

## 二、项目简介

### 项目简介（限1000字）

#### 1、主要技术内容

在建设中国特色社会主义现代化强国的新时代，以人民为中心的城市品质化建设正向“智慧城市”发展。本项目针对传统测绘基准建立与前沿技术融合不够、供给结构对需求变化的适应性不够等缺陷，重点研究高新技术融合、需求适应型的城市多级测绘基准服务体系。该体系既能满足城市建设发展在宏观层面需求，又能顾及中观层面城市大范围、大跨度建设工程测绘基准需要，同时又能服务城市重要典型精密工程基准建设需求。

(1) 宏观层面，研究构建覆盖全域、无死角的城市级测绘基准服务体系。①基于“历史数据延续使用最大化、转换成本最小化”的思路，创建具有广州特色的2000城市平面坐标系参数反演算法，保障城市新旧坐标系平稳过渡；②优化整合广东省、广州国土、广州规划三套CORS系统，形成覆盖全广州及周边区域的唯一CORS网络体系，且建立与省和国家CORS网的联系；③建立广州2000坐标与CGCS2000坐标、西安1980坐标、广州坐标的高精度转换关系；④研发为用户实时提供定位及坐标转换等服务软件。

(2) 中观层面，研究城市典型带状大跨度工程精密测绘基准建设方法。轨道交通属城市典型带状大型工程，控制基准建设具有跨度大、精度要求高的特点。本研究提出“大规模、多线路、不同期”GNSS控制网融合与衔接方案和开展基于测量机器人的精密三角高程测量方法及后处理系统研究。

(3) 微观层面，构建城市典型竖向精密工程控制基准传递及多传感器智能监测方法。超高层建筑属复杂性竖向精密工程。本研究聚焦解决施工精密控制基准的竖向传递难题及施工投点纠偏和选择合适投点时机提供数据支持的施工控制网竖向传递复测的核心问题，提出三种智能化监测方法：①首次将数字正垂仪监测系统应用到超高层建筑塔体周日摆动监测中，拓展数字正垂仪的应用领域；②自主研发基于CCD的塔体摆动监测系统，填补国内空白；③自主研发倾斜仪监测系统，首次与CCD方法比较验证研究。

#### 2、授权专利情况

申报国家专利6项、软件著作权10项；获市科技计划资助项目1项，院科研课题支持3项；获相关行业奖励6项；参编行业规范1项，主编企业规程3项；发表论文22篇。

#### 3、推广应用及效益情况

项目研究成果确保广州2000坐标和现行广州坐标成果平稳过渡，节约数据转换费用数亿元，应用合同额约3.3亿元，为城市品质化建设提供保障和有益借鉴，对推动行业进步具有示范参考意义。

### 三、科技创新

#### 科技创新（限5000字）

##### （一）立项背景：

城镇化是人类文明进步和社会经济发展的重要过程，是近现代以来推动人类社会前进的引擎。党的十九大明确提出高质量发展的宏伟目标，吹响了新型城市建设的号角，奠定了未来一段时间城市建设向“智慧城市”发展的总基调。

测绘基准是城市建设的前提，具体体现在城市规划、城市建设等领域发挥重要作用。以广州为例，作为国家中心城市和省会城市，正进一步增强责任感、使命感、危机感，在城市基准建设方面积极探索并先行先试。经过几十年的努力，广州市建立了广州市连续运行卫星定位城市测量综合服务系统（GZCORS）、广州市似大地水准面精化（GZGEOID）等空间框架基准及应用服务体系。但由于历史原因，广州市各部门目前使用的平面坐标系包括广州坐标系、1980西安坐标系和1954北京坐标系，花都、番禺、增城、从化等区域地方独立坐标系等，且存在广东省、广州国土、广州规划三套CORS系统。多套坐标系、CORS系统并存共用，增加了坐标转换成本、加大了数据共享难度、降低了行政审批效率。此外，城市典型工程（轨道交通、超高层建筑等）精度要求较高，城市CORS精度无法满足其施工建设需求，需建立精度较高的测绘基准协同互补。

在此背景下，为落实全国推广使用2000国家大地坐标系的要求，广州市提出了“历史数据在新坐标系下无需转换即可延续使用”的广州2000坐标基准建立新模式，构建了广州市唯一合法的广州2000测绘基准框架。避免了海量的历史数据转换，效果优于国内其他城市同类项目，对2000国家大地坐标系在全国城市推广应用具有典型示范效应。

此外，本研究以创新驱动、提质增效为导向，以城市典型工程（中观层面的轨道交通建设工程、微观层面的超高层建筑工程等）为研究对象，融合多源技术构建高精度的城市典型工程施工测量基准方法体系，取得较重大的经济效益和社会效益，为推动行业科技进步具有一定的示范参考价值。

##### （二）科技含量：

###### 1、总体思路

以创新驱动为引领、提质增效为抓手，针对传统测绘基准与前沿技术深度融合不够、供给结构对需求变化的适应性不够等缺陷，重点研究高新技术融合、需求适应型的城市多级测绘基准服务体系，既要满足城市建设在宏观方面应用需求，又顾及城市典型工程高精度建设要求。

###### 2、技术方案与创新成果

2.1提出独具特色的广州2000平面坐标基准建设方法，避免了海量的数据转换；优化整合多套CORS系统，构建了广州市唯一合法的广州2000坐标基准

2.1.1创建独具广州特色的2000城市平面坐标系建设方案，有效攻克了新旧数据平稳衔接问题，避免了海量数据转换工作

本研究基于“历史数据延续使用最大化、转换成本最小化”的思路，创建了广州

2000坐标基准与旧广州坐标基准平稳过渡的“广州模式”（即新旧坐标系下同名点的坐标较差在±0.05m以内），使得历史数据无需转换即可延续使用。效果优于国内其他城市同类项目，对2000国家大地坐标系在全国城市推广应用具有典型示范效应。在基于格网数据的不同参考椭球体高斯投影坐标一致性估算方法和2000城市平面坐标系参数反演算法两个方面达到国际先进水平。

（1）在国内率先提出基于精细化格网数据不同参考椭球体高斯投影坐标一致性估算方法

在广东省CGCS2000坐标未公布之前，采用WGS 84大地坐标系参考椭球体代替2000国家大地坐标系参考椭球体进行新广州坐标系与广州坐标系差异性分析，在国内首次提出了基于精细化格网数据的精度评估方法。

（2）提出2000城市平面坐标系参数反演算法，保障了城市新旧坐标系平稳过渡

为使得新建2000城市平面坐标系可以延续使用现行广州坐标系的成果，在符合国家和行业标准下，提出了2000城市平面坐标系参数反演算法。经检核计算，在国家中心城市中差异最小，保障了城市新旧坐标系的平稳过渡，具有典型示范意义。

#### 2.1.2 优化整合多套CORS系统，构建统一的广州2000测绘基准

优化整合广东省、广州国土、广州规划三套CORS，形成覆盖整个广州及周边区域的唯一CORS系统，且与省和国家建立联系。以CORS系统为基准，统一广州市高等级控制点的CGCS2000坐标、1980西安坐标和广州2000坐标，使全市测绘基准体系得到统一，建立了广州2000测绘基准，并利用CORS参考站维护城市测绘基准体系且集成GPS、GLOASS和北斗三套系统的优势，精度大大提高。

#### 2.1.3 建立高精度坐标转换关系，自主研发坐标转换和图形转换软件

建立广州2000坐标与CGCS2000坐标、西安1980坐标、广州坐标的高精度转换关系。研究优化了高斯投影正反算公式，实现了椭球面不平行的椭球膨胀最佳逼近算法，其计算结果与高精度GNSS网平差软件结果一致，提高了高斯投影的坐标精度，为后续高精度坐标转换奠定了基础。并自主研发了坐标转换软件和图形转换软件。

#### 2.1.4 基于“互联网+”思维实时为用户提供定位及坐标转换等服务

基于“互联网+”思维将城市CORS与高精度坐标转换软件进行融合，在线为用户提供定位及坐标转换等服务，实现三维坐标快速获取与精密转换，快速满足城市规划、城市建设等领域的位置服务需求。

#### 2.2 以轨道交通工程为抓手，研究城市典型带状大跨度工程精密测绘基准建设方法

在轨道交通工程测绘基准建设体系中，“大规模、多线路、不同期”平面控制网的融合与“大跨度”跨河水准测量等难点是本项目的重点研究内容。

##### 2.2.1 基于“整网设计、连片解算、兼容共用”的思路，提出“大规模、多线路、不同期”GNSS控制网融合与衔接方案

为确保轨道交通线路互联互通建设和保障施工安全，提出“大规模、多线路、不同期”GNSS控制网融合与衔接方案：①采用高等级高精度平面控制点作为起算基准，提高全网解算精度和成果可靠性；②基于“整网设计、连片解算”的思路，优化控制网布设方案，保障轨道交通线路之间的有效衔接；③对标“城市轨道交通专项工程建

设”的高标准、高要求，优化各项观测指标，为后续高精度数据处理奠定坚实基础；④基线解算融合GPS、GLONASS和北斗信号，优化平差方案，采用测量机器人复核通视控制点之间的边长和角度，保障数据成果的可靠性。

### 2.2.2 开展基于测量机器人的精密三角高程测量方法及后处理系统研究，解决“大跨度”跨河水准测量难题

#### (1) 基于测量机器人的精密三角高程测量方法研究

轨道交通高程基准建设常涉及跨河水准问题。常规跨河水准测量具有“观测流程复杂、观测条件要求高、耗时时间长”的缺点，不适用于“大跨度”跨河水准测量。基于测量机器人的精密三角高程测量方法是当前研究热点。本研究通过对仪器的改装以及测量方法的改进，实现了两台测量机器人之间跨河视线的同时对向观测，大大削弱了大气折光的影响，同时降低了测量对现场条件的要求，且无需人工观测和仪器高量测，简化了作业过程，提高了作业效率。

#### (2) 研发精密三角高程后处理系统，提高数据处理效率、降低出错概率

本研究通过分析精密三角高程测量中地面段测量和跨河水准测量的数据格式、数据处理原理和数据处理流程，提出数据自动化处理方法，并研制基于测量机器人的精密三角高程数据处理软件使得数据处理和资料归档一体化，提高作业效率、降低出错概率、降低人工成本。

### 2.3 聚焦超高层建筑竖向传递倾斜偏差改正难题，构建城市典型竖向工程控制基准传递及多传感器智能监测方法

超高层建筑的测量方法有其特殊性，其施工控制网主要借助激光垂准仪从首层分段向上传递，由于受日照、地球自转、风力、温差等多种动态因素的影响，超高层主塔楼处于偏摆运动状态，这种动态特性，直接影响控制网投点的正确性。本研究融合传感器技术、图像识别技术及计算机网络技术自主研发多种智能化监测系统，通过本地连接或远程控制方式构建基于多传感器的超高层塔体周日摆动监测平台，依托监测数据为施工控制网投点纠偏和选择合适投点时机提供数据支持，解决竖向基准传递的难题。

#### (1) 基于CCD的塔体摆动监测系统

基于“自适应阈值激光光斑中心定位方法”，融合传感器技术、图像识别技术及计算机网络技术自主研发基于CCD的塔体摆动监测系统，为该领域提供了新兴、智能化测量装备。

#### (2) 倾斜仪监测系统

基于倾斜仪特点，融合传感器技术及计算机网络技术自主研发倾斜仪监测系统，并将其与CCD方法率先应用到超高层建筑周日摆动监测的同步比较研究中，为该领域提供了另一种全新的、内外业一体、全自动、实时监测方法。

#### (3) 数字正垂仪监测系统

数字正垂仪通常用于大坝安全监测，本研究探索了数字正垂在超高层建筑中的安装调试方法，研制了数字正垂自动化观测软件，开发了滤波程序进行数据后处理，并

首次将数字正垂仪监测系统应用到超高层建筑塔体周日摆动变化监测中，拓展了数字正垂仪的应用领域。

### 3、实施效果

本研究重点聚焦高新技术融合、需求适应型的新型测绘基准模式，为类似研究提供了有益借鉴，提质增效明显。相关成果通过了武汉大学的成果复核和广东省测绘产品质量监督检验中心的质量检验，并在广州市的信息化测绘生产和服务实践中得到了较成功的应用，研究成果应用相关合同额约3.3亿元。

#### (三) 创新点

(1) 破解广州市多套坐标系、多套CORS系统并存的问题，提出“历史数据在新坐标系下无需转换即可延续使用”的广州2000坐标基准建立新模式，构建广州市唯一合法的广州2000测绘基准。在基于格网数据的不同参考椭球体高斯投影坐标一致性估算方法和2000城市平面坐标系参数反演算法两个方面达到了国际先进水平。申请专利2项，获2项软件著作权。佐证材料：科技成果评价报告、科技查新报告、知识产权情况。

(2) 提出“大规模、多线路、不同期”GNSS控制网融合与衔接方案；研究基于测量机器人的精密三角高程测量方法，研发精密三角高程后处理系统。获1项专利，获2项软件著作权。佐证材料：科技查新报告、知识产权情况。

(3) 融合传感器技术、图像识别技术及计算机网络技术自主研发多种智能化监测系统：①首次将数字正垂仪监测系统应用到超高层建筑塔体周日摆动变化监测中，拓展了数字正垂仪的应用领域；②自主研发基于CCD的塔体摆动监测系统，填补国内空白；③自主研发倾斜仪监测系统，并首次与CCD方法进行比较验证研究。获3项专利，获4项软件著作权。佐证材料：科技成果评价报告、科技查新报告、知识产权情况。

#### (四) 保密方面

无。

#### (五) 国际比较

同国内外其它项目比较，本研究具有如下几个方面的特色：

(1) 本项目主要研究内容“广州2000坐标系建立技术研究与应用”委托广州生产力促进中心进行科技成果评价，整体评价意见认为：“项目成果整体达到国内领先水平，在2000城市平面坐标系参数反演算法和基于格网数据的不同参考椭球体高斯投影坐标一致性估算方法两个方面达到了国际先进水平。”详见科技成果评价报告。

(2) 本项目主要研究内容“超高层建筑施工测量基准维持技术及多传感器智能监测方法”委托广州生产力促进中心进行科技成果评价，评价意见认为：“该项目设计合理、技术先进、成果质量满足规范要求，项目整体达到国内领先水平，提出了三种有效解决超高层建筑竖向传递倾斜偏差改正难题的自动化监测方法：①首次将数字正垂仪监测系统应用到超高层建筑塔体周日摆动变化监测中，拓展了数字正垂仪的应用领域；②自主研发基于CCD的塔体摆动监测系统，填补国内空白；③自主研发倾斜仪监测系统，并首次与CCD方法进行比较验证研究”。详见科技成果评价报告。

(3) 本项目委托在广州市科技查新咨询中心进行了科技查新。查新点：①破解广

州市多套坐标系、多套CORS系统并存的难题，提出“历史数据在新坐标系下无需转换即可延续使用”的广州2000坐标基准建立新模式；②提出“大规模、多线路、不同期”GNSS控制网融合与衔接方案；开展基于测量机器人的精密三角高程测量方法及后处理系统研究；③融合传感器技术、图像识别技术及计算机网络技术自主研发多种智能化监测系统。未见有雷同的文献报道，该研究成果具有新颖性。详见科技查新报告。

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）

#### （一）推广应用情况

本研究攻关解决多项技术难题，社会影响深远：为解决传统测绘基准与前沿技术深度融合不够、测绘服务供给结构对需求变化的适应性不够等问题的攻克提供有益借鉴，对推动行业进步具有示范参考意义。

#### （1）研究成果已在广州市的信息化测绘生产和服务实践中得到了较成功的应用

本研究成果应用合同额约3.3亿元，包括：广州东塔施工监测、施工阶段变形测量（201万元）、广州市保利琶洲项目地块四第三方测量工程（190万元）、智慧广州时空信息云平台基础设施部分建设项目（614.5万元）、广州市荔湾区新型有轨电车广钢线工程可行性研究地形图修测（155.9万元）、轨道交通十八号线（万顷沙至广州东站）地形图测量（674万元）、轨道交通二十二号线（番禺广场至白鹅潭）地形图测量（338万元）、轨道交通七号线二期（大学城南至水西北）地形图测量（233.5万元）、轨道交通八号线北延段（白云湖至广州北站）地形图测量（209.2万元）、轨道交通十号线（石牌桥至西朗）地形图测量（245万元）、轨道交通十四号线二期（广州火车站至嘉禾望岗）地形图测量（123.5万元）、开发区有轨电车试验段工程地形图测绘（96.7万元）、广州市2017年度城市基本地形图更新（4799万元）、广州市市属森林公园基础地形图测绘（723万元）、智慧广州时空信息云平台主体功能部分建设项目（2300万元）、广州市城市轨道交通第三期建设规划（2017至2023年）线路设计等前期研究六条线路GPS平面控制网和二等水准控制网测量工程（188.1万元）、三号线东延段工程实施阶段地形图补测工程（252万元）、五号线东延段工程实施阶段地形图补测工程（60.4万元）、七号线二期工程实施阶段地形图补测工程（367.6万元）、十四号线二期工程实施阶段地形图补测工程（138.5万元）、广州市2018年度城市基本地形图更新（5280万元）、广州市2019年度城市基本地形图更新（5137万元）和其他测量业务（约11000万元）。

（2）参编或主编相关标准4项：《建筑变形测量规范》实施指南和《建筑变形监测作业规定》《广州市GNSS RTK城市测量技术规程》《广州2000坐标系启用与坐标转换工作技术指引》等，提升了研究成果应用深度和广度。佐证材料：其他证明之参编或主编相关标准。

（3）本研究发表科技论文22篇。佐证材料：其他证明之发表科技论文。

#### （二）社会评价（佐证材料：科技成果评价报告之相关社会评价）

#### （1）广东省直单位第五届工作技能大赛暨市县机关工作技能邀请赛

2017年5月，以“广州2000坐标系建立技术研究与应用”为原型的《度量广州 广州2000坐标基准建设》节目参与了省直机关工委的以“党建创新引领工作创优”广东省直单位第五届工作技能大赛暨市县机关工作技能邀请赛，在全省2000多个报名项目中，获工作创优类第4名。节目中，许厚泽院士（中国科学院院士、大地测量与地球物理学家）、姚宜斌教授（长江学者特聘教授、武汉大学测绘学院院长、欧洲地球科学联合会会员）、张新民副厅长（广东省国土资源厅原副厅长、广东省测绘协会理事

长)对于广州2000坐标给予高度评价。许厚泽院士评价:项目成果达到国内领先水平和国际先进水平。姚宜斌教授评价:广州2000坐标基准综合运用空间观测、物联网、大数据、云计算等高新技术,项目成果整体达到国内领先和国际先进水平。张新民副厅长评价:广州2000坐标基准在广东省乃至全国超大城市都是首创的,具有很强的现实及历史意义。

(2) 获得电视节目《作风建设在路上》的邀请

“广州2000坐标系建立技术研究与应用”项目研究成果效益显著,影响深远,获得电视节目《作风建设在路上》的邀请。节目上,著名观察员陈舒、广州市委党校观察员王超对“广州2000坐标系”给予高度评价。

观察员陈舒评价:广州2000这项技术是一个重大技术进步和科技成果,对国家、广州的发展是一项非常重要的基础性措施,在以后的政府决策、社会的民生工作当中发挥很好的基础性作用。

观察员王超评价:这项技术统一了全市的坐标基准,对大型规划城市建设、智慧广州建设是一个重大的技术保障作用。

(3) 我院参与前期建设的多条轨道线路获得媒体广泛报道

(4) 部分研究成果入选“中国创新创业成果交易会”

部分研究成果入选“2016年中国创新创业成果交易会”和“2017中国创新创业成果交易会”,展会上,项目成果引起众多参观人士的关注。

(5) 《定位》杂志进行“广州高塔测量:超高层建筑的‘安全卫士’”之报道

(6) 研究成果获得行业的肯定

①相关研究成果获得行业奖励6项。

②部分成果在“中国测绘地理信息学会工程测量分会”和“大地测量与导航专业委员会学术年会上”作了汇报,获同行专家好评。