



市政基础设施工程 数字化交付白皮书

BIM+GIS+数字孪生一体化实践框架

作者：张祥

支持单位：云拓智库·云拓数据

完成时间：2024年7月

出版说明

研究主题	市政基础设施工程数字化交付白皮书：BIM+GIS+数字孪生一体化实践框架
作者	张祥
任职单位	无锡凯旋市政工程有限公司
职务	总经理
研究领域	市政基础设施工程数字化交付
研究支持	云拓智库 · 云拓数据
发布日期	2024 年 7 月

编制与使用说明

本白皮书围绕道路、桥梁、隧道、管网等市政基础设施的数字化交付展开，并以机场扩建作为复杂约束条件下的典型场景，重点讨论计划、施工、验收、移交与运维之间的信息连续性。

研究采用公开政策、工程建设规范和国际标准作为制度与方法依据；引用均列于末页参考来源。场景内容用于阐释行业方法，实施时应结合具体项目条件、合同与适用标准复核。

本白皮书供建设、设计、施工、监理、检测、运维及数字化团队开展方案研究和管理改进使用，不构成针对特定工程的设计、鉴定、法律、投资或安全专业意见。

正文以 2024 年 7 月 23 日为信息时点。政策、标准、技术版本和监管要求可能调整，引用或实施前应通过发布机构核对现行状态。

引用、摘编或传播时应保留题名、作者、发布信息及完整语境；涉及具体工程决策时，应回到原始标准、合同文件和经批准的项目成果。

封面图片：封面摄影：Antony-22，Wikimedia Commons，CC BY-SA 4.0；图像用于机场航站区扩建施工场景表达。图片使用遵循相应素材许可条款，仅用于本白皮书版面呈现。

目录

01 执行摘要	7
研究判断	7
主要发现	7
实施建议与价值	8
02 研究背景、对象与范围	8
从数字建模转向数字交付	8
研究对象与核心问题	9
方法、术语与读者	9
03 市政基础设施工程的交付结构与数字化特征	10
多主体与长链条	10
线性工程、地下空间与既有环境	10
成果形态与交付价值	11
04 政策环境、技术演进与转型动力	11
政策从单点应用走向全生命周期	11
标准化为协同设定最低条件	12
组织与经济动力	12
05 数字化交付成熟度与阶段路径	13
成熟度判断的五个维度	13
四个演进阶段	13
分层推进与退出条件	14
06 工程运营管理现状与能力短板	14

组织责任与数字职责错位	14
数据供给与现场节奏脱节	15
指标丰富但行动不足	15
07 跨专业流程衔接与变更控制	15
接口断点比单项错误更难发现	15
变更需要对象级影响分析	16
以时限和关闭条件管理协同	16
08 资源配置、成本与经营决策	17
从静态计划到可执行约束	17
成本口径与对象映射	17
决策反馈与情景比较	17
09 BIM、GIS 与现场数据协同	18
三类数据的互补关系	18
主数据、编码和映射	18
现场采集进入业务闭环	19
10 施工供应链、物料与履约响应	19
供应链与工程计划的连接	19
库存、批次与质量追溯	19
履约预警与滚动调整	20
11 验收、移交与运维接续	20
验收资料与实体对象同步	20
分阶段移交与交付校验	21
数字孪生的运维起点	21
12 BIM+GIS+数字孪生总体架构	21

以业务闭环定义总体架构	21
四个核心数据域	22
平台能力与边界	22
闭环运行机制	23
13 模型编码、交付标准与版本治理	23
从信息需求形成交付规则	23
对象编码与分类体系	24
模型粒度、属性和坐标	24
版本、发布与归档	24
14 时空数据底座与经营分析体系	25
建立可治理的时空底板	25
指标体系从对象聚合到经营主题	25
预警规则与空间分析	26
分析结果的复核与发布	26
15 现场采集、状态回写与快速响应	26
采集设计从控制目标出发	26
状态机与证据规则	27
扫描、影像和传感数据处理	27
快速响应的组织闭环	28
16 多参与方协同与可追溯留痕	28
共同数据环境的协同规则	28
会议、决定与模型对象连接	28
审计追踪与证据可信	29
协同绩效与争议预防	29
17 质量、安全与资产价值闭环	30

质量控制嵌入对象生命周期	30
安全风险的时空表达	30
从竣工交付到资产价值	30
价值闭环与改进机制	31
18 机场扩建典型场景与实施路径	31
场景边界与关键约束	31
准备阶段：目标、编码与底座	32
实施阶段：计划、现场与变更	32
验收、切换与分阶段移交	32
里程碑与推广节奏	33
19 评价指标、风险控制与治理机制	33
建立可比较的评价基线	33
建议指标与口径	34
技术、数据与安全风险	34
组织、合同与算法治理	34
治理闭环与审计	35
20 推广边界、发展趋势与结论	35
适用边界与推广条件	35
技术与管理趋势	36
管理者的行动建议	36
结论	36
参考来源	37

01 执行摘要

研究判断

市政基础设施工程正在从“提交文件”转向“交付可持续使用的信息资产”。道路、桥梁、隧道、管网和机场扩建具有空间连续、专业交叉、地下条件不确定、参与方众多及建设运行并行等特征，传统依赖分散图纸、表格和会议纪要的管理方式，难以让设计意图、现场状态、验收证据和资产信息保持一致。数字化交付的首要任务不是建立三维展示，而是建立统一对象身份、时空基线、版本规则和责任链。

本白皮书提出 BIM+GIS+数字孪生一体化框架：BIM 承载构件、系统和工程属性，GIS 组织地形、既有设施、边界与多尺度空间关系，数字孪生连接对象状态、现场事件、业务规则和运行反馈。三者通过共同数据环境和对象编码连接，同时保留设计、计划、成本、质量、文档及资产系统的权威边界，避免把所有数据复制到单一平台。

政策与标准已经为这一转型提供方向。国家数字经济、数字中国、建筑业与数字交通规划强调实体产业数字化、基础设施智能升级和全生命周期数据应用，智能建造与 CIM 政策进一步要求工程协同、空间底板和数据共享。[1][2][3][4][5][6] ISO19650 和 OGCCityGML 等国际标准则分别提供信息管理与城市三维语义的参照。[8][9][10]

主要发现

行业实践中的主要断点集中在五处：专业与标段接口没有对象化管理，变更不能同步影响图纸、模型、计划、采购和现场；计划、成本与模型粒度不同，经营判断依赖人工拼接；现场采集与业务目的脱节，照片、点云和传感数据缺少位置、对象与版本语境；质量资料集中后补，实体完成与证据、验收和移交状态混为一体；建设期成果未按运维用例筛选和验证，竣工模型容易成为静态快照。

数字化成熟度应从治理、流程、数据、技术和应用五个维度判断，可分为文件电子化、模型协同、过程集成和预测性运营四个阶段。项目不必追求一步到位。对象编码、发布状态、坐标基准和端到端流程是先决条件；实时感知、预测与优化应在数据稳定、责任清楚和业务确有需要时建设。

总体架构由业务目标、流程规则、数据对象、技术服务、应用场景和治理保障六层构成。其运行闭环是“计划基线—现场采集—偏差识别—责任处置—批准变更—结果验证”。不同数据按决策窗口采用实时、班次、日、周或里程碑更新，避免以无差别高频采集制造新的负担。

实施建议与价值

落地宜选择跨方且结果明确的链路，如设计变更闭环、地下管线迁改、关键工序验收、材料批次追溯和阶段资产移交。先形成信息需求与责任矩阵，再建立坐标、编码和版本基线，随后将现场状态和证据受控回写，最后通过业务用例验证交付。每个里程碑设置可抽样的退出条件，平台部署或模型完成不能单独视为成功。

机场扩建典型场景应优先管理施工区与运行区边界、施工窗口、地下设施、关键物项和系统切换。近期计划把工作包与设计版本、作业面、材料和运行条件关联；变更从发起时连接受影响对象；分阶段移交同时验证实体、资料、模型和运维任务。场景用于说明方法，实际项目仍须遵守适用法规、合同、设计与运行管理要求。

评价以实施前基线为前提，覆盖流程周期、数据质量、问题重开、证据完整、移交通过和资产信息可用性。安全、质量、合同和法定责任不能由算法或平台替代。框架的长期价值在于缩短偏差反馈周期、减少信息断裂、提高交付透明度，并使建设数据能够在运维阶段继续使用。数字化无法消除工程不确定性，但能够让假设、状态、责任和证据更加清楚。

02 研究背景、对象与范围

从数字建模转向数字交付

市政基础设施工程具有线性展开、专业交叉、地下条件不确定和公共运行约束强等特征。道路、桥梁、隧道、管网及机场场区改扩建往往同时面对既有设施保护、交通导改、分期施工和多部门审批，交付对象也不只是实体工程，还包括可继续使用的模型、图纸、检测记录、设备资料和空间坐标。传统以纸质竣工图和分散电子文件为核心的方式，难以完整表达工程对象在时间、空间和责任链条上的变化。

数字化交付因此不能等同于“项目结束时提交一套 BIM 模型”。它应从业主信息需求出发，在设计、施工、验收和移交期间持续定义信息应由谁生产、在何时达到什么粒度、经过何种校验并交给哪个系统。ISO19650 系列把信息管理置于资产全生命周期，并强调交换、记录、版本和组织规则，这为市政工程建立共同数据环境提供了可参照的管理逻辑。[8][9]

本白皮书所称数字化交付，是以工程对象编码为连接点，把 BIM 的构件与工程属性、GIS 的地理空间关系、现场采集的状态证据和数字孪生的运行映射组合为一套可验证成果。其价值不在模型画面本身，而在于让计划、施工、验收、移交和运维使用同一套对象身份和时间基线，降低信息在阶段转换中的损失。

研究对象与核心问题

研究对象覆盖道路、桥梁、隧道、给排水及综合管网等市政基础设施，并把机场扩建作为多专业、高约束条件下的典型场景。机场扩建同时涉及场道、航站区、交通接驳、市政配套、机电系统和不停航或分区运行要求，能够集中检验时空协调、变更治理、现场回写和分阶段移交能力。但本书提出的是行业通用框架，场景描述用于说明实施方法，不替代具体项目的合同、设计和监管要求。

全书集中回答四类问题：第一，如何让模型编码、工作分解和资产编码形成稳定对应；第二，如何将空间底图、构件模型、计划任务、质量安全记录和现场状态放到同一时空语境；第三，如何控制变更、版本和跨方审批，使过程证据能够追溯；第四，如何在不增加无效录入负担的前提下，把数字成果转化为验收、移交和运维可用的数据资产。

研究边界不包括具体软件选型、供应商产品比较和未经项目条件验证的投资回报率承诺。对算法预测、自动识别和实时仿真等能力，本书按照可实施条件讨论其输入、责任和人工复核要求，避免把演示性功能等同于工程控制能力。任何数字化系统都不能替代法定责任、专业判断、现场检验和签认程序。

方法、术语与读者

本研究采用政策与标准梳理、工程流程分解、信息对象建模和典型场景推演相结合的方法。国家层面的数字经济、数字交通和建筑业规划共同指向基础设施数字化、产业协同与全生命周期应用；住房城乡建设领域的智能建造和 CIM 政策进一步提出数据交互、平台协同和城市三维空间底板要求。
[1][2][3][4][5][6]

文中 BIM 主要指承载构件几何、属性和专业关系的工程信息模型；GIS 主要指以统一坐标和空间索引组织地形、管线、道路、建筑及环境要素的地理信息体系；数字孪生指物理对象、数据状态、业务规则与数字表达之间可持续更新的映射。三者作用不同：BIM 提供工程深度，GIS 提供空间广度，数字孪生提供时间连续性和状态反馈。

主要读者包括建设单位、勘察设计单位、施工与监理单位、检测机构、运维单位以及数字化平台团队。不同角色不必使用同一软件，却需要遵守同一信息规则。后续章节将先呈现行业结构与典型断点，再提出架构、标准、实施与治理方法，使管理者能够据此确定目标和责任，使专业团队能够把原则转化为数据字段、流程节点和验收条件。

03 市政基础设施工程的交付结构与数字化特征

多主体与长链条

市政基础设施交付跨越立项、勘察、设计、采购、施工、检测、验收、移交和运维，参与方之间既有合同关系，也有行政审批、专业审查和公共服务协同关系。一个道路节点的调整可能牵动管线迁改、交通组织、照明、排水、景观和周边地块接口；一处机场场区标高变化还可能影响场道排水、灯光基础、机坪设备和施工导改。局部决策如果缺少统一对象和空间参照，影响往往在后续阶段才显现。

交付链条中同时存在项目管理语言、专业设计语言、施工组织语言和资产管理语言。设计图纸以专业系统和图号组织，进度计划以工作包和工序组织，成本台账以清单和合同科目组织，运维系统则以资产类别、位置和维护单元组织。数字化交付需要建立这些分类之间的映射关系，而不是要求各方放弃既有管理体系。映射清晰，信息才能沿着业务链传递；映射缺失，模型再精细也只能停留在单一岗位。

公共基础设施还具有较长的服役期。施工阶段看似次要的材料批次、隐蔽工程影像、试验报告和设备参数，可能在多年后的检测、维修或改造中成为关键依据。交付体系应区分临时施工信息、竣工法定资料和长期资产信息，分别规定保存期限、完整性与更新责任，避免把所有文件无差别堆入平台。

线性工程、地下空间与既有环境

道路、管线和隧道沿空间连续展开，行政边界、施工标段和专业分界却经常切断这种连续性。相同构件可能跨越多个图幅，里程桩号与城市坐标并行使用，地下设施又存在探测精度、权属和建成年代差异。GIS 能够提供统一空间索引，但只有把坐标基准、里程换算、标高系统和精度等级写入数据规则，空间叠加才具有工程意义。

既有环境的不确定性决定了现场核验不是建模前的一次性活动。地下管线暴露、地质条件变化、交通导改和临时工程调整都会改变施工条件。适宜的数字化流程应保留“设计假设—现场发现—处置决定—最终状态”的演变记录，使设计模型、施工深化模型和竣工模型能够区分，而不是不断覆盖成一份无法解释来源的最新文件。

对于机场扩建，空侧与陆侧、运行区与施工区、永久设施与临时保障设施之间的边界尤其重要。空间模型需要与施工窗口、净空限制、车辆路线和停机位占用等时间约束结合。此类场景表明，三维可视化只能回答“在哪里”，只有叠加计划、状态和审批数据，才能回答“何时可进入、谁可操作、完成到什么程度”。