

中国科学院测量与地球物理研究所编辑

测量与地球物理集刊

ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA

13

科学出版社

(京)新登字 092 号

本刊专职编辑 张 牙

测量与地球物理集刊

第 13 号

中国科学院测量与地球物理研究所 编辑

*

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

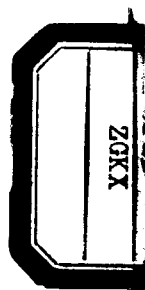
1992 年 4 月第一次印刷 印张: 7 1/4

印数: 1—400 字数: 169 000

ISBN 7-03-002719-1/P · 544

定价: 6.80 元

科技新书目: 261-082



P25
GKX

测量与地球物理集刊 第13号

(1992年)

目 录

71830/11

关于布设 GPS 大地-水准网的意见	魏子卿 (1)
GPS 动态精密定位试验与数据处理初步结果	
.....陈增强 王广运 刘烈昭 赵 洪	(11)
武汉人造卫星站计算机软件系统(一)	夏炯煜 郭丰美 刘 莉 (17)
对 Q_w 的检测	高布锡 (23)
长露光照相天顶筒及武昌天顶星表	高布锡 李劲峰 胡亚设 (29)
中国大陆地区因气压引起的山力矩激发估算	孙永庠 (41)
新滩滑坡体链子崖危岩体的边界条件探测和应力场研究	
.....蒋福珍 傅容珊 张赤军 江顺先	(49)
地形均衡改正的样条方法	宁津生 晁定波 边少锋 (63)
地球物理资料的联合解释	李 雄 (77)
重力梯度仪的研究现状及重力梯度测量应用的前景	江 峰 宗 杰 (85)
精密弹簧受横向扰动时的挠度方程	江 峰 (101)
土壤-植物-大气系统水分及能量传输的数学模型综述	姚华夏 (107)



107559

ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA, No. 13

(1992)

CONTENTS

Opinion on Establishing a GPS Geodetic-Levelling Network	Wei Ziqing (1)
Tests of GPS Precise Dynamic Positioning and Data Processing — the Preliminary Results	...
... Chen Zengqiang, Wang Guangyun, Liu Liezhao and Zhao Hong (11)	
The Calculating Software System at Wuhan SLR Station	...
..... Xia Jingyu, Guo Fengmei and Liu Li (17)	
The Determination of Q_w	Gao Buxi (23)
A New PZT With Prolonged Exposure and Wuchang PZT Catalogue ...	...
..... Gao Buxi, Li Jingfeng and Hu Yashe (29)	
Estimation of the Mountain Moment Excitation Caused by Atmospheric Pressure in the Mainland of China	Sun Yongxiang (41)
On the Determination of Boundaries and the Analysis of Stress Field for Xintan Slide and Lianziya Unstable Rock	 Jiang Fuzhen, Fu Rongshan, Zhang Chijun and Jiang Shunxian (49)
The Computation of Topographic-Isostatic Correction by B-Spline Function	Ning Jinsheng, Chao Dingbo and Bian Shaofeng (63)
Integrated Interpretation of Geophysical Data	Li Xiong (77)
The Research Status of Gradiometers and the Prospect of Application of Gravity Gradiometry	Jiang Feng and Zong Jie (85)
The Flexure Formula of the Precise Spring Under Horizontal Force	 Jiang Feng (101)
A Summary of Mathematical Models of Water and Energy Transfer in Soil-Plant-Atmosphere Systems	Yao Huaxia (107)

关于布设 GPS 大地-水准网的意见*

魏 子 卿

(西安测绘研究所)

摘 要

GPS 大地-水准网定义为 GPS 大地网和 GPS 水准网的组合。这种网主要用来建立高精度大地测量控制和确定大地水准面。布设一个全国规模的 GPS 大地-水准网,意义非常重大。本文提出了这种网的布设原则,预估了这种网的精度并探讨对于天文大地网和天文重力水准网的控制作用。模拟计算表明, GPS 大地-水准网的水平位置精度平均为 0.21 米,高程异常的精度平均为 0.21 米。在 GPS 大地-水准网的控制下,任意大地点的位置误差将小于 0.3 米,天文重力水准路线上高程异常误差可能小于 0.6 米。

一、前 言

随着 GPS 技术的兴起,布测 GPS 大地网问题,近年在我国测量界广有议论。主要议题是,布设 GPS 大地网是否必要,以及布设一个什么样的 GPS 大地网。有一种意见认为,从长远的观点来看,大地网会逐渐消失^[1],控制点将随用随测,建立永久性的 GPS 大地网已经没有必要。这种看法有一定道理。但是,就实际情况而言, GPS 测量设备和测量技术的普及还受到一系列因素的限制,在短时间内还不可能实现控制点随用随测。再说,我国业已具有相当好的常规地面网,在今后相当长时期内,它们将继续发挥作用。如果用 GPS 技术将它们加以适当加强和改造,使其更加完善,不论从经济观点还是从实用观点来看,都符合我国大地测量的发展方向。从这个意义上说,建立全国规模的 GPS 大地网无疑是必要的。

GPS 网有各种类型,如 GPS 大地基准网、GPS 地壳运动监测网、代替普通三角测量的 GPS 网和代替天文水准或重力水准或天文重力水准的 GPS 水准网。这些 GPS 网的用途不同,各有其用场。笔者认为,从大地测量角度来看,就我国总体情况而论,布测一个全国规模的所谓“GPS 大地-水准网”,意义显得更为重大。在本文中,这种网定义为 GPS 大地网和 GPS 水准网的组合。作为大地网,它提供高精度三维大地测量控制;作为水准网,它提供高精度的大地水准面高程。本文将论述 GPS 大地-水准网的布设原则及其预期精度; GPS 大地-水准网对天文大地网和天文重力水准网的控制作用等。

* 1990 年 11 月收稿。

1) 陈俊勇,大地测量控制网理论和实践的进展,大地测量论文专集,1989。

二、布测 GPS 大地-水准网的意义

我国布测 GPS 大地-水准网的主要意义,在于加强和控制国家大地网与精化大地水准面。我国天文大地网,从总体上看,结构和精度都是好的。但是否存在局部变形以及变形的程度,仍然是一个值得研究的课题。陶文中同志在分析我国天文大地网精度时发现^[2],有 15 个地区(约占全国面积的 1/5),相关检验和残差检验失败,暗示这些地区可能有系统误差存在。另外,全国卫星多普勒网短弧平差结果与大地网平差结果的比较显示,我国大地网似有系统的偏移(见文献[3]的图 6),在北部和西部地区,误差累积比较明显。为了检测大地网的变形,为了加强大地网(特别是西部地区的大地网),布设高精度的 GPS 大地网显然是有必要的。

我国天文重力水准网的精度,如所周知,虽然基本满足了测量数据归算的需要,但还不能满足诸如高精度导线的归算,大地水准面的研究和空间坐标的换算等问题的需要。我国大地水准面的精化问题迫切需要解决。一些学者几年前曾提出一个建立米级大地水准面的目标,主要手段为多普勒测量结合重力测量和天文重力水准¹⁾。应该说,这一目标是可能达到的,手段也是可行的。但是,在当时的情况下没有(大概也不可能)考虑到 GPS 技术的利用。实际上,就精度和实际作业率而论,代替天文重力水准和多普勒水准,用 GPS 水准确定大地水准面是一个更为理想的途径。另外,如果我们有意将 GPS 点布设在经水准连测的大地点或水准点上, GPS 水准作业将主要为 GPS 观测,附加的水准连测非常有限。这样,用不太长的时间,布设一个高精度的全国 GPS 大地-水准网,也是完全现实的。

可以预料, GPS 大地-水准网建成以后,我们的国家大地网的均匀性和精度将有明显改善,我国大地水准面将大大精化。模拟计算表明,在 GPS 水准路线上高程异常的精度可能达到 20 厘米(见后面)。为了改善天文重力水准路线上高程异常的精度, GPS 水准和天文重力水准应进行联合平差;为了提高大地水准面的分辨率,还可以以 GPS 大地-水准网为基础,用 GPS 水准或天文重力水准进行加密,或者借助一定的插值方法插出任一点的高程异常值¹⁾,或者结合已有的实测重力数据采用最小二乘拟合技术得到任一大地点的高程异常值²⁾。

布测 GPS 大地-水准网的意义,还在于建立高精度的地心坐标系。假设我们已经精确确定了 GPS 网原点的地心坐标,我们就有可能利用 GPS 大地-水准网使地心坐标系维持到 2—3 米以内,有可能借助于 GPS 大地网与天文大地网重合,建立起国家坐标系与地心坐标系之间的转换关系。就我国情况而言,实践表明,确定转换参数的误差源主要来自高程异常的不确定性。因此,如果我们能够借助 GPS 水准控制天文重力水准,使高程异常的精度得到改善,转换参数的确定精度便可以期望得到明显改善。

1) 中国科学院测量与地球物理研究所,陕西省测绘局及标准化所联合研究小组,我国米级大地水准面的确定问题,1986 年 4 月,武昌。

2) 陆仲廉,推求高程异常的一种方法,重力测量与大地水准面研究新进展,学术讨论会论文,1990 年 4 月。

三、大地-水准网的布设原则

按照陈永龄教授的观点¹⁾,大地测量工作可以划分为三个层次,即高精度 VLBI/SLR 测量、GPS 测量和传统地面大地测量。根据这样划分,大地网自然也可以相应地分为三个层次,即 VLBI/SLR 网、GPS 网和天文大地网。VLBI/SLR 网构成大地网的框架,GPS 网一方面构成 VLBI/SLR 网的加密网,一方面构成天文大地网的控制网。GPS 网在这一层次结构中的地位,决定了它既应该与 VLBI/SLR 网,也应该与天文大地网有紧密的连接。为了控制天文重力水准网和精化大地水准面,GPS 网也应该与天文重力水准网有比较紧密的连接。

因此,我们建议的 GPS 大地-水准网应该包括全部的 VLBI/SLR 站,包括一批大地点和天文重力水准点。为了使该网同天文大地网和天文重力水准网联系恰到好处,这些点应当分布在一等三角锁系交叉处和一二等导线节点处。它们最好是已知高程异常与直接水准高程的基线网扩大边端点,起始边端点,或其附近适宜水准连测的大地点或直接水准点。另外,为了加强天文大地网,尤其是为了提高大地水准面的分辨率,在一等锁环上及其内部,也应布设一定数量的 GPS 点。在布网方案中,我们建议在一等锁环的中央布一个 GPS 点。这样的 GPS 点同样应当是水准连测过的大地点或水准点。我们建议,在一二等导线环内部,条件许可时也要布设适当数量 GPS 点。当然,GPS 点的密度应根据高程异常变化情况随地区而异。例如,沿河西走廊,沿乌鲁木齐至喀什一线以及沿西宁—格尔木—若羌—帕米尔一线,GPS 点应当加密,以分辨高程异常的剧烈变化。

按照上述布点方案,我们建议的全国 GPS 大地-水准网将包括 400 个点左右。这些点应当布成连续网,按区进行观测。在分区之间应有足够的公共点连接。GPS 网可以分成两级布设。一级网的边长可规定为 1000—2000 公里,精度指标为 $1E-7$ (即 1×10^{-7});二级网的边长可规定为 100 到 200 公里,精度指标为 $1E-6$ 。一级网控制二级网,以防止大规模的二级网中某一环节可能的粗差或系统误差的传播。当然一级网还负有维持坐标系的任务。VLBI/SLR 网可以代替一级网。由于 VLBI/SLR 站数少,分布不均匀,即使 VLBI/SLR 网建成之后,或许仍然需要布设适当数量的一级点。

四、GPS 大地-水准网的预期精度

这里,让我们通过模拟计算来分别讨论 GPS 大地网和 GPS 水准网的精度。设想我们有一个理想化的 GPS 大地-水准网,如图 1 所示。该网包括 352 点,其中 190 点代表三角锁系交叉点,其余 162 点代表锁环的中央点。设锁段平均长度为 220 公里,该网覆盖面积为 3960×1980 平方公里,相当全国面积的 80%。在 352 个点中,1,19,334,352 和 176 号点为一级点。

GPS 大地网的精度完全取决于 GPS 测量的精度。假定一级网的测量误差为 $1E-7$,

1) 陈永龄,从卫星大地测量技术的崛起展望今后的大地测量任务,大地测量论文集,1989。

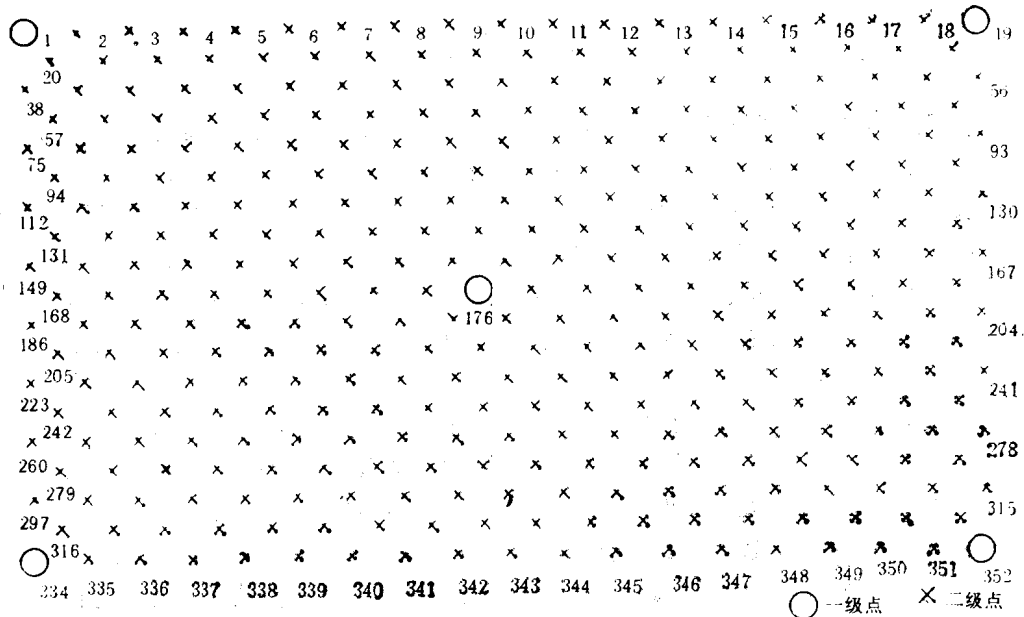


图1 GPS 大地-水准网

图中数字为点号

二级网的测量误差为 $1E-6$, 且二个水平分量误差互不相关, 则对于图1的GPS网, 模拟计算出的水平位置误差如图2所示, 相对1号点的位置误差在0.16米和0.27米之间, 平均误差为0.21米, 最远点相对位置误差达 $7E-8$, 相邻点之间的相对位置误差为 $1.02E-6$ 。

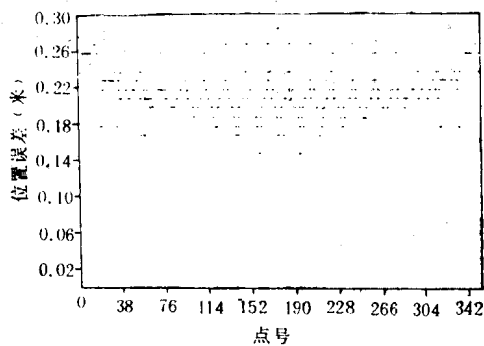


图2GPS 大地网: 水平位置误差

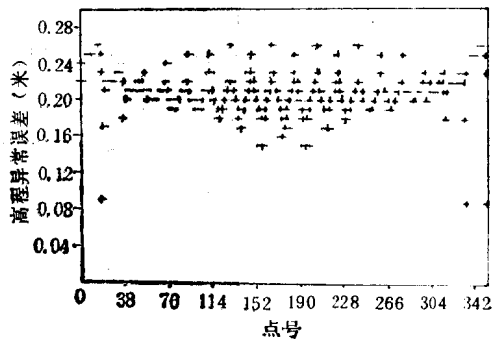


图3GPS水准网: 高程异常误差

GPS水准精度取决于GPS大地高的精度和正常高的精度。假定GPS大地高差误差为 $1E-6$, 正常高差误差为6厘米(以100公里三条水准连测路线计算), 则对于我们这里平均156公里的路线长度, GPS水准的精度估计为16.7厘米或1.1ppm (1ppm = $1/1000000$)。为了安全起见, 我们假定一二级GPS水准误差分别为0.4ppm (1:250万) 和1.33ppm (1:75万)。对于图1所示的理想化GPS水准网, 任意点相对1号点的高程异常误差如图3所示, 误差变化范围从0.15到0.26米(4个一级点的误差来统计在内),

平均误差为 0.209 米。这表明,按我们的布网方案,我国大地水准面平均 156 公里的分辨率可以精化到 0.2 米。

人们自然要问,上述的预期精度能否实现。当然这取决于许多因素,如星座、仪器、观测纲要与数据处理情况等等。如果我们工作做得好,上面估算的精度指标是完全可以达到的。关于 $1E-6$ 级的 GPS 大地网已不乏先例,可以见诸多文献。关于 GPS 水准网,我们可以援引欧洲北—南 GPS 导线的例子^[4],该导线沿联合欧洲水准网中的一等水准路线布设,导线的中段和北段(大约 3000 公里)在 1986—1987 年由挪威、瑞典、西德等国的测绘部门进行观测,包括 71 站,站距大约 50 公里, GPS 结果同水准高程结合得到的大地水准面高与几个重力大地水准面进行了比较, GPS 水准同其中被认为最好的丹麦大地测量局的重力大地水准面解,在 3000 公里的距离上符合到 ± 0.2 米。这样,文献 [4] 认为,用 GPS 水准测量 $\pm 1E-7$ 的相对高程精度在长距离上看来是可以达到的。我们可以援引的第二个例子,是我们在 1990 年 2—3 月于郑州、西疙疸(在山西平陆)、西安和礼泉(在陕西)所作的实验¹⁾。在该实验中,用两台 WM102 在其中两站同时观测,三小时观测组成一个时段,西安—郑州间,礼泉—郑州间观测了 6 个时段,西疙疸—郑州间观测了 3 个时段,西安—西疙疸间,西安—礼泉间观测了 2 个时段。根据不同基线各时段结果的中数计算椭球面高差分量的环闭合差如表 1。

表 1

闭合环路	环路长(公里)	闭合差(米/ppm)
西安—郑州—礼泉—西安	$428+473+60=961$	$-0.068/0.07$
西安—郑州—西疙疸—西安	$428+224+213=865$	$-0.090/0.1$

尽管这些数字或许过于乐观(由于每天用相同的卫星星座,不同天的观测相关),它们可以部分说明 GPS 大地高的精度是很好的。即使再顾及到精密水准测量的误差, GPS 水准得到的大地水准面高的精度仍然是很有希望的。

五、GPS 大地网对天文大地网的控制作用

协方差分析表明,地面大地网中引入稀疏的 GPS 点对于相邻大地点的相对精度没有改善,而对于任意大地点相对原点的精度却有明显改善。协方差分析还表明,地面大地网和 GPS 大地网的组合网的精度,在相当大的范围内对 GPS 测量误差反应欠敏感。例如,对于一个在其四角有 GPS 点控制的由 11×11 的三角点阵组成的等边三角网(平均边长 22 公里),当 GPS 基线水平分量误差从 0.1ppm 增大至 2ppm 时,组合网对纯大地网的平均精度增益,由 27.22% 变化到 23.81%。可见,优于 1ppm 的 GPS 观测精度,并不导致大地网精度的进一步明显改善。看来,1ppm 的 GPS 观测精度已足以控制天

1) 西安测绘研究所,布测 GPS 大地网的试验报告,1990 年。

文大地网。

设想我们有一条长约 4000 公里的等边三角锁, 见图 4。现在, 沿三角锁一侧每隔 10 条边 (220 公里) 布设一个二级 GPS 点, 每隔 45 条边 (990 公里) 布设一个一级 GPS 点。假定相邻三角点间的纵横向误差为 1:23 万, 且不相干; 一二级 GPS 基线水平分量误差分别为 0.2ppm 和 1ppm, 两个水平分量误差也不相关, 则对于大地网与 GPS 网的三种不同组合方式, 三角点的位置误差的模拟计算如图 5。该图表明, 对于纯三角锁情况, 位

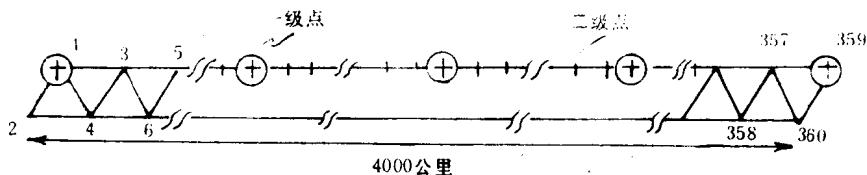


图 4 长三角锁

置误差随距离(点号)近似按抛物线增加, 最远点误差达 1.7 米; 对于一级网加三角锁的情况, 位置误差曲线象拱线, 拱线跨度为一级点距, 拱线最低点在一级点处, 最高点在相邻一级点之中央, 达 0.43 米; 对于一级网加二级网加三角锁情况, 位置误差曲线由许多毗连的小拱线组成; 每一拱线的跨度即二级站距 220 公里, 拱高为 0.22 米。各拱线的高度没有看得出来的变化。这意味着, 在 GPS 点的控制下, 在相邻 GPS 点之间三角锁的误差没有明显的积累现象。

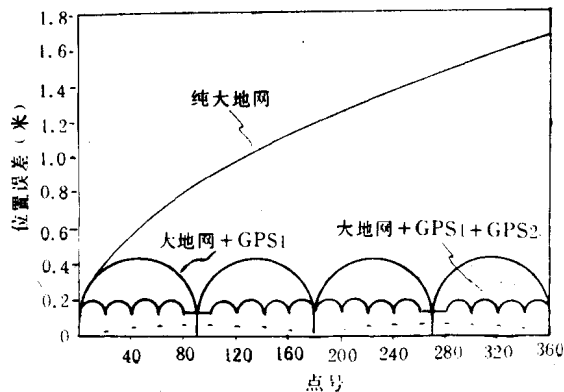


图 5 长三角锁: 位置误差

上面我们以长三角锁为例说明了 GPS 大地网对大地网的控制作用。对于全面网 (19×19 三角点阵, 三角边长为 22 公里), 我们也曾作过类似模拟计算。实际上, 全面网的精度比三角锁的精度要好。因此, 根据这些模拟计算结果, 我们可以推断, 在 GPS 测量精度为 1ppm 的情况下, 在按我们提出的布网原则布设的 GPS 网控制下的大地网中, 大地点的位置误差不超过 0.3 米。

六、水准网对天文重力水准网的控制作用

为了研究 GPS 水准网对于天文重力水准网的控制作用,我们考虑下面的简单情况。假设一条如图 6 所示的长 3000 公里二级天文重力水准路线(注意,为了使我们的假设接

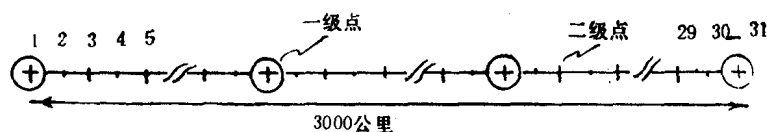


图 6 有 GPS 控制的天文重力水准路线

近实际,这里我们选择了有中等精度水平的二级天文重力水准为研究对象)。设每条水准边长为 100 公里,沿该路线每隔两条边(200 公里)布设一个二级 GPS 水准点,每隔 10 条边(1000 公里)并布设一个一级 GPS 水准点。还假设一二级 GPS 水准误差分别为 0.4ppm 和 1.33ppm,天文重力水准误差为 0.6 米(对于 100 公里边长),则在有到无 GPS 水准控制的条件下高程异常误差表示在图 7。图上点表示由纯天文重力水准得到的高程异常误差。如所预料,误差按 $0.04\sqrt{L}$ (米)(L 为路线长度,以公里计)的规律传播。在最远点(31 号点)误差为 3.27 米,大约相当于我国天文重力水准的最大设计误差。加号‘+’表示加入 GPS 观测后高程异常的误差。显然,它们比纯天文重力水准情况下的误差值小得多,足见 GPS 水准对天文重力水准的控制作用。注意,在天文重力水准点(偶号点),误差随至原点的距离增加缓慢。最大误差达 0.58 米。在天文重力水准和 GPS 水准的重合点(奇号点),误差明显小于相邻纯天文重力水准点的误差。由于单支线线几何强弱,误差随距离的积累现象仍然比较明显,在第 31 号点,误差达 0.41 米。

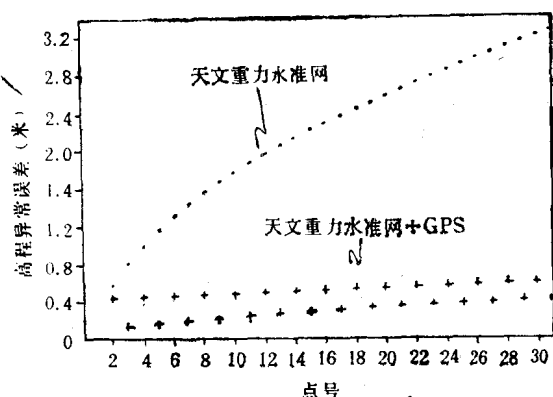


图 7 单支线: 高程异常误差

GPS 水准网对于天文重力水准网的控制作用是通过点重合实现的。两类网的重合点越多, GPS 水准的控制作用越强。由于水准测量受地形条件的限制,或许相当一部分 GPS 水准点不可能同天文重力水准点重合。这意味着, GPS 水准网对天文重力水准网的控制作用,实际上可能比图 7 所示的情况要差些。天文重力水准路线上,高程异常的误差在极端情况下可能接近或超过 0.6 米。

七、结 束 语

GPS 大地-水准网是 GPS 大地网和 GPS 水准网的组合,是一种特殊形式的 GPS 大地网。它主要作用在于,建立高精度大地测量控制,确定大地水准面。布测这样一种 GPS 网,可以检核和加强我国天文大地网,改善高程异常的精度,精化大地水准面,建立精确的地心坐标系和推求地心转换参数。

GPS 大地-水准网是国家空间网的重要组成部分,是 VLBI/SLR 网的加密网,又是天文大地网和天文重力水准网的控制网。因此, GPS 大地-水准网,与 VLBI/SLR 网,与天文大地网和天文重力水准网都应当有密切几何连接。比较合理的布设原则应当是, GPS 在一等三角锁系交叉处和锁环中央,一二等导线节点处和导线环内部。这些点应当是经直接水准连测或适宜水准连测的已知大地点,或直接水准点。

在 GPS 大地-水准网中,水平与垂直坐标的精度将达到基本匹配,水平位置精度可望在 $1E-6$ 量级,大地水准面的精度接近 20 厘米,分辨率平均为 156 公里左右。

GPS 大地-水准网对于天文大地网的控制作用十分明显。大地点相对原点的精度均匀性将明显改进,最大误差预计在 0.3 米以内,大约是纯大地网相应误差的 $1/4$ 。

GPS 大地-水准网对天文重力水准网的控制作用,将取决于两种网几何连接情况。如果保证足够数量的 GPS 水准点与天文重力水准点重合,天文重力水准路线上高程异常误差可望在 0.4 米以内。

参 考 文 献

- [1] Vanicek, P. *et al.*, The future of geodetic networks, Proceedings of the International Association of Geodesy (IAG) Symposia, 2, Hamburg, FRG, August 15—27, 1983.
- [2] 陶文中,我国天文大地网精度初探,测绘学报, 15(1), 1986。
- [3] 魏子卿、段五杏、夏健英,我国卫星多普勒网短弧法平差,军事测绘专辑, (17), 1986。
- [4] Wolfgang Torge, Tomislav Basic, Heiner Denker, Joachim Doliff, Hans-Georg Wenzel, Long range geoid control through the European GPS travers. Deutsche geodatische kommission bei der bayerischen akademie der wissenschaften, Beihe B angewandte geodasie heft Nr. 290, Munchen 1989.

OPINION ON ESTABLISHING A GPS GEODETIC-LEVELLING NETWORK

Wei Ziqing

(Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping)

Abstract

GPS Geodetic-Levelling Network (GPSGLN) is defined as the combination of a GPS geodetic network and a GPS levelling network. The GPSGLN is mainly used for establishing high-precision geodetic control and determining geoid heights.

Setting up a GPSGLN on a national scale is of great significance. This paper will deal with the set-up principle, estimate the network accuracy, and explore the role of the network in controlling the astro-geodetic and astro-gravimetric networks.

Simulation computation has shown that the accuracy of the horizontal position in GPSGLN would be at 0.21m level on the average, and that the accuracy of the height anomaly would be at 0.21m level as well. Under the GPSGLN's control, the errors in geodetic point position in the national geodetic network would be less than 0.3 m and the errors in height anomaly in the astro-gravimetric levelling network would be less than 0.6 m.

GPS 动态精密定位试验与 数据处理初步结果*

陈增强 王广运
刘烈昭 赵 洪

摘 要

本课题是中国科学院测量与地球物理研究所所长科研基金资助项目“差分 GPS 与动态精密定位”中的一部分,旨在研究利用 GPS 载波相位观测量进行精密动态相对定位测量。试验 ASHTECH-LXIIGPS 接收机用于动态精密定位的能力,验证其动态定位的精度。从 1989 年 4 月至 1990 年 8 月期间,我们利用三台 ASHTECH-LXIIGPS 接收机在湖北省内陆续进行了试验。在 30 米天线上进行了三次天线交换试验和三次动态定位试验。用 ASHTECH 的“ANTSWAP”软件对天线交换测量事后处理的初步结果表明:三次天线交换测量的重复精度水平分量在 1.8 毫米以内,垂直分量在 3 毫米以内。三次动态测量,用“KINSRVY”软件事后处理的结果表明:三次动态测量重复精度水平分量在 4.8 毫米以内,垂直分量在 5 毫米以内。在 30 米基线上进行动态定位测量与静态相对定位测量比较试验,水平分量误差在 0.96 厘米以内,垂直分量误差在 1.9 厘米以内。在 15 公里基线上进行了动态定位测量与静态相对定位测量比较的试验。动态相对定位试验数据事后处理的初步结果与两小时静态相对定位数据处理的结果比较,水平分量误差在 10 厘米以内,垂直分量误差在 18 厘米以内。

一、引 言

全球定位导航卫星系统(GPS) 24 颗正式工作的卫星将于 1992 年陆续布设完成。这将引起各行各业、各种用途的定位、导航的一场重大改革。GPS 定位与导航将取代原来的子午仪卫星导航定位系统和许多地面定位导航系统。为了发展和开拓 GPS 技术的应用潜力。各国竞相开展了用 GPS 技术的各种方式的定位和导航的研究和试验,以开拓 GPS 技术的应用领域提高其定位、导航精度。GPS 差分定位与导航、GPS 动态精密定位的研究和试验工作十分活跃,将为精度要求较高的各种应用提供高精度的定位与导航。

动态 GPS 精密定位是“差分 GPS 与动态精密定位”课题中的一部分。该课题获 1989 年中国科学院测量与地球物理研究所所长科研基金资助。差分 GPS 主要是研究:试验利用伪距观测量进行差分定位、导航,以提高定位、导航的精度,满足地球物理勘测、海洋地形测量、海道测量、海洋探矿、海洋石油开采、航空物探以及航空遥感等方面的应用要求。GPS 动态精密定位是研究:试验利用 GPS 载波相位观测量进行动态精密相对定

* 1990 年 12 月收稿。本课题参加者还有潘新、朱才连、刘大江、王大年、许大欣、魏二虎。

位,以满足要求精度高、速度快的大地测量以及海空重力测量、航空摄影测量、航空遥感海洋石油钻井平台精密定位的需要。通常差分 GPS 定位精度可达 10 米以内。动态精密定位在几十公里范围内可达十几厘米。GPS 动态精密定位的研究与试验包括如下两个主要方面的内容:(1) 天线交换测量的试验及数据的初步处理;(2) 动态精密定位测量及数据的初步处理。

二、天线交换测量试验及结果

1. 天线交换测量

天线交换测量可以精密确定近距离待定点相对于已知主控点的坐标位置,也可用来测定动态测量中移动接收机所在起始点的位置,还可以用来测定方位角。此方法是将主台接收机安置在附近的未知点上,共同观测 2—3 分钟,将主台的天线、接收机与移动台的天线、接收机相互交换位置,即主台天线、接收机移动到未知点上,移动台接收机移动到已知的控制点上,共观测 2—3 分钟后,各自返回到自己原来的位置上,再共同观测 2—3 分钟。经过事后数据处理就可得到测点相对于已知主控点的精密坐标位置。天线交换测量时要注意已知点和待测未知点的选择,一是两点之间的距离要尽量近,不要太远;二是周围无障碍物。这样便于天线交换,且出现跳周的机会也少。

2. 步骤和过程

(1) 将主台天线、接收机安置在已知点;移动台天线、接收机安置在未知点。分别进行对中,置平,并且使天线对准正北。在接收机测站文件屏上分别输入各自所在的站名。共同收集 2—3 分钟的数据,然后分别改变测站为四个问号“????”。

(2) 将两台天线、接收机互相交换。即主台天线、接收机搬到未知点,将移动台天线、接收机搬到已知点。将两台接收机所在的新站名输入到各自的接收机,并同时收集 2—3 分钟的数据,然后将两接收机的站名改为四个问号。

(3) 再一次将两接收机天线进行互换,返回到各自原来位置,并将现在所在站名输入到各自的接收机,同时观测 2—3 分钟,这样就完成了一次天线交换测量。这一过程只少进行两次,以确保一个完整的天线交换。

3. 天线交换测量及事后处理结果

1989 年 8 月—1990 年 8 月间在测量与地球物理研究所大楼顶 30 米范围内进行了三次成功的天线交换试验。三次的结果列于表 1。

表 1 三次天线交换测量重复精度

交换测量次数	纬度差(秒)	经度差(秒)	Δx (厘米)	Δy (厘米)	Δz (厘米)
2	-0.00002	-0.00004	-0.06	-0.102	+0.2
3	+0.00002	+0.00007	0.06	0.18	-0.3

该表的结果是以第一次天线交换测量的结果为基准,用第二次和第三次的结果同第一次的结果进行比较。从表 1 可以看出三次天线交换测量的结果是非常一致的。水平分量误差小于 2 毫米,垂直分量误差小于 3 毫米。

三、动态定位试验及初步结果

1. GPS 动态精密定位测量原理

GPS 动态精密定位是以 GPS 信号载波相位观测量为基础的。其测量是在有两个已知点的条件下进行,也可以用 GPS 静态相对测量或天线交换测量两种技术测得。将主台天线、接收机安置在基准控制点上,该点坐标是精确已知的。移动台天线、接收机安置在一个已知点上,该点的坐标也是精确已知的。主台和移动台接收机同时收集 2—3 分钟的数据,用来确定未知参数“整周期数模糊度解”,即载波相位在已知点上的整周期数。此值将代入整个动态测量之中。该值加上移动过程的连续的整相位周期数及待测点观测的整相位周期计数便可确定测点的整周期数模糊度解,当然必须保持在移动和观测过程中无跳周发生。当有 5 颗以上的卫星信号同时接收跟踪,卫星都有 15° 以上的高度角且有较好的 GDOP,那么个别的跳周现象是可以校正的。但当只有 4 颗卫星时,跳周就难以自动校正。因此在动态定位测量试验之前要做好如下三个方面的技术准备工作:

(1) 勘察测区现场,选择测点和测量移动路线,确信在整个测量移动过程中及测点上没有障碍物影响卫星信号的跟踪。

(2) 要预先根据卫星星历预报表选择好测量观测时间段。确保在动态测量期间能跟踪 5 颗以上的高度角在 15° 以上的可见卫星。

(3) 在动态测量前做好选择脚架、移动工具或车辆的工作。使整个动态测量期间,便于天线、脚架、接收机及电池一起移动,并尽量保持天线在移动过程中处于平移。还必须考虑到测点之后便于对中、置平和量取天线高,使整个操作过程在规定的时间内准确无误地完成。

动态测量的精度直接与已知起始点坐标的精度有关,因而在用静态基线测量和用天线交换测量获得的已知起始点的任何测量误差都会带入整个动态测量的结果之中,并随动态测量时间的延长而增加。因此,最好有少数测点进行重复测量以进行比较,在动态测量结束时要返回到已知点,以便获得较好的结果。

2. 测量操作步骤

动态测量时把主台接收机安置在已知的基准点上,移动台接收机安置在已知点上。该点是由静态相对测量或天线交换测量而得到的。移动台接收机就从这个已知点开始进行动态测量。

(1) 主台接收机和移动台接收机分别安置在基准点和已知点,经过对中、置平、输入接收机所在点的测站文件名,同时收集 2—3 分钟的数据后,输入接收机测站文件名四个问号,即????,并将移动台接收机、天线,移到下一个待测点。

(2) 安置好天线接收机,对中、置平后,输入新的测点站名,收集 2—3 分钟的数据,然