

成都市智能建造人工智能（AI）应用指南

（2025 版）

成都市住房和城乡建设局

2025 年 10 月

前言

为贯彻《住房和城乡建设部等部门关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》（建市〔2020〕60号）、《四川省住房和城乡建设厅等部门关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的实施意见》（川建建发〔2021〕173号），契合《智能建造技术导则(试行)》的建设细则，落实《成都市智能建造试点城市建设实施方案》（成府函〔2023〕34号）的有关要求，促进成都市智能建造试点城市建设工作，推动住房和城乡建设领域数字化、工业化、智能化转型发展，由成都市住房和城乡建设局组织成都市勘察设计协会等有关单位对工程建设项目全过程 AI 应用场景进行研究整理，在广泛征求意见的基础上，制定本指南。

本指南共分为 7 个章节，主要内容包含 1 总则；2 应用概述；3 勘察阶段；4 设计阶段；5 生产阶段；6 施工阶段；7 运维阶段。

本指南由成都市住房与城乡建设局审核，由编制组负责具体技术内容的解释和说明。执行过程中如有意见和建议，请反馈至成都设计咨询集团有限公司（地址：成都市高新区天府四街 300 号，邮编：610094，邮箱：cd_znjz@163.com）。

主编部门：成都市住房和城乡建设局

主编单位：成都市勘察设计协会

成都设计咨询集团有限公司

成都蓉筑智能建造创新研发与产业促进中心

参编单位：成都市建筑设计研究院有限公司

成都市市政工程设计研究院有限公司

成都建工集团有限公司

中国五冶集团有限公司

中国华西企业股份有限公司

四川省川建勘察设计院有限公司

中国建筑西南设计研究院有限公司

四川省建筑设计研究院有限公司

中国市政工程西南设计研究总院有限公司

中冶成都勘察研究总院有限公司

成都市勘察测绘研究院

四川省地质勘察集团

中国建筑西南勘察设计研究院有限公司

成都建工第四建筑工程有限公司

中国水利水电第五工程局有限公司

中国建筑第八工程局有限公司西南分公司

中铁二局集团电务工程有限公司
电子科技大学
四川柏慕联创建筑科技有限公司
垒知（成都）科技研究院有限公司
成都磊数科技有限公司
四川观筑数智科技有限公司

主要起草人员：徐 军 孙 斌 吴小冬 李定葵 康永君
李明燕 苏 锋 关国杰 鞠 明 冯 波
冯身强 黄香春 罗 颖 罗 中 郭 灏
甘又月 陈攀杰 李浩然 曾宏亮 吴臻旺
吴雨航 邵琿春 李 鑫 刘自玮 路 浩
赵一静 刘绍军 章海龙 赵浩飞 彭 涛
赵 跃 舒中潘 晏 宾 任启富 何雨霖
胡 林 衡 春 梁桃华 苟海军 魏鸿图
司 雨 陈商远 毕 亮

主要审查人员：秦建国 覃治贵 胡申林 何跃川 沈洪平

目 次

1	总 则	1
2	应用概述	2
2.1	一般概述	2
2.2	人工智能基础概念	4
2.3	人工智能能力概述	5
2.4	人工智能技术概述	5
3	勘察阶段	8
3.1	AI 辅助遥感影像分析	8
3.2	AI 辅助地质灾害痕迹识别	9
3.3	测绘数据处理	10
3.4	物探数据处理	11
3.5	AI 辅助钻孔布局优化	12
3.6	AI 辅助岩芯分析	13
3.7	原位测试	14
3.8	监测预测	15
3.9	现场记录与资料整理	16
4	设计阶段	18
4.1	AI 辅助规划设计	18
4.2	AI 性能化分析	19
4.3	AI 总平排布	20
4.4	AI 建筑图像生成	21
4.5	AI 生成设计方案视频	23
4.6	AI 生成结构方案设计	24
4.7	基于 AI 的结构辅助计算	25
4.8	建筑末端 AI 排布	26
4.9	AI 图纸结构规范强条审查	27
4.10	AI 辅助 BIM 模型审查	28
4.11	AI 辅助图纸归档	30
5	生产阶段	32
5.1	工厂/产线智能排产	32
5.2	危险作业智能识别	33
5.3	产品智能运输调度与监控	34
5.4	PC 生产边模自动拾取	35
5.5	PC 生产智能隐检	36
5.6	PC 生产智能布料	37
5.7	PC 产品智能存储	38
5.8	钢结构焊接工艺智能优化	39
5.9	钢结构装配智能作业指导	40
5.10	钢结构质量智能在线检测	41
5.11	AI 驱动的混凝土质量管控系统	43
6	施工阶段	44
6.1	AI 辅助技术方案审核	44
6.2	AI 辅助施工组织策划与资源配置优化	45
6.3	AI 辅助施工场地布置管理	46
6.4	AI 数字人施工交底	48
6.5	AI 安全装置识别	49
6.6	AI 智能质量巡检	50
6.7	AI 辅助施工进度管理	52

6.8	AI 辅助成本控制与物料管理	53
6.9	AI 远程钢筋智能测量	54
6.10	AI 辅助塔机智能安全管控	55
6.11	AI 绿色智能施工监测	57
6.12	AI 箱梁智能养护	58
6.13	AI 驱动建筑机器人施工应用	59
7	运维阶段	61
7.1	AI 设备维护	61
7.2	AI 运维安全管理	62
7.3	AI 能源管理	63
7.4	AI 室内环境管理	64
7.5	自动化巡检	65
7.6	用户服务与智能客服	65

1 总 则

1.0.1 随着人工智能技术的快速发展，其在工程建设项目全过程中的应用也初见成效，为进一步推进人工智能（AI）技术的深入应用，提升总体应用水平，提高工程建设项目质量和效益，促进 AI 技术在项目智能建造实施过程中的深入应用，经过深入研究，形成本指南。

1.0.2 本指南用于为建设工程项目在全生命周期智能建造管理和应用中提供场景参考。

1.0.3 本指南指导项目应用过程中，应符合国家和省市现行有关标准的规定。

2 应用概述

2.1 一般概述

2.1.1 人工智能（AI）具备强大学习、自动处理、感知、推理和内容生成能力，可以辅助项目全过程开展深入应用，提升工程项目全生命周期的建造效率、质量、安全，从而优化决策科学性和降低项目综合成本，同时人工智能技术的应用也将推动工程建设的智能化和自动化发展，打造工程建设领域新范式。

2.1.2 本指南调研总结 AI 技术在勘察、设计、生产、施工和运维各阶段的应用场景，概括归纳每个应用场景的目的意义、应用准备、应用流程和成果建议。为项目在各阶段实施智能建造时提供 AI 技术应用的参考。

2.1.3 本指南适用于项目实施的建设单位、勘察单位、设计单位、生产单位、施工单位和运营管理单位在项目各阶段智能建造建设和管理应用。

2.1.4 在工程建设项目重要环节中，若需采用人工智能生成、预测、判断等成果指导施工或生产，应由专业工程师人工复核校验后方可应用；不得直接使用 AI 生成的涉及结构安全、消防合规、应急疏散等关键设计成果，相关成果应由专业工程师审核签字后方可应用。

2.1.5 场景应用过程中，应采用合理的数据安全管理措施保证数据应用安全，如采用加密传输、权限控制和本地化部署等。

2.1.6 在不影响预期成果的前提下，鼓励优先采用国产大模型或相关软件平台开展应用。

2.1.7 各实施阶段的主要应用场景和技术成熟度，如表 2.1.7 所示。技术成熟度中，已成熟应用场景指具备成熟的软件平台或通过简单本地部署等操作既能开展应用的场景；较成熟应用场景指技术路径成熟，但需要较丰富的数据基础、较大的软硬件和人工投入才能实施的应用场景；需进一步研究的应用场景指在某些特定限制条件下可形成初步可行性成果，但仍需深入研究、验证和测试才能开展实际工程应用的场景。

表 2.1.7 智能建造各阶段 AI 应用场景及成熟度

序号	阶段	场景名称	场景技术成熟度		
			已成熟	较成熟	需进一步研究
1	勘察阶段	AI 辅助遥感影像分析		✓	
2		AI 辅助地质灾害痕迹识别	✓		
3		测绘数据处理		✓	
4		物探数据处理		✓	
5		AI 辅助钻孔布局优化			✓
6		AI 辅助岩芯分析			✓
7		原位测试		✓	
8		监测预测		✓	
9		现场记录与资料整理			✓
10	设计阶段	AI 辅助规划设计			✓
11		AI 性能化分析	✓		
12		AI 总平排布			✓

13		AI 建筑图像生成	✓		
14		AI 生成设计方案视频		✓	
15		AI 生成结构方案设计		✓	
16		基于 AI 的结构辅助计算		✓	
17		建筑末端 AI 排布		✓	
18		AI 图纸结构规范强条审查			✓
19		AI 辅助 BIM 模型审查		✓	
20		AI 辅助图纸归档		✓	
21	生产阶段	工厂/产线智能排产		✓	
22		危险作业智能识别	✓		
23		产品智能运输调度与监控	✓		
24		PC 生产边模自动拾取		✓	
25		PC 生产智能隐检	✓		
26		PC 生产智能布料	✓		
27		PC 产品智能存储		✓	
28		钢结构焊接工艺智能优化	✓		
29		钢结构装配智能作业指导	✓		
30		钢结构质量智能在线检测		✓	
31		AI 驱动的混凝土质量管控系统	✓		
32	施工阶段	AI 辅助技术方案审核		✓	
33		AI 辅助施工组织策划与资源配置优化			✓
34		AI 支撑施工场地布置管理			✓
35		AI 数字人施工交底	✓		
36		AI 安全装置识别		✓	
37		AI 智能质量巡检	✓		
38		AI 辅助施工进度管理			✓
39		AI 辅助成本控制与物料管理			✓
40		AI 远程钢筋智能测量	✓		
41		AI 辅助塔机智能安全管控		✓	
42		AI 绿色智能施工监测			✓
43		AI 箱梁智能养护		✓	
44		AI 驱动建筑机器人施工应用			
45	运维阶段	AI 设备维护		✓	
46		AI 运维安全管理		✓	
47		AI 能源管理		✓	
48		AI 室内环境管理			✓
49		自动化巡检			✓
50		用户服务与智能客服		✓	

2.2 人工智能基础概念

2.2.1 人工智能 (Artificial Intelligence, AI): 一种通过计算机模拟人类行为的技术, 能够执行感知、推理、学习和决策等多种任务。根据其实现路径与哲学思想, 主要可分为符号主义、连接主义和行为主义等学派。

2.2.2 符号主义 (Symbolist): 又称功能主义或逻辑主义学派。该学派认为智能源于符号操作和逻辑推理, 通过模拟人类的抽象思维过程, 利用知识表示、规则推理和搜索技术来实现智能。专家系统、知识图谱等均属此范畴。其优势在于可解释性强, 但面临知识获取的瓶颈。

2.2.3 连接主义 (Connectionist): 又称结构主义学派。该学派认为智能活动源于大量简单计算单元 (如神经元) 通过复杂互连并行运行的结果。其核心是人工神经网络, 通过模拟大脑的生理结构, 从数据中学习模式和特征。深度学习及以其为基础的生成式人工智能是此学派的代表性成果。

2.2.4 行为主义 (Behaviorist): 该学派强调智能行为产生于智能体与环境的交互过程中, 通过自适应、进化和学习来涌现出智能。其核心是“感知-行动”模型, 关注的是对外部刺激做出适当反应的输入输出映射。具身智能、自适应控制和进化计算等属于此范畴。

2.2.5 生成式人工智能 (Generative AI): 一类能够学习数据分布并生成全新、原创内容 (如文本、图像、音频、视频、代码) 的人工智能技术与应用, 是连接主义在当前的主要表现形式之一。

2.2.6 决策式人工智能 (Discriminative AI): 符号主义与连接主义人工智能中广泛应用的实现方式, 又称判别式人工智能。其核心目标是对输入数据进行分类、判别或预测, 例如判断图像类别、评估风险、预测趋势等。它学习的是不同类别数据之间的差异和决策边界。

2.2.7 机器学习 (Machine Learning, ML): 机器学习是人工智能实现各类能力的核心基础, 指系统通过从数据中自动提取模式与规律, 不断优化自身预测或决策性能。根据学习范式不同, 可分为监督学习 (Supervised Learning)、无监督学习 (Unsupervised Learning) 和半监督学习 (Semi-Supervised Learning)。监督学习依赖标注数据训练模型, 完成分类、回归等任务; 无监督学习致力于从无标注数据中发现隐藏结构或模式; 半监督学习则结合标注与未标注数据提升学习效果。

2.2.8 深度学习 (Deep Learning): 深度学习作为机器学习的重要分支, 依托深层神经网络处理高维、非线性数据, 在图像、语音、自然语言等复杂任务中表现出了卓越的性能。

2.3 人工智能能力概述

2.3.1 感知能力：感知能力使人工智能系统能够接收并解析来自物理世界的多模态信号，主要包括计算机视觉（CV）与语音识别（SR）。计算机视觉使机器能够“看懂”图像与视频，关键技术包括图像分类、目标检测、图像分割等，广泛应用于安防监控、自动驾驶、工业质检等领域。语音识别则将语音信号转换为文本或指令，支持语音交互、远程控制等无接触操作场景。

2.3.2 自然语言处理能力（Natural Language Processing, NLP）：该能力使机器能够理解、处理与生成人类自然语言，涵盖文本理解与文本生成两大方向。文本理解包括语义分析、语法解析、信息抽取与自动摘要等；文本生成则包括写作辅助、机器创作、自动翻译与对话系统等。自然语言处理技术广泛依赖机器学习尤其是深度学习方法实现。

2.3.3 推理能力：推理能力指人工智能系统进行逻辑推断、多步推导与因果分析的高级认知功能。该能力使机器能够处理复杂问题、结合背景知识进行思维推理，并在决策过程中保持一定的透明性与可解释性。常见的推理增强方法包括链式思维（Chain-of-Thought）和思维树（Tree-of-Thought），经过结构化的问题分解与中间推理步骤，系统能够得出更可靠的结论。

2.3.4 内容生成能力：生成式人工智能指能够自主创造全新文本、图像、音频、视频等内容的能力。该类系统可大幅提升创意与内容行业的生产效率，例如辅助新闻写作、艺术创作、产品设计、音乐生成与语音合成等。生成技术通常建立在机器学习（如生成对抗网络 GAN、扩散模型、大语言模型）基础之上，是当前人工智能应用的前沿方向。

2.3.5 自主学习与适应能力：该能力强调系统在开放环境中的持续学习与行为优化机制，尤以强化学习为代表。通过与环境的反复交互、基于反馈调整策略，智能体可逐渐适应复杂多变的情境，实现长期目标。典型应用包括智能控制系统（如楼宇自动化、智能能源管理）、游戏 AI 及机器人控制等。

2.4 人工智能技术概述

2.4.1 知识库（Knowledge Base, KB）是人工智能在工程建设领域应用的重要智能化工具，通过结构化存储行业规范、施工标准、设计图纸、历史项目数据等专业知识，为工程决策提供可靠依据。人工智能技术（如自然语言处理和知识图谱）能够对知识库进行智能管理，实现自动分类、检索，提高信息利用效率。

2.4.2 知识图谱（Knowledge Graph, KG）是一种以“实体-关系-实体”三元组为核心、用图结构形式组织与表示知识的通用语义网络。与知识库“以内容为中心、以条目化存储为主”不同，知识图谱强调“以关系为中心”——不仅记录“是什么”，更强调“如何关联”。借助算法，知识图谱能够进行隐性关联发现、路径推理与因果推断，为智能建造中的风险溯源、方案优化及跨领域协同提供可解释、可演化的语义基础设施。

2.4.3 AI 搜索技术（AI Search）基于语义理解与向量检索，在实现高效精准的信息检索。传统搜索依赖关键词匹配，而 AI 搜索能够理解用户意图，结合上下文返回更相关的结果，大幅提升信息获取效率，减少人工筛选时间。

2.4.4 检索增强生成技术（Retrieval-Augmented Generation, RAG）是一种结合信息检索与文本生成的先进人工智能技术，能够显著提升工程建设领域的数据处理与决策能力。RAG 模型通过引入知识库，检索规范文档或历史项目数据，辅助生成设计方案、施工方案或风险评估报告，确保生成内容的准确性和合规性。此外，RAG 还可用于智能工程咨询系统，为工程师提供精准的规范解读和技术支持，提升决策的科学性。

2.4.5 提示词工程（Prompt Engineering）优化了 AI 模型在工程建设中的推理能力，通过结构化输入引导模型生成更符合行业需求的输出。例如，在施工方案优化中，工程师可输入分步提示（如“分析地质报告→评估支护方案→生成施工建议”），使 AI 系统按照逻辑链输出详细解决方案。

2.4.6 思维链（Chain-of-Thought, CoT）技术显式展示了模型的多步推理过程，将复杂问题分解为可解释的决策路径。例如，在成本超支分析中，模型可依次展示“材料价格上涨→运输延误→工序调整→费用增加”的因果链，帮助工程师快速定位根本原因，进一步提升了 AI 的复杂问题处理能力。

2.4.7 智能体（AI Agent）是一种具有感知、决策和执行能力的自主系统，通常是多种 AI 技术的结合，广泛应用于人工智能领域，包括机器人、虚拟助手、自动驾驶系统等。其核心特征包括自主性、反应性、主动性和社会性，分别体现了智能体自主运行、对环境变化的响应、主动执行任务以及智能体之间的协作与互动能力。随着生成式人工智能技术的发展，尤其是大规模预训练模型的崛起，智能体的能力得到了显著提升。大模型通过大规模数据训练，具备了强大的语言理解和生成能力，也使得智能体在处理复杂任务时表现出更高的智能水平。在大模型的支持下，智能体能够更加精准地理解自然语言，生成高质量的文本，并进行复杂的多轮对话，从而扩展了智能体在多种应用场景中的潜力和适用性。这些模型还广泛应用于图像生成、语音生成、视频生成和多模态生成等领域，通过整合多种数据类型和生成技术，智能体能够提供更加全面和智能的服务。

2.4.8 工作流（Workflow）将 AI 能力嵌入业务流程的编排框架，通过可视化拖拽或脚本定义任务节点（如数据采集→模型推理→结果审核→工单派发），实现端到端自动化。

2.4.9 多智能体通信协议（Multi-Agent Communication Protocol, MCP）定义了智能体间的通信标准与协作机制，支持任务分解、状态同步与冲突消解。在智慧工地场景中，塔吊智能体、运输机器人与调度系统可通过 MCP 实时共享位置与任务状态，避免路径冲突并优化资源分配。

2.4.10 模型训练包括基于海量数据的大模型预训练（Large Model Pre-training）、面向垂直场景的微调训练（Fine-tuning）及面向垂直场景与特定数据类型的小模型训练等。

（1）大模型预训练指使用大规模未标注的数据集预先训练深度学习模型的过程，这需要庞大数据与算力，不适合工程建设相关企业独立实施。

（2）模型微调训练指在一个已经过预训练的大模型基础上，针对特定任务或小规模数据集进行进一步的训练，以使模型更好地适应特定的任务需求。企业可基于开源通用大模型（如通义、Deepseek 等），使用工程领域数据（如施工规范、设计标准）进行微调，可优化 AI 在工程方案生成、合同审查或安全风险评估中的准确性、专业性。

（3）面向垂直场景与特定数据类型的小模型训练的核心思想是通过算法解析数据，从中学习，并对真实世界中的事件做出决策或预测。其模型应用较为广泛，结合监督学习和强

化学习，AI 可实现工程进度延误、材料损耗或设备故障等方面的预测，为工程决策提供帮助。例如，利用历史施工数据训练回归模型，可实时优化资源分配；基于计算机视觉的模型可自动检测施工缺陷，提高质量管理效率等。

3 勘察阶段

3.1 AI 辅助遥感影像分析

3.1.1 目的意义

在勘察的工程地质调绘阶段，传统地物识别依赖人工实地考察与目视解译遥感影像，效率低、主观性强且易遗漏细节。遥感影像分析引入 AI 技术，旨在高效、精准地提取地物信息。其核心价值体现在：可提升前期调查效率；自动学习地物特征，减少人为误判，精准识别微小地物变化与潜在地灾痕迹，助力地质灾害预防；在地形地貌环境复杂的区域，可规避人工作业潜在的安全风险。

3.1.2 应用准备

软件工具：开源机器学习 AI 开发平台，利用其搭建的深度学习环境用于模型训练；专业遥感影像处理软件，其与 AI 插件结合增强解译能力；云端平台，提供强大算力支持与预训练模型库。

硬件配置：高性能图形处理器（Graphics Processing Unit, GPU）显卡，大容量固态硬盘（Solid State Disk, SSD）。需支持高效浮点数计算，数据吞吐量高，能保障大规模数据集的高效处理，算力强劲，能满足复杂运算场景的持续负载需求，以及影像数据与模型文件的海量存储。

数据准备：收集项目周边历史遥感影像，分辨率涵盖 0.1 米至 2 米的多源数据，同步采集实地验证照片，标注训练样本，基于统计需求与模型泛化性，构建包含足够数量影像、覆盖主要地物类型的本地化训练数据集。

3.1.3 应用流程

遥感影像分析的 AI 技术应用流程如下：

（1）数据预处理阶段：校正遥感影像，去除噪声干扰，纠正几何变形；数据分块，将高分辨率大幅影像分割为边长为 512 像素的小图。

（2）特征提取与模型训练阶段：划分预处理的影像数据为训练集、验证集和测试集。以卷积神经网络（CNN）为基础模型架构，添加注意力机制模块，强化模型对地物关键特征的关注能力，提升模型识别准确率。采用 Adam 优化算法训练模型，以交叉熵损失函数优化训练过程，并利用验证集进行模型性能评估和参数调整。

（3）地物识别与分类阶段：待分析遥感影像输入模型，自动提取地物特征并分类识别，输出地物分类图。同时，利用条件随机场（CRF）对分类结果进行后处理，增强地物边界连贯性，减少孤立噪点。

（4）结果验证与优化阶段：通过对比实地调查结果、已知地理信息数据等手段，验证 AI 识别结果。根据验证误差，分析模型薄弱环节，针对性地调整模型参数或补充训练样本，优化模型性能。

3.1.4 预期成果

高精度地物分类图：AI 生成的地物分类图，可清晰区分场地及周边不同类型的地物，地物边界精确度可达像素级，可作为场地规划与勘察布局依据。

地质灾害隐患分布图：精准定位潜在地质灾害隐患区域，支撑灾害防治及预警等。

地物属性统计报表：详细统计各类地物的面积、占比、分布密度等属性信息，为工程的土方量估算、植被保护规划、水体影响评估等前期工作提供数据支撑，提升工程设计的科学性。

3.2 AI 辅助地质灾害痕迹识别

3.2.1 目的意义

在勘察的工程地质调绘阶段，传统地质灾害痕迹识别主要依赖人工实地考察与经验判断，效率低下、主观性强、难以发现隐性灾害痕迹等。引入 AI 技术的地质灾害痕迹识别旨在高效、精准地检测和分析地质灾害迹象。其核心价值体现在：可提升灾害识别效率；可自主学习复杂地质特征，提高识别准确率，增强识别精准度与全面性，降低漏判风险；可通过分析灾害痕迹的时空分布规律，获取地质灾害机理研究基础数据，助力灾害机理研究。

3.2.2 应用准备

软件工具：开源机器学习 AI 开发平台，用于搭建深度学习模型；专业地质分析软件，其与 AI 插件结合，增强三维地质建模能力；云端平台，提供强大算力与丰富的行业模型库。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，显存性能应支持高分辨率影像和复杂模型的运算；2TB 非易失性固态硬盘（NVMe SSD），用于快速读写高频访问的训练数据和模型文件；8TB 机械硬盘（Hard Disk Drive, HDD），用于长期存储的历史数据归档。

数据准备：收集项目区域及周边历史地质灾害数据，整合多源遥感影像（含光学、雷达影像）、地形地貌数据和实地调查记录；分类标注，构建包含足够数量影像样本、且具数据多样性及代表性的精细化数据集。

3.2.3 应用流程

地质灾害痕迹识别的 AI 技术应用流程如下：

（1）数据预处理与增强阶段：校正遥感影像，去除大气干扰和地形阴影影响；采用数据增强技术，扩充训练数据集，提高模型泛化能力；自适应增强遥感影像，突出关键灾害特征。

（2）模型训练与优化阶段：定制化开发基于语义分割与目标检测的深度学习模型，融合多尺度特征机制，提升不同尺度地质灾害痕迹的识别能力。提升模型对不同尺度灾害痕迹的识别能力；利用 Adam（Adaptive Moment Estimation，自适应矩估计）算法结合退火学习率策略，动态调整学习率，加速模型收敛、提升训练稳定性、并作对比验证，确定最佳模型架构和参数配置。

（3）痕迹识别与风险评估阶段：模型录入预处理后的遥感影像，自动提取地质灾害痕迹特征并进行精准识别定位，同步输出灾害关键信息；融合地形地貌、岩土体性质等多源数据，构建地质灾害风险评估模型，对识别出的灾害痕迹划分风险等级，生成地质灾害风险评估报告。

（4）结果验证与持续优化阶段：AI 识别结果与实地勘察数据对比验证，根据验证结果，针对性地调整模型参数、优化算法或补充训练样本，持续改进和优化模型，不断提升地质灾害痕迹识别的准确性和可靠性。

3.2.4 预期成果

地质灾害隐患分布图：以高清影像为底图，以不同颜色、图例、预警标识精准标注灾害隐患的位置、范围和边界，直观呈现项目区地质灾害整体态势，提前为勘察工作设定重点勘查范围，助力灾害预防与工程设计的合理规避

灾害风险评估报告：详细阐述各灾害隐患点的形成机制、发展趋势和潜在威胁，结合工程设计要求，提出针对性的防治措施和建议。

三维地质灾害模拟模型：基于识别结果和多源数据融合，构建项目区三维地质灾害模拟模型，通过可视化技术直观展示灾害体与周边地质环境的时空关系，为地质灾害机理研究和防治方案制定提供有力工具，提升对地质灾害发生、发展过程的理解和预测能力。

3.3 测绘数据处理

3.3.1 目的意义

传统测绘数据处理，人工分类和特征提取耗时费力且容易出现主观误差和遗漏。引入 AI 技术的测绘数据处理旨在高效、精准地处理和分析测绘数据。其核心价值体现在：能快速处理大规模测绘数据，提升数据处理效率；可自动学习数据的复杂特征，精准分类，增强数据处理精度；可实现自动化处理，减少人工干预，降低人为误差，提高数据处理的一致性和稳定性，使测绘数据处理更加标准化和规范化。AI 赋能的测绘数据不仅是静态成果，更是智能建造中施工协同、风险预警、运维决策的动态数据基座。

3.3.2 应用准备

软件工具：适合点云数据处理的深度学习框架，利用其强大的计算能力和丰富的模型库进行模型的构建和训练；点云数据处理软件，用于数据预处理和可视化分析。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，需支持高效浮点数计算，数据吞吐量高，能保障大规模数据集的高效处理，算力强劲，能满足复杂运算场景的持续负载需求；大容量高速 SSD，用于快速读写海量点云数据。

数据准备：基于源自项目或公开数据源的已分类点云数据，建立训练数据集，除噪、下采样等预处理，数据标注，明确每类点云的特征和属性，为模型训练提供准确的监督信息。

3.3.3 应用流程

测绘数据处理的 AI 技术应用流程如下：

- (1) 数据预处理阶段：去除数据的异常值，去噪、滤波等；点云数据分块。
- (2) 特征提取与模型训练阶段：将预处理后的点云数据多维特征输入模型，采用适合点云数据的深度学习架构进行训练；添加注意力机制等模块，增强模型对关键特征的捕捉能力；基于标注后的训练数据集，采用 Adam 优化算法训练模型，动态调整学习率，反复迭代训练，提升模型在验证集上的准确率。
- (3) 点云数据分类与地形特征提取阶段：模型录入待处理点云数据，自动分类识别并输出结果；同时提取地形特征，生成地形特征图。
- (4) 结果验证与优化阶段：对比实地调查结果、已知地形地貌数据等，验证 AI 处理结果；根据验证误差，分析模型在特定地形特征或点云分类上的薄弱环节，针对性地调整模型参数、优化算法或补充训练样本，优化模型性能。

3.3.4 预期成果

高精度点云分类结果：点云数据分类结果图，可清晰区分地面、植被、建筑物等不同类型的点云，为地形建模和工程分析等提供准确的数据基础。

地形特征图：可直观展示项目区的地形地貌特征，如山脊线、山谷线、坡度变化等，为工程设计中的地形适应性分析、土方量计算等提供关键依据。

数字高程模型（DEM）：基于分类后的点云数据生成的 DEM，是水文分析、地质建模等工作的基础数据，噪声和误差的影响较小，可更加准确地反映实际地形，提升岩土勘察项目的精度和可靠性。

3.4 物探数据处理

3.4.1 目的意义

传统物探数据处理方法效率低下、主观性强、一致性差、可扩展性差、精度与可靠度难以保证。引入 AI 技术的物探数据处理旨在高效、精准地分析、识别物探数据。其核心价值体现在：能快速处理大规模物探数据，提高效率；可自动学习信号的特征，提高数据处理和特征提取的准确性，构建更准确的地质模型；在地形地貌环境复杂的区域，可规避人工作业潜在的安全风险；可实现自动化与智能化处理，减少人工干预，降低人为误差，提高数据处理的一致性和稳定性，使物探更加精细化、标准化和规范化。

3.4.2 应用准备

软件工具：适合物探数据处理的深度学习框架，利用其强大的计算能力和丰富的模型库进行模型的构建和训练；物探数据分析软件，用于数据预处理和可视化分析。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，显存性能应满足大规模物探数据处理需求；高速 SSD，用于快速读写海量物探数据。

数据准备：基于项目或公开数据源的物探数据，建立训练数据集，除噪、下采样等预处理，数据标注，明确特征和属性，为模型训练提供准确的监督信息。

3.4.3 应用流程

物探数据处理的 AI 技术应用流程如下：

（1）数据预处理阶段：去除数据的异常值，去噪、滤波等；物探数据分块。

（2）特征提取与模型训练阶段：模型录入预处理后物探数据的几何特征、强度特征等多维特征信息，构建深度学习模型架构；添加注意力机制等模块，增强模型对关键特征的捕捉能力；基于标注后的训练数据集，采用 Adam 优化算法训练模型，动态调整学习率，反复迭代训练，提升模型在验证集上的准确率。

（3）物探数据分类与地形特征提取阶段：模型自动分类识别波形特征，提取地层界面、断层等地质特征，生成地质特征图。

（4）结果验证与优化阶段：对比实地调查结果、已知地质数据等，验证 AI 处理结果；根据验证误差，分析模型在特定地质特征或地震波分类上的薄弱环节，针对性地调整模型参数、优化算法或补充训练样本，优化模型性能。

3.4.4 预期成果

高精度物探数据：物探数据高精度分类结果：精准分类波的特征，提升数据解译质量。

地质特征图：可直观展示项目区的地质特征，如地层界面、断层分布等，为工程设计中的地质适应性分析提供关键依据。

地质模型：基于分类后的物探数据生成地质模型，可更加准确地反映实际地质情况，是资源预测、工程设计等工作的基础数据，噪声和误差的影响较小，可提升整个地震勘探项目的精度和可靠性。

市政地下设施智能勘探：基于高精度物探数据、测绘数据，通过 AI 智能算法，精准识别市政地下设施空间分布的关键信息，集合 BIM 和 GIS 数据，建立管线三维建模，并进行碰撞检测应用，为构建城市地下数字孪生模型，为智能建造提供基础支撑。

3.5 AI 辅助钻孔布局优化

3.5.1 目的意义

在传统岩土勘察中，钻孔布置高度依赖人工经验，效率低且易受主观因素影响。引入 AI 技术的钻孔布置优化旨在高效、精准地规划钻孔位置。其核心价值体现在：能快速处理大规模地质数据，提升布置效率，加速勘察流程；可自动识别地质数据中的复杂特征和微弱异常，预测最佳钻孔位置，增强布置合理性；可识别潜在地质风险区域，提前规避不良地质条件，优化钻孔布置，降低工程风险和成本。

3.5.2 应用准备

软件工具：适合地质数据分析的深度学习框架，利用其强大的计算能力和丰富的模型库进行模型的构建和训练；地质建模软件，用于数据预处理和可视化分析。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，显存性能应支撑大规模地质数据高效运算；高速 SSD，用于快速读写海量地质数据。

数据准备：建立包括钻孔数据、地质构造图等地质数据的训练数据集，除噪、下采样等预处理，数据标注，明确特征和属性，为模型训练提供准确的监督信息。

3.5.3 应用流程

钻孔布置优化 AI 技术的应用流程如下：

- （1）数据预处理阶段：去除原始地质数据的异常值，去噪、滤波等；地质数据分块。
- （2）特征提取与模型训练阶段：模型录入预处理后地质数据的几何特征、强度特征等多维特征信息，构建深度学习模型架构；添加注意力机制等模块，增强模型对关键特征的捕捉能力；基于标注后的训练数据集，采用 Adam 优化算法训练模型，动态调整学习率，反复迭代训练，提升模型在验证集上的准确率。
- （3）钻孔位置预测与布置优化阶段：模型录入待处理地质数据，自动分析，预测最佳钻孔位置和数量，输出钻孔布置方案；同时，利用模型识别潜在地质风险区域，优化钻孔布置，生成优化后的钻孔布置图。
- （4）结果验证与优化阶段：对比实地调查结果、已知地质数据等，验证 AI 生成的钻孔布置方案；根据验证误差，分析模型在特定地质条件下的薄弱环节，针对性地调整模型参数、优化算法或补充训练样本，优化模型性能。

3.5.4 预期成果

钻孔布置方案：基于对地质数据进行精准分析，生成优化的钻孔布置方案，提高钻孔的代表性，为岩土勘察提供准确的数据基础。

工程地质风险分析评价：能直观展示项目区的潜在地质风险，为工程设计中的风险规避提供关键依据。

勘察流程：基于优化后的钻孔布置方案，可减少不必要的钻孔作业，能提供更高效的勘察工作流程，提高勘察效率，降低工程成本。

3.6 AI 辅助岩芯分析

3.6.1 目的意义

传统岩芯分析中，岩芯图像分析和数据解读主要依赖人工观察与经验判断，耗时费力、主观性强、精度有限。引入 AI 技术到岩芯分析领域，核心价值主要体现在：能快速处理岩芯图像和数据，提升分析效率，加快勘察进度；可自动学习岩芯结构特征，精细识别岩土类型、矿物组成以及孔隙结构等特征，提高分析精度；可实现智能化识别与预测，减少人工主观因素干扰，提升分析结果的可靠性和一致性，实现岩芯分析的标准化和智能化，助力岩土工程精准决策。

3.6.2 应用准备

软件工具：适合图像识别和数据处理的深度学习框架，利用其强大的计算能力和丰富的模型库进行模型的构建和训练；岩芯分析软件，用于岩芯数据的可视化和综合分析。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，需支持高效浮点数计算，能满足岩芯图像处理和模型训练的高计算需求；高速 SSD，以保障数据的快速读写和模型的高效运行。

数据准备：基于源自项目或公开数据源的岩芯图像和相关数据，建立训练数据集，图像增强、归一化等预处理，提高图像质量和数据一致性；数据标注，明确岩土类型、矿物组成等关键信息，为模型训练提供准确的监督信息。

3.6.3 应用流程

岩芯分析 AI 技术的应用流程如下：

- (1) 数据预处理阶段：岩芯图像去噪、增强等预处理；图像分割。
- (2) 特征提取与模型训练阶段：模型录入预处理后的岩芯图像的多尺度特征信息，构建适合岩芯分析的深度学习模型架构；添加注意力机制等模块，增强模型对关键特征的捕捉能力；基于标注后的训练数据集，采用 Adam 优化算法训练模型，动态调整学习率，反复迭代训练，提升模型在验证集上的准确率。
- (3) 岩芯特征识别与分析阶段：模型录入待分析的岩芯图像，自动分析，识别岩土类型、矿物组成、孔隙结构等特征，输出分析结果；同时，挖掘岩芯数据中的潜在信息，建立岩土性质与工程参数间的关系模型。
- (4) 结果验证与优化阶段：对比 AI 分析结果与传统方法结果，验证准确率、召回率、F1 分数等指标，评估模型性能。根据验证结果，调整模型参数、优化算法或补充训练样本，改进模型的性能和泛化能力，提升 AI 分析结果的准确性和可靠性。

3.6.4 预期成果

岩芯分析报告：基于对岩芯图像和数据的精准分析，生成包含岩土类型、矿物组成、孔隙度等详细关键信息的岩芯分析报告，为工程设计和资源评估提供准确的数据支持。

岩石性质预测模型：通过挖掘岩芯数据的潜在信息，建立岩石性质与工程参数间的关系模型，实现对岩土工程参数的快速预测，为岩土工程的设计和施工提供科学依据。

地质结构可视化：基于 AI 分析结果，生成三维地质结构模型，直观展示地下地质结构和岩芯特征的空间分布，为工程规划和资源开发提供重要的可视化工具，提升决策的科学性和准确性。

3.7 原位测试

3.7.1 目的意义

传统原位测试数据分析高度依赖人工，实时性差且易受主观因素干扰。引入 AI 技术，其核心价值主要体现在：可在测试过程中同步处理数据，实现数据的实时处理与分析，有效提升原位测试的工作效率；能自动识别数据异常值并修正，同时精准预测测试结果，提高数据精准度与可靠性；可减少人工干预，降低人为因素误差，使原位测试更加标准化，推动测试流程自动化与智能化，提升岩土勘察的质量控制水平。

3.7.2 应用准备

软件工具：适合时间序列数据分析的深度学习框架，利用其强大的计算能力和丰富的模型库进行模型的构建和训练；岩土工程软件，用于测试数据的可视化和综合分析。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，显存应满足原位测试数据实时处理和模型推理的高计算需求；高速 SSD，以保障数据的快速读写和模型的高效运行。

数据准备：基于源自项目或公开岩土工程数据库的原位测试数据，建立训练数据集；数据清洗、归一化等预处理，提高数据质量和数据一致性；数据标注，明确测试结果、异常值等关键信息，为模型训练提供准确的监督信息。

3.7.3 应用流程

原位测试中 AI 技术应用流程如下：

(1) 数据采集与预处理阶段：在原位测试现场，利用专业测试仪器现场实时采集测试数据，并传输至数据处理系统；并对数据进行去噪、归一化等预处理操作，提高数据质量。

(2) 特征提取与模型训练阶段：模型录入测试数据的多尺度特征信息，采用长短期记忆网络（LSTM）等深度学习模型架构，构建适合原位测试数据分析的深度学习模型架构；添加注意力机制等模块，增强模型对关键特征的捕捉能力；基于标注后的训练数据集，采用 Adam 优化算法训练模型，动态调整学习率，反复迭代训练，提升模型在验证集上的准确率。

(3) 实时数据分析与结果预测阶段：模型录入实时采集的测试数据，自动数据分析，预测最终测试结果，并识别数据中的异常值。同时，将预测结果和异常检测信息实时反馈至现场测试人员，及时调整测试方案或处理异常情况。

(4) 自动化报告生成与结果验证阶段：根据 AI 分析结果，自动生成包含测试数据、预测结果、异常检测信息等内容的原位测试报告，对比 AI 生成的报告与传统方法生成的报告，验证准确率、召回率等指标，评估模型的性能。根据验证结果，针对性地调整模型参数、

优化算法或补充训练样本，改进模型的性能和泛化能力，提升 AI 分析结果的准确性和可靠性。

3.7.4 预期成果

实时数据分析与反馈：可对原位测试数据进行实时处理和分析，预测最终测试结果，并识别数据中的异常值，为现场测试人员提供及时的反馈，提高测试效率和数据质量。

测试报告：自动生成详细的高精度原位测试报告，包含测试数据、预测结果、异常检测信息等内容，减少人工撰写报告的工作量，提高报告的准确性和一致性。

岩土工程参数：基于 AI 分析结果，为工程设计提供更精准的岩土参数，如承载力、变形模量等，优化工程设计，降低工程风险，提高工程质量。

3.8 监测预测

3.8.1 目的意义

传统岩土工程监测预测，数据分析与解读主要依赖人工，实时性差、主观性强、易遗漏关键信息等。监测领域引入 AI 技术，其核心价值主要体现在：可在数据采集的同时处理数据，实现数据的实时处理与分析，有效提升监测的效率，及时识别潜在工程风险；能自动识别异常监测数据并及时发出预警，提高异常情况监测的准确性和及时性，更有力的保障工程安全；可基于历史数据预测未来力及变形的变化趋势，增强趋势预测的精准度和预防措施的科学性；可减少人工干预，降低人为因素误差，使监测更加标准化，推动监测流程自动化与智能化，提升岩土勘察的质量控制水平。

3.8.2 应用准备

软件工具：适合时间序列数据分析的深度学习框架，利用其强大的计算能力和丰富的模型库进行模型的构建和训练；岩土工程监测软件，用于监测数据的可视化和综合分析。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，需支持高效浮点数计算，能保障大规模数据集的高效处理，以满足监测数据实时处理和模型推理的高计算需求；高速 SSD，以保障数据的快速读写和模型的高效运行。

数据准备：基于源自项目或公开岩土工程数据库的监测数据，建立训练数据集；数据清洗、归一化等预处理，提高数据质量和数据一致性；数据标注，明确正常和异常状态等关键信息，为模型训练提供准确的监督信息。

3.8.3 应用流程

监测 AI 技术应用流程如下：

(1) 数据采集与预处理阶段：通过专业传感器实时采集数据（如位移、应力、地下水位等），并传输至数据处理系统。对数据进行去噪、归一化等预处理，提高数据质量。

(2) 特征提取与模型训练阶段：模型录入测试数据的多尺度特征信息，采用长短期记忆网络（LSTM）等深度学习模型架构，构建适合监测数据分析的深度学习模型架构；添加注意力机制等模块，增强模型对关键特征的捕捉能力；基于标注后的训练数据集，采用 Adam 优化算法训练模型，动态调整学习率，反复迭代训练，提升模型在验证集上的准确率。

(3) 实时数据分析与异常检测阶段：模型录入实时采集的监测数据，自动数据分析，提取关键信息，并识别数据中的异常值。同时，将分析结果和异常检测信息实时反馈至现场监测人员，及时采取措施。

(4) 趋势预测与自动化报告生成阶段：基于历史数据和实时分析结果，预测未来力及变形的变化趋势，自动生成包含监测数据、异常检测信息、趋势预测等内容的详细监测报告。对比 AI 生成的报告与传统方法生成的报告，验证准确率、召回率等指标，评估模型的性能。根据验证结果，针对性地调整模型参数、优化算法或补充训练样本，改进模型的性能和泛化能力，提升 AI 分析结果的准确性和可靠性。

3.8.4 预期成果

实时监测与预警系统：可对现场监测数据进行实时处理和分析，及时预警，提醒现场人员注意潜在工程风险，提高工程安全性。

高精度趋势预测：基于 AI 的时间序列分析，准确预测未来的变形或应力趋势，为工程设计和施工提供前瞻性指导，降低工程风险。

智能决策支持平台：将 AI 分析结果与岩土工程知识相结合，为工程师提供智能决策支持，优化工程设计和施工方案，提高工程质量。

自动化监测报告：自动生成详细的监测报告，减少人工撰写报告的工作量，提高报告的准确性和及时性，确保信息的有效传递。

3.9 现场记录与资料整理

3.9.1 目的意义

传统岩土工程现场记录与资料整理，信息整理和报告生成主要依赖人工，存在效率低下、易遗漏关键信息、难以快速提取和整合大量数据等。引入 AI 技术的核心价值主要体现在：语音转文字功能可将口头记录实时转化为文字，图像识别技术自动分类整理现场照片和视频，自然语言生成技术自动生成文档，提升记录与整理效率；数据挖掘技术能从海量数据中快速筛选关键信息，提升信息提取效率和准确性，增强信息提取与整合能力，助力工程师全面了解工程情况；AI 技术将现场记录与资料整理转化为数字化流程，便于存储、查询和共享，为质量保证和成本控制提供全面支持，推动数字化转型与智能决策。

3.9.2 应用准备

软件工具：利用适合语音识别、图像识别和自然语言处理的深度学习框架强大的计算能力和丰富的模型库进行模型的构建和训练；岩土工程软件，用于资料可视化和综合分析。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，需支持高效浮点数计算，能保障大规模数据集的高效处理，以满足数据处理和模型推理的高计算需求；高速 SSD，以保障数据的快速读写和模型的高效运行。

数据准备：基于源自项目或公开岩土工程数据库的现场记录数据，建立训练数据集；数据清洗、归一化等预处理，提高数据质量和数据一致性；数据标注，明确主要信息和文档结构等关键信息，为模型训练提供准确的监督信息。

3.9.3 应用流程

现场记录与资料整理 AI 技术应用流程如下：

(1) 数据采集与预处理阶段：通过专业录音设备、相机和传感器采集勘察现场数据，传输至数据处理系统。对数据进行去噪、归一化等预处理，以提高数据质量。

(2) 特征提取与模型训练阶段：模型录入数据的多尺度特征信息，采用卷积神经网络（CNN）等深度学习模型架构，构建适合图像识别和语音识别的模型；添加注意力机制等模块，增强模型对关键特征的捕捉能力；基于标注后的训练数据集，采用 Adam 优化算法训练模型，动态调整学习率，反复迭代训练，提升模型在验证集上的准确率。

(3) 智能记录与资料整理阶段：模型录入实时采集的勘察数据，自动数据分析，提取关键信息，自动生成勘察报告。同时，将分析结果和勘察报告实时反馈至现场勘察人员，及时调整勘察方案或处理异常情况。

(4) 结果验证与优化阶段：对比 AI 生成的报告与传统方法生成的报告，验证准确率、召回率等指标，评估模型的性能。根据验证结果，针对性地调整模型参数、优化算法或补充训练样本，改进模型的性能和泛化能力，提升 AI 分析结果的准确性和可靠性。

3.9.4 预期成果

高效记录与整理：AI 语音转文字和图像识别技术可实时转化和分类现场数据，自然语言生成技术能自动生成勘察报告，能显著提升记录与整理效率。

精准信息提取：AI 数据挖掘技术可从海量资料中快速筛选关键信息，能有效提高提取精度，助力工程师精准把握工程状况。

智能决策支持：AI 将现场记录与资料整理转化为数字化流程，便于存储、查询和共享，为工程质量保证和成本控制提供全面支持。

4 设计阶段

4.1 AI 辅助规划设计

4.1.1 目的意义

传统详细规划方案设计多依赖经验判断，常面临数据滞后、分析片面等问题，无法开展多场景模拟，判断最优规划效益。AI 辅助规划设计通过整合地理信息系统（GIS）、遥感数据、人口规模等宏观数据，利用合理训练的多维度规划模型，实现从单地块设计到区域协同发展的系统性优化，打破“局部最优”陷阱，模拟不同规划策略对交通流量、公共服务覆盖、生态承载力的长期影响，为城市空间结构优化、基础设施布局、资源要素配置提供科学依据。

4.1.2 应用准备

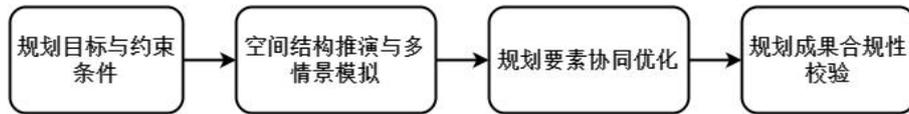
软件工具：基于规划深度学习训练的大模型云端软件平台；具备空间分析引擎的 AI 系统。

硬件配置：采用成熟软件由云端平台完成，其内存应满足大量影像数据与模型文件的存储需求。

数据准备：城市总体规划文本和数据、土地利用现状图、交通网络拓扑、公共服务设施（学校/医院/文化场馆）分布及容量、生态保护红线与自然资源禀赋、卫星影像、手机信令等数据等。

4.1.3 应用流程

AI 辅助详细规划设计中，主要通过 AI 技术进行快速推演和情景模拟优化，具体流程如下：



(1) 规划目标与约束条件设定：明确区域发展定位（如科技创新园区、生态宜居新城）、核心指标（人口规模、人均绿地规模、路网密度等）及总规明确的底线约束条件（如城镇开发边界、城市视线等），将目标转化为 AI 参数，并通过权重赋值平衡多重目标。

(2) 空间结构推演与多情景模拟：AI 平台基于基础数据生成初始空间结构方案和用地布局方案，包括组团划分（如居住组团/产业组团/混合功能区）、骨干路网走向、绿地开敞空间、公共服务等级体系等。通过改变关键变量生成对比情景，计算各情景的综合效益评分（含经济、社会、生态维度）。

(3) 规划要素协同优化：基于综合效益评分，从多情景中选出优选方案后，进行要素深化，AI 校验各类设施布局的合理性。如在交通规划中，模拟不同路网密度对早晚高峰拥堵指数的影响，优化支路网连通性；在公共服务设施规划中，计算教育资源的空间可达性，调整学校布点以缩小服务盲区；在生态规划中，通过水文模型模拟不同绿地布局对雨水调蓄的作用，优化海绵城市设施选址。

(4) 规划成果合规性校验：将 AI 生成的详细规划方案与上位总体规划和行业标准进行比对，针对矛盾点通过人工干预调整参数重新推演。最终输出包含三维空间形态导引、实施时序建议的规划文本。

4.1.4 预期成果

多维度规划方案集：形成覆盖不同发展情景的空间规划方案，包含土地利用规划图、交通系统规划图、公共服务设施布局图等法定成果。

规划方案文本：形成包括空间布局规划、专项规划等内容的规划方案文本。

4.2 AI 性能化分析

4.2.1 目的意义

在传统建筑方案设计中，性能分析（如日照、风环境、人流疏散等）通常依赖独立专业软件，需反复导出模型、手动设置参数，耗时长达数小时至数天，且与设计工具割裂，导致分析滞后、决策效率低下。AI 性能化分析通过深度集成多物理场仿真算法与机器学习模型，实现设计-分析-优化的实时闭环，其核心价值在于：提升设计合理性：在方案推敲阶段即时量化建筑性能（如日照强度、室外风速&风向、疏散时间、视野开敞度和室内采光潜力分析等），避免后期返工；赋能科学决策：基于数据驱动优化总图布局、形体朝向、空间组织，提升绿色建筑评级与用户体验；降本增效：将分析周期从传统流程的“小时级”压缩至“分钟级”，人力成本降低。

4.2.2 应用准备

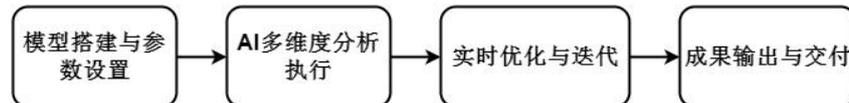
软件工具：采购市面成熟软件实现；

硬件配置：AI 性能分析采用成熟软件由云端平台完成，用户只需配备基础配置的计算机，保障实时仿真计算能力即可满足；

数据准备：平台搭建方案模型/体量模型、CAD 总平面图。

4.2.3 应用流程

AI 性能化分析主要流程如下：



（1）模型搭建与参数设置

1) 模型创建或导入：在平台内搭建 BIM 模型或将外部模型文件导入；

2) 设置分析参数：设置分析位置（平面、立面）、日照等参数；设置项目所在地，匹配本地气象数据，为 AI 分析做好数据准备。

（2）AI 多维度分析执行

1) 日照分析：基于位置智能匹配生成立面或平面日照等时线热力图，标识遮挡敏感区域（精度对比二维计算软件误差，支持导出至二维计算软件）；

2) 风环境分析：调用 AI 流体模型模拟冬夏主导风向下的风速场，可视化通风廊道；

3) 人流疏散仿真：设置疏散位置，动态模拟紧急疏散路径与瓶颈点，输出疏散时间与密度热力图。

（3）实时优化与迭代

根据分析结果，在平台中直接调整建筑旋转角度、层高或间距等数据，平台即刻重新计算验证新方案性能；

（4）成果输出与交付

可将自动生成符合规划要求的日照分析文件，满足二维计算软件格式要求；同时可以导出分析后的方案模型至三维设计软件，供后续设计使用。

4.2.4 预期成果

性能分析报告：导出 AI 优化后的各类性能分析报告，用作支持建筑方案的确定和比选。

4.3 AI 总平排布

4.3.1 目的意义

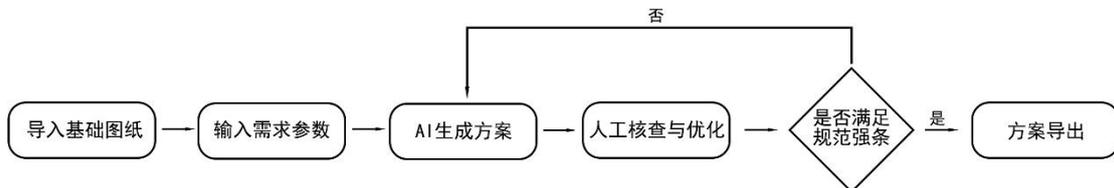
在传统的总平设计流程中，设计师往往需要花费大量时间处理基础性技术工作，如日照间距计算、规划指标核对和建筑布局优化等。这些工作重复性高、易出错，常导致方案频繁返工。AI 算法的引入有效缓解了这一问题。它可在数分钟内生成多个合规方案，自动规避常见设计错误，同时结合历史项目数据，提供能耗模拟、空间利用率、投资回报率等多维评估指标，显著提升方案的可行性与经济性。通过更全面的数据支持和高效的方案迭代能力，AI 让设计决策建立在更科学、精准的基础之上，大幅提升整体工作效率与成果质量。

4.3.2 应用准备

软件工具：当前建筑行业已有多款成熟的 AI 总平排布工具可直接应用，具备智能强排、规范自动校验、经济指标优化、能耗模拟等核心功能。用户仅需输入用地红线、容积率等基础参数，即可快速生成多个合规且具备经济性的总平方案。

硬件准备：AI 总平排布的任务均在云端平台完成，用户只需配备基础配置的计算机即可顺畅使用。部分 AI 总平排布工具以软件插件形式提供，需要调用图形化界面，建议使用具备较强图形处理能力的电脑。

4.3.3 应用流程



AI 总平排布以设计指标为输入基础，结合 AI 方案生成与人工优化，构建高效、可控的整体设计流程。其主要包括以下三个环节：

（1）参数输入

输入用地红线坐标、容积率上限、建筑用途类型、地方日照规范等核心指标，定义设计基础条件。

（2）方案生成与迭代

AI 基于输入参数生成多个总平布局方案，同步执行规范校验、经济性优化及能耗模拟，输出最优总平方案。

（3）人工核查与优化

设计师对 AI 方案进行合规性复核，结合场地文脉、流线组织等机器难以量化的维度进行深化调整，最终锁定实施方案。

4.3.4 预期成效

提升设计效率

AI 可快速生成多组符合基本要求的总平方案，无需设计师手动排布，大幅减轻前期建模与比选负担，为创意表达和策略优化留出更多时间。

提升方案合理性

通过分析历史项目数据，AI 可对空间利用、日照通风、经济性等关键指标行辅助评估，为设计方案提供更加科学、直观的决策依据，增强成果的专业性与说服力。

规范自动核查

AI 通过检索规范知识库，能够在排布过程中自动检查如日照间距、消防通道等关键指标，有效减少基础性错误，降低返工风险。

设计经验数字化

AI 通过分析设计师的项目实践，提取典型的排布逻辑和决策模式，学习设计师的设计经验，从而实现设计知识的数字化转换，并支持跨项目的快速调用和策略延续，显著提升了团队整体效率。

4.4 AI 建筑图像生成

4.4.1 目的意义

AI 建筑图像生成技术正逐步融入智能建造设计流程，在效率、成本、创意和知识管理等方面带来积极变革。它能在数分钟内生成多风格意向图，大幅压缩设计迭代周期，帮助团队快速探索创意方案、优化前期决策。相比传统手工建模和渲染方式，AI 不仅显著降低效果图制作成本，还通过图像提示词与语义控制实现便捷的局部修改与多轮调整，提升设计灵活性。在效果呈现上，AI 支持快速生成多种视觉风格，满足不同场景与客户需求。同时，模型可学习设计师的审美偏好，将经验转化为可复用的设计知识，为持续创作提供支撑，构建高效、灵活、可演进的设计体系。

AI 图像生成技术的应用可根据实际需求与资源条件，分为两种准备路径：一是直接使用成熟的生图软件，二是自主搭建本地平台，前者操作便捷，后者灵活可控，适用于不同的应用场景。

4.4.2. 路径一：采用成熟生图软件

当前市面上已有多款较为成熟的 AI 图像生成工具，具备稳定性强、操作简单、功能完备等特点，支持文本生成图像、图像编辑、风格转换等功能。此类工具适合对出图效率要求较高、缺乏本地部署条件或对定制化要求不高的团队。用户可通过简单的提示词输入快速生成方案图，用于前期创意探索和表达。

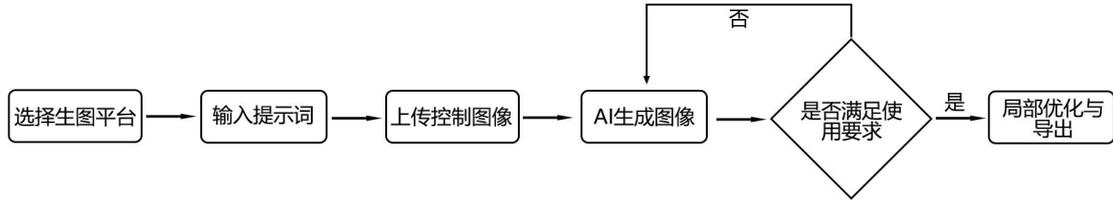
4.4.2.1 应用准备

软件工具：当前市面上的 AI 图像生成平台的侧重方向各异，所用的基础生成模型（即 Checkpoint 大模型）在效果上也存在差异。为提升生图效率，可多平台协同使用，从中优选生成结果。相较而言，国产平台在操作便捷性、低秩适应（Low-Rank Adaptation，简称 LoRA）模型的丰富性与更新速度方面具备一定优势。

硬件准备：AI 图像生成过程在平台端完成，用户本地仅需具备基础配置的电脑即可使用。

数据准备：部分平台支持 LoRA 模型训练功能。如现有模型无法满足需求，可通过准备特定风格或内容的图像数据集，自行训练个性化 LoRA 模型，以提升生成效果的匹配度。

4.4.2.2 应用流程



4.4.3. 路径二：搭建本地生图平台

4.4.3.1 应用准备

软件工具：部署 AI 生图平台需完成深度学习框架与软件系统的配置。首先，选用支持图像生成的框架作为基础，集成图像生成、模型管理等功能模块。其次，搭建包含后端服务与前端交互界面的软件环境，支持模型加载、参数调节等，满足图像生成过程中的与可视化操作需求。

硬件准备：部署 AI 生图平台需配备中高端 GPU、充足内存及高速存储服务器，以全面支持模型推理、图像生成，以及 Checkpoint 和 LoRA 模型的本地训练。可选择建设本地机房，或基于具备弹性算力与预配置环境的云平台进行部署，以提升资源利用率与系统部署效率。

数据准备：部署平台需使用自有的 Checkpoint 大模型与 LoRA 模型，以满足特定领域需求，因此需准备相应的数据集。Checkpoint 大模型训练依赖大规模、覆盖多样场景的建筑图像数据集，并辅以精准标注；LoRA 模型适用于小规模、风格统一的图像数据集，同样需具备明确的标签信息。

数据准备：建筑领域存在大量专业术语，通用模型难以准确识别。为此需建立提示词工程，在训练阶段通过术语标注与样本绑定，使模型逐步掌握建筑语义；在使用阶段为设计师提供提示词模板与分层组合方法，帮助其精准表达设计意图，从而提升生成结果的专业性与可控性。

4.4.3.2 应用流程

AI 建筑图像生成技术采用“生成—优化”双阶段流程，借助智能工具提升设计效率与表达准确性。

(1) 图像生成阶段

在图像生成阶段，设计师通过自然语言或参考图像输入设计意图，明确建筑元素、风格特征和场景氛围。平台可调用 LoRA 模型强化风格表达，结合 ControlNet 插件对已有体量模型进行空间结构控制，使生成结果更贴合实际需求。

(2) 图像优化阶段

图像优化，设计师可通过智能选区和语言指令完成指定区域的内容修改。平台可调用 LoRA 模型保持风格统一，并依托 ControlNet 确保构图与尺度的准确性。流程支持多轮迭代，优化细节的同时保障整体协调。

4.4.4 预期成果

在建筑设计全周期中，AI 建筑图像生成技术展现出了显著的应用价值，其核心成果应用如下：

概念方案快速生成：方案初期基于文本描述快速产出数十种风格化概念图，使设计团队快速完成方案比选。

体量模型方案验证：方案深化阶段依托 AI 建筑图像生成技术，对体块模型进行多材质立面渲染、光影模拟及配景氛围生成，实现方案验证。

高精度建筑效果图生成：效果图制作环节，依托 AI 建筑图像生成技术，将精模图片在 2 分钟内生成写实渲染图，较传统渲染效率大幅提升。

辅助建筑效果图精准优化：AI 图像生成技术可针对局部细节进行定向调整。通过智能选区与语义识别，对效果图中的材质表现、构件比例、环境配景等要素进行精细化修改。

4.5 AI 生成设计方案视频

4.5.1 目的意义

AI 视频生成技术在建筑设计流程中正逐步成为连接设计表达与工程实现的关键环节。其核心价值在于以动态图像形式将建筑设计方案可视化、沉浸化、智能化，为各类项目干系人提供更加直观、可信和高效的设计理解工具。通过将 BIM 模型、建筑图纸、环境参数等输入 AI 视频引擎，系统可自动生成场景漫游、功能演示、构造拆解等多种动态视觉内容，帮助业主、施工方及评审团队更直观地理解设计意图。尤其在大型综合体、医院、学校等复杂空间中，AI 视频能有效梳理空间逻辑与流线布局，提升汇报效率。通过批量生成不同设计版本的视频，项目团队可在内部审查、专家评审及业主决策等环节实现高效选择，提升决策效率。

4.5.2 应用准备

硬件配置：考虑到高清视频生成与实时渲染的性能要求，建议配置高性能计算机。

数据准备：根据视频生成需求，提前准备所需的 BIM 模型。

4.5.3 应用流程

AI 视频生成技术遵循“建模-脚本-渲染-优化”四阶段流程：

（1）建模整合阶段

设计师需将建筑 BIM 模型、地形环境、材质贴图及光照参数进行统一整合。对于早期概念项目，可采用草模+语义补全的方式，快速生成初步动态画面。

（2）脚本编排阶段

设计团队通过视频脚本设计明确展示重点，例如建筑体量变化、空间使用流程、绿色节能策略等。配合 AI 镜头路径规划算法，系统可自动生成视觉焦点切换、室内外过渡、时间变化等场景节奏。

（3）渲染生成阶段

调用实时渲染引擎进行动画生成，支持光照动态模拟、气候变化、材料质感、声画融合等效果。高端项目可使用电影级渲染模式，实现沉浸式演示体验。

（4）反馈优化阶段

根据使用场景（如竞标汇报、公众展示、施工交底等）进行视频内容精剪与风格调整，包括音乐节奏、文本叠加、交互提示等，确保最终成果契合传播目标。

（5）定稿审核

AI生成视频应提交专业人工复核无误后方可定稿使用，对外宣传发布时宜标注视频为AI生成。

4.5.4 预期成效

AI视频生成技术已广泛应用于建筑设计的各阶段，具体成效如下：

项目提案展示：将设计文本、意向图及方案模型整合为沉浸式视频，大幅提升项目投标、专家汇报的表现力和感染力；

设计优化与审查：通过动态场景仿真进行方案对比、功能流程检查、场景评估等，提升评审效率并辅助团队决策；

4.6 AI生成结构方案设计

4.6.1 目的意义

在传统结构设计中，结构方案设计强依赖设计师经验，设计变更重复工作量大，专业间配合繁琐，成为制约整体设计效率提升的主要瓶颈。引入AI技术学习设计师经验，为设计师快速提供结构布置方案，可大幅降低设计师重复工作，推动结构设计智能化升级。结构布置方案AI设计生成系统使得设计师仅需输入建筑平面图、功能分区及基本荷载信息，系统便可自动生成符合设计规范的初步结构布置方案（如柱网布局、梁板布置等），大幅缩短方案构思时间，提升设计效率。在建筑方案发生调整时，系统可自动适配结构布置以匹配新的设计条件，减少重复劳动，显著提高结构与建筑设计之间的协同效率。

4.6.2 应用准备

软件工具：BIM软件、Python数据处理工具库（如pytorch、numpy、opencv、dgl等）、C#图纸信息处理插件。

硬件配置：考虑到结构方案生成过程中涉及多源数据处理、图形可视化与神经网络计算，需配置高性能计算机。

数据准备：收集整理数据基础构建所需项目资料，包括文本、图纸等。

4.6.3 应用流程

结构方案AI设计生成技术在实际应用中可遵循以下步骤实现：

（1）系统化特征表达：通过科学的方法提取和表达建筑及结构的核心特征，确保设计信息能够被精准捕捉，为智能分析和生成提供坚实基础。此步骤可根据实际设计师经验规则进行调整。

（2）数据驱动模型训练：构建全面且具有代表性的数据集，支持人工智能模型的有效训练和不断优化，提升模型的泛化能力和应用效果。此步骤数据集建立规则需与特征表达规则相匹配。

（3）智能自动生成：利用训练成熟的图生图人工智能模型，实现从建筑平面图到结构平面方案的自动生成，既保证设计的合理性和实用性，又大幅提高设计效率，减轻设计师负担。

(4) 多维度科学评价：针对自动生成的结构方案，从空间布局合理性、构件尺寸匹配度、设计规范符合度等多个维度开展科学评价，构建全面、多元的评价体系，确保方案的质量和可实施性。评价体系应根据企业和设计师需求进行适应性调整。

(5) 智能辅助优化决策：通过评价结果，为设计方案的优选和调整提供智能化支持，帮助设计团队做出更合理、更高效的决策，推动结构设计向自动化、智能化发展。

4.6.4 预期成果

在结构设计方案 AI 生成系统的实际应用中，具有以下成果：

结构设计方案自动布置：一条线打通建筑方案到结构设计的完整流程，相比于传统人工，效率提升 10 倍以上。面对建筑方案的频繁调整，系统自动化适配功能有效减少了设计变更时的重复劳动，响应时间由原先的数天缩短至数小时，实现了结构与建筑设计的高效协同，显著缩短了项目整体设计周期。通过丰富的评价指标，自动生成的结构布置方案严格进行指标评价，提高了设计方案的科学性和合理性，提升了工程质量保障水平。

人机协同设计模式：实现设计师与 AI 的高效互动，设计师可根据 AI 生成方案进行快速调整和优化，实现“人机协同”，不仅提高了设计灵活性，也增强了创新能力。

4.7 基于 AI 的结构辅助计算

4.7.1 目的意义

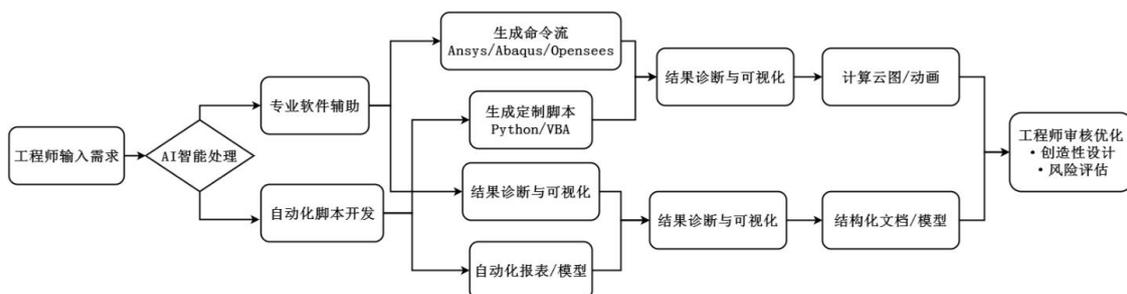
通过 AI 智能生成模型命令、自动建立模型并进行后处理分析，也可利用 AI 定位模型错误，显著降低专业分析软件的门槛并提升效率；同时，利用 AI 编写软件二次开发插件，根据实际需求编写自动化工具，将工程师从重复劳动中解放，使其核心精力聚焦于结构创新设计与安全风险评估。

4.7.2 应用准备

软件工具：需要成熟大模型的 API 访问与集成库、目标结构计算软件的开发接口用于核心功能调用，以及数据转换与处理工具来桥接模型输入输出与工程数据格式。还需轻量级推理引擎或容器化工具进行高效部署。

硬件配置：需要足够内存处理大型工程模型数据流，支持 AI 推理的硬件（如：现代多核 CPU 满足基础需求；若模型较大或需低延迟，配备中高端推理 GPU 及其充足显存将显著提升性能），以及高速存储（SSD）确保软件和大模型加载、数据读写的效率。网络带宽（访问云端 API 时）也需保障。

4.7.3 应用流程



(1) 自然语言描述需求：工程师在交互界面直接输入任务目标，AI 系统通过语义解析自动识别关键参数（如结构类型、分析类型、输出格式），将模糊需求转化为可执行的技术指令，同时自动补充默认设置（如网格精度、荷载组合），形成结构化任务框架。

(2) 专业软件辅助建模与脚本开发：AI 驱动主流有限元平台或设计软件执行自动化操作：针对仿真需求自动生成参数化建模命令流（包括几何清理、接触对定义、荷载步设置）；针对数据统计需求编写定制脚本。

(3) 命令流驱动专业软件计算/脚本自动处理数据：生成的命令流自动提交至求解器执行碰撞仿真、抗震时程分析等计算任务；统计类脚本则直接调用软件 API 批量处理设计数据（如过滤配筋率超限构件）。AI 全程监控计算进程，异常时自动重试或优化参数，确保任务完整执行。

(4) 生成可视化结果：仿真数据被转化为动态过程动画和关键指标曲线；统计类结果生成结构化表格，最终输出带交互控件的 HTML/PDF 报告。

4.7.4 预期成效

更智能、易构建的结构计算模型：AI 可智能解析设计意图（如自然语言描述或草图），自动生成或优化有限元分析软件的关键建模命令流（如网格划分、边界条件、材料本构），显著降低复杂模型（如抗震非线性分析、流固耦合）的构建门槛与错误率。

简化工作流的二次开发插件：基于自然语言指令，AI 可自动生成定制化脚本或插件（如 Python 脚本），分析软件中实现节点内力批量提取、在 BIM 模型参数自动更新、混凝土构件配筋率智能校验等，将繁琐人工操作转化为“一键式”自动化流程。

直观高效的计算分析报告：AI 自动解析海量原始计算结果数据（如应力云图、时程曲线），智能提炼关键结论（如最大位移位置、薄弱层识别），并生成结构化、可视化的图文报告（含安全评估摘要），替代人工编制，大幅提升结果解读效率与报告质量。

数据驱动的设计优化建议：AI 通过深度学习历史成功案例与规范条文，在计算完成后自动对比当前设计参数与性能目标，提出针对性优化方向（如构件尺寸调整建议、材料用量节省方案），辅助工程师进行快速迭代与决策。

4.8 建筑末端 AI 排布

4.8.1 目的意义

建筑末端排布如设备排布、车位排布、管线排布等，通常依赖设计师耗费大量精力尝试与调整。此类问题本质为数学最优解问题，当前常用算法启发式算法优化效果差，深度学习算法依赖优质数据集，均无法为设计师提供较优解。强化学习算法可在不需数据集的情况下，实现更优排布目标。

建筑末端 AI 排布方法强化学习算法为基础。基于迁移学习、课程学习等训练方法，可针对特定目标得到 AI 智能体，进而避免每次任务中都需要大量计算求解的情况。借助这一类智能体，在以往需要花费几个小时甚至几天的工作，都能在几分钟内完成。简化设计师工作量，解放重复性设计工作，同时提高建筑的使用质量和低碳指标。

4.8.2 应用准备

软件工具：BIM 软件、Python 数据处理工具库（如 pytorch、numpy、opencv 等）、云端服务或本地计算单元。

硬件配置：考虑到建筑末端 AI 排布算法训练过程涉及较多数据计算需求，建议根据实际应用配置高性能计算机。

数据准备：收集整理数据基构建所需项目资料，包括文本、图纸等

4.8.3 应用流程

（1）建筑末端 AI 排布技术可应用于车位排布、设备排布、管线排布等多类设计应用场景，在实际应用中可遵循以下步骤（步骤需结合实际设计场景和经验规则进行调整）：

（2）排布需求分析：系统化提取和表达建筑末端设施的排布需求，确保需求信息精准捕捉，为智能体训练提供明确依据。

（3）强化学习算法应用：基于强化学习技术，构建并优化训练算法，生成能够自动完成设施排布的智能体，确保算法与排布需求高度匹配。

（4）智能排布生成：利用训练成熟的智能体，自动生成建筑末端设施的排布方案，保证布局的合理性和实用性，同时提升排布效率，减轻设计负担。

（5）多维度排布评价：针对自动生成的排布方案，从空间利用率、设施匹配度、规范符合度等多个维度进行科学评价，建立全面的评价体系，确保方案质量和实施可行性。评价体系可根据实际项目需求进行适应性调整。

（6）设计平台对接：搭建智能体转译平台，嵌入至各类设计软件\平台，设计师仅需大致了解操作流程，便可一键得到结果。

4.8.4 预期成效

建筑末端 AI 排布在实际应用中可与设计师常用设计工具结合，提供车位排布、设备排布、管线排布等智能化设计工具，学习使用成本低、设计师可快速相应方案变动、解放大量生产力，避免将精力耗费在边际效应明显的工作中。

4.9 AI 图纸结构规范强条审查

4.9.1 目的意义

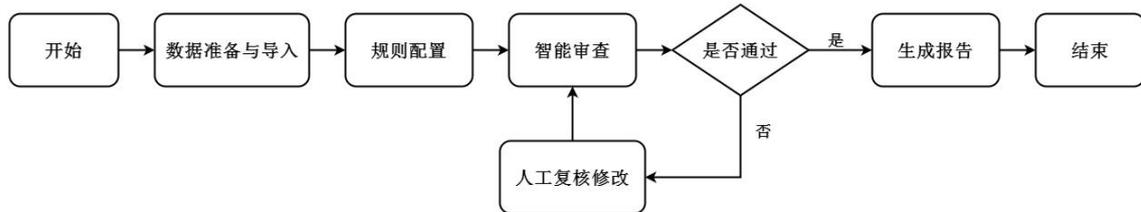
AI 在图纸审查中的核心目的在于通过智能化的自动核查机制，显著提升设计成果的质量控制效率与可靠性，其意义在于将传统依赖人工经验且易疏漏的审查过程转化为系统性风险防御屏障。具体而言，AI 利用计算机视觉与自然语言处理技术，自动扫描结构图纸中的构件尺寸、节点详图、钢筋排布等关键信息，实时比对相关专业规范与设计条款，能在数分钟内定位人眼难以察觉的冲突，避免因图纸错误导致的施工返工或结构安全隐患；同时，通过深度学习历史项目中的典型错误案例，AI 能主动识别潜在风险模式，形成预防性审查策略。这种智能审查不仅将原本耗时数日的复核工作压缩至小时级，更通过数字化闭环（自动生成审查报告→标注问题位置→推送修正建议）推动设计迭代优化，最终实现从“事后纠错”到“事前防控”的质控升级，在降低工程风险的同时，释放工程师精力至更具价值的创新设计与跨专业协调领域。

4.9.2 应用准备

软件工具：需要目标 AI 图审软件本身及其授权，确保其支持审查的结构图纸格式（如 DWG, PDF）和 BIM 模型格式（如 RVT, IFC, NWD/C）；同时需要对应设计软件或 BIM 平台用于生成和导出待审文件，以及必要的插件或中间件（若有）实现数据传递或轻量级格式转换。

硬件配置：需要足够内存（RAM, 建议 32GB+）和高速存储以高效加载和处理大型 BIM 模型及图纸文件；配备中端至高端 GPU 加速 AI 模型的推理审查过程，确保交互流畅性；稳定高速的网络连接（若使用云端服务）。

4.9.3 应用流程



(1) 上传图纸/模型并完成格式转换与完整性检查：用户上传设计文件（如 DWG/PDF/RVT），系统自动完成格式转换、版本校验及完整性检查（如图纸缺漏、签章缺失），拦截无效文件并生成待补件清单，确保输入数据合规可审。

(2) 选定审查规范并设置专业优先级规则：选定国家/地方设计规范（如防火、结构强条），设置专业审查优先级；支持自定义规则库，系统自动加载对应检测算法。

(3) 自动执行合规性检测：基于多模态识别技术，自动扫描全专业图纸/BIM 模型：定位规范违反点、捕捉跨专业碰撞，输出带坐标的问题定位标记及风险等级分类。

(4) 人工复核 AI 标记问题并修改模型后重新审查：设计方在线查看 AI 标记问题（含定位截图与规范依据），修改模型后触发增量审查；AI 仅复检改动区域，未修改问题自动继承历史结论。

(5) 生成含问题清单的审查报告并归档数据。

4.9.4 预期成果

带定位标注的结构化问题清单：AI 系统输出 PDF/Excel 格式审查报告，明确列出违反规范的具体位置（如“3F 梁 L-5 配筋率不足，违反 GB 50010-2010 第 8.5.1 条”），并附带图纸定位或 BIM 模型坐标定位截图。

闭环整改动态追踪台账：平台自动生成问题-责任人-状态-时限的在线台账，支持整改全过程留痕与复核。

4.10 AI 辅助 BIM 模型审查

4.10.1 目的意义

在建筑行业数字化转型背景下，传统 BIM 模型审查依赖人工逐构件检查，存在效率低（大型项目需数周）、易疏漏（人工疲劳导致错误）、标准不统一（不同审查人员判断差异）等问题。AI 辅助 BIM 模型审查通过计算机视觉、自然语言处理（NLP）、知识图谱等技术，实现模型合规性、几何冲突、参数逻辑等自动化审查，可将审查效率提升 80%以上，并显著降低因设计错误导致的返工成本。该技术不仅能提升审查精度，还能通过知识沉淀形

成企业数字化资产，推动建筑行业从经验驱动向数据驱动转型。

4.10.2 应用准备

软件工具：

多模态标注平台：部署支持 BIM 三维构件分割、属性标注及空间关系定义的工具，实现构件级（如：梁、柱、风管）和错误类型（如：碰撞、参数超限）的精准标注，获取到有效的模型训练集数据。

深度学习 AI 训练算法：基于 PyTorch/TensorFlow 构建 AI 模型训练平台，通过上传有效的数据训练集，训练出可实际审查的 AI 算法模型，从而支持图像识别（几何特征提取）、图神经网络（GNN，处理构件关系）及 Transformer（规则语义理解）。

规则引擎：部署可通过结构化自然语言识别条文规范的规则引擎，将具体的强条规则转化为计算机系统可识别的结构化数据，（如“当构件类型 = 防火墙时，材料属性必须为不燃材料”）。

BIM 轻量化引擎：部署 BIM 轻量化引擎，可实现跨格式（.rvt、.ifc、.dwg）模型的快速转换与 Web 端可视化，支持审查结果的三维关联展示。

硬件配置：

GPU 显卡集群：满足对于模型训练的高计算需求的显卡集群。

CPU 处理器：不低于 16 核 32 线程，可保证在多卡并行训练时性能领先，能有效调度任务，发挥多显卡的计算能力。

数据准备：

标准模型库：对自身项目或网上公开的 BIM 模型进行收集，通过人为筛选，获取到设计合理的标准 BIM 模型，通过标注平台标注构件的基本信息（名称、类型）、几何参数（尺寸、位置）、属性参数（材质、宽度），形成标准构件训练数据集。

错误案例库：整理多专业模型中的典型设计错误（如管线碰撞、防火分区不连续），通过标注平台标注错误区域，形成错误案例训练数据集。

标准算法模型：通过 AI 算法对两类训练集进行训练，获取到标准算法模型。

规则数字化：通过规则引擎录入强条规则，识别出可供系统使用的结构化数据，建立“规范条款 - 构件类型 - 检查逻辑”映射关系（如 GB50204→混凝土结构→保护层厚度 \geq 25mm）。

4.10.3 应用流程

（1）规则库配置：通过系统规则配置功能，上传相关专业的强条要点信息，通过规则引擎转化为标准规则数据。

（2）BIM 模型轻量化转换：用户上传 BIM 模型文件，系统通过轻量化引擎将其进行轻量化转换，获取到 BIM 信息和几何信息数据，通过浏览器进行展示。

（3）模型解析：根据用户上传的 BIM 模型，通过训练出来的算法模型进行构件解析，通过图像识别和对应接口获取出模型内部的具体构件、构件对应属性信息、构件与构件之间的空间关系等内容。

（4）审查规则匹配：根据规则库内已有的对应专业规则条例信息与现有 BIM 模型试用的条例范围进行逐条匹配，进行合规性强条要点审查、管道碰撞审查等。

(5) 结果显示：返回审查结果，结合 BIM 轻量化进行关联显示，可定点模型问题位置，输入审查报告。

4.10.4 预期成效

高效快速的稳定审查结果：

AI 审查是相较于人工审查，缩短了整体审查的周期，且同一个 BIM 模型不会因为审查人员的专业素养不同导致不同的审查结果，会持续性的输出稳定的审查结果。

质量保障：

通过 AI 多维度、高精度审查，模型错误率降低，减少施工阶段设计变更和返工成本。

知识沉淀：

审查过程中积累的问题案例和解决方案，形成企业知识库，为后续项目提供参考。

4.11 AI 辅助图纸归档

4.11.1 目的意义

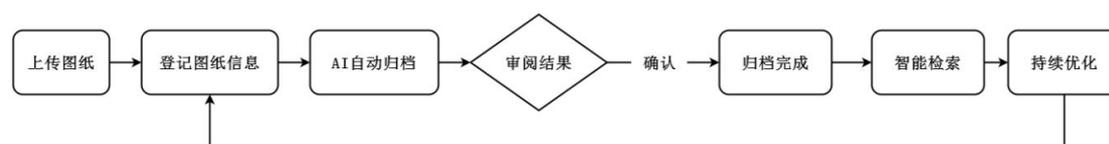
传统图纸归档面临核心痛点：图纸分散存储难调用、版本混乱依赖人工肉眼比对、竣工数据与档案脱节（如地下管线更新滞后），导致检索效率低下且风险频发。而 AI 技术的引入，通过智能语义检索（告别关键词）、自动版本差异分析（精准识别实质性变更）、实时动态归档（如竣工即入库）等能力，不仅将检索耗时从数小时压缩至秒级，更在归档阶段前置拦截设计冲突，并提取隐性规则构建企业知识库，最终将静态档案转化为驱动决策的活态知识资产。

4.11.2 应用准备

软件工具：需安装目标 AI 图纸归档软件及其授权，确保其支持待归档图纸的格式（如 DWG、PDF、RVT、IFC 等）并与设计软件或 BIM 平台集成，实现图纸自动导出；同时配置必要的中间件或插件（如格式转换工具、协同接口），用于数据传递与标准化处理。若涉及流程审批，需预置电子签章系统及归档规则引擎，以生成合规的档案包（如加密 ZIP）和结构化目录。

硬件配置：需配备足够内存（建议 32GB+ 以上）和高速固态存储，以高效加载和处理大型图纸文件；同时部署中端 GPU 加速 AI 对图纸的智能解析（如自动分类、冲突检测）。若需本地化服务，需保障稳定网络（云端访问时）及冗余存储空间（预留 3 倍模型权重体积），并优化散热系统以支持长时高负载运行。

4.11.3 应用流程



- (1) 上传图纸：拖拽电子文件或扫描纸质图，系统自动解析基础信息。
- (2) 登记信息：填写项目、负责人、日期三项核心属性，系统自动标准化命名。
- (3) AI 归档：点击按钮自动提取标签/扫描风险/生成检索索引（30 秒完成）。
- (4) 审阅确认：查看归档报告，一键确认或修正后重新提交。

- (5) 完成归档：系统输出存储链接及关联的 BOM 采购清单。
- (6) 智能检索：输入自然语言或上传草图秒级定位图纸。
- (7) 持续优化：后台自动学习用户检索行为，每月提升分类精度。

4.11.4 预期成果

结构化电子归档目录：AI 自动解析图纸属性（如项目编号、专业、版本），生成带超链接的 PDF/Excel 归档目录，支持按专业、图号、地点、关键字等秒级检索。

合规性电子签章档案包：AI 校验图纸签章完整性后，自动打包生成加密 ZIP 档案（含数字签名、时间戳）。

缺陷图纸自动拦截清单：AI 识别缺图、漏签、模糊等无效文件，生成待补件清单（含问题截图与定位），阻断非标档案入库。

5 生产阶段

5.1 工厂/产线智能排产

5.1.1 目的意义

部品部件生产工厂同时承接的订单数量多，生产要素多，人工排产难以实现适时动态调整所需的高效率，必然留出进行问题处理和纠偏的时间与资源，不能充分发挥工厂/产线的潜在能力。采用 AI 排产系统，由系统综合订单、材料、工艺、设备、人员以及适时生产动态信息等数据进行快速排产，实现对订单的快速交付和资源的高效利用，提高客户满足度和降低成本，提升企业竞争力。

5.1.2 应用准备

数据准备：订单数据、工艺数据、资源数据、实时数据等进行结构化整理，并有效接入系统。

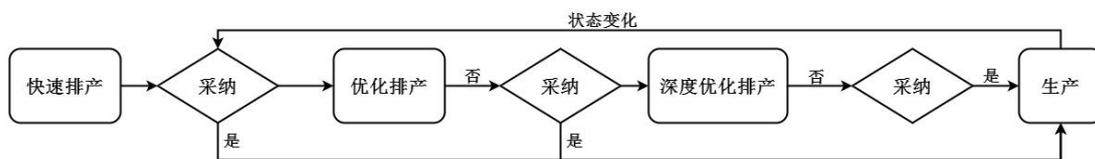
模型开发：采用混合整数线性规划（Mixed-Integer Linear Programming, MILP）、深度强化学习（Deep Reinforcement Learning, DRL）、遗传算法（Genetic Algorithm, GA）、粒子群优化（Particle Swarm Optimization, PSO）等智能算法构建智能排产模型。可部署高级计划与排程系统（Advanced Planning and Scheduling, APS），时序预测模型（如基于 LSTM 的神经网络模型）（Long Short-Term Memory, LSTM）进行未来一段时间的订单预测。

硬件配置：为系统的数据采集、计算和执行配置硬件设备，数据采集层包括传感器、射频识别、工业相机等，计算与控制层包括边缘计算设备、工控机、服务器等，执行层包括自动化生产线设备等，以及必要的网络通信、辅助设施以及能源与安全设备等。

系统集成：通过企业服务总线（Enterprise Service Bus, ESB）对接企业资源计划系统（Enterprise Resource Planning, ERP)/制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)，开发移动端审批流程。

5.1.3 应用流程

工厂/产线智能排产主要应用流程如下图所示：



(1) 数据接入系统后，系统基于规则的算法或优先级派工法则快速生成初始解或极端实时响应，形成快速排产方案在人机界面显示，由管理人员决策是否采纳。

(2) 进行优化排产阶段时，系统采用遗传算法（GA）、粒子群优化（PSO）等算法对全部资源数据进行计算，形成优化排产方案在人机界面显示，由管理人员决策是否采纳。

(3) 进行深度优化排产阶段时，基于反复生成大量优化排产方案在数字孪生工厂进行试生产，基于强化学习逐步提升响应速率。系统按照计算所需时间长度逐步给出深度优化排产方案，供管理人员选用。

(4) 排产计划执行过程中，遇新订单加入、订单加急、设备故障等情况出现时，系统

按照新的数据重新进行排产计算。

(5) 订单预测模块根据历史订单数据，训练并预测未来一段时间订单量。将预测订单、设备状态、工人班次输入 APS 系统，运行蚁群算法生成排程甘特图，自动计算原材料及相关资源需求，触发 ERP 采购订单并推送。

5.1.4 预期成效

(1) **快速取得排产方案。**可人工控制系统计算时间以平衡方案优化程度和算力资源耗用之间的关系。

(2) **精准响应市场需求，实现柔性制造。**通过实时整合订单数据（规格、交期、优先级），动态优化生产节奏，解决传统排产依赖人工经验导致的响应滞后问题，适应小批量、多批次、短交期的市场需求。缩短订单履约周期，提升客户满意度，增强企业在建筑市场的竞争力。

(3) **破解资源约束，最大化资源效能。**基于算法对工装、模具、设备、人力等资源的多目标优化，减少空置等待与无效切换，破解传统部品部件工厂资源利用率低、产能不均衡的痛点。

5.2 危险作业智能识别

5.2.1 目的意义

装配式建筑部品部件生产涉及吊装、高空作业、动火焊接、有限空间、大型设备操作等高风险环节，传统安全监管依赖人员巡查和规章制度，存在监管盲区、响应滞后、人员安全意识松懈等问题。利用物联网传感网络 and 智能视觉分析技术，构建主动式危险作业智能识别与预警系统，实现对人员不安全行为、环境危险状态、设备安全异常的自动识别、实时报警与联动控制，最大限度预防事故发生，保障人员生命安全与工厂资产安全。

5.2.2 应用准备

软件工具：

(1) 计算机视觉模型。人员行为识别：基于目标检测和姿态估计的穿戴检测、闯入禁区检测、跌倒检测。环境状态识别：火焰/烟雾检测、积水/油污区域识别。

(2) 传感器数据分析模型。环境传感器：分析有毒有害气体浓度、温湿度异常。设备传感器：基于振动、温度、电流波形分析的设备异常状态（过载、故障前兆）识别。

(3) 多模态融合与风险判定引擎：综合视觉、传感器、位置信息判断风险等级，触发相应预警。

硬件配置：

(1) 感知层：视频监控：高清网络摄像头（带 AI 功能或连接边缘盒）、热成像摄像头。环境传感器：气体探测器、温湿度传感器、噪音传感器。设备传感器：振动传感器、温度传感器、智能电表。

(2) 定位：超宽带技术（Ultra-Wideband, UWB）/蓝牙定位标签（人员、车辆）。

(3) 计算层：边缘 AI 计算盒（实时视频/传感器流分析）、中心服务器（风险引擎、数据存储）。

(4) 报警与执行：声光报警器、广播系统、门禁控制器、设备急停联动接口。

(5) 网络：工业以太网、光纤、无线 AP。

系统集成：与安防监控平台、消防系统、门禁系统、设备控制系统集成，实现报警联动（如自动广播、锁定区域、触发停机）。

数据准备：定义并结构化各类危险场景规则（如未戴安全帽 / 安全带、闯入危险区域、烟雾火焰、气体泄漏、设备异常振动/温度）。

5.2.3 应用流程

危险作业智能识别系统综合运行流程如下：

(1) 部署在关键区域的摄像头和传感器持续采集视频流和环境/设备数据。

(2) 边缘 AI 计算盒实时运行视觉模型和传感器分析模型：识别人员未佩戴 PPE、闯入吊装/焊接禁区、攀爬/跌倒等行为。检测火焰、烟雾、异常气体浓度、积水/油污。监测设备运行参数（振动、温度、电流）是否超限或出现异常模式。

(3) 识别到的潜在危险事件和原始数据上传至中心风险判定引擎。

(4) 风险引擎结合事件类型、发生位置、严重程度进行综合研判，确定风险等级（预警、报警、紧急）。

(5) 系统根据风险等级触发响应：预警：在本地 HMI 或管理平台提示。报警：触发现场声光报警，向安全员移动端推送告警信息及截图/视频片段。紧急：除报警外，自动联动控制（如启动排风、关闭阀门、触发设备急停、锁定相关区域门禁）。

(6) 所有事件记录存储，用于事故追溯、安全分析及模型优化。

5.2.4 预期成效

安全事故率显著降低：主动预防人员伤害和财产损失事故。

安全监管效能提升：实现 7x24 小时无死角智能监控，弥补人工巡检不足。

应急响应提速：实现风险秒级识别与告警，缩短应急响应时间。

安全合规性增强：提供数字化记录，辅助满足安全法规要求与审计。

5.3 产品智能运输调度与监控

5.3.1 目的意义

部品部件工厂同时面向多个区域的多个项目进行供货，传统人工调度模式存在路径规划粗放、车辆利用率低、运输过程监控缺失等问题，导致产品运输不畅、物流成本攀升。引入智能运输调度与监控系统，通过 AI 算法动态优化运输路径、实时监控车辆状态，可实现运输资源高效配置，降低运输成本，提升供货响应速度。同时，系统可通过多维度数据分析预测运输需求，提前调配运力，保障产品供应全流程的连续性与稳定性。

5.3.2 应用准备

数据准备：将生产计划、订单信息、项目信息、车辆信息导入系统，并适时输入车辆位置、道路状况、交通流量、天气预警等动态信息。

算法与模型：采用遗传算法、模拟退火算法优化运输路径规划，结合强化学习动态调整调度策略；运用神经网络预测运输需求与车辆负荷；部署计算机视觉算法，通过车载摄像头识别货物装载状态、车牌信息，实现异常情况自动报警。

硬件配置：

感知层：车载 GPS 定位器、北斗导航模块、温湿度传感器、车载摄像头、RFID 读写器。

计算与通信层：边缘计算单元、5G 通信模块、车载终端设备、智能调度中心服务器集群。

辅助设备：电子围栏、智能道闸、地磅称重系统、可视化监控大屏。

系统集成：通过 API 接口打通运输管理系统（transportation management system, TMS）与 ERP、MES、仓储管理系统（Warehouse Management System, WMS）的数据壁垒，开发移动端 APP 实现司机任务接收、实时位置上报、异常情况反馈等功能。

5.3.3 应用流程

产品智能运输调度与监控综合运行流程如下：

（1）系统根据生产排产计划和项目信息，自动生成运输任务清单，通过 AI 算法结合实时路况、车辆状态，优化分配运输车辆与路线，将任务指令推送至车载终端。

（2）运输车辆按规划路径行驶，车载 GPS 与摄像头实时回传位置、速度、货物状态等数据至调度中心。系统通过电子围栏监控车辆运行区域，超出预设范围自动报警。

（3）在运输途中，若遇突发路况（如道路施工、交通事故），系统实时重新规划路径并下发指令。

（4）到达目的地后，司机通过车载终端扫码确认装卸货完成，数据自动上传系统校验；系统根据任务完成情况生成运输日志，更新车辆状态与供货信息。

（5）调度中心通过可视化大屏实时监控所有运输车辆的运行状态，基于历史数据优化后续调度策略，并生成运输成本、效率等分析报表。

5.3.4 预期成效

成本降低：通过智能路径规划与车辆调度，减少空驶里程，降低燃油消耗与运输成本。

效率提升：缩短运输任务响应时间，提高车辆周转率，有效保障产品准时交付。

数据赋能：产品运输动态信息与项目共享，支撑项目进行施工组织优化，为智能建造进行数据赋能。

5.4 PC 生产边模自动拾取

5.4.1 目的意义

在传统的预制混凝土构件（precast concrete, PC）生产过程中，拆模后的模具被放置在模台上，影响模台清理、喷油等自动化设备的使用。需要对模台的下一轮构件换型时，人工拾取模具劳动强度大，常常抛扔模具，造成模具变形，影响产品质量。采用边模自动拾取系统，应用机器视觉、路径规划等 AI 功能，将人工不愿意干、干不好的工作交由自动化机械完成。打通 PC 自动化生产堵点，保持流水生产节拍稳定，提高产品品质保障能力。

5.4.2 应用准备

算法与模型：

（1）视觉定位模型：包含识别模台上边模位置与数量的目标检测模型，精准分割边模轮廓（处理重叠或倾斜情况）的实例分割模型，计算边框空间姿态（旋转+平移）的三维位姿估计模型，识别变形、粘连等异常边模的异常检测模型等。

(2) 机器人控制模型：包含生成无碰撞抓取轨迹的路径规划模型，计算最优夹持点与夹持力的抓取姿态优化模型，自适应调整夹持力度（防滑脱/变形）的力控补偿模型等。

(3) 系统集成算法：包含提升定位精度的多传感器融合算法，预演抓取流程验证算法可行性的数字孪生仿真算法等。

硬件配置：

- (1) 感知层硬件：3D 结构光相机、工业高帧率相机、六维力传感器等。
- (2) 执行层硬件：多轴协作机器人、自适应夹爪、真空吸盘系统等。
- (3) 计算与控制硬件：边缘 AI 计算盒、运动控制器、工业交换机等。
- (4) 辅助设备：环形 LED 光源、气动快换装置、安全光幕等。

5.4.3 应用流程

边模自动拾取系统综合运行流程如下：

- (1) 模台带边模进入边模自动拾取工位，通过位置感应、RFID 等方式向系统发出启动信号。
- (2) 系统视觉设备启动，对模台上的边模进行扫描，向 AI 计算机发送点云数据。
- (3) 计算机运行 AI 模型，识别边模尺寸、位置、状态等信息，向机器人发送边模位姿与抓取路径。
- (4) 机器人进行轨迹规划，并结合阻抗控制执行抓取。
- (5) 机器人按轨迹和动态位置感应或视觉识别对边模进行运送，并放置到边模回转/清理辊道上。
- (6) 机器人重复运行直至模台上的边模清理完成，向生产线控制系统反馈完成信号，允许模台向下一工位移动。

5.4.4 预期成效

人工节约：节约边模搬运、清理工人，降低人工成本。

质量保障：避免人工不规范操作对边模造成的损伤，提升边模的周转次数，降低因边模变形导致的预制构件尺寸偏差。

效率保障：通过合理的硬件配置确保工序作业周期稳定，避免对整线流水节拍造成不利影响。边模全部清除后便于模台清理等后续工序采用自动化设备，保障生产效率。

5.5 PC 生产智能隐检

5.5.1 目的意义

隐蔽检验是 PC 生产的重要质量控制环节，使用卷尺、目测等方式进行的人工隐检劳动强度大，对人员的责任心要求高，出现错误疏漏难以发现和纠正。采用智能隐检能够有效解决这些问题，保障隐检工作稳定高效进行，将隐检从“经验判断”升级为“数据验证”，破解传统“图纸与实物脱节”的行业痼疾，提升构件合格率，降低返工、返修成本。

5.5.2 应用准备

算法与模型：包括实测点云与 BIM 模型配准的 BIM 模型比对引擎，钢筋智能分析模型和预埋件多模态验证等。

硬件配置：包括激光跟踪仪、3D 扫描仪、多光谱工业相机、激光测距传感器等感知系统设备，边缘计算盒、工业交换机等计算设备以及机器人等执行设备。

数据准备：通过生产管理系统、人工录入等方式将预制构件设计数据（模型、图纸、清单）、排产数据、质量标准参数等接入隐检系统。

系统集成与调试：软、硬件配置完成后进行初始数据载入，通过与人工隐检并列运行进行 AI 训练，达到预期准确率后正式投入使用。

5.5.3 应用流程

PC 生产智能隐检系统综合运行流程如下：

- (1) 模台进入检测工位，触发启动检测信号。
- (2) 机器人携带感知设备对模台上的预制构件进行扫描，生成点云数据等信息并发送给 AI 计算机。
- (3) 计算机运行 AI 模型，将感知设备信息转化为结构化数据，与提前接入系统的设计数据、排产数据进行对比，反馈检测差异与是否合格结论。
- (4) 人机界面显示检测过程与状态，向生产线控制系统反馈隐检结果信息，同步将检测信息（包含图像）进行储存，以备追溯。

5.5.4 预期成效

人工节约：减少人工隐检环节，节约生产工人投入。

打通设计—生产数据闭环，实现精准建造：通过 BIM 模型与激光点云实时配准，确保每个构件与数字设计 100%吻合，为业主交付可追溯的“数字孪生构件”（含三维检测档案），增强工程验收公信力。

5.6 PC 生产智能布料

5.6.1 目的意义

传统布料工位机械设备与人工作业交叉进行，存在较大安全隐患。且人工布料高度依赖于操作工人的技能水平，工艺时间以及材料的损耗量均难以精确控制。采用智能布料系统减少人工使用，提高生产安全保障，避免材料浪费。

5.6.2 应用准备

数据准备：通过生产管理系统、人工录入等方式将预制构件设计数据（模型、图纸、清单）、排产数据等接入布料系统。

算法与模型：采用视觉定位模型、多模态验证等识别预制构件型号、位置和混凝土体积与重量，采用机器人控制模型对布料机进行路径规划。

硬件配置：包括激光跟踪仪、3D 扫描仪、重量传感器等感知系统设备，AI 计算盒、工业交换机等计算和控制设备以及布料机器人等执行设备。

5.6.3 应用流程

PC 生产智能布料系统综合运行流程如下：

- (1) 模台进入布料工位，触发布料系统启动信号。
- (2) 感知设备扫描模台，AI 识别模台、模具和构件信息，对照设计与排产数据计算布料路径和材料用量，向布料机器人发送运行数据。

(3) 布料机执行布料作业，完成后向生产线控制系统反馈结束信号。

(4) 布料过程中系统对作业情况进行动态监测，在人机界面显示作业情况和进行异常报警。

5.6.4 预期成效

人工节约：减少人工对布料设备的操作，节约布料人工投入。

材料节约：减少因人工控制不准确而造成的材料浪费。

效率提升：智能系统准确规划与控制布料机运行，按最优路线一次完成构件布料，避免反复行走，提高生产效率。

5.7 PC 产品智能存储

5.7.1 目的意义

PC 构件规格多样、周转时效严苛，存在着存储效率和土地、人力、设备等资源占用的矛盾。传统的人工存储难以有效协调资源，且难以严格按照时间序列进行存储管理，存在产品超期存储引发质量不良的情况。采用智能存储系统，基于发货计划进行产品存储方案优化，提高工厂资源的有效利用率，保障发货效率，避免出现存储质量问题。

5.7.2 应用准备

数据准备：通过生产管理系统将产品信息（BIM 模型、规格尺寸、重量、体积）、排产信息、客户信息、发货信息等接入系统，可基于全厂智能化运行平台的数据推送或 ERP、MES 等系统接入。

算法与模型：采用动态路径规划算法进行设备运行路径优化，采用了库存优化模型、智能调度算法对堆场利用效率进行优化，采用视觉识别算法对产品进行识别和执行机构控制。

硬件配置：

(1) 组合式钢制托盘。用于存放同车发运的构件产品，尺寸应覆盖大部分板式预制构件，承载力满足堆载和托运预制构件的要求，带 RFID 等信息化识别标签。

(2) 智能起重设备。智能桥/门式起重机，起重量不低于满载预制构件的托盘起重要求，定位精度 $\pm 5\text{mm}$ ，带 5G 通讯模块。多轴机械臂吊具，末端力高精度控制，视觉伺服导引。

(3) 感知与安全系统。3D 激光雷达、红外安全光幕、分布式称重模块。

(4) 网络基础设施。工业 5G 专网、边缘计算网关、边缘 AI 计算盒、时间敏感网络交换机。

5.7.3 应用流程

PC 产品智能存储系统运行包含数据采集、路径生成、优化计算、动态调整等环节，在正常生产中的连续运行流程如下：

(1) 系统在持续运行的基础上适时采集动态数据，利用库存优化模型、智能调度算法对堆场利用效率进行优化，为下线产品安排存储位置。将存储位置信息发送到执行设备和管理人员。

(2) 存货转运车和智能起重机按系统指令运行到指定区域，智能起重机通过视觉系统进行位置精确调整，并下降吊架到适当位置，吊架上所附的 4/6 个机械臂进行托盘挂钩作业。

(3) 挂钩后通过荷载传感器采集各吊点受力数据，系统对适时受力数据和理论数据进行对比分析，精确调整起重设备位置和机械臂状态。

(4) 至各吊点受力均衡后向起重设备发送数据，起重设备按照系统规定运行轨迹进行吊运作用，通过 3D 激光雷达、红外安全光幕对运行情况向系统反馈，由系统进行动态调整。

(5) 空的托盘返回工厂时，系统按 (1)~(4) 的流程将空托盘存放到相应区域，便于投入下一轮使用。

5.7.4 预期成效

空间利用率：通过智能算法优化排产与储存安排，缩短产品存放周期，提升堆场空间利用率。

装卸作业效率：通过系统优化算法安排产品存取作业，提高装卸作业效率。

通过智能算法降低人工干预，减少堆场作业工员，提升安全保障。

5.8 钢结构焊接工艺智能优化

5.8.1 目的意义

钢结构产品个性化定制程度高，焊接工艺参数（电压、电流、角度、速度）的选择直接影响焊缝质量、生产效率和制造成本。传统依赖焊工经验或固定工艺卡的方法难以适应复杂多变工况，易导致质量波动、返工率高、效率低下和成本浪费。引入 AI 驱动的焊接工艺智能优化系统，通过实时分析焊接工况与历史数据，智能推荐并动态调整最优工艺参数组合，实现焊缝质量稳定可靠、焊接效率最大化、能源与材料消耗最小化，显著提升产品质量一致性和生产经济效益。

5.8.2 应用准备

数据准备：结构化整理并接入焊接工艺库（母材、焊材、坡口形式、焊接方法）、历史焊接参数与质量记录（无损检测结果、力学性能）、实时焊接传感数据（电流、电压、热输入、熔池图像 / 红外热像）、设备状态数据。

算法与模型：构建多维度算法模型体系，支撑焊接工艺全流程智能优化。

(1) 多目标优化模型：采用深度强化学习 (DRL)、贝叶斯优化 (Bayesian Optimization)、遗传算法 (GA) 等，在满足焊缝强度、外观、无损检测合格率等质量约束下，优化焊接速度、能耗、成本等目标；

(2) 焊接质量预测模型：基于机器学习和深度学习（如卷积神经网络 (Convolutional Neural Network, CNN) 处理熔池图像），建立焊接参数、传感信号与最终焊缝质量（缺陷概率、力学性能）的映射关系。

(3) 实时控制模型：基于模型预测控制 (MPC) 或自适应控制算法，根据实时传感反馈动态微调焊接参数。

硬件配置：

(1) 感知层：焊接过程参数采集传感器（电压、电流霍尔传感器）、熔池视觉监控系统（高速工业相机）、红外热像仪、声发射传感器（可选）。

(2) 计算层：边缘 AI 计算盒（部署实时控制模型）、工控机/服务器（运行优化与预测模型）。

(3) 执行层：支持数字接口的智能焊接电源、焊接机器人。

(4) 网络：工业以太网/5G。

系统集成：对接 MES 获取生产任务与 BOM 信息，对接焊接设备控制系统，开发工艺参数推荐与监控人机界面（HMI）。

5.8.3 应用流程

钢结构焊接工艺智能优化系统综合运行流程如下：

（1）系统根据 MES 下发的生产任务（构件号、焊缝编号），结合 BIM /工艺模型获取焊缝特征（材质、厚度、坡口、位置），从数据库调取基础工艺范围。

（2）系统运行多目标优化模型，基于当前工况（可选实时传感初值）、历史数据和质量目标，计算并推荐最优焊接参数组合（电压、电流、角度、速度），推送至焊机/HMI。

（3）焊接开始后，感知系统实时采集焊接参数和熔池状态数据。

（4）实时控制模型根据传感数据与预测模型输出，动态微调焊接参数，确保过程稳定和质量达标；质量预测模型实时评估焊缝质量风险。

（5）焊接完成后，系统记录实际参数、传感数据及最终质检结果，用于模型持续优化。

5.8.4 预期成效

质量提升：显著降低焊缝气孔、夹渣、未熔合等缺陷率，提高焊缝一次合格率和力学性能稳定性。

效率提升：通过优化焊接速度和减少返工，缩短单道焊缝作业时间，提高产线整体效率。

成本降低：精确控制热输入与材料消耗（焊丝、气体），降低能源成本与材料浪费；减少返修成本。

知识沉淀：形成企业专属的、可复用的智能焊接工艺知识库，降低对高级焊工经验的绝对依赖。

5.9 钢结构装配智能作业指导

5.9.1 目的意义

钢结构装配工序复杂，对工人识图能力和操作规范性要求高。传统纸质图纸或二维屏幕指导效率低、易出错，易导致错装、漏装、定位不准等问题，影响装配精度和质量。采用 AR（增强现实）或激光投影智能作业指导系统，将三维可视化装配指令、关键尺寸、操作步骤精准叠加/投射至工件实际位置，引导工人按标准流程作业，大幅降低理解门槛，减少人为失误，提升装配一次合格率与作业效率。

5.9.2 应用准备

数据准备：将 BIM 模型（含装配层级信息）、MES 生产任务（构件号、工序）、工艺规程、质检标准接入指导系统。

算法与模型：

（1）空间定位与配准模型：基于机器视觉（标记点/自然特征识别）或激光跟踪技术，实现虚拟信息与物理工件的精确空间对齐。

（2）内容生成引擎：根据任务自动解析 BIM 模型，生成步骤化的三维动画、文字提示、尺寸标注等指导内容。

（3）交互识别模型（AR）：识别工人手势或工具动作，触发下一步指导或操作确认。

硬件配置：

(1) AR 方案：工业级 AR 眼镜、空间定位摄像头/传感器、本地处理单元或云端服务器。

(2) 激光投影方案：高精度激光投影仪、运动捕捉系统（如激光跟踪仪）、控制主机。

(3) 辅助：Wi-Fi/工业 5G 网络、充电基站。

系统集成：与 MES、PLM 系统集成，实时同步任务状态；开发内容管理后台。

5.9.3 应用流程

钢结构装配智能作业指导系统综合运行流程如下：

(1) 工人到达工位，通过扫描工件 / 工单或系统自动识别，触发对应装配任务。

(2) 系统根据 BIM 模型和工艺，生成当前工序的智能指导内容。

(3) AR 方案：通过 AR 眼镜将虚拟部件、装配路径、螺栓孔位、扭矩要求等信息叠加在工人视野中的真实工件上。工人按指引操作，可通过手势交互确认步骤完成。激光投影方案：激光投影仪将装配轮廓线、定位基准线、螺栓位置、序列号等信息直接投射到工件或工作台面。工人按投射的图形进行装配。

(4) 关键步骤完成后，工人可通过设备进行确认（如按钮、语音、手势），系统记录进度并可能触发质检流程。

(5) 任务完成，数据回传 MES。

5.9.4 预期成果

质量保障：显著降低装配错误率，确保构件尺寸精度和连接质量符合设计要求。

效率提升：减少工人识图、查找信息时间，缩短新工人培训周期，提高装配速度。

标准化作业：强制按标准流程操作，减少个体差异，提升工艺一致性。

无纸化与追溯：实现作业过程数字化记录与追溯。

5.10 钢结构质量智能在线检测

5.10.1 目的意义

钢结构生产过程中，尺寸、形位公差、焊缝质量等是关键控制点。传统人工检测效率低、主观性强、易漏检，且多为离线抽检，难以及时发现和拦截缺陷。应用机器视觉、激光扫描、超声相控阵等在线智能检测技术，实现对关键质量点的自动化、高精度、全数或高频次检测，实时反馈结果，提升质量管控的及时性、准确性与全面性，减少不合格品流转，降低质量风险成本。

5.10.2 应用准备

数据准备：接入 BIM 设计模型（含公差要求）、工艺标准、检测规范。

算法与模型：

(1) 3D 扫描与比对：高精度激光扫描点云与 BIM 模型自动配准比对算法，检测尺寸与形位公差。

(2) 机器视觉检测模型。焊缝表面缺陷检测：基于深度学习的图像识别检测裂纹、咬边、气孔、飞溅等。关键尺寸/孔位检测：亚像素级边缘检测与测量算法。涂装/标记识别：OCR 识别构件编号、油漆厚度视觉测量。

(3) 超声/射线智能判读: 应用 AI, 如卷积神经网络 (CNN), 支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 对超声 C 扫描、射线 DR 图像进行自动化缺陷识别、分类与评级。

(4) 多传感器融合决策: 综合视觉、扫描、超声等多源数据判断工件整体质量状态。

硬件配置:

(1) 感知层: 高精度 3D 激光扫描仪、工业线阵/面阵相机 (搭配光源)、超声相控阵检测设备、X 射线数字成像 (DR) 设备 (可选)、测厚仪。

(2) 计算层: 边缘 AI 计算盒 (部署实时检测模型)、GPU 服务器 (训练与复杂分析)。

(3) 执行/定位: 机器人 (搭载检测设备)、固定式检测工位、定位装置。

(4) 网络: 高速工业网络。

系统集成: 与 MES/QMS 集成, 实现检测任务触发、结果自动判定与反馈、不合格品自动拦截。

5.10.3 应用流程

钢结构质量智能在线检测系统综合运行流程如下:

(1) 工件到达检测工位 (固定式或由机器人引导), 触发检测信号。

(2) 系统根据工件类型和检测要求, 调用相应检测程序与设备。

(3) 检测设备 (如 3D 扫描仪、相机阵列、超声探头) 自动对工件进行扫描或拍照。

(4) 采集的数据 (点云、图像、超声信号) 传输至 AI 计算机。

(5) AI 模型运行:

1) 3D 扫描点云与 BIM 模型配准, 计算尺寸偏差与形位公差。

2) 视觉模型分析表面图像, 识别焊缝外观缺陷、测量关键尺寸、识别标记。

3) 超声/DR 模型分析内部缺陷。

(6) 系统综合各检测项结果, 基于预设标准进行自动判定 (合格/不合格/待复核), 生成检测报告。

(7) 结果实时显示在 HMI, 并推送至 MES/QMS。若不合格, 系统可触发报警或自动拦截工件。

5.10.4 预期成效

检测效率提升: 实现关键工序的在线、自动化、快速检测, 大幅缩短检测周期

检测精度与可靠性提升: 减少人工主观误差, 提高缺陷检出率与识别准确率。

质量管控前移: 及时发现并拦截过程缺陷, 避免缺陷流入后道工序或交付客户, 降低返工报废成本。

全数检测与追溯: 实现重要构件或关键特征的全数检测, 建立完整的数字化质量档案。

5.11 AI 驱动的混凝土质量管控系统

5.11.1 目的意义

依托 AI 技术构建混凝土运输质量管控的全链条数字化体系，通过集成定位监测、坍落度实时分析及远程调控功能，解决传统模式中数据滞后、人工操作风险高、质量不可控等问题。核心价值体现在：

(1) 运输透明化管理：通过物联网设备，实现车载混凝土的数据留痕，混凝土监控数据按项目分类存档，满足工程追溯要求。

(2) 质量动态调控：利用 AI 图像识别技术实时分析混凝土坍落度，远程精准调控外加剂添加，避免因性能不达标导致的退料。

(3) 安全与效率升级：替代人工攀爬搅拌车的高空作业，消除安全隐患，提高外加剂添加效率。

5.11.2 应用准备

软件工具：需实现对搅拌车的位置监控，识别搅拌车搅拌筒的混凝土数据，并支持对混凝土性能进行及时调整：

(1) 智能监控模块：支持电子围栏及定位追踪、车载混凝土罐内/卸料状态监控、视频录像以及历史录像数据分类存档。

(2) 坍落度 AI 分析模块：通过罐内摄像头视频流，采用自研深度学习模型，自动识别混凝土状态并预警。

外加剂调整模块：及时向车载混凝土添加外加剂，改善混凝土性能。

硬件配置：

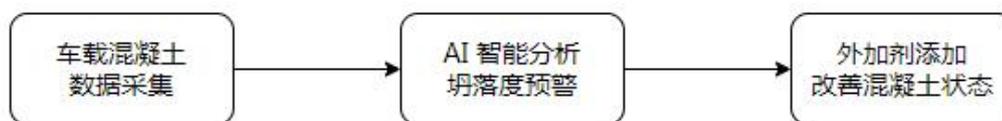
前端用户硬件要求：正常运行的电脑

终端服务器硬件要求：请查阅附表。

数据准备：基于平台采集的混凝土数据进行清洗、标注，为模型训练提供准确的信息。

5.11.3 应用流程

实现混凝土运输与质量管控的 AI 驱动，需要以下几点：



(1) 数据采集：采集混凝土搅拌车上车载混凝土的数据；

(2) AI 分析：针对采集的混凝土数据，进行 AI 分析，异常数据进行预警；

(3) 干预应用：针对混凝土坍落度异常的情况，利用平台进行外加剂干预，调控混凝土性能。

5.11.4 预期成效

无需攀爬搅拌车进行高空作业，杜绝安全隐患。

系统自动记录每单车载混凝土影像数据，所有卸料影像、罐内混凝土数据按项目存档，便捷质量追溯，纠纷情况大幅下降。

提前调整到工地的混凝土状态，大幅降低退料风险，降低客户退货成本。

6 施工阶段

6.1 AI 辅助技术方案审核

6.1.1 目的意义

在施工阶段，针对危险系数较大、施工难度较大的分部分项工程，项目团队需编制专项技术方案并组织专家评审。传统审核方式普遍依赖人工阅读与经验判断，存在“审核周期长、规范覆盖不足、问题识别滞后”等痛点。引入 AI 模型后，可实现对技术方案的结构化解析、规范条文匹配、常见问题识别与专家意见模拟，从而提升审核效率与准确性，降低技术风险。

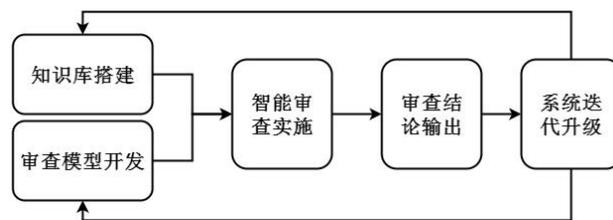
6.1.2 应用准备

软件工具：开源机器学习 AI 开发平台，需满足模型微调和 LangChain（常指代一种通过串联多个功能模块或组件来实现复杂任务的编程范式）开发功能。可以自己研究部署，也可以用相关集成平台（如 Coze 平台）满足相关需求。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，显存性能应支持高分辨率影像和复杂模型的运算；2TB 非易失性固态硬盘（NVMe SSD），用于快速读写高频访问的训练数据和模型文件。可根据企业规模和使用人数、业务要求提升整体性能。

数据准备：公司标准化各类方案模板，收集历年专项施工方案文档及专家评审意见，构建本地语料知识库，整理与审核相关的施工技术规范。将以上相关的知识数据进行结构化存储。

6.1.3 应用流程



（1）结构化数据知识库构建

系统需预先集成国家现行施工规范、行业标准及企业技术规程，建立结构化知识图谱。针对不同工程类型（如土建、钢结构）配置专项审查模板，明确关键控制指标及其阈值范围，通过数据采集与清洗，构建结构化方案数据。

（2）审查模型开发

首先基于 LangChain 架构构建模块化系统，集成领域大模型、规范向量库和自动化处理管线；其次通过结构化提示词工程实现合规控制，采用标签和动态参数确保输出准确性；然后建立多级关键词筛选体系，删除多余的、错误的指令和标签。通过以上步骤形成一个能够较为准确读取施工方案，并按照固定格式要求输出审查报告的大模型。

（3）智能审查实施

基于已有的智能审核模型，输入相关施工方案案例，实现规范性、合规性及冲突检测，AI自动标注问题并生成相关的建议。在大模型使用初期，通过人工进行校对，标注不符合项的具体条款，反馈给大模型，要求大模型进行重新输出。

（4）审查结论输出

当大模型输出成果较为稳定后，通过提示词工程将相关条文以固定的格式模版进行输出，形成专业的技术方案审核文档。报告应采用条款索引式排版，确保问题定位的精确性。

（5）系统迭代优化

建立人工复核结论的反向学习通道，持续更新知识库案例数据。定期对AI模型的审查准确率进行验证测试，实现审查能力的动态提升。

6.1.4 预期成果

显著提升了专项施工方案的审核效率与规范性，主要体现在：

提升初审效率：通过AI自动提取技术方案中的关键内容，如工程概况、施工工艺、安全措施等，初步完成文档结构化整理，帮助技术负责人快速掌握方案要点。

强化规范比对与风险提示：系统可依据本地技术规范，对方案中的关键参数进行匹配校验，发现不合规项并给出规范条款依据，辅助审核人员精准定位问题点。

6.2 AI辅助施工组织策划与资源配置优化

6.2.1 目的意义

在建筑业数字化转型进程中，施工组织设计与资源配置作为项目的核心环节，其科学性直接关系到项目成败。传统模式依赖经验与模板，存在多变量协同分析能力弱、动态优化缺失等问题。借助AI技术，融合深度学习与运筹学构建混合模型，可对工期、资源、成本等关键要素开展多维模拟与全局优化，以数据驱动决策，显著提升资源利用效率，有效降低项目风险。

6.2.2 应用准备

数据准备：运用数据抽取、转换和加载技术（ETL）整合历史施工组织设计、工期记录及资源投入等异构数据，借助自然语言处理技术解析非结构化文档，精准提取施工参数与工艺逻辑。构建多维数据库后，经数据标注与特征工程处理，形成标准化训练数据集，为模型训练夯实基础。

算法与模型：

分类模型：采用卷积神经网络（CNN）与循环神经网络（RNN）混合架构，通过学习历史方案特征，实现新项目与相似案例的快速匹配，提高方案检索效率。

优化模型：融合遗传算法（GA）、粒子群优化算法（PSO）等启发式算法，以工期、成本等为目标函数，将资源限制与工序逻辑设为约束条件，构建多目标优化框架。求解最优资源工期配置方案。

软件工具：

基于编程语言（Python）生态搭建开发环境，利用数据分析工具（Pandas）、数值计算工具（Numpy）完成数据处理，借助机器学习库（Scikit-learn）实现传统机器学习算法，采

用深度学习框架（TensorFlow 或 PyTorch）构建深度学习模型。通过交互式数据可视化工具实现方案可视化，集成应用程序接口实现数据实时交互，搭建分布式计算框架（Hadoop）提升大规模数据处理效率，便于方案分析与决策。

6.2.3 应用流程

（1）项目信息输入

通过应用程序接口或可视化界面获取项目工程体量、总工期、关键节点等信息，运用自然语言处理技术（NLP）进行词法、句法分析，结合知识图谱构建实体关系网络。采用主成分分析（PCA）对高维特征降维，生成低维且含关键信息的项目特征向量，为后续处理提供标准数据格式。

（2）相似案例推荐

将特征向量输入基于孪生网络的分类模型，结合余弦相似度与欧氏距离算法，利用倒排索引在方案知识库中快速检索相似案例，获取施工顺序、机具配置、人员安排等初始方案框架，大幅缩短方案编制时间。

（3）智能优化迭代

启动多目标遗传算法（MOGA）优化引擎，将初始方案参数编码后输入。以工期最短、成本最低、设备利用率最高等为目标，结合资源总量限制、工序先后顺序等约束条件，通过选择、交叉、变异操作生成候选方案，经帕累托前沿分析筛选出最优解集合，实现多目标平衡优化。

（4）方案输出与审核

基于后端 Web 框架（Django）与渐进式 JavaScript 框架（Vue.js）搭建前后端系统，自动生成包含工作分解结构（WBS）、甘特图、资源直方图等可视化成果的施工组织草案。借助网页三维图形库（WebGL）实现 3D 展示，利用数据绑定技术支持参数实时微调。调整后的数据触发后端局部优化，最终输出至表述性状态转移架构的项目管理系统。

6.2.4 预期成效

施工计划编制智能化：人工智能结合建筑信息模型（BIM）技术，自动生成施工任务分解（WBS）与初步进度计划，运用关键路径法（CPM）和计划评审技术（PERT）校验工序逻辑，使施工计划编制效率得到有效提升，准确性明显提高，显著增强施工组织科学性。

资源配置精准化：基于历史与实时数据构建资源需求预测模型，动态调整劳动力、机械、材料配置，实现资源利用率大幅提升，施工成本有效降低，切实减少资源浪费。

风险预警动态化：利用时间序列分析与异常检测算法，实时评估进度与资源状态，一旦出现偏差立即触发预警，通过强化学习提供调整建议，实现快速决策支持，有力提升项目抗风险能力。

6.3 AI 辅助施工场地布置管理

6.3.1 目的意义

AI 技术通过融合 BIM 地理信息、实时物联网数据及多目标优化算法，重构场地空间资源配置逻辑。其核心价值在于将静态规划升级为动态推演系统：在方案阶段预演数千种设备

布局组合，自动规避结构冲突；在施工阶段通过数字孪生平台实时调优物流路径，响应突发变更；最终实现“零返工布置、自适应调度、全周期碳追踪”的智能建造范式革新。

6.3.2 应用准备

软件工具：建立空间数据库用以存储地质勘测报告、BIM 模型及历史项目布置模板；优化算法库集成强化学习资源调度模型、蚁群物流路径规划引擎及障碍物动态识别模块；可视化平台基于 Unity3D 开发数字孪生驾驶舱，支持多视角方案剖切与冲突预警热力图渲染；合规性引擎内置《建设工程施工现场消防安全技术规范》等条文，自动校验消防间距、危化品存储区合规性。

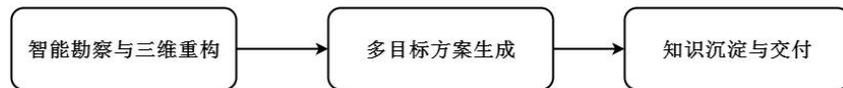
硬件配置：

感知层：部署激光雷达扫描仪、无人机集群及超宽带定位基站，实现厘米级场地实景建模与设备运动轨迹捕捉；

边缘计算层：采用模块化阵列，支持 200+路传感器数据实时处理，通过 5G 专网传输至中心服务器；

执行层：集成自动化标线机器人、智能围挡调节装置及 AR 导航终端，实现物理场地与数字指令的闭环联动。

6.3.3 应用流程



(1) 智能勘察与三维重构

无人机群自动执行网格化航拍，生成带高程信息的实景点云模型；通过激光扫描仪补充地下管线及岩层结构数据，经整合后输出可计算模型。

(2) 多目标方案生成

通过输入核心参数（工期节点、设备清单、环保等级），在 BIM 模型中迭代塔吊臂长覆盖率、材料堆场至作业面距离、应急通道净宽等数据，输出方案集；通过长短期记忆网络（LSTM）预测暴雨季排水瓶颈区域，自动规避设备布置在低洼地带；结合设备能耗模型与物流路径仿真，优选机械和材料堆场部署位点。

(3) 知识沉淀与交付

项目竣工后自动生成四维数字档案，包含通过空间演变时序图记录各阶段布置方案调整逻辑；以指导未来项目施工场地方案布置。

6.3.4 预期成效

AI 施工场地布置技术通过集成多源数据（BIM 模型、地质条件、设备参数）与强化学习算法，实现场地功能区（加工区、堆场、临建、运输通道）的全局动态优化。系统自动生成符合安全规范与施工效率最大化的布置方案，规避传统人工规划中常见的机械干涉、物流迂回等问题。从而提高场地利用率和大型设备使用率、缩短材料周转距离。

6.4 AI 数字人施工交底

6.4.1 目的意义

传统交底依赖纸质与人工，存在信息偏差大、效率低等问题，复杂节点易因理解不足导致施工错误。AI 数字人施工交底价值在于：基于标准化方案精准传递技术与安全信息，避免沟通失误；24 小时不间断作业，提升多项目交底效率与覆盖范围；结合动画、三维模型可视化呈现，助施工人员快速掌握要点；内容可永久存储复用，形成知识数据库，减少人员流动导致的知识流失。

6.4.2 应用准备

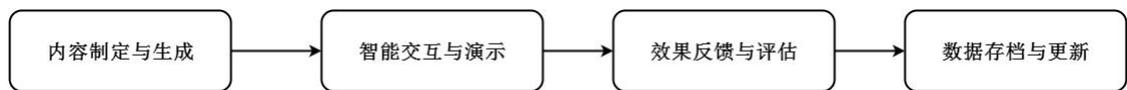
为满足 AI 数字人施工交底场景的应用要求，建议从以下几方面开展准备工作：

硬件配置：数据采集需配备可生成施工地点云模型的激光扫描仪，以及可录制工艺样板三维实景的全景摄像机；交互终端可采用增强现实（AR）智能头盔、虚拟现实（VR）一体机，以及可供扫码查看交底内容、支持移动端操作系统的应用程序。

数据准备：模型构建需轻量化建筑信息模型（BIM，LOD 400+）和囊括施工工法及质量验收标准的工艺知识图谱；部署自然语言处理（NLP）引擎解析生成交互式问答库；系统需对接项目管理平台同步相关数据流。

人员准备：技术人员需掌握 BIM 模型轻量化处理与 AI 数字人脚本编辑技能；施工班组应熟悉 AR 设备操作及交互反馈机制。

6.4.3 应用流程



（1）内容定制与生成：根据施工阶段与交底对象需求，在系统中选择或编辑交底模板；AI 自动将文字资料转化为数字人讲解脚本，并匹配对应动画、模型等可视化素材，生成完整的交底内容。

（2）智能交互与演示：施工人员通过终端设备触发数字人演示，数字人以自然语言讲解施工要点，同步展示三维模型拆解、施工步骤动画等；支持语音提问，数字人实时解答疑问，实现交互式交底。

（3）效果反馈与评估：交底结束后，系统推送在线测试题，检验施工人员对交底内容的掌握程度；收集人员反馈意见，分析薄弱环节，为后续优化提供依据。

（4）数据存档与更新：将交底过程数据（讲解内容、交互记录、测试结果等）存储至云端；根据施工规范更新、工艺改进，及时调整数字人交底内容，确保信息时效性。

6.4.4 预期成效

AI 数字人可通过智能化交互与数据驱动，实现交底过程的自动化、精准化与沉浸式体验，提升交底效率，显著降低施工风险，其价值体现在多维度技术赋能上：

标准化知识传递：通过自然语言处理优化，融合施工规范，将图纸信息转化为动态可视化流程。

破除语言交底障碍：跨国项目多语言协同场景下，可通过神经机器翻译引擎、文化适配算法转译，降低沟通成本。

动态方案生成与智能决策：通过应用自然语言处理（NLP）、深度学习模型，基于 BIM 模型规范库历史案例等工程数据，自动生成交底内容，实时优化施工逻辑。

沉浸式交互与行为指导：通过 VR/AR 融合，数字人结合 BIM 模型，在虚拟场景中演示设备安装路径钢筋绑扎精度等关键步骤。通过多模态交互模拟真实作业场景，指导工人标准化操作。

6.5 AI 安全装置识别

6.5.1 目的意义

工业事故预防，通过实时识别工人未佩戴安全装备或设备异常，主动预警高风险行为，将事故隐患消除在萌芽阶段。生产合规监管替代人工巡检，7×24 小时自动化监控安全生产规范执行情况，确保企业符合《中华人民共和国安全生产法》等法规要求。将被动式事后追责转变为主动式事前预防，通过技术手段实现“零伤亡”安全生产愿景，同时为企业合规运营和可持续发展提供强力支撑。

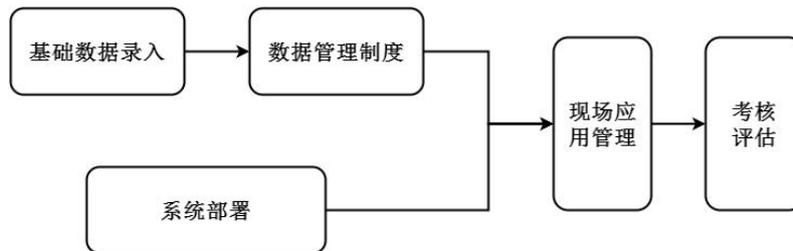
6.5.2 应用准备

软件工具：Python 进行程序开发，开源视频流处理库，数据标注平台，数据库。

硬件配置：高性能 GPU 显卡，显存性能应支持高分辨率影像和复杂模型的运算；2TB 非易失性固态硬盘（NVMe SSD），用于快速读写高频访问的训练数据和模型文件。根据项目规模和使用人数、业务要求提升整体性能。

数据准备：上传公司标准化各类方案模板，收集历年专项施工方案文档及专家评审意见，构建本地语料知识库，整理与审核相关的施工技术规范。将以上相关的知识数据进行结构化存储。

6.5.3 应用流程



（1）标准数据录入

基于现行规范，将安全装备佩戴要求（安全帽、安全带等）、设备防护标准（临边护栏高度、洞口盖板承重等）转化为可量化的视觉特征参数。建立包含企业各类施工场景、安全特征点的标准数据库，确保 AI 识别有据可依。重点标注不同工种（电工、焊工等）的特殊防护要求，实现差异化识别。

（2）基础系统部署

采用“双模校验”技术架构：前端部署轻量化目标检测算法模型实现 200ms 内实时检测，后端通过基于 Transformer 架构的深度学习模型进行二次校验。设置多级别级预警机制（例如语音提醒→现场警报→停工指令），对未系安全带、护目镜缺失等高危行为实现 10 秒内响应。同步开发移动端复核 APP，允许安全员对 AI 判定结果进行人工修正。

（3）数据管理制度建立构建“采集-标注-训练-优化”的迭代循环

每日自动抽取一定数量的监控画面进行人工复检，误报样本自动进入再训练队列。建立动态权重调整机制，针对雨季防滑鞋、冬季防寒服等季节性装备智能切换识别策略。每季度更新模型版本，确保对新出现的安全隐患（如无人机操作防护）保持识别能力。

（4） 现场应用管理

设计"AI+人工"双轨运行模式：AI 系统负责全天候监测，生成包含违规位置截图、时间戳的电子整改单，通过相关数字化系统自动关联责任班组。设置安全积分制度，对连续合规班组给予智能预警频次减免。每周生成多维度安全报告（违规类型热力图、高发时段分析等），辅助管理人员优化巡查路线。

（5） 建立评估体系

制定三级量化指标：基础层考核识别准确率、响应速度；过程层监测预警转化率；结果层追踪百万工时事事故率同比下降幅度。

6.5.4 预期成效

AI 安全装置识别系统的应用将显著提升企业安全生产水平，通过实时监测安全装备佩戴和设备状态，可将人为违规导致的事故率降低，同时减少安全巡检人力成本。系统部署后能快速识别异常并触发告警，使应急响应速度提升。可避免因安全事故造成的直接经济损失。其积累的违规行为大数据还能为安全管理决策提供量化依据，推动企业安全治理从被动处置转向主动预防，最终实现工伤事故预防的核心目标。

6.6 AI 智能质量巡检

6.6.1 目的意义

在建筑业数字化转型浪潮下，传统人工质量巡检面临效率瓶颈与精度局限。AI 智能质量巡检方案通过计算机视觉、深度学习、边缘计算等前沿技术融合，构建全流程自动化、智能化质量检测体系，实现建筑工程质量问题的毫秒级识别、厘米级定位与全周期闭环管理，推动建筑业质量管控从“经验驱动”向“数据驱动”转变。

6.6.2 应用准备

硬件设备：

（1）高清监控系统：部署高分辨率智能球机，支持 360°全景巡航与高倍数光学变焦，内置星光级夜视功能；搭配无人机搭载热成像相机，实现高空作业面与隐蔽工程的立体化数据采集。

（2）边缘计算终端：采用边缘计算开发平台，配备大容量内存与多个计算核心，支持专用加速引擎，可在现场实时处理多路高清视频流，将 AI 推理延迟控制在毫秒级水平。

智能交互终端：为巡检人员配备集成第六代无线网络技术（5G+Wi-Fi6）双模态传输的便携式智能终端，支持 AR 可视化标注与实时数据同步，预装轻量化巡检应用程序。

软件系统：

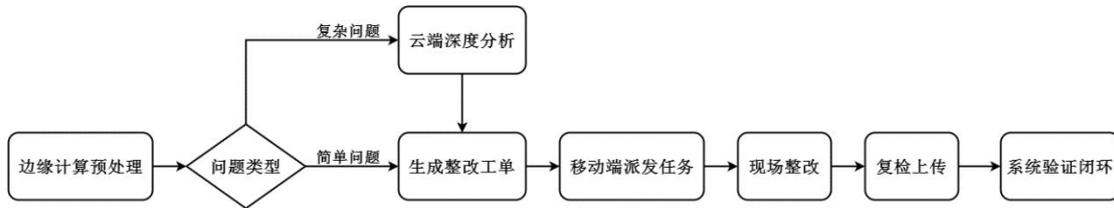
AI 视觉检测平台：基于深度学习框架（Pytorch）开发，集成目标检测算法（YOLOv7）与图像分割网络（U-Net），构建混凝土裂缝（检测精度 $\geq 0.1\text{mm}$ ）、钢筋间距偏差（误差 $\leq 2\text{mm}$ ）等 12 类专项检测模型，通过迁移学习与联邦学习技术适配不同项目场景。

数字孪生管理系统：采用三维引擎搭建施工场景数字孪生体，将 AI 检测结果实时映射至三维模型，支持建筑信息模型（BIM）与点云数据融合显示，内置质量问题热力图分析模块。

移动端协同 APP：基于跨平台开发框架构建移动应用，集成实时通讯技术（WebRTC），支持巡检人员与专家远程音视频会诊，通过 AR 技术显示问题整改方案，实现现场信息的直观交互。

数据准备：构建聚焦建筑工程核心质量检测项的数据集，采用图像标注工具（Labelme）进行语义分割标注，运用计算机视觉库（OpenCV）进行图像增强处理。建立动态数据更新机制，通过主动学习算法自动筛选高价值样本，实现模型持续迭代优化。

6.6.3 应用流程



（1）多源数据采集

固定式采集：智能球机按固定时间间隔全景扫描，无人机按预设航线来回采集高空作业面数据，形成时序化影像数据库。

移动式采集：巡检人员通过移动端 APP 触发 AI 检测，支持连续拍摄图像进行立体建模分析，实现局部细节高精度采集。

（2）边缘—云端协同计算

边缘侧处理：利用边缘计算节点实时预处理视频流，完成安全帽佩戴、材料堆放等基础场景快速检测，降低数据传输压力。

云端深度分析：通过云端算力集群对钢结构焊接缺陷、混凝土强度评估等复杂问题进行深度学习推理，结合行业知识库生成专业分析报告。

（3）智能决策与闭环管理

建立自动化 workflow：边缘检测结果实时同步至管理系统，系统按问题类型自动分级，简单问题生成即时整改工单并派发至责任人；复杂问题触发云端专家会诊。整改完成后，现场复检数据上传系统验证，形成“检测—派单—整改—复检”全流程闭环管理。

6.6.4 预期成效

技术指标突破：实现混凝土裂缝检测准确率极高，钢筋间距检测误差极小，复杂场景下 AI 推理速度大幅提升，可实时识别毫米级缺陷。

效能提升数据：单项目日均巡检面积大幅增加，质量问题平均处理周期显著缩短，响应速度明显加快，人力成本大幅降低。

实际应用效益：通过标准化质量管控流程，减少人为因素对检测结果的干扰，质量问题漏检率大幅下降；同时为项目管理人员提供直观的质量风险分布数据，助力提前制定防控措施，降低返工成本。

6.7 AI 辅助施工进度管理

6.7.1 目的意义

在传统项目进度管理中，多工种交叉作业时资源冲突频发，传统人工调度难以实时响应工序变化，常导致关键节点阻塞；依赖人工填报的进度数据误差率偏高，难以为管理决策提供及时的信息；通过无人机航拍、物联网传感器、BIM 模型等实时采集现场数据，运用机器学习算法处理海量信息；自动识别施工面完成状态，形成可支撑项目决策的措施建议，形成数字化控制闭环。

6.7.2 应用准备

硬件准备：

(1) 边缘计算网络：

在每 5000m² 作业区域部署工业级边缘服务器，承担现场 80% 的数据预处理任务。设备需具备 IP65 防护等级，适应—20℃~60℃ 温湿度波动，并配置冗余电源模块。核心功能包括实时解析无人机航拍图像、压缩传输关键数据流、执行轻量化 AI 推理。

(2) 智能感知终端：

视觉监控层：塔吊顶部安装多光谱云台摄像机（支持热成像/可见光切换），配合广角地面摄像头，实现施工面立体覆盖。

定位层：采用模块化定位系统，包含人员标签和定位数据功能，支持实时数据上传。

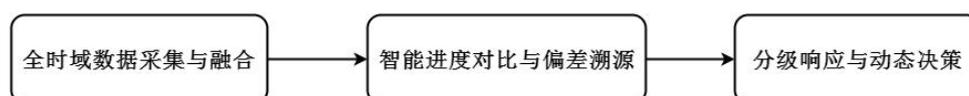
空中巡检层：配置垂直起降固定翼无人机，负载 1kg 级激光雷达。

软件系统：

(1) 多源数据接入引擎：可支持建筑业主流格式，包括 BIM 模型、图纸、设备物联网数据。

(2) 时空基准统一框架：构建坐标映射算法，将 BIM 模型的坐标系与现场 GPS 定位数据动态关联，误差控制在±3cm 内。

6.7.3 应用流程



(1) 全时域数据采集与融合

部署在塔吊的 4K 高清摄像机每 30° 旋转扫描一次作业面，无人机群按预设航线自动执行日间全景扫描与夜间热成像监测，所有影像实时回传边缘计算节点；定位标签持续追踪 200 米范围内人员设备坐标，塔吊应力传感器等 IoT 设备每秒上传工况数据；

(2) 智能进度对比与偏差溯源

每日启动 AI 诊断引擎，计算机视觉算法将当日航拍影像与 BIM 模型对齐，自动识别各施工面完成状态；对比计划进度曲线与实际进展，当单项工程滞后 > 5% 或关键路径总浮时 < 3 天时，标记为红色预警；

(3) 分级响应与动态决策

A 级响应（偏差 < 8%）：AI 自动触发资源微调——例如重新规划泵车行进路线，将临近完工区域的设备调往滞后作业面，同步推送通知至相关班组长移动端。

B 级响应（偏差 8—15%）：生成《延误处置建议书》，包含多套方案提供决策；

C 级响应（偏差 >15% 或高风险预警）：启动紧急会商机制——AI 召集相关方视频会议，同步推送应急预案库中的标准化处置流程。

6.7.4 预期成效

AI 进度管理系统带来显著效益：进度监控从阶段性管理跃升至实时连续跟踪；工期预测误差由 15—25% 压缩至 8% 以内；设计变更响应时间从 5—10 天缩短至 4 小时；资源闲置率从 25% 降至 12%，管理成本占比下降 35%。

6.8 AI 辅助成本控制与物料管理

6.8.1 目的意义

旨在解决传统建筑行业成本控制与物料管理痛点，通过构建“需求预测—资源协同—动态优化”的 AI 智能闭环，推动企业向精细化、数字化管理转型。其核心在于：利用深度学习融合多源数据，精准预测需求，显著降低库存积压、材料浪费与紧急采购溢价；运用强化学习优化物流路径与供应商组合，压缩运输成本与等待时间；建立成本敏感性分析模型，动态模拟变更影响，辅助风险预判与对冲决策。最终通过数据驱动与智能化手段，系统性提升资源周转效率、降低整体成本、增强抗风险能力，实现降本增效与风险可控。

6.8.2 应用准备

软件工具：能够实现智能仓储管理的平台以及开放二次开发的端口的软件或者开源代码。需要保证基础软件能够实现简单的材料出入库功能、人员权限设置、消息通知、数据整合分析等主要功能，具体要求如下：

（1）数据中台：对接企业资源计划（ERP）、建筑信息模型（BIM）平台、物联网设备，构建跨系统数据管道，支持实时抽取物料库存、订单状态、车辆位置等异构数据。

（2）AI 算法引擎：部署时序预测模型用于月度钢材、混凝土用量预测；采用组合优化算法实现供应商比价与运输路径规划；搭建成本敏感性分析模块。

（3）可视化决策平台：开发交互式看板，动态展示供应链健康度（库存周转率、订单履约率）与成本偏差预警（实际支出 vs 预算基线）。

硬件配置：

（1）前端用户硬件建议：正常运行的电脑；

（2）终端服务器硬件建议：高性能 GPU 显卡，显存性能应支持高分辨率影像和复杂模型的运算；2TB 非易失性固态硬盘（NVMe SSD），用于快速读写高频访问的训练数据和模型文件。

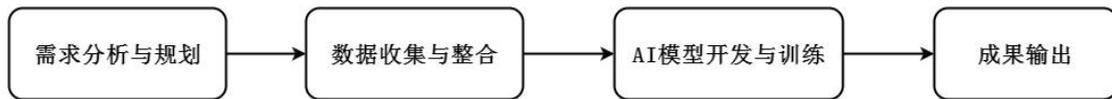
数据准备：

（1）整理基础数据：收集各公司或项目的采购记录、材料质量损耗数据、项目成本数据进行梳理整合。

（2）技术人员与工具配备：选取合适的采购软件、配备开发人员，进行物联网设备部署，实现自动化数据采集，AI 数据分析规则制定，AI 辅助采购下单。

（3）流程适配、人员培训：召集工程部、财务部、采购部人员共同制定 AI 采购管理流程，并进行 AI 相关培训。

6.8.3 应用流程



(1) 需求分析与规划：首先确定业务目标、解决核心问题，然后选择高价值、易落地的实施方向，最后跨部门组建团队。

(2) 数据收集与整合：收集与整理公司的内部数据（采购记录、成本等）、BIM 模型及工程量清单、进度计划、物料需求时间计划，进行数据清洗并统一数据格式，接着搭建数据平台。

(3) AI 模型开发与训练

根据需求选择算法与工具，将前期整合的数据用来训练模型，计算出成本预测的误差率与库存准确率、输出动态采购计划、系统自动匹配供应商并基于实时比价与履约评级生成优选订单，同时将 AI 模型嵌入公司现有的采购平台实时监控。

无线射频识别（RFID）标签追踪进场物料，实时更新库存地图；路径规划算法（AI 结合实时路况）调度车辆，动态规避拥堵/限行区域，降低运输能耗；异常事件（如暴雨延迟到货）触发协同机制：自动启用备用供应商，调整现场工序优先级。

(4) 成果输出：每日归集实际支出（劳务、机械、材料），对比预算模型生成偏差热力图；成本敏感性分析模块模拟变更影响表；生成分级预警与优化建议书，推送至管理层移动端审批。

6.8.4 预期成效

通过对成本和物料的控制可实现：

(1) AI 分析市场数据，推荐最优供应商，避免高价采购，降低采购成本。成本风险识别由“事后追溯”转为“事前预警”，管理响应速度从小时级压缩至分钟级，变更应对方案生成效率明显提升。

(2) 结合施工进度相关数据优化材料采购数量与时间，可以减少各项目的库存浪费。

(3) AI 对比预算与实际支出，提前预警超支风险。

(4) 资源利用率优化，提升库存周转率，降低仓储占用成，减少紧急采购频次。

(5) 优化运输路径减少碳排放，资源精准配置降低建材浪费率，推动工程建造向精益化、可持续发展转型。

6.9 AI 远程钢筋智能测量

6.9.1 目的意义

通过远程非接触式测量技术，替代传统效率低、风险高的人工检测，实现对钢筋间距、直径、根数等参数的高精度自动化测量（精度可达 $\pm 1\text{mm}$ ）。施工过程录像、全景图及测量数据云端存储，支持质量回溯与责任认定，实现全周期可追溯管理。该技术推动施工监管智能化升级，核心价值在于提升效率、保障质量、促进建筑行业转型升级。

6.9.2 应用准备

为了满足远程钢筋智能测量场景的应用要求，建议从以下几方面开展准备工作：

软件工具：全景图像采集软件、三维点云建模工具、钢筋智能识别与测量算法、数据管理平台（支持 CAD/BIM 集成）。

硬件配置：高分辨率全景相机（≥8K 分辨率，360°覆盖），激光测距模块及云台协同系统；边缘计算服务器，支持实时图像处理；搭建 5G 或工业 WiFi 网络，保障全景图像和测量数据实时传输与存储。

数据准备：建立包含≥10 万张标注钢筋图像样本库（包含锈蚀、遮挡、风雨、夜间等多种复杂工况）；开发适应不同光照条件的自适应曝光算法；关联 CAD 图纸库和 BIM 模型，确保测量结果与设计参数自动比对。

6.9.3 应用流程

AI 远程钢筋智能测量应用包含前期校准与规划、数据采集与处理、AI 分析阶段、结果输出与反馈 4 个流程，具体如下：

（1）前期校准与规划：设备安装后，通过激光与云台协同完成焦距、角度校准；制定巡检路线和测量节点，匹配 CAD 图纸、BIM 模型坐标与施工进度计划。

（2）数据采集与处理：全景相机自动扫描作业面并生成全景图，上传至云端；对图像去雾、畸变校正、多视角拼接，生成完整施工面数字孪生体。

（3）AI 分析阶段：基于目标检测算法定位图像中钢筋位置；利用图像分割技术精确提取钢筋间距、直径、数量等参数。

（4）结果输出与反馈：自动将测量结果与 CAD 图纸、BIM 模型进行对比分析；标记超差点位，自动生成预警报告；将问题信息推送至相关责任人，整改后复测数据同步更新至云端。

6.9.4 预期成效

高精度测量与监管：实现钢筋间距、直径的高精度测量，满足国家施工验收标准。

全周期可追溯管理：施工进度、质量及安全数据全流程记录与云端存储，实现全周期质量回溯，强化责任认定与过程透明度；

智能化分析与决策支持：自动生成钢筋安装质量全景图、偏差统计报表与可视化预警信息，为项目质量管理与施工决策提供数据支撑。

6.10 AI 辅助塔机智能安全管控

6.10.1 目的意义

塔机智能管控系统以 AI 技术为核心，实现高精度环境感知、动态路径规划、远程智能操控、多目标协同避障与自动紧急制动，显著提升塔机作业安全性，最大限度减少设备闲置时间，提高吊装效率，降低对高技能操作人员与信号工的依赖，助力建筑业实现数字化、绿色化与智能化转型。

6.10.2 应用准备

为了满足 AI 辅助塔机智能安全管控场景的应用要求，建议从以下几方面开展准备工作：

软件工具：集成实时监控、智能报警、数据分析等功能一体化管控平台，AI 算法模型（如路径规划、碰撞预警、载荷分析等），远程监控及操作系统。

硬件配置：

(1) 塔吊本体传感器：倾角传感器、载荷传感器、高精度 GPS/北斗定位模块、毫米波雷达与激光雷达避障系统；

(2) 工地环境感知设备：激光雷达、全景高清摄像头（支持低照度与强光抑制）；

(3) 边缘计算设备：工控机或 AI 盒子，具备实时数据融合与模型推理能力；

(4) 通信网络：搭建 5G 或工业 WiFi 网络，确保低延时、高可靠通信。

数据准备：建立 ≥ 10 万样本图像库（涵盖雨雾、夜间、强光、遮挡等复杂场景）、积累塔机力学仿真数据（覆盖 ≥ 20 种典型工况的载荷谱）；构建高精度工地地图（支持障碍物坐标动态更新）；建立安全吊装规则库及基于企业历史事故案例的知识图谱。

6.10.3 应用流程

AI 辅助塔机智能安全管控应用包含需求分析与方案设计、系统部署、数据采集与处理、试运行与调试、正式运行与监控、维护与迭代 6 个流程，具体如下：

(1) 需求分析与方案设计：明确塔机型号、工地布局、吊装任务类型及复杂度；确定需实现的 AI 功能（如防碰撞、自动路径规划、远程驾驶、吊装过程监控等）及运行模式。。

(2) 系统部署：在塔吊臂架、驾驶室等位置安装传感器，调试通信网络。

在塔吊关键部位安装传感器及通信模块；部署环境感知设备（激光雷达、摄像头）；安装边缘计算设备，调试通信网络与系统集成。

(3) 数据采集与处理：采集历史吊装数据（吊重、幅度、高度、速度、摆动幅度等）和实时环境感知数据（点云、图像、定位）；利用采集数据训练和优化 AI 算法模型（如强化学习）。

(4) 试运行与调试：在数字孪生系统中模拟极端工况（如多塔密集交叉作业、大风、复杂吊装路径）；实地校准传感器与执行机构，优化 AI 模型参数，调整报警阈值与控制灵敏度。

(5) 正式运行与监控：操作人员通过智能终端（平板、PC 或 AR 眼镜）接收任务指令、监控状态、进行交互；云端平台集中监控多台塔机运行状态、位置、载荷、报警信息等，生成运行日志与报表。

半自动模式：半自动模式下，AI 规划路径经驾驶员确认后执行，人员可通过远程座舱或语音参与控制，系统具备实时应急避险能力；

全自动模式（试点）：AI 根据任务指令直接控制塔机完成标准化吊运任务，如定点起吊、路径跟踪与精准落位。

(6) 维护与迭代：系统自动记录运行数据，输出故障预测与效能报告；依托实际吊装数据持续迭代 AI 模型与预警策略；结合新工艺与新场景扩展系统功能。

6.10.4 预期成效

施工安全与效率提升：实时监测塔机运行状态（载荷、幅度、风速、倾角等），对潜在安全隐患（如超载、碰撞风险、大风）提前预警。通过远程控制和自动化功能，实现“无人化”或“少人化”作业，降低人工依赖与风险。基于智能维护预测设备故障，减少非计划停机时间。

数字化管理能力增强：提供实时驾驶舱视图，集中展示塔机运行关键数据流。自动生成塔吊运行日志、能耗统计、吊次统计及故障分析报告，为项目管理决策提供数据支持，实现跨地域、多工地设备的远程集中监控与高效管控。

6.11 AI 绿色智能施工监测

6.11.1 目的意义

双碳目标驱动下，积极响应国家绿色建造政策（如住建部《绿色建造导则》），通过实时监测能耗、扬尘、噪音等指标，降低施工过程碳排放。依托 AI 技术替代传统粗放式人工监测，精准识别裸土未覆盖、材料堆放不规范等扬尘污染源，预测噪声峰值，分析能耗异常，实现污染排放与能源浪费的前置化干预，提升绿色施工精细化管理水平。

6.11.2 应用准备

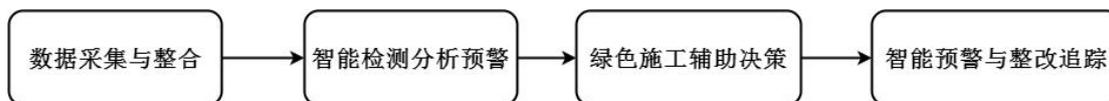
为了满足 AI 绿色智能施工监测场景的应用要求，建议从以下几方面开展准备工作：

软件工具：基于主流开发工具构建“数据采集—AI 分析—可视化决策”模块化平台。该平台应具备以下功能：支持物联网传感器、无人机航拍、建筑信息模型（BIM）数据接入与时空对齐；可集成目标检测、时间序列预测等算法识别污染源、预测噪声与能耗；可通过三维引擎构建施工场地模型，实时映射监测数据与污染源位置。

硬件配置：配置边缘计算服务器处理多路传感器数据，部署扬尘噪声监测仪、智能电表等物联网终端，搭配无人机辅助现场环境监测。

数据准备：收集历史环境监测、能耗数据及施工记录，标注现场图片构建扬尘污染源识别训练集。

6.11.3 应用流程



（1）数据采集与整合：采用 AI 算法调度物联网传感器实时采集扬尘、噪声、能耗数据，联动无人机航拍裸土覆盖、物料堆放等场景，结合 BIM 模型工程信息完成多源数据智能对齐与标准化处理。

（2）智能监测分析预警：深度解析数据，精准识别扬尘污染源；引入噪声峰值算法，结合历史噪声数据、施工工序计划、周边敏感时段及市政工程时间表，预测噪声峰值时段与能耗异常趋势；自动生成超标预警及绿色施工优化建议，构建污染趋势预测模型。

（3）绿色施工辅助决策：系统内置《绿色施工导则》GB/T 50905-2014 等规范，可根据项目类型自动匹配节能工艺方案，辅助管理人员制定针对性降尘、降噪及能耗优化策略。

（4）智能预警与整改追踪：当扬尘、噪声超标或能耗异常时，实时推送整改工单至责任人手机端。追踪治理过程，将整改效果数据回传平台优化模型，并生成整改闭环记录。

6.11.4 预期成果

AI 绿色智能施工监测在施工环境管理与资源优化领域，通过物联网、人工智能等技术的深度融合，具体预期成果体现在以下方面：

扬尘污染智能管控：利用无人机航拍与固定摄像头，通过目标检测算法实时识别大面积裸土未覆盖、易起尘物料堆未加盖或围挡缺失等扬尘污染源，定位污染源头。结合物联网扬尘传感器实时数据和神经网络预测模型，提前预警扬尘超标风险。系统自动联动生成覆盖/喷淋/调整工序等降尘指令，推送至责任人，并追踪整改闭环，显著减少施工现场扬尘排放。

噪声污染预测预警：基于历史噪声数据、施工计划、周边环境敏感时段及市政工程特殊管控要求，精准预测噪声峰值时段与超标风险。针对市政工地特点，分场景实施差异化管控策略：① 非工艺必需时，将高噪声工序调整至 8:00-18:00 等非敏感时段；② 确需夜间施工时，提前申请夜间施工许可并增加声屏障、低噪声设备等降噪措施；③ 特殊管控期（如考试期间）暂停高噪声作业，从源头降低噪声扰民风险。

施工能耗动态优化：对塔吊、施工电梯、临时设施等高能耗设备/区域进行实时用电监测。运用算法深度分析能耗数据，识别异常耗电模式，建立设备能效基线，生成设备启停优化、负载调度等优化运行策略。同时结合天气预报数据，通过智能算法调度现场临时光伏发电系统出力，最大化利用清洁能源，实现施工用电的动态优化与化石能源消耗的降低。

6.12 AI 箱梁智能养护

6.12.1 目的意义

针对传统箱梁养护中人工洒水效率低、温湿度控制粗放、资源浪费严重等痛点，通过 AI 技术实现养护过程的精准调控与自动化管理，推动桥梁工程向低碳化、智能化转型。

6.12.2 应用准备

为了满足 AI 箱梁智能养护场景的应用要求，建议从以下几方面开展准备工作：

软件工具：构建涵盖数据采集、智能分析、决策控制、可视化管理的智能养护平台。其核心功能包括：基于嵌入卷积注意力模块 (CBAM) 的快速区域卷积神经网络 (Faster R-CNN) 模型实现混凝土表面湿度分布的实时监测；智能决策引擎融合实时传感器数据（温湿度、应变）与视觉识别结果，集成长短期记忆网络 (LSTM) 算法预测混凝土强度发展，并依据混凝土结构工程施工规范动态生成喷淋或蒸汽养护策略；集成控制模块实现对喷淋、水泵、蒸汽发生器、遮阳棚等设备的自动化启停与参数调节；构建箱梁三维数字孪生模型，实时映射温湿度场分布、喷淋状态、设备运行参数及 AI 识别分析结果；同时记录养护全过程数据，支持异常预警与全生命周期质量追溯。

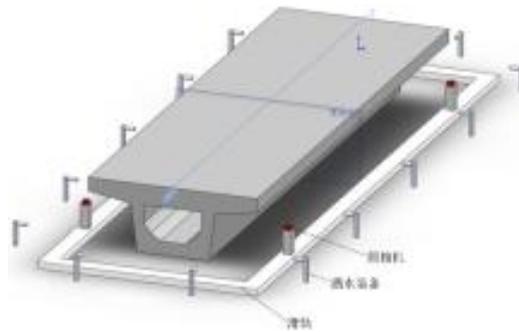
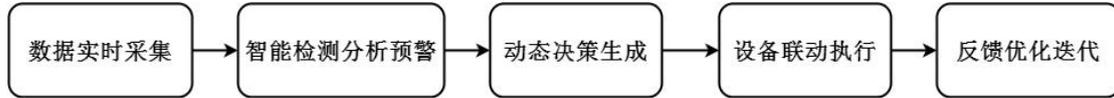


图 6.12.2 箱梁三维数字孪生模型

硬件配置：按功能划分为数据采集层、边缘计算层和执行控制层。数据采集层配备高清智能监控摄像机、温湿度传感器、混凝土应变仪、智能电表等设备，用于获取混凝土表面图像、环境及结构温湿度、早期应力应变和设备能耗数据；边缘计算层配置具备高性能计算能力的服务器，部署 AI 模型进行实时推理运算，并储存监测结果与养护记录；执行控制层包含 180°旋转喷淋装置、水泵、可集成循环水系统的水箱、蒸汽发生器、电动遮阳棚或保温棚及可编程逻辑控制器 (PLC)，负责接收平台指令并驱动执行设备运行。

数据准备：收集历史箱梁养护数据，包括温湿度变化曲线、喷淋记录、强度发展数据及养护环境参数；标注不同湿度状态、不同光照条件下的箱梁表面图像数据集，用于 AI 湿度识别模型的训练和优化；同时整理相关混凝土养护规范及工艺标准库，为智能决策提供依据。

6.12.3 应用流程



(1) 数据实时采集：数据采集层通过高清摄像机、温湿度传感器、应变仪等设备，同步获取混凝土表面湿度图像、环境温湿度、结构应变及设备能耗数据，实时传输至边缘计算层。

(2) 智能分析处理：边缘计算层运行 AI 视觉识别模型，精准识别混凝土表面湿度状态；LSTM 算法结合历史养护数据，预测混凝土强度发展趋势，同步完成数据完整性校验与异常值筛查。

(3) 动态决策生成：智能决策引擎将实时监测数据、AI 分析结果与预设养护规范行对比，结合强度预测结果，自动生成喷淋、蒸汽养护或遮阳保温等优化策略。

(4) 设备联动执行：平台将决策指令发送至执行控制层的控制器，驱动喷淋装置、蒸汽发生器、遮阳棚等设备按优化参数自动启停与调节，实现温湿度动态精准控制。

(5) 反馈优化迭代：数字孪生模型实时更新养护状态、设备运行参数及 AI 分析结果，系统记录全流程数据；通过定期复盘数据与养护效果，持续优化模型算法与养护策略，形成闭环迭代。

6.12.4 预期成效

通过智能视觉识别与预测算法精准感知湿度状态、预判强度发展，为养护策略提供数据支撑；智能决策与设备联动替代人工粗放操作，提高养护精准度与效率；形成闭环管理机制，增强质量稳定性，助力缩短周期。

6.13 AI 驱动建筑机器人施工应用

6.13.1 目的意义

AI 在建筑机器人中的应用旨在解决施工效率低、人力成本高、安全风险大及质量波动等行业痛点。通过智能化技术实现精准作业、实时监控与自主决策，减少人工依赖，提升施工标准化水平。其意义在于推动建筑业从劳动密集型向技术密集型转型，该技术对于施工机器人缩短作业工期，降低事故率，并为复杂工程（如异形结构施工）提供技术可行性有明显效用。

6.13.2 应用准备

技术储备：需集成计算机视觉（缺陷识别）、SLAM（实时定位）、深度学习（路径规划）等 AI 技术，并匹配高精度传感器（激光雷达、IMU）。

硬件配置：部署具备机械臂、移动底盘、3D 打印模块等功能的机器人本体，支持工地复杂环境。

数据基础：建立 BIM 模型库与施工数据集，训练 AI 算法；搭建 5G/边缘计算网络保障实时通信。

协同机制：制定人机协作流程，如机器人负责高危作业，人工辅助质量复检。

6.13.3 应用流程

AI 驱动建筑机器人施工应用流程由任务规划、环境感知、（现场）定位、执行（作业）、调整（自动调教）、质量监控等 6 个步骤构成，可实现建筑机器人在 AI 技术的辅助下高效作业。具体流程如下：

（1）任务规划：基于 BIM 模型自动拆解施工步骤，生成机器人可执行指令（如砌墙路径、混凝土浇筑量等）。

（2）环境感知：

- 1) 通过多传感器融合实时构建工地三维地图，动态避障（如识别移动物料堆等）。
- 2) 引入深度学习驱动的人员动作识别系统，对施工现场人机交互中的异常行为（如越界操作、疲劳姿态等）实施毫秒级预警，并联动机器人自动暂停机制，显著降低协作风险。

（3）自主作业：

- 1) 定位：UWB+视觉辅助定位；
- 2) 执行：机器人按 AI 优化路径自动执行砌筑/喷涂/焊接/搬运等专业作业；
- 3) 调整：AI 实时分析施工偏差（如墙面平整度），反馈修正指令。
- 4) 质量监控：无人机扫描现场，AI 对比点云数据与 BIM 模型，即时标记缺陷（空洞、裂缝等）。

6.13.4 预期成效

效率提升：建筑施工机器人可实现 24h 不间断作业，日均完成工作效率是人工 3~5 倍；项目整体工期缩短显著。

质量优化：AI 质检覆盖率极高，缺陷识别误差率较小，结构误差控制在毫米级。

成本安全：减少一定量人工成本，材料浪费比例降低；高危场景人工替代率较高，特定场景可实现零人工作业，工地重大事故率明显下降。

技术沉淀：形成施工知识库，支持机器人自适应新工况。

7 运维阶段

7.1 AI 设备维护

7.1.1 目的意义

AI 设备维护的核心价值在于构建数据驱动预测性维护体系。通过实时监测设备运行状态，AI 算法可精准识别潜在故障特征，提前预警，避免突发停机导致的运营中断。同时，AI 能优化维护策略，动态调整巡检频次与备件库存，减少无效维护工单，延长关键设备寿命周期。

7.1.2 应用准备

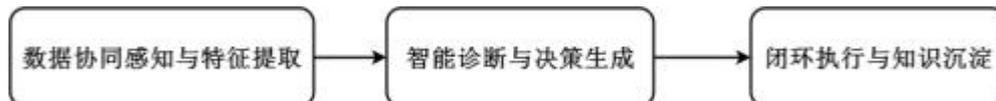
硬件配置

- 1) 在暖通机组、电梯、水泵等关键设备部署高精度传感器，同步安装边缘计算节点实现本地数据预处理。
- 2) 采用工业级 5G 网关+光纤环网双冗余架构，确保数据实时传输。
- 3) 配置 GPU 服务器集群，支持千亿级参数模型训练与推理，配备 PB 级分布式存储系统归档全量设备历史数据。

软件工具

- 1) 开发 AI 运维平台，集成设备管理、故障诊断、工单调度模块，支持与 BIM 模型、楼宇自控系统 API 对接。
- 2) 整合设备手册、故障代码库、维修规程等非结构化文档，通过 NLP 技术构建语义检索引擎。
- 3) 搭建多模态融合模型，输入振动频谱、热成像图、电流波形等时序数据，输出设备健康评分与故障概率。

7.1.3 应用流程



(1) 数据协同感知与特征提取

设备运行时，多源传感器实时采集振动加速度、温度梯度、电流相位等物理信号，边缘节点进行降噪和特征提取，将数据传输至云端数据中心。

(2) 智能诊断与决策生成

云端 AI 平台执行三层分析：

短期预警：检测数据异常时，触发实时告警并定位故障部件。

中长期预测：基于预测模型，融合设备负荷率、环境温湿度等工况数据，输出剩余使用寿命与衰退曲线。

维护策略优化：强化学习算法权衡“维护成本”“停机损失”“备件库存”等多目标，生成最优工单计划。

(3) 闭环执行与知识沉淀

工单自动派发至移动终端，维护人员现场处理时，维修结果反馈至系统，用于校准模型，全流程数据存入区块链存证库，支撑质量追溯与保险理赔。

7.1.4 预期成效

有效提升运维效能，包括提高故障预测准确率，减少突发停机事件，提高设备综合效率，延长关键设备设计寿命，减低年碳排放强度。

7.2 AI 运维安全管理

7.2.1 目的意义

引入 AI 运维安全管理技术，通过物联网、计算机视觉与知识图谱技术深度融合，实现风险隐患的自动化识别、精准化预警与闭环化处置。其核心价值在于将安全管理从“被动响应”转向“主动预防”，通过数据驱动优化资源配置，显著降低安全事故发生率，保障建筑全生命周期运营安全。

7.2.2 应用准备

硬件准备：

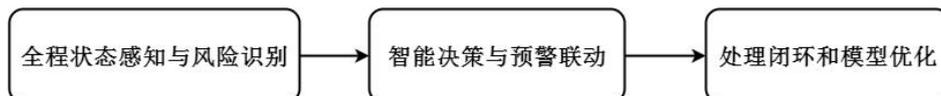
- (1) 部署防爆型红外热成像摄像头、高清广角摄像机、无线温湿度/气体传感器、拾音器；
- (2) 采用边缘计算节点，支持视频流本地实时处理，降低网络依赖；
- (3) 搭建工业级 5G 专网，确保数据高速回传与指令实时下发。

软件工具：

需部署具备多模态分析能力的 AI 安全管理平台，集成以下模块：

- (1) 构建视觉模型用于实时解析视频流，识别人员违规行为和设备状态异常；
- (2) 结构化存储建筑安全规范、应急预案、设备运维手册，建立风险规则库；
- (3) 对接 BIM 运维模型，实现风险点位三维空间定位与影响范围模拟。

7.2.3 应用流程



(1) 全域状态感知与风险识别

通过物联网设备实时采集建筑环境、设备运行、人员行为数据，视频流经边缘节点初筛后上传云端。动态检测监控画面中的异常目标，判定风险等级；异常发生时，关联传感器读数，触发预警并自动检索历史相似案例及处置方案，推送至管理人员。

(2) 智能决策与预警联动

低风险事件自动广播语音提醒，同步记录违规人员信息至数据库；

中高风险事件：向责任工程师推送工单，附带处置指引，并联动楼控系统启动风机；

紧急事件：一键启动疏散广播、关闭防火分区卷帘、解锁应急出口，同时向应急部门发送定位信息。

(3) 处置闭环与模型优化

工单执行过程全程跟踪，维修人员维护完成后上传复核影像；系统每日生成《安全态势报告》，统计预警数量、处置时效、复发问题点；基于新增数据每周微调 AI 模型，通过强化学习提升误报过滤能力。

7.2.4 预期成效

改变传统监测模式，提高隐患检出率，缩短高危事件响应时间，降低重大安全事故发生率；减少日常巡检人力投入，为智能建造运维体系提供核心安全保障。

7.3 AI 能源管理

7.3.1 目的意义

AI 驱动的能源管理通过融合物联网感知、大数据分析 & 智能决策技术，其核心价值在于实现建筑用能的精细化管理：一方面通过机器学习模型实时解析历史能耗规律、环境变量及设备运行状态，精准预测短期负荷趋势并动态调整暖通空调、照明、电梯等系统的运行策略；另一方面结合电价机制与碳排目标，在保障室内环境舒适度的前提下，自动生成全局最优的能效方案。

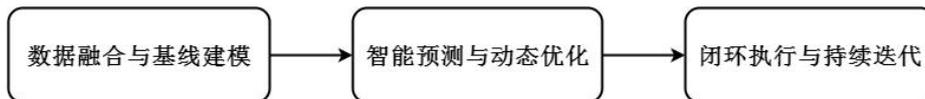
7.3.2 应用准备

硬件准备：硬件配置需构建全域感知网络：部署高精度智能电表、多参数环境传感器（温湿度、CO₂、光照度）、设备运行监测终端（水泵、风机变频器状态），通过工业物联网关实现数据汇聚；边缘计算层应支持实时数据清洗与轻量化模型推理。

软件工具：

- (1) 数据中台集成 BIM 运维模型、楼宇自控系统（BAS）及气象 API；
- (2) 开发 AI 引擎，内置负荷预测、强化学习优化决策、异常检测等算法模块；
- (3) 可视化控制台支持能流三维映射、碳排热力图及策略模拟推演。
- (4) 需结构化录入至少 2 年历史能耗数据，标注特殊工况（如极端天气、大型活动）；同步导入当地分时电价政策、绿色建筑评价标准及设备安全运行阈值，形成约束规则库。

7.3.3 应用流程



(1) 数据融合与基线建模

通过物联网平台实时采集用电分项计量数据、环境参数及设备运行日志，经边缘节点滤除噪声后上传至数据中台，建立逐时能耗基线模型。

(2) 智能预测与动态优化

基于多变量模型滚动预测未来 24 小时负荷，优化引擎结合预测结果与实时电价，以“能耗成本+碳排强度”最小化为目标函数，生成设备调控措施。

(3) 闭环执行与持续迭代

优化指令系统执行，并通过数字孪生平台监控实际能耗偏离度。若偏差超过 5%，触发在线学习机制更新预测模型；每月对比策略优化前后的能效指标，结合规则库调整算法权重。

7.3.4 预期成效

在能效层面，通过负荷精准匹配与设备协同优化，降低能耗、节约能源成本、减少碳排放量，为绿色建筑认证提供量化依据；在管理层面，提高能源系统自动化管控率，异常诊断响应速度缩短至分钟级，并为建筑机电系统改造提供数据驱动的决策支持。

7.4 AI 室内环境管理

7.4.1 目的意义

AI 室内环境管理通过多源感知、自适应决策和智能执行系统，实现对温湿度、空气质量、光照及声环境的全维度协同调控。其核心价值在于突破静态管理局限，以数据驱动构建“人—环境—设备”动态平衡：一方面通过机器学习解析历史环境数据与人体舒适度反馈，建立个性化预测模型，精准匹配不同区域、时段的舒适需求；另一方面深度融合建筑能耗模型与实时电网信息，在保障环境品质前提下优化设备运行策略，实现节能降耗与舒适体验的双重目标。

7.4.2 应用准备

硬件准备：

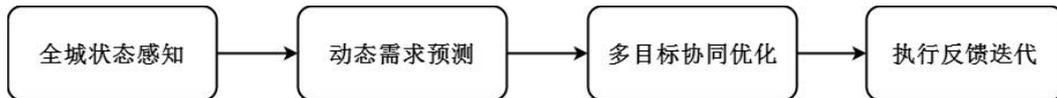
(1) 需部署如温湿度传感器、CO₂浓度监测仪、PM2.5 检测单元、光照度探头及噪声传感器等分布式传感器网络；

(2) 配置边缘计算节点实现本地化实时数据处理，执行设备需支持智能联控接口。

软件工具：

需集成建筑信息模型（BIM）运维数据、气象预报接口及用户反馈通道，并开发多目标优化算法引擎，数据基础需涵盖至少 12 个月的环境历史数据、设备运行日志及用户舒适度评价，用于训练热舒适性预测模型及能耗关联分析模型。

7.4.3 应用流程



(1) 全域状态感知

传感器网络实时采集环境参数，用户终端 APP 同步接收主观舒适评分。边缘节点对原始数据清洗融合，生成空间网格化环境状态图谱。

(2) 动态需求预测

基于 AI 模型预测未来 2 小时各区域人员分布及活动强度，结合气象局短时预报数据，预判外部热扰与光扰趋势。深度神经网络同步分析历史舒适反馈，输出分区域个性化温湿度、新风量及照度需求区间。

(3) 多目标协同优化

以“舒适度达标率最大化+能耗最小化+设备损耗均衡”为目标函数，调用混合整数规划算法生成最优控制策略。

(4) 执行反馈迭代

策略下发至楼宇自控系统（BAS）执行，同时监测实际环境状态与设备响应。强化学习模块根据用户反馈与能耗偏差持续优化模型参数，每月自动更新控制规则库。

7.4.4 预期成效

实现从“均质控制”到“按需定制”的升级，依托负荷预测与设备协同优化，提升空调系统能效比，降低照明能耗，提高全年综合节能率，同时在运维成本层面，减少突发故障维修频次，降低人工巡检强度。最终形成“舒适—节能—低碳”三位一体的智能运维体系。

7.5 自动化巡检

7.5.1 目的意义

传统人工巡检存在覆盖不全、标准不一、效率低下等问题，通过 AIoT 技术构建自动化巡检体系，可实现运维模式从被动维修到预防性维护的转变，升级安全管控，优化设施管理成本效益。

7.5.2 应用准备

软件工具：物联网数据中台、故障预测模型、智能调度引擎

硬件配置：边缘计算设备、传感器网络

数据准备：历史维护记录、设备运行数据、专家经验库、本地化训练数据集（标注异常工况样本）

7.5.3 应用流程

（1）首先进行感知网络规划部署，依据建筑设施分布特点和重要性等级，运用专业评估方法确定传感器布置点位，确保对暖通空调、给排水、电气、电梯等关键设施实现无死角监测，搭建稳定的物联网通信网络，保障数据实时传输。

（2）接着开展数据分析模型构建，整合设备运行数据、历史维护记录、专家经验等多源信息，运用机器学习算法建立设备故障预测模型和维护决策支持系统；同时，构建科学的设备健康评估指标体系，设定合理的预警阈值标准，为设备状态判断提供量化依据。

（3）在智能巡检流程建立阶段，制定基于 AI 技术的自动化巡检标准和流程，包括根据设施布局和运行规律规划最优巡检路径，设定详细的检查项目和标准；利用 AI 算法实现巡检任务的智能调度，并对执行过程进行实时监督，确保巡检工作规范、高效。

（4）最后完善预警响应机制，建立分级预警体系，根据设备异常程度和紧急性划分不同等级；制定对应的自动化响应流程，明确从预警发出、信息通知、人员处置到维护完成的全流程操作步骤，实现闭环管理，保障设施安全稳定运行。

7.5.4 预期成效

应用后，实现 7×24 小时自动巡检，覆盖率达 100%，显著提升巡检频次与质量。故障预测准确率大幅提高，减少设备非计划停机。通过设备健康监测，增强设施运行稳定性与可靠性。预防性维护策略降低突发故障维修成本，优化备件库存管理。建立数字化设施管理档案，实现维护记录自动生成与追踪，提升设施管理标准化、专业化水平。

7.6 用户服务与智能客服

7.6.1 目的意义

传统建筑运维用户服务存在响应迟缓、人工成本高、专业覆盖不足、服务质量参差不齐等问题。随着用户服务需求升级，亟需借助 AI 技术革新服务模式，提升服务效率，降低运营成本，增强用户满意度。

7.6.2 路径一：采购成熟软件实现

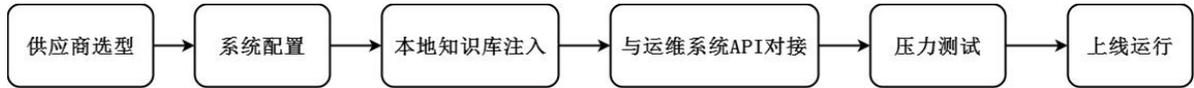
7.6.2.1 应用准备

软件工具：准备成熟云端工具。

硬件配置：常规办公设备，依赖云端算力。

数据准备：清洗历史工单数据、标注典型问答对、配置行业术语库。

7.6.2.2 应用流程



7.6.3 路径二：自主开发建设

7.6.3.1 应用准备

软件工具：基于微服务的分布式架构、集成多种多模态大模型。

硬件配置：GPU 集群配置。

数据准备：清洗历史工单数据、标注典型问答对、配置行业术语库。

7.6.3.2 应用流程

(1) 在知识库构建阶段，首先系统性收集建筑运维相关的技术标准、操作手册、历史案例等多类型数据资源，运用知识抽取技术，构建涵盖设备维护、故障诊断、应急处置等核心业务的专业知识图谱、知识库；建立专家审核机制，定期更新维护知识库数据，确保内容准确、及时。

(2) 进入系统集成部署阶段，基于微服务架构设计 AI 客服平台，保障系统的可扩展性和稳定性，同时完成与既有运维管理系统、物业管理系统的接口开发，实现数据共享与功能联动。接着构建统一服务入口，支持电话、微信、网页、APP 等多种服务渠道，实现全渠道用户服务覆盖；建立分级权限管理机制，根据用户角色分配相应权限，保护敏感信息安全。

(3) 持续优化迭代阶段，通过建立用户满意度评价机制，实时收集用户对服务质量的反馈意见；基于实际应用产生的数据，持续优化 AI 算法模型，提升系统的语义理解能力和回答准确性；依据用户行为数据分析结果，不断优化服务流程，从问题接入、解答到回访，形成高效闭环，提升用户体验和服务效率。

7.6.4 预期成效

应用后，服务响应实现即时化，7×24 小时不间断服务；大幅提升服务效率，服务覆盖大规模用户群体。服务专业性显著增强，基于知识库提供准确技术支持，快速定位并解决问题，有效传递专业知识。运营成本大幅降低，替代大量人工客服工作，单次服务成本下降，释放专业人员精力处理复杂问题，提升整体运营效率。