

海洋测绘

专辑第9期

海洋测绘专业委员会
第四次综合性学术交流会

论文选编

一九九二年十月

海洋测绘专业委员会
第四次综合性学术交流会

论文选编

前 言

中国测绘学会海洋测绘专业委员会三届二次会议暨第四次综合性学术交流会,于1991年10月在江苏省无锡市召开。会议收到论文44篇,其中有6篇在大会上作了宣读,还有4篇论文被会议评为优秀论文。根据会议决定,我们选编了其中25篇,包括有优秀论文(目录中黑体字篇名),表扬论文以及代表性的论文。现刊载出来,仅供测绘科技工作者学习与参考。

编 者

目 录

中国测绘学会海洋测绘专业委员会三届二次会议暨第四次综合性学术交流会纪要	(1)
GPS 联测海底控制网的数据处理及误差分析	李 明 徐德宝
(已在本刊 1991 年第 4 期上刊登,本辑略)	
扩展差分 GPS 的应用	徐德宝 (3)
海洋测绘中的 GPS 卫星定位问题	刘基余 (9)
GPS 定位系统在疏浚工程测量中的应用	郭文伟 (18)
海面的倾斜及其计算	张赤军 任 康 (23)
应用水文资料计算平均海面和海面地形	赵明才 王志林 (27)
灰色关联分析方法在研究渤、黄海平均海平面年变化中的应用	李作发 徐德宝 (38)
青岛平均海面趋势性变化与国家高程基准历元	董鸿闻 (41)
我国海域大地水准面的确定及其精度	杨震岱 (48)
海洋无线电定位测量后处理软件的研制	李晓东 代玉玲 (58)
海道测量中潮汐调和分析法的研究	刘雁春 慕景阳 (66)
用比较法确定平均海平面标高及其精度评定	薛荫林 (73)
制图综合若干理论问题的探讨	王厚祥 (79)
海图上海底地貌表示方法的研究	朱鉴秋 (84)
图书信息相关的航标数据库系统	赵玉柱 (91)
专题图集成图工艺的优选	贾建军 (103)
关于改进海图注记的几点意见	陈永珍 (106)
测绘自动化系统的水深数据处理与编辑	杨 龙 (109)
自动化航道测绘系统管理的探讨	万大斌 (114)
适航水探测量仪	龚建章 (120)
长江河道测绘系统的研制与应用	水利部长江水利委员会水文局 (124)
激光测距仪在测深定位中的斜距改平及投影归算	许家珉 (134)
大洋地质调查中的海洋专项测量	陈邦彦 吴锦儒 (140)
辽河三角洲浅海地形变化分析	杜景海 刘家伟 (146)
关于港口工程建筑物的沉降与观测问题	李 荫 (150)

中国测绘学会海洋测绘专业委员会 三届二次会议暨第四次综合性学术交流会

纪 要

中国测绘学会海洋测绘专业委员会三届二次会议暨第四次综合性学术交流会,于1991年10月15日至18日在江苏省无锡市召开。出席会议的有专业委员会委员和来自中国测绘学会、海军、国家测绘局系统、交通部、水利部、地矿部、能源部、高等院校、科研机构、测绘仪器生产厂的代表以及工作人员共58人,会议由海洋测绘专业委员会主任黄祖谟、副主任楼锡淳同志主持。经过与会代表和工作人员的共同努力,会议取得了圆满成功,现纪要如下:

一、10月15日召开了全体大会。黄祖谟主任致开幕词,会议东道主——国营江宁机械厂总经济师陈国华、《测绘学报》编辑部副主任俞雅珍、海军驻721厂总代表尹超、会议赞助单位代表——无锡仪表厂副厂长兼总工程师孙敬人在开幕式上讲了话。开幕式后,有6篇论文在大会上作了报告。国营江宁机械厂、无锡仪表厂、无锡工具量具厂力生测绘仪器研究所、香港拔萃工程有限公司、常州第二电子仪器厂、北京光学仪器厂、水利部长江水利委员会水文局介绍了各自的产品和科研成果,受到了与会代表的欢迎。

二、10月16日召开了专业委员会三届二次会议,出席会议的有18位委员。会上首先学习了江泽民总书记在科协四大上的讲话,总结了本届委员会成立两年以来的工作,然后对本届委员会的有关工作和今后的活动计划进行了认真的讨论。会议认为:在中国测绘学会的领导下,在挂靠单位海司航保部和各委员单位、测绘仪器生产厂家的支持下,由于全体委员和海洋测绘科技工作者的共同努力,专业委员会的各项工作取得了显著成绩,并被中国测绘学会评为先进集体。为了迎接“海洋世纪”的到来,适应人类向海洋进军的发展趋势,我们必须加倍努力,迅速发展海洋测绘科技。因此,摆在我们海洋测绘科技工作者和学会工作者面前的任务十分繁重的,进行学术交流,是促进科技发展的重要形式。为了搞好学术交流,要求秘书组进一步安排好今后的学术交流活动,使其在内容上更能体现出海洋测绘科技的发展与进步;形式上更加活跃。

为了扩大学术交流面,会议希望继续办好《海洋测绘》刊物,也希望委员单位和厂

大海洋测绘科技人员在各方面给予积极支持。

经过会议讨论决定:1. 1992年7月,协助中国测绘学会举办全国青少年测绘科技夏令营;2. 1992年10月在天津塘沽召开海洋测绘专业委员会成立十周年庆祝大会暨第五次综合性学术讨论会;3. 1993年在面安召开以江河测绘为重点的综合性学术讨论会。

三、会议收到学术论文44篇,除6篇在大会上交流外,其余都在分组会上进行了交流。通过交流,可以看出,海洋测绘科学技术近几年来有了很大的发展,比较突出的方面有:海洋大地水准面、平均海面 and 海面地形基础性理论的研究;GPS在海洋测绘中应用的研究;测深自动化系统的研究;计算机技术在海洋测绘中应用的研究等。经过群众评议和专家评审,评出优秀论文4篇,分别是:赵明才、王志林的“应用水文资料计算平均海面和海面地形”,王厚祥的“制图综合若干理论问题的探讨”,李明、徐德宝的“GPS联测海底控制网的数据处理及误差分析”,李晓东、代玉玲的“海洋无线电定位测量后处理软件的研制”。另外,王大斌、杨龙、贾建军等人的论文被评为表扬论文。

四、会上,专家们还提出了下列几项有益的建议:1. 希望有关单位和部门加强海洋观的教育,提高海洋国土意识,重视海洋划界和对海洋的科研、开发利用工作;2. 加强海洋测绘的协调工作,海洋测绘的科研、生产、数学应统筹安排,通免重复劳动、重复引进所造成的流费;3. 我国已引进多套海图自动化制图系统,希望持有此系统的单位尽快消化吸收,尽快应用于生产,充分发挥引进设备的技术优势。

五、国营江宁机械厂、无锡仪表厂、无锡工具量具厂力生测绘仪器研究所、香港拔萃工程有限公司、常州篇二电子仪器厂、水利部长江水利委员会水文局、北京光学仪器厂等单位,不仅向大会介绍了产品,交流了信息,而且还向会议提供了经费资助。另外,江宁机械厂不但给予了大力赞助和支持,还承担了繁重的会务工作;上海测绘学会为部分代表返程中转提供了方便。上述单位的赞助和工作,是这次会议取得成功的保证,专业委员会和与会代表,向他们表示衷心的感谢!

扩展差分 GPS 的应用

武汉测绘科技大学 徐德宝

前 言

差分 GPS 技术已广泛应用于飞机、舰船的导航定位,空中和海上交通管制,海洋测量、海洋资源勘探和海上工程建设施工,以及国防等各个领域。特别是当美国实行选择可用性(SA)政策,民用 C/A 码定位精度将降低约 100 米的情况下,若采用差分 GPS 技术,C/A 码仍可达到米级定位精度。一般差分 GPS 方法的主要问题是受距离的限制。当用户距监测站超过 100 海里以上,不仅数据传输困难,更主要的问题是差分 GPS 的精度将会降低。本文介绍的扩展差分 GPS 方法,使用户通过接收专门发播的扩展差分 GPS 电文,获得校正值,即使用户距扩展差分 GPS 主站在 1 000 海里范围内,仍可获得优于 10 米的定位精度。

一、差分 GPS 及其误差

一般的差分 GPS 伪距相对定位,除用户接收机外,还要在一已知点上安置一台接收机,同时对相同的卫星进行观测。按差分原理,由基准站监测 GPS 系统的误差,并按规定的时间间隔,定时的把误差值(即校正值)等数据传播给用户,用户利用收到的信息,对观测值予以改正,从而实施实时定位。

差分 GPS 的工作方式,根据不同的需要,既可由监测站发播伪距改正值及变化率,或坐标校正值及变化率等信息给用户,由用户利用校正值对观测值进行改正;也可由用户发播伪距或位置数据给监测站,由监测站进行处理。必要时,把校正后的精确伪距或位置数据再转发给用户。

差分 GPS 方法它能够有效地改善民用 C/A 码的定位精度,是因为它一方面能消除诸如卫星钟差、SA 误差等影响,另一方而对星历误差、电离层传播延迟等影响又能予以削弱,从而提高定位精度。图 1 是二维 GPS 定位精度曲线。横坐标表示平面位置(米),纵坐标是置信度(%)。图中 A 代表 P 码和双频定位精度曲线;B 是 C/A 码定位精度曲线;C 是 SA 情况下的 C/A 码定位精度曲线;D 是民用 C/A 静态差分 GPS 定位精度曲线(在 200~500 公里范围内)。可见,在一定范围内,差分 GPS 可获得比精密定位一样或更好的精度。国内一些差分 GPS 试验结果也表明,在 100 海里范围内,动态(舰船)差分 GPS 定位可达到 $\pm 5 \sim \pm 10$ 米的精度。

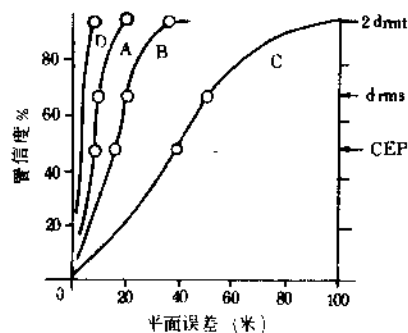


图 1

差分 GPS 的误差,主要是与用户位置有关的误差,例如电离层延迟、对流层延迟、卫星星历误差。电离层延迟和卫星星历误差的影响,采用差分 GPS 可以削弱,但不能完全消除。至于对流层延迟,差分 GPS 是无效的。除此之外,还有接收机本身的误差(噪声)以及信号的多路径效应误差等。接收机噪声可以采用卡尔曼滤波器减少它。多路径效应,使用专门设计的多路径抑制天线,可以显著降低其影响。所以差分 GPS 的误差主要为星历误差、电离层延迟和对流层延迟影响。特别是前两项误差影响,随著用户距监测站的距离增大而迅速增加。表 1 列出了差分 GPS(预估)误差,以及用户距监测站的距离之间的关系。

差分 GPS 误差估算

表 1

距离 (海里) \ 误差源	0	100	500	1 000	2 000
时钟误差	0	0	0	0	0
星历误差	0	0.1	0.5	0.9	1.8
选择可用性(SA)	0	0	0	0	0
电离层延迟	0	2.2	4.9	6.4	8.2
对流层延迟	0	1.8	1.8	1.8	1.8
接收机噪声	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
多路径效应	0	0	0	0	0
用户等效距离误差(2dRMS)	0.9	3.0	5.3	6.8	8.6
导航精度(HDOP=1.5)	2.7	9.0	15.9	20.4	25.8

二、扩展差分 GPS 原理及其应用

文献[1]提出的扩展差分 GPS 方法,其原理如图 2 所示。它由各差分监测站与一个或多个主差分站组网而成。主站的任务是:接收来自各个监测站的差分 GPS 误差校正值,然后将其组合起来,以形成在扩展区域内有效的差分 GPS 电文;通过卫星线路,以 10 秒的时间间隔把扩展差分 GPS 电文发送给扩展区域内的用户。这种方法能使距主站 1 000 海里范围内(如图 2 中虚线区域)的用户,获得定位精度优于 ± 10 米的服务。在美国,只需要两个主站,就能把差分 GPS 服务覆盖整个美国大陆,甚至包括太平洋和大西洋沿岸海域。

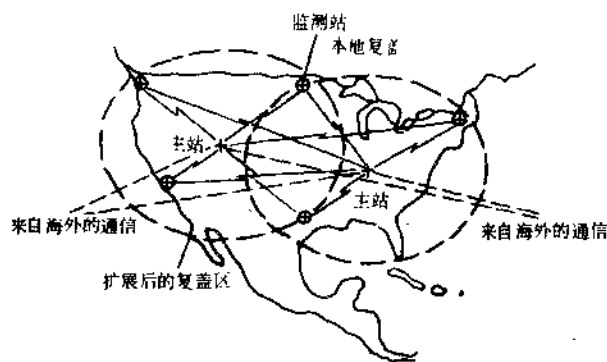


图 2

差分 GPS 的主要误差源是电离层延迟、对流层延迟以及卫星星历误差。因此,扩展差分 GPS 电文必须包括电离层模型、对流层模型和卫星星历估算。

为了使单频 C/A 码用户能对电离层延迟误差进行部分补偿, GPS 卫星广播电文提供一种 8 系数电离层模型。利用该模型计算电离层延迟校正,能消除总延迟影响的 50%,这是因为该模型的系数是根据全球电离层性能的经验模型计算的。而实际上,电离层的瞬时相关性很低,若想要对电离层延迟影响进行更精确的校正,可采用双频接收机,或者以实际测得的电离层分布对电离层模型进行修正。美国提出用扩展差分 GPS 的电离层模型和 Bent 模型的组合,作为扩展差分 GPS 的电离层模型。Bent 模型,主要是确定电离层的 TEC 值(总电子含量)。Bent 模型的输入参数是日期、时间、发射机和接收机的位置,卫星的仰角和高度的变化率,工作频率、太阳波动和太阳黑子数等。而其输出则为发射机上空的垂直电子含量、垂直电子密度随高度的分布以及沿卫星和地而之间路径的 TEC 值。显然,只要输入本地的数据,就能得到本地的电离层分布特性。扩展差分 GPS 网的主站,利用各监测站到不同卫星的电离层测量数据来修正 Bent 模型,从而产生新的 8 个系数的方程组,进行最佳拟合,得到一个修正了的 8 系数 GPS 电离层模型,称为扩展差分 GPS 电离层模型。其原理如图 3 所示。然后通过扩展差分 GPS 电文发播给用户使用。试验表明,在离开主站 1 000 海里范围内的单频 C/A 码用户,利用扩展差分 GPS 电离层模型电文计算电离层延迟校正,可近似消除总延迟影响的 80%;而剩余的电离层延迟误差影响将不会超过 2 米。

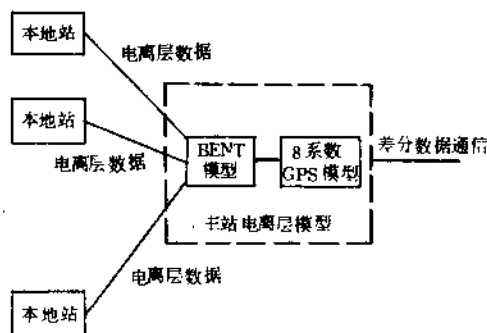


图 3

由于差分 GPS 对消除对流层延迟影响是无效的,因此,必须设计对流层延迟模型来进行改正。目前各种对流层延迟模型很多。经常用到的有 Black 公式、Hopfield 公式以及我校施品浩教师提出的公式等。虽然计算的繁简程度不同,但计算结果的精度大体相同。最简单的对流层延迟公式可表示为:

$$c\Delta t = N_0 H_0 e^{-H/H_0} \cdot \operatorname{cosec}(E_1)$$

式中: N_0 为平均表面折射系数; H_0 为对流层高度; H 为用户高度; E_1 为卫星仰角。文献[1]提出的扩展差分 GPS 电文中的对流层延迟模型,是由美国空军坎布里奇研究实验室(AFCRL)设计的,它也表达为表面折射系数、高度和仰角的函数。它由主站利用各监测站覆盖区内得到的表面折射系数,通过三系数拟合,对 AFCRL 模型进行实时修正,作为扩展差分 GPS 对流层延迟模型。然后以扩展差分 GPS 电文形式发播给用户。这样,通过校正后,剩余对流层延迟影响预计不会超过 1 米。

若 SA 实现,民用 C/A 码用户要得到精密星历数据是困难的。目前,许多国家都建立了 GPS 跟踪网,以便通过事后处理获得精密 GPS 卫星星历数据。例如,国际协同 GPS 网(CIGNET)提供的精密星历精度约为 1×10^{-7} 。我国也正在建立 GPS 跟踪网。若采用扩展差分 GPS 网,由主站发播的扩展差分 GPS 电文中,提供每颗卫星的星历误差分量 ATK(沿轨道方向即切向误差),XTK(垂直轨道方向即法向误差),RAD(径向误差)和时钟偏差(包括因发送电文时间间隔引起的 SA 误差和卫星星历数据中的时钟偏移),那么经校正后,可以获得与跟踪网同样精度的卫星星历。这可以使在 1000 海里范围内的用户,把由星历数据误差引起的差分误差减小到 1 米以下。卫星星历误差分量 ATK、XTK、RAD 和时钟偏差分量是不难求得的。我们可以如同对四颗卫星或更多颗卫星进行伪距观测,采用最小二乘法求解测站位置和钟差一样,只要在四个或更多个监测站上同时对同一颗卫星进行伪距观测,同样采用最小二乘法,便可求解出卫星的位置误差 ATK、XTK、RAD 和钟差。

目前美国海运事业无线电技术委员会(RTCM)关于差分 GPS 的专门委员会(SC)-104,已经以标准的数据格式发播差分 GPS 导航电文,为 100 海里内的用户提供伪距校正。同时,RTCM

(SC)-104 也已初步规定了用作扩展差分 GPS 发播电离层延迟模型、对流层延迟模型和卫星星历误差估算的电文形式,如表 2 所示。

扩展差分 GPS 电文

表 2

电 文 型	数 据 内 容
1—距离误差	卫星时钟 SA 和径向位置误差
15—电离层	修正的 8 系数电离层模型
对 流 层	修正的 3 系数 AFCRL 对流层模型
17—星 历	每颗卫星在 t_{sc} 时刻的 ATK 和 XTK 误差

扩展差分 GPS 的导航定位精度,在利用扩展差分 GPS 电文的校正值,采用具有卡尔曼滤波器的接收机和多路径抑制天线的情况下,在 1 000 海里范围内,预期可以达到 ± 8 米左右,这就解决了普通差分 GPS 受距离限制的问题。表 3 列出了扩展差分 GPS 的误差估算。

扩展差分 GPS 误差估算(1 000 海里)

表 3

误 差 源	误差估算(米)
空间部分	$\left\{ \begin{array}{l} \text{时钟偏差} \\ \text{星历误差} \\ \text{SA 误差} \end{array} \right\}$ 0 0.9 0.3
大气效应	$\left\{ \begin{array}{l} \text{电离层延迟} \\ \text{对流层延迟} \end{array} \right\}$ 1.8 0.3
用户部分	$\left\{ \begin{array}{l} \text{接收机噪声} \\ \text{多路径效应} \end{array} \right\}$ 0.9 0
用户等效距离误差	2.4
导航精度	$\left\{ \begin{array}{l} 2\text{dRMS} \\ \text{HDOP} = 1.5 \end{array} \right\}$ 7.2

美国政府出于自身利益的考虑,特别是在战时,是一定要实施 SA 政策的,我们必须研究相应的对策。本文介绍的扩展差分 GPS 网是一种值得重视和采取的对策。我国的 GPS 跟踪网正在建立。事实上,只要将其中的四个站(例如北京、上海、昆明、乌鲁木齐)选作为扩展差分 GPS 网的主站,就可以将差分 GPS 服务覆盖全国陆地和海域(见图 4)。至于扩展差分 GPS 电文的发播问题,通过我国自己发射的通讯卫星线路,可以为此提供服务。一旦建立起我国自己的扩展差分 GPS 网,那么,即使在实施 SA 的情况下,我国那些要求定位精度达到 10 米以内的用户,例如海上石油钻井、海底地形勘探、地震探测、海底管道敷设、三维地震调查、进出港及窄航道航运工程、精密海洋测绘、港湾工程以及飞机场着陆导航、军事等都能获得高精度的导航定位服务。它既经济,服务面又广,易于在全国范围内实现。

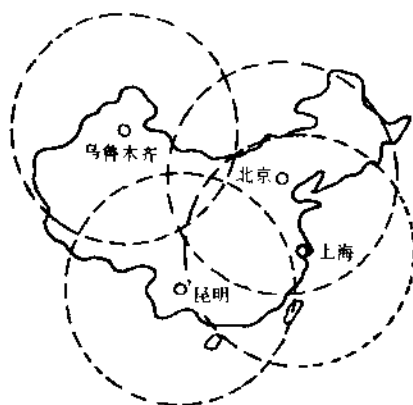


图 4

参 考 文 献

- [1] Alison Brown, Extended Differential GPS, navigation Vol36, No. 3, FALL, 1989
- [2] 钱天爵、翟学林: GPS 全球定位系统, 海军出版社, 1989

海洋测绘中的 GPS 卫星定位问题

武汉测绘科技大学 刘基余

提 要

GPS 卫星定位技术,是开展海洋综合测绘的一种高效手段,如何在海洋测绘中充分发挥 GPS 技术精确快速定位的特长,是值得认真研究的重大课题。为此,本文较详细地论述了下列几点:

1. 根据边长和动、静态定位需要,选购适宜的 GPS 信号接收机;
2. 从海洋国土整体着眼,精心设计 GPS 海洋定位网的全网结构;为便于评定 GPS 数据质量,宜采用闭合环路式结构;
3. 正视 SA 技术对实时定位精度的损失,运用求差法削弱 SA 技术的影响。

随着人们海洋国土意识的日渐浓厚,海洋开发已成为海洋国家科技发展的战略目标之一。我国既拥有近千万平方公里的陆地,又拥有约 300 万平方公里的辽阔海域,是一个陆地—海洋大国。根据初步统计,我国拥有长达 18 000 多公里的海岸线,21 000 万亩的海岸地带,6 500 多个面积在 500 平方米以上的岛屿,其中有人居住的海岛达到 450 个。沿海滩涂约有 1 000 万亩可供围垦,近 3 000 万亩可供养殖。我国的大陆架储藏着丰富的石油,国外有人预测,我国大陆架储藏着 43~143 亿吨的石油;此外,我国海域还具有极其丰富的渔业资源和金刚石、铬、玻璃砂、铝、铅、独居石、锆石英等矿产。为了维护我国海洋国土的完整,开发和利用海洋资源,测绘是一项超前期的基础性建设。然而,直至 1991 年 4 月,国家还未在如此辽阔的海洋国土上进行综合测绘的规划。建国 40 多年来,仅仅在不足 40% 的海洋国土上进行了某种单一要素的海洋测绘工作^[1]。究其原因是多方面的,但是,缺乏必配而先进的技术设备,是一个重要的因素。

GPS 卫星全球定位系统的问世,为海洋测绘,特别是海洋大地测量,开创了新的技术途径。且不论国际上用 GPS 进行广泛的海洋测绘现况,仅就我国用 GPS 技术作陆海联测之例,便可看出它的锦绣前景。自 1988 年以来,我国多次用 GPS 卫星定位技术进行了陆地、海岛联测。特别是 1990 年 3、4 月间的陆地——南沙岛礁联测,采用 3 台 WM102 GPS 双频接收机,完成了南海 5 个岛礁 8 个点位和陆地上 4 个大地测量控制点之间的 GPS 联测,初步建立了陆地南海大地测量基准。这次测量的站间距离,最远达到 808 687.519 米,若用常规大地测量技术是无法实现的。尽管 GPS 卫星定位技术已在我国海洋测绘中显示了它的强大生命力和广阔应用前景,但是,如何充分发挥 GPS 技术,快速经济和精确实时的优越性,获取高精度的 GPS 测量成果,仍有一些值得深入研究的问题。本文仅对几个使用问题,略述笔者之见。

1. 根据边长和动、静态定位需要,选购适宜的 GPS 信号接收机。

在海洋国土上进行 GPS 测量时,相对于陆地定位测量而言,通常认为存在下列两大特点:(1)在许多场合下,不得不设置较远的站间距离;对于远海岛礁的联测,站间距离往往远达上千公里;

(2)既要作陆—岛和岛—岛联测的静态定位,又需要进行测量船或某种海上设施的动态定位。如何依据这种边和动、静态定位需要的特点,选购适宜的 GPS 信号接收机,是值得认真考虑的。

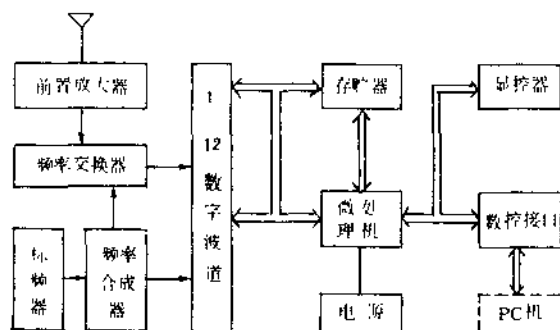


图1 GPS信号接收机的基本结构

GPS 信号接收机,是一种能够接收、跟踪、变换和测量 GPS 信号的卫星信号接收设备。GPS/GLONASS 信号接收机,则是一种能够同时接收、跟踪、变换和测量 GPS 信号和 GLONASS 信号的卫星信号通用接收设备。对于后者,目前已由 Magnavox 公司研制成功了试验样机。美国 Ashtech 公司拟与苏联合作研制 GPS/GLONASS 信号接收机。对于前者,国际上目前约有 50 个厂商生产着近 100 种用途广泛的 GPS 信号接收机。尽管它们的性能各有差异,但是,它们的基本结构是相同的,且可概括成如图 1 所示的形式。按其工作原理之异,可将它们分成码接收机和无码接收机两大类型。所谓码接收机,是一种直接利用 GPS 卫星所发送的导航电文和伪噪声码进行定位的接收机;无码接收机,则是一种不可能获得 GPS 卫星导航电文,而利用载波或码率波为采集定位数据的接收机。由于码接收机所用载波相位测量技术的成熟和发展,无码接收机的优越性日渐淡化了。对于海洋测绘用户而言,考虑到动态和静态定位的需要,只能选购码接收机,例如:用 C/A 码和载波相拉测量的 Trimble 4000SST 和 Ashtech LD-XI 双频接收机。目前,上述两家公司均开发和研制成功了 P 码接收机。

在 GPS 信号传播误差中,电离层时延的不规则变化,是损失定位精度的重要误差源之一,而电离层时延

$$\Delta t_{ion} = \frac{40.3}{c f^2} V_t$$

式中:c——电磁波的传播速度;

f——电磁波的频率;

V_e ——电子密度,它是沿波径的每平方米的电子数。电子密度既有周日性、周月性、季节性、地理性和 11 年循环性的规则变化,又有强烈起伏和突发性的不规则变化。

从上式可见,在一定的频率下,电离层时延随着电子密度的不同而变化。例如:对 1.5GHz 的电磁波而言,当 V_e 在 $10^{16} \sim 10^{19} \text{E1/m}^3$ 变化时, Δt_{ion} 则在 0.597~597ns 变化。为了控制电离层时延变化所引起的定位精度损失,应该进行实时实地的电离层时延改正。为此,武汉测绘科技大学选购了 GPS 双频接收机(4 台 Trimble4000SST)。1990 年 6 月的实践表明,当站间距离在 40km 以上时,单频和双频的相对定位成果相差较大,且存在着明显的系统性偏差(如表 1)。从表 1 可见,当站间距离在 30km 以上时,必须采用双频接收机进行精密的 GPS 测量。

相对定位时单频和双频成果的较差

表 1

内 容 \ 边 名	70—75	75—71	75—87
站间距离 D(m)	45451.908	73533.468	63576.980
单双频的 $\Delta D(\text{m})$	+0.140	+0.300	+0.757
单双频的 $\delta \Delta x(\text{m})$	-0.130	-0.369	-1.269
单双频的 $\delta \Delta y(\text{m})$	+0.157	+0.227	+0.758
单双频的 $\delta \Delta z(\text{m})$	-0.056	-0.014	-0.044

但是,经过双频观测的电离层时延改正以后,并没有完全消除电离层效应的影响,而存在着电离层时延改正残差;其大小,目前尚无定论。有的学者认为,电改残差可达 $\pm 3\text{m}$;有的认为电改残差只达 $\pm 1\text{m}$;甚至有的学者则认为,电改残差仅为 $\pm 10\text{cm}$ 。这些结论互差一个数量级,尽管如此,但大家一致认为,双频观测确实能够显著提高 GPS 卫星定位精度,而主张广泛应用双频接收机。

可见,海洋测绘用户,宜选购具有下述特点的 GPS 信号接收机:

(1)具有 1 秒数据更新率的码接收机;

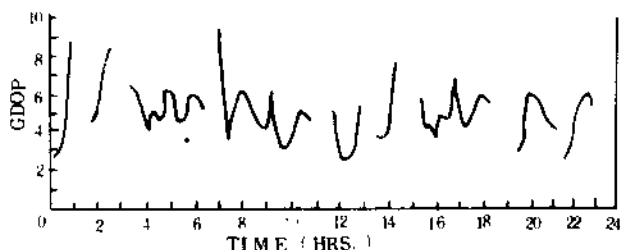
(2)具有速度测量和定时功能的双频接收机;

(3)附设带有抑径板或抑径圈的 GPS 信号接收天线,以便有效地减小多路径效应对定位精度的损失。

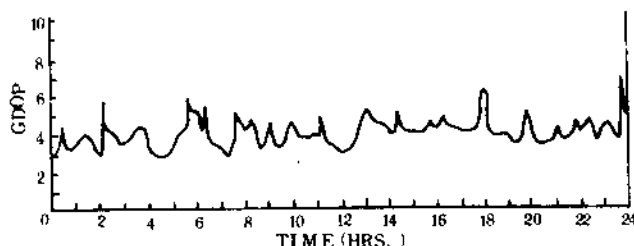
90 年代中期, GPS/GLONASS 信号接收机可能成为具有较强竞争能力的商品接收机。这种集成接收机,不仅能够以较短的数据采集时间而获得较高的定位精度,而且能够选取较长的最佳观测时段。从图 2 可见,仅用 GPS 星座定位时,若要求 GDOP 在 5 以下,一天内的最佳观测时段存在着许多间隙区;若用 GPS/GLONASS 混合星座定位,它的间隙区就少得多。因此,仅从能够维持较长的最佳观测时段出发,海洋测绘用户宜选购 GPS/GLONASS 集成接收机。

2. 从海洋国土整体着眼,精心设计 GPS 海洋定位网的全网结构,为便于评定 GPS 数据质量,宜采用闭合环路式结构。

在北起鸭绿江口,南达北仑河口 300 万平方公里的海洋国土上,包括台湾省所辖海域在内,初步统计,需要测设约 450 个 GPS 点位。为了方便起见,我们按照 GPS 站址所在位置,分成下述几种



(a) 21 颗 GPS 卫星星座的 GDOP 随时间的变化



(b) (21+24) GPS/GLONASS 星座的 GDOP 随时间的变化

图 2

GPS 网;用于建立陆地——海洋大地测量基准的 GPS 海洋定位网;设于基本验潮站的 GPS 潮站网;处于重要岛礁要地的 GPS 岛礁网;用作领海基点网,用于专属经济区和大陆架划界的 GPS 界点网。在这些网中, GPS 海洋定位网,是海洋综合测绘工作的基础性建设,覆盖着整个海洋国土。因此,应该按照 GPS 测量特点,精心设计 GPS 海洋定位网的网形结构。

1990 年 4 月下旬到 8 月上旬,笔者曾网次率队先后奔赴湖北崇阳和大兴安岭地区,用我校购得的 4 台 Trimble 4000SST 双频接收机,测设了两个 GPS 卫星定位网共 106 个点位,其覆盖面积为 7 万多平方公里。在设计这两个 GPS 网时的原则是:着眼于整个测区,固定全网结构;立足于测区实际,精心设计全网中的每一个闭合环路。实践证明,这种设计思想,能够确保采集高质量的 GPS 数据。为了说明这种网形设计和施测方法,用图 3 作例;它既表示了网形结构的设计,又说明了用 4 台接收机时的实测方案。从图 3 可见,首先设计了一个能够覆盖整个测区的网环路 (NETL),它由下列点名构成:01-02-04-06-07-08-10-26-24-22-21-19-18-17-01;进而将网环路分割成下述网个子环路 (SUBL):(1)01-02-04-06-07-08-10-11-13-15-16-01;(2)01-17-18-19-21-22-24-26-10-11-13-15-16-01。依据不经过任何

平差处理的 GPS 数据, 计算网环路和子环路(统称为异步环路)的坐标闭合差, 它和同步环路闭合精度相结合, 便可评定 GPS 数据质量的高低。

异步环路的坐标闭合差(未经过平差处理)

表 2

项 环 目 名	环路 点数	观测 工天	坐 标 闭 合 差				环路 长度	闭合 精度
			dx(mm)	dy(mm)	dz(mm)	dh(mm)		
SUBL-1	12	6	-057	+181	+225	+289	279117.500	1.05
SUBL-2	18	9	+234	-223	+427	+148	376346.296	1.42
SUBL-3	18	8	+215	-010	+037	+051	330278.307	0.66
SUBL-4	16	8	-316	+086	+171	+286	308508.642	1.20
SUBL-5	13	7	-090	+195	+279	+350	318162.263	1.11
SUBL-6	13	6	+402	-464	-069	-444	393279.792	1.57
SUBL-7	18	11	-758	+309	-137	+328	632860.636	1.33
NETL	32	18	+243	-411	+100	-230	972300.551	0.55

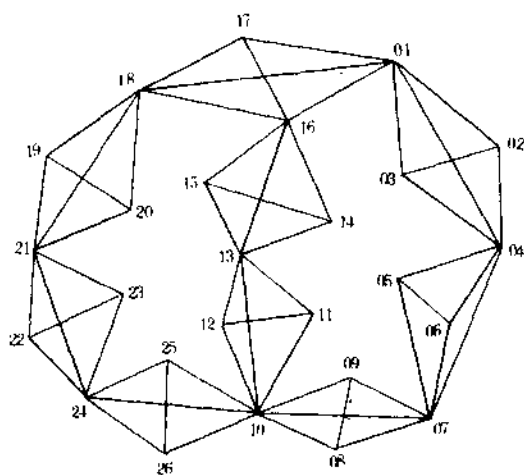


图 3 GPS 网的网环路和子环路

表 2 列出了大兴安岭东测区 GPS 卫星定位网 8 个异步环路的闭合精度^[3]。表列数据表明, 没有经过平差处理的 GPS 数据算得的异步环路闭合精度, 最低者为 1.57PPM(环路长度为 393km), 最高者达到 0.55PPM(即千万分之五点五)。由此可见, 所采集的 GPS 数据具有较高的质量。为了及时发现 GPS 数据采集中的问题, 笔者还对每一个时段所测得的成果进行质量评定。在图