

工作研究

# GPS 技术在山东省大地测量中的应用

胡艺博,甘济五,田纪飞

(山东省地理信息中心,山东 济南 250013)

全球定位系统(Global Positioning System—GPS)是美国国防部于20世纪70年代初开始设计、研制并于1993年底建成的军民两用卫星导航定位系统。它的建立不仅使导航技术和定位技术产生了根本变革,且对空间技术、军事、地学研究、交通运输等诸多领域及社会生活的各个方面都产生了重大影响。GPS技术在测量领域中的应用,使平面控制测量手段进入到一个崭新的时代。

大地测量是为测制地形图和保证工程建设提供地面点位的(三维)坐标、距离、方向和重力。同时为研究和测定地球形状、大小和重力场以及研究地壳形变、地震预报等科学问题及航空航天技术提供数据资料。山东省基础性的平面控制网、高程控制网是于20世纪50—70年代布测完毕的,国家重力基本网也于1985年建成并使用。进入20世纪90年代,仅存的基本控制点已无法满足山东省乃至全国经济建设的需要。山东省内主要测绘生产单位自此开始对GPS技术进行论证,进入21世纪,GPS接收设备迅速普及到全省各专业测绘单位,逐渐替代传统的平面控制测量方法,GPS技术在山东省的大地测量中得到了广泛应用。

## 1 国家高精度 A 级 GPS 网

国家高精度 A 级 GPS 网是全国建立各种高精度 GPS 测量网和有关定位与导航服务体系的基础,并为我国地球动力学研究提供服务。全网共布设27个点。山东省内设威海1点,该点座落在威海市环翠区蒿泊镇朱家洼村。1992年7月—8月5日,国家测绘局、地质矿产部、中国石油天然气总公司、国家地震局、中国煤田地质总局等部门共同组织20

多家测绘单位参加联测(即中国'92 GPS 会战),国家地震局测量大队承担威海点的施测。

为了及时准确地求定国家 A 级 GPS 网与国家天文大地网之间的转换参数,山东省测绘局承担威海 A 级点与国家天文大地网的平面坐标联测和高程联测。1994年1月10—15日,山东省第一测绘院使用3台威特200型GPS接收机,按C级GPS网观测精度,采用每日观测2个时段,每时段观测90 min的方法,联测国家天文大地网中的南玉皇庙(I等)、猴子山(II锁)、老虎窝(II锁)、正棋山(II锁)等4点,求得威海A级点在1980西安坐标系中的高斯平面坐标。高程联测采用三等水准测量的方法,起闭于I沙青83、I沙青86两点(12.9 km),组成附和水准路线,求得该点1985国家高程基准的高程值。国家高精度A级GPS网成果于1995年12月28日正式启用。

## 2 国家高精度 B 级 GPS 网

为“中国现今地壳运动和地球动力学的研究”及在全国范围内建立高精度的三维大地控制网,以加强检核和改造全国天文大地网精度,精化大地水准面,建立国家亚米级高程基准,并提供WGS-84地心坐标与我国大地坐标系的转换参数,统一我国陆地和海洋的大地测量基准,国家测绘局于1991年决定在全国范围布测国家高精度B级GPS网,该项工程是国家测绘局“八五规划”重点工程项目。

山东省境内的布测工作由国家测绘局第二大地测量队承担,1993年5月—1995年末分3期完成全部工作内容。1993年5月,第二大地测量队进入辽、冀、京、津、鲁、豫、皖测区开始首期作业,首期工

\* 收稿日期:2008-06-17;修订日期:2008-07-24;编辑:曹丽丽

作者简介:胡艺博(1956-),男,山东济南人,高级工程师,主要从事测绘产品质量检验工作。

程在山东省的中西部地区布测网点15个。作业依据《全球定位系统(GPS)测量规范》以及《国家高精度GPS网项目设计书》等技术规定。使用4台阿什泰克MD-X II型GPS接收机施测。1994年,该大队在山东省境内胶东地区布测网点9个,1995年布测了青岛验潮站(GH07)、千里岩(GH06)、朝连岛(HH01)、平山岛(HH02)4点,使用7台阿什泰克MD-X II型GPS接收机施测。

国家测绘局于1993年底修改国家高精度B级GPS网技术规定,对异步环的边长数由原12条改为6条;异步环边长总长度由原2 000 km改为1 000 km。为此,第二大地测量队于1995年对网中异步环边数超过6条的图形进行补测,其中涉及山东省的有GS71,GT11,GS58,GS59四点。

全国范围的国家高精度B级GPS网的外业布测工作到1996年底全部结束。内业资料整理与数据处理工作由国家测绘局大地测量数据处理中心从1994年开始,到1997年12月全部完成。整网约束平差后,相对于国家高精度A级GPS网框架,水平方向优于0.05 m;垂直方向优于0.10 m。平均点位中误差水平方向 $\pm 0.013$  m;垂直方向 $\pm 0.026$  m。基线相对精度达 $10^{-7}$ 。1998年11月2日,国家测绘局下发国测国字[1998]19号文,正式启用国家高精度B级GPS网成果。

### 3 中国地壳运动观测网络

由国家地震局牵头,总参测绘局、中国科学院、国家测绘局参加的中国地壳运动观测网络,是“九五”期间国家重大科学工程。在全国设GPS基准站25个,GPS基本站56个,GPS区域站1 000个,就此,形成一个连续观测和定期观测的GPS观测网络,并配以高精度的重力观测和水准观测。其科学目标是以地震预测预报为主,兼顾大地测量和国防建设的需要,同时可以服务于广域差分GPS及气象和星载干涉合成孔径雷达等领域。网络的基本精度可达到基准站相邻点间GPS基线长度年变化测定精度优于2 mm。该网络在山东建有泰安基准站和青岛基本站,山东省境内分布有43座区域站。

1998年4—7月,总参测绘局第一测绘大队完成东经 $114^{\circ}30' \sim 122^{\circ}31'$ ;北纬 $25^{\circ}28' \sim 37^{\circ}30'$ 范围内的基本站和区域站的选点、埋石工作。1998年8—9月,国家地震局、总参测绘局、中国科学院、国

家测绘局所属的多家测绘单位对该网络的25个基准站、56个基本站进行首期联测,山东省境内的泰安基准站和青岛基本站的联测由总参测绘局第一测绘大队承担。1999年3—7月底,该大队空间大地测量队12个作业组,完成中国地壳运动观测网络区域网华北测区(含山东省)首期GPS网点大地坐标测定任务。同时,对网络工程区域网与军事测绘部门布置的部队一、二级GPS控制网中山东省境内的15个站点进行联测。

“十五”期间,山东省地震局负责建立“山东地壳运动GPS观测网络”。该网络在烟台,即墨、日照、苍山、无棣、嘉祥设6个连续运行参考站,在济南设数据处理中心,并同国家地壳运动观测网络中的泰安基准站共同构成“山东地壳运动GPS观测网络”。2004年初开始设计施工,选用徕卡GPS接收设备,2005年底建成并投入试运行。

### 4 2000国家GPS控制网

在建立国家高精度B级GPS网的同时,军事测绘部门为加强国防现代化建设,也在全国范围内布测部队一、二级GPS控制网。1995年5—11月,在山东省布测15个网点。1998年,随着中国地壳运动观测网络的建成和正式运行,国家测绘局、国家地震局、总参测绘局三局决定在全国范围内对国家高精度A级GPS网,B级GPS网;部队一、二级GPS控制网;中国地壳运动观测网络进行三网联测,建立2000国家GPS控制网。1999年8—9月,总参测绘局第一测绘大队使用阿什泰克Z-12型GPS接收机9台,完成了山东省境内的联测。三网联测数据经联合处理,将其归于统一坐标参考框架,形成紧密的联系体系,即可满足现代测量技术对地心坐标的需求,同时为建立我国新一代的地心坐标系统打下坚实的基础。三网经统一处理后,网点的相对精度优于 $10^{-7}$ 。2000国家GPS控制网在山东省共计97点。2002年,国家正式启动“全国天文大地网与2000国家GPS大地控制网联合平差”。这项集科研和生产于一体的国家基础测绘项目,由中国测绘科学研究院主持,陕西测绘局参加。山东省境内的天文大地网和2000国家GPS网的观测成果均纳入该项目。平差后,全网点位平均精度达到 $\pm 0.11$  m。2004年12月10日,该项目在北京通过了国家测绘局组织的验收。

## 5 C级GPS网(大地水准面精化)

原建的天文大地控制网由于历史原因,其点位相对精度只有 $10^{-5}$ ,且大部分控制点位分布在山头或地区最高处,造成使用上的不便利,加之部分控制点由于人为和自然的破坏已不存在。经三网平差后的2000国家GPS网点的数量和平均密度,在山东省只有原天文大地网的十分之一左右,无法满足各项测绘工作的需求和经济建设的发展。另外,在现今GPS定位时代,精化区域大地水准面与建立传统的国家和区域高程控制网有着同等重要的意义。GPS技术结合高精度、高分辨率的大地水准面模型,可取代传统的水准测量方法测定正高或正常高,能够真正实现GPS技术在几何和物理意义上的三维定位功能,改善甚至可以部分替代传统的高程测量作业模式,不但可以节约大量人力和物力,产生巨大经济效益,而且具有特别重要的科学意义和显著的社会效益。

国家测绘局在总结2003年浙江、福建、江西3省进行的精化区域大地水准面试点和2004年河北、山西、北京、天津4省市开展的华北区域大地水准面精化工作经验的基础上,2005年组织实施山东、上海、江苏、安徽、河南、陕西、湖北、湖南8省市的华东、华中区域大地水准面精化工作。

山东省的大地水准面精化工作和建立省级基础控制是一致的。在全省布设C级GPS网和采用三等水准的精度联测各点高程。同时,本着逐级控制和加大全国范围内A级GPS网、B级GPS网点密度的原则,还需布设一定数量的A级GPS网、B级GPS网点。另外,国家二等水准近20年未进行复测,二等水准网点的高程现势性较差,难以满足精化区域大地水准面的需要。为此,必须进行二等水准的复测工作,并在一、二等水准路线及结点处,按照“国家空间数据基础框架的前期试验设计”项目中,有关B级GPS网整体设计方案,埋设、观测高精度的B级GPS网点。以保证各省市使用统一的国家测绘基准,使应用成果与测绘基准保持高度一致,确保大地水准面精度,并解决由于观测时间的差异而造成的水准路线的闭合问题,同时也促进了国家测绘基准的建设。经精化后的区域大地水准面精度可达到厘米级,并建立起准确可靠的精度达分米级的

WGS-84坐标系统控制网。

山东省的A级GPS网、B级GPS网的建设以及二等水准的复测工作,由国家测绘局第二大地测量队承担。2005年4—9月,共完成A级GPS网、B级GPS网点选点、埋石71座(A级GPS网选点、埋石6座,B级GPS网点选点、埋石65座);普查中国地壳运动观测网络点39座。同时,对一、二等水准点进行普查、维修、补埋。A级GPS网、B级GPS网点的联测工作于2006年进行。全省的C级GPS网的建设 and 三等水准联测工作由山东省国土资源厅统一负责,各市测绘行政主管部门组织实施,省内外9家测绘单位参加作业。专业技术设计书由黑龙江测绘局和山东省国土资源厅于2004年11月,依据国家质量技术监督局2001年颁布的《全球定位系统(GPS)测量规范》、国家质量技术监督局1991年颁布的《国家一、二等水准测量规范》、《国家三、四等水准测量规范》统一编写,由国家基础地理信息中心审批。青岛、滨州、临沂、日照、泰安5市的C级GPS网于2004年布测完毕。2005年底,其余市区C级GPS网及三等水准路线的选点、埋石工作结束。2006年,完成全部联测和整合工作。全省共布测C级GPS点1414个。在布测C级GPS网的同时,军事测绘部门也在山东境内布设三级GPS控制网,作为部队一、二级GPS控制网的补充和加密,目的也是与高等级GPS控制网共同构成三维基础大地控制网,为军事控制网的布设和各种比例尺军事测图,以及其他应用控制提供基础和联测起始。在山东境内计划布设600余点,平均边长26.2 km。

为能及时准确地发现和消除滩海油田勘探开发中的安全隐患,胜利石油管理局2000年决定在西起徒骇河入海口,东至黄河入海口的地带建立统一的、高精度大地控制网。控制网包括布设C级GPS点17个,D级GPS点49个,埋设普通水准标石56座。其中55个GPS点采用混凝土灌注的桩基标志。C级GPS点桩基直径80 cm;深25.4 m,D级GPS点桩基直径60 cm;深20.4 m,72386部队于2001年2月至2002年2月历时一年完成全部测量工作。同时,山东省内各主要城市的测绘部门也积极建立本市区的GPS控制网,为当地各项经济建设和社会发展提供基础性保障。