

ICS 35.240.50

CCS P 10

CAIEC

团 体 标 准

T/CAIEC 00X—2025

工程勘察设计数字化技术应用指南

Guide to the Application of Digital Technology in Engineering
Investigation and Design

(征求意见稿)

2025-**-**发布

2025-**-**实施

中国国际工程咨询协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 基本规定	7
5 勘察设计数字化技术	7
6 勘察设计数字化交付	16
7 勘察设计数字化创新技术	18
8 数据安全保护	20
附录 A （资料性） 工程勘察设计数字化交付流程示例	29
附录 B （资料性） 建筑工程数字化技术及应用方向	30
附录 C （规范性） 道路工程数字化技术及应用方向	31
附录 D （规范性） 桥梁工程数字化技术及应用方向	34
附录 E （规范性） 隧道工程数字化技术及应用方向	37
附录 F （规范性） 管廊工程数字化技术及应用方向	38
附录 G （规范性） 水务工程数字化技术及应用方向（广西大汉岩土工程有限责任公司）	39

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国市政工程西南设计研究总有限公司提出。

本文件由中国国际工程咨询协会归口。

本文件起草单位：中国市政工程西南设计研究总有限公司。

本文件主要起草人：×××

工程勘察设计数字化技术应用指南

1 范围

本文件提供了工程勘察设计数字化技术应用有关基本规定、勘察设计数字化技术、勘察设计数字化交付、勘察设计数字化创新技术、数据安全保护等方面的指南。

本文件适用于工程勘察设计生产环节划分、信息数据采集、数字化一体化生产作业方式等相关工作，为工程勘察设计数字化应用提供指导。

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。

GB 55017-2021 工程勘察通用规范
GB 50021-2001（2009 年版） 岩土工程勘察规范
GB 55018-2021 工程测量通用规范
GB 50174-2017 数据中心设计规范
GB 50314-2015 智能建筑设计标准
GB 50324-2014 冻土工程地质勘察规范
GB 51195-2016 互联网数据中心工程技术规范
GB/T 50585-2019 岩土工程勘察安全标准
GB/T 50279-2014 岩土工程基本术语标准
GB/T 51301-2018 建筑信息模型设计交付标准
GB/T 51235-2017 建筑信息模型施工应用标准
JGJ/T 272-2012 建筑施工企业信息化评价标准
JGJ/T 448-2018 建筑工程设计信息模型制图标准
JGJ/T 313-2013 建设领域信息技术应用基本术语标准
JGJ/T 454-2019 智能建筑工程质量检测标准
JGJ/T 84-2015 岩土工程勘察术语标准
CJJ 57-2012 城乡规划工程地质勘察规范
CJJ/T 100-2017 城市基础地理信息系统技术标准
CJJ/T 199-2013 城市规划数据标准
CJJ/T 116-2014 建设领域应用软件测评工作通用规范
CJJ/T 319-2023 城市信息模型数据加工技术标准
CJJ 56-2012 市政工程勘察规范
SJG 36-2017 深圳市岩土工程勘察报告数字化规范
《工程勘察设计行业“十四五”信息化工作指导意见》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

初步勘察 preliminary geotechnical investigation

为初步查明和分析评价场地条件，并为工程的初步设计提供依据而进行的勘察。

3.2

地理信息系统 geographic information system (GIS)

用于采集、存储、分析地理空间数据的系统，支持工程选址、规划和环境评估。

3.3

点云数据 point cloud data

通过激光扫描或摄影测量获取的三维空间点集合，用于逆向建模。

3.4

非几何信息 non-geometric information

表示建筑物或构件除几何信息以外的其他信息，如材质信息、功能信息及各种专业参数信息等。

3.5

工程地质条件 engineering geological condition

与工程建设有关的地质条件，包括岩土的工程特性、地下水、不良地质作用、地质灾害等内容。

3.6

工程对象 engineering object

构成建筑工程的建筑物、系统、设施、设备、零件等物理实体的集合。

3.7

建筑工程信息模型 building information model, building information modeling (BIM)

在建设工程及设施全生命期内，对其物理和功能特性进行数字化表达，并依此设计、施工、运营的过程和结果的总称。

3.8

几何信息 geometric information

表示建筑物或构件的空间位置及自身形状（如长、宽、高等）的一组参数，通常还包括构件之间空间相互约束关系，如相连、平行、垂直等。

3.9

交付物 deliverables

基于建筑工程信息模型交付的成果。

3.10

可行性研究勘察 feasibility geotechnical investigation

为查明场地的稳定性和适宜性，并为选择工程场址和可行性研究提供依据而进行的勘察。

3.11

空间占位 occupancy Size

建筑物或构配件在三维空间的指定位置上，于各方向上所占用的代表性空间尺寸。

3.12

模型单元 model unit

建筑工程信息模型中承载信息的实体及相关属性的集合，是工程对象的数字化表达。

3.13

模型精细度 level of model definition

建筑工程信息模型单元所容纳的模型单元丰富程度的衡量指标。

3.14

碰撞检测 clash detection

利用 BIM 模型检查不同专业（如管道与结构）间的空间冲突。

3.15

轻量化模型 lightweight model

利用技术手段，实现在几何实体、承载信息、构建逻辑等方面的精简、转换和缩减过程形成的模型。

3.16

区块链 blockchain

一种块链式存储、不可篡改、安全可信的去中心化分布式账本。它结合了分布式存储、点对点传输、共识机制、密码学等技术，通过不断增长的数据区块链记录交易和信息，确保数据的安全和透明性。每个区块包含了一定数量的交易信息，并通过加密算法与前一个区块相连，形成一条连续的、不断增长的链。从狭义上来说，区块链技术是一种按照时间顺序将数据区块以顺序相连的方式组合成链式数据结构，并以密码学方式保证不可篡改和不可伪造的分布式账本技术。

3.17

人工智能 artificial intelligence (AI)

研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。它涉及计算机科学、数学、心理学、神经科学等多个领域，旨在使机器能够像人一样学习、思考、推理、解决问题、感知以及理解语言等。人工智能可以分为弱人工智能和强人工智能，其中弱人工智能专注于特定任务的执行，而强人工智能则是指具备人类水平的智能。

3.18

施工勘察 investigation during construction

当地质条件复杂、有设计变更或施工过程中发现问题时而进行的补充勘察。

3.19

施工模拟 construction simulation

基于 BIM 模型模拟施工流程和进度，优化资源分配和风险管控。

3.20

数据库 database

按照数据结构来组织、存储和管理数据的集合。它能够高效地存储、检索和管理大量数据，通常通过数据库管理系统（DBMS）进行操作。

3.21

数据库管理系统 database management system (DBMS)

一种软件系统，用于创建、管理和操作数据库。它提供了数据存储、检索、更新和管理的功能，并确保数据的安全性、完整性和一致性。

3.22

数据清洗 data cleansing

去除重复、错误或不完整数据，确保数据质量的预处理过程。

3.23

数据挖掘 data mining

从大量数据中提取有用信息和模式的过程。它涉及统计分析、机器学习等技术，用于发现数据中的潜在规律和趋势。

3.24

数据完整性 data integrity

数据库中数据的准确性和一致性。通过约束、触发器等机制，确保数据在插入、更新和删除过程中

保持一致。

3.25

数字化 digitization

将模拟信息（如声音、图像、文本等）转换为数字格式的过程。这通常涉及采样、量化和编码等步骤，以便将连续变化的模拟信号转换为离散的数字信号。数字化使得信息能够以数字形式存储、传输和处理，从而提高了信息的准确性、可靠性和可访问性。在现代社会中，数字化已经成为信息技术和数字经济的基础，广泛应用于通信、娱乐、教育、医疗、金融、工程等多个领域。

3.26

数字孪生 digital twin

指物理对象、系统或过程的虚拟表示或数字化副本。它是一个动态的、实时的模型，通过集成来自传感器、物联网设备和其他数据源的数据，反映物理实体的行为、性能和特征。数字孪生能够在物理对象的整个生命周期内（从设计、制造到运营和维护）进行仿真、监控、分析和优化。

在工程和建筑领域，数字孪生可以代表建筑物、基础设施甚至整个城市，使利益相关者能够可视化、预测和优化性能，检测潜在问题，并改进决策过程。

3.27

数字资产 digital assets

企业或个人拥有或控制的，以电子数据形式存在，常用于日常活动并持有以备出售或处于生产过程中的非货币性资产。这些资产包括但不限于数字货币、数字证券、数字艺术品、软件代码、网站域名、数字版权、客户信息数据库、电子邮件列表、社交媒体账号等。数字资产具有价值性、稀缺性、可交易性和依托性等特征，是现代数字经济的重要组成部分。

3.28

物联网 internet of things (IoT)

通过传感器和网络连接物理设备，实现数据采集和远程控制的技术。

3.29

详细勘察 detailed geotechnical investigation

为详细查明和分析评价场地条件，并为工程的施工图设计提供依据而进行的勘察。

3.30

协同 collaboration

基于建筑工程信息模型进行数据共享及操作的过程。

3.31

信息模型协同平台 BIM-based collaboration platform

信息模型协同平台是指项目各参与方的协同工作软件、硬件及网络环境。可确保项目信息准确、安全、完整的传递与反馈。

3.32

信息模型软件 BIM software

对信息模型进行创建、使用、管理的软件。

3.33

正向设计 forward design

直接构建建筑工程信息模型，并由其生成建筑工程信息模型交付物的一种设计方式。

3.34

资产信息模型 asset information model (AIM)

一种用于描述和管理资产相关信息的结构化框架或模板。它定义了资产数据的组织方式、属性、关系以及数据之间的交互规则。资产信息模型可以涵盖资产的物理特性、功能特性、运行状态、维护历史、

位置信息等多个方面，为资产的全生命周期管理提供数据支持。通过资产信息模型，企业可以更好地理解和管理其资产，提高资产利用率，降低维护成本，优化运营效率。

4 基本规定

4.1 勘察设计数字化应用应通过信息化技术实施，应有利于提高工程项目信息的管理和共享；并应通过数字签章实施工程勘察设计文件的签署、盖章。数字化技术的应用应确保数据的完整性、可追溯性和安全性，避免数据篡改和泄露。

4.2 数字化技术应用应贯彻“工程项目全生命期信息管理和共享”的基本理念。通过数字化技术，实现从勘察、设计、施工到运营维护的全生命周期数据管理，确保各阶段数据的无缝衔接和高效利用。

4.3 数字化技术必须严格执行现行相关法律法规、规范、标准、工程建设强制性条文，提供的数字化成果必须真实、准确。

4.4 数字化履约单位宜采用与业务系统相衔接的数据协同平台，实现数字化成果从形成到归档、保管、利用的全过程管理。

4.5 数字化技术的应用应注重数据的安全性和隐私保护。对于涉及敏感信息的数据，应采取加密存储和传输措施，确保数据在传输和存储过程中不被非法访问或篡改。

4.6 数字化技术的应用应注重数据的标准化和规范化。数据格式、编码、命名等应符合国家和行业相关标准，确保数据的互通性和共享性。

4.7 数字化技术的应用应注重数据的可持续性。数字化成果应具备长期保存和利用的价值，确保在工程项目的全生命周期内能够随时调用和更新

5 勘察设计数字化技术

5.1 勘察设计设备数字化

5.1.1 概述

5.1.1.1 使用先进的测量仪器、传感器等设备进行数据采集，通过数字化技术对这些数据进行处理和分析，提高勘察设计的精度和效率。同时，数字化设备还可以实现远程监控、实时反馈和协同工作，提升工作的便利性和协同性。

5.1.1.2 勘察设计数字化设备包括但不限于：

- a) 全站仪：用于高精度测量和定位；
- b) GPS 设备：进行全球定位测量；
- c) 三维激光扫描仪：快速获取物体的三维信息；
- d) 无人机：进行航拍和数据采集；
- e) 地质雷达：探测地下结构和异常；
- f) 智能传感器：实时监测环境和设备状态；
- g) 数字化绘图板：辅助绘制设计图纸；
- h) 工程检测仪器：如探伤仪等；
- i) 地质物探仪器：如地质雷达等；
- j) AR/VR 设备；
- k) 智慧巡检机器人等。

5.1.2 设备分类及用途

5.1.2.1 全站仪：具有多种测量功能，如角度、距离（斜距、平距、高差）、三维坐标、导线、交会定点和放样测量等。在工程勘察设计中，常用于地形测量、建筑物变形监测、工程放样等工作。它与计算机的数据通讯方式主要有利用 PCMCIA 卡进行数字通讯（通用性强）和利用通信接口通过电缆传输两种。

5.1.2.2 GPS 设备：通过接收卫星信号确定自身位置信息，包括经度、纬度、水平高度及移动速度。具有定位精度高、操作简便、全天候工作等优点，广泛应用于大地测量、线路勘测、资源勘探等勘察设计项目

5.1.2.3 三维激光扫描仪：能够快速获取物体的三维信息，通过发射激光束并接收反射光计算物体表面各点空间坐标，构建三维模型，在勘察设计中应用广泛。

5.1.2.4 无人机：主要用于航拍和数据采集，可携带相机、传感器等设备，在不同高度和角度对目标区域进行拍摄和采集数据。在土地规划、矿山勘测、水利工程等项目中，可快速获取大面积区域的地形地貌、植被覆盖等信息，为工程设计提供宏观基础数据。

5.1.2.5 地质雷达：用于探测地下结构和异常，通过发射高频电磁波并接收反射波，根据反射波特征判断地下介质性质和结构，应用于岩土工程勘察、地下管线探测、考古发掘等领域。

5.1.2.6 智能传感器：实时监测环境和设备状态，能感知温度、湿度、压力、振动等物理量，并转换为电信号或数字信号进行传输和处理。常用于建筑物结构健康监测、环境监测等方面。

5.1.2.7 数字化绘图板：辅助绘制设计图纸，将手绘图形转换为数字信号，提高绘图效率和精度，便于图纸存储和管理，应用于建筑设计、机械设计等领域。

5.1.2.8 工程检测仪器（如探伤仪等）：用于检测工程材料和结构的内部缺陷，应用在钢结构工程、压力容器制造等行业。

5.1.2.9 地质物探仪器：用于探测地下地质结构和矿产资源等，通过测量不同物理量推断地下地质情况，为地质勘察和矿产勘探提供依据。

5.1.2.10 AR/VR 设备：在勘察设计中可提供更加直观的设计效果展示，进行身临其境的设计体验。

5.1.2.11 智慧巡检机器人：可自动在工程现场巡检，配备各种传感器和检测设备，监测和记录工程现场设备运行状态、环境参数等，提高巡检效率和准确性，减少人工巡检工作量和风险。

5.1.3 设备选用原则

5.1.3.1 勘察设计人员应根据工程类型的不同，以及地形地貌、气象条件的不同选用合适的测量仪器，同时还应根据设计阶段的不同选用不同测量精度的仪器。

5.1.3.2 工程类型：不同工程类型对设备需求不同。例如建筑工程需全站仪精确测量基础坐标和尺寸，数字化绘图板辅助绘图；水利工程可能更需 GPS 设备进行大面积地形测量和地质雷达探测地下结构；道路工程中 GPS 设备和全站仪用于路线勘测和控制点测量，复杂地形路段可能需三维激光扫描仪三维建模。

5.1.3.3 勘察设计阶段：初步勘察阶段，对大面积区域了解地形地貌和地质条件时，无人机航拍获取宏观信息，GPS 设备确定大致位置坐标较合适；详细勘察阶段，对建筑物基础等关键部位精确测量需全站仪等高精度设备，了解地下结构需地质雷达等设备。

5.1.3.4 精度要求：高精度测量项目如精密仪器制造厂房建设或古建筑修复保护，三维激光扫描仪提供毫米级甚至更高精度三维信息，全站仪精确测量角度和距离；桥梁、高层建筑等结构变形监测，智能传感器实时精确监测微小变形；对精度要求不高的市政工程或土地规划项目，GPS 设备精度可能足够，无人机航拍图像经处理后也可为工程提供信息。

5.1.4 数据采集与处理

5.1.4.1 使用先进的测量仪器、传感器等设备进行数据采集，并通过数字化技术对这些数据进行处理和分析，可以显著提高勘察设计的精度和效率。同时，数据处理技术的应用可以快速对采集到的大量数据进行处理和分析，为勘察设计提供更加准确和详细的数据支持，减少了人工分析和处理数据的时间和工作量。

5.1.4.2 数据采集：不同设备采集方式各异。全站仪通过光学测量和电子数据记录采集角度和距离数据；GPS 设备接收卫星信号获取位置信息；三维激光扫描仪发射和接收激光束采集三维坐标数据；无人机通过搭载相机或传感器采集图像和其他相关数据；地质雷达发射和接收电磁波采集地下结构数据；智能传感器感知环境和设备状态并转换为相应的数据信号；数字化绘图板将手绘图形转换为数字信号；工程检测仪器通过特定检测方法采集工程材料和结构内部缺陷数据；地质物探仪器通过测量物理量采集地下地质数据；AR/VR 设备通过自身交互功能采集用户操作和环境感知数据；智慧巡检机器人通过自身配备传感器采集工程现场的数据。

注：在实际应用中，需根据勘察设计具体需求和目标区域特点选择合适设备组合采集数据。

5.1.4.3 数据处理与分析：采集到的数据需要进行处理和分析，以提高勘察设计的精度和效率。全站仪采集的数据需进行数据平差处理消除测量误差；GPS 设备采集的数据需进行坐标转换和精度评定等处理；三维激光扫描仪采集的数据需进行点云处理（滤波、配准、分割等操作）构建准确三维模型；无人机采集的数据需进行图像拼接和地理定位等处理；地质雷达采集的数据需进行信号处理和反演分析确定地下结构特征；智能传感器采集的数据需进行数据分析和特征提取判断环境和设备状态；数字化绘图板采集的数据需进行格式转换和编辑处理便于进一步设计操作；工程检测仪器采集的数据需进行缺陷分析和评估确定工程材料和结构质量状况；地质物探仪器采集的数据需进行地质解释和资源评估确定地下地质结构和矿产资源情况；AR/VR 设备采集的数据需进行场景构建和交互设计提供更好体验；智慧巡检机器人采集的数据需进行数据整合和分析判断工程现场运行状况。

5.1.5 远程监控

5.1.5.1 设备运行状态监控：数字化勘察设备本身具备远程监控功能。例如智慧巡检机器人，它可以在工程现场按照预设的路线和任务进行巡检。通过其配备的传感器实时采集工程现场的设备运行状态、环境参数等数据，并将这些数据实时传输回监控中心。监控人员可以在远程通过相应的软件平台查看机器人的位置、巡检路径以及所采集的数据，及时发现设备是否存在异常运行状态，如温度过高、振动异常等情况。对于一些大型的、关键的测量仪器，如全站仪和三维激光扫描仪等，也可以通过加装远程监控模块实现设备运行状态的远程监控。这些模块可以实时监测设备的关键部件的工作状态，如仪器的光学系统是否正常、电子元件是否稳定等，并将相关信息反馈给远程的技术人员。一旦发现问题，技术人员可以及时进行远程诊断，在某些情况下甚至可以远程进行一些简单的修复操作，减少设备停机时间，提高工作效率。

5.1.5.2 环境监测：智能传感器可以分布在勘察设计现场的各个关键位置，实时监测环境参数，如温度、湿度、空气质量、噪音水平等。通过网络连接，这些环境数据可以实时传输到远程的监控中心。对于一些对环境条件要求较为严格的勘察项目，如古建筑保护勘察、精密仪器制造厂房勘察等，远程监控环境数据可以确保勘察设计工作在合适的环境条件下进行。同时，通过对环境数据的长期监测和分析，还可以为项目的后续设计和施工提供参考依据，例如在设计通风系统、防潮措施等方面。

5.1.6 实时反馈

5.1.6.1 数据采集实时反馈

5.1.6.1.1 在数据采集过程中，数字化设备能够实现实时反馈，提高数据采集的准确性和效率。例如，全站仪在进行测量时，操作人员可以通过仪器的显示屏实时看到测量的角度、距离等数据。如果测量数据出现异常，操作人员可以及时调整测量方法或仪器的设置，确保采集到的数据准确可靠。

5.1.6.1.2 无人机在进行航拍和数据采集时，其搭载的相机或传感器可以实时将拍摄的图像和采集的数据传输回地面控制站。地面操作人员可以实时查看图像质量和数据完整性，如果发现图像不清晰或数据缺失等问题，可以及时调整无人机的飞行高度、角度或拍摄参数，保证数据采集的质量。

5.1.6.2 分析结果实时反馈

5.1.6.2.1 对于采集到的数据进行处理和分析后，分析结果也可以实时反馈给相关人员。例如，地质雷达采集到地下结构数据后，经过信号处理和反演分析，得到的地下结构特征结果可以实时显示在分析软件的界面上。勘察设计人员可以根据这些实时反馈的结果，及时调整勘察设计方案，如在地下管线探测项目中，如果发现新的地下管线布局与原设计方案不符，勘察设计人员可以立即对方案进行修改，避免后续施工过程中出现问题。

5.1.6.2.2 智能传感器采集到环境和设备状态数据后，经过数据分析和特征提取，得到的设备是否正常运行以及环境是否符合要求的结果也可以实时反馈给监控人员和相关设计人员。如果设备出现异常或环境条件不满足要求，相关人员可以及时采取措施进行处理。

5.1.7 协同工作

5.1.7.1 设备间协同工作

5.1.7.1.1 在勘察设计现场，不同的数字化设备之间需要协同工作。例如，全站仪和 GPS 设备可以协同工作，在进行大面积地形测量时，GPS 设备可以快速确定测量区域的大致位置和范围，为全站仪的详细测量提供参考。全站仪则可以在 GPS 确定的范围内进行高精度的角度和距离测量，两者结合可以提高地形测量的效率和精度。

5.1.7.1.2 三维激光扫描仪和无人机也可以协同工作。无人机可以先对目标区域进行航拍，获取区域的宏观地形地貌信息，为三维激光扫描仪的扫描范围和重点区域确定提供参考。三维激光扫描仪则可以在无人机确定的重点区域内进行详细的三维扫描，构建出更加准确的三维模型。

5.1.7.2 人员与设备协同工作

5.1.7.2.1 勘察设计人员与数字化设备之间也需要紧密协同。例如，在使用数字化绘图板绘制设计图纸时，设计人员可以通过绘图板将手绘的图形转换为数字信号，然后在计算机上利用相关的绘图软件进行进一步的编辑和处理。在这个过程中，设计人员需要熟练掌握绘图板的操作技巧以及绘图软件的功能，才能高效地完成设计图纸的绘制。

5.1.7.2.2 在使用智能传感器进行环境和设备状态监测时，监测人员需要根据传感器反馈的数据及时调整监测策略和设备设置。例如，如果传感器反馈的环境温度过高，监测人员可能需要增加通风设备或调整监测区域，以确保监测数据的准确性和有效性。

5.1.7.3 团队间协同工作

在大型勘察设计项目中，不同专业团队之间也需要通过数字化设备实现协同工作。例如，地质勘察团队使用地质雷达等设备探测地下结构和地质情况，将相关数据传输给建筑设计团队。建筑设计团队根据这些数据进行建筑基础设计和整体布局设计，然后将设计方案反馈给地质勘察团队进行审核和验证。通过这种团队间的协同工作，可以确保勘察设计方案的科学性和合理性，避免因信息不畅通或专业沟通不畅导致的设计失误。

5.2 勘察设计模型数字化

5.2.1 概述

勘察设计模型数字化是指通过数字化技术将工程勘察设计过程中的各类模型进行数字化表达和管理，确保模型数据的准确性、一致性和可共享性。模型数字化不仅包括建筑信息模型（BIM），还包括地理信息系统（GIS）模型、三维地质模型、结构模型、机电模型等。通过模型数字化，可以实现从勘察、设计、施工到运营维护的全生命周期数据管理，提升工程项目的效率和质量。

5.2.2 模型数字化的技术要求

5.2.2.1 模型精度与详细程度

模型精度应根据工程项目的不同阶段和需求进行划分。初步设计阶段可采用较低精度的模型，而施工图设计阶段则需采用高精度模型。模型详细程度（LOD）应符合 GB/T 51301-2018 中的要求，确保模型在不同阶段的应用需求。

5.2.2.2 模型数据格式

模型数据格式应具备跨平台、跨软件的兼容性。常用的模型格式包括：

- a) BIM 模型格式：IFC（工业基础类）、COBie（施工运营建筑信息交换）、BCF（BIM 协作格式）等；
- b) GIS 模型格式：Shapefile、GeoJSON、GML 等；
- c) 三维地质模型格式：GeoTIFF、DEM 等；
- d) 轻量化模型格式：3D PDF、WebGL、NWD/NWC 等。

5.2.2.3 模型数据集成

模型数据应能够与其他工程数据（如勘察数据、设计图纸、施工数据等）进行集成，确保数据的无缝衔接和高效利用。通过数据集成平台，实现多专业、多阶段的协同工作。

5.2.2.4 模型数据管理

模型数据应通过数字化数据库系统进行统一管理，确保数据的存储、检索、更新和共享。数据库系统应支持分布式存储和云计算技术，确保数据的高效访问和长期保存。

5.2.3 模型数字化的应用场景

5.2.3.1 BIM 模型的应用

BIM 模型在建筑工程中的应用包括：

- a) 碰撞检测：通过 BIM 模型进行各专业（建筑、结构、机电等）的碰撞检测，提前发现设计冲突，减少施工中的返工；
- b) 施工模拟：利用 BIM 模型进行施工进度模拟，优化施工方案，提高施工效率；
- c) 能耗分析：通过 BIM 模型进行建筑能耗分析，优化建筑设计，降低运营成本。

5.2.3.2 GIS 模型的应用

GIS 模型在工程勘察设计中的应用包括：

- a) 选址分析：通过 GIS 模型进行工程选址分析，综合考虑地形、地质、环境等因素，选择最优工程位置；
- b) 环境影响评估：利用 GIS 模型进行工程对环境的影响评估，确保工程设计与环境保护相协调；
- c) 空间分析：通过 GIS 模型进行空间分析，如缓冲区分析、叠加分析等，为工程设计提供科学依据。

5.2.3.3 三维地质模型的应用

三维地质模型在岩土工程勘察中的应用包括：

- a) 地质结构分析：通过三维地质模型分析地下地质结构，为工程设计提供准确的地质数据；
- b) 地质灾害评估：利用三维地质模型进行地质灾害评估，预测潜在的地质风险，确保工程安全；
- c) 地下水资源评估：通过三维地质模型评估地下水资源分布，为水利工程设计提供依据。

5.2.3.4 结构模型的应用

结构模型在桥梁、隧道等工程中的应用包括：

- a) 结构分析：通过结构模型进行力学分析，确保结构设计的合理性和安全性；
- b) 施工模拟：利用结构模型进行施工过程模拟，优化施工方案，减少施工风险。

5.2.3.5 机电模型的应用

机电模型在建筑机电设计中的应用包括：

- a) 管线综合：通过机电模型进行管线综合设计，确保各专业管线的合理布置，减少施工中的冲突；
- b) 设备布置：利用机电模型进行设备布置优化，确保设备安装的合理性和可维护性。

5.2.4 模型数字化的未来发展方向

5.2.4.1 智能化模型管理

通过人工智能技术，实现模型的智能化管理。例如，利用机器学习算法对模型数据进行分析，自动识别模型中的潜在问题，并提出优化建议。

5.2.4.2 实时模型更新

通过物联网技术，实现模型的实时更新。例如，利用传感器实时采集工程现场的数据，并将数据反馈到模型中，确保模型的实时性和准确性。

5.2.4.3 云端模型协同

通过云计算技术，实现模型的云端协同。不同专业、不同阶段的设计人员可以通过云端平台进行模型的协同设计和共享，提高设计效率。

5.2.4.4 区块链技术在模型管理中的应用

通过区块链技术，确保模型数据的安全性和可追溯性。区块链技术可以有效解决模型数据在共享和传输过程中的安全问题，确保数据的不可篡改性和可追溯性。

5.2.5 模型数字化的实施步骤

5.2.5.1 模型创建

根据工程项目的需求，创建各类模型（BIM、GIS、三维地质模型等），确保模型的准确性和完整性。

5.2.5.2 模型审核

对创建的模型进行审核，确保模型符合设计要求和相关标准。审核内容包括模型的几何精度、属性信息、逻辑关系等。

5.2.5.3 模型集成

将不同专业的模型进行集成，确保模型之间的数据一致性和协同性。通过模型集成平台，实现多专业、多阶段的协同工作。

5.2.5.4 模型应用

将模型应用于工程项目的各个阶段，包括设计、施工、运营维护等。通过模型的应用，提升工程项目的效率和质量。

5.2.5.5 模型更新与维护

在工程项目的全生命周期内，对模型进行更新和维护，确保模型的实时性和准确性。对于过时或失效的模型，应及时进行归档或删除，避免数据冗余。

5.3 勘察设计数字化数据库系统建立技术

5.3.1 勘察设计数字化数据库系统应具备集成、存储、管理和共享勘察设计数据等功能，并应通过系统应用提升勘察设计的效率、质量和水平。

5.3.2 数字化数据库系统宜采用包括数据采集层、数据存储层、数据处理层、数据应用层等多个层次的分布式架构，各层次之间应通过标准化的接口进行数据的传输和共享。

5.3.3 数据采集层应具备收集各类勘察设计数据的功能，并应符合下列规定：

- a) 数据源识别应明确需要采集的地理空间数据、工程图纸、测量数据、文本报告等数据类型；
- b) 应根据数据类型选择无人机测绘、激光扫描仪、手动录入软件等采集工具；
- c) 应制定数据格式和编码标准，采集到的数据应能够统一处理和存储。

5.3.4 数据存储层应具备安全、高效存储数据的功能，并应符合下列规定：

- a) 存储方案应根据数据量大小和访问频率确定；
- b) 存储方案可选择本地存储、云存储或混合存储模式；
- c) 应合理规划提高数据检索效率的数据分区和索引策略；
- d) 应设置提高数据的可用性和可靠性的数据冗余和容错机制。

5.3.5 数据处理层应包含数据清洗、转换和整合等模块，并应符合下列规定：

- a) 数据清洗模块应具备去除重复、错误或无效数据，确保数据的准确性和一致性的功能；
- b) 数据转换模块应具备将不同格式的数据转换为统一格式，便于后续处理和分析的功能；
- c) 数据整合模块应具备将不同来源的数据整合到同一数据库中，实现数据的集中管理的功能。

5.3.6 数据应用层应具备提供数据查询、检索、分析和挖掘等功能，并应符合下列规定：

- a) 用户权限管理应具备设置用户角色和权限，确保数据的安全访问的功能；
- b) 查询与检索工具应提供直观的查询界面和适宜的检索功能，并应支持复杂的查询需求；
- c) 数据可视化应具备利用图表、地图等可视化工具展示数据分析结果，提升决策效率的功能。

5.3.7 数据库管理系统选择应结合数据库的稳定性、性能、成本和可扩展性等需求选择 MySQL、Oracle 等关系型数据库或 MongoDB 等非关系型数据库，并应符合以下规定：

- a) 应对包括读写速度、并发处理能力等候选数据库进行性能测试及评估；
- b) 应对数据库软件的许可费用、维护成本及长期可扩展性开展成本效益分析；
- c) 应对数据库的社区活跃度和技术支持水平进行评估；
- d) 应充分考虑数据更新维护的可行性和便捷性。

5.3.8 勘察设计数字化数据库系统的元素技术要求应符合 GB/T 36625.5 中的规定，数据编码规范应符合 GB/T 36625.2 中的规定。

5.3.9 数据建模应符合以下规定：

- a) 数据库结构设计应确保数据的完整性、一致性和高效性;
 - b) 数据模型和命名应遵循标准化的规则,且便于数据的共享和交换;
 - c) 数据库结构宜使用实体-关系图(ER图)描述,并应明确实体间的关系;
 - d) 应合理设计包括字段类型、主键、外键等内容的数据表结构;
 - e) 应设置确保数据的准确性、一致性和完整性的约束规则。
- 5.3.10 数据采集与导入应符合以下规定:
- a) 数据采集可选择确保数据的准确性和完整性的自动化采集、人工录入等方法;
 - b) 应建立实现数据实时或定期导入的、稳定的数据导入机制;
 - c) 应编写减少人工干预的自动化脚本处理定期采集的数据;
 - d) 应在数据导入过程中进行确保数据的准确性和完整性的校验;
 - e) 日志记录应记录便于问题追踪和审计的数据采集和导入过程中的关键信息。
- 5.3.11 应采用高效的存储方式和压缩算法节省存储空间和降低存储成本,并应实施提高数据访问速度的数据分区和索引策略。
- 注:为提高数据访问速度,节省存储空间并降低存储成本:压缩算法选择:根据数据类型选择合适的压缩算法,如ZIP、GZIP等。存储优化:利用数据压缩、去重等技术减少存储空间占用。监控与调整:定期监控存储性能,根据需要进行调整和优化。
- 5.3.12 应设置敏感数据的访问权限控制及全面保障数据安全性的数据加密、审计和防火墙等模块,并应符合下列规定:
- a) 访问控制模块应具备严格的、确保只有授权用户才能访问的数据访问控制策略;
 - b) 数据加密模块应具备对敏感数据进行加密存储和传输,防止数据泄露的功能;
 - c) 安全审计模块应具备记录用户操作日志的功能,并应方便调阅用于安全审计和合规性检查。
- 5.3.13 数据备份与恢复应具备建立定期的数据备份机制,确保在数据丢失或损坏时能够及时恢复及测试备份数据的可用性和完整性,确保备份的有效性的功能。
- 注1:备份策略:制定定期备份策略,包括全量备份和增量备份。
- 注2:备份验证:定期验证备份数据的完整性和可恢复性。
- 注3:灾难恢复计划:制定灾难恢复计划,确保在发生重大故障时能够迅速恢复数据和服务。
- 5.3.14 数据同步与更新应符合下列规定:
- a) 应建立确保所有用户都能访问到最新、最准确的信息的数据实时同步机制;
 - b) 应建立处理数据同步过程中确保数据的稳定性的冲突解决机制;
 - c) 应建立及时通知用户数据的更新变化变化情况的更新通知机制。
- 5.3.15 数据的查询与检索应满足以下规定:
- a) 应通过优化数据库查询语句和索引策略提高查询效率;
 - b) 应通过利用缓存技术减少数据库访问次数提高查询响应速度;
 - c) 应通过收集用户反馈持续优化查询功能和界面设计。
- 5.3.16 数据分析工具应符合以下规定:
- a) 数据分析工具宜选择SQL、Python、R等数据分析工具;
 - b) 数据分析技术应具备为决策提供支持的数据的潜在价值的功能;
 - c) 应具有数据可视化功能。
- 注:数据分析工具可以帮助用户更好地理解和分析数据,为决策提供支持。通常选择SQL、Python、R等数据分析工具,应用数据挖掘算法可以发现数据中的隐藏模式和关联。

5.4 勘察设计数字化资产管理

5.4.1 资产管理的定义与范围

勘察设计数字化资产管理是指通过数字化技术对工程勘察设计过程中产生的各类资产进行全生命周期的管理，包括但不限于设计图纸、模型数据、勘察报告、设备信息、材料清单等。数字化资产管理的目标是实现资产的高效利用、共享和保值增值。

5.4.2 资产管理的主要内容

5.4.2.1 资产分类与编码：根据资产的性质和用途，对资产进行分类和编码，确保资产管理的规范化和标准化。资产分类应包括设计文件、模型数据、设备信息、材料清单等。

5.4.2.2 资产存储与管理：采用分布式存储技术，确保资产的安全存储和高效管理。存储方案应根据数据量大小和访问频率确定，可选择本地存储、云存储或混合存储模式。

5.4.2.3 资产共享与协同：通过数字化平台实现资产的共享和协同工作，确保各参与方能够及时获取和更新资产信息。共享平台应具备权限管理功能，确保只有授权用户才能访问和修改资产。

5.4.2.4 资产更新与维护：建立资产更新和维护机制，确保资产的实时性和准确性。对于过时或失效的资产，应及时进行归档或删除，避免数据冗余。

5.4.2.5 资产安全与备份：对重要资产进行加密存储和备份，确保资产的安全性和可恢复性。备份策略应包括全量备份和增量备份，确保在数据丢失或损坏时能够及时恢复。

5.4.3 资产管理的技术要求

5.4.3.1 数据标准化：资产管理应遵循国家和行业相关标准，确保数据的互通性和共享性。数据格式、编码、命名等应符合 GB/T 36625.5 的规定。

5.4.3.2 数据安全：资产管理平台应具备严格的数据安全措施，包括数据加密、访问控制、审计追踪等，确保资产的安全性和隐私保护。

5.4.3.3 数据可视化：资产管理平台应具备数据可视化功能，通过图表、地图等形式展示资产信息，提升资产管理的效率和决策支持能力。

5.4.3.4 数据备份与恢复：资产管理平台应具备数据备份和恢复功能，确保在数据丢失或损坏时能够及时恢复。备份策略应包括全量备份和增量备份，确保备份数据的完整性和可恢复性。

5.4.4 资产管理的应用场景

5.4.4.1 设计文件管理：通过数字化平台对设计文件进行统一管理，确保设计文件的版本控制和共享。设计文件的更新和修改应实时同步，确保各参与方能够获取最新的设计信息。

5.4.4.2 模型数据管理：通过数字化平台对 BIM 模型、GIS 模型等模型数据进行管理，确保模型数据的准确性和一致性。模型数据的更新和修改应实时同步，确保各参与方能够获取最新的模型信息。

5.4.4.3 设备信息管理：通过数字化平台对设备信息进行管理，确保设备信息的实时更新和共享。设备信息的更新和修改应实时同步，确保各参与方能够获取最新的设备信息。

5.4.4.4 材料清单管理：通过数字化平台对材料清单进行管理，确保材料清单的准确性和一致性。材料清单的更新和修改应实时同步，确保各参与方能够获取最新的材料信息。

5.4.5 资产管理的未来发展方向

5.4.5.1 智能化资产管理：通过人工智能和大数据技术，实现资产的智能化管理。通过对资产数据的分析和挖掘，发现资产管理的潜在问题和优化空间，提升资产管理的效率和效益。

5.4.5.2 区块链技术在资产管理中的应用：通过区块链技术实现资产的安全存储和共享，确保资产的不可篡改性和可追溯性。区块链技术可以有效解决资产管理中的数据安全和信任问题。

5.4.5.3 云计算与资产管理的结合：通过云计算技术实现资产的高效存储和共享，确保资产的实时性和可访问性。云计算技术可以有效提升资产管理的灵活性和扩展性。

6 勘察设计数字化交付

6.1 交付格式

6.1.1 交付格式分类与要求

工程勘察设计数字化交付格式应满足全生命周期数据互通性、可扩展性及安全性要求，主要分为以下类别：

- a) BIM 模型格式：
 - 1) 通用格式：IFC（工业基础类）、COBie（施工运营建筑信息交换）、BCF（BIM 协作格式），满足跨平台数据交互需求；
 - 2) 原生格式：Revit（.rvt）、Tekla（.tekla）、Civil 3D（.dwg），需同步提交轻量化版本（如 SVF、3D PDF）以降低文件体积。
- b) GIS 数据格式：
 - 3) 矢量数据：Shapefile、GeoJSON、GML；
 - 4) 栅格数据：GeoTIFF、DEM；
 - 5) 需符合 CJJ/T 319-2023 中的规定。
- c) 二维图纸与文档：
 - 6) 图纸格式：DWG（AutoCAD）、PDF（带图层与坐标信息）、SVG（矢量图形）；
 - 7) 报告格式：PDF/A（长期存档格式）、DOCX（可编辑版本）。
- d) 轻量化与交互格式：3D PDF、WebGL（基于浏览器的三维可视化）、NWD/NWC（Navisworks 轻量化格式）；
- e) 数据库与结构化数据：SQL 数据库导出文件（.sql）、CSV（标准化编码）、JSON（用于 API 接口交互）。

6.1.2 格式标准化与兼容性

6.1.2.1 所有交付物需遵循 GB/T 51301-2018 及 SJG 36-2017 中的规定。

6.1.2.2 多格式并存时，应提供格式转换说明及兼容性测试报告，确保下游应用无数据丢失。

6.1.3 数据安全与压缩

6.1.3.1 涉密数据须采用 AES-256 加密，并通过数字签名确保文件完整性。

6.1.3.2 大型模型需使用无损压缩算法（如 ZIP、7z）或有损压缩（针对纹理与点云数据），压缩率应标注于元数据中。

6.1.4 元数据要求

6.1.4.1 元数据文件（XML 或 JSON 格式）需包括但不限于下列各项：

- a) 项目名称；
- b) 版本号；
- c) 坐标系统；
- d) 创建日期；
- e) 责任人；
- f) 修改记录；
- g) 数据字典索引。

6.1.4.2 元数据与主数据须绑定存储，避免分离导致的版本混乱。

6.2 交付流程

6.2.1 工程勘察设计数字化交付流程，按类型可划分为勘察设计节点专业间交付流程、合同交付流程、特定交付物交付流程等；按维度可划分为模型交付流程、二维数字化图纸交付流程等；按阶段可划分为方案设计阶段、初步设计阶段、施工图设计阶段、深化设计阶段、施工建造阶段、竣工移交阶段等的交付流程。

6.2.2 交付流程应符合勘察设计不同类型、不同方式、不同阶段的特点与要求。

6.2.3 项目全阶段数字化交付流程可参照本文件附录 A。

6.3 交付数据处理及轻量化

6.3.1 数据处理的基本要求

6.3.1.1 数据清洗

在交付前，应对数据进行清洗，去除重复、错误或无效数据，确保数据的准确性和一致性。数据清洗应包括数据去重、数据格式转换、数据补全等操作。

6.3.1.2 数据转换

将不同格式的数据转换为统一的交付格式，确保数据的互通性和共享性。数据转换应包括数据格式转换、数据编码转换、数据单位转换等操作。

6.3.1.3 数据整合

将不同来源的数据整合到同一交付文件中，确保数据的完整性和一致性。数据整合应包括数据合并、数据关联、数据校验等操作。

6.3.2 数据轻量化的技术要求

6.3.2.1 模型轻量化

通过技术手段对 BIM 模型、GIS 模型等大型模型进行轻量化处理，减少模型的体积和复杂度，确保模型的高效传输和展示。模型轻量化应包括几何简化、纹理压缩、数据压缩等操作。

6.3.2.2 数据压缩

采用高效的数据压缩算法，减少交付数据的体积，确保数据的高效传输和存储。数据压缩应包括无损压缩和有损压缩，确保数据的完整性和可用性。

6.3.2.3 数据分块

对于大型数据集，可以采用数据分块技术，将数据分割为多个小块进行传输和存储，确保数据的高效处理和展示。

6.3.3 数据轻量化的应用场景

6.3.3.1 BIM 模型轻量化

在 BIM 模型交付过程中，通过对模型进行轻量化处理，减少模型的体积和复杂度，确保模型的高效传输和展示。轻量化后的模型应保留关键几何信息和属性信息，确保模型的可用性和准确性。

6.3.3.2 GIS 数据轻量化

在 GIS 数据交付过程中，通过对 GIS 数据进行轻量化处理，减少数据的体积和复杂度，确保数据的高效传输和展示。轻量化后的 GIS 数据应保留关键地理信息和属性信息，确保数据的可用性和准确性。

6.3.3.3 大型数据集轻量化

在大型数据集交付过程中，通过对数据进行轻量化处理，减少数据的体积和复杂度，确保数据的高效传输和存储。轻量化后的数据应保留关键信息，确保数据的可用性和准确性。

6.3.4 数据轻量化的未来发展方向

6.3.4.1 智能化轻量化

通过人工智能技术，实现数据的智能化轻量化处理。通过对数据的分析和挖掘，自动识别数据中的冗余信息和不必要信息，提升数据轻量化的效率和效果。

6.3.4.2 实时轻量化

通过实时轻量化技术，实现数据的实时处理和展示。实时轻量化技术可以有效提升数据的传输效率和展示效果，确保数据的高效利用。

6.3.4.3 云端轻量化

通过云计算技术，实现数据的云端轻量化处理。云端轻量化技术可以有效提升数据处理的灵活性和扩展性，确保数据的高效存储和共享。

7 勘察设计数字化创新技术

7.1 建筑信息建模（BIM）技术

7.1.1 BIM 技术是一种支持工程项目生命周期内各个阶段的数据管理和协同工作的工具，将建筑工程的各种信息整合到一个三维模型中，实现从设计、施工到运营的全过程信息管理和协同工作。它要求所有参与者在同一平台上共享信息，并且数据必须保持实时更新。

7.1.2 技术要求：选用功能强大、兼容性好的 BIM 软件，能够满足建筑设计、结构分析、机电安装等各专业的需求。采用国际通用的 BIM 数据标准，如 IFC 格式，确保不同软件之间的数据交换兼容性。明确模型的精度等级、构件分类和属性定义。建立稳定可靠的 BIM 协同平台，支持多用户同时在线协作，具备版本管理、权限控制和数据安全保障功能。

7.1.3 应用指南：制定 BIM 实施计划，明确项目目标、应用范围和参与方职责，确定 BIM 模型的详细程度和交付标准。按照设计图纸和规范要求，逐步创建建筑、结构、机电等各专业的 BIM 模型，确保模型的准确性和完整性，及时进行模型的审核和修正。利用 BIM 协同平台，实现各专业之间的信息共享和协同设计，及时解决设计冲突，提高设计效率和质量。运用 BIM 软件进行碰撞检测、能耗分析、施工模拟等应用，为项目决策提供依据，利用 BIM 模型进行进度管理和质量控制。

7.2 地理信息系统（GIS）技术

7.2.1 地理信息系统（GIS）技术用于管理和分析地理空间数据，能够将地形、地貌、地质、水文等信息进行整合和可视化展示，为工程的选址、规划和设计提供强大的空间分析支持。

7.2.2 技术要求：确保地理数据的准确性和精度，包括地形地貌、土地利用、交通网络等信息，根据项目需求确定合适的比例尺和数据更新频率。具备强大的空间分析功能，如缓冲区分析、叠加分析、网

络分析等，能够为勘察设计提供科学的决策支持。支持多种数据格式的导入和导出，与其他软件和系统进行数据交换和共享。

7.2.3 应用指南：通过卫星遥感、无人机测绘、实地调查等方式获取地理信息数据，并对数据进行预处理，包括坐标转换、数据格式转换等。根据采集的数据建立地理信息数据库，对数据进行分类存储和管理，同时设置数据访问权限，确保数据的安全性。根据勘察设计需求，运用 GIS 软件进行空间分析，如选址分析、线路规划、环境影响评估等，将 GIS 分析结果以地图、报表、三维模型等形式输出，形成分析报告和可视化图表，为项目决策和设计提供直观的参考。

7.3 无人机遥感技术

7.3.1 无人机遥感技术利用无人驾驶飞行器携带的传感器从空中收集地面数据，快速获取工程现场的高分辨率影像和地形数据，适用于地形测绘、环境监测、工程建设等多种应用场景。

7.3.2 技术要求：无人机平台需具备良好的稳定性、机动性和抗风能力，机身应采用强度高、重量轻的材料，如玻璃钢和碳纤维复合材料。遥感传感器的精度和分辨率要满足勘察设计的需求，常见的有可见光相机、红外相机、多光谱相机等，根据不同任务选择合适的传感器。控制系统应具备精确的飞行控制能力，包括航线规划、高度控制、速度控制等，并且要有良好的通信能力，确保与地面站的实时数据传输。数据传输设备要保证数据传输的稳定性和可靠性，具备足够的带宽和传输距离。

7.3.3 应用指南：在开展勘察任务前，要对勘察区域进行详细的了解和分析，确定勘察的目标和范围，制定合理的飞行计划。根据勘察区域的地形地貌、气候条件等因素，选择合适的无人机型号和传感器，确定飞行高度、速度、航线等参数。在飞行过程中，要密切关注无人机的飞行状态和数据传输情况，确保数据的实时采集和存储。对于重点区域或复杂地形，可以进行多次飞行或多角度拍摄，以获取更全面的信息。采集到的数据需要进行预处理，包括图像校正、拼接、配准等操作，以生成高质量的遥感影像。根据勘察设计的需求，将处理后的数据与其他相关数据进行整合和分析，为设计提供准确的依据。

7.4 虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术

7.4.1 VR 技术可以创建虚拟的工程场景，让设计师和用户身临其境地感受工程的效果和空间体验，有助于发现设计中存在的问题和优化设计方案。AR 技术则可以将虚拟信息叠加在现实场景中，为施工现场的指导和现场管理提供便利。

7.4.2 技术要求：选用性能稳定、分辨率高的 VR/AR 设备，如头戴式显示器、手柄、传感器等，具备良好的用户体验和操作便捷性。选择功能强大的 VR/AR 软件开发平台，支持三维建模、交互设计、场景渲染等功能。采用通用的数据格式，如 OBJ、FBX 等，方便与其他软件进行数据交换和共享，确保设备的兼容性和可扩展性。

7.4.3 应用指南：利用三维建模软件创建勘察设计项目的虚拟场景，包括地形地貌、建筑物、设施设备等，确保了模型的真实性和准确性。通过 VR/AR 场景的交互方式设计，如手柄操作、语音控制、手势识别等，提高用户的参与度和体验感。根据用户的反馈意见，对 VR/AR 场景进行优化和改进，不断提高场景的质量和效果。

7.5 大数据技术

7.5.1 在勘察设计过程中会产生大量的数据，包括勘察数据、设计数据、施工数据等。利用大数据技术可以对这些数据进行存储、管理和分析，挖掘数据中的潜在价值。

7.5.2 技术要求：选择合适的大数据存储技术，如分布式文件系统、数据库等，确保数据的安全性和可靠性。采用高效的数据处理技术，如分布式计算、并行计算等，能够快速处理大规模的勘察设计数据。运用数据分析算法和工具，对勘察设计大数据进行挖掘和分析，提取有价值的信息和知识，为勘察设计提供决策支持。

7.5.3 应用指南：通过传感器、监测设备、互联网等渠道收集勘察设计相关的数据，对数据进行分类和整理，建立大数据仓库。利用大数据处理技术对数据进行清洗、转换和存储，去除噪声和异常数据，提高数据的质量。运用数据分析算法和工具，对大数据进行挖掘和分析，如关联分析、聚类分析、预测分析等，发现数据中的规律和趋势，为勘察设计提供决策支持。将大数据分析结果应用于项目规划、设计优化、风险评估等环节，提高勘察设计的科学性和合理性。

7.6 云计算技术

7.6.1 云计算技术可以为勘察设计提供强大的计算能力和存储能力，支持大规模的数据分析和处理。通过云计算平台随时随地访问和使用设计软件和数据，提高工作的灵活性和效率；同时，云计算技术还可以实现多用户之间的协同工作，方便不同专业的设计师之间进行交流和协作。

7.6.2 技术要求：采用云计算技术应选择合适的云服务类型，如基础设施即服务（IaaS）、平台即服务（PaaS）、软件即服务（SaaS）等，根据项目需求和预算确定云服务的规模和配置。应确保云计算环境下的数据安全，采取加密、备份、访问控制等措施，遵守相关的法律法规和数据保护政策。应关注云计算服务的性能指标，如计算能力、存储容量、网络带宽等，确保云服务能够满足勘察设计项目的需求。

7.6.3 应用指南：根据勘察设计项目的需求，评估云服务的性能、安全性等因素，选择合适的云计算服务提供商。根据项目需求，配置云计算资源，如虚拟机、存储、数据库等，合理规划资源的使用，避免浪费。将勘察设计数据和软件迁移到云计算环境中，确保数据的完整性和安全性，测试软件的兼容性和性能。在云计算环境中部署勘察设计软件和应用，利用云计算的弹性和可扩展性，根据项目需求动态调整资源配置。对云计算环境进行运维管理，包括监控资源使用情况、处理故障、优化性能等，确保云计算服务的稳定运行。

7.7 人工智能（AI）技术

7.7.1 人工智能（AI）是模拟人类智能行为的计算机技术，它使机器能够执行学习、推理、自我修正和感知等任务。AI 技术广泛应用于语音识别、图像识别、自然语言处理等领域，利用人工智能技术可以对设计方案进行优化和评估。

7.7.2 技术要求：根据勘察设计任务的特点，选择合适的人工智能算法，如深度学习算法、遗传算法、模拟退火算法等。收集大量的勘察设计数据，对数据进行清洗、标注和预处理，建立高质量的数据集，为人工智能算法的训练和优化提供基础。建立科学的模型评估指标体系，对人工智能辅助设计模型进行评估和验证，确保模型的准确性和可靠性。

7.7.3 应用指南：明确勘察设计中的问题和需求，确定人工智能辅助设计的目标和任务。利用准备好的数据集，对人工智能算法进行训练和优化，调整模型的参数，提高模型的性能。对人工智能辅助设计的结果进行分析和评估，与传统设计方法进行对比，总结人工智能辅助设计的优势和不足。将人工智能辅助设计模型集成到勘察设计软件中，实现自动化设计和优化，提高设计效率和质量。

8 数据安全保护

8.1 总体安全规划

8.1.1 等级保护对象定级

8.1.1.1 根据 GB/T 22240-2020 和工程勘察设计数字化技术应用网络安全等级保护相关要求，工程勘察设计数字化技术应用网络安全等级保护对象划分为五个安全保护等级，由低到高第一级、第二级、第三级、第四级、第五级。

8.1.1.2 定级对象的安全主要包括业务信息安全和系统服务安全，与之相关的受侵害客体和对客体的侵害程度可能不同，因此，安全保护等级由业务信息安全和系统服务安全两方面确定。从业务信息安全角度反映的定级对象安全保护等级称为业务信息安全保护等级；从系统服务安全角度反映的定级对象安全保护等级称为系统服务安全保护等级。

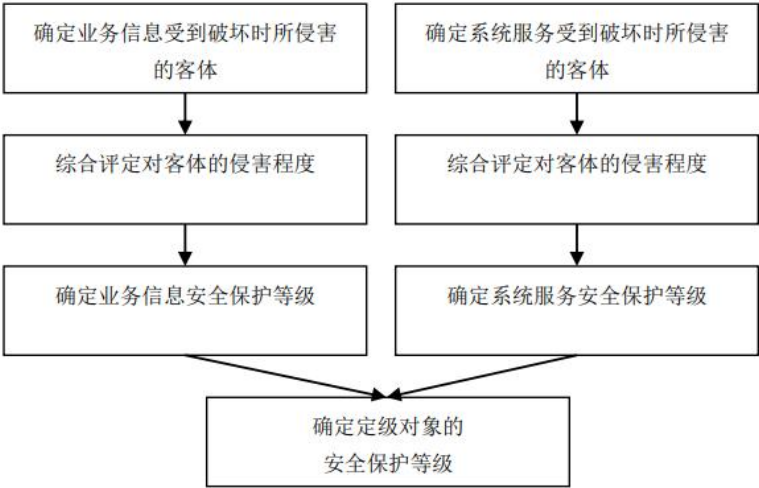


图 1 定级方法流程图

8.1.1.3 根据业务信息安全被破坏时所侵害的客体以及对相应客体的侵害程度，依据表 1 可得到业务信息安全保护等级。

表 1 业务信息安全保护等级矩阵表

业务信息安全被破坏时所侵害的客体	对相应客体的侵害程度		
	一般损害	严重损害	特别严重损害
公民、法人和其他组织的合法权益	第一级	第二级	第二级
社会秩序、公共利益	第二级	第三级	第四级
国家安全	第三级	第四级	第五级

8.1.1.4 根据系统服务安全被破坏时所侵害的客体以及对相应客体的侵害程度，依据表 2 可得到系统服务安全保护等级。

表 2 系统服务安全保护等级矩阵表

系统服务安全被破坏时所侵害的客体	对相应客体的侵害程度		
	一般损害	严重损害	特别严重损害
公民、法人和其他组织的合法权益	第一级	第二级	第二级
社会秩序、公共利益	第二级	第三级	第四级
国家安全	第三级	第四级	第五级

8.1.1.5 定级对象的安全保护等级由业务信息安全保护等级和系统服务安全保护等级的较高者决定。等级保护对象定级结果组合如表 3 所示。

表 3 等级保护对象定级结果组合表

安全保护等级	定级结果的组合
--------	---------

安全保护等级	定级结果的组合
第一级	S1A1
第二级	S1A2, S2A2, S2A1
第三级	S1A3, S2A3, S3A3, S3A2, S3A1
第四级	S1A4, S2A4, S3A4, S4A4, S4A3, S4A2, S4A1
第五级	S1A5, S2A5, S3A5, S4A5, S5A5, S5A4, S5A3, S5A2, S5A1
注：S表示业务信息安全等级，A表示系统服务安全等级，系统安全保护等级取S和A的高值	

8.1.2 安全保护要求分类

从作用效果看，本文件中的安全保护要求分为三类：保护数据在存储、传输、处理过程中不被泄露、破坏和免受未授权的修改的信息安全类要求（简记为S）；保护系统连续正常的运行，免受对系统的未授权修改、破坏而导致系统不可用的服务保证类要求（简记为A）；其它安全保护类要求（简记为G）。本文件中所有总体要求、安全管理要求、安全扩展要求均标注为G。安全保护要求分类表如表4。

表4 安全要求及类型标识

安全要求	分类	安全控制点	类型标识
安全技术要求	总体要求	总体技术要求	G
		总体管理要求	G
	安全物理环境	物理位置的选择	G
		物理访问控制	G
		防盗窃和防破坏	G
		防雷击	G
		防火	G
		防火与防潮	G
		防静电	G
		温湿度控制	G
		电力供应	A
		电磁防护	S
		室外控制设备物理防护	G
	安全通信网络	网络结构	G
		通信传输	G
		可信验证	S
	安全区域边界	边界防护	G
		访问控制	G
		入侵防范	G
		恶意代码防范	G
		安全审计	G
		可信验证	S

表4 安全要求及类型标识（续）

安全要求	分类	安全控制点	类型标识
安全技术要求	安全计算环境	身份鉴别	S
		访问控制	S
		安全审计	G
		入侵防范	G
		恶意代码防范	G
		可信验证	S
		数据完整性	S
		数据保密性	S
		数据备份恢复	A
		剩余信息保护	S
		个人信息保护	S
		控制设备安全	G
	安全管理中心	系统管理	G
		审计管理	G
		安全管理	G
		集中管控	G
安全管理要求	安全管理制度	安全策略	G
		管理制度	G
		制订和发布	G
		评审和修订	G
	安全管理机构	岗位设置	G
		人员配备	G
		授权和审批	G
		沟通和合作	G
		审核和检查	G
	安全人员管理	人员录用	G
		人员离岗	G
		安全意识教育和培训	G
		外部人员访问管理	G
	安全建设管理	定级和备案	G
		安全方案设计	G
		产品采购和使用	G
		自行软件开发	
		外包软件开发	G
		工程实施	G
		测试验收	G
		系统交付	G
		等级测评	G
		服务供应商管理	G

表 4 安全要求及类型标识（续）

		环境管理	G
		资产管理	G
		介质管理	G
		设备维护管理	G
		漏洞和风险管理	G
		网络和系统安全管理	G
		恶意代码防范管理	G
	安全运维管理	配置管理	G
		密码管理	G
		变更管理	G
		备份与恢复管理	G
		安全事件处置	G
		应急预案管理	G
		外包运维管理	G

8.1.3 安全保护要求选择与使用

针对特定安全保护等级对象，应根据其具体定级结果，应按照以下过程选择安全保护要求：

- 根据等级保护对象的级别选择对应等级的安全保护要求，以此作为出发点；
- 根据业务信息安全等级与系统服务安全等级，基于等级保护对象定级结果组合表 3 和安全保护要求分类表 4 对安全要求进行调整。根据系统服务安全等级选择相应级别的系统服务保证类（A 类）安全要求；根据业务信息安全等级选择相应级别的业务信息安全类（S 类）安全要求；根据系统安全等级选择相应级别的安全通用要求（G 类）和安全扩展要求（G 类）；
- 根据等级保护对象采用新技术和新应用的情况，参照各级别等级保护对象应具备的安全保护能力要求（见 GB/T 22239-2019），选用相应级别的安全扩展要求作为补充。涉及云计算技术的选用云计算安全扩展要求，涉及移动互联技术的选用移动互联安全扩展要求，涉及物联网技术的选用物联网安全扩展要求，涉及大数据的选用大数据安全要求；
- 针对工程勘察设计数字化技术应用不同等级保护定级对象，分析可能在某些方面的特殊安全保护能力要求，选择较高级别的安全要求或其它标准的补充安全要求。

8.1.4 数据安全规划

8.1.4.1 数据安全设计

8.1.4.1.1 数据安全设计主要从满足数据的保密性和完整性两个方面考虑。数据保密性通过对重要数据的加密实现文件的存储加密，保证数据在机器中存储以及在网络间传输过程中都是密文。数据完整性保护主要通过数字摘要技术，保证数据的接受方首先验证数据是否被篡改，及时发现数据的完整性是否被破坏。

8.1.4.1.2 数据加密采用数据库系统的加密策略对敏感数据、重要数据的访问、存储、备份进行加密处理。

8.1.4.2 数据备份与容灾

8.1.4.2.1 承载着大量的工程建设管理的重要数据及资料。一旦数据被意外毁坏将造成重大损失，所以需要一套健全的备份及恢复机制来保证数据安全。

8.1.4.2.2 使用数据备份与恢复技术，可以确保在网络系统出现意外事件甚至灾难时，如主机发生故障、数据丢失等现象发生时，可在可控的时间内对业务系统进行恢复，以保证网络服务的顺利进行，提高系统的整体业务连续性。

8.1.4.2.3 数据备份恢复主要是为了防止因意外或受攻击时造成系统数据和业务数据丢失、损毁，保证数据的安全、可靠、准确。需要对系统数据和业务数据进行自动备份和灾难恢复，同时还需要制订数据存储管理策略和数据备份策略。

8.2 安全需求分析

8.2.1 安全需求分析的目的和范围

8.2.1.1 安全需求分析的主要目的是识别和评估工程勘察设计数字化过程中存在的安全风险，以便为后续的安全方案设计和技术措施实施提供依据。通过系统化的需求分析，明确保护对象的安全需求，从而确保数字化平台的核心资产不受非法访问、篡改、破坏或泄露。同时，本节内容的分析范围应涵盖工程勘察设计数字化系统的所有等级保护对象，包括但不限于业务数据、网络基础设施、应用系统、用户身份认证机制及其他敏感信息。

8.2.1.2 安全需求分析的对象包括：

- a) 数字化平台中的业务数据：各类勘察设计数据、工程项目资料、测绘信息、模型文件等；
- b) 网络基础设施：支撑业务运营的网络架构、服务器、数据库系统、云计算资源等；
- c) 应用系统：提供勘察设计和数据管理的核心应用及其相应的服务模块；
- d) 用户及身份认证机制：涉及系统操作人员、管理员、外部第三方访问用户的身份认证、权限管理等。

8.2.2 安全需求分析的原则

为了确保分析的全面性与科学性，安全需求分析应遵循以下几个核心原则：

- a) 完整性：所有与勘察设计数字化平台相关的资产及其数据流均需纳入分析范围，避免遗漏可能存在的风险点；
- b) 风险导向：分析过程应基于风险评估的方法，通过量化和定性的方法确定风险的威胁级别与可能性；
- c) 层次性：分析过程应逐层递进，按照等级保护对象的不同等级，从最关键的资产入手，逐步扩展到所有相关系统和流程；
- d) 可操作性：安全需求分析的结果必须具有可操作性，为后续的安全技术措施提供明确的指引；
- e) 合规性：遵循国家和行业相关标准、法规，如 GB/T 22239-2019、GB/T 25058-2019 等。

8.2.3 安全风险识别

安全需求分析的关键步骤之一是风险识别。此步骤通过识别所有可能对系统和数据构成威胁的风险源，包括内外部攻击、数据泄露、系统故障、自然灾害等，以确保所有潜在的威胁因素均被考虑。风险识别通常采用以下几种方法：

- a) 资产识别：列举所有需要保护的资产，包括硬件设备、软件系统、数据和人员；
- b) 威胁分析：评估系统内外部面临的安全威胁，如恶意攻击、网络入侵、数据篡改、未授权访问、设备失窃等；
- c) 脆弱性评估：针对系统的脆弱性进行评估，识别安全控制措施不足的环节，如防火墙设置不当、加密措施薄弱、身份验证机制欠缺等；
- d) 影响评估：评估安全事件对业务的潜在影响，尤其是数据泄露或业务中断可能造成的经济损失和信誉风险。

8.2.4 安全需求分类

8.2.4.1 基本安全需求

8.2.4.1.1 身份鉴别与访问控制：确保只有合法授权的用户可以访问数字化平台中的核心资产。通过多因素身份验证机制、角色权限分配等方式，确保用户身份的准确性和操作的合规性。

8.2.4.1.2 数据保密性：对于敏感数据，应实施严格的加密传输和存储策略，确保数据在传输过程中不会被截取或篡改。

8.2.4.1.3 系统完整性：通过数字签名、校验码等技术手段，确保数据和系统的完整性，避免未经授权的篡改。

8.2.4.1.4 审计追踪：系统需具备完整的操作日志记录功能，以便于事后追溯及安全事件的分析。特殊安全需求。

8.2.4.2 特殊安全需求

8.2.4.2.1 针对特定场景的数据隔离需求：某些勘察设计项目可能涉及商业机密或国家秘密，针对这些高敏感级别的数据，需要设计特定的隔离措施，确保与常规数据完全隔离。

8.2.4.2.2 物理安全保护需求：如工程数据服务器或硬件设施的物理安全，可能涉及到机房监控、人员出入权限管理等方面的额外要求。

8.2.4.2.3 应急恢复与容灾需求：系统需具备完善的备份和恢复机制，在发生数据丢失、设备故障或自然灾害时，能够快速恢复关键业务的运行。

8.2.5 安全需求分析方法

在进行具体的安全需求分析时，常用的分析方法包括以下几种：

- a) 需求分析法：从用户需求出发，分析不同等级保护对象的功能需求及其对应的安全保护要求。通过明确业务需求和技术实现路径，推导出必要的安全需求；
- b) 风险分析法：基于风险管理模型，识别系统在运行过程中可能遭受的各种风险，并根据风险的发生概率及影响程度进行量化评估。此方法可以帮助确定哪些风险需要优先关注，从而制定有针对性的安全保护措施；
- c) 基线对比分析法：通过将当前系统的安全配置与相关标准、行业基线或最佳实践进行对比，分析系统中可能存在的安全弱点及改进空间。

8.2.6 安全需求分析报告编制

安全需求分析的最终成果应形成一份完整的《安全需求分析报告》，该报告不仅为后续的安全设计和实施提供指导，还为系统的安全管理提供参考依据。报告内容应包括以下几个部分：

- a) 分析对象及范围：明确本次安全需求分析所涉及的系统组件、数据资产和业务流程；
- b) 资产清单：列出所有需要保护的核心资产，并对其安全需求进行逐项描述；
- c) 威胁与脆弱性分析：详细列举系统可能遭遇的威胁类型，并分析相应的脆弱点；
- d) 基本安全需求：根据等级保护要求，阐述系统必须满足的基础性安全需求，如身份认证、访问控制、加密等；
- e) 特殊安全需求：针对特定业务场景或高敏感性资产提出的额外安全要求；
- f) 风险评估结果：结合风险评估过程，展示各项风险的发生概率和影响分析，并提出相应的安全保护建议；

8.3 安全方案设计及技术措施

8.3.1 建设目标与建设内容概述

8.3.1.1 建设目标旨在建立一个安全、稳定、可靠的信息系统，确保系统中的数据机密性、完整性和可用性，同时满足国家等级保护相关要求。

8.3.1.2 建设内容包括网络架构优化、访问控制加强、数据加密存储与传输、安全审计与监控、容灾备份等方面。

8.3.2 安全策略落实

8.3.2.1 访问控制策略

采用专业的访问控制设备，如防火墙。规范要求具备基于 IP 地址、端口、协议等的访问控制功能，能够限制非法访问。

8.3.2.2 数据加密策略

8.3.2.2.1 部署加密软件或采用具有加密功能的存储设备。规范要求对敏感数据进行加密存储和传输，确保数据的机密性。

8.3.2.2.2 支持多种加密算法，如 AES、RSA 等，可根据不同数据类型和安全需求选择合适的算法。提供透明加密功能，对应用程序和用户透明，不影响系统正常运行。具备密钥管理功能，确保密钥的安全生成、存储和分发。

8.3.2.3 安全审计策略

安装安全审计系统。规范要求对系统中的用户行为、系统操作等进行全面审计，以便及时发现安全问题。能够记录用户登录、操作、访问等行为信息，包括时间、用户、操作内容等。支持审计日志的存储、查询和分析功能，方便管理员进行安全事件追溯。具备报警功能，当发现异常行为时能够及时发出警报。

8.3.2.4 容灾备份策略

采用容灾备份系统。规范要求对重要数据和系统进行定期备份，并具备在灾难发生时快速恢复的能力。支持多种备份方式，如全量备份、增量备份、差异备份等，可根据实际需求选择合适的备份策略。具备数据压缩和加密功能，提高备份效率和安全性。提供异地备份功能，防止因本地灾难导致数据丢失。具备快速恢复功能，能够在最短时间内恢复系统和数据。

8.3.3 安全技术体系结构设计

8.3.3.1 网络安全层：使用防火墙、入侵检测系统（IDS）、入侵防御系统（IPS）等。防火墙实现网络边界访问控制；IDS/IPS 实时监测网络流量，发现并阻止入侵行为。

8.3.3.2 主机安全层：主机防火墙、防病毒软件、主机入侵检测系统（HIDS）等。主机防火墙对主机的访问进行控制；防病毒软件防止病毒感染；HIDS 监测主机系统的异常行为。

8.3.3.3 应用安全层：应用防火墙、Web 应用防火墙（WAF）、数据库审计系统等。应用防火墙对应用程序的访问进行控制；WAF 保护 Web 应用免受攻击。

8.3.3.4 数据安全层：产品：加密软件、数据备份设备、容灾系统等。

8.3.3.5 功能描述：加密软件对数据进行加密存储和传输；数据备份设备定期备份重要数据；容灾系统确保在灾难发生时能够快速恢复系统和数据。

8.3.4 安全措施实施步骤

- 8.3.4.1 网络安全产品采购：根据安全技术体系结构设计，确定所需的网络安全产品清单。进行市场调研，选择符合规范要求、性能稳定、口碑良好的产品。
- 8.3.4.2 安全控制的开发：对于无法通过采购产品实现的安全控制需求，进行定制开发。制定开发计划，明确开发任务、时间节点和责任人。进行严格的代码审查和测试，确保安全控制的有效性和稳定性。
- 8.3.4.3 安全控制的集成：将采购的网络安全产品和开发的安全控制进行集成。制定集成方案，明确集成步骤和测试方法。进行集成测试，确保各个安全控制之间协同工作，不产生冲突。
- 8.3.4.4 系统验收：制定系统验收标准和验收计划。对系统进行全面的安全测试，包括功能测试、性能测试、安全漏洞扫描等。组织专家进行评审，确保系统符合等级保护要求，对存在的问题进行整改。

附 录 A
(资料性)
工程勘察设计数字化交付流程示例

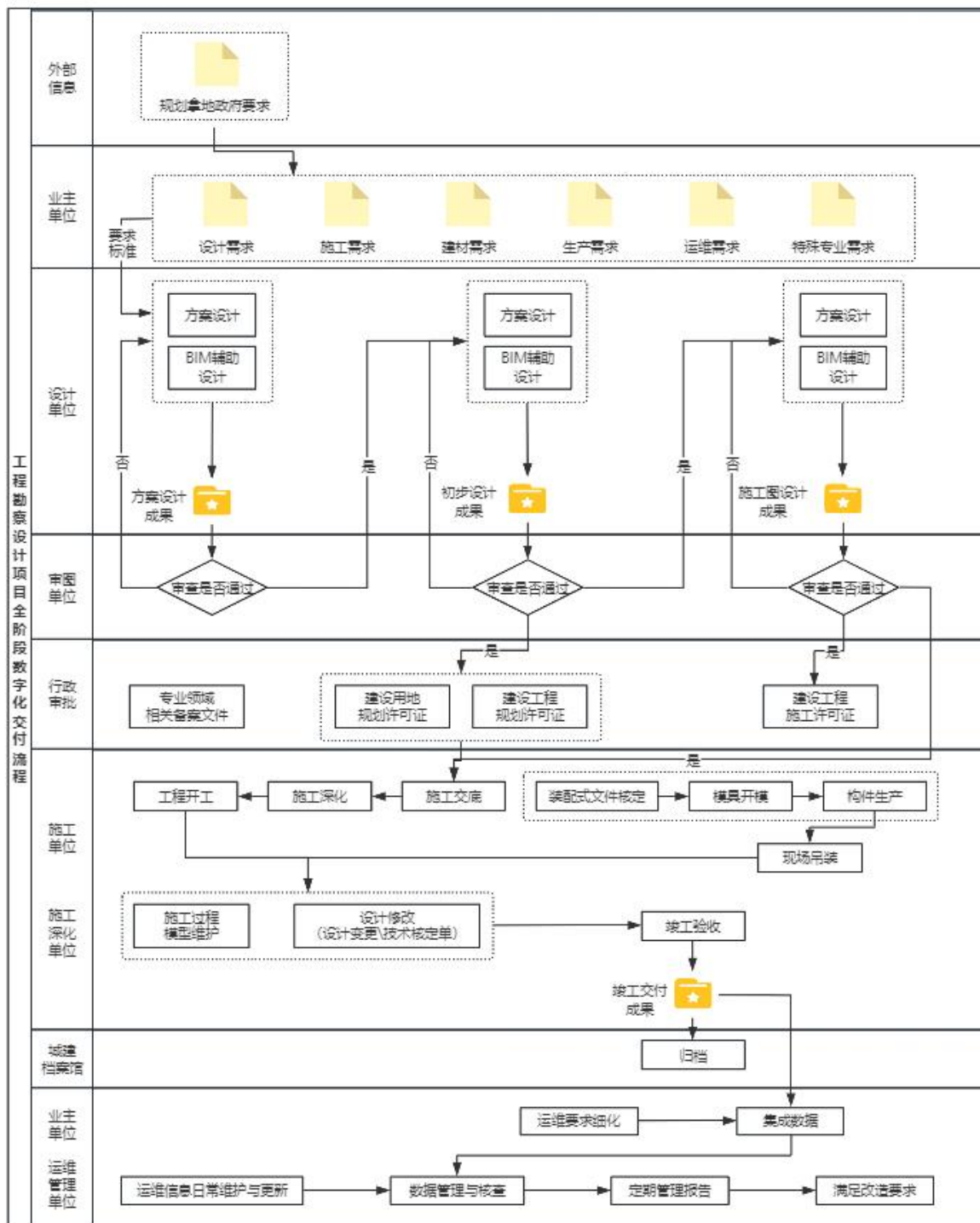


图 A.1 工程勘察设计数字化交付流程图

附 录 B
(资料性)
建筑工程数字化技术及应用方向

附 录 C
(规范性)
道路工程数字化技术及应用方向

C.1 道路工程数字化技术

C.1.1 数字化测量技术：随着电子技术、信息化技术以及空间定位技术的迅猛发展，道路勘测采用全站仪、GPS等现代测绘技术，摆脱了传统的测绘手段和方法。利用GPS接收机进行平面控制网测量，采用CGO软件对GPS控制网进行基线解算与平差处理。使用的地形图均采用数字地图，贮存介质由纸质发展为电子形式。

C.1.2 数字化建模技术：采用BIM技术能够构建三维立体实物图形，呈现不同道路工程中管道等构筑物之间的互动性和反馈性，相较于平面线条化的图纸，更为形象直观。还可利用三维建模技术建立路基和路面工程的三维模型，为施工方案的制定和实施提供直观、准确的参考。

C.1.3 数字化仿真技术：采用地面模型HDTM1.0程序建立数字地面模型，打破传统设计方式，进行仿真模拟优化，以快速定位问题，进行多方案比选，实现方案设计的合理化。

C.1.4 数字化管理技术：地理信息系统（GIS）技术可以实现对施工现场的精确测量和定位，为路基和路面工程提供准确的基础数据；大数据分析技术能对施工过程中产生的海量数据进行分析 and 挖掘，为施工方案的优化提供有力支持。

C.1.5 数字化监测技术：无人机可用于施工现场的实时监测和数据采集，提高施工效率和精度；数字化施工方案还可以实时监测施工过程中的各种参数，及时发现潜在的安全隐患，提升施工安全性。

C.2 道路工程数字化应用方向

C.2.1 道路选线与勘测：数字化技术在道路选定线中起着重要作用。选线需要综合考虑地形、地质条件变化以及路线平、纵、横三方面的相互影响和制约。通过先进的数字化测量和定位技术，能够更准确地获取地形地貌等信息，为选线提供科学依据。构建现代数字化道路勘测新模式，能更好、更快地提升道路勘测外业工作效率。

C.2.2 道路设计优化：在道路设计阶段，BIM技术可提前优化设计方案，为项目节约大量成本及缩短工期；利用HDTM1.0程序和TransCAD交通规划软件等进行仿真模拟和交通预测分析，实现方案设计的合理化，提高工作效率和设计质量，使市政道路实现“以人为本、功能完善、环境友好、节能环保”的发展目标。

C.2.3 施工过程管理：在路基工程和路面工程施工中，数字化施工方案优势明显。它可以提高施工精度，通过精确的测量和数据分析，确保工程的精确施工，减少误差；实现自动化施工和智能化管理，减少人工干预，提高施工效率；优化资源利用，对材料、设备等资源进行精确控制和管理，降低建设成本；还能实时监测施工参数，提升施工安全性。

C.2.4 道路运营维护：借助数字化监测技术，如传感器、无人机等，可以实时监测道路的使用状况、结构安全等信息。通过大数据分析技术对这些数据进行处理和分析，及时发现道路病害和潜在问题，为道路的养护和维修提供决策支持，延长道路的使用寿命，提高道路运营的安全性和可靠性。

C.3 道路工程数字化技术及应用主要从BIM应用、数字化设备和道路工程智慧化应用三个方面进行控制。

C.3.1 BIM(Building Information Modeling)技术被广泛应用于道路工程中，它能够提高施工效率、同时减少运营成本，改善工程的可持续可靠性。BIM技术有助于提高道路工程的设计质量和建设效率，

减少此类工程的建造时间和施工成本。应用BIM技术可以使道路工程的设计更加精细。通过BIM模型技术，可以快速收集和整理道路工程的所有数据，更加方便地管理和监控道路工程的施工过程，从而减少施工过程中的人员和材料成本。BIM技术还可以降低道路工程的运营和管理成本，从而实现长期的可持续发展。

BIM技术应用于道路工程，可以帮助设计师快速获取准确的工程信息，并实现有效的项目跟踪，使得整个工程更加精确、可靠。通过使用BIM技术，可以实现道路工程的快速建设。

C.3.2 数字化设备主要包括：无人机、GPS、全站仪、管线探测仪、测量机器人、激光扫描仪、工程物探仪、数控绘图仪和AR/VR设备等。

C.3.3 道路工程智慧化应用主要包括：数据采集与处理技术系统、智慧道路管理系统、智能道路养护管理系统、智能道路安全保障系统、智能道路环境监测系统和智能道路建设技术系统。

C.4 道路工程数字化技术及应用方向

表 C.1 道路工程数字化技术及应用方向

序号	专业名称	应用方向	数字化技术	应用描述
1	道路工程智慧化应用	BIM 应用	道路工程设计更精细	应用 BIM 技术可以使道路工程的设计更加精细,可以为道路工程提供更好的构建解决方案,它可以更牢固地连接设计图纸和设计规范。
2			道路工程施工效率提高	BIM 技术也使道路工程的施工效率得到提高,可以有效地实现现场施工组织和生产管理,减少施工中的沟通和管理成本,增加施工效率。
3			管理和监控道路工程的施工过程	通过模型技术,可以快速收集和整理道路工程的所有数据,包括道路结构的布置、尺寸和材料等,更加方便地管理和监控道路工程的施工过程,从而减少施工过程中的人员和材料成本。此外, BIM 技术还可以降低道路工程的运营和管理成本,从而实现长期的可持续发展。 此外, 通过将 BIM 技术应用于道路工程, 可以帮助工程师快速获取准确的工程信息, 并实现有效的项目跟踪, 使得整个工程更加精确、可靠。
4			实现道路工程的快速建设	可以使用 BIM 技术快速完成道路的初步设计,减少道路的建设时间,并为客户提供更加可靠的设计建议,让道路的施工更加高效、可靠、可持续等。
5		数字化设备	无人机	道路路状巡查、道路设施检查、道路工程建设进度监控、道路地形测绘、道路土方测量、道路边坡安全监测、施工现场安全检查
6			GPS	用于建立高精度的道路工程控制网、用于道路勘测（包括：地面模型数据采集、控制点加密、中线放样、纵断面测量及机载 GPS 航测）、用于隧道测量、用于道路施工过程中的实时监测、用于道路资产管理、服务于智能交通系统
7			全站仪	建立平面控制网、建立高程控制网、道路中线放样、道路边线放样、道路的纵横断面测量、道路施工过程中的变形监测、竣工测量
8			管线探测仪	在道路规划与设计、施工过程、故障排查与修复和后期维护与管理过程中与管线有关的探测
9			测量机器人	道路地形测量、道路施工放样、道路变形监测、道路路面平整度检测、隧道工程测量
10			激光扫描仪	道路地形测绘、道路平整度检测、道路设施测量、道路变形监测、隧道工程测量、道路工程量计算
11			工程物探仪	地质勘察、道路病害诊断、地下管线探测、隧道超前预报、土石方填方压实质量检测

表 C.1 道路工程数字化技术及应用方向（续）

序号	专业名称	应用方向	数字化技术	应用描述
12	道路工程智慧化应用	数字化设备	数控绘图仪	设计图纸绘制、地形测绘、施工图纸制作、工程量计算、方案比选、可视化展示
13			AR/VR 设备	增强现实（AR）：施工指导、巡检辅助、设计展示 虚拟现实（VR）：培训模拟、设计评估、交通流量模拟
14		道路工程智慧化应用	数据采集与处理技术系统	材料质量检测（数据采集、数据传输与存储、数据分析与展示） 公路检测与维护（路状信息采集、提高工作效率、保证检测与维护质量） 提升管理效率（提升试验效率、保证数据准确性、降低成本、提高安全性）
15			智慧道路管理系统	交通流量监测与调控、路况实时监控与预警、智能照明管理、车辆识别与管理、应急管理、大数据分析决策支持
16			智能道路养护管理系统	实现实时监测、精准病害诊断、优化养护计划、提高养护作业安全、提升道路服务水平、延长道路使用寿命
17			智能道路安全保障系统	城市道路：施工阶段提高安全保障； 日常运行阶段（交通信息收集与处理、交通管理与控制、事故预防与处理、交通环境监测） 高速公路：结合高速公路自建摄像头，能准确分析道路上的车流和安全隐患事件，同时联动监控实现道路异常实时感知预警情况准确定位，态势快速研判，事故秒级预警的全流程智慧调度，助力提升交通管理救援的效率，增强道路安全性和保障路面通行顺畅。
18			智能道路环境监测系统	道路积水预警（实时精准监测、保障通行安全、支持应急响应、优化预防措施） 交通数据监测（获取多维度信息、广泛应用与综合数据获取） 道路病害监测与养护决策（精准感知与定位病害、动态监测与健康评估、科学化与智能化养护决策） 地下设施监测 公路隧道环境监测（预警应急状况、数据分析辅助管理）
19			智能道路建设技术系统	智能监测与感知、智能交通管理、自动驾驶支持、道路结构健康监测、能源收集与利用、智能照明系统、大数据分析预测。

附 录 D
(规范性)
桥梁工程数字化技术及应用方向

D.1 桥梁工程数字化技术

D.1.1 桥梁工程数字化技术是通过引入数字技术，实现桥梁勘测、设计、施工和运维全过程的数字化管理和优化，有助于提高桥梁工程的效率、降低成本、提升质量和安全性。

D.1.2 BIM技术：建筑信息模型（BIM）技术是桥梁工程数字化的核心，可以实现桥梁全生命周期的数字化管理和优化。它能集成各种信息，形成三维模型，让各参与方在同一平台协同工作。

D.1.3 数字建模与仿真技术：可对桥梁结构的力学性能、施工过程等进行模拟分析，提前预测可能出现的问题并进行优化。

D.1.4 结构健康监测与诊断技术：借助传感器实时收集桥梁的应力、振动、位移等数据，评估桥梁的健康状况，及时发现潜在病害。

D.1.5 桥梁施工自动化与机器人技术：采用自动化设备和机器人进行钢筋加工、混凝土浇筑等施工操作，提高施工精度和效率。

D.1.6 虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术：VR技术可创建沉浸式的桥梁环境，辅助设计方案展示和施工人员培训；AR技术能将虚拟信息与现实场景结合，用于施工指导和运维检修。

D.1.7 大数据与云计算技术：大数据可对桥梁全生命周期产生的海量数据进行存储、分析和挖掘，为决策提供支持；云计算则提供强大的计算能力和存储空间。

D.2 桥梁工程数字化应用方向

D.2.1 设计阶段的应用

D.2.1.1 三维可视化设计：通过BIM模型直观展示桥梁形态与周边环境关系，辅助方案比选。

D.2.1.2 参数化建模：利用OpenBridge Modeler等工具实现构件参数联动，快速生成设计方案。如调整主跨跨度时，桥墩位置、预应力配筋等参数自动更新。

D.2.1.3 碰撞检测与优化：自动识别钢筋与预应力管道冲突、施工机械与结构干涉等问题，减少设计变更率。

D.2.2 施工阶段的应用

D.2.2.1 4D施工模拟：将BIM模型与进度计划关联，动态模拟施工流程，提前发现施工顺序、空间冲突等问题，避免工期延误。

D.2.2.2 工程量精准统计：基于模型自动生成混凝土方量、钢筋用量清单，误差率低，为成本控制提供准确依据。

D.2.2.3 数字化交底：通过移动端AR技术展示复杂节点施工工艺，降低工人理解门槛，确保施工质量。

D.2.2.4 智慧工地管理：利用互联网、物联网、云计算和大数据等技术，对施工现场的“人、机、料、法、环”等要素进行统一调配和管理，实现施工过程的数字化、精细化和智慧化。

D.2.3 运维阶段

D.2.3.1 病害数据库与健康评估：集成桥梁检测数据，建立结构健康评估模型，全面掌握桥梁的健康状况。

D.2.3.2 智能预警系统：通过物联网传感器实时监测应力、振动等参数，结合BIM模型预测病害风险，及时发出预警。

D.2.3.3 资产全生命周期管理：记录材料规格、维修历史等数据，支持科学决策，延长桥梁使用寿命。

D.2.4 桥梁工程数字化技术及应用主要从BIM应用、数字化设备和道路工程智慧化应用三个方面进行控制。

D.2.4.1 BIM(Building Information Modeling)技术被广泛应用于桥梁工程中,它能够提高施工效率、同时减少运营成本,改善工程的可持续可靠性。BIM技术有助于提高桥梁工程的设计质量和建设效率,减少此类工程的建造时间和施工成本。应用BIM技术可以使桥梁工程的设计更加精细,可以为桥梁工程提供更好的构建解决方案,它可以更牢固地连接设计图纸和设计规范。同时,BIM技术也使桥梁工程的施工效率得到提高,可以有效地实现现场施工组织和生产管理,减少施工中的沟通和管理成本,增加施工效率。通过BIM模型技术,可以快速收集和整理桥梁工程的所有数据,包括:桥梁结构的布置、尺寸和材料等,更加方便地管理和监控桥梁工程的施工过程,从而减少施工过程的人员和材料成本。BIM技术还可以降低桥梁工程的运营和管理成本,从而实现长期的可持续发展。通过将BIM技术应用于桥梁工程,可以帮助设计师快速获取准确的工程信息,并实现有效的项目跟踪,使得整个工程更加精确、可靠。通过使用BIM技术,可以实现桥梁工程的快速建设。

D.2.4.2 数字化设备主要包括:无人机、GPS、全站仪、管线探测仪、测量机器人、激光扫描仪、工程物探仪、数控绘图仪和AR/VR设备等。

D.2.4.3 桥梁工程智慧化应用主要包括:智能设计、智能建造、智能监测与运维和技术集成等。

D.3 道路工程数字化技术及应用方向

表 D.1 道路工程数字化技术及应用方向

序号	专业名称	应用方向	数字化技术	应用描述
1	桥梁工程数字化技术及应用方向	BIM 应用	桥梁工程设计更精细	应用 BIM 技术可以使桥梁工程的设计更加精细,可以为桥梁工程提供更好的构建解决方案,它可以更牢固地连接设计图纸和设计规范。
2			桥梁工程施工效率提高	BIM 技术也使桥梁工程的施工效率得到提高,可以有效地实现现场施工组织和生产管理,减少施工中的沟通和管理成本,增加施工效率。
3			管理和监控桥梁工程的施工过程	通过模型技术,可以快速收集和整理桥梁工程的所有数据,包括桥梁结构的布置、尺寸和材料等,更加方便地管理和监控桥梁工程的施工过程,从而减少施工过程的人员和材料成本。此外,BIM 技术还可以降低桥梁工程的运营和管理成本,从而实现长期的可持续发展。此外,通过将 BIM 技术应用于桥梁工程,可以帮助工程师快速获取准确的工程信息,并实现有效的项目跟踪,使得整个工程更加精确、可靠。
4			实现桥梁工程的快速建设	可以使用 BIM 技术快速完成桥梁的初步设计,减少桥梁的建设时间,并为客户提供更加可靠的设计建议,让桥梁的施工更加高效、可靠、可持续等。
5		数字化设备	无人机	桥梁常规外观检查、桥梁复杂结构检查、桥梁定期快速巡检、桥梁施工进度监控、桥梁施工质量控制、桥梁施工安全管理、桥梁静态变形监测、桥梁动态变形监测、桥梁周边气象监测、桥梁下水体水质监测、地质灾害发生后桥梁受损快速评估等

表 D.1 道路工程数字化技术及应用方向（续）

序号	专业名称	应用方向	数字化技术	应用描述
6	桥梁工程数字化技术及应用方向	数字化设备	GPS	用于特大桥梁的控制测量、用于桥梁施工过程中的实时监测、服务于智能交通系统
7			全站仪	桥梁施工控制网建立、桥墩、桥台定位、桥梁变形监测、桥梁构件安装测量、桥梁竣工测量
8			管线探测仪	在桥梁规划与设计、施工过程、故障排查与修复和后期维护与管理过程中与桥梁有关管线的探测
9			测量机器人	桥梁变形监测、施工测量、结构健康监测、地形测绘、桥墩垂直度测量
10			激光扫描仪	桥梁结构检测、桥梁损伤评估、桥梁施工监控、桥梁荷载试验、桥梁建模与仿真、桥梁健康监测
11			工程物探仪	地质勘察、基础检测、桥梁病害诊断、地下管线探测
12			数控绘图仪	设计图纸绘制、地形测绘、施工图纸制作、工程量计算、方案比选、可视化展示
13			AR/VR 设备	设计与规划、施工培训与指导、安全监测与评估、项目展示与沟通
14		桥梁工程智能化应用	智能设计	采用 BIM 技术实现三维协同设计，减少碰撞冲突，提升设计精度，结构优化算法通过拓扑优化、材料选择等手段提升桥梁性能
15			智能建造	工业化拼装、自动化设备、高精度施工
16			智能监测与运维	健康监测系统、无人机巡查、智能养护决策
17			技术集成	构建桥梁全生命周期管理平台，支持施工进度模拟、质量安全追溯及运维决策，与物联网、AI 融合，实现资源优化调度和能耗管理

附 录 E
(规范性)
隧道工程数字化技术及应用方向

附 录 F
(规范性)
管廊工程数字化技术及应用方向

附 录 G

(规范性)

水务工程数字化技术及应用方向（广西大汉岩土工程有限责任公司）
