

GPS 技术的发展及应用

陈绍光*

(铁道部专业设计院)

提 要 GPS 应用于工程测量是项新技术,本文阐述其产生、发展及应用情况,并对其应用于铁路航测的前景进行了探讨。

主题词 GPS 技术 发展 应用

1 概述

GPS(GLOBAL POSITIONING SYSTEM)全球定位系统是以卫星为基础的无线电定位系统。美国于1973年开始研制,八十年代已生产使用。如果从卫星定位而言,早在1958年美国已研制了NNSS子午卫星导航系统(海军导航卫星系统)。它是采用多普勒定位,由于不是实时定位,无法满足实时导航、快速定位的要求。六十年代中期,美国海军制定了Timatain计划,供中、低速航行的军舰导航,同时美国空军制定了“621-B”计划,供高速飞行的飞机导航定位。1973年美国国防部将这两个计划合并,改为“全球定位系统”(GPS)计划。它是具有全球性、全天候、连续性和实时性导航、定位、定时的卫星导航系统,可提供精密的三维坐标、速度和时间。该计划共分三期实施:

(1)方案论证(1974~1978年),也可以理解为技术准备阶段。主要是进行总体设计,软硬件研制和建立地面跟踪网。

(2)系统论证(1979~1987年)。此阶段进行接收机的小批量生产、实验卫星的研制和发射。在一、二阶段中共发射11颗实验卫星,在全球范围内实现3~5小时的三维导航定位。

(3)生产实验(1988~1991年)。此阶段包括发射工作卫星,在整个系统6个轨道平面内有18颗卫星和3个备用卫星,实质上此阶段是生产实践、完成全部工作的阶段。

美国的GPS计划进展很快,特别在军事、民用生产的应用上,在第二阶段中已较大范围地开展。八十年代末,全世界不少国家已广泛应用于导航及大地测量中,取得很高效益,特别是海湾战争,GPS系统的作用引起全世界高度重视。美军的制导、射击(轰炸)目标的导航、陆军的定位等等全面使用GPS系统,对取得战争的胜利起了重要作用。海湾战争后,GPS系统转向民用,特别在测绘界,大力引入此项先进技术,可以说是控制测量中自电子计算技术后的又一次技术革命。

GPS系统的工作卫星均匀地分布在地球周围外空等间隔(60°)的6个轨道平面内,每个轨

* 本文收稿日期:1995-04-10 陈绍光 高级工程师 铁道部专业设计院航测处 北京 邮编:100020

道上有3颗卫星运行,轨道近于圆形,与地球赤道的倾角为 55° 。它们高于地球表面20183km,卫星在轨道上运行周期为11h58min。18颗卫星所构成的星座可保证全球任何地点、任何时间能同时观测到4~7颗卫星。

GPS定位原理是测绘中所熟识的空间后交。接收机同时接收到卫星发播的精确时间和位置信号,经处理就获得卫星至接收机的距离。若同时接收到3颗以上卫星,就可以计算出接收机的空间位置。由于接收机测出的卫星距离受卫星时钟与接收机时钟间的同步误差的影响,若测定3颗以上的卫星可以通过平差方法改正,从而求出较准确的测站坐标。此外,卫星发出的信号还会受到电离层影响,如果采用两台接收机同时工作,可以抵消此影响,获得非常高精度的两接收机间的距离。

采用单点定位法,可以直接得到测站的WGS84世界测量坐标系的坐标,据资料介绍,最高精度曾达到1m。采取相对点定位法,相对位置(两测站三维坐标差)精度高于 $10\text{mm}+2\text{ppm}$ 。目前,在控制测量中普遍使用相对点定位法。

卫星发播两种信号(L_1 和 L_2)。 L_1 信号频率为1575.42兆赫,包括粗码(C/A码)和精码(P码); L_2 信号频率为1227.60兆赫,只发播精码。采用C/A码定位精度可达25m,P码定位精度达米级。但美国采用控制措施,加上CA、AC能力(对民用控制),C/A码只达到100m。现在厂家提供的接收机有单频和双频两种类型,前者只能在30km内应用,后者可达1000km。

2 基本组成及测量方式

GPS的设备包括卫星信号接收机、后处理设备及软件。以威特200GPS测量系统为例,设备及软件有:

(1)威特SR299GPS传感器:它是一台防水的GPS接收机。重量只有2.3kg,可在温度 -20°C 至 $+55^{\circ}\text{C}$ 之间的100%湿度下工作。传感器可以在 L_1 和 L_2 频率以及C/A码和P码上同时跟踪9个卫星。操作者可自行决定观测那些卫星,观测卫星高度截止角可由操作者选择。传感器可装在一个标杆上,也可使用威特三角架固定。传感器要求12V电源,工作时耗电量为8.5W。

(2)威特CR233GPS控制器:它是一台防水的手持式386计算机。重量为1.1kg。作业自然条件与传感器的一致。它有三个主要功能:驱动传感器、监视观测过程和记录数据。操作者利用在控制器上的菜单驱动程序来进行具体观测。操作者可设置数据记录率、设置高度截止角和生成一个测点编号系统。一旦观测开始,控制器将显示下列信息:正在观测哪些卫星,采集数据和质量、点位坐标、记录装置上的剩余空位等。观测数据可记入控制器内的记忆卡或机内存储器中,控制器同时可将记忆卡直接输入个人计算机。控制器有一个LCD显示屏,包括8行40个字符。显示屏可照明,用于夜间观测。

(3)其他:记忆卡,内存记忆量为1兆比特。在正常测量中,当同时观测5个卫星、数据采集率为15s时,记忆卡可存储约10h的数据。对于主要测量工作,采用威特GEB70、12V、2Ah镍镉蓄电池,可连续工作6小时。

(4)SKI静态测量软件:可处理威特200GPS测量系统采集的各种卫星观测值。软件将自动处理静态、停停走走(准动态)、动态测量的数据,并算出全部观测点位标。SKI软件在MI-

CROFT[®]WINDOWS[™]环境下工作。

GPS 测量系统的几种测量方式：

(1)静态测量法

静态测量法是布设和加密大地测量控制网惯用的 GPS 测量方法。每点设站时间一直到采集 4 个或更多卫星的数据足以解算出模糊值时为止。观测时间随基线长度、卫星星座图形和大气状况而变化。根据经验，在大地测量中，采用静态测量法，每条基线采集数据的时间通常 1h。基线越长，观测时间也就越长。

(2)快速静态测量法

快速静态测量法是由静态测量发展起来的。它的处理算法是由徕卡公司研制的。当观测 4 个或更多卫星具有良好的几何图形时，测定短于 15km 的基线，只需要几分钟的双频观测数据即可解算卫星模糊值，该法很适用于工程控制测量和地籍测量。

一种最有效的方法就是在测区范围内布设一个临时参考点，然后用另外的移动接收机去观测其余各点。假设使用 3 台接收机观测，每次观测时间为 5~10min，两点之间迁站时间为 10min，图形见图 1，观测计划表见表 1。（由于考虑失锁，在实际生产上均多于 5~10min）。

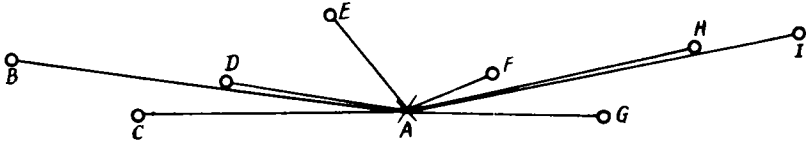


图 1

表 1 快速静态测量观测计划表

观测时间	接收机 1(参考点)	接收机 2	接收机 3
12 : 00~12 : 10	A	E	F
12 : 20~12 : 30	A	D	G
12 : 40~12 : 55	A	C	H
13 : 05~13 : 20	A	B	I

(3)重复设站法

重复设站法是静态测量法的改进形式。重复设站法是借助在一点两次采集的全部卫星数据在 SKI 软件上联合在一起的处理技术，它特别适用于当前卫星数少于 4 个时观测一组点。如果第一次设站时观测了 3 个卫星，第二次设站又观测另 3 个卫星，则用 SKI 软件处理数据时，就像观测了 6 个卫星那样进行数据处理。它有助于数据组资料不足时进行处理。

如图 2 所示，假设用两台接收机观测，每点观测时间为 10min，各点间迁站时间为 15min，观测计划见表

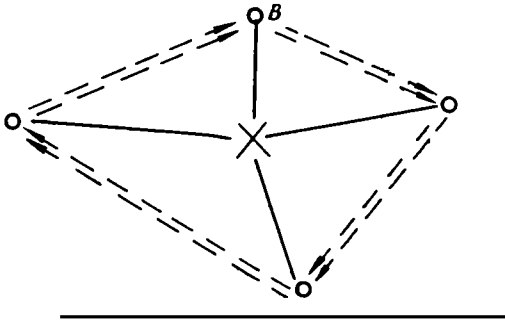


图 2

2。

表 2 重复设站法观测表

观测时间	接收机 1	接收机 2
12 : 00~12 : 10	A	B
12 : 25~12 : 35	A	C
12 : 50~13 : 00	A	D
13 : 15~13 : 25	A	E
13 : 40~13 : 50	A	B
14 : 05~14 : 15	A	C
14 : 30~14 : 40	A	D
14 : 55~15 : 05	A	E

在实际作业中,由于迁站时间不易严格控制,设在参考点(A)的接收机一般是不关闭,连续接收。

(4)停停走走测量法(准动态测量法)

在停停走走测量法中,首先解算至卫星模糊值,然后将移动接收机在各未知点之间迁站。迁站过程中必须锁住卫星。因此,只要能保持在第一点的模糊值,就无需在每点上解算模糊值。利用这项技术,只需在未知点时观测几个历元(约 10~20s)即可算出精确位置。

此方法适用于碎步测量。今后在铁路曲线测量或测定线路联测点时,很有可能应用此法。

(5)动态测量法

动态测量法是在一预设的时间段内计算相对差分位置。如果卫星失锁,在动态测量开始前必须重新解算模糊值。失锁前采集的全部数据都是好的,可用于处理。

对于低精度(2~5m)测量而言,伪距数据可用 SKI 处理。由于伪距数不是模糊值,移动传感器无需等待解算模糊值。当卫星失锁时,不会发生问题。一旦重新捕获卫星信号,差分伪距解算即可开始。

动态测量法适用于测定移动目标的轨迹。此法可用来测定道路的路线图、船和飞机的位置。

3 测量实例

3.1 Wild200 GPS 接收机在珠峰测量中的应用

1992 年 9 月 28 日至 30 日,中意合作复测珠穆朗玛峰高程工作获得成功。意大利登山队 10 名队员携带 Wild200 GPS 接收机、脚架、棱镜分为三组,三天分别登上峰顶,完成了珠峰顶与山下的联测工作。

参加珠峰复测的 GPS 接收机共五台,一台位于峰顶,两台位于中国,两台位于尼泊尔。

Wild 200 接收机的标准重量只有 7kg,是目前重量最轻的一种 GPS 定位型双频接收机。仪器所配标准电池在正常温度环境中,15s 一个采样间隔,可连续工作 6h,使用 36Ah 电瓶,可连续工作 30h。此次峰顶观测使用了一块小巧的高能锂电池,在峰顶维持了 63min 的观测。

赴珠峰测量前,曾在北京沙河基线场进行一次检测,采用快速静态测量法,取得令人满意结果(参阅表 3)。

表 3 基 线 检 测 结 果

组号	观测时间 (min)	历元数	PDOP	Indication (可靠性)	测量长度 (m)	解算精度 (m)	相对精度 (ppm)
1	10	40	3	69%	2568.4243	0.0019	9.8
2	6	24	2	100%	2568.4263	0.0008	10.6
3	4	16	2	61%	2568.4256	0.0011	10.3

注:长度限差 0.025m;基线标准长度 2568.3990m;采样间隔 15s

在珠峰测量中基线解算结果参阅表 4。表 4 中起点与Ⅲ>定位点测量中,有一次 PDOP 较大,即卫星状态不理想,则其解算成果离散度较大。从表 4 的结果看,测量精度是十分好的,这次 GPS 测量系统在珠峰测量中很成功。其最终结果,将留待中意合作双方形成一致意见后再公布。

表 4 珠 峰 测 量 中 的 基 线 解 算 结 果

参考点	定位点	时间长度 (min)	温度变量 (℃)	解算频率	PDOP	基线长度 (m)	解算精度 (m)	平均值 误差
起始点	Ⅲ>	48	1.2	$L_1 + L_2$	3	4556.8937	0.0007	
		76	2.4	L_1	8	4556.7849	0.0003	PDOP 较大
起始点	基本点	120	8	L_1	5	6819.3408	0.0006	
		120	8	L_1	3	6819.3260	0.0009	1ppm
基本点	BR14	120	6.8	L_1	5	13070.2498	0.0005	
		120	4	L_1	3	13070.2090	0.0003	1ppm
起始点	峰顶	略						
Ⅲ>	峰顶	略						

3.2 GPS 定位技术在城市测量中应用

1992 年 1 月,在建设部规划司的组织领导下,成立了全国城市测量 GPS 应用研究中心,挂靠在北京测绘院。“中心”购进 Trimble 公司 4000SE 单频接收机六台,配有圆顶天线,仪器标称精度斜距为 $10\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D$ 。1992 年先后在河北省平山县、晋州、青岛、太原、长治、石家庄、包头、银川等八个城市进行 GPS 城市网测量,共计 280 余点。另在北京地区与广西北海市配合工程测量,观测 GPS 网控制点近百余点。各城市布网原则是在旧网基础上扩大控制面积和提

高精度。

为安全起见,尽量白天作业,每天观测两个时段,时段长掌握 90 分~120 分钟,观测量至少有四颗卫星可被跟踪, $PDOP \leq 8$,每点至少设站两次。

平山县网 15 个点全为与原网重合点。原网为无定向四级导线网。GPS 测量成果与原导线坐标相比,全部小于 $\pm 5\text{cm}$ 。在其控制下加密导线均得到精度很高的结果。

青岛市网有 21 个重合点,原网为三、四等点。新旧坐标比较有 85% 以上的点小于 $\pm 5\text{cm}$,有四个点相差较大,最大为 8.9cm 。青岛市勘测院曾在该四点(原网)控制下布测一级导线,方位角、导线全长相对闭合差均超限,使用 GPS 的新成果大大改变了原来状况,几条导线方位角闭合差在 $2''$ 左右,全长相对闭合差都在几十万分之一以上。

其他城市,同样取得较好效果。

在作业中,也发现下列问题:

- (1)仪器稳定性与气象条件有关。
- (2)温度过高影响成果精度。如在某地温度达 $36 \sim 38^\circ\text{C}$ 时作业成果不能取用,调整观测时间后可解决。
- (3)雷雨闪电后,发现停机现象多次。
- (4)天线高丈量不准确影响基线长度。
- (5)4000SE 单频接收机适用于短基线测量,若超过 15km 的基线,将增加返工率。

3.3 GPS 在工程控制网中的应用

1991 年清华大学与华北油田结合工程勘测的实际任务,采用 GPS 定位方法为工程所需要的一、二级导线布设加密控制点,以控制电磁波测距导线的误差积累。

测区内只有二个国家二等点,点间相距 16km ,二个三角点上都有 18m 的高钢标。为满足工程测量需要,要在二个二等点间布设 18km 电磁波测距导线和 6km 二级导线。由于中间缺乏高级控制点,导线长度超长,满足不了城市规范一级导线精度要求,故采用 GPS 定位加密控制点(图 3)。

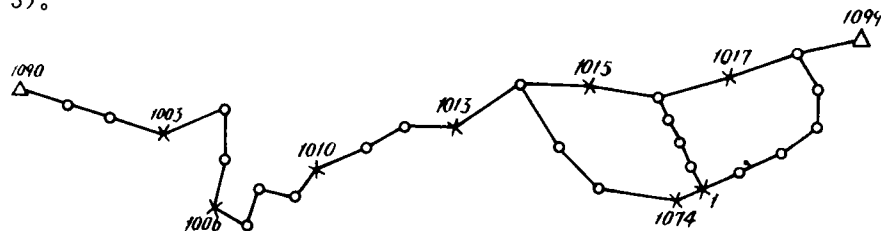


图 3 \triangle 二等三角点 \times GPS 点 \circ 导线点

仪器采用 Trimble 4000ST 单频接收机 5 台,仪器采样间隔为 15s 。 $PDOP$ 值一般小于 5。1099 为基线计算起始点,五台仪器同步观测。观测数据的预处理是采用 Trimble 接收机所带的商用软件 Trimvec-Plus 软件包的 Trim Mbp 单基线处理程序。

以 1099 三次独立伪距定位结果的平均值作为基线解算的起点坐标。GPS 网平差分为二部分,先进行 GPS 网本身无约束平差,平差结果各点点位中误差见表 5。然后再进行与地面网

已知点一起完成约束二维平差,平差后点位精度见表 6。

表 5 无约束平差后点位精度

点 号	点位中误差 (mm)	点 号	点位中误差 (mm)	点 号	点位中误差 (mm)
1003	5.7	1006	15.4	1010	9.5
1013	5.4	1051	5.4	1017	16.3
1066	6.7	1090	13.5	1099	5.5

表 6 约束二维平差后点位精度

点 号	点位中误差 (mm)	点 号	点位中误差 (mm)	点 号	点位中误差 (mm)
1003	11.8	1006	14.0	1010	10.6
1013	7.1	1071	14.9	1074	5.6
1090	0	1099	0		

利用 GPS 控制点对电磁波测距导线进行统一平差。地面一级导线是用 DI20 测距仪测边,用 2"级经纬仪测角测试一测回,根据 GPS 测试的坐标作为控制点,采用间接平差法,按边角网进行统一平差,平差结果点位中误差见表 7。

表 7 统一平差的导线点点位精度

点 号	点位中误差 (mm)	点 号	点位中误差 (mm)	点 号	点位中误差 (mm)
1001	2.31	1002	2.02	1004	2.12
1005	2.09	1007	2.26	1008	2.55
1009	2.22	1011	2.50	1012	2.39
1014	2.56	1015	3.05	1016	2.68
1018	2.10				

用 GPS 进行工程控制网加密点,只要设计合理,接收 1~1.5h 卫星信号是可以达到三等网精度,完全可以满足工程一级、二级导线的控制要求。

3.4 GPS 用于铁路航测可行性试验

1992 年 5 月 22、23、25 日三个下午,采用 Wild200 GPS 接收机分别在北京海淀区和京广铁路芦沟桥至长辛店段进行定位试验。

(1)北京海淀区

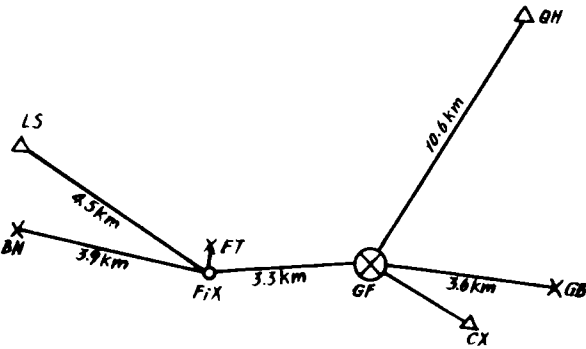


图 4

有三个国家三角点 LS、CY、QH 作为已知点,GF、GB、BN、FT 均为城市导线点,作为待定点。测定结果与城市导线点坐标相比较,以反映其测定精度,点位布设见图 4。

第一天下午参考点设在 GF,2 台接收机流动观测各点。因 BLOCKII 卫星无 L_2 信号,GF 到 QH、GB、CY 各边用单频处理。GF 位于马路交叉口,大型载重车频繁从接收天线旁边通过,遮断或严重反射卫星信号,失锁频繁,致使 GF 至 LS、BN、FT 三条边因单频观测时间较短,成果未能采用。第二天下午参考点改在干扰较少的 Fix 点,顺利地测量了 LS、BN、FT 和 GF 各点。作业是使用快速静态测量法。GPS 定位结果与导线点坐标比较见表 8。

表 8 GPS 定位结果与导线点坐标比较

点 号	$X_{GPS}-X_{地}$	$Y_{GPS}-Y_{地}$	$H_{GPS}-H_{地}$	备 注
GF	-0.0482	-0.0296	0	高程起算点
GB	-0.0226	-0.0003	0.0603	
BN	-0.0186	+0.0273	0	高程已知点
FT	-0.0326	-0.0402	-0.0207	

(2)京广铁路芦沟桥至长辛店段测试

该试验目的是了解在既有铁路路肩上作业及站内作业情况,经试测,这两地段仍可正常地接收卫星信号。在长辛店站内还进行了准动态测量,结果良好。

4 GPS 用于铁路航测的前景

近几年,我国引进了大批 GPS 测量系统,各工程部门和城建部门应用 GPS 技术解决控制测量取得显著成果,也获得很多经验。在野外测量定位中应用该先进技术已势不可挡,越来越深入各工程、城建部门。随着硬软件的不断改进、完善、价格下降,使用将越来越广泛。GPS 技术应用于铁路航测是有广阔的前景。

(1)进行工程控制网加密,作为导线的起闭点。我国国家三角点破坏严重,在主导线测量中,经常因野外缺国家三角点(含一级军控点)使导线超长,不符合铁路测量技术规则的规定。应用 GPS 技术,沿设计线路或既有铁路加密控制网,以满足“技规”的要求。若统一平差,还可以提高主导线点的精度。近一、二年,一些兄弟设计院在新线航测控制测量外业生产中业已采用,取得较好效果。

(2)测定“主导线”点和像控点

采用 GPS 技术替代电磁波测距仪测定航测外业各类点的平面位置,在技术上已不成问题。关键是高程如何解决? 由于高程受到重力场影响,各个地区是不一样的。另外,我国与美国采用的椭球面也不一样,所以在山区、矿区,问题更为突出。为了解决此问题可以配以水准测量进行工作,即“主导线”点的高程采用水准测量测定,而像控点是由“主导线”点发展,距离不会太远,采用 GPS 测定高差,再算出其高程。此方案在一般地区预计能满足铁路航测成图的要求。

(3)目前,国内外已进一步研究采用 GPS 技术测定航空摄影瞬间摄影站的空间位置,并获得可喜成果。随着科技发展,应用机载 GPS 动态测量用于铁路航测生产,只需进行少量野外工

作,甚至可以不进行野外控制测量,已为期不远。

(4)在既有铁路测量中,采用准动态测量法,测定线路联测点(线路中线点)和曲线,是很有潜力的。

5 参 考 文 献

- 1 孟庆遇. GPS 定位技术在城市测量中的应用
- 2 张江齐. Wild 200 GPS 接收机在珠峰测量中的应用
- 3 过静君等. GPS 在工程控制网中的应用研究
- 4 朱成燊. GPS 在铁路测量中的应用
- 5 卢洪谦. GPS 定位测量简况
- 6 徕卡的 GPS 新技术
- 7 陈绍光,施品浩. Wild 200 GPS 测量系统在铁路航测控制测量中应用的可行性研究

DEVELOPMENT AND APPLICATIONS OF GPS TECHNIQUE

Chen Shaoguang

Aerial Survey Dept. , Railway Professional Design Institute of MOR

Abstract The GPS (Global Positioning System) technique is a new technique applied for engineering survey. The production, development and applications of the GPS technique are described in this paper. The prospects of its applications in the railway aerial survey are also discussed.

Keywords GPS technique; development; application

株州至六盘水铁路拟增第二线

1995 年 6 月,铁道部计划司在北京主持召开了株州至六盘水铁路增建第二线可行性研究报告审查会。国家计委、铁道部有关司局、成都铁路局、广州铁路(集团)公司、铁四院等有关单位参加了会议,总体设计单位第二设计院院长徐隆发、总工程师李泽民率总体组有关人员参加了会议。

二院吴正刚高级工程师作了关于全线主要技术方案的汇报,张润桑高级工程师作了六盘水枢纽方案的汇报。四院有关项目负责人汇报了该院承担的株州至大龙段的技术方案。

经过审查,会议通过了可研报告提出的主要技术标准和主要技术方案,肯定了该线在东通道的骨干作用,同时要求根据 1994 年的单价调整概算。