

## 二、项目简介

### 项目简介（限1000字）

地下管线是保障城市安全运行的重要基础设施和生命线，是智慧城市建设和精细化管理的重要内容。随着大数据、智能化、物联网等新技术不断应用，智慧城市水平不断提升。地下管线由于隐蔽性和复杂性，管理难度更大，智能调查探测与处理分析水平相对较低。国家对地下管网的三维智能化提出明确要求。本课题融合利用大智物移云等新技术，对管线三维智能调查探测、处理分析以及共享应用进行研究。主要创新内容如下：

1) 实现了无接触智能化的全息调查探测：①利用摄影测量技术实现对管井的智能调查，改变人工井下调查方式。②研发了超长距离管道电视检测检测仪，实现对千米以上超长管道智能调查，及时诊断管道隐患。③研发了车载探地雷达检测系统，实现对复杂管线和管线周边病害的智能探查；④研发了管线采编入库一体化工艺，实现了管线信息的自动化采集、编辑和处理。

2) 实现了智能处理和建库：利用本体语义网技术构建了管线空间语义规则知识库，研发了数据智能处理软件，设计了管线时空数据中心，可实现对规划、普查、竣工测量和专业管线等多源管线数据的智能化处理、入库及更新；

3) 实现三维精准自动建模：利用获取的管线三维信息实现了对井盖、井脖、井底、管块、管沟、管廊等的精准三维建模，实现对地上、地面和管线周边地下空间无缝三维建模，提高了管线三维效果和真实感；设计了城市三维场景统一数据表达与交换模型，支撑管线三维分析；

4) 实现了智能平台的搭建和智慧化服务：集成AI、大数据等新技术，研发了管线三维智能分析与诊断平台，提出了兼顾数据与功能分析的管线模型封装与集成方法，构建了管线模型库，实现不同应用场景的管线分析模型的重用、共享和快速集成。提出了结合空间、时间和语义的多源异构管线时空数据推理模型，研发了智能规划、智能决策、智能监控、智能诊断与评估等模块，为地下管线提供智能服务。

项目成果：编制标准21项（国标1项、行标9项）；发表论文37篇（SCI 12篇）；出版专著4部；发明专利6项（已授权4项），实用新型专利16项；研发了4套装备、获得了20个软件著作权；国家自然科学基金青年项目1项；培养了全国工程勘察大师1名、教高16人、博士5人，硕士生10人。

项目成果在北京、上海等30多个城市管线普查、运行监管、防灾减灾中得到广泛应用，累计普查50万公里以上；在山东正元、国家测绘质检中心等170多个单位得到应用，直接经济效益21亿元。

## 三、科技创新

### 科技创新（限5000字）

#### 1、立项背景

地下管线是智慧城市建设和精细化管理的重要内容。国务院27号文要求“各城市应完成城市地下管线普查和隐患排查，建立综合管理信息系统，满足城市规划、建设、运行和应急等工作需要，综合管理信息系统和专业管线信息系统应按照统一的数据标准，实现信息的即时交换、共建共享、动态更新。推进综合管理信息系统与数字化城市管理信息系统、智慧城市融合”，要把“统筹地下管线规划建设、管理维护、应急防灾等全过程，综合运用各项政策措施，提高创新能力，全面加强城市地下管线建设管理”，应“加大城市地下管线科技研发和创新力度，鼓励在地下管线规划建设、运行维护及应急防灾等工作中，广泛应用精确测控、示踪标识、无损探测与修复、非开挖、物联网监测和隐患事故预警等先进技术。”国务院印发的《国家新型城镇化规划2014-2020年》中提出“发展智能管网，实现城市地下空间、地下管网的信息化管理和运行监控智能化”。住建部提出的《国家智慧城市试点指标体系》中明确规定“实现城市地下管网数字化综合管理、监控，并利用三维可视化等技术手段提升管理水平”。随着大数据、AI、物联网等新技术时代的到来，智慧城市的建设水平和能力得到了极大的提高，城市变得更易于被感知，资源更容易被整合，城市管理更加精细化、三维化和智能化。“大智物移云”已经成为交通、物流、生活、教育等领域智慧化的重要技术支撑和实现途径。近年来，由于城市快速发展以及管线的隐蔽性和复杂性，相对于地上建筑物，管线管理难度更大，三维智能调查探测与处理分析服务水平还相对较低。由此引发得城市地下管线与地面建设、地下空间建设之间的矛盾日益突出，一些城市相继发生大雨内涝、管线泄漏爆炸、路面塌陷等事件，严重影响了人民群众生命财产安全和城市运行秩序。本课题融合利用“大智物移云”等高新技术，对管线智能调查、探测和修复、智能处理和分析以及智能平台共享应用进行了研究。

#### 2、科技含量

##### (1) 总体思路

围绕着城市规划、建设、管理及智慧城市对地下管线三维智能调查探测与处理分析的需求，融合利用AI、大数据等新技术，按照“需求调研—标准编研—技术研究—软件开发—集成示范—

应用推广”的步骤，从地下管线无接触智能全息调查和探测技术、多源异构地下管线智能处理技术和时空数据中心、地下管线精准自动三维建模、城市地下管线智能分析与诊断平台等方面开展关键技术研究，形成地下管线全过程的技术支撑体系，研发系列工艺、软件和设备，并集成示范与推广应用。

北京测绘院、南京勘测院、上海誉帆和北京勘察院负责管线智能调查探测关键技术攻关、相关软硬件研发及推广应用，北京测绘院和南京勘测院负责智能处理分析工艺、软件开发，南京师范大学和两个重点实验室负责理论和关键技术支撑，并指导应用。

##### (2) 技术方案与创新成果

#### 1. 技术方案

### 1) 地下管线无接触智能全息调查和探测技术

地下管井无接触智能调查：研发基于摄影测量单像解析计算原理的软硬件，硬件以CCD镜头、激光发生器为核心，建立物方与像方两个独立坐标系的关联，可实现管井尺寸量测，软件通过无线控制镜头姿态，实现地下管井全信息快速智能获取，并自动解译录入。

排水管道无接触智能调查和修复：研发螺旋推进式两栖管道检测车，解决淤泥、积水较为严重的管道及箱涵检测难题；针对超长管道的检测，的一种采用零重力线缆的超长距离管道电视检测仪，可将管道/箱涵排查距离从常规的120-150米提高到1000-1500米。提出管道隐患点反演算法，与管线全息数据库关联，形成精准定位和诊断分析。针对管道修复设备中摄像头难以保持水平状态导致管道缺陷定位不准、无法准确修复的难点，研发了一种可自动定位的摄像头，准确调整和定位管道缺陷位置，确保对管道缺陷的准确修复。

复杂管线及管线周边病害无接触智能探查：采用数值模拟、试验对比等方法，对地下管线探测难点及管线安全病害隐患成因进行研究，研究雷达波在各类病害体、管线体及其组合体的传播特征，提出了针对复杂管线和病害隐患的雷达测线布设、采集参数优化设置、数据采集关键技术方法，建立了探地雷达影像和图谱识别特征识别标志库。研发了车载探地雷达检测系统，将雷达探测、GPS定位、长度测量、环境条件监测等功能集于一体，实现多通道天线同时测量。研发了基于GIS的管线病害信息管理系统，实现了管线病害检测的智能化处理。

地下管线采编一体化工艺：针对地下管线三维表达需求，将内外业采集、编辑、入库一体化，移动采集系统在支持北斗实时定位基础上，设计了三种数据采集方式；数据智能处理系统通过固定的数据接口与移动采集系统对接，实现了自动传输和自动编辑以及批量处理，直接形成入库数据。

### 2) 多源异构地下管线智能处理技术与时空数据中心建设

设计并研发了地下管线时空数据中心框架和智能处理系统，实现对规划、普查、竣工汇交、隐患排查、灾害探测及实时监控数据等多来源管线数据的智能化处理。利用本体语义网技术构建管线拓扑和属性规则知识库，实现每一类管线本体知识、业务知识的精细化、独立化表示，实现地下管线数据智能化检查，跨区域的自动接边。

### 3) 地下管线精准三维自动建模技术

提出了管线及附属设施三维精准表达模型，增加井脖、井底等的三维信息采集要求，为管线精准三维建模提供数据基础；研发了自适应参数化建模方法，改进管线建模规则，实现对管线及建构物、周边设施的精准建模，基于高精度DEM实现地上地下三维模型无缝集成；设计城市三维场景统一数据表达与交换模型，对城市三维模型数据内容进行统一的表达和存储，支撑不同管线三维智能分析。

### 4) 地下管线三维智能分析与诊断平台

基于AI、大数据等新技术，研发了地下管线三维智能分析与诊断平台，设计了融合多源数据的管线三维智能分析与诊断框架，实现了兼顾数据与功能分析的地下管线模型封装与集成方法，提高了平台服务的灵活性和智能化。提出了集空间、时间和语义的

多源异构管线时空数据推理模型，研发了智能规划、决策和隐患诊断与评估等模块，为地下管线全过程提供智能管线服务。

## 2. 创新成果

项目构建了智慧城市地下管线三维智能服务技术体系，包括一个平台，一个时空数据中心，两个工艺，三个模型，4套装备、13个软件，主要有：

1) 提出了地下管线无接触智能全息调查和探测技术，融合利用摄影测量、探测雷达、移动GIS等技术，研发了地下管线摄影测量仪、零重力线缆的超长距离管道电视检测仪、车载探地雷达检测系统等调查和探测设备，实现了对地下管井、管线三维信息、管道隐患与病害的智能调查探测。

2) 利用本体语义网技术研发了地下管线数据智能处理工艺与知识库，研发了配套软件，实现对规划、普查、竣工汇交等多源管线数据的智能化质量检查、自动接边、更新入库等。

3) 建立了统一的地下管线三维精准表达模型，研发了自适应建模方法，实现对城市复杂三维立体空间的一体化、智慧化和透明化表达。

4) 设计了融合多源数据的管线三维智能分析框架，提出了集空间、时间和语义的多源异构时空数据推理模型，面向智能规划、决策和隐患诊断与评估研发了具有自主知识产权的系列软件。

证明材料见附件。

### (3) 实施效果

项目成果被山东正元、保定金迪、国家测绘产品质量检验检测中心等总计170多个管线探测单位、质量监督检查单位、管线竣工测量单位得到应用，在北京、上海、成都、重庆、广州、南京等30余个城市管线普查和规划、管理、监管、防灾减灾中得到有效应用，累计普查公里数逾50万公里以上，产生价值21亿元。

## 3、创新点

(1) 提出了地下管线无接触智能全息调查探测技术，实现了对地下管井、三维信息、管线病害及管道隐患点的智能调查

a. 利用摄影测量单像解析计算原理，研制以CCD镜头、激光发生器为核心的硬件，实现管井尺寸量测；研发可无线控制镜头姿态的软件，实现管井信息智能获取和自动解译录入。（主要证明材料B2；E2等。A标准B专利C软件著作权D论著E论文，下同）

b. 研制一种采用零重力线缆的超长距离管道电视检测仪，解决传统仪器检测距离短的问题，实现对千米以上管道的隐患无接触智能排查。（A8；B7等）

c. 采用数值模拟技术确定了复杂管线及各类病害的定义、工程特征和地球物理特征；提出多种探测条件下探地雷达测线布设、采集参数优化设置、数据采集方法，提高探测的可靠性和作业效率；（A10；B19等）

d. 开发移动数据采集、桌面处理软件，数据自动传输和自动编辑，实现内外业采集、编辑、入库一体化。（B5；C1等）

(2) 利用本体语义网技术构建了管线空间语义规则知识库，实现对规划、普查、竣工汇交等多来源管线数据的智能化质量检查、数据接边、数据更新入库等

a. 研发管线连接互斥、连接方向缺失、管线属性完整性等规则，实现对规划、普查、竣工、隐患排查、灾害探测等多源管线数据的智能处理。（C3；D1等）

b. 提出基于空间联通和属性匹配算法的管线自动接边技术，实现入库数据和已有数据自动接边；（C3；E8等）

（3）建立了统一的地下管线三维精准表达模型、自适应建模方法，实现对城市复杂三维立体空间的一体化、智慧化和透明化表达。

a. 提出管线及附属设施三维精准表达模型，增加井脖、井底的三维信息采集要求，实现地下管线三维精准建模；（A11等）

b. 研发改进的自适应精准参数化建模方法，实现对地下管线及建构筑物精准建模，提高地下管线三维建模效果和真实感；（B1；C3等）

c. 设计城市三维场景统一数据表达与交换模型，可支撑不同地下管线三维分析；（C3；E27等）。

（4）设计了融合多源数据的管线三维智能分析框架，提出了集空间、时间和语义的多源异构时空数据推理模型，研发了具有自主知识产权的系列软件。

a. 设计融合多源数据的管线三维智能分析框架，实现兼顾数据与功能分析的地下管线模型封装与集成方法，构建地下管线分析模型库，提高平台服务的灵活性和智能化；（D2；C6；E5等）

b. 提出管线路由比选算法、基于骨干网研究管线数据挖掘算法，构建集空间、时间和语义的多源异构管线时空数据推理模型，研发智能规划、决策和隐患诊断与评估模块，为地下管线全过程提供智能管线服务。（C5；E34等）。

#### 4、保密要点：

本项目研究成果无需保密。

#### 5、与当前国内外同类研究、同类技术的综合比较

同国内外相关项目相比，本项目在管线三维智能技术服务体系建设、管线无接触智能全息调查探测、管线数据智能处理、管线三维精准建模、多源异构时空管线数据推理分析模型等方面具有创新性。委托国家测绘科技信息研究所对创新点进行国内外查新，在检出的相关文献中，未见有与查新项目所针对的研究对象和采用的综合技术手段都相同的文献报告。

1) 体系创新。首次从地下管线调查和探测、数据处理技术和时空数据中心建设、精准自动三维建模、智能分析与诊断平台等方面开展关键技术研究，形成地下管线全过程的技术支撑体系。

2) 技术创新。研发的基于摄影测量单像解析计算原理的地下管井智能调查软硬件改变了下井调查的作业模式；研制的一种采用零重力线缆的超长距离管道电视检测仪，解决传统仪器检测距离短的问题；采用数值模拟技术确定了复杂管线及各类病害的定义、工程特征和地球物理特征；提出多种探测条件下探地雷达测线布设、采集参数优化设置、数据采集方法，提高探测的可靠性和作业效率；基于移动GIS开发移动数据采集、桌面处理软件，数据自动传输和自动编辑，实现内外业采集、编辑、入库一体化，改变了传统管线调查多步骤方式；利用本体语义网构建的多源异构地下管线智能

处理技术实现对不同来源管线数据智能化检查、接边和处理，改变了过去手工作业方式；提出管线及附属设施三维精准表达模型，与现有技术相比，增加井脖、井底的三维信息采集要求，实现地下管线三维精准建模；城市地下管线三维智能分析与诊断平台集成了规划、普查、竣工汇交、隐患排查、灾害探测及实时监控数据，探索大数据和人工智能在管线中的应用方法，相比于以往的管线综合信息服务系统，数据内容更丰富，服务方式更灵活性和智能。

3) 集成创新：项目成果在北京进行了集成应用示范，实现了超过8万公里管线的探查、建库、三维建模和三维智能服务。

项目成果在地下管线三维智能化领域达到了国际先进，国内领先水平。

地理信息科技进步奖

## 四、推广应用情况

### 1、推广、应用情况及社会评价（限 2000字）

#### （1）推广应用情况

项目成果在地下管线调查探测、隐患排查、数据建库、三维建模、信息平台 and 智能服务等多个领域得到应用和推广，在北京进行全面集成和示范应用，在上海、南京、广州等城市进行了推广应用。

#### 1) 北京市全面集成与示范应用

项目成果在北京市地下管线普查、北京智慧城市、专业管线智能监控、隐患排查等中得到集成应用，显著推动了城市地下管线调查探测与处理分析的三维智能化水平。

首先，利用研发的地下管线摄影测量数据调查系统和移动数据采集终端共计300余套，完成了北京市中心城区1379km<sup>2</sup>和新城地区2700 km<sup>2</sup>共计约8.26万公里管线普查工作；

其次，利用研发的管线智能处理软件、智能管理维护系统实现对26家测绘单位提交的440多万条管线段（合计8.26万公里）、480多万个管点、22.53万个小室和近18万条辅助线的智能处理、检查、接边、权属确认，建立北京市地下管线时空数据库，部署在北京市规自委，与规划、管理、审批数据库互联互通，形成智能数据处理和分析中心；

第三，利用开发三维精准自动建模系统实现8.26万公里管线、136万个管井和22.53万个小室的三维建模，实现地上地下无缝集成，为北京智慧城市建设提供地上地下一体化的三维数据服务；

第四，建立北京市地下管线智能分析平台，为北京市规自委、应急管理局、城市管理委等部门的城市洪涝风险分析、管线综合规划、市政规划审批、规划核验、应急决策、管线消隐等提供持续的数据和分析服务；

第五，为了保持时空数据库的现势性，在北京市120余家竣工测量单位全面推广使用管线移动采集系统，规范管线竣工测量成果，每年利用竣工管线数据对地下管线数据库进行动态增量更新，每年大约更新2000公里；

第六，利用研发的排水管道智能排查和修复装置开展了5000余公里排水管道的隐患排查，将排查结果数据集成到地下管线时空数据库中，在管线智能分析平台中增加了管线隐患智能诊断模块，为管线消隐工作提供依据；

第七，利用研发的车载探地雷达检测系统进行部分道路空洞检测，依据检测结果在地下管线时空数据库中建立管线灾害数据，在管线智能分析平台中增加管线灾害智能诊断模块，为城市应急决策服务；

第八，与热力集团联合开展热力管线数据整合及集中供热地理信息平台的研发，实现综合管线与专业管线数据融合，联合开展热力管安全运行监控技术研究与应用，提高热力管网三维智能化管理水平。

#### 2) 全国推广应用

项目研发的管线探测技术规程、地下管线摄影测量数据采集系统和移动数据采集终端还在上海、南京等30多个城市的管线普查中得到了广泛应用，普查管线长度共计42万

余公里；地下管线智能调查、移动采集系统、管线智能处理软件、智能检查软件等在山东正元、国家测绘质检中心等170多个单位得到应用；三维建模软件、智能服务平台在南京市地下管线普查成果和共享应用中得到深入应用；排水管道智能排查和修复装置在上海、广州、重庆、舟山等20个城市进行了应用。产生的经济价值超过21亿元。

## （2）社会评价

项目面向智慧城市建设需求，融合利用大数据、智能化和物联网等高新技术，对地下管线三维智能化技术服务体系进行了全面、深入的研究，引领我国地下管线管理和服务向三维和智能化方向发展，成果受到了各级领导、用户和媒体的广泛关注和好评，取得了良好的社会影响，在全国起到了示范带头作用。项目成果在全国30多个城市、170多家单位得到了深入应用。

## （3）预期应用前景

项目研究成果在全国城市地下管线规划、建设、管理和隐患排查得到了广泛深入的应用，对项目提出的技术体系、编制的标准、研发的软件硬件进行了验证和实验。随着我国智慧城市建设的不断推进，国家对地下空间的管理越来越重视。国务院印发的《

国家新型城镇化规划2014-2020年》中提出“发展智能管网，实现城市地下空间、地下管网的信息化管理和运行监控智能化”。住建部提出的《国家智慧城市试点指标体系》中明确规定“实现城市地下管网数字化综合管理、监控，并利用三维可视化等技术手段提升管理水平”。目前全国各城市也正在积极探索地下空间、地下管线三维智能化建设方法、各专业管线单位也在大力推进专业管线的智慧化管理，项目研究成果可以全面指导城市和专业管线单位规划、建设本地区或本专业管线的信息化建设。

配合地下管线三维智能化技术体系研究，项目研发的配套标准、软硬件设备，在地下管线无接触数据智能获取、数据自动处理和建库、地下管线三维自动建模、地下管线共享与应用等多个方面应用，覆盖了地下管线信息化管理和应用的全流程。项目研发的软硬件具有较好的成熟度，具有较好的集成性和可扩展性，不但专业性强，功能覆盖面广，且协调性、兼容性好，可以在地下管线三维智能化领域中大范围推广，在智慧城市建设中发挥良好的支撑作用，预估未来几年地下管线三维智能化市场容量在百亿以上。