

GPS 在水库库容测量中的应用^{*}

张宗德 王卫平 张亚群 陆桂华

(河海大学水文水资源及环境学院 南京 210098)

摘 要 介绍了一种综合库容测量系统.在水库水下地形测量中,通过以 GPS 定位技术为基础的 GPS-DFS 三维数据自动采集系统,快速准确地采集高密度、高精度的水下地形数据,为建立新的库容曲线提供可靠的第一手资料.应用地理信息系统 ARC/INFO 软件,进行测量数据的综合处理、自动成图及库容计算,进一步提高了库容曲线的精度.

关键词 GPS 水库 水下地形 库容曲线

中图号 P228 ;P343.3

水库库容是水库调度的重要参数,它的精度直接影响到水库的防洪安全及发电、灌溉等效益.然而,由于不少水库目前所用的库容曲线精度偏低,影响了调洪演算时水量的平衡,以致不能很好地兼顾防洪度汛和蓄水兴利.

如何获得实用的具有较高精度的库容曲线,是许多水库及其管理部门迫切需要研究解决的课题.目前,切实可行的方法是重新进行水库水下地形测量.然而采用传统的测量方法又存在着许多困难,如库区地形复杂,难以建立高精度的控制网;传统测量方法获得的平面定位数据和水深数据同步性较差,测量精度低且易发生差错;数据采集及资料计算的内、外业工作浩繁,人力、物力耗费巨大且提供成果的周期长,等等.如龙羊峡水库曾用传统的方法进行过测量,历时 8 年,耗资近 200 万元也未得到实用成果.这正是目前不少水库没有重新建立库容曲线的原因所在.

由于科学技术的发展和 GPS(全球定位系统) 等高新技术的应用,重新测定库容曲线这一难题已得到了完满的解决.本文将介绍一种测定库容曲线的综合库容测量系统.在该系统中,由 GPS-DFS 三维数据自动采集系统在野外快速、准确地采集高密度、高精度的水下地形数据,然后应用地理信息系统(GIS)分析处理所采集的高密度地形数据,并建立水库三维立体模型,从而准确地计算出水库各层高程面下的库容,建立新的库容曲线.

1 GPS-DFS 三维数据自动采集系统

1.1 GPS 的定位原理及特点

全球定位系统(GPS)由空间部分、地面控制部分和用户部分组成.

用户 GPS 接收机可以通过接收空间卫星信号来确定接收机所在的位置.将接收机天线置于待测点上,只要测定某一卫星信号传送到待测点所需的时间,再乘以电磁波信号的传播速度即可得到该卫星至待测点之间的距离.如果测定了待测点至四颗或四颗以上卫星之间的距离,并通过卫星导航电文的解译得到这些卫星在被观测瞬间所处的空间位置,即可根据空间距离交会的原理求出待测点的空间三维坐标.

对于 GPS 用户而言,定位主要有静态和动态两种.静态定位的精度非常高,通常可达厘米级,甚至毫米级.动态定位的特点是可以实时地测定一个动点的位置,从目前动态定位的精度来看,可以分为 20 ~ 30 m 的低精度,5 ~ 10 m 的中等精度,0.2 ~ 2 m 的高精度.在水库地形测量中,笔者采用静态定位来建立高精度的库区控制网,动态定位则用于水下断面测量过程中的实时导航和定位.

收稿日期:1997-03-25

第一作者简介:张宗德,男,高级工程师,陆地水文专业,主要从事水资源信息采集与处理研究.

^{*} 世界银行贷款重点学科科技成果.

与其他定位方式相比 ,GPS 定位不但以其快速、精确见长 ,而且不受天气和通视条件的限制 ,即可以全天候和在任何能接收到卫星信号的区域工作 ,从而根本地解决了人类在地球上的定位和导航问题 .

1.2 GPS - DFS 系统的特点及工作原理

GPS - DFS 系统的主体包括两台 GPS 接收机、一台双频测深仪(DFS).配置必要的软件并对 GPS 接收机、双频测深仪及其数据通讯接口进行适当的设置 ,使它们联机运行构成 GPS - DFS 三维数据(水深及平面位置坐标)自动采集系统 .系统在实际运行时 ,可按照预先设计好的导航路径及数据采集方式自动、同步地采集定位数据和水深数据 .因此 ,该系统不仅能够确保平面定位和水深测量在空间及时间上的严格同步 ,而且数据记录密集(可每秒采集一次数据)、信息量大 ,从而极大地提高了数据采集的速度和精度 .

GPS - DFS 系统具有很强的自动导航功能 ,测量作业既不受天气和通视条件的限制 ,也不需要 在岸上设置任何导标 ,故不存在自然条件恶化和测量标志易为人畜损坏之虞 ;并且还能保证今后复测库容时所测断面有很好的重复性 ,便于分析和比较水库的泥沙淤积情况 .

以美国 DEL NORTE 1009/586 GPS 接收机为例 ,该系统有三种导航方式可供选用 (a)单点导航 (b)航迹点导航 (c)平行线导航 .

当测量断面呈平行分布时 ,可采用平行线导航 ,这时系统可定义 20 组平行线 .对于每一组平行线 ,只要输入第 1 条测线的起点和终点坐标以及测线之间的间距(如 1:2000 水下地形图的断面间距按规范要求为 40 m) ,系统即可自动生成 998 条平行线 ,这就相当于该系统可预置 20 × 998 个测量断面 .

实际导航时 ,GPS 接收机的显示屏(或外接显示器)将显示航迹偏移(相对于设计断面之航线)、速度和方位等各项数据 ,驾驶员可根据此偏移量来控制航向 ,从而保证测船能够始终在预定的测线上航行 .

在进行快速、高精度的水下地形测量时 ,为了提高定位精度 ,需要采用实时差分定位模式 ,这是一种以具有足够精度的已知控制点为基准的相对定位 .图 1 是工作在该模式下的 GPS - DFS 系统原理框图 .

如图 1 所示 ,其中一台 GPS 接收机的接收天线固定在已知控制点上 ,接收机设置为差分基准台(Reference) ;另一台接收机则置于测船上 ,并将其设置为移动台(Mobile) ,移动台的接收天线应固定于测深仪换能器的同一垂直位置上 .

如 1.1 中所述 ,GPS 定位的测距原理是通过测定卫星信号到达待测点的传播时间 ,从而求出它们之间的距离 .这个距离中包含了时钟偏差所引起的附加距离 ,以及信号在传播过程中经过电离层和对流层时产生折射使传播时间延迟而造成的距离误差 .因此 ,我们称 GPS 接收机测得的这个距离为伪距 ,它和实距之差称伪距改正数 .

在进行实时差分定位和导航时 ,基准台接收到卫星信号后 ,将根据其所在的已知位置和某一卫星被观测瞬间所处的空间位置按式 (1) 求出伪距改正数 .

$$D = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} + d \tag{1}$$

式中 D ——伪距 ; d ——伪距改正数 ; x_i, y_i, z_i ——所观测的第 i 颗卫星的坐标 ; x_0, y_0, z_0 ——基准台天线所在位置(控制点)的坐标 .

基准台解算出伪距改正数后 ,通过无线数据传输方式连续不断地(通常为每秒钟更新一次)传送给移动台 ,移动台即可根据接收到的卫星信号(此时应保证与基准台同时接收不少于四颗相同卫星的信号)及伪距改正数 ,解算出精确的位置坐标 .这种伪距差分定位法是高精度动态定位的基本方法之一 .

1.3 GPS - DFS 系统的测量作业方法

在该系统中 ,GPS 接收机是依靠卫星信号在 WGS—84 坐标系下进行实时导航与定位的 ,而我国的坐标系一般采用北京 54 大地坐标系 .在这两种坐标系统中 ,坐标原点并不重合 ,坐标轴的方向也不一致 .因此 ,为了能够与原有的地面控制网联测 ,需要进行两种坐标系统的转换 .

对纯粹以校测库容为目的而又缺乏国家控制点资料的水库 ,也可以建立独立的局部 GPS 控制网 .利用

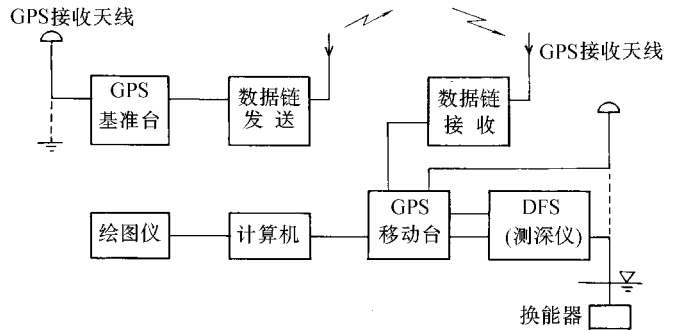


图 1 GPS - DFS 系统工作原理框图

Fig.1 Block diagram of GPS - DFS system

1009/586 GPS 接收机的“控制点测量技术,即定点连续观测 24 h 以上能获得该点精确位置”的功能,建立 GPS 网的位置基准,并采用 WGS—84 坐标系中的尺度基准和方位基准,构成库区独立坐标系统。

- 实际作业时,还要进行以下几项工作:
- a. 选择适当的位置作为差分基准台站,并将该站的坐标输入差分基准台站的 GPS 接收机;
 - b. 根据库区地形进行导航路径设计,再按设计好的路径将有关点位的导航数据输入移动台的 GPS 接收机;
 - c. 对 GPS 接收机进行必要的设置;
 - d. 对双频测深仪进行测深精度校验及时间的同步设置,并视水库地貌情况选择合适的工作状态。

2 库容曲线的确定及其精度分析

GPS—DFS 系统采集的高密度水下地形三维数据,经过预处理及水位改正后,就可以输入计算机工作站进行数据处理和自动绘制水下地形图,计算库容及面积,还可根据需要进行指定的断面图及库容曲线的绘制等一系列工作。

2.1 数据处理与成图

本系统的工作站 Sun—10 为美国新一代计算机工作站系统,其运算速度可达 1 亿次/s。该工作站安装的通用地理信息系统软件 ARC/INFO,具有多种数据处理及绘图功能,可以快速而便捷地进行图形编辑和制图处理。

在数据处理过程中,尽量保留合理的可用数据,以提高库容计算的精度。数据处理完成后,还要进行分幅处理、制图标准化处理、图幅整饰等,最后打印成图。

2.2 库容计算

ARC/INFO 软件具有很强的三维空间分析能力,包括高程内插、等值线自动生成、坡度和坡向计算、体积量算、断面切割等,可以根据科研和生产的需要,选择不同的分析方法。

在库容计算中,需要应用三维空间的数据分析。对此,ARC/INFO 软件提供了 TIN 模块。TIN 主要用于三维空间表面的管理和分析,其数据结构包括了一组具有 X、Y、Z 的离散点,各相邻点之间构成互不相交的三角网。在这种数据结构的基础上,可以灵活地进行多功能空间三维数据处理和三维表面的多种地学空间分析。图 2 所示为水下地形三维空间分析流程。

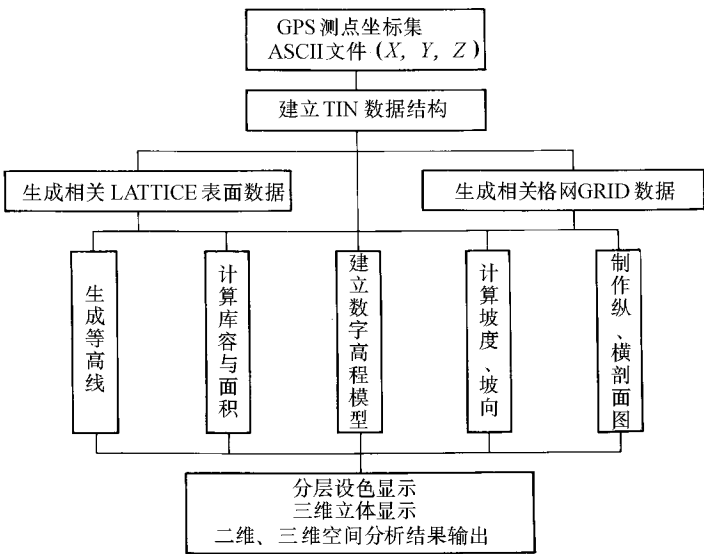


图 2 水下地形三维空间分析流程

Fig.2 Flow diagram of 3D space analysis for underwater topographical data

运用 TIN 模块中的 Volume 命令,可以根据实测的水下地形三维数据计算一定水深范围的体积(库容)及面积,并生成数据文件。利用该数据文件,又可以输出库容计算成果及绘制库容曲线。

Volume 命令是根据这样的原理来计算库容和面积的:用实测点构成许多三角形网,并在一定水深范围内形成三维立体表面,分别计算出三维立体表面中每个三角形网的体积,然后叠加成某一高程下的总体积(库容)。

在上述实测数据构成的三维立体模型中,分别用不同的高程面进行切割,便可计算出各高程面下的库容和相应高程面的面积,将各层高程面下的库容数据绘制成图,即为所求的库容曲线。

2.3 库容曲线的精度分析

一般来说,实测库容的误差主要来自定位误差、水深测量误差、水位误差以及库容计算方法所涉及的误差。

综合库容测量系统中,采用GPS实时差分定位,定位精度在1.0 m以内(实测平均误差为0.36 m),不但定位精度高,而且在整个测量过程中及其测区范围内各点的测量精度较为均匀。由此可见,定位误差对库容精度的影响不大。

测深仪的误差为 $\pm 0.05 \text{ m} \pm 0.4\% H$ (H 为水深),湖泊、水库的水深一般都较浅,故绝对误差和相对误差都不大,况且水深测量误差又是随机误差(可正亦可负),因此水深测量误差对库容影响很小。

水位误差则有水位的观读误差和水位代表性误差。水位观读误差一般小于0.005 m,比测深误差小一个数量级,故对河底高程计算的影响是微不足道的,而水位代表性误差,则可以通过沿程分段观测水位的办法来尽量减小。

至于库容计算,我们采用的是ARC/INFO软件提供的求积方法,在计算时直接采用实测的高密度数据。因此,用该方法求得的库容曲线不但精度高,而且十分可靠。

3 水库库容测量的应用实例

本文介绍的综合库容测量系统先后成功地应用于龙羊峡水库、青溪水库和沙溪口水库,并取得了满意的效果。这些水库建库以来首次获得的准确、实用的库容曲线,对于防洪安全和进一步提高发电、灌溉等效益所起的作用是非常显著的,也为今后水库的科学管理及合理调度提供了可靠的依据。

例如,龙羊峡水库的设计总库容为247亿 m^3 ,相应的水库面积为383 km^2 ,属多年调节水库。1994年,按1:10 000的比例尺测定其库容曲线,实测库区水面面积达280 km^2 。图3为实测库容曲线和设计库容曲线对比图。从图3可知,当水位为2565 m时,库容相差6.5%,即相当于8.12亿 m^3 水,对于水库的发电运行效益来说,将是一个十分可观的数字。

又如,青溪水库的设计总库容为8470万 m^3 ,正常高水位时库容为6880万 m^3 。1995年,按1:2000的比例尺测定了其库容曲线,实测库容曲线与设计库容曲线如图4所示。从图4可知,当水位为73 m时,实测库容比设计库容减少了15.8%。

据分析,实测库容与设计库容相差较大的原因有以下几种可能(其中的后三种原因,都会使水库的实际库容减少)。

- a. 原设计值是在建库前的万分之一地形图上量算得出,误差较大;
- b. 经水库调蓄后,上游水流携带的泥沙不断地在水库中沉积;
- c. 大坝施工时的坝前围堰等工程建筑物在电站建成后没有清除;
- d. 库区沿岸公路扩建时,大量的土石方被推入水库。

准确的库容曲线,对于清溪水库的日常运行和安全度汛具有重要意义。

4 结 语

以GPS定位技术为基础的综合库容测量系统的开发成功,为测定准确、实用的库容曲线提供了可靠手段,并从根本上解决了我国众多水库、湖泊等大面积水域精确定位的难题,因而该系统具有广泛的实用价值。

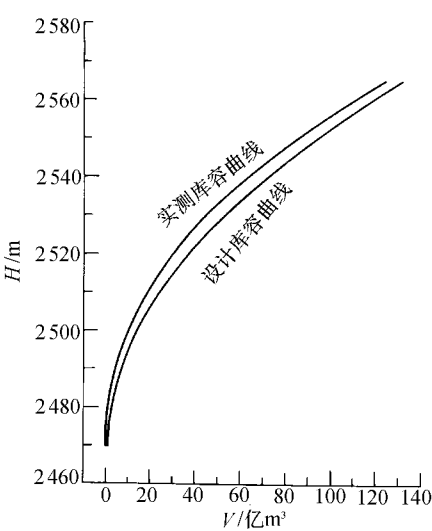


图 3 龙羊峡水库实测库容曲线与设计库容曲线的比较

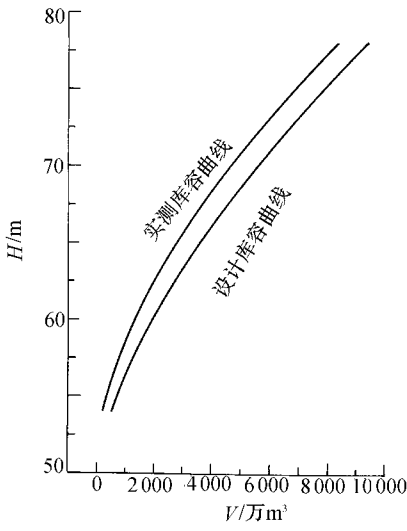


图 4 青溪水库实测库容曲线与设计库容曲线的比较

Fig.3 A difference of volume curve in Long Yang Xia reservoir for real survey and designing

Fig.4 Comparison of volume curve in Qing Xi reservoir with survey and design

参 考 文 献

1 沈镜祥.空间大地测量.武汉:中国地质大学出版社,1990.172~175
2 张宗德 王卫平.全球定位系统(GPS)及其在水下地形测量中的应用.水科学进展,1995(6):53~56
3 陆桂华 王卫平 罗健.一种确定库容曲线的新方法.水文,1997(1):38~41
4 罗健.水下地形制图的自动化技术及其应用.水科学进展,1995(6):57~63

Application of GPS in Surveying Reservoir Capacity

Zhang Zongde Wang Weiping Zhang Yaqun Lu Guihua

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098)

Abstract In this paper , a practical approach to the surveying of reservoir capacity is developed. On the basis of GPS orientation technique , with GPS-DFS 3-D data collection system , underwater topographical data with high density and high precision could be collected automatically and rapidly. This data is the basic data for establishing a new capacity curve. With ARC/INFO software of GIS the data can be processed , maps drawn , and the capacity calculated automatically. Thus , the precision of the capacity curve is raised.

Key words GPS ; reservoir ; underwater topography ; curve of reservoir capacity