



# 智绘副中心

本报记者 曲经纬

## “画”出副中心“155”范围 让北京地理信息“活”起来

杨伯钢与城市副中心的缘分要追溯到2010年。相比于1:1000、1:2000比例尺的地形图而言,北京城市发展需要一套精度更高的地形图来支撑新城规划。而“通州新城”的概念一开始就有别于其他区县,要“建设国际化新城”,这是北京市政府提出的高标准。

1:500地形图既可以满足大尺度规划,又能满足建筑设计所需要的精度,也是后续管理运维的一张“底图”。以往要完成这样高精度的地形图测绘,必须要靠人力,而在房屋密集的城区存在地面人员无法进入的“拒测区”。怎么办?用航测。

“航测”就是航空摄影测量。航拍出的画面,在普通人眼里看来是一幅幅壮阔的图景,但是在测绘人看来,其实是一张有比例尺、有精度,经过处理便能满足工程使用需求的地图。当时,航拍还只常见于1:2000地形图,精度为1米,而1:500地形图的精度要控制在25厘米内,这个级别相当于可以看清路灯和井盖。如果完成这项任务,就是北京首次大范围采用航测手段进行1:500大比例尺地形图测绘,具有划时代意义。

杨伯钢带队反复研究,决定采取“高重叠度航空摄影+框幅式航摄仪”解决“天上”的精度问题,地面则使用全站仪进一步改正。

“未来的测绘一定是空地一体,测绘人要一脚踏在测绘学的学科基础上,另一脚要迈入业界,研究哪些技术产品能为我所用……”对现有科技产品和测绘手段集成整合,杨伯钢设计了全新的航空摄影测量工艺流程,完美完成了通州新城1:500基础地形图测绘,包括运河核心区的通州区新城及周边区域约198平方公里范围航空摄影,采用数字摄影测量成图方式完成共约3960幅1:500地形图测绘,建立起二维数字空间底座,为后来规划建设北京城市副中心贡献了高精度的数字底图。

不仅如此,随着航空摄影一起落地的,还有155平方公里0.05米分辨率正射影像。这是一个像素只有5厘米的正射影像,让二维的通州变成三维。三维模型制作主要利用1:500比例尺地形图和采用高分辨率、高重叠度的真彩色航空摄影制作而成,用以辅助规划决策系统,服务于数字通州空间框架建设,用于规划方案对比、审批、区项目决策、方案评审、城市管理等等。“简而言之,足不出户就能浏览整个通州新城。”杨伯钢说。

2016年,通州迎来前所未有的机遇——划定155平方公里范围,高水平建设北京城市副中心,接下来的规划建设几乎都基于这张底图。

2021年,杨伯钢团队进一步基于倾斜影像和激光点云完成了副中心155平方公里三维建模和点云融合处理、激光点云信息提取、五河交汇区域单体三维模型构建,推进新型基础测绘建设进程和副中心区域城市实景三维建设,支持副中心“云踏勘”,以及疫情期间实现六环高线公园全球方案征集“云踏勘”。

不止于副中心。当年,杨伯钢团队将已有的数字测图、航测技术、高分卫星影像等手段与工程资料结合,第一次完成了北京市城区范围400平方公里1:500基本地形图、平原地区4000平方公里1:2000基本地形图、全市域范围16400平方公里1:10000基本地形图的绘制。同时,建立起地理信息定期更新机制,保证城区范围内每年更新,六环以内地区两年更新一次,紧跟城市日新月异的发展变化,让北京的地理信息“活”了起来。

这套城市基本比例尺地形图测绘一体化系统是国内首创,不仅服务于北京城市副中心建设,还推广到了全国百余个城市。

## 毫米级精度“指挥”环球影城建设 向国际客户展示中国力量

7年前,与外方洽谈北京环球度假区全生命周期测绘项目时,杨伯钢更加明确:“要用国际标准定义中国工程。”

建设之初,除了国内普遍用于审批的地形图外,外方还要一套数字地面模型(DTM)。DTM由美国麻省理工学院教授为高速公路建设提出,是一个表示地面特征空间分布的数据库,借助电脑和地理信息系统软件,DTM数据可以用于建立各种各样的模型,解决一些实际问题,比如按用户设定的等高距生成等高线图、透视图、剖面图、渲染图,与数字正射影像(DOM)复合生成景观图,或者计算特定物体对象的体积、表面覆盖面积等,还可用于空间复合、可达性分析、表面分析、扩散分析等,在国内此类建筑中应用凤毛麟角。

“这么说吧,传统的地形图外业测量是点状的,而这次外方要的是曲面的,要能看出地面连续起伏。”杨伯钢说。这无疑增加了工作量和设计难度。传统工程测量2000平方米内只需要打3到5个点,现在同等范围内则要打300到500个点,工作量翻了百倍。能用无人机吗?杨伯钢早就想到了,这个团队

甚至是国内首个研究无人机的测绘团队,但无人机使用受限于当时的条件。于是团队对比了传统全站仪碎部采集和三维激光扫描两种方法,经过几轮讨论与实地校核,最终采用二者数据融合,将整体4平方公里范围划分成2000多个小格子,采取人机互补的方式作业。“重点区域几乎都要靠人力,而且一天内完成,一次性成图,否则第二天再打就会有误差,一人一天得打十多个点。”杨伯钢说。这样既满足了设计需求,也保证了控制点的高精度。内业采用AutoCAD Civil3D软件制作DTM模型,最终达到委托方对DTM数据的技术要求。

规划测量、放样测量也面临全新挑战。环球度假区201假山项目即开园后的飞越侏罗纪游乐设施,与国内不同,这一假山的制作用相当于2000多块“乐高”拼搭,每个“乐高”模具上都有两个挂点,与钢结构上挂网挂点的误差要控制在3毫米以内。

这是什么概念?常规工程测量误差只要求50毫米即可。而3毫米是立体空间的误差,意味着要在直径1.5毫米的圆球内放样,手抖一点就偏了。“一

个3毫米好控制,接近5000个3毫米,就得精益求精、持之以恒、稳定发挥。”杨伯钢带领精兵骨干,定制徕卡MS50零点五秒高精度全站仪,高水平破解了这项国际化难题。所谓失之毫厘谬以千里,没有精准的工艺、设备和骨干力量是不可能支撑这项工作的。

“每一份规划设计的图纸,都需要我们的地形图,每一幢建筑的施工,都需要我们定桩放样,一幢幢高楼拔地而起,离不开测绘人员的心血和汗水。”杨伯钢将测绘工作比作乐团里的低音提琴,虽然平时显示度不高,但它其实是乐团的基础,“只有它稳定了,其他乐器才能稳定。”

北京环球度假区建设历时5年,市测绘院承担了主题游乐区六个标段建筑群、城市大道主建筑群、环球大酒店、诺金大酒店、停车楼等多个项目的建设全过程监督测绘服务工作,从灰线、±0.再到封顶、竣工以及面积核算。杨伯钢还带队采用传统测绘技术与三维扫描技术协同作业的方式,对特色建筑做了三维建模,建立点云数据库,方便随时提取相关信息。

## “透视”地下管线 建立数据库动态更新

支撑城市运转的基础设施,远不只地面上的街道桥梁、高楼大厦,地下的各类管线更是保障城市运行的“生命线”和“血脉”。从北京中心城区地下管线测绘,到城市副中心行政办公区启动区综合管廊竣工测绘,都可算得上是杨伯钢测绘人生的代表作。

2002年,北京三环路迎来一次系统改造,其中全长48公里的全线测绘工作就是杨伯钢团队完成的,主要是对道路出入口、雨水口、桥梁伸缩缝、交通标志牌、交通检测设施等重点施测。“其实就是为施工提供一些基础信息,哪里有地下水管不能动,哪棵树需要移,什么标志能安在什么位置。”

伴随着城市快速发展,地下管线设施规模不断扩大,负载量迅速提高,但与此同时,建设规模不足、底数不清、管理水平不高等问题逐渐凸显。与地面测绘不同,地下管线需要隔空打牛,要在不开挖地面的情况下,准确摸清管线情况。

作为政协委员、市科协常委,杨伯钢不断建言献策,提出关于做好北京地下管线普查工作的建议;创新研制出地下管线摄影测量仪等地下管线智能调查、探测和修复的系列软硬件装备,并建立起地下管线三维智能处理、管理、分析与诊断平台。新技术能直观构建起地下管线之间的三维关系。

2017年,北京市地下管线基础信息普查工作成功建立起8万公里的二维、三维地下管线数据库,已核实的管线长度相当于绕地球赤道两圈多。这项技术成果已达到国际先进水平,后续全国多地采用这项技术,完成了50余万公里管线的普查调查。从2003年开始一直到现在,市测绘院建成的地下管线的综合信息系统,每年更新的管线数据大约在1500公里。

2019年,接近退休年龄的杨伯钢团队负责城市副中心行政办公区启动区综合管廊竣工测绘,被地面之下的“别有洞天”深深震撼——供水、排水、燃气、电力、通信、广播电视、工业等管线及其附属设施都被整合在管廊里,是当时国内最大断面的综合管廊,直径达12米,分布在9条规划道路之下,总长度约11.3公里,指挥中心“智慧大脑”也在地下,“毫不夸张地说,相当于一座城市。”

这座“地下城”构造极其复杂,一刀“切”下去,上下左右断面有6到8个舱室,分舱分级管理。“城市现代化管廊已经发生翻天覆地的变化,无论是规模、设计还是管理都非常合理。”杨伯钢说,“这次测量任务,相当于把管廊到底长什么样,变成图纸和数字化数据呈现出来,为韧性城市做支撑。”

时空信息是智慧城市的基础设施,要建成地上地下一体的时空……在数字化浪潮的席卷下,测绘领域也面临着技术变革的挑战,数字化测绘技术的发展势在必行。杨伯钢并不满足于完成基本任务,还希望建立综合管廊的实景三维。

“实景三维模型绝不是简单的一份数据,在需要的时候,它可以把任何一个超级系统摆在面前。”杨伯钢说。这套模型是可以配合规划、设计、管理随时使用的支撑工具,能高效、精准地做到区域信息可视化,便于精准决策,未来可期。

## 攻克冬奥技术难题 把工程当科研来搞

在2022年北京冬奥会和冬残奥会上,基于无人机和三维激光扫描技术的实景三维“大显身手”。

小海陀山是北京冬奥会延庆赛区的选址所在,当时一项任务是高山区1:500大范围地形图的测绘,为延庆赛区的设计以及后续施工建设提供基础参照。然而,评估时基本就被判了无期。

2018年,杨伯钢团队登上小海陀山,万万没有想到进山的路如此蜿蜒曲折。车辆只能到达一处山坳,要想进山只能靠脚,沿途荆棘丛生,并且从南坡上山最多只能爬到半山腰。要想登顶,还要再开上两小时的车,绕到北坡寻找道路。

更麻烦的是,测绘区域内高度差接近1500米,绝大部分山体坡度在30°以上,一入夏,山上更是植被茂密。复杂的环境条件和极高的测量精度,通常需要人工进山完成测量,但小海陀山的实际环境,让人员和仪器很难到达,植被还会影响有效观测视线。此前,从没有人在如此大的高度差之下依靠人力完成地形测绘的先例。

别人都劝“别干了,干不了。”但执着的杨伯钢认为,这项工作难题终究给出了地理信息人,总要有谁来解决。“一定要拿下来,既然没有先例,就把工程当科研来搞。”杨伯钢态度坚决,路线不行设计路线,精度不够解决精度。

构建空地一体的立体测绘地理信息,是近年来测绘工作发展的重要方向,如卫星测绘、航拍测绘等技术都已十分常见。但利用无人机在气候复杂的山地开展测绘,还从未有人实践过。

市测绘院和中测新图(北京)航空遥感技术有限公司联合攻关,研发出山区无人机摄影测量技术,反复测试适合无人机测绘的飞行速度、高度,搭载上合适波长的激光设备和航摄模块,高度以每70米为一个单位,通过一层层地飞行,扫描出山体的详细地理数据。

与此同时,多个摄像头、传感器互相辅助,无人机一次采集就能获取三维地理信息数据。这些数据再经过处理、套核,短短四个月,小海陀山21平方公里区域的三维图像就成功生成,一整套高山区无人机大比例尺地形图测绘作业模式就此诞生。

三维数据不仅为延庆赛区的后续施工提供了依据,还在场馆建筑设计上提供了极大帮助。国外设计团队设计的国家高山滑雪中心的竞速结束区和第一集散广场高度差超过百米,步行上去十分困难,单独架设缆车则成本昂贵。依据前期取得的三维地形图像,国内设计方大胆地将整个雪道下调四十米,问题迎刃而解。

三维相关技术还实现了建筑、文物、遗址的“数字孪生”。实景数字天安门的构建、汶川地震时什邡市的震后遗址、首钢园区炼铁炉工业遗址……这些珍贵的场景,都被杨伯钢带领的测绘团队使用三维激光扫描技术留存下来。

## 玩起“跨界”融合 测绘学有了新应用

从手工测角度、测距离,到智能全站仪的出现,再到航测、北斗技术的应用,杨伯钢不断尝试将传统测绘与新技术跨界融合。

地理信息与大数据、物联网、云计算、区块链等技术的碰撞,实现了全市不动产登记数据采集、建库与平台建设的全流程关键技术研究和软件研发,支撑了年业务量130多万件的北京不动产登记,并保障了全国“第一本”和北京市“第一本”不动产登记发证,累计发证超过千万次。不动产登记科技成果在全国31个省份的100多个地市得到应用。

近期,杨伯钢又在探索测绘产品与自动驾驶技术的融合。一张“精确的图”是自动驾驶汽车运行的根本支撑,地图必须精确到“车道级”,并实现地图数据实时更新,才能保证自动驾驶汽车“大脑”在行驶中作出正确决策。在北京经开区的全国首个网联云控高级别自动驾驶示范区,杨伯钢正在和团队开发满足安全、保密要求的众源更新模式,探索构建“车、路、云、网、图”网联云控模式,让车辆能随时获取最精准的地图数据,最大限度实现车路协同。

杨伯钢认为,未来的测绘将是“空地一体化、室内室外一体化、地上地下一体化、历史现状规划一体化”的“四位一体”图景。技术融合已经让测绘工作从“幕后英雄”走向台前,特别是在“智慧城市”“韧性城市”“数字孪生”等概念中,测绘地理信息将成为数字社会建设和政府智能管理的重要支撑。



杨伯钢团队曾乘坐直升飞机测绘副中心。记者 常鸣摄