

GPS-RTK 技术在山东省曹县数字地形测量中的应用

师军良¹, 杨森², 赵辉² (1. 黄河水利职业技术学院, 河南开封 475003; 2. 菏泽市测绘院, 山东菏泽 274000)

摘要 介绍了 GPS-RTK 测量原理, 通过 GPS-RTK 在山东曹县地形测量生产项目中的应用实践, 探讨了 GPS-RTK 在地形测量中高效的测量方法与注意事项, 对高效地进行新农村数字化测图有一定的参考价值。

关键词 GPS; GPS-RTK; 地形测量

中图分类号 P228 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)25-12330-02

Application of GPS-RTK Technology in the Digital Topographic Surveying in Cao County of Shandong Province

SHI Jun-liang et al (Yellow River Water Conservancy Polytechnic, Kaifeng, Henan 475003)

Abstract The surveying principle of GPS-RTK was introduced. By means of the application and practice of GPS-RTK in the production project of topographic surveying in Cao County of Shandong, the highly efficient surveying method and the caution items of GPS-RTK in the topographic surveying were discussed. It is of reference value for digitized mapping of the new socialist countryside effectively.

Key words GPS; GPS-RTK; Topographic surveying

伴随着全球定位系统(GPS)在测绘行业的发展, 高精度的实时动态差分 GPS-RTK (Real Time Kinematic) 技术也日趋成熟。GPS-RTK 测量技术因其精度高、实时性和高效性已被广泛应用于测绘行业的各个部门和领域, 尤其在新农村建设数字化测图的应用中越来越广泛。笔者以山东省曹县城区及周边村庄进行的 1:1 000 数字地形图测绘为例, 对 GPS-RTK 在数字化测图中的应用进行具体介绍。

1 实时动态差分 GPS-RTK 的测量方法

实时动态差分 GPS-RTK 系统由基准站和流动站及实时动态差分软件系统 3 个部分组成。其工作原理是在基准站上安置 1 台 GPS 接收机, 另 1 台或几台接收机置于载体(流动站)上, 基准站和流动站同时接收同一时间相同 GPS 卫星发射的信号, 基准站所获得的观测值与已知位置信息进行比较, 得到 GPS 差分改正值, 然后将这个改正值及时地通过无线电数据链接电台传递给共视卫星的流动站, 以精化其 GPS 观测值, 从而得到经差分改正后流动站较为准确的实时位置。

在测量作业时, 基准站一般架设在测区中间, 视野开阔、周围无高大树木、无高大建筑物、远离强电磁波发射源和大面积水面的已知点(平面坐标或高程已知)上。如果事先没有确定地心坐标(WGS-84)与当地坐标系的转换参数, 也可以将基准站架设在符合上述条件的未知点上。基准站要尽量和流动站不在同一高度。流动站在待测点上观测即可得到该点的坐标。

2 工程概况分析

此次工程项目是为了满足山东省曹县城市控制性规划和建设的需要, 对曹县城区和开发区及周边村庄进行 1:1 000 数字地形图的测绘。测绘区位于山东省西南边境的曹县城区及开发区和部分村庄, 约为 50 km²。该测区地势较为平坦, 交通便利(京九铁路纵贯南北, 德商和日南高速南北横跨东西两端, 105 和 220 国道穿境而过, 254、259、261、348 和 350 省道过境, 与县乡公路交织成网)。经分析认为, 该测区非常适合利用 GPS-RTK 结合全站仪进行作业。在作业期间, 主

作者简介 师军良(1979-), 男, 河南兰考人, 讲师, 从事数字测图与土地信息系统教学与研究工作。

收稿日期 2009-05-07

要利用华测 X90 型 GPS-RTK 做图根控制和野外碎部数据采集工作。

3 控制网的布设与 GPS 测量

3.1 首级 GPS 控制测量 该次作业中, 利用保存完好的现有的 1 个 B 级 GPS 控制点和 3 个 C 级 GPS 控制点作为曹县首级 GPS 控制起算点, 由这 4 个起算点和 5 个 GPS 控制点组成 GPS 控制网。按《GPS 规程》4 等级 GPS 平面控制网的要求进行施测。因为曹县位于 3°带边缘, 所以采用 1.5°带, 选中央子午线为 115°30′。对已知的 1 个 B、3 个 C 级 GPS 控制点坐标成果进行度带换算, 然后将换算后的坐标成果作为这次测量起算数据, 并建立曹县城市独立坐标系。《GPS 规程》的具体要求及测量结果见表 1。

表 1 四等 GPS 控制网的测量结果

Table 1 The surveying result of fourth-order GPS control network

名称 Name	平均边长 Average side length km	固定 误差 A Fixed error km	比例误差 系数 B Ratio error coefficient mm/km	约束平差后最弱 边相对中误差 Relative mean error on the weakest side after constraint adjustment
规范要求 Normal requirements	2	≤10	≤10	≤1/45 000
实测结果 Measured results	10.9	10	5	1/738 547

在 WGS-84 坐标系下对全网进行无约束平差, 结果精度为: 点位平均误差 $m_x = \pm 1.3$ mm, $m_y = \pm 1.6$ mm, $m_z = \pm 4.0$ mm; 点位最大误差 $m_x = \pm 1.5$ mm, $m_y = \pm 2.0$ mm, $m_z = \pm 5.0$ mm; 最弱边相对误差 1/57.6 万。无约束平差的结果表明, GPS 控制网的内部符合精度良好。

在无约束平差的基础上, 采用 D001、D002、D003 和 D004 这 4 个点作为固定点进行最终的 1980 年西安坐标系约束平差成果。最终平差结果精度为: 点位平均误差 $m_x = \pm 2.4$ mm, $m_y = \pm 2.6$ mm; 点位最大误差 $m_x = \pm 2.9$ mm, $m_y = \pm 3.0$ mm; 最弱边相对误差 1/73.8 万。

3.2 GPS-RTK 图根控制测量 利用已有的 1:1 万纸质地形图作为该次作业布设方案及交通向导用图。在首级 GPS 控制点解算出的转换参数和检校点坐标的基础上, 采用动态 GPS-RTK 进行图根控制测量, 即采用 GPS-RTK 方法直接测

定图根点的平面坐标和高程。

为保证精度要求,在实际作业过程中,把 GPS-RTK 方法的作业半径定为不超过 5 km,对每个图根点均进行同一参考站或不同参考站下的 2 次独立测量,其点位较差不大于图上 0.1 mm,高程较差不大于基本等高距的 1/10。

在建筑物密集区域,接收机受发生信号失锁现象时有发生,用 RTK 无法测定点的坐标。在这种情况下,可在最近开阔处选 3 个以上通视点作为图根控制点测量出其坐标,并在全站仪测图时进行边长和角度的检校。通过对 1 172 个图根控制点的检校,发现在基线长度不小于 100 m 的情况下,边长误差 $\leq 1/4\ 000$,方位角差值 $\leq 56''$,高程差值 $\leq 0.16\text{ m}$,完全满足 1:1 000 数字测图的需要。图根控制结果由图 1 所示。

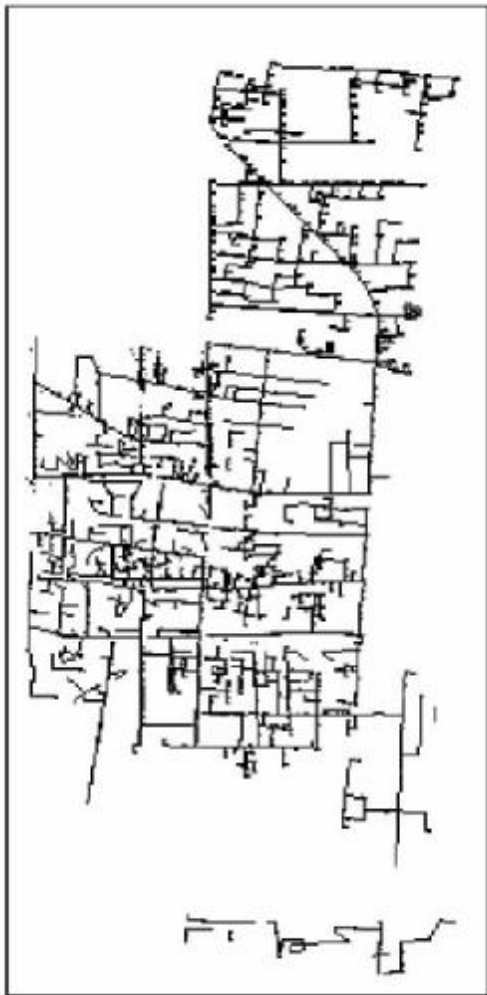


图 1 图根控制示意

Fig. 1 The topographic control

通过作业实践发现,采用 GPS-RTK 作业模式进行图根控制测量,不但使所测结果精度均匀、独立,无误差积累,而且还具有实时性、精度高、轻便灵活和操作简单等优点。最重要的是极大地提高了作业效率,大大降低了作业成本。

4 碎部点数据采集与处理

利用 9 台尼康 DTM352 - C 全站仪和 4 台华测 X90 型 GPS-RTK 对碎部点数据进行采集。经实际操作对比发现,利用 GPS-RTK 技术进行碎部点数据采集,在空旷地区的作业效率要比利用全站仪的高 2 ~ 4 倍,如在农村和大厂区进行测量更能达到利用全站仪采集数据所无法比拟的效果。



图 2 数字地形

Fig. 2 The digital topographic map

利用 RTK 进行碎部点数据采集,只需 2 人 1 组(1 人操作,1 人画草图),甚至只需 1 人即可实现碎部点的空间信息、连接信息和属性信息的采集。GPS 在越空旷的区域信号越好,测量精度就越高,耗时也越短,这次作业实践也证明了这一点。该次作业所采用的华测 X90 GPS-RTK 在数据采集时受树的影像影响导致接收机数据失锁的机率远小于受建筑物的影响。在建筑物不是太高、太密集的情况下采用升高接收机(采用 5 m 高的可伸缩强制对中杆)可以快速准确地采集到需要的点的平面坐标。通过实际作业比较发现,用 GPS-RTK 进行碎部点数据采集的操作流程简单,在设置好参考站之后,在流动站上卫星信号较好,且高度角大于 15° ,有效卫星不小于 4 颗的情况下,只需短短几 s 时间,就可得到 mm 级的平面定位和 cm 级的高程定位精度。

对由 RTK 采集自动记录的碎部点数据,可直接在电脑上导出南方 CASS 需要的 *.dat 格式数据(点名,代码, Y, X, Z),然后在成图软件南方 CASS 中进行数字图的编辑。未分幅的数字地形图由图 2 所示。

5 精度保障

此次作业为保证 GPS-RTK 的测量精度,采取了以下措施:①作为求转换参数的校正点,应具备在地方坐标系下的平面坐标和对应高程,并且个数不小于 3 个(1 个 B 级,3 个 C 级 GPS 点),几乎均匀分布在测区四周;②流动站与基准站之间的基线长不超过 5 km;③通过星历预报来选取 PDOP 比较小和卫星数目比较多的时段来进行测量(同时观测有效卫星数不低于 5 个, $PDOP \leq 6$);④卫星截止高度角大于 15° 以上;⑤采用对中杆配合三角支架时,对中杆应严格检校,气泡居中稳定后开始采集数据;⑥初始化后,采样应间隔 1 s,历元数不小于 5 个;⑦对于相邻图根点尽量采取不同时间段进行交叉布测,以减少多路径效应所造成的影响;⑧由于流动站一般采用缺省 2 m 流动杆作业,当高度改变时,应修正此值;⑨每个图根点应独立观测(关机或卫星失锁)2 次,2 次观

(下转第 12340 页)

$$\underline{A} = [0.059 \quad 0.065 \quad 0.131 \quad 0.145 \quad 0.178 \quad 0.063 \\ 0.053 \quad 0.106 \quad 0.100 \quad 0.100]$$

2.4.5 模型求解。由权向量与模糊矩阵进行“合成”得到综合隶属度 \underline{B} ,即通过模糊运算 $\underline{B} = \underline{A} \cdot \underline{R}$,求出模糊集 $\underline{B} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ ($0 \leq b_j \leq 1$),其中 $b_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} r_{ij} [M(\cdot, +)]$ 。还是使用上面的例子进行计算,得到 $\underline{B} = \underline{A} \cdot \underline{R} = [0.430 \quad 1 \quad 0.569 \quad 9 \quad 0]$

根据最大隶属度准则,所对应的分级即为危险性等级 i_0 ,则 $b_1 = 0.569 \quad 9$,发育强度等级为II,计算出所有单元的崩塌灾害发育强度等级值 i ,即可以得出研究区崩塌灾害发育强度评价结果。

在系统运算后得到的结果图中,分别用红色、黄色、绿色的区域来表示为崩塌灾害严重、中度和轻度发育区。同理可以得到其他灾种的发育强度评价和趋势预测结果。图2为地质灾害发生趋势综合预测结果。

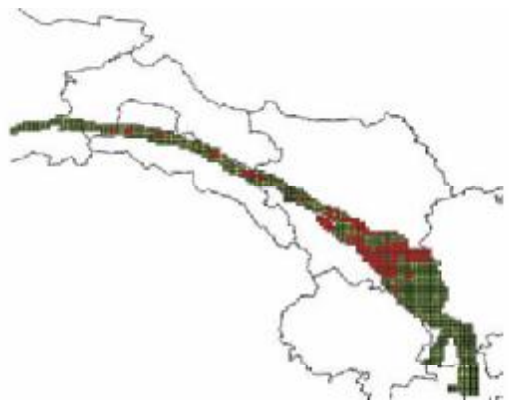


图2 评价结果

Fig 2 The evaluation results

3 综合结果分析

通过系统计算,在研究区内轻度发育区占总面积的57.13%,中度发育区占24.35%,重度发育区占18.52%,而

(上接第12331页)

测的较差小于2 cm时,取其平均值作为该点的最终结果;⑩每次作业开始前,对RTK进行点校正,每次作业结束后,再对检校点进行复测,并做好记录,其误差不得大于2 cm。

6 结束语

通过GPS-RTK技术在该次曹县数字地形测量中的应用,得出了以下结论和建议:

(1) 坐标转换参数直接关系到测量成果的正确性。在进行RTK测量图根点之前,必须正确输入该测区的坐标转换参数。

(2) 利用RTK布设图根控制点,几何精度独立且均匀,不仅可以避免常规图根控制带来的误差积累,而且作业灵活,省时、省力、工作效率高。

(3) GPS-RTK技术非常适用于大范围的城市规划测量,尤其是在图根控制加密和空旷区的碎部点数据采集中的应用效果更加明显。

地质灾害危险性综合预测结果为轻度危险区占58.98%,中度危险区占23.80%,重度危险区占17.22%。根据以上结果可知,研究区地质灾害主要为中度及其以下危险等级区域所占比例较大,并且研究区域地质灾害呈现出以下几个特征:①在活断层发育强烈的区域往往是危险程度较高的地带。主要如南、西华山南北麓有深大断裂的发育。②降雨的多寡与地质灾害的发生存在着正相关关系,丰水年、月和连阴天较多的月份,往往是发生崩塌、滑坡最多的年月。③研究区域地势较为陡峭,坡高、坡度均较大,往往是地质灾害易发区。如研究区域内的高台、史店乡南部和曹洼乡东部等地。④在工程建设过程中,直接导致原始地质条件改变,严重破坏了原始斜坡的安定角,稳定性降低,诱发地质灾害。主要在扩建的同海公路,201省道海原段等。

4 结论

此次研究针对海原活动断裂带地质环境,形成了一套基于GIS的较为完整的地质灾害评价预测的研究技术路线、方法体系和工作流程,运用定性与定量相结合的层次分析法和模糊综合评判法对各类地质灾害进行了危险性评价,得出的评价结果较符合实际。实例研究表明,论文提出的研究思想和方法有助于推动西部地区地质灾害危险性评估研究的发展。

参考文献

- [1] 长安大学. 公路工程活断层与地裂缝灾害的精细探测、危害评价及防治技术研究——可行性研究报告[R]. 2004.
- [2] 石昊楠. 基于GIS的黄土地区公路高边坡防护决策支持系统[D]. 西安:长安大学,2005.
- [3] 张永波,张礼中,周小元,等. 地质灾害信息系统的设计与开发[M]. 北京:地质出版社,2001.
- [4] 李安贵. 模糊数学及其应用[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [5] 沈芳. 山区地质环境评价与地质灾害危险性区划的GIS系统[D]. 成都:成都理工大学,2000.
- [6] 庄锐法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2000,23(4):582-585,590.

(4) 在建筑物密集区域采用GPS-RTK技术与全站仪相结合或GPS-RTK技术与手持激光测距仪相结合的办法,更能大大提高作业效率,这种方法克服了在外作业数据采集时对“通视条件”和“测站测定”方面的限制。

参考文献

- [1] 周建邦. GPS测量定位原理与技术[M]. 郑州:黄河水利出版社,2005.
- [2] 周忠谟. GPS卫星测量原理与应用[M]. 修订版. 北京:测绘出版社,2004.
- [3] 任伟,周建邦,朱德河. 菏泽市四等GPS网的设计与实施[J]. 测绘通报,2008(5):43-45.
- [4] 杨永平,洪绍明,段德磊. GPS-RTK定位技术在数字化测图中的应用[J]. 铁路勘察,2008(2):10-13.
- [5] 蓝悦明,贾媛. GPS观测值误差分布的研究[J]. 测绘通报,2008(4):12-13.
- [6] 刘贺春,郭秋. GPS-RTK在地形图测绘应用中的精确性和可靠性研究[J]. 城市勘测,2008(2):49-51.
- [7] 周建新. GPS-RTK技术在城市规划测量中的应用[J]. 湘潭师范学院学报:自然科学版,2007,29(3):60-61.