

ICS 35.240.01

CCS P 07

团体标准

T/TMAC ×××—202X

建筑工程数字化技术应用指南

Guidelines for the application of digital technology in construction engineering

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

T/TMAC 031.F—2020

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市丰台区万丰路 68 号银座和谐广场 1101B。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前 言 IV

引 言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本原则 1

5 系统性策划 2

 5.1 系统性策划的意义 2

 5.2 系统性核心：明确目标与原则 2

 5.2.1 目标设定（SMART 原则） 2

 5.2.2 核心原则 2

 5.3 策划内容与实施路径 2

 5.3.1 组织与职责策划 2

 5.3.2 技术路径与平台策划 3

 5.3.3 流程再造策划 3

 5.4 风险与应对策略 3

 5.4.1 技术风险 3

 5.4.2 管理风险 4

 5.4.3 数据风险 4

 5.4.4 成本风险 4

 5.5 输出成果：系统性策划报告 5

 5.5.1 项目智能建造愿景与目标 5

 5.5.2 组织架构与职责分工表 5

 5.5.3 技术实施路径图与应用清单 5

 5.5.4 数据标准与协同流程手册 6

 5.5.5 投资预算与效益分析表 6

 5.5.6 培训与推广计划 6

6 数字勘察 6

 6.1 一般规定 6

 6.2 数据采集与处理 6

 6.3 数据应用与交付 9

7 数字设计 12

 7.1 一般规定 12

 7.1.1 数字设计的定义 12

 7.1.2 数字设计的目标 13

 7.1.3 适用范围 13

 7.1.4 实施原则 13

 7.2 技术准备 13

 7.2.1 数据资源准备 13

 7.2.2 平台选用 14

 7.2.3 工具选用 15

 7.2.4 数据安全保障 15

 7.3 关键技术应用 15

 7.3.1 BIM 正向设计 15

 7.3.2 AI 辅助设计 15

 7.3.3 参数化设计 16

 7.3.4 性能仿真优化设计 16

7.3.5 设计算量一体化	17
7.3.6 可视化述标	17
7.3.7 数字化交付	17
7.4 质量控制与验证	18
7.4.1 模型准确性验证	18
7.4.2 合规性审查	18
7.4.3 协同审核与问题跟踪	18
7.4.4 设计变更管理流程	19
8 智能生产	19
8.1 一般规定	19
8.2 数字化生产管理	19
8.2.1 部品部件身份标识与溯源管理	19
8.2.2 数据交互与流转机制	19
8.2.3 系统集成与业务协同	20
8.2.4 物料与质量精细化管控	20
8.2.5 生产可视化与决策支持	20
8.3 智能生产线	20
8.3.1 智能预处理与模具系统	20
8.3.2 智能物料配送与物流系统	20
8.3.3 智能浇筑成型与装配焊接	20
8.3.4 智能表面处理系统	20
8.3.5 智能质检与加工优化	20
8.4 智能化物流管理	20
8.4.1 智能仓储与厂内物流	20
8.4.2 智能运输与调度决策	21
8.4.3 全流程信息管控与溯源	21
8.5 生产数据交付	21
9 智能施工	21
9.1 一般规定	21
9.2 智能施工目标与范围	21
9.2.1 目标	21
9.2.2 范围	21
9.3 协同机制与实施策划	21
9.3.1 设计-施工-生产协同	21
9.3.2 专项实施方案策划	22
9.4 智能施工技术体系与装备配置	22
9.4.1 技术适用性评估	22
9.4.2 通用智能装备应用	22
9.4.3 专业作业机器人应用	22
9.4.4 智能装备管理	22
9.5 数据驱动的施工过程管理	22
9.5.1 智慧工地集成管理	22
9.5.2 施工过程智能管控	23
9.6 关键工序智能施工要点	23
9.6.1 地基与基础工程	23
9.6.2 主体结构工程	23
9.6.3 围护与装饰工程	23
9.6.4 机电安装工程	23
9.7 数字化交付与持续改进	23
9.7.1 竣工交付	23
9.7.2 持续改进	23

10 数据协同	23
10.1 一般规定	23
10.2 数据传递	24
10.3 数据安全	24
参 考 文 献	25

引 言

在信息技术迅猛发展的当下，建筑工程行业正迎来智能化的转型。为响应国家关于信息化与工业化融合的战略，推动建筑行业高质量发展，特制定《建筑工程智能建造技术应用指南》。

本指南旨在规范智能建造技术在建筑全生命周期的应用，提升项目管理水平，促进建筑行业的数字化转型。

本指南明确了智能建造技术的应用范围、基本原则和实施细节，为建筑项目在勘察、设计、生产、施工阶段的智能建造技术应用提供指导。

建筑工程数字化技术应用指南

1 范围

本文件给出了数字化技术在建筑工程勘察、设计、生产及施工阶段的应用建议。
本文件适用于建筑工程在勘察、设计、生产及施工阶段开展智能建造应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

《建筑工程智能建造标准》 T/CECS 1500 2024年
《智能建造技术导则》（试行） 住建部 2025年
《川渝地区住房城乡建设领域建筑机器人与智能施工装备选用指南（2024版）》
《重庆市建筑机器人应用技术导则》（2024版）
《智能建造评价标准》（征求意见稿）中建协 2023年
《辽宁省智能建造工程全生命周期应用导则》（试行） 2023年
《海南省房屋建筑和市政工程智能建造应用技术导则》（征求意见稿） 2024年

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

协同设计 Collaborative Design

为了完成某一设计目标，由两个或两个以上设计主体，通过一定的信息交换和相互协同机制，分别以不同的设计任务共同完成一个设计目标的工作方式。

3.2

设计施工一体化 Integrated Design and Construction

设计和施工紧密结合，形成一个有机的整体。能够提高工程质量、缩短工期、减少设计变更和施工中的矛盾，从而提升整体的项目管理水平。

3.3

数字化交付 Digital Delivery

通过 BIM 技术手段，将相关的模型、设计资料、施工数据等，以标准的数据格式提交给指定方的交付方式。

3.4

数据协同 data collaboration

基于信息化技术进行数据共享及操作的过程。

3.5

数字勘察 digital survey

利用数字技术进行测绘、勘探、测试、试验，形成完备的数字化勘察成果并进行深度应用的工程勘察活动。

4 基本原则

- 4.1 智能建造在全生命周期中的应用应符合现行国家、行业和所在地区相关政策和标准要求。
- 4.2 智能建造应立足于经济技术性能和效益，应用于勘察、设计、建造、交付等阶段，形成集成多个环节的建造系统，提高建筑品质，推动建筑行业高质量发展。
- 4.3 政府和国有资金投资项目，2 万平方米以上的大型公共建筑项目、装配式建筑、城市更新项目，概算投资大于 5 亿元的市政基础设施项目应应用智能建造技术。
- 4.4 建议采用工程总承包模式，实现勘察、设计、施工等全过程或若干阶段的承包。

4.5 智能建造宜结合实际情况，应用数字化相关技术有针对性地满足设计、生产、运输、装配、等现有产业链的不同需求，增强政府监管部门、设计院、监理、施工方、供应商、运维方等上下游企业间的沟通，构建智能建造产业链，实现智能建造与新型建筑工业化协同发展。

4.6 智能建造应以 BIM、物联网、人工智能、云计算、大数据、建筑机器人等技术为基础，打造实时自适应于变化需求的高度集成与协同的建造系统，推动新一代信息技术与建筑业深度融合。

4.7 宜使用自主可控内核开发的各種国产化、正版化软件。使用国产化管理系统或平台，以 BIM 模型中心数据为载体，实现 BIM 模型数据、管理数据的共用共享，提升项目数字化管理水平。

4.8 宜搭建涵盖工程建设全过程的数字化项目管理平台，实现项目建设全参与方协同作业、全要素统筹管理、全过程数据共享。

4.9 系统或平台的网络安全等级保护符合要求。网络安全等级有相应佐证资料。

4.10 智能建造应用应遵循参与方职责范围一致性原则、数据接口一致性原则和建筑信息模型维护与实施过程同步原则。

注：参与方职责范围一致性原则：各参与方对 BIM 应用中所承担的工作职责及工作范围，应与应用实施方案一致；数据接口一致性原则：BIM 数据交换标准应满足实际应用的需求，应保证不同参与方之间的数据信息可以实现无损传递，确保最终 BIM 模型数据的正确性及完整性；建筑信息模型维护与实施过程同步原则：项目实施过程中的建筑信息模型和相关成果应及时按规定节点进行更新，以确保建筑信息模型和相关成果的一致性。

4.11 宜构建项目全阶段数据交换原则与技术路径。

5 系统性策划

5.1 概述

智能建造并非传统建造流程与数字技术的简单叠加，而是一场深刻的生产方式与管理模式的革命。缺乏系统性策划的“智能建造”，往往表现为零散的“技术秀”，导致数据孤岛、流程断层、投资浪费、协同效率低下，最终无法实现提升质量、效率和效益的核心目标。

成功的智能建造项目，始于周密、前瞻、务实的系统性策划。本节将指导项目决策层和管理层，如何从项目萌芽之初，就构建起驱动全生命周期数字化、智能化的“大脑和中枢神经”。

5.2 系统性策划核心

5.2.1 目标设定（SMART 原则）

策划之初，应建立清晰、可衡量的目标体系，避免“为了智能而智能”。目标通常可分为：

- a) 业务目标：提升投资回报率（ROI）X%、缩短总工期 Y%、降低建安成本 Z%、实现零重大安全事故等。
- b) 质量目标：减少现场返工率、提升工程一次验收合格率至 XX%、实现质量可追溯等。
- c) 管理目标：实现全过程数字化、透明化管控，提升各参与方协同效率，积累数字资产为后续运营服务。

5.2.2 核心原则

核心原则包含整体性原则、数据驱动原则、开放性及互操作性原则、迭代渐进原则：

- a) 整体性原则：打破勘察、设计、生产、施工的阶段性壁垒，以建筑全生命周期为视角进行一体化策划。
- b) 数据驱动原则：确立数据是核心资产的理念，所有策划应围绕数据的产生、流转、整合与应用展开。
- c) 开放性及互操作性原则：技术选型必须优先考虑开放标准（如 IFC、BIM 等），确保不同平台、不同阶段、不同参与方的软件和系统能够有效交换和理解信息。
- d) 迭代渐进原则：智能建造是持续改进的过程，策划应允许根据项目实施情况进行调整和优化，采用“试点-总结-推广”的敏捷模式。

5.3 策划内容与实施路径

5.3.1 组织与职责策划

系统性策划应产出具体的、可执行的行动方案，主要包括以下内容：

- a) 成立智能建造领导小组：由业主或总包单位最高管理者牵头，成员涵盖设计、施工、技术、成本等各部门负责人。决策权是此小组有效运作的关键。
- b) 设立专职团队（BIM/数字中心）：配备既懂工程又懂技术的复合型人才，负责技术标准制定、平台维护、模型审核、数据治理及培训支持。明确其在项目中的权责边界（如模型审核通过后

方可施工)。

- c) 定义参建各方职责：在合同条款中明确甲方、设计方、施工方、预制构件厂、技术供应商等在数据交付、模型深度、协同流程上的具体责任和义务。

5.3.2 技术路径与平台策划

5.3.2.1 技术选型与集成方案宜：

- a) BIM 应用深度规划：明确各阶段、各专业的模型详细等级 (LOD)、交付标准。
- b) 核心平台选择：基于项目需求，评估并选定公共数据环境 (CDE) 或项目管理协同平台。该平台应能集成 BIM 模型、流程审批、文档管理、问题追踪等功能。
- c) 关键技术应用规划：规划物联网 (IoT)、无人机、激光扫描、AI、智慧工地等技术的具体应用点、预期效益和实施方案。例如：用无人机进行土方算量，用 IoT 传感器进行大体积混凝土测温养护。

5.3.2.2 数据标准与协议制定宜包括：

- a) 命名规则：统一构件、文件、楼层、区域的命名规则。
- b) 分类与编码体系：建议采用国标或行业标准 (如《建筑信息模型分类和编码标准》)，为后续资产管理和运维打下基础。
- c) 交付标准：规定各阶段各参与方的数据交付格式、内容、精度和时限。

5.3.3 流程再造策划

流程再造策划是将传统线性流程重塑为数字化协同流程的关键。策划宜输出以下核心流程：

- a) 数字化勘察与设计协同流程：如何将倾斜摄影、地质 BIM 等数据无缝传递至设计阶段。
- b) 基于 BIM 的数字化审图与预建造流程：建立多专业模型合模、冲突检测、净高分析、虚拟漫游的标准化流程，将问题解决在虚拟阶段。
- c) 设计-生产-施工一体化 (DfMA) 流程：策划如何将设计模型直接用于预制构件深化、生产加工和现场装配指导，实现“像造汽车一样造房子”。
- d) 智慧工地管理流程：规划如何利用平台整合人员、机械、材料、环境、质量、安全等实时数据，实现可视化的智能调度与决策。

5.3.4 投资与效益评估策划

投资与效益策划宜包括：

- a) 成本预算：详细列出软硬件采购、平台租用、人力成本、培训费用、技术咨询等投入。
- b) 效益分析：不仅计算直接的经济效益 (节约的成本、缩短的工期)，更要评估隐性效益 (提升品牌、减少纠纷、为数字化运维赋能)。建立关键绩效指标 (KPI) 体系，用于过程监控和最终评估。

5.4 风险与应对策略

5.4.1 技术风险

5.4.1.1 技术风险主要有以下几方面：

- a) 技术迭代迅速：智能建造领域新技术、新软件、新硬件层出不穷，可能导致项目初期选定的技术方案在项目实施中期即面临落后或被市场淘汰的风险。
- b) 技术选型失误：面对繁杂的市场产品，选择了技术不成熟、开放性差、与项目实际需求不匹配或本地化服务能力弱的解决方案。这会导致项目难以实施，甚至推倒重来，造成巨大浪费。
- c) 系统集成失败：不同来源的软件、硬件、平台之间数据接口不兼容，协议不开放，形成“数据孤岛”，无法实现预想的协同与智能决策。

5.4.1.2 应对技术风险，宜充分调研，选择成熟、开放、有良好服务的技术供应商。

- a) 建立技术选型评估小组：由业主牵头，组织设计、施工、监理及内部 IT 部门的专业人员，共同组成技术选型小组，从业务需求和技术可行性两个维度进行综合评估。
- b) 需求调研：明确项目必须实现的业务功能 (如协同设计、进度管理、物资追溯等)，而非盲目追求“高大上”的技术。
- c) 市场调研与短名单：广泛调研市场主流产品，筛选出 3-5 家符合基本要求的供应商进入短名单。
- d) 深度测试：要求短名单内的供应商基于项目的一个真实场景 (如一个复杂节点的碰撞检测) 进行部署和演示，必须验证其数据交换能力 (如 IFC 格式的导入导出)。
- e) 综合评分：制定评分表，从技术先进性、系统稳定性、开放性 (API 接口)、本地服务与响应

能力、成功案例、成本等多个维度进行打分。

- f) 优先选择开放标准与平台：坚决采用支持国际或国内开放标准（如 IFC, BCF, CityGML 等）的技术方案，确保数据在项目全生命周期内可流转、可复用，避免被单一厂商“锁定”。
- g) 明确技术供应商的服务条款：在合同中详细规定数据所有权、接口开放要求、响应时间、培训内容和后期维护责任，用法律手段保障项目权益。

5.4.2 管理风险

5.4.2.1 管理风险通常表现为传统阻力大、协同困难：

- a) 传统阻力与文化冲突：从业人员的思维定式和习惯难以改变，对新技术有抵触情绪，认为 BIM、物联网等增加了额外工作量，导致“不会用、不想用、不敢用”。
- b) 协同困难：参建各方（业主、设计、施工、分包、供应商）仍习惯于传统线性工作模式，不愿在统一平台上进行透明化、同步化的协同，导致流程脱节，信息传递失真、滞后。
- c) 责任边界模糊：基于 BIM 的协同工作中，模型信息的准确性、及时性的责任归属如果缺乏清晰的规则，会导致互相推诿。

5.4.2.2 应对管理风险，建议从以下几方面提前部署。

- a) 强化顶层设计与推动（“一把手工程”）：项目最高决策者必须成为智能建造的第一推动力，不仅在口头上支持，更要在资源分配、部门协调、关键决策上亲自参与，扫清障碍。
- b) 再造业务流程与组织架构：梳理并重新设计适应智能建造的跨组织工作流程，明确每个环节的数据输入、输出责任方。设立专职的“BIM 项目经理”或“数字建造部”，并赋予其相应的管理权力。
- c) 建立与绩效挂钩的考核激励机制：将平台使用率、模型交付质量、数据录入及时性、问题闭环率等指标纳入各参建方和个人的绩效考核中，与合同付款、奖金直接挂钩，做到奖优罚劣。
- d) 实施分层次、持续性的培训：针对决策层、管理层、操作层开展不同内容的培训。对决策层培训理念和价值，对管理层培训流程和管理方法，对操作层培训软件技能。培训应贯穿项目始终，并根据反馈不断优化。

5.4.3 数据风险

5.4.3.1 数据风险主要体现在以下三方面。

- a) 数据安全：项目核心 BIM 模型、造价数据、进度计划、人员信息等敏感数据集中存储在云端或服务器上，面临黑客攻击、病毒入侵、内部人员误操作或恶意泄露的风险。
- b) 数据隐私：现场采集的工人面部识别、行踪轨迹等生物和隐私信息，若使用和保护不当，会引发法律纠纷和舆情风险。
- c) 数据质量与一致性：数据来源多样，格式不一，标准缺失，导致数据错误、矛盾、过期，形成“垃圾进、垃圾出”的局面，使智能决策失去基础。

5.4.3.2 应对数据风险，宜建立数据安全管理制度，部署必要的网络安全措施。

- a) 制定项目《数据安全管理制度》：明确规定数据的访问权限（谁在什么时间可以访问什么数据）、数据传输加密要求、数据备份与恢复机制、核心数据离线存储策略等。
- b) 部署专业网络安全措施：投入专业网络安全硬件（防火墙、入侵检测系统）和软件，对项目数据平台进行安全加固。定期进行安全漏洞扫描和渗透测试。
- c) 加强人员安全意识教育并签订保密协议：对所有接触项目数据的内部和外部人员进行安全教育，并签订具有法律效力的保密协议，明确泄密责任。
- d) 建立数据治理体系：设立数据管理员，负责制定和维护数据标准、命名规则、分类编码，并定期对平台数据进行稽核与清洗，确保数据的准确、唯一和及时。

5.4.4 成本风险

5.4.4.1 成本风险主要体现在投入超预算与投资回报达不到预期两方面。

- a) 投入超预算：智能建造的投入不仅是软件采购费，更包括硬件升级、平台租用、人员培训、咨询服务、专职团队人力等隐性成本，极易发生预算失控。
- b) 投资回报（ROI）不及预期：如果技术应用点选择不当，或与管理融合不好，无法产生实际的效益（如节约成本、缩短工期），则巨大的投入将成为项目的负担。

5.4.4.2 应对成本风险，宜采用分阶段投入策略，先试点见效快、收益高的应用点，再逐步推广。

- a) 采用“整体规划，分阶段投入，小步快跑”的策略：
- b) 整体规划：制定覆盖项目全周期的智能建造总体规划，明确最终目标和实现路径。
- c) 分阶段投入：将总体规划分解为多个可实施的阶段（如：设计协同阶段、智慧工地阶段、预制加工阶段）。

- d) 小步快跑：每个阶段选择 1-2 个“价值高、见效快、易展示”的应用点作为试点（如：基于 BIM 的土方平衡、无人机进度巡查、二维码构件追踪）。快速实施，快速验证效果，用成功的试点案例增强各方信心，并为后续阶段的投入提供决策依据。
- e) 进行详细的投入产出分析（ROI 分析）：在投资前，对每一个拟投入的应用点进行成本效益测算。例如，投入一套物联网自动喷淋养护系统，其成本是多少，预计能节省多少养护人工费、水费，降低多少裂缝概率带来的返工成本。用数据说服决策者。
- f) 探索创新合作与采购模式：对于大型项目，可以考虑与技术供应商采用“共建”或“成果共享”的模式，将供应商的收益与项目通过智能建造实现的节约成本部分挂钩，转移部分风险，并激励供应商提供更优质的服务。

5.5 输出成果

5.5.1 概述

所有策划的结论宜凝结为一份系统性策划报告，该报告至少宜包括项目智能建造愿景与目标；组织架构与职责分工表；技术实施路径图与应用清单；数据标准与协同流程手册；投资预算与效益分析表；培训与推广计划；风险评估与应对策略。

5.5.2 项目智能建造愿景与目标

5.5.2.1 本部分内容主要包括：

- a) 愿景陈述：用一两句简洁的话阐明项目开展智能建造的终极目的。例如：“打造以人为本、全过程数字化赋能的低碳健康建筑典范”或“构建数据驱动、可自我优化的智慧工地管理新模式”。
- b) 战略目标（定性）：围绕项目管理核心诉求展开，如“实现设计-施工-运维一体化”、“提升项目透明化与精细化管理水平”、“积累企业数字资产”。
- c) 具体目标（定量-SMART 原则）：
 - 1) 效率目标：如缩短关键线路工期 X%，提高劳动生产率 Y%；
 - 2) 成本目标：如通过减少返工和浪费，降低建安成本 Z%；质量目标：如实现关键工序（如预制构件安装）一次合格率 >98%；闭合重大设计碰撞问题 100%；安全目标：如利用 AI 视频识别，降低违章作业发生率 W%；数字交付目标：如向业主交付一套与实体建筑一致的、符合标准的竣工 BIM 模型和数据资产。

5.5.2.2 本部分交付成果为《项目数字化建造目标指标清单》，明确各项指标的定义、计算方式、基线值和目标值。

5.5.3 组织架构与职责分工表

5.5.3.1 本部分内容主要包括：

- a) 组织架构图：清晰绘制项目智能建造决策层、管理层和执行层的组织关系，包括甲方、设计、总包、分包、监理、技术供应商等各方代表。
- b) 岗位职责说明（RACI 矩阵）：
 - 1) 明确核心角色：如智能建造总负责人、BIM 总监、各专业 BIM 工程师、智慧工地管理员、数据管理员等。
 - 2) 定义关键任务：列出“模型创建与更新”、“碰撞检测”、“数据录入与审核”、“平台运维”、“技术培训”等关键任务。
 - 3) 分配责任（RACI）：对每项任务，明确谁负责（R）、谁批准（A）、咨询谁（C）、告知谁（I）。

5.5.3.2 产出成果为《项目智能建造组织架构图》和《智能建造工作 RACI 责任矩阵表》，并作为合同附件，具有约束力。

5.5.4 技术实施路径图与应用清单

5.5.4.1 本部分内容主要包括：

- a) 技术应用清单：以表格形式详细列出在各阶段（勘察、设计、生产、施工、运维）计划采用的具体技术点。例如：应用点名称：如“无人机土方算量”、“AI 智能排砖”、“预制构件二维码追溯”、“物联网环境监测”；应用阶段：明确在哪个阶段使用；主要功能：简要描述其作用；责任方：由哪个单位负责实施；预期效益：与此项应用要达成的具体目标挂钩。
- b) 实施路径图（甘特图）：将技术应用清单中的项目与项目总进度计划关联，清晰展示各项技术应用的起止时间、里程碑节点（如平台上线日、培训完成日、试点启动日）和依赖关系。

5.5.4.2 产出成果宜包括《项目数字化技术应用清单》和《数字化技术实施路径甘特图》。

5.5.5 数据标准与协同流程手册

(1) 本部分内容主要包括：

数据标准：

命名规则：规定模型文件、图纸、文档、构件、房间、设备等的统一命名规则。

模型深度（LOD）标准：定义各阶段、各专业模型应包含的几何和非信息深度。

分类与编码：强制要求使用统一的分类编码体系（如 Uniclass 或国标），为后续运维打下基础。

交付格式：规定各环节数据交付的格式（如.rvt, .ifc, .dwf, .pdf 等）。

协同流程：

“公共数据环境（CDE）”工作流程：以图文形式明确规定如何在协同平台上进行模型和文件的提交、审核、发布、归档。

问题管理流程：规定如何发起一个碰撞问题、分配责任人、跟踪解决状态、直至关闭验证的完整闭环流程。

(2) 产出成果：《项目 BIM 执行计划（BEP）》和《协同平台操作手册》，这是所有参建方必须接受的“游戏规则”。

5.5.6 投资预算与效益分析表

(1) 本部分内容建议列出以下内容

投资预算表：详细列出所有成本项，包括：软件采购/租赁费、硬件购置费（传感器、无人机等）、平台租用费、专职人员人力成本、外部咨询费、培训费、不可预见费。

效益分析表：对应“具体目标”，进行量化或半量化的效益分析。

成本效益：计算各项应用能带来的直接成本节约（如节省的工时、材料、减少的返工费用）。

管理效益：评估在提升决策效率、减少纠纷、提升品牌形象等方面的价值。

投资回报率（ROI）分析：估算总体投资回报周期和回报率。

(2) 产出成果：《智能建造项目预算明细表》和《效益分析与 ROI 测算报告》，用于争取资金支持和后续项目复盘。

5.5.7 培训与推广计划

(1) 培训与推广建议从以下几方面考虑：

培训矩阵：明确培训对象（决策层、项目经理、工程师、班组长）、培训内容（理念、流程、软件操作）、培训方式（集中面授、线上视频、驻场指导）、考核方式（笔试、上机操作）和时间安排。

推广计划：

试点先行：选择 1-2 个工区或分部工程作为示范点，集中资源打造样板，积累成功经验。

宣传展示：制作宣传展板、操作视频、成果简报，定期组织观摩会，分享成功案例，提升全员参与感与成就感。

评比激励：开展“智慧工地标兵”、“优秀 BIM 应用案例”等评比活动，与绩效考核挂钩，形成比学赶超的氛围。

6 数字勘察

6.1 一般规定

6.1.1 应采用数字技术进行工程勘察的数据采集与处理、数据应用与交付，实现工程勘察全过程数据的快速准确采集、高效共享和贯通应用。

6.1.2 在开展数字勘察工作前，应根据项目阶段和特色选择适用的数据采集与处理技术，根据各阶段项目应用需求梳理数据应用与交付要求，并提前策划和配置要使用的数据采集硬件和数据分析应用软件，提前明确需要的数据精度并梳理工作流程和注意事项等。

【条文说明】规划阶段优先采用航空遥感和地球物理勘探实现快速覆盖；详勘阶段聚焦钻探、原位测试和三维激光扫描技术实现精准定位。

6.1.3 数字勘察工作应满足现行国家、行业 and 所在地区相关政策和标准要求，数字勘察数据需符合国家信息安全等级保护要求，涉密数据应加密存储与传输。

6.1.4 在开展数字勘察工作前，宜根据项目特色和应用需求制定项目数字勘察标准，包括数据采集与处理、数据应用与交付标准等。

6.1.5 数字勘察的相关数据和应用成果，应满足在项目设计阶段和施工阶段进行集成应用，协助开展方案比选、优化和决策。

6.2 数据采集与处理

- 6.2.1 应遵循“场景适配、目标导向、规范操作、成果可靠”原则开展数据采集与处理工作。
- 6.2.2 应组建专业的团队，包括测绘工程师、设备操作员、数据处理技术人员、数据融合工程师等。团队成员应具备相应的专业知识和技能，熟悉设备操作和数据处理流程。
- 6.2.3 应依据工程需求、环境条件和技术特性选择合适的数据采集手段，复杂项目宜采用多技术协同作业模式。正射影像、倾斜摄影、机载激光雷达、地面三维激光扫描、智能钻机及探地雷达的适用场景和采集目的详见表 6.2.1。
- 6.2.4 开展数据采集前应进行全面的准备工作，包括设备选型、资料收集、现场踏勘、方案制定等，具体准备工作详见表 6.2.1。
- 6.2.5 进行数据采集时，应严格按照相关操作手册或作业执行标准执行，相关要点可参考表 6.2.1-数据采集。
- 6.2.6 数据采集完成后应根据需要的梳理成果选择合适的软硬件开展数据处理工作，以满足后续对勘察成果的应用需求，详见表 6.2.1-数据处理。

表 6.2.1 勘察数据采集技术要点

数据采集手段	正射影像	倾斜摄影	机载激光雷达扫描	三维激光扫描	智能钻机	探地雷达
适用场景	1. 适用于大面积区域快速测绘。	1. 适用于精细地形测绘。	1. 适用于大范围植被茂密，通视条件差，测区内条件复杂的环境。	1. 适用于局部地表、地物高精度几何信息采集。	1. 适用于调查研究建设区域工程地质情况。	1. 适用于浅层地下非侵入探测。
采集目的	1. 获取垂直角度拍摄的影像数据； 2. 提供真实位置信息的地面影像图	1. 获得多角度影像数据； 2. 用于构建高精度、带真实纹理的三维实景模型（Mesh）。	1. 快速获得三维地表高精度数据； 2. 用于生成高精度、高密度的三维点云数据，可穿透一定植被获取真实地面高程。	1. 获取物体表面高精度点云数据； 2. 用于生成高精度、高密度的三维点云数据。	1. 地下直接取样与测试； 2. 用于获取实物样本或进行原位测试。	1. 获取下地空间雷达图谱； 2. 探测浅地表（通常 0-50 米）介质的电性差异，用于推断地下结构、异常体（管线、空洞、分层、埋藏物等）。
前期准备	1. 应制定飞行计划（航高、航向、重叠度）； 2. 可进行地面控制点布设与测量，提高精度； 3. 应选择天气较好的时间（晴朗无云、光照均匀）拍摄； 4. 应提前进行空域申请。	1. 应制定飞行计划（航高、航向、旁向/航向重叠度）； 2. 应进行地面控制点布设与测量，保证模型精度和绝对坐标。 3. 应选择天气较好的时间（晴朗无云、光照均匀）拍摄； 4. 应提前进行空域申请； 5. 应考虑建筑物阴影影响。	1. 应制定飞行计划（航高、航速、扫描角度、点密度）； 2. 应进行 IMU/GPS 基站架设，用于精确定位定姿。 3. 可布设地面控制点，用于检核和校准。 4. 宜选择天气较好的时间（晴朗无云、光照均匀）拍摄； 5. 应提前进行空域申请。	1. 应制定扫描方案（站点布设、分辨率）； 2. 应进行标靶/特征点布设，用于多站点云拼接； 3. 应进行环境光评估，强光影响精度； 4. 应进行通视性检查，避免遮挡； 5. 应进行安全隔离，以防人员闯入扫描区。	1. 应进行地质资料收集与分析（确定钻孔位置、深度、目标层位）。 2. 应现场踏勘，了解场地可进入性、地下管线确认、水电接入等； 3. 应根据岩土类型、深度合理选择具有数据记录和传输功能的钻探设备与钻具； 4. 应提前策划和准备原位测试设备（标准贯入、静力触探、压水试验等）。	1. 应确定目标体与探测深度，以选择合适频率天线； 2. 应进行测线、测网设计（覆盖目标区域，考虑方向性）； 3. 应开展场地踏勘工作，了解场地地质背景与金属等可能干扰源； 4. 应进行标定与参数设置（介电常数估算）。

					5. 应制定样品保存与运输方案（土样、水样、岩芯）； 6. 应制定塌孔、涌水、有害气体等应急预案。	
采集流程	1. 按预设航线自动飞行拍摄。 2. 确保足够的航向和旁向重叠度（60%-80%）。 3. 记录 POS 数据。	1. 按预设航线自动飞行拍摄。 2. 需保证极高的重叠度（航向 80%+, 旁向 70%+）以匹配多视角影像。 3. 记录高精度 POS 数据。	1. 按预设航线飞行扫描。 2. 激光器发射脉冲, 接收器记录回波信息（多次回波）和时间。 3. 同步记录高精度位置姿态数据。	1. 架设扫描仪（三脚架/车载）； 2. 设站扫描, 多角度全覆盖； 3. 移动标靶/特征点, 用于站点拼接； 4. 重复设站直至覆盖目标区； 5. 可同步拍摄全景照片, 用于纹理贴图。	1. 钻机定位就位； 2. 开孔、下套管（必要时）； 3. 钻进、取芯/取样（连续或间隔）； 4. 岩芯编录、拍照、保存； 5. 按设计要求进行原位测试（SPT, CPTU, 水位观测等）； 6. 终孔、封孔； 7. 获取现场记录数据（钻进参数、地层描述、测试数据）。	1. 进行天线与主机连接、参数设置； 2. 沿预设测线匀速移动天线（保持良好地面耦合）； 3. 实时采集并显示雷达波形图（剖面）； 4. 记录测线位置信息（GNSS 或测绳）； 5. 在特征点/异常点标记位置并记录； 6. 需结合现场标定试验或已知地层信息校准介电常数。
数据处理	1. POS 数据解算； 2. 空中三角测量（空三）：影像匹配、连接点提取、区域网平差； 3. 数字正射影像生成：基于 DEM 进行微分纠正、影像镶嵌、匀色、裁剪； 4. 精度验证（利用 GCP）。空三解算, 生成所需要的 DOM（数字正射影像图）、DSM（数字地表模型）以及 DEM（数字高程模型）等测绘产品。	1. POS 数据解算； 2. 复杂空三处理：多视角影像联合平差（计算量大, 稳定性要求高）； 3. 密集匹配：生成高密度三维点云； 4. 三维 Mesh 模型构建：将点云构建三角网模型； 5. 纹理映射：将多角度影像贴图到 Mesh 模型上； 6. 生成真正射影像、数字表面模型等衍生品； 7. 精度验证。	1. GNSS/IMU 数据后处理差分解算, 获取精确轨迹； 2. 点云解算：结合轨迹和激光测距数据计算每个点的三维坐标； 3. 点云分类：自动/半自动将点云分类为地面、植被、建筑物、低点等； 4. 生成产品：数字表面模型、数字地形模型、等高线、三维点云； 5. 精度验证（利用 GCP 或检查点）。	1. 对原始点云数据拼接、去噪、抽稀； 2. 对地形范围、地形、植被进行过滤； 3. 多站点云拼接（基于标靶/特征点）； 4. 坐标转换（工程坐标系）； 5. 模型重构：- 网格模型（Mesh）- CAD 矢量模型（BIM 逆向）； 6. 可将同步拍照的影像用于纹理映射； 7. 可用于变形分析/体积计算（对比多期数据）。	1. 应采用随钻数据进行数据建模, 形成三维地质模型。 2. 宜进行岩芯扫描/拍照、数字化编录； 3. 宜整理、计算原位测试数据（如 N 值、qc, fs, u 等）； 4. 宜整理实验室土工/岩矿/水化学试验数据整理； 5. 可绘制钻孔柱状图、地质剖面图； 6. 可统计分析地层分布、参数。	1. 数据预处理：去直流偏移、增益调整、背景去除、滤波（带通、滑动平均等）。 2. 速度分析/时深转换：估算介电常数, 将时间剖面转换为深度剖面（关键且影响精度）。 3. 数据解译：识别反射同相轴、绕射波、异常反射特征（强振幅、双曲线等），结合地质知识推断地下结构、目标体位置、埋深、尺寸。 4. 绘制成果图件：雷达剖面图、时间/深度切片图、

						三维视图（多测线）、解译成果图。 5. 与已知资料验证（常需开挖验证）。
--	--	--	--	--	--	---

6.3 数据应用与交付

6.3.1 用地范围确认与分析

可通过正射影像与用地红线图像整合比对，进行用地范围的确认与分析，提高用地范围确认的准确性和效率。

①开展用地范围确认与分析工作前应进行数据准备，具体要求如下：

（1）正射影像数据，分辨率不低于 0.1 米/像素，覆盖项目所有区域，坐标系明确。

②用地红线数据，以精确的矢量格式（如 DWG 等）提供，明确用地边界，包含必要的属性信息（如红线类型、编号等）。

（2）进行用地范围确认与分析工作时，应遵循以下操作步骤和技术要点：

①使用 ArcGIS Pro（推荐 v3.x+）或 QGIS（推荐 LTR 版本）软件，导入正射影像数据和用地红线数据，并确保两者坐标系一致（必要时进行投影转换）。

②在软件中将正射影像与用地红线进行叠加，使用“叠加分析”工具（如 Identity, Intersect, Erase）或“空间查询”工具对比对结果进行标注，应清晰标注差异类型（如：相符、超出红线、未达红线）并精确量化距离和面积。

③分析用地范围内的地形地貌、建筑物分布与规划红线的差异，重点分析坡度、水系特征及现状构筑物空间关系，标注超出或不足的部分。

④使用软件的“布局视图”功能生成用地范围图，图中应包含图例、比例尺、指北针及差异量化标注；编写用地范围确认报告，报告需包含差异统计表、问题描述及初步处理建议。

（3）用地范围确认与分析交付物及格式应满足以下要求：

①用地范围确认报告，包含比对结果、分析内容和建议，格式为 PDF。报告需包含差异统计表、详细问题描述及处理建议。

②用地范围图，标注实际用地边界与规划用地红线的差异位置、类型及量化值（如超出 X 米），格式为 DWG 或 GIS 数据（SHP/GeoPackage/FileGDB）。GIS 数据需包含完整属性和元数据。

6.3.2 场地不利因素分析

可通过正射影像、倾斜影像与用地红线图像整合比对，分析建筑周边道路、市政绿化与设施等场地的不利因素，辅助场地总平面设计、交通设计及竖向设计等工作，提前识别并规避场地设计中的潜在问题。

（1）开展场地不利因素分析工作前应进行数据准备，具体要求如下：

①正射影像数据，分辨率不低于 0.1 米/像素。

②覆盖项目所有区域的倾斜摄影数据，航向/旁向重叠度满足建模要求（通常>80%/70%）。

③用地红线数据，同 6.3.1②。

（2）进行场地不利因素分析工作时，应遵循以下操作步骤和技术要点：

①使用 Pix4Dmapper（推荐 v4.x+）或 Agisoft Metashape（推荐 v2.x+）软件处理倾斜影像数据，生成带纹理的三维网格模型（如 OSGB, OBJ）或密集点云；在 ArcGIS Pro 或 QGIS 中导入正射影像、处理后的三维模型/点云和用地红线数据。

②将三维模型/点云与用地红线进行叠加，分析建筑周边的道路有效通行宽度与转弯半径、绿化遮挡高度与范围、市政设施冲突距离，标注关键量化指标。

③评估道路宽度不足、绿化遮挡严重、市政设施冲突等问题，在三维模型和二维底图上精确标注位置、范围及关键数据（如距离、高度）。

④使用软件的“导出地图”功能生成场地分析图，图中应清晰标注不利因素；编写场地不利因素分析报告，报告需包含问题清单、影响评估、优先级排序及优化建议。

（3）场地不利因素分析交付物及格式应满足以下要求：

①场地不利因素分析报告，包含分析结果和优化建议，格式为 PDF。报告必须包含问题清单、影响评估、优先级及具体优化建议。

②场地分析图,标注不利因素的位置和范围,格式为 DWG 或 GIS 数据(SHP/GeoPackage/FileGDB)。GIS 数据需包含完整属性和元数据;可同时提供关键位置的三维模型截图。

6.3.3 前期方案分析与隐患规避

可通过探地雷达发现浅表层管线、空洞、分层、埋藏物等,分析前期方案并规避后期隐患,减少项目后期的风险和成本。

(1)开展前期方案分析与隐患规避工作前应进行数据准备,具体要求如下:

①探地雷达数据,包括地下管线、空洞、分层和埋藏物的探测结果,数据应经过专业处理(滤波、增益调整、背景去除等),确保信号清晰、定位准确。需提供原始数据、处理后数据及测线布置图。

(2)进行前期方案分析与隐患规避工作时,应遵循以下操作步骤和技术要点:

①使用 GPR-Slice(推荐 v7.x+)或 Radan(推荐 v7.x+)软件处理探地雷达数据,生成地下结构的二维和三维模型,模型精度(平面/高程)应明确满足设计要求(如 $\pm 0.05\text{m}$)。

②在 AutoCAD Civil 3D(推荐 v202x+)或 Bentley OpenSite Designer(推荐 v10.x+)中导入探地雷达模型和前期设计方案模型。

③识别地下管线净距不足、空洞位于荷载区、未知埋藏物等隐患,在三维模型和二维图上标注隐患位置、范围、深度、类型及风险等级。

④使用软件的“导出图纸”功能生成隐患分布图;编写前期方案分析与隐患规避报告,报告必须详细说明隐患坐标、性质、风险分析、具体规避措施(如设计调整、加固处理)及施工注意事项。

(3)前期方案分析与隐患规避交付物及格式应满足以下要求:

①前期方案分析与隐患规避报告,包含分析结果和优化建议,格式为 PDF。报告必须包含隐患详细描述、风险分析、具体规避措施及施工建议。

②隐患分布图,标注隐患位置和范围,格式为 DWG 或 GIS 数据(SHP/GeoPackage/FileGDB)。GIS 数据需包含完整属性和元数据(如隐患类型、深度、风险等级)。

6.3.4 土方量分析

可使用正射影像技术输出数字高程模型(DEM)和高程点图纸,为土方量计算提供基础信息,为工程项目提供精确的高程信息,优化土方量计算。

(1)开展土方量分析工作前应进行数据准备,具体要求如下:

①正射影像数据,分辨率不低于 0.1 米/像素。

②基于正射影像或激光点云生成的数字高程模型(DEM),模型精度(格网大小及高程中误差)应明确满足设计要求(如格网 $\leq 0.5\text{m}$,高程中误差 $\leq 0.05\text{m}$)。

(2)进行土方量分析工作时,应遵循以下操作步骤和技术要点:

①若需生成 DEM:使用 Pix4Dmapper 或 Agisoft Metashape 软件处理正射影像数据,生成 DEM 和高程点图纸,确保精度达标。

②在 AutoCAD Civil 3D 或 Bentley OpenSite Designer 中导入 DEM 和设计曲面(Design Surface)模型。

③使用软件的“土方量计算”工具,明确定义现状面(Existing Ground)与设计面(Design Surface),输入参数计算挖方量和填方量,必须进行交叉检查(如不同方法对比、断面验算)。

④使用软件的“导出图纸”功能生成土方量分布图;编写土方量计算报告,报告必须说明数据来源、精度、计算方法(如三角网法)、参数设置、计算结果(含分区统计)及平衡分析。

(3)土方量分析交付物及格式应满足以下要求:

①土方量计算报告,包含计算结果和分析内容,格式为 PDF。报告必须包含详细计算过程、参数、结果及平衡分析。

②土方量分布图,标注挖方和填方区域及方量标注,格式为 DWG 或 GIS 数据(SHP/GeoPackage/FileGDB)。GIS 数据需包含完整属性和元数据。

6.3.5 基坑监测与分析

可采用高精度倾斜摄影技术或三维激光扫描技术监测基坑的裂缝、变形等问题并对其进行分析,及时发现并处理基坑安全问题。

(1)开展基坑监测与分析工作前应进行数据准备,具体要求如下:

①覆盖基坑及周边关键区域的倾斜摄影数据。

②高精度点云数据的三维激光扫描数据,点云密度应明确满足监测精度要求(如 ≥ 1000 点/平方米),需包含标靶或控制点。

(2)进行基坑监测与分析工作时,应遵循以下操作步骤和技术要点:

①使用无人机倾斜摄影和高精度扫描仪(如 Leica RTC360, Faro Focus)获取数据,确保采集完整、

时间戳清晰、控制点精度达标。

②使用 Leica Cyclone（推荐 v202x+）或 FARO SCENE（推荐 v202x+）处理激光点云（配准、去噪、分类）；使用 Pix4Dmapper 或 Agisoft Metashape 处理倾斜摄影生成三维模型，最终模型精度需满足监测规范（如位移精度 $\leq 3\text{mm}$ ）。

③在 Trimble RealWorks 或 FARO Zone 3D 中导入不同周期的点云/模型，进行精确配准（基于不变特征点）并计算变形量，分析裂缝和变形情况，设置预警阈值。

④生成基坑监测报告，报告必须量化分析结果（如变形云图、位移时程曲线）、明确是否超限、评估稳定性并提出措施建议。

（3）基坑监测与分析交付物及格式应满足以下要求：

①基坑监测报告，包含监测结果和分析内容，格式为 PDF。报告必须包含量化分析图表、超限预警及建议。

②基坑三维模型，标注裂缝和变形位置，格式为 DWG 或 GIS 数据（SHP/GeoPackage/FileGDB）。同时提供关键点位移数据表（Excel/CSV）。

6.3.6 三维地质模型出图

宜依据三维地质模型直接出图，如平面图、剖面图、钻孔柱状图等，并形成勘察报告。

（1）开展三维地质模型出图工作前应进行数据准备，具体要求如下：

①地质勘察数据，包括经过校验和标准化的钻孔数据、地质剖面数据等，数据格式统一（如 Excel 模板, AGS）。

②基于勘察数据生成的三维地质模型，模型应能准确反映地质结构和地层分布，需经过地质师审核确认。

（2）进行三维地质模型出图工作时，应遵循以下操作步骤和技术要点：

①使用 GSI Studio 或 RockWorks 或 Leapfrog Works 软件导入地质勘察数据，生成三维地质模型，确保建模算法合理并通过钻孔校验。

②在软件中生成平面图（展示钻孔位置）、剖面图（标注岩土代号、产状、水位）、钻孔柱状图等图纸，确保图纸比例尺恰当、图例规范。

③将图纸和地质数据整合到勘察报告中，详细描述地质条件、地层分布、地下水位等内容，报告需包含地层参数统计表及地基评价。

④使用软件的“导出报告”功能生成勘察报告。

（3）三维地质模型出图交付物及格式应满足以下要求：

①勘察报告，包含地质模型和分析内容，格式为 PDF。报告必须包含图纸、数据表及结论建议。

②地质图纸，平面图、剖面图、钻孔柱状图等，格式为 DWG 或 GIS 数据（SHP/GeoPackage/FileGDB）。DWG 需分层清晰；GIS 数据需包含完整属性（如地层代码、深度）。

6.3.7 三维地质模型辅助岩土设计

可运用三维地质模型辅助工程岩土设计，为岩土设计提供详细的地质信息，优化设计方案。

（1）开展三维地质模型辅助岩土设计工作前应进行数据准备，具体要求如下：

①三维地质模型，同 6.3.6（2），模型需包含岩土设计参数属性（如各土层 c 、 ϕ 、 E ）。

②岩土设计参数，包括经试验验证的地层承载能力、地下水位等，参数应赋值到模型相应层位。

（2）进行三维地质模型辅助岩土设计工作时，应遵循以下操作步骤和技术要点：

①使用 GSI Studio, RockWorks 或 Leapfrog Works 软件导入三维地质模型，确保模型与设计参数匹配。

②在 AutoCAD Civil 3D 或 Bentley OpenSite Designer 或岩土专业软件（如 PLAXIS, MIDAS GTS）中导入模型，结合参数进行基础设计（桩长、承载力）和边坡支护设计（稳定性分析），设计必须符合现行规范。

③分析设计方案的合理性（如桩端入持力层深度、滑裂面位置），优化设计参数。

④使用软件的“导出图纸”功能生成设计图纸；编写岩土设计报告，报告必须说明设计依据（规范、模型、参数）、计算方法、分析过程、结果及施工要求。

（3）三维地质模型辅助岩土设计交付物及格式应满足以下要求：

①岩土设计报告，包含设计方案和分析内容，格式为 PDF。报告必须包含设计计算书、图纸索引及施工说明。

②设计图纸，基础设计图、边坡支护图等，格式为 DWG。图纸需标注尺寸、标高、材料、配筋等。

6.3.8 桩基工程量统计

可将桩基模型与三维地质模型结合，计算桩长，实现桩基础工程量统计和可视化施工。

(1) 开展桩基工程量统计工作前应进行数据准备，具体要求如下：

- ①包含每根桩坐标、桩顶/底标高、桩型、直径的桩基设计模型，模型需经过复核。
- ②三维地质模型，同 6.3.6 (2)，需准确反映桩位处地层。

(2) 进行桩基工程量统计工作时，应遵循以下操作步骤和技术要点：

- ①使用 AutoCAD Civil 3D 或 Revit 软件导入桩基设计模型和三维地质模型，确保坐标系一致。
- ②根据地质模型中的持力层要求，动态调整每根桩的实际施工桩长。
- ③使用软件的“明细表”或“报告生成器”工具，按桩型、直径统计总桩数、总桩长（设计/实际）、总体积，结果需人工抽查复核。
- ④使用软件的“导出图纸”功能生成桩基分布图；编写桩基工程量统计报告，报告必须说明统计依据、调整规则、统计方法及复核情况。

(3) 桩基工程量统计交付物及格式应满足以下要求：

- ①桩基工程量统计报告，包含计算结果和分析内容，格式为 PDF。报告必须包含工程量统计表及复核记录。
- ②桩基分布图，标注每根桩的位置、编号、类型、直径、设计桩长、实际桩长，格式为 DWG 或 GIS 数据 (SHP/GeoPackage/FileGDB)。GIS 数据需包含完整属性；同时提供工程量统计表 (Excel/CSV)。

6.3.9 多源数据逆向实景三维建模及应用

根据项目应用需求，可开展基于倾斜摄影、激光扫描及近景摄影等多源数据融合的逆向实景三维建模及应用。

(1) 开展多源数据逆向实景三维建模及应用工作前应进行数据准备，具体要求如下：

- ①覆盖项目所有区域的倾斜摄影数据，经过辐射/几何校正，影像清晰。
- ②高精度点云数据的三维激光扫描数据，点云密度满足模型精度要求（如重要区域 ≥ 2000 点/平方米），包含控制点或标靶。
- ③用于补充建筑物底部、遮挡区、室内纹理的近景摄影数据。

(2) 进行多源数据逆向实景三维建模及应用工作时，应遵循以下操作步骤和技术要点：

- ①使用 Pix4Dmapper 或 Agisoft Metashape 处理倾斜影像生成带色点云；使用 Leica Cyclone 或 FARO SCENE 处理激光扫描数据生成高精度点云。
- ②使用 CloudCompare 或 3D Reshaper 将两类点云统一坐标系：① 选取 ≥ 6 个同名点粗配准；② 采用 ICP 算法多次迭代精配准，精度 $\leq 0.01\text{m}$ 。
- ③使用 RealityCapture 或 ContextCapture 基于融合点云重建三维网格；整合倾斜纹理与激光/近景纹理，确保无扭曲缺失。
- ④对纹理缺失区域，使用 Agisoft Metashape 或人工修补补充。
- ⑤在 3ds Max 或 Blender 优化模型几何拓扑；导出为 FBX 格式；在 Lumion 或 Enscape 中修正纹理并提升视觉效果。
- ⑥使用全站仪（测距精度 $\leq 1\text{mm}+1\text{ppm}$ ）或 RTK（高程精度 $\leq 2\text{cm}+1\text{ppm}$ ）实地测量 ≥ 20 点/平方公里；对比模型点位，平面误差 $\leq 5\text{cm}$ (RMSE)，高程误差 $\leq 10\text{cm}$ (RMSE)。
- ⑦将模型用于通风分析 (CFD 软件)、日照分析 (Ecotect)；与 BIM 模型在统一平台（如 Unreal Engine, Navisworks）集成，进行冲突检测与方案决策。

(3) 多源数据逆向实景三维建模及应用交付物及格式应满足以下要求：

- ①实景三维模型，格式为 FBX 或轻量化格式 (S3MB, I3S)，模型应完整、纹理清晰。
- ②环境分析报告，包含通风、日照、采光分析等内容，格式为 PDF。报告必须包含模拟结果图表及评价。
- ③精度验证报告，包含实地验证结果，格式为 PDF。报告必须包含实测点分布图、误差统计表（最大值、最小值、平均值、RMSE）及结论。

7 数字设计

7.1 一般规定

7.1.1 数字设计的定义

数字设计 (Digital Design) 是指基于数字化技术（如 BIM、参数化设计、人工智能、云计算等），通过数据驱动和协同工作模式，完成建筑工程全专业、全过程的集成化设计方法。其核心特征包括：

模型化：以建筑信息模型（BIM）为载体，整合几何与非几何信息；

协同化：多专业、多参与方在统一平台协同工作；

智能化：利用 AI、算法优化设计决策（如生成式设计、自动化规范检查）；

数据连续性：设计与生产、施工、运维阶段无缝衔接（支持 IFC、COBie 等数据标准）。

7.1.2 数字设计的目标

数字设计的主要目标是通过技术手段提升建筑工程设计、建造、运维的效率、质量和可持续性，具体包括：提升设计质量、提高协同效率、支持智能建造与运维、推动行业数字化转型。

7.1.3 适用范围

数字化设计适用于建筑工程的规划、方案设计、施工图设计、深化设计、施工配合等阶段，建筑、结构、机电、装饰、幕墙、景观等全专业的三维设计与协同优化。

7.1.4 实施原则

（1）数字设计应考虑项目的全生命周期，包括勘察、设计、施工、运营和维护等阶段，以实现项目的可持续发展。

（2）应采用面向应用的交付模式，数字设计成果应遵循统一的数据标准格式进行交付，模型数据准确可靠且能满足工程全生命周期内对设计信息的应用要求。数字设计交付应采用明文、开放、可扩展的 BIM 模型数据交换格式。坚持标准化设计理念，基于工程模数化标准和三维标准构件库进行工程模数化设计，满足工程装配式要求，提高设计、生产、建造和运维等各环节的实施效率。

（3）设计团队应与施工团队紧密合作，确保设计方案的可施工性，并在设计阶段充分考虑智能化施工的需求和限制。

（4）应以问题为导向，采用 BIM 技术强化设计方案的技术论证，优化设计方案，以提高工程设计方案的经济性、安全性、舒适性和满足下游生产、建造、运维交付等为目标。结合工程类型、特点和业主方的要求选择合适方法优化设计。应结合设计深度、上下产业链交付的要求选择合适的模型精度和信息颗粒度。针对不同设计问题选择最高效适用的数字化设计工具和切实可行的解决方案。

（5）设计过程中宜采用模块化和参数化设计方法，以提高设计的灵活性和可扩展性。

（6）宜采用 BIM 正向设计的方式，以模型为数据源，在建筑全专业、建造全产业链各参与方间进行数据交换及信息共享。充分考虑建造全过程需求和特点，以设计为主导，对建造全生命周期进行统筹规划，为建造各阶段提供技术支撑，确保设计数据向深化、生产、建造和运维环节有效传递。建立全过程协同设计机制，确保设计过程中的数据在不同专业、不同企业、不同地域间顺畅交流和共享，项目各参与方数据共享和互联互通，实现生产、施工、运维等单位的前置参与。

（7）在满足设计需求的前提下，鼓励采用国产自主可控的 BIM 设计软件。

7.2 技术准备

为提升数据生产的效率与规范性，保障数字化设计过程中数据互用的完整性、可靠性，应在数字化设计开展前进行技术准备，并在项目推进过程中同步进行资源积累。

7.2.1 数据资源准备

（1）构件库

构件库建设应遵循“标准—模板—实例”三级架构：

①标准层：依据《建筑信息模型分类和编码标准》GB/T 51269 与《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231，定义构件属性集、几何精度、LOD 等级、IFC 映射关系；

②模板层：在 Revit、Tekla 等核心建模软件中建立参数化族，包含参数驱动几何尺寸，以及材质、重量、型号等属性字段；

③实例层：按照企业工艺工法沉淀高频构件（如预制叠合板、ALC 墙板、机房模块、机电综合支吊架），每个实例绑定唯一 GUID，附带供应商、成本、碳排等扩展属性。

为提高复用率，建议采用“中央库+项目库”双轨机制：中央库由企业 BIM 中心维护，项目库允许现场工程师基于中央模板快速派生，经审核后反哺中央库，形成滚动更新。

（2）材质库

材质库不仅服务于可视化表达，也是性能仿真、碳排放计算、工程量统计的基础。材质库建设应包含：

①物理属性：密度、导热系数、蓄热系数、燃烧等级、隔声量；

②几何属性：表面纹理 UV 坐标、贴图尺寸、凹凸强度；

③造价属性：含税价格、损耗率、采购周期；

④碳排属性：生产、运输、安装、拆除阶段碳因子。

建议以“主数据+轻量化纹理”模式管理：主数据存放于 SQL Server 或 PostgreSQL，通过 ODBC 供 BIM、CFD、LCA 工具调用；纹理文件采用 2k/4k JPG+法线贴图，总大小控制在 200 MB 以内，支持 glTF 实时渲染。

（3）建模规范

统一平台架构与基础基准是协同设计的前提。实施路径如下：

①基准统一：在项目策划阶段由 BIM 经理发布《项目 BIM 执行计划（BEP）》，约定统一基点（一般取建筑红线西南角）、测量坐标系（CGCS2000 或城市独立坐标系）、轴网原点、高程基准、单位、角度及命名规则；

②专业协同：明确协同方式（工作集或链接），明确模型分区与工作界面；

③精度控制：依据《建筑信息模型设计交付标准》GB/T 51301 规定的方案设计、初步设计、施工图设计、深化设计及竣工移交执行；

④版本管理：模型宜保留时间码、版本号等信息，并做好历史存档与数据备份。如：以“项目缩写+日期+流水号”命名模型，每日夜间自动备份至 NAS，备份版本保留近 30 日的的数据，关键节点（方案评审、施工图报审、竣工交付）打 Tag 锁定。

（4）算法库

为更大程度激发方案创意，提升工作效率，减少审查漏检率，应面向设计优化、方案比选、规范审查三大场景，建立企业级算法库：

①生成式算法：在城市设计、场地概念方案设计，建筑、景观概念方案设计，机电系统自动布线、建筑表皮方案设计等场景，通过收集项目数据→训练 Diffusion/GAN 模型→封装 Python API→接入 Revit/Grasshopper→测试→版本迭代的技术路径积累算法库。

②优化算法：在多目标方案优选、日照能耗耦合、结构拓扑减重、碳排-成本平衡等场景，通过提炼目标函数→搭建 NSGA-II/拓扑算法→Python 封装→BIM/CFD 接口→实测校正→模型仓库持续迭代的技术路径积累算法库。

③审查算法：在强条自动核查、防火分区校验、碰撞语义识别、净高合规审查等场景，通过梳理规范条文→标注样本→训练 CV/NLP 模型→API 接入 BIM 平台→专家规则校正→云端持续学习迭代的技术路径积累算法库。

（5）工作流库

将高频设计流程固化为可复用的可视化脚本，减少重复工作、降低新人学习成本。常见工作流库如：

①Revit Dynamo：参数化建模、批量标注、净高分析；

②Rhino Grasshopper：异形幕墙单元划分、日照辐射分析、机器人加工路径生成；

③UE5 Blueprint：沉浸式漫游、施工模拟、数字孪生驱动；

④ComfyUI/Stable Diffusion：方案文本生成效果图、材质替换。

工作流库建议以“描述+版本号+缩略图”命名。

7.2.2 平台选用

（1）BIM 协同平台

考虑模型同步频率（推荐支持秒级）、版本管理、数据备份、权限颗粒度（推荐构件级）等基础需求；兼顾与政府监管平台及企业办公协同工具（如钉钉、企业微信、轻推）无缝集成等拓展需求，选择 BIM 设计协同平台。推荐采用“私有云+混合云”架构。私有云部署协同平台（如：Autodesk Construction Cloud、Bentley ProjectWise），满足模型秒级同步与权限颗粒度控制；混合云可利用 PaaS 平台（如阿里 BIM 协同、腾讯微瓴），实现与政府监管平台、供应链系统的数据对接。

（2）仿真云平台

考虑计算能力（支持高性能计算、并行计算、满足大规模仿真需求）、兼容性（支持主流软件及文件格式）、渲染实时性等需求，针对风振舒适度分析、建筑群日照-能耗耦合、钢结构火灾全过程模拟、结构受力验算、灾害疏散模拟、能耗模拟等应用场景，选取符合项目特点与实际需求的仿真云平台。如：大型企业/复杂项目（如地标建筑、大型基建项目）推荐 ANSYS Cloud、Autodesk Construction Cloud；中小企业/一般项目（如住宅、常规公共建筑）推荐阿里云 BIM 仿真平台、腾讯云数字建造解决方案；科研类项目推荐开源平台：Blender（开源 3D 工具）、OpenFOAM（流体仿真）。

（3）AI 设计平台

考虑算法精度、BIM 兼容性、参数可调性、开放 API 以及国产加密合规等关键因素，针对方案生成、效果渲染、汇报材料制作、施工图自动深化等应用场景，规划适合企业规模、项目类型及特点的

AI 设计平台配置方案。如：城市级 CIM 场景可考虑超图 AI+华为云 Stack；大型基建可考虑广联达 iTWOcx 企业版 + 华为云 Stack + 国产 GPU 集群；地标建筑可考虑即梦 AI+（本地私有部署）+ 超图 CIM 平台；普通项目可考虑 PKPM-AIC SaaS + ArkDesign.AI 在线版。

7.2.3 工具选用

根据项目设计的技术路径，考虑应用的需求、数据传递的互通性，选取 BIM 核心建模软件、性能仿真软件、生成式设计插件、算量计价插件、可视化引擎及智能审查工具等。以下工具供参考：

（1）BIM 核心建模软件：建筑专业 Revit+概念体量，结构专业 Tekla Structures+YJK 接口，机电专业 MagiCAD or Revit MEP；

（2）性能仿真软件：绿建斯维尔、PKPM-BIM、ANSYS Fluent、IES VE；

（3）生成式设计插件：TestFit（场地设计体量排布）、DynamoAI（管网自动生成）、Hypar（钢结构节点优化）；

（4）算量计价插件：广联达 BIM5D、iTWO 5D、Glodon Cubicost，支持 IFC4 格式直接导入；

（5）可视化引擎：Twinmotion（快速出图）、UE5（高阶交互）、Unity Reflect（MR 协同）；

（6）智能审查工具：鸿业 BIM 审图、PKPM-AI 审图、自研规则引擎，实现强条自动高亮、问题一键定位。

7.2.4 数据安全保障

结合参与方管理复杂程度、项目安全及保密需求级别、硬件数据容量等因素的考虑，对权限管理、数据加密、版本备份进行合理规划。

（1）权限管理：采用 RBAC（角色级权限）+ABAC（属性级权限）混合模式。RBAC 定义“项目管理员”、“专业负责人”、“设计人”、“校审人”、“只读”等五类基本角色；ABAC 按属性（密级、专业、楼层、构件类型）动态授权，支持“查看-编辑-下载-打印”细粒度控制。

（2）版本备份：对数据备份频率、备份时间、保存时长进行规划，避免过度占用硬件资源，并最大限度保证备份数据的有效性。

7.3 关键技术应用

7.3.1 BIM 正向设计

7.3.1.1 定义

以三维 BIM 模型为核心生产对象，从方案阶段即按“模型即成果”原则开展设计，避免“先二维、后翻模”的逆向流程，从而更直观地判断空间效果、避免专业冲突并保障图纸与模型完全一致。

7.3.1.2 技术路径

统一环境：建立项目级 BIM 执行计划（BEP），确定坐标系、构件命名、LOD 精度及共享参数；

确定协同方式：选定协同平台，明确模型划分，确定采取“中心模型+工作集”或“本地模型+链接协同+定期同步”模式；

多专业协同设计：建筑、结构、机电在同一模型中实时冲突检测，关键节点采用“三维+时程”四维模拟；

模型校审：基于 Navisworks 或 Synchro 进行碰撞、净空、施工可行性检查，问题闭环；

模型出图：利用视图模板、图纸集、过滤器一次性生成平面图、立面图、剖面图及构件详图。

7.3.1.3 注意事项

宜避免“二维替代”思维，任何变更必须先要在模型中完成；

宜提前确定构件命名与编码规则，否则后期算量、运维无法贯通；

宜定期执行“模型瘦身”，清理未使用族、删除冗余阶段过滤器，模型大小宜控制在 200 MB 以内流畅运行；

对外交付前应执行“三维+二维”一致性复核，防止图纸与模型不符。

7.3.2 AI 辅助设计

7.3.2.1 定义

运用生成式 AI、机器学习及知识图谱技术，在方案比选、规范审查、空间布局、构件优化等环节

批量生成备选方案或提供设计优化建议。

7.3.2.2 技术路径

数据准备：将企业历史方案、规范条文、构造做法转化为结构化知识图谱；

模型训练：采用 Diffusion 或 GAN 网络生成建筑体量，利用 Graph Neural Network(GNN)做规范冲突检测；

交互设计：在 Rhino+Grasshopper 中调用 Stable Diffusion API，实现“草图—提示词—多方案”实时生成；

结果筛选：引入多目标遗传算法（NSGA-II），对采光、造价、碳排进行 Pareto 前沿优化；

规范审查：基于 NLP 的规则引擎自动比对规范强条，输出审查报告。

7.3.2.3 注意事项

训练集应覆盖本地规范，避免“通用大模型”水土不服；

禁止将 AI 结果直接用于施工图，必须经注册建筑师确认；

应保留生成过程参数，满足审图追溯要求；

应注意知识产权归属，与 AI 服务方签订成果版权协议。

7.3.3 参数化设计

7.3.3.1 定义

以算法驱动几何形态与性能指标联动，通过参数调整实现方案快速迭代与多目标优化。

7.3.3.2 技术路径

平台选型：Rhino+Grasshopper（建筑表皮）、Dynamo+Revit（结构构件）、Catia+Grasshopper（复杂幕墙）；

参数分层：几何参数（定位、尺寸）、性能参数（日照、风压）、约束参数（规范限值、造价上限）；

引擎优化：Galapagos、Octopus 或自研 Python 脚本调用 `scipy.optimize`；

版本管理：使用 Food4Rhino 或 Git 进行电池组与脚本版本控制；

数据回传：将优化后的参数批量写入 BIM 族，实现“参数—构件”双向同步。

7.3.3.3 注意事项

应规范参数命名，便于复用、升级与查错；

对外移交时须打包完整电池组与依赖库，防止“缺件”无法复现；

对于超限结构，参数化结果需经有限元复核。

7.3.4 性能仿真优化设计

7.3.4.1 定义

在方案、初设、施工图全过程中，通过 CFD、能耗、采光、噪声等多物理场仿真，实现性能驱动的设计决策。

7.3.4.2 技术路径

模型处理：BIM 模型转化为 IFC 或其他中间格式，并进行自动或手动几何清理；

网格策略：建筑风环境采用多面体+膨胀层网格，能耗模型使用 EnergyPlus IDF 模板；

计算与结果可视化：借助仿真云平台或性能仿真软件进行性能分析计算，并形成交互式切片、流线、热图；

优化闭环：通过 modeFRONTIER 或自研 Python 脚本，将仿真结果作为目标函数反馈给模型参数进行优化调整。

7.3.4.3 注意事项

需保证模型封闭性，防止“破面”导致计算发散；

气象数据应优先采用本地典型年（TMY）文件，而非默认参数；

对幕墙热桥、地下室外墙等关键节点进行局部加密网格验证；

仿真报告须包含网格独立性分析与不确定度评估。

7.3.5 设计算量一体化

7.3.5.1 定义

在 BIM 正向设计阶段同步生成工程量清单（BQ），实现“设计构件→算量条目→造价指标”数据同源。

7.3.5.2 技术路径

算量模板：在建模软件中配置企业清单库（参照《建设工程工程量清单计价标准》GB 50500、地方定额等），建立构件与清单编码的映射表；

自动扣减：采用插件工具（如：iTWO、Glodon 或自研 Revit 插件）进行构件布尔扣减、模板面积自动计算；

造价联动：将清单条目实时推送至计价软件（如广联达 GCCP5），形成动态造价曲线；

变更追踪：记录构件增减，刷新工程量与造价；

成果输出：输出工程量清单、概预算表、算量模型等成果，满足造价、审计、业主等多方需求。

7.3.5.3 注意事项

构件编码必须与招标工程量清单完全一致，否则后期无法对量；

模型扣减规则、非实体模型计量规则应与国标保持一致，或明确标注算法差异，以便于对量；

可设置重大变更触发“造价预警阈值”，自动预警；

交付前应执行“算量模型-图纸”一致性抽检，抽检比例不低于 10%。

7.3.6 可视化述标

7.3.6.1 定义

通过实时渲染、XR、数字孪生等技术，将设计方案以沉浸式方式呈现给业主、专家和审批部门，提高沟通效率与中标概率。

7.3.6.2 技术路径

模型轻量化：使用模型轻量化工具（如 Datasmith、Twinmotion 插件等）将 BIM 模型导入 Twinmotion、UE5 等渲染引擎；

场景构建：基于真实 GIS 坐标加载倾斜摄影、市政管网等数据；

交互脚本：采用蓝图或 Python API 等编程途径实现“体块推演”、“方案对比”、“光影变化”、“季节变化”、“剖切漫游”、“材质更换”等功能；

多端部署：PC 端（高精度）、VR 头显（沉浸评审）、Web 端（轻量化分享）三端同步；

述标测试：演练述标流程，确保脚本运行正常且稳定，制定突发情况备案。

7.3.6.3 注意事项

应提前与述标场地确认 VR 设备型号，避免驱动不兼容；

脚本应设置“断网本地缓存”，防止现场网络波动导致崩溃；

对涉密项目须离线运行，模型加密并设置 USB 加密狗；

应准备“二维备份”PPT，一旦 XR 设备故障可无缝切换。

7.3.7 数字化交付

7.3.7.1 定义

以开放标准（IFC、BCF、PDF/A、COBie）为载体，将设计成果、过程数据、知识资产一次性交付给业主及下游阶段，实现“一模到底”。

7.3.7.2 技术路径

制定交付清单：依据《建筑信息模型设计交付标准》GB/T 51301，列出模型、图纸、清单、报告、视频等各类交付文件清单及要求；

模型审查：借助智能校审工具（如 Solibri Model Checker）进行合规性、完整性、一致性审查，输

出审查报告；

数据封装：使用 IFC 4×3 Schema，附加属性集（Pset_）、数量集（Qto_）及分类编码（UniClass/OmniClass）；

知识图谱：将构造做法、设备参数、运维手册挂接至模型构件，形成可查询的知识库；

交付介质：双硬盘+私有云双备份，附带 SHA-256 校验文件。

7.3.7.3 注意事项

不应使用私有格式作为唯一交付物；

所有构件须携带 GlobalId，保证与运维阶段唯一对应；

交付前应执行测试与检查，确保无缺失链接；

交付双方应签定《数据质量验收单》，明确模型深度、属性完整率、图纸一致性三项指标及罚则。

7.4 质量控制与验证

7.4.1 模型准确性验证

7.4.1.1 定义

通过量化指标与自动化工具，对 BIM 模型在几何、属性、出图等维度的“正确度、完整度、精度、一致性”进行系统验证，确保其可作为后续算量、施工、运维的唯一数据源。

7.4.1.2 技术路径

建立项目级《BIM 模型准确性评价标准》，涵盖精度等级定义、构件命名、属性字段、几何容差（±2 mm）、图模一致性等检验标准。

借助智能化检查工具、图模一致性判定工具实现模型全检，并保存可溯源的质量检验报告。

结果闭环：生成问题报告→责任人→限期整改→复验通过→质量签章。

7.4.1.3 注意事项

验证规则库需与项目级评价标准同步，避免不符合项目需求的检验标准；

容差设定须区分建筑、结构、机电专业，防止“一刀切”；

最终报告需由注册师签字确认，避免“工具替代责任”。

7.4.2 合规性审查

7.4.2.1 定义

利用知识图谱与规则引擎，对模型自动执行国家强制性条文、行业标准及绿色建筑专项指标等符合性校验。

7.4.2.2 技术路径

建立条文库，将规范条文转化为可计算规则；

建立绿建、装配式等指标库，集成评分项，提取模型传热系数、装配率等数据；

借助自动检查工具（如广联达 BIM 审图 G9、绿建斯维尔 GBS 或自研审查工具等）形成检查报告。

7.4.2.3 注意事项

地方规范差异大，须建立“省—市—项目”三级规则映射；

不得将 AI 规则结果直接作为审图结论，必须人工复核并留痕。

7.4.3 协同审核与问题跟踪

7.4.3.1 定义

基于云 BIM 平台，实现“多专业、多角色、多阶段”在线协同审核，并对发现的问题进行全生命周期跟踪与闭环管理，避免传统协同方式导致的信息衰减、问题遗漏，并有助于知识沉淀。

7.4.3.2 技术路径

选择协同平台，可参考 7.2.2；

设置角色权限，可参考 7.2.4；

问题创建：发起人在模型三维视图中标记并记录问题，指派责任人；
 状态流转：待处理→已处理→已验证→已解决；
 数据看板：统计问题闭环情况，督办人跟踪进度；
 知识沉淀：典型问题积累，形成知识库，进而支撑自动审核工具开发。

7.4.3.2 注意事项

在没有形成在线问题闭环的习惯时需通过管理手段加强落实；
 应设置“零逾期”检查，对下阶段有影响的问题逾期未关闭自动预警。

7.4.4 设计变更管理流程

7.4.4.1 定义

对 BIM 模型、图纸、计算书等所有设计成果进行版本化、可追溯管理，确保任何变更可快速定位原因、影响范围及审批路径，形成完整追溯链，满足审计、运维阶段追责与再利用需求，并对量化变更对造价、工期、碳排的影响提供支持，以帮助更精准的进行变更决策。

7.4.4.2 技术路径

版本编码规则制定；
 阶段性成果锁定：识别初设批复、施工图过审等关键节点成果标记上 Tag；
 变更触发：通过线上流程发起变更申请；
 变更归档：变更后的设计资料在线交付，数据存入数字化档案。

7.4.4.3 注意事项

成果版本应有防篡改保护，关键节点成果应提升安全级别，对备份时长与数量相应提高；
 变更单宜附带图像、视频、4D 模拟等资料，说明变更的必要性及变更对后续施工工序造成的影响；
 重大变更须召开线上评审会并留存会议纪要。

8 智能生产

8.1 一般规定

8.1.1 工厂生产推荐在钢筋制作安装、模具安拆、混凝土浇筑、钢构件制作、装配式围护体系和一体化装修、机电装配式单元加工等关键工艺环节中，推进生产工艺流程数字化和建筑机器人的应用。

8.1.2 宜建立以标准部品部件为基础的专业化、模数化、数字化生产体系，实现型钢构件、预制混凝土墙板、叠合楼板、预制楼梯、装修墙板、机电支吊架、机电装配式单元等通用建筑部品部件的工厂化生产。

8.1.3 通过工业网络、智能控制系统和生产管理系统建立智能生产线，实现有限能力排产、制造执行、物料自动配送、产品标识、状态跟踪等生产管理功能。

8.1.4 推荐实施优化控制、智能调度、设备运行状态监控和质量追溯等智能化管理措施，促进设计、采购、排产、物流等生产关键环节的精益化管理，实现数据驱动生产、可视化管控、精准配送和最优库存管理。

8.2 数字化生产管理

8.2.1 部品部件身份标识与溯源管理

采用条形码、二维码或无线射频识别（RFID）等自动识别技术，对部品部件进行唯一性分类与编码，赋予其可追溯的数字身份，实现从生产加工、仓储（入库、储存、调拨、出库）、物流运输至现场验收的全流程数字化追踪与闭环管理，确保部品部件流通过程中信息的可共享性与可附加性。

8.2.2 数据交互与流转机制

建立数据集成机制，通过专用的数据转换接口或功能模块，将上游设计模型数据（如 BIM 数据）无损转化为下游智能生产装备可识别、可执行的数据格式，保障设计信息到制造指令的精准传递。

生产执行系统（MES）具备自动解析设计物料清单（BOM）的能力，生成生产订单、管理数据，驱动计划排程、物料需求计划、堆场管理等核心功能模块的自动化运行。

8.2.3 系统集成与业务协同

实现企业资源计划系统（ERP）与生产执行系统（MES）之间的双向深度数据交互。ERP 应向 MES 下达生产任务、采购订单、库存状态及物料配送计划；MES 则需向 ERP 反馈生产执行进度、物料消耗与配送实况、在制品状态、生产过程质量数据及异常信息，为实现生产经营一体化管理提供数据基础。

促进 MES 与工程项目管理系统（或生产需求计划）的互联互通，确保部品部件的实际生产进度能与项目施工现场的需求实现实时同步。推动生产管理系统可依据项目订单及现场变化，进行动态的自动化排产，并支持快速重排计划、紧急插单和快速响应变更。

8.2.4 物料与质量精细化管控

部署工厂物料管理系统（WMS），对物料实行按批次的精细化管控，覆盖从入库、存储、领用到出库的全生命周期。系统需将物料供给信息与部品部件生产线的实际消耗信息实时联动，为精准核算部品部件实际生产成本提供可靠的数据支撑。

建立建筑部品部件质量管理体系，通过集成各类智能质检设备自动采集质量数据，形成完整的数字化质量档案。系统支持基于数据对产品质量影响因素进行识别、对潜在缺陷进行分析预测，并持续推动工艺与质量的优化提升。

8.2.5 生产可视化与决策支持

构建智能工厂可视化驾驶舱，对工厂核心要素（人、机、料、法、环）及关键业务运营状况进行在线、实时、透明化的数字孪生展示。驾驶舱至少集成产能分析、生产节拍监控、部品部件产出统计、设备运行状态与效率（OEE）分析等功能模块，为管理决策提供直观的数据支持。

8.3 智能生产线

8.3.1 智能预处理与模具系统

采用划线涂油机器人，基于设计数据驱动数控装备，以模台为单位实现构件轮廓自动划线与模台自动涂油。

采用拆、布模机器人，基于设计数据完成边模的自动抓取、投放与入库管理。

采用板材加工中心、激光下料中心等设备，实现钢材的自动定位校准、排距与切断。

采用智能坡口机器人等设备，通过离线编程与三维激光扫描技术自动完成各类坡口加工。

8.3.2 智能物料配送与物流系统

采用钢筋网片自动生产设备，基于物料清单数据实现钢筋制品的计划生产、存储与输送。

采用三维激光扫描与“5G+超宽带”定位技术，实现零件的自动识别、分类与指定工位配送。

采用数字化管理系统驱动物流装备，实现部品部件按生产节拍的自动流转。

采用数字化集中管控系统，实现机电产品从原料到成品的智能化生产与输送。

8.3.3 智能浇筑成型与装配焊接

采用混凝土智能调度系统，自动规划生产时序，驱动搅拌站按配比备料并准时配送。

采用智能布料机，基于构件信息规划最优路径，实现混凝土自适应均匀布料与自动避障。

建立总装焊接一体化工作站，实现钢结构零件的自动识别、校准、装配与焊接。

8.3.4 智能表面处理系统

采用板材包覆系统，实现板材的精确定位与自动化涂胶、覆膜及切割。

集成上下料机械手等设备，实现板材自动上下料、数码印花与智能涂装。

8.3.5 智能质检与加工优化

采用智能质检设备，通过三维激光扫描技术实现隐蔽工程自动检测与质量数据生成。

采用钢筋自动加工系统，智能优化下料套裁与加工流程，实现全流程数字化管控。

8.4 智能化物流管理

8.4.1 智能仓储与厂内物流

采用自动码垛机、自动吊板码垛设备、构件专用自装卸运输车等智能装备，实现工厂内产品的自动抓取、转运与堆存，完成仓储物流的自动化作业。

采用自动导引车（AGV）、有轨制导车辆（RGV）、智能制导车辆（IGV）、程控行车等智能化运输设备，完成原材料、零件及构件在厂内的自动流转与精准配送。

8.4.2 智能运输与调度决策

采用智能运输调度技术，集成物流配送管理、车辆动态监控、道路交通、线路诱导及天气等信息，为制定与优化运输方案提供实时决策支持，实现车货的集中智能管控。

8.4.3 全流程信息管控与溯源

采用智能物流管理系统，统筹实现从部品部件订货、收货、状态跟踪、智能调度、交付确认到数据追溯的全流程信息化管理。

采用部品部件标识技术（如二维码），在堆场完成识别与装车单据生成，在施工现场支持扫码识别部件信息、获取安装位置并实现扫码报工，贯通生产、物流与安装环节的数据流。

8.5 生产数据交付

建立完整的生产信息数字化交付标准体系，明确交付内容、深度、数据接口、安全及流程要求，通过数据与模型关联实现产品生产合同、过程资料、合格证等信息的整体交付、验收与归档。

9 智能施工

9.1 一般规定

9.1.1 智能施工应以提升工程质量、安全、效率和效益，降低资源消耗和环境影响为目标，推动施工活动向数字化、自动化、智能化转型。

9.1.2 智能施工应覆盖工程项目施工全过程，并向前延伸至设计协同与生产准备，向后延伸至数字化交付，实现建造全过程的数据贯通与业务协同。

9.1.3 智能施工应建立以 BIM 模型为核心、以数字化项目管理平台为载体的协同管理机制，实现施工全过程的数据采集、分析、决策与执行闭环。

9.1.4 智能施工应遵循“方案先行、数据驱动、人机协同、持续改进”的实施原则，根据项目特点因地制宜地选择技术成熟、经济适用的智能装备、机器人与管理系统。

9.1.5 智能施工应建立相应的管理组织、标准体系、培训考核和安全保障机制，确保智能技术应用的规范性、可持续性和安全性。

9.2 智能施工目标与范围

9.2.1 目标

目标设置包括：

- a) 提质增效：提升施工精度与质量，减少返工，缩短工期。
- b) 降本减耗：降低人工依赖、材料浪费与能源消耗，实现精细化管理。
- c) 安全可控：替代人工作业于“危、繁、脏、重”场景，降低安全风险，实现全过程可追溯、可预警。
- d) 绿色低碳：减少施工扬尘、噪音、建筑垃圾等环境影响，推动绿色建造。
- e) 数据赋能：积累施工过程数据资产，驱动管理决策与持续优化。

9.2.2 范围

智能施工适用于房屋建筑与市政基础设施工程的关键环节，主要包括：

- a) 重复性、高强度劳动作业（如钢筋加工、砌筑、抹灰、铺贴等）。
- b) 高精度、高复杂度作业（如复杂节点安装、大型构件吊装、管线综合等）。
- c) 高风险作业环境（如高空作业、深基坑、有限空间等）。
- d) 需实时数据支撑的作业（如大体积混凝土浇筑、施工测量、进度管控等）。
- e) “人、机、料、法、环”全要素的数字化管理与协同。

9.3 协同机制与实施策划

9.3.1 设计-施工-生产协同

9.3.1.1 施工方应前置参与设计阶段，基于施工可行性提出机器人作业空间、接口预埋、构件拆分等需

求，优化设计成果。

9.3.1.2 建立与预制构件生产厂家的数据联动机制，确保生产进度、物流信息与现场施工计划实时匹配。

9.3.2 专项实施方案策划

项目开工前，应编制《智能施工专项实施方案》，内容应包括：

- a) 应用目标：明确具体、可衡量的智能建造应用目标。
- b) 技术选型：根据工程特点、成本预算、技术成熟度评估并选定智能装备与机器人清单。
- c) 部署路径：规划机器人的进场、退场计划，作业区域、路径及与人工的交叉作业流程。
- d) 配套设施：规划充电站、清洗区、安全通道、网络覆盖等配套条件。
- e) 数据管理：明确数据采集、传输、分析及应用方案。
- f) 组织与职责：成立智能施工实施团队，明确各方职责与接口关系。
- g) 培训计划：制定操作、维护及管理人员培训与考核方案。
- h) 风险与预案：识别技术、管理、安全风险，制定应对预案。
- i) 效益评估：设定经济效益、社会效益评估指标与方法。

9.4 智能施工技术体系与装备配置

9.4.1 技术适用性评估

应对拟采用的智能施工技术从技术成熟度、经济性、适用性、可靠性及维护成本等方面进行综合评估，形成评估报告，指导选型决策。

9.4.2 通用智能装备应用

通用智能装备应用包括：

- a) 测量与扫描：应用无人机进行土方测算、进度巡检与实景建模；应用三维激光扫描仪进行质量验收、逆向建模与变形监测。
- b) 混凝土施工：应用混凝土整平、抹光、喷涂机器人集群进行地坪、墙面等大面积混凝土施工。
- c) 物料管理：应用智能地磅、无人值守称重系统、RFID/二维码技术，实现物料从进场、入库、出库到消耗的全过程数字化管理。

9.4.3 专业作业机器人应用

专业作业机器人应用包括：

- a) 主体结构：应用钢筋绑扎机器人、智能测量机器人、智能灌浆设备、模板安装机器人等。
- b) 装饰装修：应用墙面腻子喷涂机器人、地坪研磨机器人、瓷砖铺贴机器人、防水卷材铺设机器人等。
- c) 机电安装：应用管线焊接机器人、支吊架安装机器人、风管安装机器人等。
- d) 高危作业：应用高空作业机器人、基坑巡检机器人、密闭空间检测机器人等，替代人工作业。

9.4.4 智能装备管理

9.4.4.1 宜建立智能装备与机器人的台账、操作规程、维护保养制度和应急预案。

9.4.4.2 宜搭建统一的智能装备协同管理平台，实现任务派发、状态监控、能耗管理、工效分析等功能。

9.5 数据驱动的施工过程管理

9.5.1 智慧工地集成管理

宜建立集成化的智慧工地管理平台，融合以下子系统：

- a) 人员管理：基于 AI 识别的实名制考勤、安全行为监控（如未戴安全帽等）、人员定位与电子围栏。
- b) 机械设备管理：实时监测塔吊、施工电梯等大型设备的运行状态、载荷、风速、油耗，实现预警与联动控制。
- c) 环境监测：动态监测扬尘、噪音、温湿度、风速等参数，超标自动报警并联动喷淋降尘系统。
- d) 视频监控：利用 AI 摄像头进行周界防范、作业面监控、安全隐患等自动识别。
- e) 进度管理：通过无人机定期航拍生成实景模型，与 BIM 计划模型对比，自动分析进度偏差。

9.5.2 施工过程智能管控

施工过程数字化管控包括：

- a) 进度管控：基于 BIM 模型自动派发机器人工单，跟踪任务执行情况，实时更新进度。
- b) 质量管控：利用智能回弹仪、实测实量机器人等自动采集质量数据，与 BIM 模型比对，生成电子验收记录和质量分析报告。
- c) 安全管控：通过 AI 视频识别危险行为、区域入侵；监测高支模、深基坑变形、水位等，实现自动预警。
- d) 成本管控：自动关联 BIM 模型与进度数据，实时统计材料消耗、人工工时，进行成本核算与偏差分析。

9.6 关键工序智能施工要点

9.6.1 地基与基础工程

应用无人机倾斜摄影、三维扫描进行土方计算与监测；应用智能桩基设备进行精准定位与施工；应用智能监测设备对基坑变形、支护结构应力、地下水位进行实时监测与预警。

9.6.2 主体结构工程

应用智能顶升模架平台、混凝土智能布料机、智能振捣设备等进行高效施工；应用三维扫描技术对钢结构进行虚拟预拼装和安装精度校验；应用智能检测工具进行自动化质量验收。

9.6.3 围护与装饰工程

应用 BIM 技术进行砌块、幕墙、装饰面层的自动排砖与下料优化；应用抹灰、喷涂、铺贴机器人进行大规模作业，保证质量。

9.6.4 机电安装工程

应用 BIM 技术进行管线综合深化设计与碰撞检查；应用装配式支吊架、模块化机房技术；应用焊接、安装机器人提高管道、设备安装的精度与效率。

9.7 数字化交付与持续改进

9.7.1 竣工交付

- 9.7.1.1 宜基于施工过程数据更新 BIM 模型，形成达到 LOD500 精度的竣工 BIM 模型。
- 9.7.1.2 模型构件应关联施工过程质量检验记录、材质证明、操作手册等信息，形成“数字孪生”资产。
- 9.7.1.3 交付成果应符合《建筑工程信息模型存储标准》等规定，支持无缝移交至运维阶段。

9.7.2 持续改进

- 9.7.2.1 宜基于智能施工过程数据，编制《机器人施工工效分析报告》，评估投入产出比，为后续项目提供决策依据。
- 9.7.2.2 宜基于 T/CECS 1500《建筑工程智能建造标准》等指标体系，定期对项目的智能建造水平进行量化评估与改进。
- 9.7.2.3 宜总结智能施工技术、管理、标准方面的经验，形成企业级工法、标准库和知识库。

10 数据协同

10.1 一般规定

10.1.1 智能建造项目应采用统一的数据管理平台，如基于 BIM 技术的数字化项目管理平台，确保数据在项目全生命周期中的一致性和连贯性。

注：各参建方采用自有平台进行智能建造技术应用形成的数据壁垒是造成平台应用数据传递障碍的主要因素，宜从设计阶段开始，组织和要求项目各参建单位基于统一的数字化项目管理平台开展智能建造技术应用，这将破除平台间数据壁垒，大大提高数据共享、交换的效率。

10.1.2 应采用自主可控的国产化数字平台，优先选择华为云、阿里云等通过国家认证的国产云计算服务，确保数据主权与安全性。平台需支持多源异构数据集成，支持 IFC 格式原生读写、具备开放 API、支持二次开发，并符合国家网络安全等级保护三级以上标准。优先采用国产 BIM 图形引擎，确保长期

可持续。

10.1.3 以 BIM 模型作为项目数据的核心基座，所有几何信息、工艺信息、进度信息、成本信息、质检信息及运维信息等均应以“模型-元素-属性”的形式挂载于 BIM 模型上，实现数据的集中管理和高效利用。通过 BIM 模型，项目各参与方能够直观地查看和理解项目信息，提升沟通效率。

10.1.4 项目应建立“项目级 BIM 服务器（本地私有云）+企业级 BIM 中台（公有云/混合云）”的两级数据架构。本地服务器满足施工现场高频读写、断网缓存的需求，确保数据的实时性和可用性；企业级 BIM 中台则实现多项目数据的归集和知识复用，提升数据管理的效率和水平。

10.1.5 项目全生命周期应建立统一的数据标准体系，涵盖几何模型精度（如 LOD400 精度）、非几何属性（如材料碳足迹、维护记录）及 IoT 实时数据格式等。同时，执行《建筑要素分类与编码标准》GB/T 51269-2017，并扩展“项目码-专业码-楼层码-构件码-序列码”五段式编码规则，确保每个构件的唯一性和可追溯性。

10.2 数据传递

10.2.1 建立“5+N”角色模型，明确业主、设计总包、施工总包、专业分包、监理五大固定角色的数据权限，同时考虑供应商、运维、政府监管等扩展角色的需求。数据权限应细化到构件级，针对读/写/审/批/下载五类权限进行动态授权，确保数据的安全性和合规性。

10.2.2 采用唯一构件编码作为数据追溯的索引，贯穿设计量、生产批次、运输单、安装工单、质检记录及运维档案等全过程。设计单位应在智能建造应用策划阶段制定项目分类编码规则和构件编码规则，确保每个构件的编码唯一且可追溯。

10.2.3 宜由设计单位牵头，在智能建造应用策划阶段制定项目分类编码规则和构件编码规则。

注：需要在国标的基础上进行进一步的构件编码规则制定，做到每个构件的编码唯一性，国标的分类编码已经做到了按照构件的种类来赋予编码，在此基础上可以加上规格、位置、序列号等编码，实现构件级编码。

10.2.4 项目各参与方应基于统一的数字化项目管理平台开展智能建造技术应用，通过平台实现设计、生产、施工及运维各阶段的数据传递和集成。平台应具备设计进度可视化、构件设计参数清单化管理、设计在线审核、图纸模型版本对比及设计变更管理等功能，提升数据管理的效率和准确性。

10.2.5 依托数字化项目管理平台，以 BIM 模型为项目数据载体，集成构件级进度、质量、成本、安全等管理数据，形成数据驱动的管理模式。通过平台实现设计阶段、施工阶段和运营交付阶段的全过程管理，确保项目目标的顺利实现。

10.2.6 应依据生产、施工和运维要求，建立统一的建模规则和构件拆分原则后建模，并基于数字化项目管理平台进行设计阶段管理，且设计阶段管理数据应能被施工阶段直接使用。

注：数字化项目管理平台设计管理模块应具备以下数据传递和共享功能：1）设计进度全局可视化；2）构件设计参数清单化管理，并关联设计过程数据；3）设计在线审核，设计问题自动统计；4）图纸模型版本对比；5）设计变更模型版本对比、变更构件对比和清单对比。

10.2.7 项目所用的数字化项目管理平台应支持根据唯一构件编码将模型和数据进行组装，并应支持数据和模型多次更新的信息继承，实现设计阶段、施工阶段和运营交付阶段全过程管理。

注：对于构件的设计、生产、运输、安装等过程数据可要求设计单位和构件厂商进行数据填报和更新，然后依据构件的唯一编码在数字化项目管理平台上进行组装，形成带数据的模型，再基于平台的成本、进度、质量、安全等模块管理功能开展构件级精细化管控。

10.2.8 任何角色不得直接编辑他人锁定构件，确需修改须发起“变更-审批-解锁”流程，全部留痕。

10.2.9 应用文件和 BIM 模型等应采用数字化移交的方式交付，应包括电子文件交付和信息系统集成交付。

10.2.10 采用电子文件交付时，应以模型和文档为主，并应以结构化目录方式组织。模型交付成品文件及文件夹，宜根据模型应用阶段、单项工程、专业、用途和文件类型进行分类命名和目录分级。空间组成、设备材料清单等信息，宜单独以数据文件形式交付。

10.3 数据安全

10.3.1 建立数据分类分级保护制度，对施工影像、人员定位等敏感数据进行重点保护。通过访问控制、权限管理等措施，确保敏感数据不被未经授权的访问和使用。

10.3.2 实施定期的数据备份策略，模型与数据库应每日增量备份、每周全量备份，并保留足够长的备份周期（如≥3 年）。同时，建立数据恢复机制，确保在数据丢失或损坏的情况下能够迅速恢复数据，保障项目的连续性和稳定性。

10.3.3 严格控制数据访问权限，按照最小范围、最小权限的原则进行权限分配。平台应记录所有“登录-查询-下载-修改-删除”等操作日志，并保留足够长的日志保留周期（如≥2 年），以便进行审计和

追溯。

10.3.4 建立安全的数据运行环境，通过身份认证、访问控制、数据加密等措施保障数据的真实性和完整性。同时，定期对数据安全环境进行评估和改进，确保安全措施的有效性和适用性。

10.3.5 明确知识产权的管理、归属与分配原则，确保任务范围内产生的设计图等知识产权按照合同约定或事前协议决定归属。通过规范的知识产权管理流程，保护项目各参与方的合法权益，促进技术创新和合作发展。

参 考 文 献

- [1] 《青岛市智能建造项目实施方案编制指南》
 - [2] 《成都市建设工程项目智能建造水平评价要点》（试行）
 - [3] 《佛山市房屋建筑项目智能建造水平评价指引》（试行）
 - [4] 《雄安新区智能建造试点城市目标任务落实清单》
-