jia-yi,ZHAO Yuan-yu. Research on Barriers of BIM Application in China's Building Industry[J]. Journal of Engineering Management,2012,26(1):6-11.
- [2] 何清华,钱丽丽,段运峰,等. BIM 在国内外应用的现状及障碍研究[J].工程管理学报,2012,26(1):12-16.  
HE Qing-hua,QIAN Li-li,DUAN Yun-feng,et al. Current Situation and Barriers of BIM Implementation[J]. Journal of Engineering Management,2012,26(1):12-16.
- [3] 李勇,管昌生.基于 BIM 技术的工程项目信息管理模式与策略[J].工程管理学报,2012,26(4):17-21.  
LI Yong,GUAN Chang-sheng. Construction Project Information Management Based on BIM[J]. Journal of Engineering Management,2012,26(4):17-21.
- [4] 北京《民用建筑信息模型设计标准》编制组.北京市地方标准 DB11/T 1069—2014《民用建筑信息模型设计标准》导读[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.  
Beijing Group of BIM Standard. Guides for "Building Information Modeling Design Standard for Civil Building"[M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2014.
- [5] 王津红,倪伟桥,王朔. BIM 建筑设计实例[M].北京:中国建筑工业出版社,2013.  
WANG Jin-hong,NI Wei-qiao,WANG Shuo. The Instance of BIM Architecture Design[M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2013.
- [6] 陈前,张原.浅谈 BIM 技术及其应用[J].价值工程,2012(23):61-62.  
CHEN Qian,ZHANG Yuan. Discussion on the Con-
- ception and Application of BIM[J]. Value Engineering,2012(23):61-62.
- [7] 徐浩,张洋.建筑信息模型(BIM)对设计过程的影响分析[J].山西建筑,2012,38(2):287-288.  
XU Hao,ZHANG Yang. The Influence Analysis of Building Information Modeling (BIM) to the Design Process[J]. Shanxi Architecture,2012,38(2):287-288.
- [8] 邱奎宁. IFC 标准在中国的应用前景分析[J].建筑科学,2003,19(2):62-64.  
QIU Kui-ning. The Application Foreground Analysis of IFC Standard in China[J]. Building Science,2003,19(2):62-64.
- [9] DB11/T 1069—2014,民用建筑信息模型设计标准[S].  
DB11/T 1069—2014, Building Information Modeling Design Standard for Civil Building[S].
- [10] GRADY B,ROBERT A,MICHAEL W,et al. Object-oriented Analysis and Design with Application[M]. 3rd ed. Boston:Addison-Wesley,2007.
- [11] GB/T 25507—2010,工业基础类平台规范[S].  
GB/T 25507—2010, Industry Foundation Classes Platform[S].
- [12] 赵越. BIM 对建筑设计和施工的优化[J].安徽建筑,2012(5):173-174.  
ZHAO Yue. BIM Enables Modularization and Prefabrication[J]. Anhui Architecture,2012(5):173-174.
- [13] 张建平,余芳强,李丁.面向建筑全生命期的集成 BIM 建模技术研究[J].土木建筑工程信息技术,2012,4(1):6-14.  
ZHANG Jian-ping,YU Fang-qiang,LI Ding. A Modeling Technology of Integrated BIM for Building Lifecycle[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture,2012,4(1):6-14.
- [14] 何关培. BIM 和 BIM 相关软件[J].土木建筑信息技术,2010,2(4):110-117.  
HE Guan-pei. BIM and BIM Software[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture,2010,2(4):110-117.
- [15] 张建平,曹铭,张洋.基于 IFC 标准和工程信息模型的建筑施工 4D 管理系统[J].工程力学,2005,22(增):220-227.  
ZHANG Jian-ping,CAO Ming,ZHANG Yang. A 4D Construction Management System Based on IFC Standard and Engineering Information Model[J]. Engineering Mechanics,2005,22(S):220-227.
- [16] 李犁,邓雪原.基于 IFC 标准 BIM 数据库的构建与应用[J].四川建筑科学研究,2013,39(3):296-301.

- LI Li, DENG Xue-yuan. Construction and Application of the BIM Database Based on IFC Standard [J]. Sichuan Building Science, 2013, 39(3): 296-301.
- [17] 余芳强, 张建平, 刘 强, 等. 基于云计算的半结构化 BIM 数据库研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(6): 1-6.
- YU Fang-qiang, ZHANG Jian-ping, LIU Qiang, et al. A Semi-structured BIM Database Based on Cloud Computing Platforms [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2013, 5(6): 1-6.
- [18] 臧 伟. BIM 领域应用于建筑设计的典型软件[J]. 时代建筑, 2013(2): 38-43.
- ZANG Wei. Typical BIM Softwares Used in Architectural Design[J]. Time Architecture, 2013(2): 38-43.
- [19] 张 昆. 基于 BIM 应用的软件集成研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2011, 3(1): 37-42.
- ZHANG Kun. Research on Software Integration with BIM[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2011, 3(1): 37-42.
- [20] 张旭磊. 基于 BIM 的模板及支撑工程 CAD 系统的研究[D]. 北京: 清华大学, 2010.
- ZHANG Xu-lei. Research on BIM-based Computer Aided Formwork Design System[D]. Beijing: Tsinghua University, 2010.
- [21] 龙文志. 建筑业应尽快推行建筑信息模型(BIM)技术[J]. 建筑技术, 2011, 42(1): 9-14.
- LONG Wen-zhi. Building Information Model (BIM) Technology Shall Be Promoted in Building Industry as Soon as Possible[J]. Architecture Technology, 2011, 42(1): 9-14.
- [22] 尹海鹏, 陈 越, 曹 清. 基于 BIM 的龙岩金融商务中心 B3 号楼结构设计[J]. 钢结构, 2012, 27(7): 34-36, 45.
- YIN Hai-peng, CHEN Yue, CAO Qing. Structural Design of Longyan Financial Business Center No. B3 Building Based on BIM[J]. Steel Construction, 2012, 27(7): 34-36, 45.
- [23] 姬丽苗, 张德海, 管赓瑜, 等. 基于 BIM 技术的预制装配式混凝土结构设计方法初探[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(1): 54-56.
- JI Li-miao, ZHANG De-hai, GUAN Zhi-yu, et al. Preliminary Exploration on the Method of Prefabricated Concrete Structural Design Based on BIM Technology [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2013, 5(1): 54-56.
- [24] 马洪娟, 姚守俨, 戈祥林, 等. BIM 技术在南宁规划展示馆项目施工中应用体会[J]. 土木建筑工程信息技术, 2011, 3(4): 82-86.
- MA Hong-juan, YAO Shou-yan, GE Xiang-lin, et al. Experience of the Application of BIM Technology in the Construction of Nanning Planning Exhibition Hall [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2011, 3(4): 82-86.
- [25] 唐国武, 王 伟, 杜仲云, 等. BIM 在合肥南环线钢桁梁柔性拱桥施工中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2011, 3(4): 76-81.
- TANG Guo-wu, WANG Wei, DU Shen-yun, et al. Application of BIM in Construction of Flexible Arch Bridge with Steel Truss Beam of South Loop Railway in Hefei [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2011, 3(4): 76-81.
- [26] 何清华, 韩翔宇. 基于 BIM 的进度管理系统框架构建和流程设计[J]. 项目管理技术, 2011, 9(9): 96-99.
- HE Qing-hua, HAN Xiang-yu. Schedule Management System Framework Based on BIM Building and Process Design[J]. Project Management Technology, 2011, 9(9): 96-99.
- [27] 清华大学软件学院 BIM 课题组. 中国建筑信息模型标准框架研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2010, 2(2): 1-5.
- BIM Research Group. Research on Chinese Building Information Modeling Standard Framework[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2010, 2(2): 1-5.
- [28] 王 凯. 国外 BIM 标准研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(1): 6-16.
- WANG Kai. Research of Foreign BIM Standards[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2013, 5(1): 6-16.
- [29] 郑国勤, 邱奎宁. BIM 国内外标准综述[J]. 土木建筑工程信息技术, 2012, 4(1): 32-34, 51.
- ZHENG Guo-qin, QIU Kui-ning. Survey on BIM Domestic and Abroad Standard[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2012, 4(1): 32-34, 51.
- [30] 张弘弢, 梁 进. 从北京 BIM 标准编制看中国 BIM 的快速发展[J]. 建筑技艺, 2014(2): 30-32.
- ZHANG Hong-tao, LIANG Jin. Influence of Beijing BIM Standards and Rapid Development of China BIM [J]. Architecture Technique, 2014(2): 30-32.