

# GPS-PPK 技术在电力测量中的应用

吴 列 秦朝国

(四川电力设计咨询有限责任公司, 四川 成都, 610016)

**摘 要:** GPS-PPK 采用动态测量后处理模式, 克服了常规 GPS-RTK 数据传输距离短, 抗干扰性能差的问题。文中详细介绍了 GPS-PPK 的基本原理、作业模式和操作步骤, 并对其在电力勘测中的应用进行了可行性分析。通过实例计算验证 GPS-PPK 能够突破传输距离的限制, 满足电力勘测的精度要求, 在电力勘测地形测量和线路测量方面具有较好的应用价值。

**关键词:** PPK; RTK; 数据链; 电力测量

**中图分类号:** P228

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-582X(2014)S2-223-04

随着 GPS 载波相位差分测量技术的不断完善, GPS-RTK(下称 RTK)在测量中得到了广泛应用, 并在作业质量、工作效率、降低劳动强度等方面取得很好的效果。但在西南地区高山大岭中 RTK 测量方法常常受强磁场干扰、信号遮挡、卫星时段、数据传输距离等因素的影响, 在需要较远距测量时往往达不到预期的测量效果, 浪费大量的人力、物力资源。而 GPS-PPK(下称 PPK)技术可以作为 RTK 的有效补充, 弥补不足。

## 1 PPK 技术的基本原理

PPK(Post Processing Kinematic)是 GPS 数据动态测量后处理模式, PPK 技术理论采用整周模糊度快速逼近技术(FARA)<sup>[1]</sup>使基线观测时间缩短到 5 min 内。PPK 工作原理是利用进行同步观测的一台基准站接收机和至少一台流动接收机对卫星的载波相位观测, 同时采集最少 2 个历元的观测时间, 后解算基准站和流动站的基线解, 通过引入基准站已知坐标获得流动站坐标, 精度可达到厘米级。

## 2 PPK 的作业模式和步骤

现在大部分 GPS 都具备 PPK 的功能, 本文主要结合 leica1230 接收机及其随机解算软件来进行介绍:

### 2.1 作业模式

PPK 作业模式与 RTK 的区别在于置配置集的设置, PPK 作业时基站按静态测量设置, 只在记录

原始观测数据处改为“静态 & 动态”, 其他的设置不变。流动站设置也只在记录原始观测数据处改为“静态 & 动态”, 其他设置跟 RTK 流动站一样。

### 2.2 PPK 作业步骤

#### 2.2.1 仪器的设置和架设

将仪器按 2.1 所述作业模式进行设置, 其中采样率可设置为 1 s、2 s、5 s, 但流动站和基站采样率须相同。在测区已有控制点架设基站, 如仅需 PPK 测量时, 无需连接电台。

#### 2.2.2 数据采集

数据采集时 PPK 观测必须初始化, 初始化的方法主要有两种:

1) 测前初始化。使用 GPS 接收机观测 5~15 min, 待手簿数据显示初始化完成时可以开始 PPK 测量, 每个点测 2~5 s, 观测过程要保持接收机对卫星的连续跟踪, 如卫星失锁, 需重新初始化。

2) 测中初始化。该初始化方式为 OTF(on the fly), 即边走边初始化, 把 GPS 接收机天线放在能收到卫星信号的地方, 边观测边进行初始化, 同时保证观测途中卫星不失锁。如在初始化完成前卫星失锁, 之前的数据需全部重测。

#### 2.2.3 数据处理

PPK 数据处理和静态数据处理相似主要有以下步骤:

1) 建立项目, 与静态数据处理相同需建立一个项目。

2) 数据导入, 将野外采集的数据导入到新建的

项目中,检查数据属性和卫星质量,剔除不可用的卫星。

3)基线处理,将基准站数据设置为参考站,其他数据为流动站,设置解算参数,进行基线解算,并保存基线。

4)平差,以保存的基线向量值进行三维网无约束平差,进行精度评定,求定各点的 WGS-84 坐标。

5)数据转换,导入测区转换参数,进行坐标转换,获取地方坐标。

### 3 PPK 技术应用测试分析

笔者选取某 500 kV 输电线路工程的外控点进行现场测试。测试以该工程外控点获取转换参数,以 K06 为基站点,K07、K10、K11 作为待测点。采

样率设置为 5 s,使用测前初始化的方法进行数据采集,每个点测两组数据分别测 30 s 及 2 m。使用 LGO6.0 对数据进行处理,在处理基线时注意选择策略和剔除较差的信号。

策略的选择主要有:卫星高度角(5°~30°);卫星星历(广播星历);采用频率(组合方式);对流层模型根据情况选择使用 Hopfield、Saastamoinen、Essen 和 Froome 等模型;电离层模型选择组合计算的模型消除电离层折射影响。

单个的数据点的 GPS 信号需在卫星窗口中将较差的时间段进行手工剔除,基线可统一计算也可进行单基线计算。

数据处理完成后,获得以下对比结果。

表 1 GPS 基线无约束平差值

点号-测点时间	类型	X/m	Y/m	Z/m	ΔS/m	ΔZ/m
K07-2 m	平差值	-1 357 825.2645 361 343.993 3 167 058.039	0.010 4	0.020 8		
K07-30 s	平差值	-1 357 825.2665 361 343.992 3 167 058.037	0.014 6	0.030 6		
K10-2 m	平差值	-1 373 896.4435 352 896.443 3 174 262.698	0.022 2	0.039 2		
K10-30 s	平差值	-1 373 896.4365 352 896.413 3 174 262.684	0.040 6	0.070 3		
K11-2 m	平差值	-1 380 840.9215 350 674.327 3 175 100.714	0.014 9	0.031 1		
K11-30 s	导航解	-1 380 836.3475 350 659.033 3 175 093.735	未通过基线解			

表 1 中 K11-30 s 是在初始化未完成时测量的点,其未通过基线解。

到了厘米级。

2)测量中(前)必须完成初始化,测点才能通过基线解算,才能获取高精度坐标及高程。

从表 1 可以看出:

1)PPK 测量模式其 GPS 基线内部符合精度达

表 2 转换后地方坐标值与已知值对比

点号	X/m	Y/m	Z/m	ΔX/m	ΔY/m	ΔH/m	距基站/km
K11(已知)	448 902.816 0	3 325 513.361 0	424.178 0				
K11-30 s(导航解)	448 902.101 5	3 325 515.101	406.746 8	-0.714 5	1.74	-17.431 2	33.3
K11-2 m	448 902.699 8	3 325 513.151 7	424.049 3	-0.120 0	0.098	-0.128 7	
K10(已知)	441 619.302 0	3 324 613.288 0	369.160 0				
K10-30 s	441 619.263 1	3 324 613.313 7	369.054 0	-0.038 9	0.025 7	-0.106 0	26.1
K10-2 m	441 619.281 5	3 324 613.265 3	369.087 2	-0.020 5	-0.022 7	-0.072 8	
K07(已知)	423 908.612 0	3 316 373.573 0	417.043 0				
K07-30 s	423 908.604 3	3 316 373.562 6	417.015 8	-0.007 7	-0.010 4	-0.027 2	6.9
K07-2m	423 908.602 2	3 316 373.564 7	417.017 5	-0.009 8	-0.008 3	-0.025 5	

从表 2 中可以看出:

1)PPK 测量当距离在适当范围内时(30 km),坐标可以达到厘米级的测量精度。

2)PPK 测量当距离在适当范围内时(20 km),高程可以达到厘米级的测量精度。

3)待测点距的精度与距基站的距离成反比,即距离越近精度越好。

4)待测点距基站距离达到一定值时测量的精度与测量的时间成正比。

表 3 RTK 与 PPK 坐标值的对比

点号	X/m	Y/m	Z/m	$\Delta X/m$	$\Delta Y/m$	$\Delta H/m$	距基站/m
1-RTK	417 016.094 3	3 315 785.259 0	414.331 7				
1-PPK	417 016.088 5	3 315 785.253	414.342 8	-0.005 8	-0.006 3	0.011 1	30.9
2-RTK	417 035.956 5	3 315 843.874 1	413.772 9				
2-PPK	417 035.957 9	3 315 843.874	413.779 2	0.001 4	-0.000 3	0.006 3	62.2
3-RTK	417 044.803 4	3 315 794.764 3	412.781 9				
3-PPK	417 044.803 5	3 315 794.761	412.781 1	0.000 1	-0.003 4	-0.000 8	12.3
4-RTK	417 085.566 2	3 315 792.835 7	412.288 7				
4-PPK	417 085.567 4	3 315 792.835	412.291 8	0.001 2	-0.000 8	0.003 1	40.0
5-RTK	417 054.590 5	3 315 739.155 0	412.216 5				
5-PPK	417 054.592 1	3 315 739.155 0	412.212 5	0.001 6	0.000 0	-0.004 0	44.2

由于 RTK 技术已经很成熟,在测试中以 RTK 成果作为最或然值,分别与各组 PPK 成果进行比较(见表 3)。通过比较得出 PPK 测量在确定的初始化完成后,能够达到很好的精度。

### 4 PPK 在电力勘测中的可行性应用

#### 4.1 PPK 在地形图中的测量

1)通过表 3 可以看出 PPK 测量的精度和 RTK 的精度相当,完全能够满足地形图图根点和碎步点测量的需要。且满足 GB 50026—2007<sup>[2]</sup>中 5.3.15 的精度要求。

2)PPK 在地形测量中建议使用测中初始化的方法,可以节省初始化的时间,但需注意测量中卫星不能失锁。

3)每次外业完成后应立即将数据导入软件进行数据处理,及时发现不符合要求的数据,以备重新测量。

4)PPK 在地形测量精度和 RTK 相当,在无遮挡地区及卫星信号好的时段建议采用 RTK 测量。在 RTK 测量有困难的区域及卫星信号差的时段(下午 2:30~4:30)建议采用 PPK 测量。在地形测量中 RTK 和 PPK 配合使用更能发挥 GPS 测量的优势,提高作业效率,确保成果质量。

#### 4.2 PPK 在电力线路中的测量

在电力线路测量中,特别是西南地区高山大岭的线路测量,PPK 测量技术可以作为 RTK 的有效补充。

1)PPK 测量可以满足线路测量的精度要求。

从表 2 中可以看出 PPK 测量在待测点距基站距离在 20 km 内时,测量的坐标成果与实际的坐标较差达到厘米级精度。其精度可以满足 DL/T 5122—2000<sup>[3]</sup>中 6.2.3 的精度要求。

2)在 RTK 测量精度不能固定时,PPK 测量可以有效提高测量效率。

PPK 测量时,仅需要 2 min 的数据采集,通过数据解算就可以达到厘米级的测量精度,而 RTK 数据采集时,由于受到卫星信号差等因素的影响,等待差分固定需要几十分钟甚至更长的时间。这种情况下,采用 PPK 测量,有效的提高了测量的效率。

3)PPK 测量可以解决 RTK 在强电磁干扰中遇到的问题。

PPK 测量无需电台信号,不会发生电磁干扰。因此在线路测量发生电磁干扰时,可以用 PPK 测量来获取外业数据。

4)PPK 测量几乎不受卫星时段的影响。

在 RTK 测量中我们都知道,下午 2:30~4:30 RTK 测量很难获得固定解,即使获得精度也较差,

PPK 测量不受此影响。因此在 RTK 测量不能获得固定解时,可以用 PPK 进行数据采集。

5) PPK 测量仅需要接收到 5 颗卫星,就可以达到厘米级测量精度。

在 RTK 测量过程中,需要接收到更多的卫星数量,才能获得固定解,而在树木等遮挡物比较多的地段,往往接收不到足够多的卫星数量。这时采用 PPK 测量,能够提高工作的效率和质量。

6) PPK 测量能突破数据链传输距离的限制。

RTK 数据链在山区传输距离极有限(5 km 以内),背山面测量时更差(经常不足 2 km)。因此,合理地采用 PPK 技术能突破数据链传输距离的限制,能选择理想的基准站位置,延长有效作业距离,保证背山面测量数据的精度,从而有效地提高工作效率和质量。

7) PPK 在线路测量中可行性应用方向。

a) 输电线路支测基准站,常规 RTK 测量支测基准站往往需要在流动站和基准站之间来回奔波,基准站和流动站“蛙跳式”推进,仪器设备搬运频繁,工作效率不高;而 PPK 测量由于不需要数据链,施测范围广,只需在合适的点位逐一测量即可,工作效率得到了大幅提高。

b) 在遇强电磁干扰、信号遮挡、卫星时段差、RTK 数据传输受限时,可运用 PPK 技术进行线路断面、危险点、风偏点和塔基断面的施测,有利于增加有效工作时间,提高工作效率。

c) 航测的像控点可以采用 PPK 进行测量,特别是 RTK 采集有困难的地形地貌,可考虑用 PPK 技术测量。因为在 PPK 测量中,无需电台连接,也不需外接笨重的电瓶。因此不受地形限制,适合于复杂地区作业。

## 5 PPK 测量的局限性

PPK 测量是数据动态测量后处理,需要通过解

算基站及流动站采集的数据,才可以得到流动站的坐标。即不能获取实时坐标,也不能进行放样测量。由于其定位精度需内业后处理才能获取,因此我们在外业测量时,需要保证良好的外业观测条件。如在信号遮挡、卫星时段差时 PPK 也可测量,但至少需要 5 颗有效卫星,且需要 PDOP 小于 6,在观测过程中要保持对卫星的跟踪。在内业处理时如发现基线解算精度不合要求,必须重新对测点进行测量。

## 6 结 语

通过对 PPK 技术的测试分析,可以得出 PPK 测量精度能够达电力勘测的要求,PPK 测量能突破 RTK 测量传输距离的限制,能够适用于除控制外的全部地形测量及电力线路测量的部分环节。如果将 PPK 与 RTK 配合作业,更能使之互补,充分发挥 GPS 的优势,达到令人满意的效率和质量。

由于笔者测试数据较少,PPK 技术的应用还有待进一步的研究。特别是作业距离和数据采集时间方面需要大量的测量数据来进行测试,因此文中所提到的作业距离和数据采集时间仅是概略值(供参考),具体的数据限值还需要大量的试验来获取。

### 参考文献:

- [1] 魏二虎. GPSPPK 动态测量及数据处理[D]. 武汉:武汉大学,2007.
- [2] 中华人民共和国国家标准. 工程测量规范[M]. 北京:中国计划出版社,2008.
- [3] 中华人民共和国电力行业标准. 500KV 架空送电线路勘测技术规程[M]. 北京:中国电力出版社,2000.

(编辑 吕建斌)