

市政管线二三维一体化数据标准研究

耿媛婧

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 针对市政管线数据管理存在多源异构、阶段割裂与二三维分离问题, 构建普适性的二三维一体化数据标准框架。采用“数据指标-交付要求”的双区架构: 在数据指标区建立9类管线数据字典, 按“几何—管理—专业”3种类型组织属性信息; 在交付要求区建立“多场景、双轨制、三要求”的交付规则, 其中“多场景”覆盖规划、设计、施工、运维全周期, “双轨制”对每项指标规定二三维交付深度, “三要求”采用M(必填)、O(选填)、X(不填)实现差异交付。标准通过语义映射弥合测绘、规划、权属不同标准体系的横向壁垒, 以阶段继承与增量更新打通纵向断点, 实现从“多标准林立”到“一套指标统管”、从“阶段割裂”到“全周期传承”、从“二维管理”到“二三维协同应用”范式转变。

关键词: 市政管线; 数据标准; 二三维一体化; 全生命周期

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)07-0124-06

Research on 2D-3D Integrated Data Standards for Municipal Pipelines

GENG Yuanjing

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: To address the problems such as multi-source heterogeneity, phase fragmentation, and 2D-3D separation in the management of municipal pipeline data, a universal 2D~3D integrated data standard framework is established. A dual-zone architecture of "data indicators - delivery requirements" is adopted, that is to establish nine types of pipeline data dictionaries in the data indicator area and organize the attribute information according to the three types of "geometric - management - professional", and that is to establish a delivery rule of "multiple scenarios, dual-track system, and three requirements" in the delivery requirement area, where the multiple scenarios cover the full lifecycle of planning, design, construction, operation and maintenance, the dual-track system stipulates the 2D and 3D delivery depths for each indicator, and the "three requirements" adopt M (required), O (optional), and X (not required) to achieve the differential delivery. In the standard, the horizontal barriers among different standard systems of surveying and mapping, planning, and ownership are bridged through semantic mapping, and the vertical breakpoints are eliminated through stage inheritance and incremental updates to realize the paradigm shift from "multi-standard coexistence" to "unified indicator governance", from "stage fragmentation" to "full-cycle inheritance", and from "2D management" to 2D and 3D collaborative application.

Keywords: municipal pipeline; data standard; 2D-3D integration; full lifecycle

0 引言

市政管线作为城市“生命线”工程的物理载体, 其空间分布的复杂性、运行状态的隐蔽性以及事故后果的连锁性, 对城市安全韧性运行构成深远影响。推进市政管线的现代化治理, 实现从“看不见的风险”到“可感知的韧性”的转变, 已成为超大城市提升安全治理能力的关键环节。

数据作为驱动全生命周期管理的核心生产要

素, 唯有实现跨部门、多场景、全周期的高效汇聚与安全共享, 方能支撑地下空间的精细化规划、智能化监测与协同化管控。而数据汇聚与共享的前提, 在于数据内容的标准化——唯有建立统一的数据标准体系, 对几何属性、专业属性与管理属性进行规范定义, 才能消除“信息孤岛”的技术根源。

近年来, 国内超大城市相继出台管线管理法规, 如2025年《上海市管线管理办法》^[1]明确提出“建设统一的管线地理信息库”、“依托大数据资源平台加强信息归集共享”, 从制度层面确立了以标准化推动数据要素流通的战略导向。

面对管线数据内容标准化的迫切需求, 本研究

收稿日期: 2026-04-08

作者简介: 耿媛婧(1981—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事市政基础设施数字化技术研发与应用。

摒弃“推倒重来”的颠覆式重构路径,即编制全新标准,而是清醒认识到:经过30余年城市建设的高速发展,市政管线数据管理面对的已非“从无到有”的原始命题,而是“从有到融”的复杂局面。因此本研究的核心目标在于构建具有普适性的市政管线数据标准框架,在尊重历史现状、不对现有做法“伤筋动骨”的前提下,实现标准体系的渐进式升级,建立“旧标准能衔接、新需求能满足”的技术框架。

1 编制原则与关键问题

1.1 编制原则

本标准编制遵循5项核心原则:一是全行业覆盖,覆盖电力、通信、给水、排水、燃气、特种、综合管廊、合杆、其他共9大类市政管线^[4];二是全标准融合,弥合测绘类、规划报建类、权属单位专题类这三类并行标准体系的技术鸿沟,实现“同一管线、同一描述”;三是全周期贯通,贯穿规划、设计、施工、运维全生命周期;四是全场景适配,对应各阶段典型业务场景;五是二三维一体,同时满足二维、三维交付场景的需求。

1.2 关键问题与技术对策

以上海市为例,市政管线数据资源呈现3大结构性矛盾,构成标准编制须直面的核心挑战。

1.2.1 问题1:横向维度多源异构与语义壁垒

1.2.1.1 问题分析

当前市政管线数据管理并非“无标准可依”,而是标准过多且互不兼容。横向维度上存在双重异构:一是9大类市政管线分属不同行业管理,电力、燃气、给水等专业在属性参数等数据指标方面差异显著。二是每类管线又面临三类并行运行标准体系之间的差异^[2,3,5]。具体而言,一是测绘类标准,如《地下管线测绘标准》(DG/TJ 08-85—2020)^[5]、《上海市地下管线跟踪测量成果标准》等,服务于管线现状普查、跟踪测量与竣工测量;二是规划报建类标准,如《上海市国土空间规划数据标准》、《上海市管线规划成果数据标准》等,服务于国土空间管控、规划审批与工程许可;三是各管线权属公司的专题数据标准,服务于专业管线的运维管理。这三类标准在要素分类、字段命名、计量单位、数据精度、枚举值定义等关键维度“似而不同”——结构相似却语义不通,形成“指标不互通、语义不兼容”的技术壁垒,严重制约跨专业、跨部门数据共享与业务协同^[2,7-8]。

1.2.1.2 技术对策

首先,针对9大类市政管线,统一将数据指标划分为“几何属性—管理属性—专业属性”三种类型,其中几何属性、管理属性基本实现全类统一,而专业属性则根据行业特色设置,这种“统分结合”的指标设计,既可满足跨专业综合管理的共性需求,又尊重各专业的技术特殊需求。同时,打破测绘、规划、专业三类标准的壁垒,对既有标准中的共性字段进行语义对齐并编制语义映射表,在尊重既有工作习惯的前提下,实现跨部门数据的指标互通与语义兼容。

1.2.2 问题2:纵向维度全生命周期数据断点与场景适配

1.2.2.1 问题分析

上海市政管线数据的产生贯穿规划、设计、施工、运维全生命周期:规划阶段输出重大管线专项规划数据;设计阶段采集管线综合规划数据、管线设计数据;施工阶段产生管线跟测数据、管线竣工数据;运维阶段形成管线普查数据、权属汇交数据。尽管数据来源丰富、体量庞大,但长期“谁产生、谁保管”的管理模式,导致数据分散于规划资源管理部门、测绘单位、各管线权属公司的独立系统中,形成“条块分割”的数据孤岛格局。纵向维度上存在双重断裂:一是不同生命阶段的信息断点,由于同一管线实体缺乏跨阶段的唯一身份标识,数据无法跨阶段继承^[3,11];二是不同业务场景的需求差异,规划审批、施工监管、运维管理等业务场景对数据深度需求各异,若采用“一刀切”的交付标准,必然导致过度采集或数据缺失。

1.2.2.2 技术对策

首先,以标识码作为管线的终身唯一身份标识,从规划阶段起编,贯穿设计、施工直至运维,确保同一物理管线实体在不同阶段的数据可追溯、可关联、可继承。其次,建立“阶段交付、接力传承”的数据流转规则,前一阶段的数据可自动继承至后一阶段,每阶段进行增量更新,形成数据资产的连续积累。第三,采用“M(必填)/O(选填)/X(不填)”多层级交付要求,差异化规定各场景交付深度,形成“场景适配、按需交付”的合理机制,既满足业务刚需,又避免过度采集。

1.2.3 问题3:空间维度二三维交付语义适配

1.2.3.1 问题分析

上海市政管线数据交付以二维CAD、GIS格式为主,审批流程与人员技能体系已相对成熟。然而,随

着地下空间集约化利用及数字孪生城市建设的推进,三维数字化交付已成为必然趋势。但需清醒认识到,二三维长期并存具有现实必要性:二维图纸在行政审批、现场施工等场景下便捷高效,三维模型则在空间分析、方案比选等方面优势显著,二者并非替代关系而是互补关系^[6,9],因此,标准编制必须实现二三维场景的兼容。

1.2.3.2 技术对策

建立“指标同源、双轨定义”的交付标准,对数据指标字典中的每一项指标,同时规定在某场景下的二维和三维交付深度,例如,“起点高程”在普查场景规定为“M/M”(二维、三维均必填),在管线规划场景规定为“O/M”(二维选填、三维必填)。这种机制既确保了二、三维场景的需求均得到满足,又通过统一语义避免了数据割裂,实现同一套数据指标对二三维场景的双重支撑。

2 标准内容成果

2.1 总体构成

本标准包括四方面核心内容,形成从基础定义、交付规则、数据指标到质量检查的闭环。

2.1.1 基础定义

确立标准运行的通用技术基底,包括总则、术语定义、基本规定等,涵盖管线分类、坐标系统、高程基准、管线成果颜色规定等。

2.1.2 交付规则

明确覆盖全生命周期的数据交付规则,包括各阶段交付场景、二三维成果内容及格式、交付文件组织及命名规则、各类型管线的BIM模型拆分方式及几何精度等。

2.1.3 数据指标

建立覆盖9大类管线的统一数据字典,对每类管线的几何、管理、专业属性进行标准化定义;创新性建立“多场景×双轨制”交付要求,明确规定每个指标在每类场景下的二维、三维交付要求。

2.1.4 质量检查

建立成果质量检查体系,包括基本项(如坐标系统、高程系统符合性等)、完整性(文件内容、成果信息齐全)、规范性(构件分类正确、无冗余)、协调性(成果本身无明显空间冲突)、精细度(几何精度、信息深度符合要求)等^[10,13-14]。

在上述四方面内容中,基础定义、交付规则、质量检查虽为标准必要构成,但属于常规性规定。而

数据指标表则是标准实现“二三维一体化”与“全生命周期贯通”理念的核心技术载体,因此本节重点阐述数据指标表的结构与内容,其他部分不再赘述。

2.2 内容成果

数据指标表是本标准的核心技术载体,创新性采用“双区”架构:左侧为“数据指标区”,统一定义覆盖9大类管线的全部数据指标,并按“几何属性—管理属性—专业属性”三种类型进行语义组织,实现“同一管线、同一描述”;右侧为“交付要求区”,针对每项指标在每种场景下同时规定二维与三维的交付深度(M/O/X),实现“指标同源、双轨并行”。两区各司其职:指标区解决“数据内容统一”问题,交付区解决“场景需求差异”问题,共同构成从指标定义到交付落地的闭环。

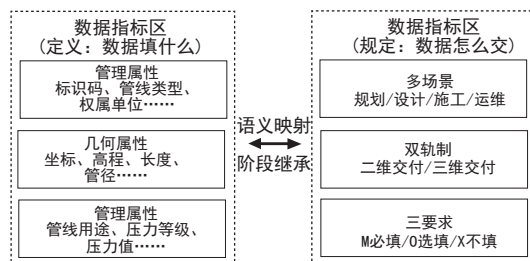


图1 数据指标表“双区”架构示意图

2.2.1 数据指标区:统一化语义

建立覆盖电力、通信、给水、排水、燃气、特种、综合管廊、合杆、其他9大类管线的统一数据字典。数据指标排列顺序统一遵循“管理→几何→专业”的固定次序:管理属性居首,因其包含标识码等跨阶段关联字段;几何属性次之,作为管线空间定位的核心信息;专业属性居末,按各专业特色灵活扩展。这种排序规则在全类管线字典中保持一致,便于数据交换时的字段对齐。

管理属性描述管线身份标识、业务状态、项目属性等信息,具体包括标识码(终身唯一,跨阶段继承)、管线类型、管道等级、起点编号、终点编号、案件编号、建设工程规划许可证编号、项目编号、项目名称、建设路段、建设路段起始(终止)位置、工程类型、建设单位、权属单位、规划单位、设计单位、施工单位、测绘单位、敷设方式、敷设日期等。

几何属性描述管线几何形状、尺寸大小、空间位置等信息,具体包括管位位置、管线起(终)点坐标X/Y坐标、管线起(终)点高程、管道长度、覆土深度、管线形状、管径类别、管道管径、管道高度、管道宽度、管道壁厚等。

专业属性描述每类管线专业技术特性,如电力

电缆的电压值、电缆型号,燃气管线的压力等级,排水管线的排水类型等。

在上述3类属性中,标识码作为贯穿全生命周期的关键字段,具有特殊地位。该字段从规划阶段起编,在设计、施工、运维各阶段保持不变,是同一物理管线实体在不同阶段数据关联与继承的唯一纽带。标识码的编码结构应包含空间位置代码、管线类别代码、顺序码及校验位,确保唯一性与可扩展性;各阶段数据生产方须在成果交付时保证标识码的准确挂接,避免因阶段交接导致的数据断链。

通过上述3类数据指标及值域的规定,既实现了9大类管线的“同一描述”(共性指标语义统一),也为各专业保留了扩展空间(专属指标灵活添加)。

2.2.2 交付要求区:差异化规定

针对每项数据指标,建立“多场景、双轨制、三要求”交付规则。

“多场景”覆盖管线全生命周期的多个交付场景,包括:规划阶段的管线专项规划;设计阶段的管综审批、工程规划许可;施工阶段的跟踪测量、竣工验收;运维阶段的管线普查、权属汇交等,且交付场景可随着管理机制的变化相应调整迭代。每个场景根据业务管理实际需求,差异化规定数据交付深度,避免“规划阶段就要求施工级精度”的过度采集,或“竣工阶段只有规划级精度”的数据缺失。

“双轨制”对每一数据指标每一场景,同时规定二维和三维交付要求,形成“指标同源、双轨并行”的交付规则。

“三要求”M为必填;O为选填;X为不填。

2.2.3 典型示例

以给水管为例,数据指标成果如表1所示,其中序号1-18为管理属性,序号19-33为几何属性,序号34-40为专业属性。

本标准的框架设计具有普适性:其一,数据指标采用“几何—管理—专业”三层属性架构,是对管线数据本质特征的抽象,能够适配不同的管理体制;其二,“多场景×双轨制×三要求”交付规则是一种可配置的规则引擎,各地可根据自身管理需求裁剪场景、调整交付深度;其三,语义映射表是一种可配置的对照工具,各地可根据自身标准体系灵活调整映射关系。对于信息化基础薄弱的城市,可先启用数量较少的基础指标集,或仅覆盖少数核心场景(如普查、竣工);信息化先进城市可启用完整指标集与全场景

交付。标识码规则、坐标系统等进行本地化配置即可,标准主体框架保持不变。

3 标准实施配套机制

标准的工程化落地不仅依赖于技术指标的完备,更需要建立与之匹配的实施保障体系。本文建议从技术保障与管理保障两个维度构建配套机制,确保“指标统一、阶段贯通、维度兼容”的设计理念转化为实际生产力。

3.1 技术保障体系:从生产到交付的全流程赋能

3.1.1 生产端工具支撑

鉴于市政管线涉及多个行业,且二、三维交付并行,应开发配套的数据交付工具插件,内嵌于CAD、Revit、管立得等主流生产软件,实现“菜单式”数据导出功能,生产人员可按需导出符合场景要求的成果包,降低标准落地门槛;将各类原始数据格式转换为数字化交付平台规定的格式;实现构件级属性字段自动挂接与标准校验,从源头保障数据合规性。

3.1.2 交付端质量检查

须配套开发成果自检工具,方便交付方在正式交付前进行成果预检,针对标准规定的基本项、完整性、规范性、协调性、精细度等质量检查内容,进行自动化核查并出具自检报告,形成“交付方自检—平台检查—成果入库”的科学流程^[14]。

3.1.3 数字化交付平台

开发市政管线数据数字化交付平台,实现成果上传、质量检查、入库归档的全流程线上化,完成全行业、全周期、全场景、二三维一体的市政管线数据汇聚,有力支撑后续行业审批、数据共享等功能^[12-13]。

3.2 管理保障机制:制度衔接与动态运维

3.2.1 制度层面衔接

须紧密衔接政府发布的市政管线相关法规制度,将标准交付要求纳入工程建设项目审批流程^[15],建立规划资源、住建、交通等多部门联合的数据归集机制,从制度层面确立数据标准化的强制地位。

3.2.2 动态更新机制

除管线数据的批量原始积累以外,还应建立适于城市自身状况的数据动态更新机制,如:竣工强制入库、权属定期汇交、统一跟测^[2,11]等,确保数据现势性与资产连续性。

3.2.3 安全共享机制

为了在市政管线数据的保密要求和共享需求之

表 1 给水管线数据指标表样例

序号	指标	数据类型	值域	属性类别	管线普查	权属汇交	管线专项规划	管综审批	工程规划许可	跟踪测量	竣工验收	
1	标识码	VARCHAR2	给水管	管理	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
2	管线类型	VARCHAR2		管理	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
3	起点点号	VARCHAR2		管理	M/M	M/M	O/O	O/O	M/M	M/M	M/M	
4	终点点号	VARCHAR2		管理	M/M	M/M	O/O	O/O	M/M	M/M	M/M	
5	案件编号	VARCHAR2		管理	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	X/X	M/M	
6	工程规划许可证编号	VARCHAR2		管理	X/X	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	
7	项目编号	VARCHAR2		管理	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
8	项目名称	VARCHAR2		管理	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
9	建设路段	VARCHAR2		管理	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	M/M	
10	建设路段起始位置	VARCHAR2		管理	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	M/M	
11	建设路段终止位置	VARCHAR2	管理	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	M/M		
12	工程类型	VARCHAR2	新建;改扩建;穿线;拆除	管理	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	M/M	
13	建设单位	VARCHAR2	人行道;非机动车道;机动车道;红线内绿化带;红线外绿化带;其他	管理	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	M/M	
14	权属单位	VARCHAR2		管理	M/M	M/M	X/X	O/O	O/O	M/M	M/M	
15	规划单位	VARCHAR2		管理	X/X	X/X	M/M	O/O	O/O	O/O	O/O	
16	设计单位	VARCHAR2		管理	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	M/M	
17	测绘单位	VARCHAR2		管理	M/M	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	
18	施工单位	VARCHAR2		管理	X/X	X/X	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	
19	管位位置	VARCHAR2		几何	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	X/X	M/M	
20	起点坐标 X/m	NUMBER		几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
21	起点坐标 Y/m	NUMBER		几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
22	起点高程/m	NUMBER		几何	M/M	M/M	O/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
23	终点坐标 X/m	NUMBER	几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M		
24	终点坐标 Y/m	NUMBER	几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M		
25	终点高程/m	NUMBER	几何	M/M	M/M	O/M	M/M	M/M	M/M	M/M		
26	管道长度/m	NUMBER	几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M		
27	覆土深度	VARCHAR2	几何	X/X	X/X	O/O	O/O	M/M	X/X	M/M		
28	管线形状	VARCHAR2	圆形;矩形;其他	几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
29	管径类别	VARCHAR2	内径、外径、公称直径	几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
30	管道管径/mm	NUMBER	混凝土;钢;铸铁;铜;塑料;玻璃钢;石棉水泥;陶瓷;其他	几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
31	管道壁厚/mm	NUMBER		几何	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	
32	管道高度/m	NUMBER		几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
33	管道宽度/m	NUMBER		几何	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	M/M	
34	管线用途	VARCHAR2		原水,上水,中水,直饮,消防,绿化,其他给水	专业	M/M	M/M	X/X	X/X	O/O	M/M	M/M
35	管道等级	VARCHAR2		主线;沟通管	专业	X/X	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M
36	水压/MPa	NUMBER		专业	O/O	O/O	X/X	X/X	O/O	O/O	O/O	
37	管线材料	VARCHAR2		专业	O/O	O/O	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M	
38	敷设方式	VARCHAR2		直埋;非开挖;地表;支架;架空;管沟;其他	管理	M/M	M/M	X/X	X/X	M/M	M/M	M/M
39	敷设日期	DATE		管理	X/X	O/O	X/X	X/X	X/X	M/M	M/M	
40	备注	VARCHAR2	管理	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O		

间取得合理平衡,须建立管线数据分级分类共享规则。建议依托数据可信空间技术,在授权环境中完成敏感数据的共享交付,实现从“数据汇聚”到“价值释放”的跃升。

3.3 标准实施难点与应对

标准在落地过程中不可避免地面临一些实际难题。

3.3.1 字段语义漂移

同一字段在不同阶段可能被赋予不同语义,本标准通过规定字段的值域与枚举值,减少理解偏差,并可将各场景对语义的特殊说明在备注字段中加以记录,为数据使用方提供参考。

3.3.2 数据版本冲突

同一数据会产生多个版本,本标准建议以“标识码+时间戳”构建数据版本链,旧版本标记为“历史”状态,新版本标记为“现势”状态,实现全生命周期数据版本的可追溯管理。

4 结 语

本文研究构建了具有普适性的市政管线二三维一体化数据标准框架,通过建立“全行业覆盖、全周期贯通、全场景适配、二三维兼容”的技术内容,实现了从“多标准林立”到“一套指标统管”、从“阶段数据割裂”到“全生命周期传承”、从“二维单维管理”到“二三维协同应用”的范式转变。

标准的核心创新在于建立了市政管线数据指标表的“双区”架构。数据指标区统一按照“几何属性—管理属性—专业属性”三种类型对数据指标进行组

织,交付要求区则建立了“多场景、双轨制、三要求”的差异化交付规则。

数据标准化是市政管线精细化治理的基础性工作。唯有建立统一的数据话语体系,才能为城市生命线工程的安全韧性运行提供可靠的数据底座。

参考文献:

[1] 上海市人民政府.上海市管线管理办法(上海市人民政府令第17号)[Z].上海:上海市人民政府,2025-01-17.

[2] 陈功亮,刘刚.大型城市地下管线多源异构数据融合探讨[J].城市勘测,2020(5):79-84;89.

[3] 王磊.上海市地下管线全生命周期规划管理机制和技术支撑体系建设研究[J].城乡规划,2024(3):82-90.

[4] GB 50289—2016 城市工程管线综合规划规范[S].

[5] DG/TJ 08-85—2020 地下管线测绘标准[S].

[6] GB/T 51301—2018 建筑信息模型设计交付标准[S].

[7] 贾伟政,赵亚波,潘旭飞.地下管线动态更新与数据标准问题浅析[J].城市勘测,2022(4):67-70.

[8] 周静,严建国,邓晓红.城市管线空间数据协同更新方法的设计与实现[J].现代测绘,2021,44(3):44-48.

[9] 陈鹏,曾波,潘誉,等.广州市地下市政基础设施普查管线数据动态更新技术研究[J].工程勘察,2025(3):42-45.

[10] 龚千钧.地下管线数据库更新质量控制方法研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(1):115-118.

[11] 闫玉强,杨力.宜兴市地下管线数据动态更新问题探讨[J].城市勘测,2025(1):227-231.

[12] 徐强.无锡市地下管线信息化管理服务平台的升级与应用[J].信息技术与信息化,2020(11):108-112.

[13] 周亮,夏辰茜,张心蕙.基于BIM的工程建设项目审查应用综述[J].土木建筑工程信息技术,2025,17(增刊1):64-73.

[14] 徐齐行,江毅奋,刘朝.地下管线数据质检入库系统的设计与实现[J].地理空间信息,2022,20(7):142-144.

[15] 宋庆祥.基于GIS的地下管线辅助规划审批系统设计与实现[J].智能城市,2024,10(11):73-76.

(上接第 119 页)

supplementary filler of cement for developing sustainable building materials[J].Journal of Cleaner Production, 2020, 259: 120853-120853.

[10] DEVANT M, CUSIDÓ J, SORIANO C. Custom formulation of red ceramics with clay, sewage sludge and forest waste [J].Applied Clay Science, 2011, 53(4): 669-675.

[11] SUZUKI M, MEDDAH S M, SATO R. Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high-performance concrete[J].Cement and Concrete Research, 2009, 39(5): 373-381..

[12] XU Fengming, LIU Xiaoshan, ZHOU Annan, et al. Effects of recycled ceramic aggregates on internal curing of high performance concrete[J].Construction and Building Materials, 2022, 322: 126484.

[13] ETXEBERRIA M, GONZALEZ-Corominas A. The assessment of ceramic and mixed recycled aggregates for high strength and low shrinkage concretes[J].Materials and Structures, 2018, 51(5): 1-21.

[14] MOHAMED A, AZ M, BT A, et al.Engineering properties of self-cured normal and high strength concrete produced using polyethylene glycol and porous ceramic waste as coarse aggregate[J].Construction and Building Materials, 2021, 299: 124243.

[15] 王佳骅,王功勋,黄丹,等.废瓷砖再生骨料混凝土的配制及性能试验研究[J].硅酸盐通报,2014,33(11):3000-3005.

[16] 王孟伟.ECC与既有混凝土粘结性能的影响因素研究[D].南京:东南大学,2018.