

GNSS 联合全站仪在城市数字测图控制网的精化初探

李巨栋

南宁师范大学 广西南宁 530001

摘要: 本文探索 GNSS 联合全站仪在城市数字测图控制网的精化, 通过对数字测图控制网的优化, 以提高测量数据的准确性; 以提高外业测量数据的精确性; 运用优化的数据处理模型和方法, 以提高控制测量内业数据的可靠性, 最终达到在城市地区进行数字测图中的控制网测量工作更高效、数据更精确、成果质量更好的效果。

关键词: GNSS; 城市控制网; 数字测图; 精化

随着数字中国和数字城市的日益发展, 数字化测图在城市建设中起到越来越重要的作用。然而, 数字化测绘技术是一门与计算机技术、网络技术以及测量智能化设备密切融合的新兴技术。目前在数字化测图中, 控制网的建立和施测主要采用 GNSS (全球卫星导航定位系统) 测量和全站仪导线测量两种方法。

一、国内外研究现状

科学技术的进步和计算机技术的迅猛发展, 加上电子全站仪、GNSS 卫星定位等先进测量技术的广泛应用, 地形测量由传统的手工作业为主向自动化和数字化的方向发展。在城市数字测图的控制网测量上也取得了长足的进步。近些年, 我国开展了 GNSS 卫星定位测量技术在数字测图中的应用研究, 在局部地区特别是城市范围内还建立了 CORS 系统测量, 对数字测图特别是其中的控制测量方面起到较大的帮助作用。一方面 GNSS 卫星定位测量技术测量精度高, 目前广泛应用于大比例尺数字化地形图测绘、城镇地籍测量、不动产测绘等, 包括测图中所需的高精度的首级控制网测量及加密、图根控制测量, 还有地形地貌碎部测量等; 另一方面 GNSS 卫星定位测量还具有全天候测量的特点, 可以大大提高测量工作效率。另外, GNSS 卫星定位测量还不受通视条件限制, 更加适宜应用于长距离、大范围、高精度的控制网测量。除此之外, 全站仪具有测量精度高、可靠性高的特点, 可以用于导线控制测量, 以满足数字化测图各级控制的需要, 全站仪强大、便捷的数据处理功能, 能够直接测量出待测点坐标, 在数字化测图野外作业中, 可以使用全站仪坐标测量功能进行引点, 用来扩充加密图根控制点, 以满足一些隐藏地物的测量。

GNSS 卫星定位测量在早期是用美国全球定位系统 (GPS) 单独建网, 从静态测量扩大到动态测量。因此, 在美国 GPS 以其自动化、高精度的定位技术, 被广泛应用于大地测量、卫星遥感、工程测量、数字测图、城市控制网的改善等测量工作中, 已经取得了很多经验, 也充分显示了 GPS 卫星定位技术在数字测图上高精度、高效益的优势。此外, 俄罗斯成为继美国之后世界上第二个建设和使用全球卫星导航定位系统的国家, 其在数字化成图测量上也应用很广。德国、瑞士等国家全站仪测量技术发展比较成熟, 无论是在工程建设还是在数字测图中, 全站仪测量技术都发挥了极其重要的作用。由此可见, 包括 GPS 在内的全球卫星导航定位系统 (GNSS) 和全站仪等数字化测图技术在一些发达国家得以广泛应用, 使得在数字测图中进行的高等级控制网测量、图根控制网测量能达到较高的测量精度, 从而大大地提高了测量工作效率。

二、数字测图控制网施测原理

数字测图是以计算机及成图软件为核心, 对地形空间数据进行采集、输入、绘图、输出的一个集“测”与“绘”的自动化、数字化作业过程。其测量控制网的施测方法包括 GNSS 卫星定位测量和全站仪导线测量。

(一) GNSS 卫星定位测量控制网的原理

GNSS 测量全称是全球卫星导航定位系统测量, 全球四大系统包括美国全球定位系统 (GPS)、俄罗斯格洛纳斯系统 (GLONASS)、

欧盟伽利略系统 (GALILEO) 和中国北斗系统 (BDS)。GNSS 卫星定位测量控制网是利用多台 GNSS 接收机在控制网的各个测站上进行静态同步观测, 然后通过基线解算、平差处理之后, 得到精度较高的首级控制点坐标数据。除此之外, 还可以采用 GNSS-RTK 快速静态测量的方法直接采集图根控制或加密控制点的三维坐标数据, 以满足地形和地物点碎部测量的需要。

(二) 全站仪导线测量控制网的原理

全站仪是一种集光、电、机为一体的高技术测量仪器, 是集角度 (水平角和垂直角)、距离 (平距和斜距)、高差、坐标测量功能于一体的电子测绘仪器系统。在数字测图首级控制测量中, 可以采用电子全站仪进行闭合导线测量或者附和导线测量的方法, 采集各转折角的角度和导线边的距离数据, 通过导线平差计算, 得到精度较高的各控制点坐标值。在碎部测量过程中, 也可以根据需要用全站仪进行支导线测量加密控制网。

三、GNSS 联合全站仪进行城市数字测图控制网精化的优势

目前, 在我国数字测图控制网测量的主要方法是全站仪导线测量法和 GNSS 卫星定位测量法。这两种方法各有优缺点, 采用 GNSS 联合全站仪进行城市数字测图控制网的精化, 对提高数字测图成果质量和测量工作效率具有两方面的优势。

(一) GNSS 卫星定位测量不受通视条件限制, 适宜长距离控制网测量, 弥补了全站仪在数字测图控制网的布设中的局限。

在数字测图的控制测量中, 采用全站仪导线测量方法需要测量出相邻两个控制点间的导线转折角度和边长。就要求有较好的通视条件, 选点容易受地形地貌状况的限制比较大, 不够灵活, 可能构成的控制网网形不均匀。一方面会影响测量的精度, 另一方面也会加大与国家测量控制点或高等级测量控制点引测的难度, 只适合小范围控制网测量。另外, 在城市地区通视效果不好的情况下, 单独使用全站仪测量控制网, 由于控制点多, 内、外业的工作量大, 工作效率比较低。此时, 若采用 GNSS 卫星定位测量不但不会受通视条件限制, 控制点布设可以疏密兼顾, 也方便控制点加密扩展, 大大地减少了控制测量的工作量, 提高控制测量成果精度的同时, 也提高工作效率。

(二) 全站仪测量法精度高、可靠性强, 能够避免 GNSS 信号易受多路径效应的影响。

在城市地区由于建筑物多, GNSS 卫星信号容易受到高大建筑物、树木的遮挡, 还有大面积水域、无线电发射塔、高压电线等多路径效应影响, 从而使 GNSS 卫星定位技术在数字测图控制网测量中容易出现测量精度降低, 导致不能满足大比例尺数字测图中高精度的控制网测量需要。

因此, 无论是单独建网的 GNSS 还是不断在推陈出新的全站仪, 在城市地区大比例尺数字测图中, 已经很难满足高精度数字测图对控制网测量的要求, 而更需要联合 GNSS 与全站仪在控制网测量上进行精化, 以得到更高效、更精确的测量成果。

四、GNSS 联合全站仪进行城市数字测图控制网精化技术路线

GNSS 联系全站仪在城市数字测图控制网精化过程如图 1 所示。

具体的技术路线是: 先收集相关资料, 然后制定作业方案, 接着选点优化测量控制网, 开展外业测量实验, 对实验数据分析之后建立数学模型, 经过内业数据处理实验, 若成果处理合格, 则推广应用; 若成果不合格, 则根据实验结果修正模型。此时, 按新的修正模型返回到内业数据处理实验进行验算, 经验算后能通过, 则推广应用; 若还是不能通过, 说明之前某些环节可能存

在问题，则需重新制定作业方案，重新实验，重新建模型。

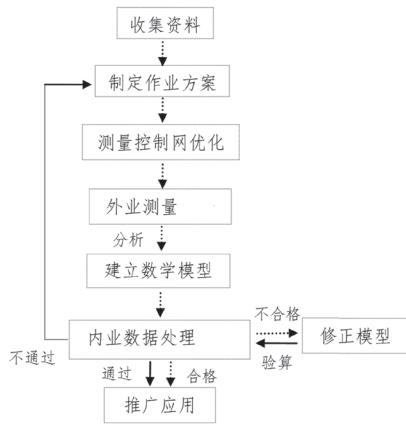


图1 技术路线示意图

五、GNSS 与全站仪联合城市数字测图控制网的精化方法

GNSS 与全站仪联合进行城市数字测图控制网的精化需要从如下四个方面实施，即：控制网网形结构优化、GNSS 和全站仪外业联测、建立数学模型、数据平差处理。

(一) 控制网网形结构优化

在城市数字测图控制网的布设中，应结合当地城市地区建筑物分布、道路网走向、地形地貌状况以及现有的高等级国家测量控制网的实际情况，根据数字测图规范要求，合理选择安全、稳定、方便观测的地方埋设控制点，各级控制点要求易于往下发展加密，在综合考虑 GNSS 卫星信号接收佳和全站仪测量通视好两方面因素相结合的同时，测量控制网结构的优化更侧重在两方面：一是要保证有足够的控制点密度，以达到大比例尺数字测图的要求；二是控制点的分布要均匀，使控制网各边长要大致相等，网内夹角在 30°~150°之间，以提高测量数据的准确性。

(二) GNSS 和全站仪外业联测

为了取得精度更高的控制网点测量成果，以便后续进行成果数据的精化处理，在城市数字测图各等级控制网测量中，应使用 GNSS 结合全站仪联合施测。

(1) GNSS 卫星定位测量控制网外业精化要求：

由于城市数字测图首级控制网的测量精度要求比较高，边长距离远，在通视条件不太好的情况下，往往采用 GNSS 卫星定位静态测量进行外业观测，需注意如下几点：

- ① 至少要有 2 个或以上的高等级测量控制点作为起算点；
- ② 天线安置精确对中，减少偏心误差，对中误差小于 2mm；量取天线高精确至 1mm；
- ③ 观测中，应避免电磁波干扰，不在接收机附近使用无线电通信工具；
- ④ 作业过程应保持良好的同步性，以保证得到精度比较高的观测成果。

(2) 全站仪测量控制网外业精化要求：

在 GNSS 卫星信号不好的区域，为了提高测量精度，使用全站仪进行导线测量是较理想的数字测图控制网测量的手段。全站仪导线测量就是测绘出导线边的距离和夹角数据，其外业测量应注意：

- ① 测站点与相邻两个控制点间应互相通视，以便于测角测距；
- ② 安置仪器或反光棱镜的对中偏差小于 2mm，气泡中心偏移值不超过一格；
- ③ 测量前要检查仪器参数和状态设置，并应凉置仪器 30 分钟，使仪器温度与外界温度保持一致，避免太阳直射仪器；
- ④ 观测过程中应在成像清晰、稳定的条件下进行，避开日出、日落和中午前后时间观测；
- ⑤ 使用三联脚架法进行观测，减少仪器对中误差和目标偏心

的影响，提高测量精度和效率。

(三) 建立数学模型

先对 GNSS 联合全站仪测量的实测数据进行误差分析，计算出测量参数的中误差，从而判断其精度及误差分布规律，然后建立相关的数学模型，并运用误差方程解算来处理观测误差的参数向量，从而进一步提高测量成果的可靠性和精确性。

① 数学模型： $L = B\hat{X} + G\hat{Y} + \Delta$

式中， L —观测向量； Y —非随机参数向量； X —信号； Δ —观测噪声。

② 误差方程： $V = B\hat{X} + G\hat{Y} - L$

根据数学模型以及误差方程计算得到的观测向量，若对某量的测量值是 X_1, X_2, \dots, X_n ，则进行如下数据处理：判断并修正定值系统误差；计算平均值 \bar{X} ；计算残余误差 δ ，判断变值系统误差并消除；求标准差 σ ，判断粗差并剔除；求算术平均值的标准差及极限误差。

(四) 数据平差处理

(1) GNSS 测量数据平差

① 基线解算和检核：采用专用的解算软件进行 GNSS 数据基线解算，并检核每一时段内的同步环和异步环的闭合差、复测基线的互差等。

② GNSS 网平差：进行 WGS84 下的无约束自由平差和国家坐标系下的约束网平差。

③ 高程拟合：根据多个已知控制点的高程，建立高程拟合模型，将 GNSS 大地高转换为近似的正常高。

(2) 全站仪测量数据平差

① 内角和及角度平差：累加计算导线闭合环内角和，减去角度理论值 $(n-2) \times 180$ ，得到角度闭合差，若角度闭合差在允许范围内，则将角度闭合差平均分配到各转折角，修正闭合环内角。

② 方位角计算：根据已知坐标方位角与修正后的闭合环内角求出导线边的坐标方位角。

③ 坐标增量计算和误差改正：根据坐标方位角和导线边长计算出各导线边的坐标增量 ΔX 和 ΔY 。若坐标增量的闭合差在允许范围内，则按距离比例分配坐标增量的偏差量，以改正导线边的坐标增量。

综上所述，经过控制网网形结构优化、GNSS 和全站仪外业联测、建立数学模型、数据平差处理四个环节的精化，最后得到精度较高的城市数字测图控制网点的坐标成果。

六、结束语

控制网测量数据的精确性、可靠性决定着数字测图成果的质量高低。在地形相对复杂的城市地区，由于卫星信号受多路径影响相对比较严重，局部地区卫星测量精度较差；全站仪具有可靠性高和精度高的特点，但是在市区内由于通视困难，不宜大量使用。鉴于此，采用 GNSS 与电子全站仪联合测量，通过优化控制网结构和数据处理模型，就能够更好地保证测量成果的精度和工作效率。

参考文献：

[1] 陈洪良. 全站仪和 GNSS-RTK 联合在数字测图中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2016(3): 217-219.
 [2] 赵桂生. 全站仪大比例尺数字测图地形点位精度分析[J]. 北京测绘, 2014(6): 100-102+114.
 [3] 宋亮. GPS-RTK 和全站仪组合在数字测图中的应用[J]. 测绘, 2015(4): 187-189.
 [4] 罗澍然. 基于 GPS-RTK 技术的大比例尺测图[J]. 科技创新与生产力, 2018(6): 35-37.
 [5] 王强. RTK 技术在数字化测图中的应用[J]. 科学技术创新, 2018(2): 46-47.
 [6] 纪晓东. GPS RTK 技术在城市测量中的应用研究[J]. 科技创新与应用, 2016(3): 298.

基金项目：广西壮族自治区教育厅科学研究项目(ky2015 YB423)。