

城市信息模型(CIM)分级分类研究

王永海¹, 姚玲², 陈顺清², 包世泰^{2,3}

(1. 广州市建设科技中心, 广东 广州 510030;
2. 奥格科技股份有限公司, 广东 广州 510663;
3. 华南农业大学资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘 要: 城市信息模型(CIM)可为城市规划、建设与管理运营过程提供多尺度三维数据底座和科学决策支持, 成为国家“十四五”规划建设内容。但 CIM 具有多尺度、多专业和多行业应用交叉融合的复杂特性, 不利于指导模型集成应用和信息高效共享, 建立统一的 CIM 分级分类将有效改善这一问题。通过梳理综合对比分析城市三维模型、CityGML 分级及建筑信息模型(BIM)等标准的分级层次, 综合研究 CIM 概念及范围, 提出了 CIM 从地表模型到零件级模型逐渐精细的分级方法, 并得到了初步验证。采用面状分类法在 BIM 分类的基础上, 对 CIM 分类进行定义与扩展, 从成果、进程、资源、特性和应用 5 大维度探究了分类及规则。CIM 分级与分类研究, 有助于明确和规范 CIM 特征, 促进模型建立、加工、表达与共享应用。

关 键 词: 城市信息模型; CIM 分级; CIM 分类; 建筑信息模型; 地理信息系统

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2021060995

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2021)06-0995-07

Research on levels and classification of city information model

WANG Yong-hai¹, YAO Ling², CHEN Shun-qing², BAO Shi-tai^{2,3}

(1. Guangzhou Construction Science and Technology Center, Guangzhou Guangdong 510030, China;

2. Augur Intelligence Technology Ltd, Guangzhou Guangdong 510663, China;

3. College of Natural Resources and Environment, South China Agriculture University, Guangzhou Guangdong 510642, China)

Abstract: The research is aimed at key characteristics of City Information Model (CIM) on level and classification. CIM could provide multi-scale 3D data base and scientific decision support for city planning, construction, management and operation, which becomes a part of 14th five - year national economic and social development planning in China. CIM has the complex characteristics of multi-scale, multi-specialty and multi-industry cross-integration, which is difficult to guide the integrated application and sharing information of models. The establishment of a unified levels and classification of CIM will effectively improve the situation. By comparing and analyzing the existing standard systems of City three-dimensional model, CityGML classification and Building information model (BIM), comprehensive concept and levels of CIM are deeply explored. This paper proposed a gradually refined levels of CIM from 1st to 7th, which includes terrain surface model, frame model, standard model, fine model, functional level model, component-level model, and

收稿日期: 2021-04-20; 定稿日期: 2021-05-25

Received: 20 April, 2021; Finalized: 25 May, 2021

基金项目: 2019年工业互联网创新发展工程BIM平台建设专项项目(TC19083WA); 广州市科技计划重点研发项目(202103050001)

Foundation items: Industrial Internet Innovation and Development Project in 2019 (TC19083WA); Key R&D Project of Guangzhou Science and Technology Program (202103050001)

第一作者: 王永海(1982-), 男, 浙江瑞安人, 助理研究员, 博士。主要研究方向为城市信息模型。E-mail: wangyonghai@gz.gov.cn

First author: WANG Yong-hai (1982-), male, assistant researcher, Ph.D. His main research interest covers city information modeling.
E-mail: wangyonghai@gz.gov.cn

通信作者: 包世泰(1977-), 男, 湖北孝感人, 副教授, 博士, 科技特派员。主要研究方向为地理模拟优化、城市信息模型。E-mail: bst100@scau.edu.cn

Corresponding author: BAO Shi-tai (1977-), male, associate professor, Ph.D, scientific special agents. His main research interests cover geographical simulation and optimization, city information modeling. E-mail: bst100@scau.edu.cn

part-level model. The content, feature and precision of seven-level models were described and preliminarily verified. Based on BIM classification, this paper used faceted classification method to define and expand CIM classification, including the five dimensions of result, process, resource, character and application. This research explored the levels and classification characteristics of CIM, which contribute to the creation, procedure, display, sharing and application of CIM.

Keywords: city information model; levels of CIM; classification of CIM; building information model; geographic information system

当下, 城市信息模型(city information model, CIM)在国内已成为新型智慧城市建设的热点, 受到政府和产业界的高度关注和认同。CIM 在国内均处于起步阶段, 相关技术与理论还在讨论之中^[1]。根据住房和城乡建设部《城市信息模型(CIM)基础平台技术导则》(2020 年 9 月公开发布), CIM 是以建筑信息模型(building information model, BIM)、地理信息系统(geographic information system, GIS)、物联网(internet of things, IoT)等技术为基础, 整合城市地上地下、室内室外、历史现状未来多维多尺度信息模型数据和城市感知数据, 构建起三维数字空间的城市场息有机综合体。在建设及研究讨论过程中, CIM 遇到不少挑战, 包括模型概念、内容框架、模型分级与信息分类、数据融合建模等, 相关部门和专家学者从不同角度进行了探索与研究。国内 CIM 由政府引导开始^[2], 住房和城乡建设部 2018 年先后将广州、厦门、北京城市副中心、雄安新区、南京列入“运用建筑信息模型(BIM)进行工程项目审查审批和城市场息模型(CIM)平台建设”试点城市, 大力推进 CIM 在我国的发展建设。专家学者也开始积极研究讨论, 王明省等^[2]针对 CIM 每类数据进行细分并归纳, 形成了完整的 CIM 数据库, 最后给出实践应用; 杨滔等^[3]以雄安新区规划建设 BIM 管理平台项目为例对数字孪生城市与 CIM 进行了思辨; 许镇等^[4]通过梳理 CIM 的发展过程, 总结了 CIM 的主要研究方向和技术实现平台, 并介绍了其典型应用; 孙宏军^[5]以南京市南部新城集中展示区为例研究了基于 CIM 的智慧城市系统建设; 吴丽贤和林钰杰^[6]对基于 CIM+GIS 的配电网拓扑建模与布局算法进行了研究。

CIM 是地理信息^[7]、建筑信息^[8-10]、城市规划^[11]、道路交通^[12]、市政管理^[2]、城市环境^[13]等多行业、多专业交叉汇集的领域^[4,14], 其数据种类复杂多样^[2,11,15]。专业视角的差异导致一些相似概念定义或分类方法在不同专业系统中存在较大差异, 这些差异在各自原有独立系统中不被暴露, 而当考虑建立城市级 CIM 平台, 需要对各类相关

信息汇聚、规整和共享应用时, 问题就变得十分突出。分类分级的差异, 致使各类数据重叠、层次交错、互相矛盾等问题突出, 数据整合困难, 进而影响模型创建和应用, 但目前 CIM 分类分级研究尚处于探索阶段。如《城市信息模型(CIM)基础平台技术导则》从模型表达角度提出了 24 级 CIM 指导了广州和南京等地 CIM 显示分级, 雄安新区从模型精细角度提出“BIM1 至 BIM6”。

CIM 涉及的 GIS、BIM、城市三维模型各自有相对独立的分级分类标准。如 GB/T 13923 规定了基础地理信息要素分类与编码^[16], GB/T 35634 规定了瓦片数据的分级及各级别的地面分辨率和显示比例尺^[17], GB/T 35648 规定了地理信息兴趣点的分类与编码原则^[18], ISO 12006 及 GB/T 51269 规定了 BIM 分类及编码^[19-20], GB/T 51301 规定了 BIM 模型的四级精细度分级^[21], CJJ/T 157 规定了城市三维模型的分类及分级^[22], GB/T 4754 规定了国民经济行业的分类^[23]。本文通过梳理整合上述分类分级标准和各地实践, 结合行业专家反馈意见, 对比分析了 CIM 分级分类, 这是 CIM 创建、共享、传递、交互的关键, 也是 CIM 协同应用的基础, 对推进我国 CIM 发展有着重要意义。

1 CIM 分级分类研究路线

本文立足于 CIM 迫切需要解决的问题, 全面梳理相关国标、省标和行标(表 1), 结合正参与编

表 1 借鉴标准

Table 1 Reference standards

标准号	标准名称
ISO 12006	IFD (International Framework for Dictionaries)
GB/T 13923	基础地理信息要素分类与编码
GB/T 35634	公共服务电子地图瓦片数据规范
GB/T 35648	地理信息兴趣点分类与编码
GB/T 4754	国民经济行业分类
GB/T 51269	建筑信息模型分类和编码标准
GB/T 51301	建筑信息模型设计交付标准
CJJ/T 157	城市三维建模技术规范
-	《测绘标准体系(2017 修订版)》
-	自然资源部《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南(试行)》

制的 CIM 相关标准规范，并借鉴相关城市分级分类实践探索，确定出 CIM 分级分类的框架，最后总结完善得出成果。研究路线如图 1 所示。

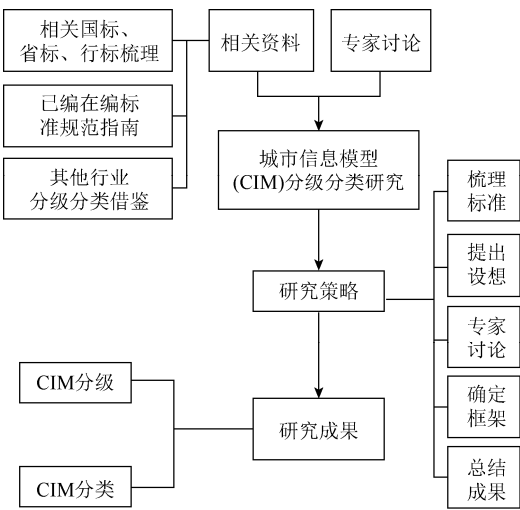


图 1 技术路线图

Fig. 1 Technology roadmap

2 CIM 分级

结合具体技术路线，综合现有研究文献表明，CIM 是在 GIS 和 BIM 的基础上发展而来的^[4,8,24]，由 GIS 整合及管理建筑外部环境信息和建筑物内部信息^[8]，故 CIM 分级可以从 GIS 和 BIM2 方面来考虑。

城市三维模型能够逼真的对现实世界进行模拟仿真^[25]，2010 年我国住房和城乡建设部发布的《城市三维建模技术规范》^[22]将城市三维模型按表现细节划分为 4 个层级，LOD1~LOD4 级随着比列尺逐渐增大，模型精度要求逐渐提高，模型表现逐渐精细，侧重于对地形立体表面和实体三维

框架的表达。2018 年《建筑信息模型设计交付标准》^[20]将 BIM 模型按精细度等级划分为 4 级，LOD1.0~LOD4.0 模型逐渐精细，其中项目级 BIM (LOD1.0)承载项目、子项目或局部建筑信息，满足二维化或符号化识别需求的几何表达；功能级 BIM 承载完整功能的模块或空间信息，可表达建筑物的功能分区，相当于建筑物分层分户的单元层次；构件级 BIM 承载单一的构配件或产品信息，可精细表达建筑或实体的构成部件；零件级 BIM (LOG4.0)承载从属于构配件或产品的组成零件或安装零件信息。DENG 等^[26]还详细分析对比了 CityGML 与 BIM 的分级 IFC 对象及其制图特征，根据常见模型对象及特征，可将三维模型 4 个等级、BIM 精细度 4 个基本等级与 CityGML5 分级进行综合比对，虽然各级别细节略有出入，但整体上可形成见表 2 的级别对应关系。

依据现有模型不同级别所展现的特征，结合各级别尺度与精细度，城市三维模型的精细模型细节表现层次侧重表达建筑体(群)的三维框架及表面，完全达到项目级 BIM 的层次要求，故将精细模型与项目级 BIM 融合形成同一个层级。综合设计形成 7 级 CIM 模型，其特征见表 3。

CIM 模型分为地表模型、框架模型、标准模型、精细模型、功能级模型、构件级模型、零件级模型 7 级，其中：

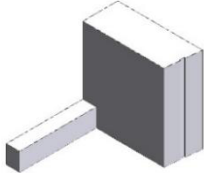
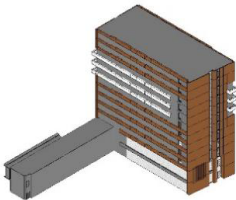
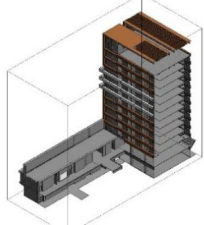
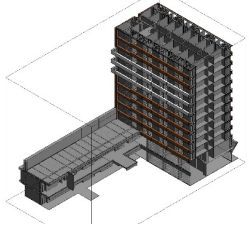
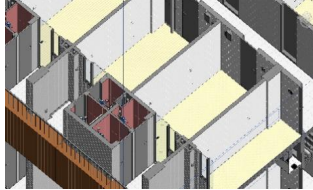
- (1) 1 级模型是根据实体对象的基本轮廓和高度生成的三维符号，可采用 GIS 数据生成；
- (2) 2 级模型是表达实体三维框架和表面的基础模型，实体边长大于 10 m (含 10 m)应细化建模，表现为无表面纹理的“白模”，可采用倾斜摄影和

表 2 城市三维模型、CityGML 和 BIM 层级对比

Table 2 LOD comparison of three-dimensional city model, CityGML and BIM

序号	模型主要内容及特征	三维模型分级	CityGML 分级	BIM 精细度基本等级
1	地形模型，平面轮廓或符号表达实体	LOD1 (体块模型)	LoD0	-
2	实体三维立体框架，如建筑立体框架(白模)	LOD2 (基础模型)	LoD1	-
3	实体三维立体框架+标准表面，如建筑立体框架，封闭表面、屋顶表面	LOD3 (标准模型)	LoD2	-
4	实体三维立体框架+精细表面，如建筑立体框架，如封闭表面、分层表面、窗户	LOD4 (精细模型)	LoD3	LOD1.0 (项目级 BIM)
5	完整功能的模块或空间信息，如分层分户、房间、内墙表面、主要建筑装饰，满足空间占位、主要颜色等粗略识别需求的几何表达精度	-	LoD4	LOD2.0 (功能级 BIM)
6	单一的构配件或产品信息，如建筑构件(墙、梁、板、柱等)满足建造安装流程、采购等精细识别需求的几何表达精度和	-	-	LOD3.0 (构件级 BIM)
7	从属于构配件或产品的组成零件或安装零件信息，满足高精度渲染展示、产品管理、制造加工准备等高精度识别需求的几何表达精度	-	-	LOD4.0 (零件级 BIM)

表 3 CIM 分级
Table 3 LOD of CIM

级别	名称	模型主要内容	模型特征	数据源精细度	模型示例
1	地表模型	行政区、地形、水系、居民区、交通线等	DEM 和 DOM 叠加实体对象的基本轮廓或三维符号	小于 1 : 10 000	 居民区
2	框架模型	地形、水利、建筑、交通设施等	实体三维框架和表面(无纹理)，包含实体分类等信息	1 : 5 000 ~ 1 : 10 000	
3	标准模型	地形、水利、建筑、交通设施、管线管廊、植被等	实体三维框架、外表面，包含实体分类、标识和基本属性等信息	1 : 1 000 ~ 1 : 2 000	
4	精细模型	地形、水利、建筑外观及建筑分层结构、交通设施、管线管廊、植被等	实体三维框架、内外表面细节(真实纹理)，包含模型单元的身份描述、项目信息、组织角色等信息	优于 1 : 500 或 G1, N1	
5	功能级模型	建筑、设施、管线管廊、场地、地下空间等要素及其主要功能分区(对应于房屋的分层分户)	满足空间占位、功能分区等需求的几何精度，包含和补充上级信息，增加实体系统关系、组成及材质，性能或属性等信息	G1 ~ G2, N1 ~ N2	
6	构件级模型	建筑、设施、管线管廊、地下空间等要素的功能分区及其主要构件	满足建造安装流程、采购等精细识别需求的几何精度(构件级)，宜包含和补充上级信息，增加生产信息、安装信息	G2 ~ G3, N2 ~ N3	
7	零件级模型	建筑、设施、管线管廊、地下空间等要素的功能分区、构件及其主要零件	满足高精度渲染展示、产品管理、制造加工准备等高精度识别需求的几何精度(零件级)，包含上级信息并增加竣工信息	G3 ~ G4, N3 ~ N4	

卫星遥感等方式组合建模；

(3) 3 级模型是表达实体三维框架、内外表面的标准模型，实体边长大于 2 m (含 2 m)应细化建模，可采用激光雷达、倾斜摄影和卫星遥感等方式组合建模；

(4) 4 级模型是表达实体三维框架、内外表面细节的精细模型，实体边长大于 0.5 m(含 0.5 m)应细化建模，可采用倾斜摄影、激光雷达等方式组合建模；

(5) 5 级模型是满足模型主要内容空间占位、

功能分区等需求的几何精度(功能级)，对应建筑信息模型几何精度 G1~G2 级，表面凹凸结构边长大于 0.05 m(含 0.05 m)应细化建模，可采用 BIM、倾斜摄影和激光雷达等方式组合建模；

(6) 6 级模型是满足模型主要内容建造安装流程、采购等精细识别需求的几何精度(构件级)，对应 BIM 几何精度 G2~G3 级，表面凹凸结构边长大于 0.02 m (含 0.02 m)应细化建模，可采用 BIM、激光雷达和人工测绘等方式组合建模；

(7) 7 级模型是满足模型主要内容高精度渲染

展示、产品管理、制造加工准备等高精度识别需求的几何精度(零件级),对应BIM几何精度G3~G4级,表面凸凹结构边长大于0.01 m(含0.01 m)应细化建模,可采用BIM和人工测绘等方式组合建模。

CIM作为新兴概念,涉及城市规划建设运行的方方面面,若CIM层次重新建立一套分级方式既可能与现存行业产生巨大冲突分歧及重复,浪费现有基础资源,也不利CIM在各行各业的推广应用。因此,整合已有城市三维模型与BIM分级方式设计的7级CIM,其中CIM1~4级分别对应城市三维模型的LOD1体块模型、LOD2基础模型、LOD3标准模型、LOD4精细模型,CIM4~7级分别对应BIM的LOD1.0项目级模型单元、LOD2.0功能级模型单元、LOD3.0构件级模型单元、LOD4.0零件级模型单元,能促进现有模型融合、快速构建CIM模型,便于CIM共享应用。

3 CIM分类

从某种角度而言,BIM是CIM的细胞单元,建筑、市政、道桥、水利、园林等要素的BIM组合起来,打通其之间的关联,就构成了城市级别的CIM。目前,国内外对BIM分类的研究较为完善成熟^[19-20,27-29],文献[27]探析了BIM建筑功能分类编码及扩展路径;ISO 12006-2^[19]定义了BIM的模型框架,并给出BIM分类的方法论,指出建设项目全生命期信息一般应包括建设成果、建设过程以及建设资源;美国Omniclass与Uniclass为目前建设全生命期主流编码体系,二者均采用面分类法将工程建设过程相关内容分解为多个维度,在各维度内采用线分类法将概念按层次分解,从顶层设计角度对建筑全生命周期涉及的所有内容,按施工单位功能、施工单位形式、功能、形式、细分(包括设计元素)、工作结果、产品、阶段、服务、学科、组织角色、工具、信息、物质、属性等分类法进行分类^[28];我国国标《建筑信息模型分类和编码》^[20]从在ISO12006-2为基础进行了推展,从建设成果、进程、资源、属性几个维度对BIM进行分类;文献[29]针对水电工程分类编码应用现状和信息化发展需求,结合提出了水电工程全生命期线分类与面分类的编码扩展方法。本文在上述BIM标准的分类基础上,考虑到CIM需完整地描述结构复杂的城市系统,以领域扩展思路对CIM采用面分类法进行扩展,包含成果、

进程、资源、特性和应用5大维度。其中成果包括按功能分建筑物、按形态分建筑物、按功能分建筑空间、按形态分建筑空间、BIM元素、工作成果、模型内容7种分类,前6种引用GB/T 51269附录A.0.1~A.0.6分类,模型内容参考GB/T 13923和CJJ 157分类;进程包括工程建设项目阶段、行为、专业领域、采集方式4种分类,前3种引用GB/T 51269附录A.0.7~A.0.9分类,采集方式参考《测绘标准体系》;资源包括建筑产品、组织角色、工具、信息4种分类,引用GB/T 51269附录A.0.10~A.0.13分类;特性包括材质、属性、用地类型3种分类,前2种引用GB/T 51269附录A.0.14~A.0.15分类,用地类型引用自然资源部《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南(试行)》的用地分类代码;应用包括行业1种分类,引用GB/T 4754的国民经济行业分类编码。具体分类如图2所示。

CIM的分类可在符合现行国家标准《信息分类和编码的基本原则和方法》GB/T 7027的规定下,依据可扩展性、兼容性和综合实用性原则进行扩展,扩展分类时,相关标准中已规定的类目和编码保持不变。

以上CIM分类具有如下特点:

(1) 吸收BIM精华,展现自身特色。BIM分类已是我国建筑工程的一个新分类系统,贯穿了整个建筑生命期:从概念期到报废期,也包括了构成建设环境及建造工程,其可在很多领域应用。CIM除了汇聚BIM的信息,又加入GIS和IoT等其他信息。本文分类在BIM基础上进行扩充,分类维度上新增了应用,并在成果分类维度下新增模型内容,进程分类维度下新增采集方式,特性分类维度下新增用地类型等。这样分类既充分吸收BIM已有的精华、做到高度兼容,同时又扩展了CIM信息分类、展现了其自身特色。

(2) 多维分类角度,覆盖范围全面。CIM所容纳的信息覆盖各种空间、时间维度,可描述城市内各种物理或人文实体,具有多时态、多类型、多粒度级别、多来源等特点^[14],其多尺度、多维度、多类别导致其数据种类复杂,数据内容丰富,单一维度的分类必然无法满足CIM实际应用的需求。本文从成果、进程、资源、特性和应用多种维度对CIM进行分类,覆盖范围及内容更加全面,更符合CIM集成应用,也更易于现实的信息交换与共享应用。

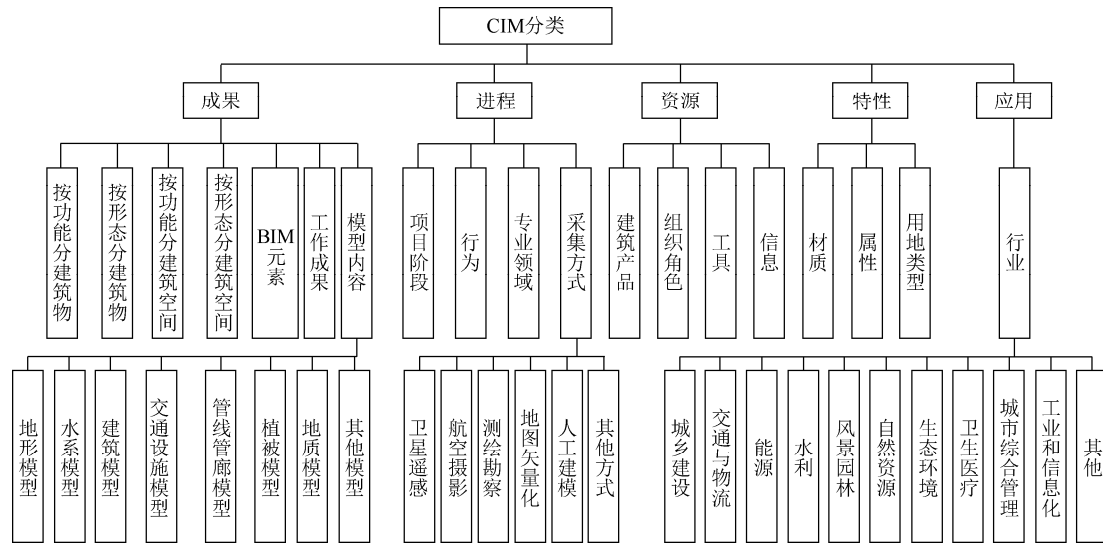


图2 CIM分类图

Fig. 2 Classification of CIM

4 结束语

CIM 可用于管理建筑、设施、资源与环境、城市现状与规划空间的需求，以及城市规划建设管理全过程中各类利益相关者之间的协作，将会是未来城市智慧规划、建设和管理运营的重要技术支撑。本文在已有城市三维模型、CityGML 及 BIM 分级的对比研究基础上，提出了 CIM 从地表模型到零件级模型逐渐精细的分级方法，并得到了初步验证，但在各级模型的应用与验证有待加强。探索了采用面状分类法对 CIM 分类进行定义与扩展，从成果、进程、资源、特性和应用 5 大维度探究了分类和分类规则，下一步将加强与现有 GIS 等数据线状分类编码的衔接与自动转换，希望为 CIM 数据融合与建模加工、CIM 模型共享应用推广及 CIM 分级分类标准化提供帮助。

参考文献 (References)

- [1] 汪科, 杨柳忠, 季珏. 新时期我国推进智慧城市和 CIM 工作的认识和思考[J]. 建设科技, 2020(18): 9-12.
WANG K, YANG L Z, JI J. Cognition and consideration on promoting smart city and CIM in China at the new era[J]. Construction Science and Technology, 2020(18): 9-12 (in Chinese).
- [2] 王明省, 何华贵, 林鸿. CIM 时空数据库的研究与实践[J]. 电子技术与软件工程, 2020(3): 172-173.
WANG M X, HE H G, LIN H. Research and practice of CIM spatiotemporal database[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2020(3): 172-173 (in Chinese).
- [3] 杨滔, 杨保军, 鲍巧玲, 等. 数字孪生城市与城市信息模型 (CIM) 思辨——以雄安新区规划建设 BIM 管理平台项目为例[J]. 城乡建设, 2021(2): 34-37.
YANG T, YANG B J, BAO Q Z, et al. The speculation of

digital twin city and city information modeling (CIM)--take the BIM management platform project of Xiongan new area planning and construction as an example[J]. Urban and Rural Construction, 2021(2): 34-37(in Chinese).

- [4] 许镇, 吴莹莹, 郝新田, 等. CIM 研究综述[J]. 土木建筑工程信息技术, 2020, 12(3): 1-7.
XU Z, WU Y Y, HAO X T, et al. Overview of research on CIM[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2020, 12(3): 1-7 (in Chinese).
- [5] 孙宏军. 基于 CIM 的智慧城市系统建设研究——以南京市南部新城集中展示区为例[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(26): 172.
SUN H J. Study on the Construction of smart city system based on CIM: a case study of the centralized exhibition area in the southern new town of nanjing[J]. Urban Construction Theory Research (Electronic Edition), 2018(26): 172 (in Chinese).
- [6] 吴丽贤, 林钰杰. 基于 CIM+GIS 的配电网拓扑建模与布局算法研究[J]. 地理空间信息, 2019, 17(9): 76-79.
WU L X, LIN Y J. Research on distribution network topology modeling and layout algorithm based on CIM+GIS[J]. Geospatial Information, 2019, 17(9): 76-79 (in Chinese).
- [7] 黄佳, 郭源泉, 柴理想. 3D MAX 在 CIM 平台中的数据治理应用研究[J]. 科学技术创新, 2020(34): 91-93.
HUANG J, GUO Y Q, CHAI L X. Application research of 3D MAX data governance in CIM platform[J]. Science and Technology Innovation, 2020(34): 91-93 (in Chinese).
- [8] 孙杰贤. BIM、CIM 与城市范式变迁[J]. 中国信息化, 2019(2): 39.
SUN J X. BIM CIM and urban paradigm change[J]. China Informatization, 2019(2): 39(in Chinese).
- [9] 孙园园. 从 BIM 到 CIM: 探索智慧城市建设新模式[J]. 价值工程, 2019, 38(35): 30-31.
SUN Y Y. From BIM to CIM: exploring a new model of smart city construction[J]. Value Engineering, 2019, 38(35): 30-31 (in Chinese).
- [10] 张佳琪. BIM 与 GIS 数据融合方法研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2019.
ZHANG J Q. Research on data fusion method of BIM and GIS[D]. Changchun: Changchun Institute of Technology, 2019 (in Chinese).
- [11] 李静. CIM 平台架构下的城市规划数据建模与应用研

- 究[EB/OL]. [2021-03-28]. <http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-XDCH202012002006.htm>.
- LI J. Research on modeling and application of urban planning data based on CIM platform[EB/OL]. [2021-03-28]. <http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-XDCH202012002006.htm> (in Chinese).
- [12] 高颖. 基于 CIM 的智慧交通与智慧道路感知体系[J]. 中国交通信息化, 2021(1): 113-115.
- GAO Y. Intelligent traffic and intelligent road perception system based on CIM[J]. China ITS Journal, 2021(1): 113-115 (in Chinese).
- [13] MITYAGIN S, YAKIMUK I, RUDIKOWA L, et al. City information modeling: the system approach for formation requirement in spatial development[J]. Procedia Computer Science, 2020, 178: 134-144.
- [14] 耿丹. 基于城市信息模型(CIM)的智慧园区综合管理平台研究与设计[D]. 北京: 北京建筑大学, 2017.
- GENG D. The research and design of smart park integrated management platform based on city information modeling (CIM)[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2017 (in Chinese).
- [15] 吴掠梳. 南京市城市信息模型平台设计与应用[EB/OL]. [2021-03-09]. <http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-XDCH202012002027.htm>.
- WU L W. Design and application of Nanjing city information model platform[EB/OL]. [2021-03-09]. <http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-XDCH202012002027.htm> (in Chinese).
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 13923 基础地理信息要素分类与编码[S], 2016.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 13923 Specifications for data classification and codes of fundamental geographic information[S], 2016 (in Chinese).
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 公共服务电子地图瓦片数据规范 GB/T 35634-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. Tile data specification of electronic map for public service GB/T 35634-2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 地理信息兴趣点分类与编码 GB/T 35648-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Classification and coding of geographic information points of interest. GB/T 35648-2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [19] International Organization for Standardization. ISO 12006-2 Building construction-organization of information about construction works-Part 2: framework for classification[S], 2015.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑信息模型分类和编码 GB/T 15269-2017[S], 2017.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Standard for classification and coding of building information model GB/T 15269-2017[S], 2017.
- [21] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 建筑信息模型设计交付标准 GB/T 51301-2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration for Market Regulation. Standard for design delivery of building information modeling GB/T 51301-2018[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018 (in Chinese).
- [22] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市三维建模技术规范 CJJ/T 157-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for three dimensional city modeling CJJ/T 157-2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011 (in Chinese).
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 国民经济行业分类 GB/T 4754-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Industrial classification for national economic activities. GB/T 4754-2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [24] XU X, DING L Y, LUO H B, et al. From building information modeling to city information modeling[J]. Journal of Information Technology in Construction, 2014, 19: 292-307.
- [25] 刘天漪. 面向快速可视化的城市三维模型数据管理与组织研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2017.
- LIU T Y. Research on urban 3D model management and organization for rapid visualization[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2017 (in Chinese).
- [26] DENG Y C, CHENG J C P, ANUMBA C. Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison[J]. Automation in Construction, 2016, 67: 1-21.
- [27] 王亚平, 迟有忠, 王芙蓉, 等. 应用导向下城市级 BIM 建筑功能分类编码路径探析[EB/OL]. [2021-02-25]. <http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-XDCH202012002010.htm>.
- WANG Y P, CHI Y ZH, WANG F R, et al Application of BIM in building function classification and coding[EB/OL]. [2021-02-25]. <http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-XDCH202012002010.htm>. (in Chinese).
- [28] 李云贵. 中美英 BIM 标准与技术政策[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- LI Y G. BIM standards and technology policy in China, US and UK[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2018 (in Chinese).
- [29] 张志伟, 王珩玮, 林佳瑞, 等. 面向全生命周期管理的水电工程信息分类编码研究[J]. 工程管理学报, 2017, 31(4): 131-136.
- ZHANG Z W, WANG H W, LIN J R, et al. Information classification system for lifecycle management of hydroelectric projects[J]. Journal of Engineering Management, 2017, 31(4): 131-136 (in Chinese).