

# GPS-RTK 技术在水下地形测量中应用研究

刘勇<sup>1</sup>, 袁希平<sup>1</sup>, 赵京黔<sup>2</sup>

(1 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2 中国有色测绘中心, 北京 101601)

**摘要:** 随着 GPS-RTK 定位的精度越来越高, 数据传输的距离越来越远, 可靠性越来越高, GPS-RTK 技术在海洋、湖泊、河流等的水下地形、航道测量中的应用也越来越多. 本文阐述了水下地形测量中控制网 布设、数据采集的特点; 探讨了在 GPS-RTK 测量中坐标转换的方法, 即 Bursa7 参数转换模型和 3 参数转换模型; 探讨了在 GPS-RTK 测量中, 获得高程异常及其转换的方法.

**关键词:** GPS RTK; 坐标转换; 高程异常

**中图分类号:** P228.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)02-0019-04

## Application and Studying in the Topographical Measurement under Water of GPS-TRK Technology

LIU Yong<sup>1</sup>, YUAN Xiping<sup>1</sup>, ZHAO Jing-qian<sup>2</sup>

(1 Faculty of Land Resource Engineering Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093 China

2 Center of china colored metal surveying Beijing 101601, China)

**Abstract** With the improvement in location precision of GPS-RTK, the distance of data transmission and with the enhancement of its dependability, the application of GPS-RTK technology with depthmeter in the fields of topographical measurement under ocean, lake, river, and channel measurement is more and more important. This paper discusses the characteristic of layout of control network and data collection in topographical measurement under water. And then details the method of coordinate transform in measurement by using GPS-RTK technology, including model of 7 parameter transform and 3 parameter transform. Finally, the paper emphasizes the requirement about height abnormality and the method of height transform.

**Key words** GPS RTK; Coordinate Transform; Height Abnormality

### 0 引言<sup>[1]</sup>

全球定位系统 (GPS) 是由美国国防部研制的新一代空间卫星定位系统, 其主要目的是为陆、海、空三大领域提供实时、全天候和全球性的导航定位服务. 尽管 GPS 对于大地测量与普通工程测量的作用越来越明显, 但如果要获得高精度的实时三维坐标, 在 GPS 测量中要采用实时动态测量技术, 即 RTK (Real-time kinematics, RTK). RTK 使用由数据通信链路传送的已知参考站 GPS 接收机获得的原始观测数据或相位改正数据, 通过在线式 (On-line) 或实时 (Real-time) 建立未知点与已知参照站的位置关系, 从而计算得到用户接收机的精确位置.

邛海位于西昌市区西南面, 距市中心约 7 km. 湖面呈 L 形, 南北长 10.3 km, 东西宽 5.6 km, 西南紧邻庐山, 南依螺髻山, 湖面平均海拔约为 1 510 m, 测量时湖面海拔为 1 509.823 m. 与常规测量方式相比, 利用 GPS-RTK 技术结合测深仪, 在导航软件的控制下, 可以对整个湖区布置计划线, 使船沿计划线行进; 可以对水面点的三维坐标和瞬时水深进行实时测量和记录, 并按一定的时间或距离进行存储; 可以方便快捷地进行测量, 在邛海测量中, 每艘船每小时可测 15~20 km, 大大地缩短了工期. 利用 GPS-RTK 技术对邛海

收稿日期: 2005-06-21

第一作者简介: 刘勇 (1976~), 男, 硕士研究生. 主要研究方向: 3S 集成及其应用.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

进行 1:5 000 水下地形测量主要目的是保护邛海, 控制和减少邛海污染, 为《邛海流域环境规划》项目中的近中期、长期规划提供准确的基础地理信息和规范的数字化水下地形图。

## 1 控制网布设<sup>[2]</sup>

### 1.1 GPS控制网概述

一般而言, GPS控制网的建立包括三个部分。一是选择一个与 WGS-84 坐标系统相匹配的坐标系统, 在我国一般选择北京 54 坐标系或地方独立坐标系, 本项目中我们采用的是 1992 年西昌城建坐标系; 二是进行 GPS 控制网的布设和数据采集, 控制网的布设取决于工程控制的目的和需要, 数据采集则根据控制网的等级和要求采用不同类型的 GPS 接收机和观测时间的长短; 三是 GPS 数据处理和资料整理。

### 1.2 邛海水下控制网布设

#### 1.2.1 资料状况

在邛海水下地形测量中, 控制点为西昌市邛海管理局提供了 5 个控制点, 这 5 个控制点均基于 1992 年西昌城建坐标系, 但在 5 个控制点中, 由于 1 号点位于西昌市一小灵通发射台 3 m 范围内, 4 号点位于湖边树林中, 且树林比较密集, 树枝较高, 遮挡了 GPS 信号, 故该两个控制点不能选用, 只能选用 2、3、5 三个点作为控制点, 见图 1。

#### 1.2.2 GPS控制网布设

GPS 控制网的网形设计比较灵活, 既不象常规测量中要求控制网有严密的网形设计, 又不要求考虑点与点之间的通视, 但 GPS 控制网布设也有相关的规定。

在布网时, 虽然 GPS 测量不受地面图形影响, 但布网时也应考虑点位的图形结构, 主要是: 在布设大范围的 GPS 控制网时, 一般采用逐步推进的方法, 若不考虑图形结构, 在内插一些点后, 整个控制网易产生扭曲; GPS 网必须由非同步独立观测边构成的若干个闭合环或符合导线构成; GPS 网的点与点尽管不需要通视, 但考虑利用常规方法加密的需要, 每个点应有一个方向通视。

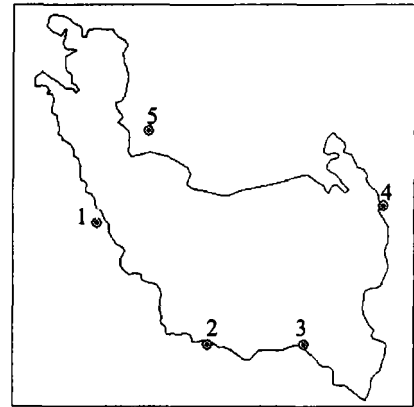


图1 邛海控制网布设

Fig.1 Layout of Qionghai control net work

## 2 数据处理

### 2.1 数据采集

在 2、3、5 号点上架设好 GPS 接收机, 进行 GPS 静态测量。工程所使用的 GPS 接收机为 Trimble 5700 双频接收机, 基本设置为: 高度截止角  $15^\circ$ , 采样间隔 15 s, 数据采集时间为 45 min, 所采集的数据利用 Trimble TGO1.6 软件进行 GPS 数据处理, 处理后可得到 2、3、5 号点的 WGS-84 坐标。

### 2.2 坐标转换<sup>[2,3]</sup>

在 GPS 测量中, GPS 数据通常采用的是 1984 年世界大地坐标系 (World Geodetic System 1984 即 WGS-84)。WGS-84 坐标系是美国国防部研制确定的大地坐标系, WGS-84 椭球采用国际大地测量与地球物理联合会第 17 届大会测量常数推荐值, 两个常用基本几何参数为: 长半轴  $a = 6\,378\,137$ ; 扁率  $f = 1/298.257$ 。WGS-84 坐标一般用  $B, L, H$  表示,  $B$  称为大地纬度、 $L$  称为大地经度、 $H$  称为大地高。

而我国采用的坐标系是北京-54 坐标系或地方独立坐标系, 北京-54 坐标系属于参考大地坐标系, 参考椭球为克拉索夫斯基椭球, 其主要参数为: 长半轴  $a = 6\,378\,245$ , 扁率  $f = 1/298.3$ 。地方独立坐标系则视不同情况而定。北京-54 坐标或地方独立坐标一般用  $X, Y, Z$  表示,  $Z$  为高程, 即正高  $H^g$ 。

在利用 RTK 技术进行 GPS 测量过程中, 确定坐标转换的关键是根据已知参考点解算转换参数, 已知参考点一般应具有两套坐标系统的坐标值, 常用方法为七参数法, 常用模型为 Bursa 公式。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + (1+m) \cdot R_w \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中  $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$  为平移参数,  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  是旋转参数,  $m$  为尺度比,  $R_W = \begin{bmatrix} 1 & \epsilon_z & -\epsilon_y \\ -\epsilon_z & 1 & \epsilon_x \\ \epsilon_y & -\epsilon_x & 1 \end{bmatrix}$

将 (1) 进行变形可得

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_S & 0 & +\epsilon_z & -\epsilon_y \\ 0 & 1 & 0 & Y_S & -\epsilon_z & 0 & +\epsilon_x \\ 0 & 0 & 1 & Z_S & \epsilon_y & -\epsilon_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \\ m \\ E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} - \left( \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} L - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} S \right) = 0 \quad (2)$$

以上  $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0, m, \epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  为经典的 Bursa7 参数, 要精确地对 WGS- 84 坐标系统和地方坐标系统的坐标进行转换, 需要精确地求出 Bursa7 参数, 即至少需要三组具有两套坐标系统的坐标值的点. 利用 2, 3, 5 号点共计 3 个点的两组坐标系坐标进行坐标转换的参数求取. 由于邛海湖岸线长约为 37.4 km, 面积约为 26.7 km<sup>2</sup>, 库容约为 2.758 亿 m<sup>3</sup>, 测量时平均水深为 10.95 m, 最大水深为 18.32 m, 邛海周边有大小河流十余条, 形成多个冲积扇区域, 湖周边大部分为鱼塘和农用田, 水下地形为西边平缓, 东边较陡, 水面下 14 m 以下湖底较为平缓. 考虑到整个邛海面积不大, 而我们只有 3 个控制点可用, 为了满足精度要求, 我们采用经典 Bursa7 参数法转换, 但只求取其中的  $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$  3 个转换参数作为 GPS- RTK 测量中的转换参数, 利用 Trimble TGO 1.6 软件可精确求出坐标转换 3 参数.

### 3 高程异常<sup>[4 5]</sup>

GPS 测量所得的点的坐标属于 WGS- 84 坐标系统, 其高程  $H$  是大地高, 而我国一般工程测量中所用的高程是正常高, 两者所采用的高程基准面是不一样的. 因此, 在工程应用中应将所得的大地高转换为正常高, 两者之间的差值即是高程异常.

一般来说, GPS 高程转换的实质是求地面上各点的高程异常. 具体方法有以下几种.

#### 3.1 利用重力场模型求高程异常

高程异常是地球重力场模型的重要参数, 利用地球重力场模型, 根据点位信息, 可直接求得该点的高程异常值. 在某一区域内, 只要有足够多的重力测量数据, 就可以较为精确地求定该区域的高程异常值. 对于海拔为约 1500 m 的西昌邛海而言, 利用重力场模型方法是比较可靠的方法, 但此方法需要足够多且精度足够高的重力测量资料, 难以实现.

#### 3.2 数学模型拟合法

在某一区域内, 如果有一定数量的已知正常高的水准点或通过水准联测求得部分 GPS 点的正常高, 则这些点的高程异常值就可以根据公式求得. 再利用数学函数模型来模拟该区域的似大地水准面高, 于是就可以利用内插法来求该区域内某一点的高程异常值. 根据数学模型的不同, 数学模型拟合法又分为加权平均法、多面函数法、平面拟合法、二次曲面拟合法等.

#### 3.3 联合平差法

在某一区域内, 如果具有重力测量、水准测量及 GPS 测量等多种观测数据资料时, 即可用整体平差模型将这些观测数据进行联合平差, 最终可求得地面点的正常高高程. 联合平差法综合了上述几种方法的优点, 但其精度仍取决于区域的大小, 已知数据的密度和分布、已知数据的精度以及平差模型的优化.

#### 3.4 平差转换法

在某一区域内, 如果有一些点具有三维坐标, 可以根据前述坐标转换的原理, 求得参考椭球面和似大地水准面之间的转换参数, 并将所求得的参数加入 GPS 网的平差计算中, 在已知点的三维约束下, 通过网平差求出未知点的正常高.

这种方法的精度取决于区域的大小, 已知点的密度和分布、已知点的精度以及所求转换参数的精度,

在邛海工程项目中,便采用了平差转换法精确地得到了所测点的满足工程要求的正常高。

在邛海水下地形测量中,我们选取三组具有 WGS-84 和西昌城建坐标系两套坐标系统坐标值的点,采用经典 Bursa7 参数法转换,先求出转换 7 参数和转换 3 参数,在大范围内,一般采用 7 参数进行坐标转换,在小范围内采用 3 参数进行转换,同时,通过网平差求出未知点的正常高。利用 Trimble TGO1.6 软件可精确求出  $\Delta X_0$ ,  $\Delta Y_0$ ,  $\Delta Z_0$  转换 3 参数和  $\Delta X_0$ ,  $\Delta Y_0$ ,  $\Delta Z_0$ ,  $m$ ,  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$ ,  $\epsilon_z$  转换 7 参数。

#### 4 结论

在 1:5 000 邛海水下地形测量过程中,采用 GPS-RTK 技术、测深仪、导航同步观测软件相结合的测量方法是进行大面积水下地形测量的较为先进、快速、经济的测量方法。在 30 km 范围内, GPS-RTK 测量可以保持数据链的实时畅通,随着 GPS-RTK 技术的进一步发展, GPS-RTK 技术结合测深仪在海洋、湖泊、河流等的水下地形、航道测量中的应用将会越来越广泛。

#### 参考文献:

- [1] 刘基余,李征航,王跃虎.全球定位系统原理及其应用[M].北京:测绘出版社,1995.
- [2] 刘大杰,施一民,过静君.全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M].上海:同济大学出版社,1997
- [3] 刘经南,葛茂荣.92中国GPS会战(A级网)数据处理分析[J].武汉测绘科技大学学报,1995,(1):40-45.
- [4] 张兴福,沈云中.GPS高程异常拟合精度的估算方法[J].测绘通报,2003(8):21-22.
- [5] 胡伍生.GPS精密高程测量理论与方法及其应用研究:[博士学位论文][D].南京:河海大学,2001.

## 简 讯:

### “真空冶金国家工程实验室”在我校成立

为贯彻落实党的十六届五中全会精神和中长期科技发展规划的部署,加快中国特色国家创新体系建设,提高自主创新能力,在全国科技大会胜利召开之际,国家发改委近日首批启动了真空冶金、生物冶金、下一代互联网宽带业务应用等3个国家工程实验室的建设,其中包括我校以戴永年院士为学科带头人申报的“真空冶金国家工程实验室”。

真空冶金国家工程实验室的主要任务是:围绕有色金属先进真空冶金技术,开展稀有稀散金属提取与提纯、有色金属二次资源再生、高纯金属的真空制备等技术的研究,增强有色金属产业的自主创新能力;突破新型真空反应器研制、高纯金属材料制备技术等关键技术,促进有色金属工业的技术进步和产业升级;建立有色金属真空冶金技术仿真验证和性能检测的专业实验设施,为企业技术开发提供支持;加强国内外的学术交流与合作,吸引、培养冶金行业的高水平技术研究人才等。真空冶金国家工程实验室建设目标是:建立稀散金属高效利用、有色金属资源二次回收、高纯金属材料制备等柔性真空冶金技术的研究实验设施,改造传统冶金工艺、提高新金属材料制备技术水平。

真空冶金国家工程实验室将以企业和市场需求为导向,以提高行业的自主创新能力为目标,充分整合相关科技资源,建立更为紧密的产学研合作机制;建立以工程技术开发、成果应用的经济效益为导向的绩效评价机制,促进应用基础研究与工程技术的有机衔接,提升产业整体技术水平。

我校在真空冶金领域的研究特色鲜明、处于国内外领先水平,真空冶金国家工程实验室的建设,标志着我校在自主创新能力建设方面取得重大进展。

(真空冶金及材料研究所供稿)